

# 第十四篇

## 现代矿山环保与生态复垦技术

# 第一章 采矿生产对环境的影响

## 第一节 采矿生产对环境的影响

矿产资源是人类社会文明必需的物质基础。随着工农业生产的发展,世界人口剧增,人类精神、物质生活水平的提高,社会对矿产资源的需求量日益增大。矿产资源的开发、加工和使用过程不可避免地要破坏和改变自然环境,产生各种各样的污染物质,造成大气、水体和土壤的污染,并给生态环境和人体健康带来直接和间接的、近期或远期的、急性或慢性的不利影响。事实证明,一些国家或地区的环境污染状况,在某种程度上总是和这些国家或地区的矿产资源消耗水平相一致。同时,矿产资源是一种不可再生的自然资源,所以,开发矿业所产生的环境问题,日益引起各国的重视:一方面是保护矿山环境,防治污染;一方面是合理开发利用,保护矿产资源。现将矿产资源在开采、加工和使用过程中产生的环境问题简述如下:

一、废石和尾矿对矿山环境的污染。采矿,无论地下或露天开采,都要剥离地表土壤和覆盖岩层,开掘大量的井巷,因而产生大量废石,选矿过程亦会产生大量的尾矿。据估计,我国非煤矿山每年排弃的废石量约为7亿多t,尾矿量约为2亿多t。首先,堆存废石和尾矿要占用大量土地,不可避免地要覆盖农田,草地或堵塞水体,因而破坏了生态环境;其次,废石、尾矿如堆存不当可能发生滑坡事故,造成严重后果。如美国有一座高达244m的煤矸石场滑进了附近的一座城里,造成800余人死亡的惨案。据调查:近20年来我国先后发生过多多次大规模的废石场滑坡、泥石流以及尾矿坝塌垮等恶性事故,导致人员伤亡、被迫停产、破坏公路、毁坏农田等恶果;再次,有的废石堆或尾矿场会不断逸出

或渗滤析出各种有毒有害物质污染大气、地下或地表水体 ;有的废石堆若堆放不当 ,在一定条件下会发生自热、自燃 ,成为一种污染源 ,危害更大 ;干旱刮风季节会从废石堆、尾矿场扬起大量粉尘 ,造成大气的粉尘污染 ;暴雨季节 ,会从废石堆、尾矿场中冲走大量砂石 ,可能覆盖农田、草地、山林或堵塞河流等等。综上所述 ,废石、尾矿对环境的污染为 :占用土地 ,损害景观 ,破坏土壤、危害生物 ,淤塞河道、污染水体 ;飞扬粉尘、污染大气。

二、许多矿山系包括采、选、冶的联合企业 ,向环境排放大量的“三废” ,如不注意防治 ,将会造成大范围的环境污染。19 世纪末日本发生震惊世界的环境污染事件就发生在某铜矿 ,该矿含铜、硫、铁、砷 ,冶炼时排放废气除二氧化硫外 ,还有砷化合物和有色金属粉尘。污染物严重地污染矿区周围面积达  $400\text{km}^2$  ,受害中心区被迫整村迁移。该矿污水排入渡良濑川水体 ,洪水泛滥时广为扩散 ,使周围四个县数万公顷的农田遭受危害 ,鱼类大量死亡 ,沿岸数十万人流离失所。

鞍山钢铁公司生产过程对周围环境污染可概括为“三龙”、“二蛇”、“一山”。“三龙”是指炼钢厂的黄烟 ,烧结厂的黑烟和镁矿的白烟 ,三者合为一体 ,每天排放有毒气体约  $0.2\text{Gm}^3$  ;“二蛇”是指选矿场红色选矿废水和鞍钢厂区排出高浓度含酚、氰废水 ,每天外排废水达 60 万 t ;“一山”是指鞍钢历年排出废渣 ,形成几亿吨大渣山 ,现鞍钢每天排渣量达 1.6 万 t。

采、选、冶生产过程形成大量工业废水 ,如不经处理 ,任意排放 ,会危害农田、渔业和土壤。据原冶金部对九个重点选矿厂的初步调查 ,在选矿厂附近有 14 条大小河流受到污染 ,污水到处泛滥 ,侵入农田 ,形成绝产田 3531 亩 ,减产田 4029 亩。

三、采矿生产 ,特别是露天开采时对矿山周围大气污染甚为严重。开采规模的大型化 ,高效率采矿设备的使用 ,以及露天开采向深部发展 ,使环境面临一系列新问题。大型穿孔设备、挖掘设备、汽车运输产生大量粉尘 ,使采场的大气质量急剧下降 ,劳动环境日益恶化。据现场监测 ,最高粉尘浓度达  $400 \sim 1600\text{mg}/\text{m}^3$  ,超过国家卫生标准上百倍。爆破作业产生大量有毒、有害气体。上述污染物在逆温条件下 ,停留在深凹露天矿坑内不易排出 ,是加速导致矿工矽肺病的主要原因。此外 ,汽车运输还产生大量的氮氧化物、黑烟、3、4 - 苯并芘 ,这是导致癌症根源。

