地信网论坛
bbs.3s001.com

选矿手册

第四卷

冶金工业出版社

地信网论坛
bbs.3s001.com

74.4073
220803

选矿手册

第四卷

《选矿手册》编辑委员会

冶金工业出版社

地信网论坛
bbs.3s001.com

（京）新登字036号

选 矿 手 册

第 四 卷

《选矿手册》编辑委员会

*

冶金工业出版社出版发行
（北京北河沿大街嵩祝院北巷39号）
新华书店总店科技发行所经销
冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 14 1/8字数 364 千字
1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷
印数00,001～4,000册
ISBN 7-5024-0859-2
TD·148 定价 12.00 元

地信网论坛
bbs.3s001.com

《选矿手册》编辑委员会

主任委员：张卯均
副主任委员：胡为柏　童国光
编委：（按姓氏笔划排列）
王　岚　王永德　石大鑫　丘继存　刘广泌
刘正适　朱家骥　余兴远　沈志诚　沈建民
汪淑慧　李毓康　罗中兴　苏仲平　吴威孙
胡熙庚　赵涌泉　夏珠荣　陶　敏　黄大雨
秘书：赵涌泉
责任编辑：黄淦祥　王迺琳

本分册主编、副主编

主　编：陆冠伟
副主编：熊志超　王士源　张启溶

地信网论坛
bbs.3s001.com

本 分 册 序

为了提高我国在选矿科研、设计、生产方面的水平和总结经验，推动选矿事业的进一步发展，中国金属学会选矿学术委员会于1983年8月决定组织编写我国第一部选矿专业大型工具书——《选矿手册》，由选矿学术委员会组成《选矿手册》编辑委员会主持编写工作，并成立了相应的编写组。参加撰写工作的有国内具有几十年教学、科研、设计、生产经验的专家、教授、高级工程师、工程师几百人。在整个编写过程中，实行三级审核规定，严格贯彻“主编责任制”和“编辑委员会最终审定制”。

《选矿手册》共分八卷、三十七篇，按十四个分册陆续出版。全书出版字数约为450万字。考虑到选煤另有专著，本《手册》不包括煤的洗选。《选矿手册》的内容有：总论、选矿前准备、选矿方法及选矿药剂、产品处理及辅助作业、取样、试验技术与选矿过程检测、数模和工艺过程控制、选矿厂设计、选矿实践等。

《选矿手册》是一部供初、中级以上选矿工作者及有关人员使用的工具书。编入了较成熟的选矿理论、方法、工艺、药剂、设备和生产实践，内容丰富、实用性强。参阅了国内外上万篇文献，收集了上千个厂、矿的生产实践资料，理论与实践兼备，以实践为主，选材以国内为主，同时辅以典型的国外资料，体现了近代选矿科学技术水平。是一部具有中国特色的《选矿手册》。

本分册内容包括了物料脱水、物料输送和物料贮存等三篇。书中系统地论述了浓缩、过滤、干燥、干物料及浆体输送、贮矿仓及尾矿堆存等选矿厂的物料（产品）处理及辅助设施的理论研究、工程设计、生产操作等方面的内容。

本分册由长沙黑色冶金矿山设计研究院负责编写，除主编、副主编外，参加编写人员有：徐元正、黄香鹤、李隽馨、张启溶、

地信网论坛
bbs.3s001.com

吴承模、刘石桥。审核人员有：陆冠伟、熊志超、王士源、张启溶、刘广泌、曲乃达、高乃英、何方箴、穆鲁生。杨忠威对全稿作了整理。胡力行翻译英文目录。李德修、刘德、江芝瑞提供了素材。

編者

地信网论坛
bbs.3s001.com

第四卷　目　　录

18　物料脱水

18.1　物料脱水流程分类及选择……3
18.1.1　脱水流程分类……3
18.1.2　脱水流程选择……5
18.2　浓缩……7
18.2.1　浓缩的基本原理……7
18.2.1.1　重力沉降的基本原理及沉降速度计算……7
18.2.1.2　絮凝浓缩……11
18.2.1.3　离心浓缩……17
18.2.1.4　重力沉降试验及浓缩面积计算……18
18.2.2　耙式浓缩机……23
18.2.2.1　耙式浓缩机的结构……23
18.2.2.2　耙式浓缩机的类型及性能……26
18.2.2.3　浓缩机的选择与计算……32
18.2.3　高效浓缩机……41
18.2.3.1　高效浓缩机的工作原理……41
18.2.3.2　高效浓缩机的结构……41
18.2.3.3　高效浓缩机的工业应用……42
18.2.3.4　高效浓缩机的自动控制……45
18.2.4　倾斜板浓缩箱……46
18.2.5　浓缩斗……53
18.2.6　磁力脱水槽及磁选机……56
18.2.6.1　磁力脱水槽……56
18.2.6.2　磁选机……58
18.2.7　水力旋流器……59
18.3　过滤……61

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3.1 过滤的基本原理和计算……61
18.3.1.1 过滤概述……61
18.3.1.2 过滤理论……63
18.3.1.3 过滤机的分类、选择和计算……69
18.3.2 筒型真空过滤机……76
18.3.2.1 筒型外滤真空过滤机……76
18.3.2.2 筒型内滤真空过滤机……79
18.3.3 折带式及绳带式真空过滤机……81
18.3.3.1 折带式真空过滤机……81
18.3.3.2 绳带式真空过滤机……84
18.3.4 无格真空过滤机……86
18.3.5 磁性过滤机和磁选过滤机……87
18.3.5.1 磁性过滤机……87
18.3.5.2 磁选过滤机……89
18.3.6 盘式真空过滤机……90
18.3.6.1 立盘式真空过滤机……90
18.3.6.2 水平圆盘真空过滤机……92
18.3.6.3 水平回转翻盘真空过滤机……94
18.3.7 水平带式真空过滤机……96
18.3.8 压滤机……100
18.3.8.1 自动压滤机……100
18.3.8.2 带式压滤机……106
18.3.8.3 板框式自动压滤机……110
18.3.8.4 其他连续加压过滤机……112
18.3.9 过滤系统的辅助设备……116
18.3.9.1 真空泵分类……116
18.3.9.2 真空泵的选择和计算……123
18.3.9.3 鼓风机的选择……126
18.3.9.4 其他辅助设备……128
18.3.9.5 过滤辅助设备系统……131
18.3.10 助滤剂……136
18.3.10.1 助滤剂的分类……136

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3.10.2　助滤剂的应用 ……138
18.3.11　过滤机的操作和维护及提高过滤效率的途径 ……140
18.3.11.1　过滤机的操作和维护 ……140
18.3.11.2　提高过滤效率的途径 ……141
18.4　干燥 ……144
18.4.1　干燥原理 ……144
18.4.2　热工计算 ……149
18.4.2.1　热工计算的目的 ……149
18.4.2.2　计算需要的原始资料 ……150
18.4.2.3　热工计算方法 ……156
18.4.3　回转式干燥机 ……167
18.4.3.1　圆筒干燥机类型 ……167
18.4.3.2　圆筒干燥机的选择与计算 ……172
18.4.4　沸腾干燥机 ……177
18.4.5　气流干燥机（器） ……180
18.4.6　带式干燥机 ……182
18.4.7　膛式干燥机 ……183
18.4.8　干燥机的辅助设备 ……183
18.4.8.1　燃烧炉几何尺寸的计算 ……183
18.4.8.2　鼓风机的选择与计算 ……184
18.4.8.3　引风机的选择与计算 ……185
18.4.8.4　集尘设备的选择与计算 ……186
18.4.9　干燥设备的选型及热工计算实例 ……186
18.5　其他脱水设备及设施 ……193
18.5.1　离心脱水机 ……193
18.5.1.1　立式离心脱水机 ……193
18.5.1.2　卧式离心脱水机 ……194
18.5.2　脱水筛 ……197
18.5.2.1　直线振动筛 ……197
18.5.2.2　共振筛 ……197

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.5.2.3 固定条缝筛……198
18.5.2.4 弧形筛……199
18.5.3 螺旋分级机……202
18.5.4 脱水斗提升机……203
18.5.5 脱水仓……205
18.5.6 沉淀池……207
参考文献……210

19 物料输送

19.1 带式输送机……213
19.1.1 概述……213
19.1.1.1 带式输送机的发展……213
19.1.1.2 带式输送机的种类……213
19.1.1.3 带式输送机的结构……215
19.1.2 带式输送机设计选用计算……215
19.1.2.1 计算公式符号……215
19.1.2.2 设计条件……221
19.1.2.3 带式输送机允许最大倾角的确定……221
19.1.2.4 带式输送机的带速……223
19.1.2.5 物料的松散密度和安息角……224
19.1.2.6 输送量及输送带带宽的计算……224
19.1.2.7 带式输送机的驱动功率计算……227
19.1.2.8 输送带的张力计算……232
19.1.2.9 带式输送机的起动与制动计算……238
19.1.2.10 拉紧力及拉紧行程的计算……241
19.1.2.11 输送带及其主要参数的计算……241
19.1.3 常用带式输送机……246
19.1.4 带式输送机的安装与维修……250
19.1.4.1 输送带的连接方法……250
19.1.4.2 带式输送机的安装要求……254
19.1.4.3 带式输送机的维修……255

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.1.5　带式输送机的操作控制 ……257
19.1.5.1　控制系统设计……257
19.1.5.2　保护装置……258
19.2　斗式提升机 ……262
19.2.1　概述 ……262
19.2.2　常用斗式提升机……262
19.2.2.1　选型及功率计算……262
19.2.2.2　D型斗式提升机……268
19.2.2.3　HL型斗式提升机 ……268
19.2.2.4　PL型斗式提升机 ……268
19.2.2.5　ZL型斗式提升机 ……268
19.2.3　脱水斗子提升机 ……268
19.3　螺旋输送机 ……270
19.3.1　概述 ……270
19.3.2　螺旋输送机选用计算 ……271
19.3.2.1　螺旋直径计算……271
19.3.2.2　螺旋转速的计算……272
19.3.2.3　功率计算……273
19.3.3　LS型螺旋输送机 ……274
19.4　振动输送机 ……275
19.4.1　概述 ……275
19.4.2　电磁振动输送机 ……275
19.4.2.1　GZ型电磁振动管式输送机 ……278
19.4.2.2　ZDF型电磁振动输送机……278
19.4.3　惯性振动输送机 ……278
19.4.4　偏心连杆振动输送机 ……278
19.5　给排料设备 ……279
19.5.1　带式给料机……279
19.5.1.1　带式给料机生产量的计算……279
19.5.1.2　电动机功率计算……280
19.5.1.3　输送带最大张力计算……282

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.5.1.4 输送带层数计算……282
19.5.2 板式给料机……282
19.5.3 槽式给料机……283
19.5.3.1 槽式给料机生产量的计算……284
19.5.3.2 槽式给料机的功率计算……284
19.5.4 摆式给料机……285
19.5.5 圆盘给料机……286
19.5.6 振动给料机……288
19.5.6.1 电磁振动给料机……288
19.5.6.2 振动放矿机……289
19.5.7 卸矿阀……291
19.6 浆体管、槽水力输送及矿浆泵……293
19.6.1 浆体管、槽水力输送的发展概况……293
19.6.2 浆体的流体分类……295
19.6.3 浆体管、槽输送试验……303
19.6.3.1 试验目的……303
19.6.3.2 试验内容……304
19.6.4 浆体管、槽输送的计算公式……310
19.6.4.1 压力输送……310
19.6.4.2 自流管、槽输送……320
19.6.5 管、槽布置与敷设要求……323
19.6.5.1 管、槽选线原则……323
19.6.5.2 管、槽的敷设要求……323
19.6.5.3 管、槽材料及附属设施……324
19.6.6 矿浆泵的选择与泵站的布置……325
19.6.6.1 设备选择与计算……325
19.6.6.2 泵站的配置……349
参考文献……358

20 物料贮存

02.1 贮矿仓……361

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.1.1　贮矿仓的种类和结构型式 ……361
20.1.1.1　贮矿仓的种类 ……361
20.1.1.2　贮矿仓的主要结构型式 ……362
20.1.2　贮矿时间的确定 ……367
20.1.2.1　贮矿时间的含义 ……367
20.1.2.2　确定贮矿时间的方法 ……368
20.1.2.3　选矿厂贮矿仓的贮矿时间确定 ……370
20.1.3　矿石性质和矿仓形状 ……371
20.1.3.1　松散矿石的流动性质 ……371
20.1.3.2　矿仓卸料口 ……379
20.1.3.3　仓斗 ……383
20.1.3.4　仓体横截面 ……383
20.1.3.5　嵌入体 ……384
20.1.3.6　矿仓的几何容积 ……385
20.1.4　矿仓的活化 ……386
20.1.4.1　活动性 ……386
20.1.4.2　仓壁内衬 ……387
20.1.4.3　气动助流器 ……387
20.1.4.4　振动器 ……388
20.1.4.5　振动仓斗 ……388
20.1.4.6　水膜润滑及爆破 ……390
20.1.5　装车方法与装车速度 ……390
20.1.5.1　装车方法 ……390
20.1.5.2　装车速度 ……390
20.2　尾矿堆存 ……391
20.2.1　尾矿堆存方法及其设施 ……391
20.2.2　尾矿场的选择与计算 ……393
20.2.2.1　尾矿场的型式及其选择 ……393
20.2.2.2　尾矿堆坝的确定 ……395
20.2.2.3　尾矿场等级的划分 ……395
20.2.2.4　尾矿场的计算 ……396
20.2.3　尾矿坝及其他设施 ……404

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.2.3.1 尾矿场的初期坝……404
20.2.3.2 尾矿场的堆积坝……410
20.2.3.3 排洪构筑物……414
20.2.3.4 排渗构筑物……418
20.2.3.5 尾矿场的回水构筑物……421
20.2.3.6 排水沟……422
20.2.3.7 尾矿场的管理设施……423
20.2.4 尾矿场的维护管理……423
20.2.4.1 尾矿排放及尾矿堆坝……423
20.2.4.2 有关水的控制……425
20.2.4.3 尾矿场的监测……427
20.2.4.4 尾矿场的维修……429
20.2.4.5 尾矿场的事故及其处理措施……429
参考文献……429

地信网论坛
bbs.3s001.com

Volume 4

Contents

18 Dewatering

18.1 Classification and Selection of Flowsheets for Dewatering Materials 3
18.1.1 Classification of Dewatering Flowsheets 3
18.1.2 Selection of Dewatering Flowsheets 5
18.2 Thickening 7
18.2.1 Fundamentals of Thickening 7
18.2.1.1 Fundamentals of Gravity Sedimentation and Calculations of Settling Velocity 7
18.2.1.2 Thickening by Flocculation 11
18.2.1.3 Centrifugal Thickening 17
18.2.1.4 Tests on Gravity Sedimentation and Calculation of Thickening Area 18
18.2.2 Rake Thickener 23
18.2.2.1 Construction 23
18.2.2.2 Types and Performances 26
18.2.2.3 Selection and Calculation of Thickener 32
18.2.3 High Capacity Thickener 41
18.2.3.1 Operation Principles 41
18.2.3.2 Construction 41
18.2.3.3 Commercial Applications 42
18.2.3.4 Automatic Control 45
18.2.4 Lamella Thickener 46
18.2.5 Thickening Cone 53
18.2.6 Magnetic Dewatering Cone and Magnetic Separator 56
18.2.6.1 Magnetic Dewatering Cone 56
18.2.6.2 Magnetic Separator 58
18.2.7 Hydrocyclone 59
18.3 Filtration 61
18.3.1 Fundamentals and Calculations 61
18.3.1.1 General Review 61

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3.1.2 Theories 63
18.3.1.3 Classification, Selection and Calculation of Filters 69
18.3.2 Drum Vacuum Filter.....76
18.3.2.1 Outside-Drum Filter 76
18.3.2.2 Inside-Drum Filter.....79
18.3.3 Belt and String Discharge Vacuum Filters.....81
18.3.3.1 Belt Discharge Vacuum Filter.....81
18.3.3.2 String Discharge Vacuum Filter.....84
18.3.4 Single Chamber Vacuum Filter.....86
18.3.5 Magnetic Filter and Magnetic Separator-Filter.....87
18.3.5.1 Magnetic Filter.....87
18.3.5.2 Magnetic Separator-Filter.....89
18.3.6 Disk Vacuum Filter.....90
18.3.6.1 Vertical Disk Vacuum Filter.....90
18.3.6.2 Horizontal Disk Vacuum Filter.....92
18.3.6.3 Horizontal Rotating Disk Vacuum Filter.....94
18.3.7 Horizontal Belt Vacuum Filter.....96
18.3.8 Pressure Filter 100
18.3.8.1 Automatic Filter Press 100
18.3.8.2 Belt Filter Press 106
18.3.8.3 Plate-and-Frame Automatic Filter Press 110
18.3.8.4 Other Continuous Pressure Filters 112
18.3.9 Auxiliary Equipment of Filtration System 116
18.3.9.1 Classification of Vacuum Pumps 116
18.3.9.2 Selection and Calculation of Vacuum Pumps.....123
18.3.9.3 Selection of Air Blower 126
18.3.9.4 Other Auxiliary Devices 128
18.3.9.5 Auxiliary Equipment Systems for Filtration 131
18.3.10 Filtration Aids 136
18.3.10.1 Classification of Filtration Aids 136
18.3.10.2 Application of Filtration Aids 138
18.3.11 Operation and Maintenance of Filters and Ways of Improving Filtration Efficiency 140
18.3.11.1 Operation and Maintenance of Filters 140
18.3.11.2 Ways of Improving Filtration Efficiency 141
18.4 Drying 144

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.4.1 Principles of Drying 144
18.4.2 Thermotechnical Calculation 149
18.4.2.1 Purposes of Thermotechnical Calculation 149
18.4.2.2 Original Data Needed for Calculation 150
18.4.2.3 Methods of Thermotechnical Calculation 156
18.4.3 Rotary Dryer 167
18.4.3.1 Types of Cylindrical Dryer 167
18.4.3.2 Selection and Calculation of Cylindrical Dryer 172
18.4.4 Fluid-Bed Dryer 177
18.4.5 Air Flow Dryer 180
18.4.6 Band Dryer 182
18.4.7 Hearth Dryer 183
18.4.8 Auxiliary Equipment for Drying 183
18.4.8.1 Calculation of Geometry of Burner 183
18.4.8.2 Selection and Calculation of Air Burner 184
18.4.8.3 Selection and Calculation of Ventilator 185
18.4.8.4 Selection and Calculation of Dust Collecting Equipment 186
18.4.9 Selection of Type of Drying Equipment and examples of Thermotechnical Calculation 186
18.5 Other Dewatering Equipment and Facilities 193
18.5.1 Centrifugal Dewaterer 193
18.5.1.1 Vertical Centrifugal Dewaterer 193
18.5.1.2 Horizontal Centrifugal Dewaterer 194
18.5.2 Dewatering Screen 197
18.5.2.1 Linear Vibrating Screen 197
18.5.2.2 Resonance Screen 197
18.5.2.3 Fixed Fine-Slotted Screen 198
18.5.2.4 Sieve Bend 199
18.5.3 Spiral Classifier 202
18.5.4 Dewatering Bucket Elevator 203
18.5.5 Dewatering Bunker 205
18.5.6 Settling Pond 207
References 210

19 Transport

19.1 Belt Conveyor 215

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.1.1 General Description 213
19.1.1.1 Development of Belt Conveyor 213
19.1.1.2 Kinds of Belt Conveyor 213
19.1.1.3 Construction of Belt Conveyor 215
19.1.2 Design, Calculation and Selection of Belt Conveyor 215
19.1.2.1 Symbols for Calculation Equations 215
19.1.2.2 Design Conditions 221
19.1.2.3 Determination of Maximum Admitted Slope Angle of Belt Conveyor 221
19.1.2.4 Speed of Conveyor Belt 223
19.1.2.5 Bulk Density and Repose Angle of Materials 224
19.1.2.6 Calculations of the Capacity and Width of Belt 224
19.1.2.7 Calculation of the Driving Power of Conveyor 227
19.1.2.8 Calculation of Belt Tension 232
19.1.2.9 Calculations of the Start and Brake of Belt Conveyor 238
19.1.2.10 Calculations of the Tension and Tensioning Stroke 241
19.1.2.11 Calculations of Conveying Belt and Its Principal Parameters 241
19.1.3 Belt Conveyors Commonly Used 246
19.1.4 Installation and Maintenance of Belt Conveyor 250
19.1.4.1 Methods for Joining Conveying Belts 250
19.1.4.2 Requirements for Installation of Belt Conveyor 254
19.1.4.3 Maintenance of Belt Conveyor 255
19.1.5 Operation Control of Belt Conveyor 257
19.1.5.1 Design of Control System 257
19.1.5.2 Safeguard Device 258
19.2 Bucket Elevator 262
19.2.1 General Description 262
19.2.2 Bucket Elevators Commonly Used 262
19.2.2.1 Type Selection and Power Calculation 262
19.2.2.2 D Type Bucket Elevator 268
19.2.2.3 HL Type Bucket Elevator 268

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.2.2.4 PL Type Bucket Elevator 268
19.2.2.5 ZL Type Bucket Elevator 268
19.2.3 Dewatering Bucket Elevator 268
19.3 Spiral Conveyor 270
19.3.1 General Description 270
19.3.2 Calculation for Selecting Spiral Conveyor 271
19.3.2.1 Calculation of Spiral Diameter 271
19.3.2.2 Calculation of Spiral Rotation Speed 272
19.3.2.3 Calculation of Power....723
19.3.3 LS Type Spiral Conveyor 274
19.4 Vibrating Conveyor 275
19.4.1 General Description 275
19.4.2 Electro-magnetic Vibrating Conveyor 275
19.4.2.1 GZ Type Electro-magnetic Vibrating Tube Conveyor 278
19.4.2.2 ZDF Type Electro-magnetic Vibrating Conveyor 278
19.4.3 Inertial Vibrating Conveyor 278
19.4.4 Eccentric Connecting Rod Vibrating Conveyor 278
19.5 Feed and Discharge Equipment 279
19.5.1 Belt Feeder 279
19.5.1.1 Calculation of Belt Feeder Capacity 279
19.5.1.2 Calculation of Motor Power 280
19.5.1.3 Calculation of Maximum Tension of Belt 282
19.5.1.4 Calculation of Belt Layer Number 282
19.5.2 Apron Feeder 282
19.5.3 Chute Feeder 283
19.5.3.1 Calculation of Chute Feeder Capacity 284
19.5.3.2 Calculation of Chute Feeder Power 284
19.5.4 Shaking Feeder 285
19.5.5 Disk Feeder 286
19.5.6 Vibrating Feeder 288
19.5.6.1 Electro-magnetic Vibrating Feeder 288
19.5.6.2 Vibrating Ore Discharger 289
19.5.7 Ore Discharge Gate 291
19.6 Hydraulic Transportation of Pulp by Tube and Launder and Pulp Pump 293

地信网论坛
bbs.gis001.com

19.6.1 Development of Hydraulic Transportation of Pulp 93
19.6.2 Classification of Pulp Fluids 295
19.6.3 Test on Transportation of Pulp by Tube and Launder 303
19.6.3.1 Purpose of Test 303
19.6.3.2 Contents of Test 304
19.6.4 Calculation Equations of Pulp Transportation by Tube and Launder 310
19.6.4.1 Pressure Transportation 310
19.6.4.2 Gravity Transportation by Tube and Launder 320
19.6.5 Requirements for Arrangement and Installation of Tube and Launder 323
19.6.5.1 Principles for Selection of Tube and Launder Line 323
19.6.5.2 Requirements for Installation of Tube and Launder 323
19.6.5.3 Materials for Tube and Launder and the Accessories 324
19.6.6 Selection of pulp Pump and Layout of Pump Station 325
19.6.6.1 Selection and Calculation of Equipment 325
19.6.6.2 Layout of Pump Station 349
References 358

20 Stockpile

20.1 Ore Bin 361
20.1.1 Kinds and Structure Types of Ore Bin 361
20.1.1.1 Kinds of Ore Bin 361
20.1.1.2 Principal Structure Types of Ore Bin 362
20.1.2 Determination of Ore Storage Time 367
20.1.2.1 Implication of Ore Storage Time 367
20.1.2.2 Methods for Determination of Ore Storage Time 368
20.1.2.3 Determination of Ore Storage Time in Mill Ore Bin 370
20.1.3 Characteristics of Ore and Configuration of Ore Bin 371
20.1.3.1 Flowing Characteristics of Bulk Ore 371

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.1.3.2 Discharge Outlet of Ore Bin 379
20.1.3.3 Bunker 383
20.1.3.4 Cross-section of Bunker 383
20.1.3.5 Insertion Body 384
20.1.3.6 Geometric Volume of Ore Bin 385
20.1.4 Activation of Ore Bin 386
20.1.4.1 Movability 386
20.1.4.2 Lining of Bin Wall 387
20.1.4.3 Pneumatic Flow Promoter 387
20.1.4.4 Vibrator 388
20.1.4.5 Vibrating Bunker 388
20.1.4.6 Water Film Lubrication and Explosion 390
20.1.5 Method and Speed of Loading 390
20.1.5.1 Method of Loading 390
20.1.5.2 Speed of Loading 390
20.2 Tailings Disposal 391
20.2.1 Methods of Tailings Disposal and Its Facilities 391
20.2.2 Selection and Calculation of Tailings Pile 393
20.2.2.1 Type of Tailings Pile and Its Selection 393
20.2.2.2 Determination of Tailings Dam 395
20.2.2.3 Classification of Categories of Tailings Pile 395
20.2.2.4 Calculation of Tailings Pile 396
20.2.3 Tailings Dam and Other Facilities 404
20.2.3.1 Starter Dam of Tailings Pile 404
20.2.3.2 Compacted Sand Dam of Tailings Pile 410
20.2.3.3 Flood Divefting Structure 414
20.2.3.4 Seepage Structure 418
20.2.3.5 Recycling of Water from Tailings Pond 421
20.2.3.6 Discharge Ditch 422
20.2.3.7 Operating Facilities of Tailings Area 423
20.2.4 Maintenance and Management of Tailings Area 423
20.2.4.1 Discharge and Impoundment of Tailings 423
20.2.4.2 Water Control 425
20.2.4.3 Monitoring of Tailings Dam 427
20.2.4.4 Maintenance of Tailings Pond 429
20.2.4.5 Failure of Tailings Dam and Its Counter-measures 429
References 429

地信网论坛
bbs.3s001.com

18 物料脱水

地信网论坛
bbs.3s001.com

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.1 物料脱水流程分类及选择

18.1.1 脱水流程分类

根据脱水产品的用途不同，湿法选矿产品固液分离的工艺流程主要有以下几种：

（1）精矿脱水。以回收精矿为目的，也可同时回收几乎不含固体的清水。用来处理浮选或细粒重选精矿。一般采用图18.1.1所示流程。采用真空过滤所得湿精矿，为满足后续作业对原料水分的要求，或在严寒地区防止精矿冻结而影响装卸还需干燥。

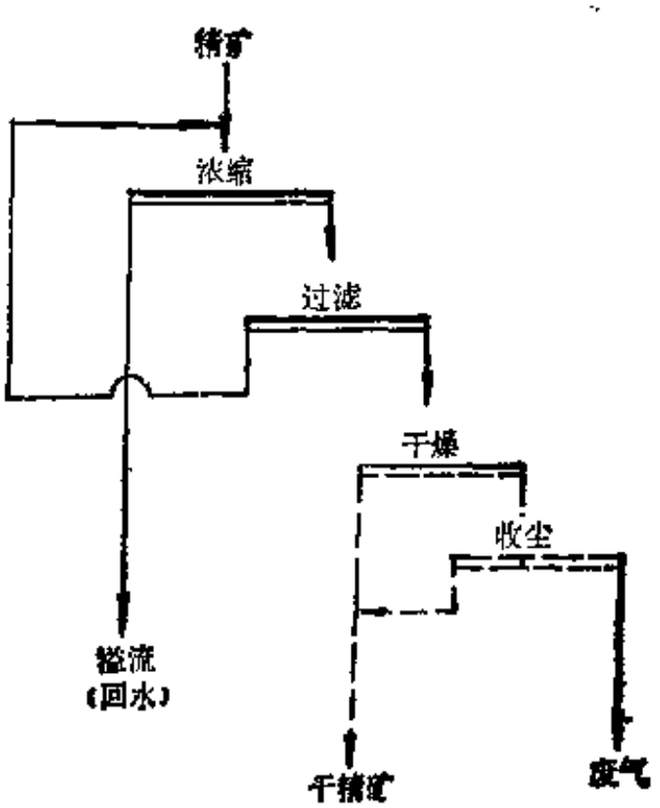


图 18.1.1 精矿脱水原则流程

（2）尾矿脱水。以回收清水（含固体量甚低）为目的，将尾矿中多余的水在选矿厂区内脱出，供循环使用。同时，提高尾

地信网论坛
bbs.3s001.com

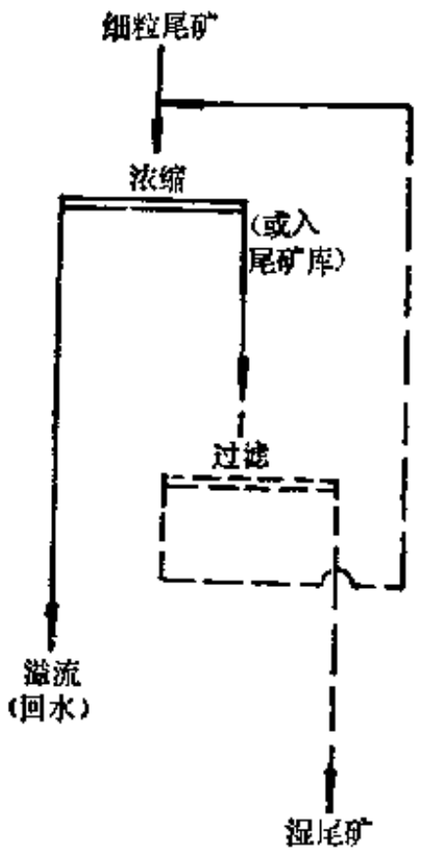


图 18.1.2 细粒尾矿脱水流程

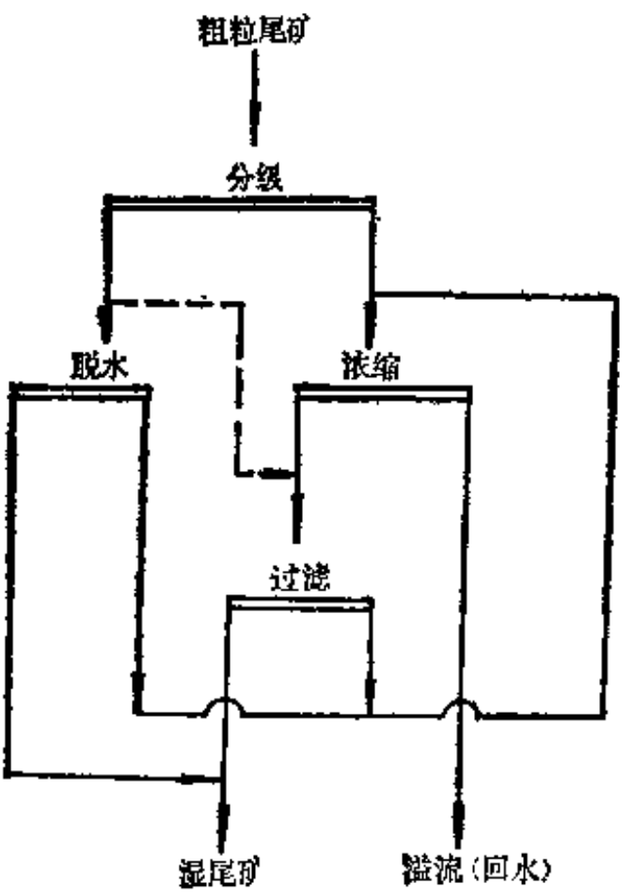


图 18.1.3 粗粒尾矿脱水流程

地信网论坛
bbs.3s001.com

矿浓度，减少尾矿输送量，节约能源，提高选矿经济效益。在对尾矿进行干运、干堆的选矿厂，尾矿矿浆须经浓缩和过滤。粗、细粒尾矿脱水流程如图18.1.2和图18.1.3所示。

（3）中矿脱水。目的在于提高中矿或低品位粗精矿矿浆浓度，为下一步作业提供浓度合适的矿浆。也可同时回收脱出的清水，供循环使用。其流程如图18.1.4所示。

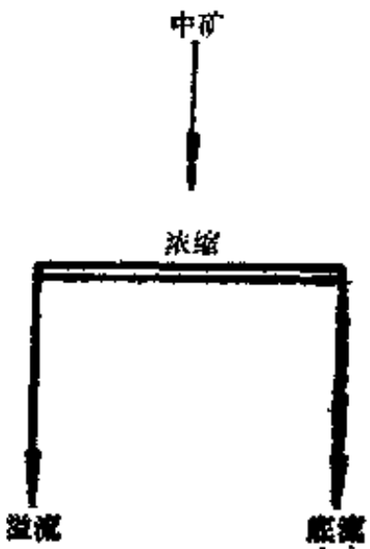


图 18.1.4 中矿脱水或脱泥流程图

（4）分级脱泥。以分出矿浆中的细粒级或矿泥为目的，为下一步选别作业提供合适的矿浆，或回收粗粒洗矿产品，或将溢流单独处理或丢弃。脱泥流程如图18.1.4所示。

18.1.2 脱水流程选择

选矿产品脱水工艺流程的选择，主要根据对脱水后的物料水分或浓度要求、物料的粒度差别以及物料与水的结合状态来确定。一般结合设备选型同时考虑。

理想的液固分离过程应该是使液体和固体完全分开。实际上没有这种设备。在一般情况下，总会有细粒固体物料残留在液体中，同时也会有一部分液体留在固体中。湿精矿中水分存在的形式可分为结晶水、蓄积水、表膜水、毛细水及重力水。结晶水在矿物晶格内，只在焙烧时方可除去；蓄积水是在矿物表面借吸附

地信网论坛
bbs.3s001.com

力而积存的水分，通常水量不大；表膜水因矿粒与水之间的分子引力作用而存在，并以蓄积水形式呈较厚的水膜包围着矿粒；毛细水是由毛细管吸力作用而存在，矿粒大小影响水分呈局部或全部充满其孔隙，并因毛细管引力作用而发生移动；重力水充满所有矿粒间隙，并在重力作用下使矿粒发生移动。因此，脱水方法的选择与脱水物料的粒度关系密切。粗、中粒精矿的脱水常采用自然脱水法或机械脱水法，其设备简单，脱水效率较高，能将大部分重力水脱除。脱水后精矿含水约为5～10%；细粒精矿（如浮选产品）脱水，一般采用浓缩和过滤两步作业。通过浓缩可除去大部分重力水，浓缩产物含水约为40～60%；经过滤可除去剩余的重力水及大部分毛细水，滤饼含水一般为8～15%。在寒冷地区当精矿运输距离很远或对精矿含水量有特殊要求时，一般应进行干燥，使其中的水分降低到百分之几或千分之几，以防冻结并节省运费。

在浓缩及过滤细粒精矿时，为了使细颗粒更快地沉降，有时往矿浆中加入电介质、疏水剂或高分子凝聚剂等，以促使细粒固体凝聚成团，增大其沉降和过滤速度。对细粒磁性精矿，可采用较廉价的磁团聚（经过预磁）办法，促使其加快沉降。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.2 浓　　缩

18.2.1 浓缩的基本原理

浓缩是将较稀的矿浆浓集为较稠的矿浆的过程，同时分出几乎不含有固体物质或含有少量固体物质的液体。

选矿产品浓缩过程，根据矿浆中固体颗粒所受的主要作用力的性质，分为以下几种：

（1）重力沉降浓缩。料浆受重力场作用而沉降；

（2）离心沉降浓缩。料浆受离心力场作用而沉降；

（3）磁力浓缩。由磁性物料组成的料浆，在磁场作用下聚集成团并脱出其中的部分水分。

18.2.1.1 重力沉降的基本原理及沉降速度计算

颗粒的单体（自由）沉降或集合（干扰）沉降不仅受其本身的特性，例如颗粒形状、密度、粒度组成以及成分等因素所支配，还受到温度、磁团聚、胶体效应、异重流、横向脉动流速、水力挟带、机械搅拌、药剂含量等诸因素的影响。许多试验研究都证实了沉降浓缩过程包含着复杂的物理与化学的综合作用。目前，对于浓缩理论的研究仅限于重力沉降作用的范围，即以液体中悬浮的固体颗粒的沉降作用为基础。

A 重力沉降原理和沉降速度计算

最初，人们研究了在不同浓度的悬浮液中球形颗粒自由沉降的行为。颗粒在浆体中下沉所受到的作用力主要有三种，即重力、浮力和阻力。对于一定的颗粒与一定的浆体，重力和浮力都是恒定的，而阻力却随颗粒与矿浆间的相对运动速度变化而改变。小颗粒有被沉降较快的大颗粒向下拖曳的趋势。在均匀颗粒的沉降过程中，拖曳力的增大主要是由速度梯度的增加造成的，而固体浓度增高引起的粘度变化对其影响则较小。

地信网论坛
bbs.3s001.com

作用于颗粒上诸力的代数和应等于颗粒质量与其加速度的乘积(符合牛顿第二运动定律)。颗粒的沉降过程分为两个阶段，即加速阶段和等速阶段。在等速沉降阶段里，颗粒相对于浆体的运动速度称为"沉降速度"。因为沉降速度就是加速阶段终了时颗粒相对于流体的速度，因此亦称为沉降末速度或"终端速度"。由于工业上的沉降作业所处理的颗粒往往很小，颗粒与浆体间的接触表面相对甚大，因此，在重力沉降过程中，加速阶段的时间很短，常常可以忽略不计。

将重力沉降过程中颗粒所受诸力与沉降速度的关系，用牛顿第二定律为基础建立表达式，经整理和因次分析可知，影响重力沉降速度的阻力系数应是颗粒与流体相对运动时的雷诺准数Re的函数。综合试验便可得到球形颗粒的阻力系数与雷诺准数Re的函数关系曲线。该曲线按Re值大致可分为三个区，即滞流区、过渡区、湍流区。各区内的曲线分别用相应的关系式表达，并将等速沉降阶段相应的雷诺准数也换成以沉降速度v_t来计算，即可得到表面光滑的球体在流体中自由沉降时各个区内的沉降速度公式：

滞流区 $10^{-4}<Re<1$，$\zeta=\dfrac{24}{Re}$时

$$v_t=\frac{d^2(\delta-\rho)\cdot g}{18\mu} \tag{18.2.1}$$

过渡区 $1<Re<10^3$，$\zeta=\dfrac{18.5}{Re^{0.6}}$时

$$v_t=0.27\sqrt{\frac{d(\delta-\rho)g}{\rho}}Re^{0.6} \tag{18.2.2}$$

湍流区 $10^3<Re<2\times10^5$，$\zeta=0.44$时

$$v_t=1.74\sqrt{\frac{d(\delta-\rho)g}{\rho}} \tag{18.2.3}$$

式中 v_t——球形颗粒的自由沉降速度，m/s；

d——颗粒直径，m；

地信网论坛
bbs.3s001.com

δ ——颗粒密度，kg/m³；

ρ——流体密度，kg/m³；

g——重力加速度，m/s²；

ζ——阻力系数，无因次，与雷诺准数有关；

μ——流体的粘度，Pa·s。

公式（18.2.1）、(18.2.2)和(18.2.3）分别称为斯托克斯（Stokes）公式、艾伦（Allen）公式和牛顿（Newton）公式。在滞流区，由流体的粘性而引起的表面摩擦阻力占主要地位。在湍流区，由流体在颗粒尾部出现边界层分离而形成漩涡所引起的形体阻力占主要地位，而流体的粘度μ对沉降速度v_t已无影响。在过渡区，摩擦阻力和形体阻力二者都不可忽略。

自由沉降发生在流体中颗粒稀疏的情况下。因此，上述沉降速度公式的应用条件必须是容器的尺寸远远大于颗粒的尺寸(100倍以上)，以消除器壁对颗粒沉降产生显著的阻滞作用。其次必须是颗粒不过分细小，以防止颗粒因流体分子的碰撞而发生布朗运动，或从流体分子间漏过，从而达到高于计算值的沉降速度。此即当$Re<10^{-4}$时（矿粒粒度达到0.1～0.5微米），斯托克斯公式不再适用的原因。

由细粒矿石构成的矿浆是一种悬浮液。在其沉降过程中，由于流体中伴随有紊流发生，小颗粒有被沉降较快的大颗粒向下拖曳的趋势。微细矿粒的絮凝现象也会改变颗粒的有效尺寸。所以矿浆沉降脱水一般属于干涉沉降，其中大颗粒受干扰较大，其沉降速度减慢；而小颗粒因受拖曳，沉降速度相对加快。但是试验表明，对于固体粒度相差不超过6倍的悬浮液，其中全部粒子以大体相同的速度沉降。当选矿厂使用浓缩机脱水时，为了防止粒度过粗而"压耙"，一般需预先筛除矿浆中的+0.25～0.8毫米的矿粒，因而沉降过程中的干涉现象并不严重。再者，选矿产品脱水时，要求矿粒全部下沉，以获得澄清的液体。因此，矿浆沉降速度必须按沉砂中最小颗粒的沉降末速计算，一般采用适于较小的雷诺准数范围（滞流区内）的斯托克斯公式〔式（18.2.1)〕。其

地信网论坛
bbs.3s001.com

使用的粒度范围最高为$Re\approx1$，约相当于直径为0.15毫米的矿粒在水中沉降的情况；最细约为0.5微米，即相当于悬浮液转变成胶体溶液之前的情况。当颗粒尺寸达到0.5微米以下时则失效。具体计算时，一般先假定沉降属于某一流型，譬如滞流，用与该流型相应的斯托克斯公式求v_t，并按v_t计算Re值，检验所得的Re_t值是否在$1\times10^{-4}\sim1.0$的范围内。如果超出此范围，则应另设流型，改用相应的其他公式求v_t，直到按求得的v_t所算出的Re_t值恰与该公式所适应的Re_t值范围相符为止。此外，也可采用避免试差的摩擦数群法借助于$\zeta-Re$关系曲线经过转换的曲线计算沉降速度。

选矿产品一般由经破碎磨矿后的非球形自然粒子构成，其沉降时颗粒所受到的阻力除受前述诸因素的影响外，还与其形状密切相关。其球形度（颗粒的表面积与同体积的球体表面积之比）愈小，对应于同一Re值的阻力系数ζ愈大，沉降速度相应变慢。这一影响随Re值的增大而逐渐变大。但在滞流区内球形度对阻力的影响并不显著。根据对自然形状石英粒子的实测数据统计，斯托克斯公式用于细粒选矿产品沉降速度计算时，须乘以颗粒的形状系数K（即矿粒沉降末速与同体积同重量的球体沉降末速之比）。不同形状矿粒的K值大致为：圆滑形 0.78；多角形 0.72；长方形 0.67；扁平形 0.52。

B 沉降过程

含有大小不同的矿粒的悬浮液在沉淀时，较粗的矿粒最先沉降到容器的底部，细小的则形成浑浊液，沉降速度较慢。在较浓的矿浆中，或当使用凝聚剂时，由于矿粒的凝聚，较大的矿粒带动较小的矿粒沉降，此时上层澄清的液体量逐渐增加，容器中的矿浆逐渐出现分层现象，即由上至下分成四个区，且矿粒的大小和沉淀的浓度由上往下逐渐增加，如图18.2.1所示。图中*A*区为澄清区，其固体颗粒含量低，颗粒之间的内聚力小；*B*区为沉降区，其浓度与开始沉降前的悬浮液相同。此区间的固体粒子含量增多，彼此间的内聚力大于固体颗粒沉降时所受的阻力；*C*区为

地信网论坛
bbs.3s001.com

过渡区，该区内的固体颗粒间的内聚力增大，固体颗粒含量相应增高；D区为压缩区，固体间的内聚力更大，浓度更高，颗粒间的粘滞性亦增大。随着沉淀过程的进行，D区和A区逐渐增加，而B区则逐渐减少以至消失，这时C区也随着消失。此时矿浆处于沉降过程的临界点状态。在临界点以后就只剩下A区和D区。

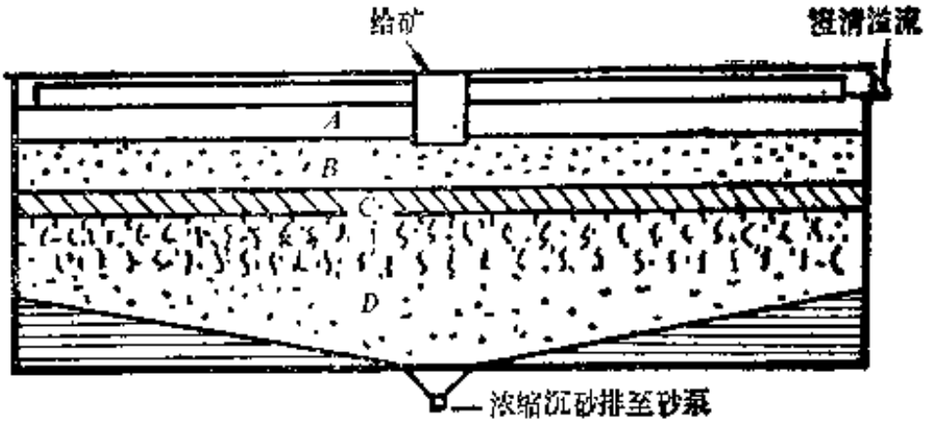


图 18.2.1 浓缩过程图

在连续作业的浓缩机中，矿浆不断的给入和排出，上述四个区总是存在的。所以矿浆的沉降速度是以沉降区的沉降速度来计算的。而浓缩产品的最终浓度，则由矿浆在压缩区停留的时间决定。压缩过程往往占用整个浓缩过程的绝大部分时间。当浓缩机的给料和排料速度一定时，浓缩机压缩区高度就决定了其底流排出的浓度大小。实践表明，压缩区的高度增加会使底流浓度提高。但由于压缩区矿浆呈变速沉降，沉降速度小，故一般不用增加压缩区的高度来提高底流浓度。因此，实际生产的浓缩机澄清区和沉降区总高度约为0.8～1.0米。压缩区的高度须经试验和计算确定。

18.2.1.2 絮凝浓缩

A 絮凝剂的应用

从(18.2.2)式可知，选矿产品在沉降浓缩过程中，矿浆的澄清速度和所得浓缩产品的质量，在很大的程度上决定于矿粒的大小。粗颗粒很快沉降，其沉淀物含水也很少；而胶体颗粒因其所受的重力作用，已被表面能和布朗运动所平衡，在矿浆中能长久

地信网论坛
bbs.3s001.com

保持悬浮状态而不沉降。目前因矿石品位变低，各种有用矿物的加工粒度日趋变细，有时小于0.043毫米的粒级含量高达80～90%，其中含有相当数量的小于5～10微米的微细粒。用自然沉降法浓缩这种矿浆时间长，需要的沉降面积也较大。为了强化浓缩（澄清）过程，通常必须加入适量的絮凝剂使分散的细颗粒聚合为较大的凝聚体，加速沉降。

在选矿厂的精矿和尾矿浓缩、水冶生产的逆流洗涤、环境保护和废水回收等部门，越来越多地采用絮凝浓缩技术。

B 絮凝剂的分类

生产中经常使用的凝聚剂和絮凝剂有两种类型：一种是电解质类的凝聚剂，如石灰、硫酸、硫酸铝、氯化铁及硫酸铁等。它们在水中溶解后产生离子，改变分散颗粒的表面电性，减小细颗粒之间的静电排斥力，使细颗粒在机械运动过程中互相碰撞而结合成较大的凝聚体。另一类为天然的或人工合成的高分子有机化合物。如淀粉、糊精、马铃薯渣、明胶、聚丙烯酰胺和聚乙烯醇等。这类絮凝剂是多糖类高分子化合物，其分子具有长线形并包含大量的羟基官能团。这些分子依靠羟基官能团中的氢形成氢链而吸附在矿粒上。由于这些多糖类分子很大，能够以其中一部分吸附在悬浮液的一个颗粒上，而另一部分吸附在另一颗粒上，这样就把矿粒联系起来成为凝聚体。

人工合成的高分子有机化合物可分为*A*类絮凝剂和*B*类絮凝剂两类。分子量介于$1\sim20\times10^6$以聚丙烯酰胺为基体的非离子型、阴离子型及阳离子型的高分子有机化合物为*A*类絮凝剂；*B*类絮凝剂大部分是分子量较低的（5×10^5）并且具有较强的阳离子性质的高分子有机化合物。

无论是用无机化合物或天然高分子化合物，它们的种类和凝聚能力总是有限的，而且要消耗大量的农产品，现在已很少应用。目前在矿物加工工业中，*A*类聚合物特别是非离子型和阴离子型是最常见的絮凝剂。其产品主要呈固体、胶状和悬浮液状。实践证明其絮凝效果较好，当用量在20～50克/米^3（矿浆）时，产生

地信网论坛
bbs.3s001.com

的凝聚作用可使浓缩过程的沉降速度提高数倍至数十倍。

非离子型絮凝剂一般广泛用于酸性矿浆；强阴离子型絮凝剂适用于碱性矿浆；中等分子量絮凝剂更适合于矿浆过滤；高分子量的絮凝剂主要用于矿浆沉降。

C 絮凝的基本原理

悬浮液中颗粒的稳定性及其对絮凝作用的灵敏性，与其中悬浮固体的表面电荷、离子吸附性质、悬浮液的pH值、溶解的离子类型和数量等因素有关。选用适当的絮凝剂加入矿浆中，经搅拌后与分散颗粒的表面发生物理化学变化，颗粒在内聚力作用下，彼此相互碰撞并吸附在一起，聚集成较大的絮凝团，重量增加，从而加快沉降速度。

粒子聚集的方式一般有四种可能：

（1）双电层的压缩。高浓度可溶盐类如石灰和硫酸钙的离子使颗粒的ζ-电位降低至零，从而导致凝聚作用。

（2）吸附凝聚。三价铁离子或水解物吸附于矿物表面，降低其ζ-电位，从而形成凝聚。过量的三价铁离子能引起相反的变化，并重新使悬浮的细粒处于稳定状态。这类凝聚过程取决于pH值，因为水介质的碱性程度决定水解物的类型和数量。

（3）长链聚合物絮凝剂的架桥絮凝作用。长链聚合物吸附在许多细粒固体物的表面，并把它们连结在一起形成较大的絮团，称为架桥絮凝。聚合物的类型和分子量影响着絮凝团的大小和性质。所选用的絮凝剂需适应细粒物料表面电性的要求。

（4）分子量相对低的强阳离子型合成凝聚剂的作用。这类聚合物在凝聚过程中主要起电性中和作用。

絮团的形状和密度与各分散颗粒的初始性质关系不大，主要取决于絮凝剂对颗粒的吸附和分散程度。絮团的沉降速度却取决于絮团的大小和絮凝程度。目前还很难用数学方法来准确计算絮团的沉降速度，只能通过试验方法和经验来确定。絮凝沉降效果的好坏则取决于絮凝剂的选择和使用。

料浆中固体颗粒大小和含量在一定程度上影响澄清方式的选

地信网论坛
bbs.3s001.com

择和絮凝剂的用量。颗粒周围的双电层引起ζ-电位的升高，粒子晶格大小或颗粒表面吸附离子的情况则主要影响电荷密度和絮凝剂的选型。水溶液的性质对絮凝剂的选择有着决定性的影响。

D 影响絮凝的因素

a 絮凝剂分子量的影响

一般是较高分子量的絮凝剂能形成较大的絮凝物，然而，在某些情况下也不一定如此。图18.2.2表示在浓缩操作中絮凝剂分子量对自由沉降速度的影响。加入中等用量的高分子絮凝剂（一般大于0.01公斤/吨）可产生较快的沉积作用；而中等分子量的絮凝剂在用量小于0.01公斤/吨时也能产生较快的沉降；在絮凝剂用量为中等和较高的情况下，自由沉降速度随分子量增高而增加。有许多因素影响浓缩溢流的清晰度。絮凝浓度为10%的$CaCO_3$浆体时，絮凝剂分子量对上层溢流清晰度的影响列于表18.2.1。在该表中分子量低于或等于9×10^6的絮凝剂，其捕集悬浮细粒的能力是很差的。当使用分子量很高的絮凝剂（大于14×10^6）在用量为0.15公斤/吨时，可得到最小浊度的溢流。在用量过大的情况下（见表18.2.1中用量为0.2公斤/吨的数据）细粒有重新稳定的现象。其原因是矿浆沉降太快，矿浆层对悬浮而未被捕集的粒子或

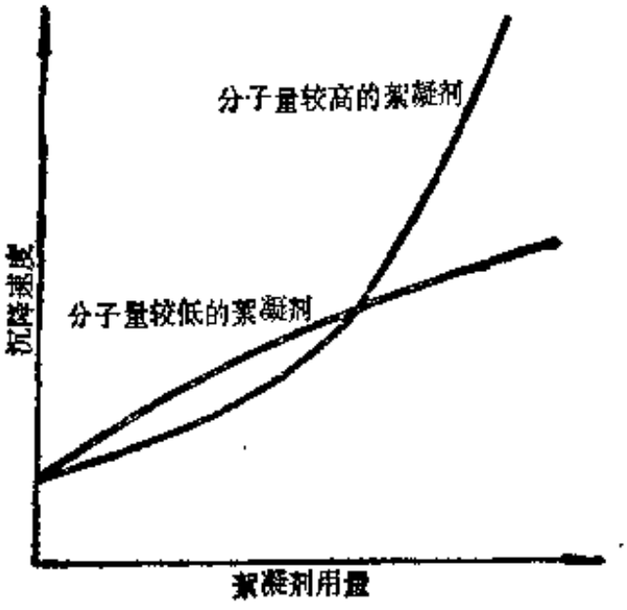


图 18.2.2 絮凝剂分子量对自由沉降速度的影响

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.1 絮凝剂分子量对溢流液清晰度的影响

絮凝剂的平均分子量	絮凝剂用量，kg/t			
	0.05	0.10	0.15	0.20
	上层溢流浊度，浊度单位			
20×10^6	440①	270	180	240
16×10^6	750	600	180①	200
14×10^6	650	680	140①	250
11×10^6	300	700	125	110①
9×10^6	540	670	310	210
8×10^6	600	640	320	300
6×10^6	320	460	320	300

注：处理$CaCO_3$浆体，浓度为10%、pH=9，细粒直径平均为2.9μm，使用非离子型絮凝剂。

①约等于20m/h的沉降速度。

微小絮凝物不起“过滤”作用，大量的絮凝剂会使得许多单个悬浮细粒间的架桥作用无法产生。在沉降速度一定，所形成的絮凝物的大小差不多的情况下，大用量的分子量较小的絮凝剂比小用量分子量较大的好。中等分子量（11×10^6）的絮凝剂用于上述浆体的澄清效果最好。值得注意的是，分子量最高的絮凝剂在用量较低（0.05公斤/吨）时，表现出了较好的能力。

表18.2.2示出了浓缩机底流浓度与絮凝剂分子量的关系。

对于一些矿浆停留时间短的浓缩机来说，使用分子量高的絮凝剂能得到较高的底流浓度。然而对于停留时间长的，用分子量较低的也可以得到较高的底流浓度。因此，当为了获得所要求的底流浓度而选择分子量最适宜的絮凝剂时，固体在浓缩机的停留时间是重要的。

b 絮凝剂离子的电荷类型和电荷密度的影响

在大多数矿浆的絮凝操作中，都采用阴离子及非离子型架桥絮凝剂。对于高酸浆体以及那些含有大量可溶电解质的浆体来说，用阴离子絮凝剂一般是不适宜的，而常用非离子型絮凝剂。对于条件要求不严格的操作，如处理浮选尾矿等，阴离子絮凝剂

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.2 絮凝剂分子量对底流浓度的影响

絮凝剂的平均分子量	用量,kg/t	自由沉降速度, m/h	底流浓度,kg/m³	
			沉降1h	沉降7h
20×10^6	0.02	4.5	553	623
17×10^6	0.02	3.5	556	658
15×10^6	0.02	3.1	554	670
11×10^6	0.02	2.8	532	661
9×10^6	0.02	2.5	520	670

的应用占优势。实际上最适合的阴离子电荷密度取决于pH值和能控制细粒表面电荷及ζ-电位的溶解盐的类型，也取决于絮凝剂的构型。

图18.2.3表示了在确定阴离子絮凝剂与作用物之间的相互作用时pH值的重要性。图18.2.3(*a*)中pH值低，由于表面斥力小，聚合物主要以卷曲状吸附。低的ζ-电位促进细粒接近，并形成结实的絮凝物。图18.2.3(*b*)的pH值较高，增大了表面斥力，聚合物伸长呈环形和尾状物。图18.2.3(*c*)的pH值更高，强的表面电荷使细粒与聚合物间相斥，呈大环形和尾状物，并在溶液中伸张得很大，形成大而松散的絮凝物。表18.2.3列出的是在不同pH值下，高岭土分批沉降试验的结果。结果表明：

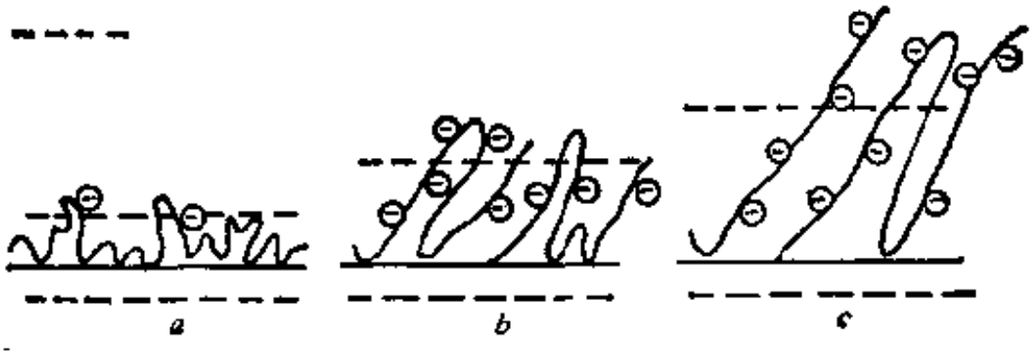


图 18.2.3 在高岭土/水界面上pH值对阴离子絮凝剂构型的影响

a—pH = 4; *b*—pH = 7; *c*—pH = 9

虚线表示聚合物伸张高度

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.3 高岭土分批沉降试验结果

(初始浓度=0.05g/L，絮凝剂用量=0.1kg/t)

pH值	沉降状况	阴离子的含量，%				
		0	5	15	20	30
4.35	初始的沉降速度，cm/min	0.1	0.1	0.9	3.0	4.2
	底部产品浓度，g/L	168.4	170.8	170.8	172.2	171.9
	悬浮固体，mg/L	40	33	50	50	132
7.00	初始的沉降速度，cm/min	0.1	1.2	3.0	5.5	3.1
	底部产品浓度，g/L	178.3	191.9	181.3	171.9	171.9
	悬浮固体，mg/L	4050	765	610	500	940
9.00	初始的沉降速度，cm/min	0.2	8.0	24.0	24.4	21.0
	底部产品浓度，g/L	239.1	268.8	300.8	305.6	330.0
	悬浮固体，mg/L	5850	1840	2085	2650	3680

（1）由于pH值升高，负的表面电荷和ζ-电位增高，强阴离子聚合物的吸附变得更加困难，悬浮固体的量增多。

（2）在pH值和ζ-电位都较低的情况下，阴离子聚合物呈卷曲状态，能很牢固地吸附在一起，起到了有效的架桥作用。

18.2.1.3 离心浓缩

离心浓缩是利用离心力的作用来加快悬浮液中微细颗粒与液体的分离速度，缩短固液分离过程的一种浓缩方法。当离心机回转时，机内的矿粒所受的离心力大小可用下列公式计算：

$$P=\frac{mv^2}{r}\times 10^{-5}=\frac{Gv^2}{gr}\times 10^{-5} \qquad (18.2.4)$$

式中 P——离心力，N；

m——矿粒的质量，g；

G——矿粒的有效重量（即矿粒在空气中的重量减去同体积的水量），g；

r——回转半径，cm；

v——回转圆周速度，cm/s；

地信网论坛
bbs.8s001.com

$$v = \frac{2\pi rn}{60} \qquad (18.2.4a)$$

n——转速，r/min；

g——重力加速度，cm/s²。

将v以转速n表示可得：

$$P = \frac{G}{gr}\left(\frac{2\pi rn}{60}\right)^2 \times 10^{-5} \approx \frac{Grn^2}{9\times 10^5} \times 10^{-5} \qquad (18.2.5)$$

上式表明，对于一定重量的矿粒，离心力随回转半径和转数的增加而增大。但增加转数比增大回转半径更易增大离心力。

在离心浓缩脱水操作中，常用离心加速度与重力加速度的比值来表示设备的工作特性，并称其为离心分离因数K，其值等于：

$$K = \frac{v^2}{gr} = \frac{rn^2}{900} \qquad (18.2.6)$$

分离因数愈大，则离心力的作用愈强，矿粒愈易沉淀，从式（18.2.4）可知，增加矿粒在机内的回转速度或增加其回转半径可以提高分离效果。

在离心沉降过程中，离心加速度随着矿粒的回转半径而改变，因此矿粒的沉降速度也是个变数。此外，矿粒的离心力线互不平行，因此各个矿粒所受离心力作用的方向也不相同。所以一般的重力沉降规律不完全适于离心沉降。

目前在选矿方面用得较广泛的离心脱水设备是螺旋卸料卧式沉淀离心机和水力旋流器。立式离心脱水机在选煤厂用得较多，见本卷18.2.8。

18.2.1.4 重力沉降试验及浓缩面积计算

沉降试验的目的在于测定矿浆中固体物料沉降特性。影响物料沉降性能的因素主要有矿浆性质，如物料的粒度组成、固体密度、造浆液体的密度等、矿浆中的泡沫、药剂和电解质的性质；操作因素，如给矿和排矿浓度、给矿量及其波动范围、矿浆温度、用否凝聚剂等。通过对有代表性的矿浆的沉降试验，找出诸因素相互制约的关系，是选择和设计浓缩机的重要依据。利用沉

地信网论坛
bbs.3s001.com

降试验，通过适当的计算可直接或间接地获得设计浓缩机的原始资料，如矿浆沉降时间、单位沉降面积和可能的底流浓度。利用经验和半工业性试验来设计浓缩机是比较简便的。但是，由于时间和财力的限制以及有代表性矿样较难准备等原因，间断沉降试验常常成为一种简易可行的方法。

沉降试验一般在2000毫升的量筒中进行，其测试的方法有多种，但所测试的内容基本相同，最终都应绘制出料浆的沉降曲线，如图18.2.4所示。为便于选用不同的方法确定料浆沉降速度，沉降试验一般应提供下列数据：

（1）矿浆试样重量，克；

（2）干固体重，克；

（3）固体密度，克/厘米^3；

（4）液体密度，克/厘米^3；

（5）矿浆的体积浓度，克/升；重量浓度，%；

（6）矿浆的温度，℃；

（7）矿浆沉降的最终体积，升和高度，毫米；

（8）澄清液的浓度和密度；

（9）在24小时的沉降过程中，不同的沉降时间所对应的沉降界面高度，毫米。必要时尚须提供不同的沉降时间t对应的澄清液浓度，毫克/升和沉砂的重量浓度，%的关系曲线，如图18.2.4(d)所示。

根据沉降试验，计算单位沉降面积的方法主要有三种：

（1）当沉降界面清晰，沉降曲线没有明显的临界压缩点，或要求的底流浓度低于临界状态下的矿浆浓度时，宜采用图解法。即将沉降试验所得到的$H-t$沉降曲线由两条直线近似的代替，如图18.2.4(a)所示。其沉降曲线用折线H_0KL代替，则H_0K为自由沉降过程线，KL为压缩过程线，K为临界点。按下式可求出粒子群的沉降速度：

$$v_p=\frac{H_0-H_K}{t_K-t_0} \qquad (18.2.7)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 v_P——矿浆浓度为P时的粒子群的沉降速度，m/h；

H_0——量筒中矿浆面起始高度，m；

H_K——临界点的高度，m；

t_K——由沉降开始时刻到临界点经历的时间，h；

t_0——开始沉降的时刻，h。

由v_P值可计算处理每吨固体所需的沉降面积，即单位浓缩面积，用（18.2.8）式计算：

$$a_p=\frac{K}{v_p}\left(\frac{1}{c_1}-\frac{1}{c_2}\right) \qquad (18.2.8)$$

式中 a_p——矿浆浓度为p时，处理一吨固体物料所需的沉降面积，$m^2/t\cdot h$；对应于不同的v_p可以得到不同的a_p，在计算浓缩机面积时应选用最大值a_{max}；

K——校正系数，一般采用1.05～1.20。当试验的代表性较好、准确性高、给料量及性质稳定和设计的浓缩机直径较大时取小值；

c_1——试验矿浆的单位体积的固体含量，t/m^3；

c_2——设计的浓缩机底流单位体积的固体含量，t/m^3；根据试验资料并参考类似厂矿的生产资料确定。

（2）沉降界面清晰，沉降曲线圆滑而无临界压缩点时，沉降试验及数据处理宜用切线法，如图18.2.4(*b*)和(*c*)所示。

在沉降试验所得到的t—H曲线上选取几个点A_i（t_i、H_i），分别作曲线的切线，交纵轴于B_i诸点，按（18.2.9）式计算沉清界面高度在各B_i点以下的矿浆的平均单位体积固体含量：

$$c_{P,i}=\frac{c_{P,0}H_0}{B_i},\ t/m^3 \qquad (18.2.9)$$

式中 i——选点的次别；

$c_{P,i}$——澄清界面沉降到B_i时，B_i以下矿浆的平均单位体积的固体含量，t/m^3；

H_0——量筒内矿浆面的高度，m；

B_i——切线在纵坐标上的交点高度，m。

地信网论坛
bbs.3s001.com

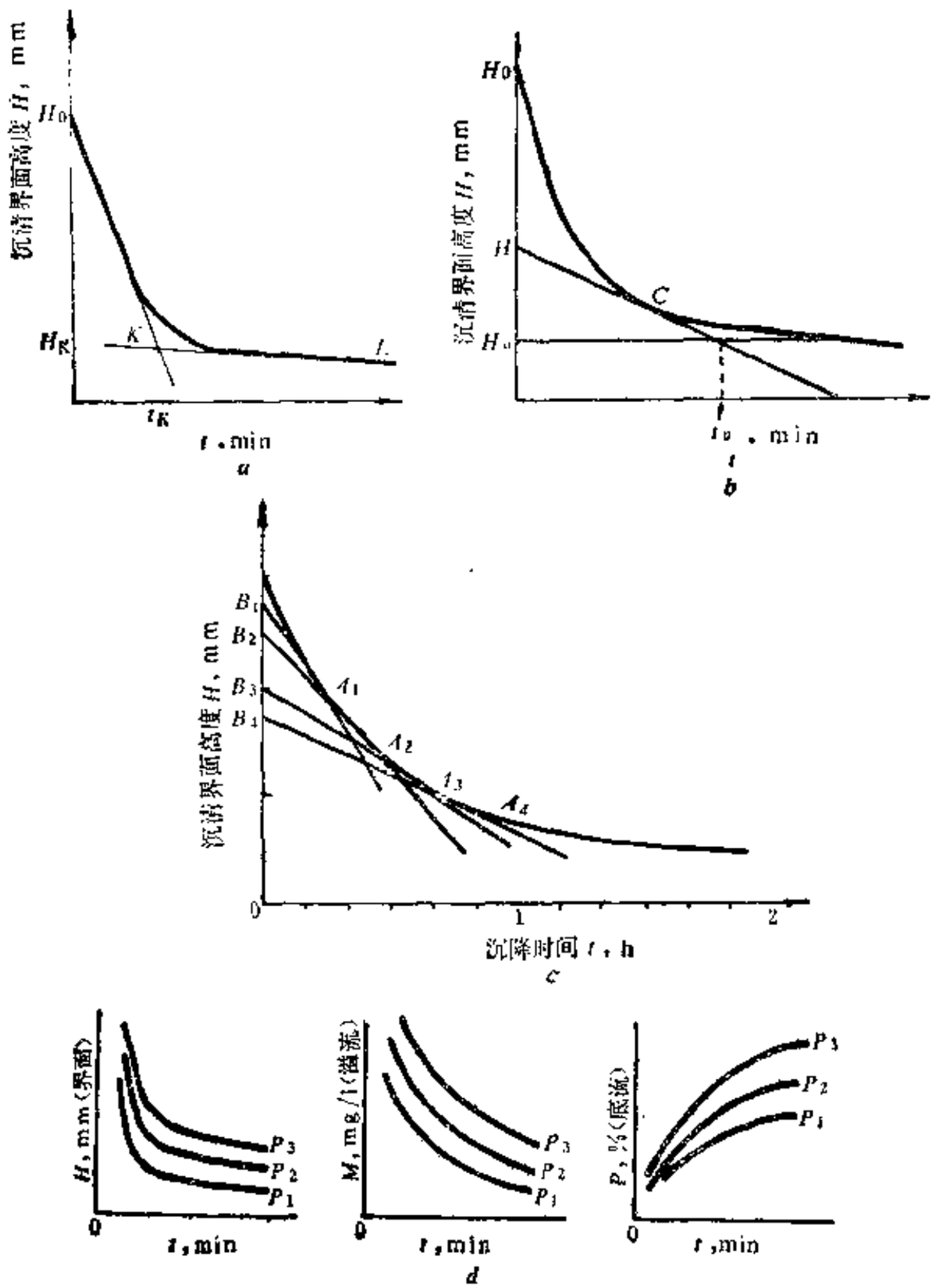


图 18.2.4 静止沉降曲线示意图

按（18.2.10）式计算各次试验的沉降曲线上所选各点的沉降速度：

$$v_{ij}=\frac{B_{ij}-H_{ij}}{t_{ij}} \qquad (18.2.10)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$v_{min}=Min\ (v_{i1},\ v_{i2},\ \cdots\cdots v_{in}) \qquad (18.2.11)$$

式中 j——试验的次别；

v_{ij}——沉降曲线上所选各点的沉降速度，m/h；

H_i——曲线上所选各点的高度，m；

t_i——上述各点的沉降时间，h。

按下式求出所需最大单位浓缩面积：

$$a_{max}=\frac{1}{v_{min}}\left(\frac{1}{C_{Pij}}-\frac{1}{C_P}\right) \qquad (18.2.12)$$

式中 a_{max}——所需浓缩机的最大单位浓缩面积，$m^2/(t\cdot h^{-1})$；

v_{min}——各次试验的沉降曲线上所选各点的沉降速度中之最小值，m/h；

C_{Pij}——试验矿浆的沉清界面沉降到B_{ij}时，B_{ij}以下矿浆的平均单位体积的固体含量，t/m^3；

C_P——初始矿浆单位体积的固体含量，t/m^3。

（3）沉降界面不清，作不出沉降曲线时（例如矿浆不易沉清，而又不允许往其中添加絮凝剂），沉降速度测定及计算可按下述步骤进行。

选取若干个容量为2000毫升的量筒，配制设计要求的同一浓度的试样，分别装入各量筒。按不同的沉降时间t_i分别取出各量筒液面下某固定高度h的液体，按（18.2.13）式计算其沉降速度v_i，并分别测得其悬浮物含量c_i，绘制v_i-c_i曲线，根据该曲线，按设计要求的溢流水质c确定其沉降速度：

$$v=\frac{h}{t_i},\ m/h \qquad (18.2.13)$$

式中 h——沉降高度，m；

t_i——达到设计要求的溢流水质所需沉降时间，h。

需要的浓缩面积为：

$$A=K\frac{Q}{v},\ m^2 \qquad (18.2.14)$$

式中 Q——设计的溢流量，m^3/h；

K——安全系数，按选用的浓缩机大小取$K=1.1\sim1.2$。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.2.2 耙式浓缩机

根据给排矿方式，沉降浓缩设施分为间歇排矿式和连续排矿式两大类。前者周期性地排卸浓缩产物，后者则连续地排卸浓缩产物。间歇排料式的有沉淀池、滤池等；连续排料式的有锥型浓泥斗、耙式浓缩机和离心浓缩机等。选矿厂生产中，细粒物料的脱水一般多采用连续排料的耙式浓缩机。

耙式浓缩机目前正向大型化发展，国外浓缩机的直径最大已达150～183米。此外对传统的结构和工艺不断改进，并着重研制高效设备，如改进给料方式，研究浓缩机的几何形状，添加絮凝剂以提高浓缩效率和处理能力等。70年代后期出现的高效浓缩机单位面积的生产能力比传统设备增长了许多倍，这对生产规模大、工业场地紧张以及气候严寒必须在室内作业的选矿厂具有特别重要的意义。

18.2.2.1 耙式浓缩机的结构

A 浓缩机的槽体

浓缩机的槽体结构按其规格、给料性质、排除沉砂的操作要求以及地形条件，可以做成钢质、混凝土质、木质或在泥土中用块石衬砌。槽壁和槽底可用相同或不同的材质制作（或砌筑）。为了防止腐蚀，槽内壁可涂以油漆或衬以合成橡胶或塑料。在土壤好的情况下，也可用块石砌筑或粘土夯实作槽底，而无须用钢筋混凝土。

根据具体情况，浓缩机的槽体安装方式有以下几种：

（1）槽体安置在地面上，底部嵌入地面以下，并设地下通廊供排矿用。这种结构型式便于槽体的支承，土建费用较低，但浓缩机沉砂输送设施位于地面以下数米深的地方，生产操作条件较差。大、中型浓缩机常采用这种配置。

（2）槽体置于地面以上，依靠钢筋混凝土梁柱支承。沉砂可自流或在地表用砂泵扬送至下一工序。该类结构的建筑费用较高，但生产操作条件较好，池底空间可作其他使用。一般中、小

地信网论坛
bbs.3s001.com

型浓缩机或建于室内的浓缩机有时采用该配置方式。

B 浓缩机的给料方式

以往的浓缩机一般均采用中心给料，矿浆被送入浓缩机中心的给矿筒内，再缓缓流进沉降区。近年来国外出现了周边给料和底部给料的浓缩机。周边给料浓缩机的矿浆分配器沉浸在矿浆中，装在浓缩机的周边，距溢流堰有一定深度。与中心给料相比，周边给料浓缩机处理量大，溢流中固体含量约降低50%，例如由2.72克/升降至1.3克/升，底流产品浓度约增加4.2%；底部给料浓缩机的料流从浓缩机底部中心管给入，缩短了颗粒下降距离，因而处理能力大，溢流较清，占地少，反应灵敏，处理粒度范围宽。

C 安全保护装置

浓缩机设过负荷信号和保护装置是保证大型浓缩机正常运转的重要措施。目前有三种型式，即液压式、机械式和电控式安全保护装置。

（1）液压式。该装置在液压马达的线路中编入过载监控报警器，由压力安全阀控制中心轴上部的转矩极限，也可根据驱动管线直接测得液体压力，以便起动过载报警信号装置、耙架提升装置和普通指示器或转矩记录器。如果过载时间过长，则温度控制开关启动，防止液体过热，这时液压系统停止工作，耙架也停止运转。

（2）机械式。该装置装在驱动头的蜗轮轴端部。当浓缩机过负荷时，蜗轮轴的端部推动减压器，借助于齿轮系统的旋转而移动信号装置的盘面弹簧，当其转至一定位置，即可接通水银开关，立即发出声响和信号，或关停设备，同时接通提升电动机之电源，自动将耙提起。也可用手摇提升轮实行人工提耙，以免损坏设备。

（3）电控式。该装置使用过载报警器，可以单独使用，也可和机械报警系统联合使用。其控制工作建立在浓缩机之电动机驱动电流强度或电压信号传感的基础上。国外在使用液压电动机

地信网论坛
bbs.3s001.com

情况下，使用液力过载报警器，并将其联络讯号编入液压电机回路中。

D 浓缩机的传动机构

由于细粒物料沉降速度较慢，为了减小沉降过程的干扰，耙式浓缩机耙臂转速必须缓慢，因而传动减速比很大。一般采用蜗轮蜗杆减速和三级齿轮减速器能满足要求；为了确保浓缩机安全运转，传动机构必须有安全装置，以防因沉淀过浓或给料过多而损坏机件或电动机。

浓缩机常用的传动机构有以下几种：

（1）小型中心传动浓缩机。其耙臂装在中心轴上，由置于管桥中心的蜗轮蜗杆减速机构驱动中心轴，并附有安全信号及手动或电动提耙装置。

（2）大型中心传动浓缩机。耙臂由中心桁架支承，桁架和传动机构置于钢筋混凝土结构或钢结构的中心柱上，或钢筋混凝土箱体构成的中空柱上，采用锥形滚柱轴承或液体静压油膜轴承，以及具有行星齿轮系统的传动机构。国外制造的这类设备中，直径在100米以下的，一般均装有自动或手动提耙装置。对于更大直径的，则配有自动润滑、测压、测负荷等自动测控装置。

（3）小型周边传动浓缩机。其传动装置装在耙臂桁架靠周边一端的小车上，经齿轮减速器驱动车轮使小车在轨道上移动。不需设特殊的安全装置。当负荷过大时，车轮打滑，小车即停止前进。

（4）大型周边传动浓缩机。其驱动小车上装有带小齿轮的减速器。浓缩池的周边上与轨道并列固定了一圈齿条。减速器的一小齿轮与齿条啮合，既推动小车前进又带动耙臂运转。通常设有熔断器以保护电动机。

道尔公司和艾姆科公司制造的大型浓缩机的传动装置采用一种液体静压油膜轴承装置。该装置是利用流体静力学的原理而设计的，由液压油膜轴承、液压轴承座、内齿轮传动体和3到4台

地信网论坛
bbs.3s001.com

蜗轮驱动装置及辅助设施组成。转动体支承在一个密封的油垫止推轴承座上，两者之间充满一层油膜，其厚度约为0.125～0.25毫米。用油泵供油。转动体由蜗轮驱动，在油膜上作稳定的水平转动。油膜之间的摩擦力仅为常规浓缩机的用金属润滑接触摩擦力的1/200。因而传递的扭矩很大，传动负荷均匀，运行平稳可靠，推动了浓缩机向大型化发展。

18.2.2.2 耙式浓缩机的类型及性能

耙式浓缩机型式可分成两大类型，即中心传动浓缩机和周边传动浓缩机（表18.2.4）。

表 12.2.4 耙式浓缩机分类

分类方法 \ 传动装置位置	中心传动浓缩机	周边传动浓缩机
按提耙方式分类	手动提耙 自动提耙 无提耙装置	手动提耙 自动提耙 无提耙装置
按耙臂驱动方式分类	中心竖轴蜗轮蜗杆	周边辊轮式 周边齿条式
按浓缩机层数分类	单 层 式 多 层 式	
按中心轴结构型式分类	中心轴式 中心轴架式	
按浓缩效率分类	普 通 型 高 效 型	

A 中心传动浓缩机

中心传动浓缩机由槽体、给料装置、耙架、传动装置及其支承体（中心柱、中心桁架或沉箱式中空柱）和提升装置构成。如图18.2.5、图18.2.6所示，槽体是用钢板或钢筋混凝土建造的一个圆池（槽），其底部呈水平或微倾斜的缓锥体状。槽的上部装有传动装置、提升机构和起支承作用的桁架。排矿用的耙架置于槽底，与中心柱桁架或中心竖轴相连接。当传动装置驱动耙架旋转时，槽内沉积的物料被耙扳刮运至槽中心的排料口排出。耙板刮运沉砂时给沉积物以压力，有利于从中挤出部分水份。

地信网论坛
bbs.3s001.com

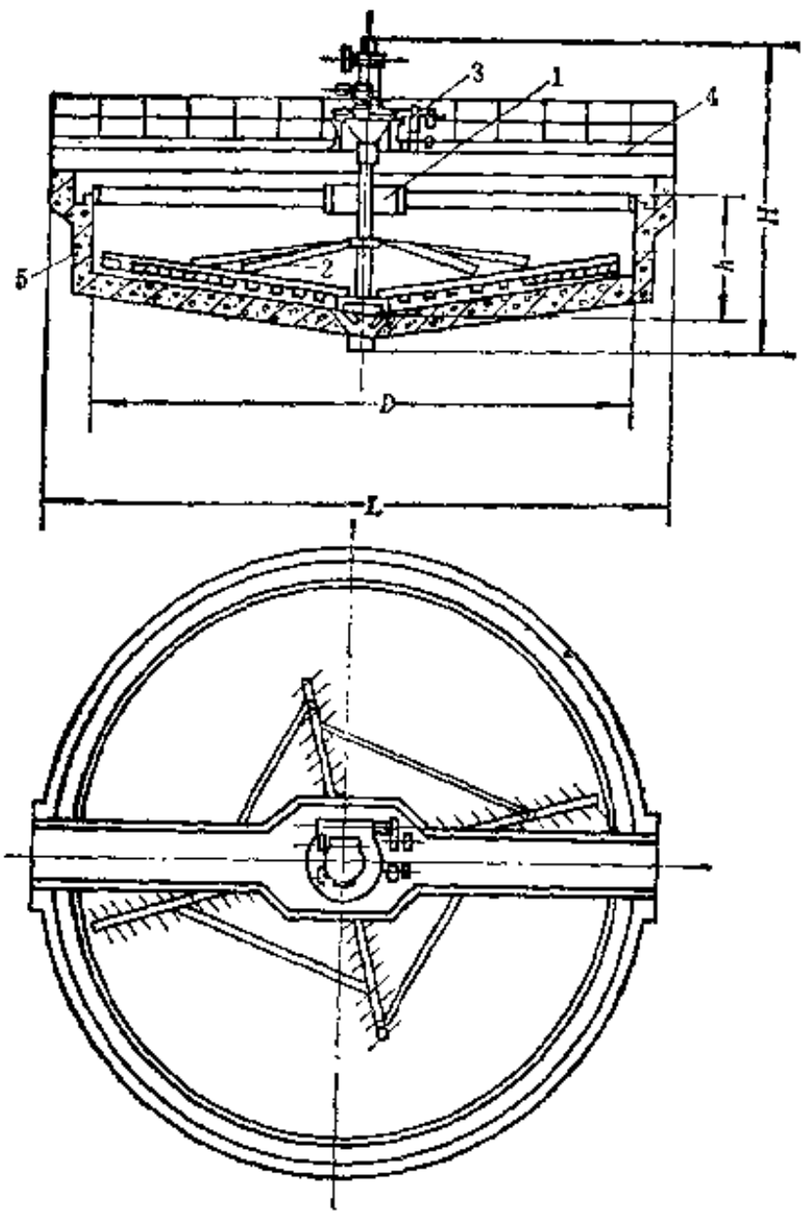


图 18.2.5 φ20m以下的中心传动浓缩机

1—给料装置；2—耙架；3—传动装置；4—支承体；5—槽体

中心传动浓缩机工作时，矿浆给入槽体中心半浸没在澄清液面之下的给矿筒内，沿径向往四周流动（国外也有沿切线方向给矿的），逐渐沉降。澄清液从槽体上部的环形溢流槽排除。当给料量过多或沉淀物浓度过大时，安全装置发出信号，通过人工手动或自动提耙装置提起耙架，以防止烧坏电动机或损坏机件。

小型中心传动浓缩机的特点是耙臂装在中心轴上，中心轴由蜗轮蜗杆减速机构传动，并且设有安全信号装置及自动或手动提耙装置。这类耙架多数为直耙臂，但也有做成螺旋状，呈渐开线

地信网论坛
bbs.3s001.com

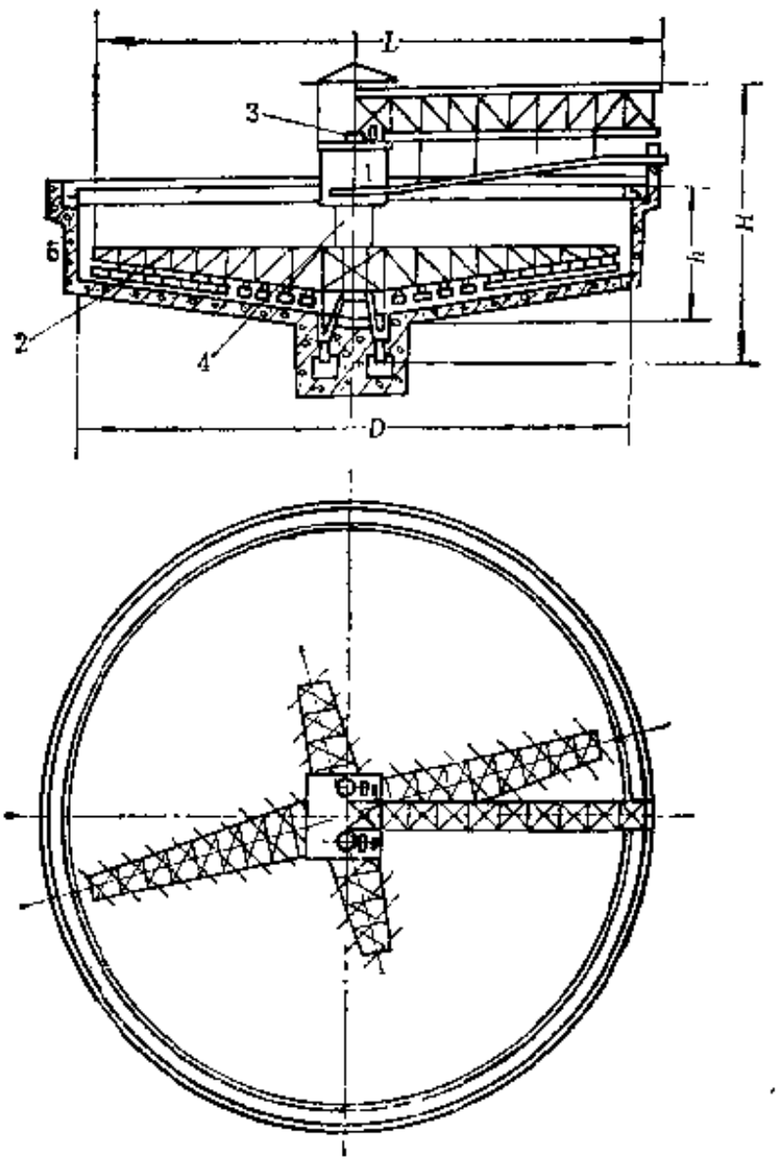


图 18.2.6 ϕ20m以上中心传动浓缩机结构

1—给料装置；2—耙架；3—传动装置；4—支承体；5—槽体

形。如图18.2.7所示。

目前我国制造的小型中心传动浓缩机规格有直径1.8米、3.6米、6米、9米和12米五种。

我国中心传动浓缩机系列产品已规划有直径53米、75米和100米三种规格的大型浓缩机。另有直径16米、20米、30米和40米四种规格的中型浓缩机。前者设有自动提耙装置，后者备有自动或手动提耙装置。

我国中心传动浓缩机系列化产品的结构参数列于表18.2.5。

地信网论坛
bbs.3s001.com

大型中心传动浓缩机的耙架的一端装在中心柱桁架或沉箱式中心柱的钢筋混凝土外壁上，另一端用钢结构的耙臂支承，也有用钢缆绳悬挂于较小的悬臂梁下方的。

B　周边传动浓缩机

周边传动浓缩机按耙架支承方式可分为两种型式，即钢桁架支承式和悬臂支承式。前者的传动架与耙架成为一体，后者的耙架完全由悬臂支承。

耙架用钢桁架支承的周边浓缩机的结构如图18.2.8所示。其槽体是用钢筋混凝土建造的池子，池壁呈圆筒形，池底向中心倾斜（一般约为12°）。池子中央有钢筋混凝土柱。传动架的一端借助于轴承支承于中心柱上，另一端支承于环池轨道上。桁架可作人行道，也可敷设给矿管（槽）。传动机构使滚轮沿轨道滚动并带动桁架。中心柱上装有电动机的接线滑环，电源通过电刷、滑环和敷设在桁架上的电缆供给电动机。

直径15米以上的大型周边传动浓缩机，在浓缩槽的环池上与轨道并列安装着固定的齿条，传动装置的齿轮减速器有一小齿轮与齿条啮合以推动小车前进。通常设有过负荷断电器来保护电动机。我国拟定系列化生产的大型周边传动浓缩机列于表18.2.6。它们均设有自动控制装置，供检测、显示和调节浓缩机的工作状况，以确保设备安全运转。

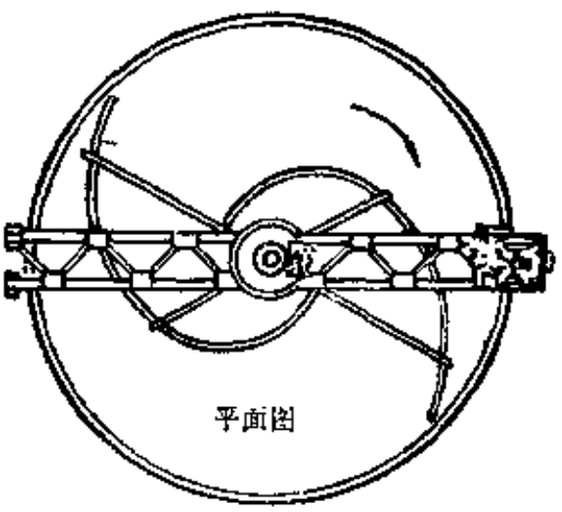


图 18.2.7　螺旋耙浓缩机

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.5 我国中心传动浓缩机规格表

基本尺寸和尺寸的名称	型号规格				
	NZS—1 NZSF—1	NZS—3 NZSF—3	NZS—6 NZSF—6	NZ—9 NZF—9	NZ—12 NZF—12
浓缩池直径，m	1.8	3.6	6	9	12
池中心的深度，m	1.8		3		3.5
公称沉淀面积，m^2	2.5	10	28	63	110
耙架提升高度，mm	200			250	
耙架每转时间，min	2	2.5	3.7	4	5.2
耙架传动装置功率，kW	1.1			3	
带金属池浓缩机总重，kg	1235	3144	8576		
不带金属池浓缩机总重 kg				6000	8500

基本尺寸和尺寸的名称	型号规格					
	NZ—20 NZF—20	NZ—30 NZF—30	NZ—40 NZF—40	NZ—53 NZF—53	NZ—75 NZF—75	NZ—100 NZF—100
浓缩池直径，m	20	30	40	53	75	100
池中心的深度，m	4.4	4		5	6.5	7.5
公称沉淀面积，m^2	310	700	1250	2200	4410	7350
耙架提升高度，mm	400			700		
耙架每转时间，min	10.4	13，16，20	15，18，20	18，26，33	26～60	33～80
耙架传动装置功率，kW	5.2	7.5	13		17	22
带金属池浓缩机总重，kg						
不带金属池浓缩机总重 kg	25000	30000	70000	80000	130000	200000

小型周边传动浓缩机是借助于辊轮与轨道之间摩擦力而传动的，故不需特殊的安全装置。当耙子所遇阻力超过一定限度时，辊轮打滑，耙子停止前进。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.6 周边传动浓缩机技术参数

型号	NG—15	NT—15	NG—18	NT—18	NG—24	NT—24
浓缩池直径，m	15		18		24	
池中心的深度，m	3.6		3.4		3.44	
沉淀面积，m^2	177		255		452	
耙架每转时间，min	8.4		10		12.7	
处理能力，t/24h	390		560		1000	
电动机功率，kW	5.5		5.5		7.5	
总重，t	9.3	11	10	12.5	24	29

型号	NG—30	NT—30	NQ—38	NT—45	NTJ—45	NT—53	NTJ—53
浓缩池直径，m	30		38	45		53	
池中心的深度，m	3.6		5.05	5.06		5.07	
沉淀面积，m^2	707		1134	1590		2202	
耙架每转时间，min	16		18	19.3		23.18	
处理能力，t/24h	1570			2400	4300	3400	6250
电动机功率，kW	7.5		7.5	10	13	10	13
总重，t	27	32	49	59	72	70	80

18.2.2.3 浓缩机的选择与计算

A 浓缩机的选型

浓缩机的型式和规格的确定，一般根据所处理的物料性质、生产和建设条件以及试验研究提供的有关技术资料进行。在国外，制造厂根据用户提供的资料进行计算和选择，然后再向用户推荐。我国则由用户或设计单位自行选用。对于生产规模较大的选矿厂，在有条件的情况下应尽量采用大型浓缩机。国外资料表明，采用大直径浓缩机可节省钢筋混凝土约25%，节省建设费约50%。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.7 国外制造的耙式浓缩机简表

传动方式	浓缩机类型	制造厂家	最大直径 m(ft)	工作扭矩 1×10^4 N·m (万ft·lb)	料浆进出口位置			结构及使用特点	应用范围举例
					给料	溢流	底流		
中心轴传动式	标准桥式（A型）	道尔—奥利弗	46 (150)	98.1 (75)	半沉没式中心给料井	周边溢流槽	底部中心	由跨越整个浓缩池的“桥”或桁架支撑人行道、给矿槽和驱动机构及耙架。其驱动机构是用单一的或带有齿轮箱组合式A型驱动头驱动一个垂直的带动耙臂的中心轴	氧化铝水合物、磷酸、铁燧岩中矿和精矿脱水
	桥式（B型） 轻型 中型 重型	艾姆科	43 (140)		中心给料	周边溢流槽	底部中心	ϕ12米以下的用池壁支承中心传动装置及走台的横梁（桥） ϕ12米以上的其上部结构用钢桁架，并用加强杆支承在池壁上，或支承在池壁外侧的钢制（混凝土）柱上	
	多层盘式	艾姆科 道尔	18 (60)	53.9 (40)				为圆柱型，槽内按不同高度被若干圆盘分为单独的沉降室。公用的中心竖轴带动各层内的耙架运动。最多可分为6层，可节省费用和空间	拜尔法炼铝残渣、纸浆、制糖液等脱水
	水力分离机	艾姆科 道尔	30 (100)	81.4 (60)	中心半沉没式给矿井	顶部外围溢流槽	池底中心	是一重载浓缩机，可把固体分为65目的粗粒和5微米的细粒两部分	铁矿、煤炭、饲、砂、水泥等
	带储藏室的单元式	道尔	24 (80)	13.7 (10)	槽体中部进料	中部侧面溢流	底部侧面排矿	具有分隔间的槽体，在澄清区上部有贮藏室	造纸厂再苛性化系统液体沉清

续表 18.2.7

传动方式	浓缩机类型	制造厂家	最大直径 m(ft)	工作扭矩 1×10^4 N·m (万ft·lb)	料浆进出口位置 给料	料浆进出口位置 溢流	料浆进出口位置 底流	结构及使用特点	应用范围举例
中心轴传动式	高效浓缩机	道尔	43 (140)		中部给矿井	周边溢流槽	底部中心	驱动机构用A型或S型，具有独特的Fitch给矿井和DynaFloc给矿井，省去了混合器内的搅拌装置和倾斜板	油的逆流倾注洗涤；硫酸盐矿泥、煤泥等脱水
		艾姆科	9 (30)						
周边传动	齿条式 胶轮式 辊轮式 T型	道尔	122 (400)	176.5 (130)	半沉没的中心给料井	周边溢流槽	底部中心排料口	固定的中心支座，部分地支承耙架，并为耙架环绕的支点。有三个短耙臂补充长耙臂工作	
		艾姆科	198 (650)					为牵引式(T型)浓缩机，耙臂由四周边轨道上的钢牵引轮带动，已建造的最大直径为125 m，中心池深9 m	
中心轴架传动式	中心柱沉箱式 中心柱式	道尔—奥利弗	183 (600)	329.5 (240)				传动装置采用液体静压轴承，传递功率大，运转平稳、可靠；沉箱可为钢制或钢筋混凝土制，直径ϕ3.7～5.5m、深12m，沉箱内可设泵房和电控设备	铜中矿或精矿、高炉烟道粉尘、回水回收等
	中心支座超级式	道尔—奥利弗		549.2 (400)	沉箱外围的絮凝给矿井	周边溢流槽	自中心垂直抽出	传动装置采用液体静压轴承，传递功率大，运转平稳，可靠；还装有一套自动平衡液压轴承装置，能防止耙臂瞬时回转和矿浆在输送中产生短路；中心支座被放大到ϕ6.1m，深12.2m，以便作泵站和控制室	铁矿尾矿、铜尾矿、铅锌尾矿等

地信网论坛 bbs.3s001.com

续表 18.2.7

传动方式	浓缩机类型		制造厂家	最大直径 m(ft)	工作扭矩 1×10^4 N·m (万ft·b)	料浆进出口位置			结构及使用特点	应用范围举例
						给矿	溢流	底流		
中心轴架传动式	中心柱沉箱式	标准中心支柱式(S型)	同上	122 (400)	329.5 (240)	池子中央的半沉没给矿井	周边溢流槽	中心排矿口排出		铜精矿、中矿、高炉尘、高岭土、氢氧化镁、回水等
		C型改进	艾姆科	183 (600)	274.6 (200)			砂泵扬送至沉箱上部出口	具有精确的四点接触的滚动轴承传动装置	尾矿
		HC590型		(400~600)	549.2 (400)				采用液体静压轴承，传递扭矩大；液压轴承有备用系统确保正常工作	
	缆绳式(回转提升式)		道尔—奥利弗	12~75 (39~250)		中心给矿筒	周边溢流槽	中心排矿	绳索牵引的耙架有双轴铰链，并借助于万向节作用使得耙架在超载时能自行运动；耙子可水平和上下运动，根据荷载自动调节保护设备	铜精矿、原煤、铁矿尾矿、砂尾泥、工业废水等
			艾姆科	76 (250)						
	C型	轻型	艾姆科	183 (600)	274.6 (200)				该机设有扭矩指示器、过负荷信号器、电动机保护开关、自动提升器等	尾矿
	C型	重型								
	ECC型								由C型演变而成，驱动机构用精密可靠的滚珠轴承组成	铁尾矿、铜尾矿等
中心轴传动	深锥式		丹佛	5.2 (17)		絮凝给矿井	周边溢流槽	锥底排出	直径φ5.2m，深6.5m的锥型斗的给矿中加入足够分子量的电解质絮凝剂，使固体颗粒絮凝，并经压缩得出具有特殊物理性质的底流-塑性体，而不是矿浆。如用高速率的剪切力破坏絮凝结构，塑性体即变成流体	细粒粘土、煤泥及矿坑水的沉清
无耙浓缩机									无耙，无任何传动部件，底流含水量仅为常规耙式浓缩机的1/2。浓缩机高度为直径的1.5倍，槽底坡度60°，深度一般为3m	

地信网论坛 bbs.3s001.com

地信网论坛
bbs.3s001.com

a 周边传动浓缩机

用钢筋桁架支承耙架的周边传动浓缩机，其耙架和钢桁架支承两者结合为一整体，刚性好，强度大。但桁架结构在工作过程中高出水面，对澄清层有搅动作用，不利于微细颗粒物料沉降，影响溢流的水质。耙架为悬臂结构的周边传动浓缩机，对周边轨道的技术要求不太严格，耙架运转时对沉降层影响较小，溢流水质较好。

b 大型中心传动浓缩机

中心轴架支承（使用液体静压轴承）的中心传动式浓缩机摩擦阻力很小，具有很高的有效传动扭矩(表18.2.7)；使用精密滚珠轴承的中心传动式浓缩机，可以防止负荷过大时损坏耙臂和驱动装置。常用来处理铁、铜矿石的选矿产品。

大型沉箱中心柱式浓缩机采用中空柱基础结构，沉箱内可容纳排料、电控、工艺管网和辅助设施，并可提供便于设备操作和维护的空间场地。该设备的底流用管道经桥架从中空柱内扬送到后续作业点，可省去地下通道和泵房的建设费用。该类浓缩池的底流，用多级泵并联排出。当出现峰值负荷时砂泵可自行处理，直到把中心柱周围集矿沟槽内的矿浆浓度降到正常值。这种排矿方式能使矿浆具有较高的线速度，防止排矿口堵塞。如果排矿出现短路，则底流浓度变稀，泵的吸入压头增大。生产中应尽量防止排矿短路。该类浓缩机的管线安装费高，泵的吸入管易堵，维修较困难。但其构造简单，操作方便，传递的扭矩大，运行稳定可靠。

缆绳式中心传动浓缩机直径由12米到75米，利用钢绳自动调整耙子上下左右浮动的数据可测出浓缩机内的负荷情况。在均匀负荷条件下，通过输入数据处理，浓缩机可获得最佳工作状况。该机适合于具有波动性和间歇性负荷的脱水作业。其耙子位置的自动补偿能防止池内产生不平衡的负荷，因而排矿浓度均匀，并能自行调节扭矩，保证设备正常运行。

多层中心传动浓缩机结构简单，占地面积小，动力消耗少，

地信网论坛
bbs.3s001.com

基建费较低。当工业场地较紧而又要求有足够的沉降面积时宜选用该类浓缩机。该设备传递的扭矩较小，直径较小，适合于中小型选矿厂使用。

高效浓缩机（槽内也可装倾斜板）的给料需添加絮凝剂，经搅拌后送入浓缩机的沉降部位。该机占地面积少，浓缩效率高，适于处理细粒物料以及必须在室内脱水的物料，也适于旧厂扩大生产能力选用。

B 耙式浓缩机的计算

为了确定在一定条件下工作的浓缩机的面积、结构尺寸及台数，必须进行浓缩机的技术计算。由于在连续作业的耙式浓缩机中，矿粒的沉淀过程十分复杂，目前尚无准确的计算方法。国外一些公司根据经验和不同的研究方法，如模拟法、图解法、初始沉降速度法、经验定额法等设计浓缩机。

我国目前进行浓缩机计算，主要根据单位浓缩面积的生产能力和矿浆在静止沉降试验中的沉降速度来确定所需要的有效沉降面积、浓缩机尺寸和台数。我国选矿厂的生产实践表明，在目前情况下，较切合实际的计算方法，应该是通过沉降试验并参照同类厂矿的生产实际资料来确定。在满足底流浓度要求的同时，应考虑溢流水质的要求。黑色金属矿山使用环水时，要求溢流中的固体含量小于0.5%；有色金属矿山应以金属流失最少为度。

浓缩机单位面积的生产能力与所处理的物料颗粒或絮团的粒度、密度、给矿和底流的浓度、料浆成分、泡沫粘度、矿浆温度和物料的价值有关。单位面积的生产能力一般根据半工业试验或静止沉降试验确定，在无试验条件的情况下，可参照类似厂矿的生产指标确定。单位浓缩面积处理不同精矿的生产能力实例列于表18.2.8。

a 浓缩面积计算

浓缩面积计算可采用如下三种方法：

（1）用半工业试验或生产定额指标计算浓缩机面积可采用下述经验公式计算：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.8 浓缩机单位面积生产能力

被浓缩物料特性	单位面积生产能力,t/(m²·d)
机械分级机的溢流（浮选前）	0.7～1.5
氧化铅精矿和铅-铜精矿	0.4～0.5
硫化铅精矿和铅-铜精矿	0.6～1.0
铜精矿和含铜黄铁矿精矿	0.5～0.8
黄铁矿精矿	1.0～2.0
辉钼矿精矿	0.4～0.6
锌精矿	0.5～1.0
锑精矿	0.5～0.8
浮选铁精矿	0.4～0.6
磁选铁精矿	3.0～3.5
锰精矿	0.4～0.7
白钨矿浮选精矿和中矿	0.4～0.7
萤石浮选精矿	0.8～1.0
重晶石浮选精矿	1.0～2.0
浮选尾矿或中矿	1.0～2.0

$$A = K\frac{W}{q} \qquad (18.2.15)$$

式中 A——浓缩机总有效面积，m^2；

q——在满足溢流水质要求的条件下，浓缩机单位面积处理的固体物料重量，$t/(m^2 \cdot d)$，该值由试验确定。缺试验资料时可参照表18.2.8选取；

W——给料中的固体重量，t/d；

K——矿浆波动系数。一般对于工业性试验$K=1$，对于模拟试验$K=1.05\sim1.20$；当矿样代表性较好，给矿数量和性质稳定，以及选择较大直径的浓缩机时可取小值，反之取大值。

（2）按静止沉降试验或模拟试验资料计算浓缩机面积：

$$A = KQ_0c_0a_{max} \qquad (18.2.16)$$

或

$$A = KWa_{max} \qquad (18.2.17)$$

式中 A——所需浓缩机总面积，m^2；

地信网论坛
bbs.3s001.com

K——系数，取1.05～1.2，取值原则同（18.2.15）式；

Q_0——设计的给入料浆量，m^3/d；

c_0——设计给矿的单位体积含固体重量，t/m^3；

a_{max}——浓缩每吨固体物料所需要的最大沉降面积，$m^2/(t \cdot d^{-1})$由试验确定；

W——给入浓缩机的固体重量，t/d。

（3）在缺乏试验数据而又无实际经验资料时，可按斯托克斯公式近似地计算固体物料的沉降速度之后，再用下式近似计算浓缩机的面积：

$$A=\frac{W(R_1-R_2)K}{86.4v_0K_1} \qquad (18.2.18)$$

式中 A——浓缩机面积，m^2；

W——给入浓缩机的固体重量，t/d；

R_1、R_2——浓缩前后矿浆的液固比；

K_1——浓缩机有效面积系数，一般取0.85～0.95；ϕ12m以上的浓缩机取大值；

K——矿量波动系数，视原矿品位而定。浓缩机直径小于5m时取1.5，大于30m时取1.2；

v_0——溢流中最大粒子在水中的自由沉降速度，mm/s。

沉降速度也可用（18.2.19）式近似计算：

$$v_0=545(\delta-1)d^2 \qquad (18.2.19)$$

式中 δ——固体物料密度，g/cm^3；

v_0——溢流中最大粒子在水中的自由沉降速度，mm/s；

d——溢流中固体颗粒最大直径，mm，精矿溢流中最大粒度一般取5μm，浓缩煤泥时，最大不应超过30～50μm。

对于絮凝沉降，v_0只能通过试验测定。A值的计算应在进料与底流之间的整个浓度范围内选取，其中最大值作为沉降槽的横断面积。浓缩机的面积必须保证料浆中沉降最慢的颗粒有足够的停留时间沉降至槽底。因此浓缩机溢流速度v（或上升水流速

地信网论坛
bbs.8s001.com

度）必须小于溢流中最大颗粒的沉降速度。选定的浓缩机面积须用（18.2.20）式验算，须保持$v<v_0$。溢流速度计算如下：

$$v=\frac{V}{A}\times 1000 \qquad (18.2.20)$$

式中 v——上升水流速度，mm/s；

A——浓缩机面积，m^2；

V——浓缩机的溢流量，m^3/s。

b 浓缩机深度计算

耙式浓缩机的深度决定矿浆在压缩层中的停留时间，为了保证底流的排矿浓度，矿浆在浓缩机中必须有充分的停留时间。因此，浓缩机应具有一定的高度，即：

$$H=h_C+h_P+h_Y \qquad (18.2.21)$$

式中 H——浓缩机所需的总高度，m；

h_C——澄清区高度，约为0.5～0.8m；

h_P——耙臂运动区高度，m；可由下式计算：

$$h_P=\frac{D}{2}\mathrm{tg}\alpha \qquad (18.2.21a)$$

D——浓缩机底部直径，m；

α——底部水平倾角，通常$\alpha=12°$；

h_Y——压缩区高度，m；可通过试验用下式计算：

$$h_Y=\frac{(1+\delta\cdot R_C)t}{24\delta a_{max}} \qquad (18.2.21b)$$

式中 t——矿浆浓缩至规定浓度所需的时间（实测），h；

δ——矿粒密度，g/cm^3；

a_{max}——澄清一吨干矿所需的最大澄清面积，$m^2/(t\cdot d^{-1})$；

R_C——矿浆在压缩区中的平均液固比，可按矿浆沉降到临界点时的液固比与排矿底流液固比（均为实测）之平均值计算。

我国选矿厂使用国产的系列化浓缩机时，其结构尺寸已经固定了。选用这类标准规格的浓缩机时，其压缩区的高度h_Y应满足

地信网论坛
bbs.3s001.com

下式要求：

$$h_V \leqslant H-(h_C+h_P) \qquad (18.2.22)$$

当计算的h_V不能满足（18.2.22）式之要求时，应增加浓缩机的面积。

c 浓缩机的直径计算：

$$D=\sqrt{\frac{4A}{\pi}}=1.13\sqrt{A} \qquad (18.2.23)$$

式中 D—— 浓缩机直径，m；

A—— 浓缩机横断面面积，m^2。

18.2.3 高效浓缩机

18.2.3.1 高效浓缩机的工作原理

从（18.2.1）和（18.2.18）式可知，增大料浆中固体颗粒的粒度和浓缩机的沉降面积可以提高浓缩机的处理能力。在浓缩机中添加絮凝剂使微细颗粒凝聚成团，即可增大沉降颗粒的粒度，在普通浓缩机内放入倾斜板，就可增加沉降面积，缩短颗粒的沉降距离，提高浓缩效率。高效浓缩机和加倾斜板的浓缩机正是从上述两个方面显示了其突出的优点。试验与工业生产表明，在处理能力相同的情况下，高效浓缩机的直径仅为普通浓缩机直径的三分之二到二分之一，占地面积约为普通浓缩机的九分之一到四分之一，而单位面积的处理能力却可以提高几倍至几十倍。

18.2.3.2 高效浓缩机的结构

高效浓缩机的槽体、耙架及传动部分的结构与普通浓缩机大致相同。其浓缩效率高的主要原因在于有一个特殊的给矿筒。国外常用的高效浓缩机主要有三种：即艾姆科（Eimco-BSP）型、道尔-奥利弗（Dorr-Oliver）型和恩维罗（Enviro-Cldar）型。艾姆科高效浓缩机的给矿筒结构如图18.2.9所示。给矿筒被分隔成三段竖直的机械搅拌室，并与浓缩机的中心竖轴同心。矿浆给入排气系统，带入的空气被排出，然后通过给矿管进入混合室，与絮凝剂充分混合后，再经混合室下部呈放射状分布的给矿管直

地信网论坛
bbs.3s001.com

接给到沉砂层的中、上部。液体经沉砂层的上层过滤以后上升成为溢流，絮团则留在沉砂层中进入底流。

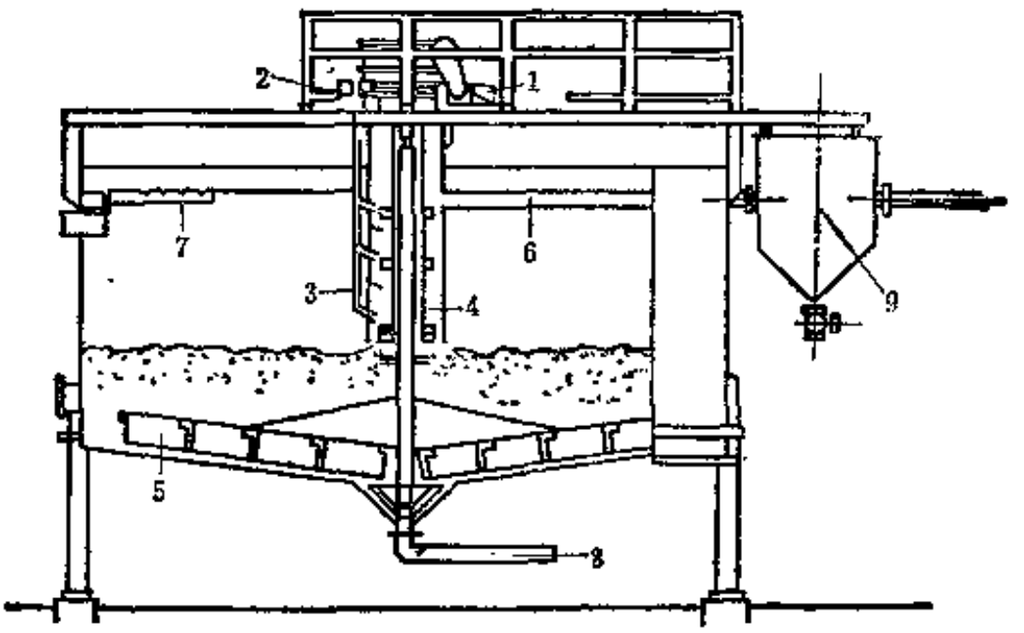


图 18.2.9 艾姆科高效浓缩机结构图

1—耙传动装置；2—混合器传动装置；3—絮凝剂给料管；4—给料筒；5—耙臂；6—给料管；7—溢流槽；8—排料管；9—排气系统

道尔-奥利弗高效浓缩机的结构如图18.2.10(*a*)所示。该设备有一特殊结构的给矿筒，如图18.2.10(*b*)所示。送进浓缩机的矿浆被分成两股，分别给到给矿筒的上部和下部的环形板上，两者流向相反，使得由给矿造成的剪切力最小。当一定浓度的絮凝剂从给矿筒中部给入后可与矿浆均匀混合，形成的絮团便从剪切力最小的区域较平缓地流到浓缩机内沉降。

恩维罗型高效浓缩机的结构如图18.2.11所示。其中心有一个倒锥形的反应筒，矿浆沿给矿管从反应筒中心的循环筒之下部往上，经循环筒的上部进入反应筒，受旋转叶轮搅拌，与絮凝剂充分地混合后，再从反应筒底部进入沉砂层中。溶液穿过沉砂层的上部，向上运动形成溢流，进入溢流堰。该机具有放射状的或周边式的溢流槽。

18.2.3.3 高效浓缩机的工业应用

目前国外使用的高效浓缩机直径已达40多米。在美国、加拿

地信网论坛
bbs.3s001.com

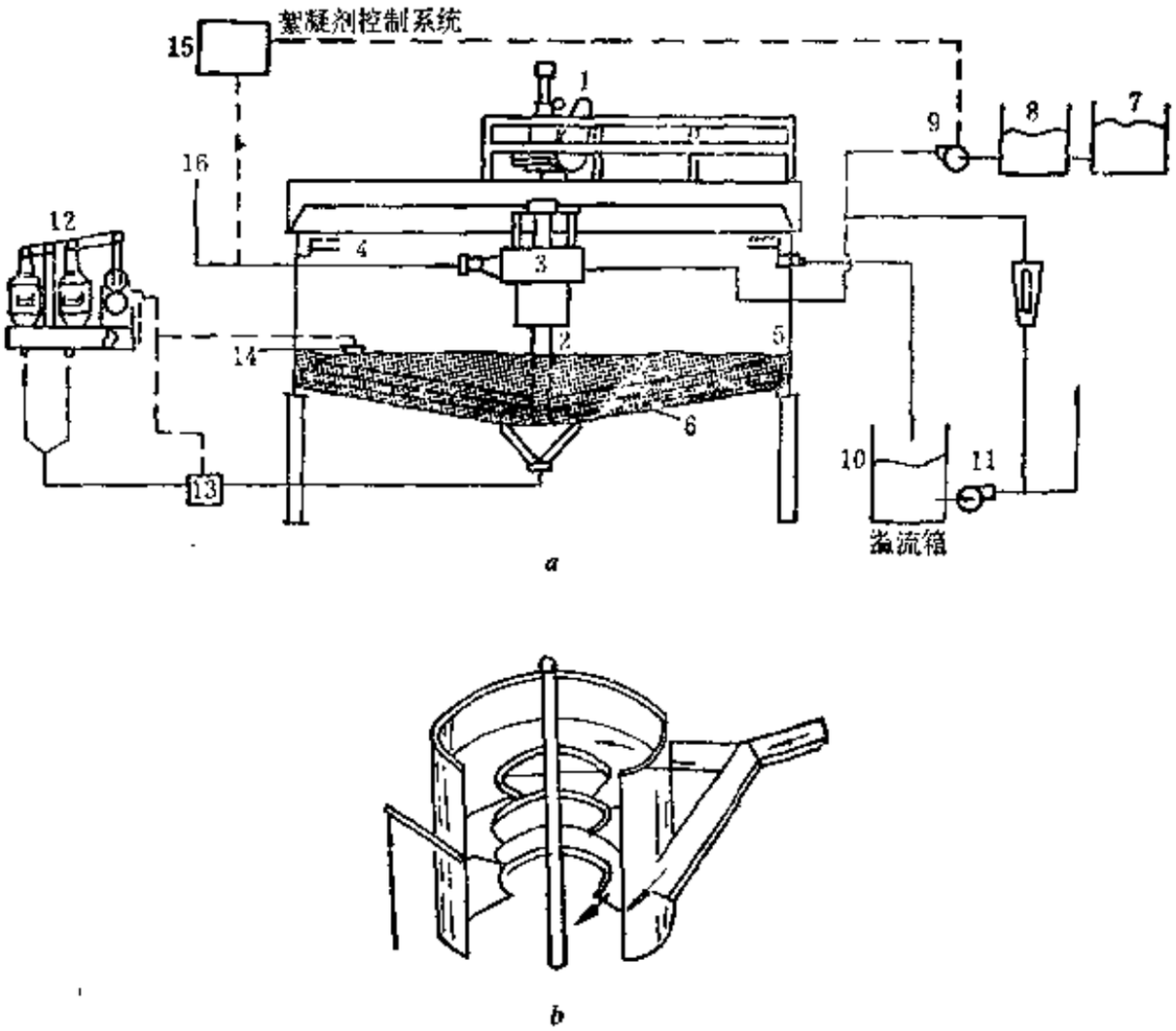


图 18.2.10 道尔-奥利弗高效浓缩机结构示意图

a—结构示意图；b—给矿筒截面图

1—传动装置；2—竖轴；3—给矿筒；4—溢流槽；5—槽体；6—耙臂；7—絮凝液搅拌槽；8—絮凝液贮槽；9—絮凝液泵；10—溢流箱；11—溢流泵；12—底流泵；13—浓度计；14—浓相界面传感器；15—絮凝剂控制系统；16—给矿管

大和澳大利亚的铁矿（精矿和尾矿）、选煤（主要是尾煤）、铀矿（酸性矿坑水和逆流洗涤），磷酸盐、发电厂SO_2洗涤渣及有色金属工业中广泛使用。其主要工业指标列于表18.2.9。

由表18.2.9可知，使用高效浓缩机处理单位重量的固体所需的面积大大低于普通浓缩机。因此，采用高效浓缩机可节省投资，减少占地面积。所增加的絮凝剂和控制系统的费用，可以从节省的基建费中得到补偿。例如，在水冶工厂，由于自动控制装

地信网论坛
bbs.3s001.com

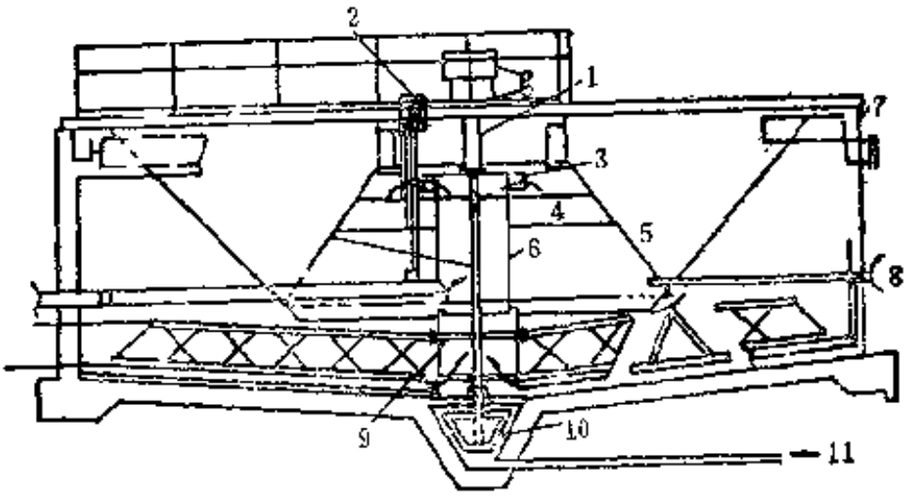


图 18.2.11 恩维罗高效浓缩机

1—给料管；2—加药管；3—叶轮；4—缓冲器；5—反应筒；6—稽环筒；7—溢流出口；8—取样管；9—转鼓；10—锥形刮料板；11—排矿管

表 18.2.9 高效浓缩机的应用指标

序号	物料名称	矿浆浓度(重量),%		单位定额
		进料	底流	$m^2/(t \cdot d^{-1})$
1	铜精矿	15～30	50～75	0.02～0.06
2	铜尾矿	10～30	45～65	0.04～0.10
3	铁精矿	15～25	50～65	0.02～0.10
4	铁尾矿	10～20	40～60	0.10～0.60
5	磷酸盐	1～5	10～16	0.10～0.29
6	氢氧化镁	3～10	15～30	0.51～2.09
7	煤泥	0.5～0.6	20～40	0.05～0.15
8	金氰化浸出渣	10～25	50～65	0.05～0.10
9	银氰化浸出渣	10～25	50～60	0.05～0.13
10	苏打细矿泥	1～2	10～20	0.31～0.62
11	铀矿酸性渣	15～25	40～60	0.02～0.05
12	铀矿碱性渣	15～25	40～60	0.03～0.08
13	铀矿中性渣	15～25	40～60	0.03～0.07
14	铀-铵沉淀	1～2	10～25	0.51～2.04

