更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

shuichuli

化工废水处理技术

中国化工防治污染技术协会 组织编写

实用水处理技术丛书



化学工业出版社

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

462288

实用水处理技术丛书

化工废水处理技术

中国化工防治污染技术协会 组织编写

00462288

化学工业出版社

·北 京·

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（京）新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工废水处理技术 / 中国化工防治污染技术协会组织编写.
北京：化学工业出版社，2000.3
(实用水处理技术丛书)
ISBN 7-5025-2783-4

Ⅰ.化… Ⅱ.中… Ⅲ.化工厂废水-废水处理 Ⅳ.X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 03230 号

实用水处理技术丛书
化工废水处理技术
中国化工防治污染技术协会 组织编写
责任编辑：郎红旗
责任校对：陶燕华
封面设计：丁 兵
*
化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
http://www.cip.com.cn
*
新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
北京市燕山印刷厂装订
开本 850×1168 毫米 1/32 印张 12 字数 312 千字
2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷
印数：1—5000
ISBN 7-5025-2783-4/X·32
定价：28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

序

化学工业在国民经济中是一个重要的支柱产业，对发展工农业生产、提高人民物质文化生活水平发挥着重要的作用。但化学工业又是一个容易产生污染的行业，生产4万多个品种，每种产品的生产方法和原料路线不同，产生的“三废”也各种各样，不仅量大面广，而且组分极为复杂，其治理难度之大是其他行业不可比拟的。正因为如此，搞好化工环保工作，对促进化学工业快速、持续、健康发展，改善我国环境质量是至关重要的。

经过20多年的积极努力，化工行业的环境面貌有了较大改善，但是从总体上来看，化工生产带来的污染仍然十分严重。目前，全国各大河流、湖泊、港口的污染，一些大中城市大气环境质量不好，无不与化工企业排污有关。国务院在《关于环境保护若干问题的决定》中明确指出，“到2000年，全国所有工业污染源排放污染物要达到国家或地方规定的标准。”并强调对现有超标排污单位要依法责令限期治理，到期未完成治理任务的实行关停并转。这就给那些长期不重视环境保护的企业及其领导人敲响了警钟，企图侥幸过关是不可能的。只有企业领导增强危机感、紧迫感，下定决心老老实实依法治理污染，彻底改善环境状况，企业才不会被淘汰。

企业治理污染一要资金，二要技术，两者缺一不可。据统计，当前全国化工行业中，一大批大中型化工企业花费巨额投资建成了化工废水生化处理装置，大都运行情况欠佳，不仅运行费用高，而且还不能达标排放，仍然要向当地环保部门缴纳超标排污费，这是一个十分突出而亟待解决的严重问题。而要开好管好现有化工废水生化处理装置，实现污染物达标排放，除有的企业需对落后技术设备进行更新外，更为重要的是要通过培训来提高工人和技术人员的素质，强化管

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

理，提高技术与管理水平是关键。为此，中国化工防治污染技术协会和吉林化学工业公司污水处理厂共同组织力量，编写了这本《化工废水处理技术》，以适应培训化工环保人才的需要。

本书共九章，包括混凝沉降、气浮分离、化学反应、生化处理、污泥浓缩和焚烧、吸附以及膜分离等废水处理领域通用的各种技术和单元操作。另外，结合污水处理生产管理的实践，还介绍了化工废水处理技术的应用实例、废水处理厂的设计与管理、清洁生产与ISO 14000 的基本知识。

书中理论与应用相结合。理论叙述浅显易懂，并注重应用性；在应用上，对废水处理领域通用的各种技术和单元设备、装置的结构，设计方法、程序，试验方法等方面都作了较详细的阐述，并列举相应的实例，以便于读者加深理解。

本书内容丰富，实用性强。可作为化工及其他行业废水处理工人和技术人员的培训教材，也可供从事环境工程的技术人员和大专院校师生参考。

中国化工防治污染技术协会

1999 年 6 月

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

主　　编　毛悌和

副 主 编　高兴波　　郭树君　　李志明

编写人员（按姓氏笔画排列）

王嘉君　　王　志　　毛悌和　　尹　华

左宏伟　　李志明　　李　智　　杨　伟

邱延波　　张汉武　　张晶艳　　高兴波

郭树君

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

编 者 的 话

受中国化工防治污染技术协会的委托，由副秘书长毛悌和同志主持，高兴波、郭树君同志具体组织编写了本书。具体编写分工为：第一章 毛悌和、郭树君；第二章、第三章 高兴波；第四章 高兴波、李志明；第五章 郭树君、邱延波、张晶艳；第六章 杨伟；第七章 郭树君(其中第四节由张汉武编写)；第八章 左宏伟(第一节)、郭树君(第二、三节)、王嘉君(第四节)、李智(第五节)；第九章 王志(第一节)、井华(第二节)。全书由郭树君、杨伟、邱延波进行整理校核。

本书在分工编写过程中得到了吉林化学工业公司等方面的支持和帮助。完稿后，经原化工部北京化工研究院环保研究所钱汉卿、吕富润、左宝昌等教授级高工审阅，提出了不少宝贵的修改补充意见，对提高本书的质量起了较大作用。另外，本书基础理论部分的编写还参考了原吉化公司污水处理厂佟玉衡同志编写的培训教材《废水处理》的部分内容。特此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免会存在不足和错误之处，热忱希望读者批评指正。

编 者

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

目　　录

第一章　概述 1
第一节　化工污染与环境保护 1
一、化工污染产生的原因 1
二、防治化工污染的重要意义 3
三、化工污染防治现状 5
第二节　防治化工污染的方针、原则和方法 10
第三节　化工废水污染及防治 21
一、化工废水的来源、特征及分类 21
二、废水污染物和水质指标 24
三、化工废水污染的防治 27
第二章　化工废水的物理处理 35
第一节　格栅 35
一、传统普通格栅 35
二、新型格栅 37
第二节　重力分离 40
一、沉淀的基础理论 40
二、沉淀池 44
三、沉淀池的强化与改进 51
四、沉砂池 56
五、焦油沉淀池 58
六、隔油池 60
第三节　气浮 63
一、基本原理 64
二、浮选剂 71

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第四节 均和调节.....73
第五节 离心分离.....75
一、离心分离原理.....75
二、压力式旋流分离器.....76
三、重力式旋流分离器.....77
第三章 化工废水的化学处理.....79
第一节 中和.....79
一、酸、碱废水互相中和及投药中和.....79
二、过滤中和.....84
第二节 混凝.....87
一、混凝原理.....87
二、混凝剂.....91
三、混凝过程及设备.....94
第三节 电解.....99
一、电解原理.....99
二、电解过程影响因素.....101
三、电解槽.....102
四、电解法在废水处理中的应用.....104
第四节 化学氧化.....104
一、空气氧化.....105
二、臭氧氧化.....106
三、湿式氧化.....108
四、焚烧.....111
五、氯氧化.....112
六、过氧化氢氧化.....112
第五节 其他投药化学法.....113
一、还原法.....113
二、化学沉淀法.....114
第四章 化工废水的物理化学处理.....115
第一节 吸附.....115

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

一、吸附的基本理论 115
二、吸附剂及其再生 119
第二节 离子交换 122
一、离子交换剂 123
二、离子交换基本理论 126
第三节 膜分离法 130
一、渗析 131
二、电渗析 131
三、反渗透 133
四、超滤 136
第四节 其他相分离法 140
一、萃取 140
二、汽提 148
第五章 化工废水的生物处理 151
第一节 废水生物处理的理论基础 151
一、微生物基础知识 151
二、废水生物处理的原理 164
三、废水生物处理方法概述 168
第二节 好氧生物处理——活性污泥法 169
一、活性污泥法的基本原理 169
二、活性污泥法的运行方式 176
三、活性污泥法的运行参数 184
四、活性污泥法的运行与管理 186
五、活性污泥法的发展 192
第三节 好氧生物处理——生物膜法 195
一、生物滤池 196
二、生物转盘 204
三、生物接触氧化池 209
四、生物流化床 213
五、生物膜法的运行管理 217

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第四节 厌氧生物处理法 220
一、厌氧生物处理的基本原理 221
二、厌氧生物处理的影响因素 222
三、废水厌氧生物处理的工艺及设备 227
四、厌氧生物处理系统的运行管理 232
第五节 氧化塘 234
一、氧化塘类型 234
二、氧化塘系统的前、后处理及流程组合 235
第六节 生物处理法的新发展 237
一、水解（酸化）好氧生物处理 237
二、厌氧-好氧生物处理（A/O 法） 238
三、厌氧-缺氧-好氧生物处理（A^2/O 法） 240
四、间歇曝气活性污泥工艺（SBR 工艺） 241
五、氧化沟工艺 242
第六章 污泥处置 247
第一节 污泥的分类及特性 247
第二节 表示污泥性质的指标 248
第三节 污泥浓缩 250
一、污泥中水分的结合状态 250
二、重力浓缩法 251
三、气浮浓缩法 253
第四节 污泥的消化处理 254
一、污泥好氧消化 254
二、污泥厌氧消化 255
第五节 污泥脱水 260
一、污泥的自然干化 260
二、机械脱水 261
第六节 污泥焚烧 267
第七节 污泥的最终处置 270
第七章 化工废水处理技术应用实例 272

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第一节 酸性废水处理 272
一、酸性废水的来源及危害 272
二、化工酸性废水处理实例 272
第二节 炼油废水处理 277
一、炼油废水的来源、分类及性质 277
二、炼油废水的处理方法 278
三、炼油废水处理实例 278
第三节 含酚废水处理 282
一、含酚废水的危害、来源与治理 282
二、含酚废水处理实例 283
第四节 含氮废水处理 289
一、氨氮的危害及脱氮方法 289
二、废水生物脱氮原理及流程 290
三、吉林化学工业公司污水厂 A/O 工艺简介 293
第五节 含氰废水处理 298
一、含氰废水的来源及一般处理方法 298
二、含氰废水处理实例 299
第六节 纯氧曝气的应用 301
一、UNOX 工艺原理 301
二、UNOX 工艺应用实例 302
第七节 ABS 树脂生产废水一级处理 307
一、装置设计概况 308
二、工艺流程 309
三、主要设备设计参数 311
四、运行情况 312
五、分析与讨论 313
第八节 乙烯废水处理 314
一、概述 314
二、废水处理工艺流程 314
三、工作过程及设计参数、处理效果 315

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

四、分析与讨论 320
第九节 污泥焚烧技术应用及其运行管理 321
一、简介 321
二、污泥焚烧工作原理 321
三、污泥焚烧工艺过程及控制 323
第八章 废水处理厂的设计与管理 329
第一节 厂址的选择与布置 329
一、厂址的选择 329
二、废水处理厂平面布置 330
三、废水处理厂高程布置 331
第二节 废水处理工艺的选择与设计 332
一、废水水质探查 332
二、生产负荷调查 332
三、小试 332
四、模试或中试 332
五、工艺设计 333
第三节 构筑物的结构要求及运行方式 334
一、构筑物设计原则 334
二、构筑物的结构要求 334
三、构筑物的运行方式 335
第四节 废水处理厂的运行管理 336
一、质量监测管理 336
二、操作管理 337
三、设备管理 337
四、工艺技术管理 338
第五节 废水处理装置自动化控制技术 338
一、废水处理厂自动检测的特点 338
二、废水处理过程的测量与工艺自动化仪表 339
三、废水处理厂的自动控制 341
四、集散控制系统（DCS）在废水处理工程中的应用实例 342

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第九章 清洁生产与 ISO 14000.....347
第一节 清洁生产.....347
一、清洁生产的概念和意义.....347
二、实现清洁生产的途径.....349
三、清洁生产审计.....352
第二节 ISO 14000 环境管理国际标准.....352
一、ISO 14000 环境管理国际标准的产生.....352
二、ISO 14000 环境管理国际标准简介.....353
三、ISO 14000 环境管理国际标准的认证程序.....355
附录 中华人民共和国水污染防治法实施细则.....362

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第一章　环境与环境保护

第一节　环境与环境科学

一、环境的概念与定义

环境是一个应用广泛的名词或术语，因此它的含义和内容极其丰富又随着各种具体状况的差异而不同。从哲学上来说，环境是一个相对于主体的客体，它与其主体之间相互依存；其内容随着主体的不同而不同。这样，在不同的学科中，环境一词的科学定义也不相同，其差异源于主体的界定。对于环境科学而言，“环境”的含义应是“以人类社会为主体的外部世界的总体”。这里所说的外部世界主要指人类已经认识到的、直接或间接影响人类生存和社会发展的周围世界，主要是指地球表面与人类发生相互作用的自然要素及其总体。它是人类生存发展的基础，也是人类开发利用的对象。环境是以人类为主体的客观物质体系，它具有整体性、区域性、变动性等最基本的特征。更通俗意义上讲，环境指的就是我们人类生存的周围空间，我们生存的这个星球及这一星球上各种自然要素的相互关系。中华人民共和国1989年12月26日公布的《中华人民共和国环境保护法》明确地对“环境”概念做了如下规定：“本法所称环境是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总和，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。这是一种把环境中应当保护的要素或对象界定为环境的一种工作定义，其目的是从实际工作的需要出发，对环境一词的法律适用对象或适用范围作出了规定，以保证法律的准确实施。

二、环境科学及其研究的目的和对象

环境科学是一门新兴、边缘、综合性学科，是在人们亟待解决环境问题的社会需要下迅速发展起来的。它是一个多学科到跨学科的庞大体系组成的新兴学科，是涉及到自然科学、工程技术、医学和社会科学的一门边缘学科，所以可以讲环境科学是一门还处于初生阶段、尚未成型的边缘学科。目前环境科学可定义为：“是一门研究人类社会发展活动与环境演化规律之间相互作用，寻求人类社会与环境协同演化、持续发展途径与方法的科学”。

环境科学研究的目的与我国环境保护法的任务是一致的，环境法总则第二章指出：“中华人民共和国环境保护法的任务是保护在社会主义建设中，

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

合理利用自然环境，防治环境污染和生态破坏，为人民造成清洁适宜的生活和劳动环境，保护人民健康，促进经济发展。”

一般认为，环境科学是以“人类和环境”这对矛盾之间的关系作为研究对象的科学。就是人类社会发展活动与环境演化规律之间相互作用关系，只有认识和掌握这种关系，才能根据此种关系发展过程的规律，进一步对此关系的发展进程进行预测和控制，从而寻求人类社会与环境协同演化、持续发展的途径与方法。即“人类生活和劳动的自然环境”，它具体研究环境质量的形成、变化和发展规律的科学。通过对这些方面的研究，其目的是要通过调整人类的社会行为，保护、发展和建设人类的生存环境，从而使环境永远为人类社会持续、协调、稳定的发展提供良好的支持和保证。

当前，环境科学的具体研究内容包括：人类社会经济行为引起的环境污染和生态破坏，环境系统在人类活动影响下的变化规律；确定当前环境质量恶化的程度及其与人类社会经济活动的关系；寻求人类社会经济与环境协调、持续发展的途径和方法，争取人类社会与自然界的和谐。

三、环境科学的任务

从某些国家的环境科学和环境保护工作的发展动向来看，大致可以分为三个阶段。第一阶段是应急阶段，面对严重的环境污染现实，进行应急治理。第二阶段进入防、治结合阶段，以防止污染的发生为主，并加以综合治理。这一阶段目前仍处于发展时期。第三阶段是完善和美化环境阶段，这一阶段中将更加强调环境的综合性，即强调人类与环境的协调发展，强调环境管理、全面规划、合理布局和资料的综合利用等等，把环境教育当做解决环境保护问题的根本手段。从事这些问题的研究教育是环境科学的重要任务。

环境科学的任务实质上是与环境科学的研究对象是一致的。它的主要任务是：揭示人类活动同自然生态之间的对立统一关系；探索全球范围内环境演化的规律；探索环境变化对人类生成的影响；研究区域环境污染综合防治的技术措施和管理措施。

四、环境科学的分支学科

环境科学的研究领域，在20世纪70年代以前比较侧重于自然科学和工程技术的方面，目前已扩大到社会学、经济学、法学等社会科学方面。对环境问题的系统研究，要运用地学、生物学、化学、物理学、医学、工程学、数学以及社会学、经济学、法学等多种科学知识。所以，环境科学是一门综合性很强的学科。

在现阶段，环境科学主要是运用自然科学和社会科学的有关学科的理论、技术和方法来研究环境问题，形成与其有关的学科相互渗透、交叉的许多分支学科。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

属于自然科学方面的有：环境工程学、环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理、环境数学、环境水利学、环境系统工程、环境医学等。

属于社会科学方面的有：环境社会学、环境经济学、环境法学及环境管理学等。

因此，环境科学体系好像一株大树，树上分枝，枝上分枝，但它们都是“同根生”，即各分支学科都以环境为共同的研究对象。

环境是一个有机的整体，环境污染又是极其复杂的、涉及面相当广泛的问题。因此，在环境科学发展过程中，环境科学的各个分支学科虽然各有特点，但又互相渗透、互相依存，它们是环境科学这个整体的不可分割的组成部分。

其中，环境工程学指运用工程技术的原理和方法，防治环境污染，合理利用自然资源，保护和改善环境质量。主要研究内容有大气污染防治工程、水污染防治工程、固体废物的处理和资源化、噪声控制等，同时研究环境污染综合防治，运用系统分析和系统工程的方法，从区域环境的整体上寻求解决环境问题的最佳方案。

第二节　环境问题

一、环境问题及其发展

环境问题的发生经历了一个从轻到重、从局部到区域到全球的发展过程。环境问题是指由于自然或人为活动而使环境发生的不利于人类的变化。这些变化影响人类的生存、生产和生活，甚至带来灾难，是人类违背自然规律所受到的大自然的报复。人类对环境问题的认识是从环境污染与资源破坏开始的。

人类早期的生产活动比较简单，规模较小，对环境影响不大，自然界的自我调节也抵消了许多不利的影响。因此，人们对环境问题的认识不深，没有采取任何治理环境污染、保护环境的措施，这种状况一直延续到 19 世纪初叶。

而环境污染作为一个重大的社会问题，是从产业革命开始的。由于当时只顾生产，不顾对环境的污染，造成了严重的后果。产业革命的故乡——英国伦敦市早在 1873 年、1880 年、1882 年、1891 年和 1892 年连续发生了一系列煤烟型大气污染事件，每次都造成众多人员的伤亡。

进入 20 世纪，特别是二次世界大战之后，科学、工业、交通都发生了迅猛的发展，尤其是石油工业的崛起，工业过分集中，城市人口过分密集，环境污染由局部逐步扩大到区域，由单一的大气污染扩大到大气、水体、土壤和食品等各方面的污染，酿成了不少震惊世界的公害事件。所谓世界八大

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

公害事件，就是指20世纪30～60年代在一些工业发达国家中发生的对公众造成严重危害的事件。其中，比利时马斯河谷烟雾事件，一周内几千人受害发病，60人死亡。美国多诺拉镇烟雾事件，该镇仅有1.4万人，4天内就有5900人因空气污染而患病，20人死亡。1952年，英国伦敦烟雾事件，5天内死亡4000人。日本水俣事件，因甲基汞中毒受害发病1004人，死亡206人。日本富山事件，因镉中毒，10年内患“骨痛病”惨死者近100人。日本四日市事件，10年内全国患四日市气喘病者高达6376人。其实世界上大的污染事件，还远不止这八件。1970年7月13日发生在东京市的光化学烟雾事件，受害者达6000多人。1972年发生在伊拉克的汞中毒事件，受害者7000人，死亡500人等。这些国家的环境污染已经到了忍无可忍的地步，公众不断对环境公害提出诉讼，甚至有些公众愤怒而起砸坏工厂。

随着环境问题的发展，人类对环境问题的认识也在不断发展。20世纪50年代以来，环境污染问题出现了两次高潮，人类的认识也随之出现了两次高潮。第一次是在20世纪的五六十年代。在工业发达国家环境污染达到了相当严重程度，直接威胁到人们的生命和安全，成为重大的社会问题，激起了广大人民的强烈不满，也影响了经济的顺利发展，如在1970年4月22日，美国环境保护主义者还推动组织了2000万人大游行，提出“先污染、后治理”这条路不能再继续走下去了。被动的防治局面必须改变，预防为主的综合防治办法必须尽早实施。这就是1972年6月联合国在斯德哥尔摩召开的人类环境会议的历史背景。这次会议通过了《人类环境宣言》，唤起了全世界的注意。这次会议对人类环境问题来说是一个里程碑。工业发达国家把环境问题摆上了国家的议事日程，制定法律，建立机构，加强管理，采用新型技术，环境污染得到了有效控制，环境质量有了很大的改善。第二次高潮是20世纪80年代初伴随环境污染和大范围生态破坏而出现的。人们关心的是一些影响范围大和危害严重的环境问题，主要有酸雨、臭氧层破坏和“温室效应”等。这些全球性环境问题严重威胁着人类生存和发展，不论是广大公众还是政府官员，也不论是发达国家还是发展中国家，都普遍对此表示不安。1988年11月在德国汉堡召开的全球气候变化会议上指出：如果“温室效应”不被阻止，世界在劫难逃。各国政府都充分认识到了这些问题的严重性和预防污染的必要性。为治理和改善已被污染的环境，为防止新的污染发生，就要求加强环境管理。这首先就有一个如何全面正确地认识环境的问题。

各国积极建立环保机构，国际组织踊跃参与推动环境保护的发展。斯德哥尔摩人类环境会议之后，许多国家相继成立了环保管理机构（局、部、理事会、委员会等）。据统计，20世纪70年代初成立环保管理机构还不到10

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

个，到1974年增至60个，到1982年就大约有100个。同时致力于环境保护问题的非政府组织也越来越多，1972年估计有2500个，1981年增至15000个，其中已在环境联络中心正式登记的有5200个。这期间，联合国许多主要机构如联合国粮农组织（FAO）、世界卫生组织（WHO）、联合国教科文组织（UNESCO）、国际原子能机构（IAEA）、国际气象组织（IMO）等以不同形式致力于某些环境保护问题。各区域委员会、大自然养护会、经济合作和发展组织以及欧洲经济共同体（EEC）等都对推动环境保护的发展起了积极作用。在此期间我国从中央到地方都相应成立了环境保护管理机构。

各国在成立环保机构的同时，加快了环境立法的步伐。20世纪70年代发达国家与发展中国家的环境立法风起云涌。例如经济合作和发展组织各国从1955年到1960年的5年间只通过了4个重要的环境法律，1961年到1970年10年间通过了28个，而在1971年到1979年的9年间就通过了56个。中国也于1979年9月13日公布了《中华人民共和国环境保护法（试行）》，使我国的环境保护正在走上法制化的轨道上来。

有的科学家将人类所面临环境问题总结归纳，分为三种类型。

（1）消耗型　包括从环境中摄取某种物质资源而引起的所有问题，如各类矿物资源、生物资源、森林资源的急剧减少等。

（2）污染型　包括向环境排放污染物引起的所有问题，如水、大气、土壤等环境污染及固体废物排放等。

（3）破坏型　包括所有引起环境结构变化的问题，如生态系统的破坏、景观的破坏、人员伤亡、干涸等。

二、当前世界环境的主要问题

某些环境问题包含了多种环境要素，同一个环境污染物也可以引起多种环境问题。这种分类方法主要是从人类各种活动或污染物对环境产生的效果上分类的，它基本包含了人类所面临的各种环境问题。目前，国际社会最为关注的和对人类生产、生活影响较大的几个环境问题有：人口、资源、生态破坏和环境污染问题。它们之间相互关联、相互影响，已经成为当今世界环境学科所关注的主要问题。

（一）人口问题

人是最可观的财富，可是在若干国家中，特别是发展中国家，由于人口的迅速增长，加上贫穷、环境退化及不利的经济形势，已使人口与环境之间形成严重失调。人口的增长与分布超过了当地环境的承载能力。人口迅速增长是贫穷加深的因素，人口与环境相互影响造成了紧张的社会关系，出现“环境难民”问题。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

可以讲人口的急剧增加是当今环境的首要问题。人类对环境的影响途径在增多，影响范围在扩大。人类影响环境的原因主要在于人口激增，人口增长速度在加快。旧石器时代人口的倍增期为 3 万年，公元初为 1000 年，19 世纪为 150 年，现代只需 40 年，其中发展中国家速度更快，是发达国家的 2 倍以上，具体见表 1-1。近百年来，世界人口的增长速度达到了人类历史上的最高峰，目前人口已经超过 60 亿！有些国家已实现人口平衡，达到了低生育率、低死亡率及高平均寿命。但发展中国家多与此相反，据预测至 2025 年，世界人口可能超过 80 亿，新增加的人口中 90% 都出生在发展中国家。而这些国家有的正遭受森林破坏、水土流失、木材缺乏、沙漠扩大等灾害。众所周知，人既是生产者，又是消费者。从生产者的人来说，任何生产都需要大量的自然资源来支持，如农业生产要有耕地、工业生产要有能源、各类矿产资源、各类生物资源等，随着人口的增加和生产规模的扩大，一方面所需要的资源要继续或急剧增大；一方面在任何生产中都有废物排出，随着生产规模的增大而使环境污染加重。从消费者的人类来说，随着人口的增加、生活水平的提高，则对土地的占用（住、生产食物）越大，对各类资源如不可再生的能源和矿物、水资源等，亦急剧增加，当然排出的废弃物量亦增加，加重了环境污染。我们都知道，地球上的一切资源都是有限的，即或是可恢复的资源如水，可再生的生物资源，在每年中也是有一定可供量的。尤其是土地资源，不仅是总而积有限，人类难以改变，而且还是不可迁移的和不可重叠利用的。这样，有限的全球环境及其有限的资源，便将限定地球上的人口也必是有限的。如果人口急剧增加，超过了地球环境的合理承载能力，则必造成生态破坏和环境污染。这些现象在地球上的某些地区已出现了，这正是我们要研究和改善的问题。所以，从环境保护、合理利用环境以及持续发展的角度上来看，我们根据人类各个阶段的科学技术水平计划和控制相应的人口数量，是保护环境持续发展的主要措施。

表 1-1　发达国家与发展中国家人口增长情况的比较

项　目	年出生率/%		年死亡率/%		年增长率/%		倍增期/年	
	1973 年	1988 年	1973 年	1988 年	1973 年	1988 年	1973 年	1988 年
世界平均	3.3	2.8	1.3	1	2.0	1.7	35	41
发达国家	1.6~1.8	1.5	0.8~1.0	0.9	0.7~1.0	0.6	70~100	116
发展中国家	3.7~4.6	3.1	1.0~2.0	1	2.3~2.8	2.1	25~30	33

我国历史上一直是一个人口大国，1949 年中华人民共和国成立时，人口已达 5.4 亿。此后经过 20 世纪 50 年代和 60 年代的两次人口增长高峰，人口数量又大幅度增长。到 1990 年 7 月，中国人口已达 11.6 亿，占世界人

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

口的22%左右，目前已经超过12亿。并且近年来出现老龄化越来越突出、人口分布不平衡、农村人口比重大以及人口整体素质偏低等一系列问题。这些问题不仅阻碍了我国的经济发展，也将进一步加重环境污染。

（二）资源问题

资源问题是当今人类发展所面临的另一个主要问题。众所周知，自然资源是国民经济与社会发展的重要物质基础，也是人类生存发展不可缺少的物质依托和条件，自然资源与人类社会和经济发展存在着相互作用、相互制约的密切关系。然而，随着全球人口的增长和经济的发展，对资源的需求与日俱增，人类对自然资源的巨大需求和大规模的开采消耗已导致资源基础的削弱、退化、枯竭的严重挑战。如何以最低的环境成本确保自然资源可持续利用，将成为当代所有国家在经济、社会发展过程中所面临的一大难题。全球资源匮乏和危机主要表现在：土地资源在不断减少和退化，森林资源在不断缩小，淡水资源出现严重不足，生物物种在减少，某些矿产资源濒临枯竭等。

1．土地资源

土地资源损失尤其是可耕地资源损失、土壤退化与沙漠化已成为全球性的问题，发展中国家尤为严重。目前，人类开发利用的耕地和牧场，由于各种原因正在不断减少或退化，沙漠化、盐碱化问题比较严重。而全球可供开发利用的备用资源已很少，许多地区已经近于枯竭。虽然过去30年中粮食产量大大增加，但随着世界人口的快速增长，使得许多国家不能粮食自给，人均占有的土地资源在迅速下降，加之缺乏适当的环境管理，把森林和草原改为了耕地，从而加快了土壤退化与水土流失、土壤肥力下降、土地盐碱化。另外，农药和化肥的不适当使用，导致土壤污染。这一系列问题对人类的生存构成了严重威胁。据联合国环境规划署的资料，从1975年至2000年，全球有3亿hm^2耕地被侵蚀，另有3亿hm^2可能被压成新的城镇和公路之下。同时森林、植被的破坏使全世界每年流失的土壤达240亿t。几乎全部土地的三分之一有变成沙漠的危险。全球土壤退化及土地生产潜力降低使土地生产能力的丧失达25%时为中等沙漠化，20%～50%为严重沙漠化，超过50%为极度沙漠化。研究结果表明：全世界三分之二的土地即20亿hm^2的土地不同程度地受到了沙漠化的影响（其中16.1亿hm^2为牧区），每年估计有21亿hm^2具有潜在生产能力的土地，由于人类活动丧失了经济价值。而受沙漠化影响的主要是发展中国家，现在世界上有8.5亿人口生活在不毛之地或贫瘠的土地上。由此可见土地资源问题的严重性。

2．森林资源

森林覆盖着全球陆地的三分之一，热带森林总面积共逾190亿hm^2，其中120亿hm^2是密闭森林，其余则是宽阔树丛。森林是木材的供应来源并

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

具有贮水、气候调节、水土保持及提供生计保障生物多样性等重要作用。目前世界森林资源的总趋势在减少。历史上森林植被变化最大的是温带地区。自从大约 8000 年前开始大规模的农业开垦以来，温带落叶林已减少 33% 左右。但近几十年中，世界毁林集中发生在热带地区，热带森林正以前所未有的速率在减少。据估计，1981 年～1990 年间全世界每年损失森林平均达 1690 万 hm^2，每年再植森林约 1054 万 hm^2。所以森林资源减少的形势仍是严峻的。

砍伐森林的主要原因是把林地改作耕地，提供燃料和木材。由于森林砍伐和造林步伐的严重失调造成土地裸露、土壤流失、小区天气变化，河水流量减少、湖面下降、农业生产力降低、野生生物物种面临灭绝的数目增加等。

3. 水资源

水是人类和一切生物赖以生存的物质基础。全球总贮水量估计为 13.9 亿 m^3，但其中淡水总量仅为 0.36 亿 m^3。可利用的不及世界总贮水量 1% 的淡水，与人类的关系最密切，并且具有经济利用价值。

随着世界人口的高速增长以及工农业生产的发展，水资源的消耗量越来越大，世界用水量以 3%～5% 的速率递增。目前，世界上有 43 个国家和地区缺水，占全球陆地面积的 60%。约有 20 亿人用水紧张，10 亿人得不到良好的饮用水。除了自然条件影响以外，水体污染破坏了水资源是造成水资源危机的重要原因之一。目前全世界每年约有 4200 多亿 m^3 的污水排入江河湖海，污染了 5500 亿 m^3 的淡水，约占全球径流量的 14% 以上。估计今后 30 年内，全世界污水量将增加 14 倍。特别是第三世界国家，污水、废水基本不经处理即排入水体更为严重，造成世界的一些地区有水但严重缺乏可用水的现象。水资源短缺已成为许多国家经济发展的障碍，成为全世界普遍关注的问题。当前，水资源正面临着水资源短缺和用水量持续增长的双重矛盾。正如联合国早在 1977 年所发出的警告："水不久将成为一项严重的社会危机，石油危机之后下一个危机是水。"

（三）生态环境的恶化

全球性的生态环境恶化问题，从广义讲，包括人口、粮食、资源的矛盾；从环境角度看主要包括：森林减少、土地退化、水土流失、沙漠化、物种消失等多个方面。

土地退化是当代最为严重的生态环境问题之一，它正在削弱人类赖以生存和发展的基础。土地退化的根本原因在于人口增长、农业生产规模扩大和强度增加、过度放牧以及人为破坏植被，从而导致水土流失、沙漠化、土地贫瘠化和土地盐碱化。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

水土流失是当今世界上一个普遍存在的生态环境问题。据最新估计，全世界现有水土流失面积2500万km^2，占全球陆地面积的16.8%，每年流失的土壤高达257亿t。高出世界土壤再造速度数倍。全世界每年损失土地600～700万hm^2，受土壤侵蚀影响的人口80%在发展中国家。

土地沙漠化是指非沙漠地区出现的风沙活动、沙丘起伏为主要标志的沙漠景观的环境退化过程。目前全球有36亿hm^2干旱土地受到沙漠化的直接危害，占全球干旱土地的70%。沙漠化的扩展使可利用的土地面积缩小，土地产出减少，降低了养育人口的能力。我国荒漠化也很严重，全国约1.7亿人口受到荒漠化的危害和威胁，每年因荒漠化造成的经济损失约20～30亿美元。

生物种消失是全球普遍关注的重大生态环境问题。物种濒危和灭绝一直呈发展趋势，而且越到近代，物种灭绝的速度越快。据粗略估计，从公元前8000年至1975年，哺乳动物和鸟类的平均灭绝速率大约增加了1000倍。生物学家警告说，如果森林砍伐、沙漠化及湿地等的破坏按目前的速度继续下去，那么到2025年将会有100万种生物物种从地球上永远地消失。

（四）大气环境污染

大气环境污染作为全球性的重要环境问题，主要指的是温室气体过量排放造成的气候变化、广泛的大气污染和酸沉降、臭氧层破坏等。

1．酸雨

矿物燃料作为人类的主要能源一直被广泛利用。工业革命以来，大气中的硫和氮的氧化物浓度显著增加。1852年，英国污染检查团的一位早期成员在《科学》杂志上报道说，他发现在曼彻斯特附近地区的降雨中有硫酸。1872年，他在撰写的调查报告中使用了“酸雨”一词。

酸雨是指pH小于5.6的雨雪或其他方式形成的大气降水（如雾、露、霜、雹等），是一种大气污染现象。因大气中CO_2的存在，所以即使是清洁的雨、雪等降水，也会因CO_2溶于其中形成碳酸而呈弱酸性。空气中CO_2浓度平均在621mg/m^3（316ppm）左右，此时雨水中饱和CO_2后的pH为5.6，故通常认为雨水的“天然”酸度为pH＝5.6。由于人为向大气中排放酸性物质，使得雨水pH降低，当pH低于5.6时，便发生了酸雨。

但近年来通过对降水的多年观测，特别是对清洁本底的监测，已经对pH＝5.6能否作为酸性降水的界限以及判别人为污染的界限提出了异议。有人认为降水pH小于5.0为酸雨比较合适。

大气中不同的酸性物质所形成的各类酸，都对酸雨的形成起作用，但它们作用的贡献不同，一般说来，对形成酸雨的作用，硫酸占60%～70%，硝酸占30%，盐酸占5%，有机酸占2%。所以，人为排放的SO_2和NO_x是

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

形成酸雨的两种主要物质。

酸雨的危害主要是破坏森林生态系统，改变土壤性质与结构，破坏水生生态系统，腐蚀建筑物和损害人体的呼吸道系统和皮肤。当酸雨降到地面后，导致水质恶化，对各种水生动植物都会受到死亡的威胁。植物叶片和根部吸收了大量的酸性物质后，引起枯萎死亡。酸雨进入土壤后，使土壤肥力减弱。人类长期生活在酸雨中，饮用酸性的水质，都会造成呼吸器官、肾病和癌症等一系列疾病。例如，在欧洲 15 个国家中有 700 万 hm^2 森林受到酸雨的影响，森林在遭受死亡综合征的侵袭；在瑞典北部地区，因受酸雨的影响，土壤酸化而使肥力减退，河湖酸化而影响水生生物的生长和繁殖，瑞典农业部曾经在河道中投加石灰来治理酸雨对水体的酸化。此外，还有因酸雨水渗入地下，使地下水酸化而造成地下水污染的事例。据统计，全世界范围内酸雨每年要夺走 7500～12000 人的生命。

酸雨的危害遍及欧洲和北美，在世界上酸雨分布的地区较广。酸雨有时飘越国境影响别国，如 20 世纪 50～70 年代中，美国东北部和加拿大降水 pH 变小的趋势十分明显，北美的湖泊酸化十分严重。这涉及到了两国之间酸的污染来自何方的争议。由于各国研究对空气污染物长距离输送和超越国界现象的肯定，酸雨问题已不仅被视为区域性环境污染问题，而且有时也被列入全球性环境问题。

1998 年，我国降水年均 pH 范围在 4.13～7.79 之间，降水年均 pH 低于 5.6 的城市占统计城市数的 52.8%。73.03% 的南方城市降水年均 pH 低于 5.6，降水 pH 低于 4.5 的城市有临安、株洲、益阳、韶关、清远、南昌、鹰潭和长沙等。北方城市中的图们、青岛、西安和铜川降水年均 pH 低于 5.6。

华中酸雨区的污染有所减轻，但中心区域降水年均 pH 仍低于 5.0，酸雨频率在 70% 以上。

华南酸雨区污染总体格局未变，但南部沿海部分城市降水年均 pH 逐年降低，酸雨出现频率逐年上升。

华东、西南酸雨区总体污染程度仍维持在上一年的水平，但福建西部的武夷山和云南、贵州西部的部分地区有所好转，降水年均 pH 高于 5.6。

青岛和图们是北方两个较为稳定的酸雨污染局部区域。其他几个北方城市降水年均 pH 虽低于或接近 5.6，但从酸雨频率来看，尚不足以说明该区域已形成稳定的酸雨区。

2. 臭氧层的破坏

臭氧层破坏是当前我们面临的三大全球性环境问题之一，对人类身体健康与生物生长有直接影响，因此受到世界各国的极大关注。

臭氧是大气中的微量气体之一，其主要浓集在离地面 15～50km 的大气

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

平流层中，集中了地球上 90% 的臭氧气体，即大气的臭氧层。虽然其浓度从未超过十万分之一，全部集中起来也只有比鞋底还要薄的一层。但它却有效地吸收了对生物有害的、波长小于 295nm 的太阳紫外线 UV-C，而对生物无害、波长大于 320nm 的太阳紫外线 UV-A 却让它们全部通过，对生物有一定危害、波长在 295～320nm 的太阳紫外线 UV-B 大部分也被吸收。从而保护人和地球上其他生命免遭过量紫外线的伤害。因此，臭氧层对地球生命如同氧气和水一样重要，没有臭氧层的防护，地球生命就会遭受毁灭性灾难，同时臭氧层对调节地球的气候也具有极为重要的作用。

1985 年 11 月在环境署总部召开了关于全球环境问题特别是臭氧层问题的讨论会，与会的专家们共同讨论了有关臭氧层的最新科研情况：由于大气中痕量气体浓度的增加，必然改变大气中的臭氧含量和在垂直面上的分布，这将影响紫外线对地面的辐射量。自 1970～1980 年同温层中的臭氧总量在减少，特别是 20 世纪 70 年代中期以来，根据卫星监测的结果，在南极洲上空臭氧总量在春季（即 10 月）浓度减少约 25%～30%，近年来南极上空出现了一个直径上千千米的臭氧层空洞（地球同温层臭氧平均含量高于 250 个多布森单位，而空洞中臭氧平均含量低于 200 个多布森单位）。科学家们预言：2050 年时，即使不考虑在南北极上空的特殊云层化学，在高纬度地区，臭氧的消耗将是 4%～12%，这就是说，停止使用氯氟烃和其他危害臭氧层的物质刻不容缓。

来自欧洲、美洲和亚洲的 100 多名科学家于 1991 年 11 月至 1992 年 3 月对北极上空的臭氧层进行首次大规模的测量，也发现了同南极类似的情况。

臭氧浓度降低和臭氧层的破坏，将对地球生命系统产生极大的危害。臭氧可以减少太阳紫外线对地表的辐射，臭氧减少导致地面接收的紫外线辐射量增加，对健康和植物会产生影响。因此科学家认为，保护臭氧层和解决全球气候变化是关系到人类生存的重大问题。据研究臭氧减少 1%，紫外线辐射所引起的白内障将使 10 万人失明，并增加 3% 的非黑瘤皮肤癌，皮肤癌和黑瘤死亡率也将增加。此外还影响免疫系统，它将抑制皮肤对某些感染的抵抗力。影响农作物的生长，如果臭氧浓度减少 25%，大豆的产量将下降 20%～25%。同时，氯氟烃也是能产生温室效应的气体，据估计目前气候变暖的因素中 10%～25% 是氯氟烃作用的结果。因此，保护臭氧层已成为一个全球性的问题。

导致大气中臭氧减少和耗竭的物质，主要是平流层内超音速飞机排放的大量 NO_x 以及人类大量生产与使用的氯氟烃化合物（氟里昂），如 $CFCl_3$（氟里昂-11）、CF_2Cl_2（氟里昂-12）等。1973 年，全球这两种氟里昂的产量

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

达 480 万 t，其大部分进入低层大气，再进入臭氧层。氟里昂在对流层内性质稳定，但进入臭氧层后，易与臭氧发生反应而消耗臭氧，以致降低臭氧层中臭氧浓度。导致大气中臭氧减少的机理较复杂，通常认为是与 NO_x 的催化作用有关。

国际保护臭氧层行动已持续了 20 多年，先后出台了《关于臭氧层行动世界计划》(1978 年)，《保护臭氧层维也纳公约》(1985 年)，《消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》(1987 年)，以及 1989 年 4 月发布了《赫尔辛基宣言》，1990 年又通过了修改后的《蒙特利尔议定书》。我国在 1992 年编制了《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》，核算了我国的受控制物质的生产量与消耗量，提出 2005 年全面停止生产 CFCs 类物质的计划。

目前臭氧层遭到破坏，主要是工业发达国家造成的。1990 年左右全世界每年使用的受控氯氟烃和卤族化合物物质约 114 万 t，其中美国占 28.6%，欧洲经济共同体占 30.6%，日本占 7%，独联体和东欧国家占 14%，澳大利亚和加拿大占 3.5%，上述合计占 83.7%。而中国和其他发展中国家只占 16.3%。根据“多排放、多削减、多负责”的原则，当今保护臭氧层控制和削减受控物质的重点在工业发达国家，这项历史的责任是不允许推托的。

3. 温室气体及全球气候变化

二氧化碳对全球气温的平衡起着重要作用。二氧化碳能让太阳的短波辐射透过大气到达地面并能吸收地面反射回空间的红外辐射（长波辐射）。从面使低层大气温度升高，使气温发生变化。

由于人类大量使用矿物燃料，加之毁坏森林又增加了二氧化碳的排放量，二氧化碳排放量已从 1950 年的 16.39 亿 t 增至 1984 年 53.30 亿 t。大气中二氧化碳的含量已从 19 世纪中叶的 260～280cm^3/m^3 增至 20 世纪 80 年代的 340cm^3/m^3。据预测，21 世纪中叶还可能达到 600cm^3/m^3。由于二氧化碳含量增倍，其他温室气体浓度增加也会很快，根据不同模式预测，到 2030 年全球平均温度将增加 1.5～4.5℃，极地升高 6～10℃。这一升温现象会造成很多影响：改变降雨和蒸发体系、影响农业和粮食资源、改变大气环流进而影响海洋水流，导致富营养地区的迁移、海洋生物的再分布和一些商业捕鱼区的消失。海洋变暖和冰川溶化，使海平面升高。估计全球平均温度会像从上次冰河时期到现在全球温度变化一样巨大。到 2100 年时，全球海面将会升高 144～217cm。进一步的研究表明，气候问题还不仅仅是二氧化碳气体问题，根据计算，其他痕量气体，特别是氟氯烃、一氧化二氮和甲烷也会对地面温度有影响，它们对气候的影响与二氧化碳造成的影响相当。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

对现存观测资料序列的国内外研究表明，近百年来全球平均地面气温增加了 0.3～0.6℃，气候的确有变暖的趋势。20 世纪最暖的 7 年都发生在 1980 年以后，即 1980 年、1981 年、1983 年、1987 年、1988 年、1990 年和 1991 年。1988 年全球平均气温比 1949 年至 1979 年多年平均气温高 0.34℃，比该世纪初的相应值上升了 0.59℃。近百年来，全球平均海平面上升了 14cm，也是全球变暖的有力佐证。但是地球上不同纬度、不同地理区域，其气候变化的趋势和幅度是存在明显差异的。

通过对近 40 年来我国气象台站的全年平均气温分析表明：东北、华北、新疆北部等地区有变暖趋势，但我国南部变暖不明显，甚至有变冷趋势。

南极的总面积原为 1300 万 km^2，但是近年来的卫星探测显示，20 世纪 70 年代以来，南极洲冰域已缩小了 2.848 万 km^2。最近，南极冰缘又有几处出现大幅度的缩小。此外，南极洲沿岸的冰川也正在向海里流失。从卫星在近 20 年间所拍到的图像可以发现，南极沿岸的 10 条冰川，每年往海里移动 105～2200m。科学家还发现，南维多利亚的霍尔湖的湖冰帽，在 1979 年至 1986 年之间薄了 3～6m。地球极地冰域的缩小，将影响到海平面的变化。历史资料表明，在过去的 1.8 万年间，由于极地边缘冰层的融化，海面上升了近 100m。估计，如果今后南、北两极的冰块进一步融化的话，海面若再上升 1m 左右，将会造成世界沿海地区的大灾难。此外，极地冰块的流失，还会改变海洋、空气的循环系统等。

气候变化还会对今后的人类环境带来最严重的威胁，它能影响全球生态系统、农业、水资源和海洋。臭氧层的改变威胁人类健康和产生其他危害。当然大气污染方面还有酸雨、光化学烟雾等也不容忽视。

联合国环境署正与世界气象组织和国际科学协会理事会等就全球性和区域性气候变化进行研究和评价。与会者一致认为，这个问题是当前必须处理的最严重的环境问题。目前已制定重要方案以期提高大众对该问题的认识，鼓励对气候变化进行区域性评价，查明有关对策，学习国内外的科学技术，提高关于空气污染、酸性降水和其他主要大气问题的知识和查明解决这些问题的办法。

（五）有毒化学品贸易的危险废物管理

过去数十年中，化学品的生产和使用猛增，现在的化学品国际贸易值每年逾 200 亿美元。有毒化学品（特别是杀虫剂）在国际贸易中给环境带来潜在的威胁。从环境的安全角度考虑，必需加强对化学品尤其是被禁止的或严格限制的化学品在国际贸易中的管理工作。1987 年 2 月环境署在伦敦召开了会议，通过了“国际化学品贸易中交流的伦敦准则”，此准则制定的目的是想在国际贸易中通过加强情报交流，从而提高各国使用和管理的经验以及

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

进口化学品的安全性。通过科学、技术、经济和法律资料的交流，使化学品得以安全处理，尤其是要交流禁止或严格限制的化学品情报。“准则”要求输出或输入国之间要加强合作，要对化学品对人类健康和环境存在的潜在危险负责。同时要求出口国在进口国缺乏有关化学品知识或没有取得进口国（特别是指发展中国家）同意的情况下不得以任何形式出口。61 个国家政府参加了这一工作。1988 年 9 月又在塞内加尔召开了国际化学品贸易交流情报专家会议，讨论“预先通知对方并取得对方同意”的具体合作方式。目前环境署已将有毒化学品贸易的伦敦准则修订为正式公约交各国政府通过。

由于各国经济发展不一致，世界各国对废物的管理方法有很大区别。1985 年 12 月环境署在开罗召开了会议，讨论、制定了危险废物的环境无害管理政策。要求从危险废物跨国界移动问题，输出国与输入国之间要本着对保护全球环境负责的精神实行国际合作。由于发达国家对危险废物的立法越来越多，结果导致增加了把这些废物倾卸于费用较低和管制较不严的地区（主要指发展中国家）趋向。如果不制定国际条约来对危险废物越界输送加以适当管制，即有可能发生任意处置的事情。联合国系统和环境署协同各国政府做了一些有关危险废物越界转移的管制工作，制定了一整套准则和原则，其目的是帮助各国制定危险废物的环境无害化管理政策，帮助各国避免因危险废物管理不善而带来严重的环境问题。通过实施准则各国可将废物安全管理政策和自己国家的经济发展政策结合起来。同样环境署已将“危险废物的环境管理开罗准则”修订、完善，成为国际公约。

（六）生物多样性危机

全世界自然环境的恶化，正在导致物种灭绝达到空前的速度，因此养护自然生态系统和保护生物多样性是当今世界迫切的问题之一。全世界已经正式辨明并分类的植物、动物、微生物品种有 170 万种，仍未发现或加以鉴定的动植物种不可记数，可能逾 3000 万种，多数都在热带具有作为食物、纤维、药品、化学品或其他材料来源的重大价值。不过由于人类活动的频繁，人类的足迹差不多已经遍及到世界上的每个角落，尤其是由于生物物种生境的不可逆转，这些生物物种正以空前的速度在灭绝。特别是全世界的湿地和天然林地受到了威胁，不仅是物种，即使是动植物种之内的品系和族系也在消失，因此物种多样性也在减少。这种损失在热带雨林区内最为显著。据估计，倘若一个森林区的原面积减少 10%，即可使继续存在的生物品种下降至 50%。由于所有栽培作物和家畜都来源于野生物种，因此，保护其野生亲属的样品代表作为继续进行遗传选择和改良的基础是绝对必要的。养护人类和自然遗产，基于经济和科学方面的论点早已受到确认。全世界都已认识到养护物种和生态系统在道义、文化、心理和娱乐上的价值。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

要有效地管理动植物就必须维持其生存环境并控制其利用。必须把养护目标结合到发展方案内。各国应制定国家养护战略，目前全世界约有 3000 个保护区。实现生存环境保护的面积不到全世界土地的 4%。

环境污染是促使生物多样性减少的另一重要原因，污染物毒性及地球气候的变化加剧了生物的死亡和灭绝。国际社会为此采取了一系列的行动，1980 年，联合国环境署（UNEP）和世界野生动物基金会（WWF）共同制定了《世界自然资源保护大纲》。1992 年，联合国环发大会通过了酝酿已久的《生物多样性公约》。国际上还建立了诸如国际资源和自然保护联合会，世界野生生物基金会等推动世界自然保护的国际组织。

（七）海洋污染

海洋面积辽阔而又拥有巨量的海水，由陆地流入海洋的各种物质全部被海洋所吞没，而海洋本身却没有因此而发生重大变化。正是这种稳定性，加上海洋是重要的运输渠道，使得海洋成为人类各类污染物的聚集地。百川归海，人类的工业与生活废水通过千百条江河汇集到大海之中，任何地面上的物质都可能通过水这种载体，甚至通过大气为载体进入海洋。从重金属到放射性元素，从无机物质到营养成分和食品，从石油到农药，从液体到固体，从物质到能量等等，都会造成海洋的污染。

据报道，人类每年向海洋倾倒约 600～1000 万 t 石油，约 1 万 t 汞，约 25 万 t 铜，约 390 万 t 锌，约 30 万 t 铅，约 100 万 t 有机氯农药等。废弃物和污染物对海洋生态系统特别是海洋生物构成巨大威胁。工业废物已毒死了北海的几千只海豹，死亡海豹的含汞量最高达 2860cm^3/m^3，高出正常水平的 600 倍以上。在许多国家的近海海域，鱼贝类因受重金属、农药或其他有毒物质污染而不能食用。

油污染对海洋生态的破坏是严重的，油在海面上漂移会杀死或严重影响浮游生物，从而破坏海洋生物的食物链，且越是高等的生物所受的影响越大。海洋污染往往不同于地面的水和大气污染，它污染面极大，并且随风和洋流迅速扩散，使污染的治理工作极难开展。一艘小型海轮发生泄漏往往会影响几百平方公里的海面。我们现在还没有足够的技术与经济实力对海洋污染进行治理。

第三节　环境污染对人体的危害

一、环境污染的分类

整体而言，环境污染来源于自然界和人为活动两个方面，前者称为第一环境问题，后者称为第二环境问题，它们可细分如下。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

- 自然污染源
  - 生物污染源：鼠、蚊、蝇、霉菌、病原体等
  - 非生物污染源：火山、地震、泥石流、矿石、矿泉、岩石
- 人为污染源
  - 生产性污染源：工业、农业、交通、科研
  - 生活性污染源：住宅、学校、医院、商业

我们通常所说的环境污染问题不是指自然灾害问题（第一环境问题），而是由于人类活动作用于周围环境所引起的人为环境问题（第二环境问题）。

随着人类社会生产力水平的不断提高和科学技术的不断进步，人类社会行为对环境系统的作用也越来越大。人类在开发环境、利用环境来创造和丰富物质文明的同时，也在污染和破坏自身的生存环境，并由此受到环境系统施加的“报复”，即产生了环境问题。当今的环境问题，可以分为环境污染和生态破坏两大类。

人为环境污染一般可分为两类，一是不合理开发利用自然资源使自然环境遭到破坏；一是城市化和工农业高速发展而引起的环境污染。总之，是人类社会发展与环境的关系不协调所引起的问题。

环境污染有各种类型，按环境要素可分为大气污染、水体污染、土壤污染等；按人类活动的性质可分为农业环境污染、城市工业环境污染……等；按造成污染的性质、来源可分为化学污染、生物污染、物理污染（噪声、放射性、热污染、电磁波等）以及固体废物和能源污染。

环境污染问题可以看做是一系列因果关系组成的系统，从生产系统开始污染的产生是一个连续的过程，污染主要是由大规模工业生产造成的，开发资源取得了原料和能源，破坏了原来的自然状况，各种原料、能源在生产中不能全部成为产品，形成废气、废水、灰尘和各种废弃物排入环境。

一般来说，未经污染的环境对人体功能是适合的，在这种环境中人能够正常地吸收环境中的物质而进行新陈代谢的生命活动。但当环境受到污染后，污染物通过各种媒介侵入人体，将会毒害人体的各种器官组织，使其功能失调，或者发生障碍，同时可能会引起各种疾病，严重时将危害生命。

环境污染使人类疾病谱和死因构成发生了很大的变化，过去的疾病谱以急性传染病占首位，近 20 年来传染病死亡已退出了前 10 位，而恶性肿瘤死亡率则呈上升趋势。

据世界卫生组织（WHO）1976 年估计，全世界 40 亿人口中，肿瘤发病率为 150/10 万人，其死亡率为 125/10 万人。据卫生部统计信息中心公布的我国 1994 年恶性肿瘤死亡率计算，我国 1994 年死于恶性肿瘤者可达 118 万人。据 WHO 公布的 45 个国家或地区资料，包括我国在内有 32 个国家或地区恶性肿瘤死亡率为死因的前两位。

我国流行病学调查结果认为，大气污染与肺癌之间有一定的相关性，表

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

现为城市人群肺癌死亡率普遍高于农村，上海市 1973 年至 1975 年肺癌分析表明，市中心区肺癌标化死亡率最高为 27.26/10 万，郊区次之为 14.27/10 万，农村为 8.5/10 万，呈现由城市向外围逐渐递减的趋势。

流行病学调查结果表明，水污染与消化系统癌症有一定联系：广西南宁地区 14 个县市调查发现，饮用塘水人群肝癌死亡率为 39.71/10 万，饮用水库水的为 25.77/10 万，饮用溪水的为 18.56/10 万，饮用浅井水的为 19.10/10 万，饮用泉水的为 19.14/10 万，饮用深井水的为 12.17/10 万，它们之间存在的差异在统计学上有明显意义。

二、环境污染物侵入人体的途径

有毒的环境污染物，它们可以通过多种途径侵入人体。大气中的有毒气体和烟尘，主要通过呼吸道作用人体。水体和土壤中的毒物，主要通过饮用水和食物经过消化道被人体所吸收。而一些脂溶性毒物如苯、有机磷酸酯类和农药，以及能与皮肤的酯酸根结合的毒物如汞、砷等，可经过皮肤被人体吸收。

1. 呼吸道系统

呼吸空气，对人体的生存是不可缺少的行为。一般成年人，每天需要呼吸两万次以上，每次呼吸的空气量大约为 500mL 左右。这样，大气中的污染物很容易通过呼吸道进入人体。整个呼吸系统，包括气管、支气管及肺泡等，黏膜组织都能吸收毒物，而吸收能力尤以肺泡最强。而且经肺泡吸收的毒物，是不经过肝脏的解毒作用而直接进入血液中循环，分布到全身，造成很大危害。如漂浮在空气中的气溶胶小粒子很容易被人吸入并沉积在支气管和肺部，粒子越小，越容易通过呼吸道进入肺部，其中特别是粒径小于 1μm 的粒子可以直达肺泡内，参看图 1-1。而往往小粒子中富集了大量的有毒物质。

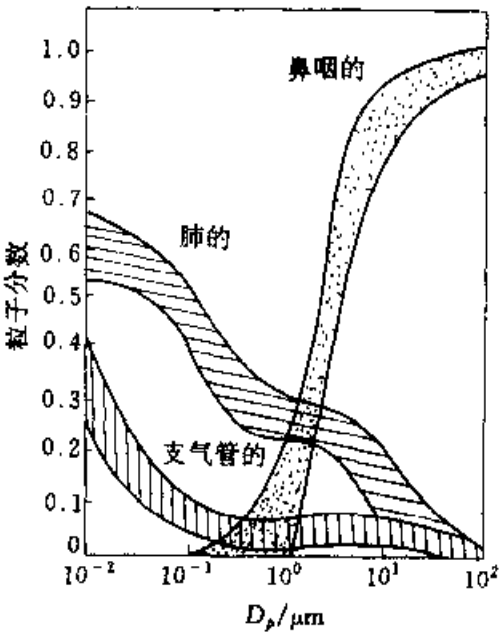


图 1-1 沉积在呼吸道中粒子作为粒径函数计算的粒子分数

2. 消化系统

污染物也可以经由口腔、肠、胃进入人体。肠、胃及口腔黏膜均可吸收毒物。不过需经过肝脏的解毒作用之后，才分布到全身，因此往往对口腔、肠胃及肝脏等器官造成危害。

3. 皮肤

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

有毒物质如苯、二硫化碳和有机磷化物等脂溶性物质，可以通过皮肤的表皮经过毛孔到达皮脂腺及腺体细胞而被吸收，还有些毒物可以通过汗腺进入人体。通过皮肤进入人体的有毒物质，也是不经过肝脏的解毒作用，而直接进入血液循环，分布到全身。

通过上述途径侵入人体内的污染物，在进入血液进行全身循环时，有的毒物在血液中即同血红细胞或血浆中的某些成分发生作用，破坏血液的输氧功能，抑制血红蛋白的合成代谢，发生溶血作用。有的毒物能在不同的身体器官和部位进行储存富集，产生毒性作用，或者进行生物转化作用，如铅蓄积在骨骼内，DDT 蓄积在脂肪组织中等。很多污染毒物在人体内经过生物转运和生物转化，而被活化或被解毒。肾脏、肠、胃等，特别是肝脏对各种毒物具有生物转化功能。体内毒物以其原形或代谢产物作用于靶器官，发挥其毒害作用。最后毒物经过肝脏、消化道和呼吸道排出体外，少数也可以随汗液、乳汁、唾液等排出体外；有的在皮肤的代谢过程中进入毛发而脱离机体。

三、环境污染对人体健康的危害

环境污染对人体健康的危害，是一个十分复杂的问题。有的污染物在较短时期内通过空气、水体、食物链等多种介质侵入人体，或几种污染物联合侵入人体，造成急性危害。也有些污染物，以小剂量持续地侵入人体，经过相当长时间才显露出对人体的慢性危害或远期危害，甚至影响到子孙后代。所以，可将环境污染对人体健康的危害，按时间分为急性危害、慢性危害和远期危害三种。

1. 急性危害

在短时期内（或者是一次性的），有害物大量地进入人体所引起的中毒为急性中毒。例如 20 世纪 30～70 年代世界几次大的烟雾污染事件，都属于环境污染的急性危害。急性危害对人体影响最明显，较为典型的是 1952 年 9 月发生在英国伦敦的烟雾事件，死亡达 4000 余人。在病理解剖中发现，死者多属于急性闭塞性换气不良，造成急性缺氧或引起心脏病恶化而死亡。

急性危害的急性毒作用，常用动物实验来阐明环境污染物对机体的作用途径、毒性表现和对机体的剂量与效应之间的关系。急性毒作用一般以半数有效量（ED_{50}）来表示，它指直接引起一群受试动物的半数产生同一中毒效应所需的毒物剂量。ED_{50}值越小，则受试物的毒性越高，反之则毒性越低。半数有效量加以死亡作为中毒效应的观察指标，则称为半数致死量（LD_{50}）或半数致死浓度（LC_{50}）。半数有效量是以数理统计方法计算出预期能引起 50% 的动物出现同一生物学效应的受试物剂量。它有一定的误差，故常用“可信限”来表示可能的变动范围。环境污染物毒性根据半数致死量，一般分为 5 级，具体见表 1-2。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 1-2 急性毒性分级

毒性分级	大鼠一次经口的 LD_{50}①	6只大鼠吸入4h，死亡2~4只的浓度（mg/kg）	家兔经皮肤 LD_{50}①	对人可能致死估算量②
极毒	<1	<10	<5	0.1
高毒	1~	10~	5~	3
中等毒	50~	100~	44~	30
低毒	500~	1000~	350~	250
微毒	5000	10000~	2180~	>1000

① 受试动物每千克体重所接受的受试物的毫克数。

② 指进入人体（60kg体重）的受试物克数。

2. 慢性危害

小量的有害物质，经过长时期的侵入人体所引起的中毒，称为慢性中毒。慢性中毒，一般要经过长时间之后才逐渐显露出来。环境污染物对人体的慢性毒作用，既是环境污染物本身在体内逐渐蓄积的结果，又是污染物引起机体损害逐渐积累的结果。例如，由镉污染引起的骨痛病便是环境污染慢性中毒的典型例子。

人和动物对慢性毒作用易呈现耐受性。但是，污染物长时间作用于机体，往往会损及体内的遗传物质，引起突变，给机体带来远期的危害，甚至通过遗传影响到子孙后代的身体健康。因此，慢性毒作用对人体的损害可能比急性毒作用更加深远和严重。

3. 远期危害

远期危害包括致畸作用、致突变作用和致癌作用。环境污染物通过入或动物母体影响胚胎发育和器官分化，使子代出现先天性畸形的作用，称之为致畸作用。致突变作用是指环境污染物或其他环境因素引起生物体细胞遗传物质或遗传信息发生突然改变的作用。而环境中致癌物质诱发肿瘤的作用称为致癌作用。目前，已被发现的致癌的化学物质越来越多，但是对于致癌物质的致癌机理尚不十分清楚。表1-3列举出的致癌物质，可供参考。由子引起癌症的因素相当复杂，致癌物质的作用又与剂量、体质，进人人体的途径和其他生活条件等多方面的情况有关系，所以有些物质在一些条件下是致癌

表 1-3 致癌物质

致癌器官	致癌物质
皮肤	铬、砷、钴等及化合物，多环芳烃类，X射线、电离辐射、紫外线等
肠道	砷、联苯胺、芳烃、亚硝胺
骨	铍及其化合物、氡及其子体、镭、铀核裂变物
造血系统	苯及其化合物
膀胱	2-萘胺、1-萘胺、联苯胺、4-氨基联苯、4-硝基联苯、亚硝胺、洋红、二甘醇，埃及血吸虫
肝	乙酰胺、氯化烯烃、黄曲霉素类等
甲状腺	氨基三唑

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

物质，而在另外一些情况下又可以没有致癌作用。

污染物在人体内的整个过程，包括从吸收、代谢、蓄积、转移及排泄过程，它们与引起中毒的疾病症状之间的相应关系，现在尚没有被充分认识，这也是环境医学工作者面临的一项重要研究课题。需要探讨的内容，大致可以分为：

① 污染物质对人体有无致癌作用；

② 对人体有无致畸变作用；

③ 有无缩短寿命的作用；

④ 有无降低人体各种生理功能的作用等。

第四节　环境工程概况

环境工程是环境科学的一个重要分支，是一门以工程手段防治污染、保护环境的综合性学科和技术。是在人类与各种污染进行斗争和保护生存环境过程中逐渐形成和发展起来的。从环境工程的形成和发展来看，主要有三个方面的内容，即环境污染防治工程、环境系统工程和环境质量评价工程。另外，围绕环境工程的经济工程、监测技术及卫生工程，也是环境工程的重要内容。

一、环境污染防治工程

环境污染防治工程主要是解决从污染产生、发展，直至消除的全过程存在的有关问题和采取防治措施。例如，确定和查明污染产生的原因、研究防治污染的原理和方法、设计消除污染的工艺流程、开发无公害能源和新型设备等等。污染防治工程既包括单个污染源或污染物的防治，也包括区域污染的综合防治。按照不同的专业，它又分为大气污染防治工程、水污染防治工程、固体废物处理与处置工程、噪声和振动控制工程、恶臭防治工程、生态污染防治工程等。

二、环境系统工程

环境系统工程就是运用数学、物理学、生物学等基本原理，对环境污染防治工艺、实验室模拟结果及污染系统实测数据进行系统分析，并应用现代方法，建立数学模式和污染控制模式等，从而对污染防治系统及其有关参数进行分析和描述，表达出它们间的相互关系，为配合控制污染物排放，正确选择污染防治工艺流程，提供科学依据。

环境系统工程就是利用现代数学方法和计算技术，合理地解决环境中存在的种种问题。从理论上讲，这样来解决环境问题是最优化、最理想的。但是，由于环境科学本身还比较年轻，环境工程手段亦处于发展阶段，再加上各种影响因素十分复杂，有些还搞不清楚，所以具体运用环境系统工程理论

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

解决环境问题还不普遍。随着科学技术的发展，系统工程解决的问题必将越来越多。

三、环境质量评价工程

环境质量评价就是对环境质量的优劣进行定量和半定量的描述和评定，以便为制定规划、采取措施和加强管理提供科学依据。通过环境质量评价，可以了解区域环境质量的历史和现状以及预断环境质量的发展趋势，从而为控制环境污染和治理重点污染源提出要求；为控制区域环境质量标准及污染物排放标准提供依据；为制订城市规划及工程项目建设方案提供指导。

首先把环境评价工作纳入法律条文的国家是美国。随后，瑞典、澳大利亚、日本、法国也在国家环境保护法中列入了环境质量评价。环境质量评价在20世纪70年代以后得到了迅猛的发展，环境质量评价工程已成为环境科学中一个重要的研究课题。我国从20世纪70年代后期也开始对建设项目开展环境质量评价工作。

四、环境工程的其他内容

环境工程的经济问题引起各国的普遍重视。20世纪60年代以来，用于环境保护的费用不断增加。环保费用占到国民经济的比例在逐年上升，有些工程项目中，环境工程的投资占到基建投资的10%以上，甚至更多。因此从技术经济的观点研究环境污染所造成的影响，选择效果更好而费用最低的控制措施，所以环境经济学也已成为环境工程的重要内容。

环境工程还包括环境监测及环境分析，通过环境监测和环境分析为环境工程的研究和设计资料和基础数据，为环境污染防治提供依据，同时环境工程项目的好坏也只能通过监测检查环境工程项目的效果，并可以通过监测评价工程项目对周围环境造成的近期和远期影响。所以在环境工程研究中，环境监测和分析也是比较重要的。

第五节　我国的环境保护

一、我国环境污染的特征

1. 污染的超前性

环境污染是工业化的产物，但是环境污染与经济发展之间并非是简单的线性关系。由于我国迅速的工业化和超常的产业结构，形成了庞大的“污染工业群”，使得我国在收入水平较低的阶段就发生了严重的环境污染。据统计，从1956年～1985年之间，能源、铁矿及有色金属的消耗量分别增长了14倍、24倍及23倍，1965年～1992年全国CO_2的排放量增加了6倍；我国工业废水、废气、废渣排放量在1990年分别达到249亿t、1495亿t和767亿t，至1994年全国废水排放量达408.3亿t，其中工业废水排放量

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

259.0 亿 t；废气排放量 11.4 万亿 m^3（不包括乡镇企业），工业烟尘排放量 807 万 t，工业固体废弃物产生量为 7.4 亿 t，全国 57.3% 的城市年降尘量超过暂定限值，54.5% 的城市 SO_2 浓度超过国家二级标准，81.6% 的城市出现了酸雨，全国七大水系和内陆河段中，68% 的水质在国家二类水质标准以下。工业污染不仅严重威胁人类的健康，还给经济发展带来了巨大的损害。如 1949 年～1988 年之间，我国因资源浪费、生态破坏以及环境污染造成的经济损失总计高达 26009 亿元，占累计国民收入很大的比重。淮河的严重污染导致被迫关闭沿岸 2000 多家小造纸、小印染企业，而对其修复治理则需 50 亿元的投入。目前我国在人均国民收入仅 370 美元的经济条件下，污染已相当于美国人均国民收入约 1 万美元，日本的人均国民收入约 4000 美元的水平。这大致相当于 20 世纪 70 年代西方工业国环境污染的程度，而中国目前经济发展的总体水平大体上只相当于发达国家 20 世纪 50 年代的水平。

2. 污染的广泛性

在西方发达国家，环境污染一般仅局限于城市。而在我国，由于 20 世纪 80 年代后乡镇企业工业经济的迅猛发展，污染面正从城市向农村发展，从而形成了全国区域范围内广泛的污染。中小企业的异军突起、高速发展是中国经济发展过程中出现的一个令人瞩目的现象。人们对中小企业在经济发展中作用的认识已从原来的轻视、怀疑甚至否定转变为普通的肯定和日益的关心，中小企业以其充分的活力和灵活的运行机制显示了其强大的生命力。据统计，1991 年我国 809.2 万家工业企业中，中小企业所占的比例已达 99.95%，中小企业的产值已达 20305 亿元，占全国工业总产值的 71.9%，“半壁江山”的作用变得更为明显。它的发展，为增强我国的经济实力，促进城乡经济繁荣、改善和提高人民特别是农村群众的生活、缩小城乡差别，起到了巨大的作用，应该说，乡镇经济对我国经济的高速发展功不可没，但由于乡镇企业技术相对落后，规模效益低，产业夕阳化，使其成为主要的污染源之一。

二、我国的环境保护及方针对策

国外一些发达国家在 20 世纪 60 年代后期，均先后制定了有关环境保护的各种条例、规定。如日本在 1967 年制定了《公害对策基本法》；美国国会在 1969 年通过了美国《国家环境政策法》等。

中华民族是有悠久历史文化的伟大民族，在古代文明史上长期处于世界的前列。在开发和利用自然环境和自然资源的过程中，逐步形成了一些环境保护的意识，在《周礼》、《左传》、《尚书》、《孟子》、《荀子》、《韩非子》、《史记》等书中均有记载和反映。

中国的环境保护事业的发展史，也是中国环境政策演变深化的历史。但

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

我国正式的环境保护事业起步较晚，自 1972 年 6 月我国派代表团出席了斯德哥尔摩的联合国人类环境会议，标志着我国把环境保护工作正式列入议程以来，先后召开了四次全国环境保护会议。经过近 30 年的努力，在污染防治上取得了很大的成绩，但也走过一些弯路。

斯德哥尔摩会议以后，在周恩来总理的关心下，于 1973 年 8 月 5 日至 20 日，国务院委托国家计委在北京召开了全国第一次环境保护会议，会上总结了我国建国以来正反两方面的经验，并在吸取国际上的“公害”教训的基础上，确定了我国的环境保护的“三十二字”方针。我国环境保护方针是“全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民”。会议还制定了《关于保护和改善环境的若干规定（试行草案）》。

1974 年 5 月，国务院批准成立国务院环境保护领导小组及办公室。随后，各省、自治区、直辖市和国务院有关部局也相应设立了环境保护管理机构。

从 1973 年以来，我国从中央到地方陆续建立了管理机构和科研教育机构。1984 年成立国务院环境保护委员会，并将城乡建设环境保护部环境保护局改为国家环保局。各省（区）、市（地）县也成立了相应的环境保护局，形成了相应的环境管理体系。

1978 年 3 月 5 日，五届人大一次会议通过的《中华人民共和国宪法》明确规定：国家保护环境和自然资源，防治污染和其他公害。

1979 年 9 月 13 日，五届人大常委会第十一次会议原则通过《中华人民共和国环境保护法（试行）》，并予以颁布。它是我国环境保护的基本法，为制定环境保护方面的其他法规提供了依据。确定了环境保护的基本方针（即三十二字方针）和“谁污染，谁治理”政策，明确要建立机构，加强管理。它标志着我国环境保护工作开始走上法制的轨道。

1982 年 12 月 4 日，五届人大五次会议通过《中华人民共和国宪法》，这部宪法在环境保护方面的规定比较详细、具体。如“国家保护环境和改善生活环境和生态环境，防治污染和其他公害”，“国家保障自然资源的合理利用，保护珍贵的动物和植物”，“国家保护名胜古迹、珍贵文物和其他重要历史文化遗产”等。

1983 年 12 月 31 日至 1984 年 1 月 7 日，国务院在北京召开了第二次全国环境保护会议，这次会议在总结过去十年环境保护工作经验教训的基础上，提出了到本世纪末我国环境保护工作的战略目标、重点、步骤和技术政策。会上，李鹏总理代表国务院宣布“保护环境是我国的一项基本国策”。提出了“三建设、三同时、三统一”(即经济建设、城乡建设、环境建设，同

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

步规划、同步实施、同步发展，实现经济效益、社会效益和环境效益的统一）的战略方针，确定了强化环境管理作为环境保护工作的中心环节。

1989 年召开的第三次全国环境保护会议上，在继续推行原来《三同时》制度、《环境影响评价》制度和《排污收费》制度的同时，又正式提出了环境管理的新五项制度：《环境保护目标责任制》、《城市环境综合整治定量考核》、《排放污染物许可证制度》、《污染集中控制》和《污染限期治理》等五项制度。前三项和后五项总称八项管理制度。

1989 年 12 月 26 日第七届人大常委会第十一次会议通过环境保护法，并从公布日起施行。该法的颁布标志着我国环境保护法制建设跨进了新阶段。新的《中华人民共和国环境保护法》把在实践中行之有效的制度和措施以法律的形式固定下来，这就形成了由环保专门法律、国家法规和地方法规相结合的环保法律法规体系。

1992 年 8 月，在联合国环境与发展大会以后不久，党中央、国务院又批准了我国环境与发展的十大对策。这十大对策吸取了国际社会的新经验，总结了我国环境保护工作 20 余年的实践经验，集中反映了当前和今后相当长的一个时期我国的环境保护政策。这十大对策是：（1）实行持续发展战略；（2）采取有效措施，防治工业污染；（3）深入开展城市环境综合整治，认真治理城市“四害”；（4）提高能源利用效率、改善能源结构；（5）推广生态农业，坚持不懈地植树造林，切实加强生物多样性保护；（6）大力推行科技进步，加强环境科学研究，积极发展环保产业；（7）运用经济手段保护环境；（8）加强环境教育，不断提高全民族的环境意识；（9）健全环境法制，强化环境管理；（10）参照环发大会精神，制定中国行动计划。在联合国环发大会之后的一年多时间内，我国就组织制定了《中国 21 世纪议程》。

1994 年 3 月国务院批准了《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》，它将环境问题与人口、资源、发展等问题一起统筹考虑，把可持续发展原则贯穿到各个领域。

1996 年 7 月，国务院召开了第四次全国环境保护大会，会议确定了《国家环境保护“九五”计划和 2010 年远景目标》，明确了要实行经济体制和经济增长方式这两个根本转变，把科教兴国和可持续发展作为两项基本战略。发布了《国务院关于环境保护若干问题的决定》，部署了《污染物排放总量控制计划》和《跨世纪绿色工程规划》。

二十多年来，我国全民族的环境意识有很大提高。从认识上、战略思想上、管理思想上发生了转变，这是举国上下共同努力的结果，是环保战线多方面努力的结果。认识上的转变经历了由浅入深、由“小环境”到“大环境”、由片面到全面的过程。战略思想的转变：经济建设实践已经证明，经济稳步

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

持续发展，是环境得到保护的基本条件，盲目发展经济的后果，只能带来严重的环境问题，而只考虑环境问题，又会限制经济的发展。经济发展既要遵守经济规律又要遵守自然规律。我国的经济发展战略，强调注重效益、提高质量、协调发展、稳步增长，在发展中要注意环境保护、维持生态平衡。管理思想的转变：从1979年起，我国环境保护管理工作，已从一般行政管理发展到法制管理，环境影响评价制度的建立，是重要的管理手段之一。

表1-4列出了近年来有关中国环境保护与可持续发展的重大研究、决定和计划。

表1-4　近年来中国环境保护与可持续发展的重大研究、决定和计划

序号	名　称	批准机关及日期	主要内容
1	中国环境与发展十大对策	中共中央、国务院，1992.8	指导中国环境与发展的纲领性文件
2	中国环境保护战略	国家环保局、国家计委，1992	关于环境保护战略的政策性文件
3	中国逐步淘汰破坏臭氧层物质的中国方案	国务院，1993.1	履行《蒙特利尔议定书》的具体方案
4	中国环境保护行动计划（1991～2000）	国务院，1993.9	全国分领域的10年环境保护行动计划
5	中国21世纪议程	国务院，1994.3	中国人口、环境与发展的白皮书，国家级的《21世纪议程》
6	中国生物多样性保护行动计划	国务院，1994	履行《公约》的国家级行动计划
7	中国城市环境管理研究	国家环保局、建设部，1994	环绕城市污水和垃圾的研究
8	中国：温室气体排放控制的问题与对策	国家环保局、国家计委，1994	对中国温室气体排放清单及削减费用的分析研究，提出控制对策
9	中国环境保护21世纪议程	国家环保局，1994	部门级的《21世纪议程》
10	中国林业21世纪议程	林业部，1995	部门级的《21世纪议程》
11	中国海洋《21世纪议程》	国家海洋局，1996.4	部门级的《21世纪议程》
12	国务院关于环境保护若干问题的决定	国务院，1996.8	国务院的法规性文件，共10个方面，有明确的目标和措施
13	国家环境保护“九五”计划和2010年远景目标	国务院，1996.9	指导今后5年和15年的环境保护工作的纲领性文件
14	中国跨世纪绿色工程规划（第一期）	国务院，1996.9	国家环保“九五”计划的具体化，有项目、有重点、有措施
15	全国主要污染物排放总量控制计划	国务院，1996.9	“九五”期间削减污染物排放的国家计划
16	关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知	中共中央、国务院 1997.4	共7条，强调只能增加，不能减少，要严格管理、审批与监督
17	中国生物多样性国情研究报告	国务院，1997.7	共5章，包括现状、威胁、保护工作、经济价值评估、资金需求等

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

续表

序号	名　　称	批准机关及日期	主要内容
18	酸雨控制区和二氧化硫污染控制区划分方案	国务院,1998.1	在两区内要求二氧化硫达标排放,并实行排放总量控制
19	全国生态建设规划	国务院,1998	国土资源、森林、水利等建设规划
20	关于保护森林资源制止毁林开荒和乱占林地的通知	国务院,1998	
21	全国生态环境保护纲要	国家环保总局,1998	保护生态环境的目标任务和措施
22	关于限期停止生产销售使用车用含铅汽油的通知	国务院,1998.9	共9条,在全国范围限期停止生产、销售、使用无铅汽油

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第二章　化工对环境的污染

化学工业是环境污染较为严重的部门，从原料到产品，从生产到使用，都有造成环境污染的因素。化学工业的特点是产品多样化，原料路线多样化和生产方法多样化，随着化工产品、原料和生产方法的不同，污染物也多种多样。首先弄清这些污染物的来源和特点，对于进行污染防治具有重要意义。

第一节　化工环境污染概况

化学工业是对环境中的各种资源进行化学处理和转化加工的生产部门，其产品和废弃物从化学组成上讲都是多样化的，而且数量也相当大，这些废弃物在一定浓度以上大多是有害的，有的还是剧毒物质，进入环境就会造成污染。有些化工产品在使用过程中又会引起一些污染，甚至比生产本身所造成的污染更为严重、更为广泛。

我国的工业污染在环境污染中占 70%。随着工业生产的迅速发展，工业污染的治理工作越来越引起人们的广泛注意。我国对工业污染的治理十分重视，从 1973 年建立环境保护机构起，各级环境保护部门就开展工业“三废”的治理和综合利用。几十年来，国家在工业污染治理方面进行了大量投资，建立了大批治理污染的设施，取得了比较明显的环境效益。然而，我国工业污染治理的发展还远远落后于工业生产的发展，到目前为止，我国工业污染的治理率还很低，工业废水治理率仅 20%，工业废气治理率为 56%，工业废渣治理率为 50%。因此，解决我国工业污染的任务还相当艰巨。

西方发达国家，由于近代化学工业迅速发展，化工污染也随之严重。从化学工业的发展过程来看，国外化工污染大体可以分为三个阶段。

1. 化学工业污染的发生期

早期的化学工业（大约在 19 世纪末），是以生产酸、碱等无机化工原料为主。虽然也有些有机化工原料的工业，如以煤焦油为原料合成染料以及酒精工业等，但都还是处于发展的初级阶段。特别在生产规模上与无机化学工业相比要小得多，所以当时化学工业主要的污染物还是酸、碱、盐等无机污染物。同时，这一时期的无机化工生产规模没法与现在的化学工业相比，品种也比较少，因此产生的污染物质比较单一，这不足以构成大面积的流域性污染，环境污染问题还不明显。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

2. 化学工业污染的发展时期

从20世纪初到20世纪40年代，由于冶金、炼焦工业的迅速发展，化学工业也随之发展，并进入以煤为原料生产化工产品的煤化学工业时期。

从那时起，煤不再单纯作为燃料燃烧，而且成为化学工业的主要原料。一系列以煤、焦炭和煤焦油为原料的有机化学工业产品开始大量生产，大量新建的化工企业不断兴建，世界化学工业有了较快的发展。在这个时期内无机化学工业的规模和数量也不断扩大，所以造成的无机污染在数量上及危害程度上都有所加剧，而且有机化学工业的发展也开始加快，导致有机污染对环境污染的影响加大，有时与无机污染物有协同作用。因此，化学工业污染现象变得更加严重。

3. 化学工业污染的泛滥时期

从20世纪50年代开始，世界各国陆续发现了储量丰富的油气田，从此石油工业迅速成为现代能源及国民经济的重要组成部分。石油工业的崛起，引起世界各国的燃料结构逐步从煤转向石油和天然气。化学工业也进入了以石油和天然气为主要原料的“石油化学时代”，石油化学工业开始迅猛发展。美国在1970年的石油化工产值约为70亿美元，与1960年相比增长了6倍。随着石油化学工业的高速发展，环境污染泛滥成灾，达到了前所未有的地步。污染类型也发生了质的转变，由原先的煤烟型转化为石油型污染。

化工污染，是化学工业发展过程中亟待解决的一个重大问题，若不能妥善加以解决，势必会制约化学工业的可持续发展。因此，努力提高环境保护和治理环境污染的科学技术水平，已成为促进经济发展的必要手段。化工污染除了决定于化工生产过程本身外，还与生产的管理有密切的关系。

我国化工生产装置及工艺技术特点大致可分为如下几种状况。

(1) 投产运行期近30年，现处于超期服役的装置。这类装置工艺落后、设备陈旧、“三废”排放点及排放量都较多，是企业生产的重点污染源。对这些装置进行清洁生产审计，可减少污染物的排放量和原材料的消耗。

(2) 运行期为10~20年的生产装置。这些装置有的是引进国外技术及关键设备，有的是国内20世纪80年代的技术。它们的现状和特点是：①运行稳定，实现了工艺过程的较好控制；②工艺技术已落后于当今的先进水平，亟待改进；③没有采用计算机系统控制生产过程；④有一定的“三废”排放，没有全部做到回收利用。所有这些，不符合“清洁的原料、清洁的生产过程和产品”的概念，所以，这类生产装置是属于有潜力的审计对象。这些装置的审计重点是：工艺的可行性及最佳运行点；原料的最低消耗量；污染物的可利用性；是否有可行的新工艺。

(3) 全套引进的具有世界先进水平的、运行期在10年以内的生产工艺

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

和装置。它们多采用世界 20 世纪 80 年代末、90 年代初的先进工艺技术。这些装置有以下特点：工艺合理，产率高，成本低，排污少，设备密封性好，多为计算机连锁控制，有相应的废物收集系统（如废气吸收及废水收集系统），做到了正常及不正常生产停车时，没有或有较少的“三废”排放。这是当前化工生产中比较清洁的工艺，在现阶段这些装置不是清洁生产审计的重点。

第二节　化工污染物种类及来源

按污染物的性质化工污染物的种类可分为无机化学工业污染和有机化学工业污染；按污染物的形态来分，有废气、废水及废渣。总的来说，化工污染物都是在生产过程中产生的，但其产生的原因和进入环境的途径则是多种多样的。具体包括：①化学反应的不完全所产生的废料；②副反应所产生的废料；③燃烧过程中产生的废气；④冷却水；⑤设备和管道的泄漏；⑥其他化工生产中排出的废弃物。概括起来化工污染物的主要来源大致分为以下两个方面。

一、化工生产的原料、半成品及产品

1. 化学反应不完全

目前，所有的化工生产中，原料不可能全部转化为半成品或成品，其中有一个转化率的问题。未反应的原料，虽有部分可以回收再用，但最终总有一部分因回收不完全或不可能回收而被排放掉，若化工原料为有害物质，排放后便会造成环境污染。化工生产中的“三废”实际上是生产过程中流失的原料、中间体、副产品，甚至是宝贵的产品。尤其是农药、化工行业的主要原料利用率一般只有 30%～40%，即有 60%～70%以“三废”形式排入环境。因此，对“三废”的有效处理和利用，既可创经济效益又可减少环境污染。如某药业公司生产喹乙醇，每吨产品所需的原料消耗达 7.24t（见表 2-1），除掉原料中的水分，实际原料消耗达 3t，放原料的实际利用率只有 33%左右，剩余的 67%原料以“三废”形式排入环境，这其中还不包括辅料及能源的消耗。

表 2-1　喹乙醇生产中主要原料消耗

序号	原料名称	单耗/(t/t 产品)	序号	原料名称	单耗/(t/t 产品)
1	邻硝基苯胺	0.75	4	乙醇胺	0.45
2	次氯酸钠	4.70	5	乙醇	0.60
3	液碱	0.30	6	双乙烯酮	0.44

又如氮肥工业利用氨与硫酸的中和反应制取硫酸铵时，虽然反应过程比

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

较简单，技术也比较成熟，但 260kg 氨和 750kg 硫酸，质量共 1010kg，生产的硫酸铵也只有 1000kg，还有约 1% 的原料不能有效反应，随着排气跑到空气中去了。再如硫酸工业制造硫酸时，最后的工序是用硫酸吸收三氧化硫，吸收后的废气排入空气中，其中既含有硫酸不吸收的二氧化硫，也含有吸收不完全而随着废气跑掉的三氧化硫和硫酸雾。

2. 原料不纯

化工原料有时本身纯度不够其中含有杂质，这些杂质因一般不需要参与化学反应最后也要排放掉，而且大多数杂质为有害的化学物质，对环境会造成重大污染；有些化学杂质甚至还参与化学反应，而生成的反应产物同样也是所需产品的杂质，对环境而言也是有害的污染物。例如氯碱工业电解食盐溶液制取氯气、氢气和烧碱，只能利用食盐中的氯化钠，其余占原料约 10% 左右的杂质则排入下水道，成为污染源。

3. “跑、冒、滴、漏”

由于生产设备、管道等封闭不严密，或者由于操作水平和管理水平跟不上，物料在贮存、运输以及生产过程中，往往会造成化工原料、产品的泄露，习惯上称之为“跑、冒、滴、漏”现象。这一现象不仅造成经济上的损失，同时还可能造成严重的环境污染事故，甚至会带来难以预料的后果。

二、化工生产过程中排放出的废弃物

1. 燃烧过程

化工生产过程中一般需要在一定的压力和温度下进行的，因此需要有能量的输入，从而要燃烧大量的燃料。但是在燃料的燃烧过程中，不可避免地要产生的大量的废气和烟尘，对环境造成极大的危害。

烟气中各种有害物质的含量与燃料的品种有很大的关系。如以重油为燃料时，各种污染物的排放量列于表 2-2。以煤为燃料时，污染将更为严重。

表 2-2 燃烧重油时各种污染物的单位排放量

污染物	排放量/(kg/m³ 油)		污染物	排放量/(kg/m³ 油)	
	大用户	小用户		大用户	小用户
乙醛	0.049	0.164	SO_2	12.874×S%	12.874× S%
CO	0.0033	0.164	SO_3	0.1968×S%	0.164×S%
烃类化合物	0.2624	0.164	烟尘	0.656	0.984
NO_x（以 NO_2 计）	8.528	5.904			

注：1. S% 指重油中硫的含量。

2. 大用户指大型工业锅炉，小用户指小型商业或民用小锅炉。

鉴于污染物的单位排放量都是在一些特定的条件下产生的，各地区、各单位及不同时期由于条件的不同，测得的数值会有所差异，甚至会有很大的变化。有人对我国使用的典型煤炭、燃油和天然气燃烧时产生的各种污染物

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的排放量，根据有关的资料和实际监测等多方面数据进行统计处理，现将所得的结果列于表 2-3 中。

表 2-3 燃烧各种燃料的污染物排放量

污染物	排放量/kg					
	燃烧 1t 煤炭		燃烧 $1m^3$ 燃油		燃烧 100 万 m^3 天然气	
	大用户	小用户	大用户	小用户	大用户	小用户
CO	0.23	22.7	0.05	0.238	ND	6.3
NO_x	9.08	3.62	12.47	8.57	6200	1843
SO_2	16.72S*		18.68S*		630	
烟尘	3	11	1	1.2	239	302

注：表中 S* 指煤炭或重油中硫的含量。

2. 冷却水

化工生产过程中除了需要大量的热能外，还需要大量的冷却水。例如生产 1t 烧碱，大约需要 100t 冷却水。在生产过程中，用水进行冷却，一般有直接冷却和间接冷却两种方式。当采用直接冷却时，冷却水直接与被冷却的物料进行接触，这种冷却方式很容易使水中含有化工物料而成为污染物质。但当采用间接冷却时，虽然冷却水不与物料直接接触，但因为在冷却水中往往加入防腐剂、杀藻剂等化学物质，排出后也会造成污染问题，即使没有加入有关的化学物质，冷却水也会对周围环境带来热污染。热污染会影响到渔业生产，因水温升高使水中溶解氧减少，另一方面又使鱼的代谢率增高而需要更多的溶解氧，鱼在热应力作用下发育受到阻碍，甚至死亡。根据研究表明，在不适合的季节，河流水温只要增高 5℃，就会破坏鱼类的生活。一般水生生物能够生存的水温上限是 33～35℃，大约在此温度下，一般的淡水有机体还能保持正常的种群结构，超过这一温度就会丧失许多典型的有机体。藻类种群也随温度而发生变化。在具有正常混合藻类种的河流中，在 20℃时硅藻占优势；在 30℃时绿藻占优势；在 35～40℃时蓝藻占优势。蓝藻占优势时，则发生水污染，水有不好的味道，不宜供水，并有些种属对牲畜和人类有毒害作用。

3. 副反应

化工生产中，在进行主反应的同时，经常还伴随着一些人们所并不希望得到的副反应。副反应产物（副产物）虽然有的经过回收之后，即使可以成为有用的物质，但是往往由于副产物的数量不大，而且成分又比较复杂，要进行回收必将会带有许多困难，经济上需要耗用一定的经费，所以往往将副产物作为废料排弃而引起环境污染。

如磷肥工业中用磷矿、焦炭、硅石反应制取黄磷时，同时还生成有一氧化碳和硅酸钙，分别形成了废气和废渣：

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 \xlongequal{} 2P + 5CO\uparrow + 3CaSiO_3$$

又如纯碱工业中利用氯化镁和氢氧化钙反应制取氢氧化镁时，同时还生成氯化钙，形成废水：

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \xlongequal{} Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2$$

4．生产事故造成的化工污染

比较经常发生的事故是设备事故。尤其是化工生产，因为原料、成品或半成品很多都是具有腐蚀性的，容器、管道等很容易被化工原料或产品所腐蚀坏，如检修不及时，就会出现“跑、冒、滴、漏”等污染现象，流失的原料、成品或半成品就会造成对周围环境的污染。比较偶然的事故是工艺过程事故。由于化工生产条件的特殊性，如反应条件没有控制好、或催化剂没有及时更换，或者为了安全而大量排气、排液，或者生成了不需要的东西。这种废气、废液和不需要的东西，数量比平时多，浓度比平时高，就会造成一时的严重污染。如某氮肥厂在一次事故中向江水里排放了大量的高浓度的氨水，使 2km 长的江段发生死鱼事件。

总之，化学工业排放出的废弃物，不外乎是三种形态的物质，即废水、废气和废渣，总称为化工“三废”。因为，任何废弃物本身并非是绝对的“废物”，从某种程度上讲，任何物质对人类来说都是有用的，一旦人们合理地利用废弃物，就完全能够“变废为宝”。

第三节　化工生产的污染特点

化学工业排出的污染物对水和大气都会造成污染，尤以水污染问题更为突出。化工废水是在化工生产过程中所排出的废水，其成分主要决定于生产过程中采用的原料以及应用的工艺。化工废水又可分为生产污水和生产废水。所谓的生产废水是指较为清洁，不经处理即可排放或回用的化工废水（例如化工生产中的冷凝水）。而那些污染较为严重，须经过处理后方可排放的化工废水就称之为生产污水。

一、水污染的特点

国外化工厂一般多集中布置在江、河、湖、海附近，生产废水大多就近排入水域，因此对水域的污染极为严重。化工废水的污染特点有以下几个方面。

1．有毒性和刺激性

化工废水中含有许多污染物，有些是有毒或剧毒的物质，如氰、酚、砷、汞、镉和铅等，这些物质在一定浓度下，大多对生物和微生物有毒性或剧毒性；有的物质不易分解，在生物体内长期积累会造成中毒，如有机氯化合物；有些据称是致癌物质，如多环芳烃化合物、芳香族胺以及含氮杂环化

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

合物等；此外，还有一些有刺激性、腐蚀性的物质，如无机酸、碱类等。

2. 生化需氧量（BOD）和化学需氧量（COD）都较高

化工废水特别是石油化工生产废水，含有各种有机酸、醇、醛、酮、醚和环氧化物等，其特点是生化需氧量和化学需氧量都较高。这种废水一经排入水体，就会在水中进一步氧化分解，从而消耗水中大量的溶解氧，直接威胁水生生物的生存。

3. pH 不稳定

化工生产排放的废水，时而呈强酸性，时而呈强碱性，pH 很不稳定，对水生生物、构筑物和农作物都有极大的危害。

4. 营养化物质较多

化工生产废水中有的含磷、氮量过高，造成水域富营养化，使水中藻类和微生物大量繁殖，严重时还会形成“红潮”，造成鱼类窒息而大批死亡。

5. 废水温度较高

由于化学反应常在高温下进行，排出的废水水温较高。这种高温废水排入水域后，会造成水体的热污染，使水中溶解氧降低，从而破坏水生生物的生存条件。有的鱼类在水温 30℃以上就会死亡。

6. 油污染较为普遍

石油化工废水中一般都含有油类，不仅危害水生生物的生存，而且增加了废水处理的复杂性。

7. 恢复比较困难

受化工有害物质污染的水域，即使减少或停止污染物排出，要恢复到水域的原来状态，仍需很长时间，特别是对于可以被生物所浓集的重金属污染物质，停止排放后仍很难消除污染状态。

水的污染特点如图 2-1 所示。

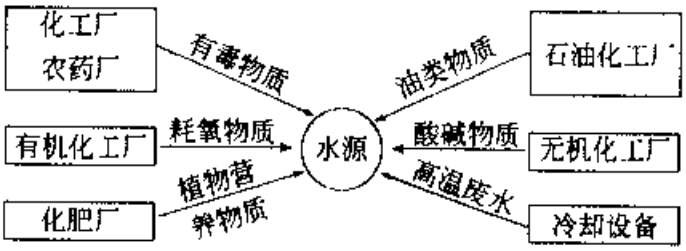


图 2-1　水的污染示意图

二、大气污染的特点

空气和水一样是人类生存不可缺少的关键性物质，但是，因为在正常情况下人们可以随时随地得到它，所以往往不觉得其珍贵。其实我们周围的空气和人类生存的关系甚为重要，人在 5 天内不饮水尚能生存，而人只要有 5 分钟断绝空气就会死亡。空气提供人们需要的氧气，对人类生命起着决定作

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

用。空气中的污染物数量超过一定浓度，将引起空气质量恶化，从而影响人体的健康和生物的生存。

化工生产过程中排放的气体（化工废气），通常含有易燃、易爆、有刺激性和有臭味的物质，污染大气的主要有害物质有碳氢化合物、硫的氧化物、氮氧化物、碳的氧化物、氯和氯化物、氟化物、恶臭物质和浮游粒子等。化工废气对大气的污染特点如下。

1. 易燃、易爆气体较多

这类气体有低沸点的酮、醛、易聚合的不饱和烃等。在石油化工生产中，特别是发生事故时，会向大气排出大量易燃、易爆气体，如不采取适当措施进行处理，容易引起火灾、爆炸事故，危害很大。为了防止火灾和爆炸的危害，通常都把这些气体排到专设的火炬系统进行焚烧处理。

2. 排放物大都有刺激性或腐蚀性

化工生产排出刺激性和腐蚀性的气体很多，如二氧化硫、氮氧化物、氯气、氯化氢和氟化氢等，其中以二氧化硫和氮氧化物的排放量最大。这是因为化工生产过程中需要加热和燃烧的设备较多，这些设备无论用煤、重油或天然气作燃料，在燃烧过程中都会产生大量的二氧化硫和氮氧化物等气体。此外，在硫酸生产和使用硫酸的生产过程中，也会产生大量的二氧化硫。二氧化硫气体直接损害人体健康，腐蚀金属、建筑物和器物的表面，而且还易氧化成硫酸盐降落地面，污染土壤、森林、河流和湖泊。在硝酸、硫酸、氮肥、尼龙和染料的生产过程中，会产生大量的氮氧化物，它除直接损害人体健康外，对农林业也有极大破坏作用。

3. 浮游粒子种类多、危害大

化工生产排出的浮游粒子包括粉尘、烟气和酸雾等，种类繁多，其中以各种燃烧设备排放的大量烟气和化工生产排放的各种酸雾对环境的危害较大。烟气中微小碳粒子吸附性很强，能吸附烟气中的焦油状碳氢化合物，如苯并芘是一种致癌物质，它容易被烟气吸附而污染环境，威胁人体健康。特别是浮游粒子与有害气体同时存在时能产生协同作用，对人体的危害更为严重。

三、固体废弃物污染的特点

由工矿企业的生产过程中所排出的丢弃物质，都称为废弃物，这些废弃物以固体形式存在的，就叫做固体废弃物，通常又叫做废渣。工业废渣，按照其来源的不同，可以分为冶金废渣、采矿废渣、燃料废渣、化工废渣等等。

化工废渣，是由化学工业生产中排出的工业废渣，包括硫酸矿渣、电石渣、碱渣、塑料废渣等。其中以硫酸矿渣数量较大，每生产 1t 硫酸，要排出 1.1t 废渣。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

工业废渣对环境的污染，主要表现在下面三个方面。

1．对土壤的污染

存放废渣需要占用大量的场地，在自然界的风化作用下，到处流散，尤其是有毒的废渣，即使土壤受到污染，又可导致农作物等受到污染，污染物转入农作物或者转入水域后，会给人类健康带来很大的危害。而且一旦土壤受到污染，很难得到恢复，甚至永远成为不毛之地。

2．对水域的污染

工业废渣对水域的污染，主要通过四种途径可由图 2-2 来说明。废渣对水域的污染以化工废渣最为突出，尤其是将化工废渣不做任何处理，直接倒入江河、湖泊或沿海海域，造成更为严重的水体环境污染。

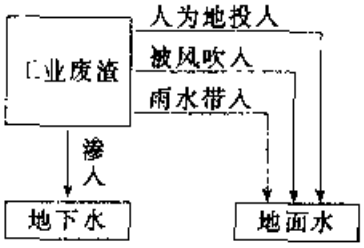


图 2-2　废渣对水域的污染途径

3．对大气污染

化工废渣在堆放过程中，在温度、水分的作用下，某些有机物质发生分解，产生有害气体扩散到大气中，对大气造成污染。例如，石油化工厂排出的重油渣及沥青块等，在自然条件的作用下，要产生多环芳烃气体。而多环芳烃被认为是致癌物质，可引起癌症发生。

总的来说，固体废弃物对环境的污染，虽然还没有废水、酸气那样严重，但从其所造成的危害来看，是必须加以治理的。

第四节　化工污染防治的发展趋势

一般认为，有效地控制污染源，主要是在于合理地选择适当的工艺流程、选择有效的操作条件和生产设备以及加强企业的管理，并对废弃物进行妥善处理。同时化工污染来源于生产过程中流失的原料、中间体、产品和副产物，将其回收利用，既可为国家创造物质财富，又可减轻对环境污染。因此，开展综合利用，是企业挖掘内部潜力、增产节约、消除污染、保护环境的一条积极方针。

一、采用和开发少废无废工艺

化工生产在资源转化为产品的过程中，生产一种产品往往有多种原料路线和生产方法，不同的原料路线和生产方法产生的污染物的种类和数量可能有很大的差异。无废少废工艺对保护环境具有决定性的作用。因此采用和开发这类工艺能将污染物最大限度地消除在工艺过程中，例如制造乙醛时，如果采用乙炔作为生产原料，利用水合法，则：

$$CH{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{HgSO_4} CH_3{-}CHO$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

其中所用的催化剂硫酸汞是一种溶液，这种溶液每升中相当含有硫酸200g、汞0.4～0.5g和氧化铁40g。由于采用汞催化剂而造成汞污染。当改用乙烯为生产原料，利用直接氧化法，则反应式为：

$$C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CH_3CHO$$

可以不用汞作催化剂，从而避免了汞的污染。

在氯乙烯的生产工艺中，有乙炔法和乙烯氧氯化法，前者需要电石为原料，不仅耗能多，而且排放大量的含尘量高的废气，还有大量的含汞含硫废水、废渣排出，而采用氧氯化法基本上不产生废物。再如生产烧碱有水银法、隔膜法和离子膜法，前两种方法分别存在着汞污染和石棉绒、铅、沥青污染等问题，对人体危害极大，而采用离子膜法从根本上消除了上述物质的污染。因此目前此法已在国内外得到普遍使用。在涂料生产中，污染大气严重的溶剂性涂料正逐步向水溶性涂料、粉末涂料转换，采用只排放少量固体废渣的氯化法生产钛白，将逐渐淘汰排放大量废硫酸和废气的硫酸法。又如染料工业中用蒽醌制取四氯蒽醌的老工艺十分冗长，产生大量有害有毒的含汞废液和废水。现在已开发成功了少废无废工艺，改用碘作催化剂，大大简化了工艺流程，减少了废水量。苯胺生产采用酚和氨作原料的少废无废工艺，较硝基苯铁屑还原或改用催化加氢还原工艺，具有流程工序少，设备简单等优点，投资仅为硝基苯装置的25%，成品苯胺的质量大大提高，生产成本可降低10%～15%。

在改变原料路线的生产方法的同时，改进生产设备也是实现清洁生产、控制污染源的另一重要途径。例如，对化学物质的直接冷却，如果改用间接冷却器进行间接冷却，可以减少污染物的排放数量。另外，提高设备、管道的严密性可以减少漏损，同样可以减少污染程度。另外加强企业的管理，提高操作人员的素质，防止原料及产品的“跑、冒、滴、漏。”

此外，采用密闭循环是当前化工生产过程中改进的一个新的发展方向。密闭循环，是指生产系统的废弃物，通过一定的治理技术，重新回到系统中加以使用，以避免污染物排入周围环境，同时可以提高原料的利用效率、提高产品的产率。这种生产系统，又称为“零排放”系统。这样，既可降低原料消耗定额又减少了污染物的危害。例如，过去采用氨碱法生产纯碱，原料食盐的利用率比较低，有大量的无机盐物质排入水域，造成了周围水源的环境污染，长期得不到有效的解决。近年来，日本发展了联合制碱法，该工艺采用较为典型的密闭循环流程，代替氨碱法制造纯碱，废液基本上不排出，在很大程度上改善了过去的环境污染问题。

在推广水的重复利用技术方面，也采用了闭路循环系统。不少国家如美

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

国、日本、前苏联等以水的重复利用和循环回用作为保护水源、控制环境污染的重要技术措施，工业用水的循环使用率一般在65%以上。在机械、造船、造纸、化工、煤炭、化肥等工业部门，有不少实现工业废水闭路系统的实例，在技术上已达到相当水平，目前正在推广应用中。由于水的重复利用率的不断提高，即使工业继续发展，而总的取水量和工业废水的排放量仍将逐年有所降低，因而在一定程度上减缓了水源不足的紧张局面。

二、加强废弃物综合利用实现资源化

近年来化工部门在化肥、氯乙烯、炭黑等行业污染治理中，开发推广了不少资源合理利用项目，事实说明化工行业的“三废”综合利用有巨大的潜力。以废气中排放的一氧化碳为例，据调查，仅五个化工行业产生的废气中的CO等可用物质就相当可观，如表2-4所示。

表 2-4 五个化工行业废气中CO及其他组分含量

废气来源	废气组成/%					热值/[kJ/m³(标)]	产生量/[m³(标)/t(产品)]
	CO	H_2	N_2	CO_2	CH_4		
电石炉气	70～90	8～14	2～7	1～3	0.5～1.5	10048～11932	400
焦炉煤气	6～9	56～60	2～4	2～3	22～26	16747～20934	400
黄磷尾气	85～95	1～3	2～5	1～4	0.3	11723～12560	2500
炭黑尾气	10.96	19.26	45～62	3～5	0.4	2721～4187	15000～20000
合成氨再生气	55	4.8	9.6	25.8	0.2		40

由表2-4可见，五个行业排放废气中均含有较高浓度的CO，炭黑尾气及焦炉煤气中CO虽仅含有10%左右，但总量大，且含有较多H_2，可作合成气使用。目前国内有少数厂家，利用电石炉气烧锅炉或烘干焦炭和石灰石。黄磷尾气一部分厂家用于制取甲酸、草酸和保险粉，也有用做燃料的。由此可见，用高浓度CO的尾气生产草酸完全可以代替煤气发生炉炉气生产草酸。但是至今还有企业新建煤气发生炉来扩大草酸生产能力，这是不合理的。也有个别厂家用于生产甲醇或二甲基甲酰胺。合成氨厂铜洗再生气中不含硫、磷等有害成分，只需除去其中CO_2即可生产草酸，国内已有厂家使用。如果将这一部分废气作为CO或合成气使用，生产甲酸、甲醇、乙醛、乙二醇、醋酸等产品，对发展我国C_1化学将是十分有利的。但其他几种废气，则都被用做燃料，或因净化问题不好解决，尚未充分利用。此外，涂料行业有机溶剂的回收以及有机化工生产中有用物质的回收都大有可为。目前技术上存在的主要问题是，要尽快开发或完善一批净化分离的关键技术，才可促进化工行业综合利用向广度和深度发展。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第三章　化工废水处理