四、采矿工业中噪声污染甚为严重。矿山设备的噪声级都在  $95 \sim 110\text{dB}(\text{A})$  之间 ,有的超过  $115\text{dB}(\text{A})$  ,均超过国家颁发的《工业企业噪声卫生标准》。噪声不仅妨碍听觉 ,导致职业性耳聋 ,掩蔽音响信号和事故前征兆 ,导致伤亡事故的发生 ,而且还引起神经系统、心血管系统、消化系统等多种疾病。

五、采掘工作破坏地面或山头植被 ,引起水土流失 ,破坏矿山地面景观 ;地下坑道的开掘或地表剥离破坏岩石应力平衡状态 ,在一定条件下会引起山崩、地表塌陷、滑坡、泥

石流和边坡不稳定,造成环境的严重破坏和矿产资源的损失,并酿成严重的矿毁人亡的重大恶性事故。1980年湖北宜昌盐池河磷矿因地下采空区的扩大,引起了地面石灰岩陡峭的山崖开裂,在雨后失稳的岩体开始滑移,约有 $10$ 万余 $\text{m}^3$ 岩体突然从陡崖上急骤倾泻而下,将山坡下矿部约 $6$ 万 $\text{m}^2$ 建筑物推垮并掩埋,堆积乱石面积约 $6000$ 余 $\text{m}^2$ ,堵塞了盐池河,造成巨大的财富损失和人员伤亡。特别是地表下沉和塌陷区引起地表水和地下水的水力联通,容易酿成淹没矿井的水灾事故。

六、矿产资源的合理开发和利用是矿山环境保护一项重要内容。上面谈到,矿产资源是不可再生资源。为此,加强对矿产资源的综合评价,是合理利用矿产资源的重要保证。要正确选择矿床合理开采方法,保证矿石最高回采率和最低损失、贫化率。大多数金属矿山是多种金属共生,综合回收和利用是保护矿产资源的重要手段。此外,针对我国矿产资源日趋减少的现状,把现已生产矿山大量排放的废石、尾矿作为二次矿产资源进行合理开发和有效的利用,变废为宝,既保护了国家的资源,又充分利用了国家资源,同时又净化了环境,可谓一举多得。

## 第二节 我国环境保护的方针、目标与对策

### 一、保护环境是我国的一项基本国策

在1983年国务院召开的第二次全国环境保护会议上确定,保护环境是我国的一项基本国策。

所谓国策,就是立国、治国之策。它是指那些对国家经济建设、社会发展和人民生活具有全局性、长期性和决定性影响的重大问题及解决对策。将保护环境列为我国一项基本国策是出于以下理由:

1. 环境和资源是人类生活和生存的基本条件,是物质生产活动的基础。保护环境和资源才能促进国民经济持续健康的发展,而污染和破坏环境不仅会影响经济发展,也会影响社会的进步与安定。

2. 我国的环境污染和生态破坏已相当严重,成为制约国家经济发展的一个重要因素,而且对国民的健康带来严重影响。如果我们现在还不切实抓紧环境保护工作,环境污染和破坏将会发展成为像今天的人口问题一样,非常难以解决,会从根本上破坏国家发展的前景。

3. 保护环境不仅是建设物质文明的需要,也是建设精神文明的需要。优美、舒适、清洁的工作和生活环境是人类追求的目标之一。我国是文明古国,礼仪之邦,保护环境是历史赋予我们的重任。

4. 保护环境功在当代,利在千秋,是一项关系到民族兴旺发达的伟大事业,不仅需要大量投资,也要付出长时期的艰苦努力。

总之,将环境保护列为基本国策,是由于它直接关系到国家的强弱、民族的兴衰、社会的稳定,关系到全局战略和长远发展。要落实环境保护这一基本国策,必须依靠行政的、法律的、经济的、科学的和教育的各种手段。

## 二、环境保护工作方针

环境保护工作方针是指国家在一定历史时期内,为达到一定的环境目标而确定的环境保护工作的指导原则。我国环境保护工作方针是:“全面规划,合理布局,综合利用,化害为利,依靠群众,大家动手,保护环境,造福人民。”这条方针在1973年举行的第一次环境保护会议上得到确认,并写入1979年颁发的《中华人民共和国环境保护法(试行)》。实践证明,矿山如能执行这一方针,矿山环境就能得到保护和改善。