地信网论坛
bbs.3s001.com

置使得底流浓度稳定，而使洗涤作业回收率提高所得的收益，两年时间就弥补了设置自动化设施的投资。

我国矿山工业近年来也开展了对高效浓缩机的研制工作。在工业试验中采用小直径的GX-3.6高效浓缩机处理铁矿选矿的尾矿，已取得了较好的效果。试验结果表明，当给矿浓度为12.48%的情况下，加凝聚剂与否，浓缩机底流浓度分别为26.71%和44.45%，溢流中悬浮物含量分别为268.89毫克/升和266.61毫克/升。单位面积的处理能力比普通浓缩机高5倍，达到了国外同类设备的水平。采用高效浓缩机处理选矿厂尾矿，可实现尾矿高浓度输送，节约能源，增加回水利用率，减少环境污染，其社会效益和经济效益是显著的。但是，目前尚无对任何料浆都具有高效浓缩作用的设备。因此，现在的高效浓缩机仍不能完全取代所有的普通浓缩机。这是因为絮凝剂并非在任何情况下都是适用的。例如，当后续作业不允许使用絮凝剂或添加絮凝剂在经济上根本不合算时，是不宜采用的。此外，当料浆的压缩性很差，或工艺过程要求浓缩机有较大的储浆能力而兼起缓冲作用，以及对沉砂浓度要求很高时，也不宜采用高效浓缩机。

18.2.3.4 高效浓缩机的自动控制

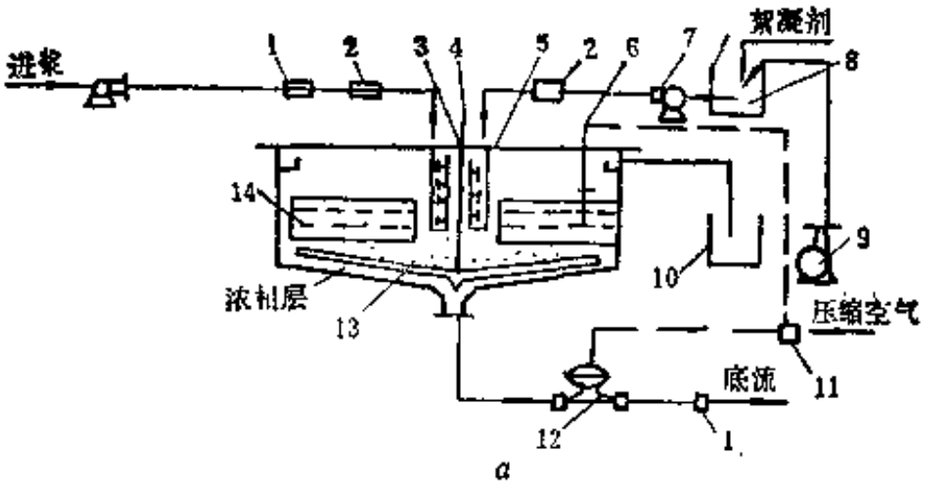
浓缩机自动控制可以提高浓缩效率，确保获得浓度较高的底流及合乎要求的溢流，并保持底流均匀排出。高效浓缩机的自动控制系统图和原理图分别见 图18.2.12(*a*)和(*b*)。

主要控制项目：

（1）絮凝剂加入量。通过对给料浓度和给料流量的测定与计算，使矿浆中固体量与絮凝剂加入量的比例保持恒定，维持矿浆中有足够数量的絮凝剂。改变絮凝剂泵的转数可以控制絮凝剂的加入量。

（2）底流浓度及压缩层的高度。将底流浓度与底流泵的转速相联锁，通过控制底流泵的转数来控制底流浓度。当底流浓度高时，泵的转数加快，扬出量加大，底流浓度由稠变稀；反之，则减少泵的转数，扬出量相应减少，底流浓度变稠。只有当底流

地信网论坛
bbs.3s001.com



a



b

图 18.2.12 高效浓缩机自动控制系统图和原理图

1—浓度计；2—流量计；3—耙子驱动和提升轴；4—混合搅拌器；5—砂浆和絮凝剂混合筒；6—浓相界面传感器；7—可调速絮凝剂泵；8—絮凝剂贮槽；9—溢流液泵；10—溢流液中间槽；11—浓相界面与底流浓度控制联锁流量计；12—底流气动隔膜泵；13—耙子；14—倾斜板

浓度符合要求时，泵的转速才保持不变。压缩区界面高度与底流泵的转数联锁而又与底流流量之间有一定的对应关系，所以底流泵的转数必须同时满足这两个参数的要求。底流泵在上、下限转速之间使底流浓度保持稳定。转速过大容易将浓缩机的压缩区内的物料抽空，造成底流浓度下降；转速过慢，则底流浓度增高，排料不畅易造成排矿管堵塞。底流泵的最佳转速应控制压缩区界面具有最适宜的高度，以便更好地发挥沉积层的作用。

18.2.4 倾斜板浓缩箱

倾斜板浓缩箱是国内外在60年代研制的一种高效率的细粒物

地信网论坛
bbs.3s001.com

料脱水设备，主要用在水处理、化工、冶金、煤炭工业。其槽体小，占地面积小，投资较少，但一般均需往料浆中添加絮凝剂。我国部分选矿厂用它对细粒重选产品脱水。该设备对浮选产品脱水效果较差，倾斜板缝隙易堵塞，往往只起到溜槽的作用。

倾斜板浓缩箱的外壳用薄钢板制成，上箱是一个平行六面体，箱内和料流垂直的方向上装有浓缩板和稳定板，下箱为收集固体物料（沉砂）的方锥形漏斗，如图18.2.13所示。工作时，料浆由给料管沿给料口宽度均匀地给入浓缩板与稳定板之间。溢流经

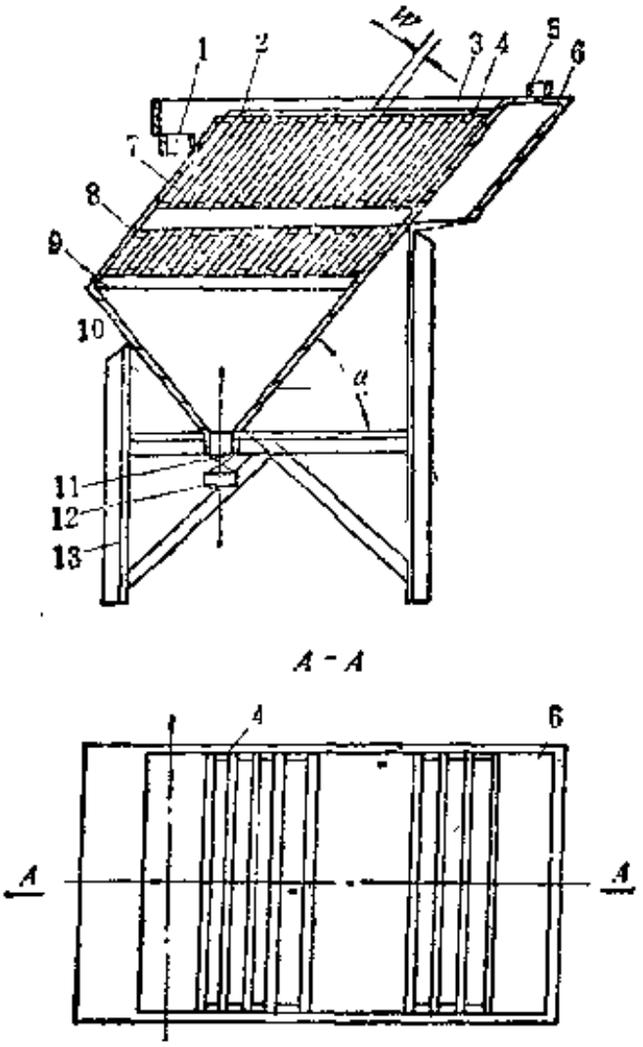


图 18.2.13　倾斜板浓缩箱

1—溢流管；2—压条；3—上箱体部件；4—隔板；5—给矿管；6—盖板；7—浓缩板；8—托架；9—稳定板；10—箱锥底部件；11—排矿管；12—水阀；13—支架

地信网论坛
bbs3s001.com

溢流堰至汇流管排出。沉砂自浓缩板沉积下来并向下滑动，经稳定板沉积到方锥形箱内，从排矿管排出。沉砂的含水量可利用闸阀或不同直径的排矿管来调节。由于箱内装有相距150毫米左右的许多块浓缩板，从而有效地缩短了矿泥沉降时间和距离，大大地增加了有效浓缩面积。因此，倾斜板浓缩箱的单位面积处理能力及浓缩效率较其他浓缩设备，例如普通浓缩机和分泥斗等高得多。其有效沉降面积可按下式计算：

$$A=\sum_{i=1}^{n} b_i L_i Z_i \cos\alpha \qquad (18.2.24)$$

式中 A——有效沉降面积，m^2；

b——浓缩板宽度，m；

L——浓缩板长度，m；

Z——浓缩板数量，(块)；

α——浓缩板倾斜角，度。

倾斜板浓缩箱按溢流计的生产能力为：

$$Q=0.7\cdot v_0\cdot A \qquad (18.2.25)$$

式中 Q——溢流溶液体积，m^3/s；

v_0——溢流中最大粒子自由沉降速度，m/s。

倾斜板浓缩箱的处理能力与倾斜板两板的间距、倾角、板的长度、料浆上升速度、材质以及待处理物料的性质和操作等因素有关，必须通过试验取得最佳参数。

（1）两倾斜板的间距W，如图18.2.13所示。

板距W对沉降分离效果影响很大，当板距小而生产能力相同时，沉降分离设备的高度就较小。板距小，在同一水平投影面积上，可容纳较多数量的倾斜板，而有利于沉降分离。但是板距太小倾斜板上的表面摩擦就会明显地阻碍已沉落在板上的物料下滑。此外，由于液流的紊流的影响导致分离效果降低。所以W要大于10毫米。给料浓度高时，或物料细而粘时，板距应取大一些。如日本处理煤泥时板距为50毫米。我国白银选冶厂采用4000×4000毫米倾斜板式分离箱，其板距采用80毫米。

地信网论坛
bbs.3s001.com

（2）倾斜板的倾角。倾斜板倾斜的角度α是影响分离效果的重要参数。α值越小，物料沉降路程越短。α在某一范围内时，减小α对加速分离是有利的。但倾斜角减小到超过某一范围时，反而会使待分离的粒子的相对沉降速度变小。并且α角过小，还将不利于已沉落在倾斜板面的物料下滑，影响轻重物料的对流。因此，α角应满足：1）物料沉降距离尽可能短；2）已沉落在倾斜板面上的物料，能够顺利地下滑；3）总溢流的速度分布（图18.2.14）最有利。

（3）倾斜板的材质。倾斜板浓缩设备的推广应用，主要关键在于倾斜板的材料加工。材质要求：1）有足够的强度，质轻、价廉、无毒害；2）表面光滑；3）有疏水性；4）具有化学稳定性。常用的材料有普通厚玻璃板、钢化玻璃板、硬质塑料板、赛璐珞板、钢板涂环氧树脂、本质板、纸质板、石棉水泥板、塑料贴面板、防水木屑板、搪瓷板以及玻璃钢等。

（4）倾斜板的有效长度。粒子在倾斜板之间沉降速度分析如图18.2.14所示。粒子d_p由A点沉落到B点，即可认为分离工

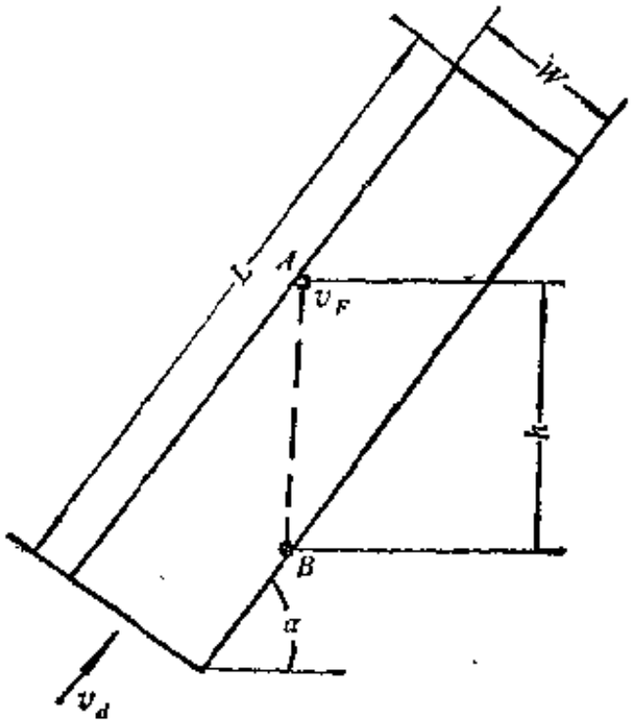


图 18.2.14 沉降速度分析图

地信网论坛
bbs.3s001.com

作完成。所以倾斜板的长度应满足：

$$L_{min}=v_d \cdot t_F$$

又因该粒子的沉降距离为 h，所以：

$$L_{min}=\frac{v_d \cdot W}{v \cdot \cos a} \qquad (18.2.26)$$

式中 L_{min}——倾斜板的有效长度，mm，考虑到紊流的影响，倾斜板的实长等于有效长度的1.3倍；

v_d——上升料流的速度，mm/s；由试验确定；

v——待浓缩物料粒子的相对沉降速度，mm/s，由沉降试验确定。当无条件进行试验时，也可用斯托克斯公式（18.2.2）近似计算；

α——倾斜板之倾角，度；

W——倾斜板之间距，mm；

t_F——待分离物料 d_p 粒子的相对沉降时间，s。

（5）倾斜板浓缩箱中上升料流速度的确定。倾斜浓缩箱正常工作时，在倾板之间向上运动的液流速度 v_d 不能超过应沉降物料颗粒的沉降速度，否则，待沉降的粒子就不会沉落。总液流是由流动液流和对流液流组成。液流速度合成分布图如图 18.2.15 所示。

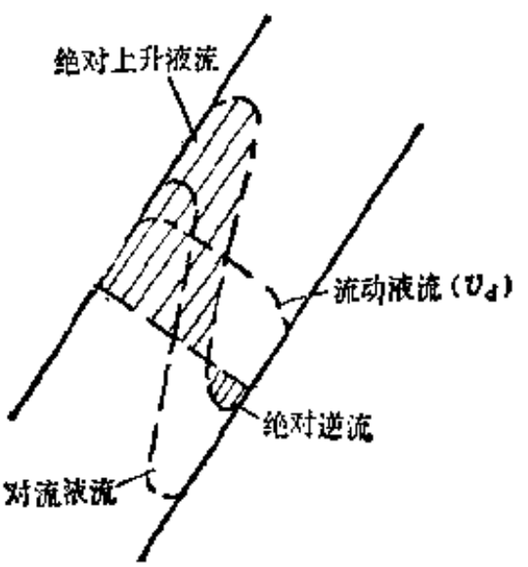


图 18.2.15 液流速度合成分布图

地信网论坛
bbs.3s001.com

如果流动速度v_d太大，则绝对逆流（下向流）的宽度和速度就小，以致对最上面的粒子失去作用，使大于某一粒级的物料被卷入绝对上升液流中去。该流动液流速度的最高值v_D就是倾斜板沉降分离设备用于浓缩和分级的分界限。

v_D可用流速仪（图18.2.16）测定。测量时，不断增加料浆的流量并经测量仪测出颗粒的粒度，直到出现沉降分离器所希望的分离粒度值时为止。根据溢流量、试验时间和横截面面积，就可以计算出最大流动液流速度v_D。用于浓缩时采用的v_d应小于v_D；用于分级时，采用接近或稍大于v_D的数值。v_D实际上是倾斜角α的函数。所以，可以测得α与v_D的关系曲线。

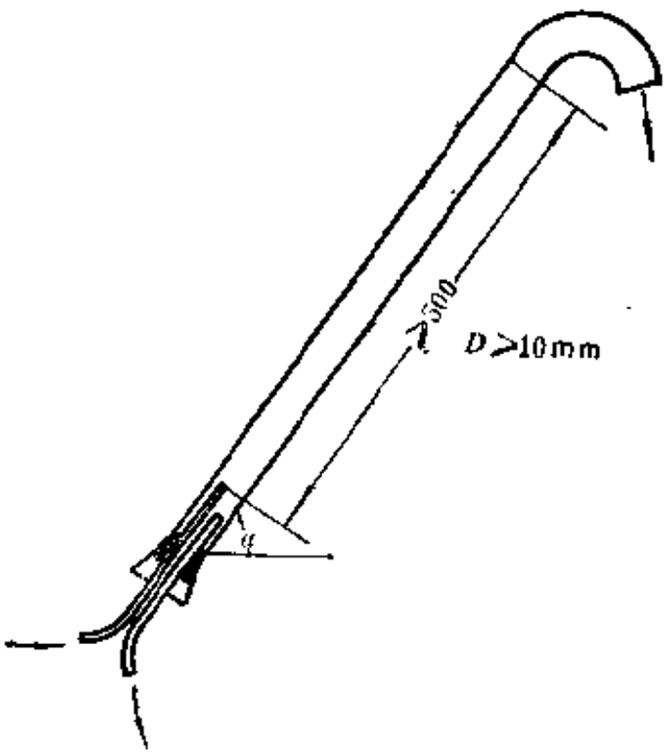


图 18.2.16 流速测定仪

（6）需要的有效浓缩面积计算：

1）按工业试验或模拟试验的结果，可用（18.2.15）式或（18.2.17）式计算。

2）当无条件进行工业或模拟试验时，可按经验（18.2.27）式计算：

$$A=\frac{K\cdot W_1}{v\cdot K_1} \qquad (18.2.27)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 A——需用的倾斜板浓缩箱有效面积，m^2；

K——安全系数，取1.05～1.20；

W_f——浓缩箱的溢出水量，m^3/s；

v——精矿的沉降速度，m/s；

K_1——倾斜板浓缩箱上升水流速度系数，即加倾斜板后处理量提高的倍数。K_1可按下式计算

$$K_1=0.0181\frac{(100b)^{0.29}}{n(100L)^{0.38}}(1+mL\cos\alpha) \tag{18.2.28}$$

式中 b——倾斜板之间垂直距离，m；

L——倾斜板之计算长度，m；当板之实长 $L>\frac{1}{\cos\alpha}$时，取 $L=\frac{1}{\cos\alpha}$；当 $L\leqslant\frac{1}{\cos\alpha}$时，取$L=l$；

n——板面粗糙系数，一般为0.012～0.02，当板面有沉积物时，可取$n=0.016$；

表 18.2.10 倾斜板浓缩箱技术规格及操作参数

规格 mm	生产能力 kg/h	名义沉降面积 m^2	给矿浓度 %	溢流浓度 %	沉砂浓度 %	外形尺寸 长×宽×高 mm
1800×1800	600～3000	3.24	4～17	<0.25	36	
900×900	150～200	0.81	<30	微量	32	
1400×1400	200～400		15～30	微量	65	2442×1862×2250

规格 mm	倾斜板			浓缩板		稳定板	
	倾角度	间距 mm	材质	长×宽×厚 mm	数量 块	长×宽×厚 mm	数量 块
1800×1800	55	25～30	普通玻璃、硬质塑料、薄木板	480×1800×3～6	19～63	240×1800×3～6	49～63
900×900	45～50	15～20		480×1900×3～6	34～49	200×900×3～6	34～49
1400×1400							

地信网论坛
bbs.3s001.com

m——浓缩箱单位水平面积内倾斜板块数，块/m²；

$$m=\frac{0.866}{\delta+b} \tag{18.2.29}$$

δ——倾斜板厚度，m；

α——倾斜板的倾角，度。

根据所需的沉降面积并参照倾斜浓缩箱结构参数测试结果，选择其合理的结构形式。常见的倾斜板浓缩箱的技术规格和操作参数列于表18.2.10。

18.2.5 浓　缩　斗

浓缩斗为一倒立的圆锥体，如图18.2.17所示。机体上部中心装有给矿筒，在其切线方向与给矿管相连。筒内焊有辐射状格板，防止矿浆旋转。机体上部装有环形溢流槽，机体下部与一锥底相连，锥底两侧装有沉砂排矿管及高压水管。锥底下部设有排砂阀门供事故或检修时排砂、排水用。锥体角度一般为55°或60°，当给矿含泥时一般用55°。锥角小于55°时，在沉降面积相同的情况下机体高度将增加。

浓缩斗在选矿中主要用途是：（1）磨矿前原矿浆的浓缩脱水。（2）摇床作业前的矿浆分级箱溢流的浓缩和脱泥。重选、浮选、磁选产品或煤泥脱水。（3）离心机、皮带溜槽等选别作业给矿前的浓缩脱水。浓缩斗的沉砂浓度可达60～65%。

目前生产中使用的浓缩斗规格有多种。但常用的是ϕ2000和ϕ3000毫米两种。其最大给料粒度为2～0毫米。用于脱泥时其分离粒度一般为0.074毫米或0.037毫米。

浓缩斗结构简单，不耗动力，在一定程度上能起到贮矿、浓缩和脱泥的作用。但其沉淀面积小，脱泥效率较低，配置高差损失较大。一般只适于选矿产品的初步脱水，其溢流送往下步作业有时需再次脱水。

浓缩斗用作脱水设备时，其面积可按给矿中固体量计算。处理1.5～0毫米粒级时，生产能力为48～52吨/(米²·日)；处理

地信网论坛
bbs.3s001.com

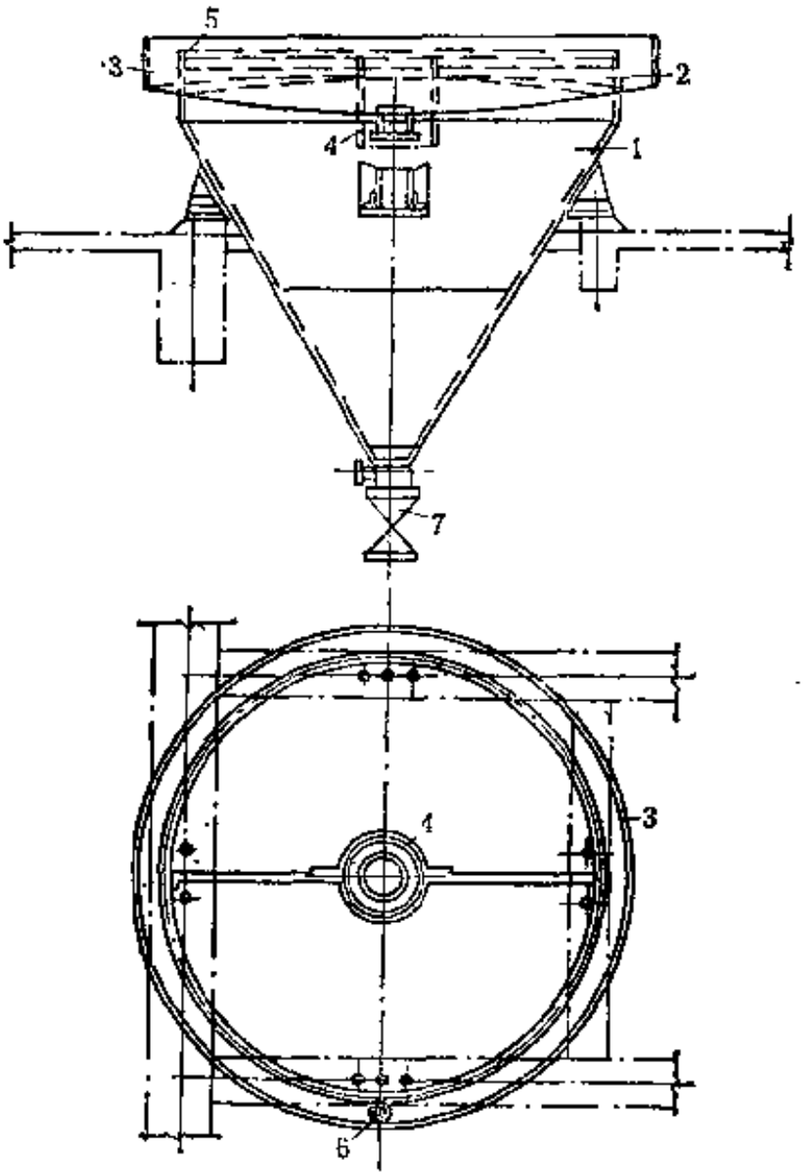


图 18.2.17 浓缩斗结构图

1—圆锥槽体；2—圆柱槽体；3—溢流槽；4—给料管；5—溢流堰；6—溢流管；7—沉砂排矿阀

0.074～0毫米粒级时，生产能力为4.5～6吨/(米^2·日)。

浓缩斗用于脱泥时，上升液流速度v_a应小于临界颗粒的沉降末速v_0，即：

$$v_a=\frac{W_0}{K\cdot A}\leqslant v_0$$

$$A\geqslant\frac{W_0}{K\cdot v_0} \qquad (18.2.30)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.2.11 浓缩斗处理金属矿石生产指标

作业名称	脱泥效率 %	分离粒度 μm	-74μm 含量，%		
			给矿	沉砂	溢流
二段摇床给矿浓缩斗	55.2	74	41.5	24.9	95.9
处理溢流的浓缩斗	26.9	74	43.1	35.5	91.9
原生矿泥浓缩斗	49.4	74	48.1	31.8	99.0

作业名称	溢流浓度 %	溢流量 m^3/d	给矿量 t/d	浓缩斗直径 m	单位面积处理量 $t/(m^2 \cdot d)$
二段摇床给矿浓缩斗	8.6	430	157.7	2	52.2
处理溢流的浓缩斗	10.8	415	331	2	105
原生矿泥浓缩斗	3.3	740	100	3	14.3

表 18.2.12 浓缩斗技术规格

锥底直径 mm	工作面积 m^2	外形尺寸 mm		给矿粒度 mm	给矿管直径 mm
		直径	高度		
1000	0.6	1485	1580	-2.0	
1500	1.45	2160	2030	-2.0	
2000	2.0	2650	2650	-2.0	φ150
2500	4.9	3000	2800	-2.0	φ150
3000	7.0	3500	3550	-2.0	φ150

锥底直径 mm	给矿筒直径 mm	沉砂管直径 mm	设备重量 kg	备注
1000		25	270	
1500		30		
2000	300	50		
2500		50～68	850	
3000	552	68	1000	

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 W_0——溢流量，m^3/s；

A——所需要的浓缩斗面积，m^2；

K——面积系数，一般为0.65～0.75，直径小的取低值；

v_0——溢流中允许带走的最大颗粒的自由沉降末速，m/s，由试验实测，或用斯托克斯公式近似计算。

浓缩斗所需面积与直径的关系：

$$D=1.13\sqrt{A} \tag{18.2.31}$$

式中 D——浓缩斗直径，m。

浓缩斗处理金属矿石的生产指标列于表18.2.11，常见浓缩斗的技术规格列于表18.2.12。

18.2.6 磁力脱水槽及磁选机

18.2.6.1 磁力脱水槽

磁力脱水槽又称为磁洗槽，是在重力和磁力的作用下使磁性矿粒与非磁性矿粒分离的磁选设备，用于细粒磁性铁矿的分选或脱水。该脱水槽的特点是在槽内设有磁系，有呈塔形或圆柱形的底部磁系和多边形的顶部磁系；按磁源可分为电磁磁系和永久磁系。使用永久磁系的脱水槽不用电力，设备较简单，工作可靠，维修容易，已得到广泛应用。底部塔形磁系在槽内形成的磁场强度较高，处理能力较高，应用较广，尤其适用于大型磁力脱水槽。磁力脱水槽用作磁选精矿的脱水设备时，其台数计算公式如下：

$$n=\frac{Q}{3.6\cdot A\cdot v} \tag{18.2.32}$$

式中 n——选用台数，台；

Q——按生产流程量计算的溢流量，m^3/h；

A——选用的脱水槽面积，m^2/台；

v——溢流速度，mm/s，对于磁铁精矿给矿粒度小于0.15mm时，$v=5$mm/s；给矿粒度小于0.074mm时，$v=2$mm/s。

磁力脱水槽结构如图18.2.18所示；技术规格列于表18.2.13。

地信网论坛
bbs.3s001.com

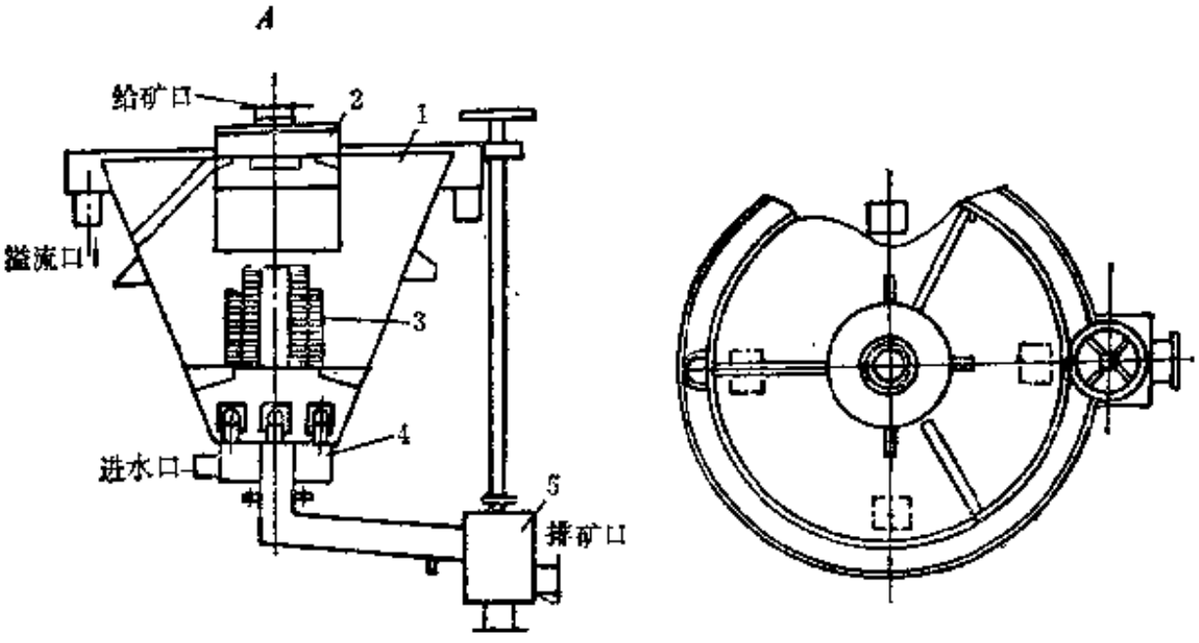


图 18.2.18 CS型永磁脱水槽外形图

1—槽体；2—拢矿筒；3—磁系；4—给水管；5—排矿箱

表 18.2.13 磁力脱水槽的规格

直径，mm	外形尺寸，mm			槽体锥角
	溢流槽直径	槽体深度	槽底直径	
1600	1800	1400	600	39°14′
2000	2300	1400	600	50°16′
2200	2500	1600	700	50°16′
2500	3000	1800	800	50°30′
3000	3000	1900	850	59°2′

表 18.2.14 永磁湿式磁选机技术性能及规格

型号	规格 径×长 mm	槽体 型式	给矿粒度 mm	生产能力 t/h	磁场强度,mT (Oe)	外形尺寸 长×宽×高 mm	总重 t
CYT—750×1800	φ750×1800	半逆流	2～0 5～0	40～60 70～80	160 (1600)	2995×1473×1390	2
CYT—1050×2400	φ1050×2400	半逆流	0.42～0	60～70	160 (1600)		
CYT—1050—2400	φ1050×2400	半逆流	0.15～0	～40	170 (1700)		

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.2.6.2 磁选机

处理磁铁矿石的选矿厂，在精矿过滤之前，常用弱磁性磁选机代替浓缩机，对较稀的细粒磁铁精矿脱水。这种脱水方法所用设备尺寸小，配置和管理方便，基建投资少。磁选脱水后精矿浓度可达50%左右。用于磁性精矿脱水的磁选机台数计算与用作选别作业的设备计算方法相同，均按设备性能资料选取。用于磁性物料脱水的永磁湿式磁选机技术性能及规格列于表18.2.14。

表 18.2.15 水力旋流器用

旋流器直径，mm	200	125	300	500
选矿厂名称	育苏子铅矿	云锡新冠	赤里万	基洛夫
旋流器用途	硫精矿浓缩	中矿脱水	脱水	过滤前脱水
矿石名称	方铅矿	砂锡矿	铅矿	磷灰石矿
旋流器工作台数，台			1	2
锥体角度，度	10	15		
给矿口形状和面积，m^2		15×30		
给矿口当量直径，m	75	23		
溢流管直径，mm		32	50	
沉砂嘴直径，mm	7～13	18(±2)		40～44
进矿口压力，kPa		147.1 (±4.9)	274.6～343.2	9.81～117.7
给矿：容积生产能力，m^3/min		100(±3.5)		650～900
固体生产能力，t/h	0.653	1.25 (±0.08)		30～40
固体含量，%	6.4	10(±1)	29.1	50～53
−74μm粒级含量，%	87.2			65
溢流：容积生产能力，L/min				350～500
固体生产能力，t/h				12～16
按固体计的作业率，%			32.8	
固体含量，%	2		13.4	40
−74μm粒级含量，%	100	−19μm占95%	40	90
给矿加压方式		砂泵	砂泵	
沉砂浓度，%	73		68.5	

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.2.7 水力旋流器

水力旋流器是一种利用离心力进行分级和选别的设备。在选矿厂中除了常用于各种物料的分级作业之外，还可作为离心选别设备，如重介质旋流器等。有时也用来对矿浆脱泥、脱水以及浮选前的脱药、精矿浓缩及回水设施等。当原有浓缩机面积不足时，可辅以水力旋流器作第一段脱水设备。水力旋流器结构简单，

于固液分离实例及工作参数

300	500	500	350	300	250	136
玛格马	奥列涅戈斯克	奥列涅戈斯克	(苏)五一铁矿	佐治图申	我国某铁矿	我国某铜矿
浓缩铜精矿	脱水铁矿摇床尾矿	脱水跳汰尾矿(铁)	脱水铁矿尾矿	选矿与浓缩铅一锌矿	精矿脱水磁铁精矿	脱水硫精矿
1	1	1	2	1	8	3
20					15	
31.7				25×65		
63.5	150	150		45.5		
152	150	150		70		
13	40	50	24	25		
58.84	78.45～9.81	58.84	147.1～196.1	196.1		
700	3840		2333～2500	740		
14.5	12.5～14.2			9.6		
27.6	5～6	10	13.1	23		
86.2	40					
660	3751			4.8		
11.0	5.5～6.2					
76～83			40～42			
23	1.7	2.5	7.0			
94.1	85		98.5			
砂泵	砂泵	砂泵	砂泵	砂泵		
71.3	73	50～70	62.4		70%以上	

地信网论坛
bbs.3s001.com

易制造，设备费低，生产能力大，占地面积小。设备本身无运动部件，操作维护简单。但由于它需要压力给矿，给矿压力还必须保持稳定，故采用动压给矿时，动力消耗较大。

我国于本世纪50年代开始在选矿厂使用水力旋流器。现在国内外用水力旋流器作为浓缩脱水设备的实例列于表18.2.15。

水力旋流器的结构、选用计算及操作要求可参阅本手册分级设备的有关内容。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3 过 滤

18.3.1 过滤的基本原理和计算

18.3.1.1 过滤概述

过滤是从流体中分离固体颗粒的过程，基本原理是：将液固两相的混合物给到多孔隙的介质（即过滤介质，一般用过滤布等）的表面，在压力差的作用下，液体通过介质，而固体颗粒残留于介质上，称为滤饼；液体通过滤饼层和介质层变为清的滤液。以滤液为产品的过滤机一般比以获得滤饼为产品的过滤机容易操作。对于经过初步脱水的细粒物料进一步脱水，目前最常用的方法就是过滤。与其他分离方法相比，过滤消耗能量是较低的。

A 过滤方法

工业上应用过滤的方法，按照过滤动力的不同，可分为四大类型。

（1）重力过滤。该类过滤属于深床过滤（即厚滤层），其特点是固体颗粒的沉积发生在较厚的粒状介质床层内部。悬浮液中的颗粒直径小于床层孔道直径，当颗粒随流体在床层内的曲折孔道中穿过时，便粘附在过滤介质上。这种过滤适用于悬浮液中颗粒甚小而且含量甚微的场合。例如自来水厂里用石英砂层作为过滤介质来实现水的净化。

（2）真空过滤。利用真空泵造成过滤介质两侧有一定的压力差，在此推动力作用下，悬浮液的液体通过滤布，而固体颗粒呈饼层状沉积在滤布的上游一侧。该法一般适于处理液固比较小而固体颗粒较细的悬浮液。

（3）加压过滤。利用高压空气785千帕（8公斤/厘米^2）或高压水883～1569千帕（9～16公斤/厘米^2）充入装在滤室一侧

地信网论坛
bbs.3s001.com

或两侧的隔膜，借助于隔膜膨胀而均匀压榨滤饼，可以得到含水很低的滤饼。一般适于处理细粒粘而难过滤的物料。近几年又发展了加压—真空组合式过滤。

（4）离心过滤。利用离心力作用，使悬浮液中的液体被甩出，而颗粒被截留在滤布表面，离心力场可以提供比重力场更强的过滤推动力，分离速度高，效果好。适于处理含有微小固体颗粒的料浆。

B 过滤介质。常用过滤介质的种类很多，主要的可分为三类：

（1）粒状介质。如细砂、石砾、玻璃渣、木炭、骨炭、酸性白垩土等。此类介质，颗粒坚硬，可以堆积成层，颗粒间的细微孔道足以将悬浮固体截留，而只允许液体通过。例如城市和工厂给水设备中的砂滤池就是应用这类介质构成的。

（2）织物介质（或称滤布介质）。是用天然的或人造的纤维编织而成的滤布。所用材料有棉花、麻、羊毛以及各种人造纤维与金属丝等。此类介质应用最广，其中尤以棉织帆布、尼龙类人造纤维、毛织呢绒等在选矿厂使用最普遍。

（3）多孔陶瓷或塑料介质。试验室中的砂滤器及饮水用的特制滤缸就用此类介质。

过滤的目的在于得到含水较低的滤饼或不含固体的滤液。按性质差异，滤饼可分为两类，即不可压缩滤饼与可压缩的滤饼。前者由不变形的颗粒所组成，矿物晶体就属于此类。后者由无定形的颗粒所组成，主要的为胶体滤渣，如氢氧化铅以及各种水化沉淀物等。不可压缩的滤渣积聚在过滤介质上形成滤饼时，各个颗粒的相互排列位置，粒子间的孔道，均不会因为压力的增加而发生较大的变化。但在过滤可压缩性滤渣时，粒子与粒子间的孔道随压力的增加而显著地变小，因此对滤液的流动发生阻碍作用。

选矿厂的精矿滤饼如不含有具备特殊回收价值的成分时，一般很少洗涤。但在水冶（如电解铜、锰等）厂里，滤饼要经过洗

地信网论坛
bbs.3s001.com

涤，以便充分回收滤液，并使滤饼更加纯洁，既可保证产品质量又可提高对有用成份的回收率。

对于可压缩的滤饼，当过滤压强增大时颗粒间的孔道变窄，有时也因颗粒过于细密而将通道堵塞。遇此情况可将一些粒度较粗的物料混入悬浮液中，改善料浆性质，形成较疏松的滤饼，提高过滤效率。这些混入的物质可以是同成份的物料，也可以是其他物料或药剂，统称为助滤剂。

18.3.1.2 过滤理论

对于液固两相构成的流态物质通过有孔隙的物质进行过滤的理论研究始于19世纪后期。工业生产中的真空过滤的理论研究仅仅在本世纪初叶才开始，随着工业生产和技术的发展，精确地计算和选择过滤设备的要求更加迫切。近年来过滤理论的研究有一些发展，但是发展仍是很慢的。

过滤理论的研究所涉及的问题比较复杂。例如，仅就过滤的阻力而言，不仅与过滤介质（滤布）的编织方法，孔隙形状、大小和密度、滤布的表面糙度、膨胀率和破损率等诸因素有关，而且在很大程度上也取决于滤布表面滤饼层的阻力大小，而这种阻力又取决于料浆的性质、滤液的温度、滤饼的疏松程度及内部结构情况，诸如物料颗粒的尺寸、形状、在饼内的相互位置、滤饼的孔隙率、孔径和孔道的弯曲情况等等因素。可是，决定滤饼特性的绝大部分因素又同施于过滤机的压力有关。因而，过滤阻力的测算是很难找到确切的理论公式的。为了便于研究问题，人们在进行过滤理论研究时，不得不借助于有关过滤阻力的变化与其他因素之关系的某些假定条件。这样就使得过滤公式极其复杂，而且其实用价值也就大大降低了。因而，过滤理论现在还不能供给人们以更准确地计算过滤设备的全部资料。然而，却可以帮助说明过滤过程中存在的某些普遍情况和影响因素。到目前为止，对于工业应用的真空过滤机的预先计算和合理操作起着决定意义的、仍是由正确的模拟试验和实际生产所取得的经验数据。

无论过滤介质的种类和过滤的推动力来源如何，过滤机的生

地信网论坛
bbs.3s001.com

产能力决定于滤液通过滤饼和过滤介质的速度。通过多次的过滤实验可以确定，当被过滤的液体经过滤渣的孔道和过滤介质流动时，流体处于层流状态。据此，按照液体在毛细管道中层流运动的定律可以推导出过滤速度表达式（即单位时间内通过1米^{2}过滤面积的滤液流量，米^3/(米^2·秒)），但由于滤饼和滤布中的毛细管的数量、半径和弯曲程度均难测定而无实用价值。后来进一步分析，并由实验证明，在一定的操作条件下，上述毛细管的有关参数、过滤面积和液体的粘度等均为常数。这时的过滤速度仅随所施加的推动力和滤饼的厚度而变化。在此基础上，并根据推动力和阻力的概念，提出了对过滤速度的新的认识，即过滤速度与过滤的推力成正比，与过滤的阻力成反比。此外，把过滤过程中单位时间内获得的滤液体积（米^3/秒）称为过滤速率。经过合理的假定和推导后，可以建立过滤速率与各有关因素的一般关系式为：

$$\frac{dV}{dt}=\frac{pA^2}{\mu\rho W(V+V_0)} \qquad (18.3.1)$$

式中 V——实际的滤液体积，m^3；

p——毛细管两端的压力降，可用于滤饼前的真空计压力代之，Pa；

t——过滤时间，s；

μ——液体的粘度，Pa·s；

ρ——不可压缩的滤饼的单位厚度之阻力，即比阻，$(m^2)^{-1}$；

W——单位体积滤液所含的滤饼体积，无因次或m^3/m^3；

A——过滤面积，m^2；

V_0——自开始过滤到滤饼的阻力等于介质的阻力时所获得的滤液体积，称为过滤介质的当量滤液体积，或称为虚拟滤液体积，m^3。

当滤饼可压缩时，其阻力的变化为：

$$\rho=\rho' p^s \qquad (18.3.2)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 S——为滤饼的压缩系数，由试验测定。不可压缩的滤饼的$S=0$；

ρ'——当压力为98.1kPa(1kg/cm²) 时的滤饼比阻，$1/m^2$。

故对可压缩滤饼而言，根据（18.3.1）式及（18.3.2）式可得：

$$\frac{dV}{dt}=\frac{A^2p^{1-s}}{\mu\rho'W(V+V_0)} \qquad (18.3.3)$$

（18.3.3）式称为过滤基本方程式，表示过滤过程中任一瞬间的过滤速率与各有关因素间的关系，是进行过滤计算的基本依据。该式适用于可压缩滤饼及不可压缩滤饼。

应用（18.3.3）式作过滤计算时，还须针对过程进行的具体方式对该式积分。在积分时须将式中的三个独立的变数即表压力p、滤液体积V、和过滤时间t三者中之一维持不变。实际上过滤操作有恒压、恒速以及先恒速后恒压三种方式。选矿厂过滤操作以恒压工作较多，恒速过滤较少见。在过滤开始时，因介质表面尚无滤饼，过滤阻力最小，若骤然加以最大压力，将使微细颗粒冲过介质孔道，致使滤液混浊或堵塞滤孔。

过滤机上进行的过滤都是恒压过滤，现仅就恒压过滤的理论计算予以讨论。

在恒压过滤中，滤饼不断增厚致使过滤阻力不断增加，但是过滤的推动力（压力）是恒定的，因而过滤的速率逐渐变小。因此（18.3.3）式中除V和t是变数外，其他参数均为常数。如果令：

$$k=\frac{1}{\mu\rho'W} \qquad (18.3.4)$$

可得出（18.3.3）式的积分形式为：

$$\int(V+V_0)dV=kA^2p^{1-s}\int dt$$

当过滤条件改变时，则过滤时间由$0\to t_0$；再由$t_0\to t+t_0$。

地信网论坛
bbs.8s001.com

滤液体积由0→V_0、再由V_0→$V+V_0$。

这里所指的过滤时间是指虚拟的过滤时间t_0与实际的过滤时间t之和；滤液体积是指虚拟的滤液体积V_0与实际的滤液体积V之和。于是在上述两个变化的条件下得到的两个积分式：

$$\int_0^{V_0}(V+V_0)\mathrm{d}(V+V_0)=kA^2p^{1-s}\int_0^t\mathrm{d}(t+t_0) \tag{18.3.5}$$

及

$$\int_{V_0}^{V+V_0}(V+V_0)\mathrm{d}(V+V_0)=kA^2p^{1-s}\int_{t_0}^{t+t_0}\mathrm{d}(t+t_0) \tag{18.3.6}$$

积分上二式并令：

$$K=2kp^{1-s} \tag{18.3.7}$$

可得到以下二式：

$$V_0^2=KA^2t_0 \tag{18.3.8}$$

及

$$V^2+2V_0V=KA^2t \tag{18.3.9}$$

由此可得出滤饼形成时间内的过滤方程式：

$$(V+V_0)^2=KA^2(t+t_0) \tag{18.3.10}$$

(18.3.10) 式称为恒压过滤方程式。它表明了恒压过滤时滤液体积与过滤时间的关系为一抛物线方程，如图18.3.1所示。图中曲线的Ob段表示实际的过滤时间t与实际的滤液体积V之间的关系；而O_0O段则表示与介质阻力相对应的虚拟时间t_0与虚拟滤液体积V_0之间的关系。

当过滤介质阻力可以忽略时，即$V_0=0$，$t_0=0$，则(18.3.10)式可简化为：

$$V^2=KA^2t \tag{18.3.11}$$

选矿厂过滤过程中，由于滤饼阻力远远大于介质阻力，故计算时可以只考虑滤饼阻力，而不计算介质阻力。在水处理系统中的过滤过程的计算则正好相反。如令：

地信网论坛
bbs.3s001.com

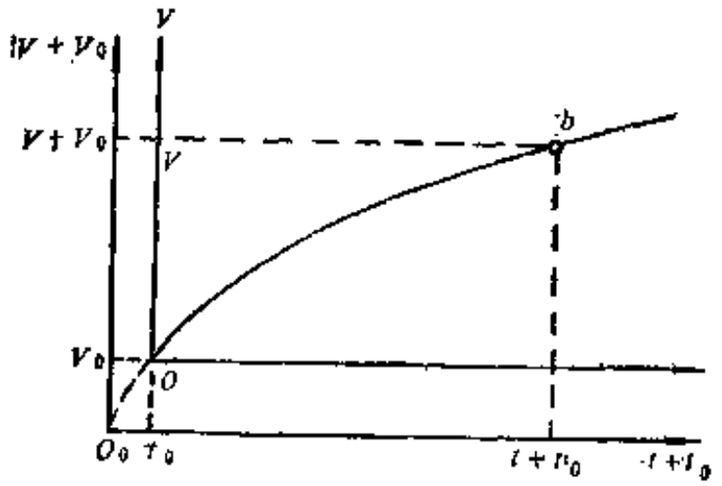


图 18.3.1　恒压过滤的滤液体积与过滤时间关系曲线

$$q=\frac{V}{A} \tag{18.3.12}$$

$$q_0=\frac{V_0}{A} \tag{18.3.13}$$

则（18.3.8）至（18.3.10）式可分别写为：

$$q_0^2=Kt_0 \tag{18.3.14}$$

$$q_0^2+2q_0q=Kt \tag{18.3.15}$$

$$(q+q_0)^2=K(t+t_e) \tag{18.3.16}$$

（18.3.16）式也称为恒压过滤方程式。

恒压过滤方程式中的K（(18.3.7)式）是由物料特性及过滤压强差所决定的常数，称为滤饼常数，其单位为米^2/秒；t_0与q_0是反映过滤介质阻力大小的常数，均称为介质常数，其单位分别为秒及米^3/米^2，三者总称过滤常数，可由过滤试验测出。获得上述试验参数之后，用（18.3.11）式并代入K和k值即可求出单位时间内处理一定数量的料浆所需要的过滤面积A：

$$A=V\left[\frac{\mu pW}{2p^{1-s}\cdot t}\right]^{1/2} \tag{18.3.17}$$

式中　μ——液体的粘度，Pa·s；

p——过滤的真空计示压力，Pa；

ρ、W、V、S——同（18.3.1）和(18.3.2)式。

地信网论坛
bbs.88001.com

式中 t 为过滤阶段经历的时间（秒），须与过滤机型式结合起来计算。因为在一个过滤循环中，过滤过程并非连续进行。因此，其过滤时间应做适当的变换。如筒型真空过滤机，设转鼓每转一周所需时间为t_c，则：

$$t = f \cdot t_c \qquad (18.3.18)$$

式中 f——一个操作循环中过滤阶段所占的时间分率；对于转鼓而言，f等于转鼓浸入料浆部分的面积分率，即：

$$f = \frac{S_u}{S_w} = \frac{\beta}{2\pi} \qquad (18.3.18a)$$

β——转鼓在料浆中的浸没角，rad；

S_u——转鼓浸入料浆中的过滤面积，m^2；

S_w——转鼓总的过滤面积，m^2。

在全面而仔细地研究了矿浆性质并初步选定过滤机型式后，为了更准确地选择工业过滤机的型式、规格和台数，须用标准过滤叶片模拟工业过滤机的操作条件，对一定数量的有代表性的矿样测定其过滤性能，以提供设计计算的依据。如果条件允许，在滤叶片试验之后，再用过滤面积为0.5～1米^{2}且结构与选定的过滤机相近似的中间试验机作更精确的测定。在中间工厂试验中，除了能获得更精确的过滤常数外，还可以得到有关滤饼洗涤、卸除、以及介质再生等方面的可靠数据。

试验使用的矿浆应有充分的代表性。矿浆初始浓度的变化、固体的物质组成（即矿物性质）、粒度组成、矿浆中所含的药剂及pH值、温度、受搅拌等预处理状况诸因素都应与工业生产的操作条件一致。使用的滤布材质、规格和给矿方法也应符合生产实际。真空过滤试验应提供以下数据：

（1）给矿的浓度和固相的粒度组成，料浆的pH值、温度。

（2）过滤的真空度或真空计示压力。

（3）滤饼的湿重、干重、厚度、形成时间、冲洗时间、脱水时间、滤饼内可溶固体成分的含量、滤饼的体积。

地信网论坛
bbs.3s001.com

（4）滤液的体积、体积浓度、可溶固体成分的含量。

（5）冲洗水的体积。

（6）穿过滤饼的气体体积和速度。

（7）观察滤饼的形成过程和状态、滤饼卸落、滤布堵塞和滤液状况。

过滤试验及各种参数的测定方法，见本手册二十二篇试验技术有关章节。

对上述各项测试结果进行综合分析后，可以确定过滤机的型式、介质的材质和规格以及其他操作条件。

18.3.1.3 过滤机的分类、选择和计算

A 过滤机的分类

工业过滤机的出现及应用比较早，种类也很多。按照过滤推动力的来源不同，过滤机可以分为四大类型，即真空过滤机、压滤机、磁性过滤机和离心过滤机。按照设备的形状及结构特点，又可细分为表18.3.1所列的各种型式的过滤机。

随着工业生产和技术的进步，近几年国外过滤机不断向大型化方向发展，机体的结构不断地改进和完善，新型的高效率、高产量的过滤机如自动压滤机、大型盘式过滤机和水平带式过滤机等相继出现和应用，促进了过滤技术和设备以较快的速度向前发展。美国最大的盘式真空过滤机面积已达400～800米^2，带有蒸汽罩的盘式过滤机最大规格为220米^2。近几年还出现了水平盘式过滤机，其处理能力大，滤饼水份低，是较好的过滤设备之一。传统的圆筒型真空过滤机也向大型发展，其最大直径已达8.5米。

我国金属矿山选矿厂目前使用的过滤设备大多为筒型真空过滤机。近几年已开始使用大型盘式、折带式和绳带式过滤机。国产1000毫米宽的带式压滤机和大型自动压滤机的研制成功，为解决我国细粘物料的脱水问题提供了新的途径。近几年我国除了发展新产品外，对原有的筒式真空过滤机和折带式真空过滤机规格进行了系列化整理，增补了新的规格；目前又生产了30米^{2}和40米^{2}的无格折带过滤机。磁滤机也有发展，除整顿了原有的12

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.1 过滤机分类表

分类及名称	按形状分类	按过滤方式分类	卸料方式	给料	应用范围
真空过滤机	筒型真空过滤机	筒型内滤式过滤机 筒型外滤式过滤机 折带式过滤机 绳索式过滤机	吹风卸料 刮刀卸料 自重卸料 自重卸料	连续	用于矿山、冶金、化工及煤炭工业部门
		无格式过滤机	自重卸料		用于煤泥和制糖厂
	平面真空过滤机	转盘翻斗过滤机 平面盘式过滤机 水平带式过滤机	吹风卸料 吹风卸料 刮刀卸料	连续	用于矿山、冶金、煤炭、陶瓷、环保等部门
	立盘式真空过滤机		吹风卸料		
磁性过滤机	圆筒型	内滤式 外滤式 磁选过滤	吹风卸料 刮刀卸料 吹风卸料	连续	用于含磁性物料的过滤
离心过滤机	立式离心过滤机 卧式离心过滤机 沉降式离心过滤机		惯性卸料 机械卸料 振动卸料	连续	用于煤炭、陶瓷、化工、医药等部门
压滤机	带式压滤机 板框压滤机 板框自动压滤机 厢式自动压滤机 旋转压滤机 加压过滤机（筒式、带式等）	机械压滤 机械或液体加压 液压 液压 机械加压 压缩空气压滤	吹风卸料 自重卸料 自重卸料 排料阀排料 阀控或压力排料	连续 间歇 间歇 连续	用于煤炭、矿山、冶金、化工建材等部门

地信网论坛
bbs.3s001.com

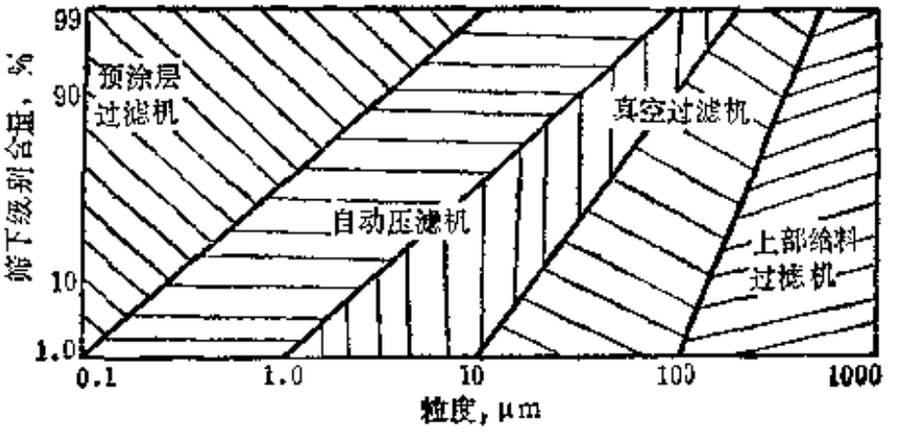


图 18.3.2 过滤机选型范围示意图

表 18.3.2 过滤机选型表

矿浆性能	过滤性能参数				
浓度，%	20	10～20	1～10	1	0.1
成饼速度，mm/min	>20 mm/s	>20	<10	<1	无滤饼
单位过滤面积生产能力，kg/(m²·h)	>3000	<3000	<500	<50	<5
滤液形成速度，kg/(m²·h)	>15000	>1000	>100	50～5000	50～5000
推荐的过滤设备类型					
重力过滤	V				
上部给料过滤机	V				
筒型过滤机	V	V	V		
带式过滤机	V	V	V		
盘式过滤机		V	V		
带予涂层的过滤机				V	V
自动压滤机		V	V	V	V

粒物料脱水的适应性与筒型内滤真空过滤机相似。但设备结构简单，滤布寿命长，可从两面清洗，洗涤效率高，并可分出不同品级的滤液。操作方便灵活，过滤面积可以按生产要求加大，生产和维修费用低。大型带式过滤机主要用在处理矿物选、冶产品和煤粉脱水。

折带式和绳带式过滤机卸料方便，滤布清洗条件较好，不易

地信网论坛
bbs.3s001.com

堵塞，滤布磨损较少。可省去鼓风卸料设施，防止滤液倒流进入滤饼。更换滤布较方便。滤饼水份较低，但滤布易跑偏，且要求较高的给料浓度，否则会降低脱水效率。该类设备适于处理粒度较细、密度小、粘性较大、难卸落的物料。

对于细粒、密度小、难沉淀、浓度较低的料浆，为了提高脱水效率，通常须进行絮凝浓缩。这种浓缩产品粘性增大，絮团内含有较多的孔隙水，用真空过滤机不易大量脱出，须选用压滤机，以高于大气压力数倍或十余倍的外加压力，强行挤压方能得到含水较低的滤饼。

手动板框压滤机，间断工作，产量低，劳动强度高，但滤饼生成及洗涤时间可以调整，洗涤作业效果好，且水量消耗较连续操作的压滤机少。该类设备占地面积较大，而且在操作过程中不便观察。自动板框压滤机可连续工作，产量高，能克服上述缺点。

连续工作的自动压滤机生产能力都很大。其中各种加压过滤机可利用真空和压力两种推力进行脱水，能够较经济地除去絮团的孔隙水和孔内水。

水平板框式自动压滤机过滤速率高，产量大，节省能耗，需要的操作人员少。国外最大过滤面积达200米^2。使用这类设备可省去干燥作业，简化生产流程，改善环境，是对付细而难过滤料浆的有效设备。国外已广泛用于工矿污水处理。但用在金属矿石脱水较少。

立式板框自动压滤机与上述水平板框自动压滤机相比，生产能力高，但大规格的机型较少，所以需用台数多。设备成本高造成基建费也比较高。

自动压滤机给矿压力高，要求专用的加压设备，辅助设施较多。滤布在受较高压力的状态下工作，影响其使用寿命。

离心过滤机一般用来处理微细而难沉淀的物料，例如高岭土矿浆的过滤及某些粒度细、浓度低的其他料浆的过滤。其生产能力较低，设备复杂，价格高，金属矿石产品脱水一般很少采用。

地信网论坛
bbs.3s001.com

该类设备过滤速度快，脱水效率高，滤液质量好。但设备的操作与维护较麻烦。

b 过滤机的计算

过滤机的工作台数，一般按单位过滤面积的生产能力来计算。可根据对有代表性的物料所做的过滤试验，测定出过滤常数之后，用理论公式（18.3.13）计算出单位过滤面积的生产能力。在缺少试验资料的情况下，可参照类似厂矿的实际生产指标（表18.3.3）选取。当用理论公式计算时，由于影响因素较多，算出的单位面积生产能力与实际需要相比往往有一定差别。因此，应参照实际生产指标予以调整。在选用实际生产的经验数

表 18.3.3 过滤机单位面积生产能力

被过滤的物料特性	单位生产能力，t/(m²·h)
细粒硫化-氧化铅锌矿	0.1～0.15
硫化铅精矿	0.15～0.2
硫化锌精矿	0.2～0.25
硫化铜精矿	0.10～0.2
硫化钼精矿	0.1～0.20
氧化钨、氧化镍精矿	0.05～0.1
黄铁矿精矿	0.4～0.5
含铜黄铁矿精矿	0.25～0.3
硫化镍精矿	0.1～0.2
锑精矿	0.1～0.2
氟精矿	1.0
萤石精矿	0.1～0.15
磁铁精矿，粒度0.2～0mm	1.0～1.2
磁铁精矿，粒度0.12～0mm	0.9～1.0
焙烧磁选精矿，粒度0.12～0mm	0.65～0.75
浮选赤铁精矿，粒度0.1～0mm	0.2～0.3
磁、浮选混合精矿，粒度0.1～0mm	0.5～0.6
磷精矿	0.2～0.25

注：选用定额时应按过滤物料的物理性质确定，如氧化矿且磨得很细时应选取定额的低值。

地信网论坛
bbs.3s001.com

据时，一定要注意选用与现场过滤机的实际操作条件相同的情况下所得到的指标。因为滤饼的最初湿度与最终湿度、固体物质的矿物成份和粒度特性、矿浆中存在的可溶性盐类和药剂、矿浆的温度和滤布的种类等条件，对过滤机的工作指标都有较大的影响。

需用的过滤机台数：

$$n=\frac{Q}{A\cdot q} \tag{18.3.19}$$

式中 n——过滤机工作台数，台；

Q——需处理的干矿量，t/h；

A——所选择的某种过滤机的过滤面积，m^2；

q——过滤机单位面积的生产能力，$t/(m^2\cdot h)$。

在按表18.3.3选用q值时须注意，该表数据是常用内滤圆筒式、外滤圆筒式和圆盘式真空过滤机使用棉织滤布总结的指标。对于选用新型过滤设备或用合成纤维等新型滤布时，q值需按照实际生产厂矿经验数据或通过过滤试验取得。

由于过滤试验所用的料浆性质及过滤装置的操作连续性很难与工业生产完全一致，因此实际生产的过滤机的过滤速率往往低于小型过滤试验的速率。尤其在高的过滤压强范围内，差别更大。因而在工艺设计中除了首先必须保证正确的选型外，还必须考虑放大效应。在缺乏现场生产数据的情况下，对于转鼓过滤机，在用中间试验装置进行过滤试验时，放大设计应做到几何相似，要求过滤在一个循环中，用于吸滤、洗涤、抽干的转鼓面积的相互比例关系与实验装置相等。同时应使转鼓的转速、单位过滤面积的过滤速率以及过滤系统的所有参数保持不变，而且过滤机的转速应留有灵活性，转鼓的面积应有25%的裕量。这种放大设计的缺点是中间工厂试验装置不易获得，而且需要大量的矿浆。

设计选用过滤机台数，在没有精矿浓缩机情况下，要根据计算的工作台数考虑备用。备用系数一般为1.2，但不得少于2台，一台工作，一台备用。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3.2 筒型真空过滤机

18.3.2.1 筒型外滤真空过滤机

筒型真空过滤机是金属矿石选矿厂特别是黑色金属选矿厂应用最多的脱水设备。按其卸料方式，又可分成多种型式。如图

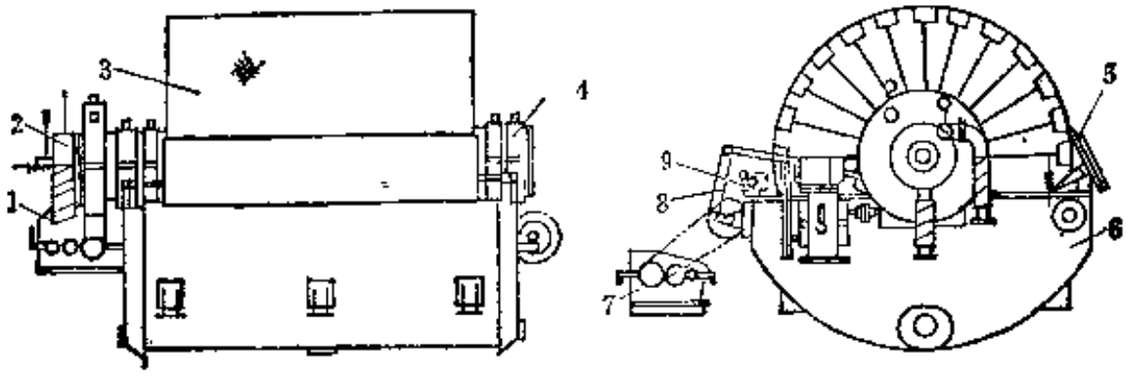


图 18.3.3 筒型外滤真空过滤机结构图

1—筒体传动装置；2—分配头；3—筒 体；4—轴承 座；5—刮刀；6—料浆槽；7—搅拌传动装置；8—搅拌器；9—绕线装置

18.3.3是一种连续性的过滤设备，可将过滤、洗涤、去饼等项操作同时在同一回转的装置中完成。筒体为铸造的或用钢板焊制的圆筒，其外表面用槽型格子板分隔成若干个过滤室。滤布覆盖在格子板上。筒体的下部浸入料浆槽中，经齿轮系统传动绕水平轴转动。过滤室的尺寸不宜过宽，一般不超过550毫米。其数量与筒体直径有关。直径大则筒体外表面积大，过滤室的数量相应增多。反之，过滤室的数量就相应减少。例如常用的40米^{2}的过滤机就有24个过滤室。

外滤式真空过滤机用刮刀刮落滤饼。其滤布借助于铁丝扎牢于滤板上。这些铁丝还能起到防止滤布被刮刀刮破的作用。外滤式真空过滤机的料浆槽内有搅拌器，位于筒体以下，借助伞形齿轮和链条传动。搅拌器工作时，可使矿浆在料槽内保持悬浮状态。其搅动的次数视物料性质而定，一般为20～60次/分。对于粒度粗密度大的物料，搅拌次数可取大值。

分配头是过滤机的重要部分。通过它排出滤液，并在过滤过

地信网论坛
bbs.3s001.com

程中交错进行抽吸与压气，使料浆形成滤饼，并由真空抽吸状态而变为被压气吹落状态，有效地控制过滤作业的顺序。分配头分为平面接触式和圆柱面接触式两种结构型式。圆柱面分配头磨损后不易修复，且容易被矿粒卡住，应用得较少。大多数过滤机使用平面分配头。为了便于检修，常将平面分配头的分配盘和错气盘作成直接接触的易损件。

筒型外滤真空过滤机按其滤饼形成过程，可分为以下几个工作区域。如图18.3.4所示。

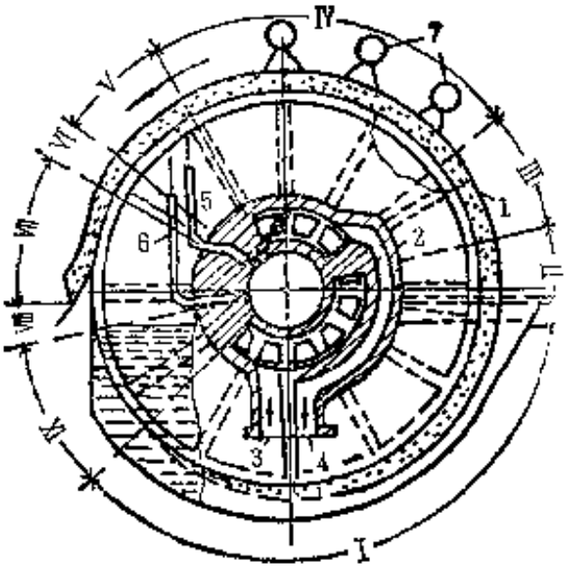


图 18.3.4　筒型外滤真空过滤机的工作图

1—过滤室；2—分配阀门；3、4—接真空泵的管；5、6—接 空气压缩机的管；7—洗涤水管

过滤区Ⅰ。在此区内的筒体浸入料浆中，滤布与格子板之间形成的过滤室被抽成真空，滤液透过滤布被吸入过滤室，然后经过分配头排出。固体物料与残存的水分被吸附于滤布表面。

吸干区Ⅱ。在此区域内，将剩余滤液吸尽，并将滤饼吸干。

洗涤区Ⅳ。在此区内，由管 7 把清水喷于滤饼上，淋洗滤饼后，被吸入过滤室，经管 3 与滤液一起排出或由管 4 单独排出。

吹松区Ⅵ。在此区内，过滤室与压缩空气相通，压缩空气将滤饼吹松，便于卸料。

地信网论坛
bbs.3s001.com

卸料区Ⅷ。在此区内，滤饼被刮刀所剥落。

图中Ⅱ、Ⅴ、Ⅶ、Ⅸ为非工作区，位于Ⅰ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅷ之间。因此，过滤室由一个区转变到另一个区时，不致彼此连通。

选矿产品通常是不需要洗涤的，所以在选矿厂使用真空过滤机时，将洗涤区并入吸干区。

当过滤机每转一周时，在联有真空管和鼓风管的分配头的调

表 18.3.4 筒型外滤真空过滤机技术参数表

型号	筒体规格，mm	过滤面积	筒体转速，r/min		搅拌次数
	直径×长度	m^2	Ⅰ组	Ⅱ组	次/min
GW—20	2500×2650	20	0.14，0.19 0.27，0.38，0.54		25 或 45
GW—30	3350×3000	30	0.12 0.16	0.11 0.14	
GW—40	3350×4000	40	0.23 0.29	0.21 0.26	
GW—50	3350×5000	50	0.39 0.56	0.34 0.5	
GW—3	1600×700	3	0.13～0.7		
GW—5	1750×970	5	0.13～0.7		

型号	配用电动机，kW		外型尺寸，mm	重量
	筒体	搅拌器	长×宽×高	t
GW—20	−8/4 2.5/4.0	2.2	4480×4085×2890	10.6
GW—30	3.5/4.0/5.0	3	5200×4910×3743	17.2
GW—40			6200×4910×3743	19.5
GW—50		4	7200×4960×3743	21
GW—3	1.1			3.43
GW—5	1.1			5.5

地信网论坛
bbs.3s001.com

节下，逐步完成过滤、脱水、吹风卸料和滤布清洗的循环过程。

常用的筒型外滤式真空过滤机规格及技术性能如表18.3.4所列。

18.3.2.2　筒型内滤真空过滤机

筒型内滤真空过滤机的筒体内表面为其过滤面。矿浆给到筒体内部，由于重力作用，粗粒物料先于细颗粒沉积于滤布上。形成间隙较大的粗颗粒层，随着细颗粒物料的沉积，孔隙中会发生“架桥现象”，因而使得直径小于孔道的细颗粒也能被拦住，从而提高了过滤效果。在饼层过滤中，真正发挥分离作用的主要是滤饼层，面不是过滤介质。因此，筒型内滤式真空过滤机在形成滤饼时除了依靠真空作用外，还可借助于物料沉降作用，在过滤易沉降的物料时可获得较高的生产能力。这对于过滤粗粒物料和磁性团聚现象特别严重的磁铁矿尤为适宜。此外，该型过滤机具有较大的滤布清洗区，滤饼卸除后可以有较长的清洗时间以恢复滤布的透气性。

筒型内滤式真空过滤机结构如图18.3.5及图18.3.6所示。工作原理同外滤式真空过滤机一样，内滤式真空过滤机的内滤面分为许多滤室，通过真空管对这些滤室进行抽吸滤液和吹气。真空

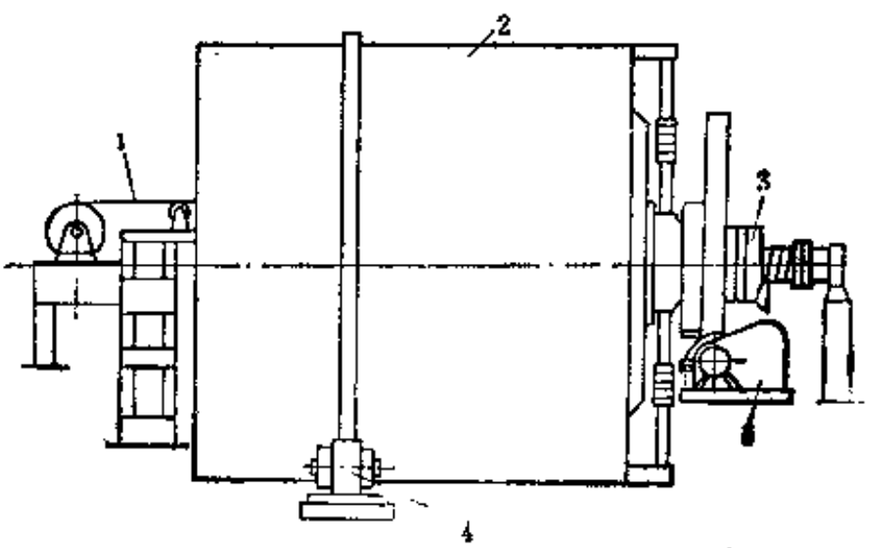


图 18.3.5　筒型内滤真空过滤机（中心胶带卸料）

1—胶带；2—筒体；3—分配头；4—托辊；5—传动装置

地信网论坛
bbs.3s001.com

管与分配头相连，分配头的工作原理与外滤式真空过滤机相同。筒体旋转一周，同样可完成过滤、脱水、吹风、卸料、清洗滤布的循环过程，如图18.3.7所示。

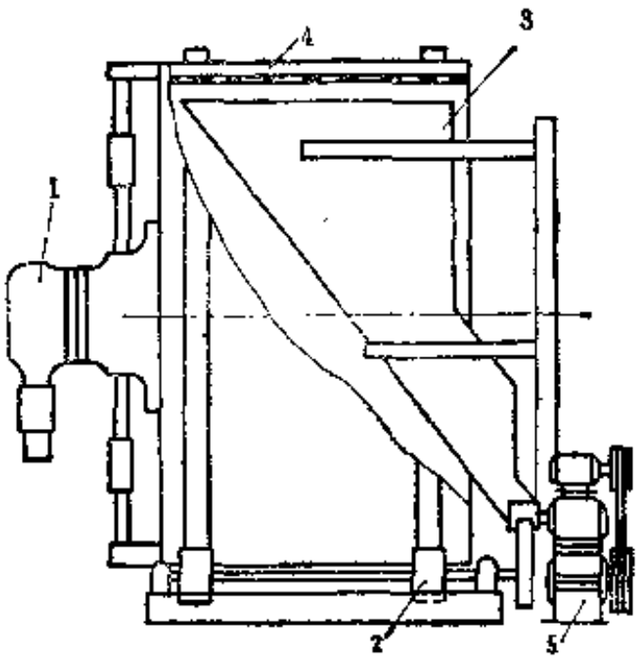


图 18.3.6 筒型内滤真空过滤机（溜槽卸料）

1—分配头；2—托辊；3—卸料装置；4—筒体；5—传动装置

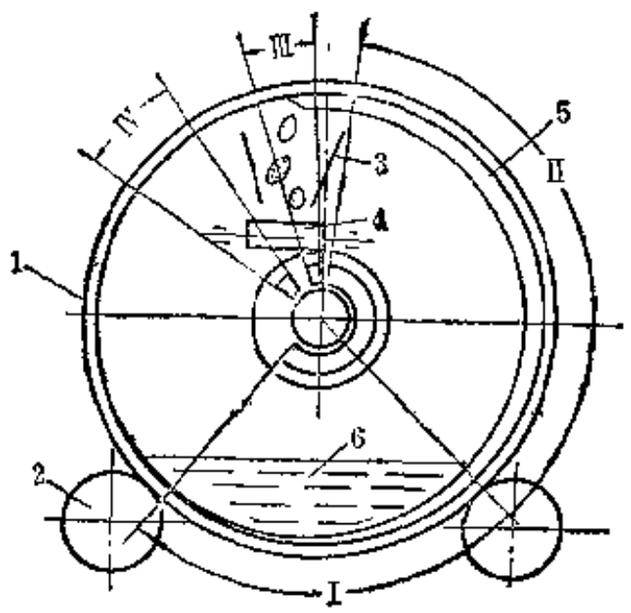


图 18.3.7 筒型内滤真空过滤机工作原理图

Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—卸料区；Ⅳ—滤布清洗区

1—筒体；2—托辊；3—漏斗；4—皮带运输机；5—滤饼；6—矿浆

地信网论坛
bbs.3s001.com

筒型内滤式真空过滤机的滤饼排卸方式有两种。其一是采用有辉绿岩内衬的固定溜槽，将落下的滤饼直接送至筒外料仓中。这种排料方式操作方便，设备结构简单，多为小型过滤机所采用；另一种排料方式为中心带式输送机排料。这种卸料方式工作可靠，多台工作时，便于安装集料胶带输送机和计量秤。

筒型内滤真空过滤机的缺点是更换滤布较麻烦，机体庞大，操作中观察机内工作状况不方便。

我国系列化生产的筒型内滤式真空过滤机的规格、性能及技术参数列于表18.3.5。

18.3.3 折带式及绳带式真空过滤机

18.3.3.1 折带式真空过滤机

折带式真空过滤机是在筒型真空过滤机的基础上发展起来的。其组成部件除了有筒体、料浆槽、搅拌器外，还有清洗槽、分展辊、张紧辊、导向辊、清洗水管等构件。

折带过滤机的滤布不固定在筒体上，而是通过若干个辊子将其从筒体上引出来绕过卸料辊之后再经过张紧辊和导向辊而返回到筒体面上，形成一条环形的带子。在工作过程中，滤布与筒体的相接触的区段一起转动，可以延长滤布的使用寿命。其结构如图18.3.8所示。

矿浆给入料浆槽内，其中的固体物料被吸附在滤布上，随筒体一同转动。滤布离开料浆槽的矿浆面之后，已被吸附的滤饼继续被抽吸脱水。当滤布运行至分离（分展）辊时，由于托辊半径很小，滤布改变运行方向，造成滤饼块折裂，继续运行至卸料辊处，由于重力作用滤饼自行脱落到排矿溜槽里。滤布在返到筒体面上以前，受到清水冲洗。清洗液从清洗槽引走，返回到浓缩机内。滤布从导向辊上面绕行后即返回到筒体面上，开始下一个工作循环。

折带过滤机适用于细粘而不易沉降的物料脱水，该设备工作性能良好。设备的工作面积大，滤布再生条件好，自重卸料，无

地信网论坛
bbs.3s001.com

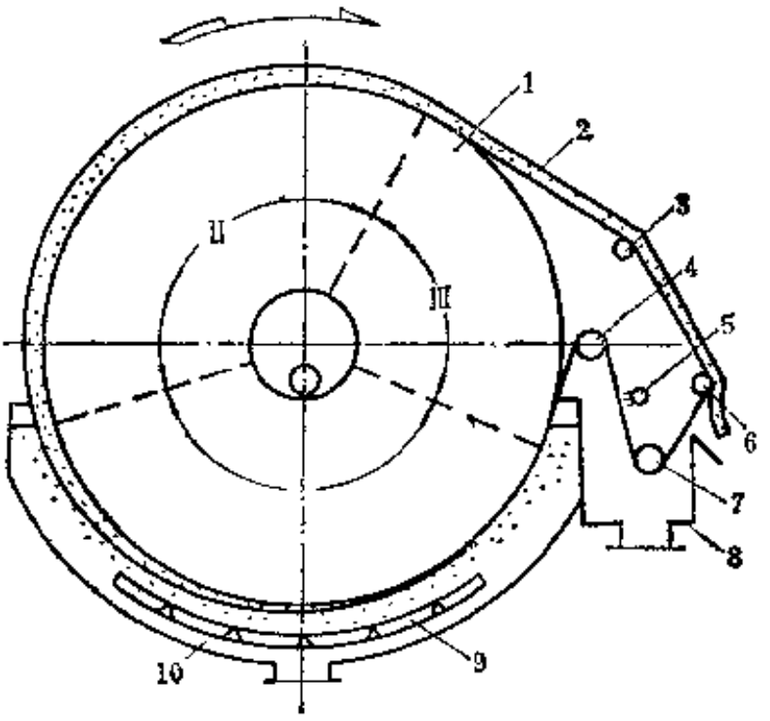


图 18.3.8 GD型折带过滤机工作原理图

Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—死区

1—筒体；2—滤布；3—分展辊；4—导向辊；5—清洗水管；6—卸料辊；7—张紧辊；8—清洗槽；9—搅拌器；10—料浆槽

需鼓风设施，无残存滤液吹入滤饼现象，并提高了滤布使用寿命。但要求给矿浓度较高，最好保持在60～70%以上，否则脱水效率会相对降低。柴河铅锌矿用20米^{2}折带过滤机取代圆筒型真空过滤机后，过滤效率平均提高2～4倍，滤饼水分由14～17%降至11%，处理浮选的粘性精矿时，滤饼水分仍不高于11.5%。处理松散物料时，滤饼厚度为2毫米也可以完全脱落。在处理浮选精矿时，当滤饼厚度在8毫米以上，水分为25～27%时，滤饼折裂后有40～50%的物料可以自行脱落。当通过卸料辊后，只有5～10%的滤饼不能自行脱落；若饼厚在10毫米以上，水分在25以下，滤饼将全部卸下。

该设备的缺点是工作时滤布易跑偏打褶，安装和操作时应予以防止。结构较复杂。清洗滤布时耗水量较大。

国产折带式过滤机技术参数列于表18.3.6。

32米^{2}折带式过滤机处理浮选铁精矿试验结果列于表18.3.7。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.5 筒型内滤真空过滤机性能

型号	外形尺寸 长×宽×高，mm	过滤面积 m^2	筒体转速，r/min			筒体传动功率 kW	卸料方式	皮带运输机传动功率，kW	重量 t
			高速	中速	低速				
GN—8	3200×3200×3400	8	0.72	0.49	0.31	2.2	中心皮带运输机或溜槽	1.5	7
GN—12	3200×3200×3400	12	1.0 1.43	0.69 0.96	0.17 0.68				
GN—20	5200×3900×4100	20	0.42 0.56		0.12 0.17	3.5		2.2	13
GN—30	6300×3900×4100	30	0.81 1.04		0.25 0.31	4.0	中心皮带运输机		14
GN—40	6300×3900×4100	40	1.40 2.18		0.42 0.66	5.0		3.0	17

表 18.3.6 折带式过滤机技术参数

规格型号	过滤面积 m^2	过滤机滚筒			传动电机功率 kW	搅拌器电动机功率 kW	机器重量 t
		直径，mm	筒长，mm	转数，r/min			
GD—10	10	2000	1800	0.18～0.37	2.2	2.2	5.91
GD—20	20	2500	2770	0.075～0.298	2.5/4	2.2	11.1
GD—30	30	3350	3015		3.0	1.0	17.8
GDV—30	30	3350	3000	0.125～0.25	5.5	2.5	18.2
GD—40	40	3350			3.5 4.5	3.0	20.3

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.7 32m²折带式过滤机处理浮选铁精矿试验结果

过滤面积 m²	转数 r/min	给矿浓度 %	给矿粒度 %－0.074mm
32	1/5	75	90

滤饼水分 %	生产能力		备注
	t/h	t/(m²·h)	
12	27	0.86	

18.3.3.2 绳带式真空过滤机

绳带式过滤机是连续回转式真空过滤机的一种。该设备与折带式过滤机的区别在于绳带和排料辊子。尼龙绳带等距离地围绕在罩有滤布的滚筒和排料辊子上。绳带与滚筒一起旋转。吸附在滤布上面的滤饼，在绳带与滚筒的表面分离点（与折带式过滤机工作情况近似），开始脱落。绳带进一步把滤饼带至排料辊子处，借助于绳带运动方向的改变，滤饼靠自重脱落。

绳带式过滤机具有以下优点：

（1）滤布不易堵塞。依靠绳带卸料，不使用刮刀，滤饼不会与滤布直接摩擦，故滤布不易堵塞。

（2）取消了鼓风设施，节省动力和投资。同时不会有滤液逆流进入滤饼，脱水效率高。

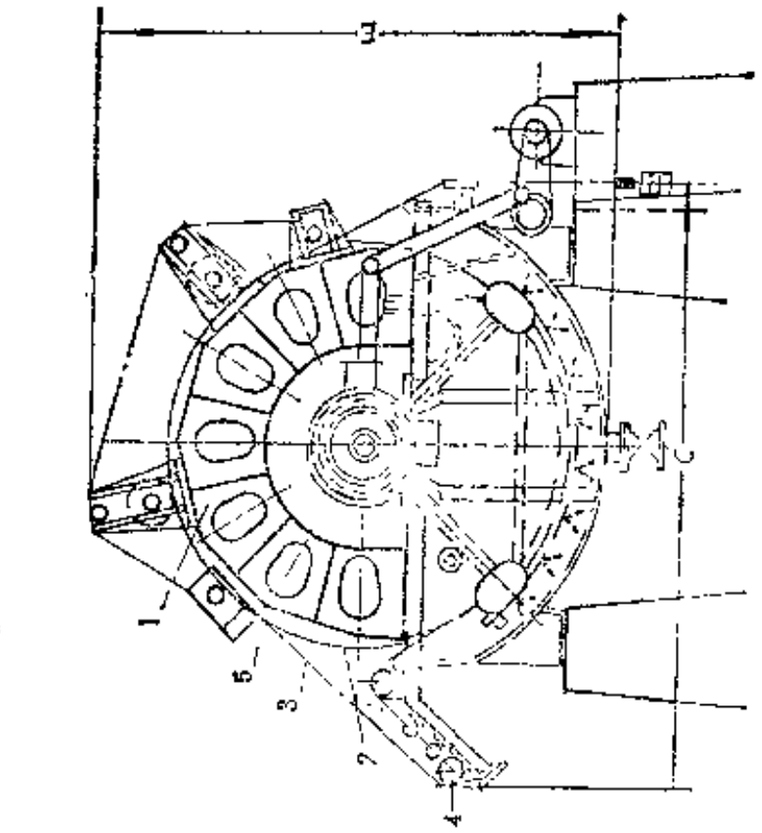
（3）取消了外滤式过滤机捆扎滤布的钢丝圈，及其他一些附属装置，操作维护方便。

（4）节约滤布。取消了鼓风和刮板，减少了损坏滤布的机率。此外，可以分区更换滤布，不至于因其局部破损而废去整块滤布。

绳带式过滤机的结构如图18.3.9所示。

绳带式真空过滤机可用来处理普通真空过滤机所能处理的各种物料。尤其适于处理粒度较细，浓度较低、粘性较大的矿浆。

地信网论坛
bbs.3s001.com



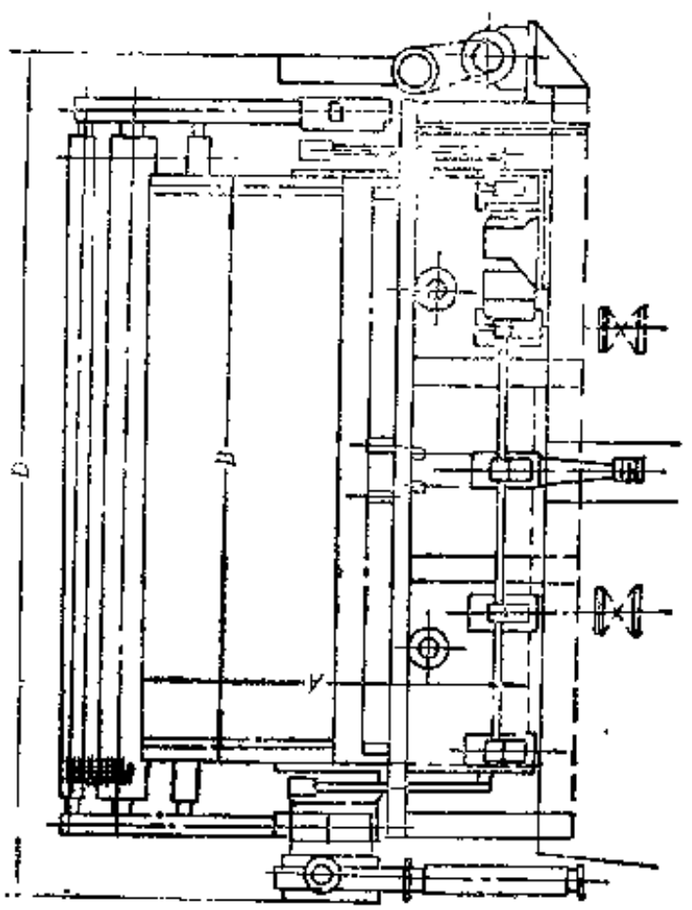


图 18.3.9 绳带式过滤机结构

1—滚筒；2—滤布；3—绳带；4—排料滚子；5—绳带与滚筒的分离点

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.3.4 无格真空过滤机

无格过滤机是一种筒型外滤式真空过滤机，其筒体内为一整体真空室，筒体在卸料区有一特殊的密封室。该机取消了一般过滤机的分配头、喉管及大量的真空管路，是一种新型的连续过滤机。主要由筒体、密封装置、空心轴、搅拌器、料浆槽等部件组成。其结构及工作区的划分如图18.3.10所示。无格过滤机工作时，筒体内部处在真空状态下，使滤饼吸附在筒体滤布表面上，滤液和清洗水分别由不相通的空心轴两端抽出，滤饼随滤布运行到卸料辊处脱落。该机不需要吹风卸料和在筒体上清洗滤布。因此，密封装置的作用是把暴露在空气中的一段筒体（从滤布引出点到滤布返回点之间）上的过滤孔密封住，防止破坏真空。

该过滤机结构的另一特点是给料槽采用深槽结构，增加吸滤

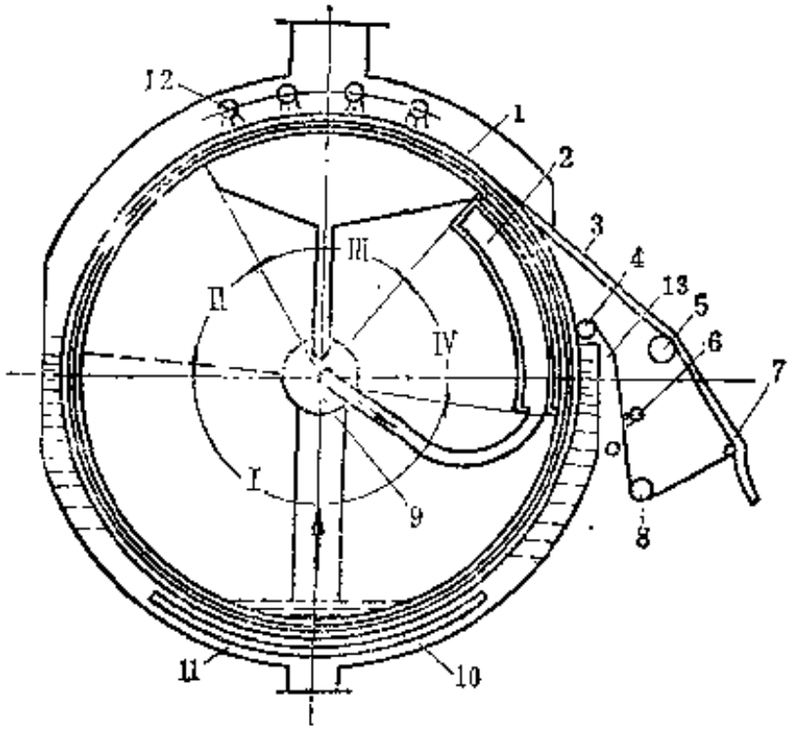


图 18.3.10 GDU型无格折带过滤机工作原理图

1—筒体；2—密封装置；3—滤布；4—导向辊；5—分展辊；6—清洗水管；7—卸料辊；8—张紧轮；9—空心轴；10—搅拌器；11—槽体；12—洗涤水管；13—人字辊；Ⅰ—过滤区；Ⅱ—脱水区；Ⅲ—洗涤区；Ⅳ—死区

地信网论坛
bbs.3s001.com

时间以提高生产能力。在相同的转速下，GDU-40型无格折带过滤机的吸滤时间比一般外滤式真空过滤机要增加1/3～2/3。

GDU型无格折带过滤机的技术规格和性能列于表18.3.8。

表 18.3.8 无格折带真空过滤机规格及技术性能

型号	过滤面积 m^2	筒体直径 mm	筒体长度 mm	外形尺寸，mm 长	宽	高
GDU—20	20	2500	3650			
GDU—30	30	3350	3000	5967	5189	4930
GDU—40	40	3350	4000	6967	5189	4930
GDU—50	50	3350	5000	7967	5189	4930

型号	总重 t	筒体传动功率 kW	搅拌器功率 kW
GDU—20			
GDU—30	23	$\frac{5.5}{2.8}$	2.8
GDU—40	24	$\frac{7.5}{2.8}$	
GDU—50	25	$\frac{7.5}{2.8}$	

18.3.5 磁性过滤机和磁选过滤机

18.3.5.1 磁性过滤机

磁性过滤机是一种装有磁铁的真空过滤机。外滤式磁性过滤机的结构如图18.3.11所示。磁性过滤机主要由滤筒、磁极和给矿槽等部件组成。其工作过程是：磁性矿浆从筒体外侧上方给入槽内。滤饼由刮刀卸下。

该设备适宜处理+0.147毫米和+0.074毫米粒级含量分别占

地信网论坛
bbs.3s001.com

5.0%和30%的磁性精矿。我国攀钢等大型选矿厂均使用了磁性过滤机，效果较好。其给料粒度为0.4～0.1毫米，滤饼水分为10～11%。一台12米²磁性过滤机的生产能力约为50～60吨/时。

沈阳矿山机器厂制造的20米²永磁内滤机结构如图18.3.12所示。其工作原理和永磁外滤机相同。该设备于70年代在鞍钢研制成功后已在大型铁矿选矿厂广泛采用。其工作指标接近永磁外滤真空过滤机，而给料方式与筒形内滤式真空过滤机（溜槽排料）相同。

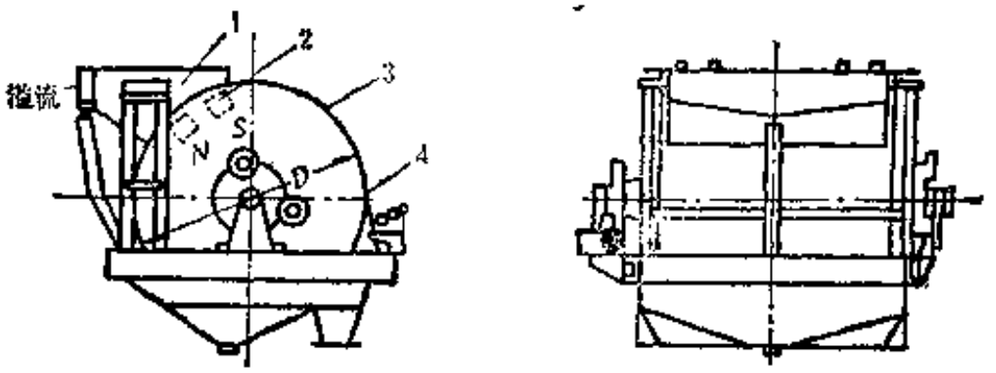


图 18.3.11 永磁真空过滤机（外滤式）结构示意图

1—筒体；2—磁系；3—给料箱；4—刮刀

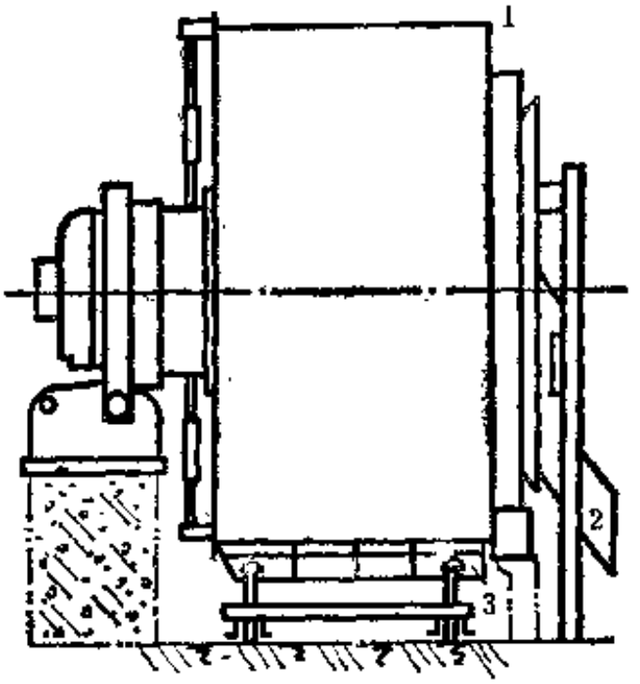


图 18.3.12 20m²永磁内滤式真空过滤机

1—筒体；2—滤饼溜槽；3—磁系

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.9 真空永磁过滤机性能

型 号	筒体尺寸 $D\times L$, mm	筒体转速 r/min	生产能力① ~t/h	滤饼水分 %	电动功率 kW	总重 t
GYW—8	2000×1400	0.5～2	22～40	8～10	1.5	4.81
GYW—12	2000×2000	0.5～2	30～60	8～10	2.2	5.56
GYW—20	2550×2650	0.5～2	50～100	8～10	4	6.53

① 给矿粒度0.15～0、0.08～0mm。

国产真空永磁外滤式过滤机性能列于表18.3.9。

瑞典制造的MTFF型磁性过滤机，使用一种特殊的密封装置装在给矿箱与过滤筒表面，减少磨损，延长滤布寿命可达2500小时。另设有自动安全装置，当过负荷时自动停止工作，防止损坏机件。采用上部给料，消除了矿浆沉淀现象，并充分利用重力沉降的作用，使粗粒子首先被吸附，细粒子位于滤饼表面，防止了滤布堵塞，形成较理想的簇状吸附状态，透水性好，增加了过滤机生产能力。

18.3.5.2 磁选过滤机

磁选过滤机具有选别和脱水的双重作用。用它分选磁铁矿时，可获得永磁筒式磁选机的生产效果。而所得精矿含水很少，但比一般真空过滤机的滤饼水份稍高。

磁选过滤机的结构如图18.3.13所示。磁选过滤机工作时，待选矿浆从给矿箱均匀给入机内分选箱，充分悬浮。矿浆中磁性矿粒受磁极吸引，附在转筒外面的滤布上，无磁性的脉石不被磁极吸引，继续随着液流向前流动，至尾矿口被排出机外。吸附在滤布表面的磁性精矿随着转筒一起向着滤饼排卸方向转去，并且随着转筒内磁极的交替作磁滚翻，进一步去掉机械夹杂的非磁性物，从而提高了磁铁精矿品位。当精矿转到过滤区时，脱离了磁场，结束了分选过程而开始脱水。借助于真空抽吸，随着筒体的转动，滤饼的水份逐渐降低。当滤饼进入卸矿区时，在吹风风压

地信网论坛
bbs.3s001.com

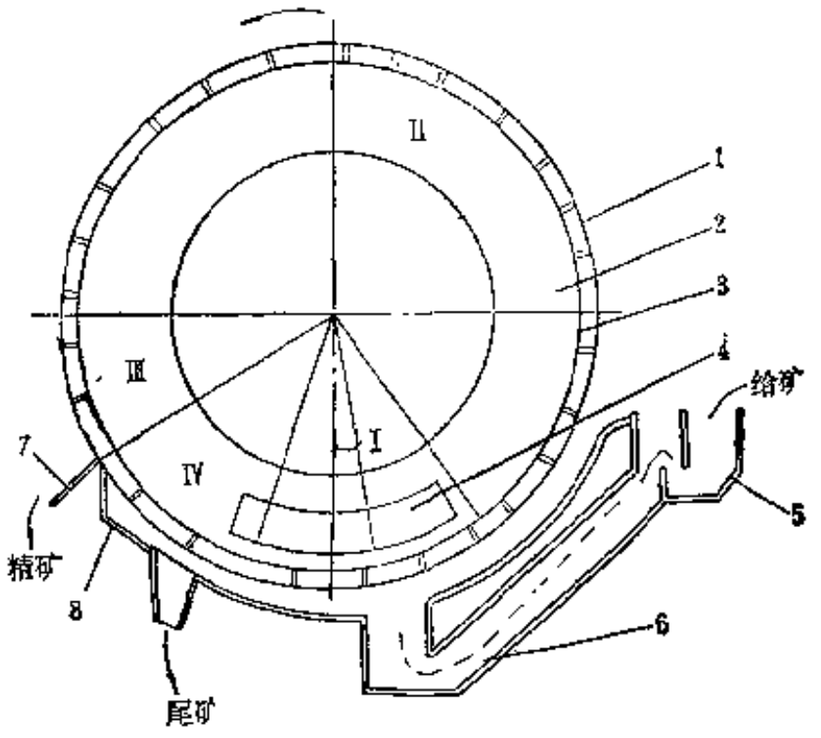


图 18.3.13 磁选过滤机示意图

Ⅰ—选别区；Ⅱ—过滤区；Ⅲ—卸矿区；Ⅳ—滤布再生区；1—滤布；2—转筒；3—过滤室；4—磁系；5—给矿箱；6—分选箱；7—刮板；8—冲洗滤布水管

和刮板的作用下，落入精矿漏斗中。卸饼之后，滤布随着筒体转入再生区，在吹风和冲水的作用下，得到清洗，恢复其透气性，再开始下一个工作循环。

由于该机的产量受选别指标的限制，即当转速一定时，最大产量是有限度的，所以滤饼的水份也只能降低到一定程度。

18.3.6 盘式真空过滤机

18.3.6.1 立盘式真空过滤机

立盘式真空过滤机又称为蝶式真空过滤机(图18.3.14及15)其过滤面的结构形式与筒型过滤机不同，但操作原则基本是相同的。过滤面由多个单独的扇形片组成若干个（一般10～12个）圆盘而构成。每一个扇形片为单独的过滤单元，由滤布做成布袋套在扇形片上形成滤室。工作时，过滤盘顺时针方向转动，料浆中的固体颗粒借真空的作用附着在过滤盘上形成滤饼。搅拌器往复

地信网论坛
bbs.3s001.com

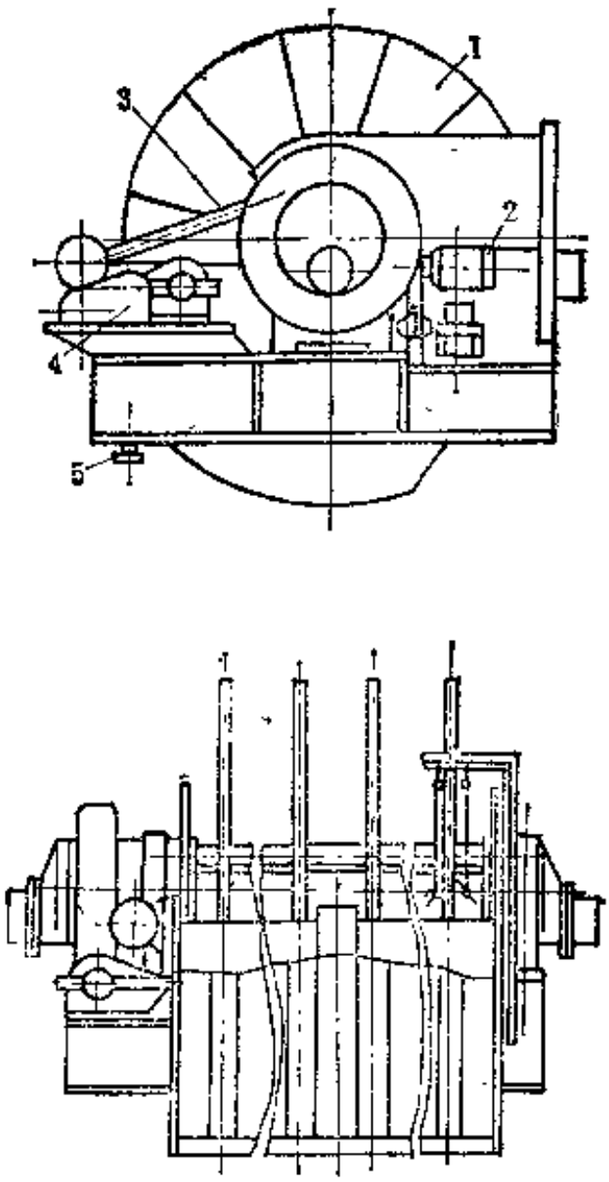


图 18.3.14 立盘式真空过滤机结构图

1—过滤机；2—主传动机构；3—搅拌器；4—搅拌器传动机构；5—瞬时吹风系统

摆动防止固体沉淀。滤饼离开液面之后，在真空作用下继续脱去水份。滤液透过滤布，进入过滤盘内，经过滤液管，从分配头排出。滤饼在卸料区通过滤盘由内向外吹风卸落。

扇形片由螺栓固定在主轴（空心轴）上，拆卸及更换滤布方便，甚至可以在过滤机运转过程中进行，给生产检修带来方便。

我国试制的60米^{2}立盘式真空过滤机由6个盘组成。在包钢絮凝反浮选流程中过滤－0.038毫米（－400目）占95%以上的浮

地信网论坛
bbs.3s001.com

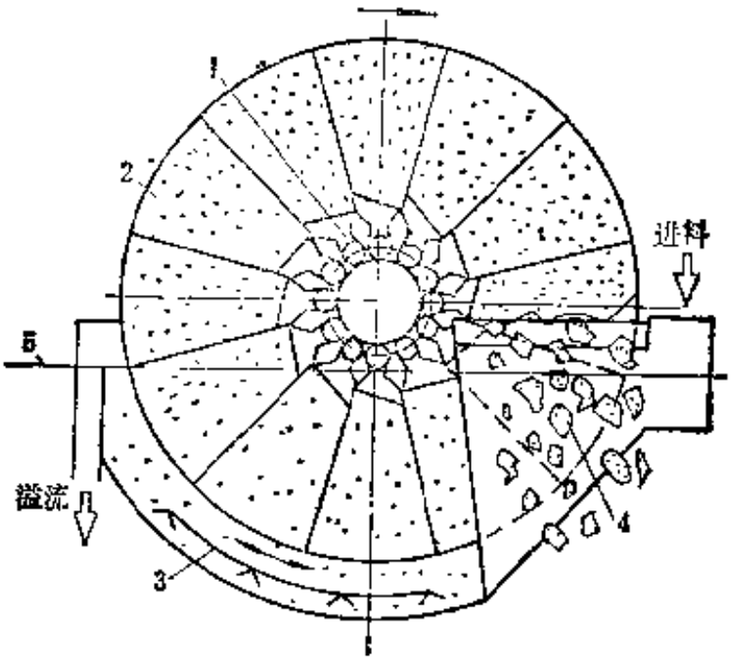


图 18.3.15 盘式真空过滤机工作原理图

1—滤液管；2—滤饼；3—搅拌器；4—滤饼卸落；5—液面

选铁精矿，滤饼水份为14～16%，单位生产能力为0.31～0.43吨/(米^2·时)。过滤硫化铜精矿，滤饼水份为12～14%，单位生产能力达0.2吨/(米^2·时)以上。

我国系列化生产的立盘式真空过滤机性能列于表18.3.10。

18.3.6.2 水平圆盘真空过滤机

该机又称为平面圆盘或水平台型真空过滤机，结构如图18.3.16及图18.3.17所示。其过滤面呈圆台状。盘面上有一定高度的同心内、外缘挡圈。过滤面下面由若干径向垂直隔板分成多个彼此独立的扇形滤室，与圆盘下面的自动活门相连接。料浆从顶部堰形布料器均匀给到各扇形滤叶上。滤渣用刮刀刮落到螺旋运输机或带式输送机上。滤液经滤叶下方出口、滤液管和中央分配头排至滤液槽中。滤饼可以受到多次洗涤。洗液和滤液可分别收集。为了消除残留的滤饼对下一次过滤的妨碍，在加料位置通入压缩空气，将残留滤饼反向吹入新给入的料浆中。

水平圆盘过空过滤机占地面积大，滤布易堵塞和易破损。一般用于过滤要求洗涤效果好和含有大密度的粗粒固体的滤浆，也

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.10　立盘式真空过滤机规格及技术参数

过滤面积 m^2	过滤盘数 个	过滤盘直径 mm	过滤盘转速 r/min	电动机功率 kW	搅拌器电机功率 kW	机器重量 t
9.0	2	1800	0.08～1.89	1.1		3.42
18	4	1800	0.073～2.04 0.254～1.14	2.2 1.1	1.1	4.56 3.5
27	6	1800	0.073～2.04 0.135～0.61	3.0 1.1	1.1	5.06 4.25
39	4	2700	0.254～1.4 0.13～0.61	1.5	1.5	5.65
58	6	2700	0.15～0.67 0.254～1.44	2.2	2.2	22
78	8	2700	0.15～1.44	2.2	2.2	8.08
97	10	2700	0.285～1.98	4.0	4.0	11.09
116	12	2700	0.148～0.66	4.0	4.0	12
200	12	3800	0.25～1.69	11	5.5	24.3
40	4	2800	0.2;0.3; 0.4;0.6;	2.2/3.5 1/4/5.5	3.5/4.0	
60	6	2800	0.2;0.3; 0.4;0.6;	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	14.6
80	8	2800	0.2;0.3; 0.4;0.6;	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	
100	10	2800	0.2;0.3; 0.4;0.6;	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	
120	12	2800	0.2;0.3; 0.4;0.6;	2.2/3.5/4/5.5	3.5/4.0	

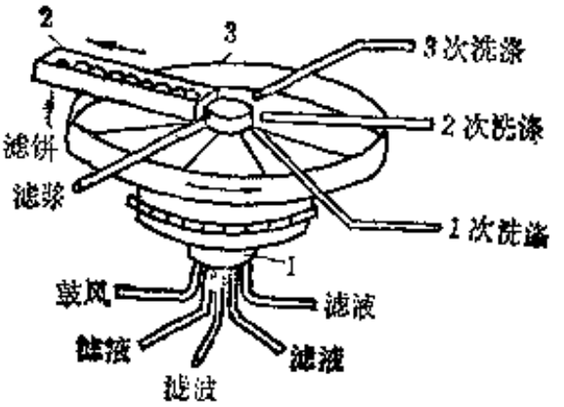


图 18.3.16　水平圆盘过滤机的工作原理

1—分配头；2—螺旋输送机；3—过滤盘

地信网论坛
bbs.3s001.com

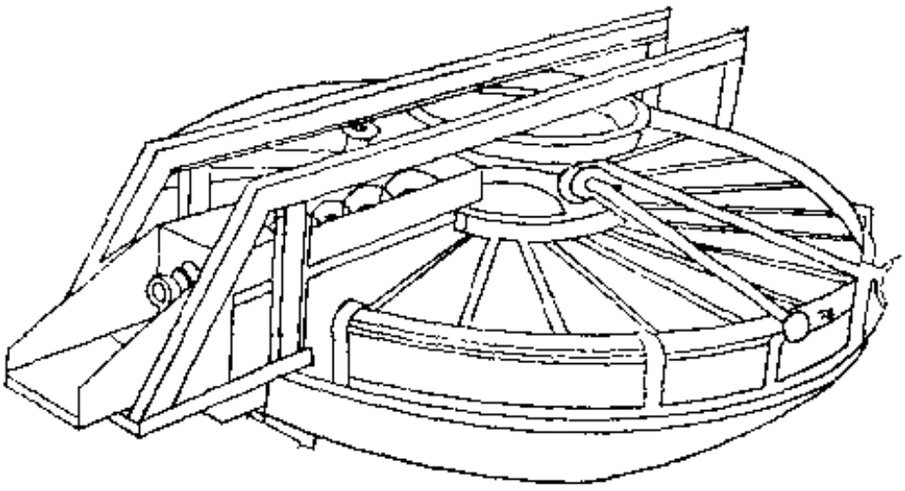


图 18.3.17 水平圆盘过滤机外形

表 18.3.11 水平圆盘真空过滤机规格

过滤机外形尺寸，mm		过滤面积，m^2	过滤机重量，t	功率，kW
直 径	高 度			
1300	1150	1	1.5	1.1
3300	1500	7	8	2.6
4200	1620	12	20	4.4

可以过滤含有较小密度固体的悬浮颗粒的浆体。

普通结构的台型过滤机之过滤面积约为1～14米^2，最大也只有20米^2。但若将扇形滤室由一块板折成，就可制成过滤面积达250米^{2}的大型机。

西德制造的水平圆盘真空过滤机规格列于表18.3.11。

18.3.6.3 水平回转翻盘真空过滤机

本机又称为立式转盘翻斗真空过滤机。其结构原理如图18.3.18所示。

环形的过滤面由若干个彼此独立的扇形滤盘排列而成，滤盘的滤液出口同中央分配管头连通。每个扇形滤盘都安装在旋转台上。矿浆经过分配器给到滤盘上，在真空吸引下受到过滤。滤液经中心吸引管和支管以及中央分配头排出。滤饼留在滤布上，经过三级洗涤后进入卸料区，滤盘翻转180°，在重力或压缩空气反

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.12 国产水平回转翻斗真空过滤机规格

产品规格	PD—1.5	PD—20
有效过滤面积，m^2	1.1	17.8
斗数	15	20
斗的最大反转角，度	150	152
转盘直径，mm	2490	8092
转盘转速，r/min	0.05～0.7	0.125～0.375
外形尺寸(长×宽×高)，mm	3120×2970×840	9900×8960×1426
重量，kg	3300	23000

表 18.3.13 日本制造的翻盘过滤机规格

总过滤面积 m^2	过滤盘数	直径，mm	高度，mm	重量，t
65	32	13400	3200	45.0
70		13400		46.5
75		13800		48.0
80		13800		49.5
85		14800		51.0
90		14800		52.5
95		15200		54.1
100		15200		55.7
105	32	15900	3400	61.0
110		16300		62.7
115		16800		64.4
120		17200		66.2
125		17600		67.8
130		18050		69.5
135		18400		71.2
140		18800		72.9
145	36	18600	3400	78.2
150		19000		79.9
155		19400		81.5
160		19800		83.2
165		20200		84.9
170		20600		86.6
175		20900		88.3
180		21300		90.0

地信网论坛
bbs.96001.com

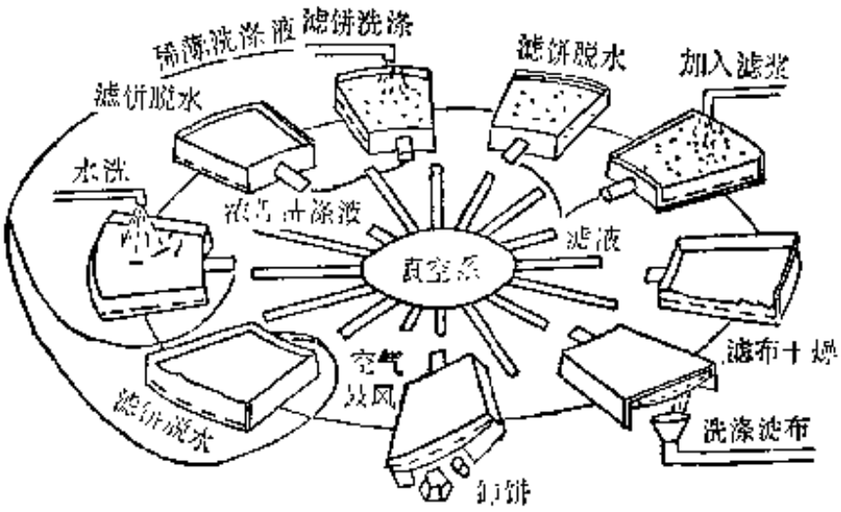


图 18.3.18 水平回转翻盘真空过滤机

吹的作用下卸除。此后，滤盘复位，经过清洗和真空吸干后又转到给料位置，开始新的过滤循环。

该机适于过滤密度较大、浓度较高的粗颗粒浆体，例如磷酸盐、石膏、二氧化锰、碳酸钾、铁砂、铁矿石及其他特殊物料。

目前最大的翻盘过滤机面积可达205米^2，直径23米，处理P_2O_5的能力为1000吨/日。

国产水平回转翻盘真空过滤机规格列于表18.3.12。日本制造的翻盘过滤机规格列于表18.3.13。

18.3.7 水平带式真空过滤机

水平带式真空过滤机，其外形犹如大型的带式输送机。它是利用矿浆的重力和真空抽吸力实现固液分离的一种高效过滤设备。由于在生产能力、洗涤效率和生产费用等方面有其突出的优点，因而得到了广泛应用。英、美、苏、日等国制造的产品，规格最大已达185米^2。我国已研制出50多台水平带式真空过滤机，20米^{2}的正在着手设计。该类过滤机的主要缺点是占地面积大和投资较高。此外，靠真空过滤，滤饼水份难以降低。

水平带式真空过滤机种类繁多，图18.3.19是其一种。橡胶带式真空过滤机与带式输送机所不同的是在胶带上面覆盖着一层

地信网论坛
bbs.3s001.com

滤布，二者同步前进。胶带上面有许多纵横的锥形沟槽，形如压滤机的滤板，溜槽（沟槽）中部有出液孔眼。运转时，孔眼与其下部的真空抽液箱相通。由于真空作用，滤布被吸附在胶带上，滤液从孔眼被抽吸到真空受液器中，滤渣被留在带面上。重新恢复真空，吸上滤饼再继续前进，如此往返循环。

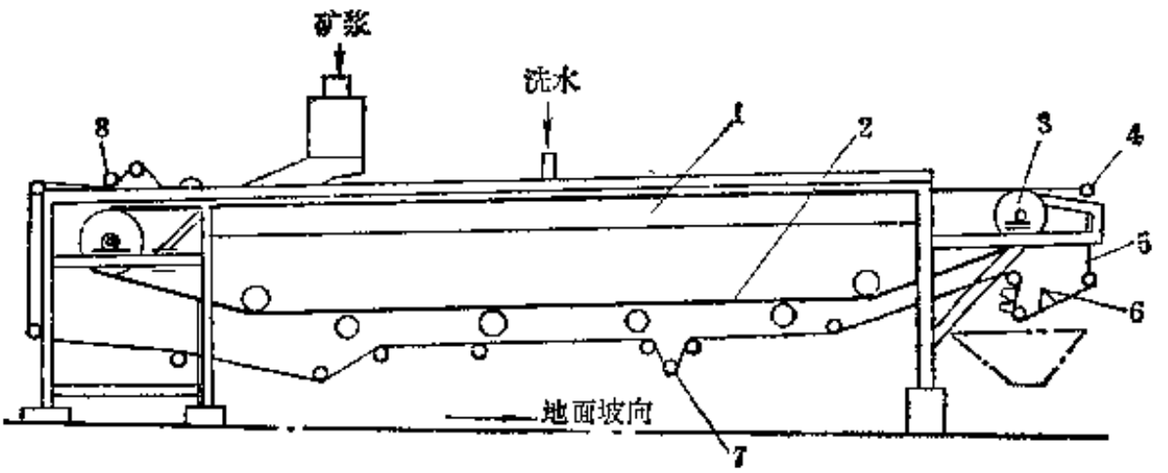


图 18.3.19 水平橡胶带式真空过滤机纵断面

1—真空箱；2—胶带；3—驱动轮；4—卸渣辊；5—滤布；6—喷水嘴；7—滤布拉紧辊；8—滤布展开装置

图18.3.20是一种带有压力带装置的带式过滤机。其滤布既是过滤介质，又是输送带，滤布由聚酯纤维和丙纶等制成。加料和滤饼排卸是连续的，但真空是间歇作用的。真空滤盘作往复运动。由于采用合成纤维作过滤介质，在加料后介质可紧贴于滤盘上，极易气密，可达到较高的真空度。滤布更换方便。在吸滤过程中，滤布和滤盘间没有相对摩擦。

图18.3.21是一种带盘式真空过滤机。这种过滤机是由若干紧挨排列而环接起来的滤盘安装在横向间隔开的两条传送带上，每个滤盘内衬有滤布，滤液在真空抽吸作用下经过滤盘底部的出口管由可伸缩的软管排出。通过分配头安排，在每个周期的一定位置上过滤，在另一个位置上排卸滤饼。这种设备特别适宜于处理鼓式真空过滤机难以过滤的含大量微粒的悬浮液泥浆和粘性大的物料，并可多次洗涤，但滤布只能单面冲洗，容易堵塞，滤饼排卸困难，有时需要增加反吹装置。由于滤盘采用了两次转动连