第一节　化工废水的来源及特点

一、废水的来源及特征

化学工业是一个多行业、多品种的工业部门，包括化学矿山、石油化学工业、煤炭化学工业、酸碱工业、化肥工业、塑料工业、医药工业、染料工业、洗涤剂工业、橡胶工业、炸药和起爆药工业、感光材料等。化工废水是从每一种化工产品生产过程中排放出来的废水（包括工艺废水、冷却水、废气洗涤水、设备及场地冲洗水等）。

化学工业废水都是在化工生产过程中产生的。不同行业、不同企业、不同原料、不同的生产方式和不同类型的设备、生产管理的好与坏、操作水平的高与低都对废水的产生数量和污染物的种类及浓度有很大的影响。

（一）化工废水的主要来源

（1）化工生产的原料和产品在生产、包装、运输、堆放的过程中因一部分物料流失又经雨水或用水冲刷而形成的废水。

（2）化学反应不完全而产生的废料。由于反应条件和原料纯度的影响，任何反应都有一个转化率问题。一般的反应转化率只有达到 70%～80%。未反应的原料虽然可以经分离或提纯后可以再使用，但在循环使用过程中，由于杂质越积越多，积累到一定程度，就会妨碍反应的正常进行，如发生催化剂中毒现象。这种残余的浓度低且成分不纯的物料常常以废水形式排放出来。

（3）化学反应中副反应过程生成的废水。化工生产中，在进行主反应的同时，经常伴随着一些副反应，产生了副产物。这些副产物一般可回收利用。在某些情况下，如数量不大，成分比较复杂，分离比较困难，分离效率也不高，回收经济不合算等等，常不回收利用而作为废水排放。

（4）冷却水。化工生产常在高温下进行，因此，需要对成品或半成品进行冷却。采用水冷时，就排放冷却水。若采用冷却水与反应物料直接接触的直接冷却方式，则不可避免地排出含有物料的废水。

（5）一些特定生产过程排放的废水。如：焦炭生产的水力割焦排水，蒸汽喷射泵的排出废水，蒸馏和汽提的排水与高沸残液，酸洗或碱洗过程排放的废水，溶剂处理中排出的废溶剂，机泵冷却水和水封排水等。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(6) 地面和设备冲洗水和雨水，因常夹带某些污染物，最终也形成废水。

(二) 化工废水分类

化学工业废水按成分可分为三大类：第一类为含有机物的废水，主要来自基本有机原料、合成材料（含合成塑料、合成橡胶、合成纤维）、农药、染料等行业排出的废水；第二类为含无机物的废水，如无机盐、氮肥、磷肥、硫酸、硝酸及纯碱等行业排出的废水；第三类为既含有有机物又含有无机物的废水，如氯碱、感光材料、涂料等行业。如果按废水中所含主要污染物分则有含氰废水、含酚废水、含硫废水、含氟废水、含铬废水、含有机磷化合物废水、含有机物废水等。

(三) 化工废水的特点

化学工业在经济建设中处于十分重要的地位，然而，它又是造成环境污染的主要工业系统之一。化工废水污染有如下特点。

(1) 废水排放量大　化工生产中需进行化学反应，化学反应要在一定的温度、压力及催化剂等条件下进行。因此，在生产过程中工艺用水及冷却水用量很大，故废水排放量大。废水排放量约占全国工业废水总量的 30% 左右，居各工业系统之首。

(2) 污染物种类多　水体中的烷烃、烯烃、卤代烃、醇、酚、醛、酮及硝基化合物等有机物和无机物，大多是化学工业生产过程中或一些行业应用化工产品的过程中所排放的。水质分析表明，黄浦江水质含有的 18 项主要污染物，化学工业都有不同程度的排放。如合成氨生产排放出的废水有含氰废水、含硫废水、含炭黑废水及含氨废水等，农药、染料产品的化学结构复杂，生产流程长、工序多，排出的种类更多。

(3) 污染物毒性大，不易生物降解　所排放的许多有机物和无机物中不少是直接危害人体的毒物。许多有机化合物十分稳定，不易被氧化，不易为生物所降解。许多沉淀的无机化合物和金属有机物可通过食物链进人人体，对健康极为有害，甚至在某些生物体内不断富集。

(4) 废水中含有有害污染物较多　化工废水中主要有害污染物年排放总量为 215 万 t 左右，其中主要有害污染物如废水中氰化物的排放量占总氰化物排放量的一半，而汞的排放量则占全国排放总量的三分之二。六价铬的排放量占全国总排放量的 12%（1986 年）。

(5) 化工废水的水量和水质视其原料路线，生产工艺方法及生产规模不同而有很大差异　一种化工产品的生产，随着所用原料的不同，采用生产工艺路线的不同，或生产规模的不同，所排放废水的水量及水质也不相同。以乙醛生产为例，根据生产所采用三种不同原料路线和三种不同生产工艺方法，其排放废水的水质和水量也各异。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(6) 污染范围广 化学工业厂点多，遍及整个城市及郊区，甚至农村地区。由于化工具有行业多、厂点多、品种多，生产方法多及原料和能源消耗多等特点造成污染面广。

表 3-1 列出了几种典型的化工行业生产所排出废水情况，表 3-2 列出了化工废水中主要污染物的主要来源。

表 3-1 主要化工行业废水来源及其中主要污染物

行 业	主要来源	废水中主要污染物
氮肥	合成氨、硫酸铵、尿素、氯化铵、硝酸铵、氨水、石灰氮	氰化物、挥发酚、硫化物、氨氮、SS[①]、CO、油
磷肥	普通过磷酸钙、钙镁磷肥、重过磷酸钙、磷酸铵类氮磷复合肥、磷酸、硫酸	氟、砷、P_2O_5、SS[①]、铅、镉、汞、硫化物
无机盐	重铬酸钠、铬酸酐、黄磷、氰化钠、三盐基硫酸铅、二盐基亚磷酸铅、氯化锌、七水硫酸锌	六价铬、元素磷、氰化物、铅、锌、氟化物、硫化物、镉、砷、铜、锰、锡和汞
氯碱	聚氯乙烯、盐酸、液氯	氯、乙炔、硫化物、Hg、SS[①]
有机原料及合成材料	脂肪烃、芳香烃、醇、醛、酮、酸、烃类衍生物及合成树脂(塑料)、合成橡胶、合成纤维	油、硫化物、酚、氰、有机氯化物、芳香族胺、硝基苯、含氮杂环化合物、铅、铬、镉、砷
农药	敌百虫、敌敌畏、乐果、氧化乐果、甲基对硫磷、对硫磷、甲胺磷、马拉硫磷、磷胺	有机磷、甲醇、乙醇、硫化物、对硝基酚钠、NaCl、NH_3-N、NH_4Cl、粗酯
染料	染料中间体、原染料(含有机颜料)、商品染料、纺织染整助剂	卤化物、硝基物、氨基物、苯胺、酚类、硫化物、硫酸钠、NaCl、挥发酚、SS[①]、六价铬
涂料	涂料：树脂漆、油脂漆；无机颜料：钛白粉、立德粉、铬黄、氧化锌、氧化铁、红丹、黄丹、金属粉、华兰	油、酚、醇、醛、SS[①]、六价铬、铅、锌、镉
感光材料	三醋酸纤维素酯、三醋酸纤维素酯片基、乳胶制备及胶片涂布、照相有机物、废胶片及银回收	明胶、醋酸、硝酸、照相有机物、醇类、苯、银、乙二醇、丁醇、二氯甲烷、卤化银、SS[①]
焦炭、煤气粗制和精制化工产品	焦炉炭化进入集气管，用氨水喷洒冷却煤气产生剩余氨水 回收煤气中化工产品产生的煤气冷却水 粗制提取和精制蒸馏加工的产品分离水 煤气水封和煤气总管冷凝水	酚、氰化物、氨氮、COD_{Cr}、油类、硫化物
硫酸(硫铁矿制酸)	净化设备中产生的酸性废水	pH(酸性)、砷、硫化物、氟化物、悬浮物

① SS 指悬浮固体或悬浮物。

二、水体污染物

废水中的污染物种类大致可分为：固体污染物、需氧污染物、营养性污染物、酸碱污染物、有毒污染物、油类污染物、生物污染物、感官性污染物、热污染等。水体中的污染物大致分类见表 3-3。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 3-2 化学工业中废水中主要污染物的主要来源

重点污染物	来　源
汞	聚氯乙烯（电石法）厂，汞试剂厂
镉	无机和有机镉生产厂、镉试剂厂
铅	颜料厂、铅盐生产厂
砷	硫酸生产厂、农药厂
铬	铬盐生产厂、铬黄颜料厂
酸类	硫酸、盐酸、硝酸、合成染料、农药、塑料生产厂
氨、铵盐	化肥（氮肥厂）厂、焦化厂
碱类	氯碱厂、纯碱厂
氟化物	硫酸厂、氟塑料生产厂、磷肥生产厂、制冷剂厂
酚类	合成苯酚生产、合成染料、酚醛树脂厂、农药厂、焦化厂
氰化物	焦化厂、煤气生产厂、氰化钠生产厂、氮肥厂、有机化工厂
硫化物	硫酸厂、焦化厂、染料厂、有机化工厂、无机盐厂
有机磷	农药厂、有机化工厂
有机氯	农药厂、有机化工厂
BOD、COD_{Cr}	染料厂、塑料厂、农药厂、焦化厂、涂料厂、其他有机化工原料厂

表 3-3 水体中的污染物

分　类	主要污染物
无机有害物	水溶性氟化物、硫酸盐、酸、碱等无机酸、碱、盐中无毒物质、硫化物
无机有毒物	铝、汞、砷、镉、铬、氟化物、氰化物等重金属元素及无机有毒化学物质
耗氧有机物	碳水化合物、蛋白质、油脂、氨基酸等
植物营养物	铵盐、磷酸盐和磷、钾等
有机有毒物	酚类、有机磷农药、有机氯农药、多环芳烃、苯等
病原微生物	病菌、病毒、寄生虫等
放射性污染	铀、锶、铯等
热污染	含热废水

为了表征废水水质，规定了许多水质指标。主要有有毒物质、有机物质、悬浮物、细菌总数、pH、色度、温度等。一种水质指标可以包括几种污染物；而一种污染物又可以属于几种水质指标。

（一）固体污染物

固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

悬浮物是一项重要的水质指标，它的存在不但使水质浑浊，而且易使管道及设备堵塞、磨损，干扰废水处理及回收设备的工作。由于大多数废水中都有悬浮物，因此去除水中的悬浮物是废水处理的一项基本任务。

浊度是对水的光传导性能的一种测量，其值可表征废水中胶体和悬浮物的含量。主要是水体中含有泥沙、有机质胶体、微生物以及无机物质的悬浮物和胶体物，产生的浑浊现象，以至于降低水的透明度，而影响感官甚至影响水生生物的生活。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

固体污染物在水中以三种状态存在：溶解态（直径小于 1nm）、胶体态（直径介于 1～200nm）和悬浮态（直径大于 100nm）。水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径约 3～10μm）的叫溶解固体（DS）；不能透过的叫悬浮固体或悬浮物（SS），两者合称为总固体（TS）。在水质监测中悬浮物（SS）是一个比较重要的指标。

（二）耗氧有机物

绝大多数的耗氧污染物（需氧污染物）是有机物，无机物主要有还原态的物质，如 Fe、Fe^{2+}、S^{2-}、CN^- 等，因而在一般情况下，耗氧污染物即指需氧有机物或耗氧有机物。天然水中的有机物一般是水中生物生命活动的产物。人类排放的生活污水和大部分生产废水中但含有大量的有机物质，其中主要是耗氧有机物如碳水化合物、蛋白质、脂肪等。

耗氧有机物种类繁多，组成复杂，因而难以分别对其进行定量、定性分析。因而，没有特殊要求，一般不对它们进行单项定量测定，而是利用其共性，间接地反映其总量或分类含量。在工程实际中，采用以下几个综合水质污染指标来描述。

1. 化学需氧量（COD）

化学需氧量是指在酸性条件下，用强的化学氧化剂将有机物氧化成 CO_2、H_2O 所消耗的氧量。以每升水消耗样的毫克数表示（mg/L）。COD 值越高，表示水中有机污染物的污染越严重。目前常用的氧化剂主要是重铬酸钾和高锰酸钾。由于重铬酸钾氧化作用很强，所以能够较完全地氧化水中大部分有机物和无机性还原性物质（但不包括硝化所需的氧量），此时化学需氧量用 COD_{Cr} 表示，主要适用于分析污染严重的水样，如生活污水和工业废水。如采用高锰酸钾作为氧化剂，则写作（COD_{Mn}）。适用于测定一般地表水，如海水，湖泊水等。目前，根据国际标准化组织（ISO）规定，化学需氧量指 COD_{Cr}，而称 COD_{Mn} 为高锰酸钾指数。

与 BOD_5 相比，COD_{Cr} 能够在较短时间内（规定为 2h）较为精确地测出废水之中耗氧物质的含量，不受水质限制。缺点是不能表示可被微生物氧化的有机物量，此外废水中的还原性无机物质也能消耗部分氧，会造成一定的误差。

2. 生化需氧量（BOD）

在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物所需的氧量，称为生化需氧量，以每升水消耗氧的毫克数（mg/L）。生化需氧量越高，表示水中耗氧有机物污染越严重。

废水中有机物的分解，一般可以分为两个阶段。第一阶段 BOD，或称碳化阶段，是有机物中碳氧化为二氧化碳，有机物中的氮氧化为氨的过程。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

碳化阶段消耗的氧量称为碳化需氧量，用 L_a 或 BOD_u 表示，其值等于 O_a 和 O_b 之和。第二阶段 BOD，或称为氮化阶段或硝化阶段，氨在硝化细菌作用下，被氧化为亚硝酸根和硝酸根。硝化阶段的耗氧量称为硝化需氧量，用 L_N 或 BOD_u 表示，其值等于 O_c 和 O_d 之和。

有机物耗氧过程与温度、时间有关。在一定范围内温度越高，微生物活力越强，消耗有机物就越快，需氧越多；时间越长，微生物降解有机物的数量和深度越大，需氧量越多。在实际测定生化需氧量时，温度规定为 20℃。此时，一般有机物需 20 天左右才能基本完成第一阶段的氧化分解过程，其需氧量用 BOD_{20}表示，它可视为完全生化需氧量 L_a。在实际测定时，20 天时间太长，目前国内外普遍采用在 20℃ 条件下培养 5 天的生物化学过程需要氧的量为指标，称作为 BOD_5，简称 BOD。BOD_5 只能相对反映出氧化有机物的数量，各种废水的水质差别很大，其 BOD_{20}与 BOD_5 相差悬殊，但对某一种废水而言，此值相对固定，如生活污水的 BOD_5 约为 BOD_{20}的 0.7 左右。但是，它在一定程度上亦反映了有机物在一定条件下进行生物氧化的难易程度和时间进程，具有很大的使用价值。

如果废水中各种成分相对稳定，那么 COD 与 BOD 之间应有一定的比例关系。一般来说，$COD > BOD_{20} > BOD_5 > COD_{Mn}$。其中 BOD_5/COD 比值可作为废水是否适宜生化法处理的一个衡量指标。比值越大，越容易被生化处理。一般认为 BOD_5/COD 大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

3. 总需氧量（TOD）

有机物主要元素是 C、H、O、N、S 等。在高温下燃烧后，将分别产生 CO_2、H_2O、NO_2 和 SO_2，所消耗的氧量称为总需氧量 TOD。TOD 的值一般大于 COD 的值。

TOD 的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入以铂为触媒的燃烧管中，在 900℃ 高温下燃烧，水样中的有机物即被氧化，消耗掉氧气流中的氧气，剩余氧量可用电极测定并自动记录。氧气流原有氧量减去剩余氧量即得总需氧量 TOD。TOD 的测定仅需要几分钟。但 TOD 的测定在水质监测中应用比较少。

4. 总有机碳（TOC）

总有机碳是近年来发展起来的一种水质快速测定方法，通过测定废水中的总有机碳量可以表示有机物的含量。总有机碳的测定方法是：向氧含量已知的氧气流中注入定量的水样，并将其送入特殊的燃烧器（管）中，以铂为催化剂，在 900℃ 高温下，使水样气化燃烧，并用红外气体分析仪测定在燃烧过程中产生的 CO_2 量，再折算出其中的含碳量，就是总有机碳 TOC 值。为排除无机碳酸盐的干扰，应先将水样酸化，再通过压缩空气吹脱水中的碳

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

酸盐。TOC 的测定时间也仅需几分钟。TOC 虽可以以总有机碳元素量来反映有机物总量，但因排除了其他元素，仍不能直接反映有机物的真正浓度。

（三）富营养化污染

废水中所含 N 和 P 是植物和微生物的主要营养物质。当废水排入受纳水体，使水中 N 和 P 的浓度分别超过 0.2mg/L 和 0.02mg/L 时，就会引起受纳水体的富营养化，促进各种水生生物（主要是藻类）的活性，刺激它们的异常繁殖，并大量消耗水中的溶解氧，从而导致鱼类等窒息和死亡。其次，水中大量的 NO_3^-、NO_2^- 若经食物链进入人体，将危害人体健康或有致癌作用。

（四）无机无毒物质（酸、碱、盐污染物）

无机无毒物质主要指排入水体中的酸、碱及一般的无机盐类。酸主要来源于矿山排水、工业废水及酸雨带来。碱性废水主要来自碱法造纸、化学纤维制造、制碱、制革等工业的废水。酸碱废水的水质标准中以 pH 来反映其含量水平。酸性废水和碱性废水可相互中和产生各种盐类；酸性、碱性废水亦可与地表物质相互作用，生成无机盐类。所以，酸性或碱性污水造成的水体污染必然伴随着无机盐的污染。

酸性和碱性污水使水体的 pH 发生变化，破坏了自然的缓冲能力，抑制了微生物的生长，妨碍了水体的自净，使水质恶化、土壤酸化或盐碱化。此外酸性废水也对金属和混凝土材料造成腐蚀。同时，还因其改变了水体的 pH，增加了水中的一般无机盐类和水的硬度等。

（五）有毒污染物

废水中能对生物引起毒性反应的化学物质称为有毒污染物。工业上使用的有毒化学物已经超过 12000 种，而且每年以 500 种的速度递增。

毒物是重要的水质指标，各类水质标准对主要的毒物都规定了限值。废水中的毒物可分为三大类：无机有毒物质、有机有毒物质和放射性物质。

1. 无机有毒物质

这类物质具有强烈的生物毒性，它们排入天然水体，常会影响水中生物，并可通过食物链危害人体健康，这类污染物都具有明显的累积性，可使污染影响持久和扩大。无机有毒物质包括金属和非金属两类。金属毒物主要为汞、铬、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、钛、钒、铂和铋等，特别是前几种危害更大。如汞进入人体后被转化为甲基汞，有很好的溶脂性，易进入生物组织，并有很高的蓄积作用，在脑组织内积累，破坏神经功能，无法用药物治疗，严重时能造成死亡。镉进入人体后，主要贮存在肝、肾组织中不易排出，镉的慢性中毒主要使肾脏吸收功能不全，降低机体免疫能力以及导致骨质疏松、软化，并引起全身疼痛腰关节受损、骨节变形，即八大公害之一

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的骨痛病，有时还会引起心血管病等。

重要的非金属有毒物有砷、硒、氟、硫、氰、亚硝酸根等。如砷中毒时引起中枢神经紊乱、腹痛、肝痛、肝大等消化系统障碍，并常伴有皮肤癌、肝癌、肾癌、肺癌等发病率增高现象。无机氰化物的毒性表现为破坏血液，影响运送氧和氢的机能而导致死亡。亚硝酸盐在人体内还能与仲胺生成硝酸胺，具有强烈的致癌作用。

2. 有机有毒物质

有机有毒物质的种类很多，这类物质大多是人工合成的有机物，难以被生物降解，并且它们的污染影响、作用也不同。大多是较强的三致物质（致癌、致突变、致畸），毒性很大。主要有酚类化合物、有机农药（DDT、有机氯、有机磷、有机汞等）、聚氯联苯（PCB）、多环芳烃等。以有机氯农药的特点有很强的稳定性，在自然环境中的半衰期为十几年到几十年，其次是这类物质的水溶性低而脂溶性高，可以通过食物链在人体和动物体内富集，对动物和人体造成危害。

3. 放射性物质

放射性是指原子核衰变而释放射线的物质属性。主要包括 X 射线、α 射线、β 射线、γ 射线及质子束等。天然的放射性同位素^{238}U、^{226}Ra、^{232}Th等一般放射性都比较弱，对生物没有什么危害。人工的放射性同位素主要来自铀、镭等放射性金属的生产和使用过程，如核试验、核燃料再处理、原料冶炼厂等。其浓度一般较低，主要引起慢性辐射和后期效应，如诱发癌症，促成贫血、白细胞增生、对孕妇和婴儿产生损伤，引起遗传性损害等。

（六）油类污染物

油类污染物包括“石油类”和“动植物油”两项。沿海及河口石油的开发、油轮运输、炼油工业废水的排放、内河水运以及生活废水的大量排放等，都会导致水体受到油污染。油类污染物能在水面上形成油膜，影响氧气进入水体，破坏了水体的复氧条件。它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油 0.01～0.1mg/L 时，对鱼类和水生生物就会产生影响。当水中含油 0.3～0.5mg/L，就会产生石油气味，不适合饮用。同时，油污染还破坏了海滩休养地、风景区的景观等。

（七）生物污染物质

生物污染物质是指废水中的致病性微生物，它包括致病细菌、病虫卵和病毒。未污染的天然水中的细菌含量很低，水中的生物污染物主要来自生活污水、医院污水和屠宰肉类加工、制革等工业废水。主要通过动物和人排泄的粪便中含有的细菌、病菌及寄生虫类等污染水体，引起各种疾病传播。如生活污水中可能含有能引起肝炎、伤寒、霍乱、痢疾、脑炎的病毒和细菌以

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

及蛔虫卵和钩虫卵等。生物污染物污染的特点是数量大、分布广、存活时间长、繁殖速度快，必须予以高度重视。

（八）感官性状污染物

废水中能引起异色、浑浊、泡沫、恶臭等现象的物质，虽然没有严重的危害，但也引起人们感官上的极度不快，被称为感官性污染物。如印染废水污染往往使水色变红或其他染料颜色，炼油废水污染可使水色黑褐等。对于供游览和文体活动的水体而言，感官性污染物的危害则较大。各类水质标准中，对色度、臭味、浊度、漂浮物等指标都作了相应的规定。

（九）热污染

废水温度过高而引起的危害，称为热污染。热电厂等的冷却水是热污染的主要来源。这种废水直接排入天然水体，可引起水温升高，产生的主要危害主要有以下几点。

（1）由于水温的升高，使水中的溶解氧减少，相应的亏氧量随之减少，故大气中的氧向水中传递的速率减慢；另一方面，水温的升高会导致生物耗氧速度的加快，促使水体中的溶解氧进一步耗尽，使水质迅速恶化，造成鱼类和其他水生生物死亡；

（2）由于水温的升高，加快藻类繁殖，从而加快水体的富营养化进程；

（3）由于水温的升高，导致水体中的化学反应加快，使水体中的物化性质如离子浓度、电导率、腐蚀性发生变化，可能导致对管道和容器的腐蚀；

（4）由于水温的升高，加速细菌生长繁殖，增加后续水处理的费用。如取该水体作为给水源，则需要增加混凝剂和氯的投加量，且使水中的有机氯含量增加。

第二节　化工废水处理方法概述

废水中的污染物质是多种多样的，所以往往不可能用一种处理单元就能够把所有的污染物质去除干净。一般一种废水往往需要通过由几种方法和几个处理单元组成的处理系统处理后，才能够达到排放要求。采用哪些方法或哪几种方法联合使用需根据废水的水质和水量、排放标准、处理方法的特点、处理成本和回收经济价值等，通过调查、分析、比较后决定，必要时，要进行小试、中试等试验研究。

（一）按作用原理划分

针对不同污染物质的特征，发展了各种不同的废水处理方法，特别是对化工废水的处理，这些处理方法可按其作用原理划分为四大类：物理处理法、化学处理法、物理化学法和生物处理法。

1．物理处理法

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

通过物理作用，以分离、回收废水中不溶解的呈悬浮状态污染物质（包括油膜和油珠）的废水处理法。根据物理作用的不同，又可分为重力分离法、离心分离法和筛滤截流法等。属于重力分离法的处理单元有：沉淀、上浮（气浮、浮选）等，相应使用的处理设备是沉砂池、沉淀池、除油池、气浮池及其附属装置等。离心分离法本身就是一种处理单元，使用的处理装置有离心分离机和水旋分离器等，筛滤截流法截留和过滤两种处理单元，前者使用的处理设备是隔栅、筛网，而后者使用的砂滤池和微孔滤池等。

2．化学处理法

是通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物质或将其转化为无害物质的废水处理法。在化学处理法中，以投加药剂产生化学反应为基础的处理单元是：混凝、中和、氧化还原等；而以传质作用为基础的处理单元则有：萃取、汽提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗析和反渗透等。后两种处理单元又统称为膜处理技术。其中运用传质作用的处理单元具有化学作用，而同时又有与之相关的物理作用，所以也可以从化学处理法中分离出来，成为另一种处理方法，称为物理化学法，即运用物理和化学的综合作用使污水得到净化的方法。

3．物理化学法

是利用物理化学作用去除废水中的污染物质。主要有吸附法、离子交换法、膜分离法、萃取法、气提法和吹脱法等。

4．生物化学处理法

是通过微生物的代谢作用，使废水中呈溶液、胶体以及微细悬浮状态的有机性污染物质转化为稳定、无害的物质的废水处理方法。根据起作用的微生物不同，生物处理法又可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。

（二）按处理程度划分

按处理程度划分，现代废水处理技术可分为一级处理、二级处理和三级处理。

1．一级处理

去除废水中的漂浮物和部分悬浮状态的污染物质，调节废水 pH、减轻废水的腐化程度和后续处理工艺负荷的处理方法。

污水经一级处理后，一般达不到排放标准。所以一般以一级处理为预处理，以二级处理为主体，必要时再进行三级处理，即深度处理，使污水达到排放标准或补充工业用水和城市供水，一级处理的常用方法如下。

（1）筛滤法　筛滤法是分离污水中呈悬浮状态污染物质的方法。常用设备是格栅和筛网。格栅主要用于截留污水中大于栅条间隙的漂浮物，一般布置在污水处理场或泵站的进口处，以防止管道、机械设备以及其他装置的堵塞。格

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

栅的清渣，可常用人工或机械方法，有的是用磨碎机将栅渣磨碎后，再投入格栅下游，以解决栅渣的处置问题。筛网的网孔较小，主要用以滤除废水中的纤维、纸浆等细小悬浮物，以保证后续处理单元的正常运行和处理效果。

（2）沉淀法　沉淀法是通过重力沉降分离废水中呈悬浮状态污染物质的方法。沉淀法的主要构筑物有沉砂池和沉淀池，用于一级处理的沉淀池，通称初级沉淀池。其作用为：①去除污水中大部分可沉的悬浮固体；②作为化学或生物化学处理的预处理，以减轻后续处理工艺的负荷和提高处理效果。

（3）上浮法　上浮法用于去除污水中相对密度小于1的污染物，或通过投加药剂、加压溶气等措施去除相对密度稍大于1的污染物质。在一级处理工艺中，主要是用于去除污水中的油类及悬浮物质。

（4）预曝气法　预曝气法是在污水进入处理构筑物以前，先进行短时间（10～20min）的曝气。其作用为：①可产生自然絮凝或生物絮凝作用，使污水中的微小颗粒变大，以便沉淀分离；②氧化废水中的还原性物质；③吹脱污水中溶解的挥发物；④增加污水中的溶解氧，减轻污水的腐化，提高污水的稳定度。

2．二级处理

污水通过一级处理后，再加处理，用以除去污水中大量有机污染物，使污水进一步净化的工艺过程。相当长时间以来，主要把生物化学处理作为污水二级处理的主体工艺。近年来，采用化学或物理化学处理法作为二级处理主体工艺，并随着化学药剂品种的不断增加，处理设备和工艺的不断改进而得到推广。因此，二级处理原作为生化处理的同义词已失去意义。

污水在经过筛滤、沉淀或上浮等一级处理之后，可以有效地去除部分悬浮物，生化需氧量（BOD）也可以去除25%～40%，但一般不能去除污水中呈溶解状态的和呈胶体状态的有机物和氧化物、硫化物等有毒物质，不能达到污水排放标准。因此需要进行二级处理，二级处理的主要方法如下。

（1）活性污泥法　废水生物化学处理中的主要处理方法。以污水中有机污染物作为底物，在有氧的条件下，对各种微生物群体进行混合连续培养，形成活性污泥。利用这种活性污泥在废水中的凝聚、吸附、氧化、分解和沉淀等作用过程，去除废水中有机污染物，从而得到净化。活性污泥法从开创至今已经有90年的历史，目前已成为有机工业废水和城市污水最有效的生物处理法，应用非常普遍。活性污泥法运行方式多种多样，如传统活性污泥法、阶段曝气法、生物吸附法、混合式曝气法、纯氧曝气法、深井曝气法，以及近几年所发展的氧化沟（延时曝气活性污泥法）。

（2）生物膜法　生物膜法是使废水通过生长在固定支承物表面的生物膜，利用生物氧化作用和各相之间的物质交换，降解废水中有机污染物的方

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

法。用这种方法处理废水的构筑物有生物滤池、生物转盘和生物接触氧化池以及最近发展起来的悬浮载体流化床，目前采用生物接触氧化池为多。

近年来，有的国家正在研究和采用化学或物理化学处理法作为二级处理主体工艺，预期这些方法将随着化学药剂品种的不断增加，处理设备和工艺的不断改进而得到推广。

污水二级处理可以去除污水中大量 BOD 和悬浮物，在较大程度上净化了污水，对保护环境起到了一定作用。但随着污水量的不断增加，水资源的日益紧张，需要获取更高质量的处理水，以供重复使用或补充水源。为此，有时需要在二级处理基础上，再进行污水三级处理。

3. 三级处理

污水三级处理又称污水深度处理或高级处理。为进一步去除二级处理未能去除的污染物质，其中包括微生物未能降解的有机物或磷、氮等可溶性无机物。三级处理是深度处理的同义词，但二者又不完全一致。三级处理是经二级处理后，为了从废水中去除某种特定的污染物质，如磷、氮等，而补充增加的一项或几项处理单元；至于深度处理则往往是以废水回收、复用为目的，在二级处理后所增设的处理单元或系统。三级处理耗资较大，管理也较复杂，但能充分利用水资源。

完善的三级处理由除磷、除氮、除有机物（主要是难以生物降解的有机物）、除病毒和病原菌、除悬浮物和触矿物质等单元过程组成。根据三级处理出水的具体去向，其处理流程和组成单元是不同的。如果为防止受纳水体富营养化，则采用除磷和除氮的三级处理；如果为保护下游引用水源或浴场不受污染，则应采用除磷、除氮、除毒物、除病菌和病原菌等三级处理，如直接作为城市饮用水以外的生活用水，如洗衣、清扫、冲洗厕所、喷洒街道和绿化地带等用水，其出水水质要求接近于饮用水标准。

第三节　物理处理法

在工业废水的处理中，物理法占有重要的地位。与其他方法相比，物理法具有设备简单、成本低、管理方便、效果稳定等优点。它主要用于去除废水中的漂浮物、悬浮固体、砂和油类等物质。物理法一般用作其他处理方法的预处理或补充处理。

物理法包括过滤、重力分离、离心分离等。

一、重力分离

废水中含有的较多无机砂粒或固体颗粒，必须采用沉淀法除掉，以防止水泵或其他机械设备、管道受到磨损，并防止淤塞。沉淀池中沉降下来的固体，可用机械进行清除。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（一）沉淀法的分类

从化工废水中除去悬浮固体的方法，一般常采用沉淀法。此法是利用固体与水两者相对密度差异的原理，使固体和液体分离。这是对废水预先进行净化处理的方法之一，被广泛采用作为废水的预处理。例如对化工废水进行生化处理之前，为保证生化处理顺利进行，先要从废水中除去砂粒固体颗粒杂质以及一部分有机物质，以减轻生化装置的处理负荷。因此，在生化处理前，废水先要通过沉淀池进行沉淀，设备在生化处理之前的沉淀池，称为初级沉淀池，或称为一次沉淀池。而在生化处理后的沉淀池，称为二次沉淀池，其目的是进一步去除残留的固体物质，包括生化处理后多余的活性污泥。

沉淀法又分为自然沉淀和混凝沉淀两种。

1．自然沉淀

自然沉淀是依靠废水中固体颗粒的自身重量进行沉降。此种仅对较大颗粒，可以达到去除的目的，是属物理方法。

2．混凝沉淀

混凝沉淀的基本原理是在废水中投入电解质作为混凝剂，使废水中的微小颗粒与混凝剂能结成较大的胶团，加速在水中的沉降，此法实质为化学处理方法，具体内容将在化学处理方法中再介绍。

（二）影响沉淀的因素

影响废水或称污水悬浮颗粒沉降效率的主要因素有三个方面，即①污水的流速；②悬浮颗粒的沉降速度；③沉淀池的尺寸。

在一定的污水流速下，对一定大小的沉淀池其沉降效率主要取决于颗粒的沉降速度。

自由沉降颗粒的沉降速度，与颗粒的形状以及颗粒与流体间的相对运动情况有关。通常是用雷诺数 Re 的大小，来判断颗粒在水中沉降的相对运动流动类型，对于球形颗粒，

$$Re=\frac{d_s\cdot u_s\cdot\rho}{\mu}$$

式中 d_s——颗粒的直径，m；

u_s——颗粒的沉降速度，m/s；

ρ——污水的密度，kg/m^3；

μ——污水的粘度，Pa·s。

一般雷诺数 $Re<1$，即流体与颗粒相对运动是呈滞流状态。此时，沉降速度 u_s，可以由斯拖克斯（Stokes）公式来计算，即

$$u_s=\frac{d_s^2(\rho_s-\rho)g}{18\mu}$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

式中 ρ_s——颗粒的密度，kg/m³。

这说明：某一污水在某一沉淀池处理时，污水中的悬浮颗粒直径或密度愈大，其沉降速度愈快，则沉降效率愈高。

颗粒的沉降速度 u_s，有一个最小值，用 u_s' 表示。为了使悬浮颗粒，在从进沉淀池入口至沉淀池出口这段时间内，能沉降到池底，必须保证悬浮颗粒在沉淀池中有一定的停留时间。即

$$T_s = \frac{H}{u_s'}$$

式中 T_s——悬浮颗粒在沉淀池中的停留时间，s；

H——沉淀池深度，m；

u_s'——颗粒的最小沉降速度，m/s。

这表明：在 u_s 一定时，随着沉淀池深度 H 的减少，沉淀时间 T_s 可以缩短。但是必须保持沉淀池有一定的深度 H，才能防止已沉淀的颗粒再被水的流动所扰动，而不重新被水带出沉淀池。所以，只有在保证池底沉淀物不受水流冲击和扰动的情况下，适当减小沉淀池深度，才能提高沉淀效果。

假定废水的流量为 Q（m³/s），废水在沉淀池（图 3-1）中的流速是 u（m/s），那么

$$Q = u \cdot B \cdot H$$

式中 B——沉淀池的宽度，m；

而废水在沉淀池中停留时间 T

$$T = \frac{L}{u}$$

式中 L——沉淀池的长度，m。

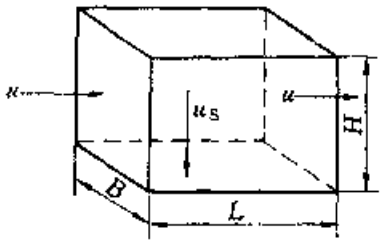


图 3-1 沉淀池的尺寸

对于某一沉淀池，其尺寸 H、B、L 固定，污水的流速 u 愈小，则废水实际在沉淀池停留时间 T 愈短；反之，流速 u 愈小，停留时间 T 愈长。为了保证污水中悬浮颗粒的沉降时间 T_s，则污水停留时间 T 至少等于颗粒的沉降时间 T_s，即 $T = T_s$。

由上面式子，解得

$$Q = A \cdot u_s'$$

式中 A——沉淀池的底面积，m²。

通常将废水流量 Q 与沉淀池平面面积 A 之比称为表面负荷，亦称为过流率，用符号 q_0 表示，单位 m³/(m³·s)，即

$$q_0 = \frac{Q}{A}$$

或

$$Q = A \cdot q_0$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

与前式比较可知，在同一沉淀池内，过流率的大小，与颗粒的最小沉降速度 u_s' 相等。过流率愈小，沉淀效果愈好。反之，则沉淀效果差。对一定流量的废水，沉淀面积愈大，则过流率愈小，沉淀效率也愈好。

实际上，由于污水在通过沉淀池的各过水断面上的流速分布是不均匀的，颗粒在沉淀池中的实际停留时间要比上面提到的停留时间 T_s 短；又由于受到水流本身的湍动影响，颗粒的实际沉降速度也要比上面提到的 u_s 小。所以沉降效果实际上要比理论效果低一些。

（三）沉降设备

生产上用来对污水进行沉淀处理的设备称为沉淀池，根据池内水流的方向不同，沉淀池的形式大致可以分为五种：即平流式沉淀池、竖流式沉淀池、辐射式沉淀池及斜管式沉淀池、斜板式沉淀池等。沉淀池的操作区域可以分为水流部分和沉淀部分。

（1）水流部分　废水在这部分内流动，悬浮固体颗粒也在这部分区域内进行沉降。为了使水流均匀的通过各个水断面，一般均在污水的入口处设置挡板，并且要使进水的入口置于池内的水面以下。另外在沉淀池的出水口前，设置浮渣挡板，用以防止漂浮在水面上的浮渣以及油污等流出沉淀池。

（2）沉淀部分　沉降到池底的污泥需定期排放。采用机械排泥的沉降池底是平底。也可以采用泥浆泵或利用水的压力将污泥排出，此时池底应为锥形。另外还可以将两种排泥方式同时采用。

各类沉淀池的构造，简单介绍如下。

图 3-2 为附有链带刮泥机的平流式沉淀池。废水由进水槽经进水孔流入池中。进水挡板的作用是降低水流速度，并使水流均匀分布于池中过水部分的整个断面。沉淀池出口为孔口或溢流堰，有时采用锯齿形（三角形）溢流堰，堰前设置浮渣管（或浮渣槽）及挡板，以拦阻和排除水面上的浮渣，使

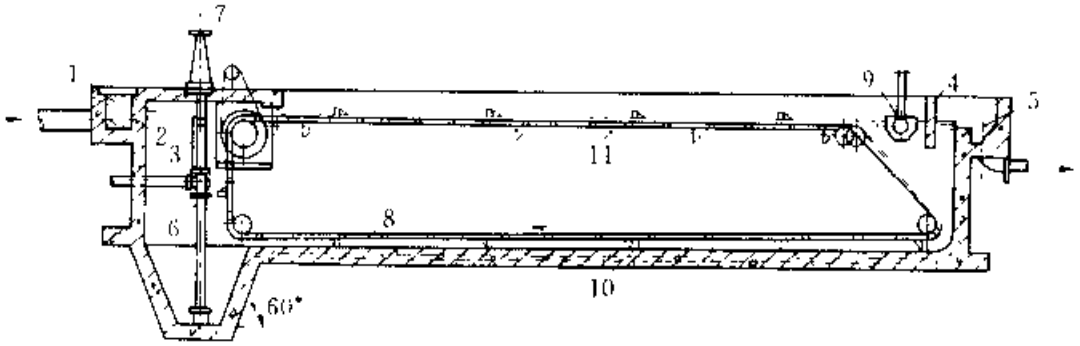


图 3-2　设链带刮泥机的平流沉淀池

1—进水槽；2—进水孔；3—进水挡板；4—出水挡板；5—出水槽；6—排泥管；7—排泥闸门；8—链带；9—排渣管槽（能转动）；10—刮板；11—链带支撑

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

其不致流入出水槽。在沉淀池前部设有污泥斗，池底污泥由刮泥机刮入污泥斗内，污泥借助池中静水压力从污泥管中排出，当有刮泥机时，池底坡度为0.01～0.02。当无刮泥机时，池底常做成多斗形，每个斗有一个排泥管，斗壁倾斜45°～60°。

平流式沉淀池的优点是构造简单，效果良好，工作性能稳定，但排泥较为困难。

当废水含大量无机悬浮物且水量又大时，宜采用辐射式沉淀池（见图3-3）；水量较小时，则采用平流式沉淀池。当废水含大量有机悬浮物而水量又不大时，可以考虑采用圆形竖流式沉淀池（见图3-4），如果废水量大，应采用平流式或辐射式沉淀池。

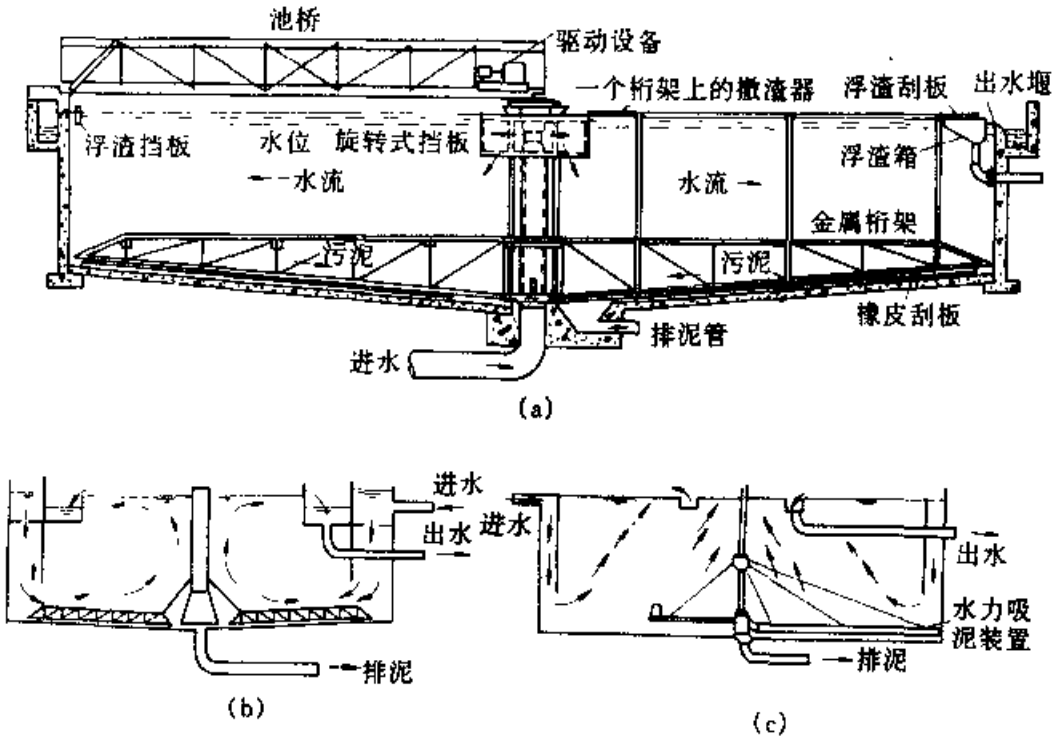


图3-3 辐流式沉淀池

(a) 中心进水周边出水辐流式沉淀池；(b) 周边进水周边出水的辐流式沉淀池；(c) 周边进水中心出水辐流式沉淀池

用沉淀法处理废水已有很长的历史，但此法设备庞大，生产能力不高。近年来，由于浅层沉淀理论的发展，开始从多层沉淀向斜板沉淀发展。据统计，当二次沉淀池中采用斜板沉淀时，如斜板与水平方向的倾斜角为60°，板间距为3.2cm时，废水处理量可增加2.3倍。由于废水在管或板间处于层流状态，而且斜管（或斜板）还大大增加了沉淀池的沉淀面积，所以斜管（斜板）沉淀的效率也就提高了。

图3-5和图3-6所示为斜管沉淀池和斜管标准体。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

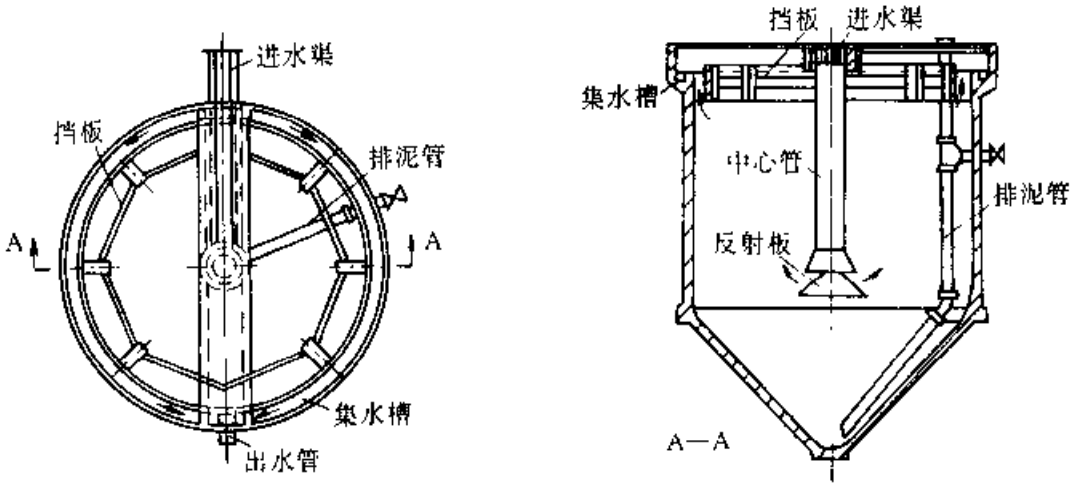


图 3-4 圆形竖流式沉淀池（重力排泥）

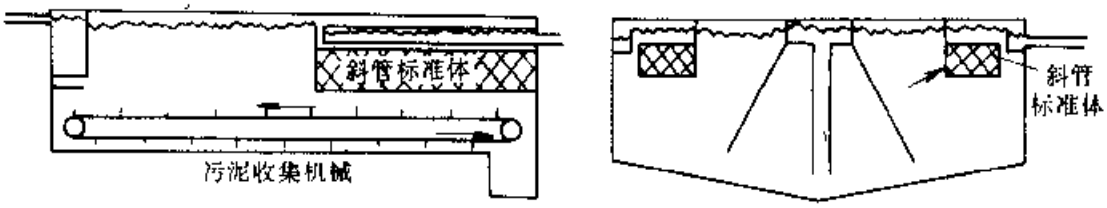


图 3-5 斜管沉淀池

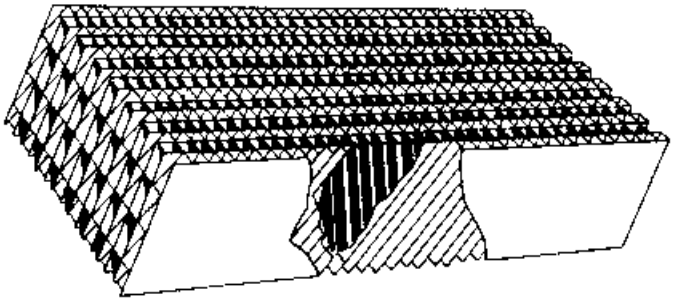


图 3-6 斜管标准体

（四）沉砂池

沉砂池也是一种沉淀池，用以分离废水中相对密度较大的无机悬浮物，如砂，煤粒、矿渣等，使这些悬浮物在池内沉降，以免进入后面的沉淀池污泥中而给排除及处理污泥带来困难。但是，在沉砂池内不能让相对密度较小的有机悬浮物沉降下来，以免造成进入后面的污泥中而给排除及处理污泥带来困难。但是，在沉砂池内不能让相对密度较小的有机悬浮物沉降下来，以免造成沉砂池沉渣处理的困难。废水流速不宜过大也不宜过小。沉砂池有平流式及竖流式两种。国内广泛应用的是平流式，平流沉砂池的效率较高，其构造如图 3-7 所示。

平流式沉砂池的过水部分是一条明渠，渠的两端用闸板控制水量，渠底有贮砂斗，斗数一般为两个。贮砂斗下部设带有闸门的排砂管，以排除贮砂

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

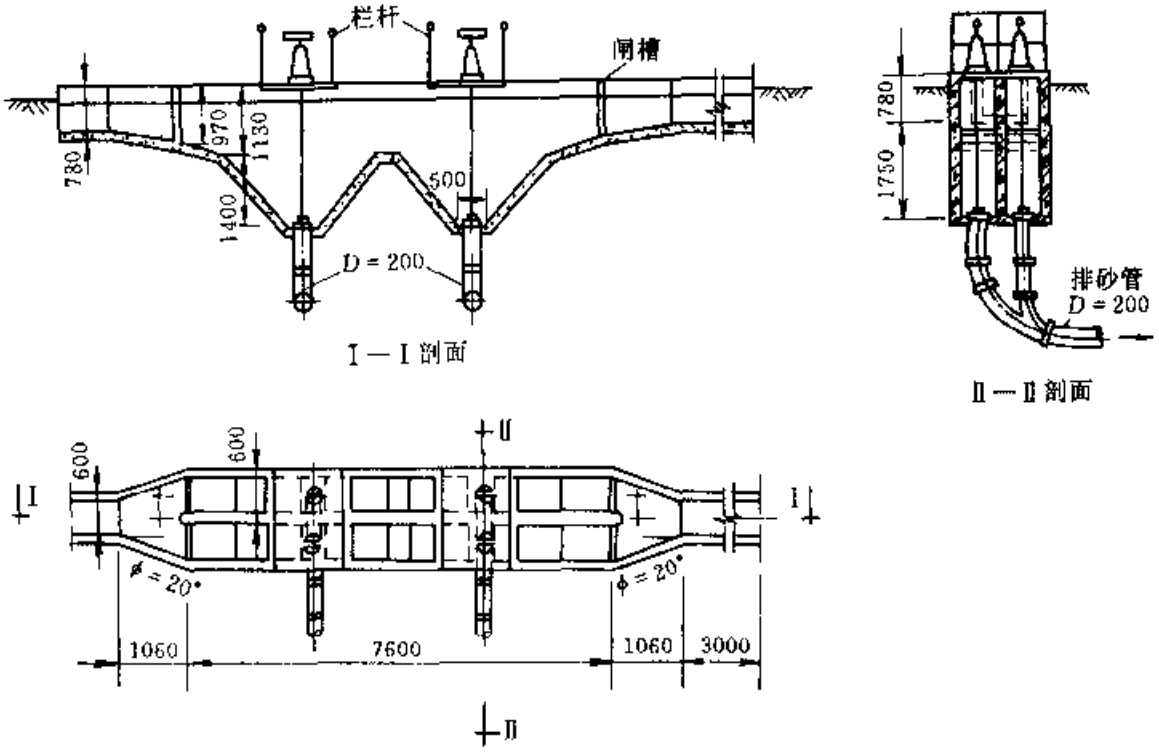


图 3-7　平流式沉砂池

斗内的积砂。也可以用射流泵或螺旋泵排砂。

为了保证沉砂池能很好地沉淀砂粒，又使密度较小的有机悬浮物颗粒不被截留，应严格控制水流速度。一般沉砂池的水平流速在 0.15～0.3m/s 之间为宜，停留时间不少于 30s。沉砂池应不少于两个，以便可以切换工作。池内有效水深不大于 1.2m，合格沉砂池渠宽不小于 0.60m，池内超高为 0.30m。设计时应采用最大过流量，用最小流量作校核。

当废水含砂量较大时，沉砂池的贮砂斗应按不超过两日砂量计算。所沉泥砂的含水率近似为 60%，容重为 1500kg/m^3。为了能使泥砂在贮砂斗内自动滑行，贮砂斗的坡度不应小于 55°，下部排泥管径不小于 200mm。

一般平流沉砂池的最大缺点，就是尽管控制了水流速度及停留时间，废水中一部分有机悬浮物仍然会在沉砂池内沉积下来，或者由于有机物附着在砂粒表面，随砂粒沉淀面沉积下来。为了克服这个缺点，目前有采用曝气沉砂池，即在沉砂池的侧壁下部鼓入压缩空气，使池内水流呈螺旋状态运动。由于有机物颗粒的密度小，故能在曝气的作用下长期处于悬浮状态，同时，在旋流过程中，砂粒之间相互摩擦、碰撞，附在砂粒表面的有机物也能被洗脱下来。通常曝气沉砂池采用穿孔管曝气，穿孔管内孔眼直径为 2.5～6mm，空气用量为 2～3m^3/m^2（池面），螺旋型水流周边最大旋转速度为 0.25～0.3m/s，池内水流前进速度为 0.01～0.1m/s，停留时间为 1.5～3.3min。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（五）隔油池

石油开采与炼制：煤化工、石油化工及轻工业行业的生产过程排出大量含油废水。油品相对密度一般都小于 1，只有重油相对密度大于 1。化工、炼油废水中的油类一般以三种状态存在，即：①悬浮状态，这部分油在废水中分散颗粒较大，易于上浮分离，占总含油量的 80%～90%；②乳化状态，油珠颗粒较小，直径一般在 0.05～25μm 之间，不易上浮去除，约占总含油量的 10%～15%；③溶解状态，这部分油仅占总含油量的 0.2%～0.5%。只要去除前两部分油，则废水中的绝大多数油类物质被去除，一般能够达到排放要求。对于悬浮状态的油类，一般用隔油池分离；对于乳化油则采用浮选法分离。

常用的隔油池有平流式、竖流式及斜板式。国内多采用平流式隔油池，其构造与平流式沉淀池相似，在实际运行中主要起隔油作用，但也有一定的沉淀作用。

国外常用的油分离器有平流式、平行板式和波纹板式等类型。其中波纹板式油分离器示于图 3-8。池内斜板大多数采用聚酯玻璃钢波纹板，板间距为 20～50mm，倾角不小于 45°，斜板采用异向流形式，废水自上而下流入斜板组，油粒沿斜板上浮。实践表明，斜板隔油池需停留时间仅为平流隔油池的（1/2）～（1/4），约 30min。斜板隔油池去除油滴的最小直径为 60μm。

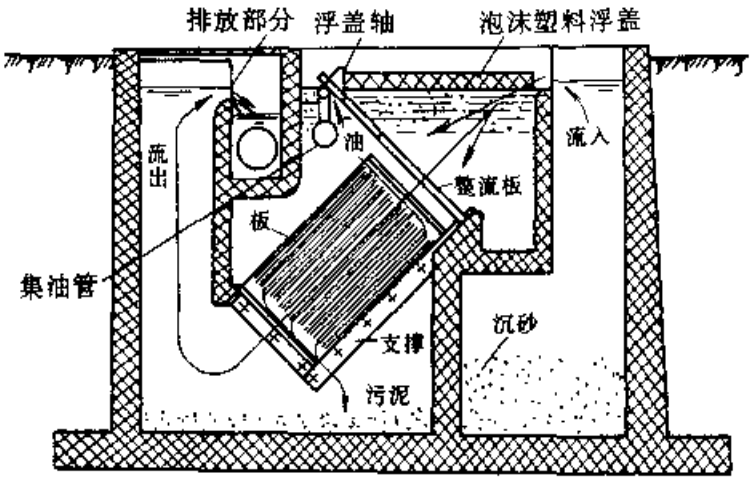


图 3-8　波纹板式油分离器

壳牌石油公司研制的斜板隔油池即所谓 PPI（Parallel Plate Intercepter）型油水分离池如图 3-9 所示。该装置可去除大于 60μm 的油珠。

二、离心分离

（一）离心分离的原理

含悬浮物的废水在高速旋转时，由于悬浮颗粒和废水的质量不同，所受到的离心力大小不同，质量大的被甩到外圈，质量小的则留在内圈，通过不

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

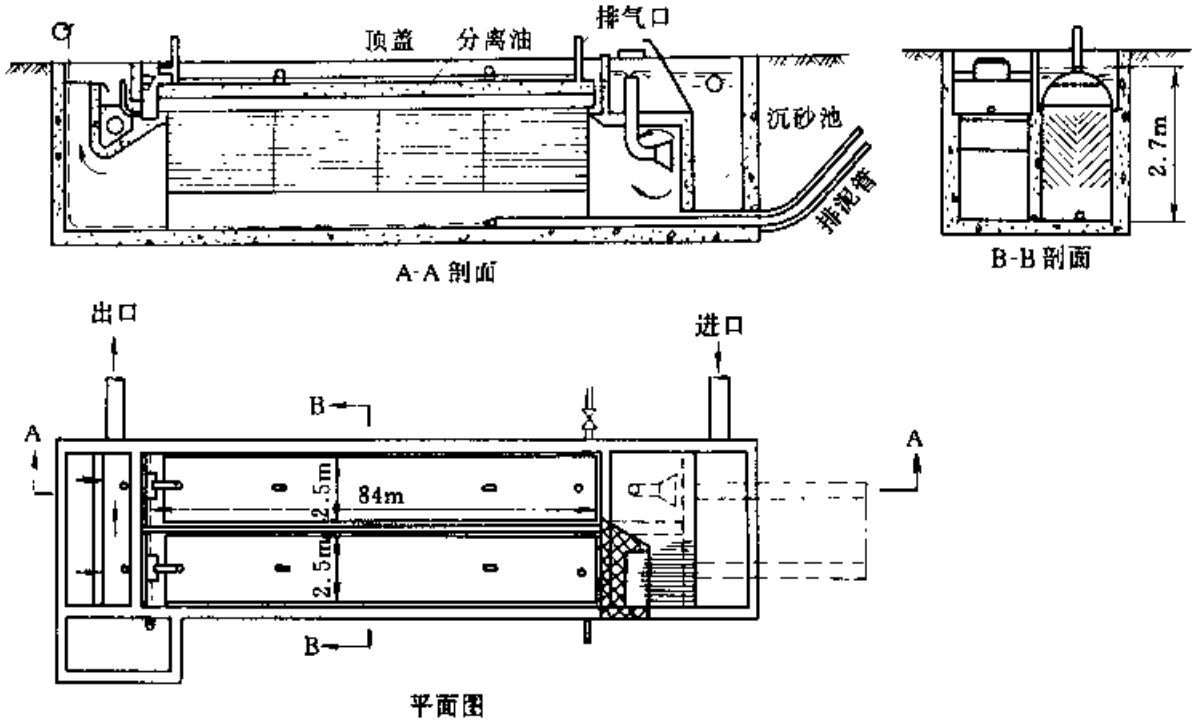


图 3-9 PPI 型油水分离池

同的出口将它们分别引导出来，利用此原理就可分离废水中悬浮颗粒，使废水得以净化。当废水高速旋转时，水中的颗粒物所受的离心力表示如下：

$$F_c = m \cdot a_c = m \cdot r \cdot \omega^2 = m \cdot \frac{v_s^2}{r}$$

式中 F_c——颗粒受到的离心力，N；

m——颗粒质量，kg；

a_c——离心加速度，m/s^2；

r——旋转半径，m；

ω——旋转角速度，s^{-1}；

v_s——颗粒的圆周切线速度，m/s。

按照

$$v_s = 2\pi \cdot r \cdot \frac{n}{90}$$

式中 n——转速，r/min。

又已知分离系数 α 是表示离心力 F_c 与重力 G 之比，即：

$$\alpha = \frac{F_c}{G} = \frac{m \cdot \frac{1}{r} \cdot \left(2\pi r \cdot \frac{n}{90}\right)^2}{mg} = \frac{r \cdot n^2}{895} \approx \frac{r \cdot n^2}{900}$$

如果旋转半径 $r = 0.5$m，转速 $n = 300$r/min，则 $\alpha = 50$。因此离心力远超过重力的大小，显然，废水进行离心分离时，加大废水的旋转速度，能提

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

高离心分离效率。又离心力 F_c 与 r 成反比，所以离心分离设备的直径不宜过大，一般小于 500mm。

（二）离心分离方式

离心分离设备按离心力产生的方式不同可分为水力旋流器和高速离心机两种类型。水力旋流器（或称旋液分离器）有压力式（见图 3-10）和重力式两种，其设备固定，液体靠水泵压力或重力（进出水头差）由切线方向进入设备，造成旋转运动产生离心力。高速离心机依靠转鼓高速旋转，使液体产生理性离力，压力式水力旋流器，可以将废水中所含的粒径 5μm 以上的颗粒分离出去。进水浓度的流速一般应在 6～10m/s，进水管稍向下倾 3°～5°，这样有利于水流向下旋转运动。

压力水力旋转器具有体积小，单位容积的处理能力高，处理能力可达 1000m^3/m^2。此时沉淀池的生产能力约为 1～2.5$m^3/(m^2 \cdot h)$，其次构造简单，使用方便等优点。并易于安装维护，其分离效果与自然沉淀池相近；缺点是水泵和设备易磨损，所以设备费用高，耗电较多。

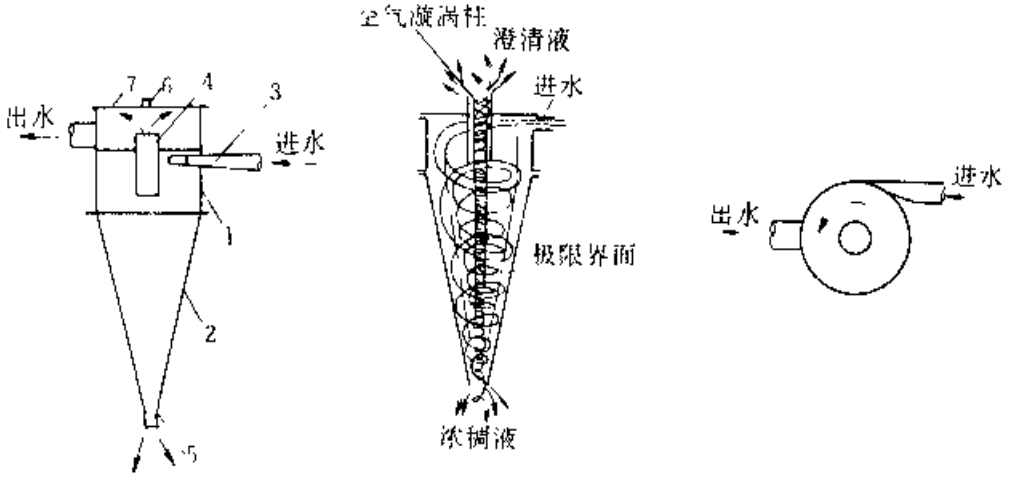


图 3-10 压力式水力旋流器

1—圆筒；2—圆锥体；3—进水管；4—上部清液排出管；5—底部清液排出管；6—放气管；7—顶盖

高速离心机处理废水，也称为机械旋转的离心分离方法，离心机的种类很多，按分离系数 α 的大小进行分类，离心机可以分为：

① 常速离心机，$\alpha < 3000$；

② 高速离心机，$2000 < \alpha < 12000$；

③ 超高速离心机，$\alpha > 12000$。

因为离心机的转速高，所以分离效率也高，但设备复杂，造价比较昂贵。一般只用在小批量的、有特殊要求的难处理废水方面。

三、过滤法

废水中含有的微粒物质和胶状物质，可以采用机械过滤的方法加以去

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

除。有时过滤方法作为废水处理的预处理方法，用以防止水中的微粒物质及胶状物质破坏水泵，堵塞管道及阀门等。另外过滤法也常用在废水的最终处理，使滤出的水可以进行循环使用。

（一）格栅过滤

格栅一般斜置在进水泵站集水井的进口处。它本身的水流阻力并不大，只有几厘米，阻力主要产生于筛余物堵塞栅条。一般当格栅的水头损失达到10～15cm时就该清洗。

格栅按形状，可分为平面格栅和曲面格栅两种。按格栅栅条的间隙，可分为粗格栅（50～100mm）、中格栅（10～40mm）、细格栅（3～10mm）三种。新设计的废水处理厂一般都采用粗、中两道格栅，甚至采用粗、中、细三道格栅。

格栅的去除效率，跟格栅的设计很有关系。格栅的设计内容包括尺寸计算、水力计算、栅渣量计算。图3-11是格栅的示意图。

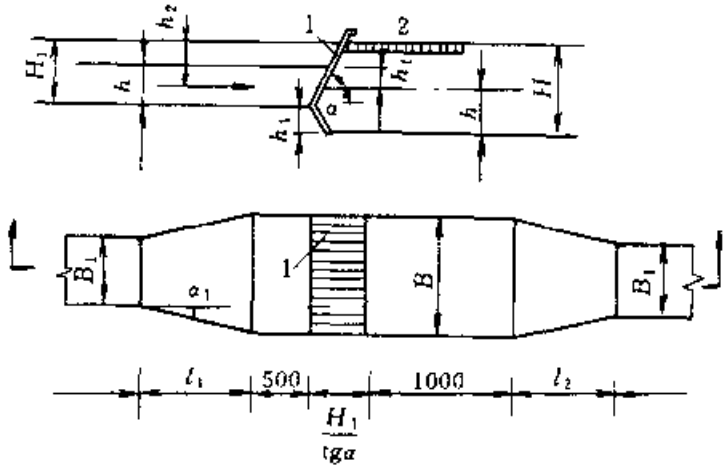


图3-11 格栅示意图

1—栅条；2—工作平台

1. 格栅的间隙数量 n 可由下式确定：

$$n=\frac{Q_{max}\sqrt{\sin\alpha}}{bhv}$$

式中 Q_{max}——最大设计流量，m^3/s；

α——格栅安置倾角，度，一般为60°～70°；

h——栅前水深，m；

v——过栅流速，m/s，最大设计流量时为0.8～1.0m/s，平均设计流量时为0.3m/s；

b——栅条净间隙，m，粗格栅 $b=50\sim100$mm，中格栅 $b=10\sim40$mm，细格栅 $b=3\sim10$mm。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

当栅条的间隙数为 n 时，则格栅的数目应为 $n-1$。

2. 格栅的建筑宽度 B 可由下式决定：

$$B = S(n-1) + bn \quad (\mathrm{m})$$

式中 S——栅条宽度，m。

3. 过栅的水头损失 h_2 由下式决定：

$$h_2 = k\xi \frac{v^2}{2g}\sin\alpha$$

式中 ξ——阻力系数，其值与格栅栅条的端面形状有关，见表 3-4 所列；

g——重力加速度，$\mathrm{m/s^2}$；

k——考虑到由于格栅受污染物堵塞后，格栅阻力增大的系数，可用经验式 $k = 3.36v \quad 1.32$ 求定。一般采用 $k = 3$。

表 3-4 格栅的阻力系数 ξ 的计算公式

格栅断面形状	计算公式	数 值
锐边矩形	$\xi = \beta\left(\frac{S}{b}\right)^{4/3}$	$\beta = 2.42$
迎水面为半圆形的矩形		$\beta = 1.83$
圆形		$\beta = 1.79$
迎水、背水面均为半圆型的矩形		$\beta = 1.67$
正方形	$\xi = \left(\frac{b+S}{\varepsilon b} - 1\right)^2$	$\varepsilon = 0.64$

注：表中 β 为栅条的形状系数，ε 为收缩系数。

4. 栅后槽的总高度由下式决定：

$$H = h + h_1 + h_2$$

式中 h——栅前水深，m；

h_1——栅前渠道超高，m，一般用 0.3m；

5. 栅槽总长度计算公式：

$$L = l_1 + l_2 + 1.0 + 0.5 + \frac{H_1}{\mathrm{tg}\alpha} \quad (\mathrm{m})$$

式中 $\xi = \beta\left(\frac{S}{b}\right)^{4/3} \quad (\mathrm{m})$

$l_2 = \frac{l_1}{2} \quad (\mathrm{m})$

式中 H_1——栅前槽高，m，$H_1 = h + h_2$；

l_1——进水渠道渐宽部分长度，m；

B_1——进水渠道宽度，m；

α_1——进水渠展开角，一般用 20°；

l_2——栅槽与出水渠连接渠的渐缩长度，m。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

6. 每日栅渣量计算：

$$W=\frac{Q_{max}W_1\times 86400}{K_{总}\times 1000}\quad (m^3/d)$$

式中 W_1——栅渣量（$m^3/10^3m^3$ 污水），取 0.1～0.01，粗格栅用小值，细格栅用大值，中格栅用中值；

$K_{总}$——生活污水流量总变化系数，可参考表 3-5。

表 3-5 生活污水流量总变化系数

平均日流量/(L/s)	4	6	10	15	25	40	70	120	200	400	750	1600
$K_{总}$	2.3	2.2	2.1	2.0	1.89	1.80	1.69	1.59	1.51	1.40	1.30	1.20

（二）筛网过滤

一些工业废水含有较细小选择不同尺寸的筛网，能去除水中不同类型和大小的悬浮物，如纤维、纸浆、藻类等。相当于一个初沉池的作用。

筛网过滤装置很多，有振动筛网、水力筛网、转鼓式筛网、转盘式筛网、微滤机等。下面介绍其中主要的几种。

振动式筛网示意图见图 3-12。它由振动筛和固定筛组成。污水通过振动筛时，悬浮物等杂质被留在振动筛上，并通过振动卸到固定筛网上，以进一步脱水。

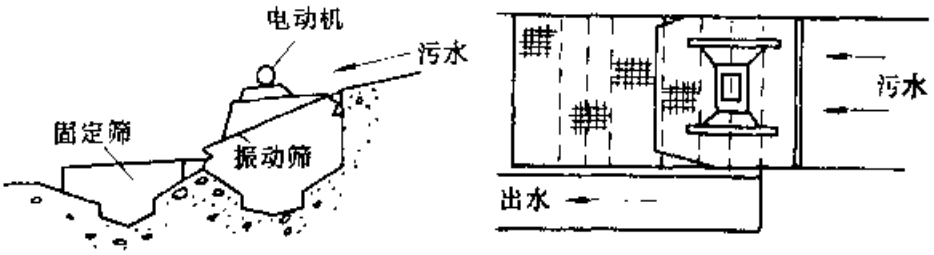


图 3-12 振动筛网示意图

水力筛网示意图见图 3-13。它也是由运动筛网和固定筛网组成。运动筛网水平放置，呈截顶圆锥形。进水端在运动筛网小端，废水在从小端到大端流动过程中，纤维等杂质被筛网截留，并沿倾斜面卸到固定筛以进一步脱水。水力筛网的动力来自进水水流的冲击力和重力作用。因此水力筛网的进水端要保持一定压力，且一般采用不透水的材料制成，面不用筛网。水力筛网已有较多的应用实例，但还未有定型的产品。

（三）颗粒介质过滤

颗粒状介质过滤适用于去除废水中的微粒物质和胶状物质，常用做离子交换和活性炭处理前的预处理，也能用做废水的三级处理。

颗粒介质过滤器可以是圆形池或方形池。过滤器无盖的称为敞开式过滤

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

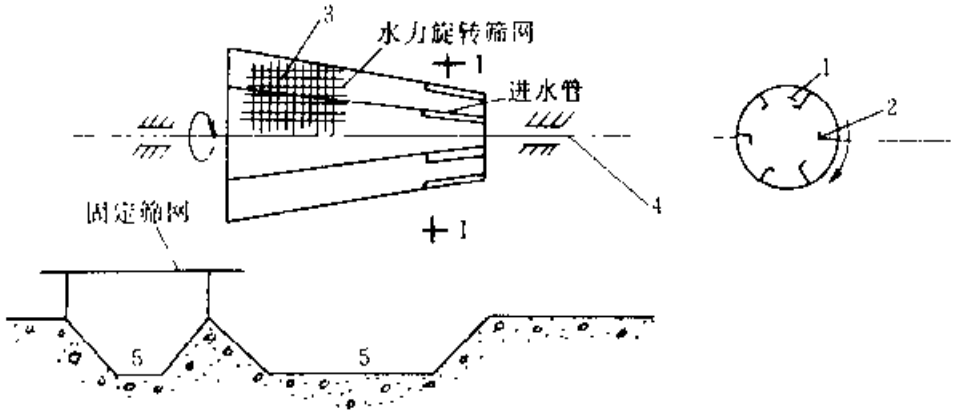


图 3-13　水力筛网构造示意图

1—进水方向；2—导水叶片；3—筛网；4—转动轴；5—水沟

器，一般废水自上流入，清水由下流出。有盖而且密闭的，称为压力过滤器，废水用泵加压送入，以增加压力。

过滤介质的粒度及材料，取决于所需滤出的微粒物粒子的大小、废水性质、过滤速度等因素。在废水处理中常用的滤料有石英砂、无烟煤粒、石榴石粒、磁铁矿粒、白云石粒、花岗岩粒以及聚苯乙烯发泡塑料球等。其中以石英砂使用最广。砂的机械强度大，相对密度在 2.65 左右，在 pH 为 2.1～6.5 的酸性废水环境中化学稳定性好，但废水呈碱性时，有溶出现象，此时一般常用大理石和石灰石。无烟煤的化学稳定性较石英砂好，在酸性、中性及碱性环境中都不溶出，但机械强度稍差，其密度因产地不同而有所不同，一般为 1.4～1.9。大密度滤料常用于多层滤料滤池，其中石榴石和磁铁矿的相对密度大于 4.2，莫氏硬度大于 6。对含胶状物质废水则可用粗粒骨炭、焦炭、木炭、无烟煤等，在此情况下，过滤介质兼有吸附作用。

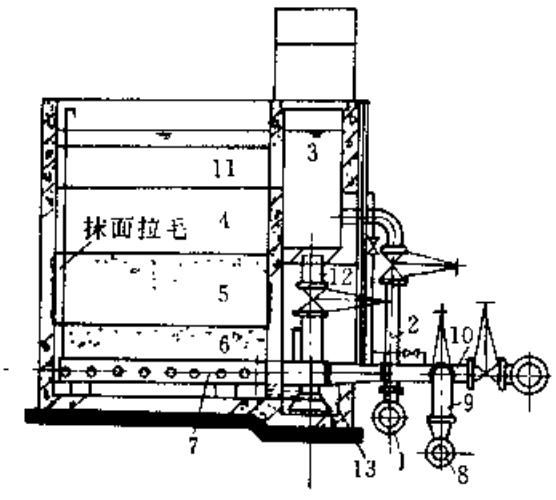


图 3-14　普通快滤池

1—进水干管；2—进水支管；3—集水渠；4—水层；5—过滤层；6—承托层；7—排水系统；8—滤过水干管；9—滤过水支管；10—冲洗水管；11—洗砂排水管；12—排水管；13—废水渠

图 3-14 为常用的颗粒介质过滤设备—普通快滤池。快滤池一般用钢筋混凝土建造，池内有排水槽、滤料层、垫料层和配水系统；池外有集中管廊，配有进水管、出水管、冲洗水管、冲洗水排出管等管道及附件。

在废水的三级处理中，往往

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

采用综合滤料过滤器，滤床采用不同的过滤介质，一般是以格栅或筛网及滤布等作为底层的介质，然后在其上再堆积颗粒介质。采用的一种综合滤料的组成是：无烟煤（相对密度 1.55）占 55%～60%，硅砂（相对密度 2.6）占 25%～30%，钛铁矿柘榴石（相对密度 4 以上）占 10%～15%以上。滤床上层是相对密度较小的无烟煤颗粒，一般粒径为 2mm；底层是相对密度较大的细粒材料，粒径为 0.25mm；最下面是砾石承托层。三种滤料之间适当的粒径和相对密度的比例是决定因素，而两种较重的滤料中应包括严格控制的各种细粒径滤料，这样，在反冲洗后，滤床的每一水平断面都有各种滤料，形成混合滤料面无明显的交界面。综合滤料滤池接近理想滤池，沿水流方向有由粗至细的级配滤料和逐渐均匀减少的空隙，以提供最大截污能力，从而延长过滤周期，增加滤速，接受较大的进水负荷。这种滤池的滤速可达 15～30m/h，为普通滤池的 3～6 倍。表 3-6 列出了普通快速滤池的滤料组成和滤速范围，图 3-15 列出了多层滤料床层的粒径分布。

表 3-6　普通快速滤池的滤料组成及滤速

滤池类型	滤料及粒径/mm	相对密度	滤料厚度/m	滤速/(m/h)	强制滤速/(m/h)
单层滤池	石英砂 0.5～1.2	2.65	0.7	8～12	10～14
双层滤池	无烟煤 0.8～1.8	1.5	0.4～0.5	4.8～24	
	石英砂 0.5～1.2	2.65	0.4～0.5	一般为 12	14～18
三层滤池	无烟煤 0.8～2.0	1.5	0.42	4.8～24	
	石英砂 0.5～0.8	2.65	0.23		
	磁铁矿 0.25～0.5	4.75	0.07	一般为 12	
三层滤池	无烟煤 1.0～2.0	1.75	0.45	4.8～24	
	石英砂 0.5～1.0	2.65	0.20		
	石榴石 0.2～0.4	4.13	0.10	一般为 12	

（四）微滤机过滤法

微滤机是一种机械过滤装置，其构造包括水平转鼓和金属滤网。转鼓和滤网安装在水池内，水池内还设有隔板。转鼓转动的圆周速度为 30m/min，三分之二的转鼓浸在池水中。滤网为含钼的不锈钢丝织成，孔径有 60μm、35μm、23μm 等三种，亦有采用 100μm 孔径的金属丝网。带有金属滤网转鼓的微滤机，可参考图 3-16。

微滤机的工作原理是废水通过金属网细孔进行过滤。废水从转鼓的空心轴管，通过金属网孔过滤后流入水池。截留在网上的悬浮物，随着转鼓转动到上面时，被冲洗水冲下，收集在转鼓内，随同冲洗水一起，从空心轴出口排出。微滤机的过滤及冲洗过程均为自动进行。

此法的优点为设备结构紧凑，处理废水量大，操作方便，占地较小。缺点是滤网的编织比较困难。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

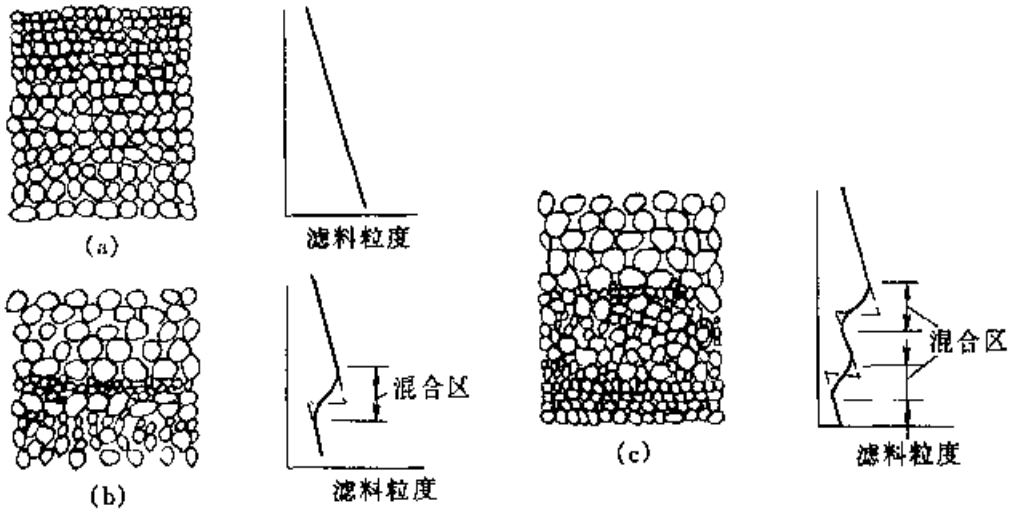


图 3-15　多层滤料床层的粒径分布图

(a) 单滤料床层的剖面；(b) 双滤料床层的剖面；(c) 三种滤料床层的剖面

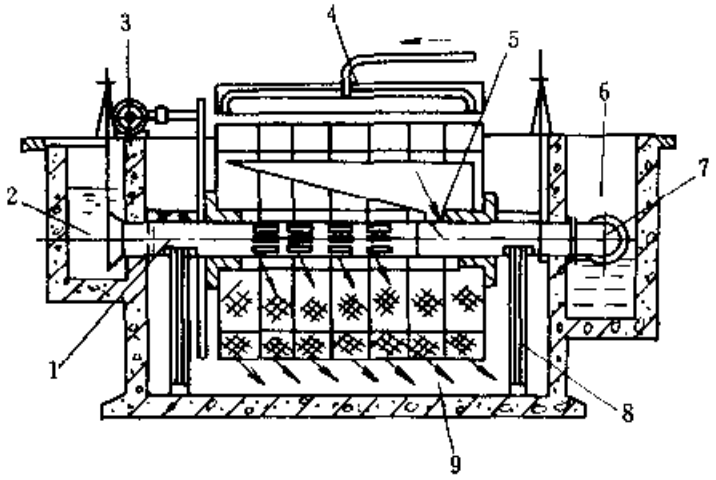


图 3-16　微滤机总图

1—空心轴；2—进水渠；3—电机；4—反冲洗设备；5—集水斗槽；
6—集水渠；7—反冲洗排水管；8—支承轴承；9—水池

另外，在化工废水的过滤处理中，还可以采用离心过滤机或板框过滤机等通用设备，近年来又有微孔管过滤机出现，微孔管代替金属丝网，起过滤作用，微孔管可由聚乙烯树脂或者用多孔陶瓷等制成。它的特点是，微孔孔径大小可以进行调节，微孔管调换比较方便，适用于过滤含有无机盐类的废水。

第四节　化学处理法

化学法是废水处理的基本方法之一。它是利用化学作用来处理废水中的溶解物质或胶体物质，可用来去除废水中的金属离子、细小的胶体有机物、

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

无机物、植物营养素（氮、磷）、乳化油、色度、臭味、酸、碱等，对于废水的深度处理有着重要作用。

化学法包括中和法、混凝法、氧化还原、电化学等方法。

一、中和法

在化工、炼油企业中，对于低浓度的含酸、含碱废水，在无回收及综合利用价值时，往往采用中和的方法进行处理。中和法也常用于废水的预处理，调整废水的 pH。

中和就是酸碱相互作用生成盐和水。例如：

$$H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O$$

中和也即 pH 调整或称为酸碱度调整。pH 为氢离子（H^+）浓度指数的简称。废水含酸或含碱时，表现为 pH 的降低或升高。废水呈中性时，pH 等于 7；pH 小于 7 时，废水呈酸性，pH 越小，酸性越强；pH 大于 7 时，废水呈碱性，pH 越大，碱性越强。pH 的应用范围在 0～14 之间。

对含酸或含碱废水、浓度在 4%（含酸浓度；含碱浓度为 2%）以下时，如果不能进行经济有效的回收、利用，则应经过中和，将废水的 pH 调整到呈中性状态，才能够排放。而对含酸、含碱浓度高的废水，则必须考虑回收及开展综合利用的方法。

（一）中和酸性或碱性废水的方法

1. 酸性废水的中和处理方法

对酸性废水进行中和时，可采用以下一些方法。

（1）使酸性废水通过石灰石滤床；

（2）与石灰乳混合；

（3）向酸性废水中投加烧碱或纯碱溶液；

（4）与碱性废水混合，使废水 pH 近于中性；

（5）向酸性废水中投加碱性废渣，如电石渣、碳酸钙、碱渣等。

通常，尽量选用碱性废水或废渣来中和酸性废水，以达到以废治废的目的。而烧碱或纯碱不仅价格很贵，而且又是重要的工业原料，货源亦紧张，故不应轻易选用。

中和各种酸所需耗用的碱性物质数量见表 3-7。

表 3-7　中和酸所需消耗的碱性物质数量

酸的种类	中和 1kg 酸所需碱性物质的量/kg						
	CaO	$Ca(OH)_2$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaMg(CO_3)_2$	NaOH	Na_2CO_3
硫酸	0.57	0.755	1.02	0.86	0.94	0.815	1.03
盐酸	0.77	1.01	1.37	1.15	1.26	1.10	1.45
硝酸	0.455	0.59	0.795	0.668	0.732	0.635	0.84
醋酸	0.466	0.616	0.83	0.695	—	0.666	0.88

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

值得注意两点：①采用中和法时，中和时间一般要长。例如对含有弱酸的废水，选用碳酸盐，反应时间很慢；如含醋酸废水，适宜选用氢氧化物碱类进行中和；②中和后，应避免生产大量沉渣，否则会影响处理效果，同时又带来沉渣的处理问题，故生成的盐要有一定大小的溶解度。例如含硝酸、盐酸的废水，中和后生产的盐，一般多易溶于水，不产生沉淀。又如含硫酸的废水，如果用石灰石中和时，则要产生大量的硫酸钙沉淀，因为硫酸钙在水中的溶解度比较小。

2．碱性废水处理方法

对碱性废水，一般可以采用以下途径进行中和。

（1）向碱性废水中鼓入烟道废气；

（2）向碱性废水注入压缩的二氧化碳气体；

（3）向碱性废水投入酸或酸性废水等；

（4）在碱性废水中产生一氧化碳。

对碱性废水进行中和时，可首先考虑采用酸性废水的中和处理。若附近没有酸性废水时可采用投加酸进行中和。工业用硫酸是在碱性废水中和中应用比较多的酸。中和各种碱性废水所需的酸量可见表 3-8。

表 3-8　中和碱性废水所需消耗的酸量

碱类名称	中和 1kg 碱所需耗用的酸量/kg					
	H_2SO_4		HCl		HNO_3	
	100%	98%	100%	36%	100%	65%
NaOH	1.22	1.24	0.91	2.53	1.37	2.42
KOH	0.88	0.90	0.65	1.80	1.13	1.74
$Ca(OH)_2$	1.32	1.34	0.99	2.74	1.70	2.62
NH_3	2.88	2.93	2.12	5.90	3.71	5.70

用烟道气中和碱性废水，主要是利用烟道气中的 CO_2 和 SO_2 两种酸性气体对碱性废水进行中和。这是一种以废治废，开展综合利用的很好办法，既可以降低废水的 pH，又可以去除烟道气中的灰尘，并使烟道气中的 CO_2 及 SO_2 气体从烟气中分离出去，防止烟道气污染大气。湖南省长沙印染厂等单位的运行情况证明，烟道气中和法对降低碱性废水 pH 效果明显，pH 一般可由 10～12 降至 5～7 左右。存在的问题是废水经中和后，废水中硫化物、色度、耗氧量都有所增加，今后仍需加以研究解决。

（二）酸性废水中和处理的方式和设备

1．酸性废水与碱性废水混合

若有酸性与碱性两种废水同时均匀的排出时，并两者各自所含的酸、碱量又能够相互平衡。那么，两者可以直接在管道内混合，不需设中和池，但

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

是，对于排水情况经常波动变化时，则必须设置中和池，在中和池内进行中和反应，如图 3-17 所示。

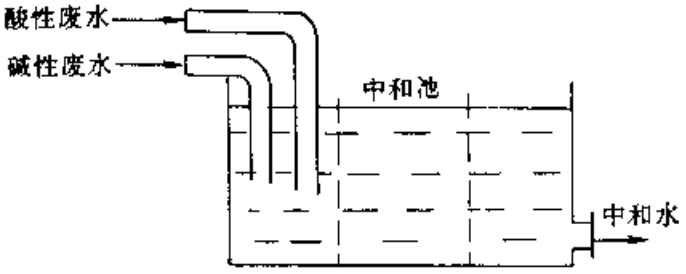


图 3-17　酸、碱性废水的中和处理流程

中和池一般应是平行设计两套，进行交替使用。设计时应考虑废水在中和池内停留的时间为 15min 左右，根据具体情况，控制经中和以后的出水 pH 在 5～8 的范围内。

2. 投药中和

投药中和就是将碱性中和药剂如石灰、石灰石、电石渣、苏打等，投入到酸性废水中，经过充分中和反应，使废水得以治理。投药中和又分为干投法和湿投法两种。

（1）干投法　干投法是将固体的中和药剂按理论投加量的 1.4～1.5 倍，均匀连续地投入到酸性废水中。干法可采用利用电磁振荡原理的石灰振荡设备投加，以保证投加量的均匀。它设备简单，但反应较慢，而且反应不易彻底，而且投药量大。图 3-18 所表示的用石灰石中和酸性废水的干投法流程。

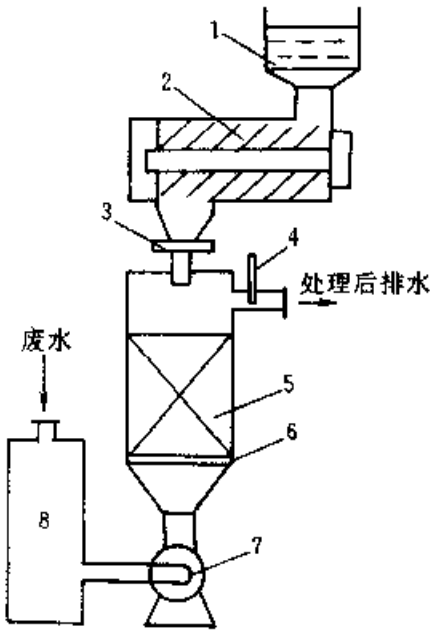


图 3-18　用石灰石中和酸性废水的干投法流程

1—石灰石贮槽；2—螺旋输送器；3—计量计；4—pH 计；5—石灰石床层；6—分配板；7—水泵；8—废水贮槽

（2）湿投法　当石灰成块状时，则不宜采用干投法，可采用湿投法。即先在石灰消化槽里将石灰加水消化，制成 40%～50% 浓度的乳液，投入乳液槽，再加水搅拌调配成 5%～10% 浓度的石灰水，然后用泵送到投配槽，经投加器投入渠道，与酸性废水共同流入中和反应池，发生中和反应后进行澄清，使水与沉淀物进行分离。其流程如图 3-19 所示。

3. 过滤中和

过滤中和就是利用石灰石、大理石、白云石等作滤料，使酸性废水通过滤料得到中和。采用过滤中和时，要求对废水中的悬浮物、油脂等进行预处

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

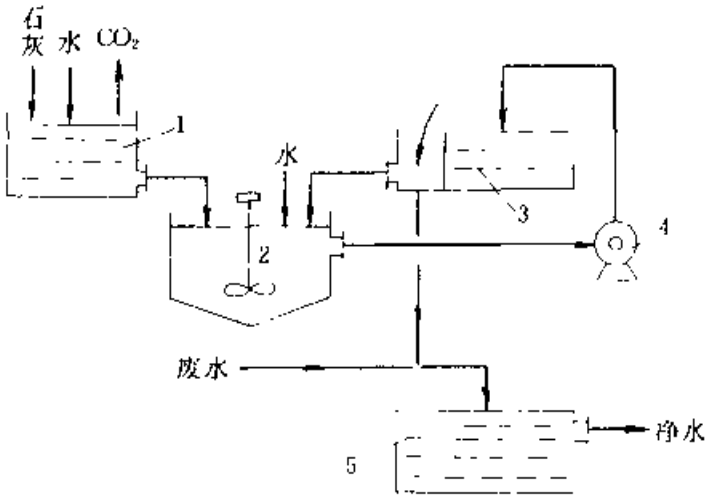


图 3-19　石灰石湿投法流程

1—石灰消化槽；2—乳液槽；3—投加器；4—水泵；5—中和池

理，以便于中和的进行，并防止滤料的堵塞。

图 3-20 所示为普通中和滤池。以石灰石（$CaCO_3$）作滤料时，中和反应速率较使用其他滤料时要快，故从经济上考虑，一般选用石灰石最合适。但过滤中和含硫酸废水如用石灰石作滤料，则中和后产生的硫酸钙会覆盖滤料使之堵塞，而影响中和反应的继续进行。因此，一般采用白云石滤料对含硫酸废水进行过滤中和；此时，中和反应产生的硫酸镁易溶于水，不会影响中和反应的继续进行，但相对的处理成本比较高。

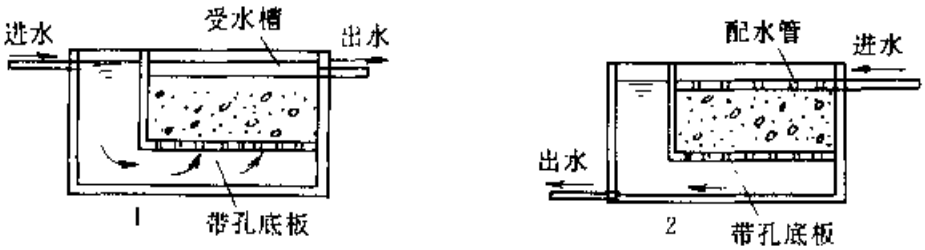


图 3-20　普通中和滤池

1—升流式；2—降流式

最近，为了克服硫酸钙沉淀覆盖滤料这一缺点，利用石灰石作滤料处理含硫酸废水出现了新型的过滤中和反应器，即流化床中和反应器（见图 3-21 升流式膨胀中和滤池）。在石灰石膨胀过程中颗粒间的相互摩擦，破坏硫酸钙覆盖层，而脱下的硫酸钙随水带走。

（三）碱性废水中和处理的方式和设备

1. 利用废酸性物质中和法

废酸性物质包括含酸废水、烟道气等。烟道气中 CO_2 含量可高达 24%，此外有时还含有高浓度的 SO_2 和 H_2S 等酸性气体，故可用来中和碱性废水。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

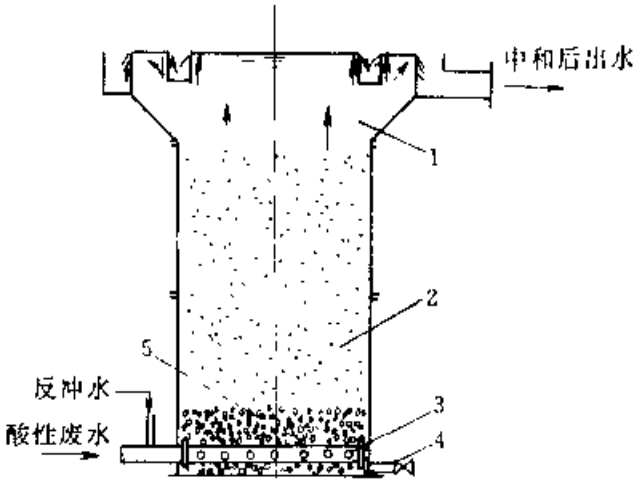


图 3-21　升流式膨胀中和滤池

1—消水区；2—石灰石滤料；3—大阻力配水系统；4—放空管；5—卵石垫层

用烟道气中和碱性废水一般在喷淋塔中进行。废水从塔顶布水器均匀喷出，烟道气则从塔底鼓入，两者在填料层间进行逆流接触，完成中和过程，使碱性废水和烟道气都得到净化，关键是控制好气液比。根据资料介绍，用烟道气中和碱性废水，出水的 pH 可由 10～12 降到 7 左右。该法的优点是以废治废，投资省，运行费用低，缺点是出水中的硫化物、耗氧量和色度都会明显增加，还需进一步处理。

2. 药剂中和法

常用的药剂是硫酸、盐酸及压缩二氧化碳。硫酸的价格比较低，应用最广。盐酸的优点是反应物溶解度高，沉渣量少，但价格较高。用无机酸中和碱性废水的工艺流程与设备，和药剂中和酸性废水基本相同，在此不再赘述。用 CO_2 中和碱性废水，采用设备与烟道气处理碱性废水类似，均为逆流接触反应塔。用 CO_2 作中和剂可以不需 pH 控制装置，但由于成本较高，在实际工程中使用不多。

二、混凝沉淀法

（一）混凝原理

混凝法的基本原理是在废水中投入混凝剂，因混凝剂为电解质，在废水里形成胶团，与废水中的胶体物质发生电中和，形成绒粒沉降。混凝沉淀不但可以去除废水中的粒径为 10^{-3}～10^{-6}mm 的细小悬浮颗粒，而且还能够去除色度、油分、微生物、氮和磷等富营养物质、重金属以及有机物等。

废水在未加混凝剂之前，水中的胶体和细小悬浮颗粒的本身质量很轻，受水的分子热运动的碰撞而作无规则的布朗运动。颗粒都带有同性电荷，它们之间的静电斥力阻止微粒间彼此接近而聚合成较大的颗粒；其次，带电荷

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的胶粒和反离子都能与周围的水分子发生水化作用，形成一层水化壳，有阻碍各胶体的聚合。一种胶体的胶粒带电越多，其ξ电位就越大；扩散层中反离子越多，水化作用也越大，水化层也越厚，因此扩散层也越厚，稳定性越强。

废水中投入混凝剂后，胶体因ξ电位降低或消除，破坏了颗粒的稳定状态（称脱稳）。脱稳的颗粒相互聚集为较大颗粒的过程称为凝聚。未经脱稳的胶体也可形成大的颗粒，这种现象称为絮凝。不同的化学药剂能使胶体以不同的方式脱稳、凝聚或絮凝。按机理，混凝可分为压缩双电层、吸附电中和、吸附架桥、沉淀物网捕四种。

1. 压缩双电层机理

由胶体粒子的双电层结构可知，反离子的浓度在胶粒表面最大，并沿着胶粒表面向外的距离呈递减分布，最终与溶液中离子浓度相等。当向溶液中投加电解质，使溶液中离子浓度增高，则扩散层的厚度将减少。该过程的实质是加入的反离子与扩散层原有反离子之间的静电斥力把原有部分反离子挤压到吸附层中，从而使扩散层厚度减小。

由于扩散层厚度的减小，ξ电位相应降低，因此胶粒间的相互排斥力也减少。另一方面，由于扩散层减薄，它们相撞的距离也减少，因此相互间的吸引力相应变大。从而其排斥力与吸引力的合力由斥力为主变成以引力为主（排斥势能消失了），胶粒得以迅速凝聚。

2. 吸附电中和机理

胶粒表面对异号离子、异号胶粒、链状离子或分子带异号电荷的部位有强烈的吸附作用，由于这种吸附作用中和了电位离子所带电荷，减少了静电斥力，降低了ξ电位，使胶体的脱稳和凝聚易于发生。此时静电引力常是这些作用的主要方面。三价铝盐或铁盐混凝剂投量过多，混凝效果反而下降的现象，可以用本机理解释。因为胶粒吸附了过多的反离子，使原来的电荷变号，排斥力变大，从而发生了再稳现象。

3. 吸附架桥机理

吸附架桥作用主要是指链状高分子聚合物在静电引力、范德华力和氢键力等作用下，通过活性部位与胶粒和细微悬浮物等发生吸附桥联的过程。

当三价铝盐或铁盐及其他高分子混凝剂溶于水后，经水解、缩聚反应形成高分子聚合物，具有线形结构。这类高分子物质可被胶粒所强烈吸附。聚合物在胶粒表面的吸附来源于各种物理化学作用，如范德华引力、静电引力、氢键、配位键等，取决于聚合物同胶粒表面二者化学结构的特点。因其线形长度较大，当它的一端吸附某一胶粒后，另一端又吸附另一胶粒，在相距较远的两胶粒间进行吸附架桥，使颗粒逐渐变大，形成粗大絮凝体。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

4. 沉淀物网捕机理

当采用硫酸铝、石灰或氯化铁等高价金属盐类作混凝剂时，当投加量大得足以迅速沉淀金属氢氧化物（如 $Al(OH)_3$，$Fe(OH)_3$）或带金属碳酸盐（如 $CaCO_3$）时，水中的胶粒和细微悬浮物可被这些沉淀物在形成时作为晶核或吸附质所网捕。水中胶粒本身可作为这些沉淀所形成的核心时，凝聚剂最佳投加量与被除去物质的浓度成反比，即胶粒越多，金属凝聚剂投加量越少。

以上介绍的混凝的四种机理，在水处理中往往可能是同时或交叉发挥作用的，只是在一定情况下以某种机理为主而已。低分子电解质的混凝剂，以双电层作用产生凝集为主；高分子聚合剂则以架桥联结产生絮凝为主。故通常将低分子电解质称为混凝剂，而把高分子聚合物单独称为絮凝剂。

（二）影响混凝效果的因素

在废水的混凝沉淀处理过程中，影响混凝效果的因素比较多。其中重要的有：

① 水样的影响　对不同水样，由于废水中的成分不同，同一种混凝剂的处理效果可能会相差很大。

② 药剂投加量的影响　药剂投加量有其最佳值，混凝剂投加量不足，则水中杂质未能充分脱稳去除，加入太多则会再稳定。

③ 水温的影响　其影响主要表现在：a. 影响药剂在水中碱度起化学反应的速度，对金属盐类混凝剂影响很大，因其水解是吸热反应；b. 影响矾花的形成和质量。水温较低时，絮凝体形成缓慢，结构松散，颗粒细小；c. 水温低时水的粘度大，布朗运动强度减弱，不利于脱稳胶粒相互凝聚，水流剪力也增大，影响絮凝体的成长。该因素主要影响金属盐类的混凝，对高分子混凝剂影响较小。

④ 碱度的影响　主要指金属盐类，因其混凝过程中水解产生大量 H^+ 离子，造成 pH 下降，以至降到最优混凝条件以下，保持一定碱度则使反应过程中 pH 基本保持恒定；对于高分子混凝剂，因其作用并非靠大量水解来实现的，且水中均会保持有一定的碱度，故对其最佳投加量影响不大。

⑤ 废水 pH 的影响　对金属盐类，pH 影响其在水中水解产物的种类与数量，一般在 pH 为 5.5～8.0 时有较高脱除率；对人工合成高分子混凝剂，则影响其活性基团的性质。

⑥ 水力条件的影响　混凝的过程是混凝剂与胶粒发生反应并逐步凝聚在一起的过程，水流紊动过于缓慢，则混凝剂与胶粒反应速率太小，紊动过于激烈则使结成的絮体重新破裂。一般混凝过程分为混合与反应两个阶段，混合阶段持续大约 10～30s，一般不超过 2min，其速度梯度 $G = 700 \sim$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

1000s^{-1}，主要是使药剂迅速而均匀地扩散到水中，反应阶段通常为10～30min，其平均速度梯度的值为10～75s^{-1}（通常30～60s^{-1}），Gt值为10^4～10^5，主要是使水中微粒凝聚成矾花并增大而沉淀（或上浮）的过程。

（三）混凝剂和助凝剂

混凝剂的品种目前不下二三百种，按其化学成分可分为无机及有机两大类。无机盐主要是铝和铁的盐类及其水解聚合物，有机类品种很多，主要是高分子化合物，可分为天然的及人工合成的两部分。

无机混凝剂主要是利用其中的强水解基团水解形成的微絮体使脱粒脱稳，从19世纪末美国最先将硫酸铝用于给水处理并取得专利后，无机混凝剂以其价格低廉，原料易得等优点得以大量运用，目前无机混凝剂的主要品种见表3-9。

表3-9 常用无机类混凝剂一览表

类　别	药品名称	化学式
高分子	聚合氯化铝(PAC)	$[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$
	聚合硫酸铝(PAS)	$[Al_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$
	聚合氯化铁(PFC)	$[Fe_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$
	聚合硫酸铁(PFS)	$[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{6-n/2}]_m$
低分子	硫酸铝(AS)	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$
	二氯化铝(AC)	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$
	明矾(硫酸铝铵)(AA)	$(NH_4)_2SO_4Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$
	硫酸铝钾(KA)	$K_2SO_4Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$
	含铁硫酸铝(MICS)	$Al_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3$
	硫酸亚铁	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
	硫酸铁(FS)	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 12H_2O$
	氯化铁(FC)	$FeCl_3 \cdot nH_2O$
	氯化绿矾	$FeCl_3 + Fe_2(SO_4)_3$
	氯化锌(ZC)	$ZnCl_2$
	硫酸锌(ZS)	$ZnSO_4$
	氧化镁	MgO
	碳酸镁	$MgCO_3$
	电解铝	$Al(OH)_3$
	电解铁	$Fe(OH)_3$

有机混凝剂分为天然有机混凝剂与人工合成有机高分子混凝剂。天然有机混凝剂是人类使用较早的混凝剂，不过其用量远少于人工合成高分子混凝剂，其原因在于天然高分子混凝剂电荷密度较小，相对分子质量较低，且易发生生物降解而失去絮凝活性，人工合成有机高分子絮凝剂的运用是近三十年来的事，但在水和废水处理及污泥调理中的运用却越来越广泛。人工合成有机高分子絮凝剂都是水溶性聚合物，重复单元中常包含带电基团，因而也

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

被称为聚电解质。包含带正电基团的为阳离子型聚电解质，包含带负电基团的为阴离子型聚电解质，既包含带正电基团又包含带负电基团的为两性型聚电解质，有些人工合成有机高分子絮凝剂在制备中并没有人为地引进带电基团，称为非离子型聚电解质。水及废水处理中，使用较多的是阳离子型、阴离子型和非离子型聚电解质，表 3-10 是水和废水处理中常用的聚电解质。

表 3-10　常用聚电解质

名　　称	离子型	说　　明
聚丙烯酰胺(PAM)	非	主要非离子絮凝剂品种
聚氧化乙烯(PEO)	非	对某些情况很有效
聚乙烯吡咯酮	非	专用絮凝剂
部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)	阴	主要阴离子絮凝剂品种，均聚物
聚乙烯磺酸盐(PSS)	阴	M 为金属离子，负电性强，电荷对 pH 不敏感，均聚物
聚乙烯胺	阴	均聚物，电荷与 pH 有关
聚羟基丙基-甲基氯化铵	阳	均聚物，电荷与 pH 有关
聚二甲基二烯丙基氯化铵	阳	均聚物，正电性强，电荷对 pH 不敏感，主要阳离子絮凝剂品种
聚羟基丙基二甲基氯化铵	阳	均聚物，正电性强，电荷对 pH 不敏感
聚二甲基铵甲基丙烯酰铵	阳	主要阳离子絮凝剂品种，电荷与 pH 有关
聚二甲基丙基甲基丙烯酰铵	阳	水解为阳离子丙烯酰铵衍生物

为了提高混凝沉淀的效果，通常在使用混凝剂时还需加入一些助凝剂。助凝剂有三类，即：

(1) pH 调节剂　是用来调整废水的 pH，以达到混凝剂使用的最佳 pH。常用的有石灰等。

(2) 活化剂　用来改善絮凝体的结构，增加混凝剂的活性，如活性炭、各种黏土及活化硅酸等，活化硅酸是由硅酸钠与硫酸中和并熟化，使硅酸钠转化成硅酸单体，聚合成高分子物质。其优点：絮凝体形成快，而且粒大、密实。在低温下也能很好凝聚，而且最佳 pH 的范围很广。若将其与硫酸亚铁或硫酸铝合用，凝聚效果更好。