1. 全面规划合理布局。这是指明了环境保护是国民经济发展规划的一个重要组成部分,必须纳入国家的、地方的和部门的社会经济发展规划,做到经济与环境协调发展;在安排工业、农业、城市、交通等项建设时,必须充分注意对环境的影响。在矿山建设中还必须切实执行“三同时”的原则,即防治污染设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产;在矿山开采结束时必须做好被采矿破坏土地的复垦工作,而在矿山基建期间就应把它作为采矿作的一部分,统筹安排;把矿山环境管理纳入矿山企业管理之中。对于矿区的内部布局,应根据矿区的地理、地形和气象等条件,充分利用环境的自净功能,来规划矿区各功能区域或车间的设置。

2. 综合利用化害为利。工业污染实质上是资源、能源的浪费。所谓“三废”实际上是资源、能源转化产物,属于二次资源。一种矿石既富集了主要有价成分,也伴生多种次要的有价组分;本生产部门的“三废”也可以是别的生产部门或下一个生产过程的原料。对于开发矿业排放的污染物,不应是消极地处理,而是要开展综合利用,做到化害为利变废为宝。如在矿产资源综合评价的基础上,提高矿产资源的综合利用率和回收率;开采时要努力提高矿石回收率和减少损失、贫化率;矿山选矿废水应采用闭路循环使用等。这样既充分利用了矿产资源,又减少废弃物对环境的污染。

3. 依靠群众大家动手。这就是说环境保护是关系到每个人、涉及到各方面,必须依靠人民群众保护环境。因此,应从宣传教育入手,使人们了解发展经济和保护环境之间

的辩证关系。发动各部门、各企业治理污染,使环境专业管理与群众监督相结合;实行法制和群众自觉维护相结合,把环境保护事业作为全国人民的事业。

4. 保护环境造福人民。这是环境保护的出发点和根本目的。环境保护是为国民经济持续发展和为人民群众创造优美的劳动与生活环境服务,是为当代人和子孙后代造福。

### 三、环境保护目标、重点与发展对策

1. 目标。到 20 世纪末,力争环境污染和生态破坏加剧趋势得到基本控制,部分城市和地区环境质量有所改善;2001 年基本改变生态环境恶化的状况,城乡环境有比较明显的改善。

2. 重点。我国各种环境问题异常复杂,城乡环境都不太好,并有继续恶化的趋势,特别是许多大、中城市的环境质量已接近或超过发达国家 20 世纪 50 年代“公害”泛滥时期的状况。但我国是一个发展中国家,财力物力有限。因此,我国的环境保护工作必须抓住城市这个重点,加强城市环境的综合整治。在 1985 年召开的全国城市环境保护会议上,确定了北京、上海、天津等 51 个城市为环境保护重点城市。包括直辖市、各省或自治区省会城市、经济特区和沿海开放城市、著名的风景旅游城市 and 历史文化名城等。

为了实现目标,当前工作重点是采取两项根本性措施:一是实行污染物排放总量控制,使 2000 年主要污染物排放总量控制在 1995 年的水平,确保环境污染加剧趋势得到基本控制;二是实施《中国跨世纪绿色工程计划》,重点治理水和大气污染。按照这项计划“九五”期间应实施 1000 多个项目,重点是“三河”(淮河、辽河、海河)、“三湖”(滇池、巢湖、太湖)水污染防治和  $\text{SO}_2$  污染与酸雨控制。

3. 我国环境与发展对策。1992 年以来,我国制定了一系列与环境 and 可持续发展有关的宏观对策、计划和方案。如《中国环境与发展十大对策》、《中国环境保护战略》、《中国 21 世纪议程》、《国家环境保护“九五”计划和 2010 年远景目标》等。

贯穿于这些文件中的主要精神是,在现代化建设中必须把环境与发展作为一个整体,把实现可持续发展作为一个重大的战略。要把控制人口、节约资源、保护环境放到重要位置,使人口增长与社会生产力的发展相适应,使经济建设与资源、环境相协调,实现良性循环。不仅使我们这一代人能够从大自然赐予人类的宝贵财富中获取我们所需,也要为后代留下可持续利用的资源和生态环境。

具体的对策和措施可归结为以下几条:

1. 实行指导思想的转变,走可持续发展的道路;
2. 调整产业结构、优化工业布局,大力促进工业污染防治;

3. 加强农业综合开发 ,保护土地资源 ,推行生态农业工程建设 ;
4. 合理利用自然资源 ,使矿产、水、生物等资源得到有效的利用 ;
5. 实施能源开发和节约并重的方针 ,把节约放在首位 ;
6. 增加环保投资 ,使经济与环境协调发展 ,保证环保投入占国民经济总产值的 1.5% ;
7. 完善环境与资源立法 ,提高立法质量 ,强化执法管理 ;
8. 加强环境保护教育 ,不断提高国民的环保意识。