地信网论坛
bbs.8s001.com

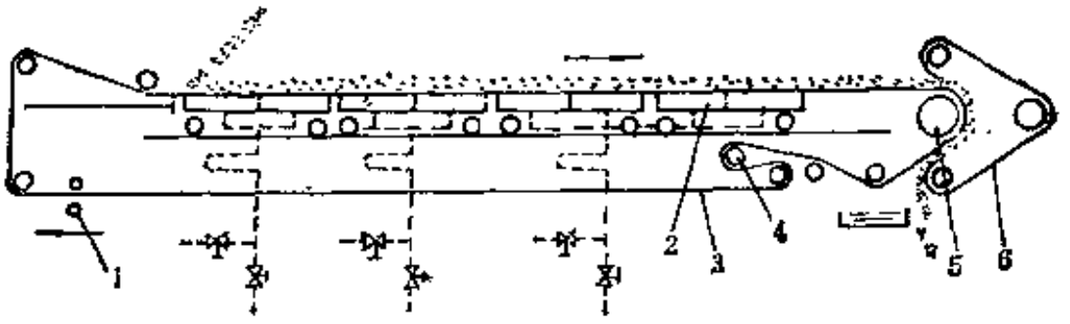
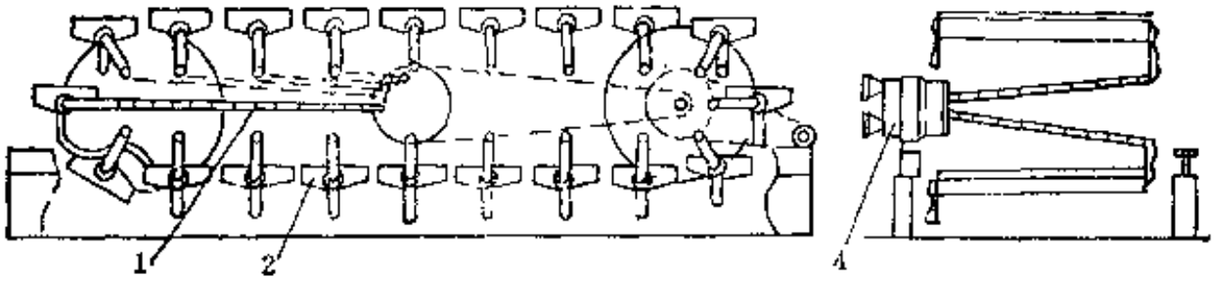


图 18.3.20 带有压力带装置的潘内维斯（Pannevis)带式过滤机

1—滤布导向系统；2—真空滤盘；3—滤布；4—滤布张紧系统；5—驱动转鼓；6—压力带



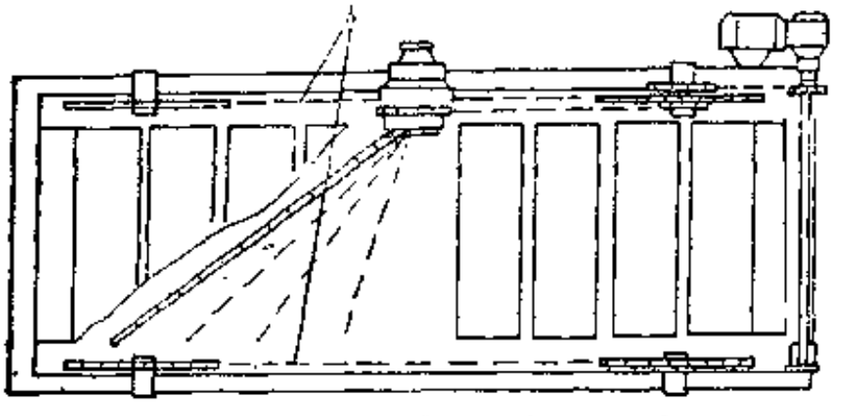


图 18.3.21 带盘式真空过滤机

1—伸缩软管；2—滤盘；3—传送带；4—分配头

接密封，增加了整个系统内真空泄漏的可能性，因此结构比较复杂。

图18.3.22是一种滤框带式过滤机。下部的环形滤带和滤布安装在一对滚筒上，滤带和滤布同时移动。其上部是一个类似梯子的由弹性材料制成的环形框带，紧压在滤布上表面，滤框与滤布

地信网论坛
bbs.3s001.com

同步移动，泥浆和洗液可分别注入到指定的滤框中，在滤框向前移动的过程中，通过真空抽吸而完成过滤、洗涤、干燥等作业。在完成各工艺过程后，滤带、滤布、滤框自行分开，绕回到起始位置。由于料液充满滤框，因而防止了由于泥浆加料不均衡引起的真空降低及洗液回流造成的洗液和滤液混合的现象。这种设备结构简单，滤带没有严重磨损。

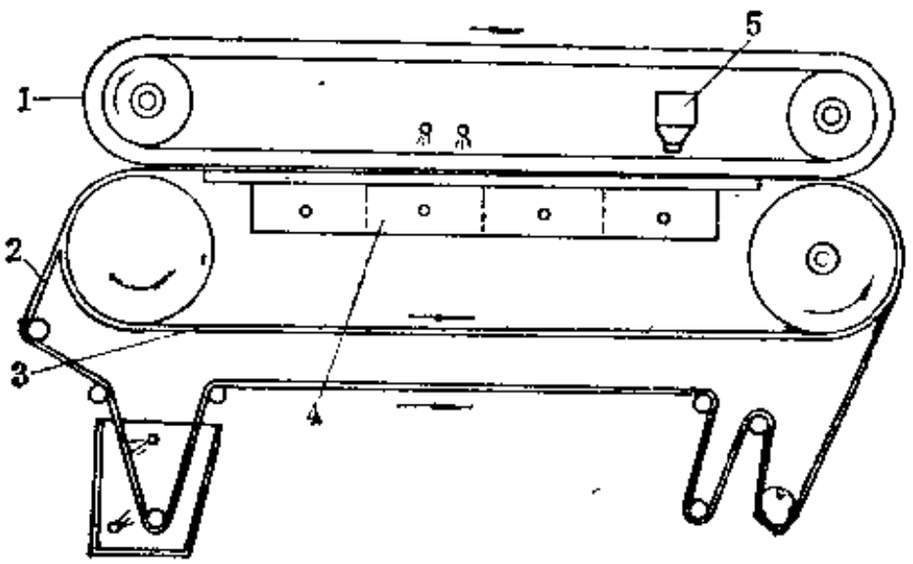


图 18.3.22 滤框带式过滤机

1—滤框；2—滤布；3—滤带；4—真空箱；5—加料器

图18.3.23是多真空箱带式过滤机。在机架内装有若干个真空抽吸箱，真空箱的两侧边向上外伸形成挡边，在每个真空箱上

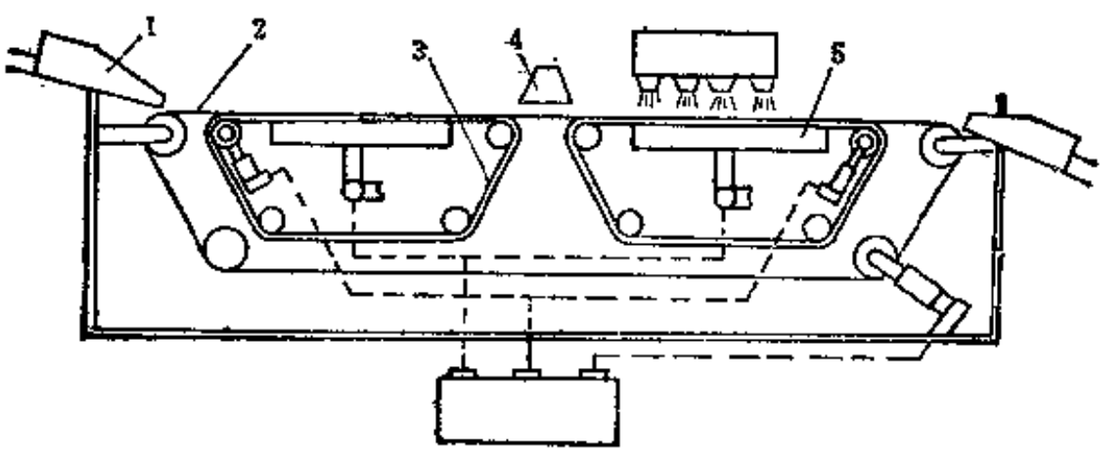


图 18.3.23 多真空箱带式过滤机

1—加料器；2—滤布；3—滤带；4—检测仪器；5—真空箱

地信网论坛
bbs.8s001.com

有一条支承滤布的纵面移动的传送带(滤带)，上面覆有滤布，滤布宽度大于滤带，这样，滤布的两侧边与真空箱上外伸的两侧边紧贴而密封，在机器的加料端加料后，通过各个真空箱顺序完成过滤、洗涤、干燥等过程，在两个真空箱上的滤带之间的上方空间，可以放置测量仪器和检测设备，用以测定滤饼中排水速度、物料速度及金属含量。结构非常简单。

18.3.8 压 滤 机

18.3.8.1 自动压滤机

传统的压滤机是手动的，人工卸料，间歇生产，过滤周期长，生产率低，设备笨重，工人劳动强度大。随着现代工业的发展，新型全自动压滤机相继问世。压滤机的结构有了改进，并使用了新材料及程序控制系统。广泛应用于化工、冶金、建材、石油、煤炭、医药、陶瓷工业以及环境保护等部门。尤其是地势很高的矿山，当采用真空过滤难以达到预期的压力差时，压滤机几乎是唯一可采用的设备。

自动压滤机利用间歇加压使液体通过滤布，实现固液分离。其优点是可连续运行，过滤压力高，滤饼含水率低，结构简单，操作稳定，机器工作寿命较长，易维护。滤饼兼有过滤层的作用，固相回收率较高，滤液较清。动力消耗较少。其缺点是要求部件的强度和制造精度较高，造价高，间歇给料，单位过滤面积产量不高。

压滤机的设计着眼于增大压力差和过滤面积，适当延长过滤时间，也可以用细孔滤布并增加滤饼厚度，因此在处理细、粘料浆时也有较高的过滤效率。3.3米^{2}立式自动压滤机处理不同的料浆试验结果列于表10.3.14。

试验表明，用压滤机处理稀的细粒粘性物料具有显著的优越性。例如，压滤电解锰浸出液时，其处理量比普通压滤机提高4～5倍，滤饼水份降低，洗涤效果改善，从而提高了回收率，解决了其他过滤机所不能解决的问题。处理浮选的硫化镍精矿时，滤

地信网论坛
bbs.3s001.com

饼水份可稳定在16%左右，与外滤式过滤机比较，在单位过滤面积产率略高的情况下，滤饼水份可降低7%，从而大大降低干燥成本。对于－0.043毫米（325目）占97%的稀土精矿，在给矿浓度为8～12%的情况下，与浓度为10%的重选精矿一起给入压滤机，滤饼水份可以降至8～10%，比鼓式过滤机的滤饼水份降低6～8%，从而可以取消浓缩和干燥作业。

压滤机的过滤速度随着入料压力的增加而提高，国外压滤机多采用高压柱塞泵或隔膜泵给料，其压力为981～2453千帕(10～25公斤/厘米^2）目前国内多采用砂泵及空气压缩机进料，压力偏低。

苏联曾用过滤面积为2米^{2}的ФПАКМ型压滤机对磁铁精矿作了半工业试验，指标列于表15.3.15。

表 18.3.14 3.3m^{2}立式自动压滤机过滤不同物料对比试验结果

物料	设备名称	给料浓度 %	滤饼水份 %	产量 kg/(m^2·h)	备注
浮选精矿	自动压滤机	35～45	～16	120	
	外滤鼓式真空过滤机	35～45	～23	100～110	
稀土精矿	自动压滤机	8～12	8～10	100～140	加入重选精矿
	外滤鼓式真空过滤机	45～50	15～16	250～300	
电解锰浸出液	自动压滤机		～28	40～45(干渣)	
	普通压滤机		～40	9	
	三足式离心机		高		不能用
	外滤鼓式真空过滤机		很高	滤饼厚仅3～5mm	不能用

表 18.3.15 苏联磁铁精矿压滤机半工业试验指标

物料	给料粒度 含0.05mm %	给料浓度 %	生产率 t/(m^2·h)	滤饼水分 %	滤液浓度 %	过滤压力 MPa
磁铁精矿	88～90	45	0.43～0.84	7.3～8.4	2.2～6.0	0.5～0.6

地信网论坛
bbs.3s001.com

苏联布鲁斯维克采矿公司采用芬兰Larox公司的多层竖式自动压滤机对钼、铅、锌散状精矿进行的扩大半工业试验。结果表明，对这种细粒硫化物，压滤机能迅速地使滤饼水份降低到6～8.5%。这种自动压滤机已在芬兰、北美的加拿大等国的一些选矿厂使用(约1600台)，均省去了干燥作业。美国和日本研制了Lasta卧式自动压滤机。比尤特（Butte）选矿厂，用来对浓度为65%的铜精矿脱水，与普通脱水法相比，其生产费用降低了40～60%，投资减少30～50%。滤饼水份为8～10%，取消了原来的过滤和干燥作业。

目前国内外自动压滤机发展很快，型式、规格繁多。最大的过滤面积已达1250米^2。其中Larox压滤机和厢式自动压滤机占有重要地位。

A Larox自动压滤机

芬兰的Larox压滤机采用隔膜压榨过滤。该机综合了压滤机、转筒过滤机和带式过滤机的优点，过滤速率大，滤饼含水率低，单位面积产量高。但是设备成本较高。Larox自动压滤机分为立式和卧式两种。

a Larox-PF压滤机

其为立式自动压滤机，其结构如图18.3.24所示。立式自动压滤机的滤板水平放置，一副副迭加起来，整机呈立式。根据规格不同，滤板数目分别为6～20个。图18.3.25为该设备的压滤过程示意图。其每一个滤板部件均由上、下板、框、橡胶隔膜、滤室、滤布、格栅导向辊和刮板组成。滤框由一块活动底板和一块固定顶板构成。滤饼在两块板之间受压，滤框拧紧在基座的沟槽中。滤布为聚丙烯纤维编织而成的无极带，交错地迂回于滤板层之间。滤布从驱动轮起，绕过滤布张紧辊，进入冲洗水汇集槽，通过冲水喷咀，洗涤滤布使其再生，然后再返回滤布驱动辊。滤布的松紧程度可由张紧辊调节。矿浆通过分配管进入滤室。滤液由滤室排出，通过软管，进入滤液收集管。整个过程分为六个步骤来完成，即过滤、隔膜加压（由压力泵送进高压水；借助隔膜压

地信网论坛
bbs.3s001.com

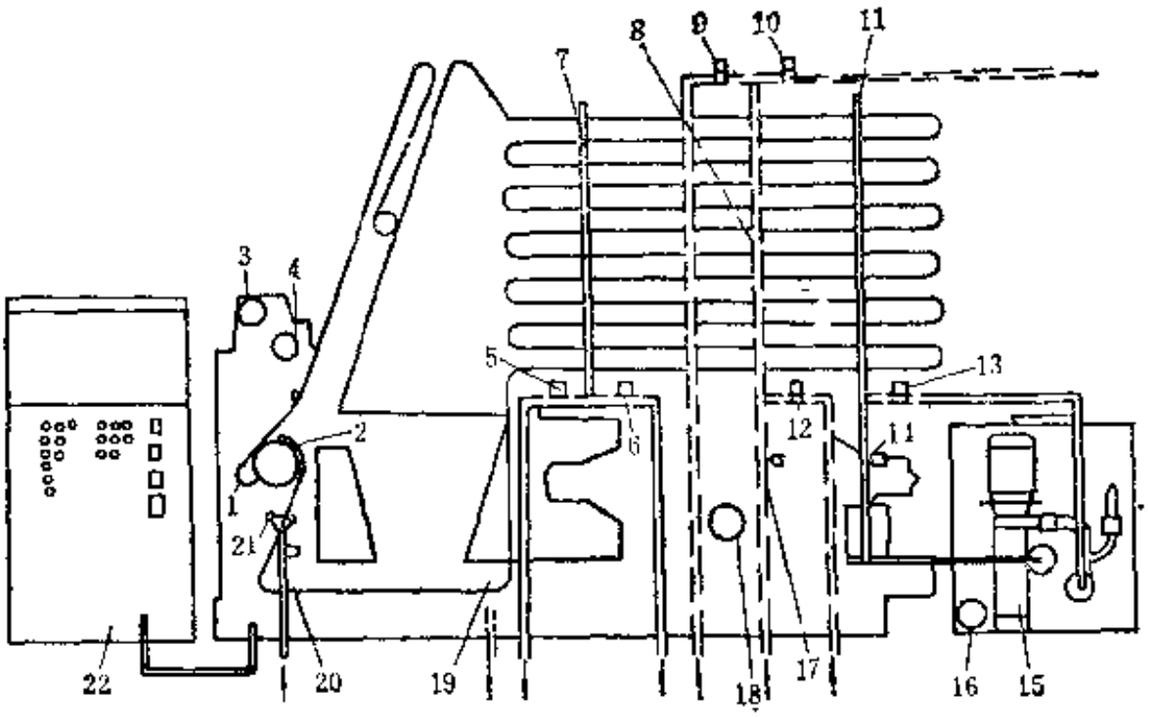


图 18.3.24　Larox压滤机的组成部分

1—滤布；2—滤布驱动辊；3—滤布驱动电动机；4—滤布张紧电动机；5—滤液阀；6—洗涤滤液阀；7—滤液集流管；8—给料分配管；9—洗涤水阀（用于洗涤水分配管）；10—压缩空气阀；11—压榨水分配管；12—矿浆入口阀；13—压榨水入口阀；14—压榨水出口阀；15—压榨水泵；16—水泵电动机；17—给料分配管排放阀；18—关闭机构电动机；19—集液槽；20—滤布清洗水阀；21—滤布清洗水；22—控制柜

挤滤饼）、洗涤滤饼、洗涤后隔膜加压、吹入压缩空气除去饼中残留水份、排卸滤饼。

向滤饼吹气以后，压滤机的连杆动作，使滤室顶板和底部拉开，滤布驱动轮开始工作，滤布可以自由运动，象带式输送机那样，把滤饼分别向左、右两侧排出。当滤布通过导向辊端部时，滤饼从滤布上掉下来，未脱落的滤饼由刮板刮下。当滤布向上运动时，滤布冲洗水系统开始工作。由于滤布在各滤板间交错地运行，每个循环中，不会在滤布的同一侧形成滤饼，滤液的流动方向经常变化，滤布很容易洗净。滤布靠调整辊保持在平衡位置上。过滤全过程中各工序的时间控制和周而复始的工作，由自动

地信网论坛
bbs.3s001.com

控制柜控制。各工序时间的长短取决于过滤物料的性质和其他条件。

该压滤机已广泛用于许多金属和非金属矿选矿厂和化工厂。

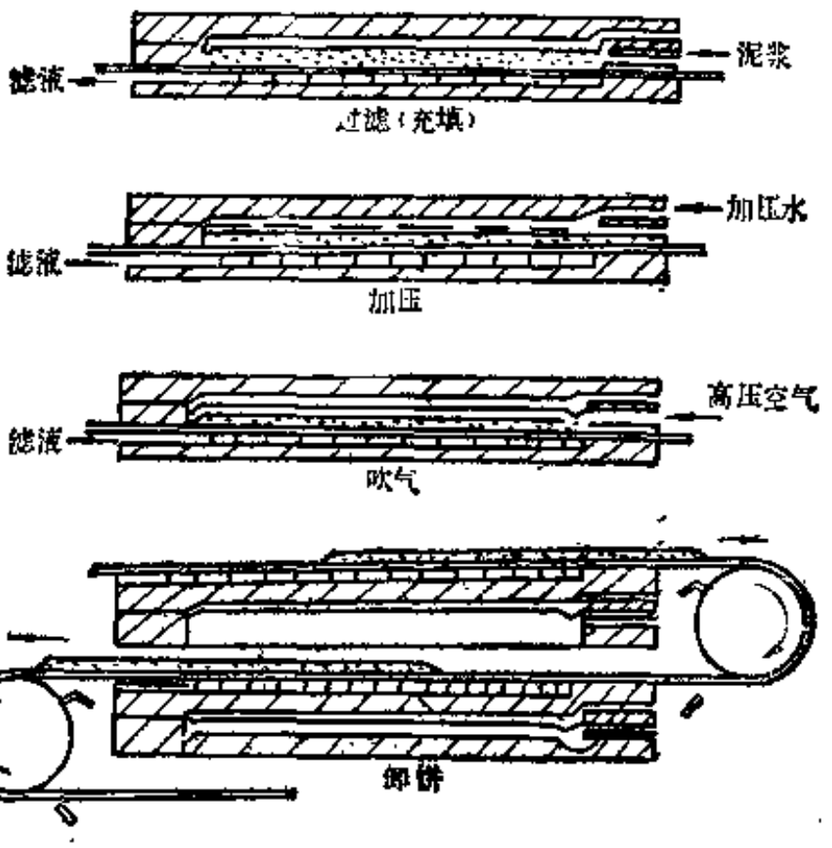


图 18.3.25 压滤机过滤过程示意图

表 18.3.16 对金属矿和非金属矿脱水试验结果

矿物种类	所达到的残余水份值 %	过滤机生产能力 kg/(m²·h)
铜精矿	5～6	140～400
钴精矿	7～8	200～300
镍精矿	5～7	250～700
锌精矿	4.7～6	200～500
铅精矿	6.5～9	300～700
锡精矿	4.5～6	450～650
磁铁矿精矿	7.5～10.5	200～400
磷灰石精矿	6～10	400～500
方解石	5.5～9	200～300
滑石	7.9～14	250～700

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.17　Larox—PF自动压滤机系列规格表

型　　号	过滤面积 m²	滤板 数目	滤饼尺寸 mm	外形尺寸，mm 长	宽	高	重量 t	生产能力 kg/(m²·h)
Larox PF2.5	2.55	6	500×850	2550	1800	2350	4.8	250～300
Larox PF5	5.10	12		2860		3065	6.5	
Larox PF9.5	9.45	6				2850	10.3	
Larox PF12.5	12.60	8					11.1	
Larox PF16	15.75	10	900×1750	4000	2500	3350	11.9	
Larox PF19	18.90	12					12.6	
Larox PF22	22.05	14				3850	13.3	
Larox PF25	25.20	16					14.6	
Larox PF28	28.35	18				4350	15.0	
Larox PF32	31.50	20					15.7	

其脱水试验指标列于表18.3.16。

芬兰奥托昆普公司某镍矿已用该设备取代了原真空过滤机加干燥机的联合工艺。滤饼水分由18～20%降到8～9%。

芬兰制造的Larox—PF自动压滤机系列列于表18.3.17。

b　Larox—CF和日美共同研制的Lasta压滤机

此二种压滤机均为卧式的自动压滤机。前者的结构主要包括一个垂直的过滤板主架、挤压板的闭合及过滤布的转动系统。最大过滤面积已达200米²。后者亦属厢式压滤机，采用压缩空气加压。

B　厢式自动压滤机

箱式与板框式压滤机的不同之处是，前者的滤室由凹形滤板和装有挤压隔膜的压榨滤板交替排列而成，具有双面过滤、效率高、中间进料性能好、滤布更换方便、规格大、滤板防腐和适用行业广等优点，在国内比板框压滤机应用得更广。我国于80年代初已研制成功卧式全自动的 YSM34011500压 滤 机。1986年又研制出赶超世界先进水平的XMZ1050/2000自动压滤机，使我国成

地信网论坛
bbs.3s001.com

为世界上第三个独自研制成超大型全自动压滤机的国家。该机采用集成液压，四油缸同步加压、自动卸饼、自动冲洗滤布的微机全控装置。自动化程度居国内首位，并引起国际市场关注。XMZ1050/2000自动压滤机处理煤泥时，给料中－120目占63%，给料压力为785～981千帕(8～10公斤/厘米^2)，浓度300～500克/升，滤饼含水21.3%，溢流浓度为0.03克/升，净压滤时间10余分钟到38分钟。压滤机间歇给料，每个循环耗时65分钟，能处理干料21.3吨，相当于单机生产能力19.9吨/(台·时)。全机由150块滤板组成。其结构如图18.3.26所示。目前已可定型生产规格为340米^2、500米^{2}和1050米^{2}三种自动压滤机，性能列表18.3.18。今后计划往小规格方向发展，形成配套系列产品。

厢式自动压滤机单位过滤面积占地少，过滤压力高，滤饼含水较低，过滤能力大，结构简单，易操作，故障少，依靠滤饼过滤得到澄清的滤液，回水利用率高。但是，其滤板垂直放置，不利用于滤饼冲洗，为此出现了立式自动压滤机。其滤板水平放置，靠自重卸饼完全，占地面积小。但立式压滤机较高，过滤面积较小。我国试制的立式厢式自动压滤机性能列于表18.3.19。

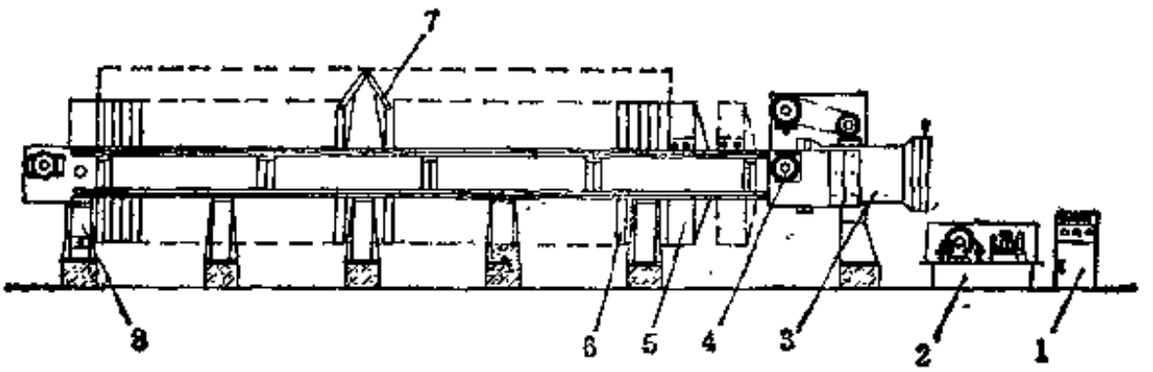


图 18.3.26 YSM型自动压滤机（卧式）结构图

1—电控系统；2—液压系统；3—油缸；4—传动系统；5—头板；6—滤板；7—自动卸饼；8—可动尾板

18.3.8.2 带式压滤机

带式压滤机的共同特点是：结构简单、操作方便，连续给料，作业率高，耗能低，滤饼水份一般比真空过滤机低。但是被

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.18 自动压滤机（卧式）规格及性能表

技术参数	机型及规格		
	YSM340/1500	YSM500/1500	XMZ1050/2000
滤板尺寸，mm	1500×1500×60	1500×1500×60	2000×2000×68
滤板块数，块	92	137	150
滤室宽度，mm	30	30	35(32)
过滤总面积，m^2	340	500	1050
滤室总容积，m^3	5.23	7.7	18.6(17.7)
最高过滤压力，kPa(kg/cm^2)	980.6 (10)	980.6 (10)	≤1471(15)
最高工作压力，kPa(kg/cm^2)	(140)	(140)	
头板位移，mm	830	700	
电动机，kW	5.5	5.5	
外形尺寸，mm	10000×2330×2150	12020×2330×2150	
机重，t	60	78	
传动形式	电液式	电液式	

注：该机由唐山煤炭科学研究分院和无锡县化工机械厂合作研制。

表 18.3.19 XLJZ—20隔膜自动厢式压滤机(立式)性能

过滤面积，m^2	20
滤饼最大厚度，mm	35
进料压力，kPa(kg/cm^2)	98～785 (1～8)
机械压紧机松工作行程，mm	720
压紧（松开）滤板所需时间，s	91
滤布宽度，mm	1140
机器总重量，t	～17
外形尺寸(长×宽×高)，mm	3686×1880×3732
滤板有效尺寸，mm	1400×900
滤板组数	16
最大隔膜加压压力，kPa(kg/cm^2)	1472(15)
滤布运行速度，m/min	12

压滤的泥浆都需进行絮凝，定量添加絮凝剂较复杂，影响生产成本，冲洗滤布的清水用量较大。滤布磨损较快，鼓轮和滚轮的同

地信网论坛
bbs.3s001.com

心度调节困难。带式压滤机与板框压滤机相比，基建投资减少了50%，生产费用节约30%，生产能力增大约一倍。与沉淀离心机相比，滤饼水分低，生产能力高1～1.5倍。

带式压滤机通常都由沥干部分和压榨部分组成，压榨棍挤压位于两块滤布之间的泥浆，压力通常在196～981千帕（2～10公斤/厘米^2）。这类设备开始都是为了处理城市污泥而研制的，后来逐步推广到矿山和其他工业领域，发展很快。目前，过滤带最宽已达4.2米，过滤面积为100米^2。我国自行研制了DY0.45～1.6型带式压滤机。煤炭部门已购买了阿勒斯-安德里茨（Arus-Andritz）公司的带式压滤机专利并已制造和出售。国外带式压滤机的型式较多，主要可分为连续加压与间歇加压两种。

A 连续加压带式过滤机

连续加压带式过滤机（图18.3.27）是依靠真空和压力两种推动力进行脱水的。对于难脱水的污泥，使用效果甚好。这种过滤机有一条合成纤维或金属丝织成的环形筛带，其后部的上方压着一条与环形带移动方向相同的压力带。泥浆被加入后，首先受到真空作用，脱去游离水份和孔间水份，接着泥浆被挤入两带之间，物料在加压情况下继续进行脱水。物料进入楔形通道后，受到不断增加的压力作用，使脱水速度加快，继而在弹性压力滚轮的作用下，滤饼体积被进一步压缩，降低水份含量。环形筛带上装有清洗装置用来清洗筛带。为了使输送、过滤和挤压形成一体，国外研制成了一种带有剪切滚系统的加压带式过滤机（图18.3.28）这种过滤机除由真空作用预先进行过滤外，还由于滤带的较高强度以及良好的剪切滚系统，因此，不需要依靠来自外部的压力面使带子的张力起到脱水作用，从滤饼中除去大量水分。

B 间歇加压带式过滤机

间歇加压带式过滤机的工作原理如图18.3.29所示。滤布10的两端安装在转筒7和9上，滤布10本身又可作为滤布1的传送带，转筒7和9由传动装置8驱动，能正反旋转，物料由管4加

地信网论坛
bbs.3s001.com

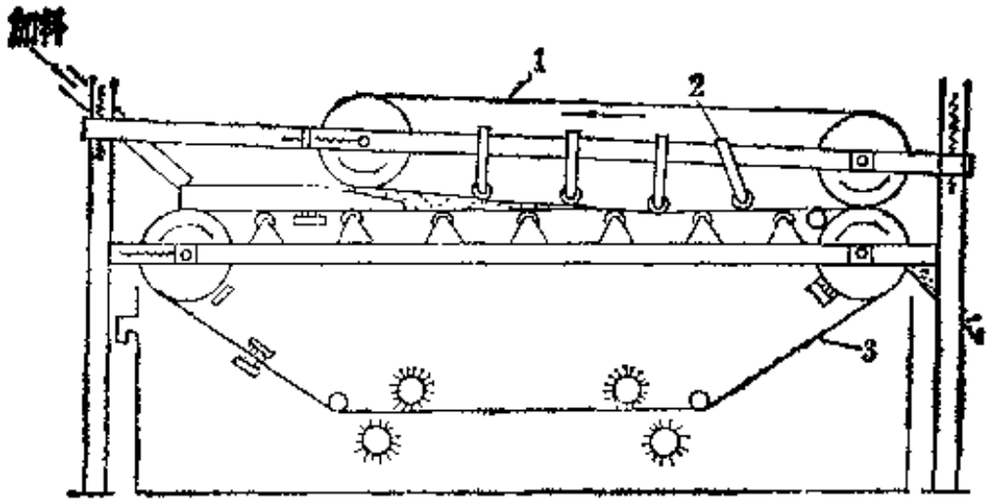


图 18.3.27 连续加压带式过滤机
1—压力带；2—弹性压力滚轮；3—滤带

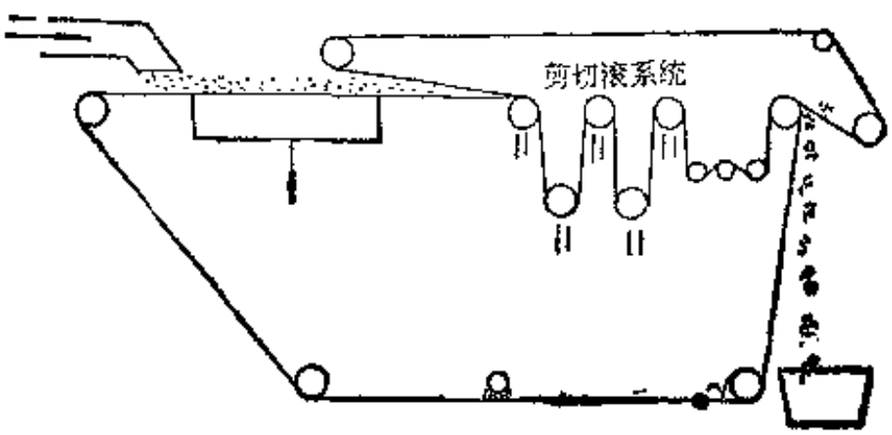


图 18.3.28 带有剪切滚系统的加压带式过滤机

入到滤布上，12为抽吸排液管，由上板框 3 和下框11组成过滤室 2。操作时，清洗过的滤布进入过滤室，此时，压缩空气推动密封环而压到滤布上，并开始加料和抽滤，当料液达到一定高度时，停止加料而且换成压缩空气输入，在过滤室内形成加压过滤。过滤完成以后，密封环自动升起，承载滤饼部分的滤布向排料区移动。而再生的滤布也同时进入过滤室，进行下一次过滤操作。如工艺上需要两层滤布时，可安装第二层滤布 1，两层滤布同步移动。安装双层滤布，使可能穿透 1 的固体粒子被滤布10第二次截留。在滤布 1 上装有制动装置，以防在滤布10返回时使滤

地信网论坛
bbs.3s001.com

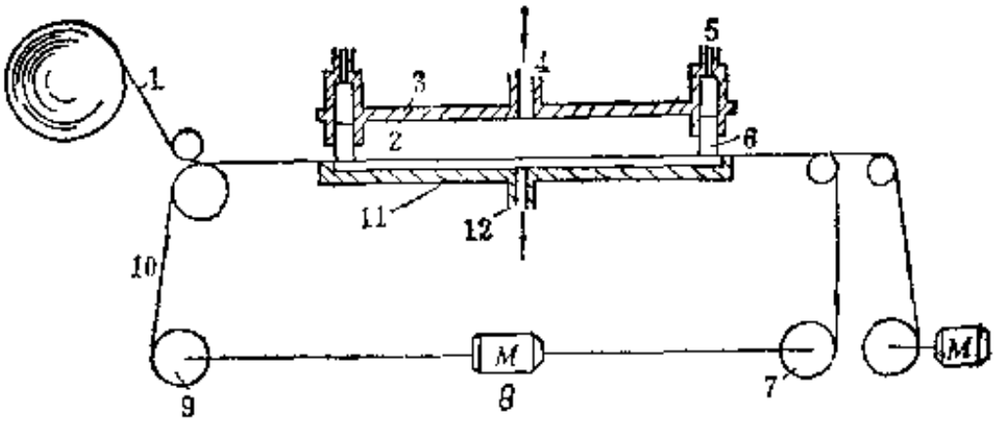


图 18.3.29 间歇加压带式过滤机

1—滤布；2—过滤室；3—上板框；4—加料管；5—压缩空气输入管；6—密封环；7—转筒；8—电机；9—转筒；10—滤布；11—下框；12—抽吸排液管

布 1 产生反向移动。这种设备清除了一般环形滤布因断面牵引不均匀而引起的滤布中心的皱纹。

实行强制脱水的加压带式过滤机类型很多。除上述以外，还有处理污水的半沉入式带式过滤机，全沉入式带式过滤机及重力式带式过滤机和美国的艾姆科带式压滤机等。

18.3.8.3 板框式自动压滤机

板框式自动压滤机可分为卧式和立式两大类。按照滤室的构造和滤布的安装、行走和卸料方式差异，又可细分为若干类型。我国生产的板框式自动压滤机以卧式为主，立式的仅有试制产品，未大量生产。

卧式板框压滤机

国产BAIZ型板框式自动压滤机如图18.3.30所示。其性能列于表18.3.20。

该设备属于水平板框式自动压滤机。每台压滤机由6～44副垂直的板框，构成6～44个压滤室。滤板内侧有孔供排出滤液和吹气，滤室衬着滤布。滤布在过滤时处于高位，卸饼时处于低位，起落由一些液压柱构成机械手操作。每个压滤周期分为五个阶段：（1）闭锁阶段 液压柱使滤布提起，过滤板密封；（2）

地信网论坛
bbs.3s001.com

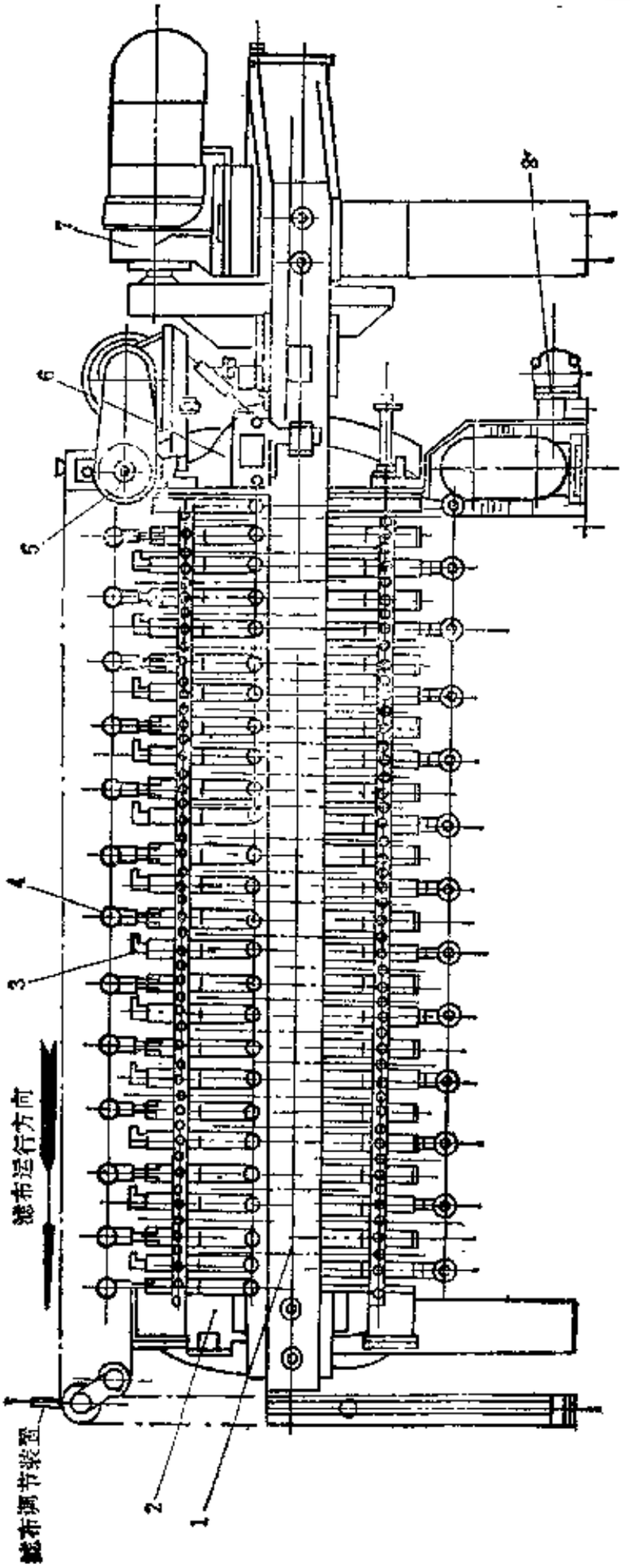


图 18.3.30 BAJZ型板框式自动压滤机结构图

1—主梁；2—固定压板；3—滤板；4—滤框；5—滤布驱动机构；
6—活动压板；7—压紧机构；8—洗刷箱

地信网论坛
bbs.s001.com

给矿过滤阶段 由滤室上部的给矿总管将矿浆分送到各滤室，直到其被滤饼充满；（3）压缩阶段 向滤室通入压缩空气，进一步排除滤饼中的残留水分；（4）卸饼阶段 液压柱拉开所有的过滤室和底部的卸料门，同时滤布下放，排出滤饼；（5）冲洗滤布阶段 用水冲洗滤布时，液压柱使滤布复位，滤板闭合，卸料门也关闭。

压滤机的给矿浓度为25～70%。必要时甚至可以将未经浓缩的、浓度只有30%左右的浮选精矿直接供给过滤机，得到含水份8%的精矿。但是，压滤周期相应延长。每次压缩可以生产4.5～5吨滤饼。

用30米^{2}板框式自动压滤机对细粒精、尾矿分别进行工业性脱水试验结果列于表18.3.21。

表 18.3.20 BAJZ型板框式自动压滤机性能表

型号	BAJZ 15/800—50	BAJZ 20/810—50	BAJZ 30/1000—60
压滤面积，m^2	15	20	30
框内尺寸，mm	800×800	810×810	1000×1000
滤框厚度，mm	50	50	60
滤板数	13	17	16
滤框数	12	16	15
装料容积，m^3	0.3	0.4	0.75
最大滤饼厚，mm	20	20	25
最大过滤压力，kPa (kg/cm^2)	≤589(6)	≤589(6)	≤589(6)
滤布规格(长×宽)，m	36×0.93	45×0.93	51×1.13
电动机功率，kW 主电动机	7.5		11
电动机功率，kW 滤布传动	1.1		1.1
电动机功率，kW 滤布洗刷	1.1		2.2
外形尺寸(长×宽×高)，mm	4140×1380×1715	5100×1380×1715	5615×1580×1955
自重，t	7	8.5	10

18.3.8.4 其他连续加压过滤机

连续加压过滤机是国外近几年发展的高效率的过滤设备，克服了自动压滤机间歇给料的缺陷，能连续给料，生产效率较高。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.21 30m²板框式自动压滤机过滤精矿、尾矿试验结果

物料名称	给料粒度 μm	给料浓度 %	滤饼含水 %	生产能力 kg/(m²·h)	脱水周期 h
尾 矿	−37	>30	16	16	1.5
尾 矿	−20	>20	23	10	<2
硫精矿		41～43	7	40	

连续压滤机型式多样，但基本上可分成三大类：即采用高压、中压和压力-真空联合型的过滤机。

A 旋转压滤机

旋转压滤机以日本的机型为代表。如图18.3.31所示。该机

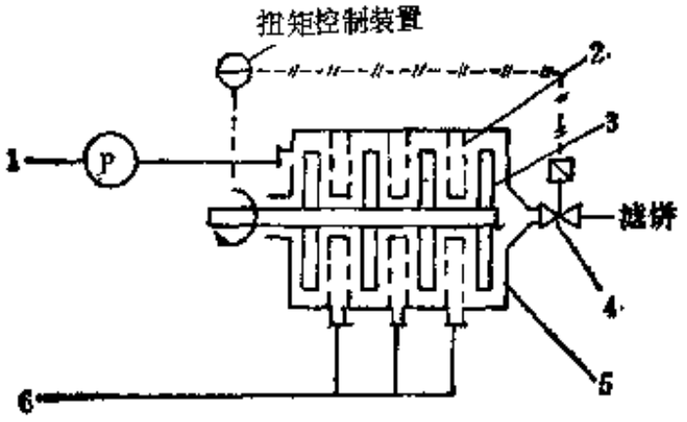


图 18.3.31 旋转压滤机结构示意图

1—给矿管；2—过滤板；3—搅拌盘；4—滤饼排放阀；5—过滤室；6—滤液管

于70年代用于工业生产。压滤机由多个过滤盘与搅拌盘相间排列而构成。过滤盘上有许多排放滤液的凹槽，并罩以抗压滤布，料浆在300～500千帕（3～5巴）压力下送入过滤机内，沿过滤盘表面流动并通过搅拌轴和过滤盘之间的环状间隙压入下一个过滤室，在很大的剪切力的作用下被迫以复杂的方式沿周向和径向高速流动，并在强烈的搅拌下经受过滤。滤饼呈糊状在机尾经排矿阀门间歇排出。搅拌轴的转数与固体物料的性质相适应。机内强烈的搅拌力和剪切力可保持压滤机在较长时间内稳定地工作，并使滤

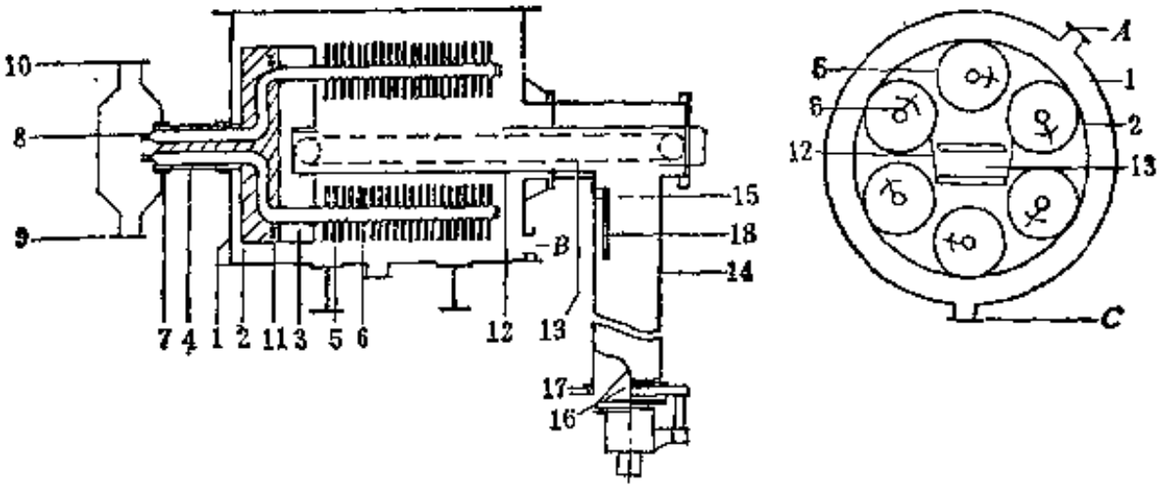
地信网论坛
bbs.3s001.com

饼在挤压室中运动和顺利排卸。由于料浆的粘度随固体含量增加而提高，从而增大搅拌轴的扭矩和电机功耗。因此，对于性质一定的料浆，电动机的功率是由浆体所要求的脱水程度来决定的。当压力稳定时，通过调节驱动电机功耗即可保持脱水过程稳定进行。

该类压滤机单位处理能力高，采用封闭式，结构紧凑，不会污染环境。工作适应性较好，在给矿浓度波动很大的情况下仍可较准确地控制产品水份。旋转压滤机用合成聚酯、聚丙烯或聚酯胺丝网做过滤介质，最大过滤面积达40米^2。此类压滤机也可作为高效浓缩机使用。

B KDF压滤机

KDF压滤机如图18.3.32所示。该机是荷兰一家公司研制



(左) 纵断面图 (右) 横断面图

图 18.3.32 KDF压滤机示意图

的。料浆过滤在密封的水平压力罐中进行。罐之下半部装有料浆，上半部充满气压600千帕（6巴）的压缩空气。罐内的6根空心轴上装有等量的滤片（又称小盘），绕轴自转。6根轴围绕一台中心螺旋输送机作环形运动。这种旋转可使滤饼保持均匀，并在高压下脱水。过滤介质由三层金属网组成，内层是粗钢丝

地信网论坛
bbs.3s001.com

网，外面两层为细筛网。当滤片转入矿浆内，在压缩空气的作用下开始压滤；滤片离开矿浆后，罐内的压缩空气促使滤饼进一步脱水。当滤片转到螺旋输送机上空时，滤饼被反向压气（比容器内的压力高100～400千帕（1～4巴））吹卸到螺旋输送机内，送至排料管。滤液经空心轴排出。该机的特点是在较小的装置中有较大的过滤面积。目前最大的KDF120型压滤机过滤面积为120米^2。过滤煤浆时，滤饼水分比真空过滤机低5～7%，滤液浓度为1克/升，生产率可达0.33～0.76吨/米^2·时。

C HKD加压过滤机

该压滤机是西德一家公司在80年代研制的。将经过改进的盘式过滤机及其传动部件、分配头、卸饼装置等密封在压力罐内。如图18.3.33所示。滤饼用叶轮式闸门排出，滤液自动流出。过滤盘的直径为1300、2000和3050毫米，盘数可多达12个，过滤面积为2～144米^2，最大可达480米^2。当过滤面积为96米^{2}时，在中等压力下，处理浮选精煤能力达100吨/时，滤饼水分为15～17%。生产证明，在选择的压力差和助滤剂用量适当时，能使压滤机的产量和滤饼水份保持在最经济状态。

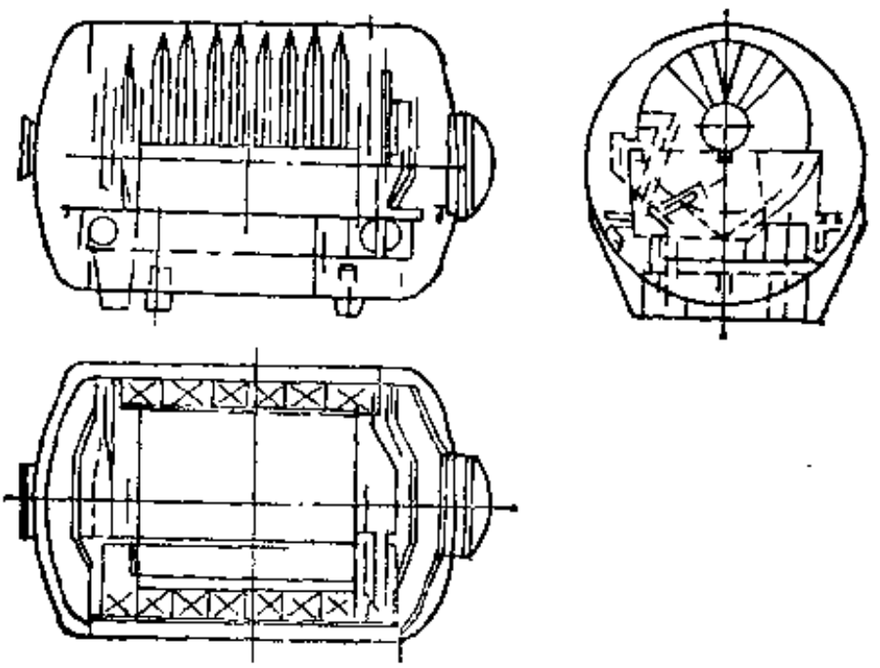


图 18.3.33 HKD加压过滤机示意图

地信网论坛
bbs.3s001.com

D 压力-真空组合式过滤机

该机又称为高气压真空过滤机，由西德一所大学组装。将一台普通筒型真空过滤机安装在一个加压室内，并往室内输入压缩空气，产生中等压力差即可获得很低的滤饼水份。用试验机型对锌精矿进行的半工业试验结果表明，滤饼水份可降到8%，省去了干燥作业。该工艺较用其他压滤或过滤加干燥的方法生产费用约低一半。这种过滤方式有利于对常规过滤机的技术改造。

此外，国外尚有加压筒型过滤机、水平带式加压过滤机和平板式加压过滤机等，一般采用250～350千帕（2.5～3.5巴）的中等压力工作。其组合原理与上述基本相同。

18.3.9 过滤系统的辅助设备

与过滤机配套的辅助设备之内容、型式和数量，随所选用的过滤机型式、规格的不同而有差别。除采用压滤机和离心脱水过滤机外，真空过滤机都须配备滤液缸和真空泵。当采用非自重或非刮刀卸落滤饼时，尚须设置低压压缩空气设备，用以吹卸滤饼。此外，无论哪种过滤机均有滤液收集、排放和相应的管网系统。

18.3.9.1 真空泵分类

过滤机工作过程中，须从其过滤室抽出空气，使室内的绝对压力低于大气压力。两者压力差通常用真空度或真空计示压力（表压）来衡量。真空度一般用过滤室（及相连接的网道）内因抽吸而形成的负压（即真空表的计示压力）占大气压的百分数来表示。因此，选矿厂常常直接用真空表的计示压力读数（真空计示压力）来衡量真空度的高低。

选矿厂的过滤机工作时一般处于低真空状态，即过滤室内的空气未能全部抽出，但其剩余压力很低。这主要是由于真空泵的性能和过滤机管网的密封程度等因素所决定的。真空泵的余隙容积、空气的温度、湿度及漏气等因素都会造成其实际吸气量减少。目前国产真空泵最大真空度：水环式可达93～96%，喷射式

地信网论坛
bbs.3s001.com

可达94～95%，往复式可达95%。选矿厂过滤作业真空泵工作时，其真空度一般应达到85%以上。

真空泵可分为回转式和活塞式两大类。前者可以同时抽吸气体和混入的雾状滤液，称为湿式真空泵；后者只能抽吸气体，称为干式真空泵。两种真空泵的抽气量均指在真空状况一定的情况下，在单位时间内所抽吸的气体并变换成标准大气条件，即气温为0℃，气压为101千帕（760毫米汞柱）时的空气体积。

目前选矿厂用得较多的真空泵是水环式真空泵。少数选矿厂使用了喷射式真空泵。

水环式真空泵目前有两种机型。其中SK型水环式真空泵性能优于SZ型水环式真空泵。

A　SK型水环式真空泵

SK型水环式真空泵是一种单级双吸水环式真空泵，一般用来抽吸不含固体颗粒的无腐蚀气体，并允许液体同时进入泵内，但气体和液体的温度不可超过40℃。SK型水环式真空泵的规格、性能列于表18.3.22。

SK型水环式真空泵的结构如图18.3.34所示。

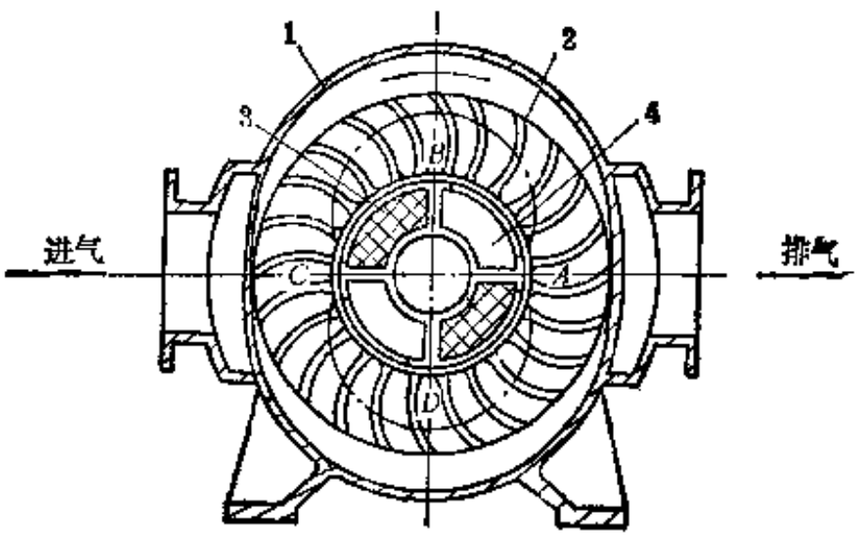


图 18.3.34　SK型水环式真空泵结构

1—泵体；2—叶轮；3—排出腔；4—吸入腔

地信网论坛 bbs.3s001.com

表 18.3.22 SK系列水环式真空泵的技术性能

型号	真空计示压力，kPa(mmHg)						极限真空计示压力	电动机功率	泵转速	供水量	泵重
	0(0)	40(300)	60(450)	80(600)	87(650)	91(680)					
	抽气量，m^3/min						kPa(mmHg)	kW	r/min	m^3/h	t
ZYK—27	26.5	26.5	26.4	21.0	0	0	87 (650)	40	490	10～12	
SK—42	42.0	40.3	39.3	29.0	19.7	0	89 (670)	55	490	11～12	1.8
SK—60	60.0	57.5	55.0	40.0	0	0	87 (650)	95	420	12～13	2.1
SK—85	85.0	81.6	78.0	58.1	0	0	87 (650)	130	365	13～18	4.2
SK—110	121	119.7	113.2	85.5	0	0	85 (640)	185	250	12～13	8.5
SK—20	22.9	22.4	21.37	14.5		1.6	921(690)	40	960	2.5～4.5	

表 18.3.23 SZ型水环式真空泵的技术性能

型号	真空计示压力，kPa(mmHg)					极限真空计示压力	电动机功率	泵转速	耗水量	泵重
	0(0)	41(304)	61(456)	81(608)	91(684)					
	抽气量，m^3/min					kPa(mmHg)	kW	r/min	L/min	kg
SZ—1	1.5	0.64	0.4	0.12	0	85 (640)	4	1450	10	140
SZ—2	3.4	1.65	0.95	0.25	0	88 (660)	10	1450	30	150
SZ—3	11.5	6.8	3.6	1.5	0.5	93 (700)	30	975	70	463
SZ—4	27.0	17.6	11.0	3.0	1.0	95 (710)	70	730	100	975

地信网论坛
bbs.3s001.com

B　SZ型水环式真空泵

SZ型水环式真空泵有四种规格（表18.3.27），最大真空度可达90%。该类真空泵亦可作低压鼓风机使用，此时电动机功率相应增大，最大计示压力可达206千帕（2.1公斤/厘米^2）。

SZ型水环式真空泵的结构如图18.3.35所示。其工作原理与SK型泵相似，但内部结构和工作效率相差较大。

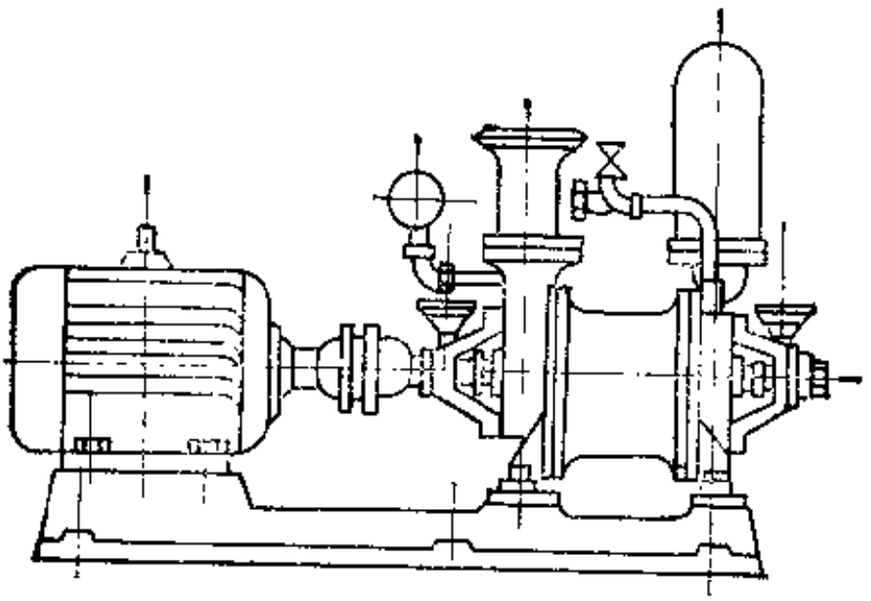


图 18.3.35　SZ型水环式真空泵的结构

为了保持水环应有的体积并消除真空泵工作时所产生的热量，水环中的水必须不断地循环和补充。为此，在SZ型水环式真空泵的排气端设有水箱，并备有加水管；水箱与泵之间设有连通管，并用闸阀调节向水环补充的水量。水环式真空泵的循环水中不应含机械杂质，以防磨损部件。

C　喷射泵

喷射泵构造简单。水喷射泵结构如图18.3.36所示，蒸汽喷射泵结构如图18.3.37所示。

这两种喷射泵在选矿厂经常用来输送清水或药剂，也可以输送矿浆。近几年也用于过滤作业，代替水环式真空泵。喷射泵工作时将其他液体或气体的动能转变为被输送液体的势能，从而实

地信网论坛
bbs.3s001.com

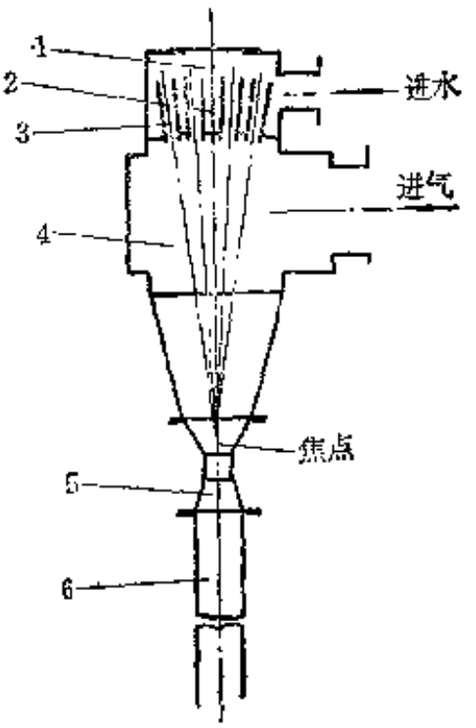


图 18.3.36 水喷射泵结构

1—水室；2—喷嘴座板；3—喷嘴；4—混合室；5—喉管；6—尾管

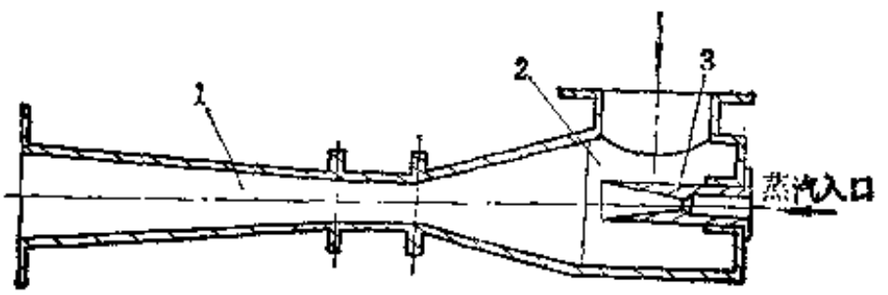


图 18.3.37 蒸汽喷射泵结构

1—扩散室；2—混合室；3—喷嘴

现液体输送。

选矿厂一般采用以水作为工作流体的喷射泵来输送滤液。清水由水泵压入喷射泵的水室，并保持147千帕（1.5公斤/厘米^2）以上的计示压力，通过多个横截面呈锥形的喷嘴，以很高的速度（约为15～30米/秒）射入混合室，经过一定的距离，使各喷嘴射出的水流准确地聚于喉管中心之一点（焦点上）。高速射流质的横向紊动扩散作用，带走吸管内的空气而形成低压。过滤机的滤

地信网论坛 bbs.gisoo1.com

表 18.3.24 水喷射泵技术性能

型号	最大抽气量 m^3/min	真空最小计示压力 kPa(mmHg)	配套电动机功率，kW	吸口直径 mm	尾管长度 m	泵重 t	配用水泵型号
SPB—350	8.9	96 (720)	13	100	10	0.273	
SPB—450	11.8	96 (720)	22	125	10	0.489	
SPB—600	21	96 (720)	40	200	10	0.852	
SPB—750	42	96 (720)	75	300	10	1.287	

表 18.3.25 蒸汽喷射泵的技术性能

喷射器类型		性能													蒸汽计示压力，kPa (kg/cm^2)	耗汽量 t/h
球型	抽气量 kg/h	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1500		1800	1900	2050	784(8)	6
	真空计示压力 kPa(mmHg)	99(740)	97(725)	96(718)	95(710)	94(703)	93(698)	92(692)	91(685)	91(682)		90(675)	60(450)	48(360)		
圆柱型	抽气量 kg/h	0	200	400	600	800		1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	784(8)	3.2
	真空计示压力 kPa(mmHg)	波动	96(718)	95(710)	93(700)	92(690)		87(650)	81(610)	76(570)	69(520)	63(470)	56(420)	45(340)		

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.26 某铁矿选矿厂SZ₄水环式真空泵与水喷射泵试用对比

真空泵的型式及规格	真空计示压力 kPa (mmHg)	精矿含水 %	滤饼厚度 mm	精矿粒度 −0.074 mm, %	喷射水压, kPa (kg/cm²)	装机电容量 kW	实耗功率 kW	节电 %	单机耗水 m³	设备费 万元	设备检修情况	备注
SZ₄水环式	77 (578)	9.99	22.3			70	49	0	6	6	定期更换泵的轴承、叶轮轴、端盖	
φ600水喷射泵	67 (505)	9.84	22.7	87～91	128～196 (1.3～2.0)	50	23.85	51.02		4	必须清除水泵叶轮结垢	

表 18.3.27 PMK和SZ型水环式真空泵与水喷射泵电耗对比

选矿厂	大孤山铁矿				大石河铁矿		八家子铅锌矿		招远金矿灵山分矿	
真空泵型式及规格	φ650 喷射泵	PMK—4 水环式	φ600 喷射泵	PMK—1 水环式	φ600 喷射泵	SZ₄ 水环式	φ600 喷射泵	SZ₄ 水环式	φ350 喷射泵	SZ₂ 水环式
装机电容量, kW	30	55～75	30	55～75	30	70	30	70	7.5	10
实耗电功率, kW	24	46.5	24	50	23.85	49	22	54	5.94	7.92
节电, %	52.17	0	52	0	51.33	0	59.26	0	25	0

地信网论坛
bbs.3s001.com

液缸内之空气沿着喷射泵的吸气管进入混合室并进行能量交换，使工作流体的流速减小，被吸入的空气流速增加，在喉管的出口处两者的流速趋于一致，压力逐渐增大。混合流体通过扩散管后，大部分动能转换为压力，使压头进一步提高，最后经过尾管排入水箱内。在有廉价蒸汽的选矿厂里，也可使用蒸汽喷射泵。

水喷射泵和蒸汽喷射泵的技术性能分别列于表 18.3.24 和表 18.3.25。

喷射泵的技术性能对比列于表18.3.26和表18.3.27。

水泵单位排水量使水喷射泵所获得的抽气能力称为水喷射泵的排容系数K。其可用下式计算：

$$K=\frac{V}{Q} \tag{18.3.20}$$

式中 V——水喷射抽气量，m^3；

Q——水泵的供水量，m^3。

K值随真空度而变化。结构不同的水喷射泵的K值与其真空度变化的关系曲线是不同的。

水喷射泵配用水泵的功率可参考下式计算：

$$N=N_V\cdot V \tag{18.3.21}$$

$$N_V=\frac{0.2334H}{K} \tag{18.3.22}$$

式中 N_V——排容量为1m^3/min所耗用功率，kw/(m^3·min)；

H——水室计示压力，kPa；

N——水泵功率，kW；

V——水喷射泵抽气量，m^3/min；

K——排容系数。

D 往复式真空泵

往复式真空泵又称为活塞式真空泵。其结构如图 18.3.38 所示。

国产W型往复式真空泵的技术性能如表18.3.28所示。

18.3.9.2 真空泵的选择和计算

地信网论坛
bbs.3s001.com

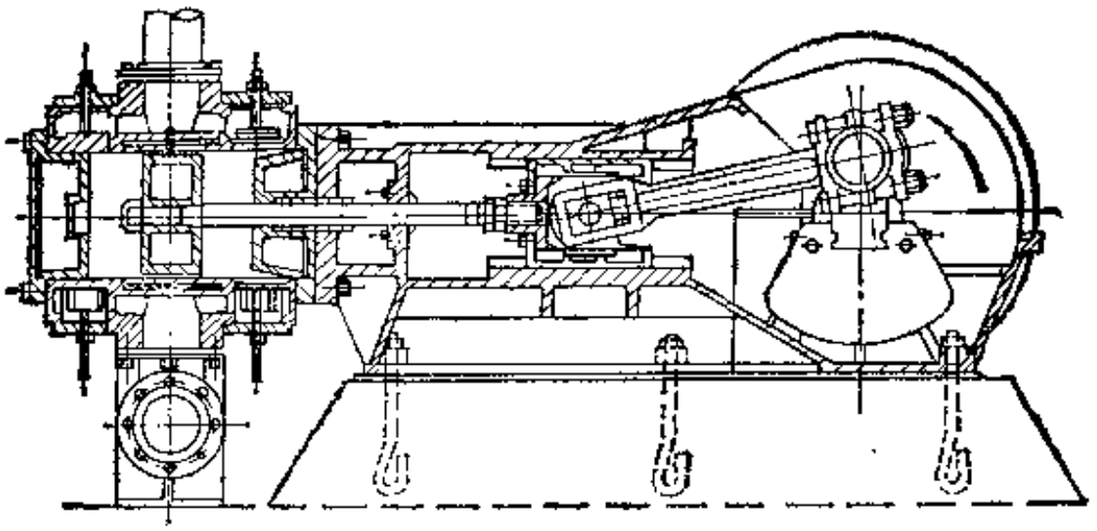


图 18.3.38 往复式真空泵结构

表 18.3.28 W型往复式真空泵技术参数

型号		W_2	W_3	W_{4-1}	W_{5-1}	W_{6-1}
抽气速率，L/S		32	55	103	214	417
极限真空计示压力，kPa		2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
进、排气管径 mm (in)		50,(2)	50,(2)	100,(4)	125,(5)	175,(7)
进出水管径 mm (in)		12,(1/2)	12,(1/2)	12,(1/2)	20,(3/4)	20,(3/4)
转速，r/min		300	300	530	430	390
电动机	型号	$Y132M_1-6$	Y132S—4	Y160M—4	$Y200L_2-6$	Y280S—6
	功率，kW	4	5.5	11	22	45(40)
缸径×行程,mm		220×130	250×150	250×150	350×200	455×250

水环式和喷射式真空泵结构简单，操作和维护方便，不怕雾状腐蚀性滤液混入，故在过滤工艺流程中不须设置第二段汽水分离器。这两类真空泵对选矿厂过滤作业的适应性较好，价格比往复式真空泵约低20%，但前者动力消耗约高出一倍，同时其抽气能力会随水封温度而变化。

SK型水环式真空泵比SZ型的抽气量大，电耗较低，效率较高，可达48～53%，工作时振动小，运转可靠。其最大的吸气量

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.29 SK—27与SZ$_4$水环式真空泵过滤铁精矿对比试验

真空泵型式	真空计示压力 kPa (mmHg)	给矿温度 ℃	给矿浓度 %	溢流浓度 %
SK—27	54 (409)	6.25	56.53	31.44
SZ$_4$	70 (527)	5.25	48.54	14.52

真空泵型式	滤液浓度 %	滤饼水份 %	滤饼厚度 mm	过滤机单位生产能力 t/(m²·h)
SK—27	9.35	11.27	20.61	0.89
SZ$_4$	13.02	11.54	10.25	0.59

可达120米³/分。

SK型与SZ型水环式真空泵的对比试验指标列于表18.3.29。

SZ型水环式真空泵结构较简单，操作维护较方便，同时可以使用汽水分离器中的废水来补充泵内水环消耗的水量，因此新水耗量较SK型泵低。但效率较低，约为35%。

水喷射泵适于中、小型选矿厂在对滤饼水分要求不太严的情况下使用。该泵结构简单，易制作，造价低，工作时无运动部件，噪音较小，操作维护方便。分离出的滤液可以循环使用，耗电及耗水量较低。在有廉价蒸汽来源的选矿厂，也可使用蒸汽喷射泵。

往复式真空泵，由于其工作环境要求较高，不能抽吸含有液体的气体，同时设备构造复杂，对部件的材质和加工精度要求较高，操作维护不方便等原因，目前新建的选矿厂很少采用。但该泵的功率消耗较SZ型水环式真空泵低，工作效率高，可达65～70%。因此少数选矿厂仍在使用这种泵。

确定真空泵的规格主要取决于过滤机在洗涤和疏干期间通过滤饼所抽取的空气量及所需的真空计示压力。而这两项指标一般应通过滤叶试验获得。在缺少试验资料的情况下，也可按照表18.3.30所推荐的经验数据作近似计算。根据单位过滤面积需要的抽气量和过滤的总面积即可确定真空泵的总抽气量和台数。

地信网论坛
bbs.3s001.com

当过滤粘性细粒物料或铁精矿时，矿量多，滤饼厚，耗风量高，一般需吸风量为1.2～1.5米^3/(米^2·分)。在确定真空泵的能力和台数时，须按真空度为零（即计示压力101千帕）时的吸风量来计算。

真空泵的轴功率可按下式计算：

$$N=\frac{QL_1}{60\times102\times9.81\eta} \qquad (18.3.23)$$

式中 N——真空泵的轴功率；kW；

L_1——从真空空间吸取1m^{3}气体所做的功，J/m^3；

Q——实际吸气量，m^3/min；

η——真空泵的全效率，与真空泵的构造型式以及所循的压缩过程的类别而不同，一般为0.7～0.85。

按绝热压缩过程考虑时，真空泵所做的功为：

$$L_1=\frac{k}{k-1}p_1\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right)\times9.81 \qquad (18.3.24)$$

式中 L_1——意义同上，J/m^3；

k——绝热指数。空气的绝热指数为1.4；

p_1——吸气绝对压力，Pa；

T_1——压缩开始时空气温度，°K；

T_2——压缩终了时的空气温度，°K。

表 18.3.30 过滤机需要的气压、吸气量和鼓风量

过滤机型式	真空泵		鼓风机	
	真空计示压力 kPa	吸风量① m^3/(m^2·min)	计示压力 kPa	风量 m^3/(m^2·min)
圆盘过滤机	67～80	0.4～0.8	9.81～19.61	0.1～0.2
圆筒过滤机	67～80	0.5～1.2(1.5)	19.61～29.42	0.2～0.4

注：当过滤粘性细粒物料或铁精矿时，取大值；

① 系指折算气压为101.325kPa（大气压力）时的吸风量。

18.3.9.3 鼓风机的选择

当采用各种筒型内滤式、盘式真空过滤机和压滤机时，均须使

地信网论坛
bbs.3s001.com

用低压空气吹卸滤饼，需用绝对压力一般为112.8～225.6千帕（即计示压力为9.8～124.6千帕），磁选精矿取下限，浮选精矿取上限。压力过高将影响滤布使用寿命，并多耗动力。

低压风机型式较多。选矿厂一般选用定容式的罗茨鼓风机或叶氏鼓风机。这两种鼓风机的特点是机器本身并不使其所输送的空气受到压缩，只是当排气容器的空间（如风包和排气管等）内的气量不断增多时压力才得以升高，并对来自大气的空气进行反压缩，鼓风机的流量是恒定的，不随风压大小而变化，这是定容式风机的另一特点。

罗茨及叶氏式鼓风机的结构分别如图18.3.39和图18.3.40所示。

罗茨式鼓风机的实际吸气量可按下式计算：

$$Q=\lambda\cdot 2\cdot\left(\frac{\pi D^2}{4}-A\right)\cdot L\cdot n \qquad (18.3.25)$$

式中　Q——实际吸气量，m^3/min；

A——每个转子的断面面积，m^2；

D——转子的回转直径，m；

L——转子沿轴向的长度，m；

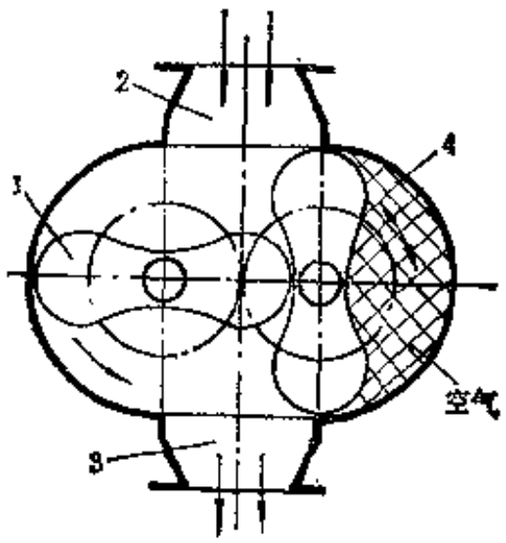


图 18.3.39　罗茨鼓风机结构

1—转子；2—吸气管；3—排气管；4—气缸

地信网论坛
bbs.3s001.com

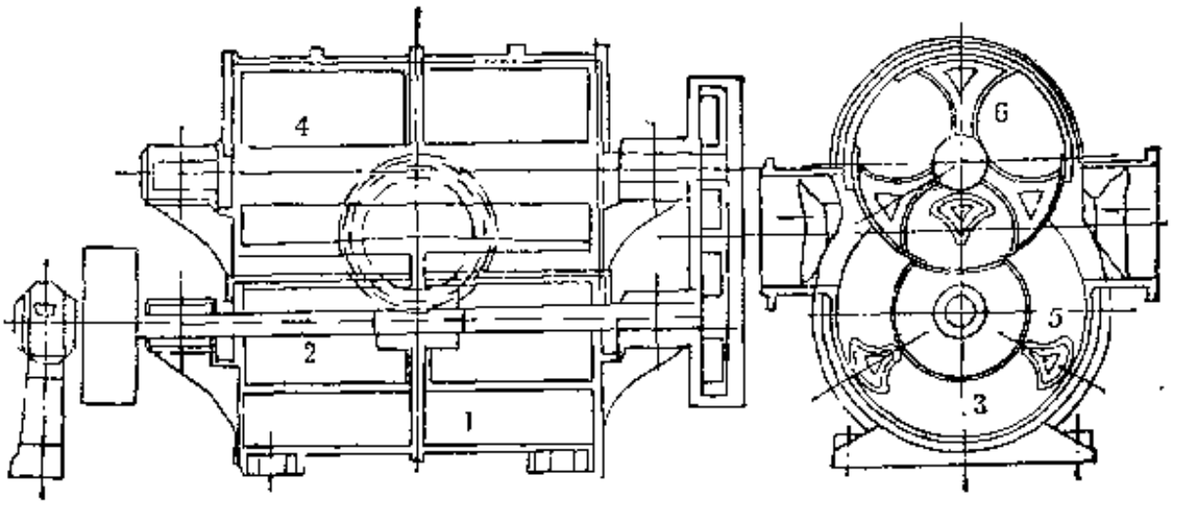


图 18.3.40 叶氏鼓风机结构

1—气缸；2—鼓风转子；3—定子；4—阻风转子；5—叶；6—凹槽

n——转子每分钟转数，r/min；

λ——压送系数，主要决定于漏损情况，一般为0.75～0.85。

叶氏鼓风机的工作压力比罗茨鼓风机的高，但构造比较复杂。

选矿厂需要的鼓风计示压力如超过29.4千帕（0.3公斤/厘米^2），可选用水环式压气机。

吹卸滤饼所需的耗风量可由试验测定。无试验资料时，可按表18.3.30选用。

在小型选矿厂当对精矿水份要求不严格时，也有利用水环式或水喷射真空泵排出的废气吹卸滤饼的做法，但须控制其计示压力在9.8千帕（0.1公斤/厘米^2）以上。这样做可以省去鼓风机，但会降低真空泵的热工效率。

18.3.9.4 其他辅助设备

过滤机的滤液的收集和输送借助于滤液缸、汽水分离器和滤液水泵来完成。

滤液缸为一密闭的金属容器。其内设有隔板，促使空气与滤液分离；其侧壁用管道与过滤机连接，上、下端分别与汽水分离器和滤液泵连接。滤液缸的上部装有安全阀，以防止滤液缸内积

地信网论坛
bbs.3s001.com

水过多，致使水进入真空泵内。

滤液缸的大小取决于所用过滤机的面积。对应于不同的过滤面积，必须有足够容积的滤液缸，以使过滤机抽出的气、水混合体中的水充分地分离出来，并从滤液缸的底部沿管道流入水泵送走。

汽水分离器是安装于真空泵和滤液缸之间的一密闭金属容器。由滤液缸上部吸入的含水空气进入有10.5米安装高差的汽水分离器后，水份被充分地分离出来，并沿气压管流下。空气则由真空泵抽出。

不同的过滤面积须配用的滤液缸和汽水分离器的容积列于表18.3.31。

表 18.3.31 不同过滤面积须配用的滤液缸及汽水分离器容积

过滤机	过滤面积，m^2								
	1	4.5	9	13.5	18	27	34	51	68
滤液缸的容积，m^3	0.4	0.8	0.8	1.6	1.6	1.6	2.2	2.7	2.7
汽水分离器容积，m^3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4～0.8	0.4～0.8	0.4～0.8	0.8～1.2	0.8～1.2

滤液缸中的滤液须用水泵排出。因滤液缸内的压力小于101千帕（大气压），故须选用具有吸程的离心砂泵，其轴承处与机壳均须密封，以防空气漏入。为了使离心泵不致在负压下工作，可在泵的入口与滤液缸上部接一连通管，使其内部压力得以平衡。滤液泵的规格按滤液量及需要的扬程由计算确定。当集中输送滤液时，须设置备用泵。

新设计的选矿厂多使用自动排液装置，代替常规的滤液缸和滤液泵，节能效果明显。该设备为我国首创。经过不断地改进和发展，目前已有浮子式和阀控式（电动式）等基本结构形式，如

地信网论坛
bbs.3s001.com

图18.3.41和图18.3.42所示。改进后的浮子自动排液装置排液能力大，使用周期长，维护方便。阀控式自动排液装置用带有传动机构的控制阀代替了两个浮子来控制两个排液箱，轮换积存和向外排放滤液，工作更可靠。在图18.3.42中，阀芯分别使管口 a 与 b 、c 与 e 连通。左排液箱内的压力小于大气压力，左放水阀在大气压力下关闭，左滤液阀两侧压力平衡，滤液在自重作用下冲开左滤液阀，流入左排液箱内积存。此时，右排液箱与汽水分离器隔绝，与大气相通，箱内为常压，右滤液阀在大气作用下关闭，右排液阀两侧压力平衡，箱内积存的滤液在自重作用下流出箱外。经过一定时间，阀芯动作，使管口 a 与 c 、b 与 d 连通。

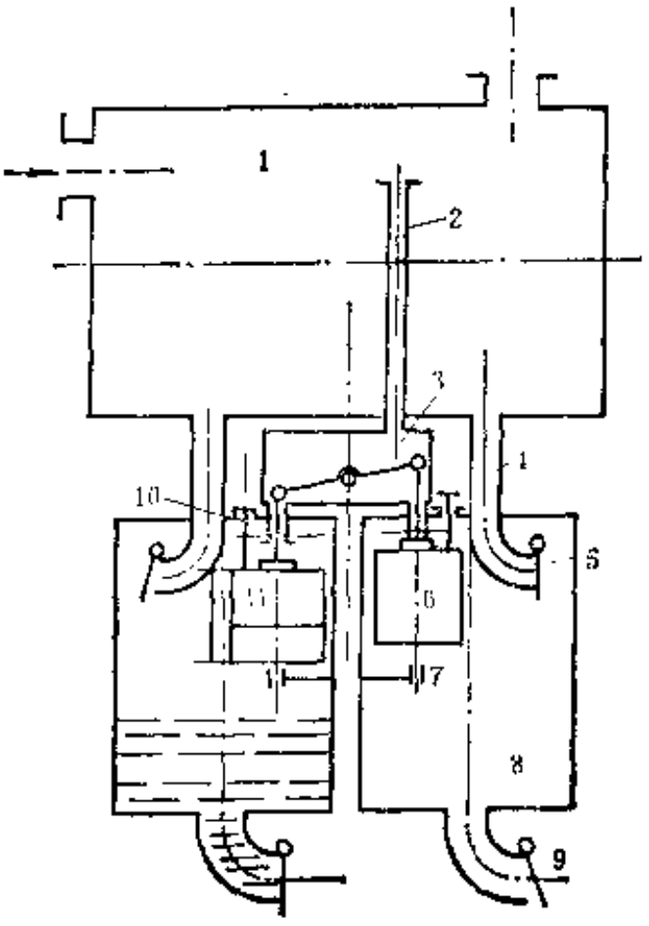


图 18.3.41 浮子式自动排液装置结构

1—汽水分离器；2—连通管；3—杠杆箱；4—大喉管；5—滤液阀；6—浮子；7—吊杆；8—排液罐；9—放水阀；10—小喉管；11—胶阀

地信网论坛
bbs.3s001.com

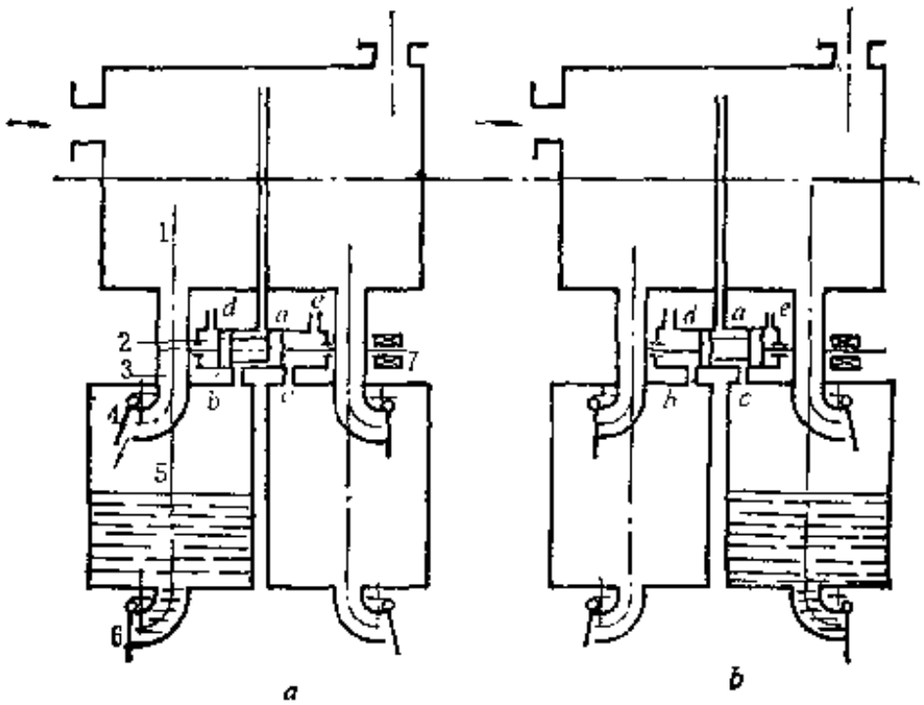


图 18.3.42　阀控式自动排液装置

1—汽水分离器；2—控制阀；3—吸管；4—滤液阀；5—左排液罐；6—放水阀；7—阀驱动装置

左右排液箱互换上述动作。

控制阀可作成两位五通阀（如前述）或旋转式两位四通阀。阀芯的控制方式也有多种形式，如机械控制，多用于旋转控制阀，可由过滤机的运动部件带动；电磁铁控制，可用液位、凸轮行程开关或时间继电器使电磁铁定时动作。

自动排液装置的排液量有很大的伸缩范围。浮子式的可以自行改变排液时间间隔，以适应过滤机的排液量。阀控式的可由控制机构改变其排液时间间隔或每次的排液量去适应过滤机的排液量。

定型的RP型自动排液装置系列参数和与其匹配的真空过滤机的大致关系列于表18.3.32。

18.3.9.5　过滤辅助设备系统

过滤辅助设备系统的组合方式与所选用的过滤机的型式和地形有关。常见的有以下几种：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.32 RP型自动排液装置技术参数

型号 规格 mm	RPD—300 300	RPD—560 560	RPF—800 800	RPF—1000 1000	RPF—1205 1250
结构型式	阀控式	阀控式	浮子式	浮子式	浮子式
排液罐有效容积，m^3	0.02	0.13	0.40	0.67	1.20
排液量 m^3/h	0.8～1.6	5～10	6～24	1～40	18～72
排液间隔时间，min	0.75～1.5	0.75～1.5	1～4	1～4	1～4
外形尺寸（长×宽×高）mm	885×915×1750	1550×925×2320	2380×1280×3370	2400×1470×3760	
重量，t	0.3	0.7	2.0	2.1	
可配套过滤机的规格，m^2	1.7	5	12	30	50
	3	8	20	40	60
	5	12	30	50	80

图18.3.43是机械卸料（滤饼），用水泵吸出滤液，并在活塞式真空泵前设置架高的汽水分离器（防止滤液进入真空泵）的过滤装置。滤液管出口浸没在水封池中。也可用单向阀代替水封池，工作更为可靠。该系统是沿用已久的常规组合方式。

图18.3.44是鼓风卸料，自动排出滤液的过滤组合方式。采用水环式真空泵，取消了废气进泵之前的汽水分离器。流程中的空气压缩机根据卸料要求，也可采用低压鼓风机。

图18.3.45是采用水喷射泵抽吸滤液，自动排液箱排出滤液的组合方式。

图18.3.46是采用蒸汽喷射泵抽吸滤液的设备系统图。具有一定压力的蒸汽通入泵内，在喷咀出口处产生100米/秒以上的高

地信网论坛
bbs.3s001.com

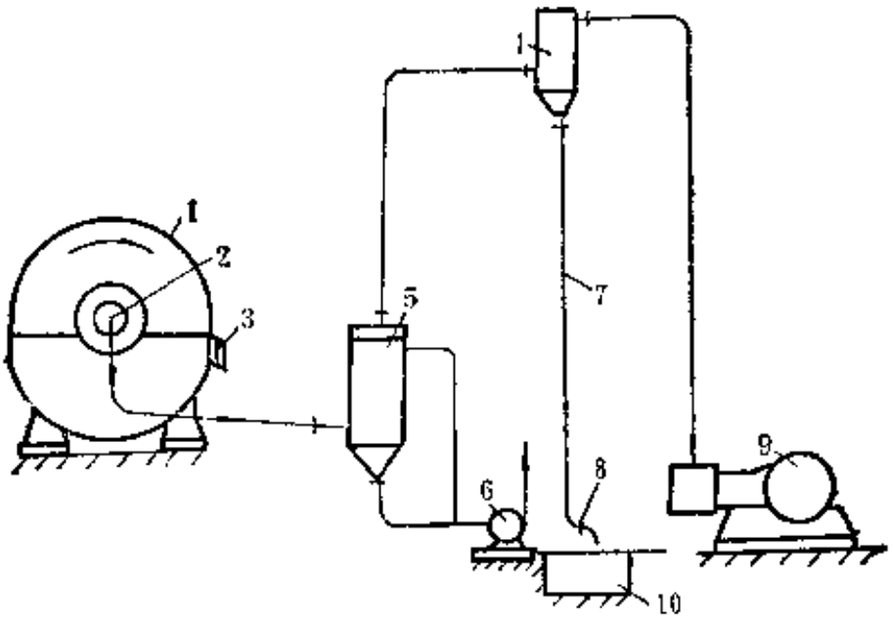


图 18.3.43　机械卸料真空过滤机的辅助设备系统

1—过滤机；2—进气口；3—刮板；4—汽水分离器；5—滤液缸；6—滤液泵；7—排气管；8—单向阀；9—真空泵；10—水沟

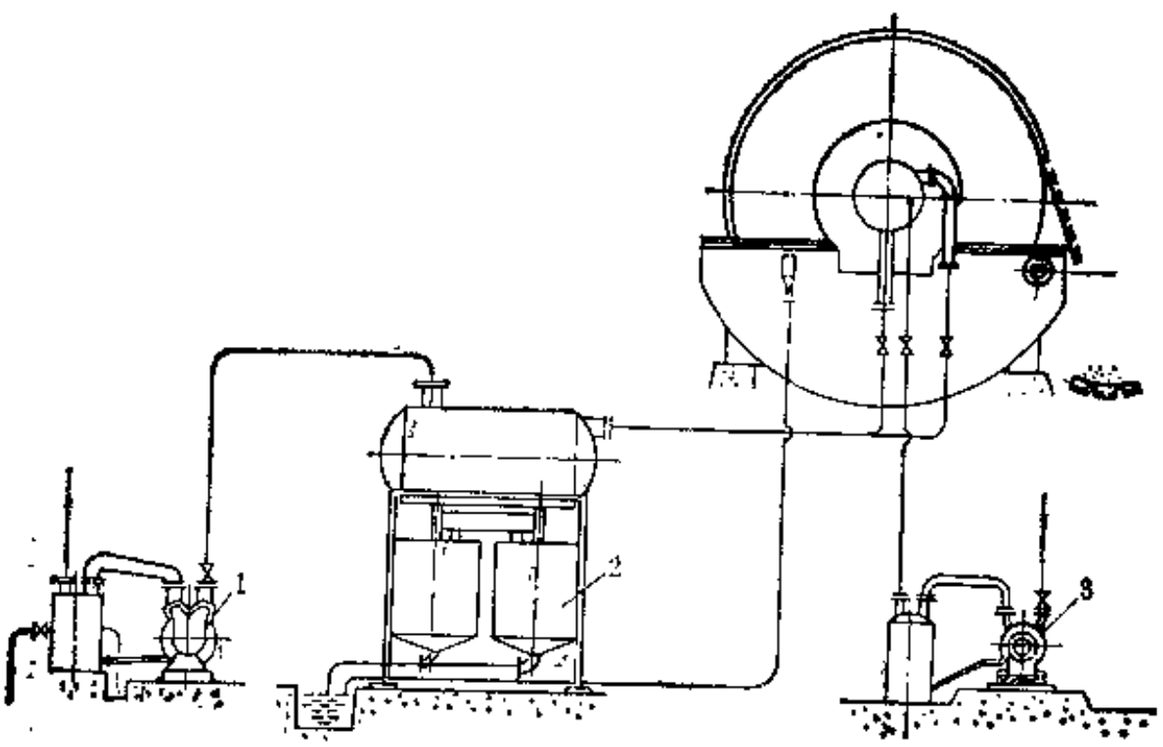


图 18.3.44　鼓风卸料—水环式真空泵辅助设备系统图

1—真空泵；2—自动排液装置；3—空气压缩机或低压鼓风机

地信网论坛
bbs.3s001.com

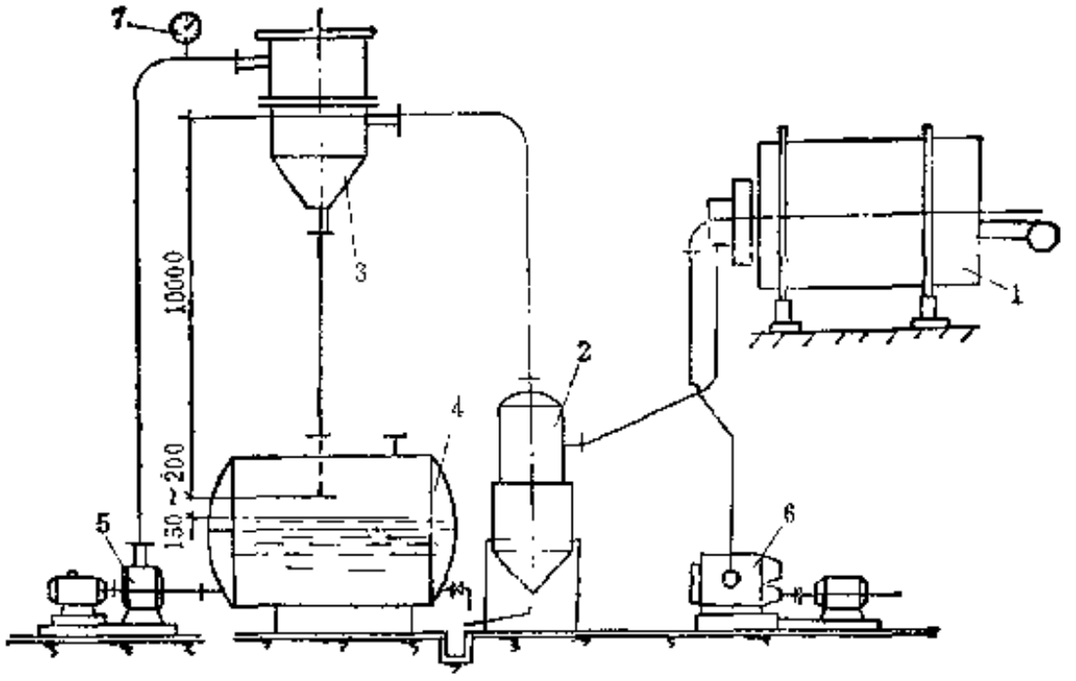


图 18.3.45 用水喷射泵的辅助设备系统图

1—过滤机；2—自动排液箱；3—水喷射泵；4—水箱；5—清水泵；6—鼓风机；7—压力表

速汽流。一般采用多级串联，在两级蒸汽泵之间设冷凝器，使前一级排出的混合气体中水蒸气大部分冷凝成水，以减轻下一级的负荷。该泵适用于有廉价蒸汽的选矿厂。

图18.3.47是压滤机配用辅助设备的系统图。矿浆由泵送入压滤机内，用压缩空气将机内配管中的液体或滤饼中的残存液排出，滤饼靠自重并辅以刮刀卸出。

对于须经絮凝的浆体，如污泥脱水等，典型的压滤设备系统如图18.3.48所示。

由进料泵将已浓缩的污泥从浓缩池送入高位絮凝池内，启开该池中的压缩空气管进行搅拌，边搅拌边加入适量的絮凝剂，使污泥凝聚成大颗粒絮团，以改善脱水性能，提高脱水效率，然后将配制好的污泥放入污泥贮罐，罐内通入压缩空气加压将污泥压入压滤机脱水。

地信网论坛
bbs.3s001.com

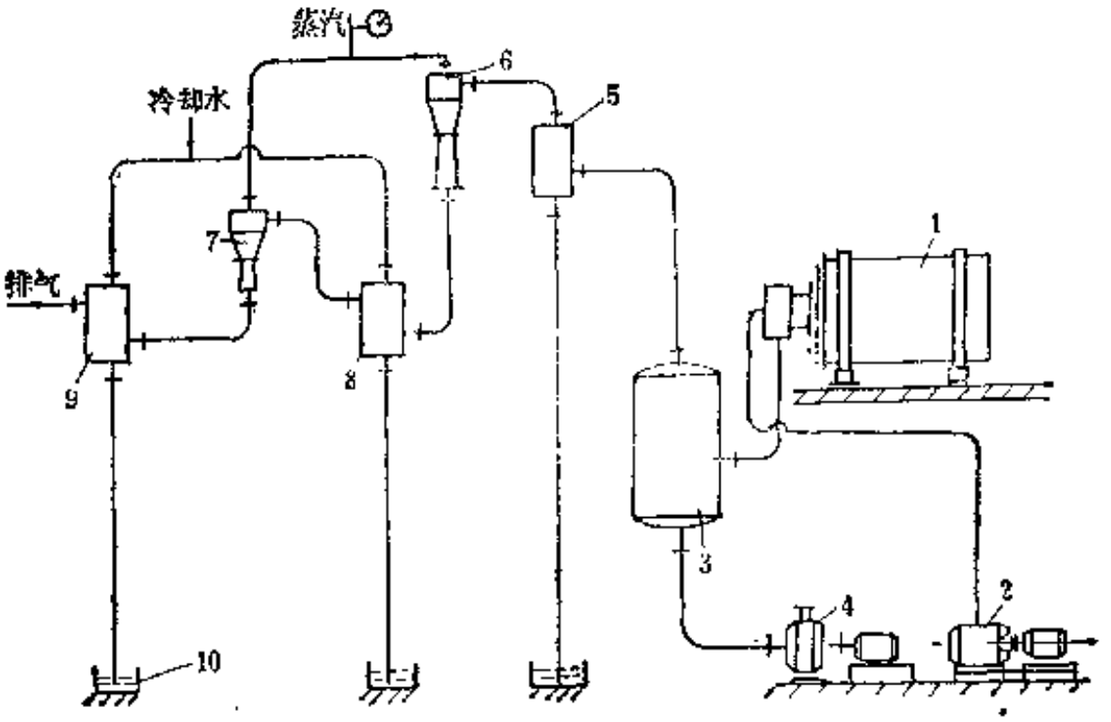


图 18.3.46 采用蒸气喷射泵的辅助设备系统图
1—过滤机；2—鼓风机；3—滤液缸；4—离心泵；5—汽水分离器；6—一级喷射泵；7—二级喷射泵；8—一级冷凝器；9—二级冷凝器；10—水封池

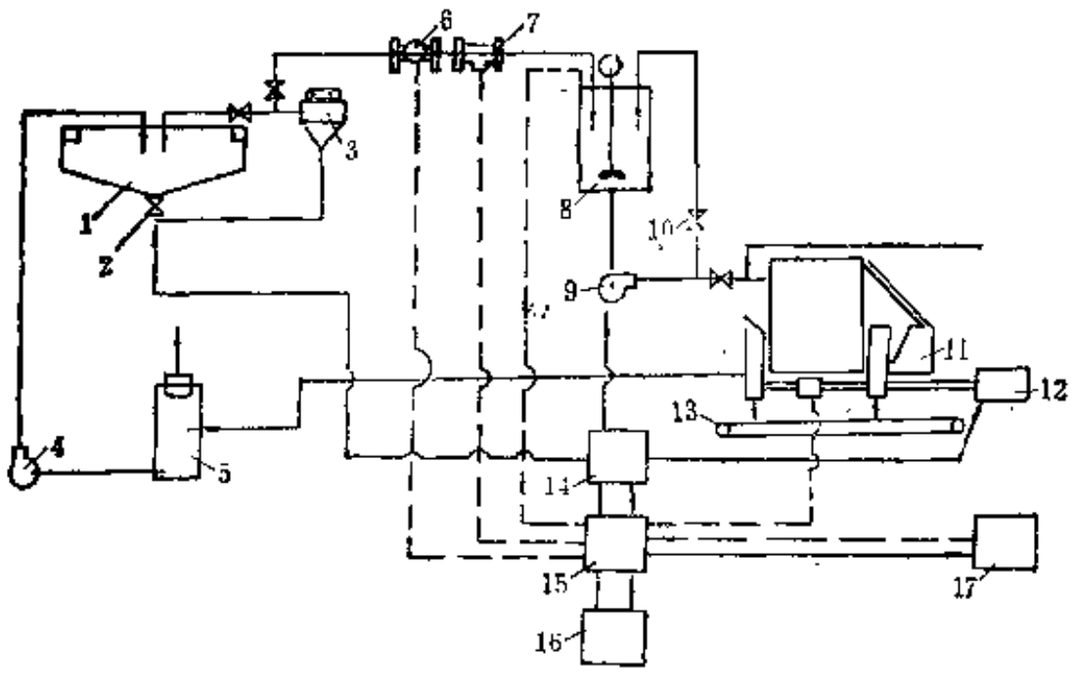


图 18.3.47 压滤机的辅助设备系统图
1—φ9.1m铜精矿浓缩机；2—电动阀；3—0.1m隔膜泵；4—离心泵；5—φ0.76m×0.76m分离槽；6—流量计；7—浓度计；8—5m³搅拌槽；9—离心泵；10—电动阀；11—压滤机；12—油压泵；13—输送机；14—操作盘；15—输入输出控制器；16—电子计算机；17—仪表盘

地信网论坛
bbs.1s001.com

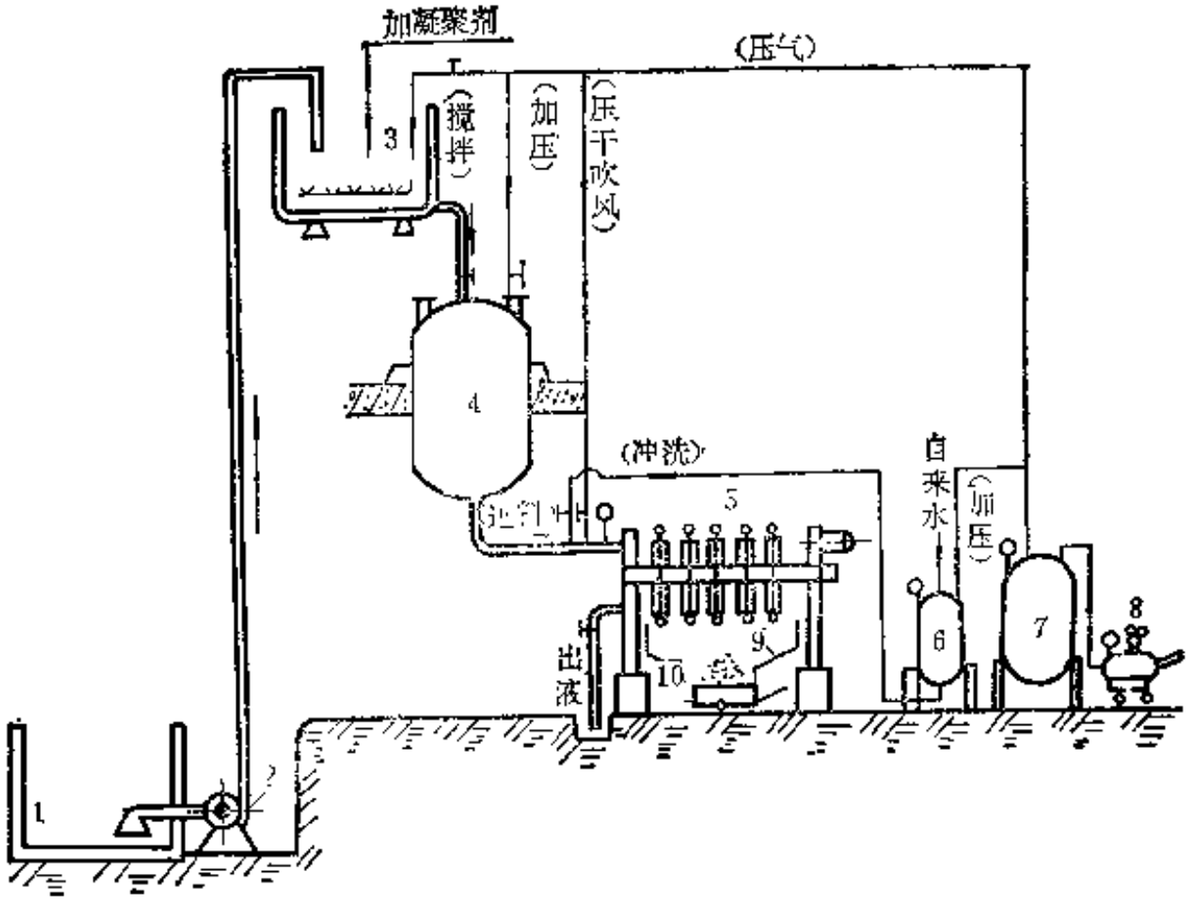


图 18.3.48 添加絮凝剂的料浆压滤设备系统图

1—污泥浓缩池；2—进料泵；3—污泥混凝池；4—污泥压力罐；5—自动板框压滤机；6—压力水罐；7—贮气罐；8—移动式空压机；9—集泥斗；10—滤饼小车

18.3.10 助 滤 剂

18.3.10.1 助滤剂的分类

助滤剂可分为表面活性剂型和絮凝剂型，按离子性的差异两者又可分为阴离子型和非离子型表面活性剂型助滤剂。两者主要通过降低滤液的表面张力而起作用。

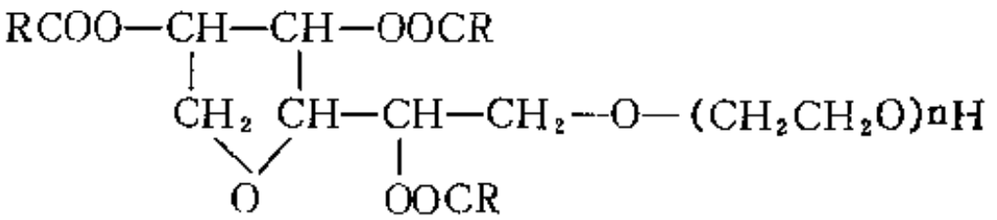
常用的阴离子表面活性助滤剂有OT型助滤剂（琥珀酸双酯磺酸盐）。这种助滤剂常含具有润滑、增溶和乳化能力的表面活性物质。该化合物及其同系物如二（2-乙基已基）琥珀酸磺酸钠是许多广为使用的助滤剂的活性成分。这类助滤剂的主要缺点是

地信网论坛
bbs.3s001.com

对于含泥特多的褐铁矿适应性差，起泡性强，有减薄滤饼的趋势；过滤后助滤剂大部分进入滤液，使用时回水须用碱处理。

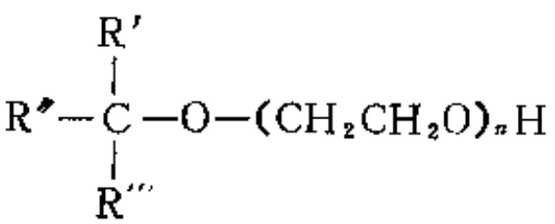
OT型助滤剂胺解之后生成的琥珀酰胺酸酯磺酸盐，具有更好的助滤效能。

常用的非离子型表面活性助滤剂（即Tween—非离子活性剂）有失水山梨醣醇的脂肪酸酯与环氧乙烷加成物，其分子式为：



该类助滤剂对矿浆有弱分散性，过滤后助滤剂大部分残留在滤液之中，给回水处理带来一定难度，并因价格昂贵，目前未得到推广。

另一种非离子型表面活性剂型助滤剂是高级醇与环氧乙烷加成物，其通式为：



其中R′、R″、R‴表示H或烷基；R′+R″+R‴碳原子总数是5～17（一般为9～14）；n是1～7；O一般是1～5。

许多以工业高级混合醇（C_6～C_{18}醇，特别是C_9～C_{14}醇）为原料的制品也有良好的助滤性能。其用量一般比离子型助滤剂小，约为45～450克/吨。滤饼疏松，滤液作回水使用一般也无特别困难。

表面活性助滤剂对矿浆有弱分散性，助滤剂大部分留在滤液中，给回水处理带来一定困难。同时，因其价格昂贵，目前尚未推广。

絮凝剂型助滤剂，不能降低滤液的表面张力，但由子有絮凝作用，使矿泥生成稳定的絮团，可以防止微细的颗粒穿过滤布，

地信网论坛
bbs.3s001.com

或沉积在滤布孔洞中，不致使滤液浑浊或过滤速度下降。实践表明，淀粉、纤维素或聚丙烯胺类高分子聚合物，确能明显提高过滤速率。但滤饼的平均水份要高一些。在一定的条件下，如果选取适当的絮凝剂，也能产生减少滤饼水份的效果。聚合物中，阴离子部分所占百分率对作业有明显影响。该百分率高，过滤速率大，但滤饼水份高。添加量越多，过滤速率越大。

18.3.10.2 助滤剂的应用

使用阴离子表面活性助滤剂，如烷基含碳10～24（最好是C_{10}～C_{16}）的高级同系物取代润湿剂OT，即二（2-乙基已基）琥珀酸磺酸钠作助滤剂，滤液不需碱处理即可作为回水使用。压滤含黄铜矿50%的铜精矿时，压滤机的真空计示压力为137.93千帕（1.406公斤/厘米^2）其结果列于表18.3.33。

表 18.3.33 铜精矿中加入阴离子型助滤剂后的压滤效果

助滤剂名称	助滤剂用量，g/t	滤饼水份，%	助滤剂在滤液中的分布率，%
二(2-乙基已基)琥珀酸磺酸钠	178	10.9	51
	342	9.4	58
二癸琥珀酸磺酸钠	35	13.8	
	86	13.8	
	171	10.2	98
二（十三烷基）琥珀酸磺酸钠	35	13.6	
	89	11.9	
	175	10.2	98
	340	9.5	98
不加药	0	13.8	

在铁精矿浆中添加琥珀酸双酯磺酸盐与琥珀酰胺酸酯磺酸盐进行压滤，试验结果列于表18.3.34。

用高级醇与环氧乙烷加成物非离子型助滤剂对黄铜矿精矿进行真空抽滤试验，结果列于表18.3.35。

地信网论坛
bbs.3s001.com

由于助滤剂对细粒物料的过滤有较好的效果，近几年来国内已研制成功几种助滤剂。如烷基及烷芳基磺酸盐类（属阴离子表面活性助滤剂），对不同类型的铜精矿的过滤具有与OT型助滤剂

表 18.3.34　铁精矿浆中加入助滤剂的压滤效果

助　　滤　　剂	助滤剂用量，g/t	滤饼水份，%
二(2-乙基巳基)琥珀酸	0.2	17.1
酯磺酸钠（占40%）；	0.3	16.5
二乙基巳醇10%；水50%	0.4	16.2
	0.5	16.2
	0.6	16.6
$CH_2(C_2H_5)-COOH-CH_2-CH-C_4H_9$ $NaSO_3-CH-CONH-(CH_2)-CH_3$	0.2	17.3
	0.3	16.2
	0.4	15.5
	0.5	15.8
	0.6	15.0
不加药		18.0

注：矿浆pH＝10.5，加入聚二烯丙二胺 11g/t，真空计示压力，68.96kPa(0.703 kg/cm²)，压滤时间100s。

表 18.3.35　黄铜矿精矿真空抽滤试验结果

助滤剂 $\begin{matrix}R'\\R''\end{matrix}\!\!>\!CH-O(CH_2CH_2O)_nH$			用量，g/t				
R'	$R''=C_mH_{2m}H$	n	0	68	136	204	272	408
	m		滤饼水份，%				
H	11	1.2			11.5		10.5	9.9
H	8	2.5			11.7		9.9	9.0
H	8	5.7			12.0		10.6	9.4
H	10	3.0			12.0		8.9	8.0
H	10	7.0			13.0		11.3	10.5
H	12	3.0		12.0	10.4	9.5	9.1	
$R'+R''=12$（支链）		3.0		1.4	9.5	9.1	8.8	
不加药				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

地信网论坛
bbs.8s001.com

相同的效果。在过滤的真空计示压力为73.33千帕（550毫米汞柱），当十二烷基苯磺酸钠用量为12克/吨时，滤饼水份为11.9%。AF_1、AF_2和AF_3型助滤剂是用豆科植物种子加工成的一种非离子型半乳甘露聚醚胺，用于铁精矿的过滤可以获得较好的效果。酸化油—3132型助滤剂是从化工厂废弃物中回收的副产品经酸碱处理后得到的产物，具有原料来源广、生产工艺简单和产品无毒等特点。经对浮选的铁精矿进行过滤试验：当加药量为400克/吨时，滤饼平均水份由12.3%降到9.9%；用量为300克/吨时，滤饼水份平均为10.2%。Sp505和CA603助滤剂均属多种高分子有机化合物。前者用量为200克/吨时，浮选铁精矿的滤饼平均水份从12.8%降到9.16%，pH值由9.2降到7.2（表18.3.36）；后者用量为150～200克/吨时，铁精矿滤饼平均水份低于9.67%。凹凸棒石（系一种富镁粘土矿）和膨润土型助滤剂，与天然粘土矿物及合成有机絮凝剂配合使用处理浮选铁精矿时，对过滤过程有明显的改善。

助滤剂在过滤工艺中使用，同样存在药剂间的“协同效应”问题，从而促使助滤剂组分的多元化或混合用药。混合用药比单独用药效率高，例如聚乙二醇醚和OT型助滤剂、OT型助滤剂与脂肪胺、絮凝剂与表面活性剂型助滤剂混合使用均能提高助滤效率。矿浆pH值主要影响助滤剂的分解，有的助滤剂在某一pH值时分解很快，会失去助滤作用；矿粒在矿浆中的分散情况也与过滤效果有关，如碱度过高的矿浆，矿泥处于高度分散状态，对过滤不利；使用助滤剂时真空计示压力不得低于74.66千帕（200毫米汞柱），太低也会影响过滤效果。

18.3.11 过滤机的操作和维护及提高过滤效率的途径

18.3.11.1 过滤机的操作和维护

合理地操作过滤机，是获得好的脱水效率和高生产率的重要条件之一。在选矿厂生产实践中应坚持根据具体的矿石性质，通

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.3.36 SP505助滤剂过滤浮选铁精矿的试验结果

用量 g/t	滤饼 水份,%	滤饼 厚度 mm	滤饼 松散密度 t/m³	处理量 kg/(m²·h)	真空计示压力 kPa	过滤时间 min	pH值
0	12.80	5	2.46	228			9.2
100	10.80	8	1.59	213	41.33	2.5	7.8
150	10.10	8	1.61	213			7.6
200	9.16	8	1.59	213			7.2
300	9.04	8	1.65	209			7.1
400	8.48	8	1.53	203			7.0

过对选矿产品脱水的试验，确定最佳的过滤操作管理制度和过滤机的最佳工作条件。例如转速、适宜的固体粒度范围、合适而稳定的给矿浓度及压力差等。

生产中应做好滤布的再生工作，必要时应对过滤机之滤饼进行洗涤，这不仅可使滤饼表面清净，而且可以防止滤饼龟裂而降低真空度。如果由于滤饼在抽吸过程中的收缩而产生龟裂，则可以采用增加滤筒转速和生成较薄的滤饼层的方法来减少龟裂现象；也可采用压滚和压带来压紧滤饼和填补裂隙。

生产中应做到计划检修。改进滤板结构和滤布的固定方法，发现滤布破损时应尽早更换或修补滤布。分配头之错气盘磨损后要及时修刮研磨，以防漏气而降低真空度。定期检查抽液管的畅通情况，防止堵管而影响真空度。

18.3.11.2 提高过滤效率的途径

针对影响过滤过程的主要因素，可以从对过滤机的技术操作和技术管理两方面来寻求提高过滤机工作效率的途径。

（1）通过试验确定合适的压力差。由前述影响因素可知，一般情况下，当压力差不大时，增大真空度可以降低滤饼水份。但是遇到微细颗粒组成的矿浆时，较大的压力差会使细颗粒钻进滤布的小孔中而发生堵塞，使过滤速度在一定时间内降低。这时最好的办法是采用某一最小的吸气压力，只要该压力能保持料浆

地信网论坛
bbs.3s001.com

得到必须的过滤速度和有助于滤饼达到一定的水份要求即可。同时也可以采用薄滤饼层过滤和延长过滤时间的方法，以防止滤布堵塞。也可采用不同的吸气压力，分别完成对滤饼的过滤和进一步脱水的过程。例如，在过滤区采用较低的压力，以保证滤饼有较大的孔隙率，较高的过滤速度；在脱水区则采用较高的吸气压力，增大对滤饼的压缩力，以便较多地挤出剩余的水份。

（2）选用高效率高强度的滤布。好的滤布应能保证对矿浆的固相物质有较高的回收率，滤液中不含悬浮颗粒；过滤阻力最小，有足够的机械强度和化学稳定性、耐蚀性及较长的使用寿命；不易堵塞，易于清洗和更换；滤饼增厚时，沉淀物能牢固地吸附在其上，排料时易于脱落等优点。

（3）采用助滤剂对于呈扁平胶状的固体组成的矿浆，过滤时易变形堵塞滤孔。可在滤布上预先涂上一层性质坚硬，在普通压力下不发生变形的粒状物质，如硅藻土、活性炭、纸箔等。这类预涂物料就是助滤剂。助滤剂表面有吸附胶体的能力，能防止其堵塞滤孔。过滤完毕，助滤剂连同滤饼一同卸落。

有时为了改变料浆固体的粒度组成，也可将助滤剂均匀地混在矿浆中，然后送入过滤机。或把颗粒较粗的选矿产品与细粒产品搭配给到过滤机，粗粒物料即可起到助滤剂的作用。

（4）加温过滤以提高过滤速度。加热矿浆以降低其粘度，获得好的过滤效率。选矿厂一般用蒸汽对过滤机加热。生产实践证明，在其他条件不变的情况下，过滤机工作的温度与处理的矿浆量成正比。但温度过高时，粘度的变化就不显著了，反而对设备不利，机械的腐蚀作用加剧，同时浪费蒸汽。合适的加热温度须由试验确定。

（5）提高给料浓度，增加固体通过量。提高给料浓度可以减少单位过滤面积所需排出的滤液体积。此外，增大矿浆粘度后，将使滤布的阻力降低，过滤速度增大，从面缩短过滤时间，提高过滤效率。为此，要采取强化矿浆浓缩过程的措施。滤饼层阻力保持稳定就能提高过滤机的处理能力。

地信网论坛
bbs.3s001.com

（6）使用絮凝剂。细粒物料可使矿浆粘性增大，造成过滤困难。加入絮凝剂可使微细颗粒集结成较大的集合体（絮团），增大粒度并缩小粒级范围，从而可避免滤孔堵塞。常用的絮凝剂有石灰、硫酸、淀粉及其他合成剂。加入絮凝剂后，可以增加滤饼的厚度，但不能降低滤饼的水分。因为毛细水份仍附着于滤饼中，使用压滤机可以克服这一缺陷。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.4 干 燥

干燥是选矿厂最终产品（精矿）或中间产品脱水的方法之一，它的作用是进一步降低产品的水分，以满足用户或下道生产工序的要求。

目前，我国选矿厂对精矿外运防冻、包装等含水率的要求日益严格，如钨精矿为0.05～0.8%，钼精矿小于4%，锰精矿8～9%，钛精矿小于1%，萤石精矿小于0.5%，铜精矿、铅锌精矿小于8%。由此可见，对此类产物的脱水仅采用浓缩、过滤作业难于达到要求，尚需进行干燥脱水。同时，位于我国东北、西北、华北等地区的选矿厂，由于冬季气温较低，一般在－14℃以下，选矿厂精矿的贮存和外运需设防冻措施的情况下，也应根据需要考虑设置干燥作业。

18.4.1 干燥原理

干燥是利用热能除去物料中部分湿分（水分）的一种作业。常用的方法有间接或直接传热干燥法，即以热气体为介质，将热间接或直接传递给湿物料，使湿物料表面上的湿分汽化，并通过表面处的气膜向气流主体扩散；与此同时，由于物料表面上湿分气化的结果，使物料内部和表面之间产生湿分差，物料内部的湿分以气态或液态的形式向表面扩散，从而使物料得到干燥。