(3) 氧化剂　用来破坏其他对混凝剂有干扰的有机物质，如氯等。

(四) 混凝处理流程及设备

混凝处理流程包括投药、混合、反应及沉淀分离几个部分，其示意如图 3-22 所示。

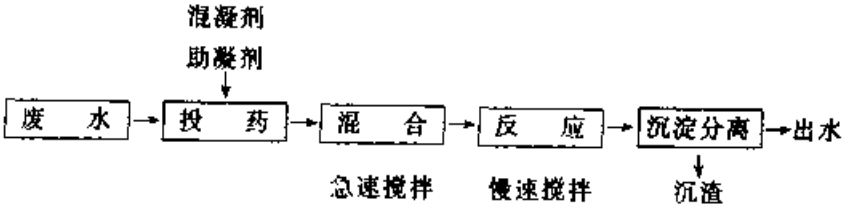


图 3-22　混凝沉淀处理流程示意图

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

1. 投药

投药方法分干法和湿法两种。干法即把药剂直接投放到被处理的水中。其优点是占地少，缺点是对药剂的粒度要求较高，投配量较难控制，对机械设备要求较高，同时劳动条件也差。用得较多的是湿法，即先把药剂配制成一定浓度的溶液，再投入被处理水中。

投药设备包括投加和计量两部分。常采用的投加设备有：耐酸水泵、真空泵及空气压缩机等；常用的计量设备有浮杯式计量器、孔板及转子流量计等。

2. 混合

当药剂投入废水中后在水发生水解反应并产生异电荷胶体，与水中胶体和悬浮物接触，形成细小的矾花，这一过程就是混合，大约在 10～30s 内完成，一般不超过 2min。对混合的要求是快速而均匀。快速是因混凝剂在废水中发生水解反应的速度很快，需要尽量造成急速扰动以生成大量细小胶体，并不要求生产大颗粒；均匀是为了使化学反应能在废水中各部分得到均衡发展。

混合的动力源有水力和机械搅拌两类。因此混合设备也分为两类，采用机械搅拌的有机械搅拌混合槽、水泵混合槽等；利用水力混合的有管道式、穿孔板式、涡流式混合槽等。

3. 反应

混合完成后，水中已产生细小絮体，但还未达到自然沉降的粒度，反应设备的任务就是使小絮体逐渐絮凝成大絮体。反应设备应有一定的停留时间和适当的搅拌强度，以让小絮体能相互碰撞，并防止生产的大絮体沉淀。但搅拌强度太大，则会使生成的絮体破碎，且絮体越大，越易破碎，因此小反应设备中，沿着水流方向搅拌强度应越来越小。反应时间一般需 20～30min 左右。

反应池的形式有隔板反应池、涡流式反应池、悬浮反应加隔板反应池和机械搅拌反应池等。比较常用的机械搅拌反应池结构见图 3-23。

4. 澄清池

澄清池是能够同时实现混凝剂与原水的混合、反应、澄清合成一体的设备。具有效率高而尺寸小的优点。它利用的是接触凝聚原理，即强化混凝过程，在池中让已经生成的絮凝体悬浮在水中成为悬浮泥渣层（接触凝聚区），当投加混凝剂的水通过它时，废水中新生成的微絮粒迅速吸附在悬浮泥渣上，从而能够达到良好的去除效果。所以澄清池的关键部分是接触凝聚区。保持泥渣处于悬浮、浓度均匀稳定的工作条件已成为所有澄清池共同特点。图 3-24 为混凝沉淀中常用的一种设备——机械加速澄清池。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

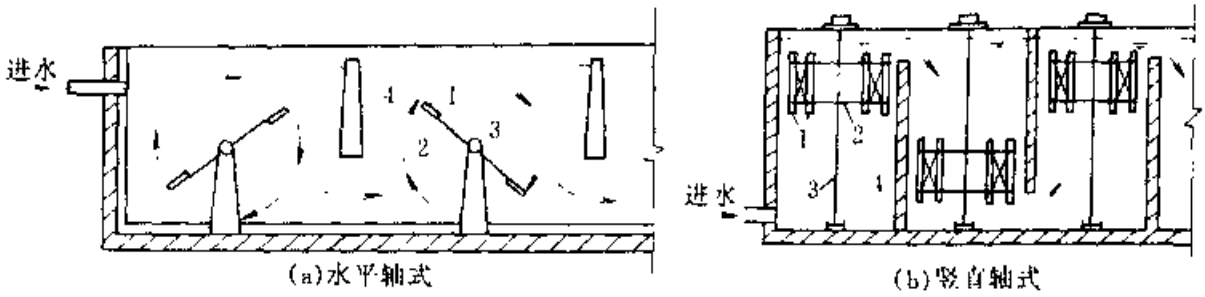


图 3-23 机械搅拌反应池

1—桨板；2—叶轮；3—转轴；4—隔板

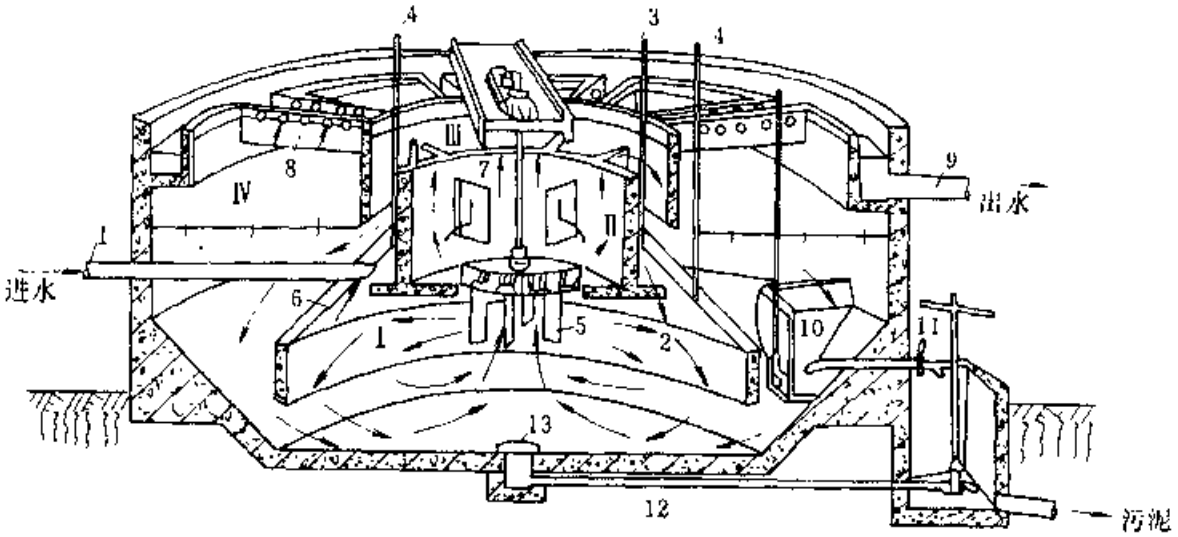


图 3-24 机械加速澄清池结构透视图

Ⅰ—混合室；Ⅱ—反应池；Ⅲ—导流室；Ⅳ—分离室

1—进水管；2—三角配水槽；3—排气管；4—投药管；5—搅拌桨；6—伞形罩；7—导流板；8—集水槽；9—出水管；10—泥渣浓缩室；11—排泥管；12—排空管；13—排空阀

总的来讲，由于混凝沉淀法具有许多优点，它除污效果好、效率比较高；操作简单，处理方便；费用低；适用范围广等。所以目前已成为处理化工废水的最普遍采用的方法之一。同时，为了进一步提高废水的处理效率，现已采取的两方面措施：一是采取化学磁性混凝沉淀；另一是进行充电混凝沉降。

三、氧化还原法

废水经过氧化还原处理，可使废水中所含的有机物质和无机物质转变成无毒或毒性不大的物质，从而达到废水处理的目的。

由标准氧化还原电位可以判断氧化剂和还原剂的氧化还原能力，各物质的标准氧化还原电极电位见表 3-11。电极电位 $E^{\ominus}$ 值越大（正值越大），电对中氧化型作氧化剂时氧化能力越强。$E^{\ominus}$ 值越小（负值越小），电对中还原型作还原剂时还原能力就越强。从表中可以看出，氧化能力最强的是氟，但

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

是用氟来处理废水目前尚存在一定的困难，一般用得比较多的氧化剂主要是 Cl_2、O_3 等。

表 3-11 标准氧化还原电极电位（25℃时）

氧化型（氧化剂）	电子数 n	还原型（还原剂）	电极电位 $E^{\ominus}$/V
F_2	$2e^-$	2F	+2.87
O_3+2H^+	2e	O_2+H_2O	+2.07
$H_2O_2+2H^+$	$2e^-$	$2H_2O$	+1.77
$MnO_4^-+4H^+$	$3e^-$	MnO_2+2H_2O	+1.695
$ClO_3^-+6H^+$	$6e^-$	Cl^-+3H_2O	+1.45
Cl_2	2e	$2Cl^-$	+1.359
$Cr_2O_7^{2-}+14H^+$	$6e^-$	$2Cr^{3+}+7H_2O$	+1.33
ClO^-+H_2O	$2e^-$	Cl^-+2OH^-	+0.89
Hg^{2+}	$2e^-$	Hg	+0.854
Fe^{3+}	e	Fe^{2+}	+0.771
I_2	$2e^-$	$2I^-$	+0.5355
Cu^{2+}	$2e^-$	Cu	+0.34
$2H^+$	2e	H_2	±0.000
Fe^{3+}	$3e^-$	Fe	−0.036
Fe^{2+}	$2e^-$	Fe	−0.44
S	$2e^-$	S^{2-}	−0.48
Cr^{3+}	$3e^-$	Cr	−0.74
Zn^{2+}	$2e^-$	Zn	−0.763
Mn^{2+}	$2e^-$	Mn	−1.182
Al^{3+}	3e	Al	−1.66
Mg^{2+}	$2e^-$	Mg	−2.37
Na^+	e^-	Na	−2.714

投加化学氧化剂可以处理废水中的 CN$^-$、S^{2-}、Fe^{2+}、Mn^{2+} 等离子。废水处理中常用的氧化剂包括下列几类。

① 在接受电子后还原成负离子的中性分子，如 Cl_2、O_2、O_3 等。

② 带正电荷的离子，接受电子后还原成负离子，如漂白粉的次氯酸根中的 Cl^+ 变为 Cl$^-$。

③ 带正电荷的离子，接受电子后还原成带较低正电荷的离子，如 MnO_4^- 中的 Mn^{7+} 变为 Mn^{2+}、Fe^{3+} 变为 Fe^{2+} 等。

常用的氧化法如下。

1. 空气氧化法

空气氧化法是利用空气中的氧气氧化废水中的有机物和还原性物质的一种处理方法，空气因氧化能力比较弱，主要用于含还原性较强物质的废水处理，如炼油厂的含硫废水。空气中的氧与水中硫化物的反应如下：

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$2HS^- + 2O_2 \longrightarrow S_2O_3^{2-} + H_2O \quad (1)$$

$$2S^{2-} + 2O_2 + H_2O \longrightarrow S_2O_3^{2-} + 2OH^- \quad (2)$$

$$S_2O_3^{2-} + 2O_2 + 2OH^- \longrightarrow 2SO_4^{2-} + H_2O$$

有机硫化物与氧反应生成二硫化物，其在水中的溶解度很小，容易从水中分离出去，反应如下：

$$RSNa + R'SNa + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow RS\text{-}SR' + 2NaOH$$

反应过程中，式（1）与式（2）反应为主反应。根据理论计算，每氧化1kg硫化物为硫代硫酸盐，需氧量为1kg，约相当于3.7m^{3}空气。由于部分硫代硫酸盐（约10%）会进一步氧化为硫酸盐，使需氧量约增加到4.0m^{3}空气。而实际操作中供气量往往为理论值的2～3倍。

空气氧化脱硫在密闭的塔器（空塔、板式塔、填料塔）中进行。图3-25为某炼油厂的废水氧化装置。含硫废水经隔油沉渣后与压缩空气及水蒸气混合，升温至80～90℃，进入氧化塔，塔径一般不大于2.5m，分四段，每段高3m。每段进口处设喷嘴，雾化进料。塔内气水体积比不小于15。增大气水比则气液的接触面积加大，有利于空气中的氧向水中扩散，加快氧化速度。废水在塔内平均停留时间为1.5～2.5h。

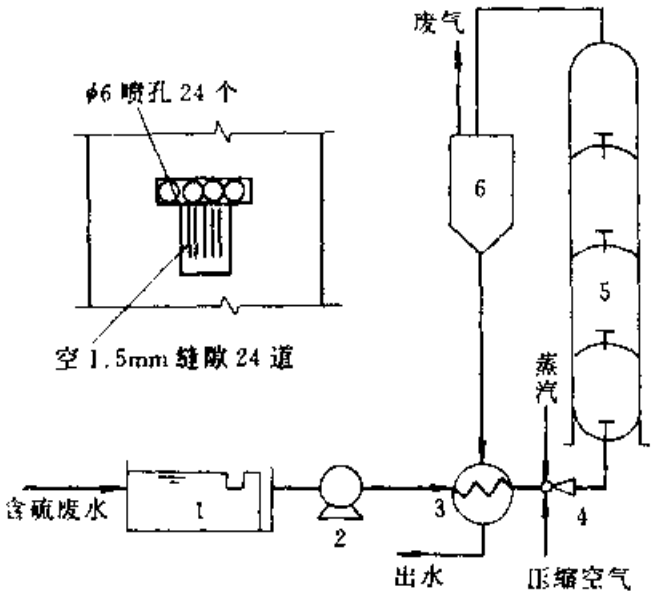


图 3-25　空气氧化法处理含硫废水流程

1—隔油池；2—泵；3—换热器；4—射流器；5—空气氧化塔；6—分离器

2．氯氧化法

氯气是普遍使用的氧化剂，既用于给水消毒，又用于废水氧化，主要是起到消毒杀菌的作用。通常的含氯药剂有液氯、漂白粉、次氯酸钠、二氧化氯等。各药剂的氧化能力用有效氯含量表示。氧化价大于－1的那部分氯具

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

有氧化能力，称之为有效氯。作为比较基准，取液氯的有效氯含量为100%。表3-12给出了几种含氯药剂的有效氯含量。

表3-12 纯的含氯化合物的有效氯

名称及化学式	相对分子质量	氯当量 /(mol Cl_2/mol)	含氯量 /W%	有效氯 /W%
液氯 Cl_2	71		100	100
漂白粉 CaCl(OCl)	127	1	56	56
次氯酸钠 NaOCl	74.5	1	47.7	95.4
次氯酸钙 $Ca(OCl)_2$	143	2	49.6	99.2
一氯胺 NH_2Cl	51.5	1	69	138
亚氯酸钠 $NaClO_2$	90.5	2（酸性）	39.2	156.8
氧化二氯 Cl_2O	87	2	81.7	163.4
二氯胺 $NHCl_2$	86	2	82.5	165
三氯胺 NCl_3	120.5	3	88.5	177
二氧化氯 ClO_2	67.5	2.5（酸性）	52.5	262.5

氯氧化法目前主要是用在对含酚、含氰、含硫化物的废水治理方面。

（1）处理含酚废水　向含酚废水中加入氯、次氯酸盐或二氧化氯等，可将酚破坏。根据理论计算投加的氯量与水中的含酚量之比为6:1时，即可使酚完全破坏，但由于废水中存在其他化合物也与氯发生反应，实际上氯的需要量要超过理论量许多倍，一般要超出10倍左右。如果投氯量不够，酚不能完全被破坏，而且生成具有强烈臭味的氯酚。二氧化氯的氧化能力为氯的2.5倍左右，而且在氧化过程中不会生成氯酚。但由于二氧化氯的价格昂贵，故仅用于除去低浓度酚的废水处理。

（2）处理含氰废水　用氯氧化法处理含氰废水时，是将次氯酸钠直接投入废水中，也可以将氢氧化钠和氯气同时加入废水中，氢氧化钠与氯气反应生成次氯酸钠。由于这种氯氧化法是在碱性条件下进行的，故又称为碱性氯化法。

废水中含氰量与完成二个阶段反应所需的总氯及氢氧化钠的量之比，理论上为：$CN:Cl_2:NaOH=1:6.8:6.2$。实际上，为使氰化物完全氧化，一般要投入氯的量为废水中所含氰量的8倍左右。

3. 臭氧氧化法

臭氧O_3是氧的同素异构体，在常温常压下是一种具有鱼腥味的淡紫色气体。沸点－112.5℃；密度2.144kg/m^3，是氧的1.5倍。此外，臭氧还具有以下一些重要性质。

（1）不稳定性　臭氧不稳定，在常温下容易自行分解成为氧气并释放出热量。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$2O_3 = 3O_2 \qquad \Delta H = -284kJ/mol$$

MnO_2、PbO_2、Pt、C 等催化剂的存在或经紫外辐射都会促使臭氧分解。臭氧在空气中的分解速度与臭氧浓度和温度有关。当浓度在 1% 以下时，其分解速度如图 3-26 所示。由图可见，温度越高，分解越快，浓度越高，分解也越快。

臭氧在水溶液中的分解速度比在气相中的分解速度快得多，而且强烈地受羟离子的催化。pH 越高，分解越快。臭氧在蒸馏水中的分解速度如图 3-27 所示。常温下的半衰期约为 15～30min。

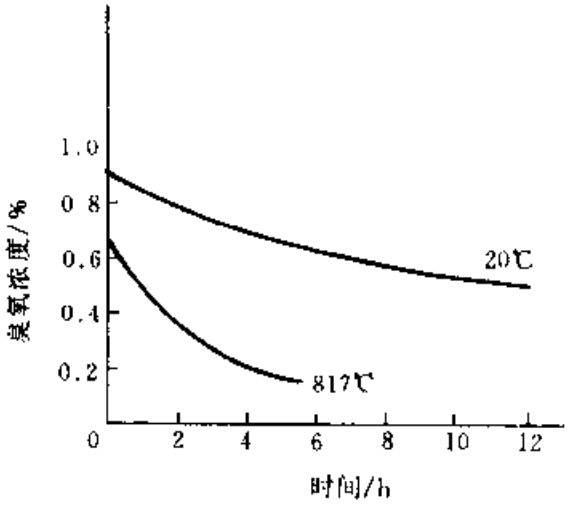


图 3-26 臭氧在空气中的分解速度

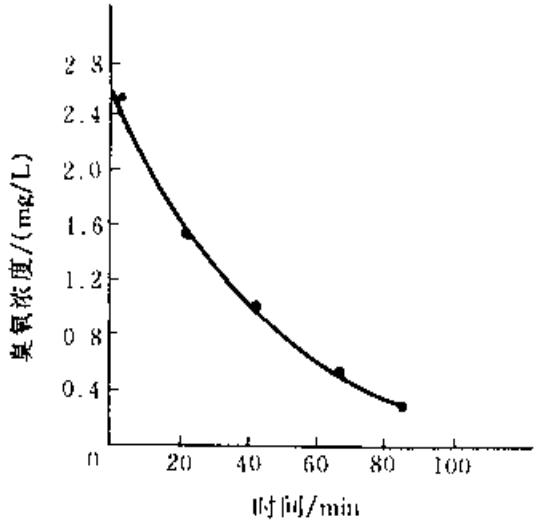


图 3-27 臭氧在蒸馏水中的分解速度

(2) 溶解性 臭氧在水中的溶解度要比纯氧高 10 倍，比空气高 25 倍。在空气中臭氧的浓度对臭氧的溶解度有很大影响，同时溶解度还受到气体压力的影响。他们之间的关系如图 3-28 所示。在常压下，20℃ 时，水中臭氧浓度和气体中臭氧的平衡浓度之比为 0.285。

(3) 毒性 当臭氧在空气中的浓度达到 0.1cm^3/m^3 时，即可以使人的眼、鼻和喉感到刺激，当臭氧浓度达到 1～10cm^3/m^3 时可引起头痛、恶心等症状。我国《工业企业设计卫生标准 TJ 36—79》规定车间空气中臭氧的最高容许浓度为 0.3mg/m^3。

(4) 氧化性 臭氧可使有机物质

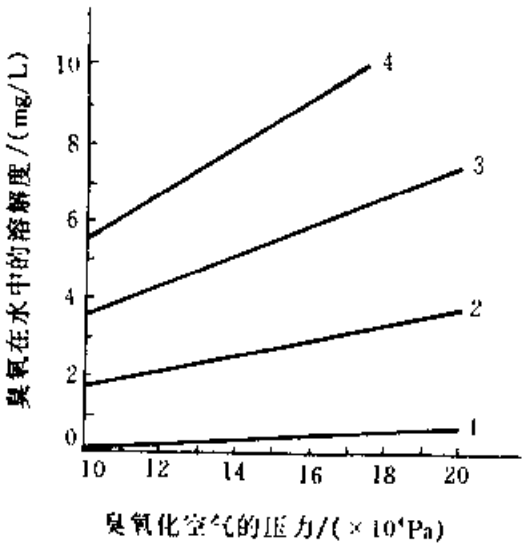


图 3-28 压力对臭氧溶解度的影响

1—1gO_3/m^3 空气；2—5gO_3/m^3 空气；3—10gO_3/m^3 空气；4—15gO_3/m^3 空气

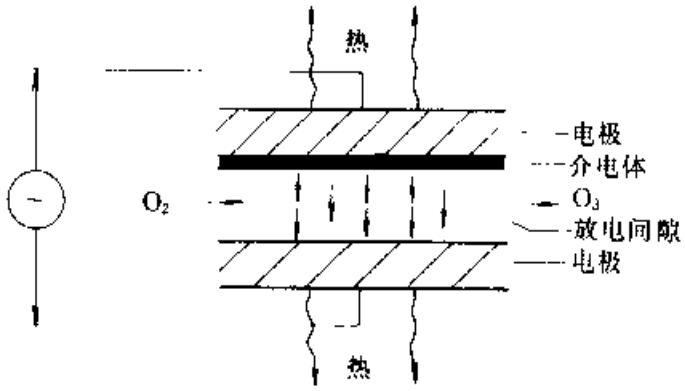
世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

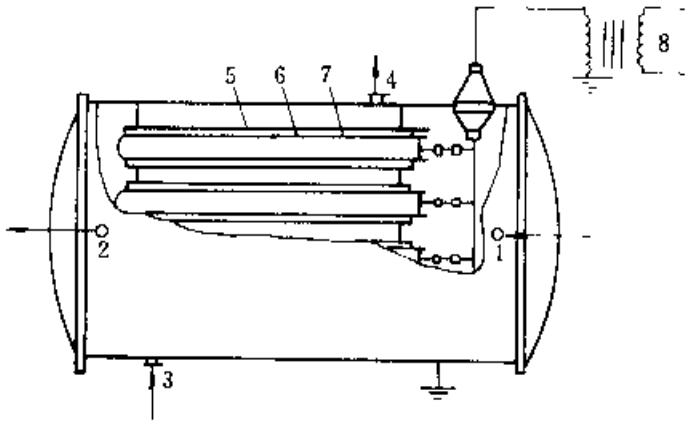
被氧化，可使烯烃、炔烃及芳香烃化合物被氧化成醛类或有机酸。

制备臭氧的方法很多，有化学法、紫外线法、电解法和无声放电法等方法。其中惟一经济实用的方法是无声放电法，故被普遍使用，目前也进行化学法制备臭氧的研究。

（1）无声放电法的原理　在一对交流电极之间通过氧气或空气，电极间的两侧被绝缘，则空气或氧气通过电极时便发生放电现象，由于这种放电是没有声音的，所以称之为无声放电法，无声放电法生产臭氧的制备原理及装置如图 3-29 所示。



(a)无声放电法制备臭氧原理



(b)管式(卧式)臭氧发生器

图 3-29　臭氧的制备原理与装置

1—空气或氧气进口；2—臭氧化气出口；3—冷却水进口；4　冷却水出口；5—不锈钢管；6—放电间隙；7—玻璃管；8—变压器

（2）臭氧发生系统及装置　由于臭氧不稳定，因此通常在现场随制随用。以空气为原料制造臭氧，由于原料来源方便，所以采用较为普遍。图 3-30 为空气为原料的典型臭氧处理闭路系统流程图。

（3）臭氧在废水处理中的应用

用臭氧处理废水的过程为：臭氧先溶于水中，然后再与废水中所含有的

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

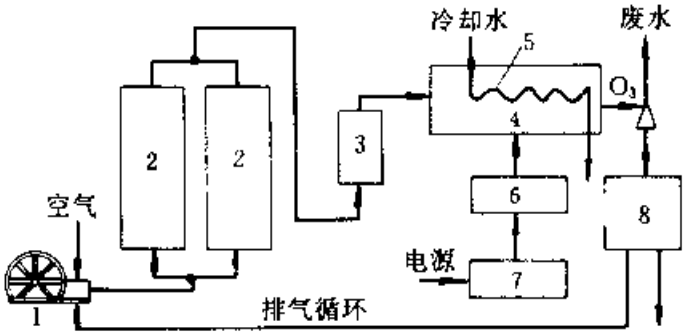


图 3-30 臭氧处理闭路系统

1—空气压缩器；2—净化装置；3—计量装置；4—臭氧发生器；5—冷却系统；6—变压器；7—配电装置；8—接触器

污染物进行氧化反应。臭氧在水中的溶解度并不大，它与污染物的反应速率也受到限制，所以反应速度一般不是很快。

用臭氧处理废水，氧化产物的毒性降低，另外，臭氧在水中分解后得到氧，可使水中的溶解氧增加，而不会造成二次污染。臭氧主要用于废水的三级处理，其作用是：①降低废水中的 COD 和去除 BOD；②杀菌消毒；③增加水中的溶解氧；④脱色和脱臭味；⑤降低浊度。

臭氧的消毒能力比氯强。对脊髓灰质炎病毒，用氯消毒，保持 0.5～1.0mg/L 余氯量，需要 1.5～2.0h 的反应时间，而达到同样的消毒效果，用臭氧消毒，保持 0.045～0.45mg/L 的剩余臭氧，只需 2min。若初始臭氧浓度超过 1mg/L，经 1min 接触，病毒去除率可达到 99.99%。

如果臭氧氧化法和其他处理方法组合使用，对废水处理会发挥更好的经济效果，例如将混凝或活性污泥法与臭氧氧化法联合使用，可以有效地去除色度和难降解的有机物。

4. 湿式氧化法

湿式氧化法是在较高温度和压力下，用空气中的氧来氧化废水中溶解和悬浮的有机物和还原性无机物的一种方法，因氧化过程在液相中进行，故称为湿式氧化。与一般方法相比，湿式氧化法具有适用范围广、处理效率高、二次污染低、氧化速度快、装置小、可回收能源和有用物料等优点。

湿式氧化法工艺最初由美国的 Zimmermann 研究提出，20 世纪 70 年代以前主要用于城市污水处理的污泥和造纸黑液的处理。以后湿式氧化技术发展很快，应用范围也在不断扩大，装置数目和规模也日益增大，并开始了催化湿式氧化的研究和利用。20 世纪 80 年代中期以后湿式氧化技术向三个方向发展，第一，继续开发适用于湿式氧化的高效催化剂，使反应能在比较温和的条件下进行，并在较短的时间内完成；第二，将反应温度和压力进一步提高到水的临界点以上，进行超临界湿式氧化。第三，回收系统的能量和

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

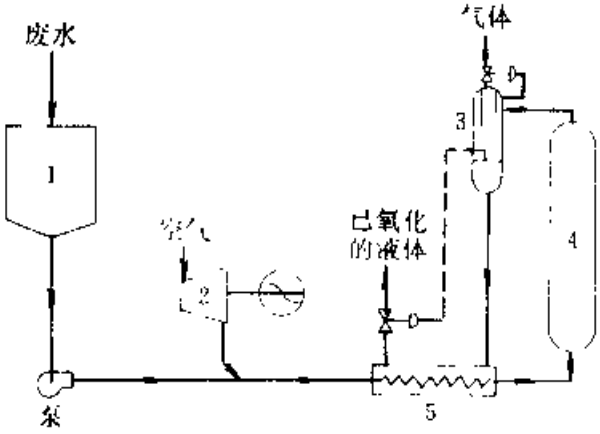


图 3-31 湿式氧化法基本流程图
1—贮存罐；2 空压机；3—分离器；
4—反应器；5 —热交换器

物料。

图 3-31 为基本的湿式氧化处理系统。此法的缺点是需要高压设备，基建投资比较大。

中和混凝是处理酸性废水的一种常用方法。上海硫酸厂日产 20 万 t 硫酸，每日排出含硫酸废水 5000 多吨。废液中还含有砷、铁、硫等物质。该厂常用电石泥作中和剂，PAM 为混凝剂，RS 为除硫剂，经中和、混凝、氧化处理基本上达到了以废治废的目的。

某化工厂在聚乙烯生产的废水处理工作中也采用中和沉淀的办法，使废水中的 pH 和 S 达到排放标准，并且从废水中每年回收 PVC 树脂 300 余种。在中和处理中又尽量利用该厂生产 PVC 过程中产生的废酸与废碱液，故处理成本较低。

对某些含有毒性高，难用一般方法降解的有机废水的处理，焚烧法仍不失为一种比较安全、处理完全、适用面广的方法。如某制药厂对生产过程中产生的有机废水的处理，因这类废水含有对人体有害的激素类物质，故采用焚烧法来处理。我国的含氟材料工业发展很快，氟塑料、氟橡胶及其他含氟制剂的应用越来越广泛，但在生产这些含氟材料的过程中，总要产生相当数量的有机氟残液，其组成中主要有：八氟环丁烷、六氟丙烷、六氟氯乙烷、全氟异丁烯等含氟、含氯的烃类化合物。尤其是全氟异丁烯的毒性最大，毒性比光气大十倍，是目前已知的毒性最大的含氟有机物。国内外均曾发生过因泄漏而造成人身伤亡的重大事故。这类残液过去曾采用过 $KMnO_4$ 氧化解毒法、地下深埋法和回收法等进行处理，但都有一定的局限性和危险性。

四、电解法

（一）原理

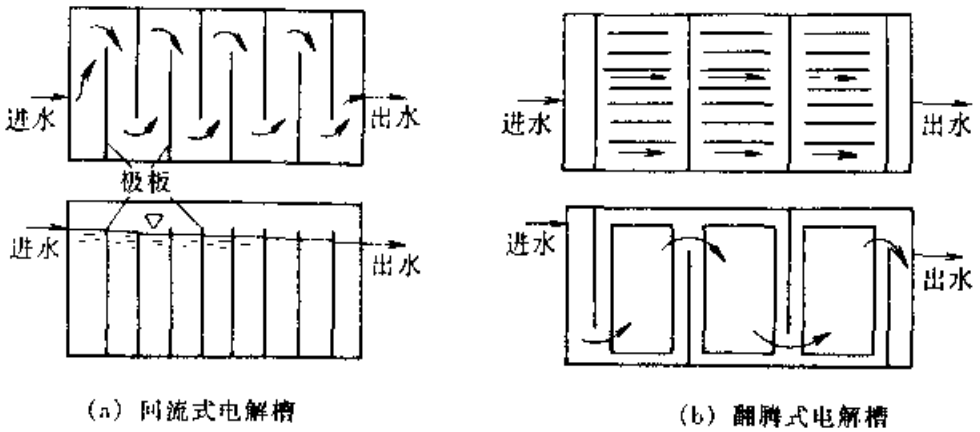
电解是利用直流电进行溶液氧化还原反应的过程。电解时，把电能转变为化学能的装置为电解槽。在电解槽中，与电源正极相连接的极称为阳极，与电源负极相连接的极称为阴极。当接通直流电源后，电解槽的阴极和阳极之间发生了电位差，驱使正离子移向阴极，在阴极取得电子，进行还原反应；负离子移向阳极，在阳极放出电子，进行氧化反应。从而使得废水中的污染物在阳极被氧化，在阴极被还原，或者与电极反应产物作用，转化为无

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

害成分被分离除去。目前对电解还没有统一的分类方法，一般按照污染物的净化机理可以分为电解氧化法、电解还原法、电解凝聚法和电解浮上法；也可以分为直接电解法和间接电解法。按照阳极材料的溶解特性可分为不溶性阳极电解法和可溶性阳极电极法。

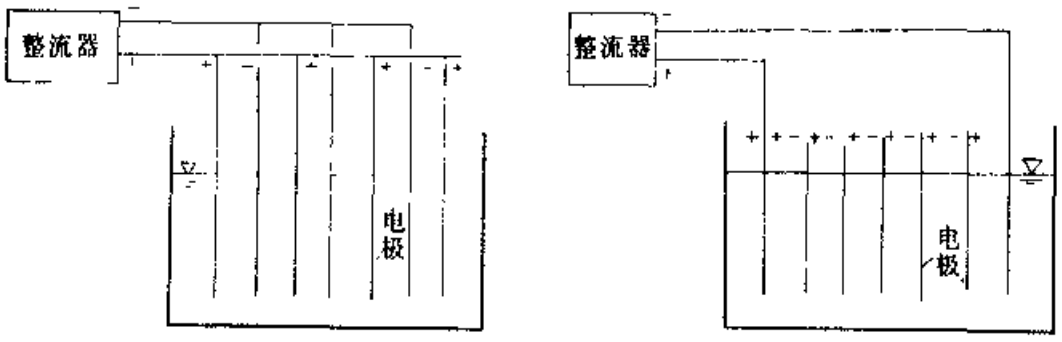
电解槽一般多为矩形。按废水的流动方式分为回流式和翻腾式。具体见图 3-32 所示。回流式水流流程长，离子易于向水中扩散，容积利用率高，但施工和检修比较困难。翻腾式的极板采用悬挂方式固定，极板与池壁不接触而减少了漏电的可能，更换极板也比较方便。



(a) 回流式电解槽　　(b) 翻腾式电解槽

图 3-32　电解槽结构形式

极板电路也有两种：单极板电路和双极板电路，具体见图 3-33 所示。生产上双极板电路应用比较普遍，因为双极板电路具有极板腐蚀均匀，相邻极板的接触机会少，即使接触也不致于发生电路短路而引起事故，因此双极板电路便于缩小极板间距，提高极板的有效利用率，从而减少投资和节省运行费用等。



(a) 单极板电解槽　　(b) 双极板电解槽

图 3-33　电解槽极板电路结构形式

(二) 电解氧化还原法

电解氧化是指废水中污染物在电极槽的阳极失去电子被氧化外，水中的 Cl^-、OH^- 等也可在阳极放电，生成 Cl_2、O_2 而间接地氧化破坏污染物。实

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

际上，为了强化阳极的氧化作用，减少电解槽的内阻，往往在废水电解槽中常加一些食盐，进行所谓的电氯化，食盐投加后在阳极可生成氯和次氯酸根，对水中的无机和有机物也有较强的氧化作用。

电极还原主要用于处理阳离子污染物，如 Cr^{6+}、Hg^{2+} 等。目前在生产应用中，都是以铁板为电极，由于铁板溶解，金属离子在阳极还原沉积而回收除去。下面以电解含氰废水为例。

在阳极上发生直接氧化反应：

$$CN^- + 2OH^- - 2e \longrightarrow CNO^- + H_2O$$

$$CNO^- + 2H_2O \longrightarrow NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

$$2CNO^- + 4OH^- - 6e \longrightarrow 2CO_2 + N_2 + H_2O$$

间接氧化（以投加食盐为例）：Cl^- 在阳极放电产生 Cl_2，Cl_2 水解生成 HOCl，OCl 氧化 CN^- 为 CNO^-，最终为 N_2 和 CO_2。若溶液碱性不强，将会生成中间态 CNCl。

$$2Cl^- + 2OH^- - 2e \longrightarrow 2OCl^- + H_2$$

$$2Cl^- - 2e \longrightarrow Cl_2$$

$$2CN^- + 5OCl^- + H_2O \longrightarrow 2HCO_3^- + N_2 + 5Cl^-$$

$$CN^- + Cl_2 + 2OH^- \longrightarrow CNO^- + 2Cl^- + H_2O$$

$$2CNO^- + 3Cl_2 + 4OH^- \longrightarrow 2CO_2 + N_2 + 6Cl^- + 2H_2O$$

在阳极发生析出 H_2 和部分金属离子的还原反应：

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$$

$$Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu$$

$$Ag^+ + e \longrightarrow Ag$$

电解除氰有间歇式和连续式流程，前者适用于废水量小。含氰浓度大于100mg/L，且水质水量变化比较大的情况，反之，则采用连续式处理。连续式流程如图 3-34 所示。调节池和沉淀池停留时间各为 1.5～2.0h，在间歇式流程中，调节和沉淀也在电解槽中完成。

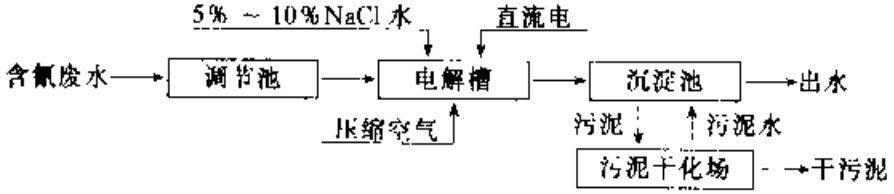


图 3-34 含氰废水连续式电解处理流程

（三）电解凝聚和电解气浮

电凝聚浮上法的基本原理是将需处理的废水作为电解质溶液，在直流电源的作用下发生电化学反应，在电解过程中，一般可产生三种效应，即电解

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

氧化反应，电解絮凝和电解气浮，电解气浮主要是电解装置的阴极反应，有时也部分地出现于阳极反应。一般采用铁、铝作为阳极，下面以铁板为例。

采用可溶性铁极板的电极反应：铁失去电子变为二价铁离子进入废水中：

$$Fe - 2e^- \longrightarrow Fe^{2+}$$

二价铁离子进一步水解，形成氢氧化亚铁和氢氧化铁：

$$Fe^{2+} + 2OH \longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow$$

而 Fe^{2+} 和 $Fe(OH)_2$ 对废水中胶体起到凝聚作用。

阴极反应：氢离子在阴极上放电变为氢气逸出：

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2\uparrow$$

逸出的氢气形成极小的气泡，将废水中的凝聚物浮上电解槽的液体表面。起到气浮的效果。与此同时，在阴极还发生氧化反应，使有机物分解氧化成无害成分；在阳极发生还原反应，使氧化型色素还原成无色。

利用电解凝聚和电解气浮，可以处理多种含有机物、重金属废水。表3-13列出了四种废水处理的工艺参数。

表 3-13 电解凝聚法对各类废水处理的工艺参数

污水来源	pH	电量消耗 /(A·h/L)	电流密度 /(A·min /dm²)	电能消耗 /(kW·h /m³)	电解电压(单极式) /V	电极金属消耗 /(g/m³)	电极材料	极距 /mm	废水电解时间 /min
制革厂	8～10	0.3～0.8	0.5～1.0	1.5～3.0	3～5	250～700	钢板	20	20～25
毛皮厂	8～10	0.1～0.3	1～2	0.6～1.0	3～5	150～200	钢板	20	20
肉类加工厂	8～9	0.08～0.12	1.5～2.0	1.0～1.5	8～12	70～110	钢板	20	40
电镀厂	9～10.5	0.03～0.15	0.3～0.5	0.4～2.5	9～12	45～150	钢板	10	20～30

制革废水与毛皮厂废水的悬浮物、COD，经电解凝聚处理后，分别降低90%和50%左右；肉类加工厂含油脂、悬浮物、COD分别平均为800、1100和960mg/L，经电解凝聚处理后，上述水质指标分别降低90%～95%、70%和70%。电镀废水经过氧化、还原和中和处理后，再用电解凝聚作补充处理，可使各项指标均达到排放与回收标准。

电解凝聚气浮法比起投加凝聚剂的化学凝聚来，具有一些独特的优点：可去除的污染物广泛，反应迅速（如阳极溶蚀产生 Al^{3+} 并形成絮凝体只需15～45s），适用的pH范围宽，所形成的沉渣密实，效果好。

第五节 物化处理法

废水经过物理方法处理后，仍会含有某些细小的悬浮物以及溶解的有机

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

物。为了进一步去除残存在水中的污染物，可以进一步采用物理化学方法进行处理。常用的物理化学方法有吸附、浮选、电渗析、反渗透、超过滤等。

一、吸附法

在废水处理中，吸附法处理的主要对象是废水中用生化法难于降解的有机物或用一般氧化法难于氧化的溶解性有机物，包括木质素、氯或硝基取代的芳烃化合物、杂环化合物、洗涤剂、合成染料、除莠剂、DDT 等。当用活性炭等对这类废水进行处理时，它不但能够吸附这些难于分解的有机物，降低 COD，还能使废水脱色、脱臭，把废水处理到可重复利用的程度。所以吸附法在废水中的深度处理中得到了广泛的应用。

吸附法是利用多孔性固体物质作为吸附剂，以吸附剂的表面吸附废水中的某种污染物的方法。常用的吸附剂有活性炭、硅藻土、铝矾土、磺化煤、矿渣以及吸附用的树脂等。其中以活性炭最为常用。

（一）吸附的原理

吸附法处理废水，吸附过程发生在液-固两相界面上，由于吸附剂的表面力作用而产生吸附。目前对这种表面力的性质，认识得还很不充分。其中有一种理论是用表面能来解释，即认为：在表面积一定的情况下，吸附剂要使其表面能减少，只有通过表面张力的减少来达到。而如果吸附剂在吸附某物质后能降低表面能，则该吸附剂便能吸附此种物质。所以吸附剂的表面只可以吸附那些能够降低它的表面张力的物质。

吸附剂和被吸附物质之间的作用力有三种不同类型。即分子间力、化学键力和静电引力。由于这三种不同的作用力，结果形成三种不同形式的吸附。即物理吸附、化学吸附和交换吸附。在废水处理中，主要是物理吸附，有时是几种吸附形式的综合作用。

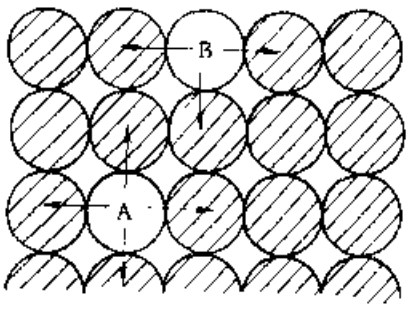


图 3-35　剩余力场示意图

物理吸附是由于固体的表面粒子（分子、原子）存在着剩余的吸引力所引起的。物理吸附发生的原因可用图 3-35 表示。在固体内部，粒子间存在着吸引力，但粒子的位置不同，受力情况也不同。物理吸附的特点是没有选择性，吸附质并不固定在吸附剂表面的特定位置上，而多少能在界面范围内自由移动，因而其吸附的牢固程度不如化学吸附。物理吸附主要发生在低温状态下，过程放热较小，约 42kJ/mol 或更少，可以是单分子层或多分子层吸附。影响物理吸附的主要因素是吸附剂的比表面积和细孔分布。

化学吸附是由于溶质与吸附剂发生化学反应，形成牢固的吸附化学键和

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表面配合物，吸附质分子不能在表面自由移动。吸附时放热量较大，与化学反应的反应热相近，约 84～420kJ/mol。化学吸附有选择性，即一种吸附剂只对某种或特定几种物质有吸附作用，一般为单分子层吸附。通常需要一定的活化能，在低温时，吸附速度较小。这种吸附与吸附剂的表面化学性质有密切的关系。被吸附的物质往往需要在很高的温度下才能被逐出，且所释出的物质已经起了化学变化，不再具有原来的性状，所以化学吸附是不可逆的。

在实际吸附过程中，物理吸附和化学吸附在一定条件下也是可以相互转化的。同一物质，可能在较低的温度下进行物理吸附，而在较高的温度下进行的往往是化学吸附，有时可能会同时发生两种吸附。

（二）吸附平衡

在吸附过程中，固、液两相经过充分的接触后，一方面吸附剂不断地吸附吸附质，另一方面吸附质由于热运动又不断地脱离吸附剂表面而解吸，最终将达到吸附与解吸的动态平衡。达到平衡时，单位吸附剂所吸附的物质的数量称为平衡吸附量，这种状态称为吸附平衡。

在一定的温度下，吸附质在固相中的浓度与吸附质在液相的平衡浓度存在着某种函数关系，这种关系可以用吸附等温线来表示，根据试验，可将吸附等温线归纳为如图 3-36 所示的五种类型。

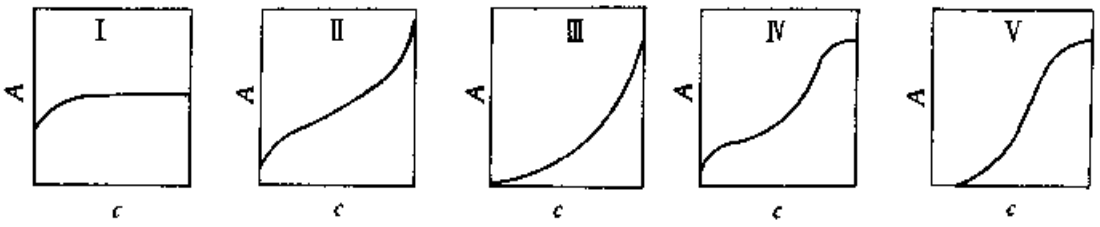


图 3-36　物理吸附的五种吸附等温线

描述吸附等温线的数学表达式称为吸附等温式。常用的有 Freundlich 等温式、Langmuir 等温式和 B.E.T. 等温式。在废水处理中，常用的等温式为前者，方程如下：

$$A = Kc^{1/n}$$

式中，K 称为 Freundlich 吸附系数，n 为常数，通常大于 1。上式虽然为经验式，但与实际数据较为吻合。通常将该式绘制在双对数纸上以便于判断模型准确性并确定 K 和 n 值，将上式两边取对数，得：

$$\log A = \log K + \frac{1}{n}\log c$$

由实验数据按上式作图得一直线（见图 3-37），其斜率等于 $1/n$，截距等于 $\log K$。一般认为 $1/n$ 值介于 0.1～0.5，则易于吸附，$1/n > 2$ 时难以吸附。利用 K 和 $1/n$ 两个常数，可以比较不同吸附剂的特性。由吸附等温

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

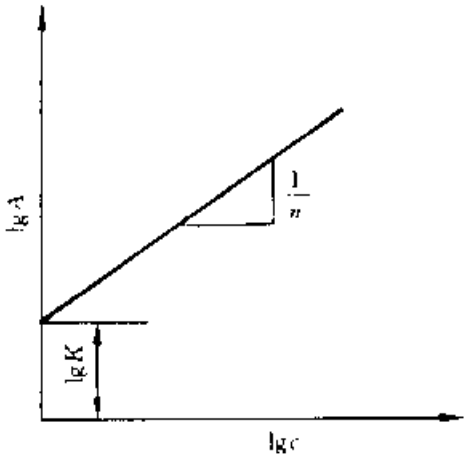


图 3-37 吸附等温式常数图解法（Freundlich 模型）

线可以进行吸附剂的选择和吸附剂用量的估算。

（三）吸附剂及其再生

一切固体物质都有吸附能力，但是只有多孔性物质或磨得极细的物质由于具有很大的表面积，才能作为吸附剂，吸附剂的选择还必须满足以下要求：①吸附能力强；②吸附选择性好；③吸附平衡浓度低；④容易再生和再利用；⑤机械强度好；⑥化学性质稳定；⑦来源容易；⑧价格便宜。一般工业吸附剂难于同时满足这八个方面的要求，因此，应根据不同的场合选用。

目前常用的吸附剂很多，除人们熟悉的活性炭和硅胶外，还有活化炭、白土、硅藻土、活性氧化铝、焦炭、树脂吸附剂、腐殖酸，甚至那些弃之为废物的炉渣、木屑、煤灰及煤粉等。

吸附剂的吸附能力常用静活性来表示，即在一定的温度及平衡浓度的静态吸附条件下，每单位质量或单位体积吸附剂所能吸附的最大吸附质量。

吸附过程的物料系统，包括废水（溶媒）、污染物质（溶质）及吸附质，因此吸附质是属于不同相间的传质过程，机理比较复杂，影响吸附过程的因素比较多，主要可以归纳为三方面的影响因素，即吸附剂的性质、污染物的性质以及吸附过程的条件。

吸附剂的物理及化学性质，对吸附效果有决定性的影响，而吸附剂的性质又与其制作时所使用的原料与加工方法及活性化的条件有关。活性炭作为处理废水中常用的吸附剂，其吸附效果决定于吸附性、比表面积、孔隙结构、孔径分布等。

吸附剂在达到饱和吸附后，必须进行脱附再生，才能重复使用。脱附是吸附的逆过程，即在吸附剂结构不发生变化或变化极小的情况下，用某种方法将吸附剂从吸附剂孔隙中除去，恢复吸附剂的吸附功能。通过再生使用，可以大大降低废水的处理成本；可以减少废渣的排放量；同时可以回收有用的吸附质。目前吸附剂的再生方法主要有加热再生、药剂再生、化学氧化再生、湿式氧化再生、生物再生等。具体见表 3-14 所示。在选择再生方法时，主要考虑三方面的因素：①吸附质的物理性质；②吸附机理；③吸附质的回收使用价值。

（四）吸附工艺及设备

在设计吸附工艺和装置时，应首先确定采用何种吸附剂，选择何种吸附

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 3-14 吸附剂再生方法分类

种类		处理温度/℃	主要条件
加热再生	加热脱附	100～200	水蒸气、惰性气体
	高温加热再生（炭化再生）	750～950（400～500）	水蒸气、燃烧气体、CO_2
药剂再生	无机药剂	常温～80	HCl、H_2SO_4、NaOH、氧化剂
	有机药剂（萃取）	常温～80	有机溶剂（苯、丙酮、甲醇等）
生物再生		常温	好气菌、厌气菌
湿式氧化再生		180～220、加压	O_2、空气、氧化剂
电解再生		常温	O_2

和再生操作方法以及废水的预处理和后处理措施。一般需通过静态和动态试验来确定处理效果、吸附容量、设计参数和技术经济指标。

吸附操作分间歇和连续两种。前者是将吸附剂（多用粉状炭）投入废水中，不断搅拌，经一定时间达到吸附平衡后，用沉淀或过滤的方法进行固液分离。如果经过一次吸附，出水还达不到排放要求时，则需要增加吸附剂投加量和延长停留时间或者对一次吸附出水进行二次或多次吸附。间歇吸附工艺适用于规模小、间歇排放的废水处理。当处理规模比较大，需建较大的混合池和固液分离装置，粉状炭的再生工艺也比较复杂。故目前在生产上很少使用。

连续式吸附工艺是废水不断地流进吸附床，与吸附剂接触，当污染物浓

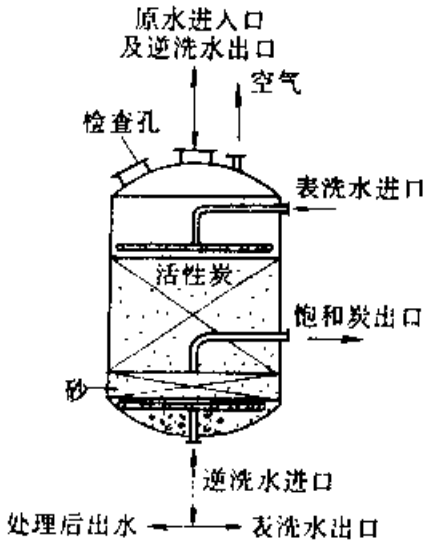


图 3-38 固定床吸附塔构造图

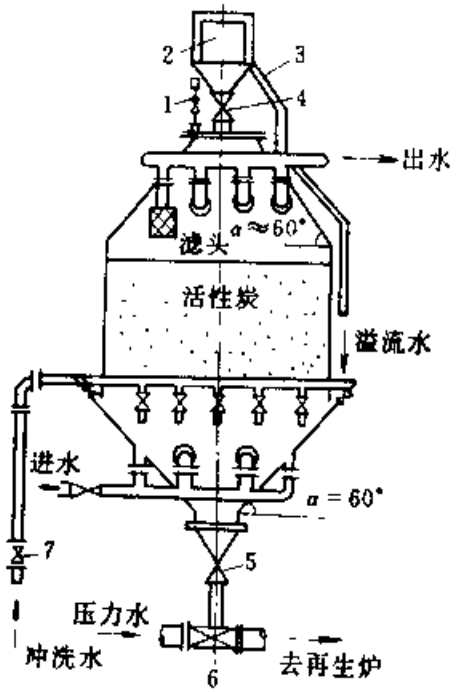


图 3-39 移动床吸附塔构造示意图

1—通网阀；2—进料斗；3—溢流管；4，5—直流式衬胶阀；6—水射器；7—截止阀

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

度降至处理要求时，排出吸附柱。按照吸附剂的充填方式，又分为固定床、移动床和流化床三种。具体构造图见图 3-38～图 3-40 所示。

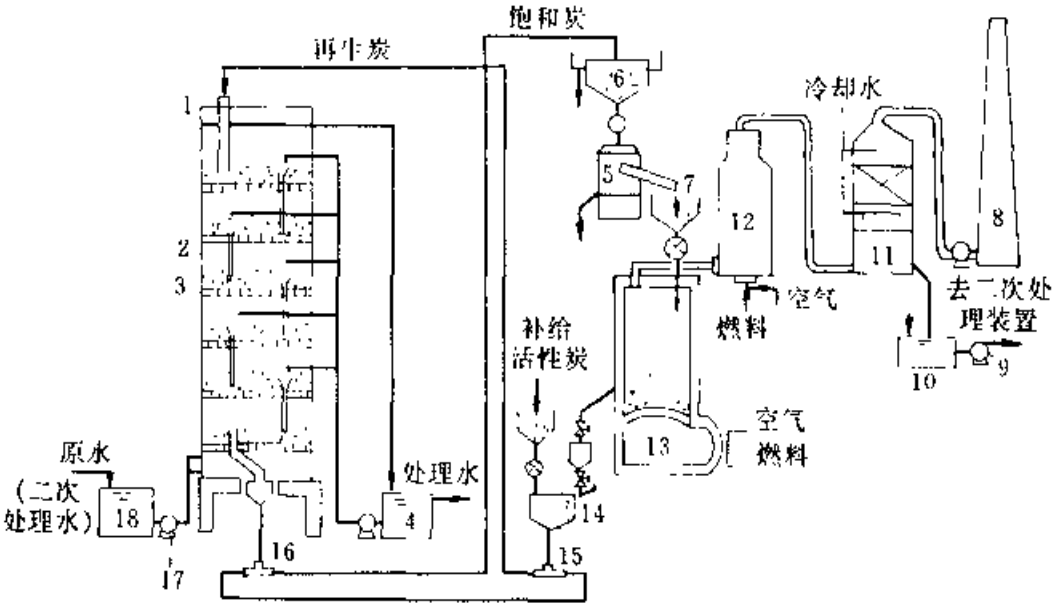


图 3-40 粉状炭流化床及再生系统

1—吸附塔；2—溢流管；3—穿孔管；4—处理水槽；5—脱水机；6—饱和炭贮槽；7—饱和炭供给槽；8—烟囱；9—排水泵；10—废水槽；11—气体冷却塔；12—脱臭塔；13—再生炉；14—再生炭冷却槽；15，16—水射器；17、18—原水泵

吸附法除对含有机物废水有很好的去除作用外，据报道对某些金属及化合物也有很好的吸附效果。研究表明，活性炭对汞、锑、铋、锡、钴、镍、铬、铜、镉等都有很强的吸附能力。国内已应用活性炭吸附法处理电镀含铬、含氰废水，对于化工厂、炼油厂等排放的有机污染物的废水，在要求深度处理时，活性炭吸附法也已成为一种实用、可靠而且经济的方法。

二、浮选法

浮选法就是利用高度分散的微小气泡作为载体去粘附废水中的污染物，使其视密度小于水而上浮到水面而实现固液或液液分离的过程。在废水处理中，浮选法已广泛应用于：①分离地面水中的细小悬浮物、藻类及微絮体；②回收工业废水中的有用物质，如造纸厂废水中的纸浆纤维及填料等；③代替二次沉淀池，分离和浓缩剩余活性污泥，特别适用于那些易于产生污泥膨胀的生化处理工艺中；④分离回收油废水中的悬浮油和乳化油；⑤分离回收以分子或离子状态存在的目的物，如表面活性剂和金属离子等。

（一）浮选法的基本原理

浮选法主要是根据表面张力的作用原理，当液体和空气相接触时，在接触面上的液体分子与液体内部分子的引力，使之趋向于被拉向液体的内部，引起液体表面收缩至最小，使得液珠总是呈圆球形存在。这种企图缩小表面

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

面积的力，称之为液体的表面张力，其单位为 N/m。如欲增大液体的表面积，就需对其做功，以克服分子间的引力。同样，在相界面上也存在界面张力。

当空气通入废水时，废水中存在细小颗粒物质，共同组成三相系统。由于细小颗粒粘附到气泡上时，使气泡界面发生变化，引起界面能的变化。在颗粒粘附于气泡之前和粘附于气泡之后，气泡的单位界面面积上的界面能之差以 ΔE 表示。如果 $\Delta E>0$，说明界面能减少了，减少的能量消耗于把水挤开的做功上，而使颗粒粘附在气泡上；反之，如果 $\Delta E<0$，则颗粒不能粘附于气泡上，所以 ΔE 又称为可浮性指标。

另外，可浮性指标 ΔE 值的大小直接与水和气相界面的界面张力 σ 及颗粒对水之间的润湿性有关，易被水润湿的颗粒，水对它有较大的附着力，气泡不易把水排开取而代之；因此，这种颗粒不易附着在气泡上。相反，不易被润湿的颗粒，就容易附着在气泡上。这种物质对水的润湿性，润湿性可以由颗粒与水的接触角 θ 表示，$\theta<90°$者为亲水性物质，$\theta>90°$者为疏水性物质。这可从如图 3-41 中物质与水接触面积的大小清楚地看出。可浮性指标的表达式为：

$$\Delta E=\sigma(1-\cos\theta)$$

从上式可见，当颗粒完全被水润湿时，$\theta\to0°$，$\cos\theta\to1$，$\Delta E\to0$，颗粒不能与气泡相粘附，因此也就不能用气浮法处理；当颗粒完全不被水润湿时，$\theta\to180°$，$\cos\theta\to1$，$\Delta E\to2\sigma$，颗粒与气泡粘附紧密，最易于用气浮法

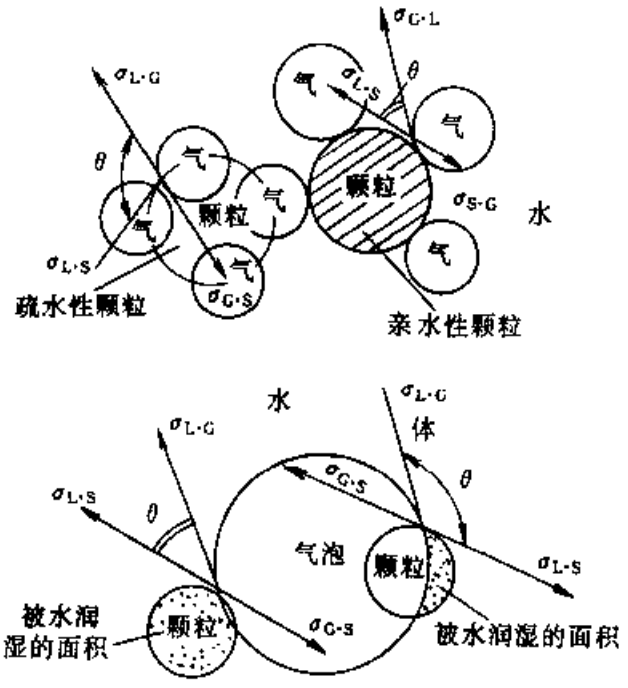


图 3-41　不同悬浮颗粒与水的润湿情况

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

去除；对于 σ 值很小的体系，虽然有利于形成气泡，但 ΔE 很小，不利于气泡与颗粒的粘附。

若要用浮选法分离亲水性颗粒（如纸浆纤维、煤粒、重金属离子等），就必须投加合适的药剂，以改变颗粒的表面性质，使之其表面变成疏水性，易于粘附于气泡上，这种药剂通常称为浮选剂。同时浮选剂还有促进起泡作用，可使废水中的空气，形成稳定的小气泡，以利于气浮。

浮选剂的种类很多，如松香油、石油及煤油产品，脂肪酸及其盐类，表面活性剂等。对不同性质的废水应通过试验，选择合适的品种和投加量，也可参考矿冶工业浮选的资料。

（二）浮选法设备及流程

浮选法的形式比较多，常用的浮选方法有加压浮选、曝气浮选、真空浮选以及电解浮选和生物浮选法等。

1．加压浮选法

加压浮选法，在国内应用比较广泛。几乎所有的炼油厂都采用这种方法来处理废水中的乳化油，并取得了较为理想的处理效果。出水中含油可以降到 10～25mg/L 以下。

其操作原理是：在加压的情况下，将空气通入废水中，使空气溶解在废水中达饱和状态，然后由加压状态突然减至常压，这时溶解在水中的空气就成了过饱和状态，水中空气迅速形成极微小的气泡，不断向水面上升。气泡在上升过程中，捕集废水中的悬浮颗粒以及胶状物质等，一同带出水面，然后从水面上将其加以去除。用这种方法产生的气泡直径约为 20～100μm，并且可人为地控制气泡与废水的接触时间，因而净化效果比分散空气法好，应用广泛。

加压溶气浮选法按溶气水不同有全部进水溶气、部分进水溶气和部分处理水溶气三种基本流程。全部进水加压溶气流程的系统配置如图 3-42 所示。全部原水由泵加压至 0.3～0.5MPa，压入溶气罐，用空压机或射流器向溶气罐压入空气。溶气后的水气混合物再通过减压阀或释放器进入气浮池进口处，析出气泡进行气浮。在分离区形成的浮渣用刮渣机将浮渣排入浮渣槽，这种流程的缺点是能耗高，溶气罐较大。若在气浮之前需经混凝处理时，则已形成的絮体势必在压缩和溶气过程中破碎，因此混凝剂消耗量较多。当进水中的悬浮物多时，易堵塞溶气释放器。

在部分进水溶气和部分处理水溶气两种流程中，用于加压溶气的水量只占总水量的 30%～35% 和 10%～20%。因此，在相同能耗的情况下，溶气压力可大大提高，形成的气泡更小，更均匀，也不破坏絮凝体。

2．曝气浮选法

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

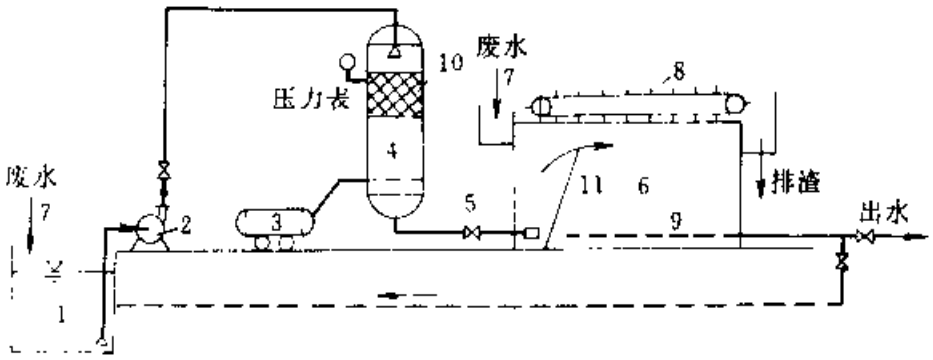


图 3-42 加压溶气气浮流程图

1—吸水井；2—加压泵；3—空压机；4—压力容器罐；5—减压释放阀；6—浮上分液池；7—原水进水管；8—刮渣机；9—集水系统；10—填料层；11—隔板

曝气浮选法是将空气直接打入到浮选池底部的充气器中，空气形成细小的气泡，均匀地进入废水；而废水从池上部进入浮选池，与从池底多孔充气器放出的气泡接触，气泡捕集废水中颗粒后上浮到水面，由排渣装置将浮渣刮送到泥渣出口处排出。而净化水通过水位调节器由水管流出。

充气器可以用带有微孔的材料制成，如帆布、多孔陶瓷、微孔塑料管等，曝气浮选法的特点是动力消耗最小，但由于气泡较大，而又很难均匀，故浮选效果较压力溶气法要略差些，同时操作过程中，多孔充气器需经常清理防止堵塞，这给操作带来不便。

3．真空浮选法

该法是使废水与空气同时被吸入真空系统后接触，一般真空度为(2.7～4.0)×10^4Pa，在真空系统中，真空浮选的主要特点是气浮池在负压下运行，因此空气在水中易呈过饱和状态，析出的空气量取决于溶解空气量和真空度。这种方法的优点是溶气压力比加压溶气法低，能耗较小，但其最大的缺点是气浮池构造比较复杂，运行维护都有困难，因此在生产中应用不多。

4．电解气浮法

电解浮选法，是对废水进行电解，这时在阴极产生大量的氢气。由于产生的氢气气泡极小，仅为 20～100μm，废水中的颗粒物粘附在氢气泡上，随它上浮，从而达到净化废水的作用。

同时在阳极发生氧化作用，使极板电离形成氢氧化物，又起着混凝剂和浮选剂的作用，帮助废水中的污染物质上浮，有利于废水的净化。

电解浮选法的优点是产生的小气泡数量很多，每平方米的极板可在 1min 内产生 16×10^{17}个小气泡；在利用可溶性阳极时，浮选过程和沉降过程可结合进行，装置简单、紧凑，容易实现一体化，在印染废水和含油废水的处理中有其特殊性，这是一种很好的废水处理方法。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

5. 生物浮选法

生物浮选法是将活性污泥投放到浮选池内，依靠微生物的增长和活动来产生气泡（主要是细菌呼吸活动产生的 CO_2 气泡），废水中的污染物粘附在气泡上浮漂到水面，加以去除，使水净化。但此法产生的气量较小，浮选过程比较缓慢，在过程上很难实现。

三、电渗析

（一）电渗析原理

电渗析是在渗析法的基础上发展起来的一项废水处理新工艺。它是在直流电流电场的作用下，利用阴、阳离子交换膜对溶液中阴、阳离子的选择透过性（即阳膜只允许阳离子通过，阴膜只允许阴离子通过），而使溶液中的溶质与水分离的一种物理化学过程。

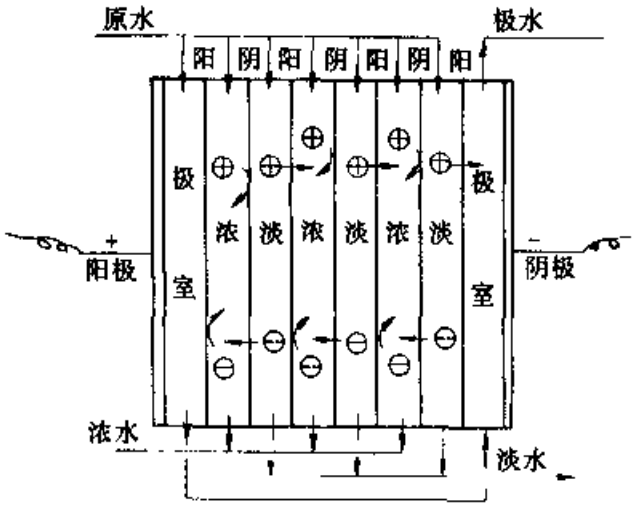


图 3-43　电渗析工作原理图

电渗析系统由一系列阴、阳膜交替排列于两电极之间组成许多由膜隔开的小水室，膜间保持一定的距离。电渗析的工作原理见图 3-43。

电渗析过程主要分成三个步骤，即：

（1）离解。废水中的电解质在直流电场的作用下产生阴离子和阳离子。

（2）离子的迁移。产生的阴、阳离子分别向电场的正、负电极移动，在移动过程中与离子交换膜相遇。由于离子交换膜具有选择性，结果使一些小室离子浓度降低而成为淡水室，与淡水室相邻的小室则因富集了大量离子而成为浓水室。从淡水室和浓水室分别得到淡水和浓水。原水中的离子得到了分离和浓缩，水便得到了净化。

（3）电极反应。电极与膜之间的隔离室称为极室，极室中的离子与电极反应：阳极发生氧化反应、阴极发生还原反应。

除了以上三个主要过程以外，还发生一系列次要过程，如反离子的迁移、电解质浓度差扩散、水的电渗透、水的压渗、水的电离等，所以电渗析器在运行中，同时发生着多种复杂过程。主要过程是电渗析处理所希望的，而次要过程却对废水处理是不利的。例如，反离子迁移和电解质浓度差扩散将降低除盐的效果；水的渗透、电渗和压渗会降低淡水产量和浓缩效果；水的电离会使耗电量增加，导致浓水室极化结垢等问题。因此，在电渗析器的

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

设计和操作时，必须设法避免和改善这些次要过程对电渗析的不利影响。

（二）电渗析在废水处理中的应用

电渗析法最先用于海水淡化制取饮用水和工业用水，海水浓缩制取食盐，以及其他单元技术组合制取高纯水，利用电渗析法去除水中的盐分使水淡化，具有投资少、建设时间短、方便易行等优点，直流电耗量为 1～5 $kW \cdot h/m^3$ 淡水。

在废水处理中，根据工艺特点，电渗析法操作有两种基本类型，一种是由阳膜和阴膜交替排列而成的普通电渗析工艺，主要用于从废水中单纯分离污染物离子，或者把废水中的污染物离子和非电解质污染物分离开，再用其他方法处理；另一种是由复合膜与阳膜构成的特殊电渗析工艺，利用复合膜的极化反应和极室中的电极反应以产生 H^+ 和 OH^- 离子，从废水中制取酸和碱。

我国从 1958 年开始，进行电渗析技术的研究，最初是应用在海水、苦咸水等的淡化方面的电渗析研究，随后应用范围逐渐扩大到冶金、化工、纺织、造纸、电镀、运输等各种工业中。目前它已成为一种新的化工单元操作，电渗析技术越来越引起人们的重视并得到逐步推广。电渗析方法应用到环境保护方面进行废水处理，已取得良好的效果。但是由于目前其耗电量很高，多数还是仅限于在以回收为目的的情况下使用。

四、反渗透

反渗透是利用半渗透膜进行分子过滤来处理废水的一种新的方法，所以又称为膜分离技术。这种方法是利用“半渗透膜”的性质进行分离作用。这种膜可以使水通过，但不能使水中悬浮物及溶质通过，所以这种膜称为半渗透膜。利用它可以除去水中的溶解固体、大部分溶解性有机物和胶状物质。近年来该法开始得到人们的重视，应用范围也在不断扩大。

（一）反渗透原理

用一张半渗透膜将淡水和废水隔开，如图 3-44 所示，该膜只让水分子通过，而不让溶质通过。由于淡水中水分子的化学位比溶液中水分子的化学位高，所以淡水中的水分子自发地透过膜进入废水中，这种现象称为渗透。在

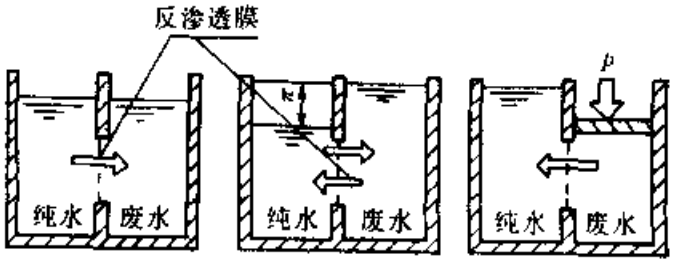


图 3-44　反渗透原理示意图

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

渗透过程中，淡水一侧液面不断下降，而废水一侧的液面不断上升。当两液面不再发生变化时，渗透便达到了平衡状态，此时两液面的压差称为该种废水的渗透压。如在废水一侧加上一定的压力 p 后，就会造成废水中的水分子被压力压过半渗透膜而进入清水一侧，结果使得废水中的溶质及悬浮物被分离，而使废水得到净化。由于这种过程与渗透过程相反，所以称为反渗透。

由此可见，实现反渗透必须具备两个条件：一是必须有一种高选择性和高透水性的半渗透膜；二是操作的压力必须高于废水的渗透压。

（二）反渗透工艺在废水处理中的应用

反渗透最早用于海水淡化（日本利用此法制盐），随着反渗透膜材料的发展，高效膜组件的出现，反渗透的应用领域不断扩大。在海水和苦咸水的脱盐，锅炉给水和纯水制备，废水处理与再生，有用物质的分离和浓缩等方面，反渗透都发挥重要的作用。

如采用反渗透法处理电镀废水可以实现闭路循环。逆流漂洗槽的浓液用高压泵打入反渗透器，浓缩液返回电镀槽重新使用，处理水则补充入最后的漂洗槽。对不加温的电镀槽，为实现水量平衡，反渗透浓缩液还需蒸发后才能返回电镀槽。

反渗透用于造纸废水、印染废水、石油化工废水，医院污水处理和城市污水的深度处理等也得到了很好的处理效果。处理造纸废水，可以BOD70%～80%，COD85%～90%，色度 96%～98%，Ca96%～97%，水回用率 80%。用于城市污水的深度处理，可降低含盐量 99%以上，而且还可去除各类含 N、P 化合物，使 COD 去除 96%，达到 10^{-6}数量级。

五、超过滤法

超过滤法简称超滤法，与反渗透一样也依靠推动力和半透膜实现分离。两种方法不同的是，超滤法所需的压力较低，一般约在 0.1～0.5MPa 压力下进行，而反渗透的操作压力为 2～10MPa。超滤法和反渗透法中都使用半渗透膜，超滤法中使用最多的半渗透膜（称超滤膜）也是醋酸纤维素制成的膜，但其性能不同，膜上的微孔直径较大，约为 0.002～10μm，而反渗透法中使用的半渗透膜（称反渗透膜）的孔径较小，只有 0.0003～0.06μm。所以超滤法适用于分离相对分子质量大于 500，直径为 0.005～10μm 的大分子和胶体，如细菌、病毒、淀粉、树胶、蛋白质、粘土和油漆色料等，这类液体在中等浓度时，渗透压很小；而反渗透一般用来分离相对分子质量低于 500，直径为 0.0004～0.06μm 的糖、盐等渗透压较高的体系。

超滤装置和反渗透装置类同，目前我国普遍应用管式装置。国外除应用管式、卷式装置外，近年来更多地应用空心纤维式装置，近年来超滤法在工业废水处理方面应用很广，如用于电泳涂漆废水、含油废水、含聚乙烯醇废

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

水、纸浆废水、颜料和染色废水、放射性废水等的处理以及食品工业废水中回收蛋白质、淀粉等十分有效，国外早已大规模用于实际生产中，近十年来，国内外已将超滤用于生活饮用水制备，推出了多种膜式家用净水器。

因为化工废水中所含的有各种各样的溶质物质，所以，只采用单一的超滤方法，常常不可能去除不同相对分子质量的各类溶质，一般多是将超滤法与反渗透法联合使用，或者与其他废水处理法联合使用。

第六节　生化处理法

化工工业发展初期，化工污染物主要是酸、碱等无机污染物，可以采用相对比较简单的物理法和化学法进行废水处理。有机化学工业发展以后，化工废水中含有大量的有机污染物，采用物理或化学的方法很难达到治理的要求，因此生物化学处理法逐渐得到发展。

化工废水和其他工业废水一样，排放量大的污染物主要是 COD、BOD、悬浮物氨氮及油类。正是这些污染物排入地面水系后造成河流黑臭的主要原因。排放这些污染物的工厂数量很多，分布很广。由于有机废水需要治理的量大，耗资多，加上电力资源和治理场地紧缺，因此治理有机废水的难度很大。尽管过去在工艺污染治理方面曾经做了大量的工作，但至今在有机废水治理上尚有很大的缺口，欠账较多。

因此工业废水中含有多种对微生物有毒性的化合物，因此在生化处理前往往需要进行预处理。另外，从悬浮物和不溶性颗粒物与 COD 或 BOD 的关系来看，一般地说在去除了废水中的大部分悬浮物和颗粒物之外，也将会大大削减废水中的 COD 和 BOD 的量，因此加强工业水中悬浮物和颗粒物的预处理是十分重要的，并且是削减废水中有机物的一项简单而有效的措施。

一、生化处理方法分类

从微生物的代谢形式出发，生化处理方法主要分为好氧处理和厌氧处理两大类型。按照微生物的生长方式，可分为悬浮生长型和固着生长型两类。此外，按照系统的运行方式可分为连续式和间歇式，按照主体设备中的水流状态，可分为推流式和完全混合式等类型。根据作用原理不同可以大致分类如下。

- 生化处理
  - 好氧处理
    - 自然条件下
      - 水体自净——天然水体及氧化塘
      - 土壤净化——污水灌溉
    - 人工条件下
      - 悬浮生化法——活性污泥法及其变形、氧化塘、氧化沟
      - 固着生化法——生物滤池、生物转盘、接触氧化、好氧性生物流化床
  - 厌氧处理
    - 自然条件下
      - 高温堆肥
      - 厌氧塘
    - 人工条件下
      - 悬浮生化法——厌氧消化、上流式厌氧污泥床、化粪池
      - 固着生化法——厌氧滤池、厌氧流化床

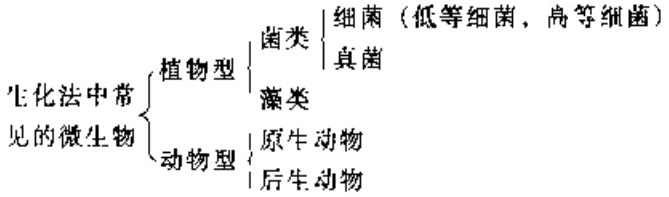
世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

二、微生物及生物处理

1. 微生物的特征

所谓微生物是一些肉眼不能看见，只能凭借显微镜才能观察到的单细胞及多细胞生物，微生物在自然界中分布极广，种类繁多。在处理废水中常见的微生物，可以分为以下几类。



在废水处理过程中，随着废水水质的差异，出现的微生物种类、数量也有明显差别，其中以细菌的数量最多。由于微生物具有来源广、易培养、繁殖快、对环境适应性强、易变异等特征，在生产上较容易地采集菌种进行培养增殖，并在特定条件下进行驯化，使之适应有毒工业废水的水质条件，从而通过微生物的新陈代谢使有机物无机化，有毒物质无害化。加之微生物的生存条件温和，新陈代谢过程中不需要高温高压，它是不需投加催化剂的催化反应，用生化法促使污染物的转化过程与一般化学法相比优越得多，其处理废水的费用低廉，运行管理较为方便，所以生化处理是废水处理系统中最重要的过程之一。目前，这种方法已广泛用作生活污水及工业有机废水的二级处理。

微生物在生命活动过程中，不断从外界环境中吸取营养物质，并通过复杂的酶催化反应将其加以利用，提供能量并合成新的生物体，同时又不断地向外界环境排泄废物，从而实现生命体的自我更新，这个过程称为微生物的新陈代谢，简称代谢。各种生物的生命活动，如生长、繁殖、遗传及变异，都需要通过新陈代谢来实现，可以讲，没有新陈代谢，就没有生命。

微生物的另一个特征是它的变异性，即环境条件的改变对微生物有特别明显的影响。同时变异又具有遗传性。因此，利用微生物的这种特性，可以在人为的条件下培养所需微生物，部分改变其原有的特性，使之更好地用于不同的废水处理中。这种培养又称为驯化。利用驯化微生物改变其部分性状的方法称为定向变异。微生物的定向变异对用生化法处理废水具有特别重要的意义。

2. 酶及酶反应

微生物与废水中有机物的作用，一切化学反应都是在酶的催化条件下才能进行，酶是由活细胞产生的能在生物体内和生物体外起催化作用的生物催化剂。酶有单成分酶和双成分酶之分。单成分酶完全由蛋白质组成，这类酶

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

蛋白质本身就具有催化活性，多数可以分泌到细胞体外催化水解，所以是外酶。而双成分酶是由蛋白质和活性原子基团相结合而成，蛋白质部分为主酶，活性原子基团一般是非蛋白质部分，此部分若与蛋白质部分结合较紧密时，称之为辅基，结合不牢固时，称之为辅酶。主酶与辅基或辅酶组成全酶，两者不能单独起催化作用，只有有机结合成全酶才能起催化作用，其中蛋白质部分是决定催化什么样的底物以及在什么部位发生反应，辅基和辅酶则决定催化什么样的化学反应。双成分酶（全酶）保留在细胞内，所以称之为内酶。

酶除具有一般无机催化剂所共有的特点外，更具有独具的特殊性能，主要表现以下特征：

（1）催化效率高。对于同一反应，酶比一般化学催化剂的催化速度高$10^6 \sim 10^{13}$倍。例如，1mol 铁每秒仅能催化 10^{-5}mol 的过氧化氢分解，而1mol 过氧化氢酶每秒可催化分解 10^5mol 的过氧化氢，使反应速率提高了10^{10}倍。酶催化的高效性还表现用极少量酶就可使大量反应物转化为产物。

（2）酶的活性大小与环境条件密切相关，迄今为止，已知所有酶的化学组成与一般蛋白质并没有不同。它与蛋白质一样，在高温、高压、强酸、强碱、重金属离子、紫外线以及高强辐射等条件下，都会因蛋白质变性而降低酶的催化活力，甚至使活力消失。因此，对废水的条件加以适当控制，以维持酶具有最高的活力。

（3）有些物质如镁离子及钾离子等，对酶有激活作用，称为酶的激活剂，可以提高酶的活性。还有些物质，特别是一些重金属离子能降低酶的活性，称为酶的抑制剂，或称酶中毒。如氰化物是抑制剂的一种，所以对于氰化物废水，不宜采用生化法进行处理。

（4）酶的专一性。酶对其所作用的物质即底物有着严格的选择性。一种酶只能作用于一些结构极其相似的化合物，甚至只能作用子一种化合物而发生化学反应。所以，处理不同性质的废水，对微生物必须进行筛选和驯化，分别加以利用。

（5）酶的活性还受废水中有机物浓度的影响，浓度提高，活性也增加，但是浓度高到一定程度之后，由于酶已全部和有机物结合，故浓度升高，反应速度反而下降。一般，用生化法处理高浓度废水时，处理前应先进行适当的稀释。

根据酶的这些特征，废水需要具备一定的条件，才能采用生化法进行处理。

酶催化反应通常称之为酶促反应或酶反应。酶促反应速率受酶浓度、基质浓度、pH、温度、反应产物、活化剂和抑制剂等因素的影响。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

3. 生化法对水质的要求

废水生化处理是以废水中所含的污染物作为营养源，利用微生物的代谢作用使污染物被降解，废水得以净化。显然，如果废水中的污染物不能被微生物所降解，则生化处理是无效的。如果废水中的污染物可以被微生物降解，则在设计状态下废水可以获得良好的处理效果。但是当废水突然进入有毒物质，或环境条件突然发生变化，超过微生物的承受限度时，将会对微生物产生抑制或有毒作用，使系统的运行遭到严重破坏。因此，进行生化处理时，废水水质需要给微生物的生长繁殖提供适宜的环境条件是非常重要的。对废水水质的要求主要有以下几个方面。

（1）pH。在废水处理过程中，pH 不能有突然变动，否则将使微生物的活力受到抑制，以至于造成微生物的死亡。一般，对好氧生物处理，pH 可保持在 6～9 范围内；对厌氧生物处理，pH 应保持在 6.5～8 之间。

（2）温度。温度过高时，微生物会死亡，而温度过低，微生物的新陈代谢作用将变得缓慢，活力受到抑制。一般生物处理要求水温控制在 20～40℃之间。

（3）水中的营养物及其毒物。微生物的生长、繁殖需要多种营养物质，其中包括碳源、氮源、无机盐类等。水质经过分析后，需向水中投加缺少的营养物质，以满足所需的各种营养物，并保持其间的一定数量比例。

在工业废水中，有时存在着对微生物具有抑制和杀害作用的化学物质，即有毒物质。有毒物质对微生物生长的毒害作用，主要表现在使细菌细胞的正常结构遭到破坏以及使菌体内的酶变质，并失去活性。有毒物质可分为：①重金属离子（铅、镉、铬、砷、铜、铁、锌等）；②有机物类（酚、甲醛、甲醇、苯、氯苯等）；③无机物类（硫化物、氰化钾、氯化钠、硫酸根、硝酸根等）。有毒物质对微生物产生有毒作用有一个量的概念，即达到一定浓度时显示出毒害作用，在允许浓度以内，微生物可以承受。对微生物处理来讲，废水中存在的毒物浓度的允许范围，至今还没有统一的资料，而且在废水生物处理中毒物最高容许浓度的规定差别也很大，表 3-15 所给出的数据仅供参考。微生物驯化后，毒物最高容许浓度的数值可以适当提高。

（4）氧气。根据微生物对氧的要求，可分为好氧微生物、厌氧微生物及兼性微生物。好氧微生物在降解有机物的代谢过程中以分子氧作为受氢体，如果分子氧不足，降解过程就会因为没有受氢体而不能进行，微生物的正常生长规律就会受到影响，甚至被破坏。所以在好氧生物处理的反应过程中，一般需从外界供氧，一般要求反应器废水中保持溶解氧浓度在 2～4mg/L 左右为宜。

而厌氧微生物对氧气很敏感，当有氧存在时，它们就无法生长。这是因

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 3-15 废水生物处理中有毒物质允许浓度

毒物名称	允许浓度/(mg/L)	毒物名称	允许浓度/(mg/L)	毒物名称	允许浓度/(mg/L)
亚砷酸盐	5	铁	100	酚	100
砷酸盐	20	硫化物（以S计）	10～30	氯苯	100
铅	1	氯化钠	10000	甲醛	100～150
镉	1～5	CN^-	5～20	甲醇	200
三价铬	10	氰化钾	8～9	吡啶	400
六价铬	2～5	硫酸根	5000	油脂	30～50
铜	5～10	硝酸根	5000		
锌	5～20	苯	100		

为在有氧存在的环境中，厌氧微生物在代谢过程中由脱氢酶所活化的氢将会与氧结合形成 H_2O_2，而厌氧微生物缺乏分解 H_2O_2 的酶，从而形成 H_2O_2 积累，对微生物细胞产生毒害作用。所以厌氧处理设备要严格密封，隔绝空气。

（5）有机物的浓度。进水有机物的浓度高，将增加生物反应所需的氧量，往往由于水中含氧量不足造成缺氧，影响生化处理效果。但进水有机物的浓度太低，容易造成养料不够，缺乏营养也使处理效果受到影响。一般进水 BOD_5 值以不超过 500～1000mg/L 及不低于 100mg/L 为宜。

4. 好氧生物处理和厌氧生物处理

根据生化处理过程中起主要作用的微生物种类的不同，废水生化处理可分为好氧生物处理和厌氧生物处理两大类。

好氧生物处理是好氧微生物和兼性微生物参与，在有溶解氧的条件下，将有机物分解为 CO_2 和 H_2O，并释放出能量的代谢过程。在有机物氧化过程中脱出的氢是以氧作为受氢体。如葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）在有氧情况下完全氧化，如下式所示：

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2880kJ$$

好氧生物处理过程中，有机物的分解比较彻底，最终产物是含能量最低的 CO_2 和 H_2O，故释放能量多，代谢速度快，代谢产物稳定。从废水处理的角度来说，我们主要是希望保持这样一种代谢形式，在较短时间内，将废水有机污染物稳定化。但好氧生物处理也有其致命的缺点，对含有有机物浓度很高的废水，由于要供给好氧生物所需的足够氧气（空气）比较困难，需先对废水进行稀释，要耗用大量的稀释水，而且在好氧处理中，不断地补充水中的溶解氧，从而使处理成本比较高。

厌氧生物处理是在无氧的条件下，利用厌氧微生物作用，主要是厌氧菌的作用，来处理废水中的有机物。过程中受氢体不是游离氧，而是有机物质

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

或含氧化合物，如 SO_4^{2-}、NO_3^-、NO_2^-、CO_2 等。因此，最终代谢产物不是简单的 CO_2 和 H_2O，而是一些低分子有机物、CH_4、H_2S、NH_4^+ 等。

厌氧生物处理过程可分为两个阶段，即酸性发酵阶段和碱性发酵阶段。酸性发酵阶段，废水中复杂的有机物在产酸细菌的作用下，分解成各种简单的有机酸、醇、氨及二氧化碳等，由于生成的有机酸使废水的 pH 小于 7，故称之为酸性发酵阶段；但到阶段后期，有机酸往往被有机氮分解的产物氨所中和，废水的 pH 会有所上升，同时，有机酸、醇类物质在甲烷细菌的作用下，进一步分解为甲烷和二氧化碳，这一阶段称之为碱性发酵阶段。

厌氧生物处理不需要供给氧气（空气），故动力消耗省，设备简单，并能回收一定数量的甲烷气体作为燃料。其缺点是在发酵过程中，有时会有硫化氢或者其他一些硫化物产生，硫化氢与铁质接触就会形成黑色的硫化铁，从而使处理后的废水既黑又臭。

兼氧氧化也叫兼气性氧化或兼气性分解，是兼气性微生物生命活动的结果，它介乎好氧分解与厌氧分解之间。

三、活性污泥法

活性污泥法是处理工业废水最常用的生物处理方法，是利用悬浮生长的微生物絮体处理有机废水一类好氧生物的处理方法。这种生物絮体称为活性污泥，它由好氧性微生物（包括细菌、真菌、原生动物及后生动物）及其代谢的和吸附的有机物、无机物组成，具有降解废水中有机污染物（也有些可部分分解无机物）的能力，显示生物化学活性。

（一）活性污泥

活性污泥法处理的关键在于具有足够数量和性能良好的污泥。它是大量微生物聚集的地方，即微生物高度活动的中心，在处理废水过程中，活性污泥对废水中的有机物具有很强的吸附和氧化分解能力，故活性污泥中还含有分解的有机物及无机物等。污泥中的微生物，在废水处理中起主要作用的是细菌和原生动物。

衡量活性污泥数量和性能好坏的指标主要有以下几项。

（1）活性污泥的浓度（MLSS） 指以 1L 混合液内所含的悬浮固体（MLSS）或挥发性悬浮固体（MLVSS）的量，单位为 g/L 或 mg/L。污泥浓度的大小可间接地反映废水中所含微生物的浓度。一般在活性污泥曝气池内常保持 MLSS 浓度在 2～6g/L 之间，多为 3～4g/L。

（2）污泥沉降比（SV%） 是指一定量的曝气池废水静置 30min 后，沉淀污泥与废水的体积比，用% 表示。它可反映污泥的沉淀和凝聚性能好坏。污泥沉降比越大，越有利于活性污泥与水迅速分离，性能良好的污泥，一般沉降比可达 15%～30%。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（3）污泥容积指数（SVI） 又称污泥指数，是指一定量的曝气池废水经 30min 沉淀后，1g 干污泥所占有沉淀污泥容积的体积，单位为 mL/g，它实质是反映活性污泥的松散程度，污泥指数越大，则污泥越松散。这样可有较大表面积，易于吸附和氧化分解有机物，提高废水的处理效果。但污泥指数太高，污泥过于松散，则污泥的沉淀性差，故一般控制在 50～150mL/g 之间为宜，但根据废水性质的不同，这个指标也有差异。如废水溶解性有机物含量高时，正常的 SVI 值可能较高；相反，废水中含无机性悬浮物较多时，正常的 SVI 值可能较低。

以上三者之间的关系为：

$$SVI = \frac{SV\text{ 的百分数} \times 10}{MLSS(g/L)}$$

例如，曝气池废水污泥沉降比（SV）为 20%，污泥浓度为 2.5g/L，则污泥容积指数为：

$$SVI = \frac{20 \times 10}{2.5} = 80$$

（二）活性污泥法处理废水流程

采用活性污泥法，处理工业废水的大致流程如图 3-45 所示。

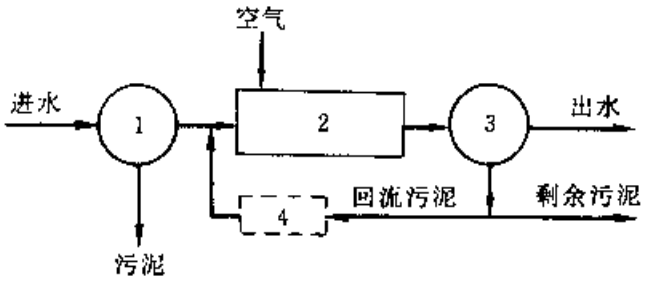


图 3-45 活性污泥法基本流程图

1—初次沉淀池；2—曝气池；3—二次沉淀池；4—再生池

流程中的主体构筑物是曝气池，废水必须先进行沉淀预处理（如初沉）后，除去某些大的悬浮物及胶状颗粒等，然后进入曝气池与池内活性污泥混合成混合液，并在池内充分曝气，一方面使活性污泥处于悬浮状态，废水与活性污泥充分接触，另一方面，通过曝气，向活性污泥提供氧气，保持好氧条件，保证微生物的正常生长和繁殖。而水中的有机物被活性污泥吸附、氧化分解。处理后的废水和活性污泥一同流入二次沉淀池进行分离，上层净化后的废水排出。沉淀的活性污泥部分回流入曝气池进口，与进入曝气池的废水混合。由于微生物的新陈代谢作用，不断有新的原生质合成，所在系统中活性污泥量会不断增加，多余的活性污泥应从系统中排出，这部分污泥称为剩余污泥量；回流使用的污泥称为回流活性污泥。通常参与分解废水中有机

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

物的微生物的增殖速度，都慢于微生物在曝气池内的平均停留时间。因此，如果不将浓缩的活性污泥回流到曝气池，则具有净化功能的微生物将会逐渐减少。除污泥回流外，增殖值的细胞物质将作为剩余污泥排入污泥处理系统。

活性污泥处理废水中的有机质过程，分为两个阶段进行，即生物吸附阶段和生物氧化阶段。

（1）生物吸附阶段　废水与活性污泥微生物充分接触，形成悬浊混合液，废水中的污染物被比表面积巨大且表面上含有多糖类粘性物质的微生物吸附和粘连。呈胶体状的大分子有机物被吸附后，首先被水解酶作用，分解为小分子物质，然后这些小分子与溶解性有机物被活性有机物一道在酶的作用下或在浓度差推动下选择渗入细胞体内，从而使废水中的有机物含量下降而得到净化。这一阶段进行得非常迅速，对于含悬浮状态有机物较多的废水，有机物的去除率是相当高的，往往在 10 ~ 40min 内，BOD 可下降 80%～90%。此后，下降速度迅速减缓。

（2）生物氧化阶段　被吸附和吸收的有机物质继续被氧化，这段时间需要很长，进行非常缓慢。在生物吸附阶段，随着有机物吸附量的增加，污泥的活性逐渐减弱。当吸附饱和后，污泥失去吸附能力。经过生物氧化阶段吸附的有机物被氧化分解后，活性污泥又呈现活性，恢复吸附能力。

（三）活性污泥法的分类

按废水和回流污泥的进入方式及其在曝气池中的混合方式，活性污泥法可分为推流式和完全混合式两大类。

推流式活性污泥曝气池有若干个狭长的流槽，废水从一端进入，另一端流出。此类曝气池又可分为平行水流（并联）式和转折水流（串联）式两种。随着水流的过程，底物降解，微生物增长，F/M● 沿程变化，系统处于生长曲线某一段上工作。

完全混合式是废水进入曝气池后，在搅拌下立即与池内活性污泥混合液混合，从而使进水得到良好的稀释，污泥与废水得到充分混合，可以最大限度地承受废水水质变化的冲击。同时，由于池内各点水质均匀，F/M 一定，系统处于生长曲线某一点上工作。运行时，可以调节 F/M，使曝气池处于良好的工况条件下工作。

普通曝气沉淀池构造如图 3-46 所示。它由曝气区、导流区、回流区、沉淀区几部分组成，故占地面积小，回流用活性污泥可自动回流至曝气面，不需输送污泥设备。但是沉淀效果较分建式要差，使出水中有机物的含量比

● F/M 底物量（F）与微生物量（M）的比值，称为生物负荷率。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

较高，影响出水水质。

当然，理论上的推流式和完全混合式是没有的，一般实际运行的曝气池的流程介于两者之间。

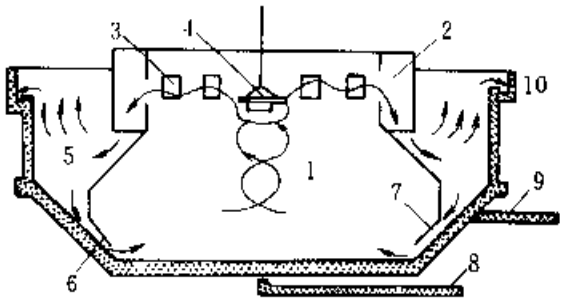


图 3-46 普通曝气沉淀池

1—曝气区；2—导流区；3—回流窗；4—曝气叶轮；5—沉淀区；6—顺流圈；7—回流缝；8，9—进水管；10—出水槽

四、生物膜法

生物膜法是另一种好氧生物处理法。但活性污泥法是依靠曝气池中悬浮流动着的活性污泥来分解有机物的，而生物膜法是通过废水同生物膜接触，生物膜吸附和氧化废水中的有机物并同废水进行物质交换，从而使废水得到净化的过程，常用的有生物滤池、塔式滤池、生物转盘、生物接触氧化和生物流化床等。

生物膜法设备类型很多，按生物膜与废水的接触方式不同，可分为填充式和浸渍式两类。在填充式生物膜法中，废水和空气沿固定的填料或转动的盘片表面流过，与其上生长的生物膜接触，典型设备有生物滤池和生物转盘。在浸渍式生物膜法中，生物膜载体完全浸没在水中，通过鼓风曝气供氧。如载体固定称为接触氧化法；如载体流化则称为生物流化床。

（一）池床式生物滤池

生物滤池一般由钢筋混凝土或砖石砌筑而成，池平面有矩形、圆形或多边形，其中以圆形为多，主要组成部分是滤料、池壁、排水系统和布水系统（如图 3-47 所示）。

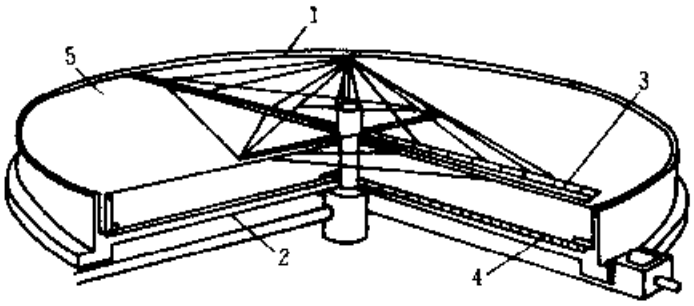


图 3-47 生物滤池的构造示意图

1—池壁；2—池底；3—布水器；4—排水沟；5—滤料

滤料作为生物膜的载体，对生物滤池的工作影响比较大。常用的滤料有石、卵石、碎石、炉渣、焦炭、瓷环、陶粒等，面且颗粒比较均匀、粒径为 25～100mm，滤层厚度为 0.9～2.5m，平均 1.8～2.0m。近年来，生物滤池多采用塑料滤料，主要由聚氯乙烯、聚乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺等加工成波纹板、蜂窝管、环状及空圆柱等复合式滤料。这些滤料的特点是比表面积

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

大，孔隙率高，可达 90% 以上，从而大大改善膜生长及通风条件，使废水处理效果大大提高。

生物滤池的基本流程与活性污泥法相似，由初次沉池—生物滤池—二次沉淀等三部分组成。在生物滤池中，为了防止滤层堵塞，需设置初次沉淀池，预先去除废水中的悬浮颗粒和胶状颗粒。二次沉淀池用以分离脱落的生物膜。由于生物膜的含水率比活性污泥小，因此，污泥沉淀速度较大，二次沉淀池容积较小。

含有有机物质的工业废水，由滤池顶部通入，自上而下地穿过滤料层，进入池底的集水沟，然后排出池外，当废水由布水装置均匀地分布在滤料的表面上，并沿着滤料的间隙向下流动时，滤料截留了废水中的悬浮物质及微生物，在滤料表面逐渐形成一层粘膜，由于膜内生长有大量的微生物，称这种粘膜为生物膜，微生物吸附滤料表面上的有机物作为营养，很快繁殖，并进一步吸附废水中的有机物，使生物膜厚度逐渐增加，增厚到一定程度时，氧气难于进入到生物膜深处，生物膜里层供氧不足，会造成厌氧微生物繁殖，从而产生厌氧分解，生产氨、硫化氢和有机酸，有恶臭气味，影响出水的水质。另外，如果生物膜太厚的话，会使滤料间隙变小，造成堵塞，使处理水量减少。一般认为生物膜厚度以 2mm 左右为宜。

（二）塔式生物滤池

塔式生物滤池是在床式生物滤池的基础上发展起来的，是一种新型大处理量的生物滤池，滤料采用孔隙率大的轻质塑料滤料，滤层厚度大，从而提高了抽风能力和废水处理能力。塔式生物滤池进水负荷特别大，自动冲刷能力强，只要滤料填装合理，不会出现滤层堵塞现象。

塔式生物滤池负荷比高负荷生物滤池大好几倍，比普通生物滤池大好几倍，可承受较大浓度的废水，耐负荷冲击的能力也比较强，但要求的通风量比较大，在最不利的水文条件下往往需要实行机械通风。

塔式生物滤池的滤层厚，水力停留时间长，分解的有机物数量大，单位滤池面积处理能力高，占地面积小，管理方便，工作稳定性好，投资和运转费用低，还可采用密封塔结构，避免废水中挥发性物质造成二次污染。卫生条件好。但是，塔式生物滤池出水浓度较高，常有游离细菌，所以，塔式生物滤池适宜于二次处理串联系统中作为第一级处理设备，也可以在废水处理程度要求不高时使用。塔式生物滤池高度为 6～8m，直径约为塔高的 (1/6)～(1/8)。图 3-48 为塔式生物滤池的构造示意图。

（三）生物转盘

生物转盘是一种新颖的废水处理装置，又称为浸没式生物滤池。其工作原理与生物滤池基本相同，但其构造却完全不一样。生物转盘是由固定在一

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

根轴上的许多间距很小的圆盘或多角形盘片组成。盘片可用聚氯乙烯、聚乙烯、泡沫聚苯乙烯、玻璃钢、铝合金或其他材料制成。盘片可以是平板，也可以是点波波纹板等形式，也有用平板和波纹板组合，因为点波波纹板盘片的比表面积比平板大一倍。盘片有接近一半的面积浸没在半圆形、矩形或梯形的氧化槽内。在电动带动下，盘片组在水槽内缓慢转动，废水在槽内流过、水流方向与转轴垂直，槽底设有排泥管或放空管，以控制槽内废水中悬浮物浓度。

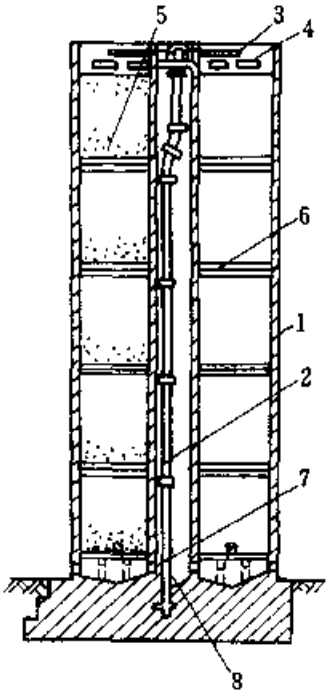


图 3-48　塔式生物滤池的构造示意图

1—塔体；2—进水管；3—布水管；4—溅水盘；5—炉渣滤池；6—中间筛状隔板；7—通风口；8—排水渠

盘片作为生物膜的载体，当生物膜处于浸没状态时，废水有机物被生物膜吸附，而当它处于水面上时，大气的氧向生物膜传递，生物膜内所吸附的有机物氧化分解，生物膜恢复活性。这样，生物转盘每转动一圈即完成一个吸附和一个氧化周期。转盘不断地转动，上述过程不停地循环进行，使废水得到净化。剥落的生物膜随水流入沉淀池，将水与污泥分开。其工艺流程见图 3-49。

与生物滤池相同，生物转盘也无污泥回流系统，为了稀释进水，可考虑出水回流，但是生物膜的冲刷不依靠水力负荷的增大，而是通过控制一定的盘面转速来达到。

生物转盘的优点是操作简单，生物膜与废水接触的时间可以通过调整转盘转速加以控制，故适应废水负荷变化的能力强。其缺点是转盘材料造价

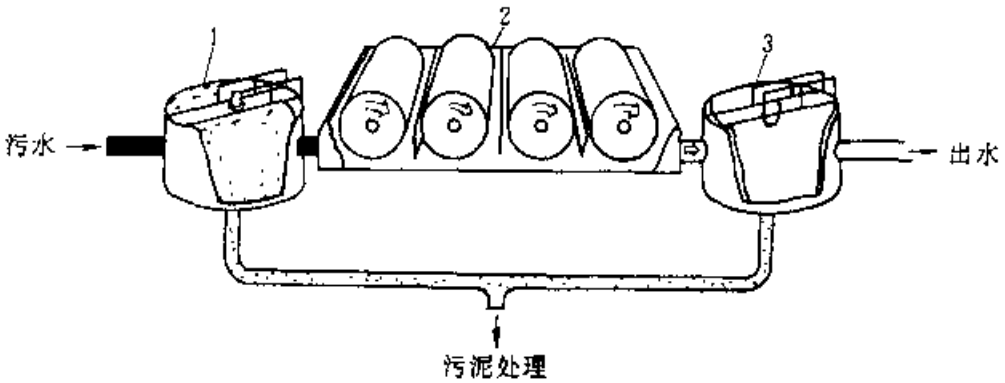


图 3-49　生物转盘的工艺流程图

1—一次沉淀池；2—生物转盘；3—二次沉淀池

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

高，机械转动部件容易损坏，投资较高。目前，国内主要用在处理水量不大而含有机物浓度较高的场合，如处理印染废水等。

五、厌氧生化法

废水厌氧生物处理是环境工程与能源工程中一项重要技术。是有机废水强有力的处理方法之一。人们有目的地利用厌氧生物处理已有近百年的历史。农村广泛使用的沼气池，就是厌氧生物处理技术最初的运用实例。但由于存在水力停留时间长、有机负荷低等缺点，较长时期限制了该技术在废水处理中的广泛应用。从 20 世纪 70 年代开始，由于世界能源的紧缺，能产生能源的废水厌氧技术得到重视，不断开发出新的厌氧处理工艺和构筑物。大幅度地提高了厌氧反应器内活性污泥的持留量，使废水的处理时间大大缩短，处理效率成倍提高。特别在高浓度有机废水处理方面逐渐显示出它的优越性。

（一）厌氧生物处理的基本原理

废水的厌氧生物处理是指在无分子氧的条件下通过厌氧微生物（或兼氧微生物）的作用，将废水中的有机物分解转化为甲烷和二氧化碳的过程，所以又称厌氧消化。厌氧生物处理实际上是一个复杂的微生物化学过程。早在 20 世纪 30 年代，人们就已经认识到有机物的分解过程分为酸性（酸化）阶段和碱性（甲烷化）阶段。1967 年，Bryant 的研究表明，厌氧过程主要依靠三大主要类群的细菌，即水解产酸细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌的联合作用完成。因而应划分为三个连续的阶段，即水解酸化阶段、产氢产乙酸阶段、产甲烷阶段，有人也把第一个阶段又划分为水解和酸化两个阶段。具体见图 3-50。

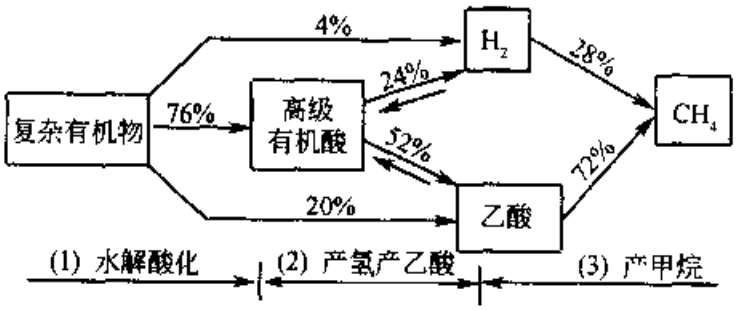


图 3-50　厌氧发酵的三个阶段和 COD 转化率

第一个阶段为水解酸化阶段，在这个阶段中，复杂的大分子有机物、不溶性的有机物先在细胞外酶水解为小分子、溶解性有机物，然后渗透到细胞体内，分解产生挥发性有机酸、醇类、醛类物质等。

第二个阶段为产氢产乙酸阶段。在产氢产乙酸细菌的作用下，将第一个阶段所产生的各种有机酸分解转化为乙酸和 H_2，在降解奇数碳素有机酸时还形成 CO_2。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第三个阶段为产甲烷阶段。产甲烷细菌利用乙酸、乙酸盐、CO_2 和 H_2 或其他一碳化合物转化为甲烷。

上述三个阶段的反应速度因废水性质的不同而异，而且厌氧生物处理对环境的要求比好氧法要严格。一般认为，控制厌氧生物处理效率的基本因素有两类：一类是基础因素，包括微生物量（污泥浓度）、营养比、混合接触状况、有机负荷等；另一类是周围的环境因素，如温度、pH、氧化还原电位、有毒物质的含量等。

（二）厌氧生物处理的工艺和设备

多年来，结合高浓度有机废水的特点和处理实践经验，开发了不少新的厌氧生物处理工艺和设备。有代表性的厌氧生物处理的处理工艺和设备有：普通厌氧消化池、厌氧滤池、厌氧接触消化、上流式厌氧污泥床（UASB）、厌氧附着膜膨胀床（AAFEB）、厌氧流化床（AFB）、升流厌氧污泥床-滤层反应器（UBF）、厌氧转盘和挡板反应器、两步厌氧法和复合厌氧法等。表 3-16 列举了几种常见厌氧工艺的一般性特点和优点。

表 3-16　几种常见厌氧处理工艺的比较

工艺类型	特　点	优　点	缺　点
普通厌氧消化	厌氧消化反应与固液分离在同一个池内进行，甲烷气和固液分离（搅拌或不搅拌）	可以直接处理悬浮固体含量较高或颗粒较大的料液，结构较简单	缺乏持留或补充厌氧活性污泥的特殊装置，消化器中难以保持大量的微生物；反应时间长，池容积大等
厌氧接触法	通过污泥回流，保持消化池内污泥浓度较高，能适应高浓度和高悬浮物含量的废水	消化池内的容积负荷较普通消化池高，有一定的抗冲击负荷能力，运行较稳定，不受进水悬浮物的影响，出水悬浮固体含量低，可以直接处理悬浮固体含量高或颗粒较大的料液	负荷高时污泥仍会流失；设备较多，需增加沉淀池、污泥回流和脱气等设备，操作要求高；混合液难于在沉淀池中进行固液分离
上流式厌氧污泥床	反应器内设三相分离器，反应器内污泥浓度高	有机负荷高，水力停留时间短；能耗低，无需混合搅拌装置，污泥床内不填载体，节省造价又避免堵塞问题	对水质和负荷突然变化比较敏感；反应器内有短流现象，影响处理能力；如设计不善，污泥会大量流失；构造较复杂
厌氧滤池	微生物固着生长在滤料表面，滤池中微生物含量较高，处理效果比较好。适用于悬浮物含量低的废水	可承受的有机容积负荷高，且耐冲击负荷能力强；有机物去除速度快；不需污泥回流和搅拌设备；启动时间短	处理含悬浮物浓度高的有机废水，易发生堵塞，尤以进水部位更严重。滤池的清洗比较复杂
厌氧流化床	载体颗粒细，比表面积大，载体处于流化状态	具有较高的微生物浓度，有机物容积负荷大，具有较强的耐冲击负荷能力，具有较高的有机物净化速度，结构紧凑、占地少以及基建投资省	载体流化能耗大，系统的管理技术要求比较高

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

续表

工艺类型	特　点	优　点	缺　点
两步厌氧法和复合厌氧法	在两个独立的反应器中进行，比例酸化和甲烷化在两个反应器中进行。两个反应器内也可以采用不同的反应温度	耐冲击负荷能力强，能承受较高负荷；消化效率高，尤其适于处理含悬浮固体多、难消化降解的高浓度有机废水；运行稳定，更好地控制工艺条件	两步法设备较多，流程和操作复杂
厌氧转盘和挡板反应器	对废水的净化靠盘片表面的生物膜和悬浮在反应槽中的厌氧菌完成，有机物容积负荷高	无堵塞问题，适于高浓度废水；有机物容积负荷高，水力停留时间短；动力消耗低；耐冲击能力强，运行稳定，运转管理方便	盘片造价高

由于各种厌氧生物处理工艺和设备各有优缺点，究竟采用什么样的反应器以及如何组合，要根据具体的废水水质及处理需要达到的要求而定。

六、生化处理法的技术进展

随着生化法在处理各种工业废水中的广泛应用，对生化处理技术改进方面的研究特别活跃。尤其是活性污泥法的技术改进，取得了一系列新的进展。

（一）活性污泥法的新进展

几十年来，人们对普通活性污泥法（或称传统活性污泥法）进行了许多工艺方面的改革和净化功能方面的研究。在污泥负荷率方面，按照污泥负荷率的高低，分成了低负荷率法、常负荷率法和高负荷率法；在进水点位置方面，出现了多点进水和中间进水的阶段曝气法和生物负荷法、污泥再曝气法；在曝气池混合特征方面，改革了传统法的推流式，采用了完全混合法；为了提高溶解氧的浓度、氧的利用率和节省空气量，研究了渐减曝气法、纯氧曝气法和深井曝气法。

近十多年来，为了提高进水有机物浓度的承受能力，提高污水处理的能力，提高污水处理的效能，强化和扩大活性污泥法的净化功能，人们又研究开发了两段活性污泥法、粉末炭—活性污泥法、加压曝气法等处理工艺；开展了脱氮、除磷等方面的研究与实践；同时，对采用化学法与活性污泥法相结合的处理方法。净化含难降解有机物污水等方面也进行了探索。目前，活性污泥法正在朝着快速、高效、低耗等多方面发展。主要进展如下。

1. 纯氧曝气法

纯氧曝气法的优点是水中溶解氧的增加，可达 6～10mg/L，氧的利用率可提高到 90%～95%，而一般的空气曝气法仅为 4%～10%；由于可以提高更多的氧气，故为增加活性污泥的浓度创造了条件。活性污泥浓度提高，

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

则废水处理效率也得以提高。一般曝气时间相同，纯氧曝气法比空气曝气法的 BOD_5 及 COD 的去除率可以分别提高 3% 和 5%，而且成本降低，耗电量也比空气曝气法节省 30%～40%。

2. 深层曝气法

增加曝气池的深度，可以提高池水的压力，从而使水中氧的溶解度提高，氧的溶解速度也相应加快，因此深层曝气池水中的溶解氧要比普通曝气池的高，而且采用深层曝气法可提高氧的转移效率和减少装置的占地面积。

3. 深井曝气池

深井曝气法也可称为超深层曝气法。井内水深 50～150m，因此溶解氧浓度高，生化反应迅速。适用于处理场地有限、工业废水浓度高的情况。

4. 投加化学混凝剂及活性炭法

在活性污泥法的曝气池中，投加化学混凝剂及活性炭，这样相当在进行生化处理的同时，进行物化处理。活性炭又可作为微生物的载体并有协助固体沉降的作用，使 BOD_5 及 COD 的去除率提高。使水质净化。

5. 生物接触氧化法

近年来出现的生物接触氧化法是兼有活性污泥法和生物膜法特点的生物处理法，它是以接触氧化池代替一般的曝气池，以接触沉淀池代替常用的沉淀池。其流程如图 3-51 所示。

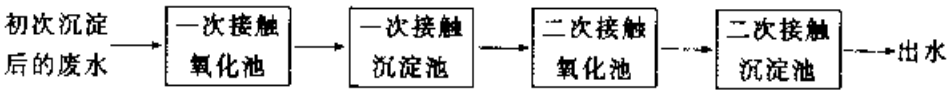


图 3-51　生物接触氧化池流程示意图

这个方法空气用量少，动力消耗也比较低，电耗可比活性污泥法减少 40%～50%。可以讲，生物接触氧化法具有活性污泥法和生物膜法两者的许多优点，因此越来越受到人们的重视。

（二）生物膜法的新进展

早期出现的生物滤池（普通生物滤池）虽然处理污水效果较好，但其负荷比较低，占地面积大，易堵塞，其应用受到了限制。后来人们对其进行了改进，如将处理后的水回流等，从而提高了水力负荷和 BOD 负荷，这就是高负荷生物滤池。

生物转盘出现于 20 世纪 60 年代。由于它具有净化功能好、效果稳定、能耗低等优点，因此在国际上得到了广泛应用。在构造形式、计算理论等方面均得到了较大发展，如改进转盘材料性能和增加转盘的直径，可使转盘的表面积增加，有利于微生物的生长。近年来，人们开发了采用空气驱动的生物转盘、藻类转盘等，在工艺形式上，进行了生物转盘与沉淀池或曝气池等

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

优化组合的研究，如根据转盘的工作原理，新近又研制成生物转筒，即将转盘改成转筒，筒内可以增加各种滤料从而使生物膜的表面积增大。

20 世纪 70 年代初期，一些国家将化工领域中的流化床技术应用于污水生物处理中，出现了生物流化床。生物流化床主要有两相流化床和三相流化床。多年来的研究和运行结果表明，生物流化床具有 BOD 容积负荷大、处理效率高、占地面积小、投资省等特点，其缺点是运行不够稳定，操作困难。

生物活性炭法是近年来发展起来的一种新型水处理工艺，已在世界上许多国家采用，尤其在西欧更为广泛。该工艺的研究在我国已有十多年的历史，目前已进入使用阶段。应用实践证实，生物活性炭的吸附容量与单纯活性炭容量对比，前者比后者提高 2～30 倍，说明生物活性炭具有微生物和活性炭的叠加和协同作用。该工艺对城市污水的深度处理完全适用，对难生物降解而可吸附性好的污染物有很好的去除效果。

总之，随着研究与应用的不断深入，废水生物处理的方法、设备和流程不断发展与革新，与传统法相比，在适用的污染物种类、浓度、负荷、规模以及处理效果、费用和稳定性等方面都大大改善了。酶制剂及纯种微生物的应用，酶和细胞的固定化技术等又会将现有的生化处理水平提高到一个新的高度。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第四章　化工废气污染控制

第一节　化工废气的来源、分类及特点

化学工业是对多种资源进行化学处理和转化加工的生产部门，在国民经济中占重要地位。建国以来，化学工业得到迅速发展，该工业已建成包括20多个行业的基本完整的化工生产体系，其中氮肥、磷肥、无机盐、氯碱、有机原料及合成材料、农药、染料、涂料、炼焦等行业的废气排放量大，组成复杂，对大气环境造成较严重的污染。

一、化工废气的来源

各种化工产品在每个生产环节都会产生并排出废气，造成对环境的污染。其来源有以下几个方面。

① 化学反应中产生的副反应和反应进行不完全所产生的废气。在化工生产过程中，随着反应条件和原料纯度的不同，有一个转化率的问题。原料不可能全部转化为成品或半成品，这样就形成了废料。一般情况下，在进行主反应的同时，经常还伴随着一些不希望产生的副反应，副反应的产物有的可以回收利用，有的则因数量不大、成分复杂，无回收价值，因而作为废料排出。

② 产品加工和使用过程中产生的废气以及搬运、破碎、筛分及包装过程中产生的粉尘等。

③ 生产技术路线及设备陈旧落后，造成反应不完全，生产过程不稳定，从而产生不合格的产品或造成物料的“跑、冒、滴、漏”。

④ 开、停车或因操作失误，指挥不当，管理不善造成废气的排放。

⑤ 化工生产中排放的某些气体，在光或雨的作用下发生化学反应，也能产生有害气体。

二、化工废气的分类

据1990年统计，我国化工废气总量约为4919亿 m^3/a，其中工艺废气总量为2340亿 m^3/a。化工废气，按所含的污染物性质可分为三大类：第一类为含有无机污染物的化工废气，这类废气主要来自氮肥、磷肥（含硫酸）、无机盐等行业；第二类为含有有机污染的废气，主要来自有机原料及合成材料、农药、染料、涂料等行业；第三类为既含无机污染物又含有机污染物的废气，主要来自氯碱、炼焦等行业。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

三、化工废气的特点

1. 种类繁多

由于化学工业行业比较多，加上每个行业所用的化工原料千差万别，即使同一产品所用的工艺路线、同一工艺的不同时间都有差异，生产过程化学反应繁杂。因此，造成化工废气种类繁多。

2. 组成复杂

化工废气中常含有多种复杂的有毒成分。例如，农药、染料、氯碱等行业废气中，既含有多种无机化合物，又含有多种有机化合物。此外，从原料到产品，由于经过许多复杂的化学反应，产生多种副产物，致使某些废气的组成变得更加复杂。

3. 污染物浓度高

不少化工企业由于缺乏改造的资金和技术，同时加上管理不善、操作工人素质不高、工艺设备陈旧等因素，导致产品陈旧，原材料流失严重，废气中污染物浓度高。如国内常压吸收法硝酸生产，尾气中 NO_x 浓度高达 $3000cm^3/m^3$ 以上，而采用先进的高压吸收法，尾气中 NO_x 浓度仅为 $200cm^3/m^3$。涂料工业中油性涂料仍占很大比重，生产中排放大量含有机物废气。此外，由于受生产原料的限制，如硫酸生产主要采用硫铁矿为原料，个别的甚至使用含砷、氟量较多的矿石，使我国化工生产中废气排放量大，污染物浓度高。

4. 污染面广，危害性大

我国有 6000 多个化工企业，中、小型企业约占 90%，目前小化工遍地开花，特别是遍布全国各地的乡镇、私营小化工。这些中小企业大多工艺落后，设备陈旧，技术力量薄弱，防治污染所需要的技术、设备和资金难以解决。特别是近几年，由于化工产品供不应求，各地盲目地建设了一大批乡镇企业，进一步扩大了污染面。乡镇企业生产吨产品的原料、能源消耗都很高，排放的污染物大大超过大中型化工企业的排放量，而得到治理的很少。而且化工废气常含有致癌、致畸、致突变、恶臭、强腐蚀性及易燃、易爆性的组分，对生产装置、人身安全与健康、及周围环境造成严重危害。

化工废气常含有致癌、致畸、致突变、恶臭、强腐蚀性及易燃、易爆性的组分，对生产装置、人身安全与健康、及周围环境造成严重危害。

各化工行业废气来源及主要污染物如表 4-1 所示。

四、主要大气污染物

目前对环境和人类产生危害的大气污染物约有 100 种左右。其中影响范围广、具有普遍性的污染物有颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、碳氧化物、碳氢化合物等。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 4-1 化学工业主要行业废气来源及主要污染物排放

行 业	主 要 来 源	废气中主要污染物
氮肥	合成氨、尿素、碳酸氢铵、硝酸铵、硝酸	NO_x、尿酸粉尘、CO、Ar、NH_3、SO_2、CH_4、尘
磷肥	磷矿石加工、普通过磷酸钙、钙镁磷肥、重过磷酸钙、磷酸铵类氮磷复合肥、磷酸、硫酸	氟化物、粉尘、SO_2、酸雾、NH_3
无机盐	铬盐、二硫化碳、钡盐、过氧化氢、黄磷	SO_2、P_2O_5、Cl_2、HCl、H_2S、CO、CS_2、As、F、S、氯化铬酰、重芳烃
氯碱	烧碱、氯气、氯产品	Cl_2、HCl、氯乙烯、汞、乙炔
有机原料及合成材料	烯类、苯类、含氧化合物、含氮化合物、卤化物、含硫化合物、芳香烃衍生物、合成树脂	SO_2、Cl_2、HCl、H_2S、NH_3、NO_x、CO、有机气体、烟尘、烃类化合物
农药	有机磷类、氨基甲酸酯类、菊酯类、有机氯类等	HCl、Cl_2、氯乙烷、氯甲烷、有机气体、H_2S、光气、硫醇、三甲醇、二硫酯、氨、硫代磷酸酯农药
染料	染料中间体、原染料、商品染料	H_2S、SO_2、NO_x、Cl_2、HCl、有机气体、苯、苯类、醇类、醛类、烷烃、硫酸雾、SO_3
涂料	涂料：树脂漆、油脂漆；无机颜料：钛白粉、立德粉、铬黄、氧化锌、氧化铁、红丹、黄丹、金属粉、华蓝	芳烃
炼焦	炼焦、煤气净化及化学产品加工	CO、SO_2、NO_x、H_2S、芳烃、尘、苯并[a]芘、CO_2

1. 颗粒物

颗粒物是指除气体之外的包含于大气中的物质，包括各种各样的固体、液体和气溶胶。其中有固体的灰尘、烟尘、烟雾，以及液体的云雾和雾滴，其粒径范围主要在 200～0.1μm 之间。按粒径的差异，可以分为降尘和飘尘两种。

(1) 降尘 指粒径大于 10μm，在重力作用下可以降落的颗粒状物质。其多产生于固体破碎、燃烧残余物的结块及研磨粉碎的细碎物质。自然界刮风及沙暴也可以产生降尘。

(2) 飘尘 指粒径小于 10μm 的煤烟、烟气和雾在内的颗粒状物质。由于这些物质粒径小、质量轻，在大气中呈悬浮状态，且分布极为广泛。飘尘可以通过呼吸道被人吸入体内，对人体造成危害。

据联合国环境规划署统计，20 世纪 80 年代全世界每年大约有 23 亿 t 颗粒物排入大气，其中 20 亿 t 是自然排放的，3 亿 t 是人为排放的。因此，颗粒物主要来自自然污染源，如海水蒸发的盐分、土壤侵蚀吹扬、火山爆发等。人为排放的，主要产生于燃料的燃烧过程。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

颗粒物自污染源排出后，常因空气动力条件的不同、气象条件的差异而发生不同程度的迁移。降尘受重力作用可以很快降落到地面，而飘尘则可在大气中保存很久。颗粒物还可以作为水汽等的凝结核，参与形成降水过程。

2. 硫化物

硫常以二氧化硫和硫化氢的形态进入大气，也有一部分以亚硫酸及硫酸（盐）微粒形式进入大气。大气中的硫约 2/3 来自天然源，其中以细菌活动产生的硫化氢最为重要。人为源产生的硫排放的主要形式是 SO_2，主要来自含硫煤和石油的燃烧、石油炼制以及有色金属冶炼和硫酸制造等。在 20 世纪 80 年代，每年约有 1.5 亿 t SO_2 被人为排入大气中，其中 2/3 来自煤的燃烧，而电厂的排放量约占所有 SO_2 排放量的一半。

SO_2 是一种无色、具有刺激性气味的不可燃气体，是一种分布广、危害大的主要大气污染物。SO_2 和飘尘具有协同效应，两者结合起来对人体危害更大。SO_2 在大气中极不稳定，最多只能存在 1～2 天。在相对湿度比较大，以及有催化剂存在时，可发生催化氧化反应，生成 SO_3，进而生成 H_2SO_4 或硫酸盐，所以，SO_2 是形成酸雨的主要因素。硫酸盐在大气中可存留 1 周以上，能飘移至 1000km 以外，造成远离污染源以外的区域性污染。SO_2 也可以在太阳紫外光的照射下，发生光化学反应，生成 SO_3 和硫酸雾，从而降低大气的能见度。

由天然源排入大气的硫化氢，会被氧化为 SO_2，这是大气中 SO_2 的另一主要来源。

3. 碳氧化物

碳氧化物主要有两种物质，即 CO 和 CO_2。CO 主要是由含碳物质不完全燃烧产生的，而天然源较少。1970 年全世界排入大气中的 CO 约为 3.59 亿 t，而由汽车等交通车辆产生的 CO 占总排放量的 70%。

CO 是无色、无臭的有毒气体，其化学性质稳定，在大气中不易与其他物质发生化学反应，可以在大气中停留较长时间。CO 在一定条件下，可以转变为 CO_2，然而其转变速率很低。人为排放大量的 CO，对植物等会造成危害；高浓度的 CO 可以被血液中的血红蛋白吸收，面对人体造成致命伤害。

CO_2 是大气中一种“正常”成分，参与地球上的碳平衡，它主要来源于生物的呼吸作用和化石燃料等的燃烧。然而，由于化石燃料的大量使用，使大气中的 CO_2 浓度逐渐增高，这将对整个地-气系统中的长波辐射收支平衡产生影响，并可能导致温室效应。

4. 氮氧化物

氮氧化物（NO_x）种类很多，主要是一氧化氮（NO）和二氧化氮

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(NO_2)，其他还有一氧化二氮（N_2O）、三氧化二氮（N_2O_3）、四氧化二氮（N_2O_4）和五氧化二氮（N_2O_5）等多种化合物。

天然排放的 NO_x，主要来自土壤和海洋中有机物的分解，属于自然界的氮循环过程。人为活动排放的 NO_x 大部分来自化石燃料的燃烧过程，如汽车、飞机、内燃机及工业窑炉的燃烧过程；也来自生产、使用硝酸的过程，如氮肥厂、有机中间体厂、有色及黑色金属冶炼厂等。据 20 世纪 80 年代初估计，全世界每年由于人类活动向大气排放的 NO_x 约 5300 万 t。NO_x 对环境的损害作用极大，它既是形成酸雨的主要物质之一，也是形成大气中光化学烟雾的重要物质和消耗臭氧的一个重要因子。

在高温燃烧条件下，NO_x 主要以 NO 的形式存在，最初排放的 NO_x 中 NO 约占 95%。但是，NO 在大气中极易与空气中的氧发生反应，生成 NO_2，故大气中 NO_x 普遍以 NO_2 的形式存在。空气中的 NO 和 NO_2 通过光化学反应，相互转化而达到平衡。在温度较大或有云雾存在时，NO_2 进一步与水分子作用形成酸雨中的第二重要酸分——硝酸。在有催化剂存在时，如遇上合适的气象条件，NO_2 转变成硝酸的速度加快。特别是当 NO_2 与 SO_2 同时存在时，可以相互催化，形成硝酸的速度更快。

此外，NO_x 还可以因飞行器在平流层中排放废气，逐渐积累，而使其浓度增大。NO_x 再与平流层内的臭氧发生反应生成 NO_2 与 O_2，NO_2 与 O 进一步反应生成 NO 和 O_2，从而打破臭氧平衡，使臭氧浓度降低，导致臭氧层的耗损。

5. 碳氢化合物

碳氢化合物包括烷烃、烯烃和芳烃等复杂多样的物质组成。大气中大部分的碳氢化合物来源于植物的分解，人类排放的量虽然小，却非常重要。

碳氢化合物的人为来源主要是石油燃料的不充分燃烧和石油类的蒸发过程。在石油炼制、石油化工生产中也产生多种碳氢化合物。燃油的机动车亦是主要的碳氢化合物污染源，交通线上的碳氢化合物浓度与交通密度密切相关。

碳氢化合物是形成光化学烟雾的主要成分。在活泼的氧化物如原子氧、臭氧、氢氧基等自由基的作用下，碳氢化合物将发生一系列链式反应，生成一系列的化合物，如醛、酮、烷、烯以及重要的中间产物—自由基。自由基进一步促进 NO 向 NO_2 转化，造成光化学烟雾的重要二次污染物—臭氧、醛、过氧乙酰硝酸酯（PAN）。

碳氢化合物中的多环芳烃化合物，如 3,4-苯并芘，具有明显的致癌作用，已引起人们的密切关注。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

五、废气中主要污染物的影响

大气中的污染物对环境和人体都会产生很大的影响，历史上曾发生过著名的大气污染事件，八大公害中事件中有五大公害属于大气污染事件，如日本的四日市哮喘病事件，英国的伦敦烟雾事件，美国洛杉矶光化学烟雾事件等。大气污染不仅影响到其周围环境，而且对全球环境也带来影响，如温室气体效应、酸雨、南极臭氧空洞等，其结果对全球的气候、生态、农业、森林产生一系列的影响。

大气污染物可以通过各种途径降到水体、土壤和作物中影响环境，并通过呼吸、皮肤接触、食物、饮用水等进入人体，引起对人体健康和生态环境造成直接的近期或远期的危害。大气污染对人体及对环境的影响途径大致如图 4-1 所示。常见而危害较大的十三类有害物质列于表 4-2。

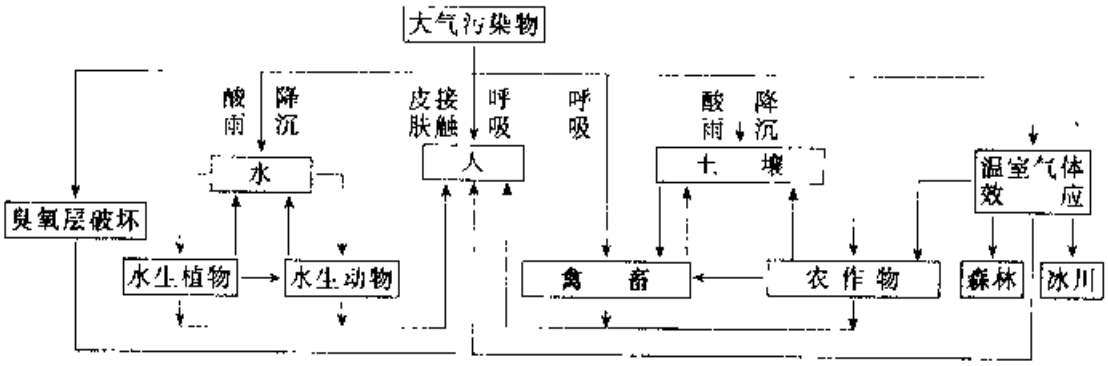


图 4-1 大气污染对人体及环境影响的途径

表 4-2 大气中十三类有害物质对人体的影响

名称	化学式	来源	对人体的影响
二氧化硫	SO_2	电站、冶金、化工	对眼、鼻、喉及肺有强烈的刺激性
二硫化碳	CS_2	轻工	头痛，眩晕，刺激黏膜、皮肤，全身无力，消化紊乱
硫化氢	H_2S	化工、轻工	刺激眼和呼吸器官
氟化物	HF、SiF_4	化工、冶金	与体内钙反应，引起骨骼病变
氮氧化物	NO_x	化工	刺激呼吸器官，引起咳嗽、头痛、头晕、心悸
氯气	Cl_2	化工、冶金	刺激眼、鼻、咽喉，可损伤肺部
氯化氢	HCl	化工、冶金	剧烈咳嗽，呼吸困难，呼吸窄缩
一氧化碳	CO	化工、冶金	脉慢、头痛、呕吐、呼吸困难
硫酸雾	H_2SO_4	化工	刺激并腐蚀黏膜，引起上呼吸道及肺部损害
铅	Pb	冶金	乏力、苍白、头痛，食欲不振
汞	Hg	轻工	神经疾患，如焦躁不安、恐惧感、忧郁等
铍化物	Be	冶金	无力、气短、咳嗽、体重减轻、呼吸困难
烟尘及粉尘		电站、冶金、建材	呼吸道病症、尘肺等

六、大气污染物的治理技术

各种生产过程中产生的空气污染物，按其存在状态可分为两大类：其一

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

是气溶胶态污染物，如粉尘、烟尘、雾滴和尘雾等颗粒状污染物，其二是气态污染物，如 SO_2、NO_x、CO、NH_3、H_2S、有机废气等主要以分子状态存在于废气中。前者可利用其质量较大的特点，通过外力的作用，将其分离出来，通常称为除尘；后者则要利用污染物的物理性质和化学性质，通过采用冷凝、吸收、吸附、燃烧、催化等方法进行处理。以下各节拟就除尘技术和气体污染物的一般治理方法进行介绍。

第二节　除 尘 技 术

一、粉尘的特性

随着工业的不断发展，人类的各种活动越来越占主导地位，以致在气溶胶粒子的来源中人为来源所占的比例逐渐增加。据估计到 2000 年为止，人为活动所造成的气溶胶粒子的排放量将达到 1968 年人为排放量的两倍，这必然引起人们的十分重视。

化学工业所排放出废气中的粉尘污染物，主要是含有硅、铝、铁、镍、钒、钙等氧化物及粒度在 $10^3\mu m$ 以下的浮游物质。这些物质都会污染周围的环境，为此，控制所排放出废气中的粉尘污染物的数量，是大气环境保护的重要内容。

粉尘中的物理性质，对于确定采用的除尘方法有重要影响。粉尘的物理性质，对于确定采用的何种除尘方法有重要影响。粉尘性质中最重要的是粉尘颗粒尺寸和密度，此外还有比电阻率、附着性、粒子形状、亲水性、腐蚀性、毒性和爆炸性等。

1. 粒子大小

粉尘经常是由大小不同的粒子所组成，为了表示出其中各种粒径粒子的多少，通常以各种粒径的粒子在全部粒子中的分级分率来说明，即用分级分布曲线和积分分布曲线表示（见图 4-2）。

分级分布曲线是表示每种粒径的粒子占全部粒子总数的分率 f 与其粒子的粒径 x 之间的关系，即 f 曲线。

另外，粒子的组成情况也可以用积分分布曲线的形式表示，他反映大子某粒径的尘粒占全部尘粒的分率 R 与此粒径 x 之间的关系，即 R 曲线。

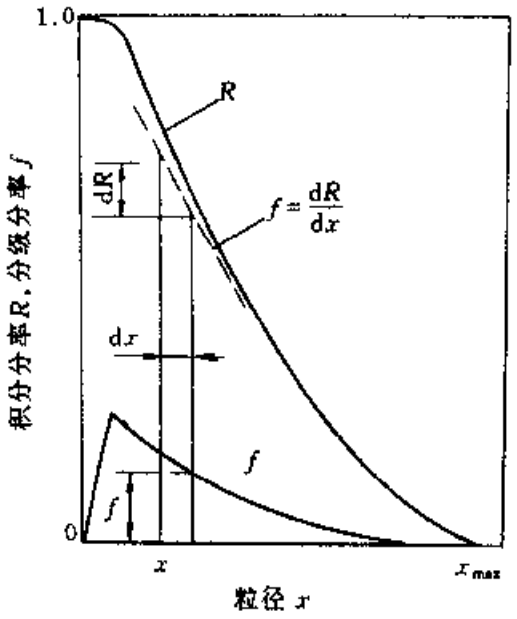


图 4-2　分级分布曲线和积分分布曲线

两者之间的关系，从他们的定义可以推出：

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$f=\frac{-\mathrm{d}R}{\mathrm{d}x}$$

$$R=\int_{x_0}^{x_\infty}(fx)\cdot\mathrm{d}x$$

通常，分级分布曲线又称为频率分布曲线，将分级分布曲线也可以标绘为某一粒度范围的尘粒质量分率与其平均直径的关系；积分分布曲线又可称为累积分布曲线，将积分分布曲线也可以标绘为等于及大于某一直径的颗粒质量之和占全体总尘粒的质量分率与尘粒直径的关系。

2. 尘粒的密度

尘粒的密度对于重力除尘及离心除尘等装置的性能，有很大影响。由于粉尘往往是许多粒子的集合体，粒子之间有间隙存在，因此，粉尘的视比重比粒子的真比重要小得多，粉尘间隙的体积占总体积的分率，称为空隙率。空隙率大则视比重小，视比重与真比重相差越大，粉尘也越容易飞扬。

3. 尘粒的电阻率

尘粒的电阻率对于电除尘和过滤除尘装置的去除效率有很大影响。一般，工业尘粒的电阻率介于 $10^{-3}\Omega\cdot\mathrm{cm}$（炭黑）和 $10^{14}\Omega\cdot\mathrm{cm}$（干石灰石粉）之间。其中电阻率在 $10^4\sim2\times10^{10}\Omega\cdot\mathrm{cm}$ 的范围内，最适宜采用电除尘装置。电阻率太高或太低均不适宜采用电除尘方法，但可预先对尘粒进行适当预处理，改变其电阻率，使其保持在上述特定的范围内。改变尘粒的电阻率可以采用以下几种方法。

① 改变温度：大多数的电阻是随温度升高而增大，直到一最大值。

② 加入水分：尘粒吸附水分后可使表面导电率增加，引起电阻率降低。

③ 添加化学药品：向含尘气体中添加化学药品可以调节尘粒电阻，例如，对于燃烧重油产生的粉尘由于其电阻率比较低，向其中加入适量的氨，便可以提高电阻值。

二、除尘效率及压力损失

除尘装置的主要性能是用除尘效率和压力损失来表示。

1. 总除尘效率的计算

（1）根据除尘器进口、出口管道内烟气的流量和烟尘浓度计算　除尘效率的定义，可以根据气体进、出除尘器时的含尘流量来确定。已知气体进除尘装置时的含尘流量为 $s_1\mathrm{g/s}$，含尘浓度为 $c_1\mathrm{g/m^3}$（标）；除尘器出口气体的含尘流量为 $s_2\mathrm{g/s}$，气体含尘浓度为 $c_2\mathrm{g/m^3}$（标）。则通过除尘器所去除的尘量为 $(s_1-s_2)\mathrm{g/s}$。除尘器除尘总效率 η 可由下式定义：

$$\eta=\frac{s_1-s_2}{s_1}\times100\%=\left(1-\frac{s_2}{s_1}\right)\times100\%$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

如果除尘器的进气量为 $Q_1 m^3$（标）/s，出气量为 $Q_2 m^3$（标）/s，则除尘总效率 η 也可由下式表示：

当 $Q_1 = Q_2$ 时

$$\eta = \left(1 - \frac{c_2 Q_2}{c_1 Q_1}\right) \times 100\%$$

（2）根据除尘器进口或出口管道内烟气流量、烟尘浓度和除尘器灰斗收集的尘量计算：

$$\eta = \left(1 - \frac{c_2}{c_1}\right) \times 100\%$$

根据除尘器进口或出口管道内烟气流量、烟尘浓度和除尘器灰斗收集的尘量也可以计算总除尘效率：

$$\eta = \frac{M_c}{M_c + \frac{c_2 Q_2}{1000000}} \times 100\%$$

式中 M_c——除尘器灰斗收集的尘量，kg/h。

（3）两级除尘时总效率计算 采用二级除尘时，其总效率可按下式计算：

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2$$

式中 η_1——第一级除尘器的除尘效率，%；

η_2——第二级除尘器的除尘效率，%。

2. 分级除尘效率的计算

如果对气体中所含有的各种不同大小的尘粒，分别考虑各自的除尘效率时，即为分级效率，用 η_i 表示，i 代表粒径的大小，不同粒径的尘粒，分级效率也不同。一般，粒径越大，则去除也越容易，分级效率就高；而粒径越小，捕集越困难，分级除尘效率也越低。

（1）根据除尘器的进口烟尘和除尘器收尘中某一粒级的频率密度来计算：

$$\Delta\eta_i = \frac{f_c}{f_i}\eta$$

式中 $\Delta\eta_i$——某一级尘的粒级除尘效率，%；

f_c，f_i——除尘器灰斗收入尘和进口尘某一级的频率密度，%；

η——总除尘效率，%。

（2）根据除尘器的进、出口烟尘某一粒级的频率密度来计算：

$$\Delta\eta_i = 1 - \frac{f_0}{f_i}(1 - \eta)$$

式中 f_0——除尘器出口尘的某一级的频率密度，%。

（3）分级效率的表示方法：

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$\Delta\eta_i = 1 - e^{-ad^m}$$

式中 $\Delta\eta_i$——分级效率，%；

d——粒径，μm；

a，m——常数。

湿式除尘器的分级除尘效率 η_i 与粒径 i 之间的关系，见图 4-3。

根据实验可知，湿式除尘器的分级效率 η_x 与粒径 x 之间有如下关系。

$$\eta_x = 100(1 - e^{-2.04x^{0.67}})$$

对于不同形式的除尘装置，其分级除尘效率 η_x 与粉尘粒径 x 之间关系也不同（见图 4-4）。

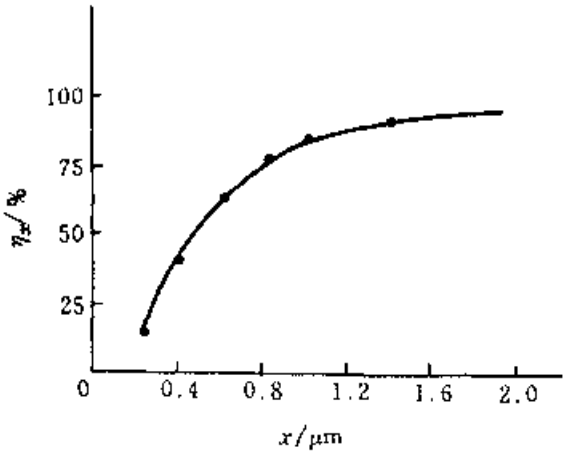


图 4-3 湿式除尘装置的分级除尘效率与尘粒直径的关系

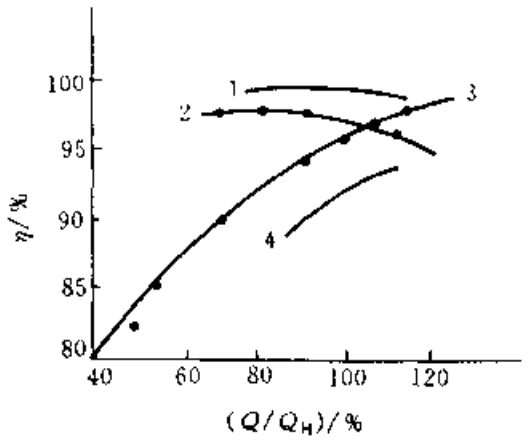


图 4-4 处理气体量偏离标准气量时除尘效率的变化

1—袋式过滤器；2—电除尘器；3—旋风式分离器；4—文丘里洗涤器

3. 除尘效率与处理烟气量的关系

此外，每一种形式的除尘装置，都有一个标准的处理气体量 Q_H，若高于或低于此值，对除尘效率也会带来影响。有的除尘装置的除尘效率 η 随着实际处理气体量 Q 的增加而提高，如旋风分离器和文丘里洗涤器等。还有的除尘装置，除尘效率 η 则实际处理气量 Q 的增加而趋于减少，如电除尘器，袋式过滤器等。除尘效率与处理气体量 Q/Q_H 之间的关系表示在图 4-4。

另外，气体的含尘浓度 c_1 对于除尘效率 η 也有影响。电除尘器的除尘效率，在一定范围内随含尘浓度的增加而下降，但达到一定的含尘浓度后，电除尘的效率反而上升；旋风式除尘器则恰恰相反，旋风式除尘器的除尘效率则是在一定的范围内，随含尘浓度的增加而上升，但当达到一定浓度后，旋风式除尘器的效率则要下降，如图 4-5 所示。

各种形式的除尘器都具有各自的特点，为了发挥不同类型除尘装置的优

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

点，实际上常常把低效除尘装置（如机械除尘装置）放在前面，将高效除尘装置（如电除尘器）放在后面，组合起来使用。这样，低效除尘装置先将大部分粗大尘粒除去，以便为后面的高效除尘装置更好发挥作用。

将不同的除尘装置串联使用时，总除尘效率可用下式进行计算：（以两级为例）

$$\eta_{总} = \eta_1 + \eta_2(100 - \eta_1)$$

式中 $\eta_{总}$——总除尘效率；

η_1——第一级装置的除尘效率；

η_2——从第一级装置排出的粉尘，在第二级装置内的除尘效率。

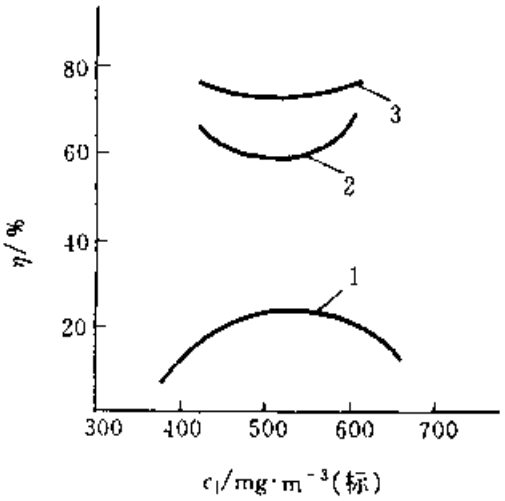


图 4-5 气体含尘浓度与除尘效率的关系

1—小型旋风式分离器；2—电除尘器；3—旋风式分离器与电除尘器一级总除尘效率

如将几台同类型的除尘装置串联使用，则总除尘效率用下式进行计算：

$$\eta_{总} = 1 - (1 - \eta_i)^n$$

式中 η_i——每个除尘装置的除尘效率；

n——除尘装置的个数。

4. 压力损失

除尘器压力损失是指除尘器气体进出口压强差，其单位通常用 Pa（帕）表示。一般为几百至几千帕。这个值越小，则动力消耗就越小，使动力消耗就越小，使操作费用降低。

压力损失是由于气体本身有粘滞性及器壁和器壁的粗糙度产生的阻力损失，以及由于气体在除尘器内流动时，流动速度大小和方向发生变化，产生涡流等，由于这些因素作用需消耗能量，从而表示出压力损失。

目前，对各种形式除尘器的压力损失计算多是经验和半经验式来确定，由测定出的压力损失及处理气体的流量，可以对输送机械需要的耗电量进行概算，一般可以应用下式来计算：

$$W = 2.73 \times 10^{-5} \cdot Q \cdot \Delta p$$

式中 W——耗电量，kW·h；

Q——气体流量，m^3/h；

Δp——压力损失，Pa。

三、各种尘粒爆炸浓度的下限

某些尘粒在气体中达到一定浓度就可能引起爆炸，各种尘粒爆炸的最低

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

浓度即爆炸浓度下限，见表 4-3 所示。

表 4-3 各种尘粒爆炸浓度的下限/(g/m^3)

序号	名称	爆炸下限	序号	名称	爆炸下限
1	铝粉末	58.0	16	硫的磨碎粉末	10.1
2	煤末	114.0	17	页岩粉	58.0
3	沥青	15.0	18	泥炭粉	10.1
4	虫胶	15.0	19	六次甲基四胺	15.0
5	二苯基	12.6	20	棉花	25.2
6	木屑	65.0	21	1 级硬橡胶尘末	7.6
7	工业用酪素	32.8	22	电子尘	30.0
8	樟脑	10.1	23	面粉	30.2
9	松香	5.0	24	胶木灰	7.6
10	染料	270.0	25	亚麻皮屑	16.7
11	木质	30.2	26	奶粉	7.6
12	柴	2.5	27	茶叶粉末	32.8
13	酪素赛璐珞粉末	8.0	28	烟草粉末	68.0
14	硫磺	2.3	29	葱	5.0
15	硫矿粉	13.9	30	甜菜糖	8.9

四、除尘装置

(一) 除尘设备的分类

根据各种除尘装置作用原理的不同，可以将除尘装置大致分为四大类：即机械式除尘器、湿式（洗涤式）除尘器、电除尘器和过滤式除尘器四类。此外，声波除尘器亦是依靠机械原理进行除尘，但是，由于它还利用了声波的作用使粉尘凝集，故有时将声波除尘器另分为一类。

机械式除尘器，通常又分为三类，即：

机械除尘器
- 重力除尘器——沉降室
- 惯性力除尘器——挡板式除尘器
- 离心力除尘器——旋风式分离器

(二) 除尘器的除尘机理及使用范围

目前常用的除尘机理及其用范围，表示在表 4-4 中。

(三) 除尘装置的选择和组合

作为除尘器的性能指标，通常有下列六项：即

(1) 除尘器的除尘效率；

(2) 除尘器的处理气体量；

(3) 除尘器的压力损失；

(4) 设备基建投资与运转管理费用；

(5) 使用寿命；

(6) 占地面积或占用空间体积。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 4-4 常用除尘器的除尘机理及使用范围

除尘装置	除尘机理								适用范围
	沉降作用	离心作用	静电作用	过滤	碰撞	声波吸引	折流	凝集	
沉降室	○								烟气除剂、磷酸盐、石膏、氧化铝、石油精制催化剂回收
挡板式除尘器					○		△	△	
旋风式除尘器		○			△			△	
湿式除尘器		△			○		△	△	硫铁矿焙烧、硫酸、磷酸、硝酸生产等
电除尘器			○						除酸雾、石油裂化催化剂回收、氧化铝加工等
过滤式除尘器				○	△		△	△	喷雾干燥、炭黑生产、二氧化钛加工等
声波式除尘器					△	○	△	△	尚未普及应用

注："○"指主要机理；"△"指次要机理。

以上六项性能指标中，前三项属于技术性能指标，后三项属于经济指标。这些项目是互相关联，相互制约的。其中压力损失与除尘效率是一对主要矛盾，前者代表除尘器所消耗的能量，后者是表示除尘器所给出的效果，从除尘器的除尘技术角度来看，总是希望所消耗的能量最少，而达到最高的除尘效率。然而要使上面六项指标都能面面俱到，实际上是不可能的。所以在选用除尘器时，要根据气体污染源的具体要求，通过分析比较来确定除尘方案和选定除尘装置。

表 4-5 各种主要除尘设备优缺点比较

除尘器	原理	适用粒径/μm	除尘效率 η/%	优点	缺点
沉降室	重力	100～50	40～60	1. 造价低； 2. 结构简单； 3. 压力损失小； 4. 磨损小； 5. 维修容易； 6. 节省运转费	1. 不能除小颗粒粉尘； 2. 效率较低
挡板式（百叶窗）除尘器	惯性力	100～10	50～70	1. 造价低； 2. 结构简单； 3. 处理高温气体 4. 几乎不用运转费	1. 不能除小颗粒粉尘； 2. 效率较低
旋风式分离器	离心式	5 以下	50～80	1. 设备较便宜； 2. 占地小； 3. 处理高温气体； 4. 效率较高； 5. 适用于高浓度烟气	1. 压力损失大； 2. 不适于湿、粘气体； 3. 不适于腐蚀性气体
		3 以下	10～40		
湿式除尘器	湿式	1 左右	80～99	1. 除尘效率高； 2. 设备便宜； 3. 不受温、湿度影响	1. 压力损失大，运转费用高； 2. 用水量大，有污水需处理； 3. 容易堵塞

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

续表

除尘器	原理	适用粒径/μm	除尘效率η/%	优　点	缺　点
过滤除尘器(袋式除尘器)	过滤	20~0.1	90~99	1. 效率高； 2. 使用方便； 3. 低浓度气体适用	1. 容易堵塞，滤布需替换； 2. 操作费用高
电除尘器	静电	20~0.05	80~99	1. 效率高； 2. 处理高温气体； 3. 压力损失小； 4. 低浓度气体适用	1. 设备费用高； 2. 粉尘粘附在电极上时，对除尘有影响，效率降低； 3. 需要维修费用

先将各种主要除尘设备的优缺点和常用除尘装置的性能情况分别列于表4-5及表4-6中，其分级效率见图4-6所示。便于比较和选择。

表 4-6　常用除尘装置的性能一览表

除尘装置名称	捕集粒子的能力/%			压力损失/Pa	设备费	运行费	装置的类别
	50μm	5μm	1μm				
重力除尘器	—	—	—	100~150	低	低	机械
惯性力除尘器	95	16	3	300~700	低	低	机械
旋风除尘器	96	73	27	500~1500	中	中	机械
文丘里除尘器	100	>99	98	3000~10000	中	高	湿式
静电除尘器	>99	98	92	100~200	高	低-中	静电
袋式除尘器	100	>99	99	1000~2000	较高	较高	过滤
声波除尘器	—	—	—	600~1000	较高	中	声波

根据含尘气体的特性，可以从以下几方面考虑除尘装置的选择和组合。

(1) 若尘粒粒径较小，几微米以下粒径占多数时，应选用湿式、过滤式或电除尘式等方式；若粒径较大，以10μm以上粒径占多数是，可用机械除尘器。

(2) 若气体含尘浓度较高时，可用机械除尘；若含尘浓度低时，可采用文丘里洗涤器（因为其喉管的摩擦损耗不能太大，所以只适用进口含尘浓度小于10g/m³（标）的气体除尘，过滤式除尘器也是适用低浓度含尘气体的处理）；若气体的进口含尘浓度较高，而又要求气体出口的含尘浓度低时，则可采用多级除尘器串联的组合方式除尘，先用机械式除去较大的尘粒，再用电除尘或过滤式除尘器等，去除较小粒径的尘粒。

(3) 对于粘附性强的尘粒，最好采用湿式除尘器，不宜采用过滤式除尘器（因为易造成滤布堵塞），同时也不宜采用静电除尘器（因为尘粒粘附在电极表面上将使电除尘器的效率降低）。

(4) 如采用电除尘器，尘粒的电阻率应在$10^4 \sim 10^{11}\Omega \cdot cm$范围内，一般可以预先通过湿度、湿度调节或添用化学药品的方法，满足此一要求。如果

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

不能达到这一范围要求时，则不宜采用电除尘器进行气体的除尘处理。另外，电除尘器只适用在 500℃ 以下的情况。

（5）气体的温度增高，粘性将增大，流动时的压力损失增加，除尘效率也会下降。但温度太低，低于露点温度时，即使是采用过滤除尘器，也会有水分凝出，使尘粒易粘附于滤布上造成堵塞，故一般，应在比露点温度高 20℃ 的条件下，进行除尘。

（6）气体的成分中，如含有易爆、易燃的气体时，如 CO 等，应将 CO 氧化为 CO_2 再进行除尘。

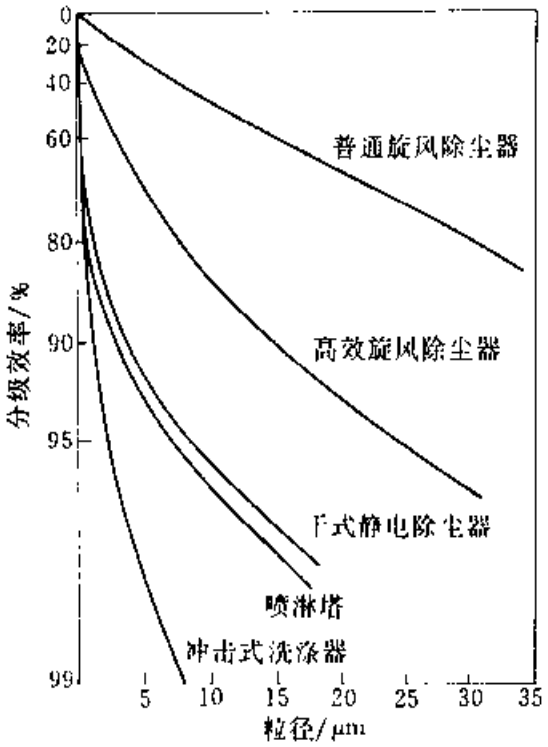


图 4-6　各种除尘器的性能（分级效率）

除尘技术的方法和设备种类很多，各具有不同的性能和特点，在治理颗粒污染物时要选择一种合适的除尘方法和设备，除需要考虑当地大气环境质量，尘的环境容许标准、排放标准、设备的除尘效率及有关经济技术指标

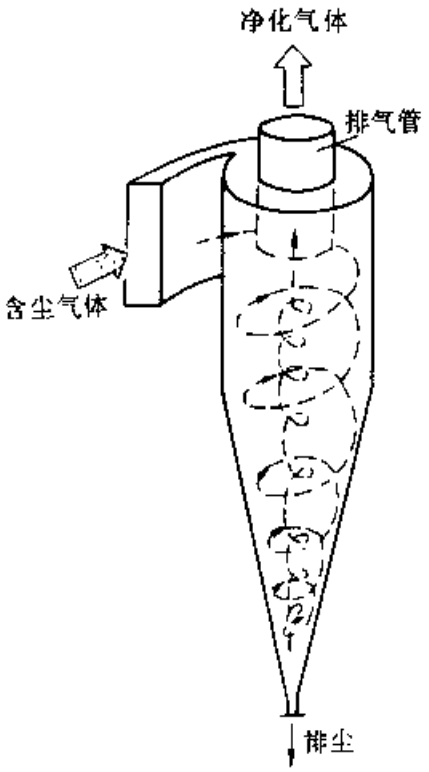


图 4-7　旋风除尘器除尘示意图

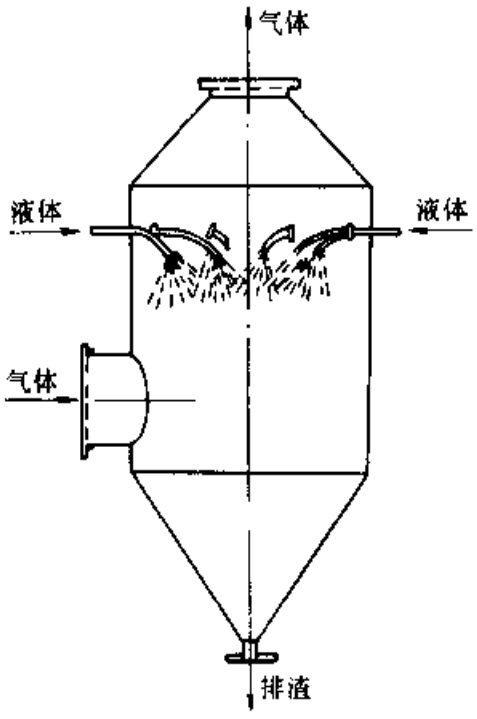


图 4-8　空心重力喷淋塔除尘器

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

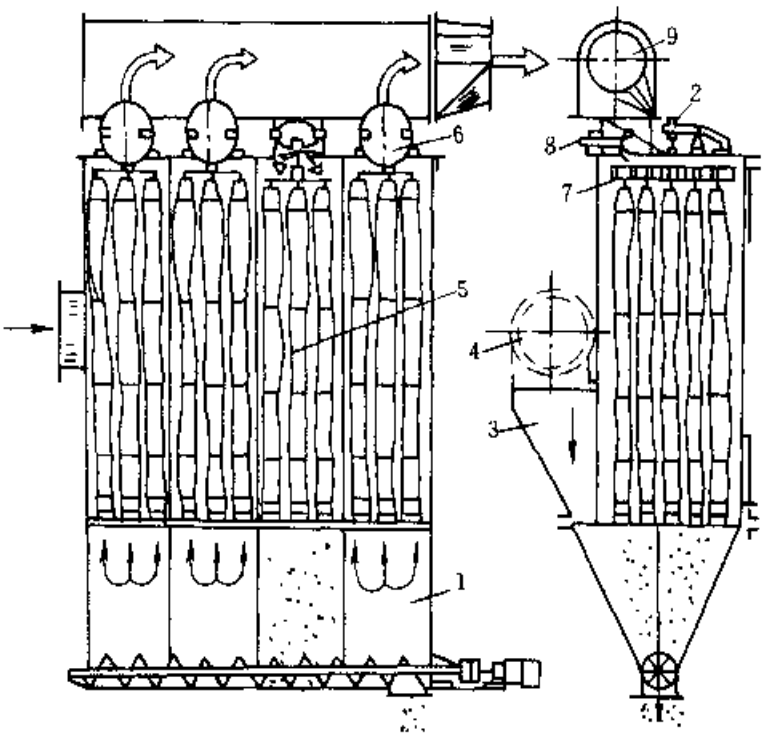


图 4-9　带有振动及反吹清灰装置的多室袋式除尘器

1—灰斗；2—机械振打部分；3—进气分布管道；4—进气管；5—滤袋；6—主风道阀门；7—支承吊架；8—反吹风阀门；9—排气管道

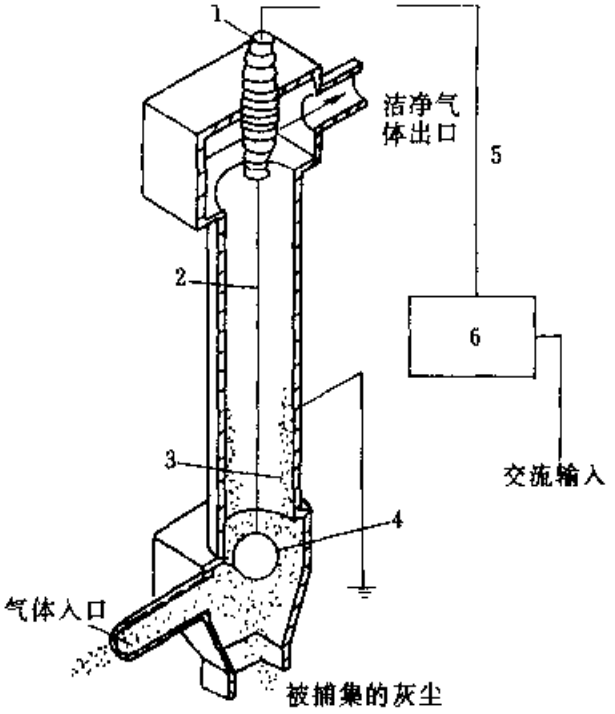


图 4-10　管式电除尘器示意图

1—绝缘子；2—放电极；3—收尘极；4—重锤；5—高压电缆；6—高压电源

外，还必须了解尘的特性，如它的粒径、粒度分布、形状、密度、比电阻、亲水性、粘性、可燃性、凝集特性以及含尘气体的化学成分、温度、压力、

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

湿度、粘度等。总之，只有充分了解所处理含尘气体的特性，又能充分掌握各种除尘装置的性能，才能合理地选择出既经济又有效的除尘装置。图4-7～图4-11为几种常用除尘器的示意图。

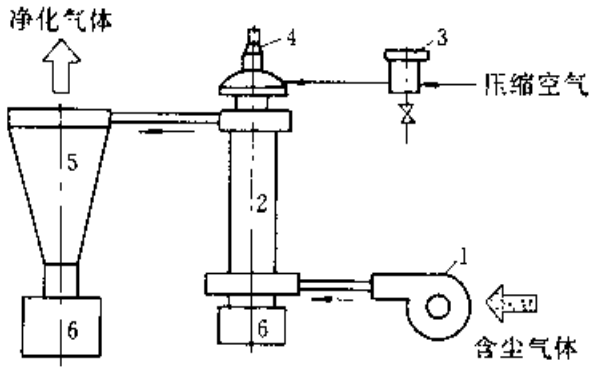


图 4-11　声波除尘器装置示意图

1—风机；2—凝集器；3—过滤器；4—声波发生器；5—旋风除尘器；6—灰斗

第三节　气态污染物的处理技术

大气污染，是指由于有害的气态污染物进入大气，使大气在成分、气味、颜色和性质等方面发生变化，危害生物生活环境，影响人体健康和动植物的生存。

化学工业所排放废气中的主要污染物有二氧化硫、氮氧化物、氟化物、氯化物、碳化物及各种有机气体等。近年，由于石油化工的迅速发展和大量利用含硫燃料作为能源，使得二氧化硫和氮氧化物对大气所造成的污染更为严重。

目前处理气态污染物的方法，主要有吸收、吸附、催化转化、冷凝和燃烧等方法。

一、吸收法

1．吸收法及分类

吸收是利用气体混合物中不同组分在吸收剂中溶解度的不同，或者与吸收剂发生选择性化学反应，从而将有害组分从气流中分离出来的过程。吸收法用于治理气态污染物，技术上比较成熟，操作经验比较丰富，适用性比较强，各种气态污染物如：SO_2、H_2S、HF、NO_x等一般都可选择适宜的吸收剂和吸收设备进行处理，并可回收有用产品。因此，该法在气态污染物治理方面得到广泛应用。

气体吸收可以分为物理吸收和化学吸收。

（1）物理吸收，溶解的气体与溶剂或溶剂中某种成分并不发生任何化学反应。此时，溶解了的气体所产生的平衡蒸气压与溶质及溶剂的性质、体系

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的温度、压力和浓度有关。吸附过程的推动力等于气相中气体的分压与溶液溶质气体的平衡蒸气压之差。用重油吸收烃类蒸气或用水吸收醇类和酮类物质，属于物理吸附。

(2) 化学吸收，溶解的气体与溶剂或与溶剂中某一成分发生化学反应。一种快速发生的化学反应发生物质的转变，导致气体平衡蒸气压的降低，有利于吸收操作。双碱法脱硫属于化学吸收。

在溶剂中所发生复杂的反应，有可逆和不可逆之分。可逆反应中，溶剂中必然存在着一些溶解的气体，因此液面上必有平衡分压，其大小取决于温度、浓度和平衡常数。不可逆反应中，被吸收气体的平衡分压等于零，理论上吸收率可以达到百分之百，实际上由于溶剂中有效组分所能增加的吸收效率的程度不同，则难以达到百分之百。吸收效率的大小取决于溶剂中有效组分和气体的浓度、溶质和溶剂的反应速率，以及体系的温度和压力。因此化学吸收比较复杂，设计往往借助于中间试验或实验室数据。

2. 吸收液

在吸收操作中，选择合适的吸收液是很重要的。有化学反应的吸收和单纯的物理吸收相比，前者吸收速率较大，因为这时的吸收推动力增大，传质系数一般都有所提高，如用水吸收二氧化硫时，为气膜、液膜共同控制，改用碱性吸收液后，便成了气膜控制。

(1) 吸收液的选择，应从下列因素考虑。

① 为了提高吸收速度，增大对有害组分的吸收率，减少吸收液用量和设备尺寸，要求对有害组分的溶解度尽量大，对其余组分则尽量小；

② 为了减少吸收液的损失，其蒸气压应尽量低；

③ 为了减少设备费用，尽量不采用腐蚀性介质；

④ 粘度要低，比热不大，不起泡；

⑤ 尽可能无毒、难燃，且化学稳定性好，冰点要低；

⑥ 来源充足，价格低廉，最好能就地取材，易再生重复使用；

⑦ 使用中有利于有害组分的回收利用。

(2) 吸收液主要分为以下四种。

① 水　用于吸收易溶的有害气体，水吸收效率与吸收温度有关，一般随着温度的增高，吸收效率下降。当废气中有害物质含量很低时，水吸收效率很低，这时需采用其他高效的吸收液。水作为吸收液的优点是便宜易得，比较经济。

② 碱性吸收液　用于吸收那些能和碱起反应的有害气体，如二氧化硫、氮氧化物、硫化氢、氯化氢、氯气等，常用的碱性吸收液有：氢氧化钠、氢氧化钙、氨水、碳酸钠等。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

③ 酸性吸收液　可以增加有害气体在稀酸中的溶解度或发生化学反应。如一氧化碳和二氧化氮在一定浓度的稀硝酸中的溶解度比在水中大得多，浓硫酸也可以吸收一氧化氮。

④ 有机吸收液　有机废气一般可以用有机吸收液，如洗油吸收苯和沥青烟，聚乙烯醚、冷甲醇、二乙醇胺等均可作为有机吸收液，能去除一部分有害酸性气体，如硫化氢、二氧化碳等。

3. 吸收塔

吸收法中所用的吸收设备主要作用是使气液两相充分接触，以便很好地进行传递。提供大的接触面，接触界面易于更新，最大限度地减少阻力和增大推动力。许多吸收设备与湿式除尘设备是基本相似的，这里就不再作详细介绍。各种吸收装置的性能比较见表 4-7。

表 4-7　吸收装置的性能比较

装置名称	分散相	气侧传质系数	液侧传质系数	所用的主要气体
填料塔	液	中	中	SO_2、H_2S、HCl、NO_2 等
空塔	液	小	小	HF、SiF、HCl
旋风洗涤塔	液	中	小	含粉尘的气体
文丘里洗涤塔	液	大	中	HF、H_2SO_4、酸雾
板式塔	气	小	中	Cl_2、HF
湍球塔	液	中	中	HF、NH_3、H_2S
泡沫塔	气	小	大	Cl_2、NO_2

用于净化操作的吸收器大多数为填料塔、筛板塔或喷淋塔。具体结构示意图见图 4-12～图 4-14。

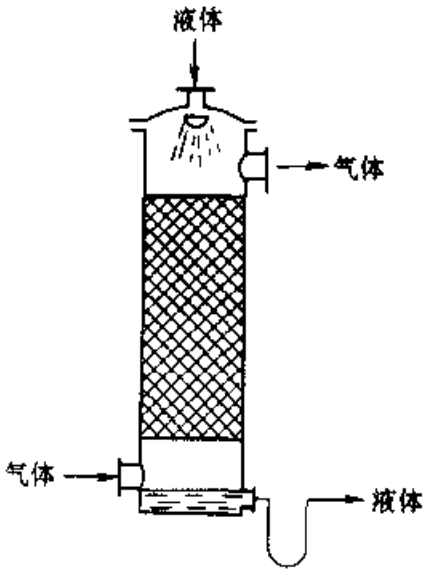


图 4-12　填料塔

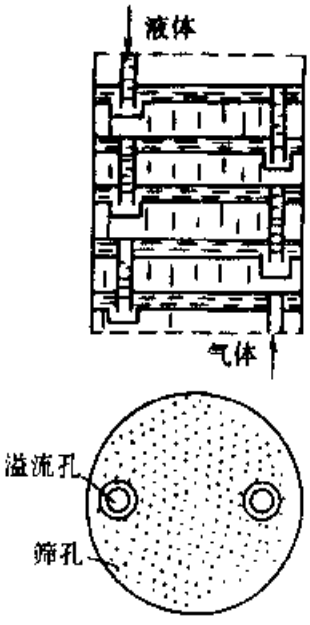


图 4-13　筛板塔

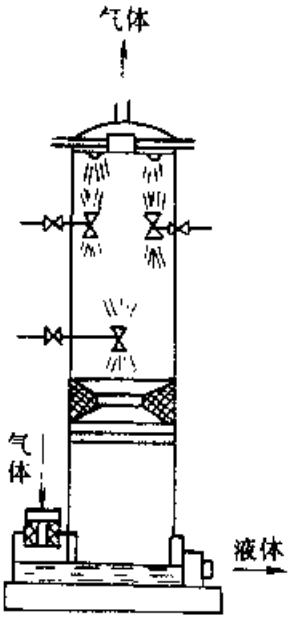


图 4-14　喷淋塔

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（1）填料塔　填料塔属于微分接触逆流操作，塔内以填料作为气液接触的基本构件。填料塔内填充适当高度的填料（有环形、球形、旋桨形、栅板形等），以增加两种流体间的接触表面。用做吸附剂的液体由塔的上部通过分布器进入塔内，沿填料表面下降。需要净化的气体则由塔的下部通过填料孔隙逆流而上与液体接触，气体中的污染物被吸附而达到气体净化的目的。

（2）板式塔　板式塔属于逐级接触逆流操作，塔内以塔板作为气液接触的基本构件。筛板塔内装若干层水平塔板，板上有许多小孔，形状如筛；并装有溢流管（亦有无溢流管的）。操作时，液体由塔顶流入，经溢流管，逐板下降，并在板上积有一层一定厚度的液膜。需要净化的气体由塔底进入，经筛孔上升穿过液层，鼓泡而出，因而两相可充分接触，气体中的污染物被吸收液所吸收而达到净化的目的。

（3）而喷淋塔内既无填料也无塔板，所以又称之为空心吸收塔。操作时液体由塔顶进入，经过安装在塔内各处的喷嘴，被喷成雾状或雨滴状。而气体和前两种吸收塔一样由塔底部进入塔体，在上升过程中与雾状或雨滴状的吸收液充分接触，使液体吸收气体中的污染物，而吸收后的吸收液由塔底流出，净化后的气体由塔顶排出。

二、吸附法

1. 吸附原理与分类

气体混合物与适当的多孔性固体接触，利用固体表面存在的未平衡的分子引力或化学键力，把混合物中某一组分或某些组分吸留在固体表面上，这种分离气体混合物的过程称为气体吸附。作为工业上的一种分离过程，吸附已广泛应用于化工、冶金、石油、食品、轻工及高纯气体制备等工业部门。由于吸附法具有分离效率高、能回收有效组分，设备简单，操作方便，易于实现自动控制等优点，已成为治理环境污染物的主要方法之一。在大气污染控制中，吸附法可用于中低浓度废气的净化。

根据吸附力不同，吸附可以分为物理吸附和化学吸附，其特点列于表4-8。这两类吸附往往同时存在，仅因条件不同而有主次之分，低温下以物理吸附为主，随着温度提高物理吸附减少，而化学吸附相应增多。吸附过程是放热过程，物理吸附时吸附热约等于吸附质的升华热，化学吸附时吸附热与化学反应热相近。

吸附过程包括以下三个步骤。

（1）使气体和固体吸附剂进行接触，以便气体中的可吸附部分被吸附在吸附剂上；

（2）将未被吸附的气体与吸附剂分开；

（3）进行吸附剂的再生，或更换新吸附剂。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 4-8 物理吸附和化学吸附的特点

特　点	物理吸附	化学吸附
吸附力	分子间引力	未平衡的化学键力
作用范围	与表面覆盖度无关，可多层吸附	随表面覆盖度增加而减少，只能单层吸附
吸附稳定性	不稳定，易解吸	比较稳定，不易解吸
吸附热	与吸附质升华热相近	与化学反应热相近
吸附质性质	不变	改变
等温线特点	吸附量与压力（浓度）成正比	较复杂
等压线特点	吸附量随温度升高而减少	到一定温度才吸附，高温下有一峰值

2．吸附剂

常用的气体吸附剂有骨碳、硅胶、矾土（氧化铝）、铁矾土、漂白土、分子筛、丝光沸石和活性炭等，其物理性质见表 4-9 所示。由于硅胶、矾土、铁矾土、漂白土和分子筛等都对水蒸气有很强的吸附能力，因此他们主要用于气体干燥或处理干燥气体。

表 4-9 常用吸附剂的物理性质

性　质	活性炭		硅　胶	活性氧化铝	分子筛
	粒　状	粉　状			
真空度/(g/mL)	2.0～2.2	1.9～2.2	2.2～2.3	3.0～3.3	2.0～2.5
粒密度/(g/mL)	0.6～1.0	—	0.8～1.3	0.9～1.9	0.9～1.3
充填密度/(g/mL)	0.35～0.6	0.15～0.6	0.5～0.85	0.5～1.0	0.6～0.75
空隙率/%	33～45	45～75	40～45	40～45	22～40
细孔容积/(mL/g)	0.5～1.1	0.5～1.4	0.3～0.8	0.3～0.8	0.4～0.6
比表面积/(m^2/g)	700～1500	700～1600	200～600	150～350	400～750
平均孔径/nm	1.2～4.0	1.5～4.0	2.0～12	4.0～15	—

常用吸附剂和吸附的污染物如下。

活性炭：乙烯、其他烯烃、氨胺类、碱雾、酸性气体、氯、甲醛、Hg、H_2S、HF、SO_2

硅胶：氮氧化物、SO_2、C_2H_2

活性氧化铝：H_2S、SO_2、C_nH_m、HF

分子筛：NO_x、SO_2、CO、CS_2、H_2S、NH_3、C_nH_m

泥煤/褐煤：恶臭物质、NH_3、SO_2

焦炭粉粒：沥青烟

在大气污染控制方面应用最广的吸附剂是活性炭。

良好的吸附剂应满足如下要求：①吸附量大，特别是保持吸附量大；②选择性好；③解吸容易；④机械强度高，化学稳定和热稳定性好；⑤阻力小；⑥吸附剂便于再生；⑦廉价。其中最重要的条件是吸附量大。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

3. 吸附装置

根据吸附器内吸附剂床层的特点，可将气体吸附器分为固定床、移动床和流化床三种类型。

（1）吸附层静止不动的装置称为固定床吸附装置。固定床吸附器多为立式或卧式的空心容器，其中装有吸附剂。吸附过程中气体流动，而吸附剂固定不动。这种装置的结构简单，工艺成熟，性能可靠，目前应用较多。图4-15为卧式固定床吸附器示意图。

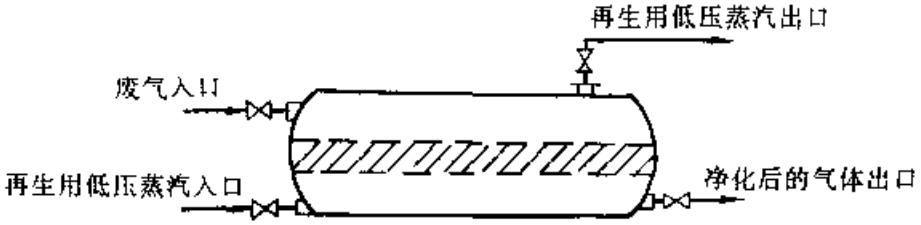


图 4-15　卧式固定床吸附器

（2）而在流动床吸附器中，需要净化的气体和吸附剂则各以一定的速度作逆流运动进行接触。吸附剂有塔顶进入吸附器，依次经吸附段、精馏段、解吸段，进入塔底的卸料装置，并以一定的流速排出，然后由升扬鼓风机输送至塔顶，再进入吸附器，重新开始上述的吸附循环。需净化的气体从吸附段底部进入吸附器，与吸附剂逆流接触后，从吸附段的顶部排出。移动床示意图见图4-16。

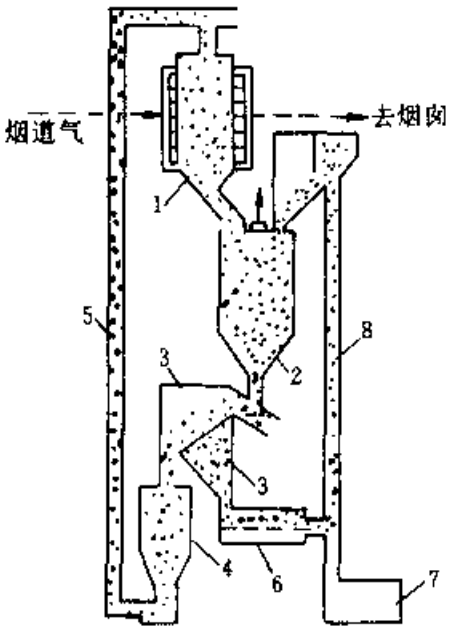


图 4-16　移动床吸附器

1—吸附器；2—脱附器；3—筛分机；4—活性炭冷却器；5—活性炭提升装置；6—皮带运输机；7—燃烧炉；8—砂子提升立管

（3）图4-17为流化床吸附塔示意图，塔内吸附剂与净化气体逆流运动，吸附剂在筛板上处于流化状态。全塔分为两段，上段为吸附段，下段用热气流进行加热再生。再生后的吸附剂用空气提升至吸附塔顶进行循环使用。

三、催化法

1. 催化作用与分类

催化法净化气态污染物是利用催化剂的催化作用，将废气中的气体有害物质转化为无害物质或转化为易于去除的物质的一种废气治理技术。催化法与吸收、吸附法不同，应用催化法治理污染物过程中，无需将污染物与主气流分离，可直接将有害物质转变为无害物，这不仅可避免产生二次污染，而且可简化操作过程。此外，由于所处理

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

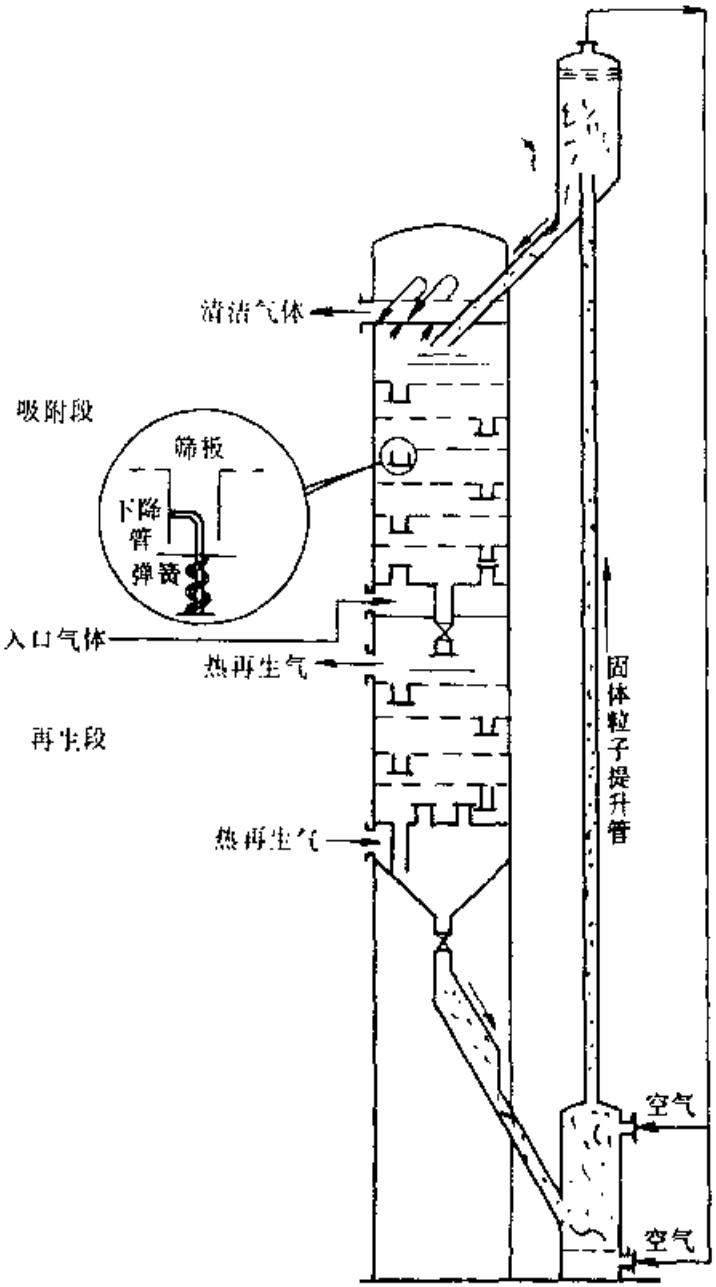


图 4-17　有再生段的多级逆流流化床吸附塔

的气体污染物的初始浓度都很低，反应的热效应不大，一般可以不考虑催化床层的传热问题，从而大大简化了催化反应器的结构。由于上述优点，促进了催化法净化气态污染物的推广和应用。目前此法已成为一项重要的大气污染治理技术。所处理的主要污染物有二氧化硫、硫化氢、HC、CO、苯、甲苯和氮氧化物等。

催化转化法分为催化氧化法和催化还原法。

催化氧化法是使有害气体在催化剂的作用下，与空气中的氧气发生化学反应，转化为无害气体的方法。例如，利用催化法使废气中的碳氢化合物转化为二氧化碳和水，二氧化硫转化为三氧化硫后加以回收利用等。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

催化还原法是使有害气体在催化剂的作用下，和还原性气体发生化学反应，变为无害气体的方法。例如，氮氧化物能在催化剂作用下，被氨还原为氮气和水。

催化转化法具有效率高，操作简单等优点。采用这种方法的关键是选择合适的催化剂，并延长催化剂的使用寿命。催化法的缺点是催化剂价格较高，废气预热需要一定的能量，即需添加附加的燃料使得废气催化燃烧。

2．催化剂

固体催化剂表面一般只有厚度为 20～30nm 起催化作用。为了节约催化剂，提高催化剂的活性、稳定性和机械强度，通常把催化剂附载在有一定比表面积的惰性物质上，这种惰性物质称为载体，而所附载的催化剂称为活性组分。

绝大多数气体净化过程中所用的催化剂一般为金属盐类或金属，主要有铂、钯、钌、铑等贵金属以及锰、铁、钴、镍、铜、钒等的氧化物。根据活性组分的不同，催化剂可分为贵金属催化剂和非贵金属催化剂两大类。

典型的载体为氧化铝、铁矾土、石棉、陶土、活性炭和金属丝等。载体可为球状、圆柱状、丝状、网状、蜂窝状等。

由于存在于气流中的杂质作用而引起的丧失催化活性的现象通常称为催化剂中毒。工业催化剂不仅必须具有所要求的活性和抗中毒的能力，还必须具有一定的强度，特别是在连续流动的过程中使用时更是这样。其次，还要控制催化剂的形状和大小，以降低通过床层的压力降，这点也是重要的。

3．催化转化装置

典型的气体催化净化过程采用的转化装置是由一个接触器或反应器（通常称为转化器）所组成，其中的催化剂以单层或多层固定床形式排列而装在管中或特殊结构的容器中。转化器的大小主要取决于给定反应所需的空间速度。空间速度就是每小时每单位体积催化剂所通过的干燥气体的体积数，其单位通常可简写为“h^{-1}”。由于废气中的有害杂质浓度往往很低，故转化器内由于放热反应而引起的升温相当小，一般无需设计内部冷却管。吸热反应所需的热量通常是对进入转化器前的气体进行预热来供给。转化器的设计还要考虑到便于快速卸除旧催化剂和更换新催化剂。

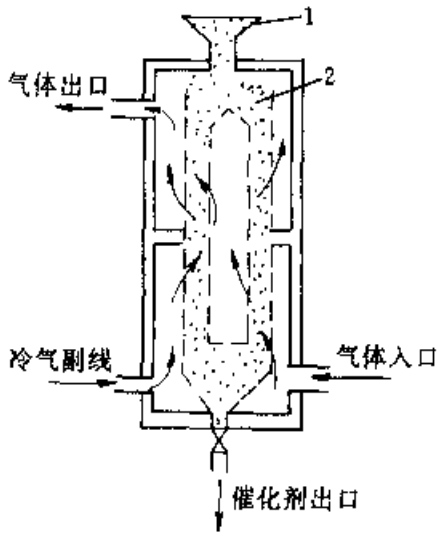


图 4-18　转化器

1—装催化剂漏斗；2—催化剂床

图 4-18 为一种转化器的简图。转化器

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

内装有催化剂，床层呈环状，中央有一气体导管。

四、燃烧法

1. 燃烧法原理与分类

燃烧法是通过热氧化燃烧或高温分解的原理，将废气中的可燃有害成分转化为无害物质的方法，又称焚化法。例如含烃废气在燃烧中被氧化成无害的 CO_2 和 H_2O。此外燃烧法还可以消烟、除臭。燃烧法已被广泛应用于石油化工、有机化工、食品化工、涂料和油漆的生产、金属漆包线的生产、纸浆和造纸、动物饲养场、城市废物的干燥和焚烧处理等主要含有有机污染物的废气治理。通过燃烧法处理废气中的污染物有：碳氢化合物、甲烷、苯、二甲苯、一氧化碳、硫化氢、恶臭物质、黑烟（含炭粒和油烟）。

燃烧法又可分为直接燃烧和催化燃烧两种方法。直接燃烧和催化燃烧的特点列于表 4-10。

表 4-10 直接燃烧和催化燃烧的特征对比

燃烧种类	直接燃烧	催化燃烧
燃烧原理	预热至 600～800℃ 进行氧化反应	预热至 200～400℃ 进行催化氧化反应
燃烧状态	在高温下滞留一定时间 不生成火焰	与催化剂接触 不生成火焰
特　点	预热能耗较多 燃烧不完全时能产生恶臭 可用于催化各种可燃气体	预热能耗较少 催化剂较昂贵 能使催化剂中毒的气体不适用

2. 燃烧装置

燃烧法工艺简单、操作方便，而且有机废气浓度越高越有利。并可回收热能。但处理可燃组分含量低的废气时，需预热耗能。采用这种方法时，还必须注意控制燃烧温度和燃烧时间，不然，有机物会炭化成颗粒，以粉尘形式随烟气外排，造成二次污染。

图 4-19 是一种常见催化燃烧装置的示意图。

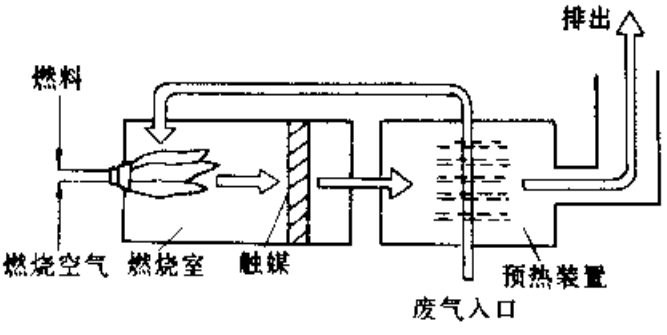


图 4-19 催化燃烧装置示意图

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

五、冷凝法

1. 冷凝法原理

冷凝法是利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸气压这一性质，采用降低系统温度或提高系统压力，使处于蒸气状态的污染物冷凝并从废气中分离出来的过程。该法特别适用于处理污染物浓度在 $10000cm^3/m^3$ 以上的有机废气。冷凝法在理论上可以达到很高的净化程度，但对有害物质要求控制到百万分之几，则所需要的费用很高。所以冷凝法不适宜处理低浓度的废气，常作为吸附、燃烧等净化高浓度废气的前处理，以便减轻这些方法的负荷。如炼油厂、油毡厂的氧化沥青生产中的尾气，先用冷凝法回收，然后送去燃烧净化；氯碱及炼金厂中，常用冷凝法使汞蒸气变化成液体而加以回收；此外，高湿度废气也用于冷凝法使水蒸气冷凝下来，大大减少气体量，便于下步操作。

冷凝法对有害气体的去除程度，与冷却温度和有害成分的饱和蒸气压有关。冷却温度越低，有害成分越接近饱和，其去除程度越高。冷凝法有一次冷凝法和多次冷凝法之分。前者多用于净化含单一有害组分的废气。后者多用于净化含多种有害成分的废气或用于提高废气的净化效率。冷源可以是地下水、大气或特制冷源。

2. 冷凝器

冷凝法设备简单、操作方便，并容易回收较纯产品。冷凝器分为表面冷凝器和接触冷凝器两大类。表面冷凝器又可分为列管冷凝器、翅管空冷冷凝器、淋洒式冷凝器、螺旋板冷凝器；接触冷凝器分为喷淋式接触冷凝器、喷射式接触冷凝器、填料式接触冷凝器、塔板式接触冷凝器四大类。

图 4-20 和图 4-21 列出了两种典型的冷凝器。

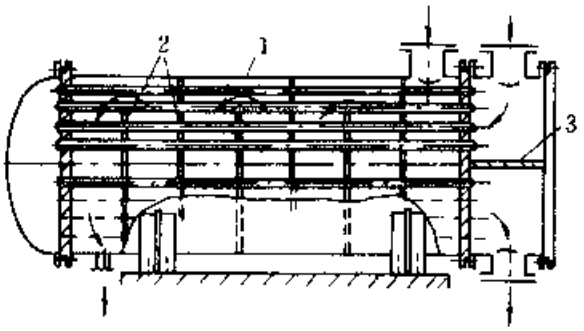


图 4-20 列管式冷凝器

1—壳体；2—挡板；3—隔板

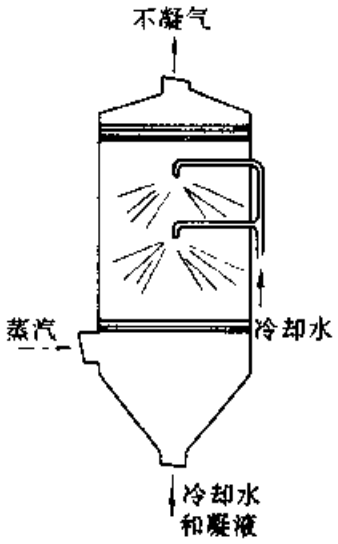


图 4-21 喷淋式接触冷凝器

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

六、气态污染物处理的高新技术

1. 生物法

废气的生物法处理是利用微生物的生命活动过程把废气中气态污染物转化成少害甚至无害的物质。自然界中存在各种各样的微生物，因而几乎所有无机和有机的污染物都能被微生物所转化。生物处理不需要再生过程和其他高级处理，与其他净化方法相比，其处理设备简单、费用又低，并可以达到无害化目的。因此生物处理技术广泛地被应用于废气治理工程中，特别是有机废气的净化，如屠宰场、肉类加工厂、金属铸造厂、固体废物堆肥化工厂的臭气处理。该法的局限性在于不能回收污染物质，只适用于污染物浓度很低的情况。

2. 膜分离法

混合气体在压力梯度作用下透过特定薄膜时，不同气体具有不同的透过速度，从而使气体混合物中的不同组分达到分离的效果。因此研究不同结构的膜，就可分离不同的气态污染物。根据构成膜物质的不同，分离膜有固体膜和液体膜两种。液膜技术是近一二十年发展起来的，它可以分离废气中的 SO_2、NO_x、H_2O 及 CO_2 等，但尚未投入工业规模的运行。目前在一些工业部门实际应用的主要是固体膜。膜法气体分离技术的优点是过程简单，控制方便，操作弹性大，并能在常温下工作，能耗低（因不耗相变能）。该法已用于石油化工，合成氨气中回收氢，天然气净化，空气中氧的富集，以及 CO_2 的去除与回收等。可以预料，膜分离法将广泛用于气态污染物的净化及回收利用上。

3. 电于束照射法

用电子束照射法处理烟道气，同时去除 SO_2 和 NO_x，是 1970 年开发的新技术。其基本原理是烟道气中的 SO_2 和 NO_x 经电于束照射后，转化为气溶胶微粒。这种微粒易于用电除尘器或布袋除尘器收集除去。处理过程中加 NH_3，能生成有用的硫酸铵和硝酸铵的混合肥料。与湿法洗涤相比，这种方法不产生废水或难于处理的石膏等副产物。处理后烟气温度在 100℃ 左右，排放时勿需再加热。据估算此法的操作费用比其他碱洗涤法可节约 45% 左右，在经济上是可行的。

1977 年日本建立了一座用电子束照射-加氨法处理烟气的中间工厂，处理气量为 3000m^3（标）/h，经一年连续运转，脱硫、脱硝率分别为 95% 和 80%。1983 年美国印第安纳州一家燃煤火力发电厂建立了处理气量（标准状况）为 24000m^3/h 的示范装置，以验证燃煤烟气脱硫、脱硝的可能性。

这一方法目前存在大功率电于枪制造技术复杂、成本高，以及电子束

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

枪窗口长期暴露在酸雾和飞灰氛围中的腐蚀等问题，尚有待进一步研究解决。

4．研究开发氯氟烃替代物

氯氟烃由于被认为是破坏臭氧层，改变地球的气候而使所有生物受到威胁的污染物质，近年来越来越受到世界各国的重视。因此研究开发取代氯氟烃的产品，防止臭氧层的进一步破坏，是今后环保及化工的一项重要任务。面对氯氟烃被禁用的问题，各国都在采取积极对策，抓紧开发替代品，但是由于氟利昂最大应用量是作制冷剂，具有优良的制冷性能，要找到与其同样性能的化学品是比较困难的。目前只是在改进氯氟烃的分子结构上进行研究。通常认为分子中含有氢的氯氟烃产品在大气中寿命可缩短到 2～20 年，而氯氟烃则长达 100 年以上。因此开发含氢的氯氟烃产品对保护臭氧层具有重要意义。现在开发的品种除已在生产的 F-22（$CHClF_2$）外，还有 F-142b（CH_3ClF_3）、F-123（$CHCl_2CF_3$）和 F-134（CH_2FCF_3）等产品。前两种近期尚不能成批供应，性能更好的其他产品还需要更长时间才能投入生产。在清洗剂、发泡剂等方面自 2000 年开始有 30% 的氯氟烃被不同性质的产品替代。

总之，治理化学工业废气污染的任务相当艰巨，但是只要我们善于吸取国外先进技术和经验，结合我国具体情况，认真实践，不断努力，化学工业废气的污染问题是可以逐步得到控制和解决的。

第四节　二氧化硫污染及其治理

大气中含硫化合物主要有：氧硫化碳（COS）、二硫化碳（CS_2）、二甲基硫［$(CH_3)_2S$］、硫化氢（H_2S）、二氧化硫（SO_2）、三氧化硫（SO_3）、硫酸（H_2SO_4）、亚硫酸盐 SO_3^{2-} 和硫酸盐 SO_4^{2-} 等。

SO_2 是一种无色、具有刺激性气味的不可燃气体，是一种分布广、危害大的主要大气污染物。SO_2 和飘尘具有协同效应，两者结合起来对人体危害更大。SO_2 在大气中极不稳定，最多只能存在 1～2d。在相对湿度比较大，以及有催化剂存在时，可发生催化氧化反应，生成 SO_3，进而生成 H_2SO_4 或硫酸盐，所以，SO_2 是形成酸雨的主要因素。硫酸盐在大气中可存留 1 周以上，能飘移至 1000km 以外，造成远离污染源以外的区域性污染。SO_2 也可以在太阳紫外光的照射下，发生光化学反应，生成 SO_3 和硫酸雾，从而降低大气的能见度。同时硫酸和硫酸盐可形成硫酸烟雾和酸性降水，造成较大的危害。我国每年排放的二氧化硫以达 1500 万 t。因此，对于控制二氧化硫的排放量，以及消除二氧化硫对大气的污染方面，各国均极为重视，已进行广泛的实验研究工作，提出了许多消除或减轻二氧化硫污染的方法。我国也开展了这方面的工作。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

一、二氧化硫排放来源及其毒性

1. 二氧化硫的排放来源

污染大气的二氧化硫主要来自于煤和燃油燃烧，约占 80% 以上，其次为冶金工业约占 10%，其余为炼油、化工等行业。硫在燃料中可以有机硫或无机硫（如 FeS_2）形式存在。通常煤的含硫量为 0.5%～6%，石油为 0.5%～3%。根据 1984 年的估计，全世界每年由人为源排入大气的 SO_2 约有 72×10^6t（以硫计）；而 1980 年据 Cullis 等的计算为 104×10^6t，其中由煤及石油燃烧产生的 SO_2 约占总排放的 88%，其余则来源于冶金、硫酸制造等工业过程。全球性 SO_2 人为源的源强见表 4-11（按 Cullis 等人的计算）。

表 4-11　1976 年全年全球 SO_2 人为排放量（10^6t/年）

源		全球排放量/(10^6t/年)	占总排放量中的百分数/%
煤	硬煤	44.1	42.5
	褐煤	16.6	16.0
	焦煤	1.3	1.2
石油	精炼	3.7	3.5
	汽油	0.3	0.3
	煤油	0.05	0.05
	喷气燃料	0.05	0.05
	蒸馏燃料油	1.9	1.8
	残渣燃料油	22.9	22.1
	石油焦炭	0.3	0.3
不含铁矿	铜	9.4	9.1
	铅	0.8	0.7
	锌	0.5	0.5
其他	H_2SO_4 产品	1.3	1.3
	纸浆/纸生产	0.3	0.3
	垃圾焚烧	0.3	0.3
	硫磺产品	0.03	0.03
总量		103.8	100

据最新统计结果，目前世界每年排入大气中的 SO_2 的量已经达到 150×10^6t。

化学工业生产过程中排放的行业有硫酸厂、磷肥厂、制药厂及其他一些有机工厂。其中以硫酸厂的排放量最多，一般为原料含硫量的 2%。硫酸厂正常操作时，排放的二氧化硫浓度为 0.1%～0.2%，如果操作不正常，二氧化硫排放浓度可能高达百分之几，危害甚为严重。

2. 二氧化硫的毒性

二氧化硫是一种具有强烈刺激性臭味的无色不燃气体，其本身毒性不大，易溶于水、醇和醚。对上呼吸道黏膜和眼结膜具有强烈刺激性。人体长

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

期接触低浓度二氧化硫，会出现倦怠无力、鼻炎、咽喉炎、支气管炎、嗅觉障碍等，动物连续接触 $30cm^3/m^3$ 的二氧化硫无明显的生理学影响。关于二氧化硫的危害浓度及其后果，至今还没有统一说法，一般认为，大气中二氧化硫浓度在 $0.5cm^3/m^3$ 以上时，对人体健康已有某种潜在性影响，而浓度为 $1\sim3cm^3/m^3$ 时，多数人开始感觉出受到刺激；到含量达 $10cm^3/m^3$ 时，刺激感加剧；当浓度为 $10\sim100cm^3/m^3$ 时，人们开始出现流泪和胸痛等症状；浓度超过 $100cm^3/m^3$，很多动物能致死；而浓度达到 $400\sim500cm^3/m^3$ 时，人就会严重中毒，最后窒息而死。

二氧化硫进入空气以后，在空气中金属粉尘的催化作用下，它会与二氧化氮和氧一起发生光化学反应，进一步氧化而产生三氧化硫。三氧化硫的吸湿性强，在湿度大的空气中很容易形成酸雾。这就是受二氧化硫污染的地区经常会出现硫酸雾或硫酸雨的原因。

硫酸雾对人体具有更大的危害性，因其微粒可侵入肺的深度组织，会引起肺水肿和肺硬化而导致人的死亡。

当二氧化硫与大气污染物烟尘粒子共同作用时，亦将会造成更严重的危害。据有关资料报道，在大气中二氧化硫浓度超过 $0.2cm^3/m^3$，烟尘的浓度为标准状况 $0.3mg/m^3$ 时，会明显导致呼吸道疾病的发病率增高，慢性病患病的疾病会迅速恶化。

二、脱硫技术概述

1. 燃料脱硫

为了控制人为排入大气中 SO_2，早在 19 世纪人们就开始进行有关的研究，但大规模开展脱硫技术的研究和应用是从 20 世纪 60 年代开始的。经过多年研究目前已开发出 200 多种 SO_2 控制技术。这些技术按脱硫工艺与燃烧的结合点可分为：①燃烧前脱硫（如洗煤，微生物脱硫）；②燃烧中脱硫（工业型煤固硫、炉内喷钙）；③燃烧后脱硫，即烟气脱硫（Flue Gas Desulfurization，FGD）。这里主要介绍烟气脱硫，并简要介绍燃料脱硫。

燃料脱硫包括气体燃料脱硫、重油脱硫和煤脱硫。而气体脱硫主要是去除气体中的硫化氢气体，而且含量比较低。

（1）重油脱硫　原油经蒸馏分离后可得到蒸馏油和残留油。蒸馏油为轻质油，含硫量比较少，在炼油过程中均已脱除相当的硫分。因此轻油燃烧后的排放物对空气的潜在性污染比较小。烟气中二氧化硫的浓度比较低。而残留油，即重油，粘度大，含硫量比原油高，重油脱硫可以在催化剂的作用下，用高压加氢反应，切断碳与硫的键与氢置换，生产硫化氢除去。催化剂为钴、钼、钨、铁、铬、镍、铂，也可以是这些金属的混合物。

重油脱硫分为直接脱硫和间接脱硫两大类。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(2) 煤脱硫　煤内所含的硫呈两种化合方式：有机硫和无机硫。煤脱硫分为物理法、化学法、气化法、液化法、洗涤法等五大类。

① 物理法　煤中的硫约有 2/3 以硫化铁形式存在，硫化铁的相对密度大于煤，是顺磁性物质，而煤是反磁性物质，将煤破碎后，用高梯度磁分离法或重力分离法将硫化铁除去，脱硫率为 60% 左右。

② 化学法　煤破碎后与硫酸铁水溶液混合，在反应器中加热至 100～130℃，硫化铁与硫酸铁反应，生成硫酸亚铁和元素硫。同时通入氧气，硫酸亚铁氧化成硫酸铁，循环使用，煤通过过滤器和溶液分离，硫成为副产品。

③ 气化法　煤经气化使煤中的硫大部分生产硫化氢，然后加以脱除。

④ 液化法　煤在高温、高压和催化剂作用下和加入的氢起反应，得到液体燃料，硫和氢反应生成硫化氢去除。

⑤ 洗涤法　煤经压碎、洗涤可除去含硫的 20%～40%。

2. 烟气脱硫

烟气脱硫（FGD）是目前世界上惟一大规模商业化应用的脱硫方式，是控制酸雨和 SO_2 污染最主要的技术手段。

烟气脱硫技术主要利用各种碱性的吸收剂或吸附剂捕集烟气中的 SO_2 将之转化为较为稳定且易机械分离的硫化合物或单质硫，从而达到脱硫的目的。FGD 的方法按脱硫剂和脱硫产物含水量的多少可分为两类：(1) 湿法，即采用液体吸收剂如水或碱性溶液（或浆液）等洗涤以除去 SO_2。(2) 干法，用粉状或粒状吸收剂、吸附剂或催化剂以除去 SO_2。按脱硫产物是否回用可分为回收法和抛弃法。按照吸收 SO_2 后吸收剂的处理方式可分为再生法和非再生法（抛弃法）。

国外烟气脱硫研究始于 1850 年，经过一百多年的演变，目前已开发出 200 多种烟气脱硫技术。技术的多样化为工业化应用奠定了坚实的基础，目前工业化的主要技术有：

(1) 湿式石灰石/石膏法　该法用石灰或石灰石的浆液吸收烟气中的 SO_2，生成半水亚硫酸钙或石膏。其技术成熟程度高，脱硫效率稳定，可达 90% 以上。目前是国外工业化烟气脱硫的主要方法。

(2) 喷雾干燥法　该法是采用石灰乳为吸收剂的烟气脱硫法，属半干法脱硫，脱硫效率 80%～90%，投资比湿式石灰石/石膏法低，但副产物要废弃。目前在德国、奥地利、意大利、丹麦、瑞典等国应用较多。

(3) 吸收再生法　主要有氧化镁法、双碱法、W-L 法。脱硫效率可达 95% 左右，技术较成熟。

(4) 炉内喷钙—增湿活化脱硫法　该法是一种将粘状钙质脱硫剂（石灰

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

石或石灰）直接喷入燃烧锅炉炉膛的脱硫技术，主要适用于中、低硫煤锅炉，脱硫效率可达80%。

（5）其他方法　包括活性炭吸附法、氧化铜法等，技术较成熟，脱硫效率变化较大。

迄今为止，世界上已有2500多套FGD装置，总能力已达200000MW（以电厂的发电能力计），处理烟气量700Mm^3/h，一年可脱SO_2近10Mt，这些装置的90%在美国、日本和德国。表4-12列出了一些国家已经投入使用或已规划使用的FGD系统。

表4-12　国外FGD系统的应用

国　别	湿式洗涤法（抛弃法）	湿式洗涤法（石膏）	喷雾干燥法	吸收剂喷射法	双碱法	活性炭法	Wellman-Lord法	MgO法	其他方法
奥地利		3	3	3			1		1
丹　麦		2	2						1
德　国	29	78	28	7		1	4		
芬　兰			1	2					1
法　国				1					
意大利		12							4
日　本		39			5				
荷　兰		8							
瑞　典	1		7						
土耳其		1							
英　国		5							
美　国	204	13	54	2	4		8	3	
总装置数	234	161	95	15	9	1	13	3	7
总MW	105000	71800	13600	4200	3800	250	3300	700	1300

由表4-12可知，尽管各国开发的FGD方法很多，但真正进行工业应用的方法仅是有限的十几种。其中湿式洗涤法（含抛弃法及石膏法）占总装置数的73.4%，喷雾干燥法占总装置数的17.7%，其他方法占9.3%。美国的FGD系统中，抛弃法占大多数。在湿法中，石灰/石灰石法占90%以上。可见，湿式石灰/石灰石法在当今FGD系统中占主导地位。

三、石灰/石灰石法

石灰石是最早作为烟气脱硫的吸收剂之一。分干法和湿法两种类型，即石灰/石灰石直接喷射法和石灰/石灰石洗涤法。

干法脱硫过程中，石灰石被直接喷射到锅炉的高温区，和烟气中的SO_2起反应后，再加以捕集除去。在很短时间内完成煅烧、吸附和氧化三种不同的反应，主要反应式如下：

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$CaO + SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CaSO_4$$

石灰/石灰石洗涤法可分为抛弃法、石灰/石膏法和石灰/亚硫酸钙法，反应原理基本相同，只是最终产物及其利用情况不同而有所区别。其中石灰/石膏法采用石灰或石灰石的浆液吸收烟气中的 SO_2，生成半水亚硫酸钙或石膏。其技术成熟程度高，脱硫效率稳定，可达 90% 以上。目前是国外工业化烟气脱硫的主要方法。作用原理如下：

吸收：

$$Ca(OH)_2 + SO_2 \longrightarrow CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O + \frac{1}{2}H_2O$$

$$CaCO_3 + SO_2 + \frac{1}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O + CO_2$$

$$CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O + SO_2 + \frac{1}{2}H_2O \longrightarrow Ca(HSO_3)_2$$

氧化：

$$2CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O + O_2 + 3H_2O \longrightarrow 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

$$Ca(HSO_3)_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + SO_2$$

石灰/石膏法的流程见图 4-22。

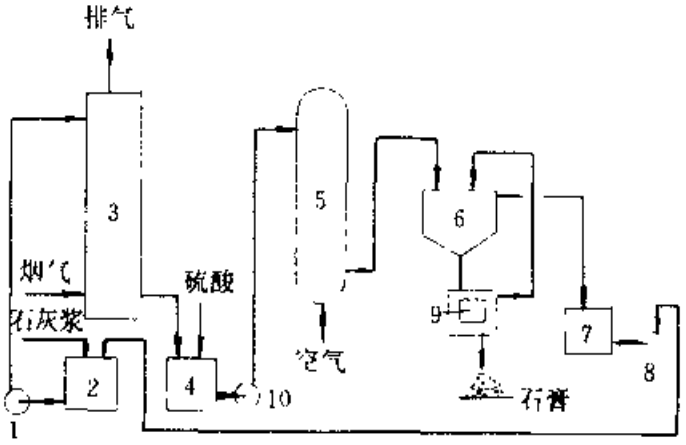


图 4-22 湿式石灰石（石灰）/石膏法工艺流程

1，8，10—泵；2—循环槽；3—吸收塔；4—母液槽；5—氧化塔；6—稠厚器；7—中间槽；9—离心机

四、氨法

此法是采用氨水或液态氨为吸收剂，吸收 SO_2 后生成亚硫酸铵和亚硫酸氢铵，氨可留在产品内，成为化肥供使用。其反应如下：

$$NH_3 + H_2O + SO_2 \rightleftharpoons NH_4HSO_3$$

$$2NH_3 + H_2O + SO_2 \rightleftharpoons (NH_4)_2SO_3$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$(NH_4)_2SO_3 + H_2O + SO_2 \longrightarrow 2NH_4HSO_3$$