物料干燥的必要条件是物料表面上水汽的压强(即汽化强度)必须大于干燥介质中水汽的分压。两者的压差越大，干燥速度就越快，干燥介质应及时地将汽化的水汽带走。若压差为零，干燥作业也就停止。由此可见，干燥是传热和汽化强度相结合的过程。图18.4.1表示热气体与湿物料之间的传热和汽化强度的情况。

用热气体对物料进行干燥有两种方式，一种为直接干燥即热

地信网论坛
bbs.3s001.com

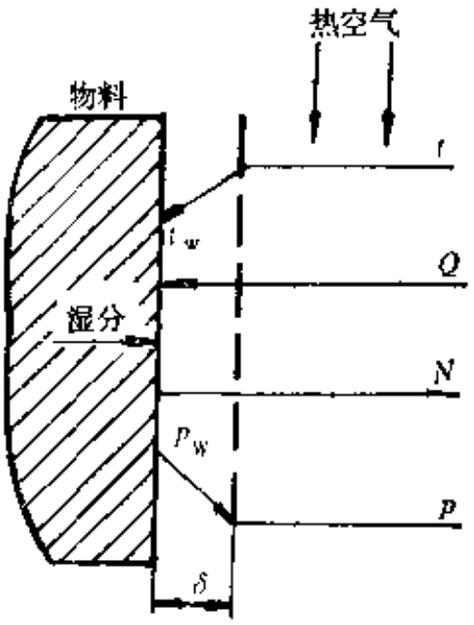


图 18.4.1 热空气与湿物料的传热和汽化强度

N——由物料表面汽化的水分量；Q——由气体传给物料的热量；p——热气体中水汽的分压；p_w——物料表面的水蒸气压；t——热气体的湿度；t_w——物料表面的湿度；δ——气膜厚度

气体直接与湿物料接触使物料干燥；另一种为间接干燥即热气体与湿物料不直接接触，而是通过器壁将热传递给被干燥的物料使之干燥。直接干燥过程是一种传热与带走水分同时进行的过程，即用流动的高温气体为载热剂与物料直接接触，把热量传递给湿物料，同时又带走由物料中汽化出来的水分。而间接干燥过程是一种由热气体加热容器从而使容器中物料的水分汽化而得到干燥的过程。

当物料同高温气体（空气或烟道气）进行直接干燥时，其过程比较复杂，但可从物料内部水分的流动情况和外界条件（气体的温度、湿度和流速、物料与气体的接触情况、物料的形状和粒度等）两个方面来研究这个过程。。

松散物料中的水分，由非结合水分或由结合水分组成。非结合水分是指以自由状态存在于物料中的一种水分，即物料的表面润湿水分以及孔隙水（毛细管水），此种水分易于除去。结合水分是物料中的吸收水，即结晶水，此种水分难以除去。

地信网论坛
bbs.gis001.com

存在于物料中的各种水分可由图18.4.2表明。任何物料都只能干燥到平衡水分为止。平衡水分系指物料表面上的蒸汽压与周围空气中的蒸汽分压达到平衡时物料的含水量。

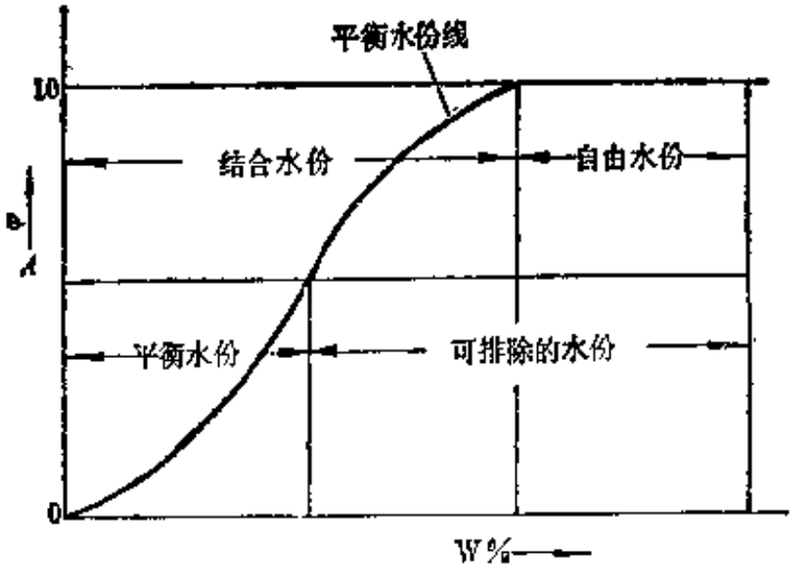


图 18.4.2 物料水分状态图

干燥过程根据干燥速度的变化分为四个阶段：预热阶段，恒速阶段，降速阶段和物料的含水量已达到一定条件下的平衡阶段即物料中所含水分与空气的湿度相平衡的阶段。

干燥速度有两种表示方法：

一种是用在单位时间内，单位蒸发面积上的蒸发量表示，即：

$$R=W/(A\cdot t) \qquad (18.4.1)$$

式中 R——干燥速度，kg/(m²·h)；

W——蒸发水量，kg；

A——单位蒸发面积，m²；

t——单位时间，h。

另一种是用在单位时间内降低的含水率表示，即：

$$R_w=W/(M_d\cdot t) \qquad (18.4.2)$$

式中 R_w——干燥速度，kg/(kg·h)；

W——蒸发水量，kg；

M_d——物料重量，kg；

地信网论坛
bbs.3s001.com

t ——单位时间，h。

R与R_w的关系用下式表示：

$$R = R_w(M_d / A) \qquad (18.4.3)$$

由于干燥机理和干燥过程的复杂性，通常干燥速度都是通过实验测定得到的。为了简化影响因素，干燥实验应在恒定的干燥条件下进行，实验为间歇操作，利用大量的空气干燥少量的物料，因此，空气进、出干燥器时的状态如温度、湿度以及气速、空气与物料的流动方式均恒定不变。

在实验过程中，定时测定物料重量的变化，即记录每一时间间隔Δt内物料的重量变化$\Delta W'$和物料的表面温度。实验进行到物料的重量恒定为止。此时物料与空气达到了动平衡状态，物料中所含水分即为该条件下的平衡水分。然后再将物料放到电烘箱内烘干到恒重时为止，即可测得绝干物料的重量。根据实验数据整理绘成曲线，按物料的平均含水量与干燥时间的关系绘成的曲线称为干燥曲线。按照含水量随时间的变化值求得的干燥速度绘成的曲线称为干燥速度曲线。如图18.4.3所示。

图18.4.3为典型的干燥曲线和干燥速度曲线，图中还绘出了物料的温度与时间的变化关系。在干燥曲线（物料含水与时间的关系）上，AB线代表预热阶段，BC线是一条直线，说明含水量均匀地下降，代表恒速阶段，CD线则说明了降速阶段的情况。

图18.4.4表示物料含水量与干燥速度关系的干燥速度曲线，从此曲线上可以清楚地看出干燥过程中四个阶段的特征。

（1）预热阶段：被干燥物料的温度很低，当物料与干燥介质(热空气)接触时，热空气的热量首先将物料和水分的温度升高，使其达到水分汽化的温度，这一阶段时间称之为预热阶段。这一阶段的特征是干燥速度由零迅速地增加到一个定值，时间很短。

（2）恒速阶段：随着热量的继续传递，使水分及物料表面温度更高，但表面上的水分因蒸汽压力（在物料表面温度下的蒸汽压和热空气中蒸汽压之差）的关系向空气中汽化扩散，将使表面温度降低。但如果热空气传给物料表面的热量恰好等于表面水

地信网论坛
bbs.3s001.com

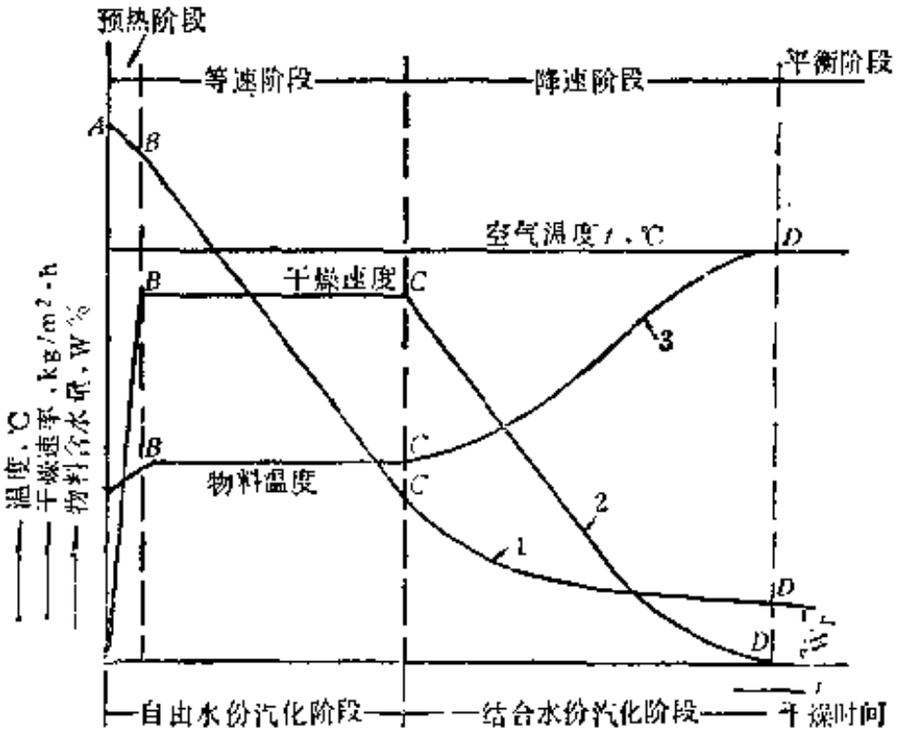


图 18.4.3 物料含水量、干燥速度、物料温度与时间变化关系曲线

1—物料含水量曲线；2—干燥速度曲线；3—物料温度曲线

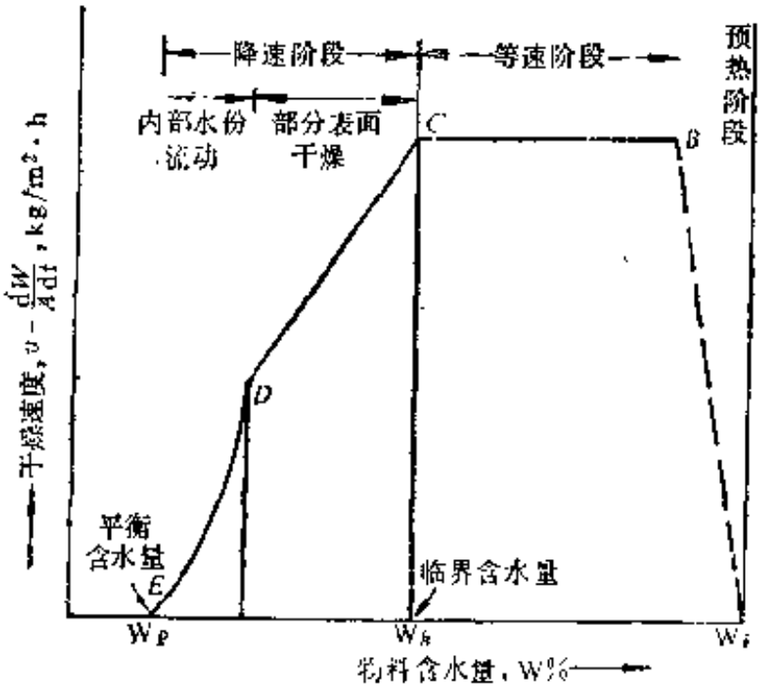


图 18.4.4 干燥速度曲线

地信网论坛
bbs.3s001.com

汽车所需的热量，则物料表面的温度将维持不变。物料表面温度既然一定，若外界的干燥条件又无变化，则当物料表面有充足的水分时（全部表面都有水分），汽化速度必然一定。表面水分蒸发后，如果内部的水分能够有足够的速度流向表面，及时补充汽化的水量，则表面依然可以保持湿润，故干燥速度不变。该阶段的特征是水分由物料表面汽化，物料内层的水分向其表面扩散的速度很迅速，物料表面始终保持湿润，干燥速度不变且具有最大值。

（3）降速阶段：由于物料内部水分流出的速度低于表面汽化的速度，则物料表面将有一部分呈干燥状态（特别是表面突出的部分），因此汽化的水量减小，也就是说：干燥速度要逐渐下降。此时，称为干燥的降速阶段。该阶段的特征与第二阶段相同，水分由物料表面汽化，而潮湿的表面逐步减小，干燥速度在均匀下降。

（4）物料达到平衡含水量或临界含水量阶段：随着干燥速度的降低，物料表面干的地方温度将不断上升，热量向内部传递，使蒸发面移向内部，水分变成蒸汽后再向表面扩散流动。这样，物料中含水量愈来愈少，而水分流动遇到的阻力愈来愈大，干燥速度下降很快，最后，物料中所含水分与空气的湿度相平衡，即物料的含水量已达到了一定条件下的平衡含水量，这时干燥速度等于零，干燥过程就完全结束。由于物料干的外皮的形成面使潮湿的表面减小，起初仅限于凸出的部分并继续增加，逐渐盖满物料表面。当表面开始形成外皮时，物料的含水量称为第一临介含水量，如图18.4.4中的C点。当外皮完全形成时，物料的含水量称为第二临界含水量，如图18.4.4中的D点。通常所谓临界含水量，是指第一临界含水量而言。该阶段的特征是从物料内层蒸发水分。

18.4.2 热 工 计 算

18.4.2.1 热工计算的目的

热工计算的目的如下：

（1）求出干燥物料的有关参数，以便选择干燥机的规格及

地信网论坛
bbs.3s001.com

台数。

（2）求出燃料及燃料参数，以便确定燃料消耗量以及燃烧炉的几何尺寸（炉体体积、炉排面积、炉体高度）及型式。

（3）求出空气消耗量，以便选择鼓风机的规格和台数。

（4）求出烟道气消耗量和阻力，以便选择引风机和集尘设备的规格及台数。

18.4.2.2 计算需要的原始资料

热工计算需要的原始资料如下：

（1）干燥物料的资料：

1）绝对干燥的物料量G，kg/h；

2）湿物料的重量G_1，kg/h；

3）干燥前物料的水分W_1，%；

4）干燥后物料的水分W_2，%；

5）干燥前物料和燃料煤的温度T_1，一般与环境温度接近，℃；

6）干燥后物料的温度T_2，视物料性质和最终水分选取，最终水分越低物料表面温度越高。如最终水分要求在6%左右，一般可取100～75℃，如在4～1%之间应取150℃。再低则应取200℃左右；

7）干燥物料的粒度d，mm。

（2）进入燃烧室的空气资料：

1）空气温度t_0，℃；

2）空气湿度φ_0，按当地气候条件查取，无资料时一般为60～65%；

3）根据t_0和φ_0值查取表18.4.1可得干空气的有关指标；也可用I-d图（图18.4.5）求出；

4）空气的热含量I_0，kJ/kg干空气；

5）空气的湿含量d_0，g/kg。

（3）进入干燥机的干烟道气❶或煤气的温度t_1选取如下：

❶ 由煤发生的烟道气的温度可按低于煤渣软化点温度100℃选取。

地信网论坛
bbs.3s001.com

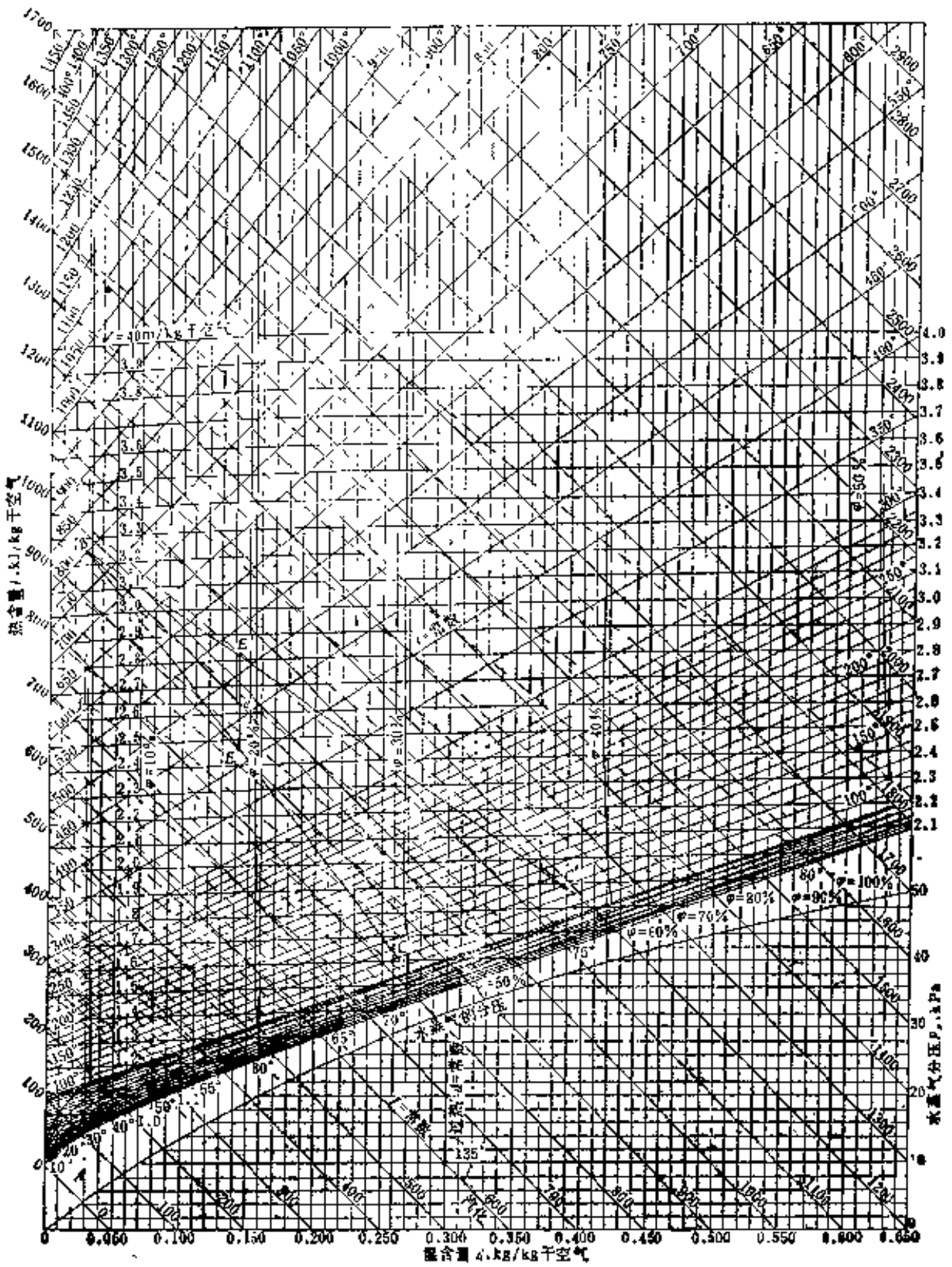


图 18.4.5　湿空气I—d图（高温)(总压99.321kPa)

$$eE=\frac{\Delta}{500\times 4.1868}ef$$

A——为$t_0=20℃$，$\varphi_0=70\%$，$d_0=10.4g/kg$，$I_0=46.47kJ/kg$；
B——为$t_1=800℃$，$\varphi_1=4\%$，$d_1=28.6g/kg$，$I_1=971.34kJ/kg$；
C'——为$\Delta<0$时$I_2<I_1$之$t_2=110℃$，$\varphi_2=29.2\%$，$d_2=263g/kg$，$I_2=824.8kJ/kg$；
C——为$\Delta=0$时，$I_2=I_1$之t_2、φ_2、d_2点；
C''——为$\Delta>0$时，$I_2>I_1$之t_2、φ_2、d_2点

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.4.1 大气压力为99.32kPa(745mmHg)时，相当于

φ / t	100		90		80		70		60	
	l	d	l	d	l	d	l	d	l	d
−15	-12.48	1.04	-12.73	0.91	-12.98	0.83	13.23	0.73	13.52	0.62
−10	-5.99	1.63	−6.41	1.47	-6.82	1.30	-7.20	1.14	-7.62	0.98
−5	1.26	2.52	0.63	2.27	0.00	2.02	-0.63	1.76	-1.26	1.51
0	9.63	3.85	8.62	3.46	7.66	3.07	6.70	2.69	5.74	2.30
5	18.84	5.51	17.42	4.95	16.04	4.40	14.65	3.85	13.27	3.29
10	29.60	7.78	27.63	7.00	25.62	6.21	23.70	5.43	21.73	4.65
15	42.45	10.86	39.69	9.76	36.89	8.66	34.12	7.56	31.36	6.47
20	58.07	15.00	54.18	13.46	50.28	11.94	46.47	10.42	42.62	8.91
25	77.25	20.50	71.85	18.39	66.53	16.29	61.21	14.21	55.94	12.14
30	101.0	27.78	93.66	24.49	86.37	22.03	79.09	19.19	71.89	16.37
35	130.9	37.37	120.80	33.43	110.8	29.54	101.0	25.70	91.23	21.90
40	168.7	49.98	154.90	44.62	141.4	39.35	128.0	34.16	114.9	29.05
45	217.1	66.57	198.20	59.28	179.8	52.14	161.8	45.15	144.1	38.31
50	279.3	88.42	253.60	78.47	228.5	68.79	204.1	59.38	180.3	50.21
55	360.8	117.50	325.20	103.80	290.9	90.60	257.8	77.86	225.8	65.57
60	468.9	156.60	419.10	137.50	371.8	119.30	326.6	102.00	283.4	85.44
65	615.9	210.30	545.10	183.10	478.5	157.70	415.7	133.80	356.8	111.30
70	821.9	286.00	717.60	246.20	621.7	209.70	533.4	176.10	452.2	145.20
75	1123	397.30	962.60	336.40	819.8	282.20	692.5	233.80	577.4	190.30
80	1592	571.30	1329	471.60	1105	387.00	913.1	314.50	746.5	251.60
85	2407	874.50	1922	691.70	1541	548.20	1235	432.70	983.1	337.80
90	4108	1059.0	3014	1097.0	2271	818.20	1724	616.30	1326	463.60
95	9713	3602.0	5631	2072.0	3710	1352.0	2593	934.30	1864	661.30
99.4	∞	∞	13533	5761.0	6950	2556.0	4092	1489.0	2663	955.60
100	∞	∞	15525	5754.0	6950	2546.0	4092	1488.0	2663	955.10
110	∞	∞	15600	5737.0	6988	2540.0	4120	1483.0	2685	952.40
120	∞	∞	15680	5721.0	7034	2534	4149	1480.0	2708	950.20

地信网论坛
bbs.3s001.com

含1kg干空气的湿空气的热含量I和湿含量d

50		40		30		20		10		0	
I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
-13.77	0.52	-14.03	0.42	-14.28	0.32	-14.53	0.21	-14.78	0.10	-15.03	0
-8.00	0.82	-8.42	0.65	-8.83	0.49	-9.21	0.33	-9.63	0.16	-10.06	0
-1.85	1.26	-2.51	1.01	-3.14	0.75	-3.77	0.50	-6.28	0.25	-5.02	0
4.81	1.92	3.81	1.53	2.89	1.15	1.93	0.77	0.96	0.38	0.00	0
11.89	2.74	10.51	2.19	9.13	1.64	7.75	1.09	6.41	0.55	4.98	0
19.76	3.87	17.79	3.09	15.83	2.31	13.90	1.64	11.93	0.77	10.0	0
28.60	5.38	25.87	4.30	23.15	3.22	20.43	2.14	17.71	1.07	15.03	0
38.81	7.41	35.00	5.91	31.23	4.42	27.51	2.94	23.74	1.47	20.01	0
50.70	10.08	45.51	8.04	40.36	6.01	35.21	3.99	30.10	1.99	25.04	0
64.77	13.59	57.69	10.82	50.70	8.08	43.75	5.36	36.89	2.67	30.06	0
81.60	18.14	72.10	14.43	62.68	10.76	53.34	7.13	44.17	3.55	35.04	0
101.90	24.00	89.18	19.07	76.66	14.20	64.31	9.40	52.08	4.66	40.1	0
126.30	31.60	109.80	25.03	93.11	18.58	76.83	12.27	60.79	6.07	45.09	0
159.20	41.41	134.70	32.60	112.7	24.13	91.31	15.88	70.46	7.84	50.12	0
194.90	53.70	165.10	42.24	136.2	31.15	108.4	20.43	81.31	10.05	55.14	0
247.00	69.61	202.50	54.48	164.7	39.98	128.4	26.10	93.57	12.78	60.21	0
300.70	89.95	248.8	70.02	199.2	51.08	152.2	33.15	107.6	16.14	65.94	0
376.30	116.30	306.6	89.83	241.4	65.03	180.5	41.90	123.6	20.27	70.25	0
473.90	151.00	379.4	115.20	293.4	82.60	215.7	52.74	142.1	25.30	75.28	0
600.80	196.60	472.3	148.00	358.0	104.80	255.70	66.15	163.6	31.41	80.3	0
772.00	258.30	592.8	190.90	439.2	133.10	305.7	82.83	188.7	38.84	85.33	0
1008.0	344.10	752.4	248.10	542.2	169.30	366.8	103.50	218.1	47.81	90.39	0
1351	469.10	969.7	326.60	675.8	216.70	422.5	129.50	252.7	58.68	95.42	0
1807	636.10	1236	423.40	829.8	271.70	529.6	158.10	288.7	70.23	99.99	0
1807	635.80	1237	423.20	830.2	271.70	525.9	158.20	289.3	70.22	100.5	0
1825	634.10	1252	422.20	844.1	271.00	538.0	157.90	300.4	70.09	110.8	0
1844	632.70	1269	421.30	858.3	270.50	550.6	157.60	311.7	69.97	120.8	0

地信网论坛
bbs.3s001.com

ϕ	1000		90		80		70		60	
t	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d
130	∞	∞	15763	5706	7076	2534	4179	1476	2732	948.2
140	∞	∞	15860	5695	7122	2529	4212	1474	2755	946.5
150	∞	∞	15952	5685	7168	2524	4241	1471	2780	945
160	∞	∞	16044	5674	7218	2520	4275	1469	2805	943.7
170	∞	∞	16140	5666	7268	2517	4308	1467	2830	942.5
180	∞	∞	16241	5658	7319	2514	4342	1465	2856	941.5
190	∞	∞	16341	5652	7369	2511	4375	1464	2882	940.5
200	∞	∞	16450	5647	7149	2508	4413	1462	2908	939.7
210	∞	∞	16555	5641	7473	2506	4446	1461	2934	938.9
220	∞	∞	16659	5636	7528	2504	4484	1460	2961	938.3
230	∞	∞	16772	5533	7582	2502	4518	1459	2988	937.7
240	∞	∞	16881	5628	7637	2501	4555	1458	3015	937.1
250	∞	∞	16994	5625	7691	2499	4593	1457	3043	936.6
260	∞	∞	17103	5621	7746	2498	4630	1457	3070	936.2
270	∞	∞	17216	5619	7804	2497	4664	1456	3098	935.8
280	∞	∞	17333	5917	7859	2495	4702	1450	3125	935.4
290	∞	∞	17442	5613	7917	2495	4739	1455	3156	935.0
300	∞	∞	17559	5611	7976	2493	4777	1454	3182	934.7
350	∞	∞	18150	5603	8265	2490	4970	1452	3323	933.5
400	∞	∞	18753	5597	8562	2487	5167	1451	3469	932.7
450	∞	∞	19372	5594	8868	2486	5367	1450	3617	932.1
500	∞	∞	20005	5591	9177	2485	5573	1449	3767	931.7
550	∞	∞	20649	5589	9496	2484	5778	1449	3920	931.4
600	∞	∞	21311	5588	9822	2483	5991	1449	4076	931.2
650	∞	∞	21977	5587	10149	2483	6205	1448	4233	931.1
700	∞	∞	22659	5586	10484	2483	6427	1448	4371	931.1
750	∞	∞	23346	5585	10823	2482	6649	1448	4559	930.9
800	∞	∞	24057	5585	11170	2482	6875	1448	4723	930.9

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 18.4.1

50		40		30		20		10		0	
I	*d*	*I*	*d*	*I*	*d*	*I*	*d*	*I*	*d*	*I*	*d*
1863	631.5	1285	420.5	872.5	270.1	563.1	157.4	322.9	69.87	131.0	0
1883	630.4	1302	419.9	886.8	269.7	575.7	157.2	325.8	69.76	141.1	0
1903	629.5	1318	419.3	901.0	269.3	588.2	157.0	345.5	69.71	151.3	0
1923	628.6	1335	418.8	915.0	269.0	601	156.8	357	69.64	162	0
1943	627.9	1352	418.3	930.0	268.7	611	156.7	368	69.58	172	0
1964	627.3	1370	417.9	945.0	268.5	627	156.5	380	69.52	182	0
1985	626.7	1387	417.6	960.0	268.3	640	156.4	391	69.48	192	0
2005	626.1	1404	417.2	975.0	268.1	653	156.3	403	69.43	203	0
2026	625.7	1422	416.9	990.0	267.9	666	156.2	414	69.39	213	0
2048	625.3	1439	416.7	1005.0	267.7	679	156.1	426	69.36	223	0
2070	624.9	1475	416.4	1020.0	267.6	692	156.0	438	69.33	234	0
2091	624.5	1475	416.2	1035.0	267.5	705	156.0	449	69.30	244	0
2113	624.2	1493	416.0	1050.0	267.4	719	155.9	461	69.27	254	0
2134	623.9	1511	415.8	1066.0	267.2	732	155.8	472	69.25	265	0
2157	623.7	1529	415.7	1081.0	267.1	745	155.8	484	69.23	275	0
2178	623.4	1547	415.5	1096.0	267.1	759	155.7	496	69.20	286	0
2201	623.2	1565	415.4	1112.0	267.0	772	155.7	507	69.19	296	0
2223	623.0	1584	415.3	1128.0	266.9	785	155.7	519	69.17	306	0
2335	622.2	1676	414.8	1206.0	266.6	853	155.5	579	69.10	359	0
2450	621.7	1771	414.4	1285.0	266.4	922	155.4	638	69.06	412	0
2566	621.4	1866	414.2	1365.0	266.3	991	155.3	699	69.03	465	0
2684	621.1	1963	414.1	1447.0	266.2	1061	155.3	760	69.00	519	0
2805	620.9	2061	413.9	1530.0	266.1	1132	155.2	822	68.99	574	0
2927	620.8	2162	413.9	1614.0	266.0	1204	155.2	885	68.97	630	0
3502	620.7	2263	413.8	1670.0	266.0	1277	155.2	945	68.96	686	0
3178	620.6	2366	413.8	1786.0	266.0	1351	155.2	1013	68.96	742	0
3306	620.6	2471	413.7	1874.0	266.0	1426	155.1	1078	68.96	800	0
3436	620.6	2576	413.7	1962.0	266.0	1502	155.1	1144	68.95	854	0

地信网论坛
bbs.3s001.com

1）顺流式圆筒干燥机 $t_1=600\sim800℃$；

2）逆流式圆筒干燥机 $t_1=1100\sim1300℃$；

3） 气流干燥机 $t_1=400℃$；

4） 沸腾干燥机 $t_1=1100℃$；

5） 煤气的温度 $t_1=850\sim900℃$。

（4）干燥机排出的废气温度t_2视干燥方式的不同，按现厂实际生产资料选取，直接加热圆筒干燥机可按表18.4.2选取。

（5）燃料成分的资料：

1）燃料煤（选后中煤）的灰分A_Y、水分W_Y和元素分析C_Y、H_Y、O_Y、N_Y、S_Y，均以%表示；

2）煤气的成分H_2S、CO_2、O_2、H_2、N_2、CH_4、C_2H_2、C_2H_6、C_3H_6、C_3H_8、C_4H_8、C_4H_{10}、C_5H_{12}、C_XH_Y。

3）煤气的比热容C_n，kJ/(kg·K)和密度ρ_0，kg/m³。

（6）干燥机的汽化（蒸发）强度的资料：

圆筒干燥机的汽化强度列于表18.4.2。

18.4.2.3 热工计算方法

A 以选后中煤为燃料

（1）干燥过程的汽化水量：

$$W=G_1\frac{W_1-W_2}{100-W_2} \tag{18.4.4}$$

式中 W——干燥过程的汽化水量，kg/h；

G_1——干燥前湿物料的重量，kg/h；

W_1——干燥前湿物料的水分，%；

W_2——干燥后物料的水分，%。

（2）燃烧一千克煤的发热量：

$$Q_{YDW}=[81C_Y+246H_Y-26(O_Y-S_Y)-6W_Y]\times4.1868 \tag{18.4.5}$$

$$Q_{YGW}=[81C_Y+300H_Y-26(O_Y-S_Y)]\times4.1868 \tag{18.4.6}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.4.2 直接加热圆筒干燥机的干燥汽化强度

干燥物料	物料水分，%		介质温度，℃		物料粒度 mm	干燥汽化强度，kg/(m³·h)
	进	出	进	出		
铜精矿	20	12.6	748	160	0.1	22～37
萤石精矿	9	0.5	1300	80	0.3	33
锌精矿	10	7	800	140	0.1	61～67
钨精矿	14	0	625	239	～0.3	55
铋精矿	20～24	0.07		275	～0.3	25～33
铁精矿	12～13	8～9	500～600	约200		37
锰矿	12～14	8～9			0.1	60
硫化矿精矿	12	3.0	500～600	100	0.1～0	60～70
非硫化矿精矿	17～18	0.5	1020～1080	100～150	+0.15占14%	65～70
氧化铜矿	30	4	800	100	0.1～0	90～100
矿砂	4.3～7.7	0.5	840	100		80～88
磷灰石精矿	11.3	1.0	1000～1100	100～150	+0.15占27%	80
石灰石	8～15	1.5	1000	80	15～0	30～40
末精煤					0.5～13	65
浮选精煤					0～0.5	85～90
粘性粘土		10～25				22～36
松散粘土		10～25				26～47

式中 Q_{YDW}——煤的低位发热量，kJ/kg；

C_Y、H_Y、O_Y、S_Y、W_Y——煤中碳、氢、氧、硫和水分，均以%表示；

Q_{YGW}——煤的高位发热量，kJ/kg。

（3）燃烧一千克煤所需空气量理论值：

$$L_0=\frac{2.67C_Y+8H_Y-O_Y+S_Y}{23.2} \qquad (18.4.7)$$

$$V_0=\frac{L_0}{\rho} \qquad (18.4.8)$$

式中 L_0——理论空气用量的重量，kg/kg；

V_0——理论空气用量的体积，m³/kg；

ρ——标准状态[1.01×10^5Pa(760mmHg)，0℃]下空气的密度，$\rho=1.293$kg/m³；

地信网论坛
bbs.3s001.com

C_Y、H_Y、O_Y、S_Y——煤中的碳、氢、氧、硫的含量，均以%表示。

（4）燃烧室和混合室总的空气过量系数：

$$a=\frac{Q_{YGW}\eta+c_MT_{M_1}-\left(1-\frac{9H_Y+W_Y+A_Y}{100}\right)c_2t_1-\frac{9H_Y+W_Y}{100}i}{L_0\left(c_2t_1+\frac{id_0}{1000}-I_0\right)} \tag{18.4.9}$$

式中 a——燃烧室和混合室总的空气过量系数；

Q_{YGW}——煤的高位发热量，kJ/kg；

η——燃烧室和混合室的热效率，一般取0.85～0.9；

$c_MT_{M_1}$——煤带入的热量，kJ/kg；$c_MT_{M_1}=1.08T_1$此值很小，可忽略不计；

c_M——煤的比热容，kJ/(kg·K)❶；

T_{M_1}——干燥前煤的温度，℃；

c_2——干烟气的比热容，kJ/(kg·K)。可按下式计算：

$$c_2=\frac{0.314+3\times10^{-5}t_1}{1.34}\times4.1868 \tag{18.4.9a}$$

t_1——干烟道气的温度，℃；

i——干空气(或干烟道气)中蒸汽的热含量，kJ/kg。

$$i=(595+0.47t_1)\times4.1868 \tag{18.4.9b}$$

I_0——室外空气温度为t_0，湿度为φ_0时，空气的热含量，kJ/kg；

d_0——室外空气温度为t_0，湿度为φ_0时，空气的湿含量即室外空气进入燃烧室的湿含量，g/kg；

H_Y、A_Y、W_Y——煤中氢、灰分和水分含量，均以%表示；

L_0——理论空气用量，kg/kg。

（5）燃烧一千克煤产生的水蒸汽量：

---

❶ 在计算时kJ/(kg·K)相当于kJ/(kg·℃)。

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$g_1=\frac{9H_Y+W_Y}{100} \tag{18.4.10}$$

式中 g_1——水蒸汽量，kg/kg；

$H_Y \cdot W_Y$——煤中氢含量和水分，均以%表示。

（6）燃烧一千克煤产生的干烟道气量：

$$l_0=1+\alpha L_0-\frac{9H_Y+W_Y+A_Y}{100} \tag{18.4.11}$$

式中 l_0——干烟道气量，kg/kg；

α——燃烧室和混合室总的空气用量系数，见公式(18.4.9)；

L_0——理论空气用量，kg/kg。见公式(18.4.7)；

H_Y、W_Y、A_Y——煤的氢含量和水分、灰分，均以%表示。

（7）燃烧一千克煤时与空气同时进入燃烧室和混合室的水蒸气量：

$$g_2=0.001\alpha L_0 d_0 \tag{18.4.12}$$

式中 g_2——水蒸气量，kg/kg；

α——燃烧室和混合室总的空气用量系数；

L_0——理论空气用量，kg/kg。见公式(18.4.7)；

d_0——室外温度为t_0，湿度为φ_0时的空气湿含量即室外空气进入燃烧室的湿含量)，g/kg。

（8）与烟道气同时进入干燥机的水蒸气量：

$$g_3=g_1+g_2 \tag{18.4.13}$$

式中 g_3——水蒸气量，kg/kg；

g_1——燃烧煤产生的水蒸气量，kg/kg。见公式(18.4.10)；

g_2——燃烧煤时与空气同时进入燃烧室和混合室的水蒸气量，kg/kg。见公式(18.4.12)。

（9）进入干燥机的烟道气（温度为t_1）的湿含量：

$$d_1=1000\cdot\frac{g_3}{l_0} \tag{18.4.14}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 d_1——进入干燥机的烟道气的湿含量，g/kg；

g_3——与烟道气同时进入干燥机的水蒸气量，kg/kg。见公式（18.4.13）；

l_0——燃烧煤产生的干烟道气量，kg/kg。见公式（18.4.11）。

（10）进入干燥机的烟道气的热含量，根据d_1和t_1值从图18.4.5或表18.4.1中查得烟道气的热含量，亦可用下列公式计算：

$$I_1=[0.24t_1+0.001d_1(595+0.47t_1)]\times 4.1868 \qquad (18.4.15)$$

式中 I_1——进入干燥机的烟道气的热含量，kJ/kg；

t_1——进入干燥机的烟道气的温度，℃；

d_1——进入干燥机的烟道气的湿含量，g/kg。

（11）干燥机内部热量供应与热量损失之差：

$$\Delta=c_W T_1+Q_1-\Sigma Q_n \qquad (18.4.16)$$

式中 Δ——干燥机内部供应热量与损失热量之差，kJ/kg；

c_W——水的比热容，$c_W=4.1868$ kJ/kg；

T_1——干燥前物料的温度，℃；

Q_1——干燥室内的热源放出的热量，干燥室内一般不再设热源，所以$Q_1=0$；

ΣQ_n——干燥机中总的热量损失；

$$\Sigma Q_n=Q_2+Q_3+Q_4,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.16a)$$

Q_2—— 蒸发一千克水被物料带走的热量损失；

$$Q_2=\frac{G_1c_3(T_2-T_1)}{W},\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.16b)$$

G_1——干燥前物料的重量，kg/h；

c_3——被干燥物料的比热容；

$$c_3=c_4\frac{100-W_2}{100}+\frac{W_2}{100}c_W,\ \text{kg/(kg·K)} \qquad (18.4.16c)$$

c_4——绝对干燥物料的比热容，根据实验测得，亦可参考

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.4.3 绝对干燥物料的比热容c

物料名称	矿渣(粒状)	硫化矿	石灰石	粘土	烟煤	无烟煤
比热容，kJ/(kg·K)	3.48	0.54	3.68	3.88	1.09	0.92

表18.4.3，kJ/(kg·K)；

Q_3—— 循环进出干燥机的运输设备温升的热量损失；

$$Q_3=\frac{G_2}{W}c_5(t_3-t_4)\ ,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.16d)$$

G_2——循环进出干燥机的输送设备的重量，kg/h；

c_5——设备所用材料的平均比热容；

$c_5=0.115\times4.1868$，kJ/(kg·K)

t_3—— 循环进出干燥机的输送设备出干燥机时的温度，℃；

t_4——循环进出干燥机的输送设备进干燥机时的温度，℃，因干燥机一般不设运输设备，所以$Q_3=0$；

Q_4——从干燥机表面和不严密处散失的热量；

$$Q_4=\frac{Q_5}{100}(5\sim10)\ ,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.16e)$$

Q_5—— 干燥机有效热量；

$$Q_5=(i_2-c_wT_1)+Q_2+Q_3,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.16f)$$

i_2—— 干燥机排出的气体中，水蒸气的热含量；

$$i_2=(595+0.47t_2)\times4.1868,\ \text{kJ/kg}; \qquad (18.4.16g)$$

t_2——干燥机排出气体的温度，℃；

T_2——干燥后物料的温度，℃；

W——干燥过程的汽化水量，kg/h。见公式(18.4.4)；

W_1——干燥前物料的水分，%。见公式(18.4.4)；

地信网论坛
bbs.3s001.com

W_2——干燥后物料的水分，%。

干燥过程实际上有三种状态即干燥机内部供给热量与损失热量之差为：$\Delta=0$、$\Delta<0$和$\Delta>0$。

常见状态是$\Delta<0$，这时在干燥机中损失的热量大于补偿的热量，烟道气中的热含量将部分地补偿损失，所以$I_1>I_2$。依此类推，则

$$\Delta=0,\ I_1=I_2;\ \Delta>0,\ I_1<I_2$$

(12) 蒸发一千克水所需干烟道气量：

$$l=\frac{1000}{d_2-d_1} \tag{18.4.17}$$

式中 l——蒸发水所需干烟道气量，kg/kg；

d_1——进入干燥机的烟道气的湿含量，g/kg；

d_2——干燥机排出的气体湿含量，由$I-d$图（图18.4.5)查得，g/kg。

(13) 干燥机每小时所需干烟道气量：

$$l_1=lW \tag{18.4.18}$$

式中 l_1——干燥机每小时所需干烟道气量，kg/h；

l——每蒸发一千克水所需干烟道气量，kg/kg；

W——干燥过程的汽化水量，kg/h。见公式(18.4.4)。

(14) 进入干燥机的烟道气：

$$l_2=l_1\frac{l_0+g_3}{l_0} \tag{18.4.19}$$

$$\rho_1=\rho_G\frac{273}{273+t_1} \tag{18.4.20}$$

$$V_1=\frac{l_2}{\rho_1} \tag{18.4.21}$$

式中 l_2——烟道气总量，kg/h；

ρ_1——烟道气总密度，kg/m³；

ρ_G——标准状态下烟道气的密度，kg/h；ρ_G值一般取1.34；

地信网论坛
bbs.3s001.com

V_1——烟道气的总体积，m^3/h；

l_0——燃烧一千克煤产生的干烟道气量。见公式(18.4.11)；

g_3——与烟道气同时进入干燥机的水蒸汽量，kg/kg。见公式(18.4.13)；

t_1——进入干燥机的烟道气的温度，℃；

l_1——干燥机每小时所需干烟道气，kg/h。见公式(18.4.18)。

(15) 燃料煤消耗量：

$$G_3=\frac{l_1}{l_0} \tag{18.4.22}$$

式中 G_3——燃料煤消耗量(没有考虑10%的不完全燃烧损失)，kg/h；

l_1——干燥机每小时所需干烟道气量，kg/h。见公式(18.4.18)；

l_0——燃烧一千克煤产生的干烟道气量，kg/kg。见公式(18.4.11)。

(16) 汽化水的热量消耗，可用汽化一千克水需要的烟道气量与热含量进行计算即：

$$q=l(I_1-I_0) \tag{18.4.23}$$

式中 q——汽化一千克水的热量消耗，kJ/kg；

l——蒸发水所需干烟道气量，kg/kg，见公式(18.4.17)；

I_0——温度为t_0湿度为φ_0时的空气热含量，kJ/kg干空气；

I_1——进入干燥机的烟道气的热含量，kJ/kg。见公式(18.4.15)。

(17) 干燥机排出的废气：

$$I_3=I_2+W \tag{18.4.24}$$

地信网论坛
bbs.3001.com

$$V_2=\frac{l_3}{\rho_2} \tag{18.4.25}$$

式中 l_3——干燥机排出的废气重量，kg/h；

V_2——干燥机排出的废气体积，m^3/h；

ρ_2——温度为t_2时的废气密度；

$$\rho_2=\frac{p_0(1+d_2)}{(d_2+0.622)\times 3.46\times(273+t_2)}\times\frac{1}{133.322},\ kg/m^3 \tag{18.4.25a}$$

p_0——压力，Pa，一般取99325 Pa

t_2——废气温度，℃；

W——干燥过程的汽化水量，kg/h，见公式(18.4.4)；

l_2——每小时进入干燥机的烟道气总量，kg/h。见公式(18.4.19)；

d_2——干燥机排出气体的湿含量，kg/kg。

(18) 引风机排出最终废气的容积：

$$V_m=1.2V_2 \tag{18.4.26}$$

式中 V_m——最终废气的容积，m^3/h；

1.2——储备量系数；

V_2——干燥机排出废气的体积，m^3/h。

B 以煤气为燃料

（1）干燥过程的汽化水量按公式（18.4.4）计算。

（2）燃烧一千克煤气的发热量：

$$\begin{aligned}Q_{YDW}=&[22.4(5.32CH_4+5.07C_2H_4+5.05C_2H_6\\&+4.91C_3H_6+4.84C_3H_8+4.94C_4H_8\\&+4.87C_4H_{10}+4.83C_5H_{12}+1.08CO\\&+12.75H_2+1.6H_2S+4.9C_xH_y)]\\&\times 4.1868\end{aligned} \tag{18.4.27}$$

$$Q_{YGW}=Q_{YDW}+\left[600\sum\frac{0.09y}{12x+y}\times\frac{C_xH_y}{100}\right]\times 4.1868 \tag{18.4.28}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 Q_{YDW}——煤气的低位发热量，kJ/kg；

Q_{YGW}——煤气的高位发热量，kJ/kg；

CH_4……H_2S——煤气各组分的重量百分数，%；

x、y——C_xH_y与H_y中x、y系煤气各组分中烃类的碳氢原子数。没有细分组分的C_xH_y中的x、y，取各组分的平均值。

（3）燃烧一千克煤气所需空气量的理论值：

$$L_0=1.38\left(0.0179CO+0.248H_2+0.044H_2S+\sum\frac{x+y/4}{12x+y}C_xH_y-O_2\right) \tag{18.4.29}$$

式中 L_0——理论空气用量的重量，kg/kg；

O_2——煤气中氧的百分组成，%；

CO、H_2、H_2S——煤气中一氧化碳、氢和硫化氢含量，%；

x、y——见公式（18.4.28）相应符号。

（4）燃烧室空气用量系数：

$$a=\frac{Q_{YGW}\eta+c_mT_0-\left(1-\sum\frac{0.09y}{12x+y}\times\frac{C_xH_y}{100}\right)c_2t_1}{L_0\left(c_2t_1+\frac{id_0}{1000}-I_0\right)}-\frac{\sum\frac{0.09y}{12x+y}\times\frac{C_xH_y}{100}i+W_2(i_1-i)}{L_0\left(c_2t_1+\frac{id_0}{1000}-I_0\right)} \tag{18.4.30}$$

式中 a——空气用量系数；

c_m——煤气的比热容；

$$c_m=\frac{c_0B_0+c_1B_1+c_2B_2+\cdots\cdots+c_nB_n}{B_0+B_1+B_2+\cdots\cdots+B_n},\ \text{kJ/(kg·K)} \tag{18.4.30a}$$

$c_0\cdots c_n$——各组成成分的比热容，kJ/(kg·K)；

$B_0\cdots B_n$——各组成成分的百分数，%；

T_0——煤气的温度，一般T_0=30～35℃；

W_2——每千克煤气的含水量，kg/kg；

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$W_2=\frac{d_1}{1000} \qquad (18.4.30\,b)$$

d_1——煤气的湿含量，一般取2～20g/kg；

i——烟道气中的蒸汽热含量；

$$i=(595+0.47t_1)\times 4.1868,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.30\,c)$$

i_1——煤气中的水蒸气热含量；

$$i_1=(595+0.47t_0)\times 4.1868,\ \text{kJ/kg} \qquad (18.4.30\,d)$$

η——燃烧室和混合室的热效率；

$$\eta=0.85\sim 0.9$$

c_2——干烟道气的比热容；

$$c_2=\left(\frac{0.314+0.00003t_1}{1.34}\right)\times 4.1868,\ \text{kJ/(kg·K)} \qquad (18.4.30\,e)$$

t_1——烟道气的温度，℃；

L_0——理论空气用量，kg/kg。见公式(18.4.7)；

I_0——温度为t_0，湿度φ_0时空气的热含量，kJ/kg干空气；

d_0——温度为t_0，湿度为φ_0时空气的湿含量，g/kg；

Q_{YCW}——煤气的高位发热量，kJ/kg；

x、y——见公式(18.4.28) 相应符号。

（5）燃烧一千克煤气产生的水蒸气量：

$$g_1=a\frac{L_0d_0}{1000}+W_2+\sum\frac{0.09y}{12x+y}\times\frac{C_xH_y}{100} \qquad (18.4.31)$$

式中 g_1——水蒸汽量，kg/kg；

W_2、L_0、d_0、a、x、y—— 见公式（18.4.30）相应符号。

（6）燃烧一千克煤气产生的干烟道气量：

$$e_0=1+aL_0-\sum\frac{0.09y}{12x+y}\times\frac{C_xH_y}{100} \qquad (18.4.32)$$

式中 e_0——干烟道气量，kg/kg；

a、L_0、x、y——见公式（18.4.30）相应符号。

（7）烟道气的湿含量：

$$d_1=1000\frac{g_1}{e_0} \qquad (18.4.33)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 d_1——烟道气的湿含量，g/kg；

e_0——干烟道气量，kg/kg。见公式（18.4.32）；

g_1——水蒸气量，kg/kg。见公式（18.4.31）。

（8）烟道气的热含量：

根据t_1和d_1值查$I-d$图（图18.4.5）或用公式（18.4.15）计算。

（9）干燥机内部供应热量与损失热量之差，用公式（18.4.16）计算。

（10）蒸发一千克水需要的干烟道气量，可用公式（18.4.17）计算。

（11）干燥机每小时需要的干烟道气量，可用公式（18.4.18）计算。

（12）每小时进入干燥机的烟道气总量：

烟道气的总重量l_2用公式（18.4.19）计算。

烟道气的总密度ρ_1用公式（18.4.20）计算。

烟道气的总体积V_1用公式（18.4.21）计算。

（13）煤气消耗量用公式（18.4.22）计算。

（14）汽化一千克水的热量消耗：

用汽化一千克水需要的烟道气量与热含量计算公式（18.4.23）计算。

（15）干燥机排出的废气：

废气重量l_3用公式（18.4.24）计算。

废气体积V_2用公式（18.4.25）计算。

废气密度ρ_2用公式（18.4.25a）计算。

（16）引风机排出的最终废气容积用公式（18.4.26）计算。

18.4.3 回转式干燥机

18.4.3.1 圆筒干燥机类型

圆筒干燥机是矿业中应用最普通且广泛的一种干燥设备。适于干燥金属和非金属矿的磁、重、浮精矿及水泥工业的粘土和煤

地信网论坛
bbs.18001.com

矿工业的煤泥等。它的特点是生产率高，操作方便。

根据干燥介质与湿物料之间的传热方式分为直接传热圆筒干燥机（干燥介质与湿物料直接接触传递热量）和间接传热圆筒干燥机（干燥所需热量由筒壁间接传递给湿物料）两种。

直接传热圆筒干燥机，按照干燥介质与物料流动的方向，又分为顺流与逆流两种。

直接传热圆筒干燥机如图18.4.6所示。

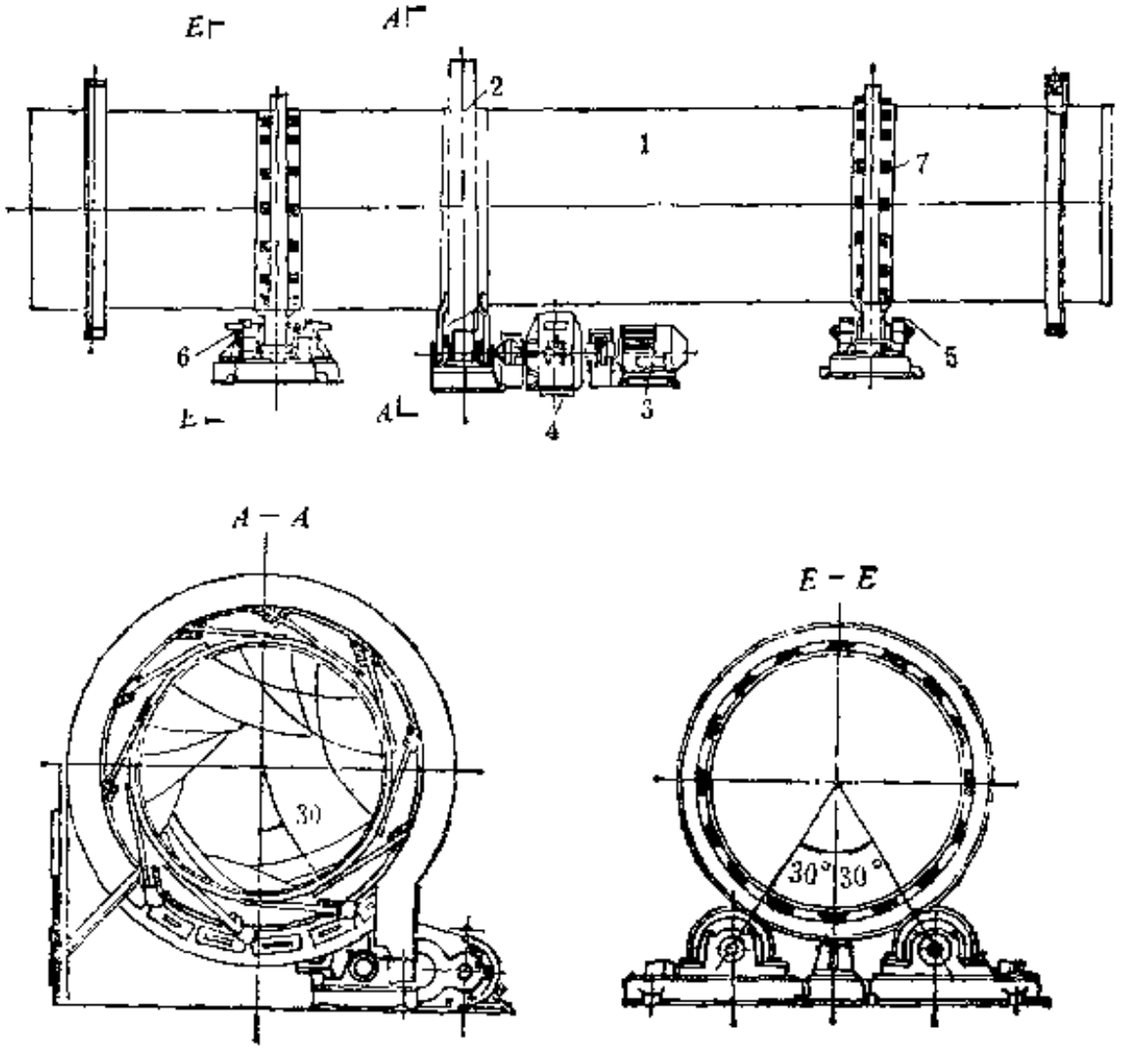


图 18.4.6 直接传热圆筒干燥机

1—转筒；2—传动齿轮；3—电动机；4—减速机；5—支承托轮；6—挡轮

直接传热圆筒干燥机的主体部分为一个与水平线略呈倾斜的旋转圆筒。圆筒由齿轮传动，转速一般为2～6转/分，圆筒的倾斜度与其长度有关，通常介于1～5°之间。物料从转筒较高的一

地信网论坛
bbs.3s001.com

端送入，与热空气接触，随着圆筒的旋转，物料在重力作用下流向较低的一端被干燥而排出。由于干燥机处于负压条件下工作，进料及排料端均采用密封装置以免漏风。密封装置常见的型式有下列几种，如图18.4.7所示。

为了加速物料均匀地分布在转筒截面上的各个部分与干燥介质良好地接触，在筒体内装置扬板。扬板的形式很多，常用的有下列几种，如图18.4.8所示。

升举式扬板适用于大块物料或易粘结在筒壁上的物料。

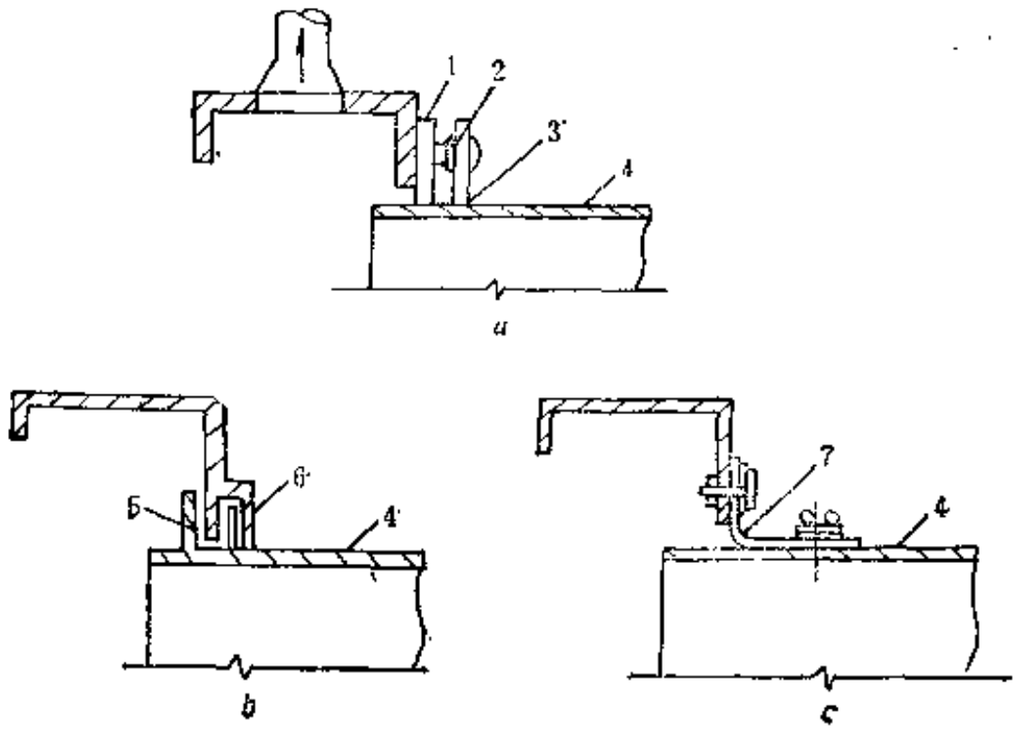


图 18.4.7 常见的几种密封装置

a—摩擦式；*b*—迷宫式；*c*—罩式

1—摩擦衬；2—弹簧；3—环；4—筒体；5—环；6—固定挡圈；7—柔软材料做的罩

四格式扬板适用于密度大、不脆的或不易分散的物料。该扬板将圆筒分成了四个格，呈互不相通的扇形状作业室，物料与热气体的接触面比升举式扬板大，并且又能增加物料的充填率及降低物料的降落高度而减少粉尘量损失等优点。

十字形或架形扬板适用于较脆及易分散的小块物料，使其物

地信网论坛
bbs.3s001.com

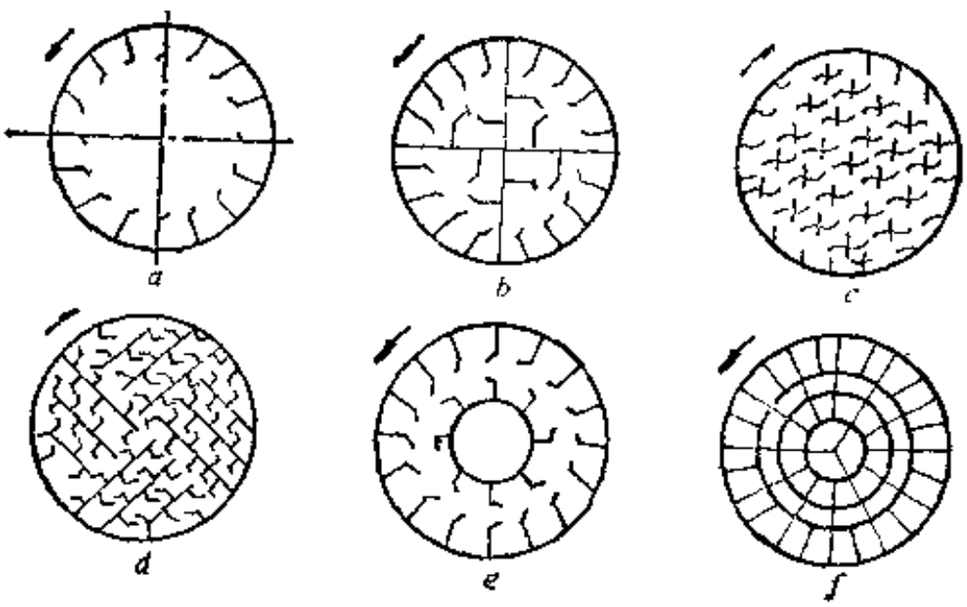


图 18.4.8 扬板的形式

a—升举式；*b*—四格式；*c*—十字式；*d*—架式；*e*—套筒式；*f*—分格式（扇式）

料能均匀地分散在筒体的整个截面上。

套筒式扬板为复式传热（或称半直径加热）圆筒干燥机的扬板。

分格式（扇形）扬板适宜于颗粒很细而易引起粉末飞扬的物料。物料一给入就堆积在格板上，当筒体回转时，物料被翻动并不断与热气体接触，同时又因物料降落高度的降低，减少了干燥物料被气体带走的可能性。

以上各种型式的扬板可以分布在整个筒体内，为了使物料能够迅速而且比较均匀地送到扬板上，亦可在给料端1～5米处安装螺旋形导料板，以避免湿物料在筒壁上粘结堆积。同时因干燥后的物料很容易被扬起而被废气带走，而在排料端1～2米处不装任何扬板。

直接传热回转干燥机的干燥介质通常为烟道气。顺流式直接传热回转干燥机的燃烧室与湿物料进料在同一端，热气流与料流的运动方向是一致的，湿物料从进料端向排料端移动，热空气亦从进料端在鼓风机与引风机的作用下经排料端而流出，湿物料在此流动过程中受热空气加热而干燥。而逆流式则是湿物料从进料

地信网论坛
bbs.3s001.com

端给入干燥机，燃烧室设在排料端，物料与干燥介质（热空气）作反方向运动，物料在此运动的过程中受热而干燥。分别见图18.4.9和图18.4.10。

顺流式干燥由于给入的湿物料进入干燥机就与温度较高的干燥介质接触，初期干燥推动力较大，以后随物料温度的升高，干燥介质的温度降低了。故适宜于对最终含水量（即干燥程度）要求不高的物料。排出的干物料温度较低，便于运输。但从产生粉尘来看，细物料易被气流带走，粉尘量较大。

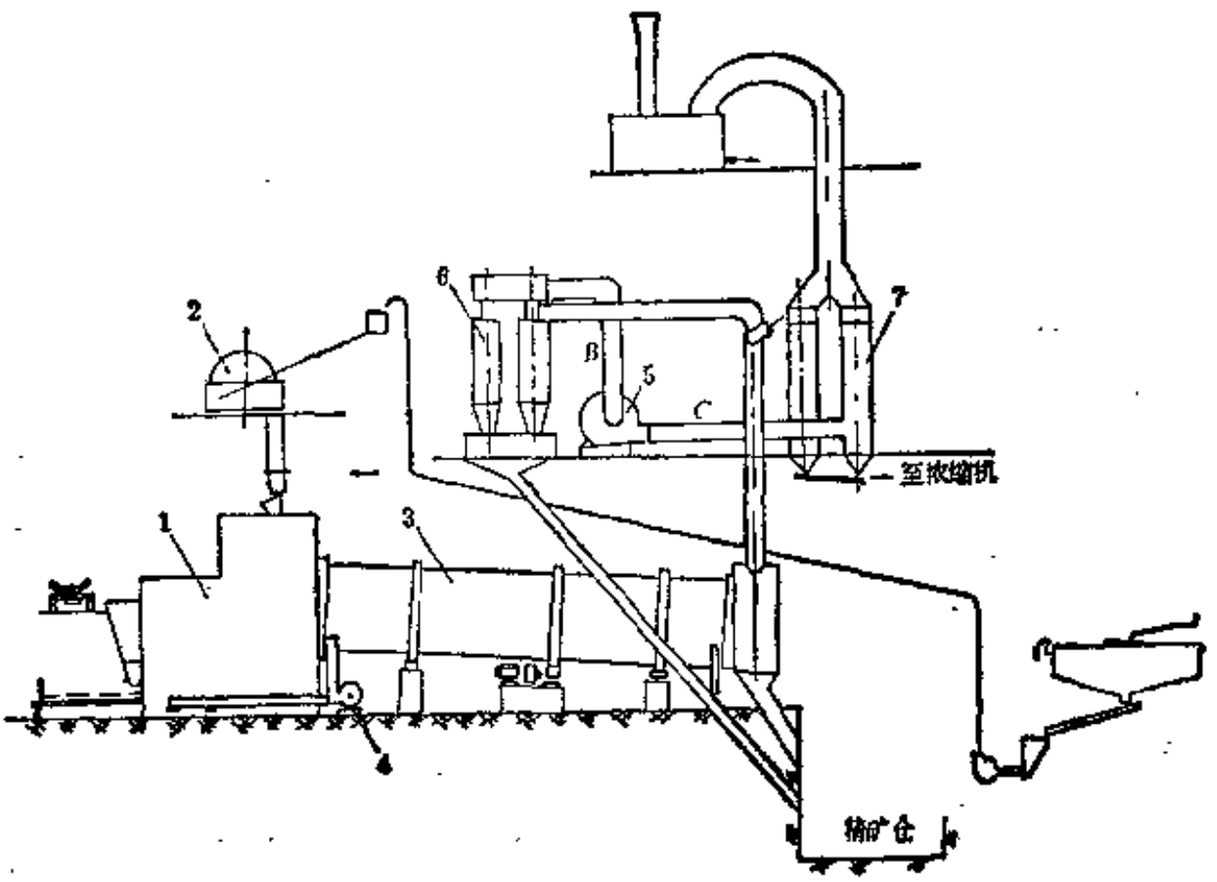


图 18.4.9 顺流式干燥

1—燃烧室；2—过滤机；3—圆筒干燥机；4—鼓风机；5—抽风机；6、7—收尘器

逆流式干燥在干燥过程中，干燥推动力较均匀，适宜于被干燥物料要求较严的干燥。干燥介质所带粉尘经湿料区而被滤清，气流中含尘量较少。

地信网论坛
bbs.3s001.com

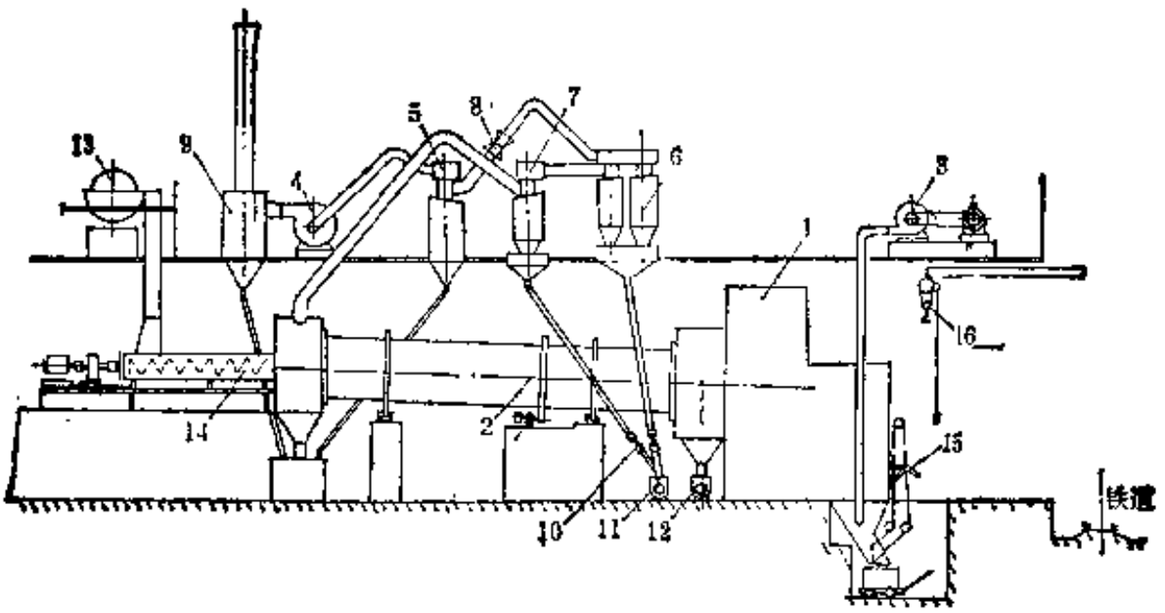


图 18.4.10 逆流式干燥

1—燃烧室；2—圆筒干燥机；3—鼓风机；4—引风机；5～9—收尘设施；10～12—运输设施；13—过滤机

间接加热圆筒干燥机是由装在回转圆筒轴心外的一个固定同心圆筒，直接通燃烧室作为烟道构成，使来自燃烧室的高温烟道气从干燥机的同心圆筒间隙中通过，从而使内圆筒中的物料干燥；或在中心烟筒外设多管回烟管，使外圆筒的物料被往复流动的热气流加热而干燥。分别如示于图18.4.11及18.4.12。由于间接加热的传热效率低及构造复杂等原因，目前间接加热圆筒干燥机很少选用。

18.4.3.2 圆筒干燥机的选择与计算

圆筒干燥机的选择主要根据被干燥物料的特性，如物料水分、粒度以及干燥产品的水分等。除此之外，还应考虑经济因素，如尽量选择热源费用低的干燥方式，如利用劣质煤的沸腾燃烧室的干燥方式，同时还要考虑废热的利用，以及尽量降低物料进干燥前的水分等。

圆筒干燥机的生产能力与被干燥物料进出干燥机的水分（按重量百分数计算）和干燥强度有关。首先，计算干燥机的总容积，计算公式如下：

地信网论坛
bbs.3s001.com

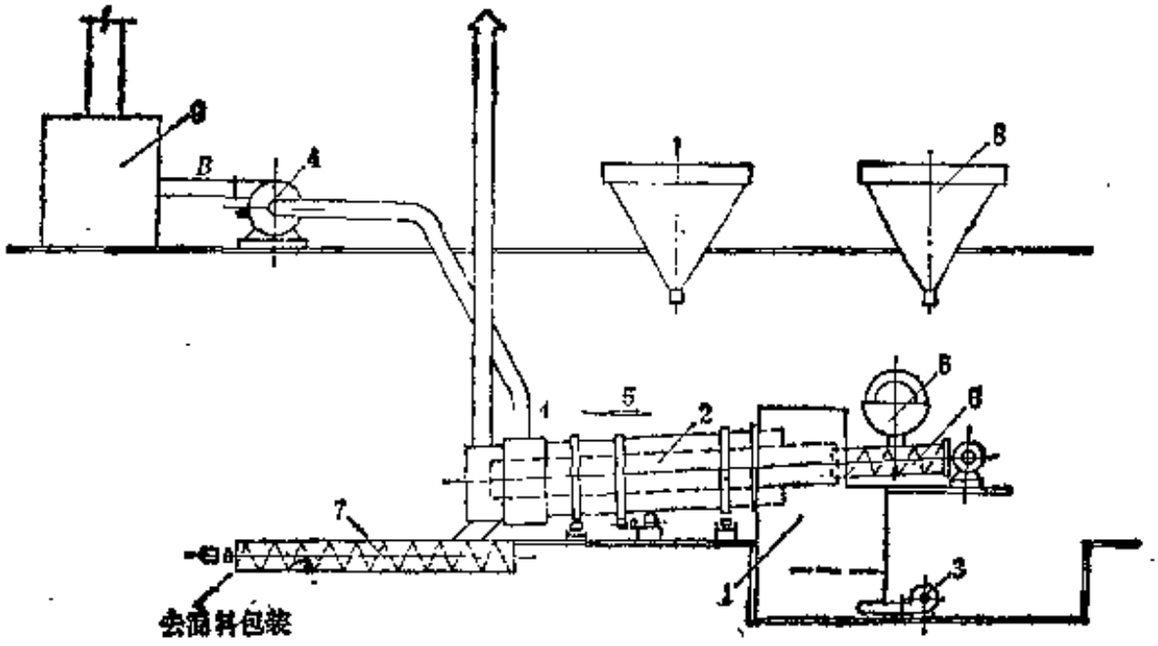


图 18.4.11 同心圆筒间接加热干燥机

1—燃烧室；2—同心圆筒干燥机；3—鼓风机；4—引风机；5—过滤机；6—给料螺旋；7—排料螺旋；8、9—收尘系统

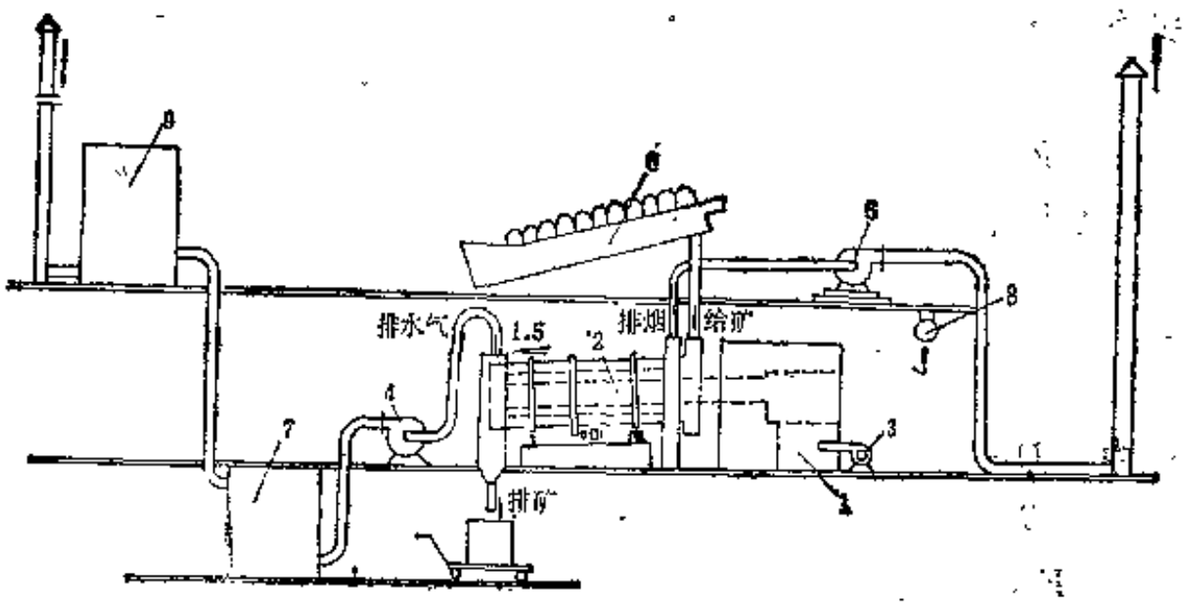


图 18.4.12 多管间接加热干燥机

1—燃烧室；2—多管间接加热干燥机；3～5—风机；6—螺旋分级机；7、8—收尘系统

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$V_0=\frac{Q(R_1-R_2)}{W_S} \tag{18.4.34}$$

式中 V_0——干燥机的总容积，m^3；

Q——干燥作业的处理能力（按干燥物料中固体重量计，kg/h；

R_1、R_2——被干燥物料进出干燥机的水分（重量百分数计）；

W_S——按蒸发水分计的干燥强度，$kg/(m^3 \cdot h)$。

干燥强度是根据试验或干燥类似物料的实际生产资料来确定，亦可参见表18.4.2。

干燥机容积与干燥强度、干燥物料的性质、干燥前后的水分、干燥机入口和出口处干燥介质的温度、干燥机型式、气流速度和燃料的质量有关。这些因素是根据试验研究和干燥类似物料的实际生产资料确定的。其生产实际资料见表18.4.4。

根据所计算的总容积，然后计算选择所需干燥机的台数。

$$n=\frac{V_0}{V} \tag{18.4.35}$$

式中 n——选用台数，台；

V_0——计算所需干燥机的总容积，m^3；

V——选用干燥机的单台容积，m^3。

圆筒干燥机直径的确定：

$$D=\frac{0.188}{\sqrt{100-\beta}}\times\sqrt{\frac{V_2}{v_1 \cdot n}} \tag{18.4.36}$$

式中 D——圆筒干燥机的直径，m；

β——充满系数，β值一般取20%；

V_2——干燥机排出废气的体积，m^3/h；

v_1——圆筒出口的气流速度，m/s；

n——干燥机的台数，台。见公式（18.4.35）。

圆筒干燥机的规格及技术性能列于表18.4.5。

地信网论坛 bbs.3s001.com

表 18.4.4 圆筒干燥机生产实例

使用单位	白银有色金属公司选矿厂	易门铜矿木奔选矿厂	东川矿务局因民选矿厂	桃林铅锌矿选矿厂	株洲冶炼厂	石人嶂钨矿选矿厂	盘古山钨矿选矿厂	盘古山钨矿选矿厂
干燥机规格	ϕ2.8×14m	ϕ2.2×12m	ϕ2.2×12m	ϕ1.5×12m	ϕ1.5×12m	ϕ0.35×5.7m	ϕ600×5000m	ϕ400×[illegible]m
台数	4台	2台	2台	3台	2台	1台	2台	1台
干燥机转数，r/min	4.7		5		4.59	6	7.5，4.8	4.5
干燥机功率，kW	55			20	28	2.8	2.8	4
干燥机给料设备	叶片式给料机		螺旋输送机	螺旋输送机	圆盘给料机		螺旋输送机	螺旋输送机
进干燥机介质温度，℃	360	748	712	>1300	800	900～1100	625	
出干燥机介质温度，℃	90	160	260	80	140	200～250	239	275
干燥介质与物料流向	顺流	顺流	顺流	逆流	顺流	逆流	顺流	
物料名称及状态	铜精矿，粉状	铜精矿，粉状	铜精矿，粉状	萤石精矿，粉状	锌精矿，粉状	钨精矿，粉状	钨、铜精矿粉状	锑精矿粉状
进料温度，℃	11.5	27	18.3	13	10	29		
出料温度，℃	41	65	65.5	200	55	>300		220～310
进料湿度，%	11.13	20	～22	9	10	5.79	14	20～24
出料湿度，%	6.95	12.55	9.74	0.2	7	0.08	约0	0.07

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 18.4.4

使用单位	白银有色金属公司选矿厂	易门铜矿水奔选矿厂	东川矿务局因民选矿厂	桃林铅锌矿选矿厂	株洲冶炼厂	石人嶂钨矿选矿厂	盘古山钨矿选矿厂	盘古山钨矿选矿厂
产量，t/h	21～40	约130	110		40			
鼓风机型号及功率	CTД—57—T6B 40kW	4—62—11		9112*，	4—62—11	28kW	4kW	CFG—3—16 0.75kW
风量，m^3/h		16300			4000～10000			1080
风压，kPa								
排风机型号及功率	9—37—11 95kW	9—31—1 75kW		8—18—1—10 28kW	8—81—1 40kW	4.5kW	ЦП—70—40 10kW	7kW
风量，m^3/h		34900			11980			
风压，kPa		45.2			544			
干燥强度，$kg/(m^3 \cdot h)$	18	22～37	28.22	33	61～67	210.9	55	25～33
加热方式	直接加热	直接加热		直接加热	直接加热	直接加热	直接加热	直接加热
燃料	烟煤，重油	原煤	块、粉烟煤	块烟煤	煤气	煤	煤	煤
收尘系统段数及型式	两段： 一段：8管ϕ700旋风 二段： 三筒ϕ1200水膜除尘器	两段： 一段： 4管ϕ800旋风 二段： 百叶窗式水浴收尘器	三段： 一段： 4管ϕ700旋风 二段：水膜 三段：冲击水浴	四段： 一段： ϕ800单管旋风 二段：4管ϕ450 三段：ϕ650旋涡 四段：ϕ500文丘里管	两段： 一段： 双管ϕ750 二段： ϕ1000×5800水膜	一段： 泡沫收尘塔	一段： ϕ750旋风	一段： 160m^3除尘室

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.4.5 圆筒干燥机的规格及技术性能

直径×长度 m	型 式	筒体容积 m^3	筒体斜度 %	设备重量 t
φ1.0×5	升 举	3.9	5	6
φ1.2×6	升 举	8.1	5	10
φ1.2×6	升 举	6.8×13.6	5	
φ1.2×8	升 举	10.8	5	18
φ1.5×8	升 举	14.1×26.5	5	
φ1.5×12	升 举	21.2	5	18
φ1.5×14	升 举	24.7	5	17.9
φ1.8×10	升 举	25.3～45.8	5	
φ1.8×12	升 举	30.5	5	19.4
φ1.8×14	升 举	35.1	5	20.9
φ2.0×12	升 举	37.7～62.8	5	
φ2.2×12	升 举	45.6	3	35
φ2.2×14	升 举	53.2	3	40
φ2 ×15	升 举	57～83.6	5	
φ2.1×18	升 举	81	3	50
φ2.5×18	升 举	88.3～122.5	5	

18.4.4 沸腾干燥机

沸腾干燥机又称流态化干燥机，由一个竖立圆筒及设在筒体下部一定高度处的一层或数层多孔分布板组成。干燥介质（热空气）从筒体底部送入，将已均匀分布在分布板上的厚度为10～100毫米物料分散形成悬浮流态化层。当气流速度较低时，物料层不动，气体在物料层的颗粒间空隙中通过，继续增大气流速度，物料开始松动，床层略有膨胀，物料在一定区间交换位置，再继续增大气流速度时，物料即悬浮形成流态化层。在流态化层中，物料在热气流中上下翻动，彼此碰撞，气、固间进行传热和汽化，使之达到干燥的目的。

影响沸腾干燥的主要因素是干燥介质的速度，当静止物料层的高度在5～150毫米，物料的粒度大于0.5毫米时，适宜的气流

地信网论坛
bbs.3s001.com

速度应在物料流态化临界流速与被气流带走的颗粒的速度之间，即物料的自由沉降速度v_0的0.4～0.8倍。因为当物料层膨胀到一定高度时，床层空隙率增大，气流速度就下降，随着气流速度的下降，物料又重新落下形成不了流态化层，当气流速度增大到等于物料的自由沉降速度时，物料就会从干燥机的顶部吹出。所以沸腾干燥的适宜气流速度应在临界流态化速度与带出速度之间。

沸腾干燥具有较高的传热和汽化速度以及传热接触面积大等优点，干燥机的结构简单，造价低，操作维修方便。

目前国内采用的沸腾干燥机有单层圆筒、多层圆筒、卧式多室等几种型式。如图18.4.13、图18.4.14和图18.4.15所示。

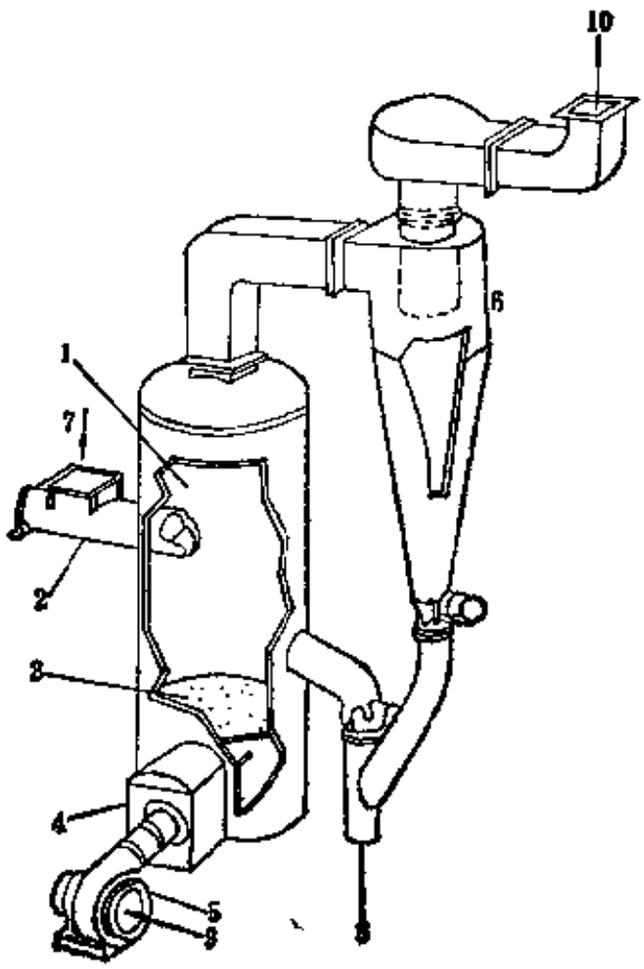


图 18.4.13 单层圆筒沸腾干燥机

1—沸腾室；2—进料器；3—分布板；4—加热器；5—鼓风机；6—旋风分离器；7—湿物料；8—干物料；9—空气入口；10—空气出口

地信网论坛
bbs.3s001.com

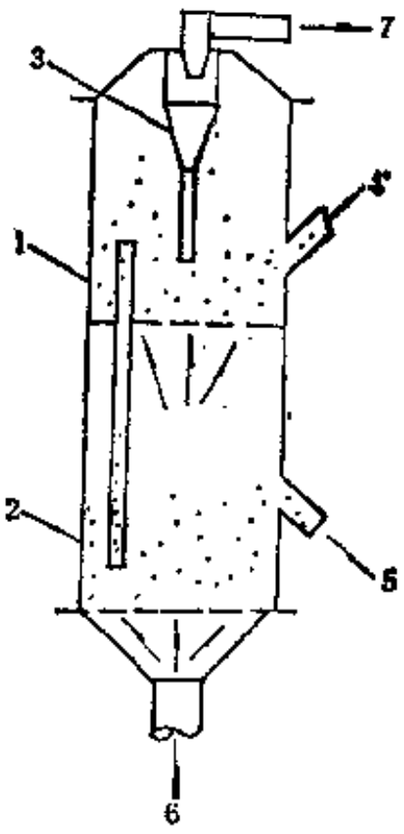


图 18.4.14 多层圆筒沸腾干燥机

1—第一沸腾层；2—第二沸腾层；3—床内分离器；4—入料口；5—出料口；6—热空气进口；7—气体出口

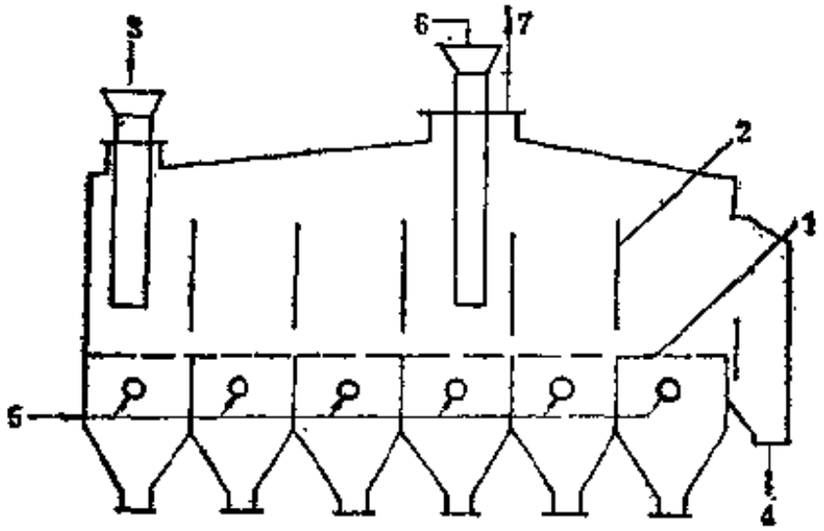


图 18.4.15 卧式多室沸腾干燥机

1—多孔板；2—隔板；3—入料口；4—出料口；5—气体进口；6—旋风分离器回料；7—气体至旋风分离器

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.4.5 气流干燥机（器）

气流干燥是将泥状、粉粒状或块状的湿物料与被从燃烧炉送来的烟道气（或热空气）吹入干燥筒中，湿物料则与作高速运动的热气流接触传热与汽化，从而得到干燥。

气流干燥机系由一根或数根直立的圆筒为干燥主体，与给料装置、燃烧炉、旋风分离器、风机和卸料装置组成的干燥装置。如图18.4.16所示。湿物料由加料设备1进入气流干燥筒底部的粉碎机8，被同时送入粉碎机中的从燃烧炉来的烟道气（或热空气）吹入气流干燥筒中。湿物料被高速运动的热气体分散并悬浮在气流中，得到干燥，干燥后的物料随气流进入旋风分离器后由底部排出，废气经风机排入大气中。

气流干燥的特点是气体的速度高，通常为20～40米/秒，而物料颗粒又是悬浮于气流之中，气、固间的传热系数和传热接触表面积都很大，干燥效果较好。另外，其结构简单，造价低，活动部件少，易于建造和维修，操作稳定便于控制。但从整个干燥系统来看，由于气流速度高，物料在输送过程中与筒壁的摩擦及物料之间的相互碰撞形成阻力使消耗动力大，干燥筒高要求在10米以上，同时，对粉尘回收装置要求也较高。

目前，为了降低干燥筒的高度和获得较好的干燥效果已研究出许多较优方法，通过干燥实验得知，颗粒在干燥筒中的运动情况分为加速运动阶段和恒速运动阶段，通常加速阶段在加料口以上1～3米内完成。当湿物料进入干燥筒底部的瞬间，其上升速度v_m为零，气流速度为v_n，气流和颗粒间的相对速度v_t（$v_t=v_n-v_m$）为最大，此时，对流传热系数也大；当物料被气流吹动后不断加速，上升速度v_m由零升到某个值，气体与物料颗粒间的相对速度v_t逐渐降低，直到等于颗粒在气流中的沉降速度v_0时，即$v_t=v_0=(v_n-v_m)$，颗粒就不再被加速而维持恒速上升。

为此，降低干燥筒的高度及获得良好的干燥效果，应充分发挥干燥筒底部加速段的作用，目前采用如下几种改进措施：

地信网论坛
bbs.3s001.com

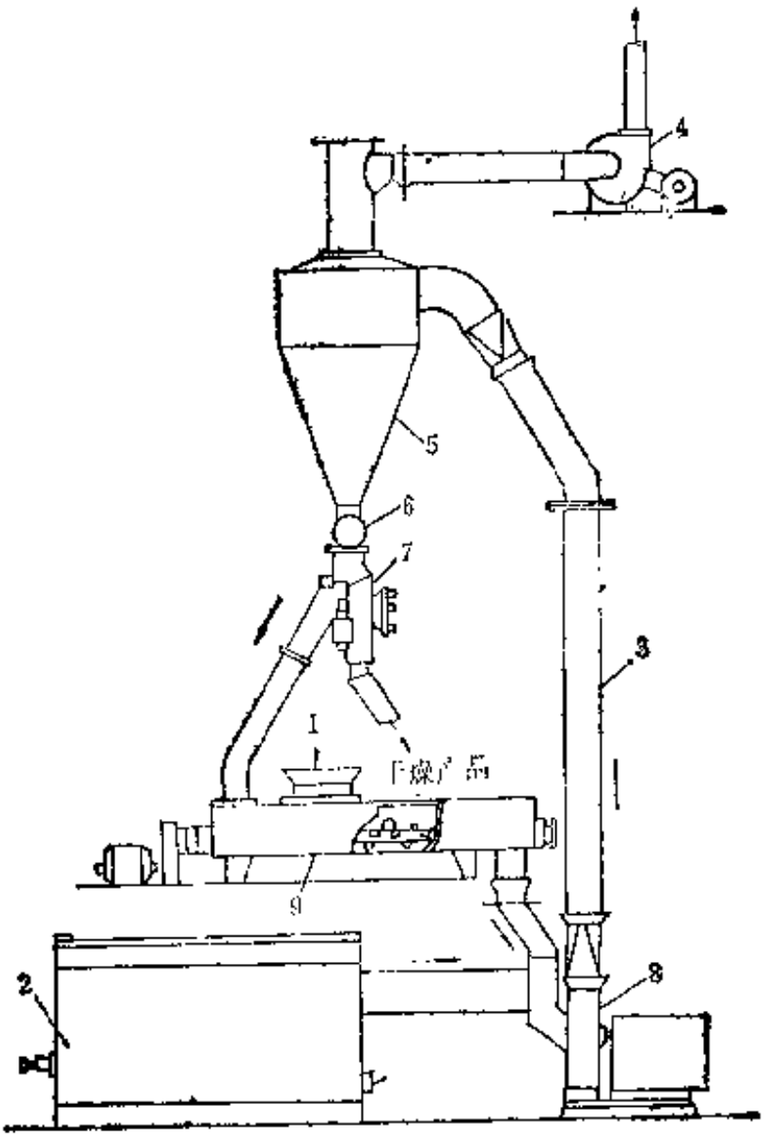


图 18.4.16 气流干燥装置

1—给料设备；2—燃烧炉；3—气流干燥筒；4—风机；5～7—卸料设施；8—粉碎设备

（1）多级气流干燥器：将2～3级气流干燥设备串联使用，既增加了加速段的数目，又降低了干燥筒的总高度。

（2）脉冲式气流干燥器：为交替缩小和扩大直径的脉冲管代替直管，使被干燥物料在直径交替缩小和扩大的脉冲管中，受高速的气流作用和颗粒本身运动的惯性作用，增大了气流与颗粒间的相对速度和传热面积，从而提高了传热和汽化速度。

（3）倒锥形气流干燥器：干燥管呈上大下小的倒锥，使气流速度自下而上地逐渐降低，被干燥物料的颗粒按不同的粒度分

地信网论坛
bbs.3s001.com

别在管内不同的高度中悬浮而被干燥。

（4）旋风式干燥器：利用旋风分离器作为干燥器。气流夹带着物料以切线方向进入旋风气流干燥器，沿器壁产生离心加速作用，使物料颗粒处于悬浮和旋转运动状态，从而增大了气、固间的相对速度和干燥面积强化了干燥过程。

攀枝花铁矿选矿厂（设计）采用气流干燥装置干燥含水为14%、粒度为0.4～0毫米的钛精矿，其直流干燥管直径为400毫米共4根，所需热空气总流量为20000米^3/时，处理能力16吨/时，总煤耗1.8吨/时，干燥后的钛精矿含水小于1%。

18.4.6 带式干燥机

带式干燥机如图18.4.17所示。

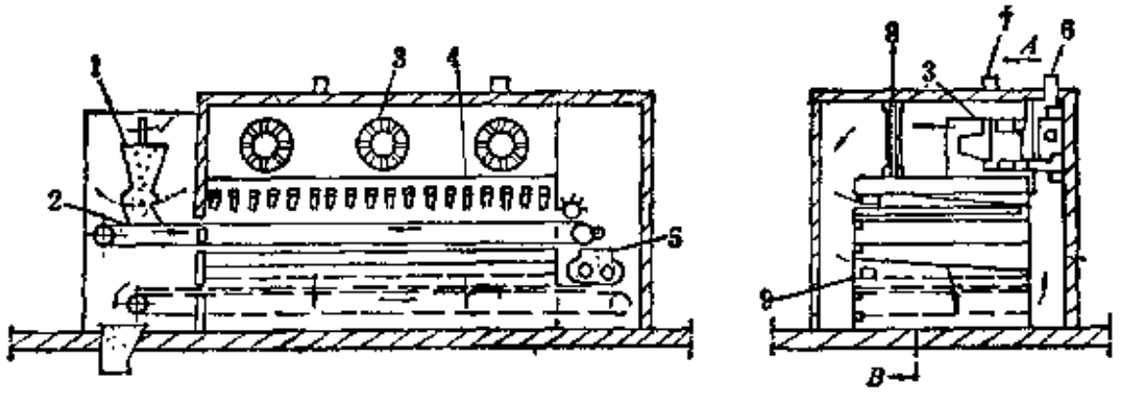


图 18.4.17 带式干燥机

1—加料器；2—传送带；3—风机；4—热空气喷嘴；5—压碎机；6—空气入口；7—空气出口；8—加热器；9—空气再分配器

该机是一个长方形干燥室或隧道，其内安置带式输送设备。传送带为网状，气流与物料呈错流，输送带在前移过程中物料不断地与热空气接触而被干燥。输送带可以是多层的，带宽为1～3米，带长为4～50米，干燥时间为5～120分钟。通常在物料的运动方向上分为许多区段，每个区段都可装设风机和加热器。在不同的区段上，气流方向及气体的温度、湿度和速度均可不同，例

地信网论坛
bbs.3s001.com

如在湿料区段，采用的气体速度可大于干燥产品区段的气体速度。

传送带可根据被干燥物料性质的不同，选用帆布、橡胶、涂胶布或金属丝网制成。

带式干燥机的优点是可同时连续干燥多种固体物料。缺点是生产能力和热效率均较低。

18.4.7 膛式干燥机

该机的特点是将物料置于炉膛的铁板上加热干燥。主要类型有烘砂板、耙式干燥机及刮板干燥机等。

烘砂板（干燥坑）最为简单，如图18.4.18所示。

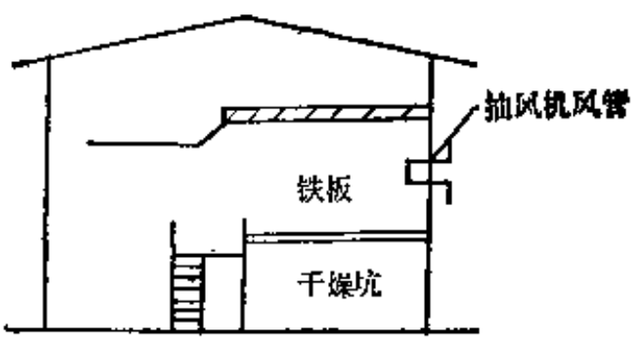


图 18.4.18 干燥坑

由图可知，铁板置于燃烧炉的烟道上，火焰将铁板加热，物料间接受热而干燥。该类干燥设施造价低，生产过程中不易产生灰尘。但热效率和生产率很低，仅适用于小型选矿厂。如江西赣州精选厂干燥钨、钼、铋等精矿采用干燥坑，其规格有5000×1300毫米和4400×1960毫米两种，处理能力为0.094～1.2吨/时。锡矿山矿务局南冶炼厂干燥锑精矿采用了15050×4250毫米干燥坑，处理能力为2.5～3.75吨/时（干燥产品含水率为10%）。

18.4.8 干燥机的辅助设备

18.4.8.1 燃烧炉几何尺寸的计算

（1）每台干燥机所需炉排面积：

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$S_1=\frac{Q_{YDW}G_3}{nQ_8} \tag{18.4.37}$$

式中 S_1——炉排面积，m^2；

Q_{YDW}——煤的低位发热量，kJ/kg。见公式（18.4.5）；

G_3——燃料煤消耗量，kJ/h。见公式（18.4.22）；

n——按蒸发水量计算的干燥机台数，台。见公式（18.4.35）；

Q_8——单位炉排面积的热负荷，$kJ/(m^2\cdot h)$。一般取5～$7.5\times10^5 kJ/(m^2\cdot h)$。

选用炉排的有效面积应大于计算值S_1。

炉排的型式有固定式和链条式两种，当燃料煤中0～3毫米粒级不超过30%，水分小于16%时，应采用固定式炉排，否则应采用链条式炉排。

（2）燃烧室的容积：

$$V_4=\frac{Q_{YDW}G_3}{2.5\times10^5 n} \tag{18.4.38}$$

式中 V_4——燃烧室的容积，m^3；

Q_{YDW}、G_3、n——见公式（18.4.38）的相应符号。

（3）燃烧室高度：

$$H=\frac{V_4}{S_1}+1.7 \tag{18.4.39}$$

式中 H——燃烧室高度，m；

V_4——燃烧室的容积，m^3；

S_1——炉排面积，m^2。见公式（18.4.37）。

18.4.8.2 鼓风机的选择与计算

（1）鼓风机的风量：

$$V_5=1.1\frac{G_3 dL_0(273+t_0)}{273\rho_0} \tag{18.4.40}$$

式中 V_5——鼓风机的风量，m^3/h；

G_3——燃料煤消耗量，kg/h。见公式（18.4.22）；

地信网论坛
bbs.3s001.com

d——燃烧室和混合室总的空气用量系数，见公式（18.4.9）；

L_0——燃烧一千克煤所需空气量的理论值，kg/kg。见公式（18.4.7）；

t_0——进入燃烧室的空气温度，℃；

ρ_a——空气密度，一般可取1.29kg/m³。

（2）鼓风机的风压：

$$H_2 = H_M + \Sigma(e_K + t) \qquad (18.4.41)$$

式中 H_2——鼓风机的风压，Pa；

H_M——炉排阻力，Pa。一般取588.60Pa；

$\Sigma(e_K + t)$——所有管道的局部阻力，一般取392.4Pa。

用煤气作燃料时，H_M值取490.5Pa，$\Sigma(e_K + t)$值取2.45～3.43kPa。

18.4.8.3 引风机的选择与计算

（1）引风机的风量：

$$V_6 = 1.2\frac{V_2}{n} \qquad (18.4.42)$$

式中 V_6——引风机的引风量，m³/h；

V_2——干燥机排出废气的体积，m³/h。见公式（18.4.25）；

n——干燥机台数，台，见公式（18.4.35）。

（2）引风机的风压：

$$H_3 = H_d + H_c + H_m + H_h + H_f + H_p \qquad (18.4.43)$$

式中 H_3——引风机的风压，Pa；

H_d——干燥机气流阻压力，取294.3～588.6Pa；

H_c——旋风除尘器的风阻压力，取490.5～588.6Pa；

H_m——多管集尘器的风阻压力，取490.5～735.75Pa；

H_h——湿式集尘器的风阻压力，取294.3Pa；

H_p——风管的风阻压力，取196.2～392.4Pa；

H_f——烟道挡板的风阻压力，取147.15Pa。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.4.8.4 集尘设备的选择与计算

干燥车间采用的集尘设备常用的有以下几种：

旋风集尘器其常用的规格有ϕ700、ϕ750、ϕ800；

多管集尘器其常用的规格有：

$$\frac{D-150}{160}、\frac{D-150}{192}、\frac{D-150}{2\times140}$$

湿式水膜式集尘器其常用的规格有ϕ800、ϕ900、ϕ1000和ϕ1200等几种；

还有百叶窗式水浴收尘器、冲击式水浴收尘器和各种除尘室等。

（1）旋风集尘器的直径计算公式：

$$D=\sqrt{\frac{V_6}{222v_2}} \tag{18.4.44}$$

式中 D——旋风集尘器的直径，m；

v_2——气流通过速度，一般为15～20m/s；

V_6——引风机的风量，m^3/h。见公式（18.4.42）。

（2）多管集尘器的管数计算：

$$n=\frac{V_6}{Q_7} \tag{18.4.45}$$

式中 n——多管集尘器的总管数，根；

Q_7——每根管每小时处理废气量，一般取220～240m^3/h；

V_6——引风机的风量，m^3/h。见公式（18.4.42）。

（3）湿式水膜集尘器：

根据干燥机排出的废气体积V_2选择生产能力及与之相适应的湿式水膜集尘器。

18.4.9 干燥设备的选型及热工计算实例

（1）已知条件：

某选矿厂用圆筒干燥机干燥黄铁矿浮选精矿。

干燥前精矿的重量$G_1=7000kg/h$；

地信网论坛
bbs.3s001.com

干燥前精矿的水分$W_1=16\%$；

干燥后精矿的水分$W_2=6\%$；

进入干燥机前湿精矿的温度$T_1=10℃$；

离开干燥机时干精矿的温度$T_2=90℃$；

进入燃烧炉的空气的性质为$t_0=20℃$，$\varphi_0=70\%$，从$I-d$图（图18.4.5）或$I-d$表（表18.4.1）上查出：$I_0=46.47kg/(kg\cdot K)$，$d_0=10.42g/kg$干空气；

进入干燥机时烟道气的温度$t_1=800℃$；

干燥机排出的废气温度$t_2=110℃$；

燃料煤的成分如下：

$C_y=66.53\%$；$S_y=0.62\%$；$H_y=4.06\%$；$A_y=15\%$；

$O_y=5.7\%$；$W_y=7.0\%$；$N_y=1.09\%$

（2）计算：

1）汽化水量：

$$W=G_1\frac{W_1-W_2}{100-W_2}=7000\frac{16-6}{100-6}=744.68kg/h$$

2）干燥后精矿重量：

$$G=G_1-W=7000-744.68=6255.32kg/h$$

3）燃料煤的高位发热量：

$$Q_{YGW}=[81C_y+300H_y-26(O_y-S_y)]\times 4.1868$$
$$=27108.90kJ/kg$$

4）燃烧一千克煤所需理论空气量：

$$L_0=\frac{2.67C_y+8H_y-O_y+S_y}{23.2}=8.83kg/kg$$

5）干烟道气的比热容：

$$c_2=\frac{0.314+3\times 10^{-5}t_1}{1.34}\times 4.1868=1.055kJ/(kg\cdot K)$$

6）空气用量系数：

燃烧室和混合室的总热效率，取$\eta=0.8$。

在烟道气的温度为800℃时，蒸汽的热含量为：

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$i=(595+0.47t_1)\times 4.1868=4065.38\text{kJ/kg}$$

按公式（18.4.9）计算空气用量系数 α：

$$\alpha=\frac{Q_{YGW}\cdot\eta-\left(1-\frac{9H_y+W_y+A_y}{100}\right)c_2t_1-\frac{9H_y+W_y}{100}\cdot i}{L_0\left(c_2t_1+\frac{in_0}{1000}-I_0\right)}$$

$$=\frac{27108.9\times 0.8-\left(1-\frac{9\times 4.06+7+15}{100}\right)1.055\times 800}{8.83\left(1.055\times 800+\frac{4065.38\times 10.42}{1000}-46.47\right)}$$

$$-\frac{\frac{9\times 4.06+7}{100}\times 4065.38}{8.83\left(1.055\times 800+\frac{4065.38\times 10.42}{1000}-46.47\right)}$$

$=2.64$

7）燃烧一千克煤产生的干烟道气量：

$$l_0=1+\alpha L_0-\frac{9H_y+W_y+A_y}{100}$$

$$=1+2.64\times 8.83-\frac{9\times 4.06+7+15}{100}$$

$$=23.72\text{kg/kg}$$

8）燃烧一千克煤时产生的水蒸气量 g_1，以及与空气同时进入燃烧室和混合室的水蒸气量 g_2：

$$g_1=0.01(9H_y+W_y)=0.01(9\times 4.06+7)$$
$$=0.44\text{kg/kg}$$
$$g_2=0.001\alpha L_0d_0=0.001\times 2.64\times 8.83\times 10.42$$
$$=0.24\text{kg/kg}$$

9）与烟道气同时进入干燥机的水蒸气量：

$$g_3=g_1+g_2=0.44+0.24=0.68\text{kg/kg}$$

10）进入干燥机的烟道气的湿含量 d_1 及热含量 I_1：

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$d_1=1000\frac{g_3}{l_0}=1000\frac{0.68}{23.72}=28.67\text{g/kg干空气}$$

在$I-d$图（图18.4.5）上查出此时烟道气的热含量$I_1=971$ kJ/kg干空气。由公式（18.4.15）或查$I-d$表（表18.4.1）并用插入法计算亦可近似得出I_1。

11）干燥机内部供应热量与损失热量之差：

$$\Delta=c_WT_1+Q_1-(Q_2+Q_3+Q_4)$$

在圆筒干燥机内因不补加热量，故$Q=0$，已知$T_1=10℃$，则各种热量损失为：

蒸发一千克水被精矿带走的热量：

$$Q_2=\frac{G_1c_3(T_2-T_1)}{W}$$

取绝对干燥的黄铁矿的比热容$c_4=0.544\text{kJ/(kg·K)}$

被干燥物料的比热容：

$$c_3=c_4\frac{100-W_2}{100}+\frac{W_2}{100}\cdot c_W$$

$$=0.544\frac{100-6}{100}+\frac{6}{100}\times 4.1868$$

$$=0.502+0.25=0.75\text{kJ/(kg·K)}$$

蒸发一千克水被精矿带走的热量损失：

$$Q_2=\frac{6255.32\times 0.75(90-10)}{744.68}=504\text{kJ/kg}$$

使循环进出的运输设备温升的热耗，因圆筒干燥机一般不设运输设备，所以$Q_3=0$。

从干燥机表面和密封不严密处损失的热量：

$$Q_4=\frac{Q_5}{100}\times 5$$

因 $$Q_5=(i_2-c_WT_1)+Q_2+Q_3$$

$$i_2=(595+0.47\times 110)\times 4.1868$$

$$=2707.6\text{kJ/kg}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

干燥机有效热量：

$$Q_5=(2707.6-4.1868\times10)+504+0$$
$$=3169.73\text{kJ/kg}$$

干燥机表面和不严密处散失的热量：

$$Q_4=\frac{3169.73}{100}\times5=158.49\text{kJ/kg}$$

由此 $\Delta=4.1868\times10-(504+0+158.49)=41.87-662.49=-620.62\text{kJ/kg}$

12）蒸发一千克水所需干烟道气量：

$$l=\frac{1000}{d_2-d_1}$$

$t_1=800℃$，$d_1=28.6\text{g/kg}$，$I_1=971\text{kJ/kg}$，确定达到终点的位置。从而可得烟道气离开干燥机时的性质。

在$I_1=971\text{kJ/kg}$的等热含量线上，以$d_1=28.67\text{g/kg}$与$I_1=971\text{kJ/kg}$之交点B为起点至任一点e，量出e与等d_1线之间的垂直距离ef，求出：

$$eE=\frac{\Delta}{500\times4.1868}\cdot ef=\frac{-620.6}{500\times4.1868}\cdot ef$$
$$=-0.3ef$$

连接BE并延长与$t_2=110℃$线相交于c'点，得到$d_2=263\text{g/kg}$干气体；$I_2=825.0\text{kJ/kg}$干气体；$\varphi_2=29\%$。

校核：$$\frac{eE}{ef}=\frac{I_2-I_1}{d_2-d_1}\cdot\frac{Md}{Mi}=\frac{825-971.0}{263-28.67}$$
$$\cdot\frac{1}{0.5}\times\frac{1}{4.1868}=-0.3$$

$$l=\frac{1000}{263-28.67}=4.27\text{kg/kg水分}$$

13）干燥机每小时所需干烟道气量：

$$l_1=lW=4.27\times744.68=3179.78\text{kg/h}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

14) 进入干燥机的烟道气总量:

$$l_2 = l_1 \frac{l_0 + g_3}{e_0} = 3179.78 \frac{23.72 + 0.68}{23.72}$$

$$= 3270.94 \text{kg/h}$$

15) 燃料煤消耗量:

$$G_3 = \frac{l_1}{l_0} = \frac{3179.78}{23.72} = 134.05 \text{kg/h}$$

16) 汽化一千克水分的热量消耗:

$$q = l(I_1 - I_0) = 4.27(971.0 - 46.47) = 3949 \text{kJ/kg}$$

17) 每小时进入干燥机的烟道气的总体积:

$$V_1 = \frac{l_2}{\gamma_1} = \frac{3270.94}{0.34} = 9620.41 \text{m}^3/\text{h}$$

$$\rho_1 = \gamma_0 \frac{273}{273 + t_1} = 1.34 \times \frac{273}{273 + 800}$$

$$= 0.34 \text{kg/m}^3$$

18) 干燥机排出的废气量:

$$l_3 = l_2 + W = 3270.94 + 744.68 = 4015.62 \text{kg/h}$$

$$\rho_2 = \frac{P_0(1 + d_2)}{(d_2 + 0.622) \times 3.46(273 + t_2)} \times \frac{1}{133.322}$$

$$= \frac{99325 \times (1 + 263)}{(263 + 0.622) \times 3.46(273 + 110)} \times \frac{1}{133.322}$$

$$= 0.56 \text{kg/m}^3$$

$$V_2 = \frac{l_3}{\gamma_2} = \frac{4015.62}{0.56} = 7170.75 \text{m}^3/\text{h}$$

19) 引风机排出废气的容积:

$$V_m = 1.2V_2 = 1.2 \times 7170.75 = 8604.9 \text{m}^3/\text{h}$$

20) 干燥机的选择计算:

干燥机型式和尺寸的确定:

根据过滤后的黄铁矿浮选精矿粒度细，易粘结的情况，宜选

地信网论坛
bbs.3s001.com

择直接传热顺流式圆筒干燥机。采用升举式扬板，取物料在转筒中的充满系数为$\beta=20\%$，转筒出口处气流速度v_1不超过2～3米/秒。

按公式（18.4.36）计算转筒内径：

$$D=\frac{0.188}{\sqrt{100-\beta}}\times\sqrt{\frac{V_2}{u_1\cdot n}}=\frac{0.188}{\sqrt{100-20}}$$

$$\times\sqrt{\frac{7170.75}{2\times1}}=1.26\,\mathrm{m}$$

根据计算结果转筒内径确定为1.5米。

干燥机单台体积：

$$V_S=\frac{\pi D^2}{4}L=\frac{3.14\times1.5^2}{4}\times12=21.20\,\mathrm{m}^3$$

按公式（18.4.34）计算干燥机的总容积：

$$V_0=\frac{Q(R_1-R_2)}{W_S}=\frac{5880(0.19-0.06)}{63}$$

$$=12.13\mathrm{m}^3$$

$$n=\frac{V_0}{V_S}=\frac{12.13}{21.2}=0.57$$

根据计算结果选用$\phi1.5\times12$米圆筒干燥机一台。

地信网论坛
bbs.3s001.com

18.5 其他脱水设备及设施

18.5.1 离心脱水机

18.5.1.1 立式离心脱水机

立式离心脱水机适用于粒度为12～0毫米的选矿产品脱水。

连续工作的立式离心脱水机的构造如图18.5.1所示。其主要部件是用钢板制成的锥形筛面（称为脱水伞），筛孔为15～3毫米。物料由螺旋输送机给入配料盘11中，物料中的水份借离心力而透过筛孔，物料则沿筛板向下运动，越往下行回转半径越大，离心力作用越强。物料翻越筛面上的挡圈10（高约10～12毫米）能进一步疏松以利泄水，并使物料下滑速度减小，增长脱水时间。脱水产物落到机下料仓或漏斗内。脱水产物的含水量与离心机的给料量、物料的粒度组成、离心机转速有关。脱水伞筛孔尺寸和原物料的含水量对脱水最后结果没有影响。给料量增加，产品含水量也增加；给料粒度愈细，脱水产品含水量愈高；离心机的转速愈高，则脱水产品含水量愈低。转数加大，给料粒度变细，筛孔尺寸增大，都会增加离心液中的固体含量。工作实例列于表18.5.1。

离心机工作时必须使转子保持平衡，防止其运动部件变形。同时应该及时地将离心液从离心脱水机中排出，防止机内的槽沟被细泥堵塞。

立式离心脱水机的需用台数按下式计算：

$$n = \frac{K \cdot Q}{q} \qquad (18.5.1)$$

式中 n——需要的脱水机台数，台；

Q——实际进入脱水机的物料数量，t/h；

q——单台脱水机每小时生产能力按定额指标选用，t/h；

K——不均衡系数，1.15～1.2。

地信网论坛
bbs.3s001.com

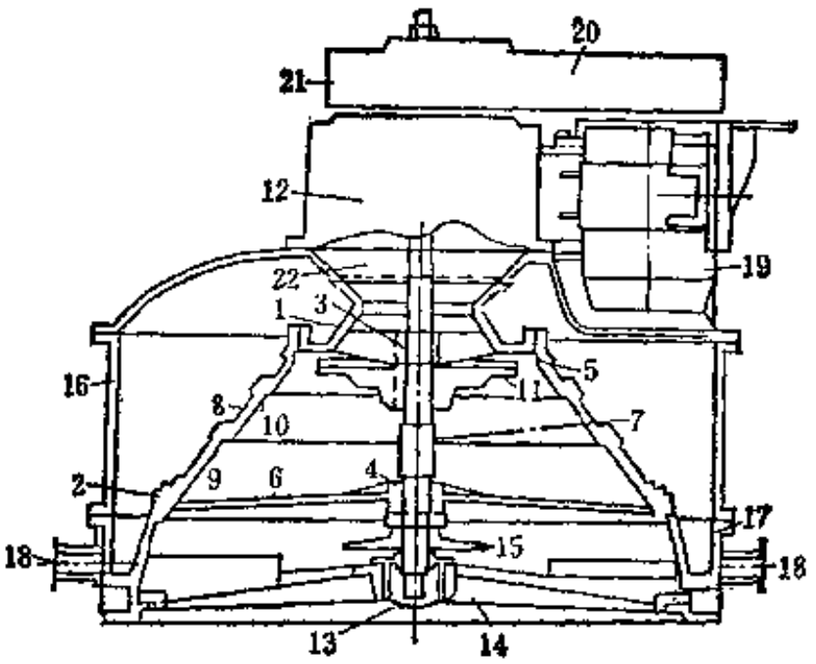


图 18.5.1 立式离心脱水机

1—上部轮缘；2—下部轮缘；3、4—轮壳；5、6—轮辐；7—垂直轴；8—筋；9—筛子；10—挡圈；11—转盘（配料盘）；12—轴承；13—轴承；14—十字架；15—保护盘；16—外壳；17—环形槽；18—排出管；19—电动机；20、21—传动轮及三角带

表 18.5.1 原煤浆含水量与离心脱水后产品水份对比

转数245～260r/min		323～336r/min		456r/min	
原煤水份，%	产品水份，%	原煤水份，%	产品水份，%	原煤水份，%	产品水份，%
14.5	10.47	15.20	8.80	14.95	8.41
15.0	9.60	16.50	8.31	16.00	7.31
15.5	9.74	16.80	8.68	18.80	7.60
16.3	8.06	17.00	8.70	19.70	8.00
19.5	10.10	18.00	8.48	—	

18.5.1.2 卧式离心脱水机

卧式离心脱水机专用于微细粒物料的脱水，其构造和工作原

地信网论坛
bbs.3s001.com

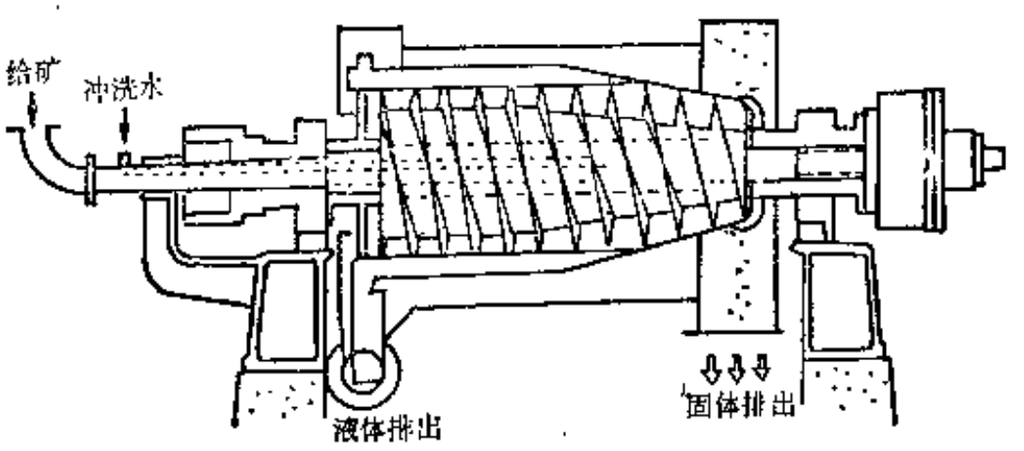


图 18.5.2 卧式离心脱水机

理如图18.5.2所示。

卧式离心脱水机具有两个转鼓：其一是锥形的外转鼓，其二是带有螺旋刮板的内转鼓。锥形转鼓两端用两根空心轴颈支承在轴承上作高速旋转，并通过减速齿轮和轴来带动螺旋转鼓以同一方向旋转，但后者旋转速度略为慢些（差1～3%）。在锥形转鼓外，还有一固定的筒形外壳。