$(NH_4)_2SO_3$ 对 SO_2 有更好的吸收能力。当 NH_4HSO_3 比例增大，吸收能力降低，须补充氨将亚硫酸氢铵转化成亚硫酸铵，即进行吸收液的再生。其反应为：

$$NH_3 + NH_4HSO_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_3$$

此外，还需引出一部分吸收液，这部分吸收液可以采取不同的方法加以处理，分别可以回收硫酸铵、硫酸钙、硫磺或硫酸。目前采用比较多的有以下两种方法：

1．氨-硫酸铵法

此法是从吸收液中回收硫酸铵的方法的方法。具体又可以分为两种方法，即酸分解法和空气氧化法。

（1）酸分解法（又称氨-酸法），吸收液是通过过量硫酸进行分解，再用氨进行中和以获得硫酸铵进行中和以获得硫酸铵，同时制得浓的 SO_2 气体。其反应如下：

$$(NH_4)_2SO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + SO_2 + H_2O$$

$$2NH_4HSO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + 2SO_2 + 2H_2O$$

$$H_2SO_4 + 2NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4$$

此法的工艺流程如图 4-23 所示。

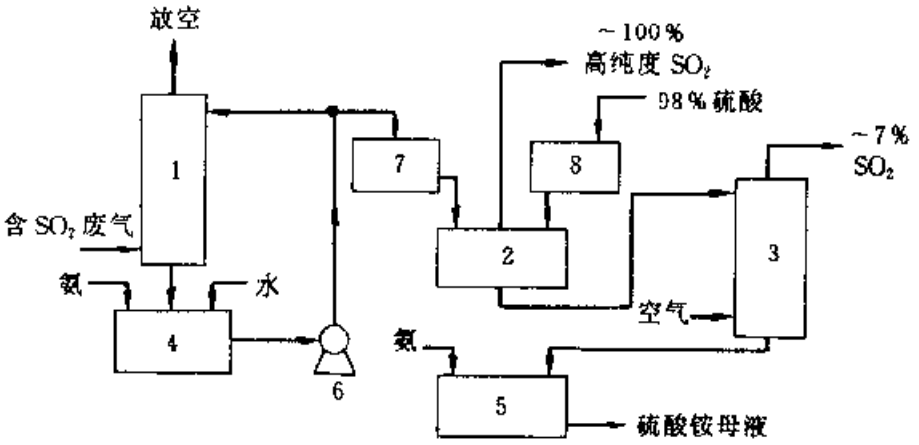


图 4-23　氨-酸法脱硫流程示意图

1—吸收塔；2—混合器；3—分解塔；4—循环槽；5—中和器；6—泵；7—母液；8—硫酸

在吸收塔内吸收液是循环使用，随着吸收的 SO_2 含量增加，要在循环槽内补充适量的氨水，使吸收液部分再生，同时要引出一部分吸收液至混合器内，用硫酸使亚硫铵转变为硫酸铵。硫酸的用量要比理论用量增加30%～50%。得到高浓度的 SO_2，可以去制造液体 SO_2。混合器中的液体，即硫酸铵溶液送入分解塔，用空气使其分解得到浓度为约 7% 的 SO_2，可以送去制

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

硫酸；分解后的酸性硫酸铵溶液送入中和器，用氨进行中和。硫氨铵母液再经过结晶和离心分离即可得到固体硫酸铵产品。

（2）空气氧化法　与氨-酸法的区别是将引出一部分吸收液至混合器内，不是与浓硫酸混合，而是加入氨，使亚硫酸氢铵全部转变为亚硫酸铵，然后再送入氧化塔，向塔内鼓入 10kg/cm^2 压力的空气，将亚硫酸铵氧化为硫酸铵。

2．氨-亚硫酸铵法

氨-酸法需耗用大量硫酸，因此可采用氨-亚硫酸铵法，此法亦是将吸收液用氨中和，将亚硫酸氢铵转变为亚硫酸铵；与氨-酸法的区别在于此法不再将亚硫酸铵用空气氧化成硫酸铵，而是直接去制取亚硫酸铵的结晶，分离出亚硫酸铵产品，而不是硫酸铵。

此法也可用固体碳酸氢铵作氨源来代替氨水，以便储运。碳酸氢铵具有像 NH_3 同样的吸收能力，主要反应如下：

$$2NH_4HCO_3 + SO_2 \longrightarrow (NH_4)_2SO_3 + 2CO_2 + H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_4HSO_3$$

吸收 SO_2 后的母液主要含有 NH_4HSO_3，加入固体 NH_4HCO_3 中和可生成 $(NH_4)_2SO_3$，生成的溶解度小，可结晶析出。

$$NH_4HSO_3 + NH_4HCO_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO_3 + H_2O + CO_2$$

此法的流程如图 4-24 所示。

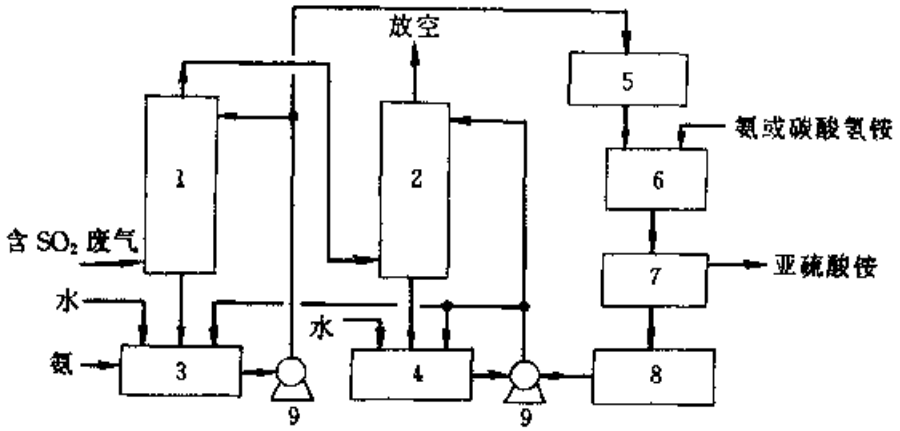


图 4-24　氨-亚硫酸氨法脱硫流程示意图

1—第一吸收塔；2—第二吸收塔；3，4—循环槽；5—高位槽；6—中和器；7—离心机；8—吸收液贮槽；9—吸收液泵

五、钠碱法

此法使以碳酸钠或碳酸氢钠溶液作为吸收剂吸收烟气中的 SO_2。优点是可使用固体吸收剂，而且阳离子是非挥发性的。不存在吸收剂在洗涤过程中的挥发产生氨雾问题，钠盐溶解度比较大，因此吸收系统不存在结垢、堵塞

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

等问题，吸收能力比较强，但碱相对成本比较高。在日本目前有 60% 的脱硫过程是采用这种方法。

钠碱法可分为钠盐循环法、亚硫酸钠法、钠盐-氟铝酸分解法等。

1. 钠（钾）盐循环法（WL 法）

此法又称威尔曼-洛德法（WL 法），是英国威尔曼 洛德动力气体公司于 1966 年开发的，是以亚硫酸钾或亚硫酸钠为吸收剂，二氧化硫的脱除率可达 90% 以上。吸收母液经冷却、结晶、分离出亚硫酸氢钠（钾），再用蒸汽将气加热分解，生成亚硫酸钠（钾），再用蒸汽将其加热分解，生成亚硫酸钠（钾）及 SO_2。亚硫酸钠（钾）又可以循环使用，SO_2 回收可以送去制造硫酸。

WL 法中可分为 WL-Na（钠）法和 WL-K 法（钾）法两种。

WL-Na 法的反应为：

$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHSO_3 \text{（吸收过程产物）}$$

$$2NaHSO_3 \xrightarrow{\text{加热}} Na_2SO_3 + SO_2\uparrow + H_2O\uparrow \text{（分解过程产物）}$$

WL-K 法的反应为：

$$K_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2KHSO_3 \text{（吸收过程产物）}$$

$$2KHSO_3 \xrightarrow{\text{加热}} K_2SO_3 + SO_2\uparrow + H_2O\uparrow \text{（分解过程产物）}$$

WL-Na 法和 WL-K 法的流程分别表示在图 4-25 及图 4-26 中。

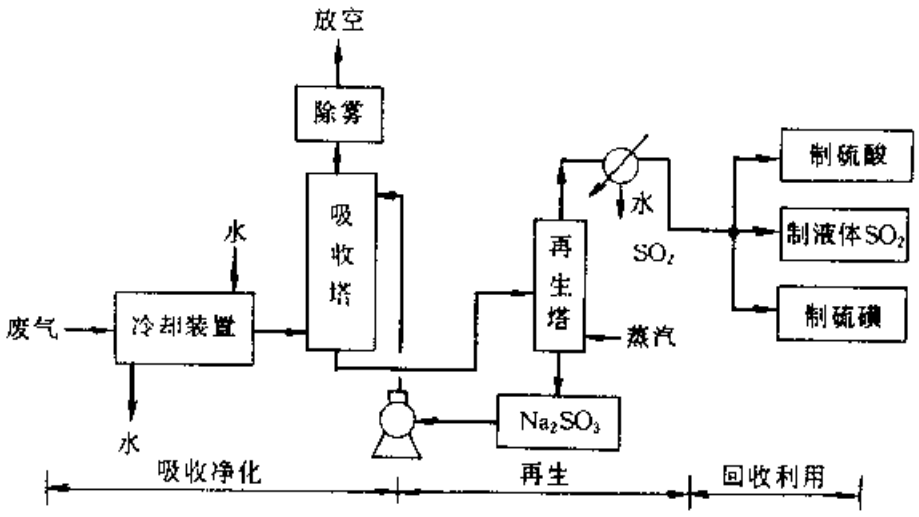


图 4-25 WL-Na 法流程图

WL-K 法的二氧化硫吸收率高，但分解过程需要的热量也多，故通常采用 WL-Na 法。

吸收母液中，亚硫酸氢钠（钾）经加热分解所得到的 SO_2，由于其仅含有水，并无其他组分，故用其生产的硫酸浓度很高。对于制酸过程中未反应的 SO_2 还可以重返回 WL 法的吸收塔再被吸收，因此对制酸的转化装置要

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

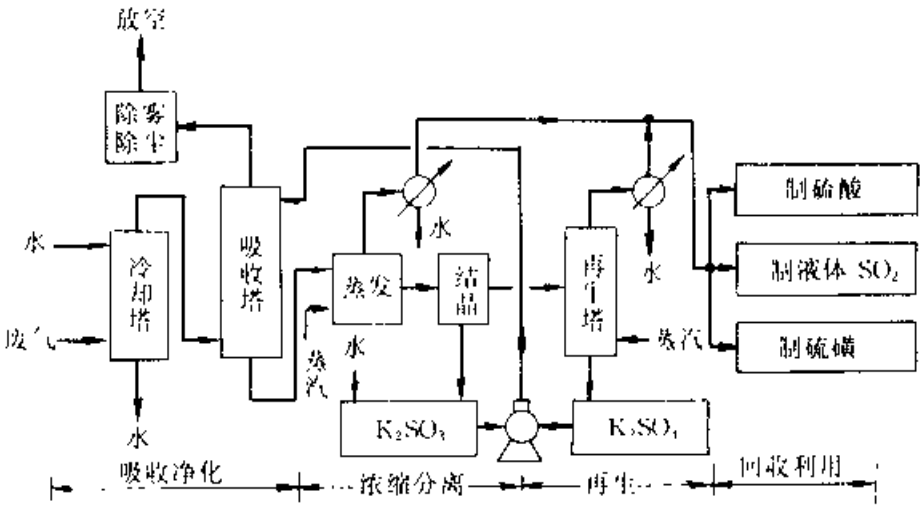


图 4-26　WL-K 法流程图

求不同，不需装置二次转化装置等，使操作方便，设备结构也简单。

2．亚硫酸钠法（吴羽法）

此法吸收液为 NaOH 或 Na_2CO_3 溶液，吸收剂不循环使用，亚硫酸钠回收作为副产品，此方法又称为吴羽法。其反应过程如下：

$$2NaOH + SO_2 \longrightarrow Na_2SO_3 + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHSO_3$$

$$2NaHSO_3 + 2NaOH \longrightarrow 2Na_2SO_3 + 2H_2O$$

含 SO_2 的废气经过除尘、冷却之后进入吸收塔，在吸收塔内 SO_2 被 NaOH 溶液所吸收。其流程见图 4-27 所示。

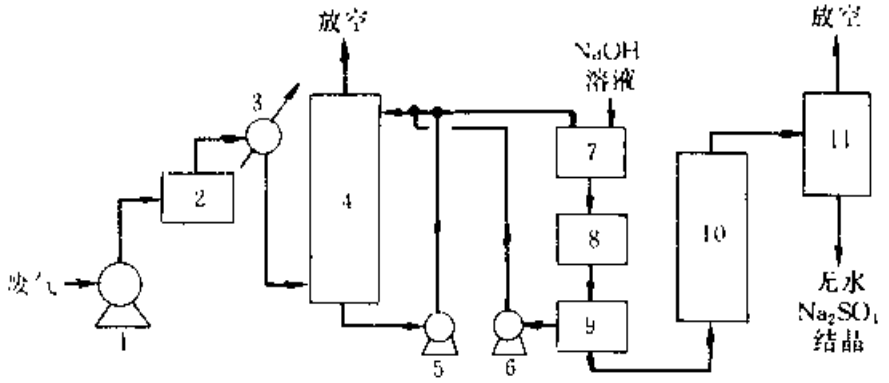


图 4-27　吴羽法脱硫流程

1—风机；2—除尘器；3—冷却塔；4—吸收塔；5，6—泵；7—中和结晶槽；8—浓缩器；9　分离机；10　干燥塔；11　旋风式分离器

废气先经过除尘可以防止吸收塔堵塞；冷却的目的是可以提高吸收效率。

用 NaOH 溶液在吸收塔内吸收 SO_2，使溶液的 pH 达 5.6～6.0 后，将溶液送至中和结晶槽。在中和结晶槽内加入 50% 浓度的 NaOH 溶液调到 pH

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

等于 7，加入适量硫化钠溶液，以除去铁和重金属离子，随后再用 NaOH 将 pH 调整到 12。进行蒸发结晶后，用离子分离机将亚硫酸钠结晶分离出来。亚硫酸钠结晶经过干燥塔进行干燥之后，再经过旋风分离器即可得到无水亚硫酸钠产品。

当废气中含氧量较高时，会发生亚硫酸钠被氧化为硫酸钠的副反应，对整个系统操作不利，此时可以加入少量的主氧化剂（如对苯二胺）以抑制副反应的进行。

采用此法，SO_2 的吸收率可达 95% 以上，设备简单，操作方便。但是由于苛性钠供应紧张，亚硫酸钠的销路有限，故此种方法仅适用小规模的生产，即含 SO_2 废气量一般不超过 10 万 m^3（标准状态）/h。

碱液吸收法，除采用苛性钠（NaOH）溶液作为吸收剂外，亦可采用纯碱（Na_2CO_3）溶液作为吸收剂，吸收的化学反应为：

$$2Na_2CO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHCO_3 + Na_2SO_3$$

$$2NaHCO_3 + SO_2 \longrightarrow Na_2SO_3 + 2CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHSO_3$$

六、双碱法

双碱法先用碱性吸收液进行烟气脱硫，再用石灰乳或石灰石粉末再生吸收液，由于采用液相吸收，亚硫酸氢盐比亚硫酸盐的溶解度大，避免石灰/石灰石洗涤法的结垢问题，还可以得到纯度较高的石膏。双碱法分为钠碱双碱法和碱性硫酸铝-石膏法两大类，主要以前者为主。

钠碱双碱法采用钠化合物（NaOH、Na_2CO_3、Na_2SO_3）为第一碱，吸收 SO_2，吸收液用石灰或石灰石作为第二碱再生，吸收效率高，但碱耗较大。

吸收：

$$2NaOH + SO_2 \longrightarrow Na_2SO_3 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + SO_2 \longrightarrow Na_2SO_3 + CO_2$$

$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2NaHSO_3$$

再生：

$$2NaHSO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Na_2SO_3 + CaSO_3\cdot\frac{1}{2}H_2O\downarrow + CO_2\uparrow + \frac{1}{2}H_2O$$

$$2NaHSO_3 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Na_2SO_3 + CaSO_3\cdot\frac{1}{2}H_2O\downarrow + \frac{3}{2}H_2O$$

$$Na_2SO_3 + CaCO_3 + \frac{1}{2}H_2O \longrightarrow 2NaOH + CaSO_3\cdot\frac{1}{2}H_2O\downarrow$$

图 4-28 为双碱法流程，烟气在吸收洗涤塔被洗涤后排放，SO_2 转化为 $NaHSO_3$，部分吸收液至混合槽，用石灰处理，生产不溶性的 $CaSO_3$ 和可溶

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

性的 Na_2SO_3，重复使用。

七、稀硫酸/石膏法（千代田法）

这是由日本首创的一种脱硫方法，1972 年正式工业规模投产使用。

此方法的原理是以稀硫酸吸收废气中的 SO_2，然后，在氧化塔中在催化剂（含 Fe^{3+}）存在的条件下，经空气氧化制成硫酸，一部分硫酸回吸收塔内循环适用，另一部分送去与石灰石反应生成石膏。此法吸收氧化总的反应为：

$$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{催化剂}} 2H_2SO_4$$

生成石膏的反应为：

$$H_2SO_4 + CaCO_3 + H_2O \cdots \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2 \uparrow$$

或者

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

此法的流程如图 4-29 所示。

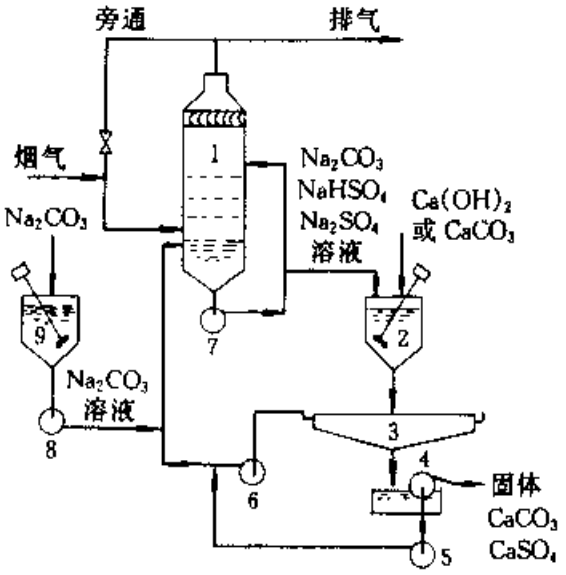


图 4-28　双碱法烟气脱硫的一般流程

1—洗涤塔；2—混合槽；3—稠化器；4—真空过滤器；5，6，7，8—泵；9—混合槽

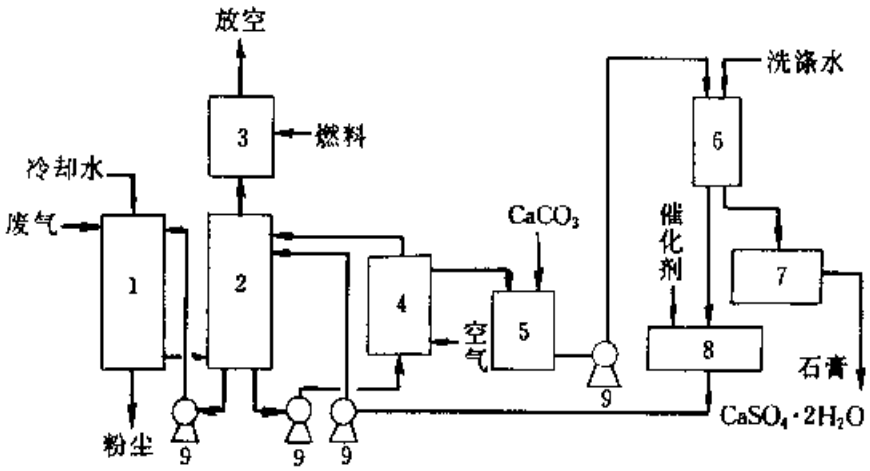


图 4-29　稀硫酸/石膏法脱硫流程示意图

1—冷却塔；2—吸收塔；3—加热塔；4—氧化塔；5—结晶塔；6—离心机；7—输送机；8—吸收液贮槽；9—泵

废气先经冷却塔冷却至 45～85℃，同时除尘。冷却后的气体进入吸收塔底，与从氧化塔溢流过来的吸收液逆流接触，SO_2 被吸收。废气经加热器加热至 130～140℃后排放。吸收液从吸收塔流出，一部分送入氧化塔，由空气氧化，依靠氧化催化剂（如硫酸亚铁等铁离子物质）存在，亚硫酸被氧化成硫酸。从氧化塔流出的稀硫酸浓度约 2.5%～3%，送入结晶槽，在结

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

晶槽内加入粒度 200 目以下的石灰石，生成石膏，经过一定时间，石膏结晶长大，用离心机将石膏结晶与吸收液分开后，可以得到石膏，而分离出的吸收液，流入吸收液贮槽中，催化剂得到补充，再返回吸收塔吸收 SO_2。

此法简单，操作容易，不需特殊设备和控制仪表，能适应操作条件的变化，脱硫率可达 98%，投资和运转费用较低。此法的缺点是稀硫酸腐蚀性较强，必须采用合适的防腐材料。同时，所得稀硫酸浓度过低，不便于使用和运输。

八、吸附法

吸附法脱硫，属于干法脱硫的一种。最常用的吸附剂是活性炭，当烟气中有水蒸气和有氧条件下，用活性炭吸附 SO_2 不仅是物理吸附，而且存在着化学吸附。由于活性炭表面具有催化作用，使烟气中的 SO_2 被 O_2 氧化成 SO_3，SO_3 再和水蒸气反应生成硫酸。活性炭吸附的硫酸可通过水洗出，或者加热放出 SO_2，从而使活性炭得到再生。此法的缺点是活性炭的用量很大。一个处理 15 万 m^3（标）/h 废气的吸附装置中，一次需装入 100t 以上活性炭。由于活性炭价格高、寿命短。因此使该方法的推广受到限制。活性炭吸附原理如下。

物理吸附：

$$SO_2 \longrightarrow SO_2^*$$

$$O_2 \longrightarrow O_2^*$$

$$H_2O \longrightarrow H_2O^*$$

化学吸附：

$$2SO_2^* + O_2^* \longrightarrow 2SO_3^*$$

$$SO_3^* + H_2O \longrightarrow H_2SO_4^*$$

$$H_2SO_4^* + nH_2O \longrightarrow H_2SO_4 \cdot nH_2O^*$$

总反应：

$$SO_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$

由于再生方法的不同而分不同工艺流程。

（1）净气法流程　属热再生法，吸附在 100～150℃ 进行，脱吸在 400℃ 进行，用惰性气体吹出。具体见图 4-30 所示。

（2）制酸法流程　含 SO_2 尾气先在文丘里洗涤器被来自循环槽的稀硫酸冷却。冷却后的气体进入装有活性炭的固定床吸附器，在气流连续流动的情况下间歇喷入水，以脱除碳孔中形成的硫酸，是一种水洗再生法。图 4-31 为制酸法的工艺流程图。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

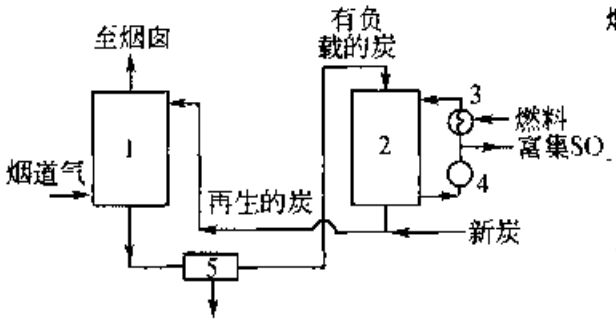


图 4-30 净气法工艺流程示意图

1—吸附器；2—脱吸器；3—加热器；4—鼓风器；5—筛

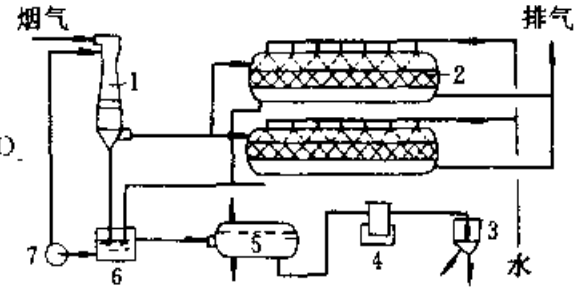


图 4-31 活性炭制酸法工艺流程图

1—文丘里洗涤器；2—吸附转化器；3—过滤器；4—冷却器；5—浸没燃烧器；6—循环槽；7—泵

第五节 氮氧化物污染及其治理

氮氧化物（NO_x）种类很多，包括氧化亚氮（N_2O）、一氧化氮（NO）、二氧化氮（NO_2）、三氧化氮（N_2O_3）、四氧化二氮（N_2O_4）及五氧化二氮（N_2O_5）等多种化合物。总称为氮氧化物（NO_x），但主要是 NO 与 NO_2，它们是常见的大气污染物。

一、氮氧化物的来源及危害

1. 氮氧化物来源

天然排放的氮氧化物，主要来自土壤和海洋中有机物的分解，属于自然界的氮循环过程。全世界由于自然界细菌作用等自然生成的氮氧化物每年约为 50×10^7t；由于人类的活动，人为产生的氮氧化物，每年约为 5×10^7t，占自然生成数量的十分之一，人为活动排放的氮氧化物大部分来自石化燃料的燃烧过程，如汽车、飞机、内燃机及工业窑炉的燃烧过程；也有来自生产、使用硝酸的过程，如氮肥厂、有机中间体厂、有色及黑色金属冶炼厂等。虽然人为活动排放量不及天然排放，但是由于其分布较为集中，与人类活动的关系较为密切，所以危害较大。

氮氧化物是以燃料燃烧过程中所产生的数量最多，约占总数的 80% 以上，其中热电厂的排放量可达 30% 以上。燃烧源可分为流动燃烧源和固定燃烧源。城市大气中的 NO_x（NO、NO_2）一般 2/3 来自汽车等流动源的排放，1/3 来自固定源的排放。无论是流动源还是固定源，燃烧产生的 NO_x 主要是 NO，只有很少一部分（视温度等情况不同，含量从 0.5% 到 10%）被氧化为 NO_2。一般都假定燃烧产生的 NO_x 中的 NO 占 90% 以上。据报道飞机尾气中的 NO_2 只有 13%～38%；柴油机排放中 $NO_2>10\%$。

燃料燃烧生成的 NO_x 可以分为以下两种。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（1）燃料型 NO_x（Fuel NO_x）：燃料中含有的氮的化合物在燃烧过程中氧化生产 NO_x。

（2）温度型 NO_x（Thermal NO_x）：燃烧时空气中的 N_2 在高温（>2100℃）下氧化生成 NO_x。

除燃烧以外，一些工业生产过程中也有氮氧化物的排放，化学工业中如硝酸、塔式硫酸、氮肥、染料、各种硝化过程（如电镀）和己二酸等生产过程中都会排放出氮氧化物。

当燃料在高温下燃烧，燃烧完全时，空气中的氮被氧化，从而产生大量的氮氧化物。据有关资料介绍，当燃料温度高于 2100℃时，空气中的氮有 1%以上被氧化为一氧化氮。以汽车尾气为例，燃烧温度和 NO 的生成量的关系列于表 4-13。

表 4-13 燃烧温度和 NO 生成量的关系

温度/℃	NO 浓度/(cm^3/m^3)	温度/℃	NO 浓度/(cm^3/m^3)
20	<0.001	1538	3700.0
427	0.3	2200	25000.0
527	2.0		

燃烧各种不同燃料时，产生的氮氧化物数量也有所区别，一般燃料在燃烧过程中排放的氮氧化物（NO_x）的数量列于表 4-14 中。从全球范围看，1976 年估计人为源的排放量约为 19×10^6t/a，目前已增加到约 50×10^6t/a。

表 4-14 燃料燃烧过程中的氮氧化物数量/kg

燃料名称	燃烧 1t 燃料所产生 NO_x	燃料名称	燃烧 1t 燃料所产生 NO_x
石油	9.1~12.3	煤	8~9
天然气	6.35~6.85		

一些化学工业生产过程中，排放的 NO_x 数量列在表 4-15 中。表中已将 NO_x 折算成二氧化氮（NO_2）的数量。

表 4-15 一些化工生产中排放的 NO_x

污染来源	平均排放量	污染来源	平均排放量
硝酸生产	30kg/t 己二酸	各种硝化过程	0.09~6.35kg/t 硝酸
己二酸生产	5.4kg/t 己二酸	对苯二甲酸生产	5.9kg/t 对苯二甲酸

硝酸尾气 NO_x 浓度约为 1000~3000cm^3/m^3。

2. 氮氧化物的危害

氮氧化物的污染，对人类及环境的危害是非常严重的。污染大气的氮氧化物实际上是一氧化氮和二氧化氮。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

一氧化氮与血液中血红蛋白的亲和力较强，可结成亚硝基血红蛋白或亚硝基高铁血红蛋白，从而使血液输氧能力下降，出现缺氧发绀症状。对正常人一般允许的最高浓度为 25cm³/m³，一旦发生高浓度急性中毒，将迅速导致肺部充血和水肿，甚至窒息死亡。

一氧化氮是无色、无刺激、不活泼的气体，在大气中可以氧化为二氧化氮。

二氧化氮是具有刺激性臭味的气体，呈棕红色。一氧化氮与二氧化氮对呼吸器官都有毒性，后者的毒性为前者的 4～5 倍。中毒浓度以 NO_2 计算时，0.12mg/m³ 可引起咽部刺激，短时间在 0.2～0.3mg/m³ 的环境中也是很危险的。我国规定最高允许浓度为 5mg/m³，国际规定为 5cm³/m³（换算成 NO_2）。接触时限为：10min，30cm³/m³；30min，20cm³/m³；60min，10cm³/m³。

二氧化氮吸入肺部，逐渐与水作用生成硝酸及亚硝酸。其反应为：

$$3NO_2 + H_2O \longrightarrow 2HNO_3 + NO$$

酸对肺部组织产生剧烈的刺激和腐蚀作用。慢性中毒时主要表现慢性上呼吸道或支气管炎症。也可以引起皮肤刺激及牙齿酸腐症。如吸入大量的 NO_2 时，会出现呼吸困难，意志丧失及中枢神经麻痹。

在阳光照射下，二氧化氮在环境中与碳氢化合物反应生成光化学烟雾，对人体可能有助癌性及致癌性作用。

氮氧化物对植物危害，主要是抑制其光合作用，造成发育受阻，破坏新陈代谢。

氮氧化物进入大气后，若被水雾粒子所吸收，会形成有较大的危害性的气溶胶状的硝酸、硝酸盐或亚硝酸盐等酸性雨雾。

二、氮氧化物的治理方法概述

化学工业生产过程中排放出的氮氧化物主要是一氧化氮和二氧化氮。此外，化工生产中亦需燃烧燃料，也有氮氧化物的排出。燃料燃烧时，氮氧化物排出量的多少，随燃料组成、燃烧温度、燃烧器结构等因素而不同。

脱除氮氧化物方法种类较多，比较普遍采用的有改进燃烧法、吸收法、催化还原法和固体吸附法等。各净化方法汇总见表 4-16 所示。

表 4-16 NO_x 净化方法分类

减少排放	改进燃烧法		减少排放	改进燃烧法	
干法	催化分解法		湿法	直接吸收法	碱中和吸收法
	催化还原法	非选择性催化还原法			酸吸收法
		选择性催化还原法		配位吸收法	
	吸附法			氧化吸收法	气相氧化吸收法
	熔融碱吸收法				液相氧化吸收法
	电子束照射法			液相还原法	

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

三、改进燃烧法

燃料燃烧时，既要保证燃料能充分利用，放出大量能量，同时，又要避免大量空气过剩，以防止产生大量的氮氧化物，造成环境污染，故燃烧时还应尽量减少过剩的空气量。据资料报道，采用分阶段燃烧的方法，即第一阶段采用高温燃烧；第二阶段采用低温燃烧。

这种燃烧过程中需吹入二次空气。采用分段燃烧的方法，可以使燃烧废气中氮氧化物的生成量，较原来降低30%左右。

四、吸收法

采用吸收方法脱出氮氧化物，是化学工业生产过程中比较普遍采用的方法。一般，将吸收法又可以大致归纳为以下几种类型，即：①水吸收法；②酸吸收法：硫酸法、稀硝酸法等；③碱性溶液吸收法：烧碱法、纯碱法、氨水法等；④还原吸收法：氯-氨法、亚硫酸盐法等；⑤氧化吸收法：次氯酸钠法、高锰酸钾法、臭氧氧化法等；⑥生成配合物吸收法：硫酸亚铁法等；⑦分解吸收法：酸性尿素水溶液等。

下面对常用的几种方法进行简单介绍。

1. 水吸收法

NO_2 或 N_2O_4 与水接触是，发生下列反应：

$$2NO_2(\text{或 } N_2O_4) + H_2O \longrightarrow HNO_3 + HNO_2$$

$$2HNO_2 \longrightarrow H_2O + NO + NO_2(\text{或 } N_2O_2)$$

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2(\text{或 } N_2O_4)$$

这表明二氧化氮与水反应，生成硝酸合亚硝酸，生成的亚硝酸很不稳定，立即分解，亚硝酸分解放出一氧化氮合二氧化氮。分解生成的 NO_2 又可以与水反应，生成硝酸和亚硝酸，而一氧化氮几乎不溶于水，溶解度在0℃下，100g 水中可溶解 7.34mL 的一氧化氮；在 100℃ 下，则完全不溶。一氧化氮可以与氧反应生成二氧化氮。

水对氮氧化物的吸收效率很低，主要是由一氧化氮被氧化成的二氧化氮的速度决定，因此当一氧化氮浓度很低时，一氧化氮氧化为二氧化氮的速率很慢，水吸收速率也就很低；反之，当一氧化氮浓度高时，吸收率有所增高。一般水吸收法的效率为30%～50%。

此法制得浓度为5%～10%的稀硝酸，可用于中和碱性污水，作为废水处理的中和剂，也可以去生产化肥等。

由于水吸收法多是在加压下操作，压力控制在 6～7kg/cm² 以上，这为降低操作费及设备费带来一定的困难。

2. 稀硝酸吸收法

此法是美国 Chenweth 研究所开发，在美国广泛用在硝酸厂的尾气治

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

理，可以回收硝酸，经济、简便。我国北京化工研究院及中科院环化所等单位也进行了这方面的研究、试验。

稀硝酸法是利用30%左右的稀硝酸、吸收氮氧化物，先在20℃和1.5×10^5Pa下，NO_x主要是被硝酸进行物理吸收，生成硝酸很少；然后将吸收液在30℃下用空气进行吹脱，吹出NO_x后，硝酸被漂白；漂白酸经冷却后再用于吸收NO_x。

因为氮氧化物在漂白稀硝酸中的溶解度，要比在水中溶解度高，一般采用此法NO_x的去除率可达80%～90%。

用稀硝酸吸收NO_x的流程如图4-32所示。

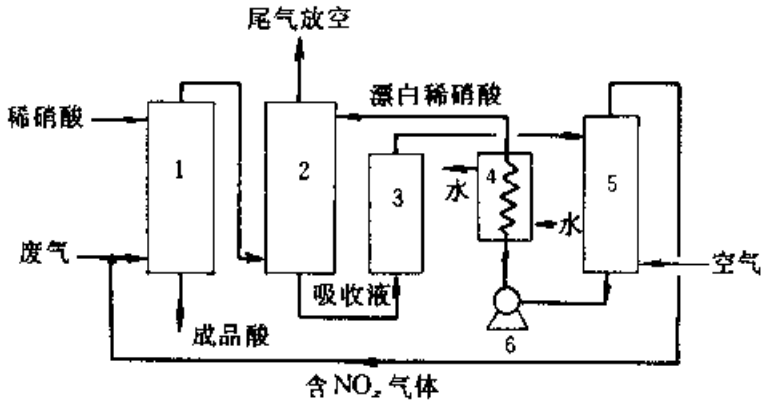


图4-32 稀硝酸吸收法流程示意图

1—第一吸收塔；2—第二吸收塔；3—加热器；4—冷却塔；5—漂白塔；6—泵

3．碱性溶液吸收法

此法的原理是利用碱性物质来中和所生成的硝酸和亚硝酸，使之变为硝酸盐和亚硝酸盐，使用的主要吸收剂有氢氧化钠、碳酸钠和石灰乳等。

（1）烧碱法　用NaOH溶液来吸收NO_2及NO，其反应为：

$$2NaOH + 2NO_2 \longrightarrow NaHO_3 + NaNO_2 + H_2O$$

$$2NaOH + NO_2 + NO \longrightarrow 2NaNO_2 + H_2O$$

只要废气中所含的氮氧化物，其中NO_2与NO的摩尔比大于或等于1时，NO_2及NO均可被有效吸收。生成的硝酸盐可以作为肥料。

我国的北京、上海等一些厂家采用此种方法，结果表明氮氧化物的脱除率可以达80%～90%。所使用的碱液浓度为10%左右。

（2）纯碱法　采用纯碱溶液吸收氮氧化物的反应为：

$$Na_2CO_3 + 2NO_2 \longrightarrow NaNO_3 + NaNO_2 + CO_2\uparrow$$

$$Na_2CO_3 + NO_2 + NO \longrightarrow 2NaNO_2 + CO_2\uparrow$$

因为纯碱的价格比烧碱要便宜，故有逐步取代烧碱法的趋势。但是纯碱法的吸收效果比烧碱差。据有的厂家实践，采用28%浓度的纯碱溶液，两

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

塔串联流程，处理硝酸生产尾气，氮氧化物的脱除效率约为 70%～80%；在碱液中添加氧化剂，可以提高效率，但处理费用也有所增加。

（3）氨法　此法是用氨水喷洒氮氧化物的废气，或者是向废气中通入气态氨，使氮氧化物转变为硝酸铵与亚硝酸铵。其反应为：

$$2NO_2 + 2NH_3 \longrightarrow NH_4NO_3 + N_2 + H_2O$$

$$2NO + \frac{1}{2}O_2 + 2NH_3 \longrightarrow NH_4NO_2 + N_2 + H_2O$$

$$2NO + \frac{1}{2}O_2 + 2NH_3 \longrightarrow NH_4NO_2 + 2NO + H_2O$$

由于氨法是气相反应，速度很快，反应于瞬间即可完成，从而可以有效进行连续运转。效率比较高，氮氧化物的脱除率可达 90%，此方法的缺点是处理后的废气中带有生成的硝氨与亚硝氨，形成雾滴，产生白色的烟雾，扩散到大气中造成二次污染。

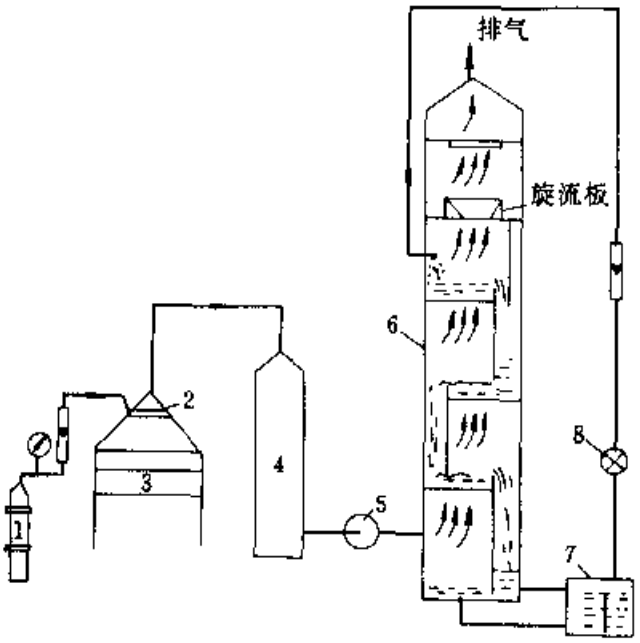


图 4-33　氨-碱溶液两段吸收流程示意图

1—液氨钢瓶；2—氨分布器；3—通风柜；4—缓冲器；5—风机；6—吸收塔；7—碱液循环器；8—碱泵

目前，又有采用氨法与碱溶液吸收法结合起来的二级处理办法。先用氨吸收，然后用碱液吸收。该法已取得了满意的效果，国内已经在不断推广应用。图 4-33 为典型的氨-碱溶液两段吸收流程示意图。

但是在采用氨法的过程中，有亚硝酸铵生成，亚硝酸铵不稳定，在温度较高或者是在酸性介质的条件下，可以进行激烈分解反应，可能发生爆炸。因此采用氨法时应尽量满足以下三个条件，即：操作温度应低于 35℃；一般溶液不能呈酸性；要控制亚硝铵的浓度不能高于 25%。

4．还原吸收法

目前，还原吸收法中主要有两种，一种是氯-氨法；另一种是亚硫酸盐法。

（1）氯-氨法　氯-氨法是利用氯的氧化能力与氨的中和还原能力，进行治理氮氧化物的方法，其反应如下：

$$2NO + Cl_2 \longrightarrow 2NOCl$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$NOCl + 2NH_3 \longrightarrow NH_4Cl + N_2\uparrow + H_2O$$

$$2NO_2 + 2NH_3 \longrightarrow NH_4NO_3 + N_2\uparrow + H_2O$$

此种方法 NO_x 的去除率比较高，可达 80%～90%；产生的 N_2 对环境也不存在污染问题，但是，由于同时还有氯化铵及硝酸铵产生，呈白色烟雾，需要进行电除尘分离，处理白色烟雾的二次污染。所以使本方法的推广使用受到限制。

因为氨本身可以看成是还原剂，能使 NO_x 还原为 N_2。所以，我们也可以将前面介绍的氨法，看成是还原吸收法的一种形式。

此外，利用氨作为还原剂时，还需注意氨还有可能与气体中的氧发生作用，而本身被氧化生成氮氧化物。因而还原过程的条件需要加以控制，以便使氨的还原性具有选择性，同时也还需要引入必要的催化剂。

一般是采用 Pt 作为催化剂，其含量约为 0.5%，以 Al_2O_3 为载体，载体可以加工成球状或蜂窝状。为使氨选择性地与氮氧化物反应，而不与气体中的氧反应，反应温度宜保持在 210～270℃之间。

氨与氮氧化物的反应如下：

$$8NH_3 + 6NO_2 \longrightarrow 7N_2\uparrow + 12H_2O$$

$$4NH_3 + 6NO \longrightarrow 5N_2\uparrow + 6H_2O$$

实验结果表明，对于含有 $3000cm^3/m^3$ 氮氧化物气体，经氨催化还原后，氮氧化物含量可降为 $10cm^3/m^3$。

(2) 亚硫酸盐法　关于采用亚硫酸盐水溶液吸收 NO_x 的方法，其原理亦是将氮氧化物吸收并还原为氮气。

其反应为：

$$2NO + 2SO_3^{2-} \longrightarrow N_2\uparrow + 2SO_4^{2-}$$

$$2NO_2 + 4SO_3^{2-} \longrightarrow N_2\uparrow + 4SO_4^{2-}$$

除了采用亚硫酸盐的水溶液来吸收氮氧化物之外，还可以采用硫化物及尿素等物质的水溶液来吸收氮氧化物，其反应式分别为：

$$4NO + S^{2-} \longrightarrow 2N_2\uparrow + SO_4^{2-}$$

$$2NO_2 + S^{2-} \longrightarrow N_2\uparrow + SO_4^{2-}$$

以及

$$NO + NO_2 + (NH_2)_2CO_2 \longrightarrow N_2\uparrow + CO_2 + 2H_2O$$

5. 氧化吸收法

由于 NO 很难被吸收，因而提出用氧化剂将 NO 先氧化成 NO_2，然后再用吸收液加以吸收。

常用的氧化剂有浓硝酸、次氯酸钠、高锰酸钾和臭氧等。日本的 NE 法

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

是采用碱性高锰酸钾溶液作为吸收剂，NO_x去除率达93%～98%，这类方法的效率较高，但运转费用比较高。

$$NO + 2HNO_3 \longrightarrow 2NO_2 + H_2O$$

6．硫酸亚铁法

此法是利用硫酸亚铁与NO反应，生成配合物而加以去除。其反应为：

$$FeSO_4 + NO \rightarrow Fe(NO)SO_4$$

$$xFeSO_4 + yNO \rightarrow (FeSO_4)_x(NO)_y$$

所生成的配合物不稳定，将其加热至60℃时，络合物进行分解，重新放出NO，其反应为：

$$(FeSO_4)_x(NO)_y \longrightarrow xFeSO_4 + yNO\uparrow$$

此法对于需要使用NO的场合比较适用，硫酸亚铁溶液经冷却到30℃以下，可以循环使用。但配位吸收法的吸收容量比较小，目前工业上还很少采用。

总之，虽然有许多物质可以作为吸收NO_x的吸收剂，种类也很繁多。使之对含NO_x废气的治理，可以采用多种不同的吸收方法，但是，从工艺，投资及操作费用等方面综合考虑，目前较多的还是碱性溶液吸收法及氧化吸收法。

一些碱液对NO_x的吸收率与NO_x浓度（换算成NO_2浓度）关系，分别表示在图4-34及图4-35中。

由图中可以看出，当加入氧化剂时，其吸收效率都比较高。

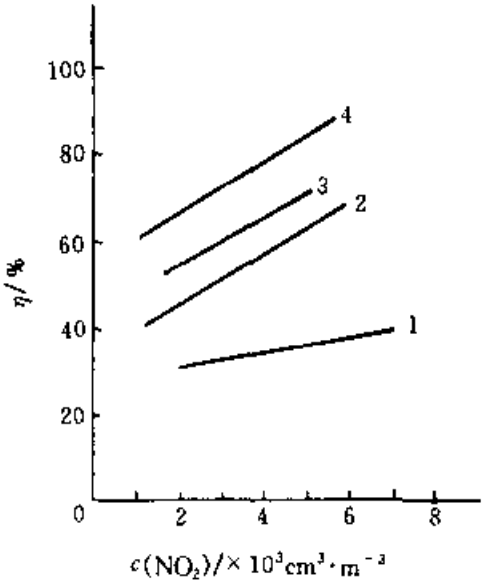


图4-34 碱液对NO_2的吸收率与NO_x浓度的关系曲线

1—水；2—50%$Ca(OH)_2$；3—5%漂白粉；4—2.5%$KMnO_4$+2.5%Na_2CO_3

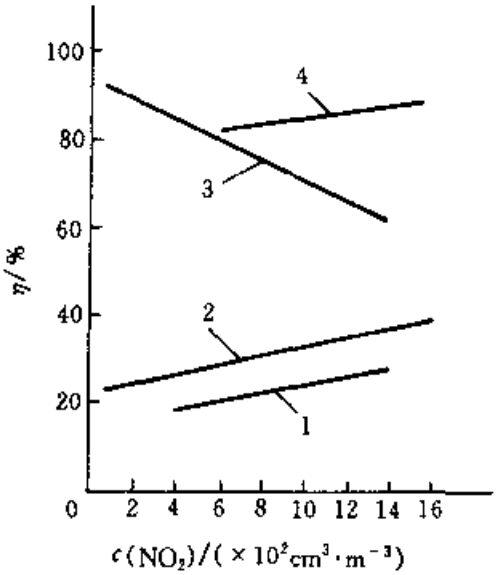


图4-35 碱液对NO_2的吸收率与NO_x浓度的关系曲线

1—水；2—5%NaOH；3—5%NaOH+Cl_2；4—5%NaOH+Cl_2+NH_3

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

五、催化还原法

催化还原法是指在催化剂存在下，使用还原剂将氮氧化物还原为氮气的方法。具体又分为选择性还原法和非选择性还原法两种。

1. 非选择性催化还原法

非选择性催化还原法，是将废气中的氧化氮和氧两者不加选择地一并还原，由于氧被还原时会放出大量的热，所以，采用非选择性还原法可以回收能量。如果回收合理，几乎在处理废气过程中不必再消耗能量。

非选择催化还原法所用的催化剂，基本上是钯，含催化剂量为0.5%（一般为0.1%～1%）左右，载体多用氧化铝。钯的催化活性较高，起燃温度较低，价格便宜。但是，使用之前对废气需先经过脱硫处理，以免钯被硫伤害。在气体中 SO_2 含量浓度大于 $1cm^3/m^3$ 时，催化剂钯就会中毒。

非选择催化还原法，目前多是用甲烷（CH_4）作为还原剂。甲烷（CH_4）与氮氧化物发生以下反应：

$$CH_4 + 4NO_2 \longrightarrow 4NO + CO_2 + 2H_2O \quad (1)$$

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (2)$$

$$CH_4 + 4NO \longrightarrow 2N_2 + CO_2 + 2H_2O \quad (3)$$

式（1）的反应速率最快，式（2）次之，式（3）最慢。催化反应需将气体预热至480℃左右，反应结束时可以控制温度不超过800℃为好，因此需要控制废气中的含量应保持在3%以下。

除甲烷之外，氢、一氧化碳和低碳化合物，或是上述组分的混合气体，如合成氨释放气、焦炉气、天然气、炼油厂尾气等，均可作还原剂。

非选择性催化还原法工艺流程分为一段反应和二段反应两种流程，具体工艺流程图见图4-36所示。

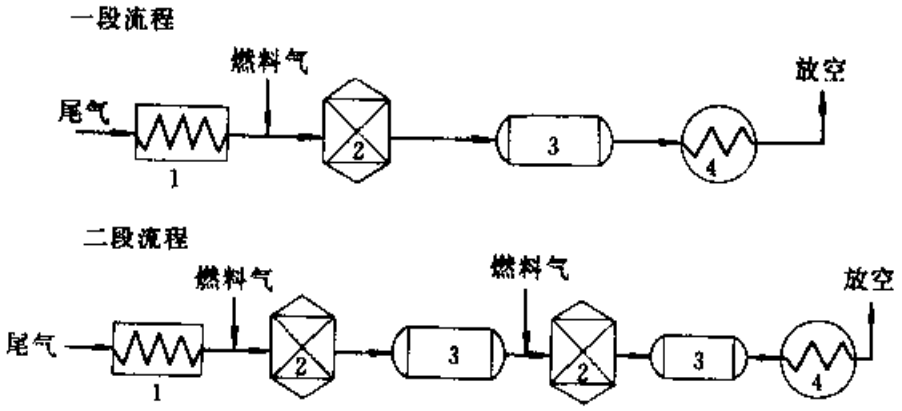


图4-36 非选择性催化还原法的流程示意图

1—预热器；2—反应器；3—废热锅炉；4—膨胀器

2. 选择性催化还原法

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

选用氨作还原剂，有选择性地和气体中的 NO_x 起反应，但氮和气体中的氧不起反应：

$$4NH_3 + 6NO \longrightarrow 5N_2 + 6H_2O$$

$$8NH_3 + 6NO_2 \longrightarrow 7N_2 + 12H_2O$$

一般选用铂作催化剂，也可以选用铜、铁、钒、铬、锰等的化合物。

六、固体吸附法

固体吸附法包括分子筛法、硅胶法、活性炭法和泥煤法等。

1. 分子筛法

常用的分子筛有泡沸石、丝光沸石等。它们对二氧化氮有较高的吸附能力，但是对于一氧化氮基本不吸附。然而在有氧的条件下，分子筛能够将一氧化氮催化氧化转变为二氧化氮加以吸附。

沸石分子筛具有较高的吸附 NO_2 能力，同时又可以耐热及耐酸等，是一种较有前途的吸附剂。

采用丝光沸石分子筛，吸附处理硝酸尾气，可使尾气中氧化氮的含量由 0.3%～0.5% 下降到 0.0005% 以下；但是合成的丝光沸石成本比较高，采用天然沸石还必须经过加工处理，即将原矿石粉碎为 80 目左右，在沸腾的稀盐酸溶液中处理，以除去矿石中的可溶性物质。

一般每处理 1kgNO_2 需使用 17kg 沸石。

此方法的缺点是设备体积庞大，成本较高，再生周期比较短。

2. 硅胶法

此法是以硅胶为吸附剂，硅胶亦是先将 NO 催化氧化成二氧化氮加以吸附再经过加热便可解吸。

图 4-37 及图 4-38 示出硅胶对二氧化氮的吸附能力和吸附效率。

当氮氧化物中的 NO_3 浓度高于 0.1%、NO 的浓度高于 1%～1.5% 时，采用硅胶吸附法效果良好。但气体中含固体杂质时不宜采用此法，因为固体杂质会堵塞吸附剂空隙而使其失效。

3. 活性炭法

活性炭对氮氧化物有很好的吸附能力，它能吸附 NO_2，还能促进 NO 氧化成 NO_2，然后用碱液再生处理：

$$2NO_2 + 2NaOH \longrightarrow NaNO_3 + Na_2NO_2 + H_2O$$

特定品种的活性炭对 NO_x 的吸附过程，是伴有化学反应的过程。氮氧化物被吸附到活性炭表面后，活性炭对氮氧化物有还原作用，其反应为：

$$2NO + C \longrightarrow N_2 + CO_2$$

$$2NO_2 + 2C \longrightarrow N_2 + 2CO_2$$

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

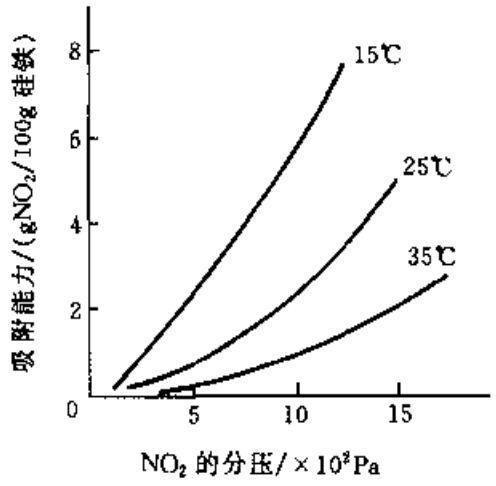


图 4-37 硅胶吸附 NO_2 能力

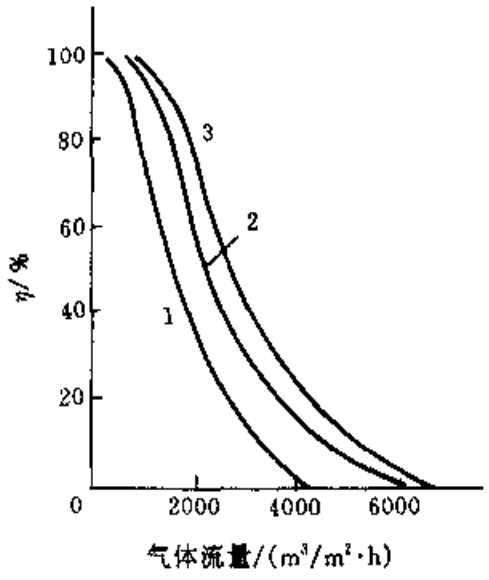


图 4-38 硅胶吸附 NO_2 效率

1—层高 $H=1.2$m；2—层高 $H=0.9$m；
3—层高 $H=0.6$m

活性炭对氮氧化物的吸附容量较小，仅为吸附二氧化硫的五分之一左右，因而需要活性炭的数量较大。另外，活性炭的解吸再生较为麻烦，处理不当又会发生二次污染，故实际应用有困难。活性炭吸附法的处理工艺见图 4-39 所示。

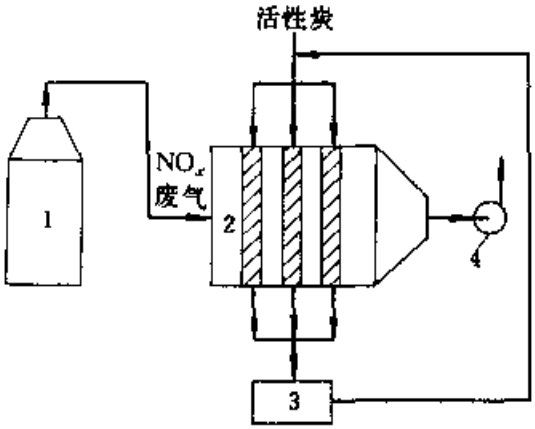


图 4-39 活性炭吸附法工艺流程

1—酸洗槽；2—固定吸收床；
3—再生器；4—风机

此外，近年来许多国家正在开展应用活性炭经过特殊处理后作为催化剂，使 NO 氧化成 NO_2 的研究。

4．泥煤法

国外，采用泥煤作为吸附剂，治理 NO_x 废气的方法，以苏联进行的研究较多。据资料报道，苏联是对泥煤先进行氨水处理，然后将氨水处理过的泥煤在流化床内吸附 NO_x。试验温度为 30～35℃，泥煤含水量为 40%～50%。在床内停留时间为几秒钟，对含 NO_x 为 0.3%～2.0%的废气，NO_x 的去除率可达 97%～99%。

吸附 NO_x 后的泥煤，可直接用作肥料不必再生。缺点是气体通过床层的压降较大。由于吸附过程中也伴有化学反应，机理较为复杂，目前还是处在试验阶段。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第五章 化工废渣处理及资源化

第一节 概 述

固体废物是指生产和生活活动中丢弃的固体和泥状物质。“废物”具有相对性，一种过程的废物往往可以成为另一种过程的原料，所以废物也有“放在错误地点的原料”之称。为了便于环境管理，国际上也将容器盛装的易燃、易爆、有毒、腐蚀等具有危险性的废液、废气，从法律角度上定为固体废弃物，执行固体废物管理法规，划入固体废物管理范畴。

固体废物的分类方法很多，按其性质可分为有机物和无机物；按其形态可分为固体的（块状、粒状、粉状的）和泥状的；按其来源可分为矿业的、工业的、城市生活的、农业的和放射性的等五类。在固体废物中凡是有毒性、易燃性、腐蚀性、反应性、传染性、放射性的废物列为有害废物。

一、化工废渣的来源

化学工业是对环境的各种资源进行化学处理和转化加工生产的部门。化工生产的特点是四多，即原料多、生产方法多、产品的品种多、产生的废物多。根据化工部门的统计，用于化学工业生产的各种原料最终约有三分之二变成了废物。而这些废物中固体废物约占二分之一以上，所以所用的各种原料中，最终有三分之一变成化工废渣，可见化工废渣产生量十分巨大，而且废渣也同样会对环境造成污染、危害。

化工废渣是指化学工业生产过程中产生的固体和泥浆废弃物，包括化工生产过程中排出的不合格的产品、副产物、废催化剂、废溶剂、蒸馏残液以及废水处理产生的污泥等。化工废渣的性质、数量、毒性与原料路线、生产工艺和操作条件有很大的关系。

由化工企业排放出的固体形式的废弃物质，凡是具有毒性、易燃性、腐蚀性、放射性等各种废弃物都属于有害废渣。化工废渣除由生产过程中产生之外，还有非生产性的固体废弃物，如原料及产品的包装垃圾、工厂的生活垃圾等，这些垃圾中也会有很多有害的物质。

化学工业固体废物的来源及废物名称如表 5-1 所示。

二、化工废渣的分类

按照化学性质进行分类，一般将化工废渣分为无机废渣和有机废渣。无机废渣有些是有毒的废渣，如铬盐生产排出的铬渣，其特点是废渣排放量

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 5-1 化学工业固体废物来源及主要污染物

生产类型及产品	主要来源	主要污染物
无机盐行业		
重铬酸钾	氧化焙烧法	铬渣
氰化钠	氨钠法	氰渣
黄磷	电炉法	电炉炉渣、富磷泥
氯碱工业		
烧碱	水银法、隔膜法	含汞盐泥、盐泥、汞膏、废石棉隔膜、电石渣泥、废汞催化剂
聚氯乙烯	电石乙炔法	电石渣
磷肥工业		
黄磷	电炉法	电炉炉渣、泥磷
磷酸	湿法	磷石膏
氮肥工业		
合成氨	煤造气	炉渣、废催化剂、铜泥、氧化炉灰
纯碱工业		
纯碱	氨碱法	蒸馏废液、岩泥、苛化泥
硫酸工业		
硫酸	硫铁矿制酸	硫铁矿烧渣、水洗净化污泥、废催化剂
有机原料及合成材料		
季戊四醇	低温缩合法	高浓度废母液
环氧乙烷	乙烯氯化（钙法）	皂化废渣
聚甲醛	聚合法	稀醛液
聚四氟乙烯	高温裂解法	蒸馏高沸残液
聚丁橡胶	电石乙炔法	电石渣
钛白粉	硫酸法	废硫酸亚铁
染料工业		
还原艳绿 FFB	苯绕蒽酮缩合法	废硫酸
双倍硫化氰	二硝基氯苯法	氧化滤液
化学矿山		
硫铁矿	选矿	尾矿

大、毒性强，对环境污染严重。有机废渣大多指的是高浓度有机废渣，其特点是组成复杂，有些具有毒性、易燃性和爆炸性，但其排放量一般不大。

根据废渣对人体和环境的危害性不同，通常又将化工废渣分为一般工业废渣和危险废渣。一般工业废渣常指对人体健康或环境危害性较小的废物，如硫酸矿烧渣和合成氨造气炉渣等。危险废渣则指的是具有毒性、腐蚀性、反应性、易燃易爆性等特性之一的废渣；铬盐生产过程中产生的铬渣、水银法烧碱生产过程中产生的含汞盐泥，各种有机化工生产过程中产生的含氮、硫、磷等有机物。

为了便于管理统计，化学工业固体废弃物一般按废物产生的行业和生产工艺过程进行分类。例如，硫酸生产过程中产生的硫铁矿烧渣；铬盐生产过

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

程中产生的铬渣；电石乙炔法聚氯乙烯等生产中产生的电石渣；烧碱生产过程中产生的盐泥，以及化工废水处理中产生的污泥等。

图 5-1 为化工废渣按来源的分类。

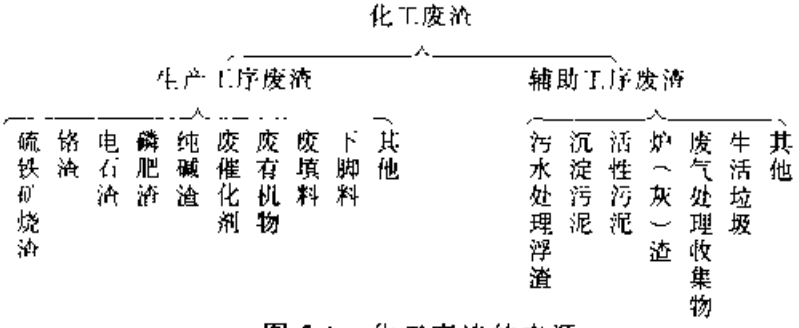


图 5-1 化工废渣的来源

三、化工废渣的特点

1. 废弃物产生和排放量比较大

化学工业固体废弃物产生量较大，约占全国固体废弃物产生量的 6.16%；排放量约占全国工业固体废弃物总排放量的 7.24%（1985 年）。

2. 化工固体废弃物中危险废物种类多，有毒物质含量高

化学工业固体废弃物中，有相当一部分具有极毒性、反应性、腐蚀性等特征，对人体健康和环境有危害或潜在危害。其中全国化工危险废弃物产生量约占化工固体废弃物产生量的 22%（1985 年）。常见化工危险废弃物主要有：

① 四氯乙烯、二氯甲烷、丙烯腈、环氧氯丙烷、苯酚、硝基苯、苯胺等有机物原料生产中用过的废溶剂（卤化或非卤化）、产生的蒸馏重尾馏分、蒸馏釜残液、废催化剂等；

② 三氯酚、四氯酚、氯丹、乙拌磷、毒杀芬等农药及其中间体生产中产生的蒸馏釜残液、过滤渣、废水处理剩余的活性污泥等；

③ 铬黄、锌黄、氧化铬绿等无机颜料、氯化法钛白粉生产中产生的废渣和废水处理污泥；

④ 水银法烧碱生产中产生的含汞盐泥，隔膜法烧碱生产中产生的废石棉绒；

⑤ 炼焦生产氨蒸馏塔的石灰渣、沉降槽焦油渣等。

3. 废弃物再资源化可能性大

化工固体废弃物组成中有相当一部分是未反应的原料和反应副产物，它们都是很宝贵的资源，如硫铁矿烧渣、合成氨造气炉渣、烧碱盐泥等，可用作制砖、水泥的原料。一部分硫铁矿烧渣、废胶片、废催化剂中还含有金、银、铂等贵金属，有回收利用的价值。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

四、固体废弃物的影响

固体废弃物由于产生量大，处理和处置水平与废气、废水处理水平相比要低得多，综合利用少、占地多、危害严重，是我国的主要环境问题之一。

目前，化工生产过程排出的废渣，除少部分综合利用和回收利用外，大部分排出的废渣采取堆存处理，每万吨废渣占地面积约 1.2～1.4 亩（15 亩＝1hm^2）。露天堆放废渣，不仅占用了大量的土地，而且废弃物经过雨淋湿浸出毒物，使土地毒化、酸化、碱化，其污染面积往往超过所占土地的数倍，并导致水体的污染。中国很多城市已被垃圾所包围。此外，废弃物如堆置不当还会造成很大的灾难，如尾矿或粉煤灰库冲决泛滥，淹没村庄、农田；泥石流中断公路、铁路、堵塞河道等灾难。一些工矿企业因无场地堆放废渣直接排往江河湖海，1989 年排往江河湖海的固体废弃物达 1250 万 t。

固体废弃物对大气的污染也是极为严重的，如固体废弃物中的尾矿粉煤灰、干污泥和垃圾中的尘粒将随风飞扬，进而移往远处；有些地区煤矸石含硫量高而自燃，像火焰山一样散发出大量的二氧化硫；化工和石油化工中的多种固体废弃物本身或在焚烧时能散发毒气和臭味，恶化周围的环境。

固体废弃物对土壤的污染方面也同样严重，废物堆置或垃圾填埋处理，经雨水浸淋，其渗出液及沥滤液中含有的有害成分会改变土壤和土质的结构，影响其中的微生物活动，妨碍植物的根系生长，甚至使所在之处成为不毛之地，或在植物机体内积蓄，危害食用。

在固体废弃物的危害中，最为严重的是危险性废物的污染。易燃、易爆和腐蚀性、剧毒性废物，易造成突发性严重灾难，而且有毒性或潜在毒性的废弃物会造成持续性的危害。如美国纽约州的“拉夫”运河，20 世纪 50 年代曾埋进 80 多种化学废物，十余年后陆续发现水井变臭、儿童畸形、成年人患无名奇症等问题，曾迫使 200 余户搬迁，直至该区成为无人居住的“禁区”。类似的例子，在世界范围内屡见不鲜，惨痛教训应当深深吸取。

化工废渣的种类复杂，成分繁多，性质各异，故目前对废渣的治理还不能像治理废气及废水那样形成系统。

第二节　化工废弃物处理技术

化工废弃物的处理与处置包括处理、处置两个方面，化工废弃物处理是指通过物理、物化、化学、生物等不同方法，使化工废弃物转化成为适于运输、储存、资源化利用以及最终处置的一种过程，因此化工废弃物的处理方法主要有物理处理、物化处理、化学处理、生物处理等四种。具体见图 5-2。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

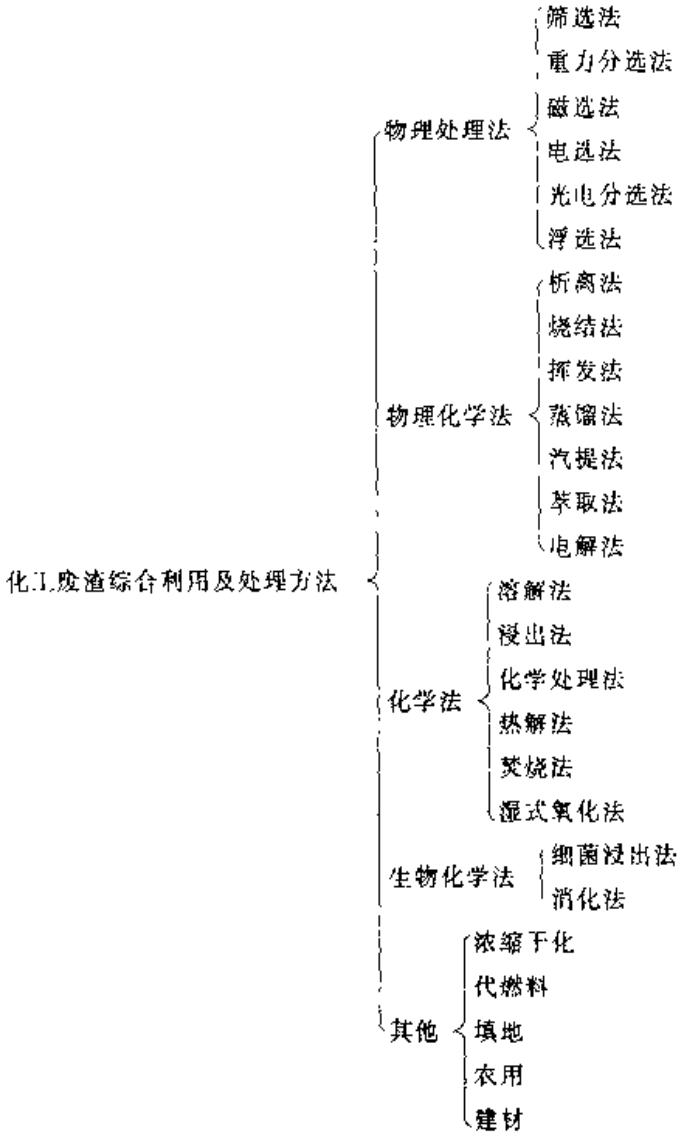


图 5-2 化工废渣主要处理方法

以下简要介绍废弃物常用的处理方法。

1. 压实

亦称压缩，是用物理方法提高固体废弃物的聚集程度，增大其在松散状态下的容重，减少固体废弃物的容积，以便于利用和最终处置。根据废弃物的类型和处置目的的不同，压实的处理流程不同。

(1) 对金属类废物，以材料回收和填埋处置为目的的压实处理流程如下。

金属废弃物 → 压实处理 → 坯块 → 再生回收
坯块 → 填埋处置

(2) 以材料回收再生为目的的压实处理流程如下。

金属废弃物→破碎→压实处理→坯块→回收再生

(3) 对有害垃圾进行填埋的压实处理流程如下。

有害垃圾→压实处理→坯块→沥青固化→填埋

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（4）对一般生活垃圾进行填埋处置的压实处理流程如下。

城市垃圾→压实处理→坯块→打包→填埋

目前，压实处理技术在部分工业发达国家已得到应用，并取得一定的经济效益，在我国还未广泛使用。压实处理的主要机械设备为压实器。

2．破碎

指用机械方法将废弃物破碎，减小颗粒尺寸，使之适合于进一步加工或能经济地再处理。所以通常不是最终处理，而往往作为运输、储存、焚烧、热分解、熔融、压缩、磁选等的预处理过程。这一技术在固体废弃物的处理和处置过程中，应用已相当普及，技术亦已相当成熟，按破碎的机械方法不同分为剪切破碎、冲击破碎、低温破碎、湿式破碎、半湿式破碎等。

（1）剪切破碎　是靠机械的剪切力（固定刀和可活动刀之间的啮合作用）将固体废弃物破碎成为适宜尺寸的过程。当前这种处理技术已广泛使用于金属、木质、塑料、橡胶、纸等许多固体废弃物的破碎。为了处理不同固体废弃物而设计的剪切破碎机械有冯罗尔（Von Roll）式往复剪切破碎机、林德曼（Lindemann）式剪切破碎机、旋转剪切破碎机、托尔马什（Tollemacshe）式旋转剪切冲击破碎机、油压式剪切破碎机。

（2）冲击破碎　是靠打击锤（或打击刃）与固定板（或打击板）之间的强力冲击作用将固体废弃物破碎的过程。这种处理技术主要适用于废玻璃、瓦砾、废木质、塑料及废家用电器等固体废弃物的处理。用于固体废弃物处理的冲击破碎机多数属旋转式，最常用的是锤式破碎机。

（3）低温破碎　是利用固体废弃物低温变脆的性质而进行有效破碎的方法，主要适用于废汽车轮胎、包覆、电线、废家用电器等。通常采用液氮作制冷剂，有代表性的废聚氯乙烯合成材料低温破碎流程为：

废物→切割机→储料槽→液氮室→冷却室→粉碎机→粗筛→分离器

（4）湿式破碎　是为了回收城市垃圾中的大量纸浆而发展起来的一种破碎技术。是基于纸浆在水力作用下发生浆化，因而可将废物处理与制浆造纸结合起来。该技术在部分工业发达国家已开始应用，主要通过湿式破碎机破碎。见图 5-3，此设备为一圆形立式转筒装置，底有许多筛眼，转筒内装有六只破碎刀，垃圾中的废纸经过分选作为处理原料，投入转筒内，因受大水量的激流搅动和破碎刀的破碎形成浆状，浆体由底部筛孔流出，经固液分离器把其中的残渣分出，纸浆送到纤维回收工段，经过洗涤、过筛、将分离出纤维素后的有机残渣与城市下水污泥混合脱水至 50%，送去焚烧炉焚烧处理，回收废热。在破碎机内未能粉碎和未通过筛板的金属、陶瓷类物质从机器的侧口排出，通过提斗送到传送带上，在传送过程中用磁选器将铁和非铁类物质分开。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

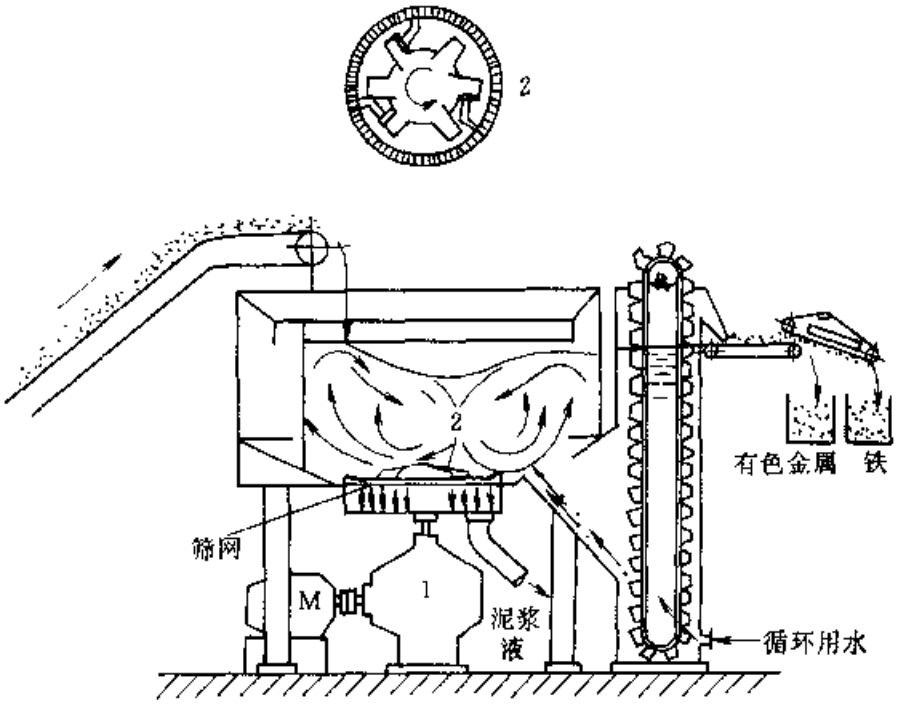


图 5-3 湿式破碎机

1—减速机；2—转子

（5）半湿式选择破碎 该技术是基于废弃物中各种组分的耐剪切、耐压缩、耐冲击性能的差异，采用半湿式（加少量的水）在特制的具有冲击、剪切作用的装置中，对废物作选择性破碎的一种技术。半湿式选择破碎机结构见图 5-4，物料在半湿式选择破碎机中的选择破碎和分选分三级进行。物料投入后，刮板首先将垃圾组分中的玻璃、陶瓷等性质脆而易碎的物质破碎成细粒、碎片，通过第一阶段的筛网分离出去。分出的第一组物质采用磁力反拨、风力分选设备分别去除废铁、玻璃、塑料等得到堆肥原料。剩余垃圾进入滚筒第二阶段，继续受到刮板的冲击和剪切作用，具有中等强度的纸类物质被破碎，从第二阶段筛网排出。分出的第二组物质采用分选设备先去除长形物，然后用风力分选器将相对密度大一些的厨芥类和相对密度小的纸类分开。残余的垃圾，在滚筒内继续受到刮板的冲击和剪切作用而破碎，从滚筒的末端排出，其主要成分为延形性大的金属以及塑料、纤维、木材、橡胶、皮革等物质。第三组物质的分选设备由磁选机和剪切机组成，剪切式破碎机把原料剪切到合乎热分解气化要求的粒度，然后可以利用其相对密度的差异，进一步将金属类和非金属类分开。

3. 分选

主要是依据各种废弃物的不同物理性能进行分选处理的过程。固体废弃物的分选有很大的意义。废弃物在回收利用时，分选是继破碎以后的重要操作工序，分选效率直接影响到回收物质的价值和市场销路。分选的方法主要

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

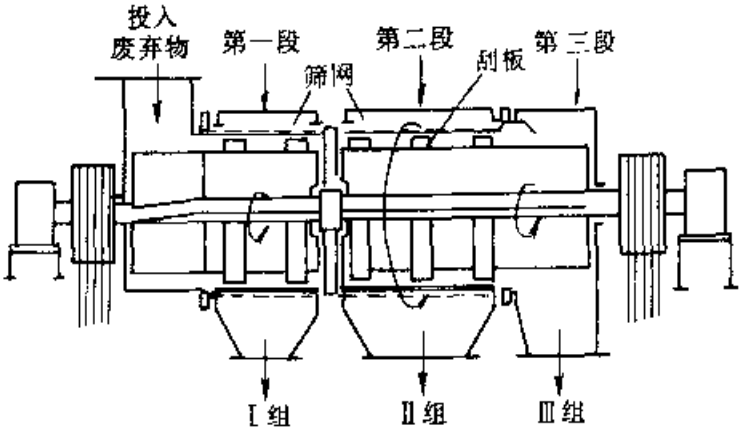


图 5-4 半湿式选择破碎分选机

有筛分、重力分选、磁力分选、浮力分选等。

(1) 筛分 是利用固体废弃物之间的粒度差，通过一定孔径的筛网上的振动来分离物料的一种操作方法。把可以通过筛孔的和不能通过筛孔的粒子群分开。筛分法通常和其他设备串联使用。该技术已经在固体废弃物资源回收和利用方面得到广泛应用。影响筛分效率的因素包括入选物料的性质、筛子的振动方式、振动频率、振幅大小、振动方向、筛子角度、粒子反弹差异、筛孔目数及筛孔大小等。

(2) 重力分选 是利用混合固体废弃物在介质中的相对密度差进行分选的一种方法。而分选的介质可以是空气、水，也可以是重液、重悬液等。从而可分为风力分选、惯性分选、重液分选等几种形式。

① 风力分选 是基于固体废弃物颗粒在风力作用下，相对密度大的沉降末速度大，运动距离比较近，相对密度小的沉降末速度小，运动距离比较远的原理，对不同相对密度的物质加以分选。目前，该技术在城市垃圾处理中已经得到广泛使用，不过影响固体颗粒物沉降末速度的因素很多，以至于在风选时往往不易达到预期的目的。为此，需要经过破碎、干燥等预处理，与风选组成一个联合流程。

② 惯性分选 是基于废弃物各组分的相对密度和硬度差异而进行分离的一种方式。根据惯性分选原理而设计的机械有弹道分选机、反弹滚筒分选机、斜板输送分选机等。目前该技术主要用于回收垃圾中的重金属、玻璃、陶瓷等相对密度较大的组分。

③ 重液分选是将两种密度不同的固体废弃物放在相对密度介子两者之间的重介质中，使轻的固体颗粒上浮、重固体颗粒下沉从而进行分选的一种方法。重介质主要有固体悬浮液、氯化钙水溶液、四溴乙烷水溶液等。该方法在国外用于从废金属混合物中回收铝已达到实用化程度。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(3) 磁力分选　是基于固体废弃物的磁性差异达到分选效果的一种技术。它是通过设置在输送带下端的一种磁鼓式装置来实现的。被破碎的废弃物通过皮带运输机传送到另一预处理装置时，下落废弃物中的碎铁渣被磁分选机吸在磁鼓装置上，从而得到优质的碎铁渣。它作为固体废弃物前处理的一种方法已经得到较普遍的采用，主要用于城市垃圾中钢铁回收、钢铁工业尘泥及废渣中原料的回收。

(4) 浮选法　是根据固体废弃物粒子表面的物理、化学性质不同，在其中加入浮选药剂，通入空气在水中形成气泡，使其中一种或一部分粒子选择性地吸附在气泡上被浮到表面与液相分离的操作。根据分离对象不同可分为：浮游选矿、离子浮选、分子浮选及胶体浮选等。浮选技术在工矿企业固体废弃物处理方面的应用实例很多，如粉煤灰浮选回收炭、炼油厂碱渣作浮选捕收剂等。

(5) 静电分离技术　这是利用各种物质的电导率、热电效应及带电作用不同而分离被分选物料的方法。用于各种塑料、橡胶和纤维纸、合成皮革与胶卷等物质的分选是有效的。例如给两种性能不同塑料的混合物加以电压，使一种塑料荷负电、另一种荷正电，就可以使两者得以分离开。

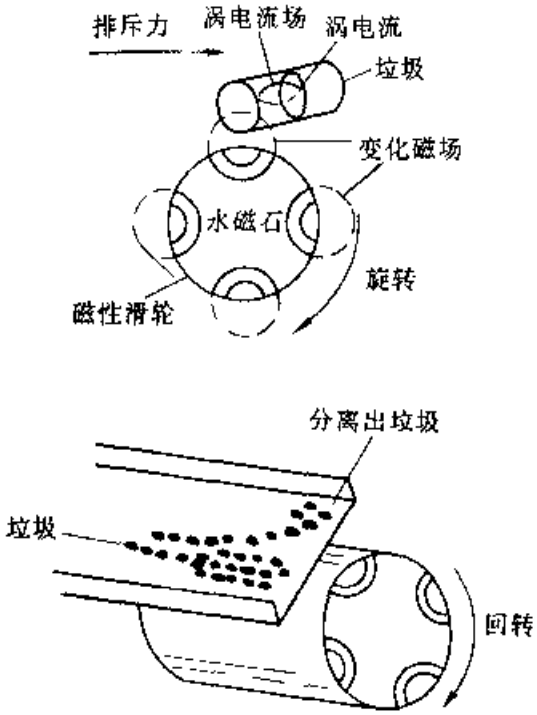


图 5-5　涡电流分离原理示意图

(6) 涡电流分离技术　将非磁性而导电的金属（铜、铅、锌等）置于不断变化的磁场中，金属内部会产生涡电流并产生排斥力。由于排斥力随物质的固有电阻、导磁率等特性及磁场密度的变化速度及大小而异，从而能起到分离金属物料的作用（涡电流分离的原理见图 5-5）。但是，排斥力受金属块的大小、性质、种类及表面状态的影响，所以涡电流分离法用于固体废弃物中回收金属物质是比较困难的。

(7) 光电分离技术　它是利用物质表面光反射特性的不同面分离物料的方法。先确定一种标准的颜色，让含有与标准颜色不同的颜色的粒子混合物经过光电分离器时，在下落过程中，当照射到和标准颜色不同的物质粒子时，改变了光电放大管的输出电压，经电子装置增幅控制，瞬间地喷射压缩空气面改变异色粒子的下落方向。这样将与标准颜色不同的物质被分离出来。操作原理见图 5-6。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

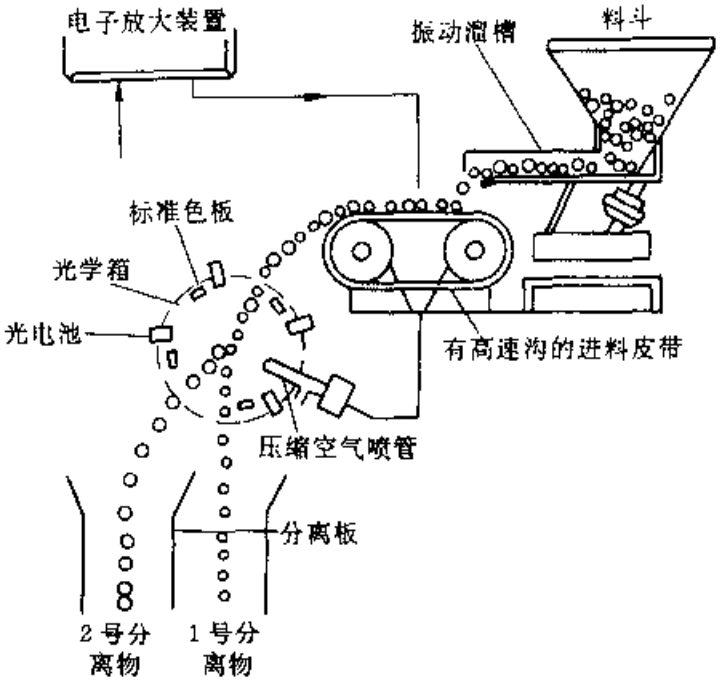


图 5-6　光电分离的操作原理

4. 固化技术

是指通过物理或化学法，将废弃物固定或包含在坚固的固体中，以降低或消除有害成分的溶出特性。固化法开始于三十多年前，当时日本为解决放射性废弃物的凝聚沉淀、蒸发、粒子交换等处理后的二次废物即污泥及浓缩液的处理问题而提出的，现在这一技术正在不断深化。目前，根据废弃物的性质、形态和处理目的可供选择的固化技术有以下 5 种方法，即水泥基固化法、石灰基固化法、热塑性材料固化法、高分子有机聚合法和玻璃基固化法，详见表 5-2。

5. 增稠和脱水

在生产工艺本身或化学工业废水处理过程中，常常产生许多沉淀物和漂浮物。比如在污水处理系统中，直接从污水中分离出来的沉砂池的沉渣、初沉池的沉渣、隔油池和浮选池的油渣、废水通过化学处理和生物化学处理产生的活性污泥和生物膜、高炉冶炼过程排出的洗气灰渣、电解过程排出的电解泥渣等，它们统称为污泥，污泥的重要特征是含水率高。在污泥处理与利用中，核心问题是水和悬浮物的分离问题，即污泥的增稠和脱水问题。

脱水是进一步降低污泥中含水率的一种方法，主要有自然干化法和机械脱水法。自然干化法是利用太阳自然蒸发污泥中的水分。机械脱水法主要是利用机械脱水设备进行脱水的，机械脱水设备有真空过滤机、板框压滤机、带式压滤机和离心脱水机等几种。

6. 焚烧

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 5-2 固化技术及其比较

方 法	要 点	评 论
1. 水泥基固化法	将有害废弃物与水泥及其他化学添加剂混合均匀，然后置于模具中，使其凝固成固化体，将经过养生后的固化体脱模，经取样测试浸出结果，其有害成分含量低于规定标准，便达到固化目的	方法比较简单，稳定性好，容积和重量增大；有可能作建筑材料，对固化的无机物，如氧化物可互容，硫化物可能延缓凝固和引起破裂，除非是特种水泥，卤化物易从水泥中浸出，并可能延缓凝固，重金属互容，放射性废物互容
2. 石灰基固化法	将有害废弃物与石灰及其他硅酸盐类，并配以适当的添加剂混合均匀，然后置于模具中，使其凝固成固化体，将经过养生后的固化体脱模，经取样测试浸出结果，其有害成分含量低于规定标准，便达到固化目的	方法简单，固化体较为坚固，对固化的有机物，如有机溶剂和油等多数抑制凝固，可能蒸发逸出，对固化的无机物如氧化物互容，硫化物互容，卤化物可能延缓凝固并易于浸出，重金属互容，放射性废物互容
3. 热塑性材料固化法	将有害废弃物同沥青、柏油、石蜡或聚乙烯等热塑性物质混合均匀，经过加热冷却后使其凝固而形成塑胶性物质的固化体	该法与前两种方法相比，固化效果更好，但费用较高，只适用于某种处理量少的剧毒废弃物。对固化的有机物，如有机溶剂和油，则有机物在加热条件下，可能蒸发逸出。对固化的无机物的硝酸盐、次氯化物、高氯化物以及其他有机溶剂等则不能采用此法，但却与重金属、放射性废弃物互容
4. 高分子有机物聚合稳定法	将高分子有机物，如脲醛等不稳定的无机化学废弃物混合均匀，然后将混合物经过聚合作用而生成聚合物	此法与其他方法相比，只需少量的添加剂，但原料费用较昂贵，不适于处理酸性以及有机废弃物和强氧化性废弃物，多数用于体积小的无机的废弃物
5. 玻璃基固化法	将有害废弃物与硅石混合均匀，经高温熔融冷却后而形成玻璃固化体	该法与其他方法相比，固化体性质极为稳定，可安全地进行处置，但处理费用昂贵只适于处理极有害的化学废弃物和强放射性废物

焚烧是一种高温处理和深度氧化的综合工艺，通过焚烧（温度在800～1000℃）使其中的化学活性成分被充分氧化分解，留下的无机成分（灰渣）被排出，在此过程中废弃物的容积减少，毒性降低，同时可达到回收热量及副产品的双重功效。而今城市垃圾的焚烧已成为城市垃圾处理的三大方法之一，在处理方面的技术地位仅次于填埋。之所以得到如此广泛的应用，是因为它有许多独特的优点。

① 减容（量）效果好，占地面积小，基本无二次污染，且可以回收热量；

② 焚烧操作是全天候的，不易受气候条件所限制；

③ 焚烧是一种快速处理方法，使垃圾变成稳定状态，填埋需几个月，

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

在传统的焚烧炉中，只需在炉中停留 1h 就可以达到要求；

④ 焚烧的适用面广，除可处理城市垃圾以外，还可处理许多种其他有毒废弃物。

当然焚烧方法也存在一些问题：

① 基建投资大，占用资金期较长；

② 对固体废弃物的热值有一定的要求；

③ 要排放一些不能够从烟气中完全除去的污染气体；

④ 操作和管理要求较高。

焚烧设备主要有流化床焚烧炉、多段炉、转窑、敞开式焚烧炉、双室焚烧炉等。

7. 热解技术

热解技术是在氧分压较低的条件下，利用热能使可燃性化合物的化合键断裂，由大相对分子质量的有机物转化成小相对分子质量的燃料气体、油、固形碳等。与焚烧不同，焚烧是在氧分压比较高的条件下使有机物在高温下完全氧化，生成稳定的 CO_2 和 H_2O，同时释放能量。

20 世纪 60 年代以来，城市垃圾成分发生了很大的变化，垃圾中可燃成分比例有了较大的提高。据报道，欧洲经济共同体国家垃圾平均热值达 7500kJ/kg，已相当于褐煤的发生量。实践表明这是一种有前途的固体废弃物处理方法。

目前，世界各国研究的热解系统多种多样，但主要还是以移动床系统、流化床系统及转炉系统采用的最为广泛。其中较著名得有 Purox 法、两塔循环法、Landgard 法。近几年又出现了落下床辐射炉、热载体分解炉等新的工艺方法。1981 年我国农机科学研究院，利用低热值的农村废物进行了热解燃气装置的试验并取得成功。

热解法和其他方法相比，有以下优点。

① 因热解是在氧分压较低的还原条件下进行，因此发生的 NO_x、SO_x、HCl 等二次污染较少，生成的燃料气或油能在低空气比下燃烧，因此废气量比较少，对大气造成的二次污染也不明显；

② 能够处理不适于焚烧的难处理固体废弃物；

③ 热解残渣中，腐败性有机物含量少，能防止填埋厂的公害，排出物密度高、致密，废物被大大减容，而且灰渣被熔融，能防止重金属类溶出；

④ 能量转换成有价值的、便于储存和运输的燃料。

8. 堆肥技术

堆肥技术是依靠自然界广泛分布的细菌、放线菌、真菌等微生物，人为地促进可被生物降解的有机物向稳定的腐殖质转化的生物化学过程。堆肥化

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的产物称为堆肥，可作为土壤改良剂和肥料，从而防止有机肥力减退，维持农作物长期的优质高产。这种方法越来越受到重视，成为处理城市生活垃圾的一种主要方法。

我国堆肥法历史悠久，以前人们长期使用露天堆肥法，尽管技术落后，但对农村的生活垃圾和人畜粪便给了必要的处理和利用。随着社会的进步、人口的增长，各种可以用作堆肥的废弃物泛滥成灾，堆肥技术已转向为处理城市生活垃圾的重要手段之一。我国一些城市已经开展了这方面的工作，并取得了一定的经验。

堆肥化按需氧程度区分，有好氧堆肥和厌氧堆肥；按温度区分，有中温堆肥和高温堆肥；按技术区分，有露天堆肥和机械密封堆肥。习惯上以第一种分类方法来区分。

第三节　主要化工废渣回收利用技术

化工废渣的治理应从改革工艺路线入手，尽可能采用无毒、无害或低毒、低害的原料和能源，采用不产生或少产生废渣的新技术、新工艺、新设备，最大限度地提高资源和能源的利用率，把废渣消灭在生产过程中。同时对产生的固体废弃物进行积极的无害化处理，而且要做到物尽其用，使固体废弃物进行资源化回收和利用，即所谓的固体废物“从摇篮到坟墓”的管理控制体系（见图 5-7）。固体废物“减量化”的基本途径见图 5-8。

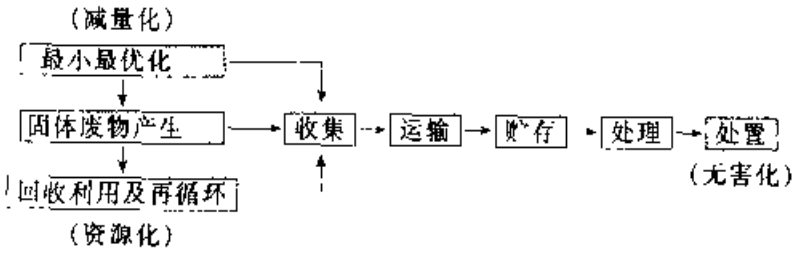


图 5-7　固体废物“从摇篮到坟墓”的管理控制体系

一、塑料废渣的处理和利用

塑料废渣属于废弃的有机物质，主要来源于树脂生产过程、塑料的制造加工过程以及包装材料。塑料的物理性质之一是在低温条件下可以软化成型。另外在有催化剂的作用下，通过适当温度和压力，高分子可以分解为低分子烃类。根据这些物理、化学性质，可以将塑料废渣热解或者可以加热成型，塑料的另一个特点是种类繁多，用途广泛，而废塑料则是杂品混合，性质各异。要想再生利用，对其进行预分选操作是不可避免的一个环节。根据各种塑料废渣的不同性质，通过预分选后，废塑料可进行熔融固化或热分解处理。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

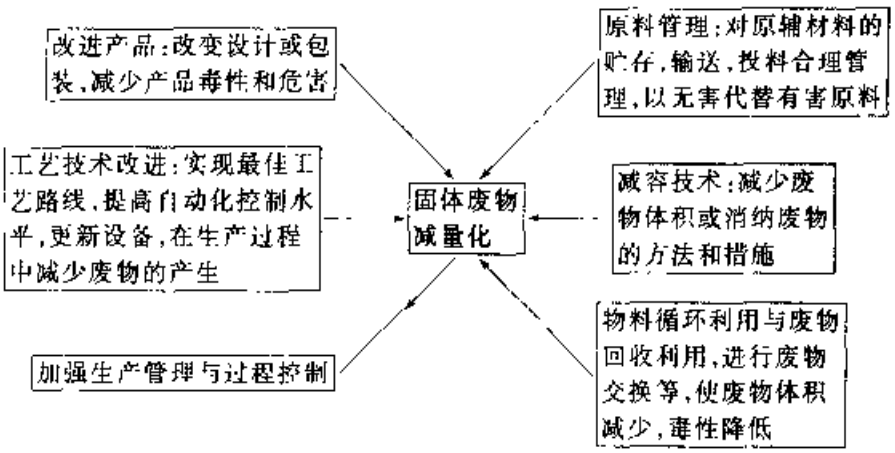


图 5-8 固体废物“减量化”的基本途径

处理和利用塑料废渣的途径大致有以下几个方面，即再生处理法、热分解法、焚烧法及湿式氧化法和化学氧化法等。但很多塑料含有氯（如聚氯乙烯等），当用焚烧法处理废塑料时，由于产生氯化物排入大气，会产生二次污染，而且对焚烧设备腐蚀尤其严重，要消除这些危害需增加多种废气净化措施，从而造成经济和管理上的负担。从资源的有效利用考虑，废塑料也不宜采用焚烧法处理，因而焚烧法处理也非上策，是万不得已的处理方法。

1．预分选

一般废品中的废塑料均为混合体。废塑料在以往的使用过程中或是混杂于其他废物中时，或多或少附有泥、砂、草、木等，有时还会与金属等别种物质共同构成物件如电线，包覆线等。因此其预处理工艺是很复杂的。

首先需要对废塑料进行粉碎。塑料具有韧性，经低温处理增加其脆性则有利于粉碎作业。事前可加以必要的水洗，或者在粉碎后水洗或水选，也可用不同密度的液体进行浮选，还可在水洗干燥后再风选。这类过程都是利用密度不同而完成分离工作。有时，为了排除铁质金属也可采用磁选。为了减少分选的困难，往往在回收废塑料时就要注意分类收集。例如在塑料工厂回收塑料时，由于工厂生产常用单一性质的塑料生产制品，这样就可把这种单一的塑料收集在一起，或按生产车间分别回收不同的塑料。若是能要求废品收购站在回收废塑料时按不同的类型加以集中，则对分选工作也带来方便。如某工厂的某种废塑料量少时，也可按地区由几处地方联合回收某一品种的塑料。

2．熔融固化法

从再生制品的质量考虑，根据投加材料区别分为两类，一类是在回收的废塑料中按一定比例加入新的塑料原料，从而提高再制品的性能。或是从混合废塑料中，按不同密度回收各种塑料，再依其不同密度以一定配比制成再生制品。全过程如图 5-9 所示。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

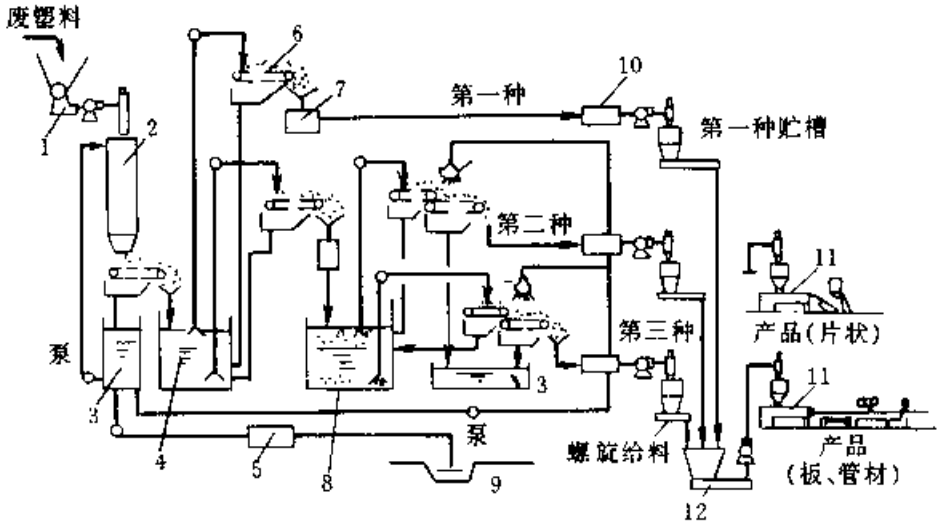


图 5-9 熔融固化法处理废塑料工艺流程图

1—破碎机；2—洗涤塔；3—贮水槽；4—第一分离槽（水）；5—污水处理机；6—螺旋输送器；7—离心脱水机；8—第二分离槽（重分度）；9—排水槽；10 气流干燥管；11 挤压机；12—混合螺旋给料机

另一类是在废塑料中加入廉价的填料。如用废塑料制造可替代木料的塑料柱，或制成马路摆设用的大花盆等粗制品时，可加入一定量的污泥。如果制成在海洋中使用的鱼礁时，也可在回收的废塑料中加入一定比例的河砂，这样还可以增加密度，容易沉入海底。一般采用热载体熔融固化法进行，此法的过程是将热载体加热至 350～400℃后与常温废塑料混合（后者占比例为 40%～60%），在 200℃下用桨叶搅拌器混合 5～10min 后熔融、成型。其工艺如图 5-10 所示。制成品的外观与混凝土制品相似，抗拉强度亦相同，但压缩强度略低而抗弯强度较高，相对密度在 1.3～1.7 之间。

总之，回收的废塑料由于种类繁多，并夹杂了其他废物，一般只能做某些较粗糙的制品用于建筑材料，如铺路用的骨料、枕木、管道、坑木、鱼礁等，这是由于废塑料与塑料原料在性质上有一定的差异（主要是抗拉强度、伸缩性较差等）。

3. 再生处理法

再生处理法须根据各种废渣的不同性质分别对待。不同类型的塑料废渣，预先可以借助外观及其他特征加以鉴别区分。混合塑料废渣鉴别时通常采用分选技术。其中以相对密度分选法最为方便，该法是先将废渣粉碎，用不同密度的液体进行浮选，还可以在水洗干燥后进行风选。

对于单一种类热塑性塑料废渣的再生称为单纯性再生即熔融再生。整个再生过程由挑选、粉碎、洗涤、干燥、造粒或成型等几个工序组成。图 5-11 为塑料废渣熔融再生工艺流程。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

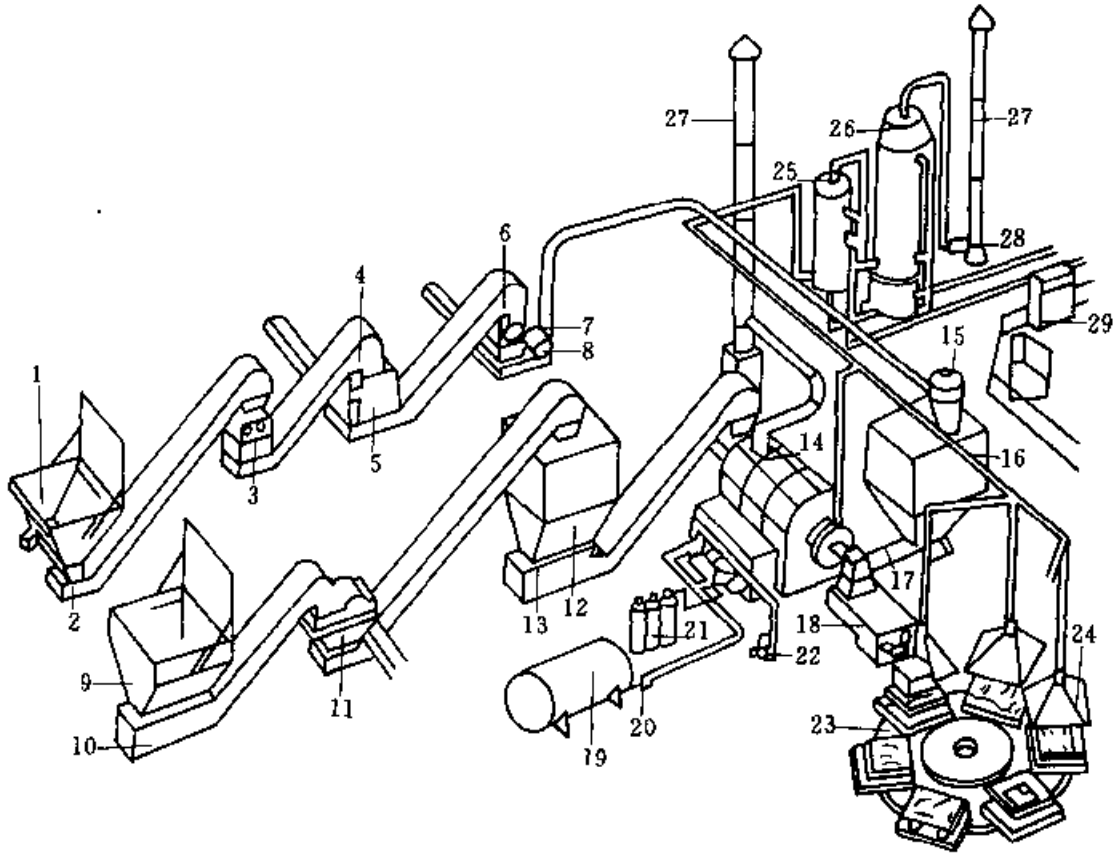


图 5-10　热载体熔融固化法处理废塑料装置系统图

1—废塑料贮槽；2—螺旋给料器；3—粗碎机；4，6—磁选机；5—风选机；7—粉碎机；8，22—鼓风机；9—砂料斗（一次）；10—皮带给料器；11—振动筛；12—砂料斗（二次）；13—皮带给料器；14—旋转窑；15—旋风除尘器；16—废塑料贮槽；17—螺旋给料器；18—混练机；19—燃料罐；20—燃料泵；21—丙烷钢瓶；23—成型台；24—废气吸收塔；25—冷却塔；26—洗涤塔；27—烟囱；28—排液风机；29—操作室

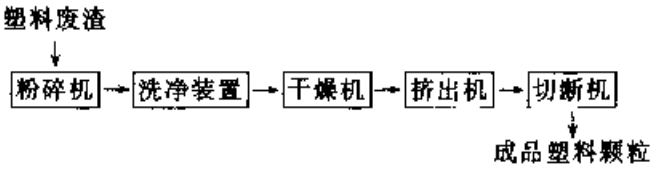


图 5-11　塑料废渣熔融再生工艺流程

（1）挑选　挑选的目的是要得到单一种类的热塑性塑料废渣，而将其他夹杂物分选出去。分选之前经常需要先将塑料废渣进行粉碎，粉碎到一定程度之后进行分选。

（2）粉碎　除对塑料废渣在分选之前需要进行粉碎之外，在送经挤出机之前，往往还需要对塑料废渣作进一步粉碎，所以粉碎是很重要的工序。

对不同的塑料废渣，应选用不同的粉碎设备。对小块的塑料废渣一般可采用剪切式粉碎机，对大块的废渣则以采用冲击式的粉碎机效果较好。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(3) 洗涤和干燥　塑料废渣常常带有油、泥沙及污垢等不清洁物质，故需进行洗涤处理，一般用碱水洗或酸洗，然后再用清水冲洗，洗干净之后还需进行干燥以免有水分残留而影响再生制品的质量。

干燥的方法很多，可以由阳光和风吹进行自然干燥，也可以利用气流干燥器设备进行干燥。

(4) 挤出造粒或成型　把经过洗净、干燥的塑料废渣，如果不再需要粉碎的话，就可以直接送入挤出机或者直接送入成型机，经加热使其熔融后便可以造粒或成型。

在造粒或成型过程中，通常还需要添加一定数量的增塑剂、稳定剂、润滑剂、颜料等辅助材料。辅助材料的选择和配方，应根据废渣的材料品种和情况来决定。

4. 热分解法

热分解法是通过加热等方法将塑料高分子化合物的链断裂，使之变成低分子化合物单体、燃烧气或油类等，再加以有效的利用。热分解的技术是希望尽可能在常压低温下进行，以节省能源，为此需采用有效的催化剂。不过对塑料热分解来说，从催化剂性能和使用寿命两方面要求，还未找到满意的催化剂，故催化剂尚未推广，目前主要采用热分解法。

被分解物质的加热性能，主要有导热系数和熔融热。聚苯乙烯、聚乙烯的导热系数分别为 0.08 与 0.35W/(m^2·K)，相当于木料的数值。聚丙烯、聚乙烯的熔融热分别为 58.6 和 71.1J/kg，塑料熔点一般在 100～250℃之间，虽然较低，但若加热不均匀局部可超过 500℃，会出现炭化等现象，应加以尽量避免。因此，在处理时均匀有加热是热分解过程中一项关键的技术。另外，聚氯乙烯、维尼纶等可能分解氯化物或重金属等物质，最好在废塑料处理时，可以通过密度分选法进行分离操作，将这些有害物排除。

聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等解酯反应型塑料进行热分解可生产该物质的单体，然后再生用做聚合原料。但聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等不规则分解型塑料只能分解成为 C_1～C_{30}的各种饱和烃类化合物和不饱和烃类化合物的混合物。目前尚不能进行进一步的分离，仅作为燃料使用，因为不含硫，可以作为较好的重油使用。

图 5-12 是加热分解法流程的示意图。这种方法需要将塑料废渣加热到熔融状态，一般要 380～400℃的高温才能开始热分解。

热分解产物 C_1～C_4 为气态烃、C_5～C_6 为轻质油、C_7～C_{30}为重质油。塑料热分解技术可以分为熔融液槽法、流化床法、螺旋加热挤压法、管式加热法等。目前可供实际应用的是前两种。

熔融液槽法工艺流程如图 5-13 所示。将经过破碎、干燥的废塑料加入

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

熔融液槽中，进行有效而均匀的加热熔化，并缓缓地分解。槽内温度保持在400℃左右，熔融槽温度为300～350℃，而分解温度为400～500℃。各槽均靠热风加热，分解槽有泵进行强制循环，槽的上部设有回流区（200℃左右），以便控制温度。焦油状或蜡状高沸点物质在冷凝器凝缩分离后须返回槽内再加热，进一步分解成低分子物质。低沸点成分的蒸气，在冷凝器内分离成冷凝液和不凝性气体，冷凝液再经过油水分离后，可回收油类。该油类粘度低，凝固点在0℃以下，发热量也高，是一种优质的燃烧油。但沸点范围广，着火点极低，最好能除去低沸点成分后再加以利用。不凝性气态化合物，经吸收塔除去氯化物等气体后，可作燃料气使用。回收油和气体的一部分可用作液槽热风的能源。本工艺的优点是可以任意控制温度而不致堵塞管路系统。

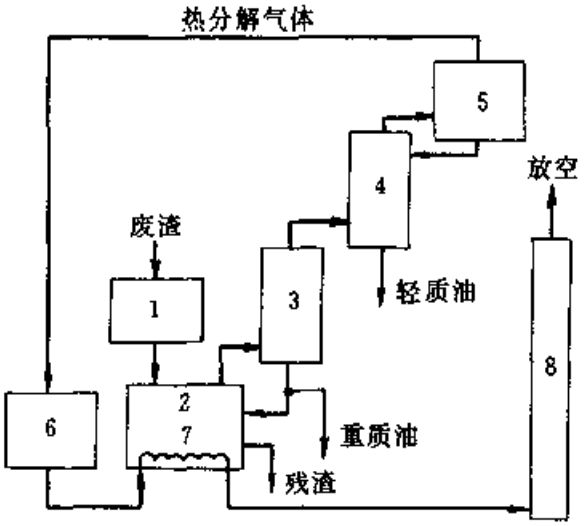


图 5-12　热分解法流程

1—破碎机；2—热分解室；3—重质油分离塔；4—轻质油分离塔；5—气液分离器；6—燃烧室；7—加热器；8—烟囱

图 5-14 为流化床工艺流程图，此法的特点是可以同时处理各种废塑料，床的单位容积处理量高。但其冷凝器体积大，收率较其他方法低些，回收单位效果差。

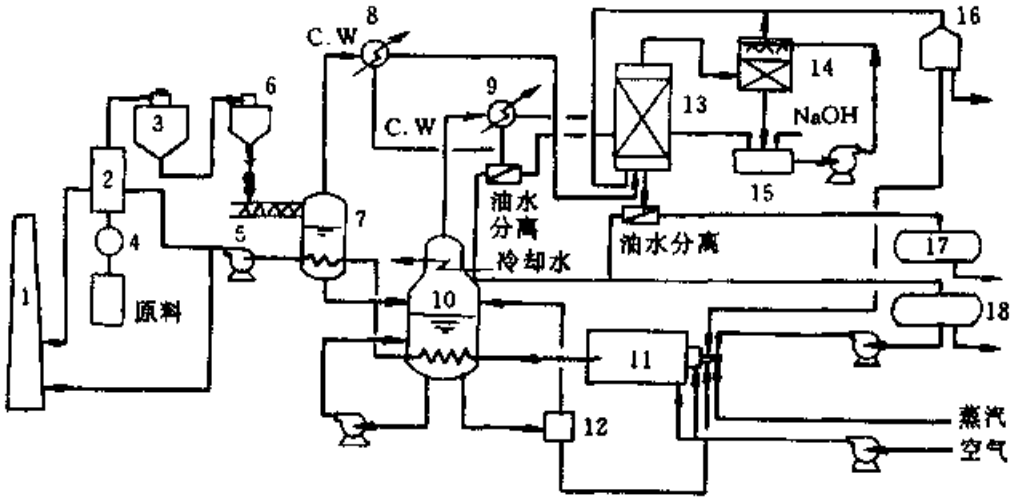
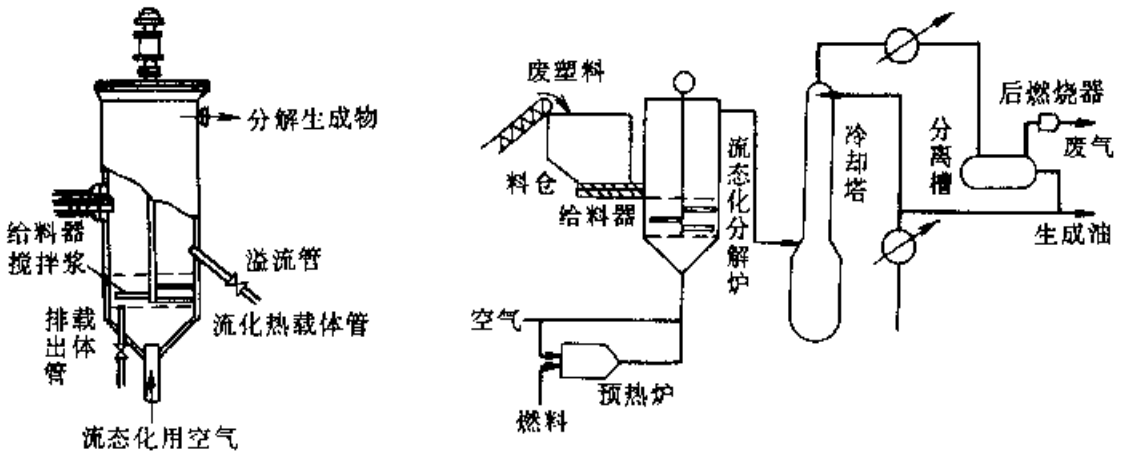


图 5-13　熔融液槽热分解法处理废塑料工艺流程图

1—烟囱；2—干燥器；3—原料槽；4—破碎机；5—螺旋给料器；6—贮槽；7—熔解槽；8—熔解槽冷凝器；9—分解槽冷凝器；10—分解槽；11—热风发生炉；12—残渣排出装置；13—吸收塔；14—中和槽；15—碱罐；16—气体捕集器；17—盐酸罐；18—生成油罐

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com



（a）流化床热分解器　　（b）流程图

图 5-14　流化床熔融固化法处理废塑料装置流程图

5. 焚烧法

焚烧法是一种传统的处理方法和手段，但目前仅在小企业中对少量废塑料非法处理中使用，并无推广价值。主要原因在于：①随着塑料工业的发展、其种类繁多，加热特性复杂。有些塑料受热不能全熔，造成焚烧困难。②塑料与金属、玻璃等组合制品日益增多，加热后搅合在一起，影响燃烧效果。③塑料与碳酸钙相混成为钙塑制品，具不可燃性。④以聚氯乙烯、维尼纶为原料的塑料制品占总量相当比例（20%），另外还有尿素性塑料品，在焚烧时它们将产生氯化物、二氧化氮等腐蚀性很强的气体造成大气污染，为了保护环境，必须增加多种设备而使过程复杂化，处理成本高。而小企业没有经济实力对尾气进行治理。

塑料焚烧法可分为传统的一般法和部分燃烧法两种。前者在一次燃烧室内可以达到高温，由火焰、炉壁等辐射热，使废塑料在一次燃烧室进行热分解。目的是打算在一次燃烧室内求得彻底的燃烧，但往往燃烧不完全，因而产生煤烟和未燃气体，为此需再经二次或三次燃烧室用助燃喷嘴使之烧尽。部分燃烧法在第一燃烧室控制空气量，在 800～900℃ 的温度下，使废塑料的一部分燃烧，再将热分解气体和未燃气、煤烟等送至第二燃烧室，这里供给充分空气，使温度提高到 1000～1200℃ 完全燃烧。部分燃烧法，燃烧充分，产生煤烟少，但热分解速度较慢，处理能力较小。其装置系统如图 5-15 所示。

塑料废渣的焚烧炉一般不能用带有炉栅的炉子焚烧，以防止废渣在熔融阶段，使炉栅不能正常工作。目前采用较多的是用固定床焚烧炉、回转炉、旋风炉以及流化床焚烧炉等。

图 5-16 为使用固定床焚烧炉处理塑料废渣的流程示意图。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

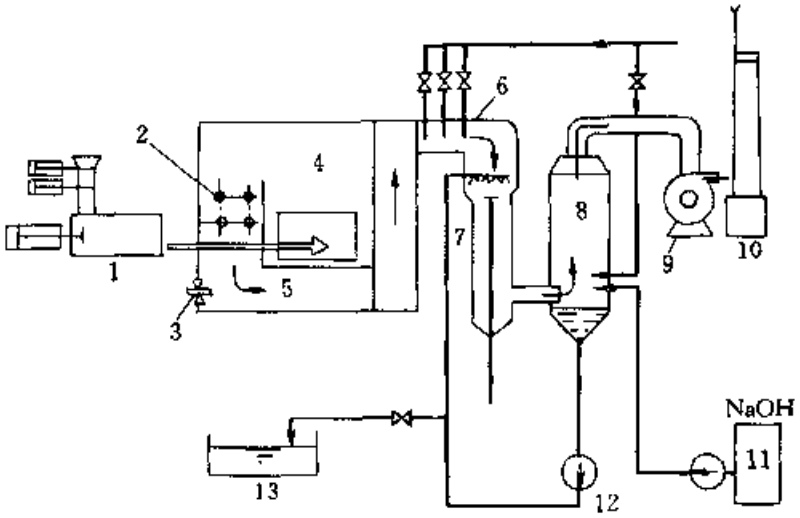


图 5-15　部分焚烧法处理废塑料工艺流程图

1—加料装置；2—空气喷嘴；3—重油烧嘴；4——次燃烧室；5—二次燃烧室；6—气体冷却室；7—湿式喷淋塔；8—气液分离器；9—抽风机；10—烟囱；11—碱罐；12—循环泵；13—排水槽

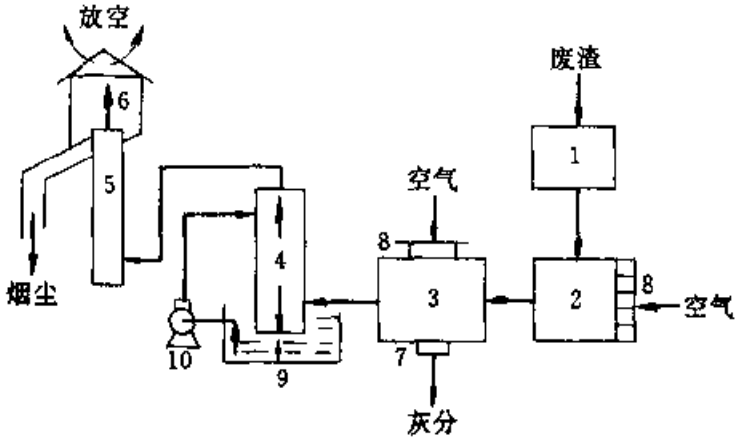


图 5-16　使用固定床焚烧炉处理废渣的流程示意图

1—灰斗；2—机械振打部分；3—进气分布管道；4—进气管；5—滤袋；6—主风道阀门；7—支承吊架；8—反吹风阀门；9—排气管道；10—泵

6. 湿式氧化和化学处理方法

湿式氧化法就是在一定的温度和压力条件下，使塑料渣在水溶液中进行氧化，转化成不会造成污染危害的物质，而且也可以回收能源。塑料废渣采用湿式氧化法进行处理，其与焚烧法相比较，具有操作温度低，无火焰生成，不会造成二次污染等优点。根据报道，一般塑料废渣在 0.4MPa 的压力下和 120～370℃温度下，均可在水溶液中进行氧化反应。

化学处理法是一种利用塑料废渣的化学性质将其转化为无害的最终产物的方法。最普遍采用的是酸碱中和、氧化还原和混凝等方法。

这是一种很有发展前途的方法，可以直接变有害物质为有用物质，例如将某些塑料废渣通过加氢反应而制得燃料等等。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

二、硫铁矿渣的处理和利用

（一）硫铁矿渣来源、组成及其危害

硫铁矿渣是用硫铁矿为原料生产硫酸时产生的废渣，所以又叫硫酸渣，或称烧渣。目前，我国硫酸工业采用的硫铁矿原料，含硫量多数在35%以下。由于硫铁矿含硫量低，杂质含量高，对充分利用硫铁矿中的铁资源带来了极大的危害。

硫铁矿主要成分为FeS_2。天然硫铁矿由矿场开采而得。其中夹有铜、锌、铅、银、砷的硫化物和硒化物，钙、镁硫酸盐和碳酸盐以及石英和滑石等杂物，含硫量一般在25%～52%，含铁量35%～44%。硫铁矿还以杂质形式存在于其他金属（如银，铅，铜，锌等）矿石中，经浮选分离后富集于尾砂中，将尾砂再浮选一次可得到含硫48%～50%的浮选硫铁矿。目前我国生产硫酸所使用的尾砂有三分之二来自白银矿。

硫铁矿在焙烧时硫变成硫酸的中间产品二氧化硫，铁变成氧化铁，成为渣的主要成分，反应式如下：

$$4FeS_2 + 11O_2 \xlongequal{} 2Fe_2O_2 + 8SO_2 + 3257.3kJ$$

$$3FeS_2 + 8O_2 \xlongequal{} Fe_3O_4 + 6SO_2 + 2368.2kJ$$

其他金属硫化物也有类似的变化。钙、镁的碳酸盐在焙烧过程中转变成硫酸盐与原来矿石中的硫酸盐、硅酸盐残留在渣中。因此，硫铁矿渣的重要成分是三氧化二铁、四氧化三铁以及其他重金属氧化物、硫酸盐、硅酸盐等。表5-3和表5-4列出了典型烧渣的化学组成和贵重金属的元素含量分析结果。烧渣组成随硫铁矿的来源以及焙烧的方法不同而略有差别。

一般采用沸腾焙烧炉焙烧时，燃烧充分，烧渣含三氧化二铁高，残硫较低，可以达到0.5%左右，烧渣多呈粉状（<5mm）。熔渣炉焙烧得到的烧

表5-3 硫酸烧渣的百分组成/%

成分	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	S	不溶物
含量/%	43.31	8.133	1.63	0.46	35.73	0.162	微

表5-4 硫酸废渣贵重金属元素含量分析/%

元素	含量	元素	含量	元素	含量
Cu	0.04～0.02	V	0.02～0.08	Co	0.005～0.006
Cr	0.003～0.005	Ni	0.006	Mn	0.08
Ti	0.5～0.8	Ba	0.03	Pb	0.003～0.05
Su	0.001	Zn	0.03	Ag	0.0002
As	0.01	Au	未测		

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

渣含 FeO 多（约 50%左右），残硫较低可达 0.5%，最多 1%，在生产中为降低烧渣熔点，有时投加河砂，故烧渣含 SiO_2 较高，烧渣出炉经水淬处理呈颗粒状。机械焙烧炉燃烧不充分，残硫较高，约 4%左右，烧渣多呈小颗粒状，这种炉型使用已不多。硫铁矿渣因含 Fe_2O_3 而呈褐红色。

每生产 1t 硫酸约排出 0.5t 硫铁矿渣，从炉气净化收集的粉尘约 0.3～0.4t，这些废渣如消极堆置，占据土地，其中细微粉尘随风飞扬，污染空气，在暴风雨时随水流向河流，形成红色的色带，在感官上不舒服，其中可溶性物质还会渗入地下，随水流进入地表水或进入地下水而污染水源和土壤。

（二）硫铁矿渣的处理和利用

硫铁矿渣的处理和利用已有 100 多年的历史，目前有些国家硫铁矿渣已全部得到利用。我国每年约排放 300 多万 t，已被利用的只有约 90 万 t，其余大部分被排入环境，或铺筑公路。利用途径有十多种，其中 70%作为水泥助熔剂，其余作为炼铁原料，并能从中提取有色金属和稀贵金属，或制造还原铁粉、三氯化铁、红铁等化工产品。因此硫铁矿渣又是一种很有价值的原料。

硫铁矿渣综合利用的最理想途径是将其含有的有色金属、稀有贵金属回收并将残渣进一步冶炼成铁。但因硫铁矿渣中有色金属含量较低，回收工艺和设备较复杂，尚有一些问题需要解决，目前主要回收利用的是其所含的铁。

1. 利用硫铁矿渣炼铁

硫铁矿渣炼铁的主要问题是含硫量较高，按原化工部颁标准规定沸腾炉焙烧工序得到的硫铁矿渣残硫量不得高于 0.5%，现在一般为 1%～2%，这给炼铁脱硫工作带来很大负担，影响生铁质量。其次是含铁量较低，一般只有 45%左右，波动范围大，直接用于炼铁，经济效益并不理想，所以在用于炼铁之前，还需采取预处理措施，以提高含铁品位。硫铁矿渣中有铜、铅、锌、砷等金属或非金属，它们对冶炼过程和钢铁产品的质量有一定影响。因此，要使炼铁得到符合质量的生铁，应降低硫铁矿渣中硫的含量，提高铁含量，降低有害杂质的含量，这才能为高炉炼铁提供合格原料，以提高经济效益。

降低硫含量可用水洗法，去除可溶性硫酸盐。也可用烧结选块方法来脱硫。一般烧结选块脱硫率为 50%～80%。将硫铁矿渣 100kg、白煤或焦粉 10kg，块状石灰 15kg 拌匀后在回转炉中烧结 8h，得到烧结矿，含残硫从 0.8%～1.5%降至 0.4%～0.8%。

提高硫铁矿渣铁品位大致有以下几种方法。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

① 提高硫铁矿含铁量我国硫铁矿原料含硫量仅为35%～40%，相应的硫铁矿渣含铁量就低。而国外浮选硫铁矿含硫大都在45%以上，相应的硫铁矿渣铁含量均超过60%。如把现用的原料尾砂再浮选一次，得到精矿生产，非但对硫酸制选有利，也给硫铁矿渣的综合利用带来方便。

② 重力选矿红色烧渣中的铁矿物绝大多数是磁性很弱的铁矿物。对于这种烧渣，最好的处理方法是重力选矿。根据硫铁矿渣中的氧化铁与二氧化硅密度不同进行重力选矿，可提高硫铁矿渣的铁含量。SiO_2 密度2.2～2.65g/cm^3，Fe_2O_3 为5.24g/cm^3，Fe_3O_4 为5.2g/cm^3，FeO为4.84g/cm^3，水为1g/cm^3。

若 A 为氧化铁密度与水的密度之差；B 为二氧化硅密度与水的密度之差。

当 $A/B>2.5$ 时二者极易分离；

$A/B=1.75\sim2.5$ 时二者容易分离；

$A/B<1.25$ 时二者极难分离。

从上列数据看到二者之比都在1.75～2.5以上，因此容易用重力选矿法分离。南通磷肥厂对小于0.5mm的细矿渣进行二次摇床重力选矿，矿渣含铁量从28.28%提高到48.30%。

③磁力选矿。黑色烧渣中的铁矿物，主要是以磁性铁为主，这种硫铁矿渣可以采用适当的磁场强度进行选矿。山东烟台化工厂对胶东招远金矿、杭州硫酸厂的硫铁矿渣进行磁选试验。杭州硫酸厂磁选结果见表5-5。

表5-5 硫铁矿渣磁选结果

编号	化学组成/%				一次磁选			二次磁选		
	TFe（全铁）	FeO	S	SiO_2	TFe	S	铁回收率%	TFe	S	铁回收率%
1	49.15	10.50	2.06	10.80	54.65	1.28	75.49	55.49	0.71	68.40
2	51.99	22.89	2.57	10.55	56.69	2.16	89.92	57.65	1.1	83.62

进行磁选要求矿渣呈磁性，因此在磁选之前应将硫铁矿渣进行磁性焙烧，即加入5%炭粉或油在800℃焙烧1h，使铁的氧化物绝大部分呈磁性的 Fe_3O_4 或 γ-Fe_2O_3，产生的磁性矿渣再磁选。

经过脱硫和选矿后的精硫铁矿渣配以适量的焦炭和石灰进入高炉可以得到合格的铁水。

2．利用硫铁矿渣生产生铁和水泥

高炉炼铁以及其他转炉冶炼都不能利用高硫渣，而应用回转炉生铁-水泥法可以利用高硫烧渣制得含硫合格的生铁，同时得到的炉渣又是良好的水

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

泥熟料。用烧渣代替铁矿粉作为水泥烧成时的助溶剂时，即可满足需要的含铁量，又可以降低水泥的成本。回转炉生铁-水泥法流程参阅图 5-17。

是将硫铁矿渣与还原剂无烟煤或焦末，以及使炉渣得到水泥成分的添加剂石灰石等，按比例配料，混匀，按水泥生料细度要求磨细至通过 4900 孔/cm^2 筛，将其选粒，经干燥后由炉尾进入回转炉。在炉头用一次风将燃料煤粉（或重油）喷入炉内造成 1600℃左右的高温火焰，与炉尾进来的物料逆流相遇，炉料在有斜度 2%～5%的转筒中，借助炉子的转向和本身的重力向低端运行，依次进行预热、干燥、氧化铁还原和存在于炉头的挡圈里，定期排放铸铁。物料在高温煅烧成软粘的水泥熟料越过挡圈从卸料端排出。所得熟料中混有 10%左右的铁粒，经粉碎分离去除铁粒，熟料进一步磨制成 400#以上的普通硅酸盐水泥。

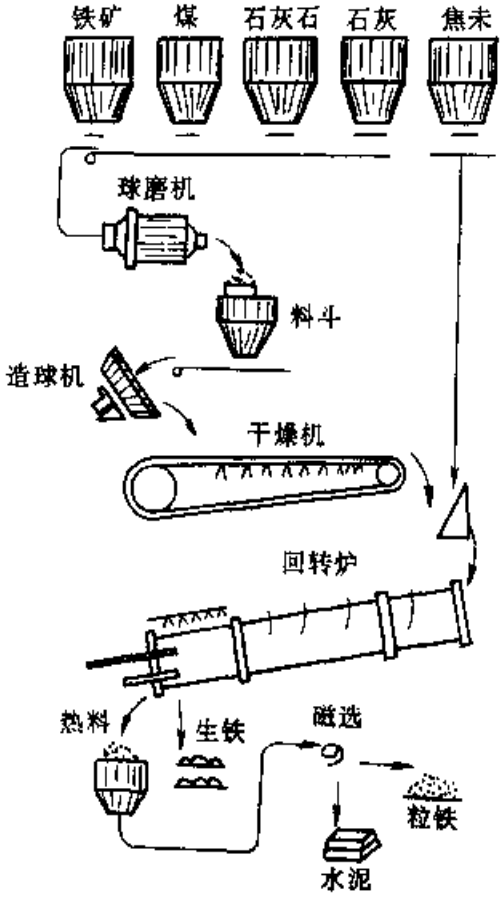


图 5-17 回转炉生铁-水泥法流程示意图

回转炉生铁-水泥法原为丹麦、巴西等国所应用的巴塞（Basccet）法，我国浙江萧山炼铁厂和天津造纸厂又有所改进，有效地防止了金属铁的再氧化和冶炼过程中炉料结球以及结圈现象。表 5-6～表 5-10 分别列出了萧山及天津两个厂的烧渣组成、炉料配比、球料成分、生铁成分和水泥熟料成分。

生产出来的水泥熟料经试验为 400#或 500#水泥，28 天抗压强度为40～50MPa，抗拉强度超过 2MPa，安定性合格，而该法生产生铁的成本也比较低。

表 5-6 烧渣成分/%

成 分	TFe	Fe_2O_3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	S
萧山炼铁厂	45.79	59.15	5.65	20.10	6.44	2.27	0.60	0.95
天津造纸厂	52.68	64.25	9.88	10.5	3.67	3.66	1.37	4.01

表 5-7 炉料配比（1t 生铁用原料/kg）

原 料	烧渣	无烟煤	石灰石	石灰
萧山炼铁厂	2300	1200	3159	1090
天津造纸厂	2000	1200	2950	650

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 5-8 球料成分/%

成 分	TFe	Fe_2O_3	FeO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	C	S
萧山炼铁厂	11	14.7	0.81	7.85	2.51	35.03	0.76	11.9	—
天津造纸厂	16.5	19.8	2.9	7.75	2.85	28.2	1.7	11.7	1.4

表 5-9 生铁成分/%

成 分	C	Si	Mn	P	S	Cu
萧山炼铁厂	4.65	0.056	0.072	0.12	0.004	—
天津造纸厂	4.60	0.05	0.12	0.18	0.02	0.50

表 5-10 水泥熟料成分/%

成 分	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MFe	C	S	fCaO
萧山炼铁厂	64.12	19.90	< 1.0	6.42	0.78	4.31	3.8	0.45	0.45	0.83
天津造纸厂	60.3	19.2	4.14	8.41	2.0	2.44	0.6	2.44	3.61	0~0.2

由生产实践证明，如果烧渣中含铁量不高，而且含有色金属量甚微，不值得回收时，以烧渣代替铁矿粉应用于水泥工业是很经济的，同时将产生较好的环境效益。

3. 回收有色金属

硫铁矿渣除含铁外，一般都含有一定量的铜、铅、锌、金、银等有价值的有色贵重金属。早在几十年前就提出用氯气挥发（高温氯化）和氯化焙烧（中温氯化）的方法回收有色金属，同时提高矿渣铁含量，直接作高炉炼铁的原料。

硫酸烧渣高温氯化法回收有色金属的废渣典型组成如表 5-11 所示。

表 5-11 回收有色金属的硫酸烧渣组成

Fe	52%~55%	Pb	0.03%~0.05%	S	0.4%~0.7%	Au	0.3%~0.4%
Cu	0.2%~0.4%	Zn	0.01%	SiO_2	8%~13%	Ag	13g/t

氯化挥发和氯化焙烧的目的都是回收有色金属提高矿渣的品位，它们的区别在于温度不同，预处理及后处理工艺也有差别。氯化焙烧法是矿渣在最高温度 600℃左右进行氯化反应，主要在固相中反应，有色金属转化成可溶于水和酸的氯化物及硫酸盐，留在烧成的物料中，然后经浸渍，过滤使可溶性物与渣分离。溶液回收有色金属，渣经烧结后作为高炉炼铁原料。氯化挥发法是将矿渣造球，然后在最高温度 1250℃下与氯化剂反应，生成的有色金属氯化物挥发随炉气排出，收集气体中的氯化物，回收有色金属。氯化反应器排出的渣可直接用于高炉炼铁。具有代表性的工厂是日本光和精矿户佃

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

工厂和联邦德国的都依斯堡炼钢厂、国内大连钢厂、开封钢铁厂、株洲钢铁厂高温氯化试验性生产效果都较好，由于设备防腐以及烟气净化等问题尚未正式投产。南京钢铁厂采用中温氯化焙烧法处理含钴矿渣，已建成年产钴50t的车间。

光和精矿法高温氯化流程见图5-18。

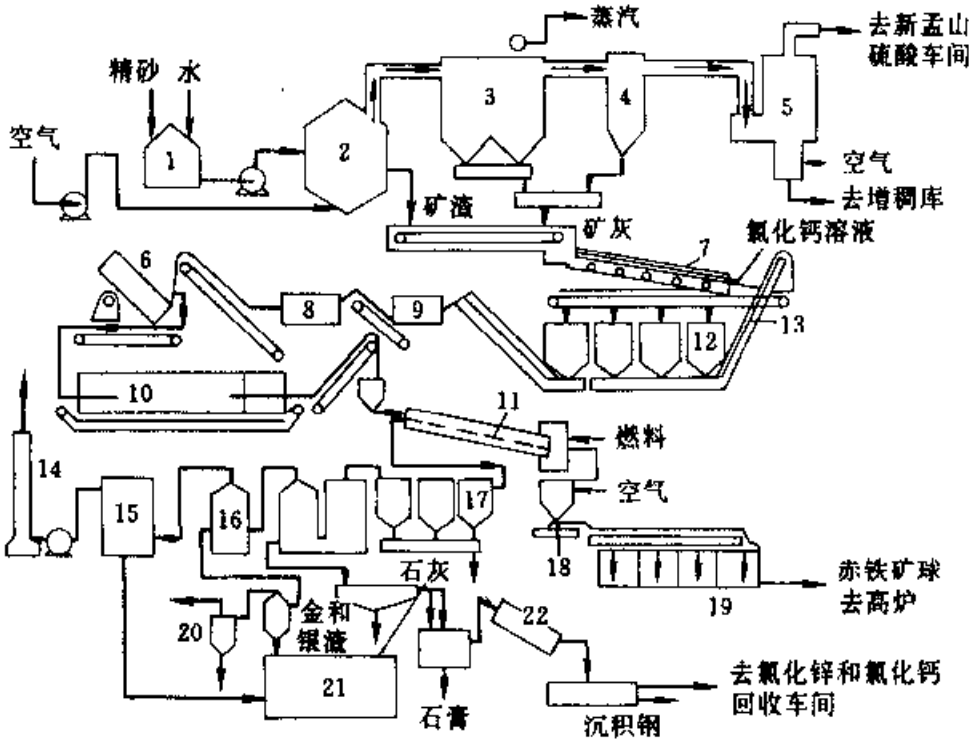


图5-18 光和精矿法高温氯化流程图

1—搅拌器；2—沸腾炉；3—废热锅炉；4—旋风器；5—洗涤器；6—圆盘造球机；7—矿渣冷却器；8—捏土磨机；9—球磨机；10—输送干燥器；11—回转窑；12—掺合仓；13—循环输送机；14—烟囱；15—除雾器；16—冷却及洗涤塔；17—集尘室；18—球冷却器；19—球仓；20—真空冷却器；21—铅、银、金和铁回收车间；22—转鼓

焙烧硫铁矿的热矿渣在冷却器中喷淋30% $CaCl_2$ 溶液（每吨矿渣用 $CaCl_2$ 30～80kg）温度降到50～60℃，湿含量调节到11%～12%左右。冷却和湿润的矿料送入混合仓，经球磨、捏土磨机进入选球圆盘，生产出直径为10～15mm的球，湿球强度小，送入干燥器干燥，30～40min后含湿量减少到1%以下，强度从0.4MPa增加至3MPa以上。干球经过7mm筛子除去碎细料，然后送入回转窑，在温度不超过1240℃下反应110～140min，氯化物完全挥发。熟球冷却到100℃送往高炉炼铁。炉气经除尘后，用海水冷却和洗涤，除去所含的酸、氯化物和硫酸盐，残余气体中酸蒸气和铅盐雾再经电除雾器除去，然后排至大气。洗涤液经增稠器分离出渣，清夜中加入石灰粉中和，有石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）沉淀，上清液在一个转鼓中加入铁

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

屑，进行置换反应，可以制得海绵铜，再将海绵铜过滤、干燥后进行熔炼，最后可以制得高纯度的紫铜，尾液去氯化锌和氯化钙回收车间，加入氢氧化钙和氧化钙生成氧化锌沉淀，母液含氯化锌经浓缩后回用。铅主要在电除雾器中沉淀，部分留在尾液中，大部分金含在增稠器残渣和铅沉淀物中。银分散在增稠器残渣、沉积铜及铅沉积物中。有关金属挥发物的回收率：Cu 95%以上，Pb 60%～80%，Au 90%以上，Ag 95%以上。

4. 制造建筑材料

含铁品位低的硫铁矿渣由于回收价值不高，可以直接与石灰按 85:15 的比例混合磨细，达到全部通过 100 目筛，加 12%的水，进行消化，压成砖坯，再经 24h 蒸汽养护可制成 75 号砖。

多年来，上海硫酸厂、河南长葛化工总厂等单位对硫酸废渣制砖技术进行了试验研究，并取得了工业化成果，经过多年的生产实践证明，硫酸废渣制砖工艺简单，投资少，不需焙烧，节省能源、成本低。用硫酸废渣作为烧渣砖的主要原料。实现了废渣资源化，消除了污染，节省了废渣堆存占地，是解决硫酸废渣环境污染的重要途径之一。

三、碱渣及电石渣的处理和利用

化工废渣实际上包括无机化工废渣和有机化工废渣，除塑料废渣及硫铁矿渣两种废渣外，还有一些比较重要的废渣，如碱渣、电石渣、磷石渣、盐泥、铬渣及污水处理站多余的污泥等。

（一）碱渣

碱渣是指用氨碱法制碱的过程中所排出的废渣。它大致有三个来源，即蒸氨塔排出的废液中的沉淀物、精制盐水时排出的一次和二次盐泥以及在苛化制碱时所排出的废泥。三者中以蒸氨塔排出的废液中的沉淀物数量最多，而且碱渣中还含有一定量的氯化物。氨碱生产废液、废渣产生量及组成如表 5-12 和表 5-13 所示。

表 5-12　氨碱废液、废渣产生量及性质

产生量/(m^3/t 碱)	固体物		pH	密度/(kg/m^3)	排出温度/℃
	总溶解物	悬浮物量			
9～11	15～22	0.8～1.2	11～15	1140	100

表 5-13　蒸馏废液化学组成

组分	含量/(kg/m^3)	组分	含量/(kg/m^3)
$CaCl_2$	95～115	$CaSO_4$	3～5
NaCl	50～51	SiO_2	1～5
$CaCO_3$	6～15	$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1～3
CaO	2～5	NH_3	0.006～0.03
$Mg(OH)_2$	3～10	总固体物	3%～5%(体积)

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

我国碱渣综合利用技术早在20世纪的50年代就开始了，主要在碱渣制建筑材料及碱渣水泥等技术方面的研究。

对碱渣的处理多是用来生产碱渣水泥。由于碱渣的含水量较多，一般可达50%左右，故需先经过脱水、烘干之后才能使用。另外在碱渣还需配入一定数量的酸性氧化物或者配入一定数量的煤粉灰，在适当的条件下进行脱氯，经过脱氯后的碱渣，可以去生产碱渣水泥，或者生产碱渣煤粉水泥。否则氯会影响水泥的凝结效果。

生产时，先将碱渣烘干后，加入一定量的粉煤灰，混合均匀，使它通过2～3mm的筛子，然后煅烧成熟料。煅烧温度约为1250℃，要比一般水泥的煅烧温度2000℃低得多。水泥的配合比例大致为：熟料30%～50%，煤粉灰40%～60%及石膏10%左右。

碱渣粉煤灰水泥的特点是：煅烧温度低；抗压及抗拉强度均比较高；养护条件要求低，无论在潮湿的空气或在水中养护均可以。目前存在的问题是，碱液中的氯化物在经高温煅烧时转入气相，以氯化氢气体排出，尾气需用碱液进行吸收处理，以免造成二次污染。

（二）电石渣

1．电石渣脱水处理

电石渣是生产乙炔气体和聚氯乙烯等生产过程中所排出的废渣。1t电石和水反应后，产生的湿电石浆为6t，其中含水约为60%～80%，折合成干的电石渣为1.2t左右。湿电石浆排出后，一般先汇集于贮池，除去块状杂质物质，然后用泥浆泵送到沉淀池进行沉淀，排去上面的清水，下层的浓浆送入加工区。这种电石渣处理方法的缺点是：分离效率低、占地面积大，电石渣含水率高，装运困难，污染周围环境。采用高效率沉降对储运和后续工业应用具有重要的意义。

电石渣浆处理工艺见图5-19所示。乙炔发生器排出的电石渣浆流入收集池，而后用泥浆泵送入增稠器。在次进行固液分离，澄清液从周边溢流进入清液中间槽，再用清液泵送回乙炔发生系统循环使用。增浓后的电石渣浆经压滤机进料泵送入板框压滤机，滤液送至澄清液中间槽循环使用，滤饼由皮带机送至堆场或由汽车运至厂外。

与传统的电石渣浆处理方法相比，采用大型机械化澄清桶和板框压滤机处理电石渣浆，具有明显的社会效益、环境效益和经济效益。它提高了电石渣的处理效率和机械化程度，大大减轻了工人的劳动强度；消除了电石渣装运过程中对厂区以及运输过程对环境的污染；电石渣含水率降低提高了其应用价值。此外，澄清液回收不仅节约了乙炔发生器用水，而且回收了澄清液中的溶解乙炔，降低了乙炔生产的电石消耗。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

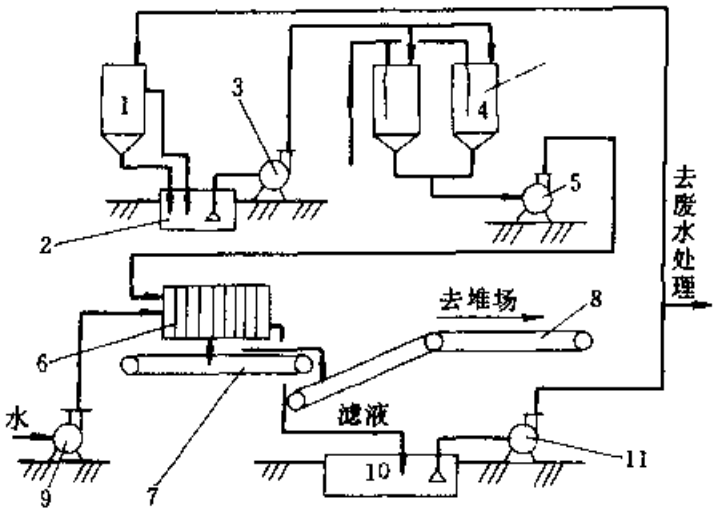


图 5-19 电石渣浆脱水处理工艺流程

1—乙炔发生器；2—收集池；3—泥浆泵；4—储槽；5—高压泥浆泵；6—压滤机；7，8—皮带运输机；9—高压水泵；10—集水池；11—滤液泵

电石渣的主要成分是氧化钙，是高碱性物质，pH 可高达 14 以上。其可以代替石灰石生产水泥，或者从其中回收化工原料。

电石渣的物理性质和化学成分如表 5-14 及表 5-15 所表示。

表 5-14 电石渣的物理性质

水分/%	相对密度	颗粒组成/%			
		>0.1mm	0.05~0.1mm	0.01~0.05mm	<0.01mm
85~95	2.22~2.26	3~8	8~20	65~80	6~12

表 5-15 电石渣的化学成分

化学成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	烧失量
含量/%	2~4.8	2.4~3.3	0.3~1.3	0.1~0.4	64~67	23~25

2. 生产电石渣水泥

电石渣的主要成分是氢氧化钙，可以用它代替石灰石作为生产水泥的原料，这也是我国综合利用这种废渣的主要途径。

电石渣水泥一般在立窑中进行煅烧而成。其备料情况有干法和湿法两种备料方法。当电石渣的含水量较高，一般在电石渣含水量达 60%~80%时，可采用干法备料。干法备料是需要采用机械脱水使电石渣含水量降至30%~40%，所用的其他原料也需要进行干燥。

生产电石渣水泥的工艺流程如图 5-20 所示。

料配合比为，电石渣:粘土:铁粉=79:17.7:3.3，煤粉加入量为每 100kg 生料，加入 18kg 煤粉。电石渣水泥配合比为熟料:矿渣:石膏=75:20:5。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

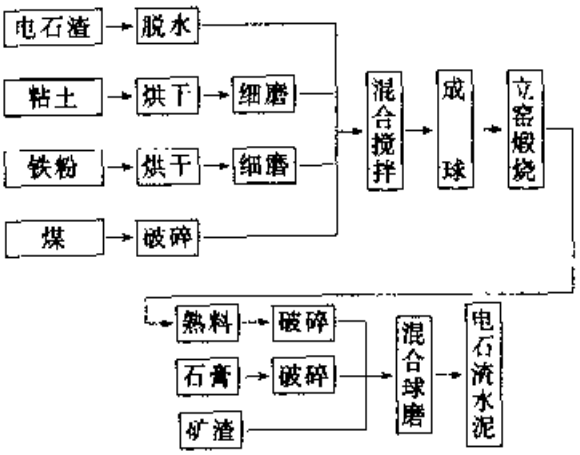


图 5-20　立窑煅烧法流程示意图（干法备料）

此法的缺点是物料需要干燥，所需的物料堆放场地也很大，因此生产能力受到一定限制，电石渣水泥的抗压强度可以达到 400kg/cm^2。

此外，电石渣水泥的生产也可以采用湿法备料。此法是在电石渣中加入一定量的煤、黄土、矿渣等，经过湿法备料、过滤、成球、立窑煅烧和熟料细磨等加工程序后，即可制成电石渣水泥。该法的工艺流程如图 5-21 所示。

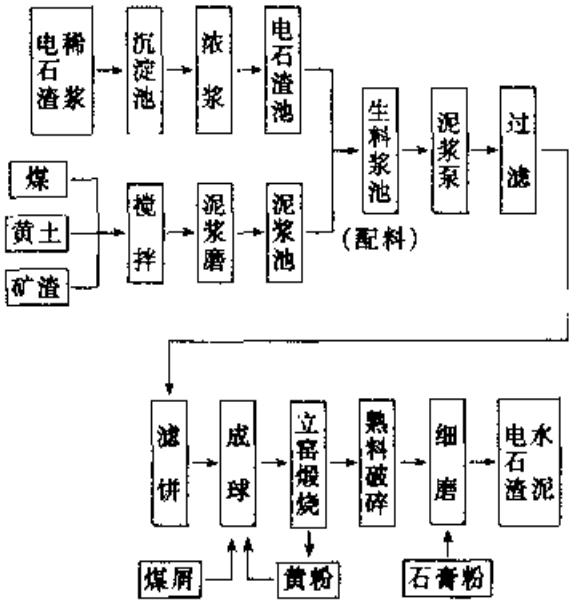


图 5-21　立窑煅烧法流程示意图（湿法备料）

煤、黄土及矿渣按 16∶16∶5 的质量比配合，经搅拌后，加水进行湿磨，得到的泥浆含水为 54%～58% 流入泥浆池备用。将此泥浆与电石渣进行配料，再经过过滤脱水，所得滤饼仍含 40% 左右的水。如果还需要进一步脱水时，可送堆料场中继续脱水。脱水后的物料用松散机散化，再送去成球，成球过程中需加入适量煤屑及 5%～8% 的黄粉（黄粉即立窑中没有烧透的熟料粉呈黄色故称黄粉）。黄粉的产量约为熟料量的 8% 左右。在细磨过程中所加入石膏粉的量约为熟料的 5% 左右。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

采用此法生产的电石渣水泥，其抗压强度亦可达到 400kg/cm^2。

3. 电石渣生产氯酸钾

电石渣的主要组成是氢氧化钙，在化工生产中可以用电石渣代替石灰参与有关的反应过程，如中和、皂化等生产过程。天津化工厂利用电石渣代替石灰生产氯酸钾取得了较好的环境效益和经济效益。

反应过程分两步，首先电石渣中的氢氧化钙与氯气反应，生成氯酸钙，而后，氯酸钙与氯化钾发生复分解反应，生成氯酸钾。

电石渣生产氯酸钾工艺流程如图 5-22 所示。

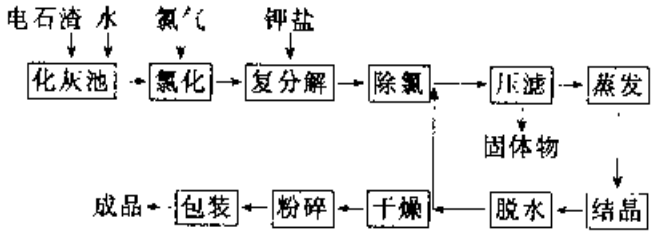


图 5-22　电石渣生产氯酸钾工艺流程

电石渣浆首先除去大块杂质，而后进入吹出塔，用空气吹除其中的乙炔等杂质，进入沉淀池，得到浓度为 12% 的乳液。用泵将电石渣乳液送至氯化塔，氢氧化钙与氯气反应生成氯酸钾，经去除游离氯后，再用板框压滤机除去固体物，将滤液与氯化钾进行复分解反应，生成氯酸钾，溶液经蒸发、结晶、脱水、干燥、粉碎、包装等工序制得成品氯酸钾。

用电石渣代替石灰生产氯酸钾，技术成熟，工艺可行，实现了综合利用电石渣，不仅减少了电石渣对环境造成的污染，而且改善了石灰储运和化灰过程中造成的污染，改善了劳动条件。

4. 回收化工原料

电石渣可用来制造出一种供生产氯仿用的漂白液，其生产工艺流程如图 5-23 所示。

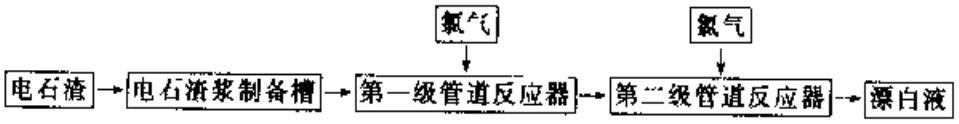


图 5-23　用电石渣生产漂白液的工艺流程示意图

将电石渣置于制备槽中，加水制成含氢氧化钙为 12%～15% 的电石渣浆，然后用泵将电石渣浆打入第一级管道反应器内并通入氯气。经反应后再用泵打入第二级管道反应器，在冷却情况下继续通入氯气进行进一步氯化，最后是漂白液的有效氯含量达到 8% 左右，流入漂白液贮池，以备生产氯仿用。

利用电石渣制造漂白液，不仅利用了废物，而且还可节省石灰，同时在

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

制造氯仿过程中，不仅劳动强度降低，还可以提高生产效率。

5. 其他用途

除以上所述的用途之外，电石渣还可以用在其他方面。例如在建筑工业方面，还可以用电石渣代替石灰作建筑材料。

另外，电石渣本身为碱性渣，可以用来处理酸性废水或酸性废气。如把酸性废水（或废气）通入中和池（塔），在塔内填装电石渣，当酸性废水或废气通过电石渣层时，即发生中和反应，或把电石渣配成浆液与废水一起打入中和池进行中和反应，从而使酸性废水或废气的酸度值降低，以达到以废治废的目的。

电石渣同时还是一种很好的建筑材料，用电石渣生产的砖，成本较低，还可以节省燃料和人力。

第四节　污泥处理与处置

污泥处理与处置问题是污水处理过程中产生的新问题。因为首先污泥中含有大量的有害有毒物质，如寄生虫卵、病原微生物、细菌、合成有机物及重金属离子等，它对周围环境产生不利影响；其次污泥量非常大，其数量约占处理水量的 0.3%～0.5%左右（体积分数），如进行深度处理，污泥量还可能增加 0.5～1.0 倍。对于一个污水处理厂而言，它的全部基建费用中，用于处理污泥的约占 20%～50%，甚至 70%，所以污泥处理与处置是污水处理系统的重要组成部分，必须予以充分重视，只有对这些物质进行及时处理和处置，才能达到以下效果：①确保污水处理效果，使污水处理厂能够正常运行；②使容易腐化发臭的有机物得到稳定处理；③使有毒有害物质得到妥善处理或利用；④使有用物质得到综合利用，变害为利。总之，污泥处理和处置的目的是减量、稳定、无害化及综合利用。

图 5-24 示出了污泥处理与处置的基本流程。

一、污泥的来源与特性

根据废水处理工艺的不同，也即污泥来源的不同，污泥可分类如下。

（1）初次沉淀污泥　来自初次沉淀池，其性质随废水的成分而异。

（2）腐殖污泥　来自生物膜法后的二次沉淀池的污泥称腐殖污泥。

（3）剩余活性污泥　来自活性污泥法后的二次沉淀池的污泥称剩余活性污泥。

（4）消化污泥　生污泥（初次沉淀污泥、腐殖污泥、剩余活性污泥）经厌氧消化处理后产生的污泥称为消化污泥。

（5）化学污泥　用混凝、化学沉淀等化学方法处理废水、所产生的污泥称为化学污泥。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

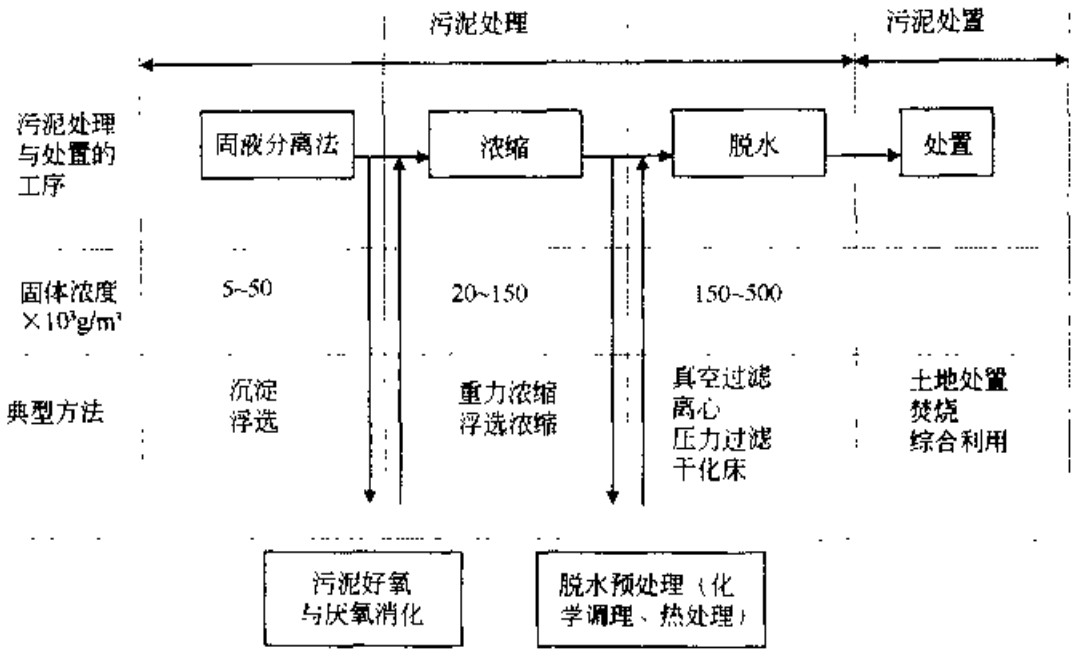


图 5-24　污泥处理与处置流程

污泥的主要特性有以下几个方面。

（1）污泥含水率　污泥中所含水分的重量与污泥总重量之比称为污泥含水率。污泥含水率一般都很高，相对密度接近于 1。不同污泥含水率差别很大，对污泥特性有重要影响。

（2）挥发性固体（或称灼烧减重）和灰分（或称灼烧残渣）挥发性固体近似地等于有机物含量；灰分表示无机物含量。

（3）污泥相对密度　污泥相对密度等于污泥质量与同体积的水质量之比值。

二、污泥调理

影响污泥的浓缩和脱水性能的是颗粒的大小、表面电荷水合的程度以及颗粒间的相互作用。其中污泥颗粒的大小是影响污泥脱水性能的最重要的因素，因为污泥颗粒越小，颗粒的比表面积将越大（按指数规律增大），这意味着更高的水合程度和对过滤（脱水）的更大阻力及改变污泥脱水性能要更多的化学药剂。

污泥调理的主要任务就是增大污泥颗粒的尺寸，通过使这些颗粒结合的途径而使颗粒增大，从而使污泥易于过滤或浓缩。

污泥中颗粒大多数是相互排斥而不是相互吸引的，首先是由于水合作用，有一层或几层水附于颗粒表面而阻碍了颗粒相互结合。其次，污泥颗粒一般都带负电荷，相互之间表现为排斥，造成了稳定的分散状态。

污泥调理就是要克服水合作用和电性排斥作用。有两种途径，第一是脱稳、凝聚，脱稳依靠在污泥中加入合成有机聚合物、无机盐等，使颗粒的表

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

面性质改变并可能相互粘附，由于要投加化学药剂，从而提高了运行费用；凝聚主要是通过缓慢的搅动提供颗粒以接触的机会，从而使脱稳的颗粒可以凝聚在一起。第二是改善污泥颗粒间的结构，减少过滤阻力，使不堵塞过滤介质（滤布）。无机沉淀物或一定的填充料可以起这方面的作用。

污泥经调理能增大颗粒的尺寸，中和电性，能使吸附水释放出来，这些都有助于污泥浓缩和改善脱水性能。此外，经调理后的污泥在浓缩时污泥颗粒流失减少，并可以使固体负荷率提高。最常用的调理方法有化学调理和热处理。此外还有冷冻法和辐射法等。为减少调理的化学药品用量，还可采用物理洗涤——淘洗法。

（一）化学调理

化学调理实质是向污泥中投加各种絮凝剂，使污泥形成颗粒大、孔隙多和结构强的滤饼，它应用得最为普遍。化学调理剂分无机和有机两种，无机调理剂有三氯化铁、三氯化铝、硫酸铝、聚合铝、石灰等；有机调理剂有聚丙烯酰胺等。无机调理剂价廉易得，但渣量大，pH 的影响大，无机性调理剂会使污泥量增加，从而提高污泥中无机成分的比例而降低了污泥的燃烧价值；而有机调理剂则与之相反。综合应用 2～3 种絮凝剂，混合投配或依次投配，能提高效能。如石灰和三氯化铁同时使用，不但能调节 pH，面且由于石灰和污水中的重碳酸盐生成的碳酸钙能形成颗粒结构面增加了污泥的孔隙率。

调理剂投加范围很大，因此在特定的情况下，最好是经过试验决定最佳剂量。

（二）热处理

热处理使污泥在压力（1～1.5MPa）下短时间加热（160～200℃）。这种处理方法使固体凝结，破坏凝胶体结构，降低污泥固体和水的亲和力。而且污泥也被消毒，臭味几乎被消除，并易于在真空或压力过滤机中过滤。热处理法可用以调节各种混合的有机废水污泥，包括难以处置的剩余活性污泥，最适宜于生物污泥，未曾发现工业废物对污泥调节有影响。热处理的缺点是需消耗热能，操作技术水平要求高，有臭气放出，且处理后的污泥在过滤后所得滤液有机物浓度很高。

热处理法与湿式氧化并不相同，在湿式氧化中要加入空气以使污泥在高温下有比较深的氧化程度；热处理则不让污泥中的有机物氧化。

（三）淘洗

淘洗是一项单元操作，在操作过程中将固体或固-液混合物与液体完全混合，使某些组分转移到液体中。典型的例子是将消化污泥在化学调理以前进行洗涤，以去除可能消耗大量化学药品的某些可溶性有机和无机组分。淘

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

洗液中的 BOD 和 COD 值都很高，需回流到废水处理装置去处理。淘洗能降低碱度，从而降低调理化学药品的投加量，但通常洗涤污泥的费用超过由于降低调理化学药品所节省的费用。而且由于从污泥中洗出来的细小的固体在主要的废水处理装置中可能不能完全被截留，因而，虽然过去采用的这种操作比较普遍，现在不提倡采用这种方法。

三、浓缩

将污泥浓缩以减少体积，对于减少后续处理过程如消化、脱水、干化和焚烧等的负担都是非常有利的。污泥中所含水分大致分为四类：颗粒间的空隙水，约占总水分的 70%；毛细水，即颗粒间毛细管内的水，约占 20%；污泥颗粒表面吸附水和颗粒内部水（包括细胞内部水），约占 10%。见图 5-25 所示。

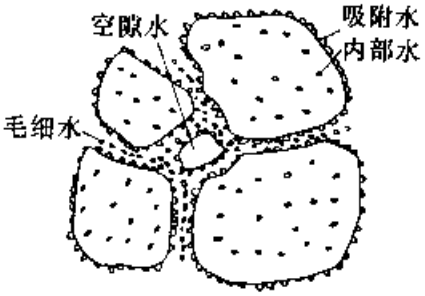


图 5-25　污泥水分示意图

降低含水率的方法有：浓缩法，用于降低污泥中的空隙水，因空隙水所占比例最大，故浓缩是减容的主要方法；自然干化法和机械脱水法，主要脱除毛细水；干燥与焚烧法，主要脱除吸附水与内部水。不同脱水方法及效果列于表 5-16。

表 5-16　不同脱水方法及脱水效果表

脱水方法		脱水装置	脱水后含水率/%	脱水后状态
浓缩法		重力浓缩、气浮浓缩、离心浓缩	95～97	近似糊状
自然干化法		自然干化场	70～80	泥饼状
机械脱水	真空过滤法	真空转鼓，真空转盘等	60～80	泥饼状
	压滤法	板框压滤机	45～80	泥饼状
	滚压带法	滚压带式压滤机	78～86	泥饼状
	离心法	离心机	80～85	泥饼状
干燥法		各种干燥设备	10～40	粉状、粒状
焚烧法		各种干燥设备	0～10	灰状

污泥浓缩的技术界限大致为：活性污泥含水率可降至 97%～98%，初次沉淀污泥可降至 85%～90%。污泥浓缩可分为重力浓缩、气浮浓缩和离心浓缩。三种方法各有优缺点（见表 5-17），需要时根据具体要求选择。

（一）重力浓缩法

根据运行方式不同，重力浓缩法可分为连续式和间歇式两种。相应地，重力浓缩池也分为连续式和间歇式两种。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 5-17 各种浓缩方法的优缺点

方 法	优 点	缺 点
重力浓缩法	贮存污泥的能力高	占地大，且会产生臭气
	操作要求不高	对于某些污泥工作不稳
	运行费用低（尤其是耗电少）	经浓缩后的污泥非常稀薄
气浮浓缩法	比重力浓缩的泥水分离效果好	运行费用较重力法高
	所需土地面积少，臭气问题小	占地比离心法多
	污泥含水率低	污泥贮存能力小
	可使沙砾不混于浓缩污泥中	
	能去除油脂	
离心机浓缩法	占地少，处理能力高	要求专用的离心机，耗电大
	没有或几乎没有臭气问题	对操作人员要求高

连续流重力浓缩池的基本构造见图 5-26。

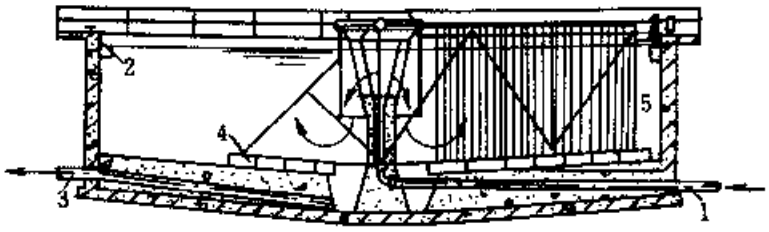


图 5-26 连续流重力浓缩池基本构造图

1—中心进泥管；2—上清液溢流堰；3—排泥管；4—刮泥机；5—搅动栅

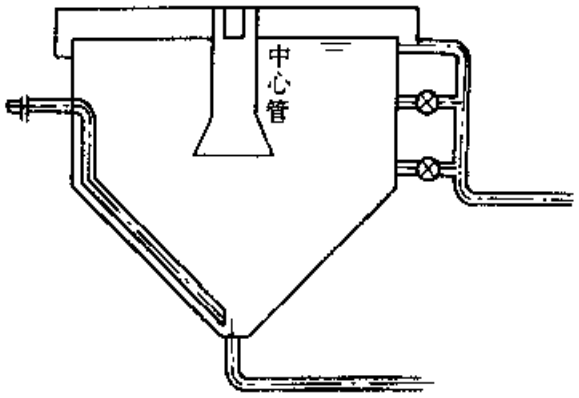
污泥由中心进泥管 1 连续进泥，浓缩污泥通过刮泥机刮到污泥斗 4 中，并从排泥管 3 排出，澄清水由溢流堰溢出。该连续流重力浓缩池有一特点，它装有与刮泥机一起转动的垂直搅拌栅，能使浓缩效果提高 20％以上。因为搅拌栅通过缓慢旋转，可形成微小涡流，有助于颗粒间的凝聚，并可造成空穴，破坏污泥网状结构，促使污泥颗粒间的空隙水与气泡逸出。

浓缩池必须同时满足：①上清液澄清；②排出的污泥固体浓度达到设计要求；③固体回收率高。如果浓缩池的负荷过大，处理量虽然增加，但浓缩污泥的固体浓度低，上清液浑浊，固体回收率低，浓缩效果就差；相反，负荷过小，污泥在池中停留时间过长，可能造成污泥厌氧发酵，产生氮气与二氧化碳，使污泥上浮同样使浓缩效果降低，往往需要加氯以抑制气体的继续产生。上述情况在浓缩池的设计中必须考虑。

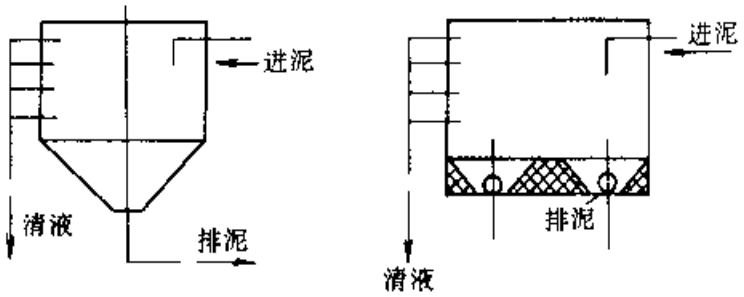
间歇式重力浓缩池的设计原理同连续式，其结构见图 5-27。在浓缩池不同深度上都设置了上清液排除管，这是因为运行时，要先排除浓缩池中的上清液，以腾出池容，再投入待浓缩的污泥。间歇式浓缩池浓缩时间一般采用 8～12h。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com



(a) 带中心管间歇式浓缩池



(b) 不带中心管间歇式浓缩池

图 5-27 间歇式重力浓缩池

(二) 气浮浓缩法

重力浓缩法比较适合于比重大的污泥，如初次原污泥等，对于相对密度接近于 1 的轻污泥，如活性污泥，效果不佳，在此情况下，最好采用气浮浓缩法。气浮法原理参见第四章。气浮浓缩的工艺流程见图 5-28。澄清水从池底引出，一部分用水泵引入压力溶气罐加压溶气，另一部分外排。溶气水通过减压阀从底部进入进水室，减压后的溶气水释放出大量微小气泡，并迅

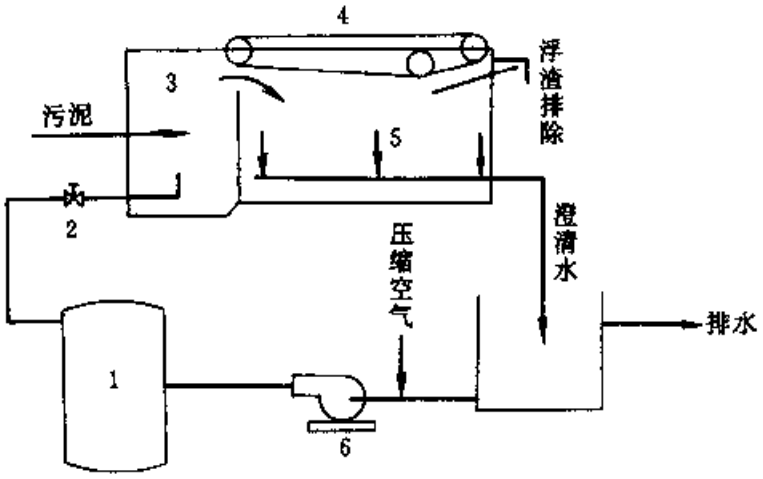


图 5-28 气浮浓缩工艺流程

1—溶气罐；2—减压阀；3—进水室；4—刮泥机；5—气浮池出水管；6—加压泵

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

速依附在待气浮的污泥颗粒上，从而使污泥颗粒比重下降易于上浮。进入气浮池后，能上浮的污泥颗粒上浮，在池表面形成浓缩污泥层由刮泥机刮出池外。不能上浮的污泥颗粒则沉到池底，由池底排出。

（三）离心浓缩法

离心浓缩法对于轻质污泥，也能获得较好的处理效果。它是基于污泥中的固体颗粒和水的密度不同，在高速旋转的离心机中，由于所受离心力大小不同从而使二者得到分离。离心浓缩法的最大优点是效率高、需时短、占地少。因为离心力比重力大几千倍，它能在很短的时间内就完成浓缩工作。此外，离心浓缩法工作场所卫生条件好，这一切都使得离心浓缩法的应用越来越广泛。

用于污泥浓缩的离心机种类有转盘式离心机、篮式离心机和转鼓离心机等。各种离心浓缩的运行效果（所处理污泥均为剩余活性污泥）见表 5-18。

表 5-18　各种离心浓缩的运行效果

离心机	Q_0/(L/S)	C_0/%	C_u/%	固体回收率/%
转盘式	9.5	0.75～1.0	5.0～5.5	90
转盘式	3.2～5.1	0.7	5.0～7.0	93～87
篮　式	2.1～4.4	0.7	9.0～1.0	90～70
转鼓式	4.75～6.30	0.44～0.78	5～7	90～80
转鼓式	6.9～10.1	0.5～0.7	5～8	65～85(加少许混凝剂)

另外一种常用的离心设备是离心筛网浓缩器（见图 5-29）。它是将污泥从中心分配管输入浓缩器。在筛网笼低速旋转下，隔滤污泥。浓缩污泥由底部排出，清液由筛网从出水集水室排出。

离心筛网浓缩器的性能可用三个指标来表示。

浓缩系数——浓缩污泥浓度与入流污泥固体浓度的比值；

分流率——清液流量与入流污泥流量的比值；

固体回收率——浓缩污泥中固体物总量与入流污泥中固体物总量的比值。

离心筛网浓缩器的主要设计参数是固体负荷和面积水力负荷。

离心筛网浓缩器可作为活性污泥法混合液的浓缩用，能减少二沉池的负荷和曝气池的体积，浓缩后的污泥回流到曝气池，分离液因固体浓度较高，应流入二沉池作沉淀处理。

离心筛网浓缩器因回收率较低，出水浑浊，不能作为单独的浓缩设备。

四、脱水

污泥脱水的主要方法有真空过滤法、压滤法、离心法和自然干化法。其

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

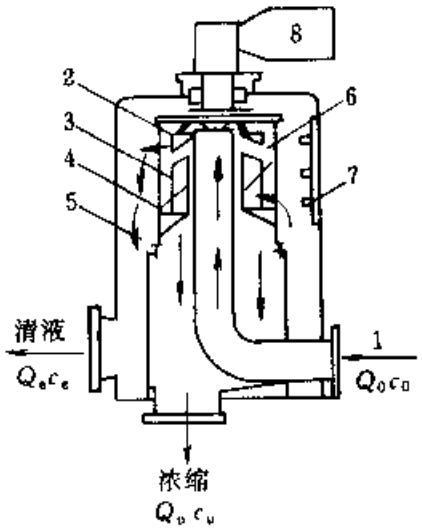


图 5-29 离心筛网浓缩器图
1—中心分配管；2—进水布水管；3—排出管；4—旋转筛网笼；5—出水集水室；6—调节流量转向器；7—反冲洗系统；8—电动机

中前面三种采用的是机械脱水，本质上都属于过滤脱水的范畴。其原理基本相同，都是利用过滤介质两面的压力差作为推动力，使水分强制通过过滤介质，固体颗粒被截留在介质上，达到脱水的目的。对于真空过滤法，其压差是通过在过滤介质的一面造成负压而产生；对于压滤法，压差产生于在过滤介质一面加压；对于离心法，压差是因离心力而产生的。

（一）真空过滤法

真空过滤是目前使用最广泛的一种机械脱水方法。主要用于初沉池污泥和消化污泥的脱水。其特点是连续运行、操作平稳、适应于各种污泥的脱水、处理量大、能实现过程操作自动化。缺点是脱水前必须预处理，附属设备多、工序复杂、运行费用高、再生与清洗不充分，易堵塞。

真空过滤机有转筒式、绕绳式、转盘式三种类型。其中应用最广的是GP 型转鼓真空过滤机（见图 5-30）。其构造如下：

过滤介质覆盖在空心转鼓 1 表面，转鼓部分浸没在污泥贮槽 2 中，并被径向隔板分割成许多扇形间格 3，每个间格有单独的连通管与分配头 4 相接。分配头由转动部件 5 和固定部件 6 组成。固定部件有缝 7 与真空管路 13 相通，孔 8 与压缩空气管路 14 相通；转动部分有许多孔 9，并通过连通管与各扇形间格相连。

转鼓真空过滤机脱水的工艺流程见图 5-31。其工作过程如下：

转鼓旋转时，由于真空的作用，将污泥吸附在过滤介质上，液体通过过滤介质沿真空管路流到气水分离桶。吸附在转鼓上的滤饼转出污泥槽的污泥面后，若扇形间格的连通管 9在固定部件的缝 7 范围内，则处于滤饼形成区与吸干区，继续吸

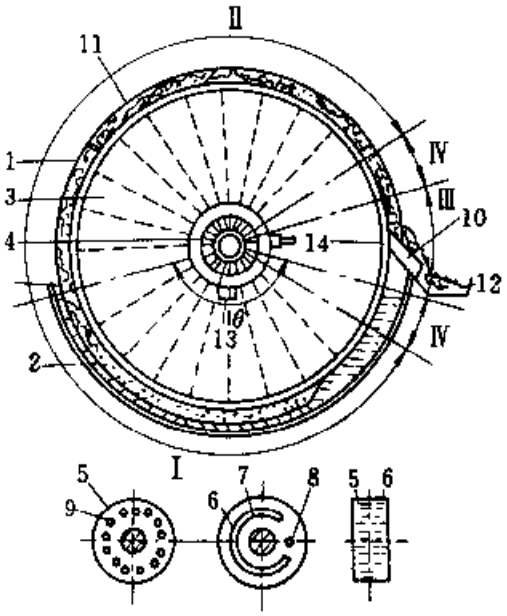


图 5-30 转鼓式真空过滤机
1—空心转鼓表面；2—污泥贮槽；3—扇形间格；4—分配头；5—转动部件；6—固定部件；7—缝；8，9—孔；10—刮刀；11—吸干区；12—皮带输送器；13—真空管路；14—压缩空气管路

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

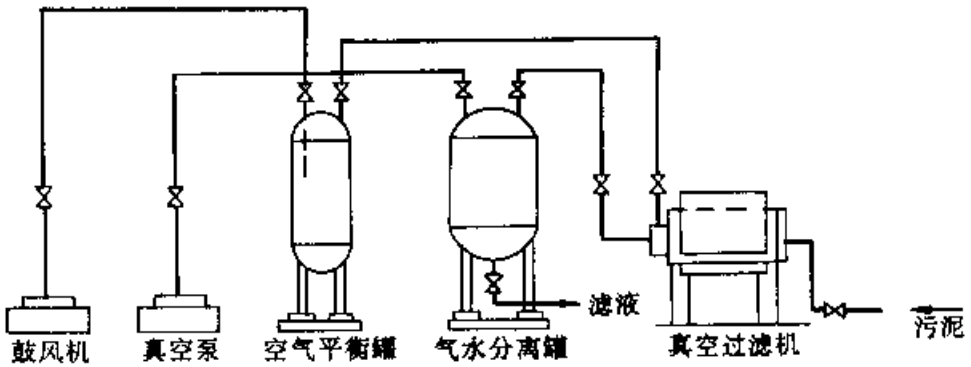


图 5-31　转鼓真空过滤机脱水的工艺流程

干水分。当管孔 9 与固定部件的孔 8 相通时，便进入反吹区，与压缩空气相通，滤饼被反吹松动，然后用刮刀 10 剥落经皮带输送器 12 运走。之后进入休止区，实现正压与负压转换时的缓冲作用。这样一个工作周期就完成了。

由此可见转鼓每旋转一周，依次经过滤饼形成区、吸干区、反吹区及休止区。

（二）压滤法

压滤法与真空过滤法基本理论相同，只是压滤法推动力为正压，而真空过滤法为负压。压滤的压力可达 4～8MPa，因此推动力远大于真空过滤法。常用的压滤机械有板框压滤机和带式压滤机两种。

1．板框压滤机

板框压滤机的构造简单，推动力大，适用于各种性质的污泥，且形成的滤饼含水率低。但它只能间断运行，操作管理麻烦、滤布易坏。板框压滤机可分为人工和自动板框压滤机两种。自动板框压滤机与人工的相比，滤饼的剥落，滤布的洗涤再生和板框的拉开与压紧完全自动化，大大减少了劳动强度。自动板框压滤机有立式和卧式两种，见图 5-32。

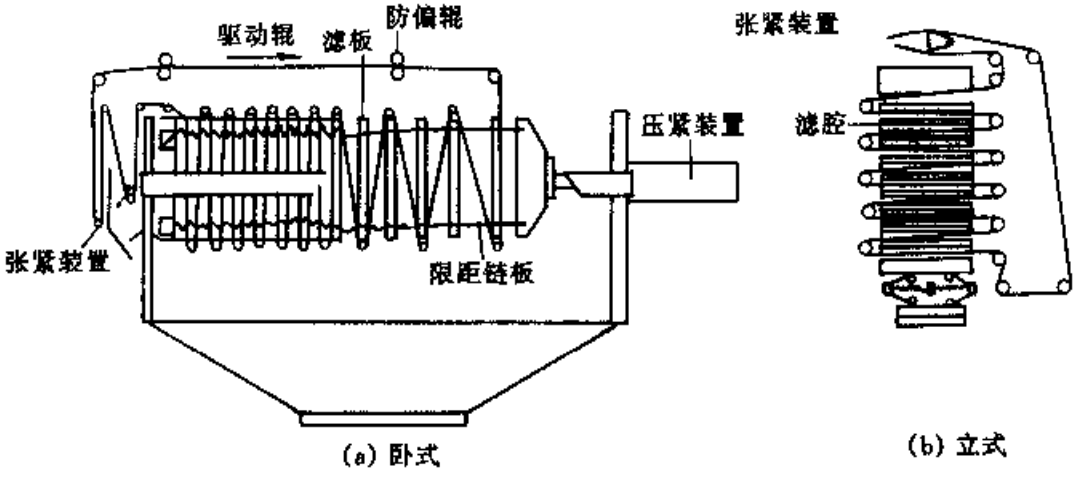


图 5-32　自动板框压滤机

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

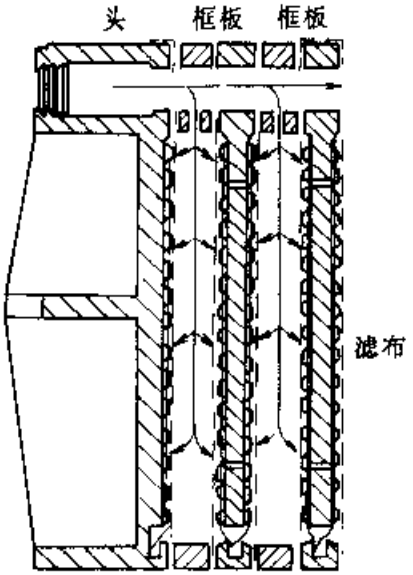


图 5-33 板框压滤机工作原理示意图

板框压滤机的工作原理见图 5-33。板与框相间排列而成，并用压紧装置压紧，在滤板两侧覆有滤布，即在板与板之间构成压滤室。在板与框的上端相同部位开有小孔，压紧后，各孔连成一条通道。加压后的污泥由该通道进入，并由滤框上的支路孔道进压滤室。污泥的运动方向见图中箭头。在滤板的表面刻有沟槽，下端有供滤液排出的孔道。滤液在压力作用下，通过滤布并沿着沟槽向下流动，最后汇集于排液孔道排出，使污泥脱水。为了防止污泥颗粒堵塞滤布网孔和滤板沟槽，在压滤开始时，压力要小一点，待污泥在滤布上形成薄层滤饼后，再增大压力。

压滤机的产率与污泥性质、滤饼厚度、过滤时间、过滤压力、滤布等条件有关，可通过参考类似压滤运行的数据选用或试验确定，一般为 2～4kgf/(m^2·h)。

2. 带式压滤机

带式压滤机中，较常见的是滚压带式压滤机。其特点是可以连续生产，机械设备较简单，动力消耗少，无须设置高压泵或空压机。在国外已经被广泛用于污泥的机械脱水。

滚压带式压滤机由滚压轴及滤布带组成，压力施加在滤布带上，污泥在两条压滤带间挤轧，由于滤布的压力或张力得到脱水。其基本流程如下。

污泥先经过浓缩段，依靠重力过滤脱水，浓缩时间一般为 10～30s，目的是使污泥失去流动性能，以免在压轧时被挤出滤布带。之后进入压轧段，依靠滚压轴的压力与滤布的张力除去污泥中的水分，压轧段的停留时间约为 1～5min。

滚压的方式，取决于污泥的特性。一般有两种：一种是相对压榨式，滚压轴上下相对，压榨的时间几乎是瞬时的，但压力大，见图 5-34 (a)；一种是水平滚压式，滚压轴上下错开，依靠滚压轴施于滤布的张力压榨污泥，因压榨的压力受张力限制，压力较小，故所需压榨时间较长，但在滚压过程中对污泥有一种剪切力的作用，可促进污泥的脱水，见图 5-34 (b)。

(三) 离心法

离心法的推动力是离心力，推动的对象是固相，离心力的大小可控制，比重力大得多，因此脱水的效果比重力浓缩好。它的优点是设备占地小，效率高、可连续生产、自动控制、卫生条件好；缺点是对污泥预处理要求高、

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

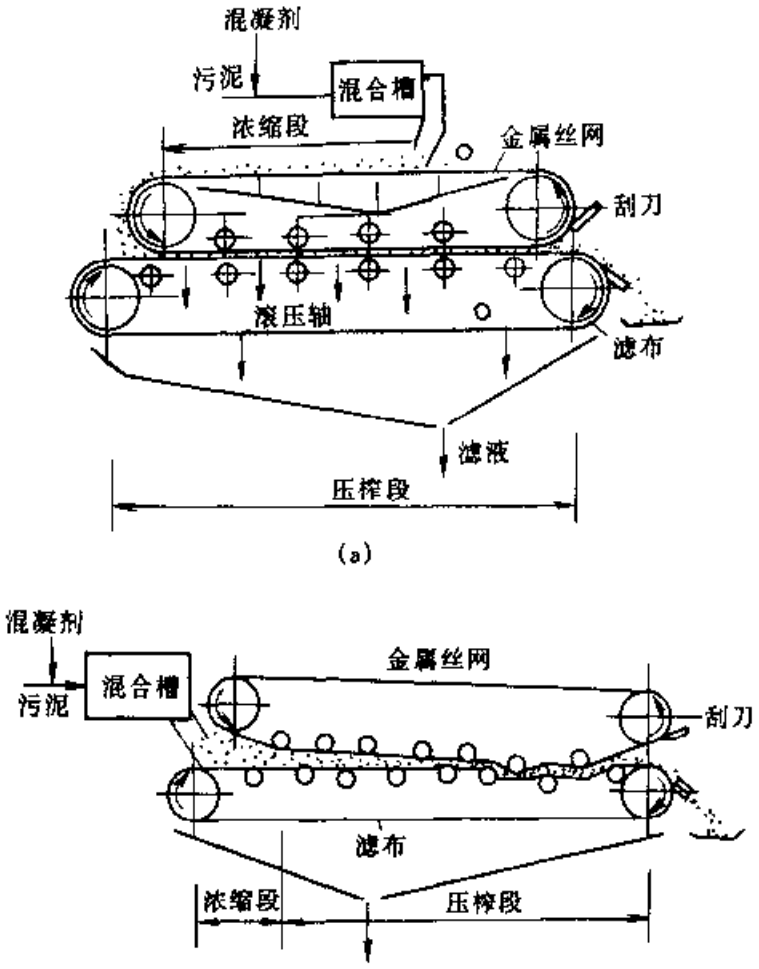


图 5-34　滚压带式过滤机示意图

必须使用高分子聚合电解质作为调理剂、设备易磨损。

根据分离因素的不同，离心机可分为低速离心机（α 为 1000～3000）、中速离心机（α 为 1500～3000）和高速离心机（α 为 3000 以上）三类。在污泥脱水处理中，由于高速离心机转速快、对脱水泥饼有冲击和减切作用，

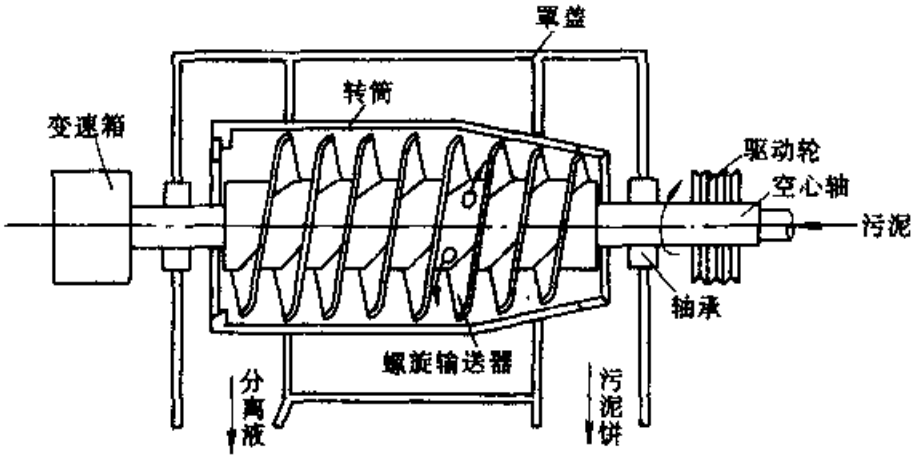


图 5-35　转筒式离心机

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

因此适宜用低速离心机进行污泥离心脱水。

根据离心机的形状，可分为转筒式离心机和盘式离心机等，其中以转筒式离心机在污泥脱水中应用最广泛。它的主要组成部分是转筒和螺旋输泥机(见图 5-35)，工作过程如下：

污泥通过中空转轴的分配孔连续进入筒内，在转筒的带动下高速旋转，并在离心力作用下泥水分离。螺旋输泥机和转筒同向旋转，但转速有差异，即二者有相对转动，这一相对转动使得泥饼被推出排泥口，而分离液从另一端排出。

转筒式离心机的处理效果见表 5-19，设计时，可用之作参考。

表 5-19 转筒式离心机的运行性能

污泥种类	入流污泥浓度/%	脱水后污泥的含固率/%	高分子电解质用量/(g/kg 干固体)	固体物质回收率/%
初沉池污泥	4～5	25～30	1～1.5	95～97
生物滤池污泥	2～3	9～10	0	90～95
		10～12	0.75～1.5	95～97
剩余活性污泥	0.5～1.5	8～10	0	85～90
		12～14	0.5～1.5	90～95
70%初沉污泥＋30%生物滤池污泥	2～3	9～11	0	95～97
		7～9	0.75～1.5	94～97
50%初沉污泥＋50%剩余活性污泥	2～3	12～14	0.5～1.5	93～95
60%初沉污泥＋40%生物转盘污泥	2～3	20～24	0	85～90
		17～20	2～3	≥98
50%初沉污泥＋50%剩余活性污泥	1～2	12～14	0	75～80
		10～12	0.75～1.5	85～90
		8～10	2～3	93～95
(均来自厌氧消化)	1～3	8～11	0	80～85
		12～14	1～3	90～95

五、焚烧

焚烧是一种常用的污泥最终处置方法，它可破坏全部有机质，杀死一切病原体，并最大限度地减少污泥体积。当污泥自身的燃烧热值很高，或城市卫生要求高，或污泥有毒物质含量高，不能被利用时，可考虑采用污泥焚烧。污泥在焚烧前，应先进行脱水处理以减少负荷。

焚烧在焚烧炉内进行，首先借助辅助燃料引火，使焚烧炉内温度升至燃点以上，然后使得污泥自燃，所产生的废气(CO_2、SO_2 等)和炉灰，再分别进行处理。焚烧所需热量，主要靠污泥含有的有机物燃烧，如污泥的燃烧热值，不足以使污泥自燃，则需补充辅助燃料，不同污泥的燃烧热值可参见表 5-20。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 5-20 各种污泥的燃烧热值表

污泥种类	燃烧热值/(kJ/kg 干污泥)
初次沉淀污泥	
新鲜的	15826～18191.6
经消化的	7201.3
初次沉淀污泥与腐殖污泥混合	
新鲜的	14905
经消化的	6740.7～8122.4
初次沉淀污泥与活性污泥混合	
新鲜的	16956.5
经消化的	7452.5
新鲜活性污泥	14905～15214.8

污泥焚烧的影响因素有焚烧温度、空气量、焚烧时间、污泥组分等。焚烧温度不应低于 800℃，否则有机物不能燃烧，如欲消除气味，温度还需达到 1000℃。燃烧时必须补充足够的空气，以免燃烧不充分，但也不能过量太多，否则会消耗过多的热量，一般过量 50%～100%。焚烧时间也不能太短，否则燃烧不完全。污泥中挥发物含量越高，含水率越低，则越易于维持自燃，当含水率与挥发物之比小于 3.5 时，能维持自燃。

常用的污泥焚烧设备有回转焚烧炉、多段焚烧炉和流化床焚烧炉等。

六、综合利用

污泥的综合利用视其性质而定。大致有以下几类利用方式：

(一) 在农业上应用

污泥中含有植物所需要的营养成分和有机物，因此污泥应用在农业上是最佳的最终处置办法。污泥的肥效主要取决于污泥的组成和性质。以生活污水的污泥为例，含氮量为 2%～6%，含磷量 1%～4%，含钾量为 0.2%～0.4%。从肥料的三要素来分析污泥的肥效，主要是利用其氮肥，其次是磷肥，钾肥的利用价值较小。污泥的氮、磷含量都比一般农家肥高，而且污泥中含有的硼、锰、锌等微量元素对农业增产有重要作用，因此可以说污泥是一种优质的有机肥料。但污泥中含有的病菌、寄生虫、病原体及重金属离子，如直接用作肥料，会对植物有危害作用并进入食物链影响其他生物，并且不利于土壤吸收养分，因此在把污泥用作农田肥料前，应首先进行稳定化处理，使病菌、寄生虫和病原体等死亡或减少，稳定有机物和减少臭气。此外，对于其中重金属离子的含量，也必须符合于我国农业部制定的《农田污泥中污染物控制标准》(GB 4284—84) 的要求。

较常用的处理方法是堆肥。堆肥是利用嗜热微生物，使污泥中的有机物和水分好氧分解，能达到腐化稳定有机物、杀死病原体、破坏污泥中恶臭成分和脱水的目的。堆肥的缺点是在天气不好时，过程缓慢，且会产生臭气。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（二）建筑材料利用

污泥可用作制砖与制纤维板材两种建筑材料。此外还可用作铺路。

污泥制砖可采用干化污泥直接制砖，也可采用污泥焚烧灰制砖。制成的污泥砖强度与红砖基本相同。

制砖粘土化学成分有一定要求。当用干化污泥直接制砖时，由于干化污泥组成与制砖粘土有一定差异，应对污泥的成分作适当调整，使其成分与制砖粘土的化学成分相当。而焚烧灰的化学成分与制砖粘土的化学成分是比较接近的，因此利用污泥焚烧灰制砖，只需加入适量的粘土与硅砂即可。

污泥制纤维板材，主要是利用蛋白质的变性作用，也即活性污泥中所含粗蛋白（有机物）与球蛋白（酶），在碱性条件下，加热、干燥，加压后，会发生一系列的物理、化学性质的改变，从而制成活性污泥树脂（又称蛋白胶），再与经过漂白、脱脂处理的废纤维（可利用棉、毛纺厂的下脚料）一起压制成板材，即生化纤维板。生化纤维板性能见表 5-21，表中还列出了国家三级硬制纤维板的标准以作比较。

表 5-21　生化纤维板与三级硬质纤维板比较

板　名	容重/(kg/m³)	抗折强度/(kg/cm²)	吸水率/%
三级硬质纤维板	≤800	≤200	≥35
生化纤维板	1250	180～220	30

（三）污泥气利用

污泥发酵产生的污泥气既可用作燃料，又可作为化工原料，因此是污泥综合利用中十分重要的方面。它的成分随污泥的性质而异，一般含 CH_4 在 50%～60%以上。

消化池所产生污泥气能完全燃烧，保存运输方便，无二次污染，是一种理想的燃料。污泥气发热量一般为(5000～6000)×4.18kJ/m³，当它用作锅炉燃料时，约 1m³ 气体就相当于 1kg 煤。也可利用污泥气发电，1m³ 污泥气约可发电 1.25 度。

污泥气在化学工业中也有着广阔的利用前途。污泥气的主要成分是甲烷和二氧化碳。将污泥气净化，除去二氧化碳，即可得到甲烷，以甲烷为原料可制成多种化学品。

（四）填埋

污泥可单独填埋或与其他废弃固体物（如城市垃圾）一起填埋。填埋场地应符合一定的设计规范。其中需注意的是：

① 填埋场地的渗沥水属高浓度有机污水，污染非常大，必须加以收集进行处理，以防止对地下水和地表水的污染。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

② 应注意填埋场地的卫生，防止鼠类和蚊蝇等的孳生，并防止臭味向外扩散。

③ 当焚烧灰的挥发分在15%以下时，可进行不分层填埋，其他情况均需进行分层填埋。生污泥进行填埋时，污泥层的厚度应≤0.5m，其上面铺砂土层厚0.5m，交替进行填埋，并设置通气装置；消化污泥进行填埋时，污泥层厚度应≤3m，其上面铺砂土层厚0.5m，交替进行填埋。

④ 如在海边进行填埋时，需严格遵守有关法规的要求。

（五）投海

沿海地区，可考虑把污泥投海，投海污泥最好是经过消化处理的污泥，而且投海地点必须远离海岸。投海的方法可用管道输送或船运，前者比较经济。污泥投海，在国外有成功的经验也有造成严重污染的教训，因此必须非常谨慎。

按英国的经验，污泥（包括生污泥、消化污泥）投海区应离海岸10km以外，深25m，潮流水量为污泥量的500～1000倍。这样由于海水的自净与稀释作用，可使海区不受污染。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第六章　其他化工污染防治工程

在化工生产中除了大气污染、水污染及化工废渣污染之外，噪声污染防治、热污染防治及电磁污染防治也是很重要的。如果治理不好，同样会对化工生产和人体健康带来直接或间接的危害。

第一节　噪声污染与控制

随着工业的高度发展和城市人口的迅猛膨胀，噪声已成为现代城市居民每天感受到的公害之一。日本 1966 年因公害起诉的案件 20502 起，噪声就有 7640 起，占 37.3%（大气污染占 22.9%，水污染占 10.7%，振动公害占 5.8%，臭气污染占 17%，地面下沉占 0.15%，其他占 4.8%），而 1974 年噪声起诉案增至 20972 起，1977 年又激增至 80000 起。美国 1977 年在工业生产中因噪声造成工作效率降低、意外事故和要求赔偿等经济损失估计达 40 亿美元。

一、噪声的含义、特点与来源

（一）噪声的含义

一般认为凡是不需要的、使人厌烦并对人类生活和生产有妨碍的声音都是噪声。

可见，噪声不仅取决于声音的物理性质，而且与人类的生活状态有关。例如，听音乐会时，除演员和乐队的声音外，其他都是噪声；但当睡眠时，再悦耳的音乐也是噪声。

（二）噪声的特性

1. 与主观性有关

由于噪声属于感觉公害，它与人的主观意愿和人的生活状态有关。在污染有无和程度上，与人的主观评价关系密切。当然，当噪声大到一定程度时，每个人都会认为是噪声；但即便如此，每个人的感觉还是会不一样。

2. 局限性

局限性是指环境噪声传播距离和影响范围有限，不像大气污染和水污染可以扩散和传递到很远的地区。

3. 分散性

分散性是指环境噪声源常是分散的，因此，噪声只能规划性防治而不能集中处理。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

4. 暂时性

噪声停止发声后，危害和影响即可消除，不像其他污染源排放的污染物即使停止排放，污染物亦可长期停留在环境中或人体里。故噪声污染没有长期的积累影响。

（三）噪声来源

噪声主要来源于物体（固体、液体、气体）的振动，这样可分为气体动力噪声、机械噪声和电磁性噪声。对城市噪声而言，70%来自交通噪声，其余来自工厂噪声和生活噪声。

二、化工企业噪声的特征

1. 化工企业噪声的声学特征

化工生产多半以液体为原料，在反应罐和塔设备中进行反应，以管道输送物料，所发生的噪声具有以下的特征。

（1）连续的稳定噪声　化工厂是在额定的负荷条件下，连续地进行生产的，它的噪声是连续的、稳态的，而且白天和夜间的噪声级是没有多大差别。

（2）中、低频的气流噪声　化工厂除工艺设备，如反应设备等外，还有压缩机、风机、空冷器、电动机、泵、加热炉和火炬等，这些设备的噪声主要是机泵产生的中、高频气流噪声。除上述噪声之外，还有排气放空等高频噪声，但由于化工厂高频噪声传递时衰减比低频噪声要快，从整体上讲，化工厂是以中、低频气流噪声为主。

（3）化工厂噪声在半自由场中以一定的高程传播　化工厂的场地多半是水泥地坪，具有一定的声反射作用。设备的噪声，由于接近地面，其传播可以当作是在半自由场进行。

另外，化工厂的一些设备，如塔设备、放空设备或火炬等，比较高或安装在较高的地段。这些设备所产生的噪声，由于邻近没有较多的屏障所阻挡，所以传得较远，影响面较大。

2. 主要噪声源分析

（1）压缩机、风机等设备的噪声　化工厂中经常使用功率几十到几千千瓦的压缩机和风机，其噪声级可达 90～115dB（A）。成为化工厂的主要噪声源之一。

往复压缩机的噪声主要是因活塞的往复运动所引起的气流脉动造成的，而离心式压缩机发生的噪声是湍流噪声。

风机的噪声主要由风机叶轮高速旋转而发生的气流噪声，噪声的传播除了风机的进出口外，还通过风机的壳和风机的振动由基础向外辐射噪声。风机、压缩机等设备的噪声见表 6-1。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 6-1 风机、压缩机等设备的噪声

声源	声压级/dB（A）	声源	声压级/dB（A）	声源	声压级/dB（A）
电机	70～90	鼓风机	100～105	风扇	80～90
齿轮减速箱	75～85	链条传送机	95～100	燃气发动机	95～100
压缩机	85～95	机泵	80～85		

（2）加热炉噪声 自然通风的立式圆筒炉和其他加热炉的噪声级一般在95～115 dB（A），其噪声主要是喷嘴中燃料与空气的混合以及喷射而产生的高频噪声，另外还有炉内燃料燃烧产生的125～250Hz的低频噪声。炼油厂、石油化工厂几种加热炉噪声见表6-2。

表 6-2 化工厂常用加热炉噪声（测距 1m）

炉子类型	声压级/dB（A）		炉子类型	声压级/dB（A）	
	A	C		A	C
常压炉	100	106.5	裂化加热炉	101	108
减压炉	96	103.5	一段转化炉（600t/d 氨厂）	90	95
酮苯加热炉	96	104	一段转化炉（1000 t/d 氨厂）	88	95
丙烷加热炉	93	102	辅助锅炉（1000 t/d 氨厂）	98	112

（3）凉水塔噪声 化工厂循环水系统的冷却水多半是采用凉水塔，其噪声主要来自风扇噪声和落水噪声，它对厂区环境影响是不可忽然的。

（4）空气冷却器噪声 空冷器噪声主要是风机运转和空气经过冷却管束之间时产生噪声级约为95～100 dB（A）左右，以低频声为主，对工厂装置区有一定的影响。

（5）调节阀噪声 调节阀在化工厂中大量使用，其产生的噪声可达95～100 dB（A），主要是以高频为主，刺耳难受。阀门噪声是由于喷口差压形成的“空穴”气泡的不断崩溃和流体喷射湍流产生的，也是对厂区环境影响较大的噪声源。

（6）管道噪声 在化工厂中，采用管道较多，当管道内介质流速为100m/s时，在距管线1m处的噪声一般是不超过90 dB（A）的。管道噪声也来自上游设备，如压缩机、送排风机和调节阀等。管道分布较广，其影响范围也较广。

（7）火炬噪声 在距地面大约100m处所测得的火炬噪声为78～83 dB（A），由于其在高空中燃烧并发出低频的咆哮声，对周围环境危害较大。

（8）放空噪声 气体放空在化工厂是常见的，目的是稳定操作和在操作失常时紧急排气。当工艺气体、压缩空气和蒸汽通过排放口向大气放空时，会产生很大噪声。声压级一般在90～120 dB（A），有的甚至高达130 dB（A），放空口一般均在厂区高空，不但影响厂内，而且影响周围环境。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（9）电动机噪声　电动机作为驱动设备在化工厂中得到广泛的使用，其噪声主要由冷却风扇高速旋转而引起。防爆电机和封闭式电机噪声可达90～105 dB（A）。电动机功率越大，转速越高，噪声也越大，对车间环境有较大的影响。

三、噪声的度量

描述噪声特征的方法可分两类：一类是把噪声单纯地作为物理扰动，用描述声波的客观特性的物理量来反映，这是对噪声的客观量度。另一类涉及人耳的听觉特性，根据听者感觉到的刺激来描述，称为噪声的主观评价。噪声强弱的客观量用声压、声强和声功率等物理量表示。

（一）声压和声压级

1. 声压

声波引起空气质点振动，使大气压产生起伏，这个起伏部分，即超过静压的量，称为声压。声压分为瞬时声压和有效声压两类：

瞬时声压　是指某瞬时媒质中内部压强受到声波作用后的改变量，即单位面积的压力变化。所以声压的单位就是压强的单位是 Pa（帕），即 N/m^2（牛顿/米^2）。

有效声压　瞬时声压的均方根值称为有效声压。通常所说的声压，即指有效声压，用 P 表示。

2. 声压级

声压从听阈到痛阈，即从 2×10^{-5}Pa 到 20Pa，声压的绝对值相差非常之大，达到 100 万倍。因此，用声压的绝对值表示声音的强弱是很不方便的。再者，人对声音响度感觉是与声音的强度的对数成正比的。为了方便起见，引用了声压比或者能量比的对数来表示声音的大小，这就是声压级。好像用级来表示风力的大小、地震的强度一样。

声压级用 L_p 表示，它的单位为分贝，记为 dB。分别是一个相对单位，对声压与基准声压之比，取以 10 为底的对数，再乘以 20，就是声压级的分贝数。

即：

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \text{ (dB)}$$

式中　L_p——声压级，dB；

P——声压，Pa；

P_0——基准声压（听阈，$P_0=2\times10^{-5}$Pa）

（二）声功率和声功率级

1. 声功率

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

声功率是描述声源性质的物理量，表示声源在单位时间内向外辐射出的总声能，单位为瓦（用 W 表示）或微瓦。声功率是反映声源辐射声能本领大小的物理量，与声压或声强等物理量有密切关系。

2. 声功率级

声功率级的数学表达式为：

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

式中，W_0 为基准声功率，$W_0 = 10^{-12}$W。

（三）声强和声强级

1. 声强

声强是在声波传播方向上，与该方向垂直的单位面积、单位时间内通过的声能量，常用 I 表示，单位是 W/m^2。声压与声强有密切关系。在自由声场中，对于平面波和球面波，某处的声强与该处声压的平方成正比。

2. 声强级

声强级的数学表达式为：

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

式中，I_0 为基准声强，$I_0 = 10^{-12}$W/m^2。

四、噪声级的相加和平均值

1. 噪声级的相加

噪声级相加不是简单的声压相加，而是要按能量（声功率或声压平方）相加。

（1）公式法

两个声压级 L_1 和 L_2 相加，求合成的声压级 L_{1+2}（分贝），可按下列步骤计算：

① 因 $L_1 = 20 \lg \frac{P_1}{P_0}$（dB）和 $L_2 = 20 \lg \frac{P_2}{P_0}$（dB），运用对数换算得：

$$P_1 = P_0 10^{\frac{L_1}{20}} \quad 和 \quad P_2 = P_0 10^{\frac{L_2}{20}}$$

② 合成声压 P_{1+2}，按能量相加则 $(P_{1+2})^2 = P_1^2 + P_2^2$

即：$(P_{1+2})^2 = P_0^2(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}})$ 或 $\left(\frac{P_{1+2}}{P_0}\right)^2 = (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{20}})$

③ 按声压级的定义合成的声压级

$$L_{1+2} = 20 \lg \frac{P_{1+2}}{P_0} = 10 \lg \left(\frac{P_{1+2}}{P_0}\right)^2$$

即：$L_{1+2} = 10 \lg(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}})$ dB(A)

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（2）查表法

先算出两个声音 L_1 和 L_2 的分贝差，再查表 6-3 或图 6-1。找出相应的

表 6-3 声压级差与其增值

声压级差(L_1-L_2)/dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
增值 ΔL	3.0	2.5	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4

增值 ΔL，然后在分贝数大的 L 上，得出两个噪声的和。

2．噪声级的平均值

一般的说，噪声级的平均值不按算术平均值计算，计算平均值有两种方法：

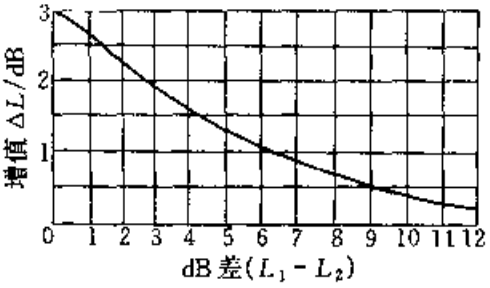


图 6-1 分贝和的增值图

（1）公式法

$$\bar{L} = 10\lg\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{\frac{L_i}{10}}\right] = 10\lg\sum_{i=1}^{n}10^{\frac{L_i}{10}} - 10\lg n$$

式中 L_i——第 i 个噪声源的声级；

n——噪声源的个数；

$\bar{L}$——n 个噪声的平均声级。

（2）查表法 先按求和的方法，把几个噪声源相加，再减去 10 lg$n$。如将 105、103、100、98 四个噪声求平均，则先在图 6-1、表 6-3 查得其加和值为 108.3dB，然后再减去 10 lg4，即得 102.3dB，经四舍五入得平均数为 102dB。

五、环境噪声评价值

环境噪声的度量，不仅与噪声的物理量有关，还与人对声音的主观听觉有关；人耳对声音的感觉不仅和声压级大小有关，而且也和频率的高低有关。声压级相同而频率不同的声音，听起来不一样响，高频声音比低频声音响，这是人耳的听觉特性所决定。我国在听觉范围（0～130dB）采用三种计权特性，即 A 声级、B 声级和 C 声级。其中 A 声级使接收到的噪声在低频有较大的衰减，而高频不衰减甚至稍有放大。这样，A 声级测得的噪声值比较接近人的听觉。A 声级能较好地反映出人们对噪声吵闹的主观感，它几乎成为一切噪声评价的基本值。在环境噪声评价时，常常采用等效连续 A 声级、昼夜等效声级、统计噪声级和计权有效连续感觉噪声级等。

六、噪声的危害

1．干扰睡眠

睡眠是人消除疲劳、恢复体力、维持健康的一个重要条件，但是噪声会

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

干扰人的睡眠，尤其对老人和病人这种干扰更显著。当人的睡眠受到噪声干扰后，工作效率和健康都会受到影响。一般说来，40dB（A）的连续噪声可使10%的人受到影响，70dB（A）可影响到50%；而突发的噪声在40dB（A）时，可使10%的人惊醒，到60dB（A）时，可使70%的人惊醒。由于睡眠受干扰而不能人睡所引起的失眠、耳鸣多梦、疲劳无力、记忆力衰退，在医学上称为神经衰弱症候群，在高噪声环境下，这种病的发病率可达50%～60%以上。

2. 损伤听力

噪声可以使人造成暂时性的或持久性的听力损伤，后者即耳聋。A声级在80dB（A）以下的职业性噪声暴露，可能造成听力损失，一般不致引起噪声性耳聋；在80～85dB（A），会造成轻度的听力损伤；在85～90dB（A），会造成少量的噪声性耳聋；在90～100dB（A），会造成一定数量的噪声性耳聋；在100dB（A）以上，会造成相当多的噪声性耳聋。但是，高至90dB（A）的噪声，也只产生暂时性的病患，休息后即可恢复。因此噪声的危害，关键在于它的长期作用。

1971年国际标准化组织（ISO）公布了0～45年间连续噪声的A声级与听力损害危险率的关系，如表6-4所示。

表6-4　0～45年的等效连续A声级与听力损害危险率（%）的关系

等效连续A声级/dB（A）		年　数（即年龄减去18岁）									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
≤80	危险率/%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	听力损害率/%	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50
85	危险率/%	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	听力损害率/%	1	2	6	10	13	17	22	30	43	57
90	危险率/%	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
	听力损害率/%	1	6	13	19	23	26	32	41	54	65
95	危险率/%	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
	听力损害率/%	1	9	20	29	35	39	45	53	62	73
100	危险率/%	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	听力损害率/%	1	14	32	42	49	53	58	65	74	83
105	危险率/%	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
	听力损害率/%	1	20	45	58	65	70	76	82	87	91
110	危险率/%	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
	听力损害率/%	1	28	58	76	85	88	91	93	95	95
115	危险率/%	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47
	听力损害率/%	1	38	74	88	94	94	95	96	97	97