矿浆经插在锥形转鼓一端轴颈中的管道之开口处，落入螺旋转鼓与锥形转鼓所夹的空间中。在离心力的作用下，固体颗粒沉淀在转鼓的内壁上。

由于螺旋转鼓与锥形转鼓有相对速度（约为15～30转/分），故借螺旋刮板将沉淀的物料运送至锥形转鼓的左端，并通过鼓壁上的排料孔排出，液体沿着相反的方向运动，通过锥形转鼓右端盖板上的溢流堰排出。

沉淀物在露出液面后，还通过一段脱水区，在这里受到进一步的脱水，最后才通过排料孔排出。

卧式沉淀离心机的生产率可按下式计算：

$$Q=\frac{\pi d_p^2(\delta-\Delta)\cdot D_0\cdot Ln^2}{3240\mu} \qquad (18.5.2)$$

操作时的分离粒度可按下式计算：

地信网论坛
bbs001.com

$$d_P=\frac{32}{D_0 n}\sqrt{\frac{Q\mu}{(\delta-\Delta)L}}\times 10 \qquad (18.5.3)$$

式中 Q——按溢流计算的生产率，cm^3/s；

d_P——分离粒度，cm；

δ——矿石的密度，g/cm^3；

Δ——液体的密度，g/cm^3；

μ——液体的粘度，Pa·s；

D_0——溢流层的平均直径，cm；

L——沉淀区的长度，即从矿浆流入处至溢流堰处的水平距离，cm；

n——转鼓的转速，r/min。

当指定分离粒度d_P（即溢流最大粒度）时，可用式18.5.3求出离心机按溢流计的生产率；反之，当生产率已知时，可求出实际的分离粒度d_P。

上述公式适于分离粒度为10～15微米，当分离粒度大于15微米时，应做适当修正。

影响沉淀离心机工作的主要因素是离心分离系数K和沉降区的长度。在实际操作中，可以通过改变给料口位置（将给料管沿轴向移动），以及溢流堰高度来改变L的大小，以达到改变分离粒度d_P的目的。当溢流堰高度增加时，沉淀区的长度增大，分离粒度将变小，但这时脱水区长度势必随之减小，这样又将导致沉淀产物水份的增高。因此在调节时，必须要同时考虑到对分离粒度及产品水份两方面所造成的影响。

采用沉淀离心机澄清选煤厂洗水的实践证明其效果很好，固体回收率达85%以上，而溢流中的固体含量为2～6克/升。当用于细粒（3～0毫米）煤脱水时，产品水分可降低到9.5%以下。应用沉淀离心机不但脱水效率高，而且可以简化脱水流程。它的缺点是：设备复杂，制造困难而且动力消耗较大。但是由于它具有很多优点，现仍被推广使用。

沉淀离心机除了用于浓缩外，还用作脱泥、细粒分级以及离

地信网论坛
bbs.3s001.com

心力选矿的设备。

18.5.2 脱 水 筛

18.5.2.1 直线振动筛

该设备是双轴惯性振动筛的一种，其运动轨迹是直线，筛面水平安装，配置高度小，振幅大，筛面大，生产能力高，适于中细粒物料筛分，也可用于脱水、脱泥和脱介。

鞍山矿山机械厂与美国R.S公司合作生产ZKX直线振动筛和YA圆振动筛，两个系列共62种规格。ZKX（原TH）直线振动筛有22种规格，其结构如图18.5.3所示。

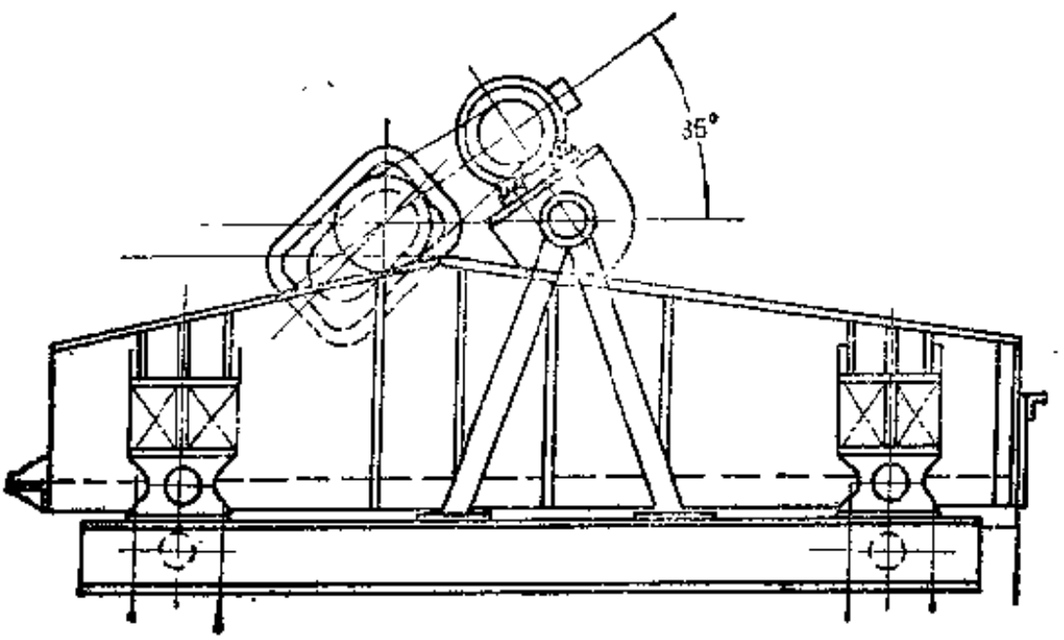


图 18.5.3 ZKX直线振动筛

这种振动筛适于矿石、煤和非金属材料的脱水、脱介、脱泥和干、湿式分级，其条筛缝为0.5～12毫米，冲制筛孔为ϕ13～80毫米，编织筛孔为3～80毫米。该筛强度高，耐疲劳，寿命长，工作平稳，噪音低，维修方便。

18.5.2.2 共振筛

该种筛是一种在接近共振状态下工作的筛分设备，其优点是产量大；筛分效率高；需要的激振力小；动力消耗小，约为其他

地信网论坛
bbs.98s001.com

振动筛的$\frac{1}{5}\sim\frac{1}{10}$；传动机构简单且受力很小，筛面可以相应大些；振幅稳定性好；工作平稳、动负荷小；可用于各种物料的筛分，也可用于脱水、脱泥、脱介和中、细粒物料的筛分。

脱水筛的生产能力一般按单位筛面的生产率计算。当物料密度增大时，筛子单位面积生产能力相应增加。

需要的脱水筛总面积为：

$$S=K\frac{Q}{q} \qquad (18.5.4)$$

式中 S——必需的脱水筛总面积，m^2；

K——给料不均匀系数，一般取1.15～1.2；

Q——给料量，t/h；

q——筛面单位面积生产率，$t/(m^2\cdot h)$，见表18.5.2。

脱水筛台数：

$$n=\frac{S}{S'} \qquad (18.5.5)$$

式中 S'——每台脱水筛的筛面面积，m^2。

表 18.5.2 脱水筛单位筛面生产能力（筛煤） 单位：$t/(m^2\cdot h)$

物 料	粒度，mm	筛孔，mm	单一脱水筛	有脱水仓补充脱水	有离心脱水机补充脱水
粗粒煤	>6～12		6～8	15～20	
细粒煤	<6～12	1			10～12
		0.5			6～8
煤 泥	<2～1	1	2～3		
		0.5	1～1.2		

18.5.2.3 固定条缝筛

固定条缝筛的筛面用楔形的不锈钢丝制成，缝隙宽度为0.5～0.75毫米，常用于精煤的初步脱水，一般安装在运输溜槽的某一段的底部，代替溜槽的底板，其宽度与溜槽相同，长度约3～5

地信网论坛
bbs.3s001.com

米，或再长一些以利提高脱水效率。筛面倾角与溜槽相同，一般约为5～8°，为便于运输脱水后的物料，通常把它装在溜槽末端，或将筛面以后的溜槽倾角加大至35～40°。

脱水筛的尺寸应根据下列原则来确定：

$$S=\frac{3W}{4q} \tag{18.5.6}$$

式中 S——所需筛面积，m^2；

W——应该排泄的水量，m^3/h；

q——单位筛面能够排泄的水量，$m^3/(m^2\cdot h)$；当条缝宽度为0.75～1 mm时，可选取 $q=300$；当条缝为0.5mm时，$q=200$。

筛长

$$L=\frac{S}{b} \tag{18.5.7}$$

式中 b——筛面宽度，与溜槽同宽，m。

18.5.2.4 弧形筛

一般用于对小于10毫米的细粒煤的筛分和脱水，也可用于重介质选矿产品脱介。该设备构造简单，轻便；体积小，占地面积小；本身无运动部件和传动机构；生产能力大；但筛上产品含水分高，采用有压给矿时磨损快；要求均匀给矿，并且要一定的压力。

实践表明，弧形筛筛孔尺寸约为筛下产品分级粒度的1.5～2倍。弧形筛的类型按筛面弧度可分为45°、60°、90°、180°和270°五种，其中用于选矿厂和选煤厂的物料分级、脱泥和脱水作业的，一般为45°、60°和90°筛面；按给料方式可分为无压式(自流）和压力式给料两种。压力式给料用于180°或270°的大弧度弧形筛面上。料浆经过一个扁平形喷咀喷射至筛面上。压力约为10～20千帕（1～2公斤/厘米^2），以提高料浆速度（一般在10米/秒以上），从而得到高的筛分效率。弧形筛结构如图18.5.4所示。

对于半径为0.5～0.6米的弧形筛，其生产能力可以近似计算

地信网论坛
bbs.360001.com

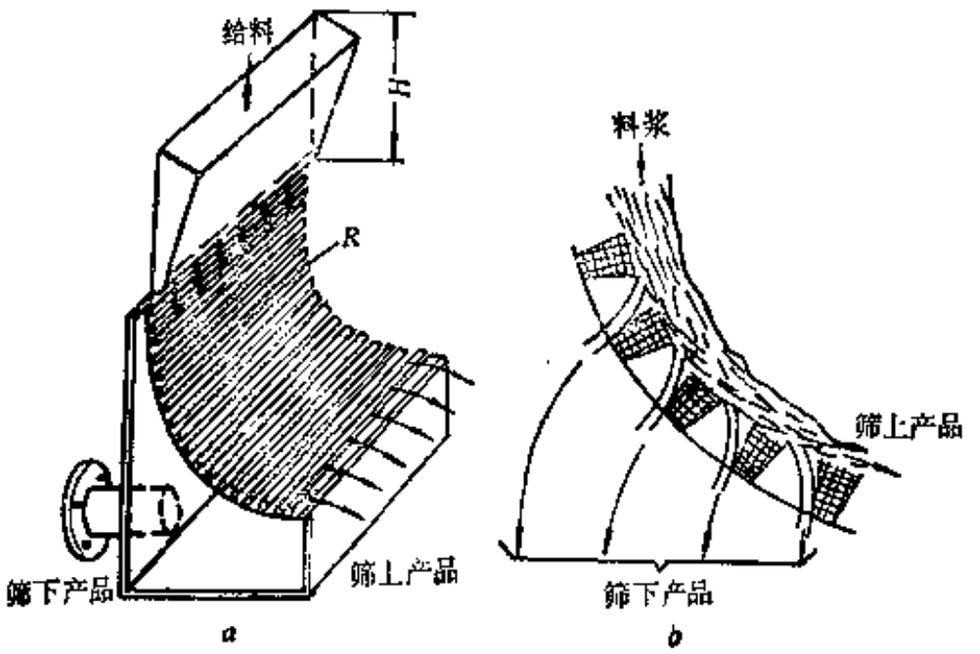


图 18.5.4 弧形筛的结构与工作原理

表 18.5.3 选矿厂弧形筛与振动筛脱水工作指标

指标	振动筛，筛面尺寸3.6×1.5=5.4m²		弧形筛 1×0.25=0.25m² 条缝宽1mm
	不喷水	喷水	
处理矿浆量，m³/h	27.8	33.5	60
单位面积处理矿浆量，m³/(m²·h)	5.2	6.2	240
喷水量，m³/h	0	20	0
给料固体含量，g/L	295	325	25.4
处理固体量，t/h	8.2	10.9	15.2
筛上产物（湿重），t/h	5.1	5.1	7.1
筛上产物含水，%	27.9	27.9	52.0
筛上产物干重，t/h	3.7	3.7	3.4
筛上产物产率，%	45	34	22
+0.5mm粒级含量：			
给矿中	33	32	24
筛上产物中	60	71	64
筛下产物中	10	11	12

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.5.4 筛分设备的单位面积处理能力

设备名称	筛分类别	不同筛孔尺寸(mm)的单位面积处理能力，t/(m²·h)			
		13	6	0.5	0.25
双轴惯性振动筛 共振筛	准备筛分（湿法）	12～14	8～10		
	精煤脱水分级	14～16	10～12		
	末精煤脱水			5～7	
	末精煤脱泥			7～8	
	粗煤泥脱水			2～2.5	1～1.5
	块精煤脱介	11～12	9～10		
	块中煤脱介	10～11	8～9		
	块矸石脱介	9～10	7～8		
	末精煤脱介			2～3	
	末中煤脱介			1.5～2	
	末矸石脱介			1.5～2	
快速摇动筛	末精煤脱水			5～6	
	粗煤泥脱水			1.5～2	0.8～1.2

表 18.5.5 固定条缝筛及弧形筛的单位面积泄水量

设备名称	筛分类别	不同筛孔尺寸(mm)的单位面积泄水量，m³/(m²·h)			
		2	1	0.75	0.5
固定条缝筛	精煤脱水		80～100	50～70	30～40
	块精煤、中煤、矸石脱介	40～60			
	精煤脱水		120～140	70～90	
弧形筛	粗煤泥脱水		100～120	60～80	50～60
	粉精煤、中煤、矸石脱介		80～100	50～70	40～50

如下：

$$Q = C \cdot A_0 \cdot v \qquad (18.5.8)$$

式中 Q——料浆流量，m^3/h；

A_0——有效面积，m^2；取实际筛面的0.3～0.4倍；

地信网论坛
bbs2001.com

v——料浆在给料端的速度，m/s；

C——系数，一般为160～200。

弧形筛及其他筛子的脱水工作指标实例列于表18.5.3至表18.5.5。

弧形筛分级粒度与筛孔尺寸的关系如图18.5.5所示。

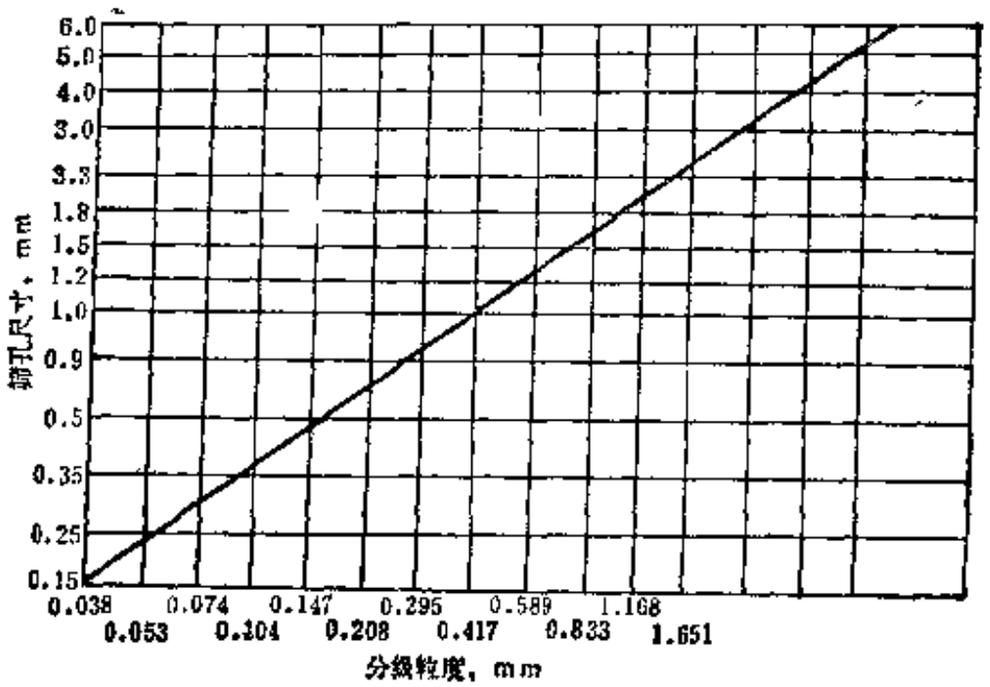


图 18.5.5 弧形筛分级粒度与筛孔尺寸的关系

18.5.3 螺旋分级机

螺旋分级机被广泛用于选矿厂的分级作业，也可用于筛分洗矿之后的细粒物料脱泥、脱水作业。这种设备构造简单，工作可靠，操作方便，停车时不需清除沉砂，只将螺旋提高即可，但脱水效果不及脱水筛好。

螺旋分级机按其结构差异有单、双螺旋和高堰式和沉没式之分。用于脱泥脱水时，须按其分离粒度的大小选用合适的型式：用于脱除较粗的废弃泥砂时，可选用低堰式螺旋分级机，其沉降区面积小，溢流量低，较粗的矿粒也可以进入溢流中；当分离粒度大于0.15毫米时，选用高堰式螺旋分级机；分离0.15毫米以下

地信网论坛
bbs.3s001.com

的细粒物料时，选用沉没式螺旋分级机。

用于脱水、脱泥的螺旋分级机能力计算与用作分级设备相同。脱水工作实例列于表18.5.6。

表 18.5.6 某铁矿螺旋分级机脱水实测工作指标

项目	给矿粒度 mm	溢流粒度 mm	产品水分，%		
			给矿	溢流	返砂
指标	13～0	0.2～0	69.26	82.90	11.2

18.5.4 脱水斗提升机

该设备在选煤厂常用于矸石、中煤和循环料的初步脱水，并兼有运输和补偿设备配置高差的作用。通常将其受料箱与洗选机械连接，有时亦可置其于角锥浓缩槽中。带水物料用脱水斗挖料装载，在提升运输过程中，水自斗内自行脱出。该设备对于密度（比重）较小的粗粒物料可作为最终脱水设备；对于细粒物料，一般作为初步脱水使用。为了适应脱水作业，提升机的安装倾角一般为50°～70°。两个吊斗之间应相隔一节牵引链。实践表明，脱水斗提升机的提升高度至少应高出水平面4米，对于粗粒物料可选用5～7米；对于细粒物料可选用6～8米，以保证有足够的脱水时间。根据所运送物料的粒度粗细，吊斗运动速度分别为0.25～0.27米/秒和0.15～0.17米/秒。脱水斗提升机的脱水效果与物料的粒度和性质有关，实例列于表18.5.7。脱水斗提升机结构见图18.5.6。

表 18.5.7 脱水斗提升机脱水产品含水量

物料	粗粒精煤	粗粒中煤	粗粒矸石	细精煤	细中煤	细矸石
湿砂含水，%	9～10	14～17	15～17	18～22	20～25	25～30

地信网论坛
bbs.3s001.com

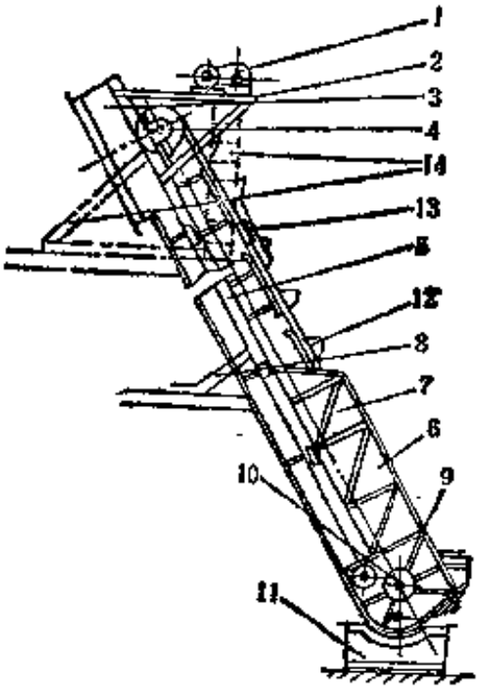


图 18.5.6 脱水斗提升机

1—传动系统；2—传动支架；3—头部节段；4—头 部 组 件；5—敞开节段；6—封闭节段；7—过渡节段；8—中间支架；9—尾部节段；10—尾部组件；11—尾部支架；12—斗链；13—捕捉器；14—头 部支架及梯 子

脱水斗提升机运输干物料时生产能力为：

$$Q=3.6\frac{i}{a}v\cdot\rho\cdot\varphi \qquad (18.5.9)$$

式中 Q——脱水斗提升机生产能力，t/h；

i——每个吊斗的容积，L；

v——吊斗运动速度，m/s；

a——吊斗牵引链的节距，m；

ρ——物料的松散密度，t/m^3；

φ——吊斗的充填率，计算运量时一般为0.5～0.75；

计算功率时一般取0.9（考虑控料和波动）。

脱水斗提升机的技术规格列于表18.5.8。

脱水斗提升机的具体选用规格和电动机功率大小，应结合使用对象，按设备样本资料逐一计算组合配套方可订货。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 18.5.8 脱水斗提升机技术规格（主要参数）

项 目	参 数						
斗宽，mm	300	400	500	600	700	800	1000
间距，mm		640		640		800	
吊斗容积，L		30.0		34.5		81	
提升机的最大长度 m		23		23		23	

18.5.5 脱水仓

脱水仓为一底部四面倾斜的高架钢筋混凝土料仓。底部斜壁上相隔一定距离，排列着槽钢或工字钢，其上铺设冲孔钢筛板，筛孔通常为10毫米，若用椭圆形孔效果更好。在每次卸料之后需要清理筛板，一般用高压水冲洗。脱水仓的排料闸门为一带有齿条、齿轮的冲孔平板，闸门关闭后水份能从孔内泄出。带孔的闸板下面连接一槽形铁板，承接并引走仓内泄出的水流。该仓用于较粗大的粒状物料（如粗精煤、中煤和矸石）经预先脱水后的进一步脱水，并兼有储料、装车作用。其结构如图18.5.7所示。各种粒度的煤在脱水仓内脱水情况列于表18.5.9。

物料粒度粗而均匀，则其颗粒间的水易于泄落。由表18.5.9

表 18.5.9 不同粒径的煤经过不同时间在仓内脱水后的含水量，%

粒度，mm	5min	1.5h	3h	30h
4～2	22	20.5	19.5	19.5
2～0.44	38	36.0	33.5	35.5
0.44～0.42	45	43.5	40.5	41.0
0.42～0.25	46	44.5	43.5	42.5
0.25～0.16	50	48.5	47.5	47.5
0.16～0.125	46	44	44	43
0.125～0.09	46	44.5	43	43
0.09～0.07	46	45	44.5	44.5
0.07～0	46	44	43	43.0

地信网论坛
bbs.3s001.com

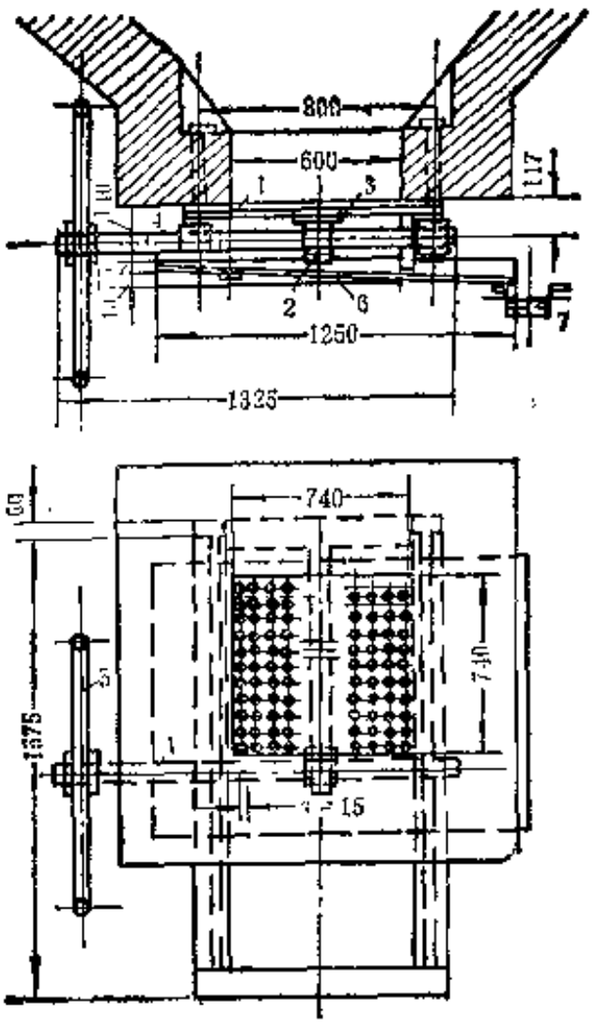


图 18.5.7 脱水仓底部结构

1—筛板；2—齿轮；3—条齿；4—齿杆；5—手轮；6—溜槽；7—水槽

可知，细粒煤中的水几乎不能靠重力排泄出来。一般小于2毫米的煤不宜采用脱水仓脱水。

脱水仓的数目与脱水仓的容积、脱水时间、产品的产量和装卸料需用时间有关。每一个工作循环所需全部时间为：

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \qquad (18.5.10)$$

式中 T——每个工作循环所需的全部时间，h；

t_1——装料所需时间，由产量和仓的容积确定；

t_2——必须的脱水时间，粗煤为6～8h，中间产物和矸石为12～14h；

t_3——卸料所需时间，一般取1.5～2h；

地信网论坛
bbs.3s001.com

t_4——清理冲洗脱水仓所需时间，取0.5h。

脱水仓内脱水过程是从各个料层同时开始的，但上层泄出的水份须通过全部煤层才能排出。若增加煤仓高度就将延长必须的脱水时间，从而影响料仓周转，使料仓数量增加。因而脱水仓的高度应尽可能降低。一般选煤厂脱水仓的总高度为11～12米左右。有时为了增加仓内泄水面积，在仓中增设带孔的排水管（竖管），或由筛板做成的脱水墙。这对块煤脱水有较好的效果。

18.5.6 沉 淀 池

间歇工作的沉淀池通常为长方形混凝土池子，设置在厂外，利用物料的自然沉降，脱除其中的大部分水份。料浆从池子的一端给入，澄清水从另一端溢出。池底顺料流方向保持1%的坡度。一般由四个池子并联设置。料浆给入第一个池子，注满后再注入第二、第三个池子。一个池子注满后，停止给料，静置自然沉降。在沉淀池的进料端沉积物堆积最厚，几乎可以接触到液面，其后沉淀物的堆积向前移动，当沉淀堆积至溢流端一定长度（以溢流不变混为度）后则停止进料。此时，池内末端尚有溢流水，令其静置沉淀，液面澄清后，就依次开放水闸排出清水。沉淀物经过适当静置再渗出部分水份之后，即可清卸排料。四个池子中，第一个进料，第二个沉淀，第三个清卸，第四个准备，循环使用。

沉淀池可用电耙、抓斗吊车或人工清卸沉积物。池底铺设钢轨，清卸时底部可免遭耙斗或抓斗碰坏。池子的一端可留出适当的空地，供临时堆存沉积物使用；池子的另一端最好有道路通过，以便将沉淀物直接装入矿车中。

沉淀池广泛用于选煤厂和小型选矿厂，供细粒物料脱水使用。其计算方法如下：

沉淀池一个工作循环的时间：

$$t=t_1+t_2+t_3 \qquad (18.5.11)$$

式中 t——循环时间，h；

地信网论坛
bbs.3s001.com

t_1——沉淀池放满矿浆所需时间，h；

t_2——沉淀物静置沉积所需时间，h；

t_3——沉淀物清卸所需时间，h。

沉淀池总容积：

$$V = Q \cdot t \tag{18.5.12}$$

式中 V——总容积，m^3；

Q——选矿厂流程矿浆量，m^3/h；

t——工作循环时间，h。

池子总长：

$$L = L_1 + L_2 \tag{18.5.13}$$

$$L_2 = \frac{Q}{Bv_0} \tag{18.5.14}$$

式中 L_1——由矿浆量和其需用池子容积决定的长度，m；

L_2——沉淀池溢流堰前面保留一段不被物料充满的工作长度，m；

B——沉淀池宽度，一般为6～9 m；

v_0——溢流中最大固体粒子的沉降末速，m/s。实测或按公式（18.2.1）计算。

沉淀池的深度需便于挖出沉淀物，一般为2.5～3.5米。沉淀池结构如图18.5.8和图18.5.9所示。

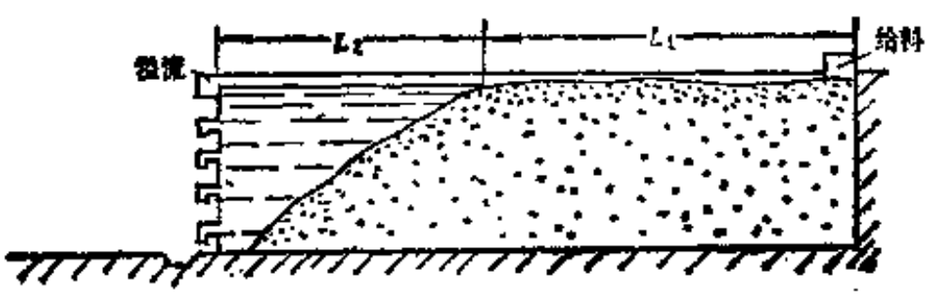


图 18.5.8 沉淀池结构示意图之一

地信网论坛
bbs.3s001.com

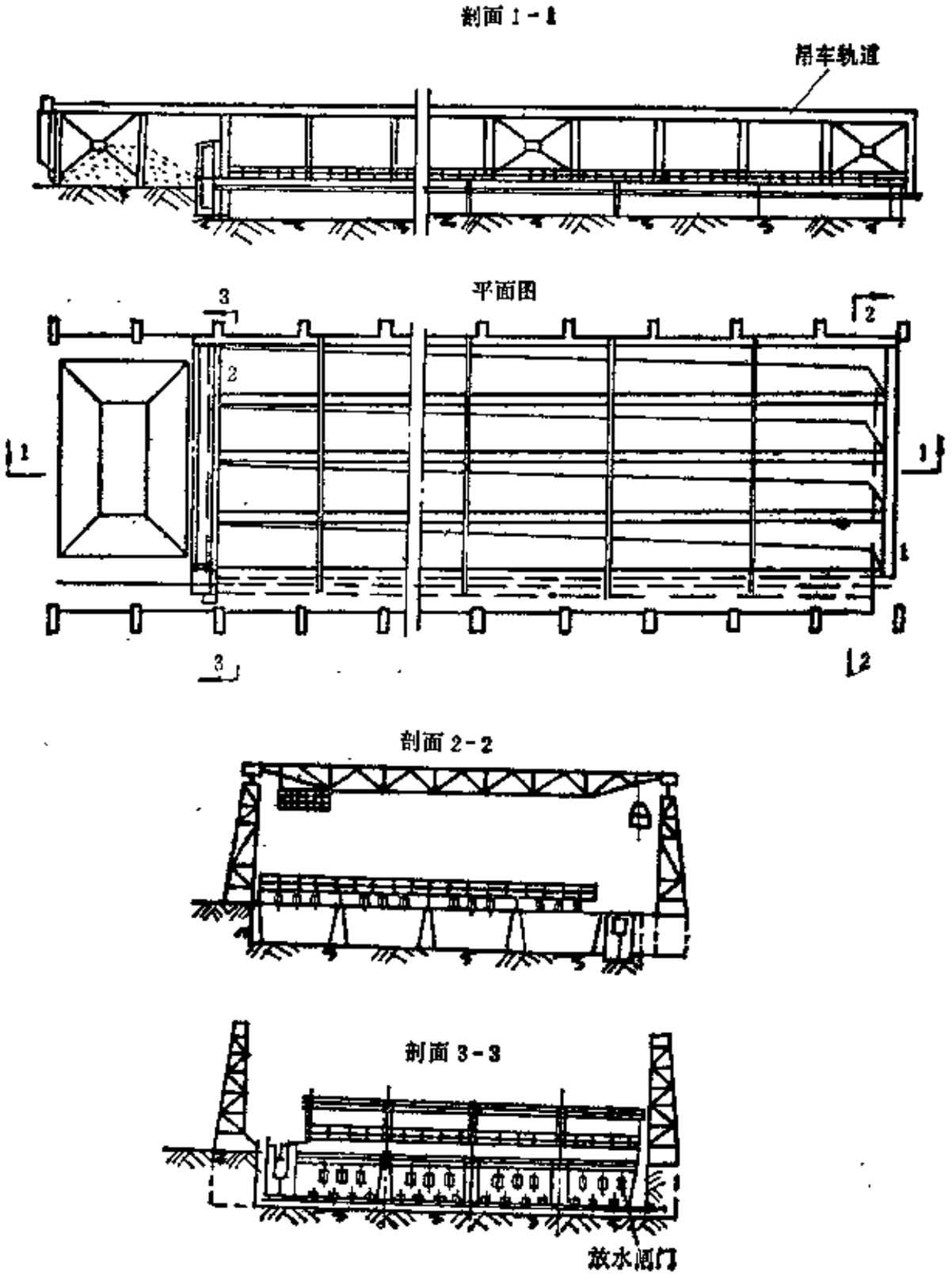


图 18.5.9 沉淀池结构示意图之二

地信网论坛
bbs.3s001.com

参 考 文 献

[1] 天津大学化工原理教研室，化工原理，科学技术出版社，1985.
[2] 中南矿冶学院选矿教研组，脱水集尘，中国工业出版社，1962.
[3] 《选矿设计参考资料》编写组，选矿设计参考资料，冶金工业出版社，1972.
[4] С.Ф. 申柯连科主编，黑色金属选矿手册，冶金工业出版社，1985.
[5] К. А. Разумов, В.А. Перов, ПРОЕКТИРОВАИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК, МОСКВА "НЕДРА", 1982.
[6] A. L 莫拉尔，R. B 巴普，选矿厂设计，冶金工业出版社，1985.
[7] 周忠尚主编，选矿厂设计，冶金工业出版社，1982.
[8] 王彬等，湿法冶金，1984，№1.
[9] J. H. Wilhelm，湿法冶金，1984，№4.
[10] 中国金属学会，选矿年评，1985.
[11] 胡绪业，选矿机械，1984，№1.
[12] M. Caron, J. E. Nesst，选矿机械，1984，№2.
[13] ERROL G. KELLY, DAVID J. SPPOTTISWOOD, Introduction to Mineral Processing, Copyright c 1982 by John Wiley & Sons. Inc. Printed in the United States of America.
[14] 东北工学院选矿教研室，电磁选矿，冶金工业出版社，1977.
[15] 任英兰，吴利生，金属矿山，1985，№6.
[16] 曹鑫铭，选矿厂的供水送风设备，中国工业出版社，1964.
[17] 沈宏灏、李兴禧，选矿产品脱水技术，中国选矿科技情报网，1984.
[18] 唐立夫等，过滤机，机械工业出版社，1984.
[19] B. A. 威尔斯，选矿工艺学，冶金工业出版社，1985.
[20] 《选煤设计手册》编写组，选煤设计手册工艺部分，煤炭工业出版社，1975.
[21] 日本热能技术协会，热能管理技术，煤炭工业出版社，1984.
[22] 袁洪运，国内外选矿厂过滤设备的发展动向，选矿设备技术研讨会论文集，中国选矿科技情报网地质矿产网等，1987.

地信网论坛
bbs.3s001.com

19 物料输送

地信网论坛
bbs.3s001.com

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.1 带 式 输 送 机

19.1.1 概 述

19.1.1.1 带式输送机的发展

带式输送机是一种由无极环形输送带围绕着首、尾滚筒，一般由滚筒驱动，并由托辊支承而运行的一种输送松散或整件物料的运输设备。由于其规格众多、结构简单、操作维护方便、运行安全可靠、经营费低等优点，几乎在所有工业部门得到了广泛应用。带式输送机历经了近200年，直到本世纪20年代在托辊结构中采用了耐摩擦轴承为现代化带式输送机的发展打下了基础，从而使大规格、长距离的带式输送机成了一种经济的运输设备。目前，带式输送机的带宽已达3.15米，单机长度已达15千米，提升高度已超过1000米，下降高度已达996米，驱动功率已达10304千瓦（两台5152千瓦电动机驱动一个传动滚筒）❶。

19.1.1.2 带式输送机的种类

带式输送机的种类繁多。按其用途及安装条件分，有固定式、移动式、可逆配仓（梭式）式、位移式以及装载机的转载带式；按输送带横截面的形状分，有平型、槽型及环型带式等；按其侧形（立面）分，有平行（平运）、上行（上运）及下行（下运）带式等；按输送机的平面线路途径方向分，有直线的、弯曲的❷；

---

❶ 据法国工业设备研制公司（REI）资料，该驱动装置是由该公司的合作者——英国安德森·斯特拉思克莱德（ANDERSON STRATHCLYDE）公司制造的，安装于英国塞勒比（SELBY）煤矿。

❷ 由REI制造的CURVODUC曲线带式输送机，有4个水平方向的曲线，8个垂直方向的起伏，机长11.2千米，落差556米，1980年安装于新喀里多尼亚（New Caledonia）的米阿（MEA）矿。

地信网论坛
bbs.3s001.com

按驱动装置分，有单滚筒驱动、多滚筒驱动、直线摩擦驱动（使用多组小型带式驱动机对主机承载带进行直线摩擦驱动）带式输送机等；按其中间架的结构分，有型钢结构的、钢丝绳结构的；按输送带的带面结构分，有光面的、花纹的；按输送带覆盖层的材料分，有塑料带、橡胶带等；按输送带的带芯分，有普通型（棉织帆布芯）、强力型（维尼纶、尼龙、聚酯等编织带芯）和高强力型（钢丝绳芯）带式输送机等。

70年代我国设计制造的系列产品有花纹型、TD75型和DX型3种带式输送机，前两者分别配以棉织帆布带芯的花纹橡胶带、普通橡胶带或塑料带，在选用设计时亦可配以维尼纶或尼龙编织带芯的强力橡胶带。它的规格（带宽）有：500、650、800、1000、1200和1400等6种。后者配以钢丝绳芯的高强力橡胶带，在选用时亦可适当地配以强力型输送带。它的规格（带宽）有800、1000、1200、1400、1600、1800、2000等7种。为了降低这两种带式输送机的输送带的张力和驱动装置的规格，都可以采用多滚筒驱动或直线摩擦驱动。由于直线摩擦驱动带式输送机在选矿厂中极少应用，故不详述。

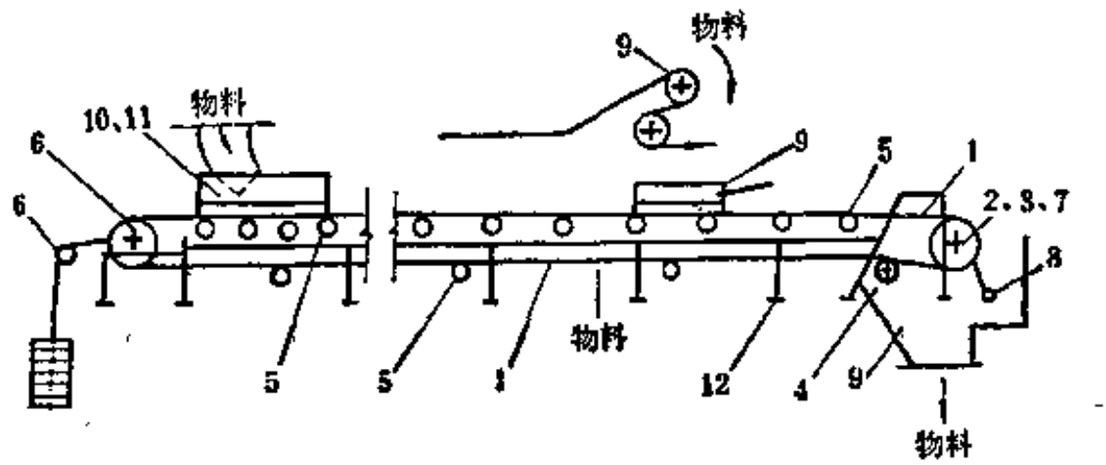


图 19.1.1 带式输送机结构示意图

1—输送带；2—驱动装置；3—传动滚筒；4—改向滚筒；5—托辊（平型或槽型、调心、缓冲等上托辊，平型或槽型、调心、梳型、螺旋、锥型等下托辊）；6—拉紧装置；7—制动及逆止装置；8—清扫器（头部清扫器，尾部空段清扫器等）；9—卸料装置；10、11—给料及导料装置；12—机架

地信网论坛
bbs.3s001.com

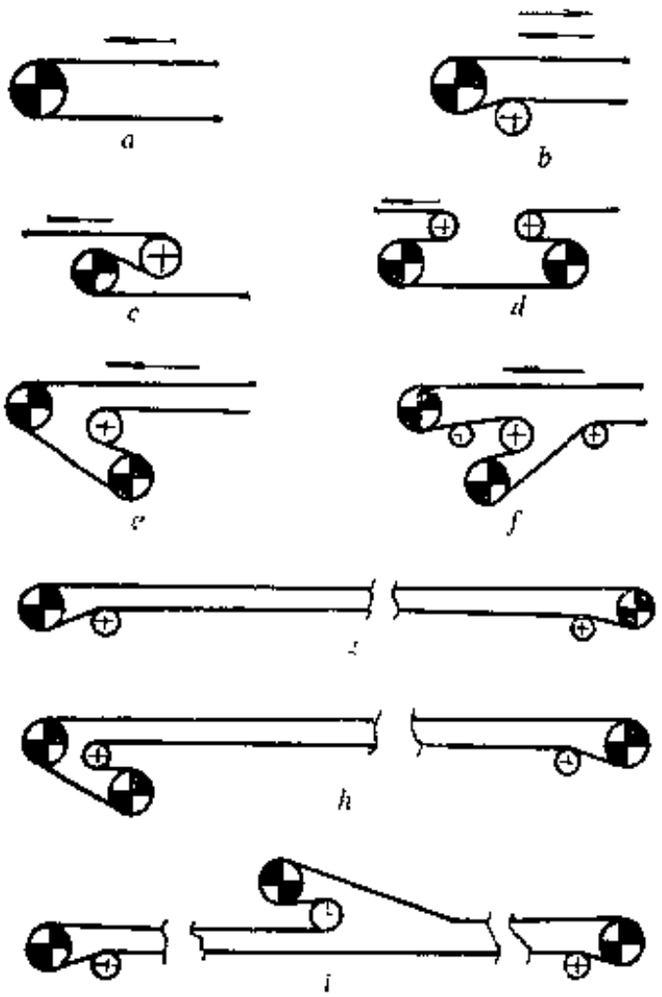


图 19.1.2 传动滚筒的配置部位

a—头部；*b*—头部或尾部；*c*—中部单滚筒；*d*—中部双滚筒；*e*、*f*—头部双滚筒；*g*—头、尾双滚筒；*h*—头部双滚筒、尾部单滚筒；*i*—头部、中部、尾部各单滚筒

19.1.1.3 带式输送机的结构

带式输送机的结构如图19.1.1所示，传动滚筒的配置部位如图19.1.2所示，拉紧装置的型式如图19.1.3所示。

19.1.2 带式输送机设计选用计算

19.1.2.1 计算公式符号

α——托辊槽角，（°）；

β——输送机倾角（°），许用最大倾角列于表19.1.1；

γ——物料的松散密度，t/m^3。列于表19.1.4；

ε——输送带的弹性伸长率，%。列于表19.1.14；

地信网论坛
bbs001.com

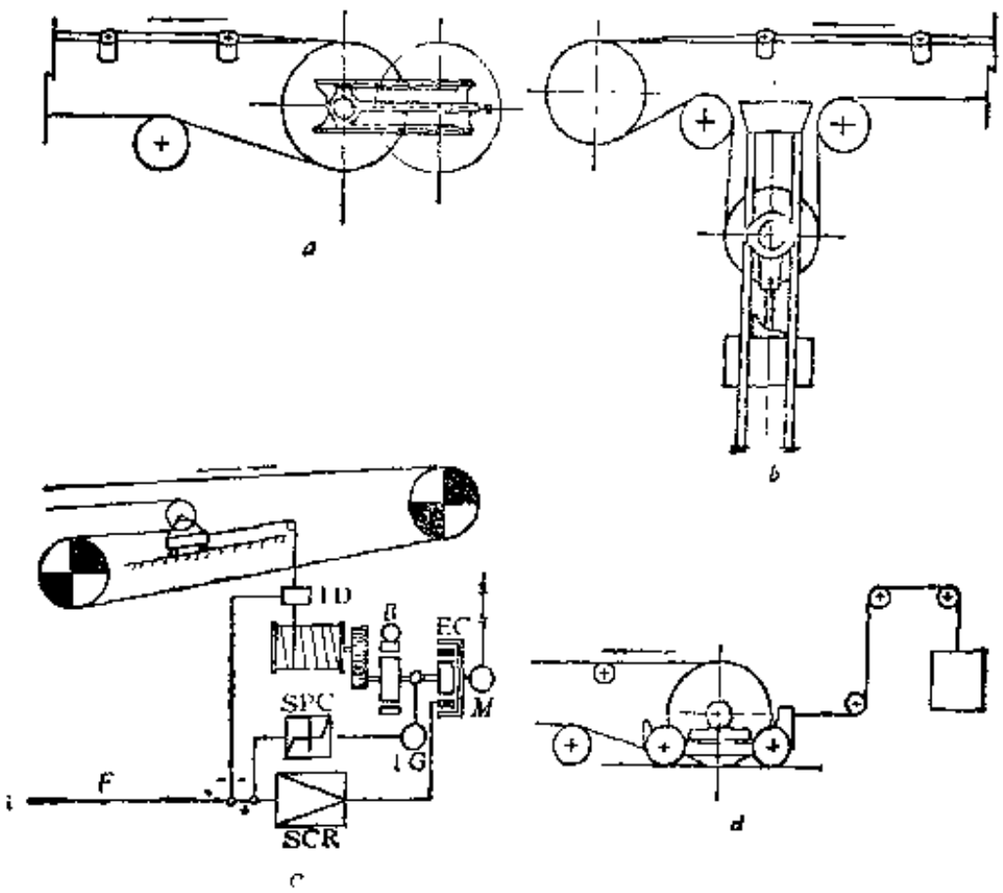


图 19.1.3 主要拉紧装置的型式

a—螺旋式；*b*—重锤式；*c*—绞车式；*d*—小车式；
B—制动器；F—输送带张力，起动时50%，平时100%；M—拉紧电动机；EC—电流耦合器；TG—速度检测发电机；TD—张力传感器；SCR—可控硅房磁器；SPC—速度控制器

e_1——输送带的永久伸长率，%。列于表19.1.14；

e_2——输送带的边缘允许伸长率，%，帆布芯带为0.8%，钢丝绳芯为0.2%；

ξ——倾角系数，列于表19.1.6；

η_1——减速器效率，一般取$\eta_1=0.94$；

η_2——电压降系数，一般取$\eta_2=0.9$；

η_3——安全型联轴器效率，不选用时取$\eta_3=1.0$，选用时取$\eta_3=0.96$；

η_4——多电机驱动时取$\eta_4=0.9$，否则取$\eta_4=1.0$；

θ、θ_1、θ_2——输送带围绕传动滚筒的包角，rad。列于表19.1.12；

地信网论坛
bbs.3s001.com

λ——电动机的起动转矩与额定转矩之比值，见电动机样本；

μ、μ_1、μ_2——传动滚筒与输送带之间的摩擦系数，列于表19.1.11；

ξ——带速系数，列于表19.1.7；

ρ——物料的动安息角(°)，列于表19.1.4；

ρ_0——物料的静安息角(°)，列于表19.1.4；

σ——输送带的许用强度，N/m；

σ_1——输送带每层帆布的许用强度N/(m·层)；

ω——托辊阻力系数，列于表19.1.9；

A——输送带上物料的横截面积，m^2；

A_c——钢丝绳截面积，m^2/根；

A_f——起动系数，公式（19.1.33）；

B——带宽，m；

B_c——计算带宽，m。公式（19.1.4）；

D_c——钢丝绳直径，m；

D_i——包角超过90°以上的各种滚筒中的第i滚筒的直径，m；

D_p——传动滚筒直径，m；

d_m——物料粒度，mm；

E——钢丝绳弹性模量，Pa；

E_a——起动惯性力，N。公式（19.1.31）；

E_b——制动惯性力，N；

E_d——弯曲应力，N。公式（19.1.51a）；

e——自然对数的底，$e=2.71$；

F_{ab}——起动有效张力F_a或制动有效张力F_b的最大值，N；

F_a——起动有效张力，N。公式（19.1.32）；

F_b——制动有效张力，N。公式（19.1.41）及(19.1.42)；

F_c——上分支运行张力，N。公式（19.1.18）；

F_k——导料栏板附加阻力，N；

F_p、F_{pi}——有效张力（牵引力），N。公式（19.1.20）及

地信网论坛
bbs.3s001.com

(19.1.21)；

$|F_p|$——有效张力绝对值，N；

F_r——下分支运行张力，N。公式(19.1.19)；

F_s——犁式卸料器附加阻力，N；

F_{sc}——上分支允许最小张力，N。公式(19.1.24)；

F_{sr}——下分支允许最小张力，N。公式(19.1.25)；

F_t——卸料车附加阻力，N；

F_1、F_{11}——初算紧边张力，N。公式(19.1.22)、(19.1.26)至(19.1.30)；

F_{12}——第二组驱动滚筒初算紧边张力，N。公式(19.1.28)；

F_2、F_{21}——初算松边张力，N。公式(19.1.23)，(19.1.26)至(19.1.30)；

F_{22}——第二组驱动滚筒初算松边张力，N。公式(19.1.28)；

F_4——总附加阻力，N，$F_4=(P_h+P_s+P_t)1000/V$；

G——包装件单位质量（重量），kg/件；

$[GD^2]$、$[GD^2]_j$、$[GD^2]_{ij}$——电动机转动惯量（飞轮力矩），$kg\cdot m^2$。见电动机样本；

g——重力加速度，$g=9.81 m/s^2$；

H——输送机垂直高度，m。下运时为负值；

$[h]$——垂直高度矩阵，m。下运时的元素为负值；

h_i——输送机垂直段中第 i 段高度，m。下运时取负值；

i——无量纲数；

j——无量纲数；

K——功率安全系数，当选用绕线型电动机、直流电动机或安全型液压联轴器（偶合器）时取 $K=1.0$，其他情况取 $K=1.10$；

K_b——额定横截面系数，列于表19.1.5；

K_c——系数，见公式（19.1.33a）；

K_l——长度系数，见公式（19.1.7）；

地信网论坛
bbs.3s001.com

K_s——输送带安全系数，帆布芯带4层以上取 $K_s=12$（耐热型为18），钢丝绳芯取 $K_s=7$；

K_{sl}——钢丝绳芯输送带最低安全系数，公式（19.1.51）；

L——输送机水平长度，m；

$[L]$——输送机水平长度矩阵，m；

L_o——$2L_t$ 以外的几何附加(输送带)的长度，如卸料车、多滚筒驱动等增加的长度，m；

L_d——拉紧行程，m。公式（19.1.47）；

L_j——输送带接头长度余量，m；

L_m——输送机在起动、停机或突然事故时，拉紧装置跳动所需余长，m；

L_0——输送机修正长度，m。列于表19.1.9；

L_t——带式输送机实长，m；

$[l]$——输送机水平长度矩阵，m；

l_c——上托辊间距，m。一般取 $l_c=1\sim1.2$m；

l_i——输送机水平段中第 i 段长度，m；

l_k——导料栏板长度，m；

l_r——下托辊间距，m。一般取 $l_r=3$m；

l_s——阶梯长度或搭接长度，m。列于表19.1.15及表19.1.16；

M——电动机功率，kW。公式（19.1.15）至（19.1.17）；

M_b——制动力矩，N·m。公式（19.1.43）；

$[M_t]$——载荷矩阵；

M_c——钢丝绳根数，根；

m——数量；

n——数量；

N、N_j、N_{ij}——电动机转数，r/min；

N_c——输送包装件的件数，件/h。公式（19.1.2）；

P——轴功率，kW。公式（19.1.13）；

$|P|$——轴功率，绝对值，kW；

地信网论坛
bbs.3s001.com

〔P〕——轴功率矩阵，kW。公式（19.1.14a）；

P_a——起动附加功率，kW。公式（19.1.17a）；

P_1——水平无荷载功率，kW。公式（19.1.8）；

P_2——水平荷载功率，kW。公式（19.1.9）；

P_3——垂直荷载功率（位能），kW。公式(19.1.10)；

P_4——总附加功率，kW；

P_k——导料栏板附加功率，kW。公式（19.1.11）；

P_s——犁式卸料器附加功率，kW。公式（19.1.12）；

P_t——卸料车附加功率，kW。列于表19.1.10；

Q——给料量（运输量），t/h；

Q_t——额定输送量，t/h。见公式(19.1.1) 及(19.1.3)；

S_i——拉紧点的张力或输送带上 i 点的张力，N；

S_{max}——输送带最大张力，N；

S_t——钢丝绳芯输送带需用强度，N/m。公式(19.1.50)；

$S_1 \cdots S_{1m}$——输送带上逐点张力，N；

T_c——物件在输送带上的间距，m；

T_g——钢丝绳许用强度，N/根；

T_s——帆布芯输送带强度，N/m。公式(19.1.48)；

T_u——拉紧力，N，公式(19.1.45)至(19.1.46)；

T_1——终算紧边张力，N。公式(19.1.26)至(19.1.30)；

T_2——终算松边张力，N。公式（19.1.26)至(19.1.30)；

T_3——终算第二组驱动滚筒紧边张力或反向滚筒张力，N，公式（19.1.26)至(19.1.30)；

T_4——终算第二组驱动滚筒松边张力或反向滚筒张力，N。公式（19.1.26）至（19.1.30)；

T_i——拉紧点处的张力，N；

t_a——起动时间，s，$t_a \geqslant 5$s或公式（19.1.34)；

t_b、t_{bi}——制动时间，s。公式（19.1.37）至（19.1.40)；

v、v_i——带速，m/s；

W——输送机的运动部件质量，kg/m。公式(19.1.5)；

地信网论坛
bbs.3s001.com

W_o——上托辊辊子组质量，kg；

W_m——输送带上物料质量，kg/m。公式（19.1.6）；

W_0——下游设备允许倾泻的物料质量，kg；

W_r——下托辊辊子质量，kg；

W_t——重锤质量，kg；

W_u——拉紧装置参与拉紧的部件质量，kg；

W_1——输送带质量（计算功率用），kg/m；

W_2——输送带质量（实际选用的），kg/m；

Z——帆布芯输送带层数，层；

Z_c——计算层数，层；

Z_{max}——许用最大层数，层；

Z_{min}——许用最小层数，层。

19.1.2.2 设计条件

我国及其他国家的制造厂都有自己的系列产品。因此，在选用设计中只要按照系列产品的条件并根据用户的使用要求，就可以进行带宽、功率、张力、拉紧力、起动、制动以及输送带和其他项目的选择计算。或者辅以部分非系列的零部件设计。一般需要的原始数据如下：

（1）物料名称和运输量。如果给料量具有不均匀的概率特征，则应说明其基本统计特征或统计数据。

（2）物料性质。输送的物料是散料或是包装件。散料的最大粒度及其组成情况、松散密度、静安息角和动安息角；物料的温度、湿度、粘结性、磨损性和摩擦系数。包装件的外形尺寸。

（3）安装特征和工作环境。标明有主要尺寸的输送机线路图，图中标注投影长、实长、提升或下降高度，倾角、各相接的直线段和曲线段的距离、高差以及其他尺寸。

（4）给料和卸料方式。

（5）输送机的工作制度。

19.1.2.3 带式输送机允许最大倾角的确定

带式输送机允许最大倾角与输送带材料和表面形状、输送带

地信网论坛
bbs.22001.com

表 19.1.1 带式输送机允许最大倾角β

物料名称	物料最大粒度 mm	倾角β (°)	物料名称	物料最大粒度 mm	倾角β (°)	物料名称	物料最大粒度 mm	倾角β (°)
煤	>100	15	岩石	>100	15	膨润土	细粒	20
	<100	16		10～100	16～18	砾石	洗过的均匀颗粒	12
	不均匀	18		<10	20		洗过的非均匀颗粒	16
	干的细粒	20	砂	干的	15		非均匀颗粒	18
	湿的细粒	22		湿的	20	矿石及石灰石	>350	14
焦炭	均匀	17		铸造型砂	24		<350	16
	不均匀	18	土	干的	20		<100	18
	细粒	20		湿的	22		<10	20
精矿粉	干的	18	苏打	细的	19～22	烧结矿	150～0	16～20
	湿的（含水12%）	22	水泥熟料	球粒状	12		50～5	14～16
消石灰	细的	23	盐		20	球团矿	8～14	13

注：1.花纹带式输送机的倾角比表列倾角可高10°；2.下行带式输送机的倾角可按稍低于表列倾角选取，一般是表列倾角的80%（TD75的数据。）

地信网论坛
bbs.3s001.com

运行速度、被输送物料性质（粒度、外形、安息角）等有关，一般可参考表19.1.1选取。

19.1.2.4 带式输送机的带速

设计带式输送机时，从经济方面考虑应选取较高的带速。带式输送机的最大运行速度，受到自身的规格和部件性能（如托辊、密封装置、卸料装置等）限制；也与被输送物料的性质和工作环境等条件有关。通过头部自由卸料的带式输送机允许最大带速列于表19.1.2，特殊情况下的最大带速列于表19.1.3。

表 19.1.2 自由卸料允许最大带速

带宽 mm	BS①规定			TD75及DX规定		
	A②	B③	C④	B	C	D⑤
400	3.0	2.5	2.5			
450	3.5	3.0	3.0			
500	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.6
600	4.0	3.5	3.3			
650	4.0	3.5	3.3	2.5	2.0	1.6
750	4.5	4.0	3.6			
800	4.5	4.0	3.6	3.15	2.5	2.0
900	5.0	4.12	4.0			
1000	5.0	4.12	4.0	3.15	2.5	2.0
1050	5.0	4.12	4.0			
1200	5.5	5.0	4.5	4.0	3.15	2.5
1400	6.0	5.5	4.5	4.0	3.15	2.5
1600	6.0	5.5	4.5	5.0	4.0	3.15
1800		6.0	5.5	5.0	4.0	3.15
2000		6.0	5.5	5.0	4.0	3.15
2200～3000		6.0	5.5			

注：带速的单位为m/s。

①BS为日本桥石轮胎株式会社英文名称的缩写；

②A表示谷物和其他流动性好的物料；

③B表示煤和其他中等磨损性的物料；

④C表示坚硬的矿石、岩石和其他严重磨损性的物料；

⑤D表示严重磨损性的大块物料，此栏带速接近于美国运输设备制造者协会（CEMA）的规定。

地信网论坛
bbs.3001.com

表 19.1.3 特殊情况下的带速（或最高带速）

工作条件	带速，m/s		
	CEMA规定	BS规定	TD75规定
整包物料		0.25～1.0	1.25
抛射堆料		10.0～16.7	
轻便移动		1.3～2.3	
斗轮堆取料		4.5～6.0	
拣　选		0.25～0.33	0.3
带式给料机	0.5		1.0
灰尘很大的物料			1.0
有卸料车	2.0		3.15
有犁式卸料器	0.9		2.0

19.1.2.5 物料的松散密度和安息角

物料的松散密度和安息角应根据试验实测资料确定。如果没有实测资料，可参考表19.1.4选取。

19.1.2.6 输送量及输送带带宽的计算

A 包装件输送量的计算

输送包装件时，带宽应比物件的横向尺寸大50～100毫米。物件在输送带上的单位面积压力，TD75规定小于5千帕（0.05千克力/厘米^2）。其输送量Q_t及输送件数n_c的计算如下：

$$Q_t = 3.6\frac{Gv}{T_c} \tag{19.1.1}$$

$$n_c = 3600\frac{v}{T_c} \tag{19.1.2}$$

B 散料输送量的计算

$$\begin{aligned} Q_t &= 3600A\upsilon\gamma\zeta\xi \\ &= K_b(0.9B-0.05)^2\upsilon\gamma\zeta\xi \end{aligned} \tag{19.1.3}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.4 物料的松散密度和安息角

物料名称	松散密度 γ t/m³	静安息角ρ_0 (°)	动安息角ρ_d (°)	
			日本资料	TD75及DX
煤	0.8～1.0	45	20	30
煤 渣	0.6～0.9	45	20	35
锰 矿	1.7～1.8	35～45	20	25
黄铁矿	2.0			25
铁精矿	1.6～2.5			25
富铁矿	2.5	45	20	25
贫铁矿	2.0	45	20	25
白云石	1.2～1.6	40	20	25
大块石灰石	1.6～1.7			25
小块石灰石	1.2～1.5			25
烧结混合料	1.6			30
烧结矿	1.5～2.0			30
湿 砂	1.6～1.7	50	25	30
干 砂	1.4～1.6	45	20	
卵 石	1.5～1.8	30	15	
碎 石	1.2～1.8	45	20	20
干松泥土	1.2～1.6	30～40	20	20
湿松泥土	1.7	45	20	30
盐	0.8～1.2			35
生石灰粉	0.55	30～40	20	20
熟石灰粉	0.55	30～40	20	20
焦 炭	0.5～0.7		15	35

注：1.动安息角与带式输送机的长度和带速有关。因此出现了国内外推荐值的差异；

2.CEMA推荐的动安息角：水泥为5°；谷类为10°；无烟煤为20°；大多数矿石为25°；型砂为30°。

式中 K_6、ξ、ε分别列于表19.1.5、19.1.6和19.1.7。

C 带宽计算

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.5 最大横截面系数K_b

输送带形状	托辊槽角α (°)	在下述动安息角ρ的K_b值		
		10°	20°	30°
平行	0	106	213	326
槽形三节托辊	10	234	340	451
	15	294	398	507
	20	347	448	554
	25	401	497	598
	30	444	536	631
	35	485	572	661
	40	513	594	678
	45	540	613	690
槽形三节托辊	50	554	621	691
	55	565	625	687
	60	565	618	673
槽形五节托辊	30	406	504	605
	40	481	571	664
	50	538	618	701
	60	575	644	716
	70	593	651	700

表 19.1.6 倾角系数ζ

倾角β，(°)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
系数ζ	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.85	0.81
倾角β，(°)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
系数ζ	0.78	0.76	0.73	0.71	0.68	0.66	0.64	0.61	0.59	0.56

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.7 速度系数ξ

带速v，m/s	≤1.6	≤2.5	≤3.15	≤4.0
系 数 ξ	1.0	0.98～0.95	0.94～0.90	0.84～0.80

$$B_c=1.1\left(\sqrt{\frac{Q}{K_b v\gamma\zeta\xi}}+0.05\right) \qquad (19.1.4)$$

D 带宽的校核

由公式（19.1.4）计算的带宽，必须按照最大物料粒度及其组成进行校核。

19.1.2.7 带式输送机的驱动功率计算

A 轴功率计算

带式输送机传动滚筒轴功率P的计算步骤和方法如下：

（1）带式输送机的运动部件单位质量（重量）W：

$$W=\frac{W_c}{l_c}+\frac{W_r}{l_r}+2W_t \qquad (19.1.5)$$

式中 W_c、W_r及W_t应根据制造厂家提供的资料选取；若无此资料，可参考表19.1.8选取。

（2）输送带上的物料单位质量W_m：

$$W_m=\frac{Q}{3.6v} \qquad (19.1.6)$$

（3）长度系数K_l：

$$K_l=\frac{L+L_0}{L} \qquad (19.1.7)$$

式中 L_0见表19.1.9。

（4）水平无荷载功率P_1：

$$P_1=K_l\frac{\omega LWv}{102} \qquad (19.1.8)$$

式中 ω值，按表19.1.9。

（5）水平荷载功率P_2：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.8 W_c、W_r、W_1及W值

带 宽 B mm	上托辊W_c kg	下托辊W_r kg	输送带W_1 kg/m	运动部W kg/m
400	6.6	5.0	4.5	22
450	7.1	5.4	7.0	28
500	7.5	5.9	7.5	30
600	8.3	6.8	9.0	36
650	9.0	7.3	10.3	41
750	13.2	11.6	13.0	53
800	13.9	12.2	13.8	56
900	15.1	13.4	15.5	63
1000	19.6	18.0	20.5	69
1050	21.3	18.9	23.0	80
1200	23.6	21.1	26.0	90
1400	36.6	32.6	33	114
1600	41.4	36.6	38	130
1800	47.4	42.5	46	154
2000	52.8	46.5	51	174
2200	75	65	56	214
2400	81	70	61	232
2600	86	75	66	249
2800	114	100	71	298
3000	121	106	77	319
3150	128	111	81	329

$$P_2 = K_1 \frac{\omega L Q}{367} \approx K_1 \frac{\omega L W_m v}{102} \qquad (19.1.9)$$

（6）垂直荷载功率（物料位能）P_3：

$$P_3 = \frac{QH}{367} = \frac{W_m v H}{102} \qquad (19.1.10)$$

（7）导料栏板附加功率P_k：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.9 托辊阻力系数ω和长度修正值L_0

ω	美、日等资料		我国资料		国际标准
	L_0 m	条 件	DX条件	TD75条件	ISO5048条件
0.04			大量尘埃，湿度大，又寒冷，条件恶劣	少量尘埃，湿度大	
0.03	45～49	设置状态不好，临时性或移动性；极寒冷状况下开停频繁或低于－40℃	少量尘埃，正常湿度，设备质量较差	少量尘埃，正常湿度	物料内摩擦大，槽角超过30°，速度超过5m/s，温度低于－20℃，多灰，潮湿，设备需调整；
0.022	60～66	固定的或设置状态良好			
0.020			清洁，干燥	清洁，干燥	一般情况
0.012	145～156	计算下行机的制动状态	有载出现负功率		下行有载出现负功率

注：1.若参考日本资料，当ω＞0.03时，$L_0=0.77931/(\omega-0.006436)+15.93$；

2.若参考ISO5048，L_0一般可取80m；

3.若参考TD75，L_0一般可取值如下：

当输送机倾角为0°，机长为15～300m时，取$L_0=30\sim90$m；

当输送机倾角为18°，机长为15～300m时，取$L_0=4.5\sim30$m；

其他条件可取其上述条件的插值。

4.作者建议：当驱动滚筒轴功率$P<0$时，则$L_0=0$。

$$P_k=\frac{l_K v}{\gamma\times10^3}\left(\frac{W_m}{B}\right)^2 \qquad (19.1.11)$$

（8）犁式卸料器附加功率P_s：

$$P_s=1.5Bv \qquad (19.1.12)$$

（9）传动滚筒轴功率P：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.10 卸料车的附加功率P_t

带宽，mm		400～650	750～900	1000～1200	1400～1600	1800～2000	2200～2400	2600～2800	3000～3150
P_t，kW	固定式	0.75	1.25	2.15	3.45	4.40	5.40	6.20	6.70
	移动式	1.25	2.00	3.15	5.00	6.30	7.40	8.50	9.60

$$P=P_1+P_2+P_3+P_k+P_S+P_t \text{❶} \qquad (19.1.13)$$

式中 P_t列于表19.1.10。

B 轴功率的验算

公式（19.1.13）仅表示了侧形简单的带式输送机在满载运行时的轴功率计算方法。故对于侧形复杂（有n个转折点和n个转折段，即设输送机尾端滚筒趋出点为O点，沿输送带运行方向出现的转折点排点号，至头端滚筒趋入点为n点，如图19.1.4*f*中S_1处为O点，S_2处为1点，以下类推），以及下行带式输送机，还须进行开机停机和无载状况下的轴功率验算，使带式输送机的轴功率绝对值$|P|$为：

$$|P| \geqslant \mathrm{MAX}\{|[P]|\} \qquad (19.1.14)$$

式中 $[P]$的计算方法为：

$$[P]=[P_1]+[P_2]+[P_3]+[P_4]$$

$$=\frac{K_t \omega W v}{102}[L]+\frac{K_t \omega W_m v}{102}[M_t][I]$$

$$+\frac{W_m v}{102}[M_t][h]+[P_4] \qquad (19.1.14a)$$

各矩阵中的元素为：

$[P]=$

---

❶ TD75型选用计算之基本公式$P=(P_1+P_2+K_t P_3)K_t+P_K+P_S$，$K_t$为卸料车系数，$K_t=1.11\sim1.16$，无卸料车时，$K_t=1.0$。

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$\begin{bmatrix} P_{00} \\ P_{01} \\ \vdots \\ P_{0n} \\ P_{n(n-1)} \\ \vdots \\ P_{n1} \\ P_{12} \\ P_{23} \\ \vdots \\ P_{(n-2)(n-1)} \end{bmatrix}_{(3n-2)\times 1} \quad [L]=\begin{bmatrix} L \\ \vdots \\ L \end{bmatrix}_{(3n-2)\times 1} \quad [P_4]=\begin{bmatrix} P_4 \\ \vdots \\ P_4 \end{bmatrix}_{(3n-2)\times 1}$$

$$[M_1]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 & 1 \\ 1 & \cdots & \cdots & 1 & 1 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & 1 & \cdots & \cdots & 1 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{(3n-2)\times n_0}$$

$$[l]=\begin{bmatrix} l_{01} \\ l_{12} \\ l_{23} \\ \vdots \\ l_{(n-1)n} \end{bmatrix}_{n\times 1} \quad [h]=\begin{bmatrix} h_{01} \\ h_{12} \\ h_{23} \\ \vdots \\ h_{(n-1)n} \end{bmatrix}_{n\times 1}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

C 电动机功率计算

（1）对于$P>0$时：

$$M=K\frac{P}{\eta_1\eta_3\eta_4} \tag{19.1.15}$$

（2）对于$P<0$时：

$$M=K|P|\eta_1\eta_3\eta_4/\eta_2 \tag{19.1.16}$$

D 电动机功率的负荷起动验算

当轴功率P大于零且选用低起动转矩的电动机和弹性联轴器时，应进行负荷起动验算电动机的功率。

$$M\geqslant\frac{P+P_a}{\eta_2^2\lambda} \tag{19.1.17}$$

式中

$$P_a=\frac{0.001K_fLv^2}{\eta_1 t_a}(W+W_m)+\frac{N^2[GD^2]}{367200t_a} \tag{19.1.17a}$$

19.1.2.8 输送带的张力计算

A 运行张力（运行阻力）计算

（1）上分支（承载分支）运行张力：

$$F_c=\sum_{i=1}^{n}\omega K_f l_i\left(W_1+\frac{W_c}{l_c}+W_m\right)g+\sum_{i=1}^{n}h_i(W_1+W_m)g$$

$$=\omega K_f L\left(W_1+\frac{W_c}{l_c}+W_m\right)g+H(W_1+W_m)g \tag{19.1.18}$$

式中 未包括导料栏板及卸料设备的阻力$F_k+F_r+F_t$；上行（上运）时，H和h_i取正值，反之取负值。

（2）下分支（返回分支）运行张力：

$$F_r=\sum_{i=1}^{n}\omega K_f l_i\left(W_1+\frac{W_r}{l_r}\right)g-\sum_{i=1}^{n}h_i W_1 g$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$=\omega K_1 L\left(W_1+\frac{W_r}{l_r}\right)g-HW_1g \qquad (19.1.19)$$

式中 上行（上运）时，H和h_i取正值，反之取负值。

B 有效张力（牵引力）计算

有效张力的计算公式：

$$\begin{aligned}F_p&=F_c+F_r+(P_h+P_s+P_i)\frac{1000}{v}\\&=F_c+F_r+F_4\\&=\omega K_1 L(W+W_m)g+HW_mg+F_4\end{aligned} \qquad (19.1.20)$$

或：

$$F_p=\frac{1000P}{v} \qquad (19.1.21)$$

式中 上行（上运）时，H取正值，反之取负值。

C 紧边张力和松边张力计算

（1）紧边张力：

$$F_1=|F_p|\frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta}-1}=F_2+|F_p| \qquad (19.1.22)$$

式中 μ值列于表19.1.11；θ值列于表19.1.12。

（2）松边张力：

$$F_2=|F_p|\frac{1}{e^{\mu\theta}-1} \qquad (19.1.23)$$

D 按输送带垂度验算的允许最小张力计算

（1）上分支允许最小张力：

$$F_{sc}=6.25l_c(W_m+W_1)g \qquad (19.1.24)$$

（2）下分支允许最小张力：

$$F_{sr}=6.25l_rW_1g \qquad (19.1.25)$$

E 输送带的四点张力计算

当带式输送机的侧形比较简单时，可通过带式输送机头、尾滚筒之趋入和趋出四点张力T_1至T_4（图19.1.4）的计算，以便

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.11 摩擦系数 μ

传动滚筒型式	光面滚筒			带沟槽或胶衬滚筒		
传动滚筒表面状况	泥水	潮湿	干燥	泥水	潮湿	干燥
摩擦系数 μ	0.1	0.1～0.2	0.3	0.15～0.2	0.2～0.3	0.35

表 19.1.12 包角 θ

驱动方式		图形	总包角 θ	
			(°)	rad
单滚筒驱动		19.1.2a	180	3.14
单滚筒驱动，带有增面滚筒		19.1.2b	200～220	3.49～3.84
串联单滚筒驱动		19.1.2c	220～240	3.84～4.19
串联双滚筒驱动		19.1.2d 19.1.2f	340～440	5.94～7.68
双滚筒驱动	第一个	19.1.2e	170	2.97
	第二个		190～220	3.32～3.84

得到输送带所承受的最大张力、最小张力、拉紧力等；当带式输送机的侧形复杂，尤其是上、下起伏时，则应逐点计算（与四点张力计算原则一致）其张力S_1至S_m（图19.1.4f），才能得到最大张力、最小张力、拉紧力等。现设各点张力符号如表19.1.13

地信网论坛
bbs.3s001.com

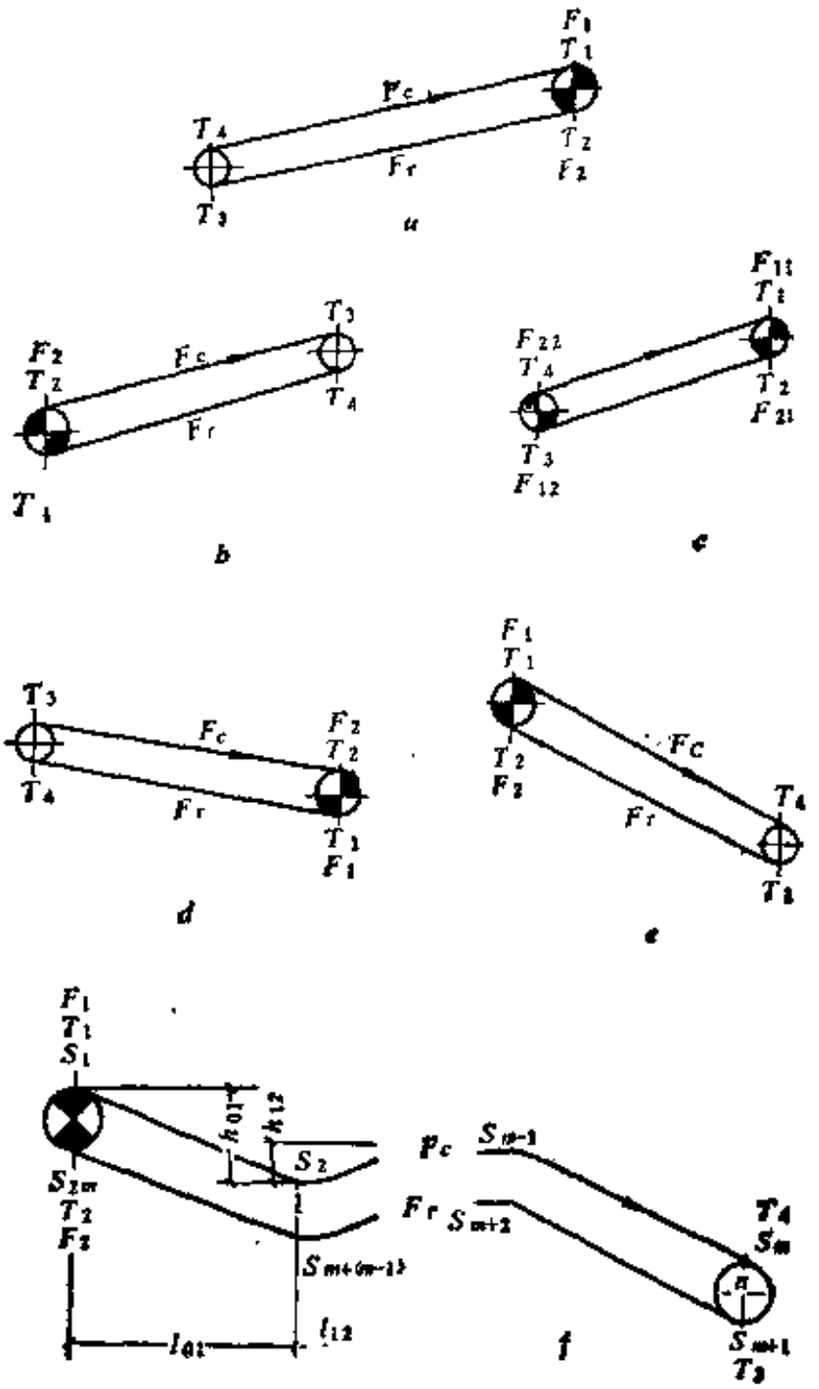


图 19.1.4 主要张力分布（拉紧装置略）

a—平行或上行机，头部驱动；*b*—平行或上行机，尾部驱动；*c*—平行或上行机，头部加尾部驱动；*d*—下行机，头部驱动；*e*—下行机，尾部驱动；*f*—侧形复杂的下行机，尾部驱动

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.13 图19.1.4中各点张力符号

位置	紧边张力		松边张力	
	终算	初算	终算	初算
驱动滚筒或第一组驱动滚筒	T_1	F_1或F_{1i}	T_2	F_2或F_{2i}
第二组驱动滚筒（尾部）	T_3	F_{1s}	T_4	F_{2s}
返向滚筒	T_5		T_4	

注：1.驱动滚筒，可能是一个滚筒或两个串联的滚筒；

2.第一组、第二组驱动滚筒，分别表示两个相距较远的驱动滚筒。

所列。

a 当有效张力$F_p \geqslant 0$时的张力计算

（1）头部驱动（单滚筒或双滚筒）时：

以下公式适用于平行、上行和$F_p \geqslant 0$（$\omega = 0.022$）时的下行带式输送机张力计算：

$$T_2 = F_2 = F_p \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \qquad (19.1.26a)$$

$$T_1 = F_1 = F_2 + F_p = T_2 + F_p \qquad (19.1.26b)$$

$$T_3 = T_4 = T_2 + F_r \qquad (19.1.26c)$$

当$T_4 < F_{sc}$或F_{sr}时：

$$T_3 = T_4 = F_{sc}或F_{sr} \qquad (19.1.26d)$$

$$T_2 = T_3 - F_r \qquad (19.1.26e)$$

$$T_1 = T_2 + F_p \qquad (19.1.26f)$$

张力分布，如图19.1.4*a*所示。

（2）尾部驱动（单滚筒或双滚筒）时：

以下公式适用于平行、上行和$F_p \geqslant 0$($\omega = 0.022$）时的下行带式输送机张力计算：

$$T_2 = F_2 = F_p \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \qquad (19.1.27a)$$

$$T_1 = F_1 = F_2 + F_p = T_2 + F_p \qquad (19.1.27b)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$T_3=T_4=T_1-F_r \tag{19.1.27c}$$

当$T_2<F_{1c}$或F_{sr}时：

$$T_2=F_{1c}或F_{sr} \tag{19.1.27d}$$

$$T_1=T_2+F_p \tag{19.1.27e}$$

$$T_3=T_4=T_1-F_r \tag{19.1.27f}$$

张力分布图，如图19.1.4b所示。

（3）头、尾驱动（2组滚筒，可由2个、3个或4个滚筒组成）时：

设头部滚筒总包角为θ_1、摩擦系数为μ_1、驱动电动机功率为M_1；尾部滚筒总包角为θ_2、摩擦系数为μ_2、驱动电动机功率为M_2。

以下公式适用于平行、上行和$F_p\geqslant 0$（$\omega=0.022$）的下行带式输送机张力计算：

$$M=M_1+M_2 \tag{19.1.28a}$$

$$F_{p1}=\frac{M_2}{M}F_p \tag{19.1.28b}$$

$$F_{p1}=F_p-F_{p2} \tag{19.1.28c}$$

$$F_{21}=F_{p1}\frac{1}{e^{\mu_1\theta_1}-1} \tag{19.1.28d}$$

$$F_{22}=F_{p2}\frac{1}{e^{\mu_2\theta_2}-1} \tag{19.1.28e}$$

$$F_{11}=F_{21}+F_{p1} \tag{19.1.28f}$$

$$F_{12}=F_{22}+F_{p2} \tag{19.1.28g}$$

当$F_{21}<F_{12}-F_r$时：

$$T_4=F_{22} \tag{19.1.28h}$$

$$T_3=T_4+F_{p2} \tag{19.1.28i}$$

$$T_2=T_3-F_r \tag{19.1.28j}$$

$$T_1=T_2+F_{p1} \tag{19.1.28k}$$

当$F_{21}>F_{12}-F_r$时：

地信网论坛
bbs.s001.com

$$T_2 = F_{21} \tag{19.1.28l}$$

$$T_1 = T_2 + F_{p1} \tag{19.1.28m}$$

$$T_3 = T_2 + F_r \tag{19.1.28n}$$

$$T_4 = T_3 - F_{p2} \tag{19.1.28o}$$

张力分布，如图19.1.4c所示。

b 当有效张力$F_p<0$时的张力计算

以下公式适用于下行带式输送机，当取$\omega=0.022$计算，$F_p<0$时，为了得到制动运行张力，再取$\omega=0.012$计算F_p。

（1）$F_p<0$时，头部驱动（这种驱动方式不理想）：

$$T_2 = F_2 = |F_p| \frac{1}{e^{\mu\theta}-1} \tag{19.1.29a}$$

$$T_1 = F_1 = F_2 + |F_p| = T_2 + |F_p| \tag{19.1.29b}$$

$$T_3 = T_4 = T_1 + F_r \tag{19.1.29c}$$

当$T<F_{sc}$或F_{sr}时：

$$T_2 = F_{sc}\text{或}F_{sr} \tag{19.1.29d}$$

$$T_1 = T_2 + |F_p| \tag{19.1.29e}$$

$$T_3 = T_4 = T_1 + F_r \tag{19.1.29f}$$

张力分布，如图19.1.4d所示。

（2）$F_p<0$时，尾部驱动（单滚筒或双滚筒）：

$$T_2 = F_2 = |F_p| \frac{1}{e^{\mu\theta}-1} \tag{19.1.30a}$$

$$T_1 = F_1 = F_2 + |F_p| = T_2 + |F_p| \tag{19.1.30b}$$

$$T_3 = T_4 = T_2 - F_r \tag{19.1.30c}$$

当$T_4<F_{sc}$或F_{sr}时：

$$T_3 = T_4 = F_{sc}\text{或}F_{sr} \tag{19.1.30d}$$

$$T_2 = T_3 + F_r \tag{19.1.30e}$$

$$T_1 = T_2 + |F_p| \tag{19.1.30f}$$

张力分布，如图19.1.4e所示。

19.1.2.9 带式输送机的起动与制动计算

带式输送机起动或制动力的大小与输送带的加速或减速直接

地信网论坛
bbs.3s001.com

有关。如果起动或制动过速，则会出现输送带喘振、传动滚筒与输送带打滑、电动机过载、损坏零部件；对于下行带式输送机，还会发生滚料。一般情况下，带式输送机的起动加速或制动减速的加、减速度为0.1～0.3米/秒^2；起动或制动时间，一般为5～50秒，对于长距离或下行带式输送机的起动或制动时间最好大于10秒。

A 起动计算

（1）起动惯性力：

$$E=\left[K_1L(W+W_m)V+\sum_{j=1}^{m}\frac{N_j^2[GD^2]_j}{367v}\right]\frac{1}{t_a} \tag{19.1.31}$$

式中 j——为无量纲，表示电动机台数的编号。

（2）起动有效张力：

$$F_a=E_a+F_p \tag{19.1.32}$$

（3）起动系数：

$$A_f=\frac{E}{K_c F_p} \tag{19.1.33}$$

式中

$$K_c=1+\frac{1}{e^{\mu\theta}-1} \tag{19.1.33a}$$

上行机可取$A_f=0.1\sim0.2$；长距离平行机可取$A_f=0.35\sim0.5$；一般情况可取$A_f=0.35$。

（4）起动时间：

$$t_a=\left[K_1L(W+W_m)V+\sum_{j=1}^{m}\frac{N_j^2[GD^2]_j}{367v}\right]\frac{1}{A_f F_p K_c} \tag{19.1.34}$$

（5）$e^{\mu\alpha}$值的验算：

起动时不预先调整拉紧力时：$e^{\mu\alpha}\geqslant\dfrac{(1+A_f)F_1}{F_2}$ (19.1.35)

地信网论坛
bbs.3s001.com

起动时预先自动调整拉紧力时：$e^{\mu\alpha} \geqslant \frac{F_1}{F_2}$ (19.1.36)

如果不能满足上述要求，则需增大传动滚筒包角；或增大输送带的张力。

以上计算公式〔公式(19.1.31)至(19.1.36)〕不适用下行带式输送机出现起动张力为负值时的计算（此种情况不必进行起动计算）。

B 制动计算

a 制动时间的确定

（1）系统平衡法：先计算各条带式输送机的自由停机时间 t_{bi}，然后找出最小的一个定为系统的制动时间 t_b。但是，对于下行发电状况运行的带式输送机，是不可能满载自由停机的。

$$t_{bi}=\left[L_i(W_i+W_{mi})V_i+\sum_{j=1}^{m}\frac{N_{ij}^2[GD^2]_{ij}}{867v}\right]\frac{1}{F_{pi}} \tag{19.1.37}$$

$$t_b \geqslant MIN\{t_{b1},\ t_{b2}\cdots t_{bi}\cdots t_{bn}\} \tag{19.1.38}$$

式中 i——无量纲，表示输送机的编号；

j——亦为无量纲，表示某条输送机采用的电动机编号。

（2）受料设备允许法：

$$t_b \geqslant \frac{2W_q}{W_m V} \tag{19.1.39}$$

式中

$$W_q \geqslant 2.5 W_m V \tag{19.1.39a}$$

（3）减速控制法：

$$t_b \geqslant \frac{v}{0.3} \tag{19.1.40}$$

以上几个公式不适于上行带式输送机在满载停机后逆转倒料的情况。此种情况，不必计算制动时间，因为选择一般的电磁制动器或逆止器就可以满足要求。

b 制动惯性力 E_b 的计算

地信网论坛
bbs.3s001.com

制动惯性力E_b的计算可参考公式（19.1.31），只要将式中E_a改为E_b；t_a改为t_b即可。

c 制动有效张力F_b的计算

（1）带速由v至零时：$F_b = E_b - F_p$ (19.1.41)

（2）上行带式机制止逆转时：$F_b = 2W_m g H - F_p$ (19.1.42)

计算F_p时，取$\omega = 0.012$。

d 制动力矩的计算

当在一个传动滚筒上制动时，其轴上的制动力距：

$$M_b = \frac{D_p}{2} F_b \tag{19.1.43}$$

e $e^{\mu\alpha}$的验算（下行带式机满载制动）

$$e^{\mu\alpha} \geqslant \frac{F_1 + E_b}{F_2} \tag{19.1.44}$$

19.1.2.10 拉紧力及拉紧行程的计算

A 拉紧力的计算

$$T_u = 2T_i \tag{19.1.45}$$

当选用小车式或重锤式拉紧装置时：

$$T_u = (W_t + W_u)g \tag{19.1.46}$$

B 拉紧行程的计算

$$L_d = L_t(\varepsilon + \varepsilon_1) + L_m \tag{19.1.47}$$

式中 ε、ε_1值，列于表19.1.14。

19.1.2.11 输送带及其主要参数的计算

A 输送带的品种

带式输送机配用的输送带有橡胶带、塑料带等。输送带由带芯和覆盖层组成。输送带的带芯主要承受运输物料过程中所产生的张力和适应在运行过程中所受冲击、弯曲等。带芯材料可分为帆布和钢丝绳两大类。编织帆布的材料有棉、维纶、尼龙、涤纶、聚酯等；钢丝绳一般由高级炭素钢丝制成。输送带的覆盖层起保护带芯体的作用，它除了应具有带芯所具有的主要特性外，

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.14 国外输送带的伸长率ε、ε_1

输送带芯体材料		弹性伸长率ε %	永久伸长率ε_1 %	拉紧行程
帆布芯	CC	0.1～0.2	1.0～1.5	$1.7\%L_t+L_m$
	NC	0.3～0.5	1.0～1.2	$1.7\%L_t+L_m$
	NN—350以下	0.3～0.5	1.0～1.2	$1.7\%L_t+L_m$
	NN—400以上	0.4～0.8	1.0～1.2	$2.0\%L_t+L_m$
	PVN、HV、HN	0.1～0.3	0.4～0.6	$0.9\%L_t+L_m$
	NN单层	0.4～0.6	1.1～1.3	$1.9\%L_t+L_m$
钢丝绳芯		0.05～0.1	0.1～0.2	$0.3\%L_t+L_m$

注：C—棉；N—尼龙；V—维纶；P—聚酯；H—耐热。

还应具有耐热；耐寒；耐油；耐酸；耐碱；无毒；不易产生静电等特点。为了增大带面的摩擦系数，还可以制成带有花纹带面的花纹输送带。

B 输送带的强度和层数计算

a 帆布芯输送带需用强度T_s和帆布层数Z_c的计算

$$T_s=\frac{S_{max}K_s}{ZB}\leqslant\sigma_1 \tag{19.1.48}$$

$$Z_c=\frac{S_{max}K_s}{B\sigma} \tag{19.1.49}$$

b 钢丝绳芯输送带需用强度S_t的计算

$$S_t=\frac{S_{max}K_s}{B}\leqslant\sigma \tag{19.1.50}$$

c 钢丝绳芯输送带最低安全系数K_{st}的校核

$$K_{st}=\frac{M_cT_g}{S_{max}+F_{ab}+E_d}\geqslant 3 \tag{19.1.51}$$

式中

$$E_d=\frac{D_cEA_cM_c}{D_p} \tag{19.1.51a}$$

d 帆布芯输送带帆布层数的确定

$$Z\geqslant Z_c \tag{19.1.52}$$

$$Z\geqslant Z_{min} \tag{19.1.53}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$Z \leqslant Z_{max} \tag{19.1.54}$$

C 输送带接头

a 帆布芯输送带接头形式及接头长度

帆布芯输送带接头形式有两种，一是平接法（图19.1.5*a*）；二是迭接法（图19.1.5*b*）。这两种接头长度L_j的计算为：

（1）平接法：

$$L_j = l_s(n-1) + B\,\mathrm{tg}\quad 22°30' \tag{19.1.55}$$

（2）迭接法：

$$L_j = l_s n + B\,\mathrm{tg}\quad 22°30' \tag{19.1.56}$$

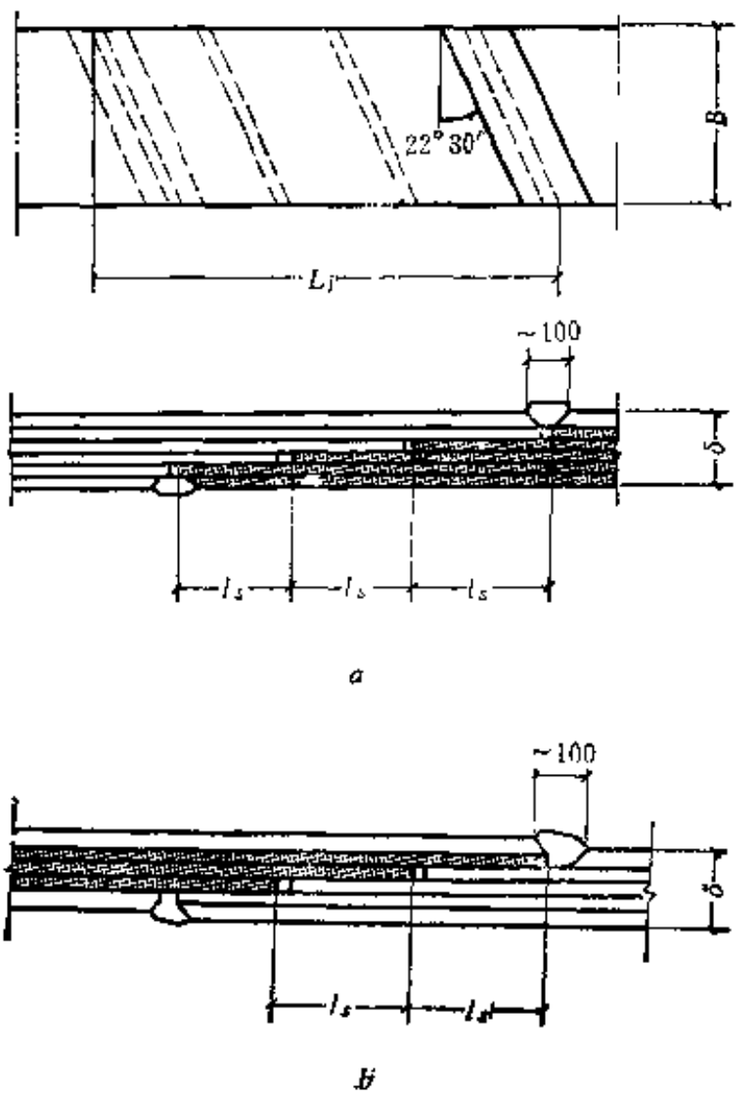


图 19.1.5 帆布芯输送带接头

a—平接法；*b*—迭接法

地信网论坛
bbs.3s001.com

阶梯长度l_s，列于表19.1.15。

b 钢丝绳芯输送带的接头形式及接头长度

钢丝绳芯输送带的接头形式一般有四种，即1阶法、2阶法、5根特殊法和6根特殊法。其接头长度、阶梯长度l_s见图19.1.6和表19.1.16。

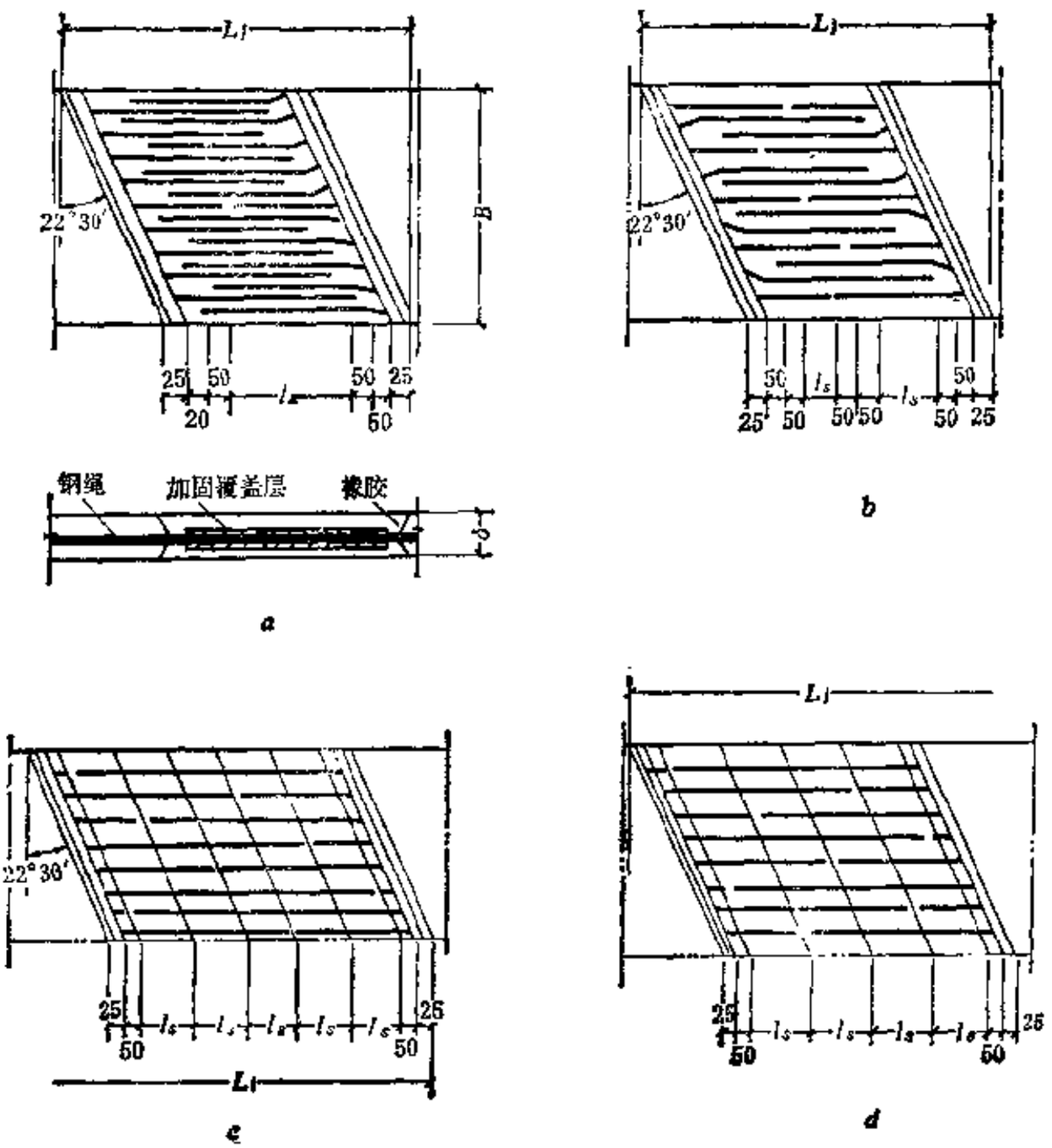


图 19.1.6 钢丝绳芯输送带接头

a—1阶法，*b*—2阶法，*c*—6根特殊法，*d*—5根特殊法

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.15 帆布芯输送带切割阶梯长l_s

帆布芯强度 kN/(m·层)		49.05	73.57～98.10	122.63～156.96	196.20	245.25
l_s mm	普通型	100	120	150	200	250
	耐热型	120	120	150	200	250
	耐油型	150	150	200		

帆布芯强度 kN/(m·层)		294.30～343.35	392.40	441.45	490.50	588.60	686.70
l_s mm	普通型	300	350	400	450	550	650
	耐热型	300～350					
	耐油型						

表 19.1.16 钢丝绳芯输送带(普通、耐热)阶梯长l_s

牌号	钢绳直径 mm	阶长l_s mm	接头形式
ST—500	2.5	300	1阶法
ST—630	2.5	300	
ST—800	2.9	300	
ST—1000	3.8	400	
ST—1250	4.1	450	
ST—1500	4.4	500	2阶法
ST—1600	4.6	500	
ST—2000	5.4	600	
T—2500	6.2	800	
ST—3000	6.8	900	
ST—3150	7.1	950	
ST—3500	7.5	1050	
ST—4000	8.1	700	5 根特殊法
ST—4000	8.1	600	6 根特殊法
ST—4500	8.6	750	5 根特殊法
ST—4500	8.6	650	6 根特殊法
ST—5000	9.2	800	5 根特殊法
ST—5000	9.2	700	6 根特殊法

注：S T——× × ×
- ——强度(kg/cm)
- ——国外常用牌号

地信网论坛
bbs.8s001.com

19.1.3 常用带式输送机

我国机械制造行业曾制定了TD75型通用固定带式输送机、

表 19.1.17 塑料输送带性能

名称	带宽 mm	厚度，mm 总厚	上塑	下塑	整芯	强度 N/cm (kg/cm)	带重 kg/m
普通型	400	9	3	2	4	2195(224)	4
	500						5
	650	10			5	3293(336)	7.7
	800						9.5

表 19.1.18 帆布芯橡胶输送带性能

强度 N(cm·层)$^{-1}$ (kg(cm·层)$^{-1}$)	棉① 规格	层厚 mm	重量 kg/(m^2·层)	维纶 规格	层厚 mm	重量 kg/(m^2·层)
549(56)		1.2～1.3				
942(96)				VV—96		
1373(140)				VV—140		
1472(150)						
1962(200)						
2943(300)						

强度 N(cm·层)$^{-1}$ (kg(cm·层)$^{-1}$)	尼龙 规格	层厚 mm	重量 kg/(m^2·层)	带宽 mm
549(56)				400～1600
942(96)				300～2000
1373(140)				300～2000
1472(150)	NN—150	1.1	1.15	300～2000
1962(200)	NN—200	1.2	1.25	300～2000
2943(300)	NN—300	1.3	1.35	300～2000

①棉帆布橡胶带有普通型、耐冲击型、耐热型、耐寒型、耐油型、耐酸型和耐碱型等品种。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.19 钢丝绳芯输送带性能

规格		GX 650	GX 800	GX 1000	GX 1250	GX 1600	GX 2000	GX 2500	GX 3000	GX 3500	GX 4000
输送带强度,N/cm(kg/cm)		6377 (650)	7848 (800)	9810 (1000)	12263 (1250)	15696 (1600)	19620 (2000)	24525 (2500)	29430 (3000)	34335 (3500)	39240 (4000)
钢丝绳强度,N(kg)		14225(1450)				30803(3140)		44636 (4550)	55721 (5680)	64795 (6605)	70338 (7170)
钢丝绳直径,mm		4.5				6.75		8.1	9.18	9.99	10.3
钢丝绳间距,mm		20	17	13.5	11	20	16	17	18	16	17
输送带厚,mm		19				23		27	28	28	29
标准胶厚 mm	覆盖胶,上+下	6 + 6				7+7		8+8	8+8	8+8	8+8
	芯胶	7				9		11	12	12	13
输送带重量,kg/m²		23.9	24.3	25	25.7	32.2	33.7	40.2	41.9	43.6	46.6
		钢丝绳根数									
输送带宽度 mm	800	38	45	56	69	38	47	44			
	1000		57	71	87	48	60	56	53	53	56
	1200			86	105	58	72	68	64	64	67
	1400				122	68	84	79	75	75	79
	1600					78	97	91	86	86	91
	1800					88	109	103	97	97	102
	2000						121	114	108	108	114

地信网论坛 bbs.24001.com

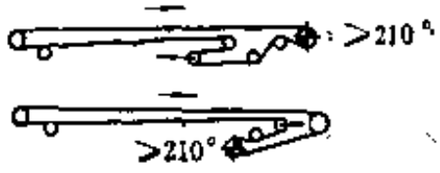
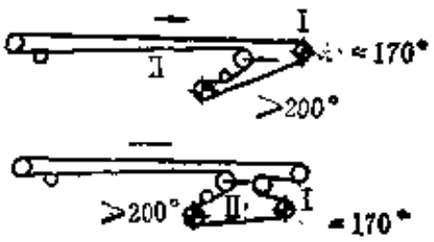
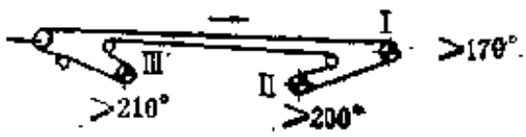
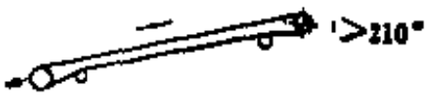
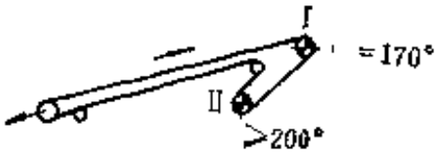
表 19.1.20 DX钢丝绳芯带式输送机系列

带宽B mm	输送带强度GX,N/cm										带速 v m/s				
	6377	7848	9810	12263	15696	19620	24525	29430	34335	39240					
	输送带许用最大张力,kN										2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
800	51	63	79	98	126	157	196	235	275	314	✓	✓	✓		
1000		79	98	123	157	196	245	294	343	392	✓	✓	✓		
1200			118	147	188	235	294	353	412	471	✓	✓	✓	✓	
1400				172	220	275	343	412	481	549	✓	✓	✓	✓	✓
1600					251	314	392	471	549	628	✓	✓	✓	✓	✓
1800					283	253	442	530	618	706	✓	✓	✓	✓	✓
2000						392	491	589	687	785	✓	✓	✓	✓	✓

注：✓表示有。

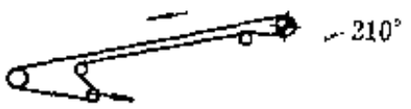
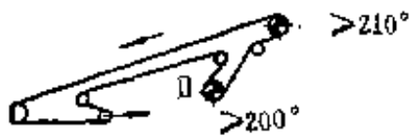
地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.21 典型布置形式

型式	传动方式	典型布置简图	出轴形式与功率配比
水平输送	单滚筒传动		单出轴单电机 双出轴双电机
	双滚筒传动		功率配比： $N_I : N_{II} = 1 : 1$ $N_I : N_{II} = 2 : 1$ $N_I : N_{II} = 2 : 2$
	三滚筒传动		功率配比： $N_I : N_{II} : N_{III} = 2:1:1$ $N_I : N_{II} : N_{III} = 2:2:1$ $N_I : N_{II} : N_{III} = 2:1:2$ $N_I : N_{II} : N_{III} = 2:2:2$
向上输送	单滚筒传动		单出轴单电机 双出轴双电机
	双滚筒传动		功率配比： $N_I : N_{II} = 1:1$ $N_I : N_{II} = 2:1$ $N_I : N_{II} = 2:2$

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.1.21

型式	传动方式	典型布置简图	出轴形式与功率配比
向下输送	单滚筒传动		单出轴单电机 双出轴双电机
	双滚筒传动		功率配比： $N_I:N_{II}=1:1$ $N_I:N_{II}=2:1$ $N_I:N_{II}=2:2$

注：图中角度为包角θ。

GH69型花纹带式输送机、DX型钢丝绳芯带式输送机等系列产品。这些系列产品已被广泛应用。近几年来，我国有关制造厂正在对上述系列设备进行改进，同时还在研制新的系列产品。故本手册对老产品不作详细介绍。

（1）国产输送带性能，列于表19.1.17至19.1.19。

（2）DX型钢丝绳芯带式输送机系列及典型布置形式，分别列于表19.1.20及19.1.21。

19.1.4 带式输送机的安装与维修

19.1.4.1 输送带的连接方法

A 橡胶输送带的热接

对于棉帆布芯橡胶输送带采用硫化胶接法时，应符合下列要求：

（1）接头应剖割成阶梯形，剖割处表面应平整，不得有破裂现象；表面要锉毛，并保持清洁。

（2）硫化温度与时间应符合所用胶料的性能，硫化温度一般不得超过143℃，硫化时间（从100℃升高至143℃）约为45分。

地信网论坛
bbs.3s001.com

（3）胶料（混合胶）的成分宜与胶带中橡胶成分一致。常见的胶料配方如表19.1.22和19.1.23所列。

表 19.1.22 热接胶料配方之一

序 号	成分名称	覆盖胶	浆 胶
1	胶 片	10.0	10.0
2	硬质炭黑	2.0	0.4
3	软质炭黑	2.0	0.6
4	氧化锌	3.0	1.4
5	硬脂酸	0.4	0.2
6	松 香	0.2	0.3
7	甲防老剂	0.08	0.6
8	乙防老剂	0.42	0.4
9	M促进剂	0.12	0.24
10	DM促进剂	0.6	0.4
11	松焦油	0.5	
12	硫 磺	0.2	0.2
13	碳酸钙	2.0	
合 计		21.52	14.74

表 19.1.23 热接胶料配方之二

序 号	成分名称	覆盖胶	中间胶	侧边胶	化水胶
1	烟片胶1~3号	100	100	100	100
2	升华硫磺	2.5	2.6	2.8	1.5
3	M促进剂	1.1	0.5	1.2	0.8
4	TT促进剂		0.03		
5	硬脂酸	2.5	2.0	2.5	0.25
6	石蜡	1.0		1.5	
7	氧化锌	5	7.5	5	18.35
8	碳酸钙			32	
9	硬质炭黑	29	12	18	1
10	软质炭黑	20	30	28	
11	D防老剂	2.3	2	2.2	0.8
12	松焦油	4	4	6.1	

地信网论坛
bbs.3s001.com

B 橡胶输送带的冷接

输送带的冷接常用胶料有环氧树脂型和氯丁胶型。两者操作方法相似，接头强度相近。

（1）胶接工艺：

1）对受潮的输送带应干燥；

2）将输送带切成阶梯状，在不损伤线芯的情况下，用钢丝轮刷除去芯层表面的残胶，并用汽油或四氯化碳、甲苯等洗刷干净；

3）将配制好的胶料涂于切口阶梯面上，约3～5分后，加上螺杆压板进行固化（输送带与板之间应垫塑料布或纸张）。固化时间随着温度而异，一般当16～22℃时约8小时；当23～30℃时约5小时；当30～50℃时约3小时；当60℃时约1～1.5小时。螺杆加压板的压力，按30千帕计算；

4）当拆开加压板时，如果没有达到工艺要求的固化，一般是由于固化剂配比过低或稀释剂过多造成的，此时可以再加压、并延长固化时间后仍可固化；

5）胶料属有毒物质，还容易凝固，操作时应注意。

（2）胶料的制备：环氧树脂型胶料配方列于表19.1.24；

表 19.1.24 冷接环氧树脂型胶料配方

成分名称	作 用	配方			
		1	2	3	4
环氧树脂1601	胶结剂	100	100	100	100
乙二胺	固化剂	7～8	7～8		7～10
三乙烯四胺	固化剂			10	
邻苯二甲酸二丁脂	增塑剂	18			20
聚脂树脂304	增塑剂		25	25	
聚脂橡胶	增塑剂				2～5

注：1.环氧树脂加热到60℃时加入增塑剂，搅拌均匀，冷却到25～35℃时才加入固化剂，搅拌均匀后即可使用

2.当选用配方2时，在加入聚脂树脂304时，要加入2～3%的乙二胺，否则会使环氧树脂发生硬脆。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.1.25 冷接氯丁胶型胶料配方

成分名称	配方		
	1	2	3
氯丁胶	100	100	100
防老剂	2	2	15
氧化镁	8	4	9
氧化锌	4	5	9
硬脂酸		0.5	
甲 苯	435	333	300
R—异氰酸脂	20	13.3	13～15
叔丁基酚醛	30		
树脂			2

氯丁胶型胶料配方列于表19.1.25。

C 钢丝绳芯输送带的胶接

（1）胶接工艺：

1）固定输送带的接头端，按要求尺寸划线、剥胶。剥胶后应打毛钢丝绳上的橡胶；

2）在下加热板上涂抹隔离剂并放好垫铁（厚度为输送带厚的0.9）；

3）按选定的接头长度、宽度、厚度的要求，在下垫板上铺好覆盖胶片和中间胶片，然后排列钢丝绳。排绳前，应用汽油擦拭钢丝绳及胶片，然后涂胶浆，晾干后(以不粘手为宜)，再涂第二遍胶浆。当向钢丝绳的间隙中充填中间胶条前，对钢丝绳和胶片的接触表面涂以稀胶浆。每两搭接的钢丝绳端应用细铁丝捆扎。最后铺上中间胶片和覆盖胶片；

4）对上覆盖胶片外露表面涂隔离剂，然后加盖上垫板，进行硫化；

5）用电热或蒸汽硫化器，以螺杆或液压缸加压，压力为980～2000千帕（10～21千克力/厘米^2）。硫化温度为140～至90℃147℃，正常硫化时间为40～45分（不包括预热时间）。当温度降时，即可卸压揭盖。

地信网论坛
bbs.3s001.com

硫化时，在预热几分钟后应对胶带施加拉力，以保证接头部位的钢丝绳在硫化过程中平直；

6）接头胶接好后，要进行检查，最好用X射线仪探测。

（2）胶料的配方：覆盖胶及中间胶的配方列于表19.1.26。胶浆是用中间胶胶片溶于120号汽油中制成的，分稀浓两种：稀胶浆的胶料与汽油之比为1比8；浓胶浆的胶料与汽油之比为1比3。

常用的隔离剂有烷基磺酸钠水溶液、硅油、滑石粉或肥皂水。

表 19.1.26 钢丝绳芯输送带热接胶料配方

成分名称	覆盖胶	中间胶
3号烟胶片		50
4号烟胶片	100	
顺丁橡胶		50
硫磺	2.5	2
M促进剂	0.8	
DM促进剂	0.8	
C_2促进剂		1
氧化锌	5	5
硬脂酸	3.5	3
石蜡	1	
松焦油	6	
软化重油	4	2
固体古马隆		4
A防老剂	1	0.5
D防老剂	1	1
粗炭黑	48	35
高耐磨炭黑		20
合计	173.6	173.5
含胶率，%	57.6	57.6
密度，t/m^3	1.155	1.145

19.1.4.2 带式输送机的安装要求

（1）机架中心线对输送机纵向中心线不重合度不应超过3毫米；

地信网论坛
bbs.3s001.com

（2）中间架支腿的不铅垂度或对建筑物地面的不垂直度不应超过0.3%；

（3）组装中间架应符合下列要求：

1）中间架在铅垂面内的不直度不应超过长度的0.1%；

2）中间架接头处左右、高低的偏移均不应超过1毫米；

3）中间架间距的偏差不应超过±1.5毫米，相对标高差不应超过间距的0.2%；

（4）托辊横向中心对输送机纵向中心线的不重合度不应超过3毫米；

（5）拉紧滚筒在输送带连接后的位置，应根据拉紧装置的型式、输送带芯的材质、带长和起、制动要求确定，一般应符合下列要求：

1）对于垂直或车式拉紧装置，往前松动的行程不应小于400毫米，往后拉紧行程应为往前松动行程的1.5～5倍（尼龙帆布芯输送带或输送机长度大于200米时，以及电动机直接启动和有制动要求者应取大值）；

2）对于绞车式或螺旋拉紧装置，往前松动行程不应小于100毫米；

（6）组装清扫器应符合下列要求：

1）刮板清扫器括刀面应与胶带面接触，其接触长度不应小于带宽的85%；

2）回转式清扫刷子的轴线应与滚筒平行，刷子应与胶带面接触，其接触长度不应小于90%；

（7）带式逆止装置的工作包角不应小于70°。滚柱逆止器逆转角度不应大于30°；

（8）组装驱动装置时，粉末联轴器的每一间隔室中滚珠重量偏差不应超规定重量的±1%。

19.1.4.3 带式输送机的维修

A 日常维修

（1）检查输送带的接头部位是否有异常情况，如割伤、裂

地信网论坛
bbs.256001.com

纹等；

（2）输送带的上、下层胶及边胶是否有磨损处；

（3）检查并调整清扫装置、卸料装置；

（4）保持每个托辊转动灵活，及时更换不转或损坏的托辊；

（5）防止输送带跑偏，保证输送带的成槽性。

B 定期检修

（1）定期给各种轴承、齿轮加油；

（2）拆洗减速器，检查齿轮的磨损情况并更换严重磨损者；

（3）拆洗滚筒、托辊的轴承，更换润滑油；

（4）加油紧固地脚螺栓及其他连结螺栓；

（5）检查并更换严重磨损的其他零、部件；

（6）修补或更换输送带。

C 输送带跑偏的处理

（1）输送带本身弯曲或接头不直引起沿程跑偏，可将输送带弯曲部切正、重新胶接接头；

（2）滚筒中心线同输送机中心线不成直角引起滚筒处跑偏，可调整滚筒或机架，使头、尾滚筒中心一致；输送带在滚筒上往哪边跑偏，就收紧那边的轴承座，如图19.1.7所示；

（3）托辊组轴线同输送机中心线不垂直引起跑偏，当输送带往哪边跑偏，就将那边的托辊向输送带前进的方向移动，一般移动几组托辊就能纠正，如图19.1.8所示；

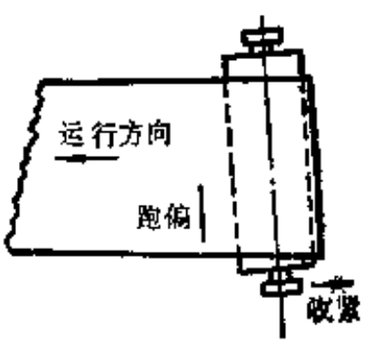


图 19.1.7 滚筒纠偏示意图

地信网论坛
bbs.3s001.com

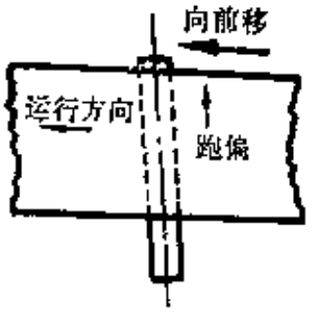


图 19.1.8 托辊纠偏示意图

（4）滚筒不水平引起输送带跑偏，如果是安装超差应停机调平；如果是滚筒外径加工偏差太大，则要重新加工滚筒外圆；

（5）滚筒表面粘结物料会使输送带跑偏，应经常清除这些物料；

（6）输送带一经加上负载就跑偏，应改变进料口的位置予以调整；

（7）机架两侧高低不平，输送带会向低侧跑偏，可以调整托辊或改造机架；

（8）输送带无载时跑偏，而加上物料就能纠正。这种现象一般是由于初张力太大造成的，进行适当调整即可。

19.1.5 带式输送机的操作控制

19.1.5.1 控制系统设计

A 设备联锁

（1）选矿厂生产作业中，如果某一设备的开停对其前后设备产生影响时，都须联锁控制；反之可不必联锁；

（2）联锁的操作程序如下：

1）启动时，自运输系统的最终设备开始，逆物料输送方向依次起动。停车时，其次序与启动的顺序相反，并尽量使各设备上的物料排空，以免负荷起动；

2）当某一设备发生故障时，它前面（逆物料输送方向）的所有设备应立刻停止运转，而后面的设备仍可继续运行，直到物料排空为止；

地信网论坛
bbs.3s001.com

3）岗位人员可根据操作需要，解除联锁，单机操作；

4）联锁线上的破碎机等设备，应先于带式输送机启动；当联锁线停运时应延时停车；

5）输送带上的除铁设施还应与其悬挂小车及金属探测器联锁。

6）系统中移动设备的行走机构不参加联锁。

B 操作方式

根据目前的实际情况，下列两种方式可供选择。

（1）电气联锁，集中操作；

（2）电气联锁，分散操作。

C 安全设施

（1）带式输送机侧边应装设拉线事故开关或固定式事故开关；

（2）为监察带式输送机的运行情况，应装设防偏开关、旋控器、速度检测器、漏斗堵塞检测器、纵裂检测器等安全设施；

（3）对较大功率的带式输送机，应设过流保护装置；

（4）对运输系统中的厂房、转运站、通廊等电气设备，应根据物料及环境的具体情况，考虑防腐、防爆等措施。

19.1.5.2 保护装置

A 拉线开关

拉线开关一般安装在带式输送机机架的一侧。操作人员在输送机的任何部位拉动拉线，均可使开关动作，切断电路使设备停运。此外，当发出开车信号时，如现场不允许开车，也可以拉动开关，制止起动。国产的拉线开关有PLK－25、100两种。

B 防偏开关（跑偏检测器）

防偏开关安装在带式输送机的头部和尾部两侧，距离头、尾滚筒1～2米处。对于较短的带式输送机，可仅在头部安装一对防偏开关。

当输送带跑偏时，输送带推动防偏开关的挡辊使开关动作，切断电源，使输送机停止运转。如果系统连锁，则该开关参与连

地信网论坛
bbs.3s001.com

锁。国产的防偏开关有PFK_0-A、KPT_2等品种。

C 旋控器、速度检测器（打滑监测器）

旋控器的作用是，当输送带达到正常速度时保持本机电气回路接通，并通过连锁系统启动其余设备；反之，当输送带速度过慢或停运时，旋控器停止输出，切断本机电气回路，同时通过连锁系统停止其余设备运行。国产的旋控器有PXK_0等品种。

输送带打滑监测器，实质上是一个测速开关，当带速降低至设计速度的60～70%时，即发出信号并切断电路。如果是机旁操作，则只发出信号不停机。打滑监测器的型式较多，主要有滚轮型、平托辊型及轴头安装等型式。宝山钢铁厂安装的速度检测器（BⅠS—M2），其速度开闭器为ESRW型，安装示意如图19.1.9所示。