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

3. 对人体生理的影响

一些实验表明，噪声会引起人体紧张的反应，刺激肾上素的分泌，因而引起心率改变和血压升高。噪声会使人的唾液、胃液分泌减少，从而易患胃溃疡和十二指肠溃疡；某些吵闹的工业企业里，溃疡症的发病率会比安静环境的高 5 倍。在高噪声环境下，会使一些女性的性机能紊乱，月经失调，孕妇流产率增高。有些生理学家和肿瘤学家指出：人的细胞是产生热量的器官，当人受到噪声或各种神经刺激时，血液中的肾上腺素显著增加，促使细胞产生的热能增加，而癌细胞则由于热能增高而有明显的增殖倾向，特别是在睡眠之中。极强的噪声［如 175 分贝（A）］，人还会死亡。

4. 对心理的影响

噪声使人烦恼激动、易怒，甚至失去理智。噪声也容易使人疲劳，往往会影响精力集中和工作效率，尤其是对那些要求注意力高度集中的复杂作业和从事脑力劳动的人，影响更大。另外，噪声分散人们的注意力，容易引起工伤事故。特别是在能够遮蔽危险警报信号和行车信号的强噪声下，更容易发生事故。

5. 影响儿童和胎儿发育

在噪声环境下，儿童的智力发育缓慢。有人做过调查，吵闹环境下儿童智力发育比安静环境中的低 20%。噪声使母体产生紧张反应，会引起子宫血管收缩，以致影响供给胎儿发育所必需的养料和氧气。有人对机场附近居民的研究发现，噪声与胎儿畸形有关。此外，噪声还影响胎儿的体重，吵闹区婴儿体重轻的比例较高。

6. 干扰语言交流

噪声对语言通信的影响，来自噪声对听力的影响。这种影响，轻则降低通信效率，影响通信过程；重则损伤人们的语言听力，甚至使人们丧失语言听力。实验证明，60dB（A）噪声下，普通交谈声的交谈距离仅 1.3m，大声的交谈距离为 2.5m。噪声对谈话的干扰程度见表 6-5。

表 6-5　噪声对谈话的干扰程度

噪声级/dB（A）	主观反映	保证正常谈话的距离/m	通讯质量
45	安静	10	很好
55	稍吵	3.5	好
65	吵	1.2	较困难
75	很吵	0.3	困难
85	大吵	0.1	不可能

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

7. 影响动物生长

强噪声会使鸟类羽毛脱落，不下蛋，甚至内出血，最终死亡。如 20 世纪 60 年代初期，美国 F104 喷气机在俄克拉荷马市上空作超声速飞行试验，飞行高度为 10000m，每天飞行 8 次，共飞行 6 个月，导致附近一个农场的 10000 只鸡被轰声杀死 6000 只。

8. 损害建筑物

在美国统计的 3000 件喷气式飞机使建筑物受损害的事件中，抹灰开裂的占 43%，损坏的占 32%，墙开裂的占 15%；瓦损坏的占 6%。由于飞机噪声造成的经济损失，1968 年约为 40～185 亿美元，1978 年约为 60～277 亿美元。

七、噪声控制措施

控制噪声的措施是多种多样的。它主要是根据噪声源、声音传播的途径和接收者的具体情况，采取相应的技术措施。噪声控制的基本原则是既要满足降噪量的要求，也要符合技术和经济指标的合理条件，权衡治理污染所投入的人力、物力和环境效益，研究确定一个比较合理的控制和治理方案。

（一）消除和降低声源

消除和减少声源是控制噪声的最有效的办法。例如防止冲击、减少摩擦、保持平衡、去除振动等都是消除和减少声源的办法。此外，沿边旋转流体无规律的运动，防止流体形成涡流运动，都是消除和减少流体噪声的好办法。通过研制和选用低噪声设备、改进生产加工工艺、提高机械设备的加工精度和安装技术，或者采用别的生产工艺代替噪声大的工艺。达到减少发声体的数量，或降低发声体的辐射声功率，都是控制噪声的根本途径。

（二）消声降噪

风机、水泵、空气压缩机等难以密闭的机械设备，最常用的消声办法是在设备的入口、出口或管道上安装消声器或类似的消声装置。消声器就是防治空气动力性噪声的主要装置，它既能阻止声音的传播又允许气流的通过，用以装设备的气流通道上，可使该设备本身发出的噪声和管道中空气动力噪声降低。根据消声机理，消声器主要分为三大类，即阻性消声器、抗性消声器和多孔扩散消声器。

1. 阻性消声器

阻性消声器利用吸声材料吸声，把吸声材料如玻璃绵、木丝板、泡沫塑料等，固定在管道内壁，或按一定方式在管道中排列，就构成了阻性消声器。声波进入消声器后被吸声材料吸收转化为热，就像电流通过电阻产生热一样而消耗电能，吸声材料消耗的是声能，故称为阻性消声器。在应用中应避免把它用于高温、高湿气体的场合。阻性消声器的性能如表 6-6 所示。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 6-6 阻性消声器的性能

形式	消声频率	阻力	流速/(m/s)	用 途
管式	中	小	<15	中小型风机进排气消声
片式	中	小	<15	大中型风机进排气消声
蜂窝式	中	小	<15	中型风机进排气消声
折板式	中高	中	<10	空调风机进排气消声
室式	中高	大	<5	空调风机进排气消声

2. 抗性消声器

抗性消声器是利用声波的反射或干涉来达到消声目的的。抗性消声器中一部分声能被突变截面反射回声源，贮存起来，类似于电路中的电感、电容对电能的存储，故称为抗性消声器。通常，扩张室式消声器、共振消声器、干涉消声器以及弯头、管道内的障板和穿孔片等组合而成的消声器，都是抗性消声器。

抗性消声器的优点是具有良好的低、中频消声性能，构造简单，耐高温，耐气体腐蚀和冲击。缺点是消声频带较窄，高频消声效果较差。其主要性能如表 6-7 所示。

表 6-7 抗性消声器的性能

形式	消声频率	阻力	流速/(m/s)	用 途
共鸣式	低	小	<30	内燃机排气消声
扩张式	低、中	大	<20	空压机进气、内燃机排气消声
管式	中、高	小	<40	中小型风机进排气消声
片式	中、高	小	<30	大中型风机进排气及燃汽轮机排气消声
声流式	宽带	中	<20	内燃机排气消声

3. 多孔扩散消声器

多孔扩散消声器是让气流通过多孔装置而扩散，从而达到降低噪声的目的，其构造见图 6-2 所示。这种消声器降低噪声效果显著，一般可使噪声降低 30～50dB（A），而且结构简单，重量较轻。但容易积尘，造成小孔堵塞，所以在使用中要定期清洗。多孔扩散消声器多用于消除风动工具、高压设备等排气所产生的噪声，而不在进排气管道之中使用。

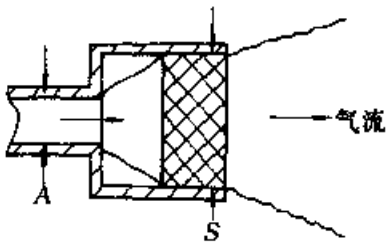


图 6-2 多孔扩散消声器

（三）吸声降噪

声源发出的声波遇到顶棚、地面、墙面及其他物体表面时，会发出声波

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的反射。声波在室内的多次反射形成的叠加声波称为混响声。由于混响声的存在，室内任何声源的噪声级比室外旷野的噪声级明显提高。这就要求充分利用吸声技术进行消声降噪处理，能够达到十分明显的效果。例如，在墙面和顶棚上粘贴吸声材料，或在空间悬挂吸声板、吸声体等，同时在房屋设计时采用吸声结构。通过这一系列措施，可以使室内噪声减少数分贝或十多分贝以上。

吸声材料大都是由多孔材料做成的。因此，在使用时往往要加护面板或织物封套。当空气中湿度较大时，水分进入材料的孔隙，可导致吸声性能的下降。此外，同一种吸声材料对不同频率的噪声，其吸声系数是不同的。对于低频噪声，吸声材料往往不是很有效的。因此，对低频噪声常常采用共振吸声结构来降低噪声。

（四）隔声降噪

声音从室内传到室外或从室外传到室内，也会从一个厂房传到另一个厂房。就需要应用隔声结构，阻碍噪声向空间的传播，使吵闹环境与须安静的环境分隔开，这种降噪措施称为隔声降噪。各种隔声结构如隔声间、隔声墙、隔声罩、隔声屏等统称为隔声围护结构。

1. 隔声墙

具有空气夹层的双层墙体或泡沫混凝土砖墙隔声结构比同样重量的单层墙的隔声性能好。这主要是夹层中的空气具有弹性作用，使声能衰减的缘故。如果隔声效果相同，夹层结构比单层结构的重量将减轻⅔～¾。留有足够间隔的间壁墙也有较好的隔声性能。实际上普通板门、双层玻璃窗和空心楼板，其中间都留有一定的距离，它们不仅有保温作用，而且有隔声作用。图 6-3 是常用的隔声墙的隔声量同墙的质量和频率的关系。

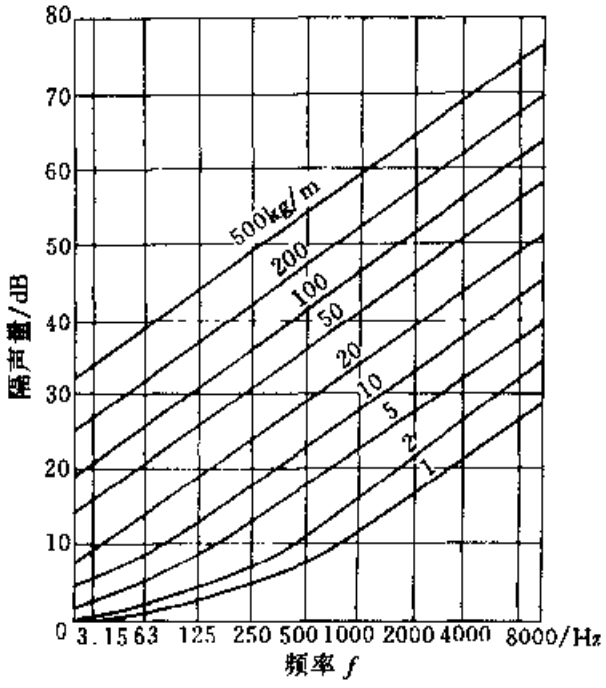


图 6-3 隔声墙的隔声性能

2. 隔声间（室）

由隔声墙及隔声门等构件组成的房间称为隔声间。隔声间的实际隔声量不仅与各构件的隔声量有关，而且还与隔声间内表面的吸声效果以及内表面的面积有关。一般来说，隔声间内表面的吸声量愈大，隔声间内面积愈

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

小，则其隔声量则愈大。隔声间中的门、窗和孔洞往往是隔声间中的最薄弱环节。一般门窗平均隔声量不超过 15～20dB，普通分隔墙的平均隔声量至少可达 30～40dB。孔、洞和缝隙对构件的隔声影响很大，若门、窗、墙体上有较多细小的孔隙，则隔声墙再厚，隔声效果也是不佳的。

3. 隔声罩

当噪声源比较集中或只有个别噪声源时，可将噪声源封闭在一个小的隔声空间内，这种隔声设备称为隔声罩。隔声罩是抑制机械噪声的较好方法，它往往能获得很好的降噪效果。如柴油机、空压机、电动机、气轮机等强噪声设备，常常使用隔声罩来降噪。隔声罩的一般结构如图 6-4 所示。

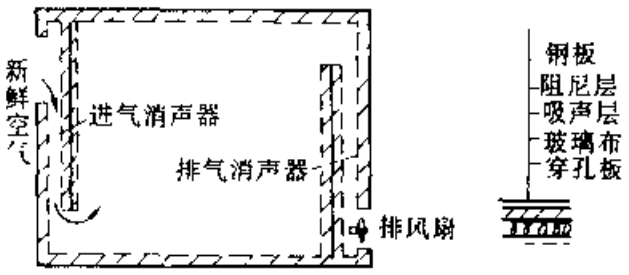


图 6-4　隔声罩的一般结构

（五）距离降噪

如果有条件的话，把噪声源与受害者分开一定的距离来防止噪声，会收到理想的效果。用距离防止噪声是一个重要的防止噪声的技术措施。由于在一定的立体角内，声源辐射的声功率是不变的，声强随距离的平方衰减，即距离加倍，波阵面的面积扩大 4 倍，声强减少到 1/4，声压级减少 6dB。即有：

$$L_r = L_0 - 20 \lg \frac{r}{r_0}$$

式中　L_0——r_0 距离上的声压级；

L_r——r 距离上的声压级。

（六）隔振与阻尼

声音的本质是振动在弹性介质（如空气、水等）中的传播。当振源直接与空气接触，形成声源的辐射称为空气声。当振动经过固体介质传递到与空气接触的界面，然后再引起声辐射，称为固体声。因此，隔绝振动在固体介质构件中的传递，改变固体界面声辐射部分的物理性质都是有助于控制噪声的，前者称为隔振，后者称为阻尼。

1. 隔振

机器产生的振动直接传递到基础，并以弹性波的形式从基础传递到房屋

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

结构上，引起其他房间结构的振动和声辐射。许多隔声材料，如钢筋混凝土、金属虽然是隔绝空气声的良好材料，但对固体声却难以减弱。隔振的原理是用弹性连接代替钢性连接，以削弱机器与基础之间的振动传递。各种弹性构件，如弹簧、橡皮、软木、沥青、玻璃纤维等都可以减小振动的传递。控制振动传递的弹性构件称为减振器。减振器有钢弹簧减振器、橡胶减振器及减振垫层等。

2. 阻尼

阻尼材料所以能减弱振动是基于材料的内摩擦原理。当涂有阻尼材料的金属薄板做弯曲振动时，振动能量迅速传递给阻尼材料，由于阻尼材料忽而被拉伸，忽而被压缩，因而使阻尼材料内部分子产生相对位移，产生相对摩擦，使振动的能量转变为热能而被消耗掉。

衡量阻尼材料阻尼大小的物理量通常以阻尼系数 η 表示。它表示物体将振动能量转化为热能的本领。阻尼系数越大，吸收振动的能力就越强。大多数金属材料的阻尼系数在 $10^{-5}\sim10^{-4}$之间，木材为 10^{-2}，软橡胶为 $10^{-2}\sim10^{-1}$。表 6-8 是几种国产阻尼材料的阻尼系数。作为阻尼材料，其阻尼系数至少要在 10^{-2}数量级范围内。

表 6-8　几种国产阻尼材料的阻尼系数

名　称	厚度/mm	阻尼系数	名　称	厚度/mm	阻尼系数
石棉漆	3	3.5×10^{-2}	聚氯乙烯胶泥	3	9.3×10^{-2}
硅石阻尼漆	4	1.4×10^{-2}	软木纸板	1.5	3.1×10^{-2}
石棉沥青膏	2.5	1.1×10^{-2}			

（七）对接受者的防护

当采用以上两种措施仍不能达到预期的降噪效果时，可采用个人防护的办法。最常用的个人防护用品有防声耳塞、防声棉、耳罩和防声头盔等。采取工人轮换作业，缩短工人进入高噪声环境的工作时间。

第二节　热污染与防治

由于工业生产排入水和空气中的废热而造成的环境污染称为热污染。热污染也会带来各种危害，所以热污染的控制也是环境污染防治的重要内容。

一、热污染的来源和危害

热污染的间接来源是能源的大量消耗，直接来源是工厂所排放的废热水和废热气。化工生产过程中除了需要大量的热能外，还需要大量的冷却水。化工生产中所排放的废水和废气中含有大量的热量，构成了水体和大气的热

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

污染。

1. 水体热污染

例如生产 1t 烧碱，大约需要 100t 冷却水，即便没有加入有关的化学物质，冷却水也会对周围环境带来热污染问题。它会影响到渔业生产，因水温升高使水中溶解氧减少，另一方面又使鱼的代谢率增高而需要更多的溶解氧，鱼在热应力作用下发育受到阻碍，甚至能够死亡。根据研究表明，在不适合的季节，河流水温只要增高 5℃，就会破坏鱼类的生活。一般水生生物能够生存的水温上限是 33～35℃，大约在此温度下，一般的淡水有机体还能保持正常的种群结构，超过这一温度就会丧失许多典型的有机体。藻类种群也随温度而发生变化。在具有正常混合藻类种的河流中，在 20℃时，硅藻占优势；在 30℃时绿藻占优势；在 35～40℃时蓝藻占优势。蓝藻占优势时，则发生水污染，水有不好的味道不宜供水，并有些种属对牲畜和人类有毒害作用。

2. 大气热污染

由于向大气排放含热废气和蒸汽，导致大气温度升高而影响气象条件时，称为大气热污染。大气热污染也会给人类带来多种不良的影响。大的化工企业，如大型炼油厂上空，由于生产废热的大量排放，其中心地区的气温可比周围地区的温度年平均高出 0.5～1.5℃，甚至更高，这种现象在气象学中称为热岛效应。

由于热岛的存在，使得工业区排放的污染物和废热总是在局部地区上空循环徘徊，难以向下风向扩散，从而更加重了工业区的环境污染。在一般静风的情况下，热岛是整天存在的。只有风速比较大，上空受较大气压梯度影响时，污染物才有可能向下风向输送、扩散和稀释。

二、热污染的控制

热污染的控制途径主要从以下几个方面入手。

（1）提高热能利用效率　目前因燃烧装置效率较低，使得大量能源以废热形式消耗，并产生热污染。工业企业锅炉的热效率约为 20%～70%，与发达国家相比要低得多。所以改进现有的能源利用技术，提高热力装置的热利用率是非常重要的，既节约了能源，又减轻了对环境的热污染。

（2）废热的综合利用　如果把废热当作宝贵的资源和能源看待，加以利用，将可以大量节约能源，减少热污染。在化工生产中产生大量的废热，可以利用这部分废热生产蒸汽或热水，被认为是废热利用的一个重要形式。

（3）开发和利用少污染或无污染的新能源　这是减少热污染的重要途径和办法，而且已成为全球能源利用的必然趋势。如把太阳能用于发电，空气

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

调节用热，冬季采暖，洗澡等大大减少了热污染源。

具体见表 6-9。

表 6-9 热污染及其防治

类型	名 称	成 因	危害/影响	防治措施
1	城市热岛	人口稠密，工业集中；燃料燃烧及工业产生的废热	造成局部地区的对流性环流	改进热能利用技术，提高热能利用率 废热综合利用
	水体热污染	工业废热	影响渔业生产	
2	全球变暖	温室气体（二氧化碳，甲烷等）的排放（主要来源于化石燃料的燃烧），改变了大气组成	海平面上升，气候异常等	开发和利用无染或减少污染的新能源，减少温室气体排放 《全球气候变化框架公约》
3	臭氧层破坏	CFCs（氟里昂）类消耗臭氧层物质的排放，改变了大气组成	太阳辐射（紫外线）增强，可引起皮肤灼伤，影响地表热状况	减少 CFCs 类物质的排放 《保护臭氧层的蒙特利尔议定书》
4	地表状态的改变	农牧业发展，开垦不当，导致沙漠化；城市的发展	改变地表发射率，改变热平衡，影响大气循环	生态保护

第三节 电磁污染与防护

一、电磁污染的含义和来源

广义上，电磁污染是指天然的和人为的各种电磁波干扰及对人体有害的电磁辐射。狭义上，电磁污染主要是指当电磁场的强度达到一定限度时对人体机能产生的破坏作用。

人为的电磁污染主要有：

① 脉冲放电 例如切断大电流电路时产生的火花放电，其瞬时电流变化率很大，会产生很强的电磁干扰；

② 工频交变电磁场 例如在大功率电机、变压器以及输电线等附近的电磁场，它并不以电磁波形式向外辐射，但在近场区会产生严重电磁干扰；

③ 射频电磁辐射 例如无线电广播、电视、微波通信等各种射频设备的辐射。频率范围宽广，影响区域也较大，能危害近场区的工作人员。目前，射频电磁辐射已经成为电磁污染环境的主要因素。

二、电磁污染的危害

1. 损害中枢神经系统

头部长期受微波照射后，轻则引起失眠多梦、头痛头昏、疲劳无力、记忆力减退、易怒、抑郁等神经衰弱症候群，重则造成脑损伤。

2. 影响遗传和生殖功能

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

父母一方曾经长期受到微波辐射的，其子女中畸形儿童如先天愚型、畸形足等的发病率异常高。强度在 5～10mW/cm^2 的微波，对皮肤的影响不大，但可使睾丸受到伤害，造成不育或女孩出生率明显增加。

3. 增加癌症发病率

典型的事件发生于 1976 年美国驻莫斯科大使馆。苏联人为监听美驻苏使馆的通讯联络情况，向使馆发射微波，由于使馆工作人员长期处在微波环境中，结果造成使馆内被检查的 313 人里，有 64 人淋巴细胞平均数高 44%，有 15 个妇女得了腮腺癌。

4. 引起心血管和眼睛等多种疾病

高强度微波连续照射全身，可使体温升高而产生高温的生理反应，如心率加快、血压升高、呼吸率加快、喘息、出汗等，严重的还会出现抽搐和呼吸障碍，直至死亡。强度在 100mW/cm^2 的微波照射眼睛几分钟，就可以使晶状体出现水肿，严重的则成白内障；强度更高的微波，会使视力完全消失。

三、电磁污染的防护

电磁污染的主要防治措施有屏蔽辐射源、距离控制及个人防护三个方面。

减少电磁污染、防止电磁辐射污染，应从产品设计、屏蔽-吸收入手，采取治本与治表相结合的方法。显然，为了从根本上防治电磁辐射污染，首先要从国家标准出发，对产生电磁波的各种工业设备、产品，提出较严格的设计指标，尽量减少电磁能量的泄漏，从而为防护电磁辐射提供良好的前提。并采取必要的技术措施来防治电磁辐射污染。屏蔽和吸收是两种基本的防护技术。

电磁辐射输出功率越大，辐射强度就越大，对人影响也越大；频率愈高和距离愈近，对人影响也愈大，所以对电磁辐射电子设备进行距离控制可以减少电磁辐射的强度。但对激光则意义不大，因为激光在空气中随距离衰减很慢。

个人防护措施因电磁辐射作用于人的特点不同而异。例如，对于微波与激光应着重采取对眼睛和皮肤的防护措施。此外，由于电磁污染的危害与接触时间长短有关，所以减少暴露时间便可以减轻电磁污染对人的危害。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第七章　化工清洁生产工艺

第一节　概　　述

为改善生产质量，工业废物产生和排放量要大大削减，这可以通过加强末端处理技术来减少对环境的危害。工业废物预防能使废物产生和排放量避免或最小化。为了保护能源和原材料，改善生产技术的废物预防方法变得更有意义。清洁生产的基本概念是非常简单的，在源头消除或使废物产生和排放量最小化，而不是废物产生后进行处理。

清洁生产在西方国家（如美国、加拿大和荷兰等）和发展中国家（如中国和印度）推行，已经显示了在工业方面巨大的清洁生产机会。尽管清洁生产普遍产生了经济效益和环境效益，但是实施清洁生产仍有巨大的障碍，经验表明，主要障碍是信息资料缺乏、管理观念和不恰当的鼓励办法。

一、清洁生产的由来

随着工业化的发展，进入自然生态环境的废物和污染物将越来越多，已经超出了自然界自身的消化吸收能力，既造成了通常意义上的污染环境，又对人类自身造成了威胁。同时，工业化的不断深入也将使自然资源的消耗超出其恢复能力，破坏全球生态环境的平衡。20 世纪 70 年代以来，针对日益恶化的全球环境，世界各国通过不断增加投入，治理生产过程中所排放出来的废气、废水和固体废弃物，以减少对环境的污染，保护生态环境，这种污染控制战略被称为“末端处理”。末端处理虽然在某种程度上能减轻部分环境污染，但并没有从根本上改变全球环境恶化的趋势。原因很简单，即一边治理、一边排放。为了治理污染，许多国家和企业都投入大量的资金，背上了沉重的经济负担。同时，污染物一经排放到环境，再进行治理，不但增加处理的难度，而且难以达到要求。在实践中，人们逐渐认识到，被动式的末端处理为主的污染控制战略必须改变，否则，环境问题将难以得到根本的解决，而且使社会、经济发展陷入困境，最终将危及到人类的生存。为此，联合国环境规划署理事会于 1989 年 5 月就做出关于环境无害化技术的决定。1990 年 10 月在英国坎特伯雷清洁生产研讨会上环境署工业与环境中心推出了清洁生产计划，当时只有屈指可数的政策、管理经验和技术经验可供交流。此项计划的推出在很大程度上取决于来自政府、工业界、研究机构和环境团体的 150 位清洁生产“斗士”或“鼓动家”的个人决心，他们鼓励推出

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

“环境署清洁生产计划”，渴望他们本国或其他国家摆脱末端污染控制技术，超越废物最小化，走向清洁生产。从此以后，清洁生产的发展势头越来越猛。清洁生产代表着世界工业发展的方向，其核心是改变以往依赖“末端处理”的思想，以污染预防为主，推行清洁生产是实现可持续发展战略的重要举措。

1979 年 4 月欧洲共同体理事会宣布推行清洁生产的政策。同年 11 月在日内瓦举行的“在环境领域内进行国际合作的全欧高级会议”上，通过了《关于少废无废工艺的废料利用的宣言》，指出无废工艺是使社会和自然取得和谐关系的战略方向和主要手段。此后召开了不少地区性的、国家的和国际性的研讨会。1984 年、1985 年、1987 年欧共体环境事务委员会三次拨款支持建立清洁生产示范工程。

美国国会于 1984 年通过了《资源保护与恢复法-固体及有害废物修正案》，明确规定废物最少化即“在可行的部位将有害废物尽可能削减和消除”是美国的一项国策。这项法案要求产生有毒有害废弃物的单位应向环保当局申报废物产生量、采取削减废物的措施、废物的削减量，并制定本单位废物最少化的规划。1990 年 10 月美国国会又通过了《污染防治法案》，从法律上确认污染首先应削减或消除在其产生之前。针对这一法案，布什总统发表讲话指出：着力于管道的末端和烟囱的顶端，着力于清除已经造成的损害，这样的环境计划已不再适用。我们需要新的政策、新的工艺、新的过程，以便能预防污染或使污染减至最小，亦即在原先污染产出之前即加制止。

1988 年秋，荷兰技术评价组织在经济部和环境部的支持下，在典型的工厂企业中进行了防止废物产生的大规模调查，并在 10 家工业公司中进行了预防污染的试点。这项由一些大学参加称作 PRISMA 的研究项目取得了重大的成果。实践表明，防止废物产生可以通过多种途径得以实现，而且预防措施往往能获得可贵的经济效益。研究中还估计了在企业中开展污染预防活动所遇到的障碍，并对制订有效的环境政策提出了建议。实施这一试点工作时，以美国环保局的《废物最少化机会评价手册》为蓝本，编写了荷兰手册。荷兰手册又经欧洲预防性环保手段（PREPARE）工作组作了进一步修改，编写成《PREPARE 防止废物和排放物手册》，并译成英文，广泛应用于欧洲工业界。

实践活动确认实施清洁生产可以取得如下的效果。

① 更容易达到环保法规的要求；

② 通过节能、降耗、减污，降低生产成本，提高经济效益；

③ 有效保护工人安全，保护公众健康，保护生态环境；

④ 促进能源结构的调整和利用方式的改善；

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

⑤ 优化产业结构和布局；

⑥ 推动产品升级换代，增强市场竞争能力；

⑦ 发挥技术进步的作用，通过技术改造，实现经济的持续发展和经济与环境的良性循环。

1989 年联合国环境规划署工业与环境计划活动中心（UNEPIE/PAC）根据 UNEP 理事会会议的决议，制订了《清洁生产计划》，在全球范围内推行清洁生产。这一计划主要包括 5 方面的内容。

① 建立国际性清洁生产信息交换中心，收集世界范围内关于清洁生产的新闻和重大事件、案例研究、有关文件的摘要、专家名单等信息资料；

② 组建工作组，专业工作组有制革、纺织、溶剂、金属表面加工、纸浆和造纸、石油、生物技术等；业务工作组有数据网络、教育、政策以及战略等；

③ 从事出版，包括《清洁生产通讯》、培训教材、手册等；

④ 开展培训活动，面向政界、工业界、学术界人士，以提高清洁生产意识，教育公众，推进行动，帮助制订清洁生产计划；

⑤ 组织技术支持，特别是在发展中国家，协助联系有关专家，建立示范工程等。

1990 年 10 月在英国坎特伯雷举办了“首届促进清洁生产研讨会”，会上提出了一系列建议，如支持世界不同地区发起和制订国家级的清洁生产计划，开展必要的培训活动，收集、处理和传播有关清洁生产的信息，支持创办国家级的清洁生产中心，进一步与有关国际组织以及其他组织联结成网等等。

1992 年 6 月，在巴西里约热内卢召开了联合国环境与发展大会，183 个国家的代表团和联合国及其下属机构等 70 个国际组织的代表出席了会议，102 位元首和政府首脑亲自与会。这是联合国自建立以来，出席的国家最多的一次会议。会议发表的《里约环境与发展协议》确认“地球的整体性和相互依存性”，“环境保护工作应是发展进程的一个整体组成部分”，“各国应当减少和消除不能持续的生产和消费方式”。大会所通过的《21 世纪议程》中多次提及与清洁生产有关的内容，提出了加强清洁生产的建议。同年 10 月在巴黎举行清洁生产会议上，根据联合国环发大会精神，联合国环境署对清洁生产计划作了发展性调整，建立了环境署理事会又推出了环境无害技术转让的决定。1994 年 5 月，可持续发展委员会再次认定清洁生产是可持续发展的基本条件。1994 年 10 月在华沙举行第三次清洁生产高级顾问研讨会，与会者交流了信息，评论了世界上清洁生产的进展，评估了清洁生产存在的挑战和障碍，并建议了行动的进一步进程。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

自从清洁生产提出以来，每两年举行一次研讨会，马不停蹄地研究和实施清洁生产，成果喜人，为未来工业的可持续发展指明了发展方向。

有关资料表明：我国目前污染的80%来自企业，而企业往往把控制污染的重点放在排放口（末端），希望通过“末端治理”达到排放标准。清洁生产与末端治理不同，它是在追求经济效益的前提下解决污染问题，它要求在生产全过程中节能、降耗、减污，从而在源头预防和削减污染，同时给企业带来经济和社会效益。由此可见，在企业推行清洁生产工作是十分必要的。

二、什么是清洁生产

清洁生产的概念，最早可追溯到1976年，这一年的11、12月间欧洲共同体在巴黎举行了“无废工艺和无废生产的国际研究会”，提出了为协调社会和自然的相互关系应主要着眼于消除造成污染的根源，而不仅仅是消除污染引起的后果这样一种新的思路。

清洁生产在不同的地区和国家有许多不同的但相近的提法，例如中国和欧洲的有关国家有时又称“少废无废工艺”、“无废生产”，日本多称“无公害工艺”，美国则定义为“废料最少化”、“污染预防”、“削废技术”。此外，个别学者还有“绿色工艺”、“生态工艺”、“环境完美工艺”、“与环境相容（友善）工艺”、“预测和预防战略”、“避免战略”、“环境工艺”、“过程与环境一体化工艺”、“再循环工艺”、“源削减”、“污染削减”、“再循环”等名称。这些不同的提法实际上描述了清洁生产概念的不同方面，我国以往比较通行“无废工艺”的提法。

清洁生产虽然已成为当前的热门话题，但至今还没有完全统一、完整的定义。1979年11月在日内瓦通过的《关于少废、无废工艺和废料利用宣言》中，对无废工艺作了如下的叙述：

“无废工艺乃是各种知识、方法和手段的实际应用，以期在人类需求的范围内达到保证最合理地利用自然资源和能量以及保护环境的目的。”

1984年联合国欧洲经济委员会在塔什干召开的国际会议上又作了进一步的定义：

“无废工艺乃是这样一种生产产品的方法（流程、企业、地区、生产综合体），借助这一方法，所有的原料和能量在原料资源-生产-消费-二次原料资源的循环中得到最合理综合的利用，同时对环境的任何作用都不致破坏它的正常功能。”

这一定义明确了无废工艺的目标在于解决自然资源的合理利用和环境保护问题，把利用自然和保护自然统一起来，即在利用自然过程中保护自然，并指出了实现这一目标的主要途径是在可能的层次上组织资源的再循环利

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

用，把传统工业的开环过程变成闭环过程，此外还强调了工业生产全过程和自然环境的相容性。

对于现阶段作为一种过渡形式的“少废工艺”的定义是：

“少废工艺是这样一种生产方法（流程、企业、地区-生产综合体），这样生产的实际活动对环境所造成的影响不超过允许的环境卫生标准（最高容许浓度），同时由于技术的、经济的、组织的或其他方面的原因，部分原材料可能转化成长期存放或掩埋的废料。”

美国环保局对废物最少化技术所作的定义是：

“在可行的范围内，减少产生的或随之处理、处置的有害废弃物量。它包括在产生源处进行的削减或组织循环两方面的工作。这些工作导致有害废弃物总量与体积的减少，或有害废弃物毒性的降低，或两者兼而有之，并与使现代和将来对人类健康与环境的威胁最小的目标相一致。”

这一定义是针对有害废弃物而言的，未涉及资源、能源的合理利用和产品与环境的相容性问题，但提出以“源削减”和“再循环”作为废物最小化优先考虑的手段，对于一般废料来说，同样也是适用的。这一原则已体现在随后的“污染预防战略”之中。

欧洲的专家则更倾向于下列的提法：

“清洁生产定义为对生产过程和产品实际综合防治战略，以减少对人类和环境的风险。对生产过程，包括节约原材料和能源，革除有毒材料，减少所有排放物的排放量和毒性；对产品来说，则要减少从原材料到最终处理的产品的整个生命周期对人类健康和环境的影响。”

上述定义概括了产品从生产到消费的全过程，为减少风险所应采取的具体措施，但比较侧重于企业层次上。

1989 年联合国环境署在总结清洁生产各种概念的基础上，把清洁生产的概念定义如下：

清洁生产是指将整体预防的环境战略持续应用于生产过程和产品中，以期减少对人类和环境的风险。

对生产过程，清洁生产包括节约原材料，淘汰有毒原材料，在生产过程排放物之前减降废物的数量和毒性。

对于产品，清洁生产战略旨在减少从原材料的提炼到产品的最终处置的全生命周期的不利影响。

清洁生产是一个相对的、抽象的概念，没有统一的标准，因此，有关清洁生产的定义因时间的推移而不断发生变化，使其更为科学、更为完整，并且更具有现实的可操作性。1996 年联合国环境署在 1989 年定义的基础上对清洁生产的概念进行了重新定义如下。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

清洁生产是指将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中，以期增加生态效率并减少对人类和环境的风险。

对生产，清洁生产包括节约原材料，淘汰有毒原材料，减降所有废物的数量和毒性。

对于产品，清洁生产战略旨在减少从原材料的提炼到产品的最终处置的全生命周期的不利影响。

对服务，要求将环境因素纳入设计和所提供的服务中。

这个清洁生产定义的基本要素如图 7-1 所示。

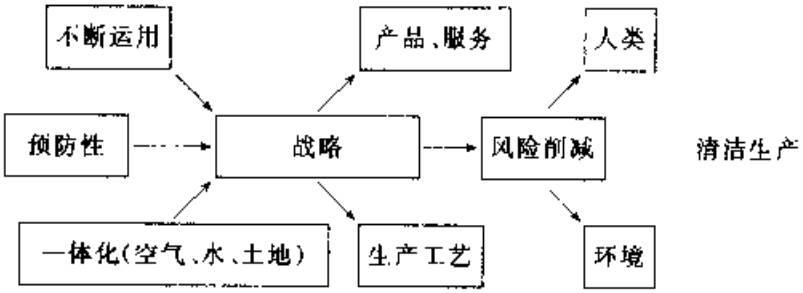


图 7-1　清洁生产战略的基本要素

从其概念出发，清洁生产是一种预防性方法。它要求在产品或工艺的整个寿命周期的所有阶段都必须考虑预防污染，或将产品或工艺过程中对人体健康及环境的短期和长期风险降至最小。清洁生产打破了传统的“管端”管理模式，而注意从源头寻找使污染最小化的途径。清洁生产的实施能够节约能源、降低原材料消耗、减少污染、降低产品成本和“废物”处理费用，提高劳动生产率，改善劳动条件，直接或间接地提高经济效益。因此，清洁生产是兼顾工业和环境的一个方兴未艾的话题。它既要求对环境的破坏最小化，又要求企业经济效益最大化。所以清洁生产可以概括为以下两个目标：

(1) 通过资源的综合利用、短缺资源的代用、二次资源的利用以及节能、省料、节水，合理利用自然资源，减缓自然资源的耗竭；

(2) 减少废料和污染物的生产和排放，促进工业产品的生产、消费过程与环境相容，降低整个工业活动对人类和环境的风险。

这两个目标的实现，将体现工业生产的经济效益、社会效益和环境效应的相互统一，保证国民经济、社会和环境的可持续发展。

三、清洁生产的内容

清洁生产主要包括以下三方面的内容。

(1) 清洁的能源　常规能源的清洁利用，如采用洁净煤技术，逐步提高液体燃料、天然气的使用比例；可再生能源的利用，如水力资源的充分开发和利用；新能源的开发，如太阳能、生物质能、风能、潮汐能、地热能的开

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

发和利用；各种节能技术和措施等，如在能耗大的化工行业采用热电联产技术，提高能源利用率。

（2）清洁的生产过程　尽量少用、不用有毒有害的原料，这就需要在工艺设计中充分考虑；无毒、无害的中间产品；减少或消除生产过程的各种危险性因素，如高温、高压、低温、低压、易燃、易爆、强噪声、强震动等。少废、无废的工艺；高效的设备；物料的再循环（厂内、厂外）；简便、可靠的操作和控制；完善的管理等等。

（3）清洁的产品　节约原料和能源，少用昂贵和稀缺原料，利用二次资源作原料；产品在使用过程中以及使用后不含有危害人体健康和生态环境的因素；易于回收、复用和再生；合理包装；合理的使用功能（以及具有节能、节水、降低噪声的功能）和合理的使用寿命；产品报废后易处理、易降解等。

对于一个产生污染的企业来说，其生产成本由污染控制费用及制造费用（包括所用材料的开支、劳动力费用、工厂一般管理费用等之和）。很自然地，可以把清洁生产划分为两种类型。类型一是完全消除了污染控制费用并降低了制造成本。类型二虽然总成本降低了，但只是降低了污染控制费用，而制造费用却增加了。类型一称之为“高效益”的清洁生产。类型二为“边际效益”的清洁生产。而那种降低污染控制费用却增加制造费用，增加总生产成本的清洁生产，虽然有助于污染削减，但不能给企业提供成本效益的解决办法，被采用的机会甚少或可以说不会被采用。被排除在清洁生产研究的范围之外。类型一与类型二的区分，可用图 7-2 来说明，这两种类型分别处在效益谱的两端，两者之间没有绝对的分界线来指示一种类型结束而另一种类型开始。

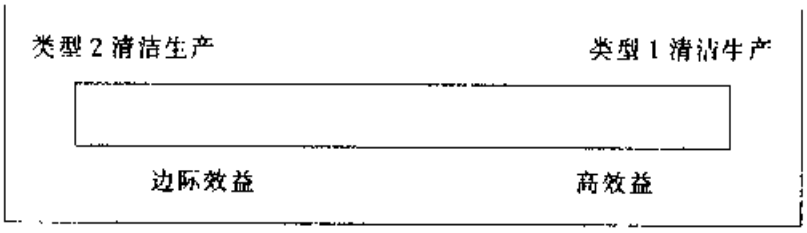


图 7-2　按使用效益划分的清洁生产类型

推行清洁生产在于实现两个全过程控制：

在宏观层次上组织工业生产的全过程控制，包括资源和地域的评价、规划、组织、实施、运营管理和效益评价等环节；

在微观层次上的物料转化生产全过程的控制，包括原料的采集、贮运、预处理、加工、成型、包装、产品和贮存等环节。

在清洁生产的概念中不但含有技术上的可行性，还包括经济上可赢利

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

性，体现经济效益、环境效益和社会效益的统一。

第二节　清洁生产的途径

从清洁生产的概念来看，清洁生产的基本途径为清洁工艺及清洁产品两个部分。

清洁工艺是指既能提高经济效益又能减少环境问题的工艺技术。它要求在提高生产效率的同时必须兼顾削减或消除危险废物及其他有毒化学品的用量，改善劳动条件，减少对职工的健康威胁，并能生产出安全的与环境兼容的产品。这是技术改造和创新的目标。

清洁产品则是从产品的可回收利用性、可处置性或可重新加工性等方面考虑。则就要求产品的设计人员本着产品促进污染预防的宗旨设计产品。一旦产品被确定，产品的环境影响也被注定。

开发清洁生产技术，是一个带有综合性的问题，要求人们转变概念，从生产－环保一体化的原则出发，不但熟悉有关环保的法规和要求，还需要了解本行业及有关行业的生产、消费过程，在这里没有一个万能的方案可以沿袭，对每个具体问题、具体情况都要作具体的分析。清洁生产是对生产全过程以及产品整个生命周期采取预防污染的综合措施。图 7-3 是生产全过程和产品生命周期的示意图。

从原料到产品的生产全过程又可分为若干工序，一般包括原料准备、若干加工工序、产品成型、产品包装等，每个工序都涉及工艺、设备、操作、管理等几个方面，都需要消耗能量，并往往有废料排出。

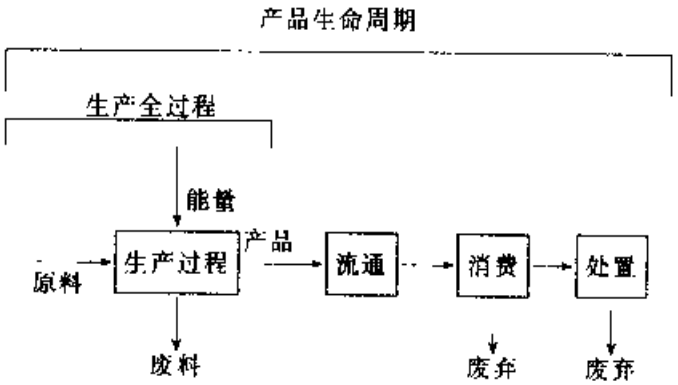


图 7-3　生产全过程和产品生命周期示意图

推行清洁生产的起点在于揭示传统生产技术的重大缺点，针对生产过程系统的主要环节和组分，采取改变、替代、革除等方面谋求实现节能、降耗、减污的目的。

开发清洁生产是十分复杂的综合过程，且因生产过程的特点及产品种类而各不相同，但根据清洁生产的概念以及近年来工业实践在开发和应用清洁

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

生产技术方面所积累的经验，可以归纳如下一些实现清洁生产的主要途径。

1. 革新产品体系，正确规划产品方案及选择原料路线

清洁生产的产品和原料均应是对环境和人类无害无毒的，因此必须首先对产品方案进行正确的规划，并选择合理的原料路线。采取安全无害的产品和原料代替有毒有害的产品和原料，采用精料代替粗料。

2. 实现自然资源的充分、综合利用，采用清洁的能源

我国一般工业生产中原料费用约占产品成本的70%，这表明过去的工业生产模式是以大量消耗资源为前提的，生产过程中对资源的浪费很惊人。对原料和能源的充分综合利用，可以显著降低产品的生产成本，同时可以减少污染物的排放，降低“三废”处理的成本。

3. 改革工艺和设备，采用高效设备和少废、无废的工艺

改革工艺和设备以实现清洁生产的做法有：①简化工艺流程，减少工序和设备；②实现过程的连续操作，自动控制，减少因不稳定运行而造成的物料损耗；③改革工艺条件，实现优化操作，使反应更趋完全，以提高物料利用率并减少污染物的产生；④采用高效设备，提高生产能力，减少设备的泄漏率。

4. 组织厂内的物料循环使用系统

工业生产中贯彻贯穿着物料流和能量流两大系统。传统的工业生产采用的大多是一次通过的顺序式物料流和能量流，见图7-4所示。而清洁生产工艺要求物料流和能量流应采用循环使用系统，如将流失的物料回收后作为原料返回流程，将废料适当处理后也作为原料返回生产流程，如图7-5所示。当然，这里所指的物料循环使用系统可以在不同工厂之间执行，即组织区域范围内的清洁生产。

5. 改进操作，加强管理，提高操作工人的素质

强化管理与其他措施相比，是花费最小或不花钱就可以得到较大收益的措施，包括：①安装必要的监测仪表，加强计量监督；②建立环境审计制度、考核制度，对各岗位明确环境责任制；③加强设备日常维修，减少跑、冒、滴、漏；④妥善存放原料和产品，防止损耗流失；⑤采取奖惩制度及经济手段组织清洁生产。

6. 采取必要的末端“三废”处理

采用清洁生产工艺后，不等于不产生污染物，所以必要的末端“三废”处理对实现清洁生产是非常必要的。

这些途径可以单独实施，也可以相互组合，一切要根据实际情况来确定。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

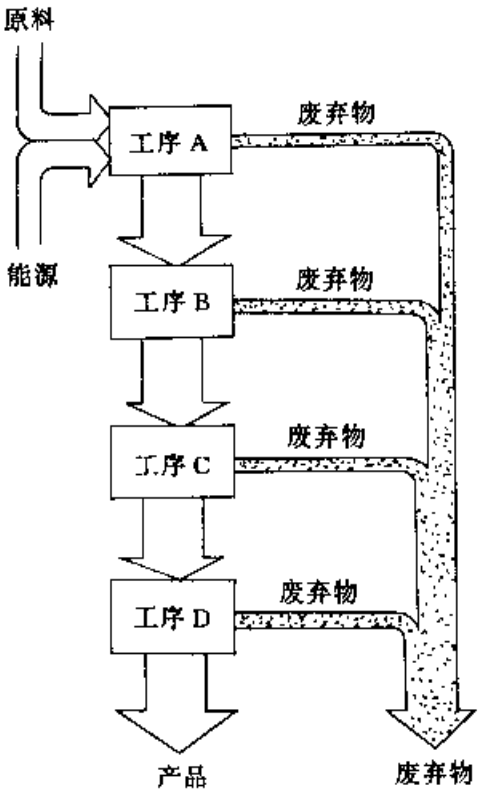


图 7-4 顺序式的物料流、能量流

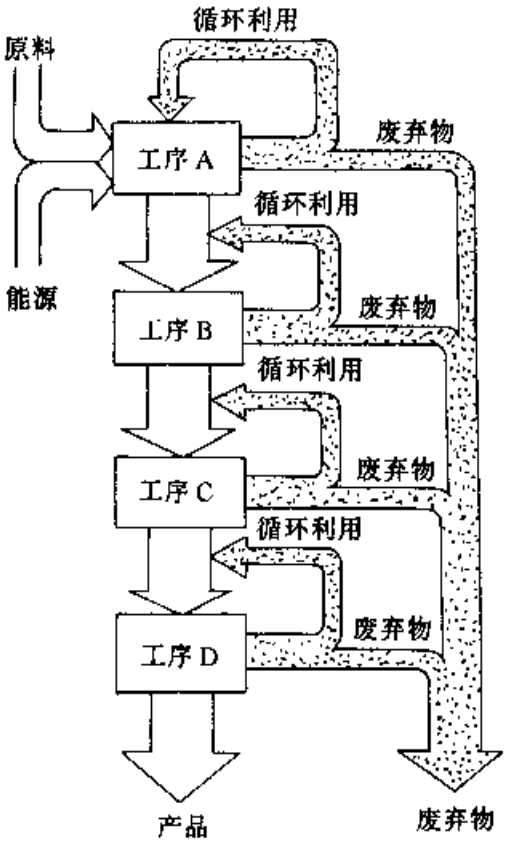


图 7-5 循环式的物料流、能量流

第三节 清洁生产面临的障碍和实施步骤

一、清洁生产面临的障碍

清洁生产作为刚刚兴起的环保革命，在实施过程中难免遇到这样那样的障碍或者说是阻力。其障碍主要来自环保意识、经济能力、技术及政策等方面。

环保意识障碍：环境问题的优先地位低下，主要来自企业的管理层及经营者。企业领导往往过于强调生产，对清洁生产计划所需的时间和努力则被沦为次要地位。由于对清洁生产概念的不熟悉，或者这些企业原则上同意这一概念，也意识到这是一个将决定这些工厂前途的重要挑战，但即使有了清洁生产工艺，目前尚未纳入公司战略，尤其是中小企业的经营战略中。如果法律上无规定，工业界内部不愿意促进清洁生产。一般企业是等待强制性立法而不是期待未来的要求。

(1) 经济障碍 一是自然资源、水、电等的定价太低以及目前丰富的可得性，抑制了实施废物最少化的动力。二是企业财力极其有限，对清洁生产的投资少，又由于金融、银行等机构对资助成本密集的废物最少化措施、尤其是那些偿还期较长的措施的兴趣不足，难于开展清洁生产，对中小型企业

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

来说，更缺乏其寻求外援的能力。三是由于减少污染控制自然产生的效益往往不是一种明显的节省，故没有把环境成本计入废物最少化措施的经济分析中，而只根据直接经济回报和近期财政收益计算。四是与生产有关的财政鼓励措施盛行，也成为实施清洁生产的绊脚石。

（2）技术障碍　一是由于缺乏开展研究所需的内部基础设施，即厂内监测仪器、分析设施等，阻碍清洁生产的研究。二是企业职工缺乏其岗位技能的系统培训，企业内部无法独立承担废物最少化计划。三是技术信息利用渠道有限，清洁工艺本身又常常是针对具体装置或生产而开发的，对大部分企业不适应。四是或者处于企业战略的考虑或者专利保护而处于故意保密状态，成熟的清洁工艺往往难于推广。

（3）政策障碍　一是资源的定价政策。如工业用水、煤的定价太低，不能从大多数节水、节能等措施中得到合理的经济回报。二是强调管端管理办法。法规主管部门仍然只强调达到规定的排放标准，排污收费偏低。从企业的经济效益出发，企业家则偏爱排污收费和现用的管端控制方法。三是工业政策。市场经济导致企业产品的不确定性，企业不愿意实施中长期废物削减措施。

二、促进清洁生产的手段

要排除清洁生产实施过程中的障碍，还是有计可施的。

1. 要制定足够的清洁生产政策

要适当地立法及有效地执法，并制定与我国目前经济发展水平和国力相适应的清洁生产标准和原则。制定激励开展生产的经济政策，更多地运用市场规律及消费者压力，使资源的价格更合理，提高排污收费，要使很少作出清洁生产努力的企业不能得到竞争优势。对实施清洁生产计划提供长期、稳定的财政援助，让清洁生产享有许多财政机会。在资源定价上要改变“产品高价、原料低价、资源无价”的价格扭曲现象。要在考虑资源本身价值和环境补偿费的基础上，提高资源价格，使之符合合理的价格规律，达到合理的水平。在能源利用上，要推行清洁能源政策，由煤炭型逐步改成燃气、电力等清洁能源的消费方式。制定清洁生产目标，把清洁生产纳入管理范围。加强环境审计，作废物最少化评价，发放排污许可证，把排污目标及污染收费列入许可证。上述措施在一定程度上影响工业界的战略决策。

2. 加强清洁生产技术和装备方面的研究及推广

要大力支持清洁生产技术和装备方面的研究和开发，加强国际间及国内的技术交流，建立计算机技术网络，使政府人员、企业管理和科技人员及时了解高质量、最新的清洁生产信息。建立国家清洁技术中心，作为国家与国际层次的人才核心作用。建立清洁生产示范项目，用成功的清洁生产例子充

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

分显示运用清洁生产的优势。

开展清洁生产技术和装备方面的研究，还应注意推广应用到工业生产实践中去。我国不少化工企业至今仍沿用20世纪50～60年代的老生产工艺和生产设备，物料利用率、物耗、能耗、水耗都很高，不仅造成资源的极大浪费，而且还使生产成本增高和造成环境的严重污染。因此，必须在原料规格、生产路线、工艺条件、设备选型和操作控制等方面加以改造，并尽可能采用先进的工艺和设备，以提高生产效率和效益，做到在生产过程中消灭污染的产生，实现清洁生产。这方面，在国内外都有成功的范例。如英国在20世纪80年代成功地用三价铬代替六价铬的镀铬工艺，我国的无氰电镀工艺等，极大地改善了工作环境和劳动条件，而且消除了剧毒的六价铬和氰化物的使用和排放。我国南京化工厂等厂家，用加氢还原代替铁粉还原生产苯胺的新工艺，不但极大地降低了废渣的排放量，而且使苯胺的回收率提高到99%，具有明显的经济效益和环境效益。

3. 加强宣传教育

清洁生产是工业发展的一种新模式，贯穿产品的生产和消费的全过程，不单纯是一个生产技术的问题，而是一个复杂的系统工程。因此，要实现清洁生产，首先要开展以清洁生产促进可持续发展意义的宣传和培训，改变单纯从生产的终端来考虑污染控制的传统观念。同时积极开展国际交流与合作，学习发达国家在开发清洁生产方面的成功经验。

扩大宣传范围，增强公众对清洁生产概念的了解，可开展清洁生产技术简讯、手册、图书等活动，录制录像资料，举办各种研讨会及工作座谈会。尤其作为企业主人翁内部的广泛教育，参与清洁生产计划。通过宣传争取工业界的理解、支持与合作。宣传对象还应包括银行及金融机构，必须使他们了解清洁生产及其经济回报、较低的债务风险和信贷风险，以及他们对清洁生产中发挥作用，把清洁生产列入他们的贷款要求中。

4. 加强人员培训

进行岗位示范培训，提高职工的操作技能和环保意识。特别是企业领导人和工程设计人员、清洁生产审核人员的培训。

5. 研究和开发无污染或少污染、低消耗的清洁生产工艺和产品

鼓励采用清洁生产方式使用能源和资源，提高能源和资源的使用效率，特别鼓励可再生资源、能源的使用。这方面包括改变原料路线，选择使用清洁的纯原料或低污染原料。生产过程中尽可能使用如太阳能、电能等无污染和少污染的一次和二次原料；采用物料闭路循环，废物综合利用等工艺流程和措施。这样既可以减少废物产生和排放，又可提高产品得率和降低产品成本。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

6. 改进产品设计，调整产品结构

更新、替代有害环境的产品，大力发展绿色产品，特别要促进具有环境保护标志的产品的生产与使用。工业污染不但产生在产品生产的过程中，有时更严重的发生在消费过程中 。如全球关注的破坏臭氧层的氯氟烃（氟里昂）、强致癌的多氯联苯以及危害生态环境的难降解、高残留的有机氯农药等。如 1984 年，我国停止生产占农药产量 60% 以上的六六六、DDT，开发了高效、低毒、低残留的新农药。目前，我国又投入大量的资金用于研究生物可降解的农用薄膜，以期替代目前农村广泛使用的生物难以降解的聚乙烯农用薄膜。

7. 发展环境保护技术，搞好末端处理

清洁生产并不是否定必要的末端处理技术，实行清洁生产不等于没有污染物产生。有时为实现清洁生产，在实行全过程污染控制过程中还需包括必要的末端处理技术，使之成为一种在采取其他措施之后的最终辅助手段。为实现有效的末端处理，必须努力开发一些技术先进、处理效果好、占地面积少、投资省、见效快、可回收有用物质的实用环境保护技术。

三、清洁生产审核

清洁生产是在末端治理不能有效地控制环境污染的背景下出现的一种全新的思维方式。它要求把污染预防的观念贯穿于整个生产过程，在废弃物产生之前使原料尽可能多地转化为产品，从而避免物料浪费，使经济效益和环境效益得到提高。这种由被动转向主动的环境保护战略自 20 世纪 80 年代提出以来，得到了国际社会的普遍响应。清洁生产审核是推行清洁生产的重要内容之一。所谓清洁生产审核就是对企业现在和计划进行的工业生产过程进行污染预防分析和评估，确定废物削减方案并加以实施。通过方案的实施，最终达到减少能源、水和原材料的消耗，消除或减少生产过程中各种废弃物的产生量及毒性。

清洁生产审核分 7 个步骤进行。第 1 步，筹划组织阶段，由 3～5 名具备清洁生产审核知识，掌握企业生产、工艺、管理等方面的情况，熟悉企业废弃物产生、治理、管理情况及国家法律的人员组成清洁生产审核小组；第 2 步，预评估阶段，在对企业现场调查的基础上，评估产污情况，确定审核重点，制定清洁生产目标，初步提出无费/低费方案并实施；第 3 步，评估阶段，核查重点审核单元的资料，实测物流，建立物料平衡和水平衡，分析废弃物产生的原因，进一步提出无费/低费方案并实施；第 4 步，对产生的各种方案进行筛选归类，推荐可实施的中/高费方案，对前阶段无费/低费方案的实施效果进行核定和总结，并继续实施无费/低费方案；第 5 步，在无费/低费方案实施的基础上，对推荐的中/高费方案进行可行性分析，做经

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

济、环境和技术评估，最终选择一个实施方案；第6步，筹措资金，统筹安排，实施选择的中/高费方案，并对前阶段实施的方案进行分析，得出结论；第7步，持续实施清洁生产，并开始选择另一个重点单元进行清洁生产审核。

对清洁生产审核步骤进行分析不难发现，清洁生产审核过程的重点是无费/低费方案的提出和实施。而企业往往忽视这一点，只希望通过审核得到资金，进行中/高费方案的实施。实际上，无费/低费方案的实施对改变企业面貌起着很大作用。在清洁生产审核过程中，如果企业重视实施无费/低费方案，将会使企业获得明显的经济、环境效益。

四、实施清洁生产的步骤

（一）转变观念

实施清洁生产的首要问题是更新观念，把“预防”真正放在首位。清洁生产是通过产品计划、原料选择、工艺路线、技术管理、生产过程产物在内部循环利用等诸多环节的科学化和合理化，使工业生产的污染物产生量最少，从而达到不建或少建单纯的末端处理装置的目的。因此，实施清洁生产是一项涉及各个方面工作的系统工程，除环保部门要起一定作用外，主要是企业的领导要充分重视，肯花大力气抓，发动计划、财务、科研、技术、设备、生产等部门共同参与。要通过宣传教育，使各级领导和职工明白清洁生产的概念和重大意义，只有实施清洁生产才能真正实现经济、社会、环境三个效益的统一，同时也是企业生存和发展的必经之路。

（二）环境审计

企业环境审计是推行清洁生产，实行全过程污染控制的核心。环境审计包括现场工艺查定、物料能源平衡、污染源排序、污染物产生原因的初步分析等，并积极推行ISO14000评估。

环境管理体系标准和清洁生产是两个不同的概念。前者着重组织的环境管理，强调组织应建立科学、规范的管理体系，这个体系包括组织建立一套可操作性的程序，用来强化环境管理，控制重要环境因素和目标指标，实现它们并向外界进行展示，这样一个体系可使组织不断取得新的环境绩效，实施可持续发展。它强调的是管理体系，和质量管理体系一样，它是组织总的管理中的一个组成部分。清洁生产一般是指产品生产过程的控制，它的目的是合理利用资源、能源，把对人类和环境的危害减少至最小，同时又能满足人类的需要，使企业经济效益最大化的一种生产模式，即用清洁或较清洁的能源、原材料，通过先进的生产工艺和科学管理，生产出对人类和环境危害最小的产品。这其中强调的是生产模式。两者在适用范围上也有所不同，ISO14001适用于一切组织，而清洁生产适用于工业企业。由于ISO14000

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

标准和清洁生产是两种不同的模式，所以在其他方面还存在许多差异。

但它们的联系又是非常紧密的，这主要是它们有一致的指导思想和目标。在ISO14001标准的引言中明确提出："本标准的总目的是支持环境保护和污染预防，协调它们与社会需求和经济需求的关系。"ISO14001标准强调法律、法规的符合性，强调持续改进，污染预防和生命周期等基本内容。组织通过制定环境方针和目标指标、评价重要环境因素与持续改进达到节能、降耗、减污的目的。而清洁生产也是强调资源、能源的合理利用，鼓励企业在生产、产品和服务中最大限度地做到：节约能源，利用可再生能源和清洁能源，实现各种节能技术和措施；节约原材料；使用无毒、低毒和无害原材料；循环利用物料等。在清洁生产方法上，以加强管理和依靠科技进步为手段，实现源头削减、改进生产工艺和现场回收利用；开发原材料替代品；改进生产工艺和流程，提高自动化生产水平，更新生产设备和设计新产品；开发新产品，提高产品寿命和可回收利用率；合理安排生产进度，防止物料和能量消耗；总结生产经验，加强职工培训等。这些基本做法和措施，正是ISO14001标准中控制重要环境因素，不断取得新的环境绩效的基本做法和要求，是实现污染预防和持续改进的重要手段。特别是在我国当前改革开放和实现"一控双达标"的过程中，结合我国的实际情况，在推行ISO14000标准的过程中，使ISO14000和清洁生产有机结合起来，对改变我国环境管理模式和实施可持续发展战略具有重要意义。

（三）产生备选方案

通过转变观念和环境审计，广泛征求技术、管理、生产部门对来自生产全过程各环节的废物削减合理化建议和措施，从主客观各种因素、技术复杂程度、投资费用高低等方面进行综合分析，产生备选方案。

清洁生产方案的制订具有如下三个基本特点：

（1）具有系统性　清洁生产方案的制订是一项系统工程，清洁生产方案的组合是清洁生产所必需的实用技术、管理、组织机构，职责、程序、过程和资源构成的有机整体，要在明确的发展战略、科学的规划、完整的政策和法规、严格的生产管理、切实可行的环境资源保护对策指导下进行，其内容包括产品的设计、能源和原材料的更新换代、少废或无废清洁工艺的开发，采购和生产全过程的全面工作质量管理与控制，不合格产品和排放物、废物的处理及物料循环利用等，每个清洁生产方案都进行技术、环境、经济的可行性分析，并经过优化而确定，体现了环境、经济最佳化的协调发展的方案。

（2）突出预防性　清洁生产方案的制订要体现对产品生产过程进行综合预防污染的战略，强调预防为主；通过污染物削减和安全的回收利用等，使

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

废物最少化或消失于生产过程之中。

(3) 注重有效性 清洁生产方案的制订是从对产生污染的产品和产品生产过程的连续控制出发的，是通过污染源削减和安全的回收利用，使污染物产生最少化或消失于生产过程中，采取的措施是建立闭合生产圈、综合利用再生资源和能源，采用少废和无废生产技术、物料循环利用技术，以保证有效地防止污染。

(四) 确定实施方案

备选方案产生后通过技术、环境和经济三方面的评估，确定最佳实施方案。

(1) 技术评估 从技术的先进性、可行性、成熟程度，对产品质量的保证程度、生产能力的影响、操作的难易性、设备维护等方面进行评估。

(2) 环境评估 方案实施后，对生产中的能耗变化、污染物排放量和形式变化、毒性变化、是否增加二次污染、可降解性、可回用性的变化和对环境影响程度、是否有污染物转移的可能性等进行综合评估。对能够使污染物转移的可能性等进行综合评估。对能够使污染物有明显减少，尤其能使困扰企业生产发展的环境问题有所缓解的清洁生产方案应予优先选择。

(3) 经济评估 通过对各备选方案的实施中所需的投资与各种费用、实施后所节省的费用、利润以及各种附加效益的评估，选择最少消耗和取得最佳经济效益的方案，为合理投资提供决策依据。

经上述技术、环境、经济等方面的综合评估，推荐出一个切实可行的最佳方案。方案一旦选定，即开始落实资金，组织实施。最终还需要总结评价清洁生产方案的实施效果。

第四节 清洁生产的研究进展

自从清洁生产被提出以来，已经有很多国家和地区开展清洁生产的各种活动。经合组织 25 个成员国一直在开发和应用清洁生产方法方面取得进展，利用各种手段推动技术和制造工艺在“更清洁”的方向上前进。欧盟各成员国实施清洁生产计划的情况可见表 7-1。拉丁美洲和加勒比海地区 33 个国家中有或准备进行废物管理立法，但废物最少化举措一直是有限的，而且往往建立在薄弱或不可执行的废水标准基础上。但一些可能有利于清洁生产的地方化政策举措正在开始出现。如巴西和墨西哥正推广环境审计活动。中东欧地区已经产生了一些革新性的清洁生产政策举措。在波兰，工业部和环境部已经联合签署了一份《清洁生产政策》书，并发表了《清洁生产宣言》，以刺激工业中清洁生产的发展与采用。一些国家则要求把废物最少化评价列入国家许可证/执照计划。由于挪威的资助，正在实施一些在工业界全面普及

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

清洁生产概念的国家计划。西亚和北非地区清洁生产因缺乏合格人员及信息和财力而受阻，但一些地区已出现一些革新性清洁生产方法，如埃及环境事务局-环境技术合作办公室已设立国家协调组来编制和实施，并联合工业界、国内专家和捐赠者，以便为工业企业制定一些战略性的清洁生产行动计划。中国是一个正在迅速工业化的发展中国家，经济高度增长给环境造成很大压力。在中国“第二次全国工业污染防治大会”（1992 年 10 月）上，认识到需要从管端控制转向清洁生产方法。国家环保局在其《五年环境保护工作纲要》中把清洁生产列为重点。1993 年，世界银行批准的一项对国家环保局为期 20 年的环境技术援助款中，应国家环保局的请求，列入了一项清洁生产子项目，总价值为 620 万美元。联合国环境署清洁生产计划处领导这个项目的设计。为了培训中国清洁生产专家和编制中国清洁生产中心手册与培训教材，已由日本环境赠款资助实施了准备阶段。国家环保局成立了清洁生产中心，并借鉴国外经验发展建立了中国企业实施清洁生产的环境审计技术方法，在化工行业北京化工三厂建立清洁生产试点。中国原化工部环境保护办公室也颁发了“九五”期间化工行业推广清洁生产的初步安排。

表 7-1　欧盟成员国的清洁技术活动

项　　目	荷兰	丹麦	西班牙	英国	法国	比利时	德国	葡萄牙	意大利	希腊	爱尔兰	卢森堡
立法												
包含清洁技术的批准制度	√	√	×	×	√	×	×	×	×	×	○	√
自愿协议	√	√	×	×	×	×	√	×	×	×	×	○
财政手段												
税收、关税和收费	√	√	×	×	√	○	√					
资助和补贴	√	√	√	√	√	√	√	√	○	√	×	√
信息与教育												
示范项目、工艺	√	√	×	√	○	√	√	×	×	×	×	×
示范项目、产品	√	√	×	×	×	√	√					
咨询支持	√	√	√	√	√	√			√		√	
人才中心	√	×	×	√	×	√	√	×	√	×	√	×
清洁技术简讯	√	√	×	√	×	√	×	×	×	×	√	×
一般手册	√	√	○	√	√	√	×	○	×	×	×	×
工业行业手册	√	√	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×
数据库	√	√	√	×	×	√	×	×	×	×	×	×
录像资料	√	√	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
会议和研讨会	√	√	×	√	√	√	×	○	×	×	√	×
研究与开发计划	√	√	×	√	√	√	√	×	√	√	√	×

注：√为“已筹备”或“建立”；○为“正在筹备”或“未完全建立”；×为“无活动”或“没有信息”。

从上面的介绍中可以看出，清洁生产是经济、环境与社会三统一基本要素，清洁生产即可以提高企业的经济效益，增加企业产品在国际和国内市场

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的竞争力，并使污染物排放大大减少，相应减少管端处置的负荷，处理设施投资及运行维护费用大大降低，间接提高经济效益。清洁生产是实现《21世纪议程》可持续发展的先决条件，在经济发展的同时必须考虑到自然生态环境的长期承载能力。清洁生产是削减污染、改善环境的更有效的途径，它考虑更多的是污染预防，消除了长期以来管端处理的各种弊端，不存在二次污染问题，是从根本上解决环境问题。清洁生产为有效地解决有关合理利用现有资源、保护环境、提高产品质量和确保设备安全等方面开创了条件，为未来的工厂开辟了道路，可以塑造出整体素质高、综合实力和市场竞争力强的企业。联合国环境署及其他政府间机构为促进清洁生产的努力以及世界各国对清洁生产的重视，清洁生产将得到社会各界的理解及支持，清洁生产也必将逐步走向全面发展的道路。

第五节　我国的清洁生产研究

我国政府一贯倡导“预防为主、防治结合”的环境保护方针，并制定了相应的环境政策。1993年10月，我国在上海召开了第二次全国工业污染防治大会，确定了我国的工业污染防治从末治理转向生产全过程控制、推进清洁生产的战略方针。从1993年3月到1995年12月，在UNEPIC/PAC的帮助下，中外专家在全国3市（北京、烟台、绍兴）和3省（山东、陕西、黑龙江）、10个工业行业（石油化工、原料化工、钢铁、冶金、印染、制革、电镀、造纸、酿酒等）中的51家企业，进行了清洁生产审计试点示范工作。按项目要求，选择了27家重点试点示范企业。在27家企业29个清洁生产审计项目中，对358个清洁生产方案（优化企业管理、技术改造、现场循环利用、原料替代、产品更新等）进行实施，污染物排放量一般削减10%，最高削减50%，平均削减30%；运行费用（包括节水、节能和降低原料消耗等）平均节省20%；初步估算，年收益可达1200～2000万元，取得了可观的环境效益和经济效益。

在《国家环境保护“九五”计划和2010年远景目标》中再次明确地把发展清洁技术，大力推行清洁生产作为实现计划目标的重要措施。《中国21世纪议程》中，把推行清洁生产作为实现可持续发展战略的重要内容。为此，国家成立了“联合国中国国家清洁生产中心”，把清洁生产作为条文列入到《大气污染防治法》第15条，《水污染防治法》第22条，《固体废弃物污染防治法》第4条中。国务院有关部门已在制订有利于推行清洁生产的配套政策，国家环保总局与国务院经贸委已联合公布推行清洁生产的指导性文件——《关于推行清洁生产的若干意见》。

尽管我国在推行清洁生产上所作的工作还很不充分，但仅1993年3月到

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

1995 年 3 月对 13 个行业 29 个企业所进行的清洁生产审计中，已实施清洁生产方案 452 个，占总方案数 65.3%，平均污染物削减率为 10%，重点企业污染物削减率为 20%～50%，总经济效益为 1200 万元。我国陕西省 1994 年年底到 1995 年年底对 6 个企业进行部分车间的清洁生产审计，结果节水 92.1 万 t/a，节电 0.73 万 kW·h/a，节约蒸汽 0.56 万 t/a，削减 COD 310t/a，削减污水 26.4 万 t/a，削减烟尘 186.7t/a，削减烟气 0.97 亿 m^3/a，其企业内部直接经济效益最高投入产出费用效益比为 1:12，通过可持续发展的清洁生产审计示范及推广工作，到目前为止，我国也取得了明显的成效。

企业在防治污染进行技术创新、实施清洁生产的同时，也可获得可观的经济效益，据测算，我国企业的能源和原材料费用约占企业成本的 75%，若降低一个百分点，就可节约生产成本 100 亿元。例如，巨化股份有限公司的“巨化”万吨级 PVDC 环保重大技术公关项目“绿色通行证”的包装新材料。到目前为止，这个公司的环保投入资金已达 2.54 亿元，在国内化工行业中率先用上“工业废水微机自动监测网”。巨化股份有限公司把环保与生产防治放在同等重要的位置来抓。全国最大的氟化工基地——巨化股份氟化工公司是全国化工环保先进单位，氟化工一期工程环保投入占总投资的 10%，共兴建了 23 套环保装置，每年“三废”综合利用率产生效益达 700 余万元。公司领导充分意识到清洁生产与绿色技术的收益机会和路径，并将传统的重污染负荷与风险转化为战略获利机会，获得了巨大的成功。

清洁生产与预防在某种程度上较末端治理更具有科学性、经济可行性，其不仅在发达国家能获得良好的经济效益（见表 7-2），即便是在发展中国家亦是如此。UNEP 在中国的清洁生产示范项目已开展了几年，许多企业通过推广清洁生产模式，不仅减少了企业原有污染，而且通过较小的投入获得了相当的经济效益（见表 7-3）。

表 7-2　美国环保局对清洁生产项目情况的调查

行　业	清洁生产技术机会	投入/美元	年效益/美元
印刷电路制造	安装过滤器 减少水的使用 分离酸碱 硫酸铜循环使用	810 200 300 0	1690 5840 23470 400
油漆制造	安装管道清洁系统 除水银添加剂	1600 0	11110 5580
空气调节器	变换加密装置	6400	73197
半导体制造	减少水的使用 清洗液回收利用 铜回收利用	250 650 0	2670 1270 1090

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 7-3 我国部分项目企业实施清洁生产的环境经济效益

企业名称	项目数	投资/万元	污染物减少/t	经济效益/万元
北京啤酒厂	25	397	COD1014.7	916.17
北京东方化工厂	11	17.5	COD211.9	42.15
北京化工三厂	4	432	COD140	512
烟台第二酒厂	12	1.3	COD36	5.4
烟台海藻厂	16	3.4	COD18	42.0
阜阳酒精厂	6	56	COD 减排 30%	136.7

从表 7-2、表 7-3 可以看出，企业实行清洁生产工艺后，不仅能够改善周围的环境状况，同时可以获得可观的经济效益。下面通过典型的化工清洁生产工艺的实例了解清洁生产工艺。

改革开放以来，乡镇企业在祖国大地迅猛发展，在带来巨大经济效益的同时，也造成了广大农村地区日益严重的环境污染，导致农业生态环境的破坏，威胁人民群众的健康，已成为社会关注的热点。乡镇企业今后的发展方向是各级政府和环保职能部门急需探讨的课题之一。总结 20 多年来国内外工业污染防治的经验教训，我们不难看出，清洁生产应是乡镇企业发展的方向。

北京、烟台、绍兴是国家推行清洁生产的三个试点城市，到 1998 年为止，已有 20 家企业进行了清洁生产审计，提出了 690 个实施清洁生产的方案。这些方案不仅为企业预防治理污染找到可行的办法，而且也为清洁生产在我国实施的可行性提供了证据。表 7-4 列出了三个城市清洁生产按不同途径的统计表。

表 7-4 北京、烟台、绍兴三城市清洁生产按途径统计表

方案总数	替代产品	替代原材料	工艺设备更新	强化管理	循环利用	其他
690	17	43	244	272	101	13
100%	2.5%	6.2%	35.3%	39.4%	14.7%	1.9%

从表 7-4 可以看出，目前实施清洁生产的途径很多。有难的，有容易的，有技术的，有管理的，但主要的途径有两种：一是加强管理，二是工艺设备更新改造。特别是强化管理方案占所有方案的第一位，是当前企业无费、少费，实施清洁生产，预防污染的重要措施，也比较容易实施。

工艺设备更新改造是实施清洁生产，预防污染的第二位措施，落后的企业需要更新改造，先进的企业也需要更新改造，大规模技术改造能实现清洁生产目标，小革小改也同样能实施清洁生产的某些目标。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

三城市通过清洁生产改造，取得了良好的效果，表 7-5 列出了三城市清洁生产方案按直接效果统计结果。

表 7-5 北京、烟台、绍兴三城市清洁生产方案按直接效果统计表

方案		节能	节水	节约材料	替代有毒物	削减污染负荷	削减固体废物	减少废气	其他
总数	690	45	101	181	10	147	99	26	81
比例	100%	6.5%	14.6%	26.3%	1.5%	21.3%	14.3%	3.8%	11.7%

从表 7-5 可以看出，清洁生产不仅可以节能、节水、节约材料，同时可以替代有毒原料，削减污染物的排放，这充分说明，清洁生产措施不仅是防止工业污染、保护环境的环保措施，而且也是节约能源及原材料，降低生产成本、提高产品质量的经济措施。

清洁生产并不一定需要很大的投资进行改造，有些方案并不需要资金投入或利用较少的资金投入，就可以获得较好的效果，表 7-6 列出了三城市清洁生产方案按费用的统计情况。

表 7-6 北京、烟台、绍兴三城市清洁生产按费用统计表

方案		未知	无费/低费	中费	高费
总数	690	70	411	92	117
比例	100%	10.1%	59.6%	13.3%	17.0%

由于清洁生产方案需要的投资有多有少，所以经济效益好的企业能够实施清洁生产，经济效益差的企业更要实施清洁生产改造。

第六节 典型化工清洁生产工艺

近年来，国内外开发和应用清洁生产的进展迅速，出现了很多成功的范例。本节拟选择其中的一部分作简要的介绍，分析清洁生产的巨大经济效益和环境效益。

一、乙苯生产的干法除杂工艺（化学合成行业）

聚苯乙烯是由单体苯乙烯聚合而成，苯乙烯生产分两步进行，第一步是以苯与乙烯为原料在催化剂（氯乙烷和氯化铝）作用下，发生烷基化反应，生成乙苯；第二步再以乙苯脱氢制取苯乙烯。

合成乙苯时，应除去烷基化反应的副产品和杂质，在常规处理中是用氨中和后经水洗、碱洗和水洗的方法，废水用絮凝沉降处理分出污泥后排放。

干法除杂工艺不改变原来基本的乙苯生成的工艺和设备，烷基化反应后的产物同样用氨中和，但中和后即行絮凝沉淀，沉淀物经分离后用真空干燥法制取固体粉末，这种固体粉末可用来生产肥料，因此可作为副产品看待。干法工艺消除了废水的处理和排放，亦无其他废弃物排放。新旧工艺流程对

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

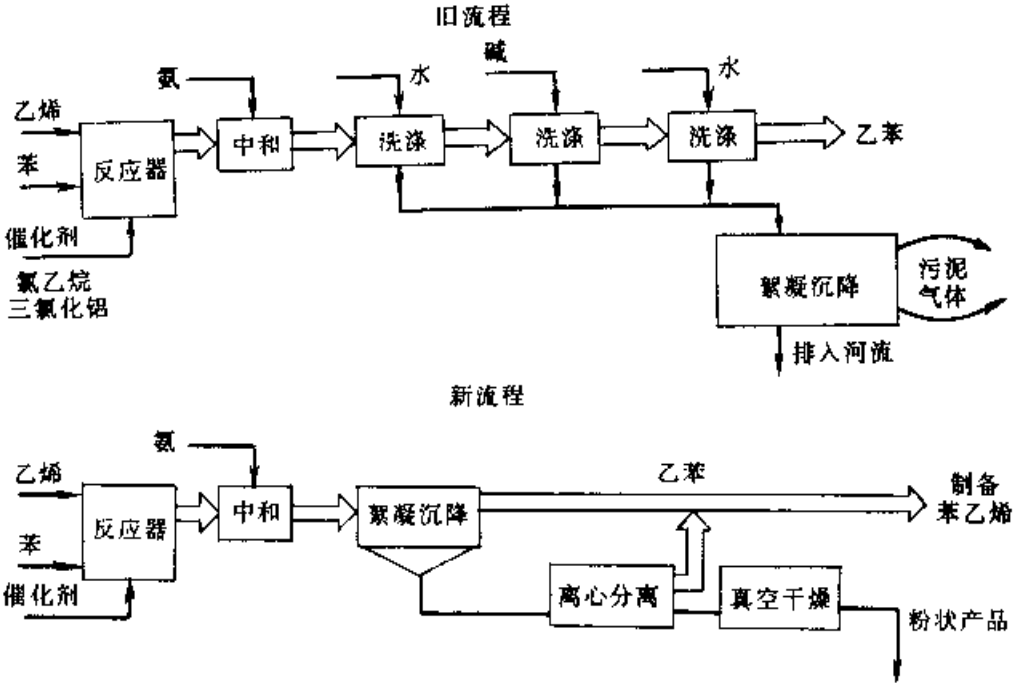


图 7-6　乙苯生成除杂工艺的新旧流程对比

比见图 7-6。

1978 年即建成年处理能力为 5.0×10^4t 乙苯的装置。新旧工艺的有关指标对比如下（表 7-7）。

表 7-7　苯乙烯生产新旧工艺对比

项　　目	单　位	原有工艺	干法工艺
废水量	m^3/t	1.5	0
废水中悬浮物	kg/t	2	0
有机物	kg/t	3	0
固体渣	kg/t		9
投资（1980 年价）	万法郎	400	525
运行费用	法郎/t	1.6	不明

本例是一个辅助工艺的小改革，实施起来难度不大，但消除了全部废水的排放，得到的固体渣可以作为副产品利用，从而使苯的烷基化过程实现了无废生产。

二、蒽醌制取四氯蒽醌工艺（染料行业）

染料工业中蒽醌制取四氯蒽醌的老工艺流程比较长，由于每一步工序中或多或少将产生污染物，所以整个反应产生了大量的有毒的含汞废液和废水，以及大量的原料、中间产物及产品的废水，而且产品的产率比较低，具体老工艺见图 7-7。现在改用碘作催化剂，废除了原来的汞催化剂，从而大大简化了生产工艺流程。减少了生产工序，减少了废水的排放量，而且降低了废水的毒性，提高了产品的产率，新工艺见图 7-8。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

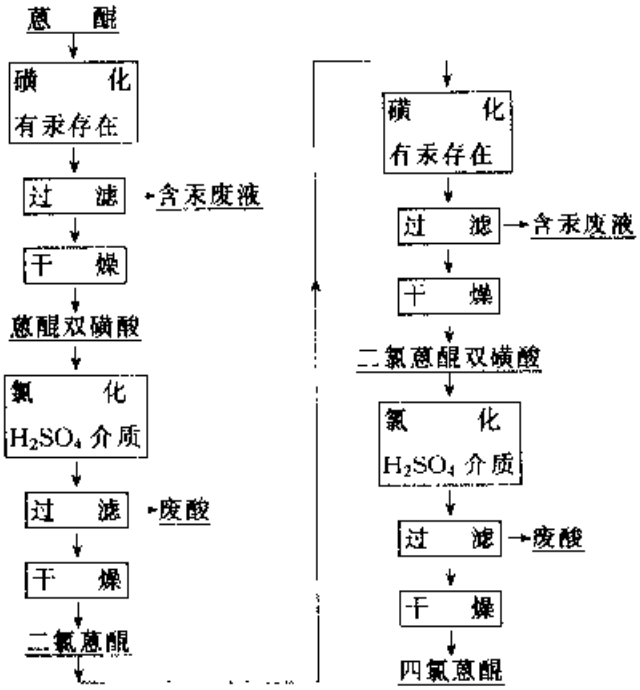


图 7-7 汞作催化剂制备四氯蒽醌工艺流程

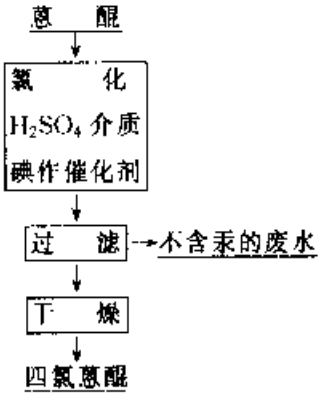


图 7-8 碘作催化剂制备四氯蒽醌工艺流程

三、合成氨废水综合利用（化肥工业）

合成氨的制备方法是以石油或天然气裂解制氢，与氮气在高温、高压及催化剂的条件下合成。以轻油或天然气为原料的合成氨所排放废水的特性是含甲醇、氨、COD 等。以渣油为原料的合成氨所排废水则含有甲醇、氰、炭黑、氨、硫化物及金属等。废气中主要含有 H_2、CH_4、NH_3 另外还有氮气和氩气等。所以传统工艺排放的废气和废水等将对环境造成危害。新工艺从废水中回收油，从废气中回收氨并供应至职工居住区作生活用煤气，取得了明显的经济效益和环境效益。合成氨生产的新旧工艺流程对比见图 7-9。

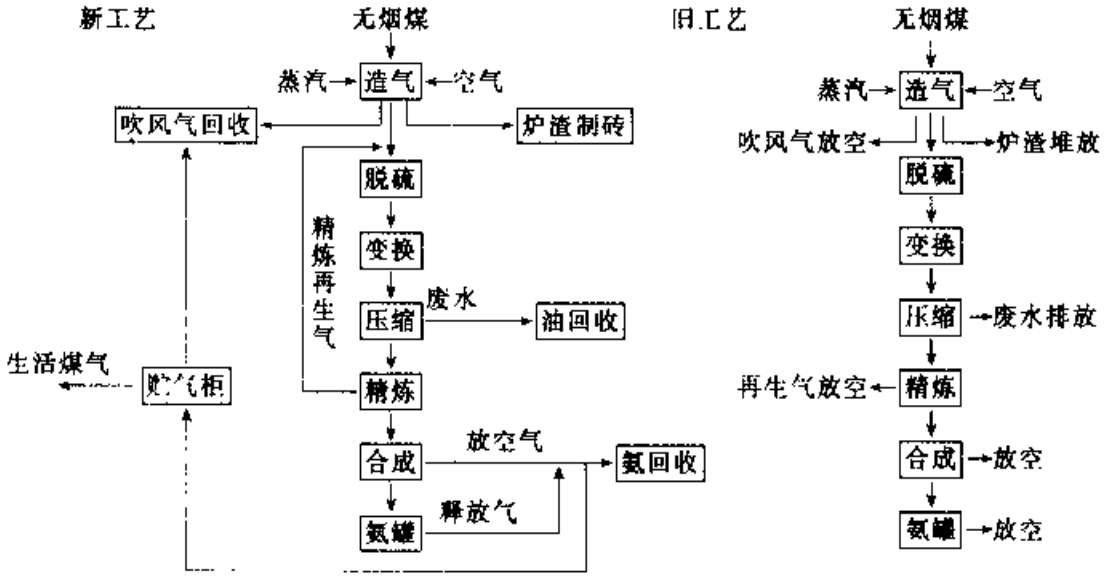


图 7-9 合成氨生产的新旧工艺流程

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

新旧工艺的主要经济技术指标见表 7-8 所示。

表 7-8 合成氨生产新旧工艺主要经济技术指标对比

项 目	单 位	旧工艺	新工艺
无烟煤用量	kg 标煤/t 产品	1441	1240
烟煤用量	kg 标煤/t 产品	640	260
电耗	kW·h/t 产品	1621	1520
煤耗	t/t 产品	2.08	1.50
水耗	m^3/t 产品	201	169
废水排放量	m^3/t 产品	140	70
废气排放量	m^3/t 产品	2833	56
废渣排放量	t/t 产品	0.25	0.05

从上表可以看出，以年 3 万 t 合成氨计算，采用新工艺后每年可以节约标准煤 4700t，增产合成氨 500t，回收润滑油 75t，节约新鲜水约 96 万 t，同时可以利用工业废渣作建筑材料，并利用废气解决 1000 户职工的生活用煤气。总计可获利润 148 万元，并缓解了对水体和大气环境的恶劣影响。

四、加压冷凝法回收敌百虫生产副产物氯甲烷（农药行业）

敌百虫是目前国内外应用较广泛的有机磷杀虫剂，同时是生产敌敌畏产品的中间体。氯甲烷气体是生产敌百虫过程中制造亚磷酸二甲酯的副产物，从酯化反应器排出，工艺流程见图 7-10 所示。经加压后冷凝，以回收利用。工艺流程见图 7-11 所示。

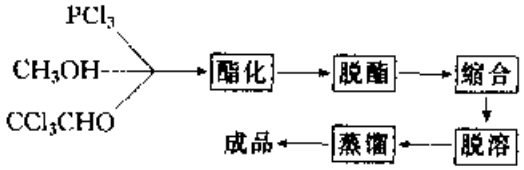


图 7-10 敌百虫生产工艺流程

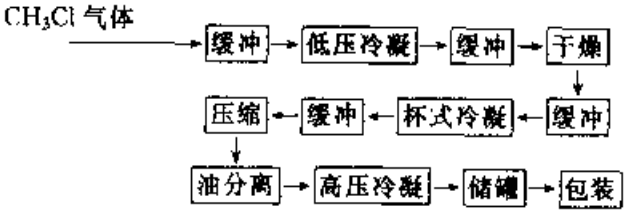


图 7-11 加压冷凝法回收敌百虫生产副产物氯甲烷工艺流程

以年产 1760t、日产 6t 的某农药厂计算，年可以回收氯甲烷 200 余吨。表 7-9 列出了国内主要农药厂敌百虫及相关产品生产中氯甲烷废气处理和回收情况。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 7-9 农药生产中氯甲烷废气的处理和回收

使用单位	产品名称	废气处理工艺	废气处理量/(万 m^3/a)	处理和回收情况
天津农药厂	敌百虫	冷凝-干燥-压缩	5.7	氯甲烷回收率 40%～50%，产品外销
抚顺有机化工厂	敌百虫	冷凝-压缩回收	39.6	氯甲烷外销，年产值 45 万元
青岛农药厂	久效磷	冷凝-压缩回收	11.86	年回收氯甲烷 30.2t
山西农药厂	敌敌畏	干燥-压缩回收	1.7	年回收氯甲烷 37t，产值 5.3 万元
福州第二化工厂	敌百虫	干燥-压缩回收	10.6	年回收氯甲烷 83.4t
山东农药厂	敌百虫 氧化乐果	干燥-压缩回收	17.6	年回收 99% 氯甲烷 400t，回收率为 43%

总之，清洁生产是一条协调生产发展和环境问题的最佳途径。每个企业应抓住机遇，通过推行清洁生产缓解目前两者之间日益加剧的矛盾，实现生产的可持续发展。

第七节 绿色化工

一、绿色技术

随着人们环境意识的逐步增强以及环境保护事业的深入发展，国际上兴起了一股“绿色浪潮”，如“绿色食品”，“绿色产品”、“绿色标志”、“绿色革命”，“绿色文明”等。在科学技术领域中出现了“绿色技术”的新名词。绿色代表环境，象征生命。人们在某一名词前冠以“绿色”，以表明某一社会、经济活动或行为、产品、技术等有益于环境或于环境无害化。

绿色技术的科学内涵尚在发展中，各专业的说法不一，如有的环境保护专家认为绿色技术就是环境保护技术。有的生态学家认为，绿色技术就是生态技术。这些看法都有其正确的部分，但也是不全面的。我们认为，绿色技术具有如下几个方面的基本技术特性。首先，绿色技术不是只指某一单项技术，而是一个技术群，或是说是一整套技术。它不仅包括持续农业与生态农业、清洁生产，也包括生态破坏和污水、废气、固体废弃物防治技术以及污染治理生物技术和环境监测的高新技术，这些技术之间又互有联系。其次，绿色技术具有高度的战略性，它与持续发展的战略密不可分。持续发展是对高消耗、高消费给环境带来严重恶化的传统发展的否定。因此，绿色技术是持续发展的技术基础。第三，绿色技术是一个发展着的相对概念，随着时间的推移和科学技术的进步，绿色技术的内涵和外延也随之变化与发展。尤其是绿色技术根据的环境价值观念会不断发生变化，技术也就会随之而变。第四，绿色技术对高新技术的容量很大，也就是讲，高技术在绿色技术中可以发挥巨大的作用。所谓高技术的“绿色”，就是充分发挥现代科学技术的潜力，走对环境无害的发展道路，这不仅是需要而且也是可能的。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

随着我国环保法规的进一步健全与环保意识的日益加强，无论是末端技术、绿色工艺还是绿色产品，其经济效益的路径正得以有效建立并逐渐扩展，排污收费标准正拟提高并可能超过治理费用，排污权市场正在大中城市迅速展开，关闭整顿重污染企业成为企业最大的环境风险，尤其是广大民众绿色消费意识的兴起与对环境质量提高的要求，使得绿色技术创新对我国企业来说具有重要的战略意义与商业机会。简单来说，企业绿色技术创新收益主要来源于绿色消费市场、企业环境风险与成本降低、环保产业这三个方面。

1994 年，Mintel 国际公司研究了 981 位成年人的代表性样本，以确定消费者是否准备按照他们的环境原则改变他们的购买习惯。该研究显示，大多数采购者增加了他们对以绿色形象营销的产品的购买，日益关心制造该产品的公司各项活动的完整性。1994 年声称自己对“绿色”问题感兴趣的人数比 1990 年增加了 10%（见表 7-10）。绿色技术创新除了直接创造市场价值与赢得顾客青睐之外，其本身在治理污染、预防污染、减少成本、提高生产率等方面还具有巨大的潜在机会。

表 7-10　Mintel 公司对消费者绿色偏好的调查结果

年份	不知道	不关心	想像的绿色	淡绿色	深绿色	很深的绿色
1990	8%	10%	23%	20%	27%	12%
1994	3%	7%	28%	21%	28%	13%

据中国社会调查事务所（SSTC）在若干城市开展了一项有关绿色消费观念及消费行为的专题调查，有效样本 1863 个。调查显示，86.7% 的人认为治理环境污染问题事关重大且迫在眉睫，71.3% 的人认为发展环保产业、开发绿色产品对改善环境状况大有裨益，人们普遍认为绿色产品应具有健康、节能、无污染的特点，对以上特点的认同比例分别超过了 70%。调查还显示，53.8% 的人表示乐意消费绿色产品，37.9% 的人表示已经购买过诸如绿色食品、绿色服装、绿色建材、绿色家电在内的绿色产品，愿意消费绿色产品的人群比例比较高。同时，18.5% 的人认为国内绿色产品的质量和技术水平还比较低，与西方发达国家之间存在着不小的差距，15.2% 的人认为目前绿色产品的品种还不够丰富，尚不能满足环境保护的需要和人民生活消费的需求。

绿色产品标志的推广，使得绿色产品市场在国内生机盎然，发展迅速。再例如，绿色食品在几年前还是一个新名词，但截止 1997 年底，我国共开发绿色食品 892 个，绿色食品生产企业总产值为 393.1 亿元，年销售额 240 亿元，税后利润 13 亿元。此外，我国的绿色包装、无氟冰箱、环保轿车、

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

节能电脑等各种绿色产品正以不可阻挡之势迅速占领市场，表明了绿色技术产品的收益路径在我国终于有了雏形，并初步获得社会与企业的承认。

二、环境标志

（一）定义和背景

环境标志是张贴在产品上的一种图案。国外也有称为“生态标志”、“绿色标志”、“环境标签”等。它不同于一般的商品的商标，是一种与环境保护相联系的产品标志，用来标明产品从生产到使用以及回收的整个过程都符合特定的环境保护要求，对生态环境无害或危害极小，并利于资源的再生和回收。其实质是对产品“从摇篮到坟墓”全过程的环境行为进行控制管理，环境标志产品的范围是一些对人类及环境虽有一定的危害，但采取了适当措施后就可以减少或消除的产品。

环境标志制度，不仅可促使人民群众通过选购商品参与环境保护工作，提高和增强环境意识，而且为企业调整产品和产业结构、开发新产品、提供资源合理配置、清洁生产工艺、最佳处理技术及资源循环利用等方面的技术信息和导向。

环境标志也是环境政策的一种体现形式，是市场经济条件下，深化环境保护工作的一项重要措施。随着越来越多的带有环境标志的产品进入千家万户，将极大地促进和提高公众的环境意识。又随着环境意识的增强，将有更多的人使用和消费具有环境标志的产品，这又将极大地刺激环境标志产品的开发和使用。这样的促进和推动，不是依靠行政命令强制执行，而是基于信息引导和市场自由竞争机制来实现的。因此，它的出现，立刻引起国际社会的重视和关注，并得到迅速的发展。如最早实施环境标志的前联邦德国，它构思于 1971 年，实施于 1978 年。1979 年 5 月，为第一批 48 个产品授予了环境标志，这一计划经历了艰难的开拓阶段，进展缓慢，到 1984 年仅对 33 个产品类别颁发了 500 个环境标志。但是在 20 世纪 80 年代后期，这一计划赢得了公众的认可和赞同，也获得了工业界的支持。1990 年上半年，已有 64 种类型的 3600 个产品被授予环境标志，同时带动了其他国家纷纷效仿。1988 年，日本、加拿大开始制订环境标志规划，至 1992 年 7 月，日本公布的环境标志数目为 49 个类型 2000 多个产品。法国、瑞士、芬兰和澳大利亚等国家也纷纷于 1991 年开始实施环境标志，目前已有 20 多个国家实施环境标志。我国国家环保局已从 1993 年起，在全国开展了环境标志工作。在“21 世纪议程”中，提出了制订有关环境保护标志产品的标准及质量检验方法。有的企业生产的产品取得国外的环境标志证书和标志的使用权限，如青岛海尔电冰箱、杭州西泠电冰箱已取得德国的环境标志。可以预见，环境标志制度将为促进我国经济与环境协调发展发挥重要的作用。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

国际标准化组织（ISO）环境战略咨询组，为了统一环境标志方面的有关定义、标准及测试方法，以避免国际贸易上的障碍，促进社会、经济与环境的协调发展，于1991年成立了环境标志分组。这将有利于环境标志的规范化，使环境标志制度得到健康和迅速的发展。

（二）环境标志制度的目的

环境标志制度，不仅可促使人民群众通过选购商品参与环境保护工作，提高和增强环境意识，而且为企业调整产品和产业结构、开发新产品、提供资源的合理配置、清洁生产工艺、最佳处理技术及资源的循环利用等方面的技术信息和导向。推行环境标志制度能够实现许多目标，归纳起来有以下五条。

① 为消费者提供准确的信息　许多厂家认识到环境因素在市场竞争中的重要性，在产品广告中冒称对环境有益，欺骗消费者。环境标志可为消费者提供一个容易理解的、经过权威机关审查的产品环境性能的公正评价。

② 增强消费者的环境意识　环境标志使商店的货架变成环境保护的课堂，消费者在日常的购物活动中接受环境教育，激发环境保护主体意识，促进消费模式的转变。

③ 促进销售，改变被标志产品的形象　环境标志产品获得顾客的青睐，增加生产厂家的销售收入，促进厂家在改变产品的环境形象上下功夫，促进清洁生产技术的推广。

④ 促进产品的出口　由于国际标准化组织（ISO）环境战略咨询组，统一了环境标志方面的有关定义、标准及测试方法，现在许多出口产品要求具有环境标志。这也使得企业家对环境标志的重视。

⑤ 指导产品的制造　厂家将环境因素贯穿到整个产品的开发过程之中，推动生产模式的转变，因为即使产品是完全无害，完全符合标准，但如果在生产过程中不按照环境标志产品和清洁生产的生产工艺，该产品无法得到环境标志，对出口、销售会造成一定的影响。

⑥ 保护环境　通过广大消费者的消费活动和市场机制，使清洁产品得到鼓励和支持，减少工业活动对环境的有害影响。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第八章　环境质量评价

环境质量评价是环境工程中一个重要环节，也是环境科学体系中一门基础性的学问和工作，更是环境科学的一项重要研究课题。它主要研究环境各组成要素及其整体的组成、性质及变化规律以及对人类生产、生活及生存的影响，其目的是为了保护、控制、利用、改造环境质量，使之与人类的生存和发展相适应。

第一节　概　　述

一、环境质量评价的概念和类型

环境质量评价确定、说明和预测一定区域范围内人类活动对人体健康、生态系统和环境的影响程度称为环境质量评价。简而言之，环境质量评价就是对环境素质的优劣做定量的评述。环境质量评价可分为广义与狭义两种，广义的环境质量评价包括自然环境与社会环境质量的评价，狭义的环境质量评价则仅指污染环境质量评价。

由于环境在时空上存在着较大的差异，人类的社会活动又多种多样，所以环境质量评价的类型，在时间域上可分为：环境质量回顾评价、环境质量现状评价、环境质量影响评价。

（1）回顾评价　对某一地区过去的环境质量，根据记载资料及有关的调查研究进行评价。通过环境质量回顾评价可以揭示该地区引起环境问题的形成和演变过程。进行这种评价必须有过去较长时间的环境监测和资料的积累。

（2）现状评价　依据一定的标准和方法，着眼于当前情况对一个区域内人类活动所造成的环境质量进行评价，为区域环境污染综合防治提供科学依据。同时，通过现状评价还可以明了过去已采取的环境保护措施的技术经济效果和收益。

（3）影响评价　环境影响评价是对建设项目、区域开发计划及国家政策实施可能对环境造成的影响进行预测和估计。我国到现在为止只作前面两项。因此，环境影响评价不仅要研究建设项目在开发、建设和生产过程中对自然环境的影响，也要研究对社会和经济的影响。

另外，环境质量评价的类型还可以按照空间域分为建设项目环境质量评价、城市环境质量评价、区域环境质量评价和全球环境质量评价等；从环境

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

要素分为单个环境要素的单项评价和整体环境要素的综合评价，有时还可以是部分环境要素的联合评价；按环境介质可以分为大气环境质量评价、水体环境质量评价、土壤环境质量评价、作物的污染评价等；按参数选择分为卫生学参数、生态学参数、地球化学参数、污染物参数、经济学参数等质量评价。

二、环境质量评价的目的和任务

环境质量评价是人们认识和研究环境的一种科学方法，其任务是在大量监测数据和调查分析资料的基础上，按照一定的评价标准和方法来说明、确定和预测一定区域范围内人类活动对人体健康、生态系统和环境的影响程度。

环境质量评价的基本目的是为环境管理和环境规划提供依据，同时也是为了比较各地区受污染的程度，从而达到保护、控制、利用、改造环境质量，使之与人类的生存和发展相适应。

环境质量评价研究不仅是开展区域环境综合治理、进行环境区域规划的基础，而且对于搞好环境管理、制定环境对策具有重要的指导意义。

三、环境质量评价的由来和发展

环境污染作为一个重大的社会问题，是从产业革命开始的。由于当时只顾生产，不顾对环境的污染，造成了严重的后果。产业革命的故乡—英国伦敦市早在 1873 年、1880 年、1882 年、1891 年和 1892 年连续发生了一系列煤烟型大气污染事件，每次都造成众多人员的伤亡。

进入 20 世纪，特别是二次世界大战之后，科学、工业、交通都发生了迅猛的发展，尤其是石油工业的崛起，工业过分集中，城市人口过分密集，环境污染由局部逐步扩大到区域，由单一的大气污染扩大到大气、水体、土壤和食品等各方面的污染，酿成了不少震惊世界的公害事件。

为治理和改善已被污染的环境，为防止新的污染发生就要求加强，这首先就有一个如何全面正确地认识环境的问题。为在研究和认识环境问题中有共同语言，共同方法，共同标准，环境质量评价便应运而生。

环境质量评价的实践经历了曲折的道路。开始时，环境质量评价仅限于资料的收集和整理、环境现状的调查，繁琐而无重点的工作常常导致工程延期、费用增加。在美国，环境质量评价单位常常因为环境影响报告书不符合法律要求而受到法院起诉。所有这些都促使人们对环境质量评价工作进行改进和完善。

四、环境质量评价的一般方法

环境质量评价的好坏是由许多因素决定的，是一个很复杂的问题，既要将它支解为各个部分进行分析，同时也要将它作为有机整体研究。既要从宏

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

观观察其表象的特点，更需要从微观探索其形成、变化和发展的机理，即从定性至定量分析，这样才能作出科学评价。

环境质量评价又根据评价对象不同、评价目的的不同、评价范围大小不同，所提出的评价精度要求也不一样，即对所能得出的评价结论与实际的环境质量两者之间允许的差异有着不同的要求。因此进行环境质量评价有多种方法。例如，指数法、模式和模拟法、动态系统分析法、随机分析和概率统计法、矩阵法、网络法、综合分析法、经济损益分析法等。上述各种方法对环境质量评价结果，均表示的是环境质量的相对概念，每种方法也都还可以引申出许多具体方法。

第二节　环境标准

在人类社会发展中，人们已经认识到，为了自身的生存和发展，需要协调社会经济发展与环境保护的关系，开展环境影响评价，进行环境管理。而环境评价和环境管理必须依据统一的环境标准。

环境标准是控制污染、保护环境的各种标准的总称。它是国家根据人群健康、生态平衡和社会经济发展对环境结构、状态的要求，在综合考虑本国自然环境特征、科学技术水平和经济条件的基础上，对环境要素间的配比、布局和各环境要素的组成（特别是污染物质的容许含量）所规定的技术规范。环境标准是评价环境状况和其他一切环境保护工作的法定依据。

环境标准在控制污染、保护人类生存环境中所起的作用表现如下。

1. 环境标准是制订环境规划和环境计划的主要依据

保护人民群众的身体健康，需要制订环境保护规划，而环境保护规划需要一个明确的环境目标。这个环境目标应当是从保护人民群众的健康出发，使环境质量和污染物排放控制在适宜的水平上，也就是要符合环境标准要求。根据环境标准的要求来控制污染、改善环境，并使环境保护工作纳入整个国民经济和社会发展计划中。

2. 环境标准是环境评价的准绳

无论进行环境质量现状评价编制环境质量报告书，还是进行环境影响评价编制环境影响报告书，都需要环境标准。只有依靠环境标准，方能做出定量化的比较和评价，正确判断环境质量的好坏，从而为控制环境质量，进行环境污染综合整治，以及设计确实可行的治理方案提供科学的依据。

3. 环境标准是环境管理的技术基础

环境管理包括环境立法、环境政策、环境规划、环境评价和环境监测等。如大气、水质、噪声、固体废弃物等方面的法令和条例，这些法规包含

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

了环境标准的要求。环境标准用具体数字体现了环境质量和污染物排放应控制的界限和尺度。违背这些界限，污染了环境，即违背了环境保护法规。环境法规的执行过程与实施环境标准的过程是紧密联系的，如果没有各种环境标准，环境法规将难以具体执行。

4. 环境标准是提高环境质量的重要手段

通过颁布和实施环境标准，加强环境管理，还可以促进企业进行技术改造和技术革新，积极开展综合利用，提高资源和能源的利用率。努力做到治理污染，保护环境，持续发展。

环境标准的种类繁多，按适用范围和地区，可分为国际标准、国家标准和地方标准等。按其性质可分为环境质量标准、污染物排放标准等。我国目前的环境标准体系，是根据我国国情总结自己多年来环境标准工作经验，参考国外的环境标准体系而制定的。它分为两级、七种类型。此外，还可分为强制性标准和推荐性标准。图 8-1 给出了我国目前的环境标准体系。

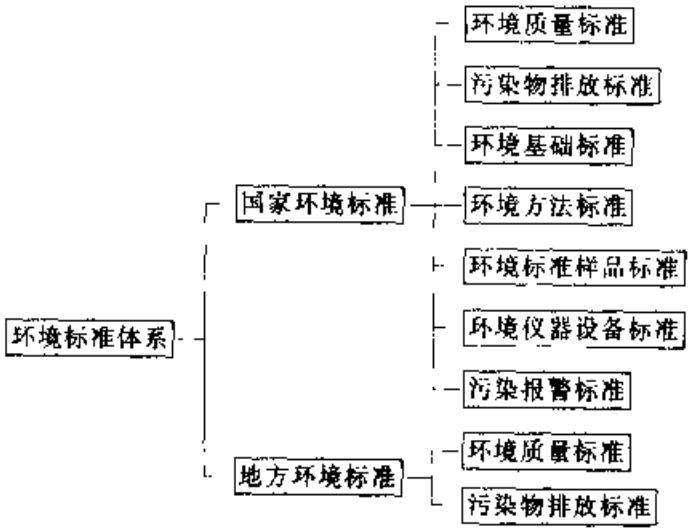


图 8-1　我国目前的环境标准体系

我国从 1973 年颁布第一个环境标准《工业“三废”排放试行标准》起，环境标准化工作已经经历了 20 多个年头。环境标准从单一的排放标准逐步发展成为较为完整的环境标准体系，并形成一支环境标准的制定、修订、研究及实施监督的队伍。同时积极开展国际间交流和合作，参加了国际标准化组织（ISO）委员会。