D 漏斗（溜槽）堵塞检测器

堵塞检测器一般安装在带式输送机的头部漏斗壁上，用以检测漏斗内的料流情况。当漏斗堵塞时，物料推动行程开关并切断输

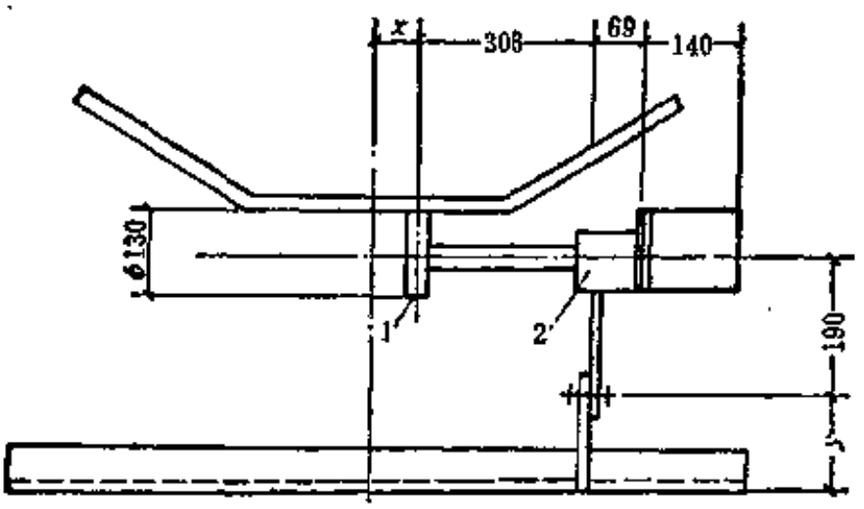


图 19.1.9 速度检测器安装示意

1—滚轮；2—速度开闭器

地信网论坛
bbs.26001.com

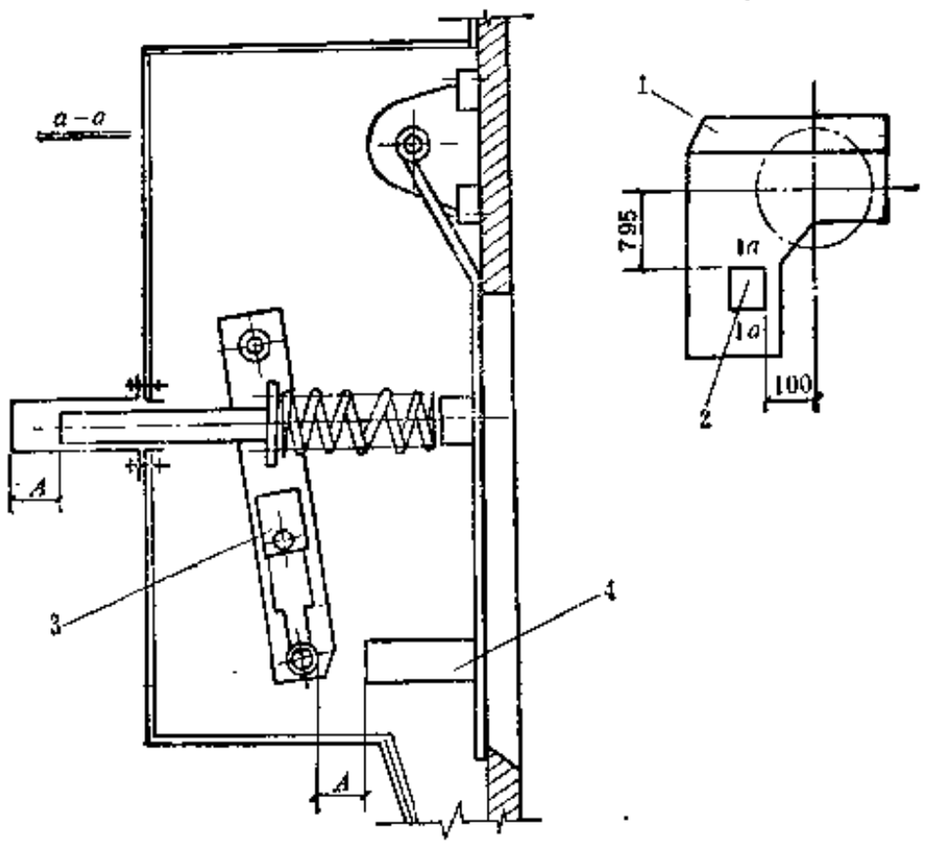


图 19.1.10 侧压型漏斗堵塞检测器

1—漏斗；2—检测器；3—行程开关；4—撞针

送机的电源。漏斗堵塞检测器的型式较多，常用的有侧压型、探棒型、漏损型和螺旋桨型等。宝山钢铁厂安装的漏斗堵塞检测器如图19.1.10所示，类似这种型式的国产溜槽堵塞检测器的型号为LDM型。

E 纵裂检测器

输送带纵向撕裂检测器实质上是一种荷载传感器。由于它是带状，功能与一般的开关相同，故又称带状开关。当输送带上物料中的金属重物压到带状开关上面时，其内部的两根导线(电极)接触，电路接通，输送机立即停止运行并发出信号。宝山钢铁厂使用的纵裂检测器安装示意如图19.1.11所示。国产的纵向撕裂保护装置有ZL系列产品。

地信网论坛
bbs.3s001.com

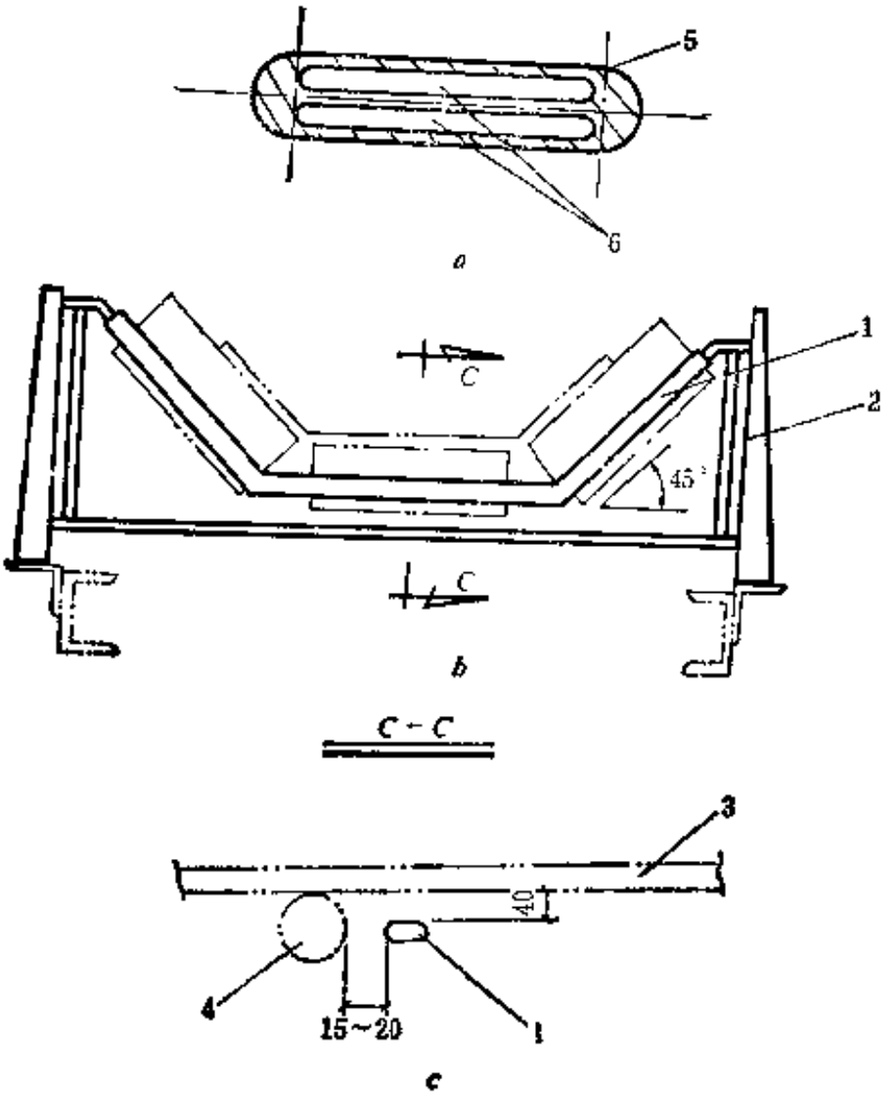


图 19.1.11 纵裂检测器

a—传感器；b、c—安装示意图；1—纵裂检测器；2—固定支 架；3—上输送带；4—上托辊；5—橡胶罩；6—电极

地信网论坛
bbs.8s001.com

19.2 斗 式 提 升 机

19.2.1 概 述

斗式提升机用于垂直或倾斜输送粉状、颗粒状物料。其提升高度可达30米，一般常用范围为12～20米。输送能力在300吨/时以下。

斗式提升机的分类方法很多，按安装方式不同，可分为垂直式、倾斜式；按卸载特性不同，可分为离心式、离心-重力式、重力式；按装载特性不同，可分为掏取式（图19.2.1*a*）、流入式（图19.2.1*b*）；按牵引构件形式不同，可分为带式、链式；按料斗形式不同，可分为深斗式、浅斗式、三角斗或梯形斗式。

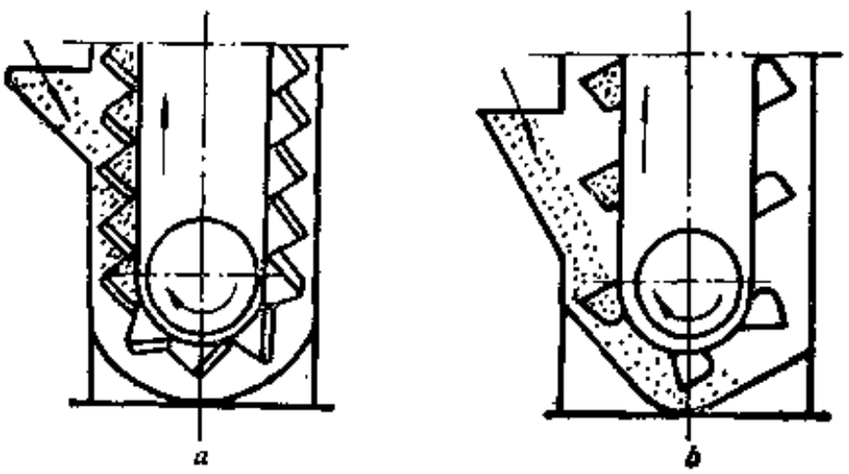


图 19.2.1 装载型式

a—掏取式；*b*—流入式

19.2.2 常用斗式提升机

19.2.2.1 选型及功率计算

A 选型

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.2.1 常用斗式提升机的主要特征、用途

型 式	D型斗式提升机	HL型斗式提升机	PL型斗式提升机	ZL型斗式提升机
结构特征	采用橡胶带作为牵引构件	采用钢环链作为牵引构件	采用套筒滚子链作为牵引构件	采用铸造链作为牵引构件
卸载特征	间断料斗，快速离心卸料	同 左	连续料斗，慢速重力卸料	同左
适用输送物料	粉状、颗粒状的无磨琢性或半磨琢性的散状物料，如：煤、砂、焦末、水泥、碎矿石等	粉状、颗粒状的无磨琢性物料，如：软煤、水泥、石块、砂、粘土等	块状、密度大、磨琢性物料，如：硬煤、碎石、矿石、卵石、易碎物料，如：焦炭、木炭等	块状和粉状物料，如：矿石、石灰石、水泥、卵石、白灰、煤等
适用温度	被输送物料温度不得超过60℃，如果采用耐热橡胶带，允许150℃	允许输送温度较高的物料	被输送物料温度在250℃以下	被输送物料温度在300℃以下
型号	D160、D250、D350、D450、	HL300、HL400	PL250、PL350、PL450	ZL25、ZL35、ZL45、ZL60
提升高度 m	约4～30	约4.5～30	约5～30	约8～29
输送量 m^3/h	3.1～86	16～47.2	22～100	55～160

国内常用的斗式提升机有D、HL、PL、ZL等四种型式的垂直斗式提升机。它们的主要特征、用途列于表19.2.1。

为了满足不同的使用要求，四种常用的斗式提升机各具有不同的制法及装法，详见表19.2.2所列。

B 功率计算

（1）斗式提升机轴功率近似计算如下：

$$N_0=(1.15+K_1+K_2V)\frac{QH}{367} \qquad (19.2.1)$$

地信网论坛
bbs.8s001.com

表 19.2.2 常用斗式提升机的制法及装法

各种制法和装法		斗提机型式				制法和装法的解释
		D型	HL型	PL型	ZL型	
料斗	S制法	✓	✓			带有深圆底形料斗
	Q制法	✓	✓			带有浅圆底形料斗
	三角斗			✓		
	梯形斗			✓	✓	
进料口	J_1制法	✓	✓	✓		进料口的斜面与水平成45°
	J_2制法	✓	✓	✓		进料口的斜面与水平成60°
卸料口	X_1制法	✓	✓	✓		带有与水平成45°倾斜法兰盘的卸料口
	X_2制法	✓	✓	✓		带有水平法兰盘的卸料口
机壳端面检视门	Z_1制法	✓	✓	✓		中间机壳端面带有下端检视门
	Z_2制法	✓	✓	✓		中间机壳端面带有上端检视门
机壳侧面检视门	K_1制法	✓	✓	✓①		中间机壳侧面带有下端左检视门
	K_2制法	✓	✓	✓①		中间机壳侧面带有下端右检视门
	K_3制法	✓	✓	✓②		中间机壳侧面带有上端左检视门
	K_4制法	✓	✓	✓②		中间机壳侧面带有上端右检视门
斗提机链条	L_1制法			✓		链条带油杯（注油式）
	L_2制法			✓		链条不带油杯（非注油式）
驱动装置	左装	✓	✓	✓	✓	驱动装置对斗提机相对位置（见左装平面图）
	右装	✓	✓	✓		驱动装置对斗提机相对位置（见右装平面图）
	C_1～C_4制法	见表19.2.3				由不同的电动机功率区分

注：表中有✓者均为允许的制法和装法；

①K_1制法；②K_2制法。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.2.3 C_1～C_4制法

驱动装置	D型				HL型		PL型			ZL型			
	160	250	350	450	300	400	250	350	400	25	35	45	60
C_1～C_4制法	驱动装置电动机功率，kW												
C_1	2.2	3.0	5.5	7.5	5.5	5.5	2.2	3.0	5.5	7.5	7.5	13.0	13.0
C_2		5.5	7.5	10.0	7.5	10.0	3.0	5.5	7.5	10.0	10.0	17.0	17.0
C_3		5.5	10.0		7.5		5.5	7.5	10.0	13.0	13.0	22.0	22.0
C_4		7.5	10.0		10.0			10.0	17.0				

表 19.2.4 系数K_1及K_2

输送能力	牵引构件型式					
	带式		单链式		双链式	
	料斗型式					
Q，t/h	深斗和浅斗	三角斗	深斗和浅斗	三角斗	深斗和浅斗	三角斗
	系数 K_1					
<10	0.60	—	1.1	—	—	—
10～25	0.50	—	0.8	1.10	1.2	—
25～50	0.45	0.60	0.6	0.83	1.0	—
50～100	0.40	0.55	0.5	0.70	0.8	1.10
>100	0.35	0.50	—	—	0.6	0.90
	系数 K_2					
	1.60	1.10	1.3	0.80	1.3	0.80

式中 N_0——轴功率，kW；

Q——输送量，t/h；

H——提升高度，m；

V——提升速度，m/s；

K_1、K_2——与提升机的结构型式及提升量有关的系数，按表19.2.4选取。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.2.5 D型斗式提升机的技术性能

型号		D160		D250		D350		D450	
		S制法	Q制法	S制法	Q制法	S制法	Q制法	S制法	Q制法
输送量，m^3/h		8.0	3.1	21.6	11.8	42	25	69.5	48
物料最大粒度，mm		25		35		45		55	
料斗	容积，L	1.1	0.65	3.2	2.6	7.8	7.0	14.5	15
	间距，mm	300		400		500		640	
每米长度料斗及胶带重 kg/m		4.72	3.8	10.2	9.4	13.9	12.1	21.3	
输送带	宽度，mm	200		300		400		500	
	层数	4		5		4		5	
	外胶层厚度，mm	1.5		1.5					
料斗运行速度，m/s		1.0		1.25					
传动滚筒转速，r/min		4.75						37.5	

注：1. 表中的输送量对于“S”制法的料斗系根据填充系数$\psi=0.6$计算得出；对于“Q”制法的料斗系根据填充系数$\psi=0.4$计算得出；

2. “S”表示深斗，“Q”表示浅斗。

（2）电动机功率：

$$N=K_s\frac{N_0}{\eta_1\eta_2} \qquad (19.2.2)$$

式中 N——电动机功率，kW；

K_s——功率备用系数，与提升机高度有关，当$H<10$m时$K_s=1.45$，当$10<H<20$m时$K_s=1.25$，当$H>20$m时$K_s=1.15$；

η_1——减速器传动效率，一般取$\eta_1=0.94$；

η_2——三角皮带或开式齿轮传动效率，对于三角皮带$\eta_2=0.96$，对于开式齿轮$\eta_2=0.93$。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.2.6 HL型斗式提升机的技术性能

型号		HL 300		HL 400	
		S制法	Q制法	S制法	Q制法
输送量，m^3/h		28	16	47.2	30
输送物料粒度，mm		<40	<40	<50	<50
料斗	容积，L	5.2	4.4	10.5	10
	间距，mm	500		600	
每米长度料斗及链条重，kg/m		24.8	24	29.2	28.3
牵引链条	型式	锻造环形链			
	圆钢直径，mm	18			
	破断力，N	125568			
	节距，mm	50			
料斗运行速度，m/s					
传动链轮转速，r/min					

注：表中的输送量对于“S”制法的料斗按填充系数$\psi=0.6$计算得出；对于“Q”制法的料斗按填充系数$\psi=0.4$计算得出。

表 19.2.7 PL型斗式提升机的技术性能

型号		PL 250		PL 350		PL 450	
		$\psi=0.75$	$\psi=1$	$\psi=0.85$	$\psi=1$	$\psi=0.85$	$\psi=1$
输送量，m^3/h		22.3	30	50	59	85	100
料斗	容积，L	3.3		10.2		22.4	
	间距，mm	200		250		320	
每米长度料斗及链条重 kg/m		36		64		92.5	
料斗运行速度，m/s		0.5		0.4		0.4	
传动链轮转速，r/min		18.7		15.5		11.8	
输送物料粒度 mm	一般物料	55		80		110	
	最大粒度含量不超过10%	75		110		150	

地信网论坛
bbs.8s001.com

表 19.2.8 ZL型斗式提升机的技术性能

型号		ZL25	ZL35	ZL45	ZL60
输送量，m^3/h		55	80	120	160
料斗	斗宽，mm	250	350	450	600
	容积，L	7	9.8	18	24
	间距，mm	250	250	300	300
料斗运行速度，m/s		0.58	0.58	0.58	0.58
每米长度料斗及链重 kg/m		48	55	100	100
传动链轮转速，r/min		27.4	27.4	19	19
提升高度，m		8.2～20.7	8.2～20.7	7.95～18.15	7.95～18.15
电动机功率 kW	C_1制法	7.5	7.5	13	13
	C_2制法	10	10	17	17
	C_3制法	13	13	22	22

19.2.2.2 D型斗式提升机

D型斗式提升机的技术性能列于表19.2.5。

19.2.2.3 HL型斗式提升机

HL型斗式提升机的技术性能列于表19.2.6。

19.2.2.4 PL型斗式提升机

PL型斗式提升机的技术性能列于表19.2.7。

19.2.2.5 ZL型斗式提升机

ZL型斗式提升机的技术性能列于表19.2.8。

19.2.3 脱水斗子提升机

脱水斗子提升机，主要用于洗后中煤和矸石，也适用于输送洗涤后的块状或颗粒状的其他物料。其结构如图18.5.6所示，技术性能列于表19.2.9。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.2.9 脱水斗子提升机的技术性能

名称					代号	单位	数值		
脱水斗子提升机倾斜长度					L	m	14～23		
脱水斗子提升机倾斜角度					α	(°)	55～70		
输送物料粒度					d	mm	0～100		
斗链速度					v	m/s	0.6(对于最终产品) 0.27(对于循环料)		
填充系数	选型时用				ψ		0.5～0.75		
	计算电动机时用						0.9		
斗子	宽度				B	mm	400	600	800
	间距				a_0	mm	640	640	800
	容积				i_0	L	23	34.5	81
最大输送能力	物料	v,m/s	ψ	γ①,t/m³		t/h			
	中煤	0.16	0.5	1.2	Q_1		12.4	18.6	35
	矸石	0.16	0.5	1.4	Q_2		14.5	21.7	41
	中煤	0.27	0.75	1.2	Q_3		31.4	47.2	88.6

① γ 表示物料的松散密度。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.3 螺旋输送机

19.3.1 概 述

螺旋输送机主要用于输送粉状、颗粒状物料，不适宜输送粘性大的和易结块的物料。它的优点是密封性能好、可以多点装料和卸料。它的缺点是机件磨损严重、易使输送的物料破碎。

螺旋输送机使用的环境温度为－20～50℃，输送物料的温度小于200℃。

螺旋输送机的螺旋叶片有实体面型、带式面型及叶片面型三种，如图19.3.1所示。实体面型称为S制法，适用于输送粉状和粒状物料。带式螺旋面型称为D制法，适用于输送粉状及小块状物料。叶片式螺旋面应用较少，可适用于输送粘性和可压缩性物料，在输送过程中，可同时完成搅拌、混合等工序。螺旋叶片的

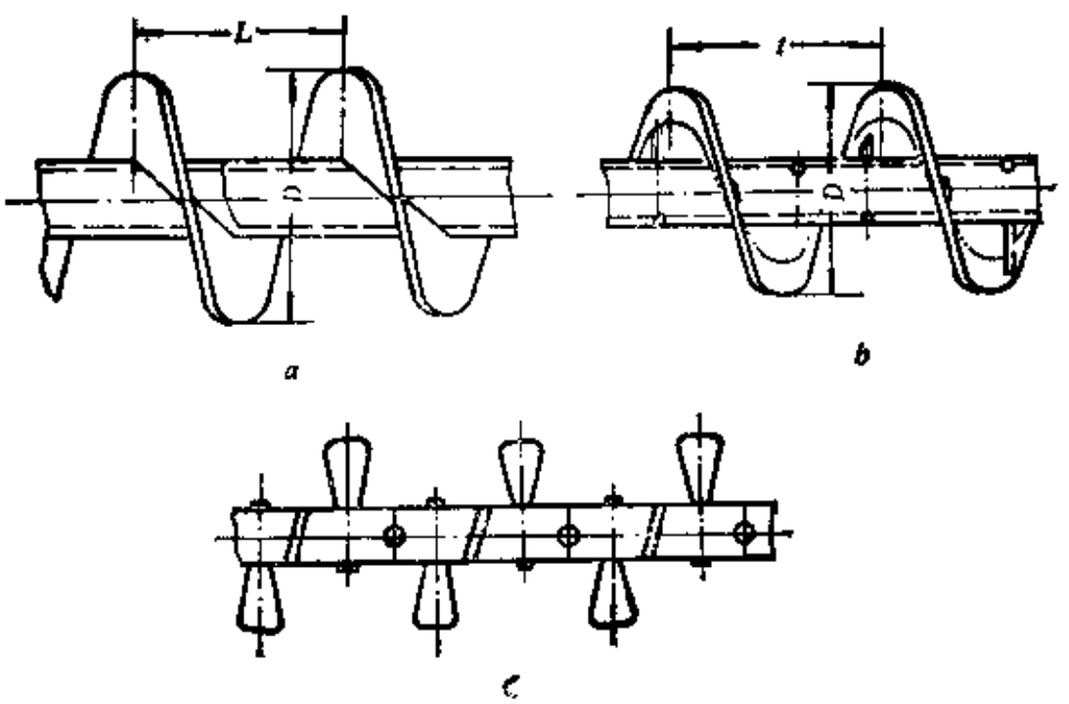


图 19.3.1 螺旋叶片型式

a—实体螺旋面型；b—带式螺旋面型；c—叶片螺旋面型

地信网论坛
bbs.3s001.com

旋转方向有左旋与右旋两种。

螺旋输送机有水平固定式（安装倾角小于20°）、垂直式和弹簧式三种。

19.3.2 螺旋输送机选用计算

19.3.2.1 螺旋直径计算

螺旋输送机的螺旋直径：

$$D \geqslant K \sqrt[2.5]{\frac{Q}{\psi \gamma C}} \qquad (19.3.1)$$

表 19.3.1 K、ψ、A值

物料粒度	物料磨琢性	物料的典型例子	推荐的螺旋的型式	推荐的填充系数 ψ	K	A
粉状	无磨琢、半磨琢性	石墨、石灰、纯碱	实体螺旋面	0.35～0.40	0.0415	75
粉状	磨琢性	干炉粉、水泥、石膏粉、白粉	实体螺旋面	0.25～0.30	0.0565	35
粒状	无磨琢、半磨琢性	泥煤、食盐	实体螺旋面	0.25～0.35	0.0490	50
粒状	磨琢性	型砂、砂、粒状炉渣	实体螺旋面	0.25～0.30	0.0600	30
小块 <60mm	无磨琢、半磨琢性	煤、石灰石	实体螺旋面	0.25～0.30	0.0537	40
小块 <60mm	磨琢性	卵石、砂岩、干炉渣	实体或带式螺旋面	0.20～0.25	0.0645	25
中等及大块 >60mm	无磨琢、半磨琢性	块煤、石灰	实体或带式螺旋面	0.20～0.25	0.0600	30
中等及大块 >60mm	磨琢性	硫矿石、焦炭	实体或带式螺旋面	0.125～0.20	0.0793	15
固状	粘性、易结块	淀粉质的匠	带式螺旋面	0.125～0.20	0.0710	20

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 D——螺旋直径，m；

K——物料特性系数，列于表19.3.1；

Q——输送能力，t/h；

ψ——充填系数，列于表19.3.1；

γ——物料松散密度，t/m^3；

C——倾角系数，列于表19.3.2。

表 19.3.2 C值

倾斜角度β，(°)	0	≤5	≤10	≤15	≤20
C	1.0	0.9	0.8	0.7	0.65

按公式（19.3.1）计算之D值，应取整数为标准螺旋直径：150、200、250、300、400、500、600毫米。

如果输送物料的粒度较大时，螺旋直径D还应与输送物料粒度保持如下关系：

对于未分级物料：$D\geqslant(8\sim10)d$ (19.3.2)

对于分级物料：$D\geqslant(4\sim6)d_{max}$ (19.3.3)

式中 d——物料的平均粒度，mm；

d_{max}——物料的最大粒度，mm。

如果根据输送物料的粒度需要选择较大的螺旋直径，可维持输送量不变的条件下，选择较低的螺旋转速，以延长其使用寿命。

19.3.2.2 螺旋转速的计算

螺旋转速在满足输送能力的条件下不宜过高，以免物料受过大的切向力而被抛起，以致无法向前输送。因此螺旋转速n不能超过其极限转速n_j：

$$n\leqslant n_j=\frac{A}{\sqrt{D}} \tag{19.3.4}$$

式中 n——螺旋转速，r/min；

n_j——螺旋极限转速，r/min；

地信网论坛
bbs.3s001.com

A——物料综合特性系数，列于表19.3.1。

按公式（19.3.4）计算的n_j应取整（n）为下述转速：20、30、35、45、60、75、90、120、150、190转/分。

取整螺旋直径D及转速n的数值后，还必须对充填系数进行验算：

$$\psi=\frac{Q}{47D^2n\gamma tC} \tag{19.3.5}$$

式中 t——螺旋节距，S制法为螺旋直径的0.8倍，D制法与螺旋直径相同，m；

其他符号同前。

19.3.2.3 功率计算

螺旋输送机的轴功率：

$$N_0=(\omega_0L+H)\frac{Q}{367} \tag{19.3.6}$$

式中 N_0——轴功率，kW；

H——倾斜布置时的提升或下降高度，上运时为正，下运时为负，m；

L——水平投影长，m；

ω_0——物料的阻力系数，列于表19.3.3。

表 19.3.3 ω_0值

物料特征	物料的典型例子	ω_0
干的，无磨琢性	粮食、煤粉	1.2
湿的，无磨琢性	麦芽、石英粉	1.5
半磨琢性	块煤、食盐	2.5
磨琢性	卵石、砂、水泥、焦炭	3.2
强磨琢性或粘性	炉灰、矿砂、石灰、砂	4.0

电动机功率：

$$N=K_1\frac{N_0}{\eta} \tag{19.3.7}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 N——电动机功率，kW；

K_1——备用系数，一般取$K=1.15$；

η——驱动装置总效率，一般取$\eta=0.9\sim0.94$。

19.3.3 LS型螺旋输送机

（1）LS型固定式螺旋输送机是定型产品。螺旋直径有100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250毫米12种。

（2）LS螺旋输送机按使用场合不同，分为A型制法和B型制法两种；

（3）LS螺旋输送机的驱动装置装配方法分为左装和右装两种；

（4）LS螺旋输送机的出料口有方形、手推式和齿条式三种。后两种出料口拉板的开闭方向，有左装和右装两种。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.4 振 动 输 送 机

19.4.1 概 述

振动输送机的工作原理是通过激振器强迫承载体（输送槽或输送塔），按一定方向作简谐振动或近似于简谐振动，当振动的加速度达到某一定值时，物料便在承载体内沿运输方向跳动或滑动。

这种输送机的结构简单，承载体磨损小，可以多点给料、卸料，可以输送高温物料（一般为200℃，当采用耐热钢做承载体或采取冷却措施时可达700℃）；如果对承载体稍加改进，在输送物料时还可以实现对物料的筛分、干燥、加温、冷却等工艺要求。

这种输送机输送粉状物料效果不佳，不宜输送含水较多的粘性物料。向上输送时效率不高。

振动输送机，按输送物料的方向不同，可分为水平和垂直式两种。按其驱动方式不同，振动输送机可分为电磁振动、惯性振动和偏心连杆振动式三种。

19.4.2 电磁振动输送机

电磁振动输送机与电磁振动给料机类似，只是输送机的长度

表 19.4.1 GZ型电磁振动管式输送机技术性能

型 号	GZ_1G	GZ_2G	GZ_3G	GZ_4G	GZ_5G
输送管直径D，mm	φ200	φ230	φ250	φ300	φ350
输送量，t/h	2	4	10	20	40
输送物料粒度，mm	50	50	60	70	80
功 率，kW	0.06	0.15	0.2	0.45	0.65
输送管长度，m	1	1.5	2	2.5	3
重 量，kg	80	154	234	448	668

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.4.2 ZDF型电磁振动输送机技术性能

型号	输送量 t/h	物料粒度 mm	双振幅 mm	振动频率 min^{-1}	功率 W	工作电流 A	槽宽 mm	槽长 m	重量 kg
ZDF300/6	3.5	5～10	1.5	3000	400	9.5	300	6	703
ZDF400/4.5	15	40～70	1.5	3000	524	9.4	400	4.7	633

表 19.4.3 GZS型惯性振动输送机技术性能

型号		GZS400—5.7	GZS400—6.7	GZS400—7.7	GZS650—5.7	GZS650—6.7	GZS650—7.7
槽宽，mm		400			650		
槽长，m		5.7	6.7	7.7	5.7	6.7	7.7
输送量 ($\gamma=1.4t/m^3$) t/h		60			125		
输送速度 m/s		0.375			0.375		
物料	粒度 d mm	$0.5<d<150$			$0.5<d<200$		
	温度，℃	<300			<300		
	性质	含水<5%的非粘性物料			同左		
振动参数	单振幅 mm	6			6		
	频率 min^{-1}	16			16		
振动器	型号	GZ—1800	GZ—1800	GZ—2500	GZ—3200	GZ—3200	GZ—4000
	转速 r/min	960			960		
电动机	功率 kW	1.5			3		
	转速 r/min	1410			1430		
设备重量，kg		1270	1450	1650	2280	2530	2860

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.4.4 振动输送机使用实例

使用单位		商丘电厂	北京石灰厂	青岛、锦州水泥厂	上海耐火材料厂	抚顺铝厂	北京铁矿
输送量，t/h		14～20	27	60；125	60	3.5～10	120
物料	名称	煤	石灰	熟料	矾土	焦炭	铁精矿，尾矿
	松散密度 t/m³	0.75～0.8	1.1	1.4			2～2.2，1.5～1.7
	粒度 mm	0.2～1占52%	0～150	0.5～200	0～60	30～50	－0.074mm 30%
	含水，%	18					
	温度，℃		60	＜200		200	
振幅，mm		0.6	3.5～4.5	6	＜5	6	7
频率，min^{-1}		3000	850～950	960	840	630	600
振动方向角（°）		23	36	30	30	30	30
槽体倾角（°）		0	0	0	0	0	0
输送速度 m/s		0.5	0.15～0.25	0.375	0.25	0.2	0.2～0.25
弹性支承系统	特征	双质体	单质体	双质体	单槽不平衡	单槽不平衡	双槽平衡
	驱动型式	电磁	惯性	惯性	弹性连杆	弹性连杆	弹性连杆
	主振弹簧	螺旋	橡胶	螺旋	橡胶	螺旋弹簧	橡胶弹簧
	支承型式	板弹簧	无	板弹簧	橡胶铰链摆杆	板弹簧	橡胶铰链摆杆
	减振型式	无	螺旋弹簧	螺旋弹簧	螺旋弹簧	橡胶弹簧	橡胶弹簧
输送槽	长度，m	3.5	6.27	6.5	51	17.5	18
	宽度 mm	400	φ426×12	400；650	400	320	400
	高度 mm	200		300	320	200	350

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.4.4

使用单位		商丘电厂	北京石灰厂	青岛、锦州水泥厂	上海耐火材料厂	抚顺铝厂	北京铁矿
电动机	型号	DZ400W激振器					
	功率 kW	0.4	3	1.5；3	15	4	10
	转速 r/min		1430	1410；1430	1000	950	970
总重，kg		1200		1265；2020	22191	4000	11000

较长，可达 8 米。为加长其输送距离，可采用多台电磁振动器驱动，但同步调整较为困难。常用的电磁振动输送机有GZ型和ZDF型。

19.4.2.1 GZ型电磁振动管式输送机

GZ型电磁振动管式输送机，适用于输送粉尘较多、具有挥发性以及温度在300℃以下的高温物料。可以将2～3台输送机用刚性连结同步输送，以增加输送距离。其技术性能列于表19.4.1。

19.4.2.2 ZDF型电磁振动输送机

ZDF型电磁振动输送机为双质点共振型，由于振动载荷很小，对设备基础无特殊要求。技术性能列于表19.4.2。

19.4.3 惯性振动输送机

惯性振动输送机采用惯性激振器或振动电动机驱动。使用于水泥行业的GZS型惯性振动输送机的技术性能列于表19.4.3。

19.4.4 偏心连杆振动输送机

偏心连杆振动输送机的驱动机构，有弹性连杆式、半刚性连杆式和刚性连杆式三种。

偏心连杆振动输送机以及其他型式的振动输送机的使用实例列于表19.4.4。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.5 给 排 料 设 备

19.5.1 带式给料机

带式给料机是一种承受压力较大、长度较短的带式输送机，也是一种比较经济的给料设备。它的安装型式有三种，如图19.5.1所示：a型适用于粉料，带面承受压力很大；b型适用于一般物料，在仓斗与给料机之间可设置调节闸阀；c型适用于非粘性之中、细粒物料，在仓斗与给料机之间一般都设置闸阀，给料机带面没有矿仓料柱的压力。

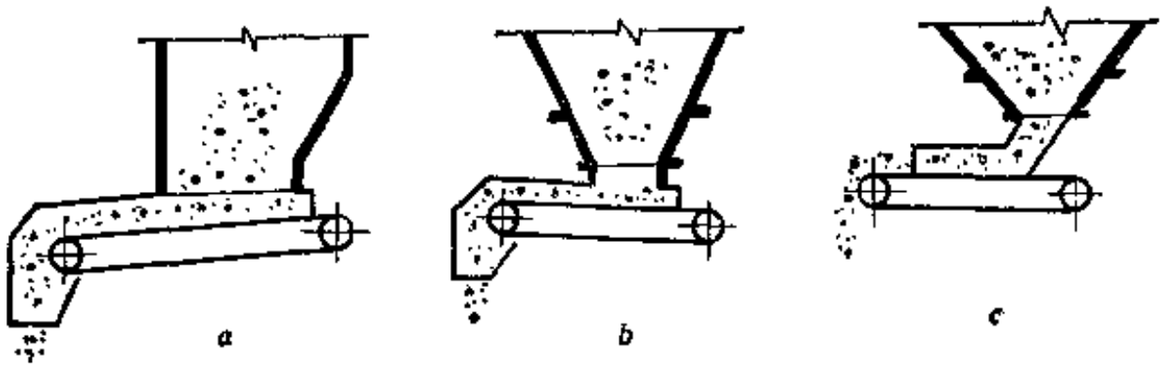


图 19.5.1 带式给料机的安装型式

带式给料机的带速一般在0.3米/秒以下，如果给料机上没有闸阀控制矿仓的排料量，给料机的带速可提高到1米/秒。当物料粒度超过350毫米时，最好不要采用带式给料机。

带式给料机无系列产品，一般由选用者设计。其结构如图19.5.2所示。

19.5.1.1 带式给料机生产量的计算

$$Q_t = 3600 K_1 b h \gamma v \qquad (19.5.1)$$

式中 Q_t——生产量，t/h；

K_1——栏板槽体利用系数，一般取$K_1=0.75\sim0.85$；

b——两栏板之间的距离，一般大于物料最大粒度的2.5

地信网论坛
bbs.3s001.com

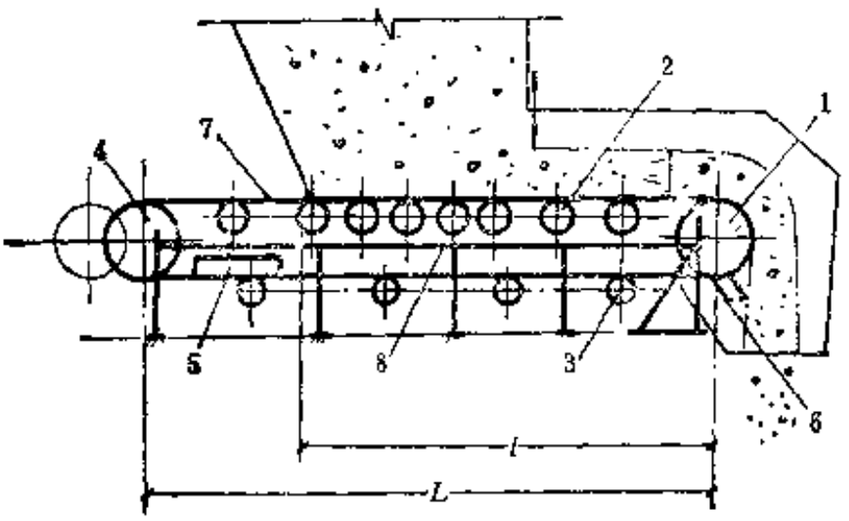


图 19.5.2 带式给料机的结构示意

1—传动滚筒；2—上托辊；3—下托辊；4—拉紧装置；5—空段清扫器；6—清扫器；7—输送带；8—支架

倍， m；

h——栏板高度， m；

γ——物料的松散密度， t/m^3；

v——带速， m/s。

19.5.1.2 电动机功率计算

$$M=\frac{K_2}{\eta}(P_Q+P_K+P_\rho) \qquad (19.5.2)$$

式中 M——电动机功率， kW；

K_2——安全系数， $K_2=1.1\sim1.15$；

η——传动效率， $\eta=0.94\sim0.97$；

P_Q——荷载消耗功率， kW；

P_K——栏板消耗功率， kW；

P_ρ——料压消耗功率， kW。

（1）P_Q的计算：

$$P_Q=\frac{Q_t}{300}(0.2L+H) \qquad (19.5.3)$$

式中 Q_t——生产量， t/h；

地信网论坛
bbs.3s001.com

L——给料机长，m；

H——给料垂直高差，下行时取负值，m。

（2）P_K的计算：

$$P_K=10h^2l\gamma vf\frac{v+1.2}{1+\sin\delta} \tag{19.5.4}$$

式中 h——料层厚度，m；

l——栏板长度，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3；

v——带速，m/s；

f——物料与栏板的摩擦系数，$f=0.4\sim0.7$；

δ——物料的有效内摩擦角，(°)。

（3）P_p的计算：

$$P_p=\frac{\mu\sigma_1 bl_0v}{1000} \tag{19.5.5}$$

或：

$$P_p=\frac{\mu\sigma_1\pi D^2v}{4000} \tag{19.5.6}$$

又：

$$\sigma_1=1000K_3\gamma gbf_f \tag{19.5.7}$$

或：

$$\sigma_1=1000K_3\frac{\delta gDf_f}{2} \tag{19.5.8}$$

式中 μ——摩擦系数，$\mu=0.4\sim0.45$；

σ_1——料柱压力，Pa；

b——料仓卸料口宽度，m；

D——料仓卸料口直径，m；

l_0——料仓卸料口长度，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3；

g——重力加速度，$g=9.81m/s^2$；

f_f——流动因素，见公式（20.1.11），图20.1.17及20.1.18；

地信网论坛
bbs.3s001.com

π ——圆周率；

K_3——料仓装料压力系数，如果给料机运转中常出现仓空装料，取$K_3=2\sim4$；如果保持料仓存料高度不小于3m，则取$K_3=1.2$。

19.5.1.3 输送带最大张力计算

$$S=K_4\frac{1000(P_L+P_K+P_p)}{v} \qquad (19.5.9)$$

式中 S——最大张力，N；

K_4——系数，传动滚筒为光面时取$K_4=1.85$；为胶面时取$K_4=1.5$；

v——带速，m/s；

其他符号同前。

19.5.1.4 输送带层数计算

$$i=\frac{K_5S}{B\sigma_p} \qquad (19.5.10)$$

式中 i——输送带芯帆布层数，层；

K_5——安全系数，一般取$K_5=12$；

B——带宽，m；

σ_p——帆布芯径向强度，N/(m·层)。

19.5.2 板式给料机

板式给料机有系列产品。它的输送带由钢制链板组成，链板之间用销子连结，链板带有裙边。它可经受沉重的工作荷载。选矿厂常用的板式给料机有重型和中型两种。前者可受数十吨以上矿车卸下的矿石的直接冲击，最大给料粒度可以超过1000毫米；后者最大给料粒度不超过350毫米。链板的宽度一般按给料最大粒度的2～2.5倍选取，带速为0.025～0.15米/秒。

板式给料机的生产量按下式计算：

$$Q_i=3600Kbh\gamma v \qquad (19.5.11)$$

式中 Q_i——生产量，t/h；

地信网论坛
bbs.3s001.com

K——充满系数，$K=0.8$；

b——料仓排料漏斗宽度，一般为链板宽的0.9，m；

h——料层厚度，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3；

v——带速，m/s。

19.5.3 槽式给料机

槽式给料机的结构较简单，如图19.5.3所示。它既可以安装

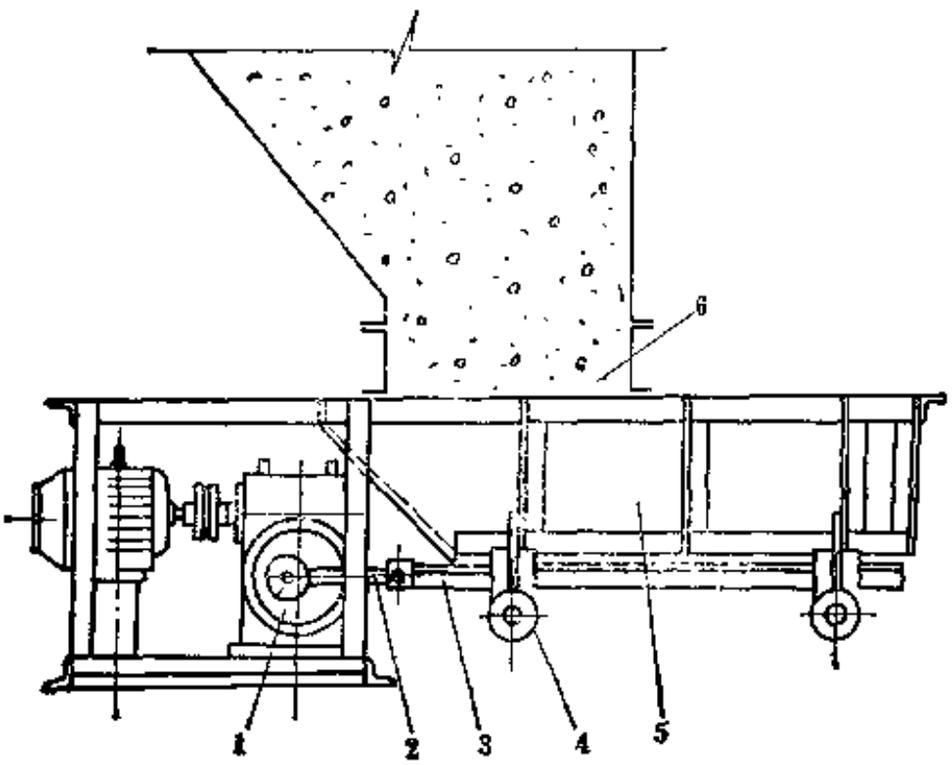


图 19.5.3 槽式给料机

1—驱动装置偏心轮；2—连杆；3—往复底板；4—托轮；5—料槽；6—连接料仓的漏斗、法兰

于地面，也可以吊装在料仓卸料口处。槽式给料机底板冲次为20～60次/分，冲程为20～200毫米。冲程可由驱动装置偏心轮适当调整，偏心距为冲程之半。据某些选矿厂实践，当处理粘性矿石时，偏心距最好不小于50毫米。槽式给料机槽体的宽度约为最大给料粒度的2～2.5倍。已使用的槽式给料机，可满足500毫米

地信网论坛
bbs.3s001.com

以下粒度矿石的给矿，但最常用的是980×1240毫米的一种，其给矿粒度为350～0毫米，作为400×600颚式破碎机的给料设备是适宜的。

19.5.3.1 槽式给料机生产量的计算

$$Q_t = 120K_1BhnR\gamma \tag{19.5.12}$$

式中 Q_t——生产量，t/h；

K_1——充满系数，$K_1=0.8$；

B——槽宽，m；

h——料层厚度，m；

n——冲次，次/min；

R——偏心距，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3。

19.5.3.2 槽式给料机的功率计算

（1）槽体内物料重力：

$$F_g = 1000BhL\gamma g \tag{19.5.13}$$

式中 F_g——物料重力，N；

B——槽体宽度，m；

h——料层高度，m；

L——槽体长度，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3；

g——重力加速度，$g=9.81m/s^2$。

（2）料柱重力：

$$F_p = \sigma_1 bl \tag{19.5.14}$$

式中 F_p——料柱重力，N；

b——料仓卸料口或连结漏斗口宽度，m；

l——料仓卸料口或连结漏斗口长度，m；

σ_1——料柱压力，Pa，见公式（19.5.7）及（19.5.8）。

（3）底板后退时，物料与底板的摩擦力：

$$F = f(F_g + F_p) \tag{19.5.15}$$

式中 F——摩擦力，N；

地信网论坛
bbs.3s001.com

f——底板与物料的摩擦系数，$f=0.4\sim0.7$。

（4）底板最大速度：

$$v=\frac{2\pi Rn}{60} \tag{19.5.16}$$

式中符号同前。

（5）电动机功率：

$$M=K_2\frac{Fv}{1000\eta} \tag{19.5.17}$$

式中 M——电动机功率，kW；

F——摩擦力，N；

v——底板最大速度，m/s；

K_2——计入底板、托轮、偏心轮等的阻力系数；

η——传动效率。

19.5.4 摆式给料机

摆式给料机的结构如图19.5.4所示。阀扇的摆动次数一般为45～50次/分。阀扇后退时，物料从阀扇与阀体形成的一个间隙中排出。这个间隙是由偏轮的偏心距决定的。偏心距的调节范围视给料机的规格而异。由此可见，这种给料机只适应细粉的给料（粒度一般不超过25毫米）。

摆式给料机的品种不多，规格较小，多作为球磨机集矿带式输送机的给料设备。

摆式给料机的生产量按下式计算：

$$Q_t=60bhl\gamma n\phi \tag{19.5.18}$$

式中 Q_t——生产量，t/h；

b——排矿口宽度，m；

h——阀扇与阀体间隙高度，m；

l——阀扇摆动行程，m；

γ——物料的松散密度，t/m^3；

n——偏心轮转数，r/min；

地信网论坛
bbs.3s001.com

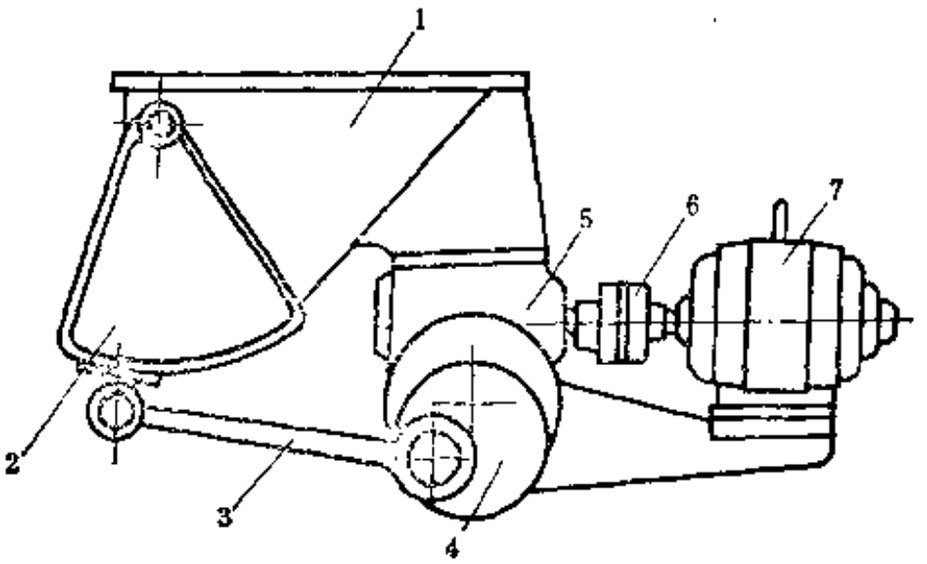


图 19.5.4 摆式给料机

1—阀体；2—阀扇；3—连杆；4—偏心轮；5—减速箱；6—联轴器；7—电动机

ϕ——系数，一般取$\phi=0.3\sim0.4$。

19.5.5 圆盘给料机

圆盘给料机是一种容易调节、给料较准确、容易实现自动化

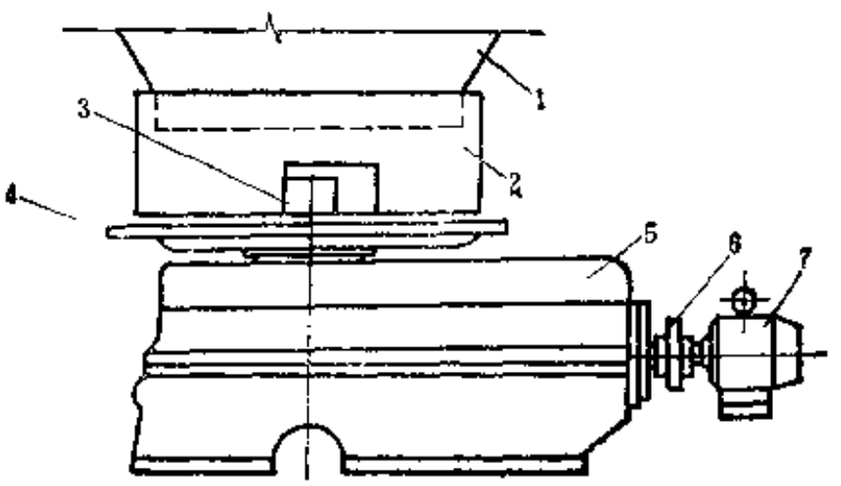


图 19.5.5 圆盘给料机

1—料仓漏斗；2—套筒；3—刮料器；4—圆盘；5—机座；6—联轴器；7—电动机

地信网论坛
bbs.3s001.com

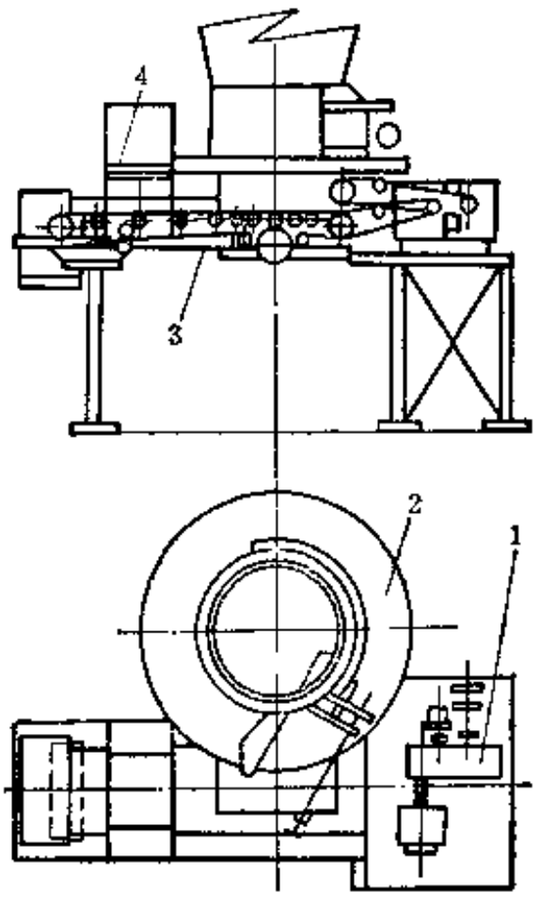


图 19.5.6 定量式圆盘给料机

1—驱动装置；2—给料机本体；3—计量用胶带机；4—计量装置

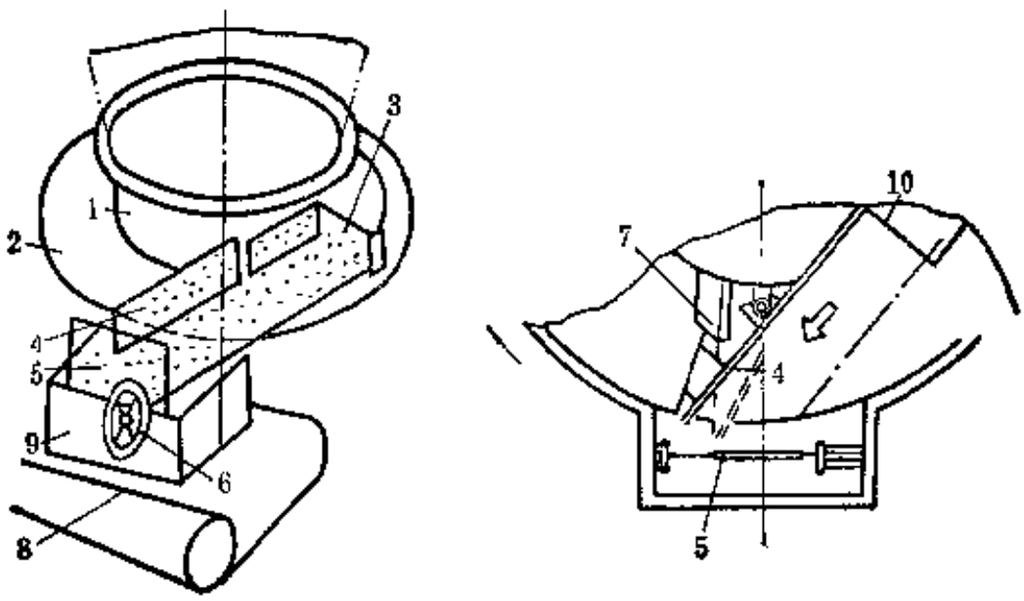


图 19.5.7 机体与料槽连接处示意

1—圆盘套筒；2—圆盘；3—闸门；4—插板；5—调整板；6—调整闸门用手柄；7—固定螺栓；8—胶带机；9—槽；10—闸门

地信网论坛
bbs.3s001.com

操作的、适用于细粒物料（20毫米以下）的给料设备。图19.5.5是一种老式的，也是过去常用的圆盘给料机；图19.5.6是宝山钢铁厂使用的定量式圆盘给料机。这种给料机和胶带机由一套驱动装置驱动，并设有电磁离合器。电磁离合器既实现给料机的开停，又兼有能力转换功能。图19.5.7为定量式圆盘给料机本体与料仓下部漏斗连接处的示意图，它由带有扇形闸门的圆盘套筒、承受料仓压力的圆盘、刮料板和物料调整构件等组成。物料借助于圆盘的回转引导从排料口排出。计量用胶带机的带速不超过1米/秒。计量装置由台架、第一杠杆、第二杠杆、底载消除装置、制动器、过负荷保护装置、油阻尼器、遥控检衡装置和测力传感器等组成。

19.5.6 振动给料机

振动给料机按其振动源分类有电磁振动和机械振动两种；按振动器与给料机槽体连结所产生的振动力分，有直接连接振动和间接弹簧连接的谐振两种。

给料机工作时，振动槽基本上被一个和振动槽形成一定角度的近似于正弦波的力所驱动。物料在振动槽上的运行速度，与振动频率、振幅和槽体倾角有关，一般为0.15～0.4米/秒。振动频率一般为600～7200次/分。振幅一般为0.1～30毫米。

增大振动槽的向下倾角，可以增大其生产能力，倾角在－12。至＋12°之间，每变化1°，将使产量改变约3%。

振动给料机的槽底还可以制成筛算式的，达到既给料又筛分的目的，此种情况，可减小下面带式输送机的输送带的磨损程度。

19.5.6.1 电磁振动给料机

电磁振动给料机是一种谐振式振动给料机。电磁振动器与槽体连结的弹簧有板弹簧、螺旋弹簧和橡胶弹簧等几种。前两种结构型式的电磁振动给料机，我国已有系列产品。图19.5.8为国产DZL电磁振动给料机的大样。这种给料机的振动频率为3000次/

地信网论坛
bbs.3s001.com

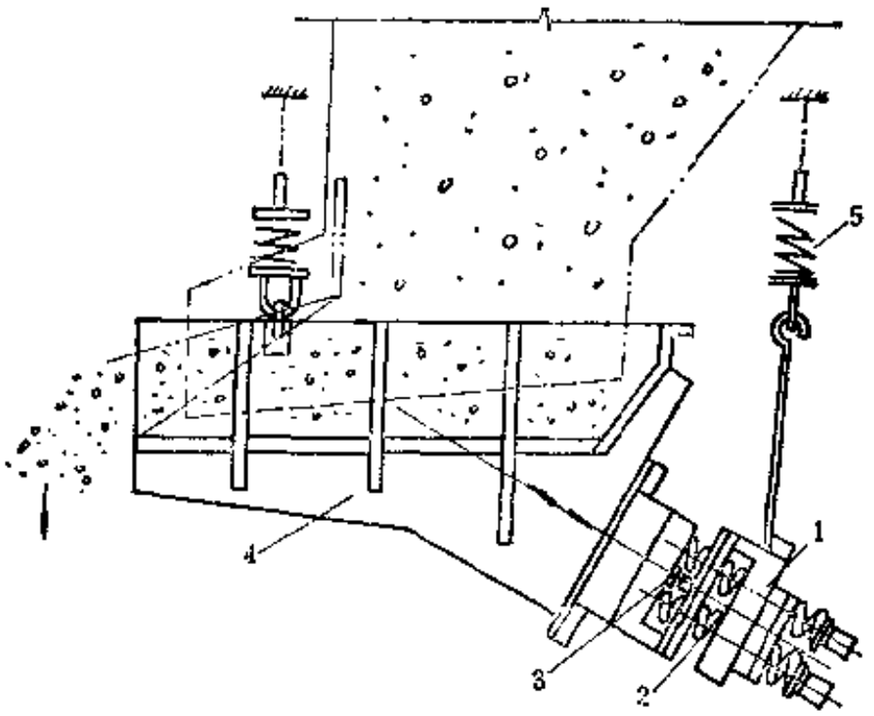


图 19.5.8 电磁振动给料机

1—振动器；2—弹簧；3—衔铁；4—槽体；5—减振器

分，振幅为1.5毫米（单振幅为0.75毫米）。

电磁振动给料机结构简单、操作方便，无相对运转部件，不需要润滑，便于维护；设备是在低临界共振状态下工作的，电耗小；由可控硅控制，可以很方便、均匀地调节给料量；物料在槽体中跳跃前进，对槽体磨损小；影响建筑物的振动力小，便于吊挂安装。由于它具有上述的优点，因此已得到广泛的应用。但是，这种设备振幅小，放粘滞性湿粉状物料会在振动槽中产生结实现象，严重时会使料仓口完全堵塞。另外，物料的湿度、粒度对给料机生产量的影响比较显著，如图19.5.9和19.5.10所示。

19.5.6.2 振动放矿机

振动放矿机是近年来应用于矿井放矿的较好设备，已开始在选矿厂推广使用（表19.5.1）。振动放矿机的安装型式有坐式和吊挂式两类。振动器和槽体的连结方式有直接连结和间接弹簧连结两种。振动器是由振动电机和它带动的偏心体组成。偏心体可直

地信网论坛
bbs.3s001.com

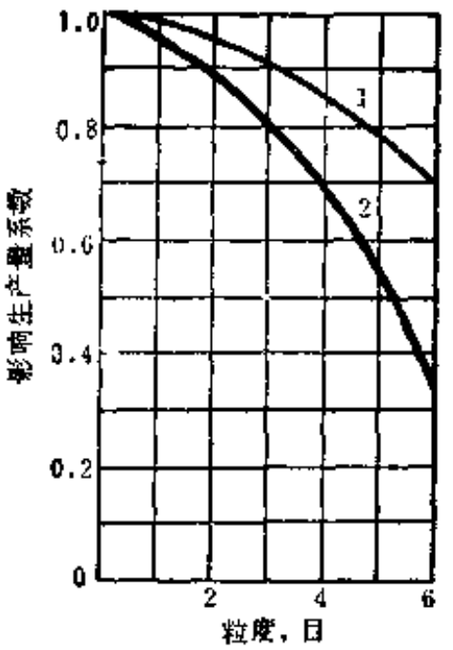


图 19.5.9 物料含水对给料机产量的影响
1—含水3%；2—含水8%

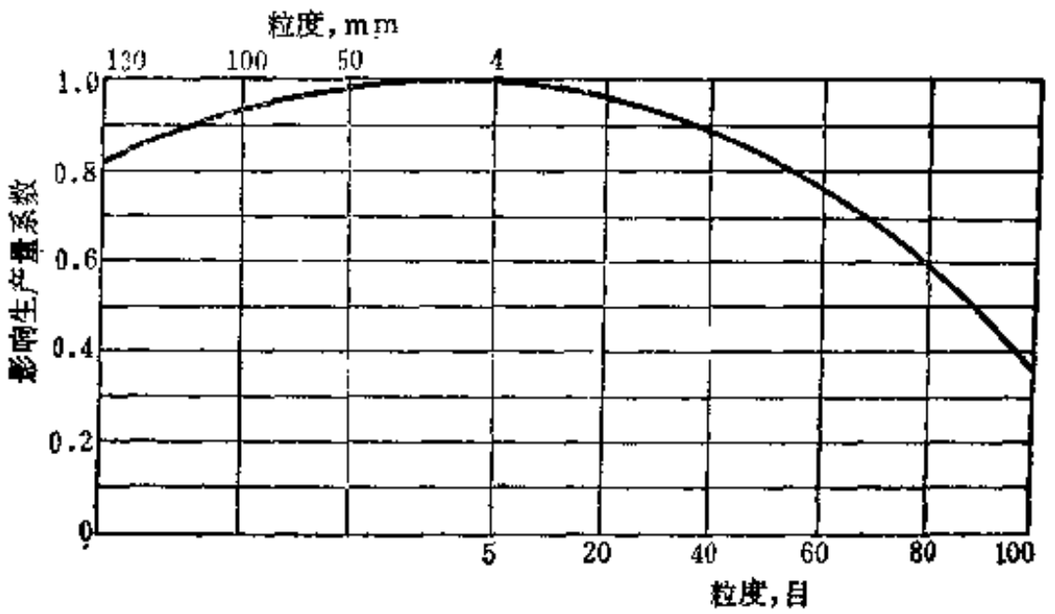


图 19.5.10 物料粒度对给料机产量的影响

接配置在电动机的轴上。图19.5.11是一种带有破拱架的振动放矿机，由横店冶金机械厂研制，安装于灵乡铁矿10～0毫米的粉矿仓下，以代替原设置的750×750气动溜槽，取得了显著效果。

地信网论坛
bbs.3s001.com

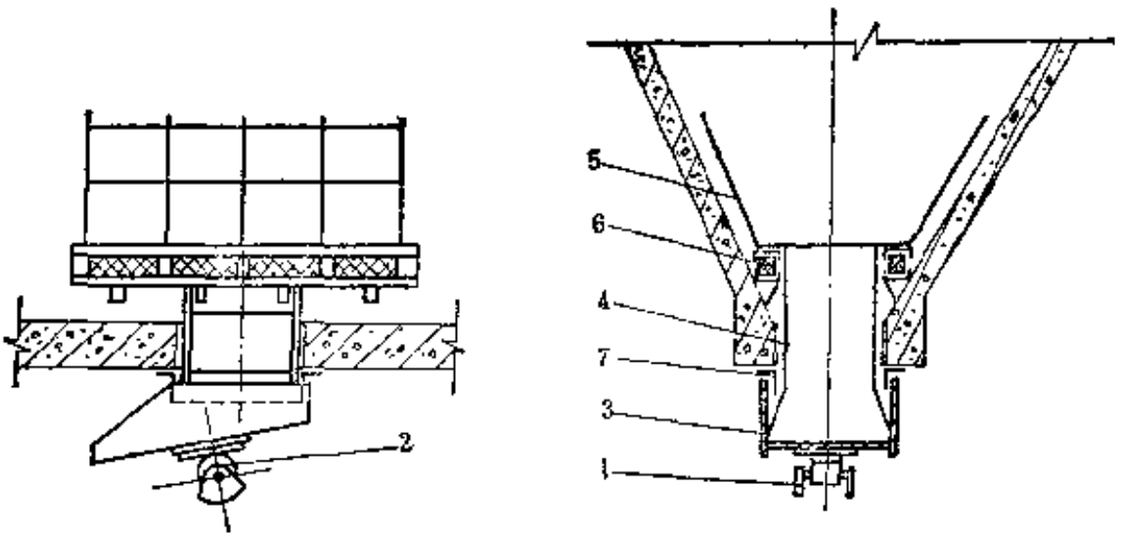


图 19.5.11 振动放矿机

1—偏心体；2—振动电机；3—槽体；4—吊架；5—破拱架；6—橡胶弹性体；7—密封板

表 19.5.1 振动放矿机使用实例

规格（宽×长）mm	额定激振力 kN	振动频率 次/min	振幅 mm	功率 kW	倾角 (°)
900×2300	18	940	2	3	
900×2005	30	1420	1.5～1.7	4	−7
1414×6750①	175	120～1200	0～4	22	−14
760×1270		940	3	3	

规格（宽×长）mm	生产量 t/h	给料粒度 mm	机重 kg	使用单位
900×2300	639	10～0	1050	灵乡铁矿成品矿仓
900×2005	320	350～0	1600	程潮选矿厂原矿仓
1414×6750①	250	900～0	5298	宜春钽铌矿选矿厂原矿仓
760×1270	80	30～0	690②	铁坑铁矿选矿厂矿仓

①筛面长3600mm；②不包括破拱架的重量。

19.5.7 卸 矿 阀

卸矿阀是一种最简单的放矿设备，其操作是由人力扳动杠杆

地信网论坛
bbs.3s001.com

或是由操作人员通过压缩空气、液压活塞、电动机驱动等方法进行控制。它们只能成功地用于自由流动物料的放矿以及对自动控制要求不高的料仓放矿。卸矿阀虽无系列产品，但其品种繁多。图19.5.12示意了几种典型结构。

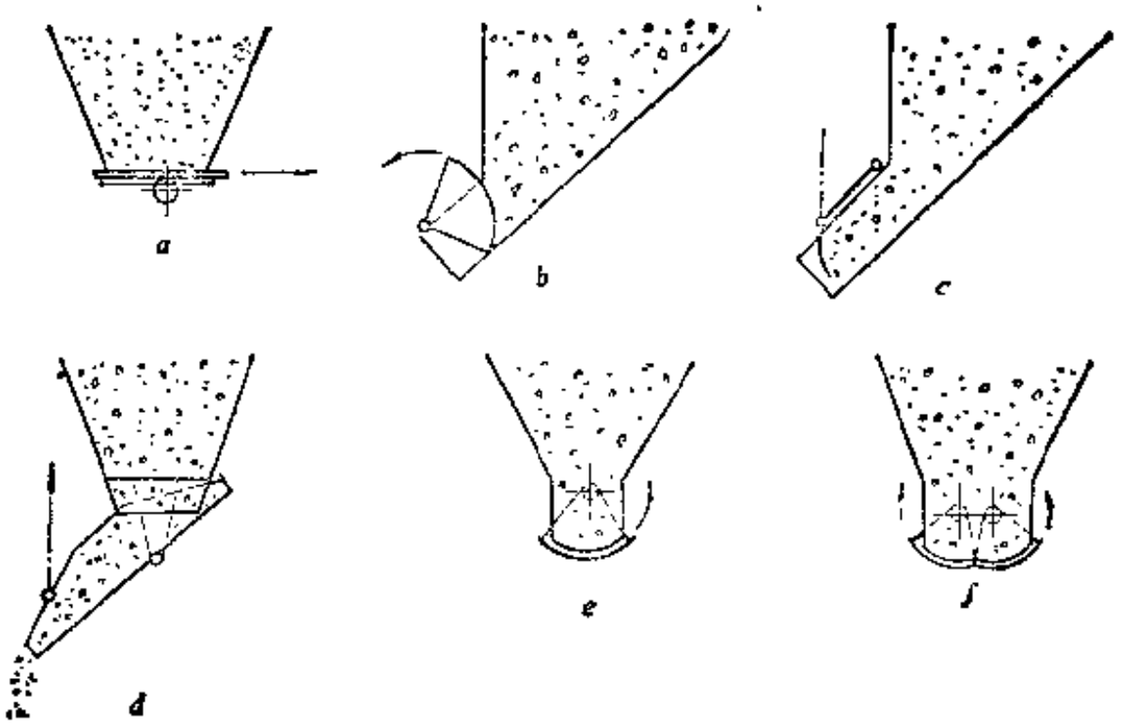


图 19.5.12 卸矿阀类型示意

图19.5.12*a*是一种平板阀，仅适用于贮存干精矿粉或含水在8%左右的重、磁选湿精矿粉(粒度-0.0074毫米小于80%以下)矿仓的卸料，它的开闭机构可以用电动机驱动。*b*是一种侧向单扇形阀，适用于200毫米以下的物料，一般以手动杠杆或手动链、齿轮驱动。*c*是一种爪状阀，适用于粗粒物料，其最大粒度可达500毫米左右，一般用压缩空气驱动。*d*是一种气动溜槽，适用于200毫米以下的物料。*e*是一种底卸式单扇形阀，一般以手动杠杆或气压活塞、液压活塞驱动。*f*是一种类似于*e*的底卸式双扇形阀，适用于300毫米以下的物料。

近年来研制的电动推杆可用于卸矿阀，可以减轻劳动强度、省去压缩空气装置；操作控制也比较方便。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.6 浆体管、槽水力输送及矿浆泵

19.6.1 浆体管、槽水力输送的发展概况

浆体管、槽水力输送是利用水力运送固体物料的一种方式。早在1891年美国就有人将煤捣碎在管道中用水冲运，并取得专利。但正式用于工业生产是在1914年英国太晤士河畔的一家电厂，该厂利用管径为200毫米、长604米的管道水力运煤。此后，由于美国人道尔(Dorr)发明的连续作业浓缩机的配合，为固体物料管道水力输送的发展创造了有利条件，但长期以来，浆体管道输送的浆体浓度很低，经营费用及动力消耗都很大，故大大限制了浆体管道输送的使用范围。1949年美国联合煤矿公司(Consolidation Coal Co.)为了将运煤费用减少二分之一，进行煤炭高浓度、远距离管道输送的研究，并取得成功。1956年该公司建成了一条长达174公里、管径250毫米的输煤管。煤浆输送的重量浓度高达50%左右，引起了很多国家的广泛注意。自此以后，固体物料管道水力输送的应用范围愈来愈广，陆续推广用于铜、铁、……等金属精、尾矿矿砂，以及石灰石、泥砂、化工原料等粉料。目前，正在向大口径、远运距、高浓度、大运量的管道输送发展。美国即将动工的能源运输公司（ETSI）输煤管道长度为2205公里、管径为965毫米，年运煤量达2500万吨；西德最近为苏联设计的一条铁精矿输送管，管径为550毫米，长度为20公里，输送浓度达52～60%，每年可外运650万吨铁精矿。经技术经济比较表明，管道投资比敷设铁路少三分之一，可节约金属25%，操作人员可以减少90%左右。

固体物料管道水力输送在我国冶金、煤炭、水利、电力等部门中虽有多年的使用历史，但至今为止绝大多数以低浓度输送为主。高浓度矿浆管道输送只是在80年代初才刚刚开始接触，采用

地信网论坛
bbs.3s001.com

的厂矿就全国来说还不是很多，但这种输送方式比低浓度输送无论在经济上或节能上都具有明显的优越性，这一点逐渐为人们所认识。因此可以预计今后高浓度矿浆管道水力输送必将在我国发挥其应有的作用。

固-液两相管流理论目前有些问题尚需进一步研究，还没有较为简单的、通用的计算参数与公式可供设计者或管理人员采用。有关浆体管、槽输送的水力参数绝大多数尚需通过试验手段取得、或采用经验性、半经验性的公式进行计算。而这些经验性、半经验性公式基本上都是在特定的条件下通过试验推导而来的，故其使用范围与适用条件有很大的局限性。因此，在设计时如要想取得比较符合实际情况的参数，尤其是大型长距离管道水力输送，目前来说，试验工作是不可缺少的手段。

长距离矿浆水力输送主要是利用管道作为运输工具。沟、槽输送矿浆多用于选矿厂内或运距不太长的厂外输送，而且所运送的矿浆一般都是低浓度的，比起管道输送客观条件要简单得多。故本章以介绍矿浆管道水力输送为主，对矿浆沟、槽输送只作简要的介绍。

管道水力输送的物料大体上可以分为有用物料和废渣两类，如金属矿主要是精矿和尾矿。精矿管道水力输送是将选矿厂生产的精矿通过管道运送到冶炼厂、港口或其他用户；尾矿管道水力输送是指选矿厂外排的尾矿利用管道运送到堆存地点。两者在系统构成上虽然并不完全相同，但在水力输送特性上两者有其一致性。都是利用等于或略大于临界流速的流速，即矿浆内所有的固体颗粒都呈悬浮状态或大部分呈悬浮状态少量为推移状态下，进行输送。因为只有这样所需的输送动力及管道内的压力损失才能减至最低。同时，也不会出现管底沉积。浆体沟、槽输送也同样存在工作流速要略大于或等于临界流速的问题，但其主要目的只是避免出现阻塞。

根据浆体输送的技术条件，浆体管道水力输送系统一般可分为压力输送、自流输送、混合输送（即先压力后自流；或先自流

地信网论坛
bbs.3s001.com

后压力）等三类。输送系统的采用主要决定于浆体输送的客观条件。为了减少能源的消耗与简化生产环节，一般应优先考虑自流输送。

19.6.2 浆体的流体分类

根据在管、槽横断面上浆体内固体颗粒的分布情况，可将浆体分为均质与非均质两大类流体。所谓“均质流体”是指管、槽横断面内上下层间无明显的固体浓度梯度；浆体内悬浮固体没有趋于向下沉降的惯性力；粘滞力在颗粒间起着主导作用。非均质流体与此正好相反，横断面上下层固体浓度的变化非常明显；悬浮固体颗粒受惯性力的影响很强烈，而粘滞力几乎不存在。简言之，均质流是粘度很高的浆体；而非均质流则是固粒惯性影响占优势，以致粘滞力可以忽略。但严格来说，真正的均质流体客观上是很少见的，因为在浆体中绝对静止的悬浮固体是不存在的，总会有下沉的趋势，只是有些细小固粒沉速非常微小而已。故客观上只存在着近似均质的流体。一般称之为“准均质”（伪均质、似均质）流体。目前，所谓管道输送的“高浓度浆体”主要是指这类浆体而言。

对于固-液两相流这种浆体来说，它基本上是以滚动、跳跃、悬浮、和层移几种形式在运动，当浆体内的固体含量很高，特别是含有一定数量小于0.01毫米的细颗粒时，将会出现即使在静止条件下，固、液相也不会发生分选或明显分选的现象。这时水流实质上属于一相的准均质流体。这种准均质流体有可能是牛顿流体，但更多的则属于非牛顿流体。

清水、非均质流体等在管道内呈层状流动时，因剪切作用面出现的应力与切(应)变率之间的关系为正比例关系，即符合下列牛顿定律公式：

$$\tau_w = \mu \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y} \tag{19.6.1}$$

上述公式是专门对平板间的流体而言的，对于管流上述公式

地信网论坛
bbs.3s001.com

应改写为哈根—波塞尔公式(Hagen—Poiseuille formula):

$$\tau_w = \mu \frac{8v}{D} \tag{19.6.2}$$

式中 τ_w——管、槽壁面上的切应力;

μ——粘滞性系数(或简称粘度);

v——流体的平均流速;

$\frac{dv}{dy}$——切(应)变率(流速梯度);

D——管径。

服从上述两个公式的流体称为牛顿(型流)体。如将公式(19.6.1)绘制成曲线图,则层流状态切应力与切变率之间的关系为通过坐标原点的一条直线(图19.6.1),直线斜率就是粘度。很明显,这类流体在层流时,可用一个流动参数——粘度(粘滞性系数)来表征。

绝大多数均质流体不服从于牛顿定律,故不是牛顿(型流)体。这种流体中的悬浮固体颗粒基本上是呈现均匀分布,故可视为单相流体。在层流时,这种流体内任一点的剪切力(即切应力)只与该点的切变率成函数关系,而与流体的其他位置、其他因素等无关。其剪切力与切变率的关系曲线不是通过原点的直线,或者根本就不是一条直线(图19.6.1),因此,不符合公式(19.6.1)的特性,故此类流体被称之为"非牛顿型流体"。这类流体所包括的类型很多,如假塑性型、宾汉型(Bingham behavior)、屈服—假塑性型……等等。不过,对于金属矿浆来说,大多为纯粘性非牛顿流宾汉型流体。其主要特征是这种流体在静止时具有足够刚度的三维结构,足以抵抗小于屈服应力的任何力。当超过屈服应力,则这种结构就要分解,呈现与牛顿流体一样的特性。但当作用力降低到屈服应力以下时,原有的结构又恢复起来。表示宾汉型特性的公式为:

$$\tau_w = \tau_0 + \eta \frac{dv}{dy} \tag{19.6.3}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

为了适用于管流，布金汉姆(Bucking Ham)将公式(19.6.3)化为下式，即布金汉姆方程(Buckingham Equation)：

$$\tau_w = \eta\left(\frac{8v}{D}\right) + \frac{4}{3}\tau_0 \qquad (19.6.4)$$

式中 D——管径；

τ_w——管壁切应力；

τ_0——屈服切应力(起动切应力)；

η——塑性系数；

$\frac{dv}{dy}$——切变率；

v——平均流速。

符合公式(19.6.3)和(19.6.4)的流体皆称为非牛顿流宾汉型流体。金属矿高浓度精、尾矿浆多具有此类型或近似此类型流体的特性。浆体的这种性质通常称之为"流变性质"或"流变特性"。

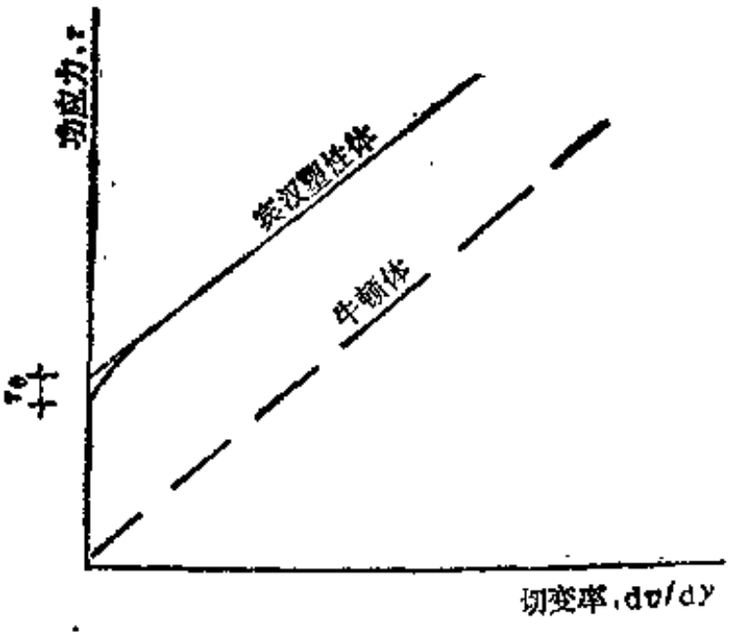


图 19.6.1 牛顿型流体与宾汉型流体的切应力—切变率曲线图

为了减少浆体输送时的能耗与水头损失，一般都希望输送流速限定在层流转变为紊流的粘性过渡流速区内，此时的流速一般

地信网论坛
bbs.38001.com

称为“临界流速”。其主要特点是粘性对水头损失有很明显的影响。因此在进行浆体管、槽输送设计时，必需要确定浆体的流型（流变特性）、流型与粘滞系数的关系、临界流速、水头损失等条件和数据。但在流变学中至今尚未得出普遍适用描述流型与粘滞系数关系的表达式，故只能通过试验手段或半试验半试算的方法取得所需的数据及资料。而这些数据及资料又都与悬浮介质和固体物料的特性有关。尤其是固体颗粒的密度、粒径、浆体内固体物料的含量（浆体浓度）、管径等都是决定浆体特性和输送参数的主要因素。同时，它们之间又有着相互制约相互影响的关系，如固体粒度组成的变化将对浆体粘度有很大的影响。粒度愈细或粒度组成愈均匀则粘度就愈大，从而限制了输送浓度的提高。同时，又会造成输送阻力的增加。故在一定的上限粒径条件下，适当增加浆体中粗颗粒含量将有利于减少同一浆体浓度的相对粘度及输送阻力。但增加量不能过多或粒径过大，超过限度时将使浆体的流型发生变化。试验表明，各种浆体（如精矿、尾矿浆）在一定的粒径上限范围内都将有一种使相对粘度最小的粒度组成，而这种粒度组成是以浆体内颗粒无分离沉积所能达到的极限体积浓度“Cvm”为标志。即此时固体颗粒密实度为最高、相对粘度为最小。此外，浆体输送稳定性对颗粒粒度组成也有一定的要求，一般认为粒度组成中小于0.074毫米的颗粒至少要占50%以上才有足够的稳定性，使输送系统工作安全可靠。细颗粒物料的主要作用是它可以与液体介质构成悬浮载体，这种载体将对粗颗粒起到承托使之悬浮的作用。故浆体中细颗粒含量高将对输送有利。目前，国外一些金属矿山精矿管道输送的实例中，小于0.074毫米的颗粒大都要占浆体内固粒含量的90%以上。但是，前面已经谈到，粒度愈细则浆体的粘度就愈大，因而加大输送的阻力。同时，物料在输送终点进行脱水也很困难，故在细颗粒中又必需含有一定数量可以在悬浮载体中悬浮的粗颗粒才有利于输送。金属精矿的这种粗颗粒的上限粒径，从目前已知的生产实例来看，大约在0.0208～0.147毫米（65目～100目）之间，一般混入悬浮载体内

地信网论坛
bbs.3s001.com

的这种粗颗粒量大体上为总固体量的10%或以下。

由此可见，浆体颗粒组成的合理性如何，对浆体的流动性（粘度、阻力）、及稳定性（颗粒是否容易分离沉淀、输送流速等）有着明显的影响，而且还要涉及到制浆及脱水的效果，而颗粒组成又与浆体浓度有相互制约的关系，因此，选择最佳粒度组成和最佳输送浓度（即浆体中最佳的固体颗粒含量）是管道水力输送试验要解决的主要问题。

现将国外推荐的几种物料管道水力输送适宜浓度，国际上几项主要长距离浆体管道水力输送工程的固体粒度组成与所采用的输送浓度分别列于表19.6.1及表19.6.2。

选矿工艺所生产的产品——精矿浆，不一定都能符合管道水力输送的要求，因此，往往在输送以前要进行以调整粒度级配、输送浓度、pH值为主要内容的加工处理——前处理。通过前处理使矿浆达到适合输送的近乎理想的最佳状态，这样对减少输送能耗、提高输送系统的服务年限、保证安全生产都会起到良好的作用。但是，这样做必然要增加生产环节，而且在输送终点对矿浆的过滤脱水也可能带来一些麻烦。故在进行浆体管道输送系统设计时，需要认真的进行技术上与经济上的考虑，权衡其利弊，确定合理的运输方案。

对于尾矿，从理论上来讲，也同样存在选定最佳粒度与浓度的问题，但由于一般来说尾矿是废渣，如果在输送前进行前处

表 19.6.1 国外几种物料管道水力输送推荐的适宜浓度

材料名称	固体密度 δ_g, t/m³	上限粒径 mm	上限粒径 目	固体体积浓度 C_v %	固体重量浓度 C_w %
硬沥青	1.05	4.70	4	39～44	40～45
煤	1.40	2.30	8	37～47	45～55
石灰石	2.70	0.31	42	36～41	62～65
铜精矿	4.30	0.23	65	26～30	60～65
铁精矿①	4.90	0.15	100	23～27	60～65

①指磁铁精矿。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.2 国际上几项主要长距离浆体管道水力输送工程的固体粒度组成与输送浓度

序号	国名	管道所在地	固体名称	年运输量 万t	运距 km	管径 mm	粒度级配	固体重量浓度 %	固体密度 t/m³	管内速流 m/s	投产日期	备注
1	巴西	萨马尔柯(samarco)	铁精矿	1200	403	508	-0.043 mm (-325目)占84% +0.074 mm (+200目)占4%以下	60～70	4.9	1.65	1977	
2	朝鲜	清津	铁精矿	200	98	275	-0.074 mm (-200目)占49%	45～55	4.8	1.85	1976	
3	澳大利亚	塔斯马尼亚萨瓦奇河(Tasmania Sarage river)	铁精矿	230	85	229	-0.074 mm (-200目)占97%	60	4.9	1.37～1.83	1967	
4	墨西哥	拉佩拉赫尔库利斯(La perla Hercules)	铁精矿	450	85.3/294.5	200/355		60～68			1982	
5	南非	帕拉博拉	铁精矿	440	265	406	-0.074 mm (-200目)占100% -0.043 mm (-325目)占65%	50	5.0	1.52		
6	墨西哥	佩纳科罗拉达	铁精矿	180	48	203	-0.043 mm (-325目)占80% -0.147 mm (-100目)占100%	55～65	4.9	1.5～2.0	1974	
7	新几内亚	布干维尔	铜精矿	100	27	152	-0.074 mm (-200目)占93% -0.208 mm (-65目)占100%	65～70	3.72～4.26	1.20～2.10	1972	

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.2

序号	国名	管道所在地	固体名称	年运输量万t	运距 km	管径 mm	粒度级配	固体重量浓度 %	固体密度 t/m³	管内流速 m/s	投产日期	备注
8	印尼	爱茨伯格铜矿	铜精矿	30	110	108	−0.1 4 mm（−150目）占100%	60～65	3.7～4.3	1.22	1972	
9	苏联	列别金斯克	铁精矿	650	26.5	324	—	50				
10	美国	布莱克梅萨煤矿(Black Mesa)	煤粉	480	440	457	−0.208 mm（−65目）占19% −1.168 mm（−14目）占100%	45～50	1.4	1.77	1970	
11	日本	秋田大馆	铜铅锌尾矿	60	71	305	−0.074 mm（−200目）占95% −0.208 +0.147 mm占7~5% +0.208筛除	18.8	2.75	1.33～1.39	1968	尾矿中含有大量石膏
12	巴西	瓦利普磷矿	磷精矿	200	113	245	−0.208 mm（−65目）占100% −0.043 mm（−325目）占35%	60～65			1978	
13	加拿大	曼特端塔铁矿(Mount Wright)	铁尾矿	2700	3～5	500	−0.074 mm（−200目）占20%	18～55%				
14	加拿大	伯恩达铜矿(Brenda)	铜尾矿		3	ϕ800	−0.074 mm占60%	60	2.7			

地信网论坛
bbs.3s001.com

理，在经济上可能并不有利，因此，目前除极特殊的情况外，尾矿粒度组成主要决定于选矿工艺。输送前只是选定或调整输送浓度。当然，短距离输送的精矿管道也存在类似情况，由于运距短，没有条件或没有必要采取任何粒度调整措施，只能按选矿工艺实际的粒度组成进行输送。据实验表明，上述这类浆体，在低浓度时其临界流速随浓度的增加而递增，但达到一定的浓度后浓度再增加临界流速反而下降。当临界流速降到最低值后，临界流速又会出现随浓度增加而增加的现象。在临界流速与浓度的关系曲线上，从临界流速随浓度的增加而递增开始转向随浓度的增加而递减的转折点称为曲线的“峰值”。在峰值以前一般为非均质流，以后为（准）均质流。当临界流速下降到最低点又开始随浓度增加而上升，此时的浓度称为“临界浓度”，此点称为曲线的“谷值”（详见19.6.6图）。由于在生产中矿浆量、固体粒度、……等条件经常会出现波动，故临界浓度一般指的是曲线上某一区段，而不是某一点，此区段即所谓“减阻区”。在“减阻区”内矿浆浓度相对比较高、临界流速较小、输送水头损失较少，是适宜选用的输送浓度范围。目前，尾矿矿浆输送及短距离精矿浆输送设计多在此浓度范围内选取输送浓度。但需指出的是，这里选取的输送浓度是在粒度组成已经确定不变的前题下的适合输送的较

表 19.6.3 国内几个矿山尾矿管道输送临界浓度值

厂矿名称	尾矿平均粒径 mm	临界浓度，%		设计采用的重量输送浓度
		重量浓度	体积浓度	
金川铜矿	0.054	70～71	46.4～47.6	
大冶铁矿	0.138～0.113	40～50	30.3～25.4	40
大石河铁矿	0.182	40～55	20.3～27.9	44
海南铁矿	0.052～0.05	14～45	12.7～22.9	30
西石门铁矿	0.058	40	20.3	35～40
张家洼铁矿	0.090			41.5
乌石山铁矿	0.061	33	16.8	—

地信网论坛
bbs.3s001.com

高浓度，此时矿浆中固体颗粒的组成不一定就是适合矿浆输送的最佳粒度组成。因此，事实上，这只是在粒度组成已成事实的基础上寻找较好的输送条件而已。下面介绍几个以上述方法确定的矿山尾矿输送临界浓度值（表19.6.3）。

19.6.3 浆体管、槽输送试验

19.6.3.1 试验目的

近年来，通过实践人们逐渐认识试验工作对浆体管、槽输送设计是十分重要的。国内外目前虽已有不少用于浆体管、槽水力输送的计算公式，但都是在某一特定条件下通过试验推导出来的，在使用上有很大的局限性，有些公式计算结果偏于安全，个别公式甚至可能得出与实际情况有较大差距的结果，因此，目前对于浆体管道输送，特别是长距离浆体管道输送，多通过试验取得必要的设计参数与推荐可行的计算公式。

（1）管道水力输送试验要解决的问题主要有三个方面：

1）研究矿浆的物理化学特性，寻找理想的输送条件；

2）研究矿浆中固体颗粒沉降规律与特点；

3）寻找减少固体颗粒对设备与管道磨蚀的措施。

高浓度矿浆（均质浆体）和低浓度矿浆（非均质浆体）进行试验的目的并不完全一样。低浓度矿浆需要解决的是选择可以保证安全生产的矿浆流速；而高浓度矿浆则需要探讨理想的输送条件。对于固体颗粒沉降规律的研究，高浓度矿浆只是想了解当输送系统因故停运时，能否会出现粗颗粒沉积给系统再启动带来困难；而颗粒下沉速度(水力粗度)则是影响低浓度矿浆输送难易程度的重要因素，故目前世界上众多的低浓度矿浆流输送的经验公式几乎都是把临界流速和水力坡度直接或间接的表征为固体颗粒下沉速度的函数。

（2）浆体管道水力输送试验的目的可以归纳为如下几方面：

1）对于精矿：

地信网论坛
bbs.3s001.com

确定输送的最佳粒度组成、最佳输送浓度、以及有利于输送的其他条件；

提出临界流速、水头损失等设计参数，或推荐计算这些参数的可用公式；

探讨整体输送系统停运再启动时可能出现的问题及防止措施。

2）对于尾矿：

找出矿浆减阻区的范围及形成减阻区的条件；

提出临界流速、水头损失等设计参数，或推荐计算这些参数值的可用公式；

当尾矿高浓度输送时，要提出停运再启动可能出现的问题及防止措施。

19.6.3.2 试验内容

A 基础资料

（1）粒料的密度（δ_p）：是指浆体内粒料在密实状态下（不计孔隙）单位体积的重量。单位为克/厘米^{3}或顿/米^3。

（2）粒料的粒度级配：较常用的粒度分析方法有标准筛筛分法与沉降分析法两种。将分析成果绘制成颗粒级配曲线（图19.6.2）或粒级组成表。并求出粒料的加权平均粒径(d_p)、中值粒径和小于（或大于）某规定粒级的颗粒含量等。其计算单位为“毫米”。

（3）物料的化学成分分析：分析的目的主要是了解矿浆中有无不利于输送的成分（如CaO）与在输送过程中有无发生矿浆性质变化的可能。分析成果是确定合理输送浓度的参考及研究应清除何种有害成分的依据。化学成份分析分定性与定量两部分。

B 浆体物质特性试验

（1）浆体的流变特性：主要是探讨在什么条件下浆体才能符合牛顿体或宾汉型流体的切应力与切变速度关系。具体作法是先选定几种固体颗粒粒度级配（尾矿只有一种级配），分别利用不同粒度级配的矿浆进行流变特性试验。试验的主要工具是经清

地信网论坛
bbs.3s001.com

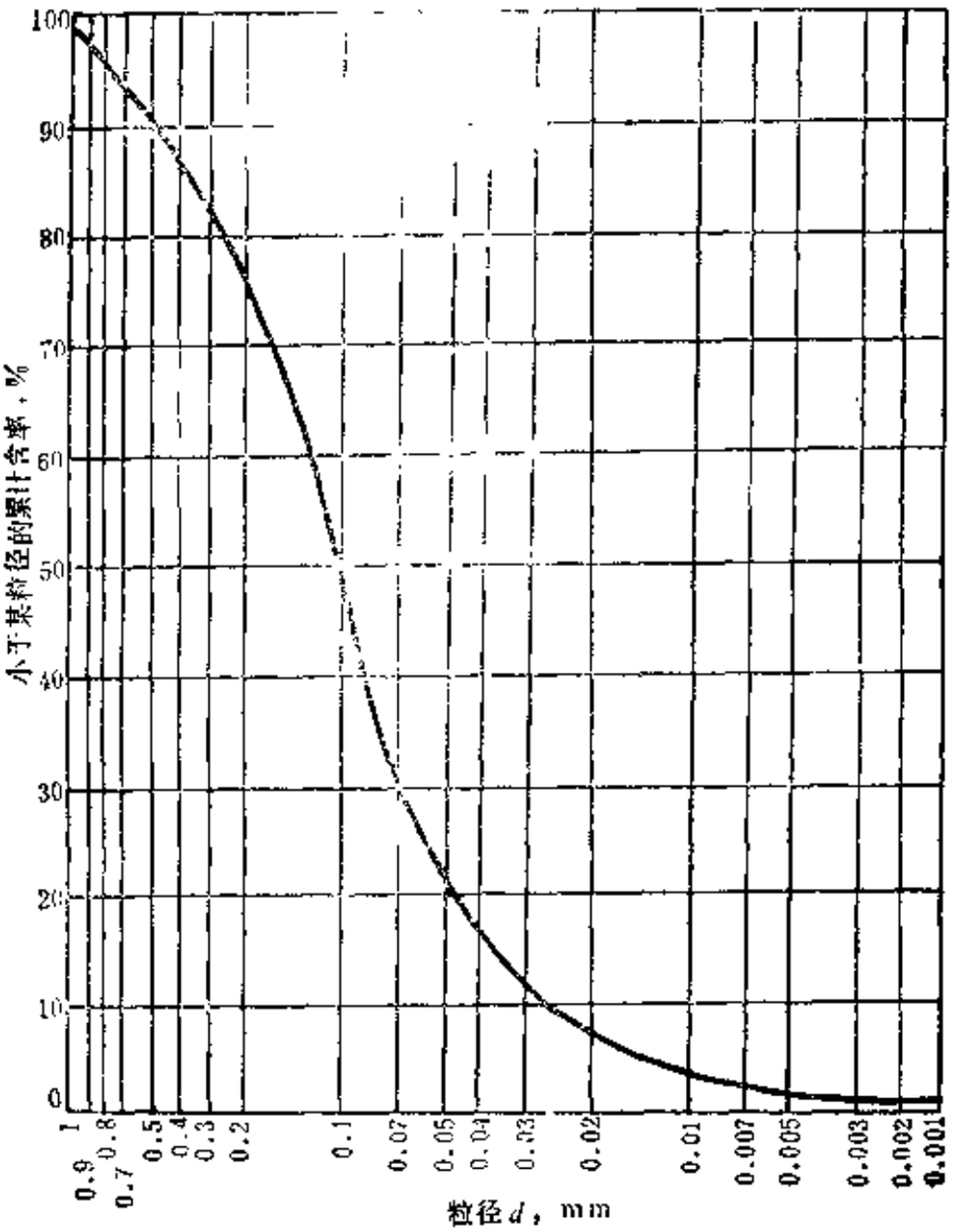


图 19.6.2 大石河铁矿尾矿颗粒级配曲线图

水标定的粘度计。将相同温度、相同粒度级配、不同浓度的矿浆流变试验成果绘制成τ_w-$8v/D$曲线即浆体虚流变曲线（图19.6.3）在曲线图中选出一条通过原点（即$\tau_B=0$）而浓度最大的曲线就是牛顿型与宾汉型流体的分界线。大于此浓度的矿浆为宾汉型流体流型，小者为牛顿体流型。同时，还要测定不同浓度浆体的μ'（粘滞系数）、τ_B（宾汉型流体极限剪切力）、η（刚度系数）等参数（图19.6.4），通过上述测定可选出较为理想的粒度组成及浓度范围。

地信网论坛
bbs.3s001.com

（2）管道临界流速和水头损失试验：

1）管道清水试验：此项试验主要是检验测定系统工作是否正常，提出管道清水阻力与推算管壁粗糙度。为了测定输送浆体后管壁粗糙度所发生的变化，一般在管道浆体输送试验前后各进行一次清水试验，以便进行对比。将清水试验得出的不同管径的平均流速（v）与水头损失（i_0）的关系曲线绘制成曲线图（图19.6.5）。

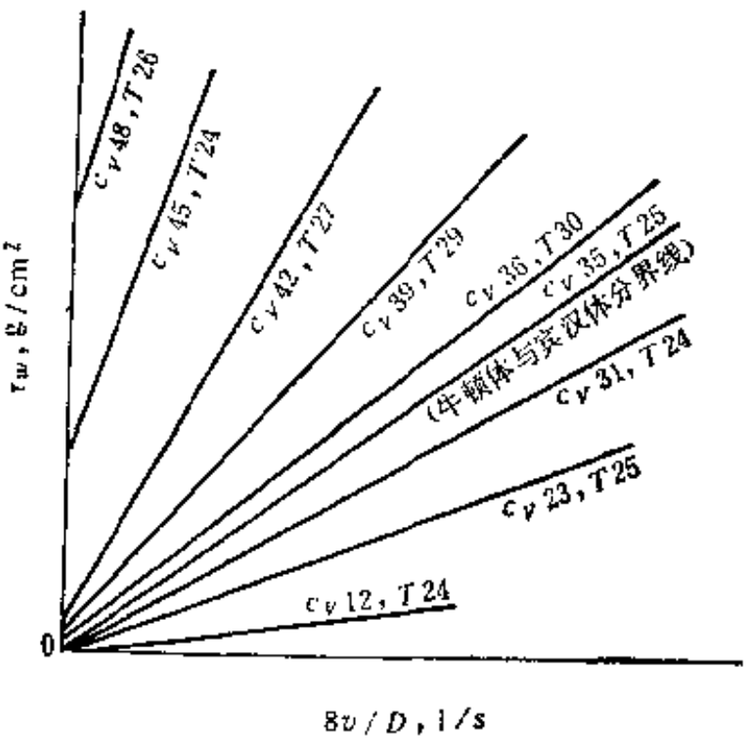


图 19.6.3 浆体虚流变（τ_w–$8v/D$）曲线示意图
c_v—体积浓度；T—温度

2）管道浆体试验：对不同浓度浆体，采用相同的管径探讨其平均流速（v）与水头损失（i)(以清水水柱表示）之间的关系，绘制成i—v曲线。然后与同管径的清水曲线（i_0—v曲线）相比较，就可发现当流速大到某一程度时则i—v线将与i_0—v线保持平行。当小于此流速时i—v线将偏离i_0—v线而呈上凹形。在此流速点以上时浆体呈伪均质流，以下时固粒呈不均匀悬浮。通称为“分界临界流速”（又称“悬浮临界流速”）。当流速略

地信网论坛
bbs.3s001.com

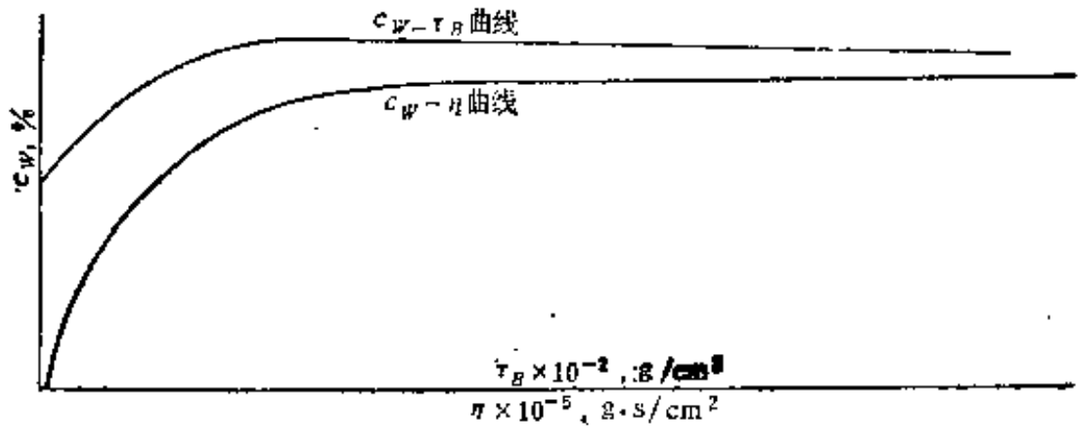


图 19.6.4 浆体浓度与τ_B、η关系曲线示意图

c_W—重量浓度；τ_B—极限剪切力；η—刚度系数

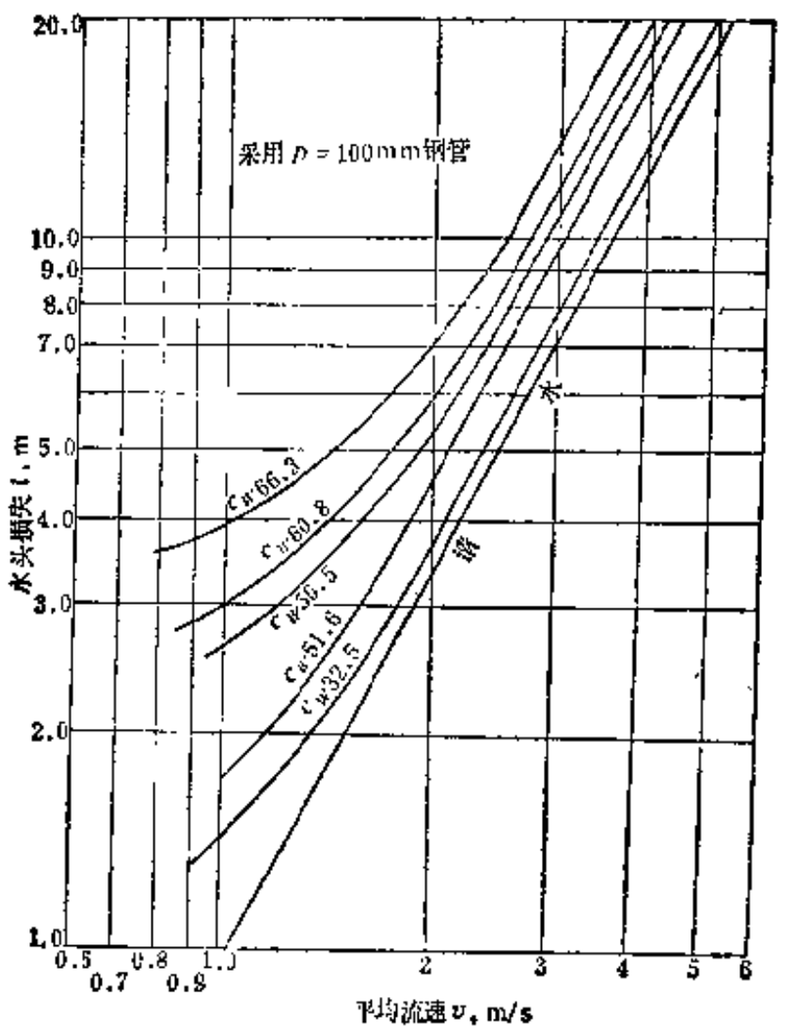


图 19.6.5 大石河铁尾矿的一组水头损失与平均流速关系曲线图

地信网论坛
bbs.3s001.com

降低则管底将呈明显的推移质。此时流速称为“淤积临界流速”。这两种临界流速大约相差10%左右，但都可以将全体固粒送走。选用其中那种临界流速作为两相流的参数，这需要根据浆体输送的技术条件进行技术经济比较确定。也可在两种临界流速之间或附近寻找一个符合技术经济情况的经济临界流速（v_e）作为设计参数。

在取得各种浓度的临界流速（v_e）以后，再得出各个临界流速下的水头损失值（i_e）。就可绘制D（管径）—P（浓度）—v_e（临界流速）关系曲线图与D—P—i_e（临界水头损失）关系曲线图（图19.6.6、图19.6.7）。在两个曲线图上将各出现一个峰值和一个谷值。在曲线谷值区段水头损失较小，能耗也随之降低，是输送矿浆的理想范围。例如，图19.6.6及19.6.7中重量浓度为38～48%是输送矿浆的理想浓度区段，其中以45%最为理想。

3）临界流速与水头损失曲线的延伸：管道输送试验多采用小管径，因此，很难如实地反映实际生产中所使用的大管径的客观条件，故存在着大管径管道临界流速和水头损失的预估问题。

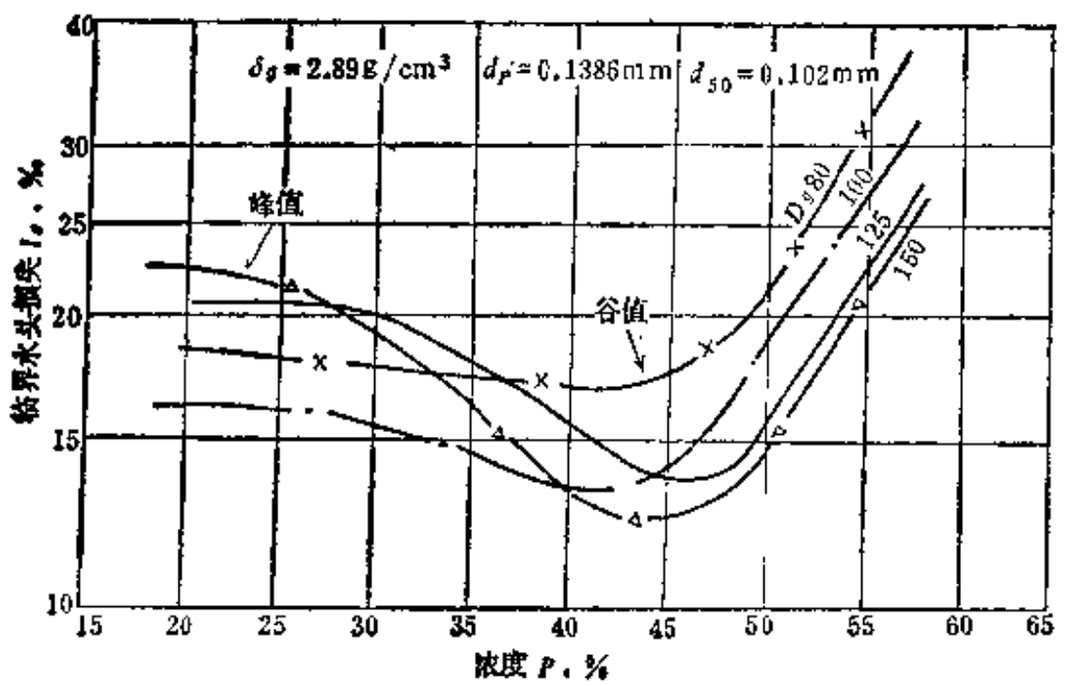


图 19.6.6 大冶铁矿铁尾D—P—i_e曲线图

地信网论坛
bbs.3s001.com

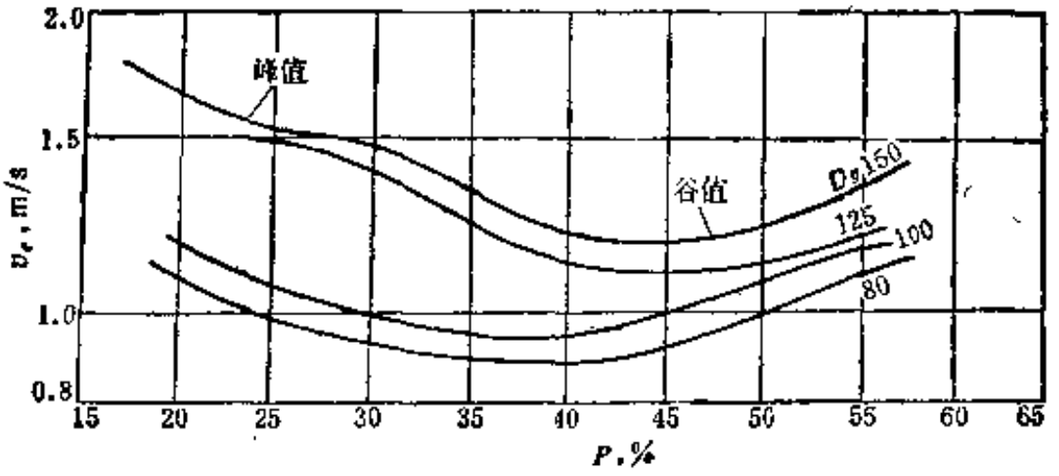


图 19.6.7 大冶铁矿铁尾D—P—v_e曲线图

对此通常采用两种解决办法：一是延伸法，就是将曲线向前延伸，它仅适用于浓度及粒度级配都固定不变时，同时，试验管径和实际生产管径还要相差不大；二是公式计算法，即选用和推荐与试验条件相近似的计算公式。

延伸法一般所要确定的参数是临界流速与水头损失。延伸临界流速的主要目的是推断试验管管径范围外（加大或减少），对临界流速可能引起的变化。在进行曲线延伸时，一定要充分估计到由于管径变化给浆体物理特性、粒度组成及流态上可能带来的影响，而这些影响将给延伸的临界流速曲线带来一定的误差。

临界流速下的水头损失延伸，首先先假定浆体的水头损失（i_e）为清水的水头损失（i_0）和清水中混粒而增加的附加水头损失（Δi）之和，即：

$$\Delta i = i_e - i_0$$

通过不同浓度的矿浆在不同管径的管道中的试验，即可得出一组Δi值。此时就可进行曲线延伸。但应用这种延伸曲线时对原试验中的误差要有足够的估计；同时，还要考虑到在长期输送中可能带来的颗粒细化问题。因此，在利用此种曲线时一般要乘以1.1～1.2的安全系数。

无论延伸法或是计算公式法所得到的延伸数据，只要所适用的管径与原试验所采用的管径相差不是很大，相对来说，具有一定

地信网论坛
bbs.3s001.com

的可靠性。如两者管径相差过于悬殊，能否利用延伸得出的临界流速和水头损失作为设计依据，尚有待研究验证。

C 浆体沉降试验

浆体沉降试验的主要目的是检测管道突然性短期停止运行能否出现固粒的沉积，造成再启动的困难。具体试验内容如下：

a 浆体物理化学性质检验

（1）物料性质检验：检验当管道停止生产时，浆体内是否会出现再结晶或颗粒间胶凝现象。

（2）粒级组成检验：在长距离管道输送中是否可能使颗粒粒度组成出现变化。

（3）固料下滑试验：寻找浆体中固体物料可能出现下滑的“临界倾角”，以确定管道敷设可采用的最大允许坡度。

（4）再起动输送时浆体流动性能检验：检测当管道再启动生产时浆体流态与其他流动性能和原浆体有无变化。

b 浆体静置试验

将浆体倒入立管内静置15～30天，观察浆体内固体颗粒分布上有无变化，以检验高浓度浆体内固体颗粒分布是否稳定或近似稳定。

除上述这些试验项目外，国外一般还要求进行设备及管道的磨蚀试验，国内有些矿山近年来也有此项要求。此外，物料粉化（细化）试验也是一项重要的试验内容，但对金属矿浆来说，一般不需要进行。

19.6.4 浆体管、槽输送的计算公式

浆体管、槽水力输送计算的主要目的是预估临界流速、水头损失、或过流断面。目前，这类公式很多，但多为某一特定条件下推导出来的经验或半经验公式，缺乏广泛的适用性。有些公式甚至连其适用条件还需进一步验证。现将国内较为常用的一些计算公式的适用范围与使用中存在的问题简介于下。

19.6.4.1 压力输送

地信网论坛
bbs.3s001.com

A B.C.克诺罗兹公式

a 计算公式

（1）$d_m \leqslant 0.07$mm；$v_e = 0.20(1+3.43\sqrt[4]{C_d D_l^{0.75}})\cdot\beta$ (19.6.5)

（2）$0.07 < d_m \leqslant 0.15$mm；

$$v_l = 0.255(1+2.48\sqrt[3]{C_d}\sqrt[4]{D_l})\cdot\beta \quad (19.6.6)$$

（3）$0.15 < d_m \leqslant 0.4$mm；

$$v_l = 0.85\ (0.35+1.36\sqrt[3]{C_d D_l^2})\cdot\beta \quad (19.6.7)$$

式中 d_m——颗粒加权平均粒径，mm；

v_l——临界流速，m/s；

C_d——浆体的稠度；按下式计算：

$$C_t = \frac{W}{S}\times 100 \quad (19.6.8)$$

W——浆体中固料单位体积重量，kg/m³；

S——浆体中液体单位体积重量，kg/m³；

D_l——临界管径，m；

β——浆体流速校正系数，按下式计算：

$$\beta = \frac{\delta_g - 1}{1.7} \quad (19.6.9)$$

从上面公式计算出的数据，可用下式确定其单位水头损失：

$$i = \delta_k i_0 \quad (19.6.10)$$

式中 i——输送浆体的单位水头损失，mm；

δ_k——浆体密度，g/cm³或t/m³；

δ_g——固体密度，t/m³；

i_0——与浆体流速相等的清水单位水头损失

$$i_0 = \frac{\lambda v_j^2}{2gD_j} \quad (19.6.11)$$

D_j——计算管径（即实际选用的管径），m；

v_j——计算流速（即与实际选用管径相对应的选用流速），m/s；

地信网论坛
bbs.8s001.com

g——重力加速度，9.81m/s²；

λ——反映管壁光滑程度的阻力系数；

新钢管：

$$\lambda=\frac{0.0159}{D_j^{0.226}}\left(1+\frac{0.684}{v_j}\right)^{0.226} \tag{19.6.12}$$

新铸铁管：

$$\lambda=\frac{0.0144}{D_j^{0.284}}\left(1+\frac{2.36}{v_j}\right)^{0.284} \tag{19.6.13}$$

b 适用条件

B.C.克诺罗兹公式是在固体密度 $\delta_g=2.70$吨/米³ 下推导出来的，试验表明，δ_g值越大则临界流速计算值偏离试验值越远，而且随浆体稠度的增加临界流速计算值将越来越大，完全不符合高浓度浆体的正常规律，故本公式不适用于高浓度浆体输送。另外，如流量过小也会出现临界流速过小。一般认为本公式只适用于$\delta_g<3$吨/米³、$\delta_k<1.25$吨/米³颗粒粒径小于0.4毫米的低浓度浆体。

B A.П.尤芬公式

a 计算公式

当颗粒不均匀系数 $\delta\left(=\frac{d_{90}}{d_{10}}\right)\leqslant 3$，则：

$$D_l=\left[\frac{0.13Q_k}{W^{0.25}(\delta_k-0.4)}\right]^{0.43} \tag{19.6.14}$$

$$i=i_0+\left[i_0-i_g\left(\frac{v_l}{v_j}\right)^2\right]\sqrt[4]{\frac{v_l}{v_l}} \tag{19.6.15}$$

当$\delta>3$时，则

$$D_l=\left[\frac{0.1132Q_k\delta^{0.125}}{W^{0.25}(\delta_k-0.4)}\right]^{0.43} \tag{19.6.16}$$

$$i=i_0+(i_N-i_0)\left(\frac{3}{\delta}\right)^{0.22} \tag{19.6.17}$$

式中 d_{90}、d_{10}——小于该粒径含量占90%，10%的粒径，mm；

Q_k——浆体流量，m³/s；

地信网论坛
bbs.3s001.com

W——平均粒径的颗粒自由沉降速度，m/s；

D_l——临界管径，m；

δ_k——矿浆密度，t/m^3；

i——输送矿浆的单位水头损失，m水柱/米；

i_0——输送清水的单位水头损失，m水柱/米；

$$i_0=\frac{\lambda v_j^2}{2gD_j} \tag{19.6.18}$$

D_j——计算管径，m；当选用管径D大于或等于临界管径D_l时，取$D_j=D_l$；当$D<D_l$时，取$D_j=D$；

v_j——计算流速（即对应于计算管径的流速），m/s；

g——重力加速度，等于$9.81 m/s^2$；

λ——阻力系数，按下式计算：

$$\lambda=\frac{1}{3.24(\lg Re-1)^2} \tag{19.6.19}$$

Re——雷诺数；

v_l——矿浆输送的临界流速，m/s；

i_N——输送均匀粒径物料的单位水头损失，m水柱/米；可按(19.6.15)式计算。

b 适用条件

尤芬公式是根据固体密度$\delta_g=2.65$吨/米^{3}颗粒试验数据推导而得的。若浆体内固粒密度与2.65吨/米^{3}相差太大，则不适用。而且试验采用的颗粒粒径范围为0.4～1.0毫米。故高浓度精、尾矿皆不适宜采用。另外，该公式是按粒径不均匀系数$\delta<10$考虑的，如果δ值大于10，则得出的临界流速值偏小，故需慎重采用。

C 杜兰德（Durand）公式

a 计算公式

$$\frac{i-i_0}{C_v i_0}=K\left[\frac{v_l^2}{gD_l}(\delta_s-1)^{-1}\sqrt{C_d}\right]^{3/2} \tag{19.6.20}$$

地信网论坛
bbs.58001.com

$$v_l = \frac{(KC_v)^{1/3}}{1.78C_d^{1/4}}\sqrt{2gD_l(\delta_s - 1)} \qquad (19.6.21)$$

式中 δ_s——固体密度，t/m³；

K——常数，$K=82\sim120$；

C_d——颗粒阻力系数，按下式求得：

$$C_d = \frac{4}{3}\left(\frac{d_p(\delta_s-1)g}{W^2}\right) \qquad (19.6.22)$$

W——颗粒自由沉降速度，m/s；

d_p——颗粒平均粒径，mm。

b 适用条件

杜兰德公式是杜兰德（R.Durand）于1952～1954年对圆管进行水力输送系统试验得出的，试验条件是：管径为19.1～584.2毫米、流速为0.61～6.1米/秒、固粒粒径为0.1～25毫米，该公式的计算值普遍认为较实测值偏大，但由于一般设计都希望确保安全，故未影响本公式的使用价值。本公式试验时所采用的颗粒粒径较粗，而且也未考虑粒径d_p对临界流速v_l的影响，故对以细颗粒为主的高浓度浆体，杜兰德公式并不适用。

除上述三个公式以外，国内外还有大量的类似设计公式，如国内的金川公式、北京有色冶金设计研究总院公式，苏联的C.Г.柯别尔尼克公式等都属于这一类。这类公式的共同特点是临界流速和单位水头损失都是随浓度的增加而增加，反映不出浆体浓度增至一定高度时，临界流速和单位水头损失反而随之降低这一重要特征。近年来，有不少专家试图推导出反映高浓度浆体特征的水力计算公式，但至今还缺少足够实践的验证。绝大多数高浓度浆体输送的设计参数都是通过试验取得。

下面介绍几个国内曾有人采用过的高浓度浆体输送计算公式，供参考。

D 乌克兰建工研究所公式

适用条件：$d_p<0.5$mm；$\delta_k=1.25\sim1.70$。

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$v_j = 12.8\sqrt[3]{D_i}\sqrt[4]{W}\sqrt[3]{\frac{C_m}{C}}\sqrt[3]{\frac{3d_{10}}{d_{90}}} \qquad (19.6.23)$$

式中 C_m——系数，$C_m=0.35\sim0.40$；

C——浆体重量稠度，$C=\frac{G}{G_0}$；

G、G_0——浆体中固体重和水重。

其余符号同前。

E 鞍山黑色冶金矿山设计研究院公式

a 临界管径的确定

$$Q_k = 3.21D_j^{2.312}\left[\left(\frac{\delta_k-1}{\delta_k}\right)\left(\frac{\delta_g-\delta_k}{\delta_g-1}\right)^n W_p\right]^{0.25}\left(\frac{W_{95}}{W_p}\right)^{0.2} \qquad (19.6.24)$$

b 单位水头损失的确定

当 $d_p<0.15$mm，则

$$i=\delta_k\frac{\lambda v_j^2}{8gR} \qquad (19.6.25)$$

当$d_p\geqslant0.15$mm，则

$$i=\delta_k\left[\frac{\lambda v_j^2}{2gR}+\left(\frac{\delta_k-1}{\delta_k}\right)\left(\frac{\delta_g-\delta_k}{\delta_g-1}\right)^n\frac{W_p}{100v_j}\right] \qquad (19.6.26)$$

式中 n——干扰指数；

$$n=5-\lg\frac{W_p d}{\gamma_0} \qquad (19.6.27)$$

γ_0——清水运动粘滞系数，cm^2/s；

W_p——加权平均沉降速度，cm/s；一般可用下式计算：

$$W_p=\frac{\sum W_i a_i}{\sum a_i} \qquad (19.6.28)$$

W_i——某一粒级的平均沉降速度，cm/s；

a_i——某一粒级的含量百分数；

W_{95}——d_{95}颗粒的沉降速度，cm/s；

地信网论坛
bbs.s001.com

R——水力半径，m；

λ——阻力系数；可用下式计算：

$$\lambda=\frac{K}{4\left[\lg\frac{\Delta}{3.71D_j}+\frac{8}{Re^{0.9}}\right]^2} \tag{19.6.29}$$

K——安全系数，$K=1.1$；

Δ——管壁绝对粗糙度，建议钢管 $\Delta=0.0001$，铸铁管 $\Delta=0.00035$，单位为m；

Re——雷诺数；

$$Re=\frac{D_j v_j}{\nu} \tag{19.6.30}$$

D_j——计算管径，m；

v_j——与计算管径相对应的流速，m/s；

ν——浆体运动粘滞系数；

$$\nu=\frac{\nu_0}{\delta_k}\left(1+0.032\,P_V\,\Sigma\frac{a_i}{d_i}\right) \tag{19.6.31}$$

ν_0——清水运动粘滞系数，在（19.6.31）式中单位为 m^2/s；

P_V——矿浆的体积浓度；

a_i——某一粒级的重量含量百分数，如含量为25%则写成 $a_i=0.25$；

d_i——某一粒级的平均粒径，cm。

F 陕西水利科学研究所公式

a 计算公式

$$v_j=0.293\sqrt{2gD_j}\cdot e^{-\left[\frac{1}{\sqrt{2}C_V}(C_V-10)\right]^2}$$

$$+\sqrt{2gD_j}\left(\frac{\delta_g-\delta_0}{\delta_0}\right)^{-1/6} \tag{19.6.32}$$

$$i=0.0196\left(\frac{\delta_g-\delta_0}{\delta_0}\right)^{1/6}\frac{v_j^2}{2gD_j} \tag{19.6.33}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.4 金属矿浆压力管道输送实例表

使用地点	物料名称	输送能力 t/d	浆体重量浓度 %.	固粒密度 t/m³	平均粒径 mm	输送管道			泵站数	备注
						管径 mm	管长 m	管材		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
五龙金矿	尾矿	475～540	18～20	2.63	0.0363	200		铸铁	4	
凡口铅锌矿	尾矿		10～14		0.046	300	11000	铸铁	4	
闲林埠铁矿	尾矿	515	5.5～6	2.68	0.06	300	1500	铸铁	2	
大吉山钨矿	尾矿	1500～2000	7.9～9.1	2.6～2.7	0.8～1.1	400	300	铸铁	1	
大屯锡矿	尾矿	759	8.94	3.25	0.049	400	305	铸铁	1	
白银铼矿	尾矿		25	2.91～3.1	0.059	350	2090	钢	2	
凹山铁矿	尾矿	5600～6700	9 ～18	2.8～3.0	0.065～0.076	450	5600	铸铁	2	
大孤山铁矿	尾矿		24	2.2～2.6	0.076	500	2600	铸铁	2	
东鞍山铁矿	尾矿	14500	18	2.7	0.0306	500	1820	铸铁	2	
鞍钢烧总选厂	尾矿	9100	18	2.8		600	9000	铸铁	4	
个旧锡矿	尾矿	986	3.85	3.07	0.037	500	640	铸铁	5	
德兴铜矿	尾矿	9700	25	2.79	0.0674	500	2100	铸铁	2	

地信网论坛 bbs.8001.com

续表 19.6.4

使用地点	物料名称	输送能力 t/d	浆体重量浓度 %	固粒密度 t/m³	平均粒径 mm	输送管道			泵站数	备注
						管径 mm	管长 m	管材		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
攀枝花铁矿	尾矿		20	3.1	0.1844	500	1705	铸铁	3	输送系统现已改造，改造后输送浓度为29.5%
大石河铁矿	尾矿	8130	17～18	2.74	0.182	500	1900	铸铁	2	
南芬铁矿	尾矿	12500	11～12	2.85	0.044	600		铸铁	3	
弓长岭铁矿	尾矿	10600	12	2.7	0.0498	600		锰铁	1	
新冠锡矿	尾矿	6985	9	2.7	0.022	600	3300		6	
水厂铁矿	尾矿	8130	20	2.85	0.26～0.3	600	1800	铸铁	2	
歪头山铁矿	尾矿	12800	25		0.0996	700		锰铁	2	
齐大山铁矿	尾矿		19.3	2.8		800		铸铁	3	
澳大利亚塔斯马尼亚铁矿	铁精矿	225万t/d	60		−0.15	225	85000			矿浆流速为1.7m/s
加拿大安大略省格里非思磁选厂	尾矿	1万t/d	45		+0.15mm占35%	60/325	7100			矿浆流速为1.8m/s
美国朋克希尔选厂	尾砂矿	24t/h	40		−0.3mm占95%	125	3200			矿浆流速为1.2m/s
南非梅里斯布鲁德金矿公司	铁精矿	200t/h	50			125	2200～5200			矿浆流速为1.35m/s
印尼伊里安铜矿	铜精矿		61～65			108	12500			矿浆流速为1.2m/s
澳大利亚萨瓦基里数尔选矿厂	硫化铁精矿		60		−0.074mm占14%	230	8500			矿浆流速为1.7m/s

注：表内为1980年统计数字。

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 v_l——临界流速，m/s；

D_l——临界管径，m；

g——重力加速度，m/s²；

e——自然对数底数，e＝2.72；

C_V——体积稠度×100，即

$$C_V=\frac{\delta_h-1}{\delta_g-\delta_h} \tag{19.6.34}$$

i——输送矿浆的水力坡降，mm；

δ_h、δ_g、δ_0——浆体、固体、水的密度，t/m³。

其余符号同前。

b 适用条件

陕西水利科学研究所公式适用条件是：d_{50}＝0.07～0.21毫米，δ_g＝4.51－2.92吨/米³，C_V＝0.487～39.4%，实际应用时计算结果应乘以安全系数，临界流速的安全系数为1.2，水头损失的安全系数为1.3。

近年来，有人试图推导高、低浓度浆体输送皆可适用的全浓度水力计算公式，但至今为止，经各方面验证证实可行的公式尚未发现。加拿大萨斯喀彻温（Saskatchewan)研究协会曾提出计算单位水头损失的经验公式：

$$i_m=A(D)^B \tag{19.6.35}$$

式中 i_m——以水柱表示的浆体水力坡降，%；

D——管径，cm；

B——浓度的函数；

A——平均流速与浆体浓度的函数。

式中A、B是通过试验而确定的，它们将随浆体浓度及流速的变化而变化。这个公式的浓度适应范围比上述任一公式都广泛，但此公式必需通过实际管道试验成果进行验算才能使用，因此，这公式不是一个可独立的公式。总之，人们所希望的全浓度水力计算公式，目前正在研究与验证之中，尚未出现。

有关国内外金属矿矿浆压力管道输送的实例列于表19.6.4。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.6.4.2 自流管、槽输送

自流管、槽水力计算，比压力输送要简单的多。首先，浆体都属于牛顿型流体；所需计算的参数只是过流断面（通过临界流速确定）及敷设坡度两项。目前，国内外用于自流输送的计算公式很多，在我国较常使用的有B.C.克诺罗兹、A.П.尤芬、邬尼格等公式。但多数人认为邬尼格公式较为符合客观实际，现将其择录如下：

A 计算临界流速公式

（1）$d_p \leqslant 0.07\text{mm}$，

$$v_l = 0.20(1+3.43\sqrt[4]{C_d H_l^{0.76}})\cdot\beta \qquad (19.6.36)$$

（2）$0.07 < d_p \leqslant 0.15\text{mm}$，

$$v_l = 0.3(1+3.50\sqrt[3]{C_d}\sqrt[4]{H_l})\cdot\beta \qquad (19.6.37)$$

（3）$0.15 < d_p \leqslant 0.4\text{mm}$，

$$v_l = (0.35+2.15\sqrt[3]{C_d H_l^3})\cdot\beta \qquad (19.6.38)$$

（4）$0.4 < d_p \leqslant 1.5\text{mm}$，

$$v_l = (0.35+2.15\sqrt[3]{C_d H_l^3})\frac{d_p}{0.4}\cdot\beta \qquad (19.6.39)$$

（5）$d_p > 1.5\text{mm}$

$$v_l = 1.9(0.35+2.15\sqrt[3]{C_d H_l^3})\sqrt{\frac{d_p}{1.5}}\cdot\beta \qquad (19.6.40)$$

B 计算过流断面公式

圆管为 $Q_l = Av_l$ (19.6.41)

矩形槽为 $Q_l = mH_l^3 v_l$ (19.6.42)

C 计算敷设坡度公式

直线段敷设坡度： $J_n = nJ$， (19.6.43)

转弯处敷设坡度：

当 $2 < \frac{R}{b} < 6$时，加大10%

当 $\frac{R}{b} > 6$时，加大5%

地信网论坛
bbs.3s001.com

上述各式中

v_l——临界流速，m/s；

C_d——混合矿浆的稠度，按下式计算：

$$C_d=\frac{W}{S}\times 100$$

W——单位体积矿浆中的固体重，kg/m³；

S——单位体积矿浆中的水重，kg/m³；

H_l——临界水深，m；

β——浆体流速校正系数；

$$\beta=\sqrt{\frac{r_g-1}{1.7}} \qquad (19.6.44)$$

A——过流断面积，m²；

m——矩形槽边坡纵横比，$m=2\sim4$，大流量取小值；小流量取大值；

K——安全系数，一般取1.25；

J_s——输送临界流量的清水时的水力坡降，mm；

$$J_s=\frac{v_l^2}{C^2R} \qquad (19.6.45)$$

Q_l——临界流量，m³/s；

C——流速系数，$C=\frac{1}{n}R^y$；其值在一般水力学书刊中皆可查到；

R——水力半径；

n——人工粗糙系数，其值在一般水力学书刊中皆可查到；

y——指数；

$$y=2.5\sqrt{n}-0.13-0.75\ (\sqrt{n}-0.10)\sqrt{R} \qquad (19.6.46)$$

国内选矿厂尾矿自流输送的生产实例列于表19.6.5。

地信网论坛 bbs.3s001.com

表 19.6.5 国内选矿厂尾矿自流输送实例表

选矿厂名称	矿浆量 t/d	矿浆重量浓度，%	固粒平均粒径，mm	固体密度 t/m³	管槽断面形状及材质	底宽×高 mm	底面坡度 %	总长度 m
1	2	3	4	5	6	7	8	9
会理铜矿	429	20.8	0.0591	3.02	矩形砖砌砂浆抹面	300×300	2.1	1000
新冠锡矿	6985	9	0.022	2.70	矩形混凝土沟	800×800	0.5	3085
大屯锡矿	759	32.9	0.049	3.25	矩形钢筋混凝土沟	700×700	0.8	608
老厂锡矿	1220	13.65	0.03	3.10	矩形毛石沟	600×800	1	1062
大吉山钨矿	1500～2000	7.7～9.1	0.8～1.1	2.6～2.7	矩形钢筋混凝土沟，沟底铺铸石板	400×500	3.64～4	580
瑶岗仙钨矿		10～12	0.8	2.7	梯形混凝土沟，下半部衬铸石板	300×550	5.2①	2020
德兴铜矿	9700	25	0.0674	2.79	矩形钢筋混凝土沟	560×670	1.5	
攀枝花铁矿	7080	20	0.1844	3.10	矩形钢筋混凝土沟内衬铸石板	700×700	6.9	1073
华山铜矿	880	26②	0.073	2.864	矩形木槽、块石沟	250	1.3	
青城子钼矿	655	29	0.1147	2.778	矩形木槽	200	2.6～4.5③	
烂泥坪铜矿	1290	30.5	0.0225	2.65	矩形钢筋混凝土沟，矿浆抹面	300×300	2～4	12800
落雪铜矿	3370	26.9	0.056	2.88	矩形钢筋混凝土沟	400×600	1.7	11800
锦屏磷矿	2480	22～25	0.1051	2.6	承插铸铁管	D=300	1.95	340
五龙金矿	475～541	18～20	0.0363	2.53	承插铸铁管	D=200	2	—
金川铜矿	5415	28	0.055	2.7	双槽矩形石砌沟	2×600×600	0.93～1.1	4082

①弯道处坡度为6.2%；②实际浓度达28～30%；③实际坡度为7%。

地信网论坛
bbs.3s001.com

19.6.5 管、槽布置与敷设要求

19.6.5.1 管、槽选线原则

浆体输送管、槽线路选择一般应综合考虑下列原则：

（1）不占或少占农田；

（2）避免穿过市区和居民区；

（3）尽量采用自流输送或缩短线路长度；

（4）避免通过不良地质地段或洪水淹没区；

（5）要便于施工与维护。

19.6.5.2 管、槽的敷设要求

A 敷设形式

主要有明设、埋设、暗设三种形式，其中以明设采用的最多，主要优点是便于检查和维修，但易受气温变化的影响及外界的破坏。目前，国外远距离浆体管道输送多用埋设，优点是可避免气温的影响，外界的破坏及与农业争地，但检修麻烦必需设有自检装置。暗设是将管、槽敷设于地沟或隧洞内，一般多用于交通频繁地区或受地形限制的区段。

B 敷设的要求

（1）目前国内浆体压力输送管多设备用。自流管、槽不设备用，但在交通繁忙或可能产生剧烈磨损的地段都采取特殊保护措施；

（2）压力输送管道的最大敷设坡度应根据试验确定，当无试验资料时应根据管径、矿浆特性、气温等因素考虑，但最小坡度一般不应小于2‰，在寒冷地区还应适量加大；

（3）应尽量减少自流管、槽的转折角，最大转角不应大于45°，如采用曲线时曲率半径不应小于5倍槽宽；

（4）地形高差过大的自流管、槽应考虑分段跌水；

（5）管、槽线路的路基面标高应高出频率为2～5%的最高洪水位0.5米。管（槽）间的净宽度应满足检修的需要，最小不宜小于0.4米，管（槽）外壁至路堤边的距离不宜小于0.3米。当

地信网论坛
bbs.3s001.com

管（槽）外有人行道时应加宽到0.5米；

（6）管、槽与铁路、公路、河流等出现交叉时应符合有关部门的规定。

19.6.5.3 管、槽材料及附属设施

A 材料选择

压力管道目前国内最常用的管材是钢管与铸铁管，国外已广泛使用的聚乙烯塑料管（PVC）在国内尚少采用。铸铁管虽然要比钢管价格便宜一些，但只能用于工作压力在0.74百万帕斯卡（7.5千克/立方厘米）以下的浆体输送，而维修也比钢管麻烦，耐磨性能也差。

自流管道有钢、铸铁、钢筋混凝土等管材，个别矿山采用木管。

自流槽多为砖石、混凝土、钢筋混凝土等结构，但个别地段或高架流槽采用木制或钢制槽。

B 耐磨衬材

虽然国际上耐磨管材目前已有较多的品种，但至今为止国内耐磨管材还是以铸石制品为主，铸石制品（包括铸石管、铸石板、铸石管件）的耐磨性能一般要比普通碳素钢高5～50倍。而且对酸、碱类均有耐腐蚀能力。但由于它的抗冲击强度很差，故铸石管不宜作压力管使用，如果要作压力管使用时，铸石管必须有金属管作外套。由于铸石管材有些设计参数（如水头损失、耐压强度……等）长期未能取得公认的可靠数据，同时施工方法也较为复杂，很难保证施工质量，因而在矿浆输送管道中，特别是远距离输送管道，采用铸石衬里的实例并不很多。近年来，国内一些主要铸石制品厂家为了改变这种状态，做了大量测试与研究工作，如最近研制成功的“耐压铸石夹套管”就大大简化了施工程序，并保证了安装质量。但总的来看铸石管材还存在着不少的问题，如管段短、重量大、接头多而且复杂、设计参数不全，……等都是急待解决的问题。

C 矿浆阀

目前国内所采用的矿浆阀大体上可分为铸铁阀、衬胶阀（包

地信网论坛
bbs.3s001.com

括胶管阀、颗粒泥浆阀等三种类型，操纵动力主要有手动、电动、水压动、压缩空气作为动力等四种。铸铁阀由于耐磨性能差，目前已大部分为其他矿浆阀所代替。衬胶阀（包括胶管阀）的出现只有二十来年的历史，其工作寿命一般要比普通铸铁阀门高几倍到几十倍，故其价格虽然较高也为大量用户所欢迎。但由于衬胶阀不适用于输送含粗、尖、硬固体粒的浆体，因此还不能全部取代金属阀门的作用。

颗粒泥浆阀原是沈阳机油泵厂引进国外技术研制成功的一种新型金属泥浆阀，1982年5月通过鉴定开始成批生产。这两年，我国其他阀门厂家也有类似产品问世，其构造主要特点是将开有与管径同等大小圆洞的钢闸板插于双侧可以自动密封的阀体内。当闸板全开时，矿浆流动阻力只是管道的摩擦阻力，此外，并不因闸板而增加任何其他阻力。由于闸板较薄，开关阻力很小，故很容易开关，闸板密封装置是由密封件和水封层组成。水封层使密封件不与矿浆发生直接接触，因而闸阀上部的驱动部分不受矿浆的任何磨损，该种阀门目前已为许多厂矿所使用，但目前尚未见到使用者较为一致的意见。

D 排气装置与放矿阀

在低浓度矿浆压力输送管线向上弯管段的最高点一般都要安装排气装置，用以排除矿浆在管道输送中混入的空气，保证泵及管道的正常工作，过去都是在矿浆管上安装自动排气阀和排气支管，但实践证明使用效果不佳，现在多用普通闸阀代替，实践证明是可行的。

低浓度矿浆压力管还需考虑发生事故时的放矿措施。当管线发生事故，需将低凹管段的矿浆或冲洗水向外排放，一般应考虑在管线下弯段最低点附近装设排矿阀，但排矿阀位置的选择应与事故放矿临时堆置场的位置综合考虑。

19.6.6 矿浆泵的选择与泵站的布置

19.6.6.1 设备选择与计算

地信网论坛
bbs.3s001.com

A 离心式矿浆泵

a 泵的种类和选型原则

浆体压力输送常用的离心式矿浆泵有如下几种类型：

PNJ型PSJ型衬胶泵——这两种泵叶轮表面及泵壳内壁均衬有橡胶。适用于颗粒细、硬度较低的浆体输送。其使用寿命为一般金属砂泵的数倍。是我国选矿工艺中使用最广的一种泵型。尤其是PSJ型泵构造简单、便于维修，不少厂矿皆可自制，同时，这类泵一般两侧都可进矿浆，所以便于布置。

PN型矿浆泵——为卧式单级单吸悬臂式泵。其承磨件皆用耐磨铸铁或耐磨合金钢制成，适用于输送带有尖、硬、粗颗粒的浆体。但由于浆体中固体颗粒与泵体及叶轮直接接触，往往造成泵壳及叶轮的严重磨损，降低泵的使用寿命。自从250PN型泵研制成功以后，泵的工作寿命延长2000小时以上，为我国矿山生产解决了一大难题。其输送最大重量浓度为50～60%。

PH型灰渣泵——其性能与PN型泵相近似。

PS型砂泵——为卧式侧面进水的砂泵，构造较简单，两侧均有进水口便于布置与维修。一般不需水封水，只需少量冷却水，泵件一般厂矿均可自制。输送的最大重量浓度在50%左右。

PNL型立式矿浆泵——只有2PNL、3PNL两种型号，适用于外排地下室低洼处的少量灰渣污水。

平桂型砂泵——为广西平桂矿务局自制的一种泵型。适用于输送含有粗颗粒物料的矿浆。

瓦尔曼（WARMAN）渣浆泵——该泵为石家庄水泵厂于1980年从澳大利亚引进技术制造的一种泵型，它具有适应范围广、通用化程度高、拆装方便、工作寿命长等特点，是国际公认具有先进技术水平的产品。与国内性能相类似的泵相比较，工作效率平均高7.4%，如4/3CAH型瓦尔曼泵比3PN型矿浆泵，效率高28%，又如广西大厂矿务局车河选厂用8/6E-AH型瓦尔曼泵代替原使用的6PNJ型胶泵，每年每台可节电179280千瓦·小时。泵的工作寿命可延长10～12倍。

地信网论坛
bbs.3s001.com

引进的瓦尔曼制造技术共六个系列，78个品种，流量为3～15000米/时扬程为8～95米。该泵零部件的通用程度很高，不同型号的零部件可以相互换用，金属内衬与橡胶内衬可以互换，金属叶轮与橡胶护套可以构成多种组合，整个瓦尔曼产品系列仅用9个轴承组件、12个托架就可满足各种匹配需要。

瓦尔曼泵可分为如下几种类型：

AH、M、HH、H等重型渣浆泵——这类型皆为可多级串联的卧式泵，带有金属内衬或橡胶内衬（两者可以互换）。适用输送强磨蚀、高浓度或低浓度、高扬程的浆体。流量为10～5400米^3/时，扬程可达6～95米。

L型轻型渣浆泵——该泵为悬臂卧式离心泵，适用于输送浓度不超过30%的浆体。与AH型相比，L型具有低转速、体积小、价格便宜等特点。

SP、SPR型液下渣浆泵——此型泵为立式离心渣浆泵。能浸入液下工作，适宜输送腐蚀性液体和矿浆。

D型挖泥泵、G型砂砾泵——这两种泵均为立式单泵壳结构，用于输送粗颗粒泥浆、砂砾以及AH型泵不能输送的浆体物料。

瓦尔曼泵选型的原则如下：

输送低浓度、低磨蚀性浆体应选用轻型泵，即L型；

输送强磨蚀、高浓度浆体应选用重型泵、即AH型、M型；

输送低磨蚀、高扬程浆体可选用HH型或M型；

输送含大颗粒物料的浆体应选用D型或G型。

对于转速的选择，应尽量照顾到金属泵的叶轮线速度一般不超过30米/秒；衬胶泵的叶轮线速度一般不应超过25米/秒。

b 离心式矿浆泵的性能

有关离心式矿浆泵（泥浆泵、砂泵、渣浆泵、杂质泵）的清水性能及安装尺寸详细资料可查看各制造厂家的产品样本。目前，我国生产矿浆泵的厂家遍及全国，主要有石家庄、自贡、本溪、上海、佛山、常州等水泵厂，其中以石家庄水泵厂规模最大，产

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.6 石家庄水泵厂所产渣浆泵(砂泵、矿浆泵、杂质泵)的清水性能表

序号	名称	型号	联接方式	配用电动机		性能	
				型号	功率 kW	流量 m^3/h	扬程 m
1	砂泵	2½PS	直	Y160L—4	15	30 50 70	23.5 23 21
2	砂泵	2½PS	间	Y180L—4	22	30 50 70	35 34.5 33
3	砂泵	4PS	间	Y200L—4	30	90 120 160	25 24 21
4	砂泵	4PS	直	Y250M—4	55	90 120 160	37 36.5 35.5
5	砂泵	5PS	直	Y280M—6	55	180 240 320	29 28 25
6	砂泵	5PS	间	Y280S—4	75	180 240 320	36 35 31
7	灰渣泵	4PH	直	Y225M—4	45	100 150 200	41 39 37
8	灰渣泵	4PH—60	直	Y280S—4	75	140 180 220	61 60 59
9	灰渣泵	6PH	直	JS114—4	115	330 400 480	48 47 45

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.6

序号	名称	型号	联接方式	配用电动机		性能	
				型号	功率 kW	流量 m^3/h	扬程 m
10	灰渣泵	6PH	直	JS116—4	155	350 450 550	62 58 54
11	灰渣泵	8PH(Ⅰ)	直	JS127—6	185	450 550 600	65 49 47.5
12	灰渣泵	10PH(Ⅰ)	直	JS148—8	240	585 770 960	51 49 47.5
13	灰渣泵	10PH(Ⅰ)	直	JSQ158—6	550	768 1030 1290	91.8 88 85
14	灰渣泵	1PN	直	$Y100L_1$-4	3	7.2 12 16	14 13 12
15	灰渣泵	2PN	直	Y160M—4	11	30 47 58	22 19 17
16	灰渣泵	3PN	直	Y180L—4	22	54 108 151	26 21 15
17	灰渣泵	4PN	直	Y250M—4	55	100 150 200	41 39 37
18	灰渣泵	4PN(Ⅰ)	直	Y250M—4	55	41.5 80 111	51 50 49
19	灰渣泵	4PN(Ⅰ)	直	Y280S—4	75	52 100 138	51 50 49

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.6

序号	名称	型号	联接方式	配用电动机		性能	
				型号	功率 kW	流量 m^3/h	扬程 m
20	灰渣泵	8PN(Ⅰ)	直	JS128—6	215	450 550 600	65 63 62
21	灰渣泵	10PN(Ⅰ)	直	JSQ1512—6	780	768 1030 1290	91.8 88 85
22	灰渣泵	250PN(Ⅰ)	直	JSQ157—10	260	585 770 1100	51 49 46.5
23	灰渣泵	250PN(Ⅰ)	直	JSQ1510—8	475	775 1040 1325	77 75 73.5
24	灰渣泵	250PN(Ⅰ)	直	JSQ1512—8	570	780 1040 1430	91 90 85
25	灰渣泵	250PN(Ⅰ)	直	JSQ1512—8	625	780 1040 1430	91 90 85
26	灰渣泵	250PN(Ⅱ)	直	JSQ157—10	260	585 770 1100	51 49 46.5
27	灰渣泵	250PN(Ⅱ)	直	JSQ1510—8	475	775 1040 1325	77 75 73.5
28	灰渣泵	250PN(Ⅱ)	直	JSQ1512—8	570	780 1040 1325	91 90 85
29	灰渣泵	250PN(Ⅱ)	直	JSQ1512—8	625	780 1040 1325	91 90 85

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.6

序号	名称	型号	联接方式	配用电动机		性能	
				型号	功率 kW	流量 m^3/h	扬程 m
30	立式泥浆泵	2PNL	直	(B_5) Y160M—4	22	30 47 58	22 19 17
31	立式泥浆泵	3PNL	直	(V_1) Y180L—4	22	54 108 151	26 21 15
32	胶泵	25PNJ	直	$Y100L_2$—4	3	12 15 18	14 13 11.5
33	胶泵	2PNJB	直	Y160M—4	11	27 40 50	22 21 19
34	胶泵	2PNJB	间	Y180M—4	18.5	27 40 50	40 38 36
35	胶泵	4PNJA	间	Y220L—4	30	80 110 136	30.5 28.5 28
36	胶泵	4PNJA	直	Y250M—4	55	95 130 160	43 41 40
37	胶泵	6PNJB	直	Y315S—6	75	250 300 400	38 37 33
38	胶泵	8PSJ	间	Y315S—6	75	530	25
39	胶泵	8PSJ	间	JS117—6	115	450 594 704	35 30 28
40	胶泵	10PSJ	直	JSQ148—6	310	700 1000 1250	43 40 35

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.7 石家庄水泵厂制造的瓦尔曼泵清水性能表

序号	型号规格	出水口径 mm	转速，r/min	最大配带功率 kW	性能 流量，m^3/h	性能 扬程，m	最佳效率 %
1	20A—L	20	1800～2890	7.5	3.34～11.9	31.8～10	40
2	50B—L	50	1400～2800	15	16.2～76	44～9	55
3	75C—L	75	900～2400	30	18～151	45～4	57
4	100D—L	100	800～1800	60	39.6～225	46.8～6.5	60
5	3/2C—AH	50	1300～2700	30	39.6～86.4	72～64	55
6	3/2D—HH	50	850～1350	60	37.8～131	76～33.9	47
7	4/3C—AH	75	1000～2000	30	36～176.4	41～8	63
8	6/4D—AH	100	800～1200	60	79.2～288	35～12.5	68
9	6/4D—AH	100	1000～1600	120	97.2～381.6	62.5～19.5	68
10	8/6E—AH	150	500～1100	120	118.8～720	58～10	72
11	8/6R—AH	150	900～1140	300	205 738	62 32	72
12	10/8E—M	200	600～900	120	288 1080	42 15	73
13	10/8ST—AH	200	500～730	560	288 1058	47 18.4	71
14	12/10ST—AH	250	400～730	560	360 1584	54 13.4	80
15	14/12ST—AH	300	490～585	560	821 1962	60.2 36	77
16	6S—H	150	500～1000	560	468 1008	94 20	65
17	6S—HP	150	500～1000	560	468～1008	94 20	65
液下渣浆泵	40PV—SP	40	1000～2000	15	19.4～43.2	28.5～4.5	38
	65QV—SP	65	710～1470	30	16.6～84.6	30.1～5.7	51
	100RV—SP	100	500～1200	75	51～289	35～5	56

注：泵型号的意义

如：8 PSJ——衬胶
　　——砂泵
　　——杂质泵
　　——吐出口径（mm）被25除取整数值

4 PH——灰渣
　　——杂质泵
　　——吐出口径（mm）被25除取整数值

地信网论坛
bbs.3s001.com

2PNL——立式
泥浆
杂质泵
吐出口径（mm）被25除取整数值

2 PNJB——材质
衬胶
泥浆
杂质泵
吐出口径（mm）被25除取整数值

10/8ST——AH（或M、HH）：
10——泵吸入口直径（mm）被25除取整数值；
8——泵吐出口直径（mm）被25除取整数值；
ST——托架型式；
HH——高扬程渣浆泵；
M——中扬程渣浆泵；
AH——渣浆泵；
100D——L；
100——泵吐出口直径，mm；
D——托架型式；
L——低磨蚀渣浆泵。
40PV——SP（SPR）：
40——泵吐出口直径，mm；
PV——立式托架；
SP——液下渣浆泵；
SPR——衬胶液下渣浆泵。

品系列较为齐全。现将该厂的主要产品性能列于表19.6.6、表19.6.7。

c 离心式矿浆泵的选用方法

当选用矿浆泵扬送低浓度矿浆时，一般计算步骤如下，但当扬送高浓度矿浆或需要减低叶轮转数时应通过试验确定泵的排

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.8 平桂型砂泵性能及使用参数表

型号	流量 m^3/h	扬程 m	转速 r/min	电机功率 kW	砂水浓度 %	效率 %	允许的最大粒径 mm	砂泵重量 t
平桂50	12～15	16	1450	7.5			6～8	0.6
平桂100	80～130	8～35	800～1180	10～22	10		38	0.8
平桂125	140～160	10～40	700～1000	17～40	10		60	1.0
平桂150	250～350	25～45	750～1080	40～100	10～20	45	75	2.0
平桂200	480～580	25～44	650～830	115～180	10～20	45～50	100	3.3

注：此型号泵为平桂矿务局所制造，适用于含大颗粒的矿浆，吸入高度应不大于3.5m（清水吸程一般为6m左右）。

表 19.6.9 泵站内增加的水头损失表

泵段数 / 有无矿仓	1段	2段
有矿仓	6～9	4～6
无矿仓	3～4	3～4

注：单位m。

量、扬程及效率。

（1）所输送的矿浆量：

$$Q_b = K \times Q_K + \Sigma q_s \qquad (19.6.47)$$

式中 Q_K——矿浆量，m^3/h；

K——工艺波动系数，或取1.1；

Σq_s——本站及本站以前各砂泵站矿浆泵水封用水量总和，m^3/h。

（2）计算输送系统所需有效扬程（粗算）：

$$H_x = H_j \times \delta_K + L \times i_K + h_j \qquad (19.6.48)$$

式中 H_x——有效扬程（不包括泵站内水头损失与剩余水头），m；

δ_K——矿浆密度，t/m^3；

H_j——矿浆扬送的几何高差，m，

地信网论坛
bbs.3s001.com

L——输送管道总长度，m；

i_K——管道内水头损失，mm；

h_j——管道的局部水头损失，一般取$L \times i_K$的5～10%。

（3）从样本上选出拟采用的泵型号。

（4）将拟采用泵的清水扬程转换为矿浆扬程：

$$H_b = H_s \times \delta_K \times K_H \times h_m \tag{19.6.49}$$

式中 H_b——输送矿浆时泵的有效扬程，m；

H_s——样本上该泵的清水扬程，m；

K_H——输送矿浆时扬程降低率：

$$K_H = 1 - 0.25\varphi \tag{19.6.50}$$

$$\varphi = \frac{(\delta_K - \delta_g)\delta_g}{(\delta_q - \delta_s)\delta_K} \tag{19.6.51}$$

δ_K、δ_s、δ_g——分别为矿浆、清水、固体的密度，t/m^3；

h_m——因磨损引起的泵性能折减系数，一般直径在200mm以上的衬胶叶轮取0.95，其他叶轮取0.8～0.95。

（5）所需泵台数的估计：

1）串联时：

$$n_g = \frac{H_z}{H_b - X} \tag{19.6.52}$$

2）并联时：

$$n_g = \frac{Q_b}{q_b} \tag{19.6.53}$$

式中 X——每台泵所要承担的泵站内水头损失、剩余水头以及因设有矿浆仓而增加的水头损失，此数据一般可按表19.6.9所列数据选取：

q_b——每台工作泵的流量，m^3/h；

n_g——所需泵数，台。

其他符号同前。

（6）整个输送系统实际所需的总有效扬程为：

$$H_t = H_z + n_g X \tag{19.6.54}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

每台泵实际需要提供的扬程为：

$$H_B=\frac{H_t}{n_g} \qquad (19.6.55)$$

如$n_g H_B \geqslant H_t$即表示选用的泵合适，否则，应另选其他泵型。

（7）电动机功率计算：

矿浆泵配用的电动机一般选用异步电动机，当功率较大时，为了提高功率因数，亦可采用同步电动机，其功率可按下式计算：

$$N=\frac{QH_K K}{102\eta_b \eta_j \cdot K_H} \qquad (19.6.56)$$

式中 N——电动机功率，kW；

Q——每台泵的矿浆输送量，L/s；

H_K——输送矿浆的扬程，m；

$$H_K=H_s \times \delta_K \qquad (19.6.57)$$

K——电动机的储备系数，一般为1.1～1.25，大电机取小值，小电机取大值；

η_b——泵扬送清水时的效率；

η_j——机组传动效率；联轴器直接传动取1.0；三角皮带传动取0.95～0.96；齿轮传动取0.97～0.98；

K_H——见公式（19.6.49）；

其他符号同前。

（8）矿浆泵的备用泵：

为了保证泵站的安全生产，需安装一定数量的备用泵，备用数量可按表19.6.10选用。

（9）矿浆泵性能调整：

样本上所规定的泵性能可在允许范围内作适当的调整，调整的方法如下：

1）调节泵的转速：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.10 矿浆泵备用数量表

规　　格	工作泵台（组）数	备用泵的台（组）数
当吐出口口径在200mm及200mm以下时	1	1
	2	2
	3～4	2～3
当吐出口口径在200mm以上时	1	1～2
	2	2～3
	3～4	3～4

注：1.表中有变动范围的数字，当在生产中可能出现磨损严重或其他不利条件者取大值，反之，取小值；

2.当用矿浆泵冲洗管道时备用泵台数应满足冲洗的要求。

$$Q_2=Q\frac{n_2}{n_1} \tag{19.6.58}$$

$$H_2=H_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \tag{19.6.59}$$

$$N_2=N_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \tag{19.6.60}$$

式中 Q_2、H_2、N_2——泵调节转速后的流量、扬程及轴功率；

Q_1、H_1、N_1——按产品样本查到的泵额定流量、扬程及轴功率；

n_1、n_2——泵额定转速及调节后的转速。

2）改变叶轮直径：

泵叶轮初切削后性能的变化最好按具体的试验实测资料确定，也可参考下面方法计算，但切削量不得超过20%。

$$Q_2=Q_1\frac{D_2}{D_1} \tag{19.6.61}$$

$$H_2=H_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \tag{19.6.62}$$

$$N_2=N_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \tag{19.6.63}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

式中 D_1、D_2 ——为切削前后的叶轮直径。

其他符号同前。

(10) 水封泵流量与扬程的确定：

大多数矿浆泵皆需供给水封用水。当外界给水管水压不能满足要求时需另设水封加压泵，该泵的流量一般为矿浆量的1～2%（大型泵取小值；小型泵取大值）。泵的扬程可按下式确定：

$$H_f = H_s \delta_K + H_c + h_g + h_j \qquad (19.6.64)$$

式中 H_f——水封泵的扬程，m；

H_s——样本上矿浆泵的清水扬程，m；

δ_K——矿浆的密度，t/m^3；

H_c——要求水封水压超值，一般为196kPa($2kg/cm^2$)；

h_g——水封供水管沿程水头损失，m；

h_j——水封供水管局部水头损失，m。

(11) 离心式矿浆泵的串联工作：

为了有效利用水压与便于管理，经常将矿浆泵串联起来工作。随着泵许用压力的逐渐提高，这种布置方式越来越广泛地被采用。目前，串联工作泵大多是2～3台，前后单泵的特性曲线基本上相同或近似，多台矿浆泵或性能不同泵串联工作，还比较少见。因为泵串联的台数过多或单级泵的性能差异过大，则将在生产管理上带有很多麻烦，特别是在启动方式和泵的调速上要考虑一系列的适应措施。

串联泵工况的选择主要是通过将单级泵性能曲线（Q—H曲线）迭加而得（图19.6.8）。管路特性曲线与串联泵性能曲线的交点就是串联泵的工况点。

应该注意的是当多级泵串联时，泵内压力必然逐渐增加，托架轴承受寿命将受到一定的影响，过流部件也会加快磨损。因此，当拟采用多级泵串联工作时，需经慎重考虑。

当启动串联工作泵时，由于管路开始是空的，如向管内直接输入矿浆，必然会因阻力小而造成瞬时流量过大，引造泵的汽蚀

地信网论坛
bbs.3s001.com

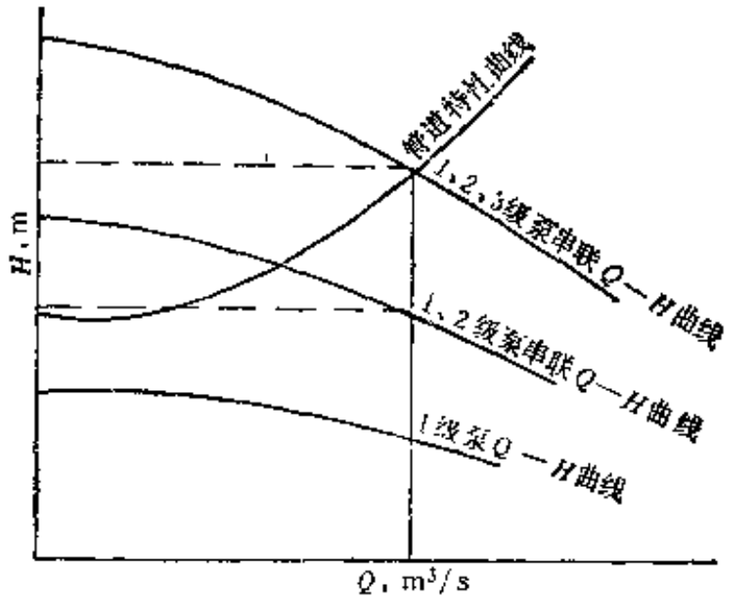


图 19.6.8 串联离心式矿浆泵Q—H曲线图

和电动机超载（长距离输送管较为明显），故当送入矿浆前应先输送清水，待整个系统运转正常后再输送矿浆。同时，启动时应自第一级泵开始逐级启动，以保证工作平稳。

在远距离浆体输送中，考虑到实际工况的变化及选型计算的误差，一般应采用液力偶合器、可控硅调速，变频调速等调速装置。调速装置多装于第一级泵或最末一级泵。装于首级泵可以避免因启动时管道阻力小、流量大而出现的汽蚀或电机超载；装于末级泵可以使管道系统工作平衡。至于装在哪级泵最为合理，应根据用户的具体特点或需要而定。

B 往复式泥浆泵

a 往复式泥浆泵在长距离管道输送中的应用

目前世界上较为常用的往复式泥浆泵有油隔离泥浆泵、单作用三缸柱塞泵、双作用活塞泵、隔膜泵等四种类型。这些泵均属于容积泵，易于形成高压，最大压力可达9810千帕斯卡(100千克/厘米^3)以上。同时还具有不易发生堵塞的优点，故目前世界上远距离、高浓度浆体管道输送多以往复式泥浆泵作为主要加压设备。这类泵共有的缺点是排量不大，一般都在200米^3/时以下，不过，

地信网论坛
bbs.48s001.com

表 19.6.11 远距离管道输送金属矿浆使用往复式泥浆泵的工程实例

地点名称	物料名称	年输送矿物量 百万t/a	管径 mm	管长 km	泵的类型	流量 m^3/min	工作压力 kPa(kg/cm²)	矿浆重量浓度 %
新几内亚布干维尔铜矿	铜精矿	0.9	150	27	单作用三缸柱塞泵	1.8	13734 (140)	55～60
苏联顿涅茨克地区英古列茨采选公司	铁精矿	13.7	550	370	ГНПА80/100活塞泵			52～60
巴西萨玛科铁矿	铁精矿	5.0	500～450	396	单作用三缸柱塞泵	3.22	13793 (140.6)	66
澳大利亚萨维奇铁矿	铁精矿	2.25	229	85.3	单作用三缸柱塞泵	4.3	10437 (107)	55～60
南非帕拉博拉铁矿	铁精矿	4.40	406	265	单作用三缸柱塞泵		9810 (100)	56
苏联白俄罗斯古而斯克铁矿	铁精矿	7.3	323	26.5	隔膜泵		7358 (75)	60
朝鲜茂山铁矿	铁精矿	2	275	98	油隔离泥浆泵	6.5	2945～4905 (30～50)	30

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表

地点名称	物料名称	年输送矿物量 百万t/a	管径 mm	管长 km	泵的类型	流量 m^3/min	工作压力 kPa(kg/cm²)	矿浆重量浓度 %
美国萨马科赤铁矿	铁精矿	12.0	508～458	396	单作用三缸柱塞泵	3.4	13734 (140)	60
美国平托谷铜矿	铜精矿		100	17.2	立式三缸柱塞泵	0.012	15500 (158)	55～60
海南铁矿	矿泥及粉矿		219×8	9	油隔离泥浆泵	2.7	2943 (30)	30
邯郸西石门铁矿	铁尾矿		273×11	10	油隔离泥浆泵			40
张家洼铁矿	铁尾矿	0.79	209	7	油隔离泥浆泵	3.3	3739 (37.2)	41.5
日本大馆市尾矿管道	铜、铅、锌尾矿	0.5	300	71	双作用活塞泵	3.1	4905 (50)	18
澳大利亚西部镍矿	镍尾矿	0.1	100	7	单作用三缸柱塞泵	0.4	2845 (29)	49～60
加拿大国际镍矿公司	矿泥				油隔离泥浆泵	1.0	6867 (70)	12～14

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.12 国内生产的油隔离泥浆

生产厂家	型 号	出口压力 kPa (kg/cm^2)	流量 m^3/h	冲次 min^{-1}	缸径 mm	活塞行程 mm	管径 mm 进口	管径 mm 出口
广州重型机械厂	YNB—80/20	1962 (20)	80	43	180	350	200	120
广州重型机械厂	YNB—100/20	1962 (20)	100	43	200	350	200	120
广州重型机械厂	YNB—125/20	1962 (20)	125	44	220	350	200	120
广州重型机械厂	YNB—160/20	1962 (20)	160	46	220	450	250	150
广州重型机械厂	YNB—200/20	1962 (20)	200	45	250	450	250	150
广州重型机械厂	YNB—80/40	3924 (40)	80	45	180	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—100/40	3924 (40)	100	46	200	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—125/40	3924 (40)	125	47	200	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—160/40	3924 (40)	160	48	220	450	250	150
广州重型机械厂	YNB—200/40	3924 (40)	200	46	250	450	250	150
广州重型机械厂	YNB—80/80	7848 (80)	80	48	180	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—100/80	7848 (80)	100	48	200	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—125/80	7848 (80)	125	49	220	350	200	135
广州重型机械厂	YNB—160/80	7848 (80)	160	50	220	450	250	150
广州重型机械厂	YNB—200/80	7848 (80)	200	47	250	450	250	150

地信网论坛
bbs.3s001.com

泵型号及工作性能表

电动机				空压机型号	总重量	外形尺寸
型号	转速 r/min	功率 kW	电压 V		t	(长×宽×高) mm
JS$_2$555M—10	586	75	380	(Z—20/30 (宁波)	12.5	—
JS$_2$555M—10	586	95	380	CZ—20/30 (宁波)	12.5	—
JS$_2$400M$_3$—10	589	112	380	CZ—20/30 (宁波)	12.8	—
JS$_2$400M$_2$—10	589	132	380	CZ—20/30 (宁波)	18.5	—
JS$_2$400M$_3$—10	589	160	380	CZ—20/30 (宁波)	18.5	—
JS$_2$400M$_2$—10	589	132	380	1—0.633/60 (南京)	18	—
JS$_2$400M$_3$—10	589	160	380	1—0.633/60 (南京)	18	—
JS1410—10	590	200	6000	1—0.633/60 (南京)	20	—
JS157—10	585	260	6000	1—0.633/60 (南京)	26.5	—
JS158—10	592	310	6000	1—0.633/60 (南京)	27	—
JS157—10	585	260	6000	CZ—0.41/150 (宁波)	27	—
JS158—10	585	310	6000	CZ—0.41/150 (宁波)	27.7	—
JS1510—10	590	400	6000	CZ—0.41/150 (宁波)	28.5	—
JS—15—10	592	500	6000	CZ—0.41/150 (宁波)	38.5	—
JS—15—10	592	630	6000	CZ—0.41/150 (宁波)	38.5	—

地信网论坛
bbs.3s001.com

生产厂家	型 号	出口压力 kPa (kg/cm²)	流量 m³/h	冲次 min⁻¹	缸径 mm	活塞行程 mm	管径 mm 进口	管径 mm 出口
大连523厂	YJB—160/40	3924 (40)	160	50	210	460	250	225
大连523厂	YJB—120/60	5886 (60)	120	50	190	460	225	175
大连523厂	YJB—120/25	2453 (25)	120	60	200	330	170	140
大连523厂	YJB—100/40	3924 (40)	100	50	140	350	200	140
大连523厂	YJB—70/25	2453 (25)	70	50	170	330	170	120
大连523厂	YJB—200/40	3924 (40)	200	50	230	460	250	225
郑州503厂	YB—3改装	3924 (40)	64—96	23—35	185—195	450	250	110
四川空压机厂	2DYN—108/40	3924 (40)	108	50	200	350	200	135
本溪水泵厂	2DGN—120/25	2453 (25)	120	60	200	330	200	152
本溪水泵厂	2DGN—6/30	2943 (30)	6	187	54	80	65	40
本溪水泵厂	2DGN—15/40	3924 (40)	15	76	90	150	75	50
上海大隆机器厂	2NB80	2943～1128 (30～11.5)	64.8～125.3	160	115～160	216	203	88

近年来国际上出现的GEHO型活塞隔膜泵已打破这种局面，将排量提高到700米³/时左右。现列举几个利用往复式泥浆泵远距离管道输送金属矿浆的实例（表19.6.11）。

国内目前用于浆体管道输送的往复式泥浆泵主要是油隔离泥浆泵，其他类型的往复式泥浆泵国内使用的实例还不是很多。故在这里只介绍一下有关油隔离泥浆泵选用要求。

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.12

电动机				空压机型号	总重量	外形尺寸
型号	转速 r/min	功率 kW	电压 V		t	（长×宽×高） mm
					30	9470×3825×5400
					21.7	9300×3880×5400
JR127—10	585	115			11.5	6775×3390×5300
					17.2	9540×2560×5300
					12.2	6775×3390×5300
					30	9300×3930×5400
JR137—10	585	155			18	7415×3890×（）
JS138—100Z		180	380		16	5358×2381×2300
JR128—10	585	130			11	6890×3000×5300
	720	75			0.55	1200×1260×928
	730	30			1.4	2660×1710×1400
					14	4100×1589×1510

b 油隔离泥浆泵型号及主要性能

油隔离泥浆泵主要用于输送粒度≤1毫米、浓度≤60～65%、温度≤80～100℃、pH值在6～8的尾矿、精矿、煤粉或煤灰、铝土矿……等各种不同密度的浆体。我国生产油隔离泥浆泵的主要厂家有广州重型机器厂、大连523厂、本溪水泵厂、四川空压机厂等。但各厂家都未形成系列生产。现将各厂家生产的油隔离泥

地信网论坛
bbs.3s001.com

浆泵型号及性能择录于表19.6.12。

c 油隔离泥浆泵的选用方法

油隔离泥浆泵的工作压力一般都比较大，而流量较小，故往往需多台并联工作。油隔离泥浆泵因压力不够而串联的情况比较少见，但有时也会出现的，遇到这种情况泵之间应设有矿浆仓。选用油隔离泥浆泵的主要计算步骤如下：

（1）扬量：

$$Q_b = KQ_z \tag{19.6.65}$$

式中 Q_b——泵的流量，m^3/h；

Q_z——矿浆量，m^3/h；

K——流量波动系数；一般取用1.05～1.1。

（2）泵的工作压力：

$$p_b > \frac{H_z}{10} \times 98.1 \tag{19.6.66}$$

$$H_z = \delta_K H + Li_h + h_j + h_n + h_y \tag{19.6.67}$$

式中 p_b——泵的额定压力，kPa；

H_z——输送矿浆的总扬程，m；

H——矿浆扬送的几何高差；m；

δ_K——矿浆密度，t/m^3；

L——输送管长，m；

i_h——管道单位水头损失，mm；

h_j——管道局部水头损失，一般为Li_h的10%；

h_n——泵站内的水头损失，一般取2～3m；

h_y——管道剩余水头，一般取1～2m；

98.1——每一kg/cm^2值折合kPa的数值。

（3）电动机功率：

$$N = \frac{K \cdot Q_b \cdot H_z}{102\eta_v \eta_j} \tag{19.6.68}$$

式中 N——电动机功率，kW；

K——电动机功率储备系数，一般为1.05～1.1，大电机

地信网论坛
bbs.3s001.com

取小值，小电机取大值；

Q_b——泵定额流量，L/s；

H_z——矿浆泵的总扬程，m；

η_v——泵的容积效率，一般为0.88～0.95；

η_j——机械总效率，一般取0.94。

（4）泵的备用量：可按表19.6.13确定。

表 19.6.13 油隔离泥浆泵备用量表

泵 型	工作泵台（组）数	备用泵台（组）数
油隔离泥浆泵	1	1
	2	1～2
	3～4	2

D 空气室的选择及有效容积计算

为了使油隔离泥浆泵工作稳定，一般在压出管上安装空气室，它可以起到稳定泵的排出量及工作压力的作用。同时，还可以消除工作时所出现的设备与管道的剧烈振动，当吸入管过长，为了消除气蚀减少管道的惯性阻力，在吸入管也应增设空气室。通常采用的空气室有圆筒形（图19.6.9）和球形（图19.6.10)两类。球形空气室比圆筒形空气室体积要小一些，但存在着筒内压力波动大、噪音强、皮囊容易老化等缺点，故一般多采用圆筒形空气室。空气室有效容积的计算方法如下：

（1）当采用高压充气方式时压出管空气室有效容积可按下式计算：

$$V=\frac{pV_p}{98.1} \tag{19.6.69}$$

$$V_p=\frac{\beta FS}{\delta} \tag{19.6.70}$$

式中 V——空气室的有效容积，m^3；

p——泵的额定工作压力，kPa；

V_p——空气室的空气容积，m^3；

β——剩余体积系数，一般取0.042；

地信网论坛
bbs.3s001.com

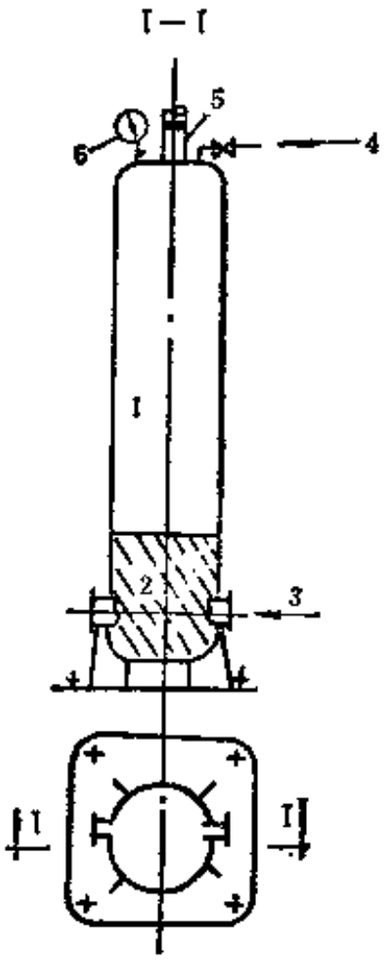


图 19.6.9 圆筒形空气室示意图

1—空气；2—矿浆；3—接泵的压出管；4—压缩空气管；5—安全爆破片；6—压力计

F——活塞断面积，m^2；

S——活塞冲程，m；

δ——压力不均匀系数，见表19.6.14。

表 19.6.14 压力不均匀系数

管长，m	100	500	1000	2000	3000	5000
压力不均匀系数，δ	0.02	0.01	0.0066	0.005	0.004	0.0034

（2）当采用低压充气时压出管空气室有效容积可按下式计算：

$$V = V_p \frac{p}{p_s} \qquad (19.6.71)$$

式中 p_s——预充空气压力，kPa。

地信网论坛
bbs.3s001.com

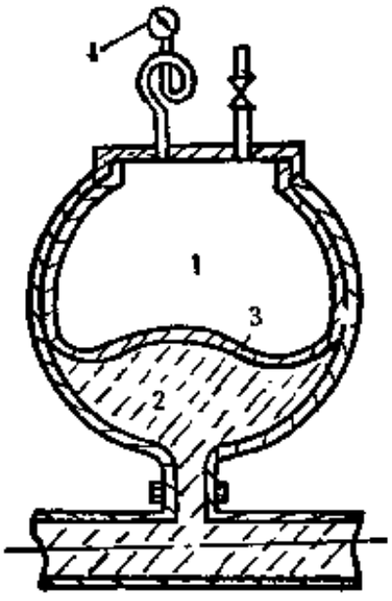


图 19.6.10 球形空气室示意图

1—空气；2—矿浆；3—气囊；4—压力计

（3）吸入管空气室有效容积可按下式确定：

$$V \geqslant 5FS \sim 10FS \qquad (19.6.72)$$

式中 V——空气室的有效容积，m^3；

其他符号同前。

19.6.6.2 泵站的配置

A 泵站选址原则

（1）尽量不采用地下式，以节约投资与减少土石方量；

（2）泵站位置应交通方便；

（3）应避开工程地质条件恶劣或易于被洪水冲刷的地区；

（4）发生事故时泵站内管道矿浆应有自流外排的可能。

B 泵站平面尺寸及高度的确定原则

泵站平面尺寸取决于下列条件：

（1）要满足矿浆泵、水封泵、排水泵、起重设备、配电设备、……等的安装、检修及生产操作上的需要；

（2）应考虑到材料堆放、工人休息以及其他辅助设施所需的占地面积；

（3）要照顾到建筑模数的要求。

地信网论坛
bbs.3s001.com

泵站内机组间通道宽度一般有如下要求：

（1）有起重设备且有集中检修场地时，低压电机机组之间不应小于1.2米；高压电机机组间，不小于1.5米；

（2）无起重设备或有起重设备而无集中检修场地时，应大于泵机组宽度1.5米；

（3）机组伸出基础以外的部分，其间的通道宽度一般不小于1.2米；伸出部分与墙壁之间宽度不小于0.7米；

（4）低压配电盘前的通道宽度不小于1.5米；高压配电盘应设隔墙与机器间隔开。

泵站内房屋的有效高度决定于起重机起吊的最大部件底面与所需跨越物顶面间的净空间距，此间距一般要求不小于0.5米；而一般泵站的最小有效高度应在3.2米以上。地下式泵站高度需根据生产需要及设备装卸要求而定，但通常泵站的地面上部分高度也不应小于3米。

为了防止因泵站内地坪流水进入配电间造成配电设备受潮或损坏，配电间的地面标高应略高于泵机组间的地面高度，大致要求高出0.15～0.3米。

C 矿浆仓（池）

矿浆仓（池）是矿浆泵站的重要组成部分，它可以起到稳定排量和输送压力的作用，保证泵站的正常生产。

按泵的进矿浆方式，矿浆仓可分为吸入式与压入式两种类型。两种类型皆有生产实例，但采用压入式者较多。矿浆仓可设于室内或室外，这主要取决于当地的气候条件或管理上的需要。但大型矿浆仓多设于室外。

矿浆仓一般应与泵台（组）相对应分为若干格，但也有的泵站为了减少倒换泵组而需调换矿浆仓的麻烦，采取几台（组）泵共同一个矿浆仓。对这种矿浆仓应考虑到在清洗或检修矿浆仓时，不致于影响泵组正常生产的措施。

矿浆仓容积的确定主要取决于来矿量的波动情况。单一离心矿浆泵矿浆仓的容积应满足1～3分钟的扬送量，多台泵共用的

地信网论坛
bbs.3s001.com

矿浆仓容积应根据同时开动的泵台数和每台泵的1～3分钟扬送量确定。油隔离泥浆泵矿浆仓容积一般应不小于10分钟的扬送量。在输送前需要进行粒度或浓度调整的矿浆，其矿浆仓容积应根据工艺需要而定。

矿浆仓面向排放口的内底面坡一般应有1:1～1:4的坡度，以便使矿浆易于流向排放口，并应设有冲洗水管与事故放矿口。必要时在仓内还应装设搅拌装置。

D 泵站内管道布置

a 管道布置的一般要求

（1）泵站内矿浆管道布置首先应考虑安全生产，当某一泵组、管道、闸阀、或管件出现故障时，必须保证泵站的正常生产；

（2）要简化管道布置、减少管长、弯管与闸阀的数量，要尽量避免出现死角；

（3）要照顾泵站内平面和竖向的通行方便；

（4）要便于减少工作人员的劳动强度，大规格闸阀应尽可能采用液压或电力操纵。

b 泵站内矿浆管道的几种布置型式

这里介绍几种离心式矿浆泵站的典型管道布置型式（表19.6.15）。油隔离泥浆泵站在我国使用面还不是十分广泛，对其泵站内管道布置形式也缺乏系统总结，故本手册中只将湖南锡矿山油隔离泥浆泵泵站配置情况介绍如下（图19.6.11），供参考。从现已投产的油隔离泥浆泵站来看，其管道布置形式与离心式泵站有很多相似之处。

E 泵站辅助设备与辅助设施

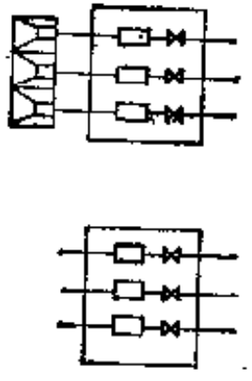
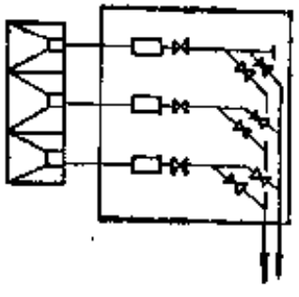
泵站辅助设备主要有配电设备、起重设备、通讯装置、供排水设备以及必要的测量仪表等，同时，还应根据需要设置检修场地、器材仓库、工人休息室，采暖通风等辅助设施。现分述于下：

a 供配电设备

泵站电源的可靠性应不低于选矿厂主要生产车间。供配电设

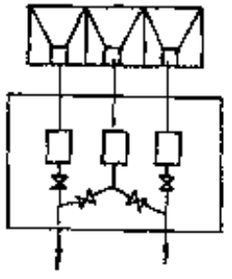
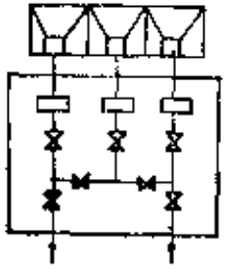
地信网论坛
bbs.3s001.com

表 19.6.15 离心式矿浆泵站管路布置形式表

序号	布置类型	简图	优点	缺点	适用条件	目前的主要用户名称
1	I型		1.布置闸阀与管件少； 2.水力条件好； 3.操作与检修方便； 4.泵站面积小； 5.机组间相互无影响，发生事故的机会少	1.泵台数多或输送距离远时投资高； 2.换泵即需换管道，相应的增加了冲洗用水量及事故放矿次数	1.矿浆泵台数少； 2.输送距离短； 3.矿浆性质对闸阀磨损有严重影响	古山、五龙、桃林、杨家杖子等矿选矿厂
2	Y型		1.输送管为一条工作，一条备用，但对泵台数无限制； 2.任一台泵、闸阀或换管路发生故障，仍可泵，换管，继续工作，适应事故的能力强	1.闸阀较多； 2.管道有立体交叉	适宜多台泵并联工作	鞍钢烧总、齐大山、歪头山等选矿厂

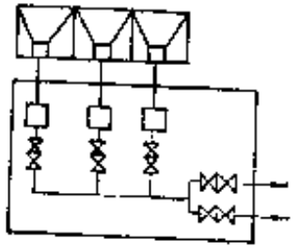
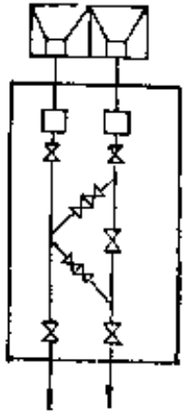
地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.15

序号	布置类型	简图	优点	缺点	适用条件	目前的主要用户名称
3	M型		1.管道布置较简单，闸阀数量少； 2.操作管理比较简单； 3.水力条件好	两侧泵不能互为备用，备用率较其他型式为低	泵一台工作，一台备用，输送管为两条（一条备用）	云锡新冠选矿厂
4	H型		1.管道布置紧凑，所需建筑面积小； 2.较M型备用率高	阀门较多水力条件差	1.三台泵，一台工作，两台备用 2.输送管两条，其中一条为备用	锦屏，弓长岭等选矿厂

地信网论坛
bbs.3s001.com

续表 19.6.15

序号	布置类型	简图	优点	缺点	适用条件	目前的主要用户名称
5	闸阀串联型		1.管路布置较规则，简单，管道检修量少； 2.可以做到换泵不换管； 3.如将双闸阀中一个换为逆止阀则闸阀数量比Y型少	1.当更换集中管段上闸阀时泵站要停止工作； 2.不便于管道冲洗； 3.泵台数多时闸阀将大量增加	1.多台泵并联工作； 2.管道不需冲洗或不经泵可以直接冲洗管道的单级泵站	水厂、南芬等选矿厂
6	K型		1.可以做到少调换管道； 2.停开或转换泵时需开关的闸阀数量少	1.管路布置不规则，占地面积大， 2.闸阀数量较多	1.两条输送管（一条工作，一条备用） 2.泵的数量少（不多于3台）	大孤山、凡口等选矿厂

地信网论坛
bbs.3s001.com

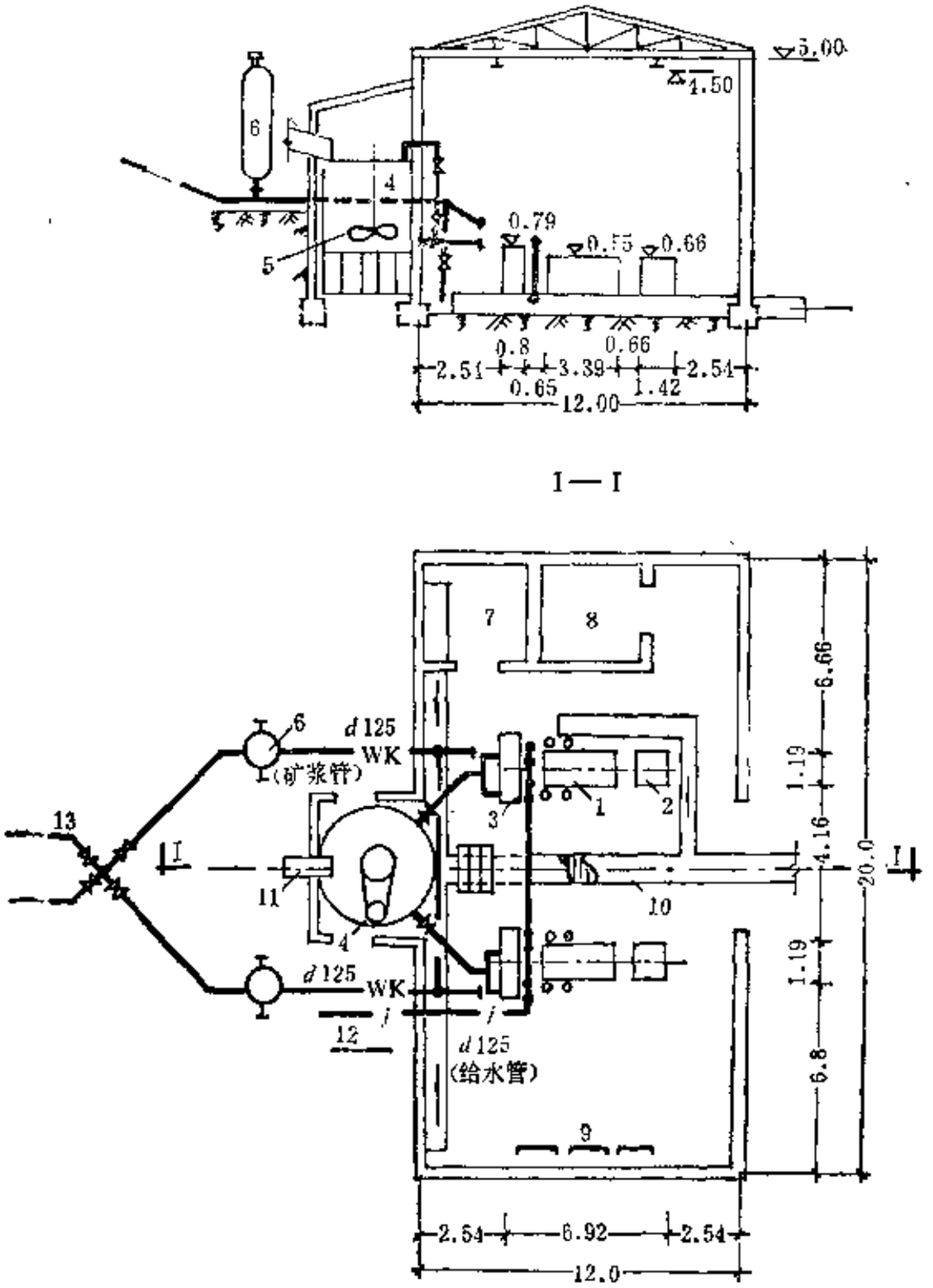


图 19.6.11 湖南锡矿山站隔离泥浆泵站配置示意图

1—泵；2—电动机；3—阀体；4—矿浆仓；5—搅拌装置；6—压出空气室；7—仓库；8—值班室；9—配电盘；10—地沟；11—给矿；12—来自高位水池的给水管；13—排矿管

地信网论坛
bbs.3s001.com

备能力应满足泵性能调节的特点与生产前后期可能出现的泵性能变化的需要。同时，还要考虑到检修用电。

配电设备与泵机组要严格分开，当两者设置于同一厂房内时，其间距应保持在2米以上。泵站内外、矿浆仓、事故池等处都应设有便于工作和检修的照明设施。

b 起重设备

泵站起重设备一般按表19.6.16的规定选用。

表 19.6.16 泵站起重设备选用表

泵或电动机吊装件重量，t	地下式泵站	地上式泵站
≤0.5	手动固定单轨	手动固定单轨
0.51～1.50	手动或电动固定单轨，或桥式	手动固定单轨或桥式
1.51～4.00	电动单轨或桥式	手动桥式或电动桥式
≥4.00	电动桥式	电动桥式

注：1.离心式矿浆泵整体计算重量；油隔离泥浆泵以最大部件计算重量。

2.泵体或部件如果磨蚀速度很快或泵机组有三台（组）以上时表内标准可适当提高。

c 通讯设备

总矿浆泵站与厂调度室之间应设有调度电话，各分泵站与调度室之间是否应设调度电话应根据各生产厂的实际需要而定；各泵站间应装有专用直通电话。大型泵站或装有多台泵的中小型泵站应考虑设置电话隔音间。

d 供排水设施及设备

泵站内应装有供水管道以供应各种用途的用水，如调节补充水、冲洗管道用水、水封用水、冲洗地坪用水、……等等。供水可以直接来自外部管道，当供水水压过低不能满足生产需要时可设置各种专用供水水泵（加压泵），除水封加压泵需设备用外，其他类型供水加压泵需否设置备用，要根据具体情况而定。

离心式矿浆泵的水封水供应量应为矿浆输送量的1～2%（大型泵取小值；小型泵取大值）。水封供水水压应比矿浆输送压力大

地信网论坛
bbs.3s001.com

196千帕斯卡（即2千克/厘米^3）。

冲洗水管的供水能力应视矿浆管道的冲洗要求而定。通常冲洗水量不应低于输送矿浆的临界流量；对冲洗要求不高的管道冲洗水量可酌情减少。

此外，还需向泵站供应生活用水；安装油隔离泥浆泵的泵站要供应调整油罐油面用水。

除上述对水压要求外，其他各用水点水压都应大于98.1千帕斯卡（1千克/厘米^3）。水质要求供给洁净水。

泵站向外排放的水量一般不大，而且多为间断排水。故泵站地坪要有一定坡度（一般为0.01～0.02），使废（污）水可以自流外排；如无自排条件时，可设置立式，自灌卧式，或潜水式排水泵，也可采用水射器。

e 测量仪表

矿浆仓一般应装有液位指示器。必要的报警装置、测量排量、工作压力、温度、pH值、浓度、……等检测仪表应在泵站内装设。这些设施或仪表都应将指示部分安装在工作人员易于观察的部位。

f 其他

其他包括的内容很多，而且各泵站往往并不一定完全相同，概括来说，需要考虑的有如下几项：

（1）泵站应考虑防止水锤及发生事故时事故处理等措施；

（2）要设置检修场地、器材仓库、废品堆置场、工人休息室、必要的道路及交通设施；

（3）泵站室内最低温度应保持在+5℃以上，对于冬季可能结冰的泵站应考虑防冻问题；

（4）当泵站机组容量较大、输送有特殊气味的矿浆、或输送高温矿浆时，泵站应考虑必要的通风措施；

（5）油隔离泥浆泵一般采用22号透平油，向油箱供油有人工或油泵两种方式；人工加油多适用于泵台数不多，油耗量少时，否则，应设置加油泵；

地信网论坛
bbs.3s001.com

（6）油隔离泥浆泵空气室可采用高压或低压法充气。但因低压法充气要停泵充气，故目前大多是采用高压充气法。高压充气的气压应大于泵工作压力294～490千帕斯卡（3～5千克/厘米^3），一般需考虑设置供气用的压缩空气机；

（7）油隔离泥浆泵站应考虑设置防止电动机烧毁或管道爆裂的安全保护装置。

参 考 文 献

[1] 中国矿业学院主编，矿山运输机械，煤炭工业出版社，1980.
[2] 梁庚煌等，运输机械手册，化学工业出版社，1983.
[3] 杨复兴，胶带输送机结构原理与计算（上册），煤炭工业出版社，1983.
[4] BRIDGESTONE, CONVEYOR BELT DESIGN MAN. AL, Printed in Jappan' 81/6 2000GP.
[5] 张启溶，带式输送机的制动，起重运输机械，1984，№3.
[6] 日本横滨皮带运输机技术说明书，国外矿山，1976，№1.
[7] 北京起重运输机械研究所，高强度胶带输送机译文集，1974.
[8] 西德标准DIN22101（草案），国外金属采矿，1980，№5.
[9] 法国REI公司的弯曲皮带机，矿山设计通讯，1984，№4.
[10] GOODYEAR, Handbook of Conveyor & Elevator Pelting, Printed in U.S.A.
[11] Conveyor Equipment Manufactureres Association, Belt Conveyors for Bulk Materials SECOND EDITION, CB1 Publishing Company, Inc, 1979.
[12] 国际标准ISO—5048带承载托辊的带式输送机——运行功率和张力计算，起重运输机械，1982，№4.
[13] 《选矿设计参考资料》编写组，选矿设计参考资料，冶金工业出版社，1972.
[14] W. 瑞斯涅尔、M.V 艾森哈特·罗齐，料仓，中国建筑工业出版社，1978.
[15] 长沙黑色冶金矿山设计研究院等，尾矿设施设计，1980，未发表著作.
[16] 吴承模，我国铁矿选矿厂尾矿输送技术现状及提高输送效率的途径，1985，未发表著作。
[17] 《尾矿设施设计参考资料》编写组，尾矿设施设计参考资料，冶金工业出版社，1980.
[18] 金元善，赵振铎，油隔离泥浆泵，冶金工业出版社，1983.
[19] J. Chadwick, Solid—Liguid Flow Slurry Pipeline Tran-Sportation, Trans Tech Publication, Germay, 1977.

地信网论坛
bbs.3s001.com

20 物料贮存

地信网论坛
bbs.3s001.com

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.1 贮 矿 仓

20.1.1 贮矿仓的种类和结构型式

贮矿仓是选矿厂贮存矿石的一种特殊构筑物，它起到选矿厂各作业能够正常、均衡生产的作用。选矿厂贮矿仓的种类及常用的结构型式列于表20.1.1。

表 20.1.1 矿仓种类及结构型式

矿仓总称	矿仓种类	常用结构型式
原矿仓	原矿受矿仓	地下式、高架式、滑坡式
	原矿贮备矿仓	地下式、地面式、高架式
	原矿中和矿仓	地面式、堆场
中间矿仓	缓冲矿仓	高架式、地面式
	分配矿仓	高架式
	中间贮备矿仓	地面式、高架式
	磨矿仓	高架式、地面式
成品矿仓	成品贮备矿仓	地面式、高架式
	装车仓	高架式、滑坡式
精矿仓	精矿仓	抓斗式、高架式
	精矿分配矿仓	高架式
废石仓	废石缓冲仓	高架式、地面式
	废石装车仓	高架式

20.1.1.1 贮矿仓的种类

A 原矿仓

原矿仓是贮存由矿山运来的又未经选矿厂加工过的矿石的矿仓。仅仅是为了完成装卸作业的原矿仓称原矿受矿仓；为了调节矿山开采、运输作业与选矿厂生产之间的不平衡而设置的贮存大

地信网论坛
bbs.3s001.com

量原矿的矿仓称原矿贮备矿仓；为了均匀原矿化学成分或物理性质而需进行配矿、混匀的矿仓通称为原矿中和矿仓。

B 中间矿仓

中间矿仓是贮存中间产品的矿仓。为了调整生产系列上、下设备瞬时产率的不平衡可设置缓冲矿仓；由单系列（台）转换为多系列（台）生产而设置的矿仓称分配矿仓；为了调节矿山开采、运输作业或选矿厂粗破碎作业与预选或细破碎作业之间的生产不均衡，可设置贮存矿量较大的中间贮备矿仓；磨矿仓起到分配矿仓和中间贮备矿仓的作用。

C 产品矿仓

选矿厂的主要产品为精矿；也有些选矿厂生产未经磨机处理过的较粗粒产品，这种产品俗称为成品矿。

产品矿仓除了调节选矿厂生产与产品外运的矛盾外，还具有装车、船的功能。

D 废石仓

选矿厂常在预选作业选出粒度较粗的废石，为了保证主作业的正常生产也需要设置废石缓冲矿仓或废石装车仓。

20.1.1.2 贮矿仓的主要结构型式

A 地下式矿仓

矿石贮存在这种矿仓中的部位在地面以下，称地下式矿仓。其实例的横剖面如图20.1.1所示。

B 半地下式矿仓

半地下式矿仓，其仓壁埋于地面以下，部分矿石堆于地面以上。半地下式矿仓实例的横剖面如图20.1.2所示。

半地下式矿仓不宜贮存粒度大于350毫米或小于10毫米的矿石。当矿石中含有泥土又比较潮湿时，更不宜选用这种矿仓。

半地下式矿仓容易被矿石堵塞，而又不容易清理，所以近年来已逐渐被地面式矿仓所代替。只有当地形条件合适，地基为坚硬的岩石时，贮存的矿石又比较干燥时，建筑半地下矿仓才可能是经济合理的。

地信网论坛
bbs.3s001.com

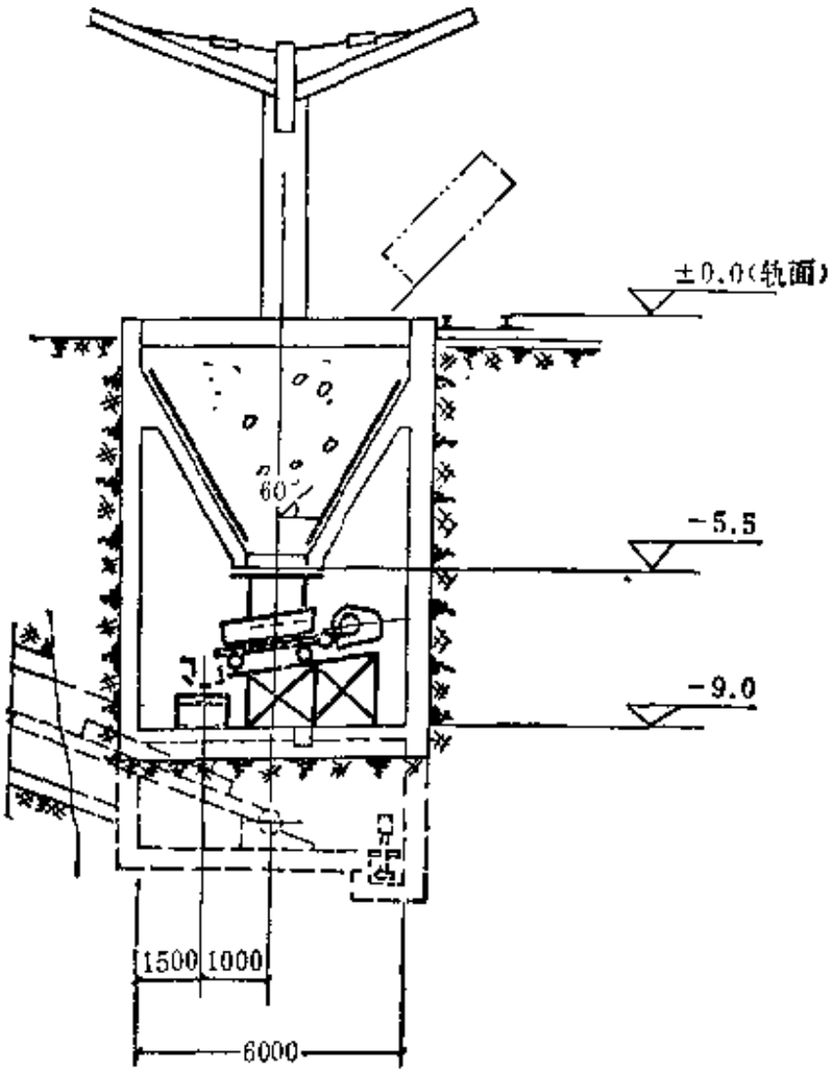


图 20.1.1 地下式矿仓实例

C 地面式矿仓

这种矿仓无埋入地下的仓壁，所以矿石都堆于地面以上，其实例的横剖面如图20.1.3所示。

地面式矿仓的最大优点是贮矿容积大和单位造价低。这种矿仓由于可以使用推土机推矿，或可以使用铲运机铲矿，因此容易清理被矿石堵塞的排矿口。当为露天堆置矿石（矿仓不设房盖）时，还可以增大矿仓的贮矿容积，但是推土机处理能力小、作业费用较高。

当用阀门或给料机排矿时，地面式矿仓不宜贮存粒度大于350毫米的矿石。

D 高架式矿仓

地信网论坛
bbs.8s001.com

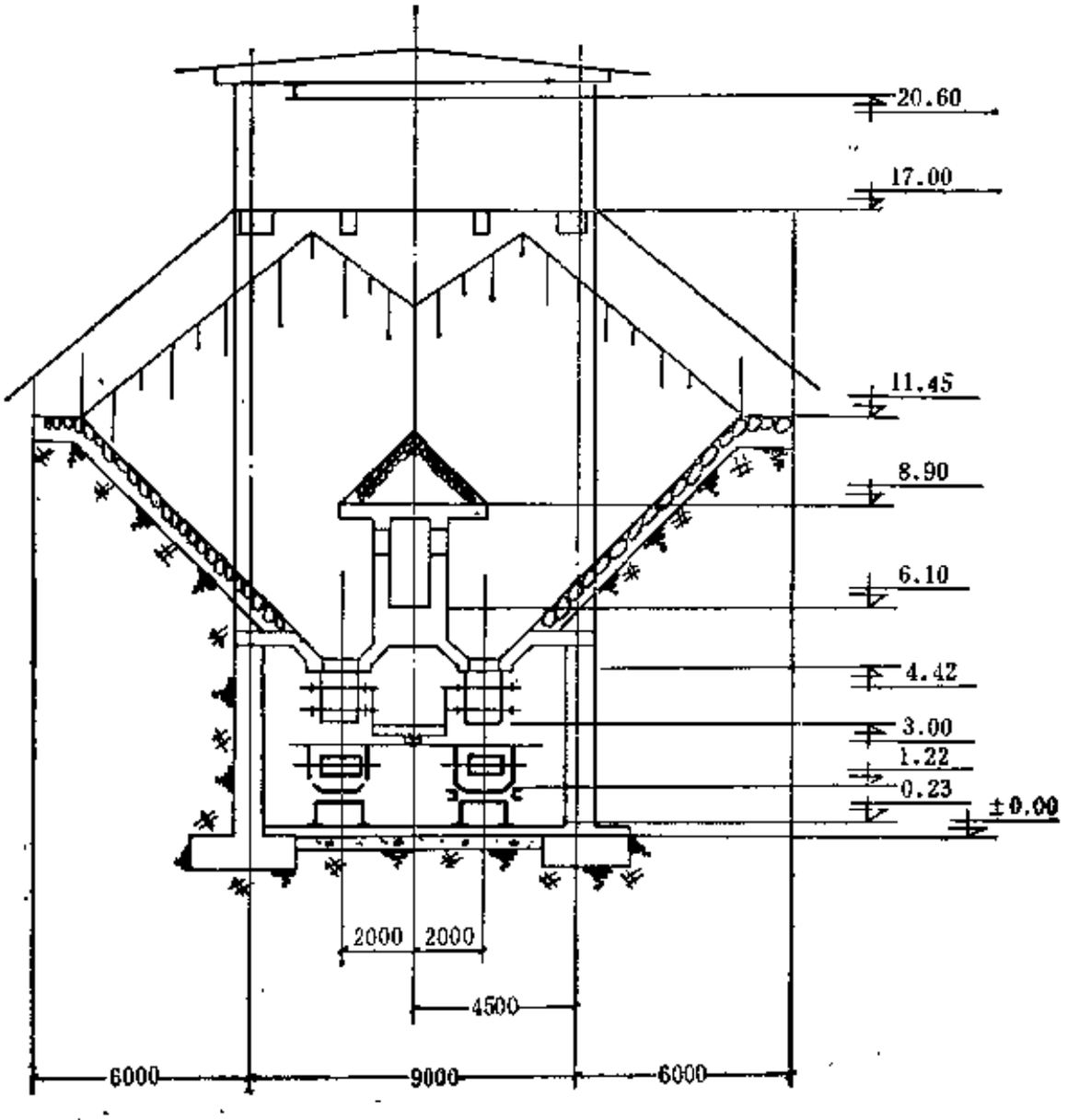


图 20.1.2 半地下式矿仓实例

这种矿仓贮矿部分的仓壁，由支柱架设于空间，其实例的纵剖面如图20.1.4所示。

高架式矿仓的单位造价虽比地面式或抓斗式矿仓高，但是由于它的配置较灵活、使用方便，所以被广泛选用。

高架式矿仓易被矿石堵塞，尤其是贮存泥矿、粉矿或水分大的矿石时更为严重。但是可以多设甚大的排矿口；或采用振动放矿机（带有破拱架）等措施予以解决。

地信网论坛
bbs.3s001.com

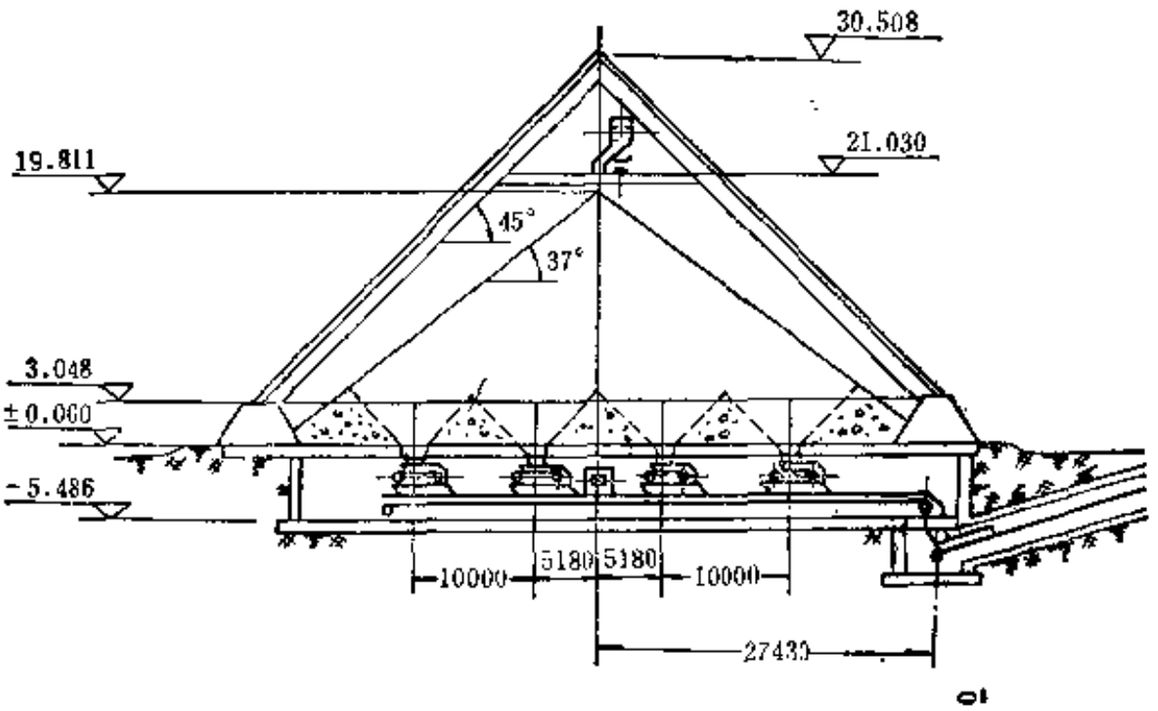


图 20.1.3 地面式矿仓实例

E 抓斗式矿仓

抓斗式矿仓中所贮存的矿石，一般由带式输送机装入，然后借助于抓斗起重机把矿石取出，因此该矿仓不存在堵塞问题，适宜贮存各种性质的块、粉成品矿及精矿粉。

这种矿仓贮量大，单位造价不高，但是由于抓运矿石的抓斗起重机台数一般不少于 2 台，且其一台抓斗起重机活动范围不小于20米，所以当贮矿容积少于2000米^{3}时，选用这种矿仓可能是不经济的。抓斗矿仓实例的横剖面示于图20.1.5。

F 滑坡式矿仓

滑坡式矿仓实例的横剖面如图20.1.6所示。这种矿仓不适于贮存粉矿及泥矿。

建设滑坡式矿仓时，应特别注意利用地形和地基的地质条件，如果在一般土壤的平地上建筑这种矿仓，必然会造成浪费；即使在坚硬岩石的山坡建造，其单位造价也高于高架式矿仓，而劳动力单位消耗指标却大大地高于高架式矿仓的指标。钢材单位消耗指标也不比高架式矿仓少。

地信网论坛
bbs.3s001.com

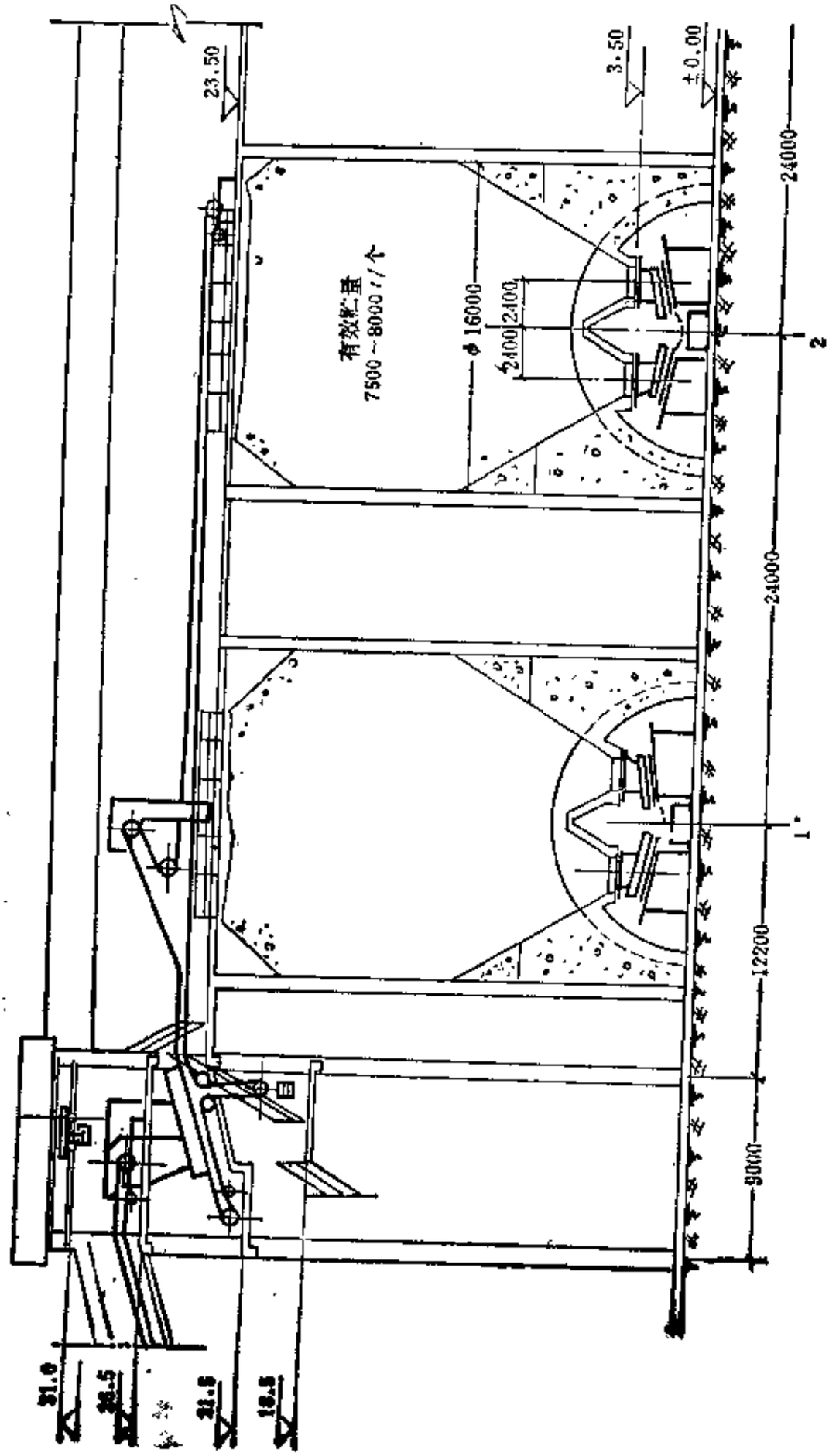


图 20.1.4 高架式矿仓实例

地信网论坛
bbs.3s001.com

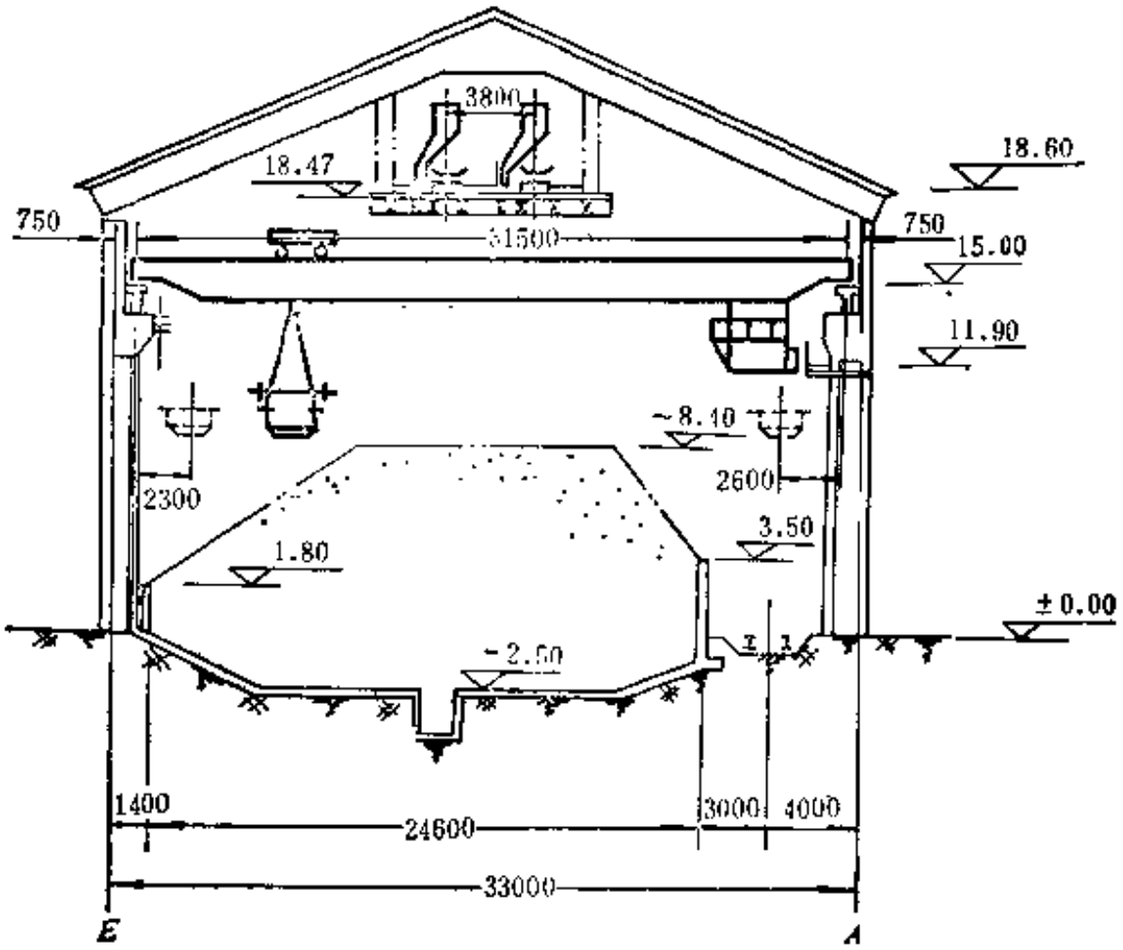


图 20.1.5 抓斗式矿仓实例

滑坡式矿仓的主要优点是由于它的贮矿断面积小，即单位长度的贮矿量小，因此在矿石贮量不多的情况下，却有较长的受矿和排矿面，可以改善装车条件，提高装车速度。

G 堆场

堆场实际是矿石贮存量很大、且可以中和矿石的巨型地面式矿仓。图20.1.7是其中的一种形式。堆场一般用堆、取料机作业。

20.1.2 贮矿时间的确定

20.1.2.1 贮矿时间的含义

贮矿时间的含义是：

$$T=\frac{Q_0}{Q} \tag{20.1.1}$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

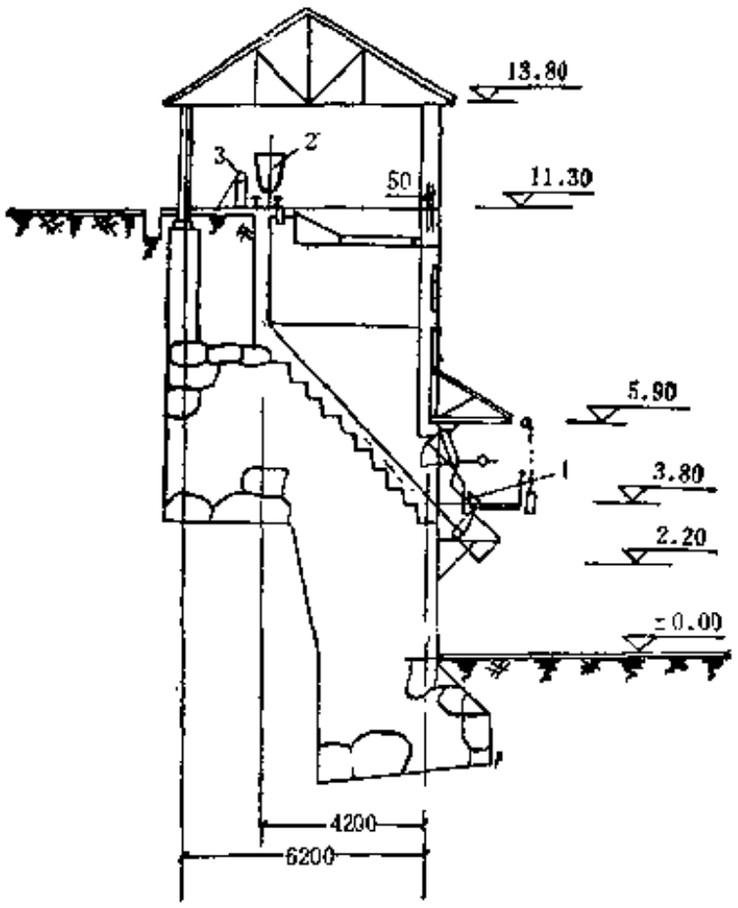


图 20.1.6 滑坡式矿仓实例

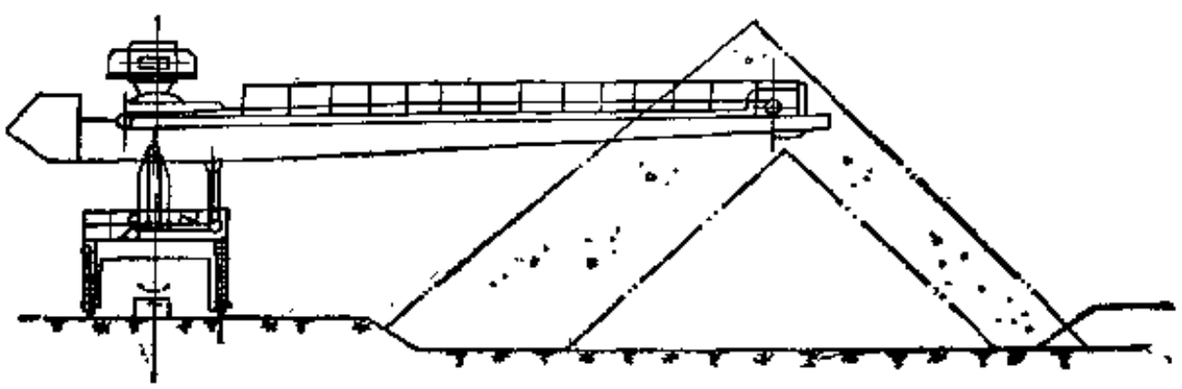


图 20.1.7 堆场实例

式中 T——贮矿时间，d（或h或min）；

Q_0——贮矿仓的贮矿量，t；

Q——贮矿仓的排污量，t/d（或t/h或t/min）。

20.1.2.2 确定贮矿时间的方法

由于矿山、破碎筛分厂、选矿厂、烧结厂、冶炼厂以及其他

地信网论坛
bbs.3s001.com

产品用户的位置不同，因此布置矿仓的条件也是有差异的；另一方面，由于工厂的产量规模不同、生产流程不同、厂区的地形条件不同等因素，也会引起矿仓的布置型式和贮矿时间的不同。

影响选矿厂各种矿仓贮矿时间的具体因素有：供应原料的矿山和原矿运输作业与选矿厂工作制度的差异；选矿厂连续均衡的产品生产与运输产品间断作业的矛盾；输入、输出设施受到的特殊影响，如暴风雨雪、自然灾害、国家的暂时性特殊任务等；选矿厂各作业之间的互相影响，如各工序作业率的差异、设备事故、设备检修等。通过对这些因素的调查研究、统计分析，就可以确定选矿厂各种矿仓的贮矿时间，现介绍两种统计法。

A 装泻统计法

装泻统计法是通过某厂某贮矿仓的装入量Q_{1t}与泻出量Q_t的不平衡积累量W计算出贮矿时间T的一种方法，其计算程序如下：

$$W_{zt}=\sum_{t=1}^{n}(Q_{1t}-Q_t) \tag{20.1.2}$$

并分别计算：W_{x1}，W_{x2}，$W_{x3}\cdots\cdots W_{xn}$

$$W_{xx}=MAX\{W_{x1},W_{x2},W_{x3},\cdots\cdots,W_{xn}\} \tag{20.1.3}$$

$$W_{xy}=MIN\{W_{x1},W_{x2},W_{x3},\cdots\cdots,W_{xn}\} \tag{20.1.4}$$

$$W=W_{xx}+|W_{xy}| \tag{20.1.5}$$

$$T=nW\left(\sum_{t=1}^{n}Q_t\right)^{-1} \tag{20.1.6}$$

式中 T——贮矿时间，d（或h）；

t——无量纲（时间因次），$t=1,2,3,\cdots\cdots,n$；

W_{zt}——总积累量；

W_{xx}——最大积累量；

W_{xy}——最小积累量；

W——不平衡累计量；

Q_{1t}——装入量；

Q_t——泻出量；

地信网论坛
bbs.3s001.com

n——统计时间总次数。

装泻统计法的统计计算图，如图20.1.8所示。

B 综合统计法

综合统计法是通过广泛的选矿厂实例进行统计分析，得出选矿厂各种矿仓的贮矿时间。统计分析的步骤是：按公式(20.1.1)计算出被统计选矿厂各种矿仓的实际贮矿时间；再按公式(20.1.2)至(20.1.6)统计出该选矿厂各种矿仓的需要贮矿时

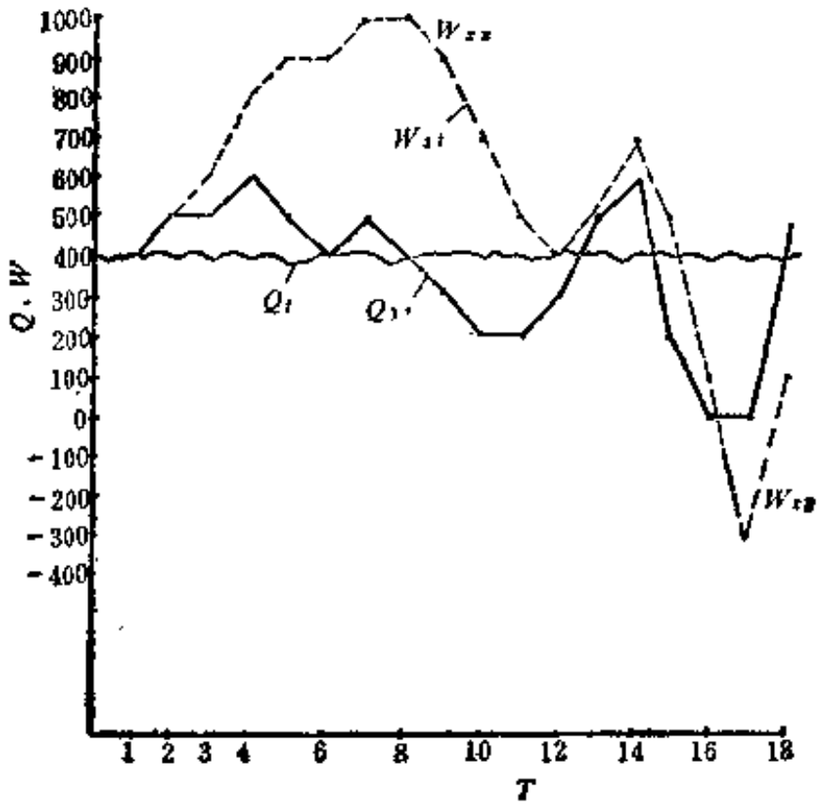


图 20.1.8 装泻统计法统计计算图示

间；同时查阅该厂的统计报表，分析是否发生过因为矿仓贮满或无矿而影响生产的情况，并仔细分析这种情况发生的原因是否是因管理、特殊情况或是因矿仓容积过小（即贮矿时间过短）而引起的，最后确定被调查厂的各种矿仓的合理贮矿时间。经过对大量选矿厂的调查研究后，可以得到选矿厂各种矿仓贮矿时间的大致规律。

20.1.2.3 选矿厂贮矿仓的贮矿时间确定

选矿厂的原矿仓和中间矿仓（包括磨矿仓）的贮矿时间总和

地信网论坛
bbs.3s001.com

一般为2～6天，产品矿仓的贮矿时间一般为 2 ～30天。有些大、中型选矿厂为了降低建设费用，常常设置造价低廉的地面式中间贮备矿仓（矿堆），其贮矿时间一般为 2 天左右。当设置中间贮备矿仓时，则不必设置原矿贮备矿仓，磨矿仓的贮矿时间应适当减少。小型选矿厂及某些中型选矿厂一般不设置中间贮备矿仓，在这种情况下，可适当增大原矿受矿仓或磨矿仓的贮矿时间。

20.1.3 矿石性质和矿仓形状

20.1.3.1 松散矿石的流动性质

许多科技工作者，对矿仓中矿石的流动性进行过研究、测定。布朗（Brown）和霍克斯雷（Hawksley）对卸料口附近自由流动物料的描述如图 20.1.9 所示的模式；克瓦波尔(Kvapil)对流动带进一步研究，其模式如图20.1.10所示，他认为流动带的形成过程取决于物料的性质。

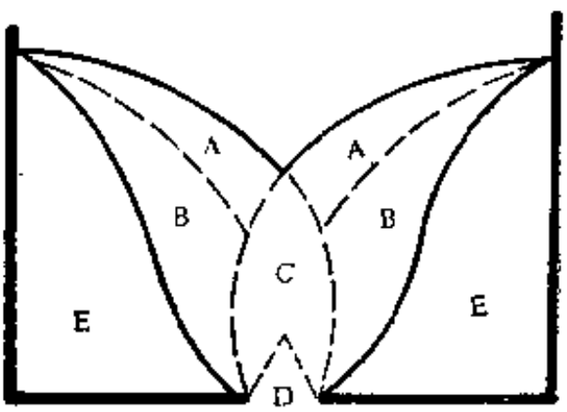


图 20.1.9 物料流动模式 1

A—迅速流动；*B*—缓慢滑动；*C*—垂直运动；*D*—自由降落；*E*—不运动

A 物料的流动函数FF

詹尼克（Jenike）提出以物料流动函数FF描述物料的流动性，如表20.1.2所列。

如图20.1.11所示，松散物料的强度，很大程度上取决于预压实程度。设想在一个筒壁无摩擦的理想的圆柱形筒体内，在一

地信网论坛
bbs.3s001.com

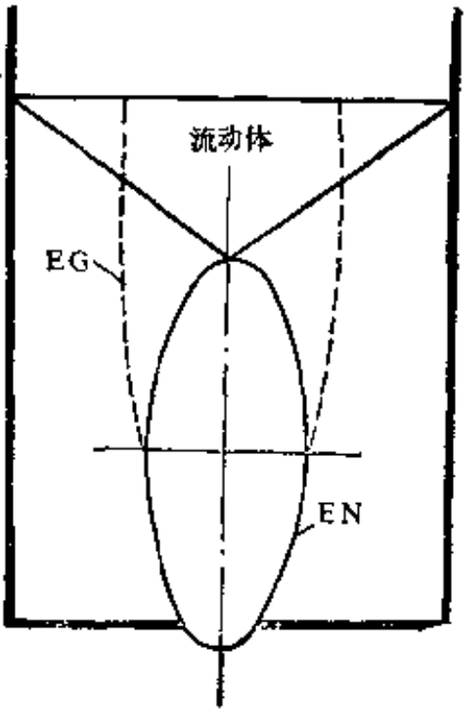


图 20.1.10 物料流动模式 2

EG—边界椭圆体；EN—垂直和滚动运动体

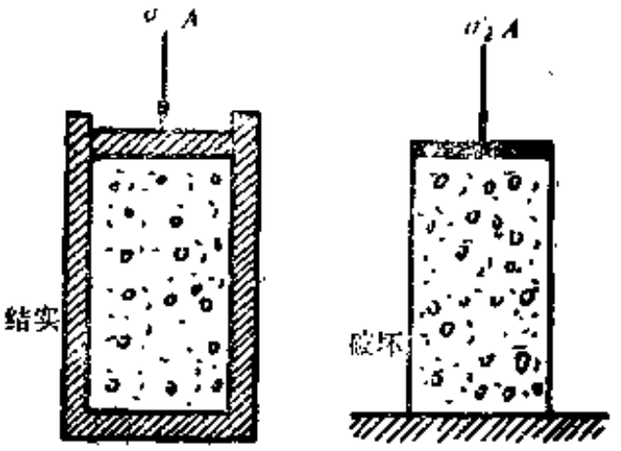


图 20.1.11 试料压实及破坏试验模式

表 20.1.2 流动函数*FF*

流动函数	物料类别
$1<FF<2$	非常粘结和不流动的物料
$2<FF<4$	粘结的物料
$4<FF<10$	容易流动的物料
$10<FF$	自由流动的物料

地信网论坛
bbs.3s001.com

定压力σ_1下，使一种松散物料（在一定时间内）压实，然后取去筒体，对这个试样施加荷载，引起试样破坏所需的压力为f_c（开放屈服强度）。那么，流动函数：

$$FF=f(\sigma_1)=\sigma_1/f_c \tag{20.1.7}$$

测定σ_1有一定难度，方法也不少。有一种称作“封闭破坏仪”的装置，还有一种将物料包以聚四氟乙烯薄膜在圆筒中压缩的装置，都能直接测得σ_1；詹尼克的间接测定法乃是用剪切仪（图20.1.12）进行试验，从而得到试料的屈服轨迹。σ_1值可以通过与屈服轨迹上的两个摩尔（Mohr）圆表示，如图20.1.13所示。

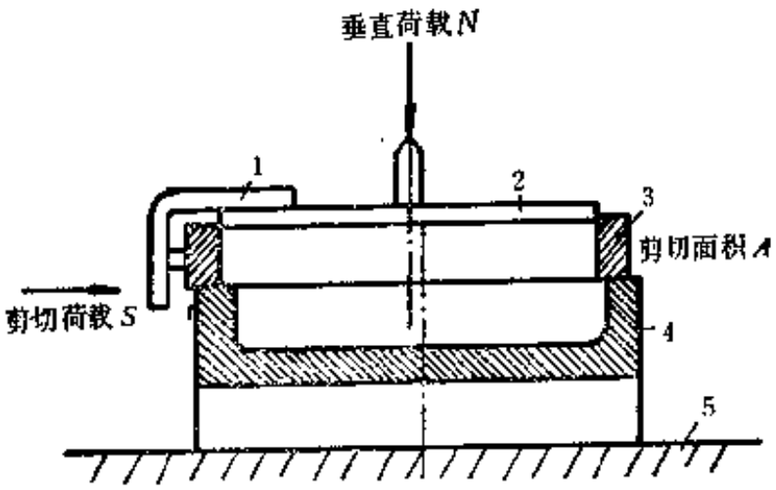


图 20.1.12 剪切仪示意

1—悬臂荷载杆；2—顶盖；3—上环体；4—底座；5—机架

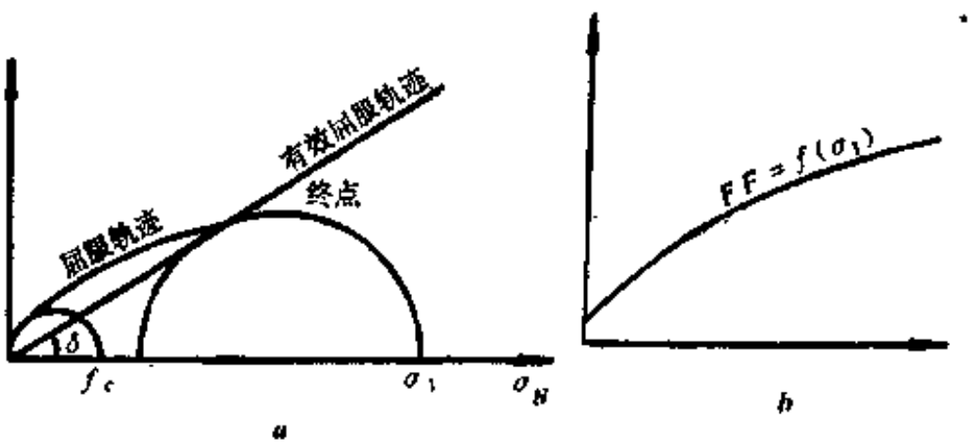


图 20.1.13 试料的屈服轨迹及σ_1和FF

地信网论坛
bbs.8s001.com

B 物料的内摩擦角δ'和有效内摩擦角δ

用剪切仪试验得到的屈服轨迹与摩尔圆相切之点的连线同σ_n轴的夹角δ'，就是物料的内摩擦角；与各摩尔圆相切的切线同σ_n轴的夹角δ是有效内摩擦角。如图20.1.14所示。

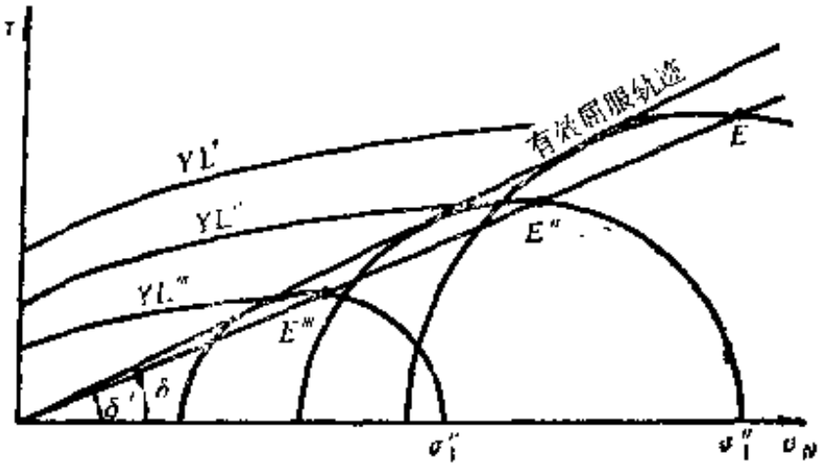


图 20.1.14 物料的δ和δ'

C 物料的陷落角ϕ和堆积角ρ

a 兰金（Rankine）常数

$$\lambda=\frac{p_h}{p_v}=\frac{1-\sin\delta}{1+\sin\delta}=\mathrm{tg}^2\left(45°-\frac{\delta}{2}\right) \qquad (20.1.8)$$

式中 λ——兰金常数（或称有效极限应力比值、侧压系数）；

p_h——水平压力；

p_v——垂直压力；

δ——物料有效内摩擦角，(°)。

b 物料的陷落角

为了简化计算，提出了陷落角ϕ（图20.1.15）这一概念，其值随着料柱的高度稍有变化，若以排矿口上方2米以内考虑，则公式（20.1.8）中正切符号内所带角度的余角就是陷落角，即：

$$\phi=45°+\frac{\delta}{2} \qquad (20.1.9)$$

实际生产中，由于矿仓底部的物料有时含有较长时间的受压

地信网论坛
bbs.3s001.com

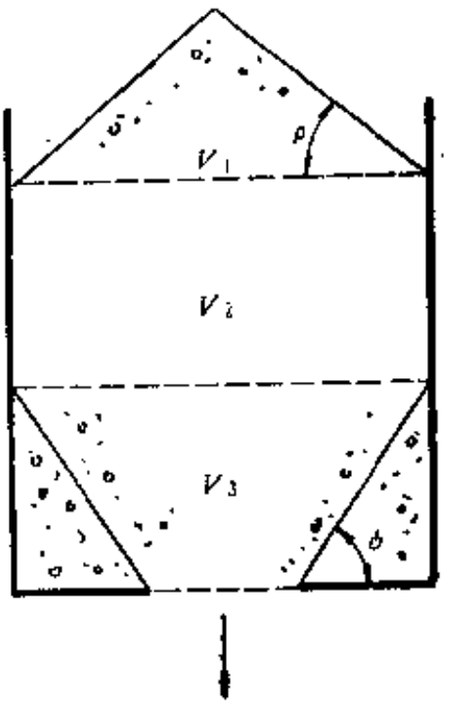


图 20.1.15 物料的 ϕ 和 ρ

结实，尤其是含有潮湿泥粉状物料时，ϕ 的变化更为显著。因此在测定 δ 值时要模拟生产条件进行。ϕ 值的宏观实测数据列于表20.1.3。

c 物料的堆积角

物料的堆积角 ρ（图20.1.15）是物料在动态情况下（粗粒物料偏析滚动）的安息角，它比物料的静安息角小，实测的 ρ 值见表20.1.3。

表 20.1.3 矿石的堆积角及陷落角

矿石种类	堆积角 ρ，(°)	陷落角 ϕ，(°)
各种粒度之原矿	38～40	55～60
经破碎后之块矿	38～40	55～60
经筛分后之块矿	40	50～55
经筛分之粉矿	35～38	65～75
含泥多，湿度大之块矿	38～40	60～70
含泥多，湿度大之粉矿	40～45	70～80
精　矿	40～43	65～75

注：位于矿仓排矿口上方1～3m部位测量。

地信网论坛
bbs336001.com

D 仓壁的摩擦系数μ和摩擦角ϕ'