根据有关资料，到 1993 年底，我国一共颁布各类环境标准 329 项，其中环境质量标准 13 项，污染物排放标准 66 项，环境地方标准 184 项，环境标准样品标准 29 项，环境基础标准 7 项，其他环境标准 22 项，环境保护行业标准 8 项。表 8-1 列出了历年来制定的各类环境标准的统计结果。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

表 8-1 历年来制定的各类环境标准统计结果

年份	1973～1988	1989	1990	1991	1992	1993	合计
各类环境标准	141	51	16	30	31	60	329
环境质量标准	8	2	—	1	1	1	3
污染物排放标准	40	1	4	3	5	13	66
环境方法标准	61	42	6	18	24	33	184
标准样品标准	16	1	5	7	—	—	29
环境基础标准	4	1	—	1	—	1	7
其他环境标准	12	4	1	—	—	5	22
环境保护行业标准	—	—	—	—	1	7	8
作废或被修改环境标准	13	2	—	—	—	—	15

第三节 环境质量现状评价

一、环境质量现状评价的内容

环境质量现状评价中，首先应确定评价的对象、评价目的、评价范围和评价精度。通常对城市和工业区的评价要求精度比较高，对流域及海洋的精度要求比较低。

环境质量现状评价包括单项因素的评价和整体环境质量的综合评价。前者是后者的前提和基础，后者是前者的提高和综合。但不管哪一种评价，实质上都是对一定环境因素的系统分析和这种分析基础上的系统总结。其主要的工作内容如下。

① 环境污染评价 指进行污染源调查，了解进入环境的污染物种类和数量及其在环境中的迁移、扩散和转化，研究各种污染物浓度在时空上的变化规律，建立数学模型，说明人类活动所排放的污染物对生态系统，特别是对人群健康已经造成的或未来（包括对后代）将造成的危害。具体包括气候环境、大气环境质量、水环境质量、土壤理化特征等等。

② 生态评价 指为了维护生态平衡，合理利用和开发资源而进行的区域范围的自然环境质量评价。包括生物形态结构、能量分配、物质循环、生态功能、生态效果和生态效益等。

③ 美学评价 指评价当前环境的美学价值。美学评价主要评价受拟建项目影响的自然景观，风景区，游览区以及人工景观等具体美学价值的景点。

④ 社会环境质量评价 包括经济结构、经济功能、经济效益、社会效益和文化状况等。

环境现状评价的范围可以按环境功能、自然条件、行政区等划分，评价过程中一般以国家颁发的环境质量标准或环境背景值为评价依据，它为环境

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

管理和环境影响评价提供了基础资料。

二、环境质量现状评价的步骤和程序

环境质量现状评价，一般可以按以下步骤进行。

1. 环境现状调查，数据和资料的收集

根据评价目的和要求，收集有关环境本底特征的资料、并结合现场踏勘及污染源调查，经分析、研究提出环境监测内容和要求。环境现场调查中，对与评价项目有密切关系的部分应全面、详细，尽量做到定量化；对一般自然和社会环境的调查，若不能用定量数据表达时，应做出详细说明，内容也可适当调整。

环境现状调查的方法主要有：搜集资料法、现场调查法和遥感法。通常这三种方法的有机结合、互相补充是最有效的和可行的。

环境现状调查的主要内容有：①地理位置；②地貌、地质和土壤情况，水系分布和水文情况，气候与气象；③矿藏、森林、草原、水产和野生动植物、农产品、动物产品等情况；④大气、水、土壤等的环境质量现状；⑤环境功能情况（特别注意环境敏感区）及重要的政治文化实施；⑥社会经济情况；⑦人群健康状况及地方病情况；⑧其他环境污染和破坏的现状资料。

2. 根据调研资料及监测数据，经分析整理，选定评价参数和评价的环境标准

选取评价标准是现状评价的一个关键问题。首先要根据评价目的选择评价标准，例如评价渔区水体，就应当采取渔业水质标准作为评价标准。同时这些标准能包括和反映的污染物。如不能完全包括和反映污染物的影响时，可借鉴和参考国外的标准。

3. 选择评价的方法，建立评价的数学模式并进行评价

各种污染物的计算和评价方法是不一样的，必须分别进行。

4. 划分环境质量等级

5. 提出环境质量评价的结论，并提出综合防治环境污染的对策和建议

环境质量现状评价的基本程序见图 8-2。

三、环境质量现状评价的方法

环境质量现状评价的方法主要有调查法、监测法和综合分析法。

（1）调查法　对评价区域内的污染源（包括排放的污染物的种类、排放量和排放规律）、自然环境特征进行实地考察，取得定性和定量的资料，并以评价区域的环境背景值作为标准来衡量环境污染的程度；

（2）监测法　按评价区域的环境特征布点采样，进行分析测试，取得环境污染现状的数据，按环境质量标准或背景值来说明环境质量变化的情况。

（3）综合分析法　根据评价目的、环境结构功能的特点和污染源评价的

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

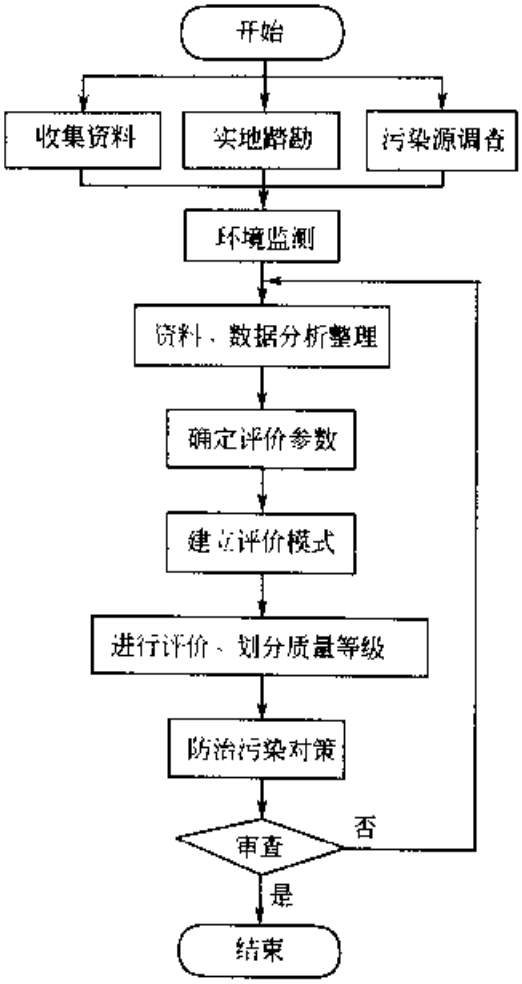


图 8-2　环境质量评价程序

结论，并根据环境质量标准，参考污染物之间的协同作用以及环境背景值和评价的特殊要求等因素而确定评价标准，来说明环境质量变化状况。

四、大气环境质量评价

大气环境质量评价主要是通过环境污染的监测和调查研究，了解大气环境的污染现状并加以评价。在进行大气环境质量评价时，要选定评价差数，合理布置监测网点，科学处理监测数据，建立环境质量指数计算模式，确定大气环境质量等级或绘制环境质量评价图等。

1. 评价参数

评价参数（亦称评价因子）就是在进行环境评价时所认定的对环境有较大影响的那些污染物（污染因子）。选择评价参数的依据是：本地区大气污染源评价的结果，大气例行的监测结果，以及生态和人群健康的环境效应。凡是主要的大气污染物，大气例行监测浓度较高以及对生态及人群健康已经有所影响的污染物，均应选作污染监测的评价参数。

常用的大气环境质量评价参数有以下四种。

（1）颗粒物　降尘、总悬浮颗粒物、飘尘；

（2）有害气体　二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、臭氧；

（3）有害元素　氟、铅、汞、砷、氯、镉等；

（4）有机物　芳烃、卤代烃、脂肪烃、总烃。

评价因子的选择因评价区污染源构成和评价目的而异，进行某个地区的大气环境质量评价时，可根据该地区大气污染物的特点和评价目的从上述因子中选择几项，不宜过多。常用的有二氧化硫、氮氧化物和总悬浮颗粒物，化工行业的环境质量评价中除前面的三个评价因子外，通常包括化工生产中的原料成分、中间体及产品作为评价因子。

确定评价因子之后，就要安排对这些污染物的监测。

2. 监测

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

在大气环境污染监测中，采样点位置的合理及点数的安排非常重要。大气环境中污染物的浓度随时间和空间不同变化很大，因此在监测时要注意考虑各种因素和条件，并详细地掌握污染物浓度分布情况，使之将采样点尽量布置合理。

常用的大气监测点的布设方法有：①方格坐标平均布设采样（亦称网格布点法）；②同心圆布点法（亦称放射式布点法）；③扇形布点法；④功能分区布点法；⑤人口密度布点法等。具体应用时可根据人力、物理条件及监测点条件的限制灵活运用。一般在污染源的下风向应多设监测点，在污染源少的地区和评价地区的边缘可少设监测点。另外，还要在不受大气污染影响的附近地区或者在上风侧，选定一二个对照监测点，以确定大气污染物的背景值，作为监测的对照值。

监测的频率、采样及分析方法均参照监测规范中的规定条文和分析方法，有时在大气监测时需要同步监测气象条件，因为大气污染物和气象条件有密切的关系，要准确地分析、比较大气污染物监测的结果，一定要结合气象条件来说明。

3. 监测数据的整理和评价

监测数据的整理，就是对监测的数据计算出统计值。目前使用最多的方法是几何平方法，计算式为

$$C_i = \sqrt{(C_{i,\max}) \times (C_{i,\mathrm{av}})}$$

式中 C_i——某污染物浓度的统计值；

$C_{i,\mathrm{av}}$——某污染物浓度的算术平均值；

$C_{i,\max}$——某污染物的最大浓度。

该方法适当考虑了污染物的最大浓度时的环境质量，故较为合理。

评价就是对监测数据进行统计、分析，并选用适宜的大气质量指数模型求取大气质量指数 AQI（Air Quality Index）。目前提出的评价大气质量的指数类型很多，如污染物标准指数（PSI）、自勃考大气综合指数（PI）、橡树岭大气指数（QRAQI）和密特大气质量指数（MAQI）等，它们的特点和依据的原则都很类似。

环境质量指数有两种：反映单一污染物（污染因子）影响的为分指数，反映多项污染物共同影响的为综合指数。

（1）分指数

分指数 I_i 又称为污染指数，是表示某种单一污染物对环境产生的影响。分指数 I_i 的计算分三种情况。

① 污染物的危害程度随着污染物浓度的增加而增加的，污染物（评价

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

参数）的分指数，是污染物的实测浓度 C_i 与该污染物在环境中的允许浓度（评价标准）$C_{s,i}$ 的比值，其计算式为：

$$I_i = \frac{C_i}{C_{s,i}}$$

② 污染物的危害程度随着污染物浓度的增加而降低的评价参数（如溶解氧），分指数按下式计算：

$$I_i = \frac{C_{i,\max} - C_i}{C_{i,\max} - C_{s,i}}$$

③ 具有最低和最高两种浓度限值的评价参数（如 pH），分指数按下式计算：

$$I_i = \frac{C_i - C_{s,i}}{C_{s,i(\max)} - C_{s,i}}$$

或

$$I_i = \frac{C_i - C_{s,i}}{C_{s,i(\min)} - C_{s,i}}$$

式中 $C_{s,i(,\max)}$——污染物的评价标准最高值；

$C_{s,i(,\min)}$——污染物的评价标准最低值；

$C_{s,i}$——污染物评价标准的最佳值。

（2）综合指数

综合指数表示多项污染物对环境产生的综合影响的程序，它是由各污染物的分指数，通过综合计算求得。综合计算的方法有叠加法、算术平均法、加权平均法、平均值与最大值的平方和的均方根法以及几何均值法等。目前，以几何均值法使用最多。其计算式为：

$$P_i = \sqrt{I_{\max} \times \frac{1}{n} \sum_{i}^{n} I_i}$$

式中 P_i——大气环境质量综合指数；

I_i——某污染物的分指数；

$I_{\max}$——各污染物中的最大分指数；

n——参加评价的污染物（评价参数）个数。

（3）美国密特大气质量指数（MAQI）

MAQI 是五项分指数的综合计算结果，计算式如下：

$$\mathrm{MAQI} = \sqrt{I_C^2 + I_S^2 + I_P^2 + I_N^2 + I_O^2}$$

式中，I_C^2、I_S^2、I_P^2、I_N^2、I_O^2 分别为 CO、SO_2、颗粒物、NO_2 和臭氧等污染物的分指数。

各分指数按下列诸式计算：

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

$$I_C=\sqrt{\left(\frac{C_{C8}}{S_{C8}}\right)^2+\delta_1\left(\frac{C_{C1}}{S_{C1}}\right)^2}$$

$$I_S=\sqrt{\left(\frac{C_{Sa}}{S_{Sa}}\right)^2+\delta_2\left(\frac{C_{S24}}{S_{S24}}\right)^2+\delta_3\left(\frac{C_{S3}}{S_{S3}}\right)^2}$$

$$I_P=\sqrt{\left(\frac{C_{Pa}}{S_{Pa}}\right)^2+\delta_4\left(\frac{C_{P24}}{S_{P24}}\right)^2}$$

$$I_N=\frac{C_{Na}}{S_{Na}}$$

$$I_O=\frac{C_{Oa}}{S_{Oa}}$$

式中，分子 C 表示某种污染物的实测浓度，分母 S 代表该污染物的相应标准（C 和 S 单位相同）；下角字母 C、S、P、N、O 代表的各污染物种类，意义同上；下角字母 a 代表年平均，24、8、3、1 分别表示所指浓度的平均时间（小时）；δ_1、δ_2、δ_3、δ_4 为系数，当 $C_i>S_i$ 时，该系数 $\delta_i=1$，当 $C_i<S_i$ 时，该系数 $\delta_i=0$。

该指数用于评价大气质量的长期变化，要求掌握全年完整的监测数据。

我国在评价上海大气质量时采用了此方法。

（4）美国橡树岭大气质量指数（ORAQI）

它是由美国原子能委员会橡树岭国立实验室于 1971 年 9 月提出的。ORAQI按下式计算：

$$\mathrm{QRAQI}=\left[5.7\sum_{i=1}^{5}\frac{C_i}{S_i}\right]^{1.37}$$

式中 C_i——污染物 i 24h 的平均浓度；

S_i——污染物 i 的大气质量标准。

ORAQI 规定了五种污染物，即二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、氧化剂、颗粒物等。ORAQI 的尺度是这样确定的，当各种污染物的浓度相当于未受污染的本底浓度时，ORAQI＝10，当各种污染物的浓度均达相应标准，即 $C_i=S_i$ 时，ORAQI＝100。橡树岭国立实验室按 ORAQI 的大小，将大气质量分为六级。见表 8-2。

表 8-2 ORAQI 与大气环境质量分级

分级	优良	好	尚可	差	坏	危险
ORAQI	<20	20～39	40～59	60～79	80～100	≥10

ORAQI 所选参数比较多，可以综合反应大气环境质量，在应用时如果低于五个参数，可以参照 ORAQI 确定系数的方法加以修正。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

(5) 上海大气质量指数及分级

环境质量的分级，可以按照环境质量标准来划分；但环境质量又难以用特定的几项污染物浓度来全面表达。目前，除国家规定的空气环境质量标准(GB 2095—1996)分级外，还有其他一些大气环境质量的分级方法。大气环境质量评价所采用的指数法，就是根据环境质量综合指数 P_i，将大气环境质量分为五个等级（上海大气质量指数），质量指数计算如下：

$$I_{上} = \sqrt{\max\left(\frac{C_i}{S_i}\right) \times \left(\frac{1}{K}\sum_{i=1}^{k}\frac{C_i}{S_i}\right)}$$

式中 C_i——某污染物的实测浓度；

S_i——某污染物的环境质量标准。

$I_{上}$ 以最高 C_i/S_i 值与平均 C_i/S_i 值的几何均值兼顾了多种污染物的平均污染水平和某种污染物的最大污染水平。这种指数形式简单，适应污染物个数的增减，是比较适用的大气质量指数。对 P_i 值进行大气污染分级，结果见表 8-3。

表 8-3 空气质量等级

P_i	<0.6	0.6~1.0	1.0~1.9	1.9~2.8	>2.8
分级	清洁级	轻污染级	中度污染级	重污染级	极重污染级
大气污染程度	清 洁	符合大气质量指数	警戒水平	报警水平	紧急水平

由于各种分级方法均还不够完善，故目前的分级方法只能近似地反映环境质量状况。

(6) 沈阳大气质量指数

在评价沈阳地区环境质量时，提出了如下的指数模式：

$$I_{沈} = \left[1.12 \times 10^{-5}\sum_{i=1}^{4}\frac{C_i}{S_i}\right]^{0.40}$$

$I_{沈}$ 取 4 个污染参数：二氧化硫、氮氧化物、飘尘、铅。制定的基本思路同美国橡树岭大气质量指数，所选用的基本参数如表 8-4。

表 8-4 沈阳大气质量指数基本参数/(mg/m³)

污染物	SO_2	NO_x	飘尘	Pb
背景浓度	0.02	0.01	0.05	0.0001
标准	0.15	0.13	0.15	0.0007
明显危害浓度	2.0	1.0	1.0	0.01

确定系数时为照顾我们的习惯，当 4 项污染物浓度等于背景浓度时，$I_{沈}=100$；当 4 项污染物浓度等于明显危害浓度时，$I_{沈}=20$。这样确定的系

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

数当污染物浓度等于标准时，$I_{沈}=60$，符合于我们的习惯。

沈阳大气质量指数分级是在确定 PSI 值与 $I_{沈}$ 值之间关系后，按 PSI 分级标准进行分级的，分级见表 8-5。

表 8-5 沈阳大气质量指数分级

质量等级	极重污染	重污染	中等污染	轻污染	清洁
$I_{沈}$	<31	31～40	40～55	55～61	>61
大气污染水平	紧急水平	警报水平	警戒水平	大气质量标准	清洁

五、水体环境质量评价

为了保护和改善水域水质，合理利用水资源，维护生态平衡，保障人体健康和促进工农业生产的发展，各国都在大力开展水质污染的研究和水质污染评价的工作。

1. 水体评价的分类

在一个水体评价中，可以只对其水质（即水的理化性质）进行评价，也可以对水域的综合体（包括水质、水中生物和底质）进行评价。从评价参数看，有单项参数评价和多项参数综合评价。从评价方法看有生物学评价和化学监测指标为主的评价方法，后者应用较为广泛。

2. 水体环境质量评价参数

随着人们对水质好坏及其变化规律认识加深，水体环境质量评价参数不断增加，目前常采用的有数十项。根据评价参数反映的内容，将其大致可以区分为以下几类。

（1）感官性状的参数　色度、味、嗅、透明度、浑浊度、悬浮物、总固体含量、pH 等。

（2）流行病学参数　大肠杆菌、细菌总数等。

（3）营养盐类参数　硝酸盐、氨盐、磷酸盐、NH_3-N、NO_2-N、NO_3-N、有机态 N 和总磷等。

（4）毒物参数　砷、氰化物、汞、铬、铅、镉、酚、有机氯等。

（5）氧平衡参数　溶解氧（DO）、化学耗氧量（COD）、生物化学耗氧量（BOD_5）、总有机碳（TOC）、总耗氧量（TOD）等。

一般常选用其中的 10 项左右，如 pH 值、悬浮物、溶解氧（DO）、化学耗氧量（COD）、生物化学耗氧量（BOD_5）、酚、氰化物、砷、汞、铬、大肠杆菌等。

3. 监测

环境水质的监测，一般都要在水体处于稳定状态的时间进行，并且对监测范围内所布设的各采样点应同时采样。这样既可得到某一时间里的水质状

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

况，又能掌握整个监测范围水体中污染物的动态。

目前，我国对河水、湖泊、水库、海域、底泥等各监测项目的取样器具、取样时间、取样点布设和取样方法等，已制定了统一的一般性原则。同时对主要评价参数的监测分析方法也作了统一的规定。

在采集水样的同时，还要测量水的流速、流量、水温、过水断面面积、流道的坡度及粗糙度等。

4．水质评价方法及水质分级

水质评价分为单一参数和多项参数两种评价方法。单一参数常采用溶解氧（DO）或生物化学耗氧量（BOD_5）。多参数法系将各评价参数综合成一个概括的指数值来评定水质，也叫做指数评价法或数学模式评价法。目前，水质指数法是采用较多的水质评价方法。我国在评价水质时，较多采用加权综合指数法。该方法确定五个评价参数计有：酚、氰化物、砷、六价铬等。水质综合指数 P_i 是以五种污染物的各分指数 I_i 乘以该污染物的加权值 W_i，然后再相加求出均值，其计算式为：

$$P_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} I_i W_i$$

式中 n——参加评价的污染物（评价参数）的项目数。

加权值 W_i 可根据环境对某种污染物可以容纳的程度（即环境容量）来确定。计算加权值的公式为：

$$W_i = \left(\frac{B_i}{C_{s,i} - B_i}\right) \Big/ \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{B_i}{C_{s,i} - B_i}\right)$$

式中 B_i——某污染物在环境中原有的浓度（背景值或称为本底值）；

$C_{s,i}$——某污染物的评价标准。

根据加权综合指数 P_i（水质指数）的大小，将地表水质量划分为六个等级，分级情况见表 8-6。

表 8-6 地表水质量等级

水质指数 P_i	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	1.0~2.0	>2.0
分级	1	2	3	4	5	6
污染程度	清洁	尚清洁	轻污染	中污染	重污染	严重污染

除此之外，还可以根据污染物对环境的危害情况确定出主要污染物作为评价参数，再由各参数的分指数，经算术平均、几何平均或者取平均值与最大值的平方和的均方根等方法加以综合，求出各水质综合指数，最后按照不同形式的水质综合指数大小进行各种相应的分级。

环境现状评价还包括污染源的调查和评价、地下水环境质量评价、土壤

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

环境质量评价、声环境质量评价、城市环境质量评价、区域环境质量评价等。

第四节 环境质量影响评价

一、环境质量影响评价的由来

环境影响评价是环境质量评价的一种类型，它是对一个建设项目或一种土地利用方式将来可能给环境带来的影响作出评价。进行开发建设项目的环境可行性研究，其中包括对自然环境的影响（生物地球物理影响和生物地球化学影响）和对社会环境的影响。作为加强环境管理、防治污染、协调经济发展和环境保护的有效手段，自从 1969 年美国国会通过环境政策法（1970 年 1 月 1 日实施），建立起环境影响评价制度之后，发展很快。世界各国纷纷通过立法建立环境影响评价制度，一些国际组织特别是国际金融组织也踊跃参加与推动环境影响评价制度的发展，环境影响评价出现蓬勃发展的趋势。各国环境影响评价制度建立的时间和形式详见表 8-7。20 世纪 80 年代以来，无论是发达国家还是发展中国家都明确提出要求，政府部门在制定对人类环境具有相当影响的方案和实行重要计划、批准开发建设项目时，必须先编写环境影响报告书。

表 8-7 各国环境影响评价制度建立的时间和形式

国 家	建立时间	形 式	备 注
美国	1970	法律	
瑞典	1970	法律	
新西兰	1973	内阁政策	
加拿大	1973	内阁政策	
澳大利亚	1974	法律	
马来西亚	1974	法律	
法国	1976	法律	
菲律宾	1977	法律	
印度	1978	政府政策	
泰国	1979	法律	
中国	1979	法律	试行
印尼	1979	政府政策	
斯里兰卡	1979	法律	
英国		法律	散见于 1948 年以来的有关法律中
日本		法令	散见于 1969 年以来的有关环境法令中
德国		法律	散见于 1974 年以来的有关法律中

二、环境质量影响评价的必要性

环境影响评价是一项非常重要的工作，是防止环境污染和破坏的战略措施。在进行新建、改建、扩建等项目动工之前，对它在建设施工过程中和建

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

成之后投产过程中，可能对环境造成的影响作出预测和估断，也就是在掌握环境质量现状的基础上，评价环境质量未来的趋势。

我国《基本建设项目环境保护管理办法》中规定："建设单位及其主管部门，必须在基本建设项目可行性研究的基础上，编制基本建设项目环境影响报告书。经环境保护部门审查同意后，再编制建设项目的计划任务书"。显然，环境影响评价是在生产建设过程中由国家规定的必须进行的一项环境保护工作。

三、环境质量影响评价的程序

环境质量评价工作大体分为三个阶段。第一阶段为准备阶段，主要工作为研究有关文件，进行初步的工程分析和环境现状调查，筛选重点评价项目，确定各单项环境影响评价的工作等，编制评价工作大纲；第二阶段为正式工作阶段，其主要工作为进一步做工程分析和环境现状调查，并进行环境影响预测和评价环境影响；第三阶段为报告书编制阶段，其主要工作为汇总、分析第二阶段工作所得到的各种资料、数据，给出结论，完成环境影响评价报告书的编制。具体见图 8-3。

四、环境质量影响评价的方法

评价建设项目的环境影响是关于环境影响资料的鉴别、收集、整理的结构机制，以各种形象化的形式提出各种信息，向决策者和公众表述开发行为对环境影响的范围、程度和性质。在环境影响评价工作中，评价方法是必不可少的主要手段。自环境影响评价制度实施以来，各国在影响评价的实际工作中已提出了许多不同类型的评价方法。在美国，仅经 Warner 和 Preston (1973)、Smith (1974)、Viohe 和 Mason (1974)、Canter (1977)、Jain 等人 (1977) 进行分析、比较、研究过的方法就有 50 余种。其他如瑞典、澳大利亚、法国、日本、英国、加拿大、德国、新西兰、中国等也都提出了一些影响评价的方法。

关于环境影响评价的方法可以归纳很多，主要有如下方法。

1. 立表清单法

清单法是最早发展起来的环境影响评价方法，现在还在普遍使用。它是将环境影响参数和工作开发方案同时列在一种表格里进行表述的办法。譬如，把建设方案分成规划设计、施工和运行三个阶段，把方案可能造成的影响如大气质量、水质、施工、噪声、社会、经济等中的每一项再分成若干等级，与上述阶段排列在一种表格里。根据此表可以鉴别出建设各个阶段对环境造成有利或不利的影响。清单的范围是由简单的明细表到包括对各种影响的分级和加权提供指导的比较复杂的变形。清单法包括简单清单法、描述性清单、分级清单和询问型清单等多种。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

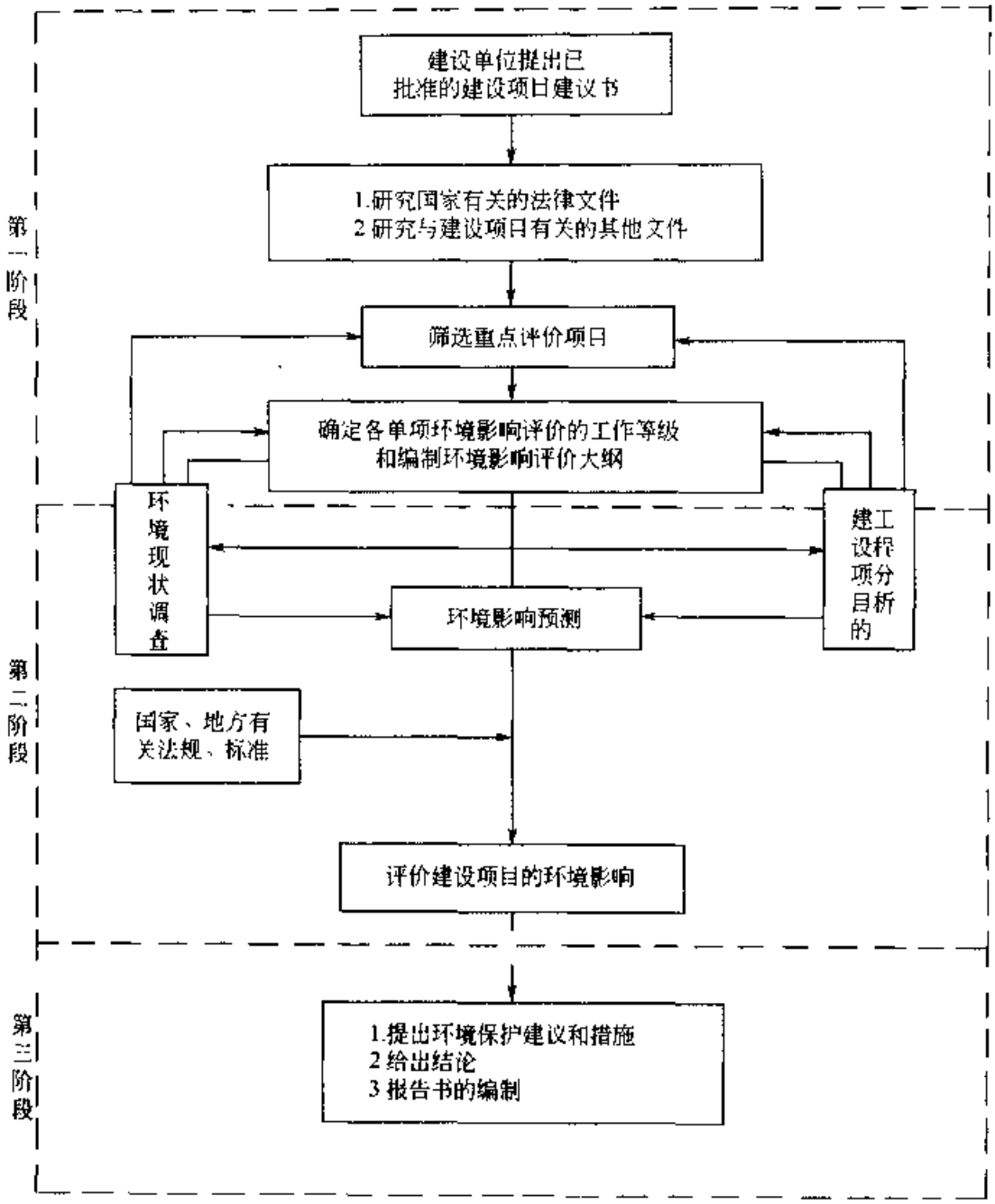


图 8-3 环境质量影响评价的工作程序

2. 矩阵法

各种清单法只是论述了环境而没有注意工程本身的开发特性。而工程的环境影响和工程特性紧密联系，开发特性又可影响清单的特征。为了弥补清单法的这一不足，人们研制了当前使用比较多的环境影响评价方法类型—相互作用矩阵。

该方法是把计划行动和受影响的环境特性组成一个矩阵。矩阵横轴上列出计划行动，纵轴上列出环境特性和条件，然后在矩阵各栏目列出从 1～10

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

的数值，1 表示影响小，随着数值的增大表明影响大，10 表示影响强烈。从而以定量或半定量的数据表示计划行动对环境影响的大小。

这种方法是一种综合评价法，能表示出物理-生态环境、社会-经济环境等多种行动和项目的关系。缺点是不能预测综合汇集的指数，选择性较差。

矩阵法又可以分为 Leopold 相关矩阵法和迭代矩阵法等多种。

3. 指数法

指数法是 Battelle-Columbus 研究所在 1972 年最早提出来的。它是利用某种函数曲线做图的方法，把环境影响参数变成环境质量指数或评价值，来表示开发项目对环境造成的影响，并由此确定可供选择的方案。具体做法是：①将各种环境影响参数通过评价函数计算转换成环境质量值；②环境质量的指数取值范围为 0～1 之间。0 代表环境质量差，1 代表环境质量良好；对大气、水质而言，0 代表最大容许浓度，1 代表自然环境本底值。③根据环境影响参数和环境质量指数绘出函数图。④根据函数图或根据环境质量指数值，确定供选择的方案。

该方法条理清楚，选择性强，能全面表达各种主要变化，但难以强调社会经济方面的评价。

4. 图形叠置法

将评价的地区划分为若干个地理单元。在每个单元，将调查和监测分析的结果和影响评价值，按照绘制地图和统计图的方法，绘制成环境评价地图。然后把这些图衬于地区图之上，做成复合图。这种复合图能反映环境质量评价结果，以及地区环境的空间结构和分布规律，一般以网格图、类型图或分区图表示。为了清晰起见，可以通过涂加颜色和阴影深浅表示影响大小。这种图形可由人工绘制也可以用收集和储存数据的计算机绘制。

图形法的优点是，简便易行，能一目了然地认识有关环境质量影响状况、动态及发展规律，指明影响的性质和程度。缺点是表达不够全面、细致。不能对建设项目的影响做出定量表示。

5. 模拟模型法

在物理、生物、社会-经济领域中，复杂关系的定量或定性的探索性描述就叫模拟模型法。在环境影响评价中，已提出的模拟模型有多种，如生态系统模拟模型、动态系统模拟模型、环境影响综合评价模型、污染分析模型等。但不管哪一种模型都是把开发、生产、资源、能源和环境污染、社会经济影响等复杂关系整个构成各种能模拟实际情况的关系式、图示或程序，从而预测环境变化和污染状况，评价建设项目或计划行动带来的环境影响。

环境影响评价方法还包括网络法、组合计算辅助法、系统图示法、定量的综合评价方法—ECES 法等。在这些环境影响评价方法中，应用的原理、

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

需要的设备条件及最后结果的表示方式等都不一样。在结果的表述中，有的是定量的数据，有的则是定性的表述。

环境影响评价方法正在不断改进，科学性和实用性不断提高。目前已从孤立地处理单个环境参数发展到综合参数之间的联系，从静态地考察开发行为对环境生态的影响发展到用动态观点来研究这些影响。

五、环境质量影响评价报告书的编制

环境影响报告书是环境影响评价程序和内容的书面表现形式之一，在编写过程中应遵循下列原则：环境影响报告书应该全面、客观、公正，概括地反映环境影响评价的全面工作；评价内容较多的报告书，其重点评价项目另编分项报告书；主要的技术问题另编专题报告书。

文字应简洁、准确、图表要明确。大项目，应有主报告和分报告（或附件）。主报告应简明扼要，分报告把专题报告、计算依据列入。

环境影响报告书应根据环境和工程特点及评价工作等级，选择下列全部或部分内容进行编制。

环境影响报告书编写的基本格式有两种，一种是以环境现状（背景）调查、污染源调查、影响预测及评价分章编排的。它是（1986）国环字第003号文件附件一中规定的编排格式。另一种是以环境要素（含现状评价及影响评价）分章编排的。下面对按环境现状调查及影响评价分章的编排的要点加以叙述。

1. 总则

a. 环境影响评价项目的由来

说明建设项目立项始末，批准单位及文件，评价项目的委托，完成评价工作概况。

b. 结合评价项目的特点，阐述编制环境影响的目的。

c. 编制依据

· 建设项目建议书的批准文件或可行性研究报告的批准文件；

· 评价大纲及其审查意见；

· 评价委托书（合同）或任务书；

· 国家的《建设项目环境保护管理办法》及地方环保部门为贯彻此办法面颁布的实施细则或规定；

· 建设项目可行性研究报告或设计文件。

在编写报告书时用到的其他资料，如农业区域发展规划，国土资源调查，气象、水文资料等不应列入编制依据中，可列入报告书后面的参考文献中。

d. 采用标准　包括国家标准、地方标准或拟参照的国外有关标准（参

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

照的国外标准应按国家环保局规定的程序报有关部门批准)。当标准中分类或分级时，应指出执行标准的哪一类或哪一级。评价标准一般应包括大气环境、水环境、土壤、环境噪声等环境质量标准，以及污染物排放标准。

e. 评价范围　评价范围可按大气环境、地表水环境、地下水环境、环境噪声、土壤及生态环境分别列出，并应简述评价范围确定的理由。应给出评价范围的评价地图。

f. 控制污染与环境保护的目标　应指出建设项目中有没有需要特殊加以控制的污染源，主要是排放量特别大或排放污染物毒性很大的污染源。应指出在评价区内有没有需要重点保护的目标，例如，特殊住宅区、自然保护区、疗养院、文物古迹、风景游览区等。指出在评价区内保护的目标，例如，人群、森林、草场、农作物等。

2. 建设项目概况

a. 建设项目的名称、地点及建设性质；

b. 建设规模（扩建项目应说明原有规模）、占地面积及厂区平面布置(应附平面图)；

c. 土地利用情况和发展规划；

d. 产品方案和主要的工艺流程；

e. 职工人数和生活区布局。

3. 工程分析

报告书应对建设项目的下列情况进行说明，并要作出分析。

a. 主要原料、燃料及其来源、储运和物料平衡，水的用量与平衡，水的回用情况；

b. 工艺过程（附工艺流程图）；

c. 排放的废水、废气、废渣、颗粒物（粉尘）、放射性废物等的种类、排放量和排放方式，以及其中所含污染物种类、性质、排放浓度；产生的噪声、振动的特征及数值等；

d. 废弃物的回收利用、综合利用和处理、处置方案；

e. 交通运输情况及厂地的开发利用。

4. 建设项目周围地区的环境现状（背景）调查

环境现状（背景）值是环境影响预测的基础数据。环境现状（背景）调查包括如下内容。

a. 评价区的地理位置（应附平面图）；

b. 评价区内的地质、地形、地貌和土壤情况，河流、湖泊（水库）、海湾的水文情况，气候与气象情况；

c. 大气、地面水、地下水和土壤的环境质量现状调查；

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

d. 矿藏、森林、草原、水产和野生动物、野生植物、农作物等情况；

e. 自然保护区、风景游览区、名胜古迹、温泉、疗养区以及重要的政治文化设施情况；

f. 社会经济情况，包括：现有工矿企业和生活居住区的分布情况，人口密度，农业概况，土地利用情况，交通运输情况及其社会经济活动情况；

g. 人群健康状况和地方病情况；

h. 其他环境污染、环境破坏的现状资料。

5. 环境影响预测与评价

环境影响预测与评价分为大气环境影响预测与评价、水环境影响预测与评价、噪声环境预测与评价、土壤与农作物环境影响分析、固体废弃物环境影响分析、对人群健康影响分析等。具体的影响预测及分析包括以下内容。

a. 预测环境影响的时段；

b. 预测范围；

c. 预测内容及预测方法；

d. 预测结果及其分析和说明。

6. 评价建设项目的环境影响

a. 建设项目环境影响的特征；

b. 建设项目环境影响的范围、程度和性质；

c. 如果进行多个厂址的优选时，应综合评价每个厂址的环境影响并进行比较和分析。

7. 环境保护措施的评述及环境经济论证，并提出各项措施的投资估算(列表)。

8. 环境影响经济损益分析

环境影响经济损益分析是从社会效益、经济效益、环境效益统一的角度论述建设项目的可行性。由于这三个效益的估算难度很大，特别是环境效益中的环境代价估算难度更大，目前还没有较好的方法，使环境影响经济损益分析还处于探索阶段，有待于今后的研究和开发。

9. 环境监测制度及环境管理、环境规划的建议

10. 环境影响评价结论

要简要、明确、客观地阐述评价工作的主要结论，包括下述内容。

① 评价区的环境质量现状；

② 污染源评价的主要结论，主要污染源及主要污染物；

③ 建设项目对评价区环境的影响；

④ 环保措施可行性分析的主要结论及建议；

⑤ 从三个效益统一的角度，综合提出建设项目的选址、规模、布局等

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

是否可行。

⑥ 建议应包括各节中的主要建议。

11. 附件、附图及参考文献

主要包括建设项目建议书及其批复，评价大纲及其批复，在图表比较多的报告书中可编附图分册。

有些项目要做风险评价，要有公众参与章节，有的项目生态评价或社会评价是重点。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

第九章　环境保护对策与化工可持续发展

为了有效地解决人类面临的环境问题，必须采取相应的环境保护对策。环境保护对策是指一切有助于达到某种目的手段，如环境保护战略方针、环境保护对策、环境法规、环境管理、环境教育以及具体的技术措施等，都可以作为环境保护对策。环境“硬”对策是指具体的技术措施；环境保护“软”对策则是指管理性措施，它主要着眼于调节人类的行为。本章仅介绍环境保护的“软”对策。

第一节　环境保护法律、法规

一、环境保护法的概念

所谓法是体现统治阶级的意志由国家制定或认可，在国家强制力保证下必须执行的行为规则的总称。环境保护法是为了调整因保护环境而产生的各种社会关系的法律规范的总称。

环境保护法所调整的社会关系大体分为两类：一是因防治污染和其他公害而产生的社会关系；二是因保护生态、合理开发利用和保护自然资源而产生的社会关系。由于环境污染和生态破坏通常是由人类活动造成的，所以环保法所调整的社会关系，表面上看是人与物的关系，实质上是人与人的关系。环保法的目的就是在于通过这种调整，造成一个良好的生活和生态环境，保障人民健康，促进经济发展。

二、环境保护法的特点

环保法同其他法律一样，就其本质面言，都属社会上层建筑的重要组成部分，代表了统治阶级的意志，反映了整个统治阶级的根本利益、愿望和要求，是统治阶级管理国家的工具。我国环保法是代表广大人民群众的根本利益，是巩固无产阶级专政、建设社会主义的重要工具，属于社会主义性质。

环保法的任务和内容同其他法律有所不同，它具备以下特点。

① 广泛性　由环境包括围绕在人群周围的一切自然要素和社会要素，所以保护环境涉及到整个自然环境和社会环境，涉及到全社会的各个领域以及社会生活的各个方面。环保法以环境科学和法学理论为基础，以保护和改善环境为宗旨，所涉及的内容十分广泛。因此，在许多国家，环保法已形成了一套完整的法规体系。

② 科学性　环境保护和改善，不但需要必要的经济基础，面且必须有

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

相应的科技保证。环境质量的描述、监测、评价以及污染防治、生态保护等等，都涉及到多方面的现代科学技术。环境科学又是一门新兴的综合学科，有许多问题还处于开拓发展时期，环保法直接反映环境规律和经济规律，环保法的制定和实施均具有鲜明的科学性。

③ 复杂性　环保法同刑法等法不同，它所约束的对象通常不是公民个人，而包含社会团体、企事业单位以至政府机关。环保法的实施又涉及到经济条件和技术水平，所以，环保法执行起来，要比其他法律更为困难而复杂。

④ 区域性　我国是一个大国，区域差别很大，如自然环境、资源状况、经济发展水平等方面的差别，因此我国环保法要求各省市都可根据本地区的特点制订地方性法规和地方标准，以体现地方间的差异。

⑤ 奖励与惩罚相结合　我国的环保法不仅要对违法者给予惩罚，而且还要对保护资源和对环保有功者给予相应的奖励，做到赏罚分明。

三、环境保护法的任务与作用

我国《宪法》和《中华人民共和国环境保护法》规定“为保护和改善人类生活环境和生态环境，防治污染和其他公害，保护人体健康，促进社会主义现代化建设的发展，制定本法”，这一条明确规定了环境保护法的任务和作用。

生活环境是指人类在开发利用和改善自然中创造出来的生存环境。诸如院落、村庄、城市等等，同人们的生活息息相关。生态环境则是指整个自然环境，包含自然资源在内的整个生态系统，这是人类赖以生存和发展的基本条件和物质源泉。人口增长的失控和经济的迅速发展，资源的不合理开发和利用，给自然环境造成了巨大的压力，如何保护和改善生活环境和生态环境，合理地开发和利用自然环境和自然资源，有效地制定经济政策和其他有关政策，是关系到人类生存与发展的重大问题。

同时环境破坏的一个重要因素是人类活动对环境造成了污染以致引起其他方面的公害。环境污染已严重影响了人体健康，也是制约经济发展的一个重要因素。所以，环境保护法的基本任务可归纳为以下两项任务。

① 保证合理地利用自然环境和自然资源；

② 防治环境污染和生态破坏，为人民创造一个清洁、适宜的生活环境和劳动环境以及符合生态系统健全发展的生态环境，保护人民健康，促进经济发展。

一切环境保护工作的出发点和归宿都在于提高人民的生活环境质量。而提高环境质量的目的，归根结底在于保障人体健康，促进经济的发展。所以环境保护的根本目的和作用主要是“保护人民健康，促进社会主义现代化建

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

设事业的发展”。环境保护法是推动我国环境保护法制建设的动力，进一步提高广大干部、群众的环境保护意识和环境保护法制观念，维护我国环境权益，促进环境保护的国际交流与合作，开展国际环境保护活动。

四、我国环境保护法规体系

在 1989 年召开的第二次全国环境保护大会上，李鹏同志代表国务院正式宣布“环境保护是我国的一项基本国策”，明确了环境保护在我国社会、经济发展中的地位，环境保护越来越受到全国各界的普遍关注。

环保法体系是指为了调整因保护和改善环境、防治污染和其他公害而产生的各种法律规范，以及由此所形成的有机联系的统一整体。我国的环境保护法经过 20 年的建设与实践，现已基本形成了一套完整的法律、法规体系。我国环保法规体系构成如下。

1. 宪法中有关环境保护的规范

宪法第二十六条规定：“国家保护和改善生活环境和生态环境，防治污染和其他公害。国家鼓励植树造林，保护林木”；第九条第二款规定：“国家保障自然资源的合理利用，保护珍贵的动物和植物，禁止任何组织或者个人用任何手段侵占或者破坏自然资源”，第十条第五款规定“一切使用土地的组织和个人必须合理地利用土地”，宪法中明确规定“环境保护是我国的一项基本国策”等等。宪法中的这些规定是环境立法的依据和指导原则。

2. 环境保护法

1979 年正式颁布了《中华人民共和国环境保护法》（试行），并根据我国环境保护事业发展的需要，1989 年对《中华人民共和国环境保护法》（试行）进行了修改，并于 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过环境保护法，并从公布日起施行。该法是我国有关环境保护的综合性法规，也是环境保护领域的基本法律，主要是规定了国家的环境政策、环境保护的方针、原则和措施，是制定其他环境保护单行法规的基本依据。

3. 环境保护单行法律

环境保护单行法律是针对特定的污染防治领域和特定资源保护对象而制订的单项法律。目前已经颁布的环境保护单行法包括《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国森林法》、《中华人民共和国土地管理法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国环境噪声污染防治法》等等。这些法律属于防治环境污染、保护自然资源等方面的专门性法规。通过这些环保法律的颁布与修订完善，有力地保障和推动了我国环保事业的发展。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

4. 环境保护行政法规

这是由国家最高行政机关即国务院制定的有关环境保护的法规。比如国务院《关于环境保护工作的决定》、国务院《征收排污费暂行办法》、国务院《中华人民共和国海洋倾废管理条例》、《水污染防治法实施细则》、《大气污染防治法实施细则》等。目前已有20余项。

5. 地方性环境法规

这是由各省、自治区、直辖市根据国家环境法规和地区的实际情况制定的综合性或单行环境法规，是针对于国家环境保护法律、法规的补充和完善，是以解决本地区某一特定的环境问题为目标的，具有较强的针对性和可操作性。如《吉林省环境保护条例》、《北京市文物保护管理办法》、《内蒙古自治区草原管理条例》、《杭州西湖水域保护条例》等等。

6. 环境保护标准

这是为了执行各种专门环境法而制定的技术规范。它是中国环境法体系中的一个重要组成部分，也是环境法制管理的基础和重要依据。我国环境保护标准包括环境质量标准、污染物排放标准、环保基础标准和环保方法标准。已颁布的环境质量标准有《环境空气质量标准》、《地面水环境质量》、《城市区域环境噪声标准》等等，污染物排放标准有《工业“三废”排放标准》、《污水综合排放标准》、《锅炉烟尘排放标准》等等。

以上，是我国环保法体系的主要有关组成部分。

7. 环境保护部门规章

这是由国务院有关部门为加强环境保护工作而颁布的环境保护规范性文件，如国家环保局颁布的《城市环境综合整治定量考核实施办法》、《污染物排放申报登记规定》、《建设项目环境保护管理办法》等。

此外，在我国其他法律（如刑法、民法、经济法等）以及在我国参加的国际条约或由他国签定、为我国承认的国际协定中有关环境保护的条款，也属我国环保法体系的组成部分。我国环境保护法的体系具体见图9-1。

五、我国环境保护法的基本原则

环境保护法的基本原则是我国环境保护方针、政策在法律上的体现，它是调整环境保护方面社会关系的基本指导方针和规范，也是环境保护立法、执法、司法和守法必须遵循的基本原则，是环境保护法本质的反映，并贯穿在全部环境保护法中。研究和掌握这些原则，对正确理解、认识和贯彻环境保护法具有十分重要的意义。

1. 经济建设和环境保护协调发展的原则

经济建设和环境保护协调发展是指我们在发展经济的同时，也要保护好

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

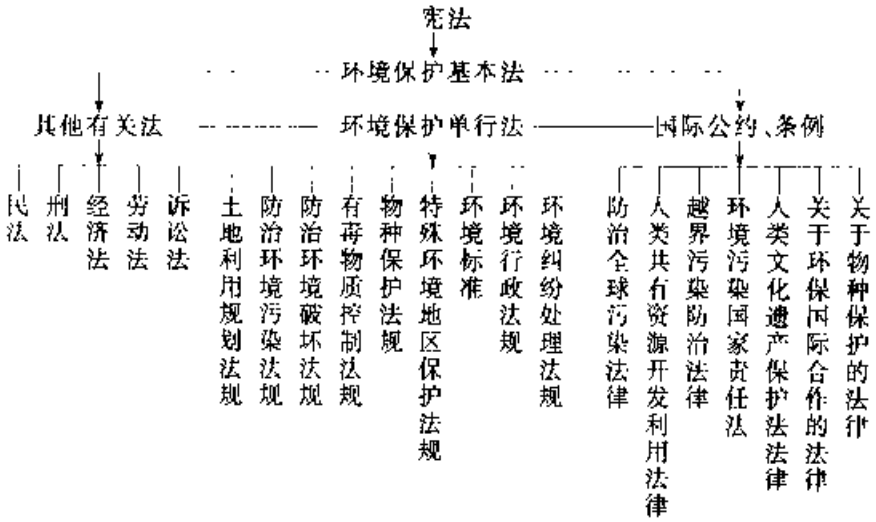


图 9-1 我国环境保护法的体系

环境，使经济建设、城乡建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展，即符合“三同时”政策，使经济效益、环境效益和社会效益统一协调起来，达到经济和环境和谐有序地向前发展。

事实证明，经济发展与保护环境是对立统一的关系，二者是互相制约、互相依存、互相促进的。在经济发展的同时必然要污染环境，而经济的发展同样受到了环境的制约，如果环境受到严重的污染、资源受到破坏，势必也影响到经济的发展。我们不能因为为保护环境、维持生态平衡，而主张实行经济停滞发展方针，即所谓的经济“零增长”；也不能先发展经济后治理环境污染，以牺牲环境来谋求经济的发展。同时环境污染如果没有经济的基础的支持，就得不到有效的治理。所以经济发展了，又为保护环境和改善环境创造了经济的技术条件。

2. 预防为主、防治结合、综合治理的原则

预防为主是解决环境问题的一个重要途径。近百年来，世界各国主要是发达国家的环境保护工作，经历了环境污染的限制阶段、“三废”治理阶段、综合防治阶段、规划管理阶段等四个发展阶段。可见发达国家在环境保护上走了很多弯路，付出了很沉重的代价。我国的环境保护也有相同的教训，很多地方已产生了较为严重的环境污染和生态破坏问题，就要采取有效的措施进行积极治理。对于治理环境污染和生态的破坏要采取防治结合、治中有防、防中有治的办法。

同时，环境保护应冲破以环境论环境的狭隘观点，应把环境与人口、资源和发展联系在一起，从整体上来解决环境污染和生态破坏问题。同时应采取各种有效的手段，包括经济、行政、法律、技术、教育等手段，对环境污染和生态破坏进行综合防治。

3. 污染者付费的原则

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

污染者付费原则，在我国的环境保护法中称为“谁开发、谁保护”，“谁污染、谁治理”原则。自然资源的保护涉及面广，不可能由环境保护部门包下来，因此，开发利用自然资源的单位和个人对森林、草原、土地、水体、大气等资源，不但有依法开发利用的权利，而且还负有依法管理和保护的责任。只有这样，才能有效地保护自然环境和自然资源，防止生态系统的失调和破坏，也才能做到合理开发利用自然资源，为经济的可持续发展创造有利的条件。

凡是对环境造成污染，对资源造成破坏的企事业单位和个人，都应该根据法律的有关规定，承担防治环境污染、保护自然资源的责任，都应支付防治污染、保护资源所需的费用，这是排污者理所应当负起治理污染的责任。

4. 政府对环境质量负责的原则

实行谁污染、谁治理的原则，并不排除污染单位的上级主管部门和环境保护部门治理环境污染的责任。环境保护是一项涉及政治、经济、技术、社会各方面的复杂而又艰巨的任务，是我国的基本国策，关系到国家和人民的长远利益，解决这种事关全局、综合性很强的问题，只有政府才有这样的职能解决它。

污染单位的上级主管部门必须支持和帮助所属企业对已经造成的环境污染进行积极治理，同时在必要的情况下要给予经济上和技术上的帮助。环境保护部门也要检查和督促污染单位治理污染，并负责组织协调区域性环境污染的综合治理，把单项治理和区域的综合治理结合起来，以达到有效地、合理地防治环境污染。保护和改善本地区的环境质量，实现国家制订的环境目标。

5. 依靠群众保护环境的原则

环境质量的好坏关系到广大群众的切身利益，因此保护环境不受污染危害，不仅是公民的义务，也是公民的权利。因此，每个公民都有了解环境状况、参与保护环境的权利。在环境保护工作中，组织和发动群众对污染环境、破坏资源和破坏生态的行为进行监督和检举，组织群众参加并依靠他们加强环境管理活动，使我国的环境保护工作真正做到“公众参与、公众监督”，把环境保护事业变成全民的事业。

6. 奖励和惩罚相结合的原则

我国的环保法不仅要对违法者给予惩罚，依法追究法律责任，给予必要的法律制裁；而且还要对保护资源和对环保有功者给予相应的奖励，做到赏罚分明，通过这条原则，加强环境保护工作。

六、1992 年以来我国环境保护立法简介

1. 法律的制定和修改

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

（1）大气污染防治法（1987 年 9 月 5 日公布，1995 年 8 月 29 日八届全国人大常委会第 15 次会议通过修改后重新公布）

（2）固体废物污染环境防治法（1995 年 10 月 30 日八届全国人大常委会第 16 次会议通过后公布，1996 年 4 月 1 日起施行）

（3）水污染防治法（1984 年 5 月 11 日公布，1996 年 5 月 15 日八届全国人大常委会第 19 次会议通过修改后重新公布）

（4）环境噪声污染防治法（1996 年 10 月 29 日八届全国人大常委会第 22 次会议通过后发布，1997 年 3 月 1 日起施行）

2. 跨地区的行政法规和政策性文件

（1）转发外交部、国家环保局《关于出席联合国环境与发展大会的情况及有关对策的报告》的通知（中办、国办于 1992 年 8 月 11 日转发，其中《环境与发展十大对策》于 1992 年 9 月公布）

（2）城市绿化条例（1992 年 6 月 22 日发布，1992 年 8 月 1 日起施行）

（3）国务院关于加强环境保护执法检查严厉打击违法活动的通知（1993 年 3 月 12 日）

（4）国务院关于禁止犀牛角和虎骨贸易的通知（1993 年 5 月 23 日）

（5）水土保持法实施条例（1993 年 8 月 1 日发布施行）

（6）核电厂核事故应急管理条例（1993 年 8 月 4 日发布施行）

（7）水生野生动物保护实施条例（1993 年 10 月 5 日发布施行）

（8）国务院关于贯彻实施《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》的通知（1994 年 7 月 4 日）

（9）自然保护区条例（1994 年 10 月 9 日发布，1994 年 12 月 1 日施行）

（10）淮河流域水污染防治暂行条例（1995 年 8 月 8 日）

3. 有关部门的行政法规

（1）关于贯彻信贷政策与加强环境保护工作有关问题的通知（中国人民银行，1995 年 2 月 6 日）

（2）关于充分发挥财政职能进一步加强环境保护工作的通知（财政部，1995 年 7 月 14 日）

第二节　环境管理和环境教育

一、环境管理

联合国于 1972 年 6 月 5 日在瑞典斯德哥尔摩召开了第一次人类环境会议，通过了《人类环境宣言》，并决定建立一个新机构——联合国环境规划署（UNEP）。

1974 年，UNEP 和联合国贸易与发展会议（UNCTAD）在墨西哥召开

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

“资源利用、环境与发展战略方针”专题研讨会，会上形成三点共识：①全人类的一切基本需要应当得到满足；②要进行发展以满足基本需要，但不能超出生物圈的容许权限；③协调这两个目标的方法即环境管理。这样，“环境管理”概念便首次被正式提出。同年，休埃尔在其《环境管理》一书中指出：“环境管理是对损害人类自然环境质量的人为活动（特别是损害气、水和陆地外貌质量的人为活动）施加影响。”他特别说明，所谓“施加影响”系指“多人协同的活动，以求创造一种美学上会令人愉快、经济上可以持续发展、身体上有益于健康的环境所作出的自觉的、系统的努力”。

显然，环境管理概念受到环境科学、管理理论、经济学理论和法学理论这四方面不断发展的巨大影响。因此，环境管理的涵义也在不断经历着变化与发展。20 多年来，环境保护经历了从消极的“公害治理”与应对“全球性环境问题”（如臭氧层耗损、全球变暖、生物多样性消失、荒漠化、海洋污染等）到着手实施“可持续发展”的阶段；管理理论从“管理科学”和“行为科学”这两大流派分别发展到同“系统理论”结合而形成“系统管理理论”，从“双因素论”到“多因素论”，从“封闭系统”到“开放系统”；经济学也经历了围绕罗马俱乐部的“零增长”论到新古典经济学派的“自我限制”论与美国经济学家鲍尔丁的“宇宙飞船经济”论的变迁，并在福利经济学、发展经济学的基础上发展形成了环境经济学理论；同时，围绕全球性环境问题，法学理论也有很大的发展。

（一）环境管理的基本概念

狭义的环境管理，主要是指采取各种措施控制污染的行为，例如通过制定法律、法规和标准，实施各种有利于环境保护的方针、政策，控制各种污染物的排放。这种狭义的环境管理只是单一地去考察环境问题，并没有从环境与发展的高度，从国家经济社会发展战略和发展计划的高度来管理环境。因此，狭义的环境管理并不能从根本上解决好管理环境的问题，只能在一定的历史条件下，在一定范围内起到有限的作用。

随着环境问题的发展，尤其是人们对环境问题认识的不断提高，狭义的环境管理已经不能满足环境保护事业的需要，人们已普遍认识到，要从根本上解决环境问题，必须从经济社会发展战略的高度去采取对策和制定措施。因此，环境管理的内容就大大扩展了，要求也大大提高了，从而逐渐形成了广义的环境管理。

所谓广义的环境管理是指运用经济、法律、技术、行政、教育等手段，限制人类损害环境质量的活动，通过全面规划使经济发展与环境相协调，达到既要发展经济满足人类的基本需要又不超出环境的容许极限。

广义的环境管理的核心就是实施经济社会与环境的协调发展。很显然，

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

要实现这一目的单靠环保部门是不行的，只有靠政府才能真正实现协调发展战略。因此，广义的环境管理是政府在实施经济、社会发展战略中的一个重要组成部分，是政府的一项基本职能。

（二）环境管理的理论基础

1. 生态学理论

生态学理论包括自然生态系统（由各种各样的生物物种、群落及其环境构成，小如一滴水、一片草地，大如江河、湖海、森林、草原乃至生物圈）及其功能、人工生态系统、系统功能协调、生物多样性、生态平衡等。

2. 管理理论

管理理论包括系统管理理论（系统工程、系统分析、环境系统分析、系统预测、系统决策等）和工商管理理论。

3. 经济学理论

经济学理论包括环境资源的稀缺性和资源的资本化管理、环境资源的供给与需求、供求弹性、均衡理论、外部性理论及其管理策略（税费、市场、法制、规划、绿色账户等）。

4. 法学理论

法学理论包括环境权、环境损害的责任与赔偿及其复原、国家主权与全球性环境问题及全球资源管理等。

（三）环境管理的内容

从广义上讲，环境管理的内容可从两个方面来划分。

1. 环境管理的性质

（1）环境规划与计划管理　首先是制定好环境规划，使之成为经济社会发展规划的有机组成部分，然后是执行环境规划，用规划指导环境保护工作，并根据实际情况检查和调整环境规划。

（2）污染源管理　污染源管理包括点源管理与面源管理。不仅是消极地进行“末端治理”，更要积极地推行“清洁生产”。其中，特别要针对污染者的特点，实施有效的法规和经济政策手段。

（3）环境质量管理　环境管理的核心是保护和改善环境质量。环境质量管理是为了保持人类生存与健康所必需的环境质量而进行的各项管理工作。通过调查、监测、评价、研究、确立目标、制定规划与计划之后，要科学地组织人力、物力去逐步实现目标。实施中，要经常进行对照检查，采取措施纠正偏差。

（4）环境技术管理　通过制定技术标准、技术规程、技术政策以及技术发展方向、技术路线、生产工艺和污染防治技术进行环境经济评价，以协调技术经济发展与环境保护的关系，使科学技术的发展既能促进经济不断发

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

展，又能保护好环境。

2．环境管理的范围

（1）资源（生态）管理　资源（生态）管理包括可再生的与不可再生的各种自然资源的管理。如水资源、海洋资源、土地资源、矿藏资源、森林资源、草原资源、生物资源、能源等的保护与可持续利用。

（2）区域环境管理　区域环境管理主要是指协调区域经济发展目标与环境目标，进行环境影响预测，制定区域环境规划等，包括整个国土的环境管理、经济协作区和省、自治区的环境管理、城市环境管理以及水域环境管理等。

（3）部门环境管理　部门环境管理包括工业（如冶金、化工、轻工等）、农业、能源、交通、商业、医疗、建筑业及企业环境管理等。

（四）环境管理的特点

环境管理有三个显著的特点，即综合性、区域性和公众性。

1．综合性

环境管理是环境科学与管理科学、管理工程学交叉渗透的产物，具有高度的综合性。主要表现在其对象和内容的综合性以及管理手段的综合性。

2．区域性

环境问题由于自然背景、人类活动方式、经济发展水平和环境质量标准的差异，存在着明显的区域性，这就决定了环境管理必须根据区域环境特征，因地制宜采取不同的措施，以地区为主进行环境管理。

3．公众性

环境问题如果没有公众的合作是难于解决的。因此，要解决环境问题，不能单凭技术，还必须通过环境教育，使人们认识到必须保护和合理利用环境资源。只有公众的积极参与和舆论的强大监督，才能搞好环境管理，成功地改善环境。

（五）环境管理的基本职能

所谓职能是指人、事物或机构所应有的作用。环境管理的基本职能有三条，这就是规划、协调和监督。也就是说，环境管理这项事务和环境管理机构在环境保护事业中，应起到规划、协调和监督三方面作用。

1．规划

环境规划是指对一定时期内环境保护目标和措施所做出的规定。编制环境规划是环境管理的一项职能。已经批准的环境规划，又是环境管理的重要依据。实行环境管理，也就是通过实施环境规划，使经济发展和环境保护相协调，达到既要发展经济、满足人类不断增长的基本要求，又要限制人类损害环境质量的行为，使环境质量得到保护和改善。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

2. 协调

环保事业涉及各行各业，搞好环境保护必须依靠各地区、各部门，这就是环境管理的广泛性和群众性。环境又是一个整体，各项环保工作都存在着有机联系。在一个地域内，各行各业又必须在统一的方针、政策、法规、标准和规划的指导下进行，这就是环境管理的区域性和综合性。基于环境管理的这些特点，要求有一个部门，进行统一组织协调，把各地区、各部门、各单位都推动起来，按照统一的目标要求，做好各自范围内的环境保护工作。可见，组织协调是环境管理的一项重要职能，特别是对解决一些跨地区、跨部门的环境问题，搞好协调就更为重要。

3. 监督

环境监督是指对环境质量的监测和对一切影响环境质量行为的监察。我们在这里强调的主要是后者，即对危害环境行为的监察和对保护环境行为的督促。对环境质量的监测主要由各项环境监测机关实施。

实行切实有效的监督是把环境规划付诸实施的重要保证，没有强有力的监督，即使有了法律和规划，进行了协调也是难以实现的。特别是在我国社会上目前还存在着有法不依、执法不严的情况下，实行监督就尤为重要。

我们之所以实行环境监督，还因为环境法规的实施具有以下三个特点：一是环境法的制约对象不单是公民个人，还包含许多机关、团体、企事业单位，还涉及到政府的一些决策者；二是保护和改善环境还受到经济实力和技术条件制约，使环境法的实施难度更大；三是虽然我国环境法规已授予各级环保部门环境监督权，但实际上因受现行体制等条件限制还难以很好地行使这一权力。因此，强化环境监督是当前深化改革、转变职能，改善环保工作的一项迫切任务。

环境监督的目的是为了维护和保障公民的环境权，即公民在良好适宜的环境里生存与发展的权利。维护环境权的实质是维护人民群众的切身利益，包括子孙后代的长远利益。这种利益是通过符合一定标准的环境质量来体现的。所以，环境监督的基本任务是通过监督来维护和改善环境质量。

环境监督的内容包括：①监督环境政策、法律，规定和标准的实施；②监督环保规划、计划的实行；③监督各有关部门所担负的环保工作的执行情况。目前由环保部门行使的环境监督权主要有建设项目环境管理权和区域与单位排污监察权。前者主要包括：①环境影响报告书（表）审批权；②“三同时”制度监察权；③项目验收投产审查权；④排污许可申报审批权；⑤征收排污费权；⑥向政府提出限期治理或其他处置权；⑦对其他有关事宜、案件进行审查并提出处理意见权。

环境监督应集中力量紧紧围绕着改善环境质量这个中心，针对主要环境

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com 世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

问题进行。目前监督的重点是认真实行建设项目的环境影响报告书制度、“三同时”制度、排污许可申报制度和排污收费制度。

（六）环境管理的基本手段

1. 法律手段

法律手段是环境管理的一个最基本的手段，依法管理环境是控制并消除污染、保障自然资源合理利用并维护生态平衡的重要措施。目前，我国已初步形成了由国家宪法、环境保护法与环境保护有关的相关法、环境保护单行法和环保法规等组成的环境保护法律体系。一个有法必依、执法必严、违法必究的环境保护执法风气已在全国逐步形成。

2. 经济手段

经济手段是指运用经济杠杆、经济规律和市场经济理论促进和诱导人们的生产、生活活动遵循环境保护和生态建设的基本要求。例如国家实行的排污收费、综合利用利润提成、污染损失赔偿等就属于环境管理中的经济手段。

3. 技术手段

技术手段是借助那些既能提高生产率又能把对环境的污染和生态的破坏控制到最小限度的技术以及先进的污染治理技术等来达到保护环境的目的。例如国家制定的环境保护技术政策推广的环境保护最佳实用技术等就属于环境管理中的技术手段。

4. 行政手段

行政手段是指国家通过各级行政管理机关，根据国家的有关环境保护方针政策、法律法规和标准而实施的环境管理措施。例如对污染严重而又难以治理的企业实行的关、停、并、转、迁就属于环境管理中的行政手段。

5. 教育手段

教育手段是指通过基础的、专业的和社会的环境教育，不断提高环保人员的业务水平和社会公民的环境意识，来实现科学管理环境以及提倡社会监督的环境管理措施。例如各种专业环境教育、环保岗位培训、环境社会教育等就属于环境管理中的教育手段。

（七）中国环境管理的发展历程

我国的环境管理发展历程可分为以下五个阶段。

1. 摸索阶段（1949 年～1973 年）

从新中国成立到 1973 年以前，我国还没有明确地形成环境管理的概念，在全国范围内尚未建立起环境管理体系和相应的机构，只是在一些地区和个别部门设立了“三废”管理处（或科）以及综合利用办公室等。

2. 探索阶段（1973 年～1983 年）

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

1973 年第一次全国环境保护会议以后，开始在全国范围内建立环境保护机构。但直到 1978 年十一届三中全会以前，环境管理仅限于对“三废”和噪声污染的管理，通过制订政策、法规和标准来控制污染。环境管理只是作为环境保护部门日常的行政工作，还没有提到各级政府的议事日程上来，与经济发展也没有结合起来，不承认环境管理是一门科学。

1978 年党的十一届三中全会，把管理提高到同经济和科学技术同等重要的地位。1979 年 3 月召开的成都全国环境保护工作会议，提出了“加强全面环境管理，以管促治”的方针；同年 9 月，颁布了《中华人民共和国环境保护法（试行）》。从此，环境管理进入了法制阶段，开始有了全面环境管理的概念。

1982 年 12 月在南京召开了全国环境保护工作会议，会议提出：环境管理是从宏观上、战略上和规划上研究解决环境问题；经济建设与环境建设协调发展、同步前进。1983 年第二次全国环境保护会议提出了“三同步”、“三统一”的战略方针，至此，环境管理的概念已经形成，环境管理作为环境科学的一个重要分支学科已被人们接受。

这一阶段环境管理主要是以治理污染为中心，是在“全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手、保护环境、造福人民”的环境保护工作方针的指导下逐步开展起来的。管理部门的任务是统筹规划、全面安排、组织实施、检查督促。

但是在实际工作中，对环境管理部门统筹规划和督促检查的职能发挥得不够，认为环境管理部门最重要的任务就是要组织环境污染的治理工作。

在此期间，国家环保部门组织了官厅水库、白洋淀、蓟运河、渤海、黄海水质污染的治理以及沈阳、淄博等城市环境污染的治理。各省市也组织了以消烟除尘为主要内容的锅炉改造和工业污染的治理。环境管理部门通过组织污染治理，解决了一些群众反映强烈的环境污染问题。

在组织环境污染的治理过程中，各级环境管理部门开始逐步认识到转变职能和分清环境保护责任的重要性。污染物是由工业企业、事业单位以及各机关团体排放的，如果他们缺乏治理环境污染的积极性，把责任推给政府和社会，不仅治理污染的资金难以筹集，而且环境污染也将防不胜防、治不胜治。老的污染治理了，新的污染又出现了，正是基于这种认识，在 1979 年颁布的《中华人民共和国环境保护法（试行）》中，明确规定了“谁污染谁治理”的政策，从而明确了环境保护的责任，这是我国环境管理思想的重大转变。

总之，这一阶段我国的环境保护事业开始起步，实现了思想认识的转变，大力开展了以调整布局和技术改革为核心、以防治工业污染为重点的环

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

境污染防治工作，并开始探索有中国特色的环境保护道路，为全面开创中国环境保护事业奠定了坚实基础。我国的环境保护虽取得了很大的成绩，但还没有真正从宏观上理顺经济建设与环境保护的关系。曾经提出的一些环境保护目标在一定程度上偏高，脱离了中国的国情，而且措施不具体。环境保护虽已纳入国家计划，但并没有真正得到同步实施，环境监督管理力量还比较薄弱，强化环境管理已迫在眉睫。

3．开拓阶段（1983 年～1989 年）

1983 年召开的第二次全国环境保护会议明确指出，环境保护是我国的一项基本国策，同时制定了“同步发展”的指导方针，并形成了以强化环境管理为主体的“三大政策体系。这个政策体系的基本精神就是从单纯的环境污染治理转变到以防为主和防治结合。这标志着我国环境管理思想开始逐步走向成熟，摸索到了适合我国环境保护的方针和政策。在上述方针和政策的指导下，随着环境管理思想、职能和工作重点的转变，我国工业企业的环境污染治理和城市环境污染的综合防治都取得了很大的进展。

环境管理的职能由注意微观管理向注意宏观管理的方向转变。各级环境管理部门结合生产布局、产业结构、产品结构和技术结构的调整，积极配合有关部门，从发展经济和保护环境的需要出发，对布局不合理、能源资源浪费大、环境污染严重的产业和产品实行了关、停、并、转、迁等措施，取得了比较明显的效果。

总之，这一阶段我国的环境保护事业得到了飞速的发展，这主要表现在：①明确了环境保护在经济、社会发展中的战略地位；②确立了以强化环境管理为核心的“三大”环保政策体系；③加强了环境保护立法和执法；④确立了协调发展战略；⑤合理制定并调整了环境保护目标；⑥抓住了行政首长的环境保护责任这一关键。

然而，这个时期我国在环境保护的一些具体措施上，尤其是在如何使环境管理工作上新台阶的问题上，还缺乏强有力的对策。随着改革开放政策的不断深化，迫切需要我国建立环境保护工作的新秩序。

4．发展阶段（1989 年～1994 年）

1989 年召开的第三次全国环境保护会议，会议提出在继续运用“三大法宝”的基础上，为了使环境管理上新台阶，将全力推行环境保护目标责任制、城市环境综合整治定量考核、排放污染物许可证制、污染集中控制和限期治理等五项新制度。这些制度在环境管理工作的实践中已被证明是行之有效的，推动了环境管理迈上新台阶。

总之，这一阶段我国的环境保护事业已经进入了全面发展的时期，这主要表现在：①坚持以强化环境管理为中心，全面推行五项环境管理制度和措

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

施；②加强环境保护法制建设，依法保护环境；③大力推进科技进步，积极发展环保产业；④积极防治工业污染，不断深化城乡环境综合整治；⑤切实将环境保护纳入国民经济发展计划，实现新的协调发展战略。

5. 新阶段（1994 年至今）

1994 年 3 月国务院批准了《中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》，它将环境问题与人口、资源、发展等问题一起统筹考虑，把可持续发展原则贯穿到各个领域。1996 年 3 月八届全国人大会议审议通过了《关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》，明确了要实行经济体制和经济增长方式这两个根本转变，把科教兴国和可持续发展作为两项基本战略。1996 年 9 月国务院批准了《全国主要污染物排放总量控制计划》。以上工作表明，我国的可持续发展战略正渗透到各个方面的工作中。

二、环境教育

环境教育既不同于部门教育又不同于行业教育，而是对人的一种素质教育。因此，环境教育不仅是环境保护事业的重要组成部分，而且是教育事业的一个重要组成部分。环境教育可以分为四个部分：环境保护专业教育、社会教育、中小学环境教育及环境保护系统在职干部的培训。开展环境教育，提高全民族环境意识，已受到越来越多的重视。

（一）环境教育的目的和任务

（1）培养和造就消除环境污染和防治生态破坏、改善和创造高质量的生产和生活环境所需的各种专门人才，以及具有环境保护与持续发展综合决策和管理能力的各层次管理人才。

（2）培养广大人民群众自觉保护环境的道德风尚，提高全民族的环境和发展意识。

（二）我国环境教育现状

1. 环境保护事业人才的培养

环境保护事业人才的培养，包括环境保护事业教育和环境保护系统在职干部的培训。经过近 30 年的努力，在全国范围内已经形成初具规模、学科配套的环境科研系统，各级各类科研机构已拥有数万名高、中级环境保护科技人才。

从环境保护人才需求来看，今后一个相当长的时间内，中国需要大量的环境保护专业技术人员。

中国大量环境问题是由于管理不当造成的，环境管理是专业技术要求高、政策综合性强的工作，直接关系到持续发展的重大问题的设计、实施。因此，培养众多具有环境保护与持续发展综合决策和管理能力的各层次管理

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

人才至关重要。

通过20余年的环保专业教育，我国培养了大批环境专业的人才。到目前为止，全国已有140所高等院校开办了206个本科环境专业类，每年招收环境类本科生5000多人，在校环境类本科生达2万多人，研究生1200多人。但毕业后从事环境的学生并不多。即使从事了本专业的工作，也未必能够发挥应有的才能。所以目前急需对这部分人力资源进行合理的管理、规划和开发，为中国的环境保护事业作出应有的贡献。

我国的环境保护事业是我国一项新兴的事业，环保战线上的大批干部都是从其他行业转过来的，他们大部分都未受过专业的环境教育，因此很难适应日益发展的环境保护事业的需要，所以对环境保护系统在职干部的培训显得极为重要。通过环保干部的岗位培训、继续教育和学历教育，从而提高环保队伍的素质。

2. 全民环境意识教育

加强环境教育，提高全民环境意识，正确认识环境及环境问题，使人的行为与环境相协调，并使自己能自觉地参与保护环境的行动，这是解决环境问题的根本途径。

当前世界各国都在重视环境教育问题，究其原因有三：①环境教育是一种终身教育；②可持续发展战略要求人们应有节制地消费；③国内环境保护的严峻形势。

环境意识不仅是科学意识和道德意识，也是现代意识和艺术意识的重要内容。缺乏环境意识，就不可能揭示和实现人与环境的对立统一的关系。

我国从1973年以来，为了提高全民族的环境意识，从中央到地方，从城市到农村，从政府机关到学校和学术团体，从工厂到事业单位，都采取了形式多样的环境教育，取得了良好的社会效果。

通过幼儿园、中小学的环境教育，增强了年轻一代的环境意识。自1979年起，广东、浙江、辽宁、黑龙江、甘肃、上海、北京等地进行了中小学的环境教育试点。20多年来，随着环保事业的进一步深入，各地区中小学和幼儿园的环境教育有了很大的发展。同时在中等专业技术学校和高等学校，非环境专业的学生也开设了相应的环境教育课程，特别是与环境保护密切相关的专业如能源、化工等专业，环境保护已成为大学生的必修课。在很多学校，环境科学基础知识的介绍已成为全校性的课程。

有些国家已经颁布了《环境教育法》，我国也正在着手研究制定关于环境教育的规定或条例，使环境教育逐步走向法制轨道。

总之，环境教育是保护环境、维护生态平衡、实现可持续发展的根本性措施之一。加强环境教育既是环境保护工作者的一项基本职责，同时也是教

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

育工作者特别是幼儿、中小学教育工作者的一项基本任务。

（三）我国环境教育要做的工作

1. 环境专业教育

我国环境专业教育取得了一定的成绩，但起步较晚，基础薄弱，学历专业结构分布不均衡，与环境保护事业发展和持续发展新形势的要求相比，尚存在一定的差距。为适应并适当超前于国家经济建设和环保事业发展的需要，有计划、有步骤、全方位、多层次地发展高等院校和中专学校的环境保护专业教育刻不容缓。

今后我国环境专业教育应在以下几个方面开展工作。

（1）根据国民经济建设和环境事业发展的需求，进一步搞好环境保护专业人才的预测和专业结构调查，制定面向未来、面向世界、面向我国环境保护事业实际的环境专业教育的发展战略和中、长期总体发展规划及年度计划，将环境教育纳入到整个教育事业发展规划和计划中。

（2）相对稳定环境专业教育总体规模，适当扩大招生名额，调整环境类专业结构和学历结构，保持一定数量高层次环境科技人员的培养和环境理论基础专业学科的发展；加强工程技术规划管理专业方向和大专程度学生的培养教育工作，有分工、多层次、集中力量办好一批重点大中专院校和重点学科。

（3）加强环境专业教育的教材建设，尽快组织编写、审定、出版发行并推荐一批反映我国环境问题复杂多样性和地域差别、先进新颖的知识技术、突出和体现持续发展思想、益于培养综合人才的适用教材，并发展图书资料与文学教材配合的声像教材。

（4）通过多种方式组织教师培训，提高环境专业师资队伍的学术水平和工作能力，创造机会和条件对高等院校、中等专业学校从事环境专业教育的中、青年骨干教师，进行有计划更新知识、及时跟踪、吸收国内外环境科学技术新发展、新动向的学习考察活动。

（5）改革教育结构、教学内容及升学、考试制度，倡导行之有效的教育方法和发展促进环境专业教育工作的新教学方法，不断提高教学质量。

（6）筹建环境教育研究机构，加强环境教育理论方法、环境教育规划、环境教育与其他学科相关性及环境教育、环境专业教育体系研究等，使我国环境专业教育，管理工作逐步走上系统化、正规化和科学化的轨道。

（7）建立环境专业教育工作信息网，增强环境专业教育的信息联系和社会服务。

（8）加强国内国际环境教育的交流合作，组织教师与学生参加环境科学技术和环境教育学术研讨、交流活动，广泛发展国际联系，通过邀请国外专

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

家学者（包括海外留学人员）讲课，举办国际会议，建立国际姐妹学校，联合培养项目合作，出国学习进修等，积极开展环境教育领域内的国际合作交流，促进环境保护人才的培养成长和环境教育事业的发展。

2. 在职环境人员的专业培训

我国工矿企业的环保专业人才密度较小，环保处理设备操作人员素质普遍较低，在职的环保人员，大多数是由相关专业或其他专业转岗过来的，绝大部分人未受过系统的环境科学专业教育，因此，在职环保人员的专业培训任务十分艰巨。

今后我国应开展以下几方面工作。

（1）加强培训基地的建设，充分发挥当地院校的作用；

（2）加强师资队伍的建设，建立一支专职、兼职结合的成人教育教师队伍；

（3）加强成人教育教材建设，在制定成人教育岗位规范、培训计划和教学大纲基础上，组织编写一定数量的管理、监测、科研方面的岗位培训教材；

（4）加强成人远距离教育和成人自学考试的建设；

（5）加强成人教育方面的国际学术交流。

3. 全民环境意识教育

环境和发展是全民族乃至人类共同的问题，理应受到全民的广泛了解和重视。据有关部门对我国公民环境和发展意识工作的调查结果表明，广大民众对环境问题的关注程度比较高，但对危及全人类的重大环境问题却知之甚少，在环境保护上对政府的依赖意识偏重。

因此，今后我国全民环境意识教育应开展以下工作。

① 充分利用广播电视电影报纸等大众传播媒介进行环境知识普及教育、全民环境意识教育。可通过增加环保题材在新闻类广播电视节目和影片中的比重，及时报道环境保护方面的方针、政策、重大举措、科技成果、经验和典型。鼓励制作环境题材的新闻和科教影片，拍摄一批有关保护和合理利用土地、矿藏、森林、水等自然资源，改善生态环境，防止灾害加剧和物种濒危灭绝方面的纪录片，拍摄一批有关污染防治、环保法制、沙漠、环境与发展、自然保护区的专题片。还可在各级广播电台开办环境专题讲座，各级电视台举办环保问题电视讲座，并制作适于青少年收听和收看的广播电视节目，举办多种形式的环保宣传活动。

② 对在校学生的启蒙环境意识，灌输环境知识，鼓励积极参与和自觉保护环境为主，以学习并获得初步的环境技能为辅，使之走上不同的工作岗位后都能自觉履行保护环境的责任和义务。在高等院校和中等专业学校可开

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

设选修课《环境科学概论》，中小学和幼儿园则应以教学大纲和教材中的环境教育内容为主，采用“渗透”和“结合”方式讲授。在高中也可开设选修课，但要避免教学内容与高中地理、生物、化学等学科的重复。除课堂教学外，在中小学和幼儿园中，要因地制宜，广泛开展形式多样，内容丰富的课外和校外活动，使广大少年儿童初步了解环境保护的意义和知识。

③ 科技人员的环境教育应以现有的各级政府部门的工作人员管理和进修学院为基础，结合岗位培训和继续教育，提高环境与发展意识。

④ 重视排污企业的职工环境意识的培养，结合岗位培训和专项培训进行。

⑤ 对广大农民进行环保基本知识和技能传授，可结合扫盲、文化夜校和农民技术培训等进行。

第三节　发展环境科学技术

一、发展环境科学技术的重要性

全球经济增长到 6000 亿美元，而这只相当于现在每两年经济增长的数量。据预测，至 21 世纪中叶世界人口将增长到 100 亿，而全球经济规模将达到近百万亿，是现在的 6 倍。假如人类仍沿袭以往的经济增长方式，这对环境的压力是不言而喻的。

中国作为一个人口绝对数量仍将继续上升、经济规模不断迅速扩大的发展中国家，在很长时期内，在保护环境与发展经济这两者之间就更是面临着一种两难境地。

20 世纪 80 年代初，我国曾明确提出防治环境污染一靠政策、二靠管理、三靠技术。根据客观经济形势和环境保护工作的实际需要，在继续强化环境管理的同时，必须强调依靠科学技术的进步。

科学技术的不断进步可以为持续发展政策的制订提供条件，促进持续发展管理水平的提高，加深人类对人与自然关系的理解，扩大自然资源的可供给范围和可供给量，提高资源利用效率和经济效益，提供保护生态环境和控制污染的有效手段。可见，科学技术是持续发展的一个重要基础。

众所周知，科学技术的进步，对生产力发展水平和速度有举足轻重的影响。纵观世界各国生产力的发展与综合国力的提高，都离不开科学技术。科技进步不仅是经济发展的主要源泉，也是经济发展的核心与关键。在经济发展日益受到各种资源制约的今天，不依靠科学技术进步是不可思议的。对整个国民经济来讲是如此，对环境保护来讲也是如此。离开科学技术的进步，不仅难以实现改善环境质量的目标，就是做到控制环境污染的发展也很困难。发达国家经验表明，只有以先进的防治技术为基础，通过实施严格的法

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

律监督，才能实现控制污染、改善环境的目标。在美国、日本和西欧各国政府通过各种法规、政策、标准，促进了环保科技的迅速发展，有效地控制了污染物的排放，显著地改善了环境质量。并在很多领域不断有新的发明，形成了新兴的“绿色产业”，为环境保护提供了可靠的技术基础。

可持续发展观所追求的境界是通过大幅度降低污染强度而实现在人口总量虽绝对增长、人均收入水平日益提高的情况下抑制环境退化的目标。大幅度降低污染强度的目标在相当大程度上要依靠科技进步来实现。

人类发展的历史表明：科学技术进步在改变人类命运过程中具有伟大而神奇的力量。在今天人类面临环境退化与经济发展两难境地从而寻求可持续发展的新的历史关头，希望再一次被极大地寄托在科学技术的发展上。各主要国家都在纷纷考虑新世纪自己在国际领域的地位并为此制定对策和战略，在形形色色的对策、战略中，科学技术的发展无不占据极其重要的地位。一个日益显著的趋势是科学技术、环境保护、经济竞争力和国家安全这几个重大战略课题被愈来愈密切地联系在一起而被给予一体化的考虑。这至少表明科学技术发展已经被十分密切地结合到有关环境的政策与战略考虑中去了。中国政府基于可持续发展的总体战略考虑提出以“科教兴国”促进经济增长从粗放型增长方式向集约型增长方式转变的战略。

二、我国环境科学技术发展状况及问题

环境技术是指能节约或保护能源和自然资源、减少人类活动的环境负荷从而保护环境的生产设备、生产方法和规程、产品设计以及产品发送的方法等等。环境技术不仅包括硬技术如污染控制设备、环境监测仪器以及清洁生产技术，还包括软技术（操作及运营方法）如废物管理（如物料再循环、废物交换）和那些旨在保护环境的工作与活动（如环境规划、环境评价、环境标志设计、环境信息系统的研制与维护等一系列管理活动与智能活动）等等。

（一）我国环境科学技术发展状况

我国的环境技术是从20世纪70年代开始，在国家、部门（行业）、地方和企业四个层次支持下发展起来的新型科技领域。自“六五”期间国家将环保科技列入国家科技计划以来，环境技术得到了稳定且逐步加强的支持渠道。20多年来，国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划、科技攻关计划、星火计划、科技成果计划等对环境保护中一些迫切需要解决的技术关键，在环保基础研究、技术开发方面开展了跨学科、跨部门联合攻关。

这些年来，环保科研工作由工业“三废”治理技术扩展到综合治理技术由污染源治理技术，扩展到区域性综合防治技术，由污染防治技术扩展到自然和农业生态工程技术。技术领域涉及区域环境综合防治、水资源合理开发

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

和生态环境保护、煤的清洁利用、水污染防治及城市污水资源化利用、大气污染控制、固体废物处理处置、生态恢复整治等。近十几年来，我国在环境技术研究开发方面取得了丰硕成果。据统计，目前在国家环保总局科技成果库登记的环境技术成果达5200多项。

在基础研究方面，开展了环境背景值、环境容量、环境质量评价等方面的研究，建立了一些新方法、新概念。在管理研究方面，重点开展了预测、规划、标准和管理制度等方面的研究。

与此同时，随着全民环境意识的逐步提高和激烈的市场竞争，许多企业开始注重自身的环保形象，在企业层次的环境技术开发逐渐活跃起来。我国的环境技术研究开发活动取得了丰硕的成果，并为产业化奠定了坚实的基础。从整体上看，我国的环境技术水平发展迅速、潜力很大。目前，少数环境技术已达到世界先进水平，一些具有国际水平的技术、设备正在研究开发中。

现已形成了一支涉及生态环境领域的环保科研开发队伍，据不完全统计，目前我国从事环境技术研究开发的单位近700个，20万人，从事环境技术咨询服务的单位达1000多个，近15万人。

总体而言，我国环保科技还比较落后，指导工作不得力，科技在环保工作中未能发挥重要的支持作用。从科技管理角度来讲还未真正起到宏观规划、指导、监督、协调作用。因此，必须改变这种状况。

（二）我国环境技术产业化状况

所谓技术产业化是指以技术成果研究开发为起点，以市场为终点，使知识形态的科研技术成果变为物质性商品，并最终进入国内外市场，获得高经济效益的全过程。环境技术产业化的目的是为了解决经济发展中的环境问题，实现经济、社会、环境的协调发展。

环境技术产业化包括三个方面：一是采取什么样的措施鼓励发明创造、研究开发具有一流水准的高新环境技术和产品；二是怎样才能把具有市场应用前景的优秀环境技术成果转化为现实可行的技术和设施；三是如何推广已经得到实际应用并收到良好效益的环境技术和设备。

然而，由于许多环境技术成果往往有较高的环境效益但经济效益不明显，因此环境技术产业化工作遇到的阻力往往较其他技术产业化要大。

促进环境技术产业化一直是国家和各部门科技工作的重要内容。由于种种原因，我国环境技术产业化程度较低，到目前为止，环境技术成果中直接转化为现实生产力约还不到20%，形成产业规模的还不到5%。

进入20世纪80年代以来，由于我国环境污染和生态破坏日益恶化以及国外环境技术产业化对我国产生的巨大影响，把我国环境科技工作者进一步

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

推向了保护环境、改善环境质量、实现经济、社会、环境协调发展的主战场。20 世纪 80 年代国务院批转和颁布的《新的技术革命与我国对策研究的汇报提纲》、《中共中央关于科技体制改革的决定》以及为适应高技术产业化国家科委制定的“高技术研究和开发计划”等一系列制度、法规和计划，为我国环境技术产业化的发展提供了良好的支撑环境。

“八五”期间，国家科委建立了一系列工程技术研究中心，在工程技术研究中心及其科技和产业网络之间建立了合理的运行机制，创造了良好的科技产业合作环境，加速了环境技术的工程化和产业化过程。

我国各地方环境保护主管部门也积极开展了环境技术推广转化工作，江苏、四川、天津、大连等省市成立了环境技术成果推广领导小组或办公室，还有 13 个省市建立了环境技术推广机构，技术咨询服务机构，并制定环境技术推广管理办法和各项优惠政策。各地还重视环境技术市场在环境技术产业化过程中的作用，积极利用技术交易会、推广会等形式促进环境技术成果的推广转化。

国家环保总局于 1991 年提出的把环保科技成果管理工作的重点转移到对现有环保科技成果的筛选、评价、推广上来的决定以及国务院颁布的《1992 年国家环境保护局最佳实用技术推广项目计划》标志着我国环境技术产业化进入一个新的发展时期。

可见，环境技术产业化问题已成为我国政府、企业界、科技界共同关注的问题，加速环境技术产业化已成为当前形势赋予我们的紧迫任务。

三、加强环境科学技术研究及应用

要充分发挥环境科学科技在环境保护工作中的作用，应从以下几方面入手。

（一）增加科技投入，稳定科研队伍

根据我国环保产业的发展需要和国民经济、社会发展的需求与可承担的能力，制定我国环保产业科技开发纲要，引导环保产业科技集中力量，早出成果，快出成果，避免贻误时机和浪费。

要加大环保产业技术开发力度，国家在科研投资总计划中，环保产业应占适当的地位。美国政府每年拿出 4.2 亿元，用于环保产业技术开发，占 R&D 支出 0.5%，而我国的环保技术开发投资比例相当低。在国家财力有限的情况下，要组织社会财力和环保企业自身力量解决环保科技投资问题，尤其是企业应拿出适当比例，以不低于利润总额 5% 的经费用于技术开发。国家投资银行贷款广开融资渠道用于环保科技开发，稳定企业科研队伍，留住人才，依靠我们自己的力量，优先研制一批我国环境治理与生态保护所急需的实用技术与装备。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

此外，建立高新技术开发的激励机制，调动科技人员积极性，充分发挥科技人才的能动作用。

（二）开展环境高新技术开发研究，发展绿色科技

环境保护正在推动一场技术革命如节能技术、新能源技术、无害或低害工业技术、有害废物处理技术、资源综合利用技术、资源替代技术等。这些高新技术的发展将带来新世纪环境保护领域的绿色革命，推动世界经济朝着可持续方向发展。这些技术作为绿色科技的组成部分，必将推动环保产业的进步。

绿色科技是当今国际社会发展的趋势。要保持资源的持久利用，就必须加速科技进步以改变过去那种耗竭型的工业发展模式。日本为保护环境而研制回收的低制造缓冲材料，富士胶卷公司将一次性相机长纸板再打浆成纸，塑料分离压碎后再制成其他塑料制品等；意大利 ENL 公司利用新技术对生产石油过程中排出的甲基乙醚回收利用，控制了污染，并使石油产量大增；德国也一直致力于以绿色科技推动社会经济朝着良性循环的方向发展，使其成为现代化发展的重要组成部分。绿色科技的发展，带来了世界范围内的绿色革命消费的兴起，这个绿色革命消费的中心内容就是要利用绿色高新技术开发绿色产品，引导绿色消费。美国的污染预防法，日本的环境协调产品计划，加拿大的“环境优选”等对促进绿色科技的发展起重要的推动作用。新世纪绿色产品设计、环境标志产品、绿色营销和绿色消费将成为全球现代化发展的主流，绿色科技将是实现绿色发展的先导。

（三）科研单位转化机制，为经济建设服务

要扭转目前科研部门与企业生产脱节的状况，实现环保科技成果产业化，仅有政策是不够的。必须在继续培养环保科技人才的同时，如何利用好环保产业内部现有的人才优势、技术优势，实行科研单位与环保企业联姻嫁接，实现优势互补，实现技术资源、人才资源和资产重组，是新世纪环保产业上台阶，向国际化、规模化迈进的关键。

科研单位在深化改革中，应以面向市场经济体系中科技格局的建立为重点，而不再以科技为重点。国家只能稳住一小部分从事基础型研究、高技术研究与产业共性技术研究开发院所，使其从事①环境法规、标准、污染物迁移转化和影响、环境经济、资源保护和提高资源效率、清洁生产和产业技术政策等方面的研究；②信息及环保产业共性技术。

市场经济仍需一定的科技计划，以提高国家整体的技术创新能力，实施国家技术创新战略，增加面向环保产业的科技计划。科技计划必须向企业全面开放，使企业更全面、更深层次地参与到科技计划中，科技计划的大部分经费则由企业配套出资。不断扩大环保企业的规模、增加固定资产存量和组

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

建产业集团，使大型环保企业有足够的资金、技术力量和有能力从事较大规模的工业创新研究，建立健全创新组织，实施技术创新战略。

（四）加强环境科学技术产业化

我国在环保科研做了不少工作，但对科研成果的推广应用工作往往做得不够，特别在基础理论的研究方面我们花了很大力气，而且投资也比较高，如环境背景值的研究，花了很大的代价，也取得了一定的成果，但对这些成果的应用却不能配套。按照国外的经验，科学技术的基础研究，应用研究和推广使用的投资应保持一个合理的结构，在应用研究和推广使用方面要配备更雄厚的资金和科技力量，我们应努力弥补这方面的不足。

长期以来，我们对环保科技成果推广不够重视，忽视了开发技术和引进技术的综合分析、评价比较和优化筛选，使不少科技成果不能有效的推广使用。因此，必须加强环保科技成果的推广应用及其组织管理工作。

（五）加速环保科技管理体制的改革

加速环保科技管理体制的改革，使环保科技管理部门有效地发挥规划、指导、监督、协调的作用。现今，环保科技力量比较分散，虽然有了初步分工，但实际上各行其是，造成研究工作在低水平上重复，不少领域缺乏研究，而有些领域又互相竞争，科研经费浪费较大，收不到应有的效果。要改变这种状况，就必须改革环保科研体制，使环保科技管理部门能真正起到宏观的调控作用。

（六）广泛开展环境科学技术交流

学术交流是发展科学技术的重要形式，可以促进新的学术思想的产生，促进科技人才的成长，我们不仅应注意国内的环境科学技术的交流，同时要开展国际环境科学技术的交流，及时掌握国际的科技信息，扩大视野，不断提高我国环境科学技术水平。

在国内资金有限、科技力量有限且研究周期较长的情况下，对重大技术装备采取引进的办法，消化吸收外国的先进技术为我所用。对引进技术要注意统一规划管理和系统的筛选、评价、消化吸收以提高引进效果。

第四节　环境与化工可持续发展

一、可持续发展

当前，把走持续发展道路作为21世纪人类社会发展的主题，已在全世界范围内得到共识，持续发展指“既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。具体地讲，就是在经济和社会发展的同时，采取保护环境和合理开发与利用自然资源的方针，实现经济、社会与环境的协调发展，为人类提供包括适宜的环境质量在内的物质文明和精神文明。同

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

时，还要考虑把局部利益和整体利益、眼前利益和长远利益结合起来。

我国是人口众多、资源相对不足的国家，在现代化建设中必须实施可持续发展战略，正确处理经济发展同人口、资源、环境的关系。1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的“环境与发展”世界首脑会议上，通过《里约宣言》和《21 世纪议程》，就已表明各国政府达成一个共识：经济发展必须与环境保护相协调，必须加强国际合作，全面实施全球的可持续发展战略。由此可见，可持续发展已成为世界各国 21 世纪的发展主题。

中国是一个发展中国家，人口基数大、底子比较薄，人均资源相对紧缺、经济发展和科学技术水平与发达国家相比较为落后，全面认识中国在推进工业化过程中环境污染日趋严重，并由于我国受所处地质和自然条件影响，生态环境尤为脆弱的现实，对于实施可持续发展战略，仍是我们推进社会主义现代化建设中必须十分明确的基本准则。

避开我国的国情，无论是市场还是政府都不能完全解决环境问题，都存在着失效。这是否就意味着不可知论或悲观论呢？答案并非如此。环境问题虽然在微观上是不可控的、无序的，但在宏观上是可控的、有序的，人类与环境之间的动态均衡是完全可以达到的。而且，环境问题的产生起源于人类自身的不当行为（如先发展、后治理的经济行为），如果本来就可以避免这些环境问题，那又怎会有环境问题难以解决的困难呢？

二、资源与可持续发展

资源是人类社会赖以生存发展的物质基础，是可持续发展的动力和客观条件。可持续发展实质上是实现资源的可持续利用来保证人口、经济、社会与环境的相互协调发展的。我国耕地、水和矿产等重要资源的人均占有量都很低，而且分布极不均匀。今后随着人口的进一步增加和经济的发展，对资源的需求量会更多，环境保护的难度会更大。必须切实保护资源和环境，不仅安排好当前的发展，还要为子孙后代着想，决不能吃祖宗饭、断子孙路。在较严重资源形势面前，也许有人会发出我国的资源能否支撑起可持续发展的疑问，对此任何悲观都是缺少信心的表现。资源状况不如我们的日本、韩国、英国、意大利，今天仍旧在不断发展。这说明只要正确认识和处理好资源与发展的关系，矛盾是可以化解的。日本是一个矿产资源小国，许多资源要靠进口满足需要，但日本人却以丰富的智力资源、信息资源等社会资源与进口的矿产资源进行充分的结合，从提高资源产品的附加值上求发展，成为仅次于美国的第二经济大国。但我们也不可盲目乐观，世界银行的最新研究表明，一个国家的财富由已形成的资产、人力资源和自然资源三部分组成。如果三者都很丰富，这个国家具有很强的可持续发展能力。据世界银行的统计研究，中国已形成的资产、人力资源、自然资源的百分比是：18∶73∶9，

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

而发达国家的比例为16:64:17。这表明中国的自然资源储备是世界上比较低的。因此，我们如果仍一味地承袭发达国家过去那种以高消耗资源为代价来换取经济高增长的模式，其结果不可能实现可持续发展。

三、环境与可持续发展

环境是社会经济发展的客观条件和存在的空间，任何生产发展和布局都必须落实到一定的区位。其中环境因素又是重要的先决条件，很多生产活动离开了环境因素将无法进行，或必须付出很高的代价才能进行。有人说保护环境就是保护生产力，就是保护发展，这是有一定道理的。环境一旦遭到破坏，最直接的后果就是削弱生产力，影响发展后劲，降低经济效益。另一方面，社会经济的发展能改善自然环境条件，给环境问题的解决提供根本的手段和力量，为环境质量的改善和治理水平的提高提供必要的资金和技术。

社会经济的可持续发展必须考虑到自然资源的长期供给能力和自然生态环境的承受能力，不为眼前的、局部的利益而损害将来的、全局利益；社会经济的发展既要满足当代人显示的需要，又要满足支撑后代人的潜在需求；既要关注发展数量和速度，又要重视发展的质量与可持续性。我们面临着人口多、需求量大的客观现实，只有处理好眼前的需求与可持续发展的关系，才能做到可持续发展。小平同志指出“发展生产力是社会主义的根本任务，发展才是硬道理。”基于我们的国情，必须以人口、资源、环境和社会经济协调发展为目标，走出一条具有中国特色的可持续发展之路来。

四、化工的可持续发展

化学工业是对环境中的各种资源进行化学处理和转化加工的生产部门，其产品和废弃物从化学组成上讲都是多样化的，而且数量也相当大。其中废弃物在一定浓度以上大多是有害的，有的还是剧毒物质，进入环境就会造成污染。有些化工产品在使用过程中又会引起一些污染，甚至比生产本身所造成的污染更为严重、更为广泛。

正因为化学工业有以上的特点，所以化学工业实施可持续发展尤为重要。它的基本内容包含如下几个方面。

1．发展化工产业是实现本行业可持续发展的基础

像我国这样的发展中国家，可持续发展的前提是发展。化工行业是我国的一个支柱产业之一，不能因为该行业有严重的环境污染而使本行业停滞不前，只有继续坚持走发展之路，采用先进的生产设备和工艺，实现化工行业的清洁生产技术，降低能耗、降低成本，提高经济效益，才能使企业为防治污染提供必要的资金和设备，才能为改善环境质量提供保障。因此，没有经济的发展和科学技术的进步，环境保护也就失去了物质基础。经济发展是保护生态系统和环境的前提条件，只有强大的物质和技术支持能力，才能使环

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com
世界工厂 GONGCHANG.COM 下载

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

境保护与经济发展能持续协调的发展。

2. 大力提倡和鼓励开拓国内外两个市场、利用国内外两种资源

资源是最重要的物质基础，但当今世界没有哪一个国家的资源是完全配套的、应有尽有的。在世界经济一体化不断增强、资源领域的国际合作不断拓宽、国际资源市场供过于求的情况下，国内短缺的或保证程度不高的大多数资源，在国际市场上供应良好。因此，要在立足用好国内资源的基础上，扩大资源领域的国际合作与交流，通过国际市场调剂和互补优势，实现我国资源的优化配置，保障资源的可持续利用　同时化工产品在国内外有巨大的市场，通过开拓两个市场，获得更为丰厚的利润，为改善化工行业的环境质量提供保障。

3. 制订超前标准，促进企业由“末端治污”向“清洁生产”转变

中国是发展中国家，经济增长速度较快，环境污染的问题尽管在一些经济发达地区正日益受到重视，但总的污染趋势不容乐观。因此，应结合我国国民经济和社会发展规划制定出环境保护上比较具体和明确的超前标准。近百年来，世界各国，尤其是发达国家的环境保护工作给了我们很多的教训。在现阶段，我们一提到环境保护，往往想到的只是污染治理，也就是如何处理和处置“三废”。实际上这是一种被动的方法，而且治理的费用非常昂贵，有好多企业因为由于环境污染问题，不得不关闭。只有从源头开始控制污染，向污染预防、清洁生产和废物资源化、减量化方向转变，才能促进企业的可持续发展之路。

4. 调整产业结构，开发清洁产品

目前，我国化工行业工艺技术落后，与世界先进水平相比存在着较大的差距，基本上仍沿袭以大量消耗资源、能源和粗放经营为特征的传统发展模式，致使单位产品的能耗高、排污量大，从而增加了末端治理的负担，加重了环境的污染。另一方面，由于规模经济性的存在，客观上在大中型企业和小型企业间存在着排污及其治理上的技术差别，小化工遍地开花现象到处可见，而小企业的研究和开发力量几乎没有（尤其是在生产工艺上），采用的工艺大多是较为原始的生产工艺，小企业投资小、见效快，片面追求短期利益，而污染现象极其严重。所以调整产业结构尤为重要，走高科技、低污染的跨越式产业发展之路，乡镇企业要走小城镇集中化路子，认真贯彻“三同时”原则，形成集约化的产业链。

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com

更多好资源尽在 世界工厂 下载频道 http://edown.ch.gongchang.com

主要参考文献

1 关伯仁等编著．环境科学基础教程．北京：中国环境科学出版社，1995

2 唐永銮等编著．环境学导论．北京：高等教育出版社，1987

3 王兆熊等编著．化工环境保护和三废治理技术．北京：化学工业出版社，1984

4 国家环境保护局．化学工业废气治理．北京：中国环境科学出版社，1993

5 张自杰主编．环境工程手册—水污染防治卷．北京：高等教育出版社，1996

6 湘潭大学化工环境保护教研室编著．化工炼油工业环境保护基本知识．北京：化学工业出版社，1981

7 张秋望等编著．化工环境污染及治理技术．杭州：浙江大学出版社，1990

8 唐受印等编著．废水处理工程．北京：化学工业出版社，1998

9 李国鼎等编著．固体废物处理及资源化．北京：清华大学出版社，1990

10 王振成等编著．固体废物利用及处理．西安：西安交通大学出版社，1987

11 国家环保局编著．化学工业废气治理．北京：中国环境科学出版社，1993

12 国家环保局编著．石油石化废水治理．北京：中国环境科学出版社，1992

13 席德立编著．清洁生产．重庆：重庆大学出版社，1995

14 国家环保局编著．人类共同的责任．北京：中国环境科学出版社，1993

15 湖南大学编．环境工程概论．北京：中国建筑工业出版社，1986

16 国家环境保护局．环境影响评价技术导则．HJ/T 2.1—2.3，1993

17 中国环境管理体系认证指导委员会办公室编著．环境管理体系审核员培训教程．北京：航空工业出版社，1997

世界工厂网——为企业成长提供协力！http://www.gongchang.com