物料对仓壁的摩擦系数：

$$\mu = \mathrm{tg}\,\phi' \qquad (20.1.10)$$

ϕ'为物料与仓壁的摩擦角，也可以用剪切仪测定。如图20.1.12所示，只是把底座部分用仓壁材料代替，并且为一块平板。

物料对仓壁的摩擦角ϕ'、仓斗壁半角θ_h（与垂直线的夹角）和物料的有效内摩擦角δ的关系特例如图20.1.16所示。

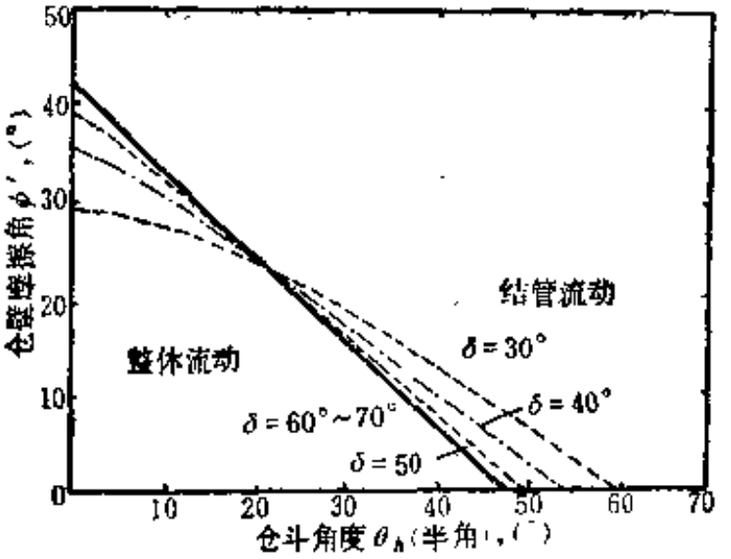


图 20.1.16 ϕ'、θ_h、δ的关系
（根据Johenson和Colijn）

E 流动因素f_f

詹尼克定义流动因素f_f是压实应力σ_1和作用在阻塞上的应力σ_u的比值，即：

$$f_f = \sigma_1 / \sigma_u \qquad (20.1.11)$$

f_f越小，矿仓中物料的流动性越好。物料在平底仓或仓斗半角θ_h甚大的斗仓中成拱或结管的临界流动因素，如图20.1.17所示；物料在斗仓中的临界流动因素如图20.1.18所示。

F 流动条件

计算可以避免结拱或结管的最小卸料口宽度的一个重要参数是临界开放屈服强度f_{cc}。求解f_{cc}的方法是把流动因素f_f表示在流动函数FF上，其交叉点就是f_{cc}。例如约翰逊(J.R.Johanson)对含水为10%的铁矿石进行的测定及计算表示于图20.1.19。

地信网论坛
bbs.3s001.com

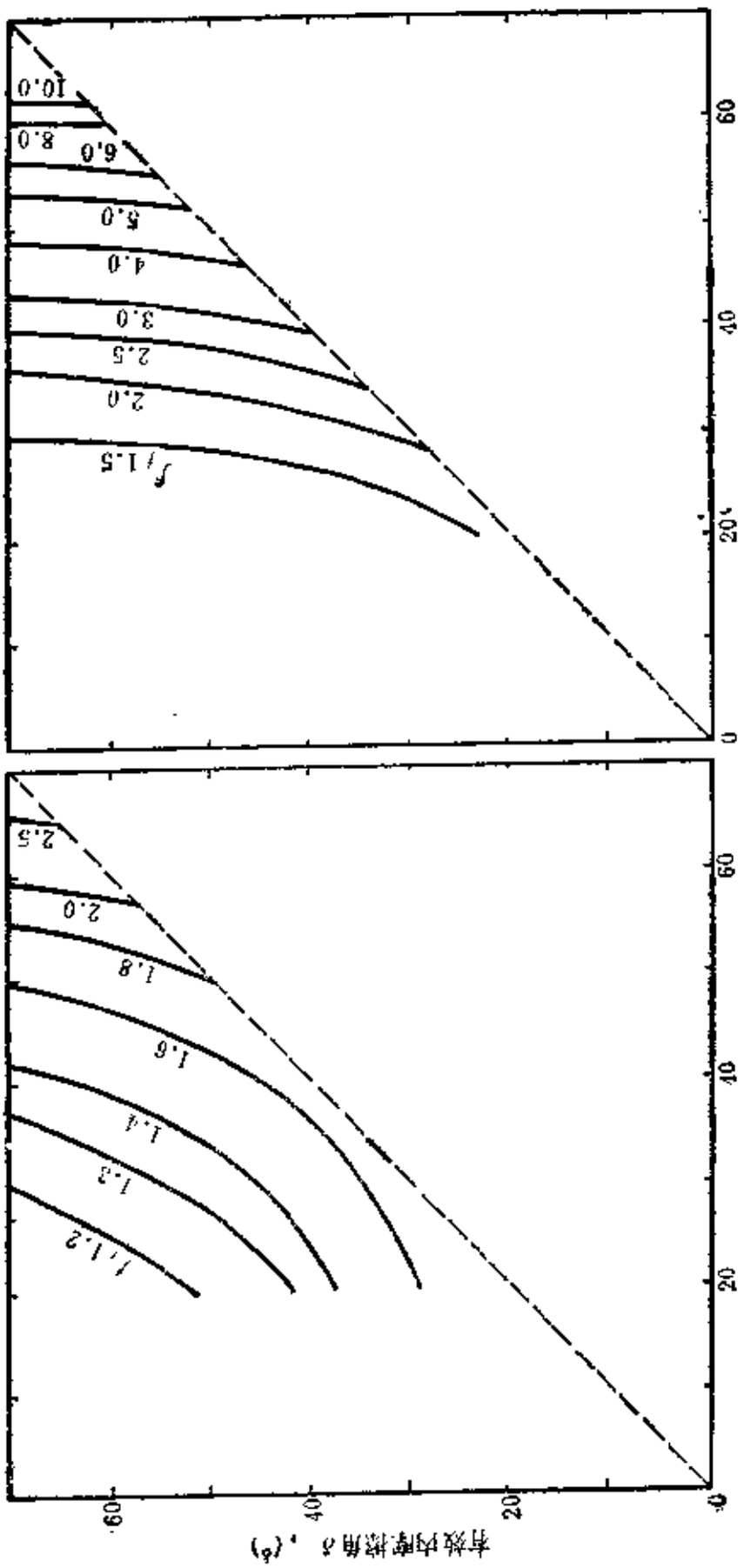


图 20.1.17 平底仓或θ_h甚大的斗仓的f_f
（根据Johanson和Colijh）
a—结拱的平底仓；b—结管的筒仓和斗仓

地信网论坛
bbs.8s001.com

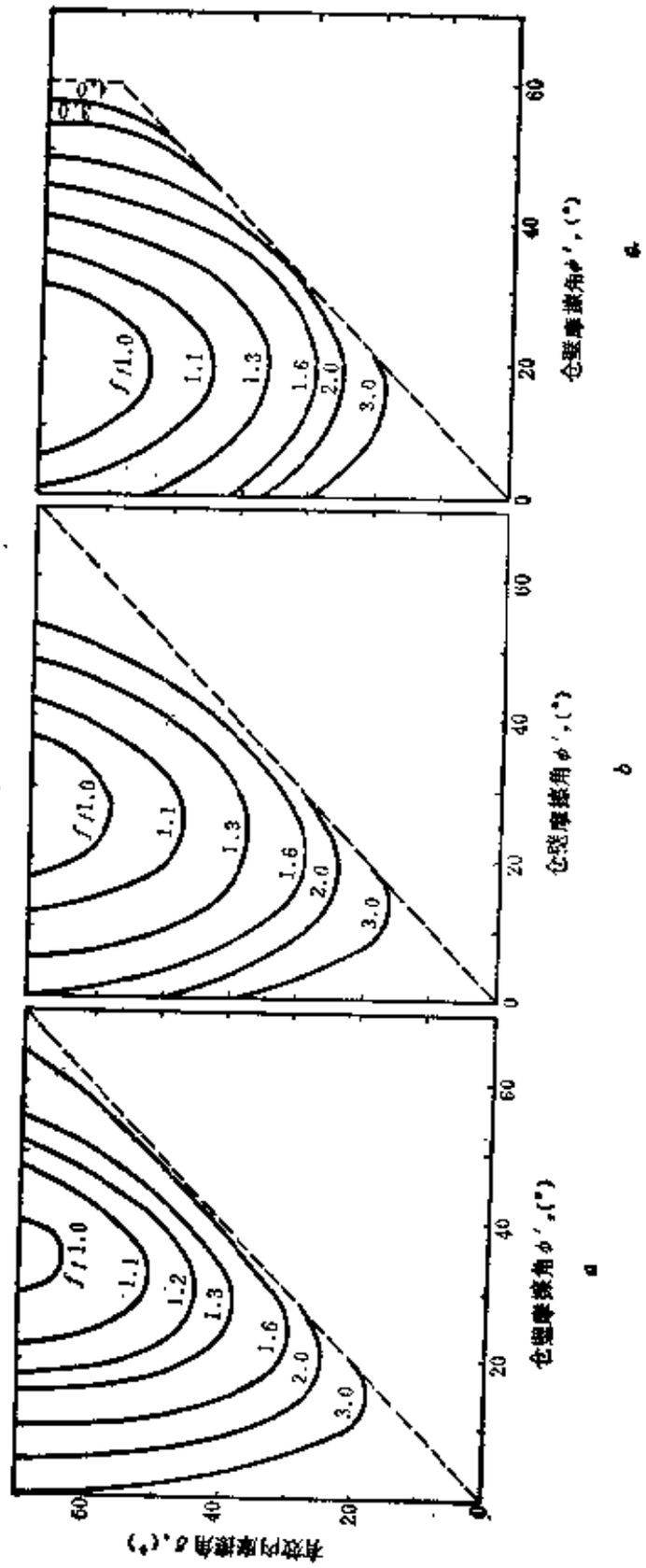


图 20.1.18 斗仓的f_f
（根据Johanson和Colijn）
a—仓斗半角$\theta_h=10°$；b—$\theta_h=20°$；c—$\theta_h=30°$

地信网论坛
bbs.3s001.com

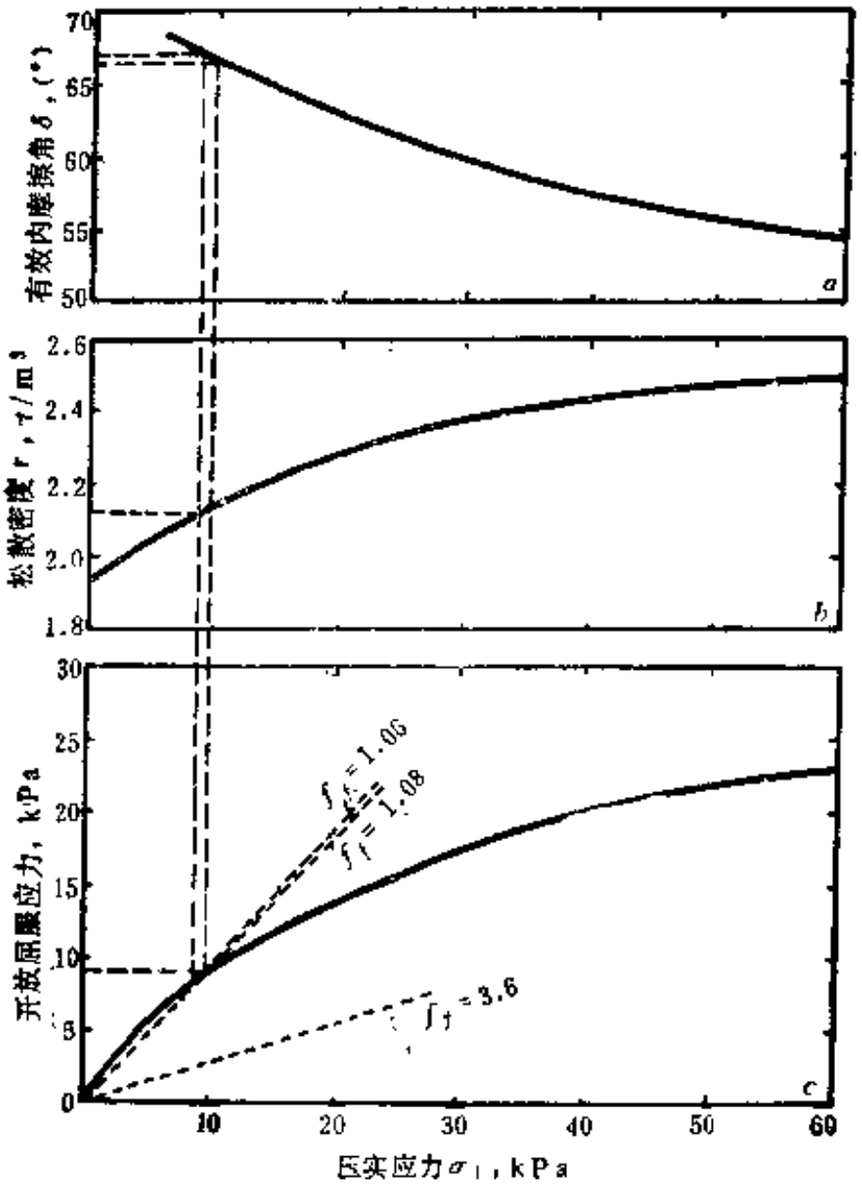


图 20.1.19 测定的铁矿石的f_c、γ、δ
（根据Johanson）

20.1.3.2 矿仓卸料口

（1）避免结拱的卸料口尺寸：

$$B_c \geqslant \frac{f_{cc}'}{\gamma g} \geqslant 10D_p \qquad (20.1.12)$$

$$D_c \geqslant \frac{2f_{cc}}{\gamma g} \qquad (20.1.13)$$

式中 B_c——卸料口宽度（卸料口长度$L_c>2.5B_c$），m；

D_c——卸料口直径，m；

地信网论坛
bbs.3s001.com

D_P——物料平均粒径，m；

f_{cc}——临界开放屈服强度，Pa；

γ——物料的松散密度，kg/m^3；

g——重力加速度，$g=9.81 m/s^2$。

（2）避免结管的卸料口尺寸：

$$D_P \geqslant \frac{4f_{cc}}{\gamma g}K \qquad (20.1.14)$$

式中 D_P——卸料口直径（或对角线长），m；

K——结管因素，如图20.1.20所示；

其他符号同前。

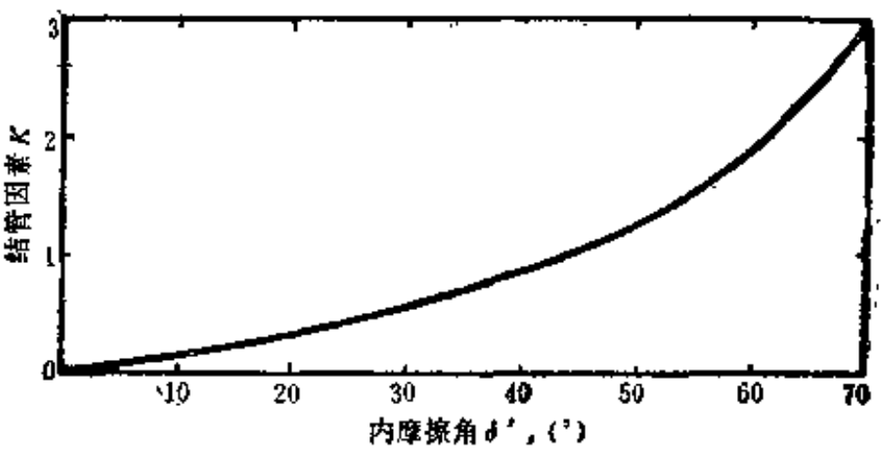


图 20.1.20 结管因素

（根据Johanson和Colijn）

（3）漏斗排泻量（生产量）：约翰逊指出，仅仅是防止料仓堵塞条件下，物料粒度大于250微米时，漏斗的排泻量为：

1）对于槽形仓斗：

$$Q_V = BL\left(\frac{Bg}{2\mathrm{tg}\theta_{ch}}\right)^{1/2}\left(1-\frac{f_f}{f_{f\cdot a}}\right)^{1/2} \qquad (20.1.15)$$

2）对于锥形仓斗：

$$Q_V = \frac{\pi D^2}{4}\left(\frac{Dg}{4\mathrm{tg}\theta_{ch}}\right)^{1/2}\left(1-\frac{f_f}{f_{f\cdot a}}\right)^{1/2} \qquad (20.1.16)$$

式中 Q_V——排泻量，m^3/h；

B——卸料口宽，m；

地信网论坛
bbs.3s001.com

L——卸料口长，m；

D——卸料口直径，m；

θ_{ch}——流动通道半角，（°）；

g——重力加速度，$g=9.81\text{m/s}^2$；

f_f——临界流动因素（对于结拱）；

$f_{f\cdot a}$——实际流动因素（对于确定的卸料口）：

$$f_{f\cdot a}=\sigma_1/f_{cc}=\sigma_1/\sigma_y \tag{20.1.17}$$

$$\sigma_1=\gamma B g f_f \tag{20.1.18}$$

〔例1〕 含水10%的粗粒铁矿石，流动性如图20.1.19所示。求锥形钢仓斗的卸料口尺寸。

求解步骤：

（1）对于最小的矿仓高度获得最大的整体流动容量的情况下，新的钢制仓斗半角不超过20°（图20.1.16）。

（2）确定仓斗半角$\theta_1=10°$；通过试验该物料的内摩擦角$\delta'=46°$，与仓壁的摩擦角$\phi'=25°$。

（3）设计仓斗最初必须假定的物料有效内摩擦角δ，由图20.1.19*a*可见δ介于55°～70°之间，假定$\delta=60°$。

（4）由图20.1.18*a*可查得，当$\phi'=25°$、$\delta=60°$时，$f_f=1.08$。

（5）在图20.1.19*c*上绘制$f_f=1.08$线，这条线与流动函数FF曲线的交点即为临界点，从而可得到临界开放屈服强度（应力）$f_{cc}=9\text{kPa}$，压实应力$\sigma_1=10\text{kPa}$；对应$\sigma_1=10\text{kPa}$，$\delta=66°$（假定不取$\delta=60°$）。

（6）按$\delta=66°$，则$f_f=1.06$，再在图20.1.19*c*上绘制$f_f=1.06$线，得$\sigma_1=9\text{kPa}$，$f_{cc}=8.5\text{kPa}$，又得$\delta=67°$。则可确定$\delta=66°$，$f_{cc}=8.5\text{kPa}$，$\gamma=2120\text{kg/m}^3$。

（7）避免（锥形仓斗）结拱的最小卸料口宽度按公式（20.1.12）计算：

$$B_a\geqslant\frac{85000}{2120\times9.8}\geqslant0.41\text{m}$$

地信网论坛
bbs.8s001.com

（8）避免（平底仓）结管的极限状况：

由图20.1.17所示，当$\delta'=46°$、$\delta=66°$时，流动因素$f_f=3.6$。在图20.1.19c上标绘线$f_f=3.6$，以外推法可得$f_{cc}=25\text{kPa}$和$\gamma=2500\text{kg/m}^3$。

（9）当$\delta'=46°$时图20.1.20表示$K=1.1$。

(10) 避免（平底仓）结管的最小卸料口直径按公式(20.1.14)计算：

$$D_P\geqslant\frac{4\times25000\times1.1}{2500\times9.8}\geqslant4.5\text{m}$$

（可见，本例不应选用平底仓或仓底倾角侧壁与水平夹角很小的斗仓。）

〔例2〕 当锥形钢斗仓的卸料口排泻量为$50\text{m}^3/\text{min}$，卸料口宽为50cm时，求卸料口的长度。

求解：由例1可知，$f_f=1.06$、$f_{cc}=8.5\text{kPa}$、$\sigma_1=9\text{kPa}$、$\gamma=2120\text{kg/m}^3$。则料仓排出口的固结压力按公式（20.1.18）计算：

$$\sigma_1=2120\times0.5\times9.8\times1.06=11000\text{Pa}=11\text{kPa}$$

在固结压力$\sigma=11\text{kPa}$时，$\gamma=2180\text{kg/m}^3$（图20.1.19b）。校正排出口的固结压力：

$$\sigma_1=2180\times0.5\times9.8\times1.06=13000\text{Pa}=11.3\text{kPa}$$

相应作用在排出口的阻塞上的应力$\sigma_y=9.5\text{kPa}$（即在排料口的阻塞上的物料临界开放屈服强度$f_{cc}=9.5\text{kPa}$）。那么，实际流动因素应按公式（20.1.17）计算：

$$f_{f\cdot a}=\frac{11.3}{9.5}=1.2$$

按公式（20.1.15）计算：

$$50\times\frac{1}{60}=0.5L\left(\frac{0.5\times9.8}{2\times\text{tg}10}\right)^{1/2}\left(1-\frac{1.06}{1.2}\right)^{1/3}$$

求解后得$L=1.3\text{m}$。

由上述计算可见，为了避免料仓的结拱、结管，应对物料的

地信网论坛
bbs.3s001.com

流动性进行试验测定。在设计中尽可能地加大卸料口的尺寸，增多卸料口的数量；同时，要正确选取仓斗角度，最好不要采用平底仓。

20.1.3.3 仓斗

斗仓的仓斗形状，最常见的是对称锥形，因为它比较容易建造。如果仓斗的倾斜度不够，则会出现平底仓的物料流动状况。

在贮存难流动的物料时，对圆形、方形和矩形的仓斗可设计成偏心的。由于斗仓有一侧壁是垂直的，就不会出现稳定的料拱。为了避免结管现象，有时可采用条形卸料口，其长度几乎可与仓体直径相等。

仓斗斜壁对物料的流动性有重大影响。从理论上说，仓斗壁的最小倾斜度（如果是角锥体，则应是两斜壁交线的斜度），应等于或大于物料对仓壁的摩擦角。但是，实践证明，由于物料含泥、水的变化，以及贮存压实时间的变化，使得仓斗壁的倾斜角应等于物料的陷落角。

角锥体仓斗两斜壁交线的倾角（图20.1.21)的计算公式为：

$$\theta = \mathrm{tg}^{-1}\frac{2h}{\sqrt{a^2+b^2}} = \mathrm{ctg}^{-1}\sqrt{\mathrm{ctg}^2\theta_1+\mathrm{ctg}^2\theta_2} \tag{20.1.19}$$

值得注意的是，仓斗下部至卸料口的一段锥体最好采用钢结构，其高度不小于1.5米，以使仓斗上部钢筋混凝土料仓的排出口增大，并为将来增设振动器、振动仓斗带来方便。

20.1.3.4 仓体横截面

常见的仓体横截面有圆形、方形和矩形。仓体横截面的形状对生产率没有影响，它仅影响物料的流动类型。横截面为圆形或椭圆形时，如果料仓是按适应整体流动面建造的，那么贮存物料的各个料层将水平向下运动。如果横截面是方形或矩形时，则四角部分的物料流动较慢，因此视为是效果不佳的整体流动类型；如果仓底是平的（没有仓斗),这一缺点就更加显著。

地信网论坛
bbs.3s001.com

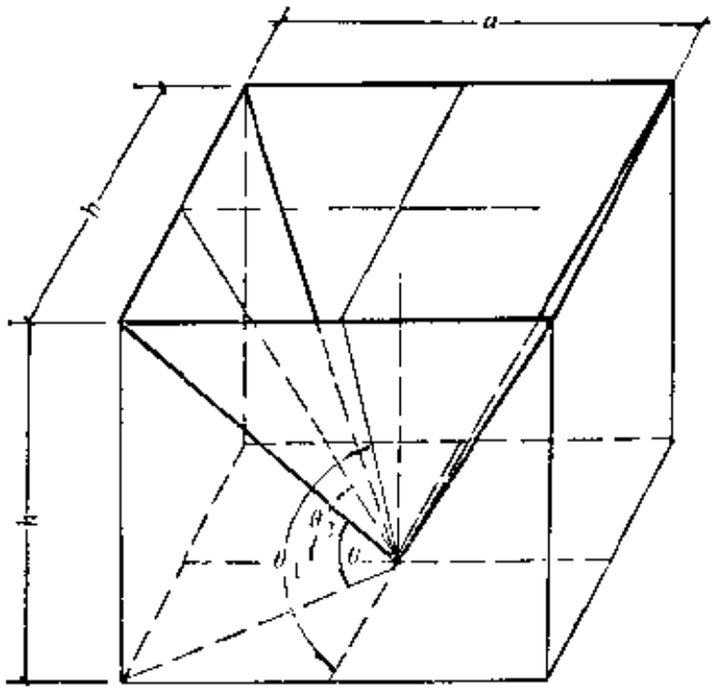


图 20.1.21 斗仓角度

20.1.3.5 嵌入体

克瓦皮尔（Kvapil）和田中（Tanaka）进行的研究表明，处理自由流动松散物料时，在卸料口上方加设嵌入体(图20.1.22)可以获得较大的流动带。这种装置在贮煤仓中使用效果极佳。但对金属矿物尤其是粗粒铁矿石而言，由于它们的磨蚀性极大，若

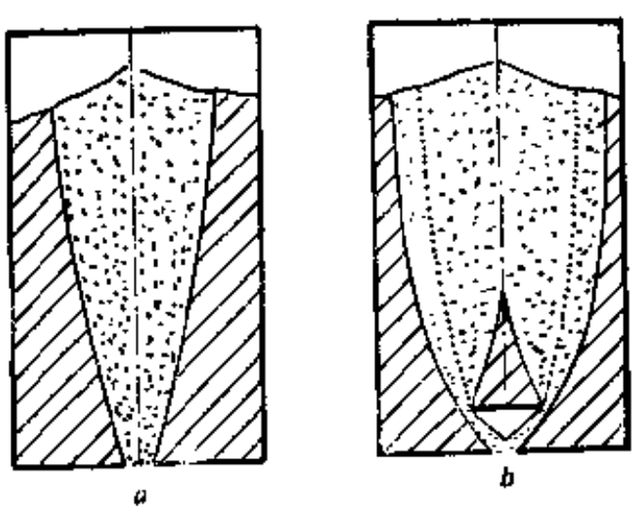


图 20.1.22 嵌入体的效果

a—无嵌入体；b—有嵌入体

地信网论坛
bbs.3s001.com

使用嵌入体，其结果可想而知。

20.1.3.6 矿仓的几何容积

矿石在矿仓中的几何容积，是由它的堆积角、陷落角（或仓斗倾斜角）和仓体的形状所决定的。由这些条件构成的各个规则的几何体的总和就是矿仓的几何容积。如图20.1.15所示，它的容积：

$$V=V_1+V_2+V_3 \tag{20.1.20}$$

如果矿仓的横截面不是圆形面是矩形，那么V_1的形状如图20.1.23所示。其计算公式如下：

$$V_1=V_P-2(V_1'+V_1'') \tag{20.1.21}$$

V_P是一个圆锥体，它的直径是矿仓的横截面的对角线，所以V_P是不难计算的。

V_n是V_P被四边仓壁切去的四个锥边体之一，如果是方形矿仓，则：

$$V_n=\frac{HR^2}{3}\left[\cos^{-1}\left(\frac{e}{R}\right)^2\sqrt{1-\left(\frac{e}{R}\right)^2}+\left(\frac{e}{R}\right)^3\times\ln\left(\frac{1+\sqrt{1-\left(\frac{e}{R}\right)^2}}{\left(\frac{e}{R}\right)}\right)\right]=\frac{HR^2}{3}K \tag{20.1.22}$$

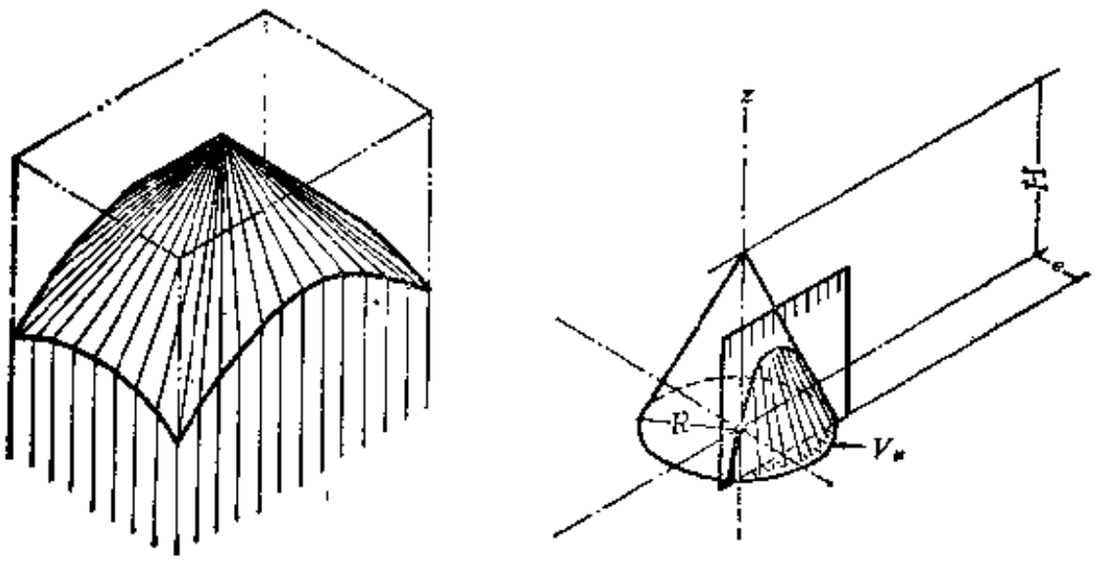


图 20.1.23 V_1的形状

地信网论坛
bbs.8s001.com

式中K值可从表20.1.4中查得。

表 20.1.4 e/R与K值的关系

e/R	K	e/R	K
0.02	1.5106	0.52	0.3144
0.04	1.4511	0.54	0.2845
0.06	1.3917	0.56	0.2563
0.08	1.3329	0.58	0.2297
0.10	1.2746	0.60	0.2046
0.12	1.2171	0.62	0.1811
0.14	1.1604	0.64	0.1592
0.16	1.1045	0.66	0.1389
0.18	1.0497	0.68	0.1201
0.20	0.9959	0.70	0.1028
0.22	0.9431	0.72	0.0870
0.24	0.8916	0.74	0.0727
0.26	0.8412	0.76	0.0599
0.28	0.7921	0.78	0.0484
0.30	0.7443	0.80	0.0384
0.32	0.6779	0.82	0.0297
0.34	0.6528	0.84	0.0222
0.36	0.6092	0.86	0.0160
0.38	0.5670	0.88	0.0109
0.40	0.5263	0.90	0.0070
0.42	0.4871	0.92	0.0040
0.44	0.4495	0.94	0.0020
0.46	0.4134	0.96	0.0070
0.48	0.3758	0.98	0.0001
0.50	0.3458	1.00	0.0000

如果落料点是偏心的，则形成锥体的R和H是不同的。但同样可参照上述原则进行计算。

20.1.4 矿仓的活化

20.1.4.1 活动性

一些科技工作者建议用下式确定矿仓的活动性α。

地信网论坛
bbs.3s001.com

$$\alpha = \frac{A}{V} \times 100, \% \qquad (20.1.23)$$

式中 A——积极流动带的体积；

V——矿仓总体积。

如果完全不存在结拱或结管，那么α可达100%。但是由于对物料性质研究工作方面的经验还不丰富，加之对地下矿藏的预测性研究的矿样代表性也会产生偏差，所以矿仓在使用中常常发生结管或结拱现象。因此，为了解决这个问题应对矿仓辅以活化措施。

20.1.4.2 仓壁内衬

对于贮存细粒矿石，最经济的矿仓壁内衬，一般采用铁屑水泥，但是这种内衬经磨损后，表面很粗糙，可改用铸石内衬；对于磨损性小的矿石，矿仓内壁可涂环氧树脂内衬；还可以将仓斗下部的斗壁（钢板内衬）做成弹性的。

20.1.4.3 气动助流器

气动助流器的型式基本有三种，一种是暴发性射流型；二是气垫型；三是物料气化型。

常用的射流型助流器，是使用压力为608千帕(6个大气压)左右的压缩空气气枪。气枪的安装位置应处于料拱区。喷气的方向应稍向下倾斜。这种装置应用范围不广，多见于干精矿仓、粉煤仓。

艾阿道克斯和卡尔道克斯松散物料崩落器❶的工作压力极高，前者使用6级空气压缩机，使空气压力增至85092千帕，料仓崩落压力范围为24312～42546千帕；后者利用二氧化碳由液态变成气态时产生的70910～131690千帕膨胀压力，将压实的物料崩落。

利用压缩空气形成气垫，以破坏料仓结管或结拱。如果使用

---

❶ 这两种崩落器的制造厂家是Lang Airdox Comp, Divsion of Marmon Group Inc, P.O.Box331, Oak Hill, W.Va25901, USA.

地信网论坛
bbs.3s001.com

压力294千帕的压缩空气，当气垫面积为1米^{2}时，其推力可达29 4牛〔顿〕，这样大的推力是可以破坏管、拱的。

20.1.4.4 振动器

附着于仓斗壁上的振动器品种较多，振动频率一般为900～80000次/分，振幅为6毫米左右。

常用振动器的振动源有振动电机及电磁铁。振动器安装于仓斗斜壁的钢板上，钢板长一般不小于1.5米。这种振动器只能在排料时才能工作，否则反而会使料仓内物料密实形成堵塞。利用振动器还可以制成振动放矿机，当处理矿粉时可在放矿机的上端加设破拱架（见图19.5.11及表19.5.1），这种设备破拱效果极佳。

安装于仓斗斜壁上常见的振动器的技术条件可参考表20.1.5。

国产CZ型仓壁振动器（海安建材设备厂制造），其振动频率为3000次/分，振动力为500～8000牛，功率为30～200瓦，适应壁厚为2～12毫米。

国外还有多种高频振动器，振次达10000～20000次/分，如透平振动器，气动辊式振动器，气动球式振动器等。

表 20.1.5 振动器技术条件

金属仓壁厚度 mm	斗仓大约容量 t	电磁振动器		振动电机	
		振次 min^{-1}	不平衡重 kg	振次 min^{-1}	不平衡重 kg
8.0	5	3600	16	3600	17
9.5	20	3600	30	1800	25
12.7	50	3600	95	1200	7.1
50.8	150	3600	426	900	260

20.1.4.5 振动仓斗

用振动仓斗以消除料仓的堵塞，加速排料速度已为水泥工业采用。振动仓斗与斗仓为柔性连结，其受料口较大，与斗仓排口相近。这种设备适用于贮量500吨以下的各种料仓。

地信网论坛
bbs.3s001.com

振动仓斗的振动频率约1500～1600次/分，振动轨迹有两种，一种是垂直于流动通道；另一种是由于安装角度相差180°的两个振动器会使物料产生一种提升和旋转作用，这种结构的仓斗称为旋涡式仓斗。

国产ZDL型推挽式降频电磁振动漏斗（海安建材设备厂制造），其直径为ϕ1400毫米，振次为25次/秒，双振幅为0～3毫米，功率为2×250瓦，产量可达22吨/时。

表 20.1.6 装车矿仓平均装车时间

名称	矿石类型	装车仓长 m	装车设备	平均装车时间 min①
地面式贮备矿仓与高架式装车矿仓组合布置				
甘井子破碎装车矿仓	石灰石	大于60	气动卸矿溜槽	1.4
乌龙泉破碎装车矿仓	石灰石	9	手动阀门	6.9～15
高架式矿仓				
凤凰山破碎装车矿仓	富块矿	60双列双线(总)	气动单扇形阀门	2.4
铁山选矿厂块粉装车仓	粘性富铁块矿	60（总）	气动双扇形阀门	6～7
同上	粘性富矿粉	60（总）	同上	15～数小时
凤凰山破碎装车矿仓	富铁粉	60双列双线(总)	气动单扇形阀门	13～19
大孤山选矿厂精矿装车仓	磁选精矿	60左右	手动双扇形阀门	4～8
抓斗式矿仓				
南芬选矿厂精矿仓	磁选精矿	>60	10t抓斗起重机2台	7～8（测定）
大孤山选矿厂精矿仓	同上	>60	同上	13（测定）
同上	浮选精矿	>60	15t抓斗起重机2台	8（测定）
铁山选矿厂精矿仓	同上	102	20t抓斗起重机2台	3.5～5.5（统计）
攀枝花密地选矿厂精矿仓		180	20t抓斗起重机3台	0.95～1.43②

①每辆车的载重量约为50～60t；

②不过磅，不调车。

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.1.4.6 水膜润滑及爆破

用水膜润滑料仓的仓斗斜壁（尤其是四角），可以使粗粒(含有泥粉）矿石活动。这种方法在铁矿选矿厂原矿仓中偶有应用。使用这种方法的水流量不能太大，否则会给下面的作业带来不良影响。

用炸药爆破矿仓中的死拱也偶有应用，但是比较危险。

20.1.5 装车方法与装车速度

20.1.5.1 装车方法

选矿厂的产品一般用铁路车辆或汽车运送给产品用户。因此，装车方法及其速度对铁路、公路运输的经济效益有重要意义。我国选矿厂散装产品的装车方法一般有两种(除人工装车)：一种是高架式矿仓，用卸矿阀或给料机装车；另一种是抓斗式矿仓，用抓斗起重机装车。

20.1.5.2 装车速度

影响装车速度的主要因素是装车仓的结构型式、长度、贮量、矿石性质和装车设备。现将部分选矿厂装车速度实例列于表20.1.6。

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.2 尾 矿 堆 存

20.2.1 尾矿堆存方法及其设施

选矿厂尾矿的堆存方式，有干式堆存和湿式堆存两种。

干式选矿后的尾矿或经脱水后的粗粒尾矿，可采用带式输送机或其他运输设备运到尾矿场堆存，这种方法称干式堆存法。如四川省石棉矿的尾矿是用汽车运到尾矿场沿山坡堆存的。

湿式选矿的尾矿浆一般采用水力输送至尾矿场，再采用水力冲积法筑坝堆存，这种方法称湿式堆存法。目前，我国绝大部分

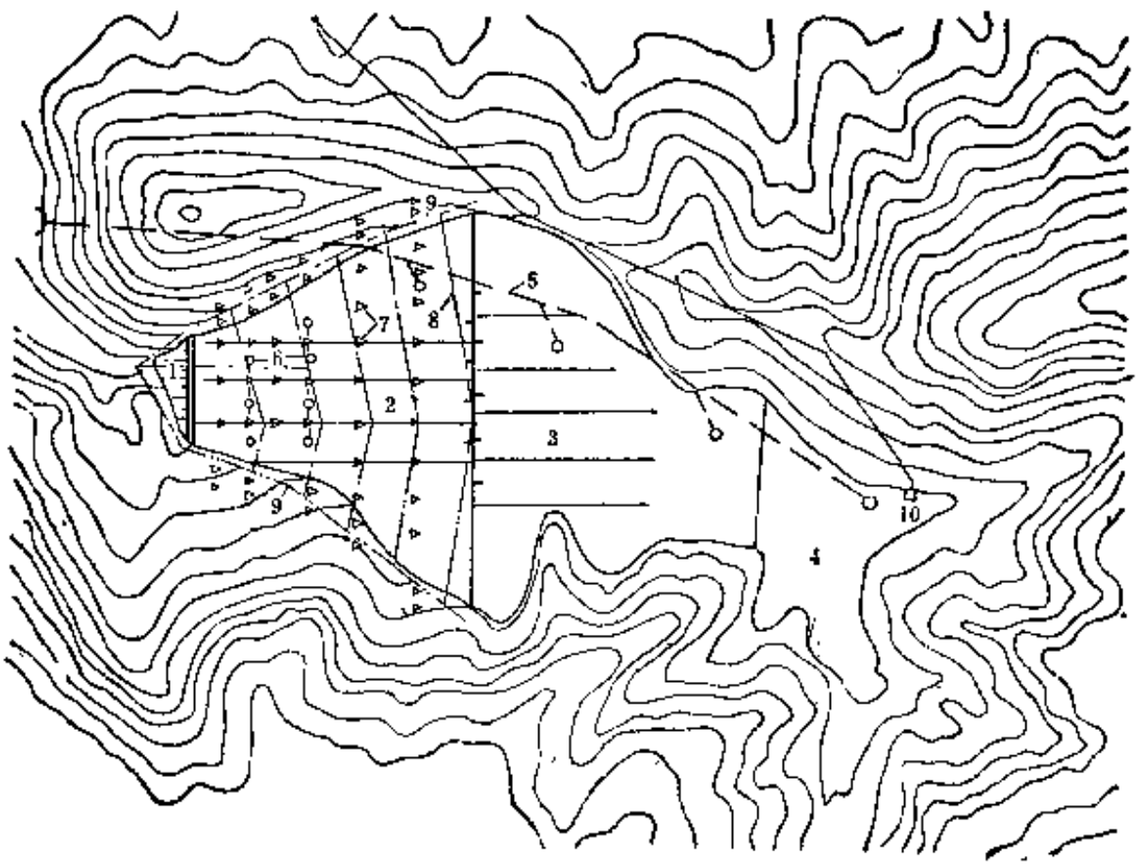


图 20.2.1 尾矿场平面示意图

1—初期坝；2—堆积坝；3—沉积滩；4—尾矿池；5—排洪设施；6—排渗设施；7—观测设施；8—坝坡排水沟；9—坝肩排洪沟；10—回水设施

地信网论坛
bbs.3s001.com

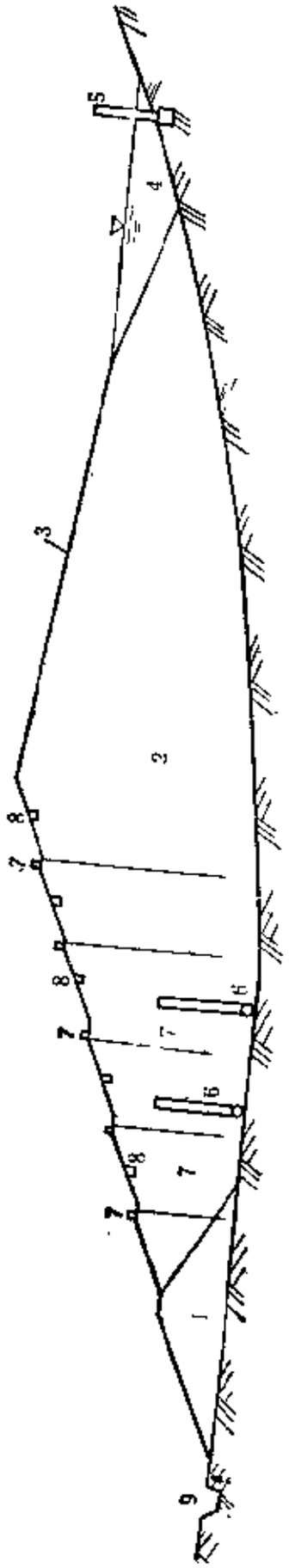


图 20.2.2 尾矿场纵剖面示意图

1—初期坝；2—后期堆积坝；3—沉积滩；4—尾矿池；5—排洪设施；6—排渗设施；7—观测设施；8—坝坡排水沟；9—排水沟

地信网论坛
bbs.3s001.com

选矿厂的尾矿都采用这种堆存方法。

作为尾矿堆积场地的尾矿场（或称尾矿库），一般由以下设施组成，如图20.2.1及图20.2.2所示。

初期坝，是尾矿场的基础坝，具有支承后期堆积体的作用和疏干堆积坝的作用。

后期堆积坝，一般是在生产过程中利用尾矿本身逐年堆筑而成。是拦挡细粒尾矿和尾矿水的支承体。

排洪设施，是排泄尾矿场内澄清水和洪水的构筑物，一般由溢水构筑物和排水构筑物组成。

排渗设施，是汇积并排泄尾矿堆积坝内渗流水的构筑物，起降低堆积坝浸润线的作用。

回水设施，是回收尾矿场内澄清水的构筑物。

观测设施，是监测尾矿场在生产过程中运行情况的设施。

其他设施，有为排泄尾矿场堆积边坡和坝肩地表水的坝坡、坝肩排水沟；通讯照明设施；管理设施（如值班房、工具房、器材室等）；交通设施；筑坝机具等。一些大型尾矿场还有简易的检修设施。距选矿厂比较远的尾矿场，必要时还应设生活福利设施。

20.2.2 尾矿场的选择与计算

20.2.2.1 尾矿场的型式及其选择

A 尾矿场的型式

按地形划分有山谷型、山坡型、平地型三种。三种型式的特征列于表20.2.1。

按筑坝的方式划分，有一次筑坝型（包括废石筑坝）和尾矿堆坝型两种。

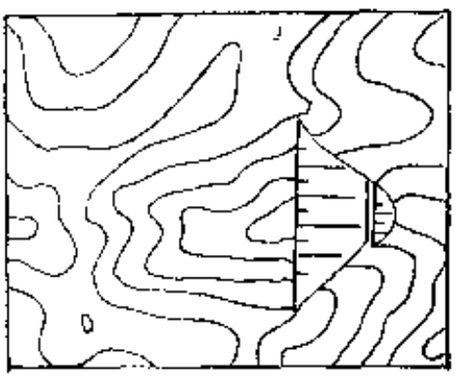
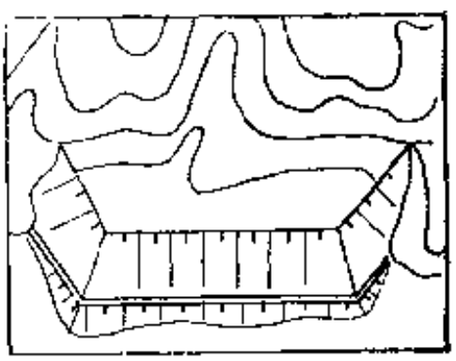
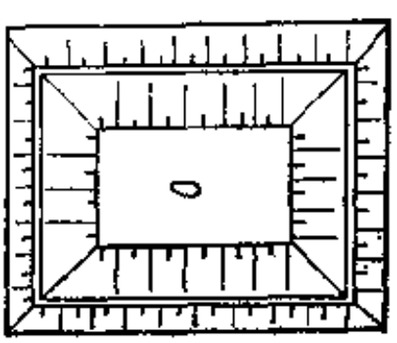
B 尾矿场场址选择的原则

（1）尾矿场尽量选择在工业企业、居民区和风景区的下游与常年主导风向的下方；

（2）尽量少占或缓占农田，不拆迁或少拆迁居民住房；

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.1 尾矿场的型式及其特征表

类型	平面型式	特征	示意图
山谷型	三面环山 一面筑坝	1. 坝轴线短，坝体工程量小； 2. 一般汇水面积较大	
山坡型	一面靠山 三面围坝	1. 坝轴线较长，坝体工程量大； 2. 一般汇水面积较小	
平地型	平地起坝 四面筑坝	1. 坝轴线长，坝体工程量大； 2. 汇水面积约等于尾矿场的面积	

（3）距选矿厂的距离由近到远，力争尾矿自流输送及较短的输送距离；

（4）有足够的库容。当需选几个尾矿场才能满足选矿厂服务年限要求时，应考虑各尾矿场的基建时间与生产上的衔接及经济上的合理性。

（5）从尾矿场的类型上说，优先山谷型、次为山坡型，在不得已的条件下才选择平地型；

（6）力求汇水面积小；

地信网论坛
bbs.3s001.com

（7）场区工程地质及水文地质条件好；

（8）附近有足够的建筑材料可供利用。

20.2.2.2 尾矿堆坝的确定

尾矿能否堆坝取决于尾矿的性质。一般来说，尾矿粒度较粗，透水性能好的尾矿，可利用较粗的部分堆坝；若尾矿粒度过细，由于冲填沉积过程中固结缓慢，则堆坝比较困难，宜采用一次筑坝或用旋流器将其分级后以其粗颗粒堆坝。尾矿能否堆坝，没有准确的判别标准，一般将尾矿特性与同类矿山的尾矿进行类比，确定能否堆坝及大致堆坝高度，至于能堆多高，应取得尾矿的物理力学性能指标，通过稳定分析确定。表20.2.2为国内几个尾矿场的堆坝情况。

应优先考虑采用尾矿堆坝。只有在尾矿本身不能堆坝或采用尾矿堆坝不经济、不安全的条件下，才采用一次筑坝或废石堆坝。

表 20.2.2 部分尾矿场堆坝情况表

选矿厂名称	平均粒径 d_{ϕ}，mm	−0.074 mm 含量，%	初期坝坝型	初期坝高度，m	总坝高，m	
					目前堆高	设计堆高
水厂铁矿选厂	0.16	55	均质土坝	21	74	94
峨口铁矿选厂	0.0936	26.8	定向爆破滤水堆石坝	65	123	160
酉山选矿厂	0.0751	(−0.066mm) 60.39	风化料滤水堆石坝	12	45	69
弓长岭选厂 后峪	0.0498	64	滤水堆石坝	24	60.5	87.5
弓长岭选厂 前峪			均质土坝	16	59	86
南芬选矿厂	0.044	78.9	滤水堆石坝	21	103	120
东鞍山烧结总厂选矿厂	0.0306	71.0	滤水堆石坝	21(24)	62	108

20.2.2.3 尾矿场等级的划分

尾矿场的等级根据其总库容的大小和坝高按表20.2.3确定。

当有下列情况之一者，按表20.2.3确定的尾矿场等级可提高一级：

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.3 尾矿场等级表

级别	库容，亿m³	坝高，m	工程规模
二	>1.0	>100	大型
三	1.0～0.1	100～60	中型
四	0.1～0.01	60～30	小一型
五	<0.01	<30	小二型

注：1．库容系指校核洪水位以下尾矿场的容积；

2．坝高系指尾矿堆积标高与初期坝轴线处坝底标高的高差；

3．坝高与库容分级指标分属不同的级别时，以其中高的级别为准，当级差大于或等于两级时可降低一级。

（1）当尾矿场失事将使下游重要城镇、工矿企业与铁路干线遭受严重灾害者；

（2）当工程地质及水文地质条件特别复杂，经地基处理后尚认为不彻底者（洪水标准不予提高）。

20.2.2.4 尾矿场的计算

这里只讨论库容计算、澄清距离计算和最终堆积标高计算。

A 库容计算

为明确起见，先说明各种库容名称的含义。由图20.2.3可以看出：

几何库容，是指初期坝、堆积坝边坡与地形等高线封闭所形成的容积。

总库容，是根据总尾矿量、调洪、矿浆水澄清及渗流控制条件所确定的与尾矿场最终堆积标高相应的几何库容。

有效库容，是指尾矿在尾矿场中所占据的实际容积，以V_r表示。

回水库容，是指正常高水位与控制水位之间水的容积，以V_s表示。

调洪库容，是指最高洪水位与正常高水位之间水的容积，以V_T表示。

死库容，是指控制水位以下水所占的容积，以V_0表示。

地信网论坛
bbs.3s001.com

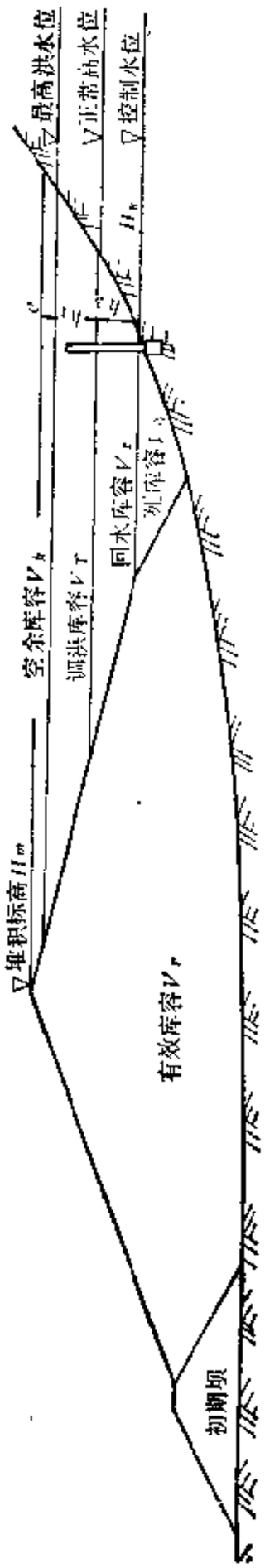


图 20.2.3 尾矿场库容示意图

地信网论坛
bbs.3s001.com

空余库容，是指最终堆积标高与最高洪水位之间未被尾矿充填的容积，以V_k表示。所有尾矿场的V_k相应高度应满足安全超高要求。

上述尾矿场的库容是经常变化的。

a 几何库容的计算

在地形图上绘出初期坝坝坡和堆积坝坝坡，用求积仪量出各封闭等高线的面积，按公式（20.2.1）计算：

$$V=\sum_{i=0}^{n}\frac{k\sum_{j=1}^{3}x_{ij}}{6}(H_i-H_{i-1}) \qquad (20.2.1)$$

式中 V——几何库容，m^3；

i——$i=0、1、2、3\cdots\cdots n$，标高线序号；

j——用求积仪量封闭等高线三次，每次求积仪读数序号；

k——求积仪的面积系数，与地形图的比例有关，求积仪说明书中给出；

x_{ij}——第 i 个标高第 j 次求积仪读数；

H_i——第 i 条等高线的标高，m。

b 尾矿场所需库容的计算

尾矿场的库容应满足选矿厂服务年限的要求。其所需库容与选矿厂每年排出的尾矿量和服务年限有关，可按公式（20.2.2）计算：

$$V_s=\frac{WN}{\gamma_d\eta_s} \qquad (20.2.2)$$

式中 V_s——选矿厂在生产服务年限内所需尾矿场的库容，m^3；

W——选矿厂每年排入尾矿场的尾矿量，t/a；

γ_d——尾矿的松散密度(即平均堆积干容重)，t/m^3；

N——选矿厂生产服务年限，a；

η_s——尾矿场库容利用系数。

γ_d的确定，一般参考类似尾矿的勘察资料或试验室的试验资料确定；在无上述资料时，可参考表20.2.4确定。

地信网论坛
bbs.3s001.com

η_r值的确定，一般应根据尾矿堆积的实际边坡、尾矿沉积滩的水上、水下冲积纵坡，绘出尾矿堆积平面图，计算出尾矿的实际堆积容积(尾矿场的有效库容)，按下式计算尾矿场库容利用系数：

$$\eta_r = \frac{\text{尾矿场的有效库容} V_r}{\text{尾矿场的总库容}} \tag{20.2.3}$$

表 20.2.4 堆积尾矿的密度参考表

尾矿分类名称	各粒组颗粒的含量，%			尾矿的松散密度，γ_d，t/m³
	粘粒组 <0.005mm	粉粒组 0.005～0.05mm	砾砂组 0.05～2.0mm	
中尾砂	<5	<20	>0.25mm多于50	1.50～1.40
细尾砂	<5	<20	>0.10mm多于75	1.40～1.35
尾粉砂	<5	<45	>50	1.35～1.30
尾亚砂	5～10	<60	>30	1.30～1.20
尾亚粘	10～30	<60	>10	1.20～1.10
尾矿泥	>30	<60	>10	1.10～1.00

注：表中系按尾矿密度$\gamma_g = 2.70$t/m³编制的，若尾矿密度不等于2.70t/m³时，堆积密度数值应乘以校正系数$\beta = \frac{\gamma_g}{2.70}$。

在缺少尾矿沉积滩水上、水下纵坡资料时，可按表20.2.5确定。

表 20.2.5 尾矿场库容利用系数参考表

尾矿场形状及放矿方式	库容利用系数，η_r	
	初 期	终 期
狭长曲折的山谷形、坝顶放矿	0.30	0.60～0.70
较宽阔的山谷形，单向或两向放矿	0.40	0.70～0.80
平地或山坡形，三面或四周放矿	0.50	0.80～0.90

根据公式（20.2.2）的计算结果，查库容曲线可得尾矿所需的堆积标高。

B 尾矿澄清距离的计算

在尾矿水力冲积过程中，细粒尾矿随矿浆水进入尾矿池，并需

地信网论坛
bbs.3s001.com

在水中停留一定时间（流过一定距离——澄清距离）细颗粒才能下沉，使尾矿水得以澄清而达到一定的水质标准，澄清距离的计算参考图20.2.4，采用公式（20.2.4）计算。

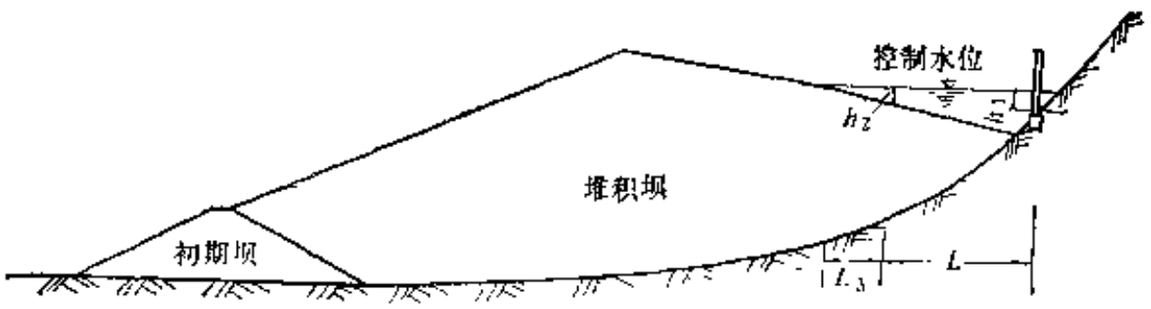


图 20.2.4 澄清距离计算示意图

$$l=\frac{h_1}{u}v=\frac{h_1}{h_2}\cdot\frac{Q}{nau} \qquad (20.2.4)$$

式中 l——所需澄清距离，m；

h_1——颗粒在静水中下沉深度（即澄清水层的厚度），一般不小于0.5～1.0m，视溢水口的溢水深度而定，要求h_1大于溢水口的溢水水头，m；

v——平均流速，m/s；

Q——矿浆流量，m^3/s；

h_2——矿浆流动平均深度，一般取为0.5～1.0m；

n——同时工作的放矿口个数，根据放矿管和分散管（主管）直径而定，要求同时工作的放矿管断面面积之和等于分散管断面面积的两倍，参考表20.2.6；

a——放矿管间距，一般取5～15m。

u——颗粒在静水中的沉降速度，m/s；可参考有关专业资料按公式计算或查表取值。这里介绍公式计算法。首先应判别其所属流态，再按公式进行计算。

当 $d<0.726\sqrt[3]{\frac{\nu^2}{\gamma_g-1}}$时，属层流区。

$$u=0.408(\gamma_g-1)\frac{d^2}{\nu} \qquad (20.2.5)$$

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.6 分散管直径和放矿管直径参考表

分散管直径，mm	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
放矿管直径，mm	50	50	75	100	100	125	150	150	200	200	250	300

当 $d>28.8\sqrt[3]{\frac{\nu^2}{\gamma_g-1}}$ 时，属紊流区。

$$u=3.58\sqrt{(\gamma_g-1)d} \tag{20.2.6}$$

当 $0.726\sqrt[3]{\frac{\nu^2}{\gamma_g-1}}\leqslant d\leqslant 28.8\sqrt[3]{\frac{\nu^2}{\gamma_g-1}}$ 时，属介流区。

$$\left\{\lg\frac{u}{\sqrt[3]{(\gamma_g-1)\nu}}+3.46\right\}^2+\left\{\lg\frac{d\sqrt[3]{\gamma_g-1}}{\sqrt[3]{\nu^2}}-5.45\right\}^2=39 \tag{20.2.7}$$

式中 u——颗粒沉降速度，m/s；

γ_g——固体颗粒密度，t/m^3；

d——截流的最小颗粒直径，m；

ν——清水运动粘滞系数，m^2/s，由表20.2.7查得。

C 最终堆积标高的确定

确定尾矿场最终堆积标高的最主要因素是选矿厂在生产服务年限内排出的总尾矿量，或按矿山原矿储量计算的总尾矿量所需要的库容。由几何库容曲线初定尾矿场的最终堆积标高，并绘出堆积平面图（参见图20.2.5），随后进行调洪计算、渗流计算和澄清距离计算，若满足下述三个条件的要求，初定标高满足要求。

（1）满足回水蓄水水深h_j、调洪水深h_t、安全超高e的要求：

$$(H_m-H_k)\geqslant(h_j+h_t+e) \tag{20.2.8}$$

式中 H_m——尾矿场最终堆积标高，m；

H_k——尾矿池控制水位，m；

h_j——回水蓄水水深，m；

h_t——调洪水深，m；

e——尾矿场防洪安全超高，m。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.7 清水运动粘滞系数表

温度 t,℃	ν	温度 t,℃	ν	温度 t,℃	ν
0	0.0179	21	0.0098	41	0.0064
1	0.0173	22	0.0096	42	0.0063
2	0.0167	23	0.0094	43	0.0062
3	0.0162	24	0.0091	44	0.0061
4	0.0157	25	0.0089	45	0.0060
5	0.0152	26	0.0087	46	0.0059
6	0.0147	27	0.0085	47	0.0058
7	0.0143	28	0.0084	48	0.0057
8	0.0139	29	0.0082	49	0.0056
9	0.0135	30	0.0080	50	0.0055
10	0.0131	31	0.0078	55	0.0051
11	0.0127	32	0.0077	60	0.0047
12	0.0125	33	0.0075	65	0.0044
13	0.0120	34	0.0074	70	0.0041
14	0.0117	35	0.0072	75	0.0038
15	0.0114	36	0.0071	80	0.0036
16	0.0111	37	0.0069	85	0.0034
17	0.0108	38	0.0068	90	0.0032
18	0.0106	39	0.0067	95	0.0030
19	0.0103	40	0.0066	100	0.0028
20	0.0101				

注：ν的计量单位为cm^2/s，故当代入公式时应进行单位换算，即乘以10^{-4}得m^2/s。

（2）满足尾矿水澄清距离要求。控制水位时，沉积滩水边线至溢水口的最小距离L_k应为：

$$L_k \geqslant (L + L_3) \tag{20.2.9}$$

式中 L——为澄清距离，m；

L_3——为达到尾矿矿浆平均流动水层厚度h_2（参见图20.2.4）的水面距离，m。

（3）满足渗流控制的最小沉积滩长度L_1的要求。为了确保尾矿堆积坝的稳定，应控制堆积坝的浸润线高度和渗流坡降，满足此渗流控制条件的最高洪水位时沉积滩长度应大于设计提出的最小

地信网论坛
bbs.3s001.com

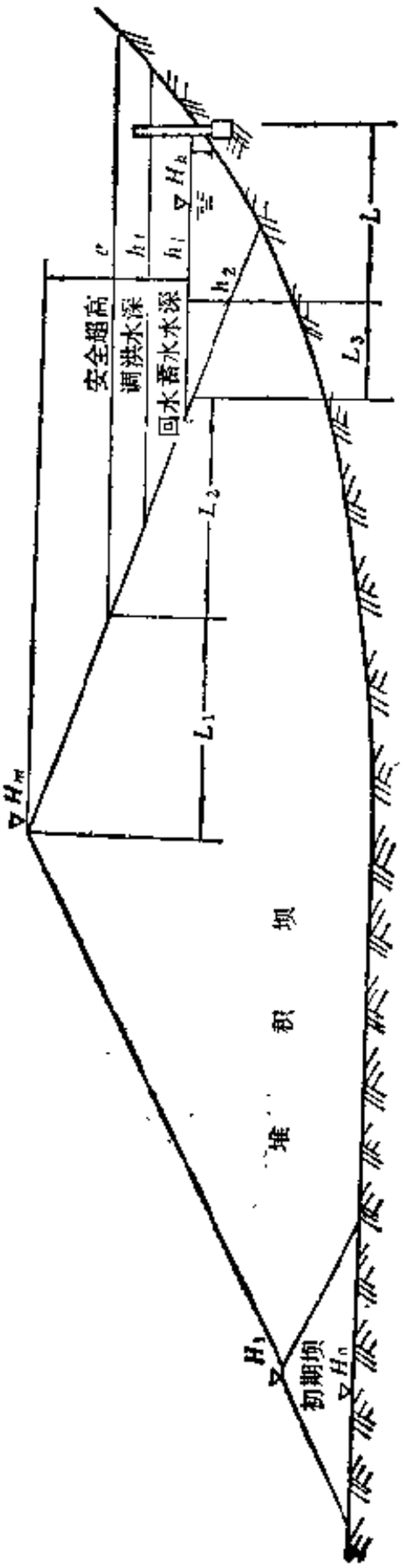


图 20.2.5 尾矿场最终堆积标高示意图

地信网论坛
bbs4001.com

沉积滩长度L_1的要求。

上述三个条件，若其中之一不满足要求，应提高最终堆积标高，直至满足要求为止。

20.2.3 尾矿坝及其他设施

尾矿坝是尾矿场的主要建筑物，由初期坝和堆积坝组成，此外还有其他构筑物。

20.2.3.1 尾矿场的初期坝

初期坝是尾矿场的基础构筑物，不仅可以堆存初期尾矿，给管理人员为堆筑后期堆积坝以必要的准备时间；它又是尾矿场的支承结构，是堆积坝的基础，与堆积坝共同作用，达到拦挡尾矿的目的。初期坝宜采用透水坝，以利于尾矿的排水固结和降低堆积坝的浸润线，从而提高坝体的稳定性（包括渗流稳定和动力稳定）。

A 初期坝坝高的确定

确定初期坝坝高（图20.2.6）的最主要因素是初期尾矿量。一般以选矿厂初期生产半年到一年的尾矿量为初期尾矿量，以此按公式（20.2.2）计算初期坝所需形成的库容，由库容曲线查得初期坝坝顶标高。与堆积坝一样，初期坝坝顶标高也应用三个条件进行校核：

（1）满足回水蓄水水深、调洪水深和安全超高的要求：

$$(H_1-H_k)\geqslant(h_j+h_t+e) \qquad (20.2.10)$$

式中 H_1——初期坝坝顶标高，m；

其余符号意义同公式（20.2.8）。

（2）满足尾矿水澄清距离的要求。按公式（20.2.9）计算。

（3）满足堆积坝渗流控制的要求。有些尾矿场，采取增加沉积滩长度达到渗流控制的要求受到限制，或设排渗设施不经济，只能增加初期坝的高度来实现渗流控制，此时初期坝坝顶标高应满足此要求。

如上述三个条件均能满足，由库容曲线查得的初期坝坝顶标

地信网论坛
bbs.3s001.com

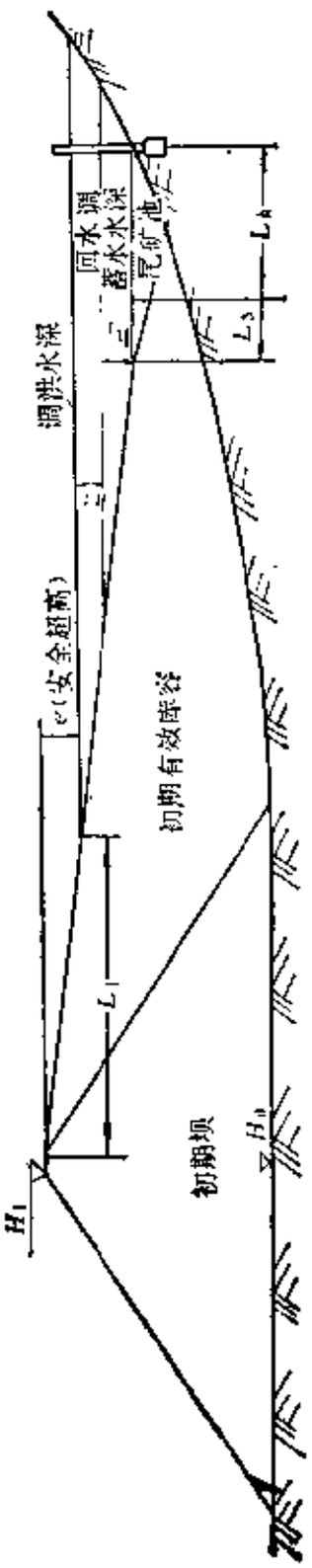


图 20.2.6 确定初期坝坝高示意图

地信网论坛
bbs.3s001.com

高为所要确定的标高，否则应提高初期坝坝顶标高直至满足要求为止。

初期坝坝顶标高H_1减去初期坝坝轴线下的最低地面标高即为初期坝的高度。

（4）此外，对坝前有积水区的尾矿场（如坝后放矿的尾矿场），公式（20.2.10）还应考虑风浪爬高h_{BB}，即：

$$(H_1-H_k)\geqslant(h_1+h_i+e+h_{BB}) \qquad (20.2.11)$$

式中 h_{BB}——风浪爬高，与坝的上游边坡坡比、水面长度及风力级别有关，其计算可参考坝工专业书籍。

下游法和中游法堆坝的尾矿场，初期尾矿量以生产初期坝上旋流器溢流部分的尾矿量和旋流器非工作时间的全尾矿量之和作为确定初期坝坝高的主要依据。这种情况下的初期坝坝高只需用公式（20.2.9）和公式（20.2.10）进行校核，而其下游滤水坝应满足堆积坝渗流控制要求（见20.2.3.1——A——(3)）。

B 初期坝的结构型式及筑坝材料

初期坝的结构型式可分为两大类：即透水的和不透水的两大类。

透水坝一般是堆石坝(图20.2.7)，如有可能，可利用矿山剥离废石筑坝(图20.2.8)。由于透水坝具有拦砂滤水的作用，能降低



图 20.2.7 透水堆石坝剖面示意图

堆积坝的浸润线，对尾矿场的稳定（包括动力稳定）有利，因此大、中型尾矿场和地震区的尾矿场大都采用这种坝型。在一些缺乏石料的地区，也有将土坝上游坡建成反滤式坝坡(图20.2.9)，如牟定铜矿的尾矿场，将上游坝坡设计成反滤式的坝坡，将渗水集中到坝坡脚用集水管汇集起来排出坝外，效果良好。

地信网论坛
bbs.3s001.com

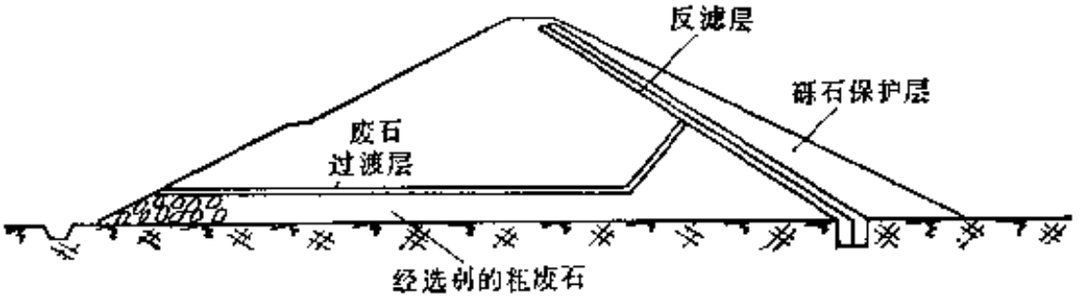


图 20.2.8 透水废石坝剖面示意图

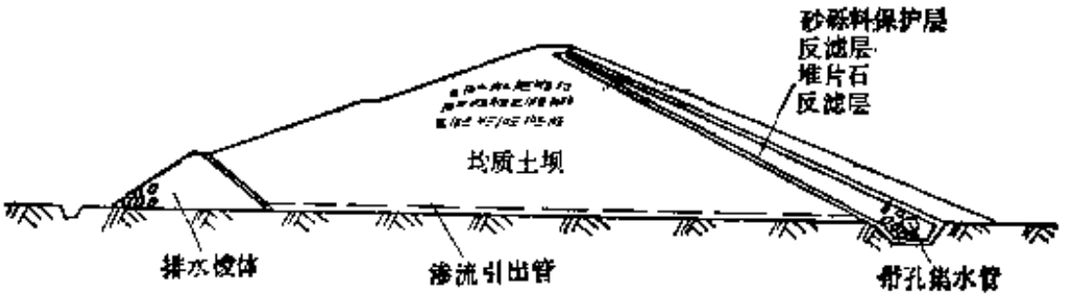


图 20.2.9 反滤式上游坡均质土坝示意图

不透水坝大都是土坝，少数为砌石坝或混凝土坝。由于土坝可就地取材，施工方便，筑坝工艺简单，故得到广泛应用。但由于坝体不能起滤水作用，所以堆积坝的浸润线较高，对其稳定不利，故只适用于小型尾矿场，或需在堆积坝内设置大量排渗设施来降低浸润线。实践证明，不透水初期坝的尾矿场，堆积坝的高度超过20～30米以后，浸润线会在初期坝顶以上的堆积坝逸出。因此，在采用这种坝型时，一般需采取一些降低浸润线的排渗措施，以利于堆积坝的稳定。

采用中游法堆坝和下游法堆坝的尾矿场，初期坝分成两部分——上游拦挡坝(称初期坝)和下游滤水坝。初期坝分别位于最终堆积坝坝轴线的下部和堆积坝的上游坡坡脚，可建成不透水坝。滤水坝总是设在最终堆积边坡下游坡的坡脚，必须采用透水坝（图20.2.10及图20.2.11)。

初期坝的筑坝材料，只要分别满足筑坝土料或石料要求即可、也可以采用任意料，但必须经过坝料设计。首先，坝料应是渗流稳定的材料；此外，不同的坝料应堆置在不同的部位，如不

地信网论坛
bbs.8s001.com

透水坝的土料，透水性小的置于上游坡部位，透水性大的置于坝轴线的下游，且忌用这两种土料混杂和分层分布；对透水坝的石料，过水部分应采用稍风化或未风化石料，不过水部分可采用任意料。对可能产生渗流破坏的坝料，必须采取防止渗流破坏的措施。对坝基土料也应如此。

C 初期坝的构造

（1）初期坝的坝顶宽度，一般应满足交通要求和坝顶放矿的操作要求，但不得小于表20.2.8的值。

表 20.2.8 坝顶最小宽度表

坝 高，m	<10	10～20	20～30	>30
坝顶宽度，m	≥2.5	≥3.0	≥3.5	0.4

对采用废石堆坝的尾矿场，坝顶宽度还应满足排废石的特殊要求。

（2）初期坝的坝基处理。初期坝是一种水工构筑物，作为尾矿场基础的初期坝坝基，必须严格按水工构筑物有关规范、规程的要求，进行认真的处理，将初期坝置于稳定可靠的基础上。

1）软土地基，应按软弱坝基进行处理。

2）以砂砾（卵）石组成的地基。首先应研究有无集中漏水通道和地基本身的渗流稳定性，如可能产生集中漏水，应以截水墙截断其通道；对可能产生渗流破坏的地基，应采取防止渗流破坏的措施，如铺设反滤层或挖除。

3）初期坝的反滤层，应嵌入强度稳定和渗流稳定可靠的地层中。

4）初期坝与岸坡接触地段，可适当开挖成齿槽，反滤层及斜墙应嵌入齿槽内。

（3）初期坝的坝坡。坝坡坡比与坝身结构、筑坝材料的性质、坝基地质条件、施工方法、坝高、地区地震烈度有关，一般应通过稳定计算最终确定。

初期坝的静力稳定计算，土坝一般采用圆弧滑动法或改良圆

地信网论坛
bbs.3s001.com

弧法进行；堆石坝按折线法计算。其动力稳定计算，一般采用拟静力法计算，其参数的选取，应考虑动荷载的影响。

稳定计算是根据拟定的坝剖面进行的，一般根据坝料的性质，参考类似工程拟定坝剖面，也可参考表20.2.9和表20.2.10初步拟定坝坡，再进行稳定计算，要求边坡稳定最小安全系数达到表20.2.11的要求。

表 20.2.9 土坝边坡参考表

坝 坡	一级坡	二级坡	三级坡	四级坡	五级坡
上游坡	1:2.00～1:2.500	1:2.500～1:2.75	1:2.75～1:3.0	1:3.00～1:3.25	1:3.25～1:3.50
下游坡	1:2.00	1:2.00～1:2.50	1:2.50～1:2.75	1:2.50～1:3.00	1:2.75～1:3.25

注：1. 尾矿场初期坝可取上游边坡等于下游边坡值；

2. 填土的碾压松散密度（碾压干容重）为1.7～1.8t/m³。

表 20.2.10 斜墙堆石坝边坡参考表

坝 坡	一级坡	二级坡	三级坡	四级坡	五级坡
上游坡	1:2.50～1:2.75①				
下游坡	1:1.30～1:1.50				

注：1. 堆石的碾压松散密度（碾压干容重）为1.85～2.1t/m³。

① 初期坝上游坡取决于斜墙及反滤层的稳定，由计算确定。一般较表中边坡值陡。

表 20.2.11 坝坡稳定最小安全系数表

荷载组合	坝的等级			
	一	二	三	四、五
基本组合	1.30	1.25	1.20	1.15
特殊组合①	1.20	1.15	1.10	1.05
特殊组合②	1.10	1.05	1.05	1.00

① 表中安全系数不适用于动力稳定分析；

② 荷载组合情况见表20.2.12。

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.12 荷 载 组 合 表

荷载组合		荷载名称					
		设计洪水位的渗透压力 1	坝体自重 2	土壤中的孔隙水压力 3	校核洪水的渗透压力 4	地震荷载 5	排渗失效时校核洪水位的渗透压力 6
基本组合	总应力法	✓	✓				
	有效应力法	✓	✓	✓			
特殊组合①	总应力法		✓		✓	✓	
	有效应力法		✓	✓	✓	✓	
特殊组合②	总应力法		✓			✓	✓
	有效应力法		✓	✓		✓	✓

初期坝的下游边坡，每隔10～15米高差设置宽度为1～2米的戗道。土坝的下游坝坡应当根据需要设置坝坡排水，并在坡面种植草皮做为护坡。

初期坝中的反滤层，是坝体的重要部分，拟在排渗设施中一起讨论。

20.2.3.2 尾矿场的堆积坝

堆积坝是指用尾矿本身堆积而成的尾矿堆积体，又称后期堆积坝。

A 堆积坝的型式及堆坝方法

堆积坝的型式与堆坝方法相联系，可概括如下：

一次筑坝的（包括废石筑坝）尾矿场不用尾矿堆坝，故没有堆积坝，是尾矿场的特殊情况。

上游法堆坝的堆积坝，如图20.2.2所示。自初期坝坝顶开始以某种边坡比向上游逐渐推进加高，初期坝相当于堆积坝的排水棱体。这种堆积坝堆坝工艺简单，操作方便，基建投资少，经营

地信网论坛
bbs.3s001.com

- 堆积坝
  - 上游法堆坝的堆积坝
    - 池填堆坝法
    - 渠槽堆坝法
    - 推土机堆坝法
    - 旋流器堆坝法
  - 中游法堆坝的堆积坝
  - 下游法堆坝的堆积坝
  - （中游法堆坝的堆积坝、下游法堆坝的堆积坝）旋流器堆坝法

费低，是我国目前广泛应用的堆积坝坝型。但其支承棱体底部由细尾矿堆积而成，力学性能差，对稳定不利，且这种堆积坝浸润线高，有待改进。

中游法堆坝的堆积坝，如图20.2.10所示，是以初期坝轴线为堆积坝坝顶的轴线始终不变，以旋流器的底流沉砂加高并将堆积边坡不断向下游推移，待堆至最终堆积标高时形成最终堆积边坡。旋流器的溢流排入堆积坝顶线的上游。这种堆积坝改善了尾矿场支承棱体的基础条件，支承棱体基本上由旋流器底流的粗尾矿堆积而成，浸润线也有所降低，对堆积坝的稳定有利，因此生产上希望采用这种堆积坝，但用旋流器筑坝又给生产带来很多麻

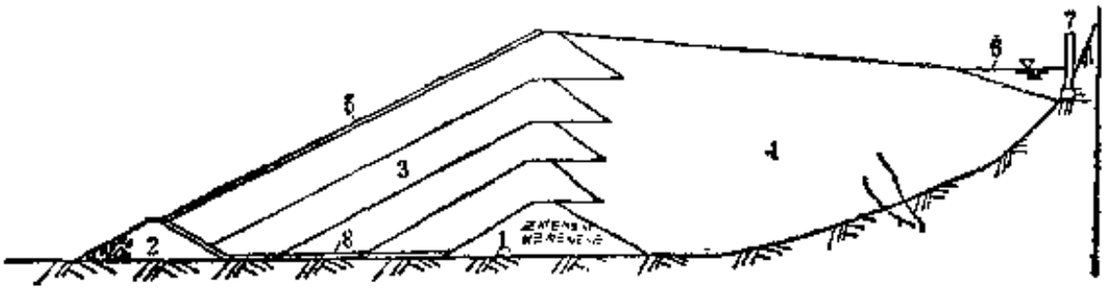


图 20.2.10 中游法堆坝的堆积坝剖面示意图

1—初期坝；2—滤水坝；3—冲积粗尾矿；4—细尾矿；5—护坡；6—尾矿池；7—排洪设施；8—排渗设施

烦，如旋流器的移动和管理，临时边坡的稳定及扬尘等问题，使其应用受到限制，加之其基建投资高，目前实际应用还不多。

下游法堆坝的堆积坝，如图20.2.11所示，自初期坝坝顶开始，用旋流器底流沉砂（溢流排入坝内）以某种坡比向下游逐渐

地信网论坛
bbs.3s001.com

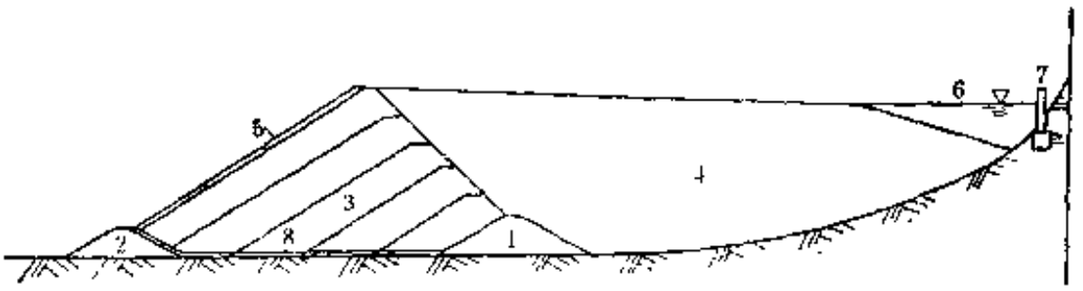


图 20.2.11 下游法堆坝的堆积坝剖面示意图

1—初期坝；2—滤水坝；3—冲积粗尾矿；4—细尾矿；5—护坡；6—尾矿池；7—排洪设施；8—排渗设施

加高推移，先逐渐形成上游边坡，直至堆到最终堆积标高时才形成最终下游边坡。这种堆积坝采用大量旋流器底流沉砂筑成堆积坝，彻底改善了支承棱体的基础条件，降低了浸润线，稳定性和抗震性能均好。但旋流器堆坝工作量大，应考虑旋流器底流沉砂量与堆坝工程量的平衡。也存在中游法堆坝所存在的问题，因此目前应用较少。

湖北省王集磷矿尾矿场和山西峨口铁矿第二尾矿场采用下游法堆坝，均已投产，将为我国下游法堆坝积累经验。

B 堆积坝的边坡

堆积坝的边坡，应根据尾矿的物理力学指标，参考类似工程初步拟定，也可参考表20.2.13拟定，其一般值在1∶3.0～1∶5.0之间，然后进行稳定计算，采用能满足边坡稳定最小安全系数要求的边坡作为设计边坡值。边坡稳定最小安全系数列于表20.2.11。在拟定边坡及稳定计算中，对地震区的尾矿场还应考虑地区的地震烈度。

为了便于检修，坝坡上每隔一定高差留一戗道，其宽度根据管理和交通条件确定。

坝坡应设护坡，以防雨水冲刷和尘土飞扬，一般可用山皮土护坡，并可以在山皮土上种花草或小灌木林，禁止种乔木林，并设坝坡排水及坝肩排水沟。

C 堆积坝的稳定及其计算

堆积坝的稳定包括静力稳定、动力稳定和渗流稳定，均应进

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.13 堆积坝边坡参考表

尾矿抗剪强度指标	堆积高度，m（初期坝顶算起）	坝坡坡比	
		沉积滩长度 100～200m	沉积滩长度 200～400m
$\phi=15°\sim20°$ $C\geqslant19.6$kPa	10以下	1:3.0	1:3.0
	10～20	1:3.0～1:4.0	1:3.0～1:3.5
	20～30	1:3.5～1:5.0	1:3.0～1:4.0
$\phi=21°\sim25°$ $C\geqslant9.81$kPa	20以下	1:3.0	1:3.0
	20～30	1:3.0～1:4.0	1:3.0～1:3.5
	30～50	1:3.5～1:5.0	1:3.0～1:4.0
$\phi=26°\sim30°$	30以下	1:3.0	1:3.0
	30～50	1:3.0～1:4.0	1:3.0～1:3.5
	50～70	1:3.5～1:5.0	1:3.0～1:4.0
$\phi=31°\sim35°$	40以下	1:3.0	1:3.0
	40～70	1:3.0～1:4.0	1:3.0～1:3.5

注：适用条件：

1. 初期坝为透水坝，初期坝坝高与总坝高的比例1/4～1/6；
2. 非地震区；
3. 坝基良好；
4. 尾矿抗剪强度指标为试验所得的小值平均值。

行相应的计算。

静力稳定计算的目的是验证拟定坝坡的稳定安全程度，一般采用圆弧滑动法或静力有限元法进行计算，要求堆积边坡的最小安全系数满足表20.2.11的要求。

动力稳定分析是为验证坝坡在动力（一般是地震）条件下的稳定性及产生振动液化的可能性、液化的范围及液化深度。一般采用有限元分析法，同时采用现场试验进行判别，以资互相验证。对一般小型工程，可采用拟静力法进行计算。

渗流稳定计算的目的是验算堆积坝在渗流条件下的稳定性，是否会产生渗流破坏，并应控制渗流出逸坡降小于尾矿的允许坡降。

地信网论坛
bbs.3s001.com

稳定分析一般按下述步骤进行：

（1）通过工程地质勘察或工程类比的方法取得稳定计算所需资料及参数。并拟定计算断面。

（2）进行渗流分析，确定堆积坝的浸润线，并进行渗流稳定分析，求得满足渗流稳定要求的断面。

（3）对不进行动力稳定分析的堆积坝，应进行边坡稳定计算，求得边坡稳定最小安全系数，判断边坡稳定与否，若不稳定或安全系数不满足要求，应修改断面或采取有利于稳定的工程措施，重做渗流分析和稳定计算，直至满足边坡稳定最小安全系数要求。

（4）需进行动力稳定分析的尾矿场，先进行静力分析确定静力工作状态，在此基础上进行动力分析，求得动应力及应力水平，判断液化与否及液化区的范围。必要时再采用圆弧滑动法进行边坡滑动计算，从而确定所拟定的边坡是否稳定；如不稳定，应修改边坡或增设有利于动力稳定的工程措施重新计算，直至满足稳定要求。

20.2.3.3 排洪构筑物

排洪构筑物是排泄尾矿场内洪水的工程措施，是保证尾矿场洪水安全的重要设施，一般由溢水构筑物和排水管(洞或渠)及其出口消能设施组成。

A 尾矿场洪水设计标准

按现行规范规定，尾矿场洪水设计标准列于表20.2.14。

B 排水构筑物的型式及其选择

尾矿场排洪构筑物有以下几种型式：

（1）溢洪道排洪（图20.2.12），一般布置在坝肩或尾矿场周围的垭口地形上，以浆砌片石或混凝土砌筑成的溢流堰、排水陡槽和消力池组成，适用于各种大小的泄流量。但对堆积标高不断上升的尾矿场，只能用于尾矿场终了以后的排洪或某种特定条件下的临时排洪。一般在一次筑坝的尾矿场中应用。

（2）斜槽式排洪（图20.2.13），由斜槽、结合井（消力

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.14 尾矿场洪水设计标准

尾矿场等级	1	2	3	4	5
正常运行洪水重现期，a	500	100	50	30	20
非常运行洪水重现期，a	5000	1000	500	300	200

注：1. 失事后对下游将造成较大灾害的大型尾矿场和重要的中型尾矿场，终期应以可能最大降雨量的洪水作为非常运行洪水标准；

2. 尾矿场的等级应根据不同时期的库容坝高按表20.2.3确定。



图 20.2.12 溢洪道排洪平面布置示意图

1—溢洪道；2—陡槽；3—消力池；4—尾矿坝；5—放矿管

井）、排水管（或隧洞）及出口消力池组成，适用于小流量的尾矿场。

地信网论坛
bbs.3s001.com

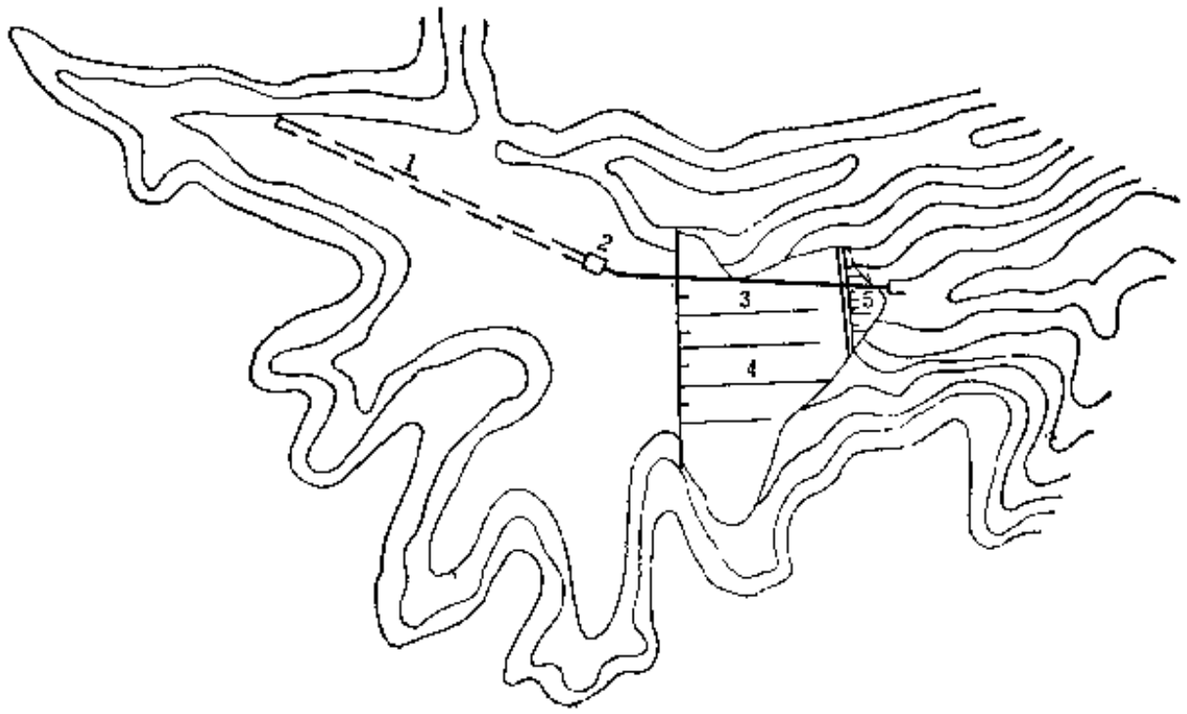


图 20.2.13 斜槽式排洪平面布置示意图

1—排水斜槽；2—连接井；3—排水管；4—堆积坝；5—初期坝

（3）溢水塔式排洪（图20.2.14）由溢水塔和排水管（或隧洞）及其出口消能设施组成，适用于各种流量的排洪。溢水塔有窗口式和框架式两种，前者用于小流量，后者用于大流量。

以上各种排洪构筑物，可根据最大下泄流量选择，拟定其尺寸，进行水力计算，必要时，选取不同型式，通过经济技术比较确定。

C 洪水计算的方法和内容

尾矿场洪水计算内容包括设计暴雨、设计洪峰流量、设计洪水过程线及洪水总量，并进行调洪计算，通过调洪计算确定排洪构筑物的最大下泄流量，据此确定排洪构筑物的型式和尺寸。

尾矿场都是没有实测径流资料的小汇水面积，只能利用暴雨资料推算设计洪水。洪水计算宜采用多种方法，并通过洪水调查进行比较，采用接近洪水调查的计算结果。各省、各地区水文部门编制的水文计算资料及水文图集是水文计算的重要参考资料。

地信网论坛
bbs.3s001.com

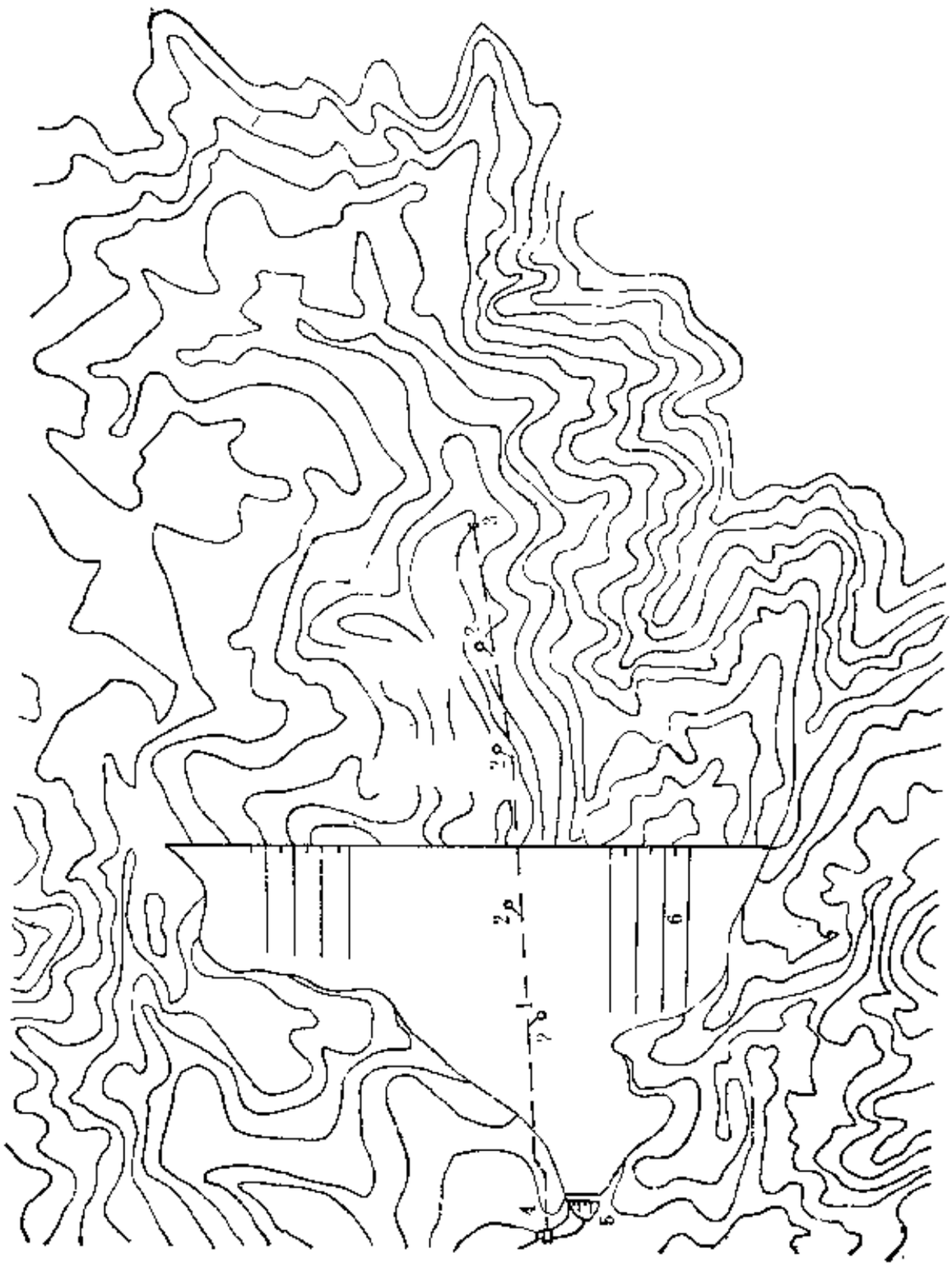


图 20.2.14 溢水塔式排洪平面布置示意图

1—排洪隧洞；2—溢水塔；3—隧洞起点；4—隧洞出口；5—初期坝；6—堆积坝

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.2.3.4 排渗构筑物

排渗构筑物是降低尾矿场浸润线的工程措施。其作用是降低堆积坝的浸润线，以免浸润线在堆积边坡逸出，尽量缩小堆积坝坡的饱和区，扩大疏干区，促进尾矿的排水固结，从而提高堆积坝的稳定性；堆积坝坡面下一定范围内的尾矿被疏干，能有效地防止尾矿砂产生振动液化，提高堆积边坡的动力稳定性。由此可见，排渗构筑物是尾矿场的重要工程设施，特别是大中型尾矿场和强地震区尾矿场不可缺少的设施。

排渗设施设计应以渗流稳定和动力稳定所要求的渗流控制条件为依据。

A 排渗构筑物的型式及其选择

尾矿场的排渗是近几十年才开始广泛采用，其结构型式仍在不断发展和完善，目前大致有两类：即水平排渗和垂直排渗。

水平排渗是采用接近水平的排渗盲沟或水平排渗层，将渗水截流汇集起来并集中排出坝外，以达到降低浸润线的目的。如图20.2.15所示，其结构型式有无砂混凝土管，带孔钢筋混凝土管（或铸铁管）外包反滤层，还有采用堆石外包反滤层的。实践证明，水平排渗盲沟在粗颗粒尾矿中效果良好，在细颗粒尾矿或水平细尾矿夹层较多的条件下，反滤层容易被堵塞，也难以降低水平细尾矿夹层以上的悬挂水层，一般效果欠佳。

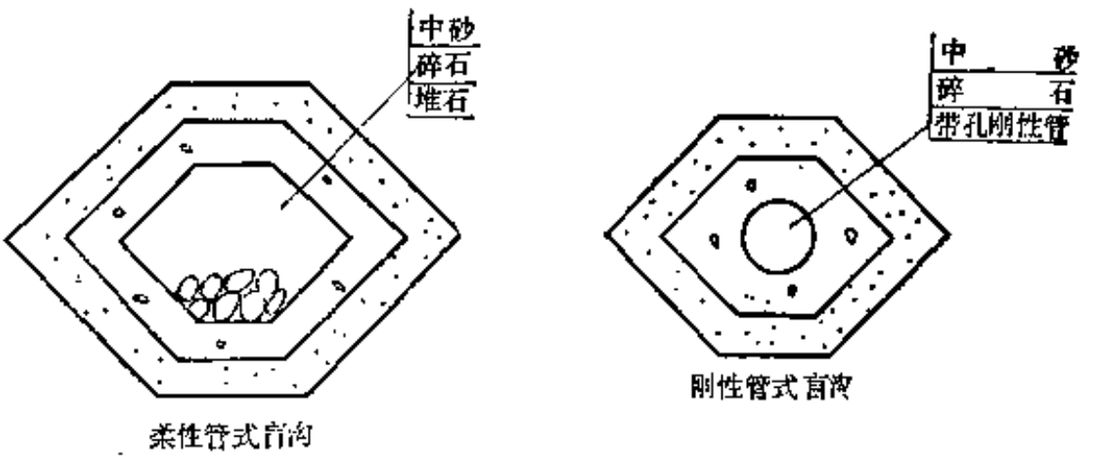


图 20.2.15 几种盲沟型式示意图

地信网论坛
bbs.3s001.com

垂直排渗是以垂直渗水井汇集渗水集中排出坝外。渗水井的型式有无砂混凝土管井、拼装式带孔钢筋混凝土井圈外包反滤层，也有采用堆石外包反滤层的渗水井。在不能自流的条件下，有的采用潜水泵抽水，因要求泵的抽水能力与井的渗水量一致难以控制，目前应用较少。大石河尾矿场采用倒虹吸管抽水，效果良好。马钢凹山尾矿场采用轻型井点降水，也有良好效果。

无论水平排渗或垂直排渗，其集中起来的渗水需用排水管引出坝外，有时可能通过浸润线以上的疏干区，为防止水流再渗回尾矿内，因此应采用不渗水管引出。

B 排渗设施的平面布置

排渗设施的平面布置根据尾矿场的地形条件、尾矿的渗透特性和尾矿的堆积高度通过渗流计算或渗流电模拟试验来确定。一般先根据一般原则初拟布置方案，再进行计算或试验，直至满足渗流控制要求。排渗设施平面布置的一般原则为：

（1）排渗设施一般与透水初期坝共同起排渗作用，排渗设施距初期坝坝顶约1倍尾矿砂的影响半径处开始布置，对透水初期坝影响不到的堆积坝坝肩或不透水初期坝坝前的堆积坝，应距初期坝坝约0.5倍尾矿砂的影响半径处开始布置。

（2）堆积坝的浸润线一般在1/2～2/3的堆积高度范围逸出（不包括悬挂水的逸出点），故排渗设施只需在此范围内布置，尾矿粒度细者取大值，尾矿粒度粗者取小值。

（3）排渗构筑物的间距，与尾矿砂的影响半径、排渗构筑物尺寸及降水深度有关，一般可取略小于1倍影响半径的值。

（4）尾矿堆积体与地形相交处，由于原地面的透水性小，渗流在此条件下产生壅高，在排渗设施影响不到的地段，宜设坝肩排渗盲沟。

C 反滤层的设计和施工

反滤层的设计，一般应通过试验确定参数，再进行设计。在无试验资料的情况下，一般采用工程类比法进行设计。

a 反滤层必须满足的条件

地信网论坛
bbs.3s001.com

（1）任意一层的反滤料不应穿过粒径较粗一层的孔隙；

（2）每一层内的颗粒不应发生移动；

（3）被保护土层的颗粒不应被渗水携带出反滤层，但特别微细的土粒是允许被水带走的；

（4）反滤层不应被淤塞，即特别微细的土粒能通过反滤层的孔隙。

b 反滤层设计控制方法

为满足上述条件，建议用下列方法控制：

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leqslant 4 \sim 5 \qquad (20.2.12)$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geqslant 5 \qquad (20.2.13)$$

式中 D_{15}——反滤料的粒径，小于该粒径的土占总土重的15%；

d_{85}——被保护土的粒径，小于该粒径的土占总土重的85%；

d_{15}——被保护土的粒径，小于该粒径的土占总土重的15%。

对于以下的情况，建议作某些简化后，仍用以上方法初步选择反滤料，然后通过试验确定。

（1）对于不均匀系数较大的被保护土，可取 $\eta \leqslant 5 \sim 8$ 细粒部分的 d_{85}、d_{15} 作为计算粒径。

对于不连续级配的土，应取级配曲线平段以下（一般是1～5毫米以下）的粒组的 d_{15}、d_{85} 作为计算粒径。

（2）不均匀系数 $\eta > 5 \sim 8$ 的砂砾石作为反滤料第一层时

1）选用小于5毫米以下的细粒部分的 D_{15} 作为计算粒径；

2）要求大于5毫米的砾石含量应≤60%。

（3）不能以上述方法确定的反滤料，均应由试验确定。

反滤层的施工是项较细致的工作，一则厚度小，不便于大机

地信网论坛
bbs.3s001.com

械施工；二则质量要求严格，必须精心施工才能达到要求。首先应按设计要求选择合适的料场，按要求的粒径、级配、不均匀系数、含泥量等进行精心备料；同时，按照有关规范和设计要求进行反滤层的基础处理，做好铺填反滤层的准备。接着铺填反滤层，铺填时必须严格控制厚度，一般宜每10米设一个样板，并经常检查。砂和砾料应适当洒水，相邻层面必须拍打平整，保证层次清楚，互不混杂。铺好反滤层后，应铺填保护层。在施工过程中，搬运反滤料时应保持湿润状态以免颗粒分离，防止杂物或不同规格物料混入。铺筑反滤层须自底部向上进行，不得从坡面上向下倾倒。分段铺筑时，必须做好接缝处各层之间的连接，要求接缝层次清楚，不得发生层间错位、折断、混杂。反滤层施工应按有关施工技术规范进行，每道工序经过验收合格后，方可进行下一道工序的施工。

化纤反滤布是反滤层的良好代用料，其施工方便，比较经济，现在尾矿场设计中已有大量应用，今后应进一步加强试验研究，使其更适合尾矿场反滤层的设计要求。目前反滤布的应用中要注意反滤布的透水性与尾矿的透水性相适应，特别是与在高压状态下的透水要相适应。

20.2.3.5 尾矿场的回水构筑物

很多选矿厂利用尾矿场的回水代替水源供水，取得了良好的经济效益，节省了能源，避免了与农民争水，也减少了对下游的污染。

决定尾矿场是否回水，主要根据技术经济比较确定，有时也根据环境保护要求而决定回水。

尾矿场回水的回水量，应根据来水量、用水量及损失水量，通过水量平衡计算确定。

尾矿场回水往往与堆积坝的安全有矛盾。堆积坝的稳定要求沉积滩有一定长度，也就是对尾矿池的池水位与堆积坝坝顶之间的高差有一定要求，为了多回水，又希望这个高差要小，以便多蓄水。此时，堆积坝的稳定是主要的，回水应服从坝体稳定的

地信网论坛
bbs.8s001.com

表 20.2.15 取水构筑物型式一览表

型式		配置特点	优缺点
固定式泵站	坝内式	于池内岸边设临时泵站吸水，随池内水位升高，定期移动泵站位置	1.可利用池内水头； 2.泵站多次拆迁，生产管理较麻烦
	坝外承压式	在坝外排水管出口处设泵站取水，水泵的吸水管与排水管直接联接	1.可充分利用池内水头； 2.排水管承受内水压力，一旦损坏影响回水
	坝外吸入式	在坝外排水管出口设集水池和泵站	1.设备简单； 2.操作管理方便； 3.不能利用池内水头
移动式泵站	缆车式	在池内岸边设斜坡卷扬和缆车	1.可充分利用池内水头； 2.能适应较大的风浪； 3.投资较高，管理较麻烦
	囤船式	在池内设囤船式泵站	1.可充分利用池内水头； 2.船体维护检修较频繁； 3.取水较缆车灵活

要求。

随取水方式的不同，有不同的取水构筑物，见表20.2.15。

20.2.3.6 排水沟

为了确保尾矿场的安全和便于尾矿场的管理，还应根据需要设置下述排水沟。

A 坝肩排水沟

为防止尾矿场两坝肩以上山坡的洪水冲刷坝坡，需在坝肩坚实地基上修建浆砌片石或混凝土排水沟，其断面尺寸一般应通过洪水计算及水力计算确定。

B 坝坡排水沟

为防止暴雨径流冲刷尾矿场的边坡，不仅要采取护坡措施，还应设置坝坡排水沟。一般每隔10～15米高设一条水平排水沟，向两坝肩流入坝肩排水沟；当堆积坝轴线较长时，宜设人字形排水沟。

地信网论坛
bbs.3s001.com

20.2.3.7 尾矿场的管理设施

A 观测设施

为了监测尾矿场的运行情况，需设置长期观测设施。观测设施的项目包括：位移观测、渗水量及水质观测、水位观测、浸润线观测和孔隙水压力观测等。大型尾矿场应设置较全面的观测设施，其他尾矿场也应视具体情况设置必要的观测设施。

B 管理设施

为方便尾矿场的维护与管理，应适当配备下述设施：

（1）值班房：包括值班室、工具室、器材室、会议室等。

（2）机具：主要是筑坝机具，如推土机、装载机具及水上交通工具等。必要时可设简易检修设施。

（3）其他附属设施：如道路、照明、通讯设施等。

对远离厂区的尾矿场，必要时应配备生活福利设施。

20.2.4 尾矿场的维护管理

尾矿场是一种边施工边生产的工业设施，其维护管理过程既是生产管理过程，又是尾矿场加高的施工过程，因此，尾矿场的维护管理具有特殊重要的意义。尾矿场的管理部门既是生产组织机构，又是施工组织机构。

尾矿场维护管理的基本任务是根据尾矿场生产运行的客观规律和设计要求，组织好尾矿堆积坝的堆坝施工、尾矿的正常排放、尾矿澄清水的回收及尾矿设施的检查维修。

20.2.4.1 尾矿排放及尾矿堆坝

尾矿排放过程就是尾矿堆积坝加高的施工过程，是相互联系和密切相关的。

A 尾矿排放

尾矿场的堆坝方法决定了尾矿的放矿方式及放矿位置。采用一次筑坝的尾矿场，放矿灵活，可以分散放矿，也可以集中放矿，放矿位置可以在尾矿水澄清区以外的任何位置。上游法堆坝的尾矿场，一般采用坝前分散放矿，除冰冻期采用冰下集中放矿

地信网论坛
bbs.3s001.com

或岩溶地区尾矿场要求周边放矿以外，不允许在任意位置放矿，也不能集中放矿。中游法和下游法堆坝的尾矿场，一般采用旋流器分级放矿，旋流器沉砂用来堆坝，溢流放入坝内。为了保证堆坝所需的旋流器沉砂量，不能无故不经旋流器分级就直接往坝内放矿。

对高浓度堆坝及高浓度放矿，比中低浓度有明显的差别，如放矿口的大小、间距需要改变，沉积滩纵坡变陡，粗细粒尾矿的分布规律等均会发生变化，这些都需通过试验和生产实践不断积累经验，逐步解决放矿过程中出现的新问题。

尾矿排放应注意以下问题：

（1）保持均匀放矿，使尾矿沉积滩均匀上升；

（2）放矿过程中，不能出现沿子堤上游坡脚的集中矿浆流和旋流，以免形成冲刷。如出现这种情况，应移动放矿口矿浆的落点，或以尾矿堆消除此种水流，或以草袋护坡脚；

（3）冰冻季节宜采取库内冰下集中放矿；

（4）尾矿排放过程中，应避免在沉积滩面形成大面积的细尾矿及矿泥层。如生产过程中出现短时间含泥量大的细尾矿波动情况，应在尾矿池内放矿，放矿过程中最末两个放矿口尾矿粒度过细的条件下，此种放矿口的尾矿宜接至尾矿池内排放。

B 尾矿堆坝

堆筑堆积坝是尾矿场生产管理中工作量较大的施工内容，其质量好坏关系到尾矿场的安全，因此原则上应按设计规定的堆坝方法和有关的操作规程进行堆筑。

（1）应与设计部门密切配合，不断总结堆坝经验，不断探索和创造堆坝新工艺、新技术。

（2）堆坝过程中，应按设计边坡，设计平台宽度堆筑，不得任意改陡边坡，也不宜未经设计同意放缓边坡或在坝坡上留宽平台。

（3）为保证堆坝质量良好，原则上应以粗颗粒尾矿堆坝，当原尾矿出现含泥量过大的波动时，应暂时停止堆坝，并将此时的尾矿送入尾矿池排放，待尾矿粒度正常后继续堆坝。冰冻季节

地信网论坛
bbs.3s001.com

不宜堆坝。若未采用水力冲积堆坝，必须分层碾压密实。

（4）应保持堆积坝顶均匀上升，每次堆坝结束，不应出现缺口或低标高地段。

（5）沉积滩范围内（包括两侧的天然冲沟）如出现独立的积水区时，应及时放矿充填。

（6）当由尾矿堆坝改为废石堆坝或需采用废石压坡时，要求废石部分有足够的基础宽度，不允许以堆积边坡为基础，基础宽度应通过稳定计算确定。堆废石时，应由初期坝坡脚开始自下而上的逐渐堆高，不允许在堆积坝顶或堆积边坡的马道上自上而下地翻倒废石。

（7）堆积坝每堆成一段，应及时进行护坡，修好排水沟。

（8）尾矿场堆积到设计最终堆积标高以后，应进行善后处理设计，未取得设计部门的加高设计，不允许继续加高使用。

20.2.4.2 有关水的控制

水是影响尾矿场稳定和安全的关键性因素之一，所以必须控制得当。这里所说的水包括地下水和地表水两部分。

A 地表水的控制

尾矿场地表水的来源有三个方面：尾矿浆带来的尾矿水、周围地区渗入尾矿场的地下水和天然降水。前已述及，尾矿场堆积边坡及两坝肩的地表水通过坝坡坝肩排水沟排出坝外，其余的水都汇集在尾矿池内形成积水区，其水位称池水位（或库水位），控制尾矿池的水位是尾矿场地表水控制的主要内容。

（1）首先应保证尾矿场的排洪，排水系统的畅通，为尾矿池的水位控制创造良好的条件。

（2）尾矿池的最低水位（控制水位）应满足尾矿水澄清的要求，在满足澄清距离要求的条件下，尾矿池水位越低，对尾矿场的稳定有利，也对尾矿场的防洪有利。

（3）尾矿池的水位至沉积滩坡顶标高之间的高差应满足回水蓄水水深、调洪水深和安全超高的要求，同时安全超高相应的沉积滩长度应满足最小沉积滩长度的要求。各个时期的调洪水深

地信网论坛
bbs.3s001.com

和安全超高（或最小沉积滩长度）是必须保证的，其他任何矛盾均应服从此要求。

（4）尾矿池的最高洪水位应满足堆积坝稳定的要求，也就是最小沉积滩长度要求，最高洪水位时的沉积滩长度应大于或等于最小沉积滩长度，否则应降低控制水位或增大泄洪能力。

B 尾矿场的度汛

汛期是尾矿场地表水控制的关键时期，如果这个时期尾矿池水位控制不当，洪水时可能造成洪水漫顶，引起溃坝事故。因此每年汛期前应做好度汛准备和排洪验算。

度汛准备包括防洪抢险所需的物资、材料、用具等的准备和防洪抢险组织准备、人员组织准备，一旦发现险情，有物质、用具随时取用，立即能有劳动大军投入，随时会有人组织，以免失去抢险战机。

汛期前的洪水验算也是度汛准备的重要部分，洪水验算可靠并得到实现，正常情况下就可能实现安全度汛或减少险情。所以汛期前的洪水验算是重要的一环。汛期前洪水验算的主要内容是验算在已建成的泄水构筑物之泄水能力条件下的调洪库容、安全超高及沉积滩长度是否符合设计要求。洪水验算可按下述步骤进行（参考图20.2.5）：

（1）实测汛期前沉积滩顶最低标高H_1（相当图中的H_m）、汛期前尾矿池水位H_3（相当于图中H_K）。

（2）确定本汛期允许的最高洪水位H_2

$$H_2 = H_1 - e \tag{20.2.14}$$

式中 e——防洪安全超高，由规范中确定；现行规范规定列于表20.2.16。

（3）实测H_2所相应的沉积滩长度L_1，取沉积滩上L_1的最小值，此值应大于或等于设计提出的最小沉积滩长度要求，否则应降低H_2，使其达到此要求。

（4）实测尾矿场内H_2、H_3相应的面积S_2和S_3。

（5）计算调洪库容V_T

地信网论坛
bbs.3s001.com

表 20.2.16 防洪坝顶安全超高表 单位:m

运行情况 \ 坝的等级	一	二	三	四、五
正常	2.0	1.5	1.0	0.7
非常	1.5	1.0	0.7	0.5

$$V_T=\frac{S_2+S_3}{2}\times(H_2-H_3) \qquad (20.2.15)$$

（6）判断实际调洪库容V_T是否满足设计提出的调洪库容V_P的要求：$V_T\geqslant V_P$

若不满足此要求，应降低H_3，使其满足要求。若降低H_3以后不满足澄清距离要求，应与设计部门联系，采取其他措施。

（7）需要在汛期蓄水供回水用的尾矿场，V_P应加上回水蓄水库容进行判断。

C 地下水的控制

这里所说的地下水，主要是指尾矿场的渗流水。

（1）对中、小型尾矿场，堆积坝的浸润线，除按设计浸润线控制外，浸润线不宜在坝坡逸出，如有逸出，应观测其水量和水质，判断其渗流稳定性，一般水质清澈者为正常稳定渗流，如水质浑浊，说明已出现渗流破坏，此时宜降低尾矿池水位，并立即以反滤料或反滤布铺盖，再加适当的压重。如渗水量突变，应分析其原因和加强观察。比较彻底的办法是采取降水措施，使其不在坝坡上逸出。

（2）对大型尾矿场和地震区的尾矿场，为满足堆积坝稳定性的要求，要求浸润线有一定的埋深，这种尾矿场应定期进行浸润线观测，控制其低于设计提出的控制浸润线。如实测浸润线高于控制浸润线，应分析其原因，与设计部门联系，采取适当工程措施进行处理。

20.2.4.3 尾矿场的监测

监测是了解尾矿场运行情况的重要手段，也是尾矿场安全的

地信网论坛
bbs.8s001.com

指示灯，所以尾矿场的监测工作是尾矿场管理的重要内容。

对设置有观测设施的尾矿场，应充分利用这些设施加强观测，首先应组织监测小组，并制定专门的监测制度和操作规程，

表 20.2.17 尾矿场事故迹象及处理措施参考表

迹象	原因	处理措施
坡脚隆起	坡脚基础变形	先降库水位，再坡脚压重
坝坡渗水及沼泽化	浸润线过高	降库水位，加长沉积滩，采取降低浸润线措施
	不透水初期坝导至浸润线高	在略高于初期坝顶部位设排渗措施
	矿泥夹层引起悬挂水的逸出	打砂井穿透矿泥夹层
坝坡或坝基冒砂	渗流失稳	先降库水位，铺反滤布，压上碎石或块石，设导流沟，必要时加排渗设施
坝坡隆起	边坡太陡	先降库水位，再放缓边坡或加固边坡
	矿泥集中，饱和强度太低	先降库水位，加排渗设施或加固边坡
坝坡向下游位移或沿坝轴向裂缝	基础强度不够	先降库水位，坝坡脚压重加固基础
	边坡剪切失稳	先降库水位，再降低浸润线或加固边坡
堆积坝塌陷	排水管破坏或漏矿	先降库水位，加固或新建排水管，再填平塌坑
	排渗设施破坏	先降库水位，再抛少量小块石，再抛碎石、砂，或开挖处理
	岩溶溶洞塌陷	先降库水位，抛树枝、块石、碎石、砂，再以粘土分层夯实填平
洪水位过高	调洪库容小或泄水能力小	先降低控制水位，改造排洪设施，增大泄水能力或利用后期排洪设施截洪

地信网论坛
bbs.3s001.com

进行定期观测。观测成果应及时整理、分析、归档，不断积累观测资料。未设置观测设施的尾矿场，应创造条件设置观测设施，或采取简易的办法加强观测。

对尾矿场进行巡回检查是及时发现尾矿场异常情况的重要途径 应纳入尾矿场管理人员的岗位责任制。检查的内容包括：尾矿场边坡有无变形和异常；排水构筑物是否畅通；排渗设施的水量、水质有无异常变化；尾矿排放是否正常、有无漏矿现象，矿浆流是否产生冲刷；回水的水质是否符合要求等。如发现异常，应及时处理，如不能处理，应立即上报，以便进一步采取措施。

20.2.4.4 尾矿场的维修

进行尾矿场的维修是尾矿场管理的基本任务的一部分。每年洪水期和化冰期后，应进行一次全面检查和分析，列出维修项目和补充措施项目，安排维修计划，要求按时完成。如有地震预报，应组织设计与有关部门共同研究，提出尾矿场抗震方案，并抓紧实施。

平时巡回检查发现的问题，应及时处理，如填补塌坑、冲沟，修补排水设施，清除排水设施内的淤积物等。

20.2.4.5 尾矿场的事故及其处理措施

在尾矿场的生产运行过程中，难免会出现一些异常、事故，对这些现象，必要时首先采取应急措施，然后分析其原因，确定处理措施。表20.2.17列出部分异常迹象的处理措施供参考。

参 考 文 献

[1] W. 瑞斯涅尔，M. V.艾森哈特·罗齐，料仓，中国建筑工业出版社，1978.

[2] D.E. 皮克特等，加拿大选矿实践，冶金工业出版社，1983.

[3] 张启溶，略论铁矿石和石灰石的堆积角与陷落角，选矿烧结，1963，№1，未发表著作.

[4] 张竞赛，振动给料，起重运输机械，1984，№3.

[5] 《选矿设计参考资料》编写组，选矿设计参考资料，冶金工业出版社，1972.

[6] International Conference on DESIGN OF SILOS FOR STRE-

地信网论坛
bbs.3s001.com

NGTH AND FLOW, University of Lancaster, UK, 2nd-4th September 1980. Copyright, POWDER ADVISORY CENTRE, London, England, 1980.

[7] ERROL G. KELLY, DAVID J. SPOTTISWOOD, Introduction to Mineral Processing, Copyright © 1982 by John Wiley & Sons, Inc. Printed in the United of America.

[8] N. K. Latincsics, Silos and Storage Vessels influence of compressibility of the Stored Solids on the Design Methods, the Process and Conflicts in Existing Codes, bulk solids handing, Volume 5, Number 1, February 1985.

[9] T. Tamura and H. Haze, Determination of the Flow of Granular Materials in silos, bulk solids handing, Volum 5, Number 3, June 1985.

[10] M. Suzuki, T. Akashi and K. Matsumoto, Flow Behaviour and Stress Conditions in Small and Medium Silos, bulk solide handing, Volume 5, Number 3, June 1985.

[11] M. Hasegawa, K. Saito, K. Hong, H. Tomiyasu and K. Watanabe, Measurement and Utilization of Dynamic Properties of Powder Beds, bulk Solid handing, Volume 5, Number 3, June 1985.

[12] B. Goldsmith, Calculating Volumes of Bulk Solids in Mass Flow Roctangular Storage Bins, bulk solids handing, Volume 5, Number 1, February 1985.

[13] 北京有色冶金设计研究总院，选矿厂尾矿设施设计规程，1984，未发表著作。

[14] 《尾矿设施设计参考资料》编写组，尾矿设施设计参考资料，冶金工业出版社，1980。

[15] 水利电力部，碾压式土石坝设计规范，水利电力出版社，1985.

[16] 水利电力部第五工程局、水力电力部东北勘测设计院，土坝设计，水利电力出版社，1978.

[17] 华东水利学院主编，水工设计手册，水利电力出版社，1984.