## 第二章 矿山污染及其防治技术

### 第一节 矿山大气污染及其防治技术

#### 一、影响大气污染的因素

##### (一) 影响大气污染的气象因素

在同一地区,即使污染物的排放量不变,那么它对周围环境所造成的污染效应也是不同的,有时会对人和动植物造成严重危害,有时却很轻。这是因为在不同气象条件下,大气的稀释扩散能力不同的缘故。

影响大气扩散能力的主要因素有两个方面:一是气象的动力因子;二是气象的热力因子。

##### 1. 气象的动力因子

气象的动力因子主要是指风和湍流,风和湍流对污染物在大气中的扩散和稀释起着决定性作用。

##### (1) 风

空气的水平运动称风,风在不同时刻有相应的风向和风速。风在输送和扩散污染物方面起着重要的作用。风向决定污染物迁移、运动的方向,风速决定污染物迁移状况。一般说来,污染物在大气中的浓度与污染物总排放量成正比,而与平均风速成正比,若风速增加一倍,则下风侧污染物浓度将减少一半。风速一般分成 12 级,如表 14-2-1 所示。



表 14-2-1 风力级别表

风级	风的名称	风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	判别标准
0	无风	0~0.2	静风,烟在水平方向无移动,只垂直上升
1	软风	0.3~1.5	烟随风起伏,风标不动
2	轻风	1.6~3.3	人的脸部有风感,树叶的微响,风向标有转动
3	微风	3.4~5.4	树叶及树枝不断地摇动,旌旗能展开
4	和风	5.5~7.9	能吹起地面灰尘及纸张,树的小枝有摇动
5	清劲风	8.0~10.7	有叶的小树有摇摆,河水面有微波
6	强风	10.8~13.8	大树枝有摇动,电线摇动草帽戴不住,撑伞困难
7	疾风	13.9~17.1	全树摇动,大树枝弯下来,迎风行走感觉不便
8	大风	17.2~20.7	树微枝有折毁,迎风行走艰难
9	烈风	20.8~24.4	烟囱顶部及平房有震动,房瓦有吹落
10	狂风	24.5~28.4	树木连根拔起,房屋被吹毁
11	暴风	28.5~32.6	引起大范围灾难性地破坏
12	飓风	>32.6	受风灾损失巨大,损害程度可载入历史史册

(2) 湍流

在实际生活中我们都可以感到风速会时大时小,这就是风的阵性,风向也不都是水平方向,有时会上下左右摆动,把这种不规则的阵性和摆动称为大气湍流。大气湍流实际上是指大气以不同尺度作无规则运动的流动状态,它是气象动力因子的主要因素。按湍流直径和烟柱(或烟团本身截面)直径大小将湍流划分三种尺度。当湍流直径小于烟柱直径时叫均匀小尺度湍流;当湍流直径大于烟柱直径时叫均匀大尺度湍流;当大、小尺度同时出现时叫复合尺度湍流。湍流尺度不同使烟云扩散状态也不同,如图 14-2-1 所示。

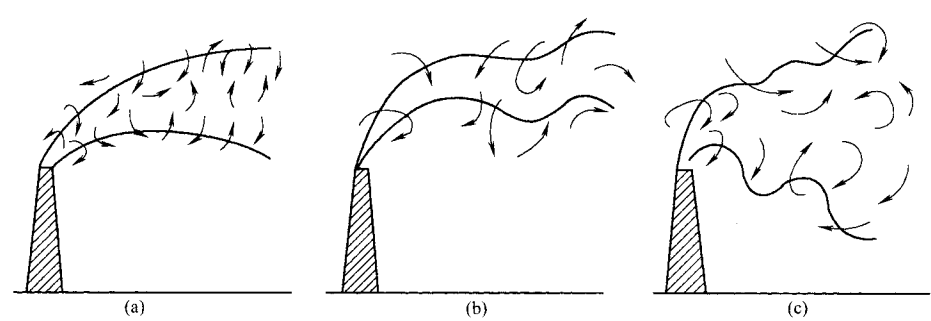


图 14-2-1 各种湍流作用下的烟云扩散

(a) 均匀小尺度湍流作用下的烟云扩散 (b) 均匀大尺度湍流作用下的烟云扩散;  
(c) 复合尺度湍流作用下的烟云扩散

三种扩散方式中以复合尺度湍流的烟云作用扩散为最快,大尺度湍流次之,小尺度湍流较慢。湍流运动使烟团各部分得以充分混合,因此进入大气的污染物,逐渐分散稀释,这种现象称为大气扩散。

## 2. 气象热力因子

气象热力因子主要指大气的温度层结、逆温和大气的稳定度。

### (1) 温度层结

温度层结是指在地球表面上方,大气的温度随高度变化的情况,或者说,是指气温在垂直方向的分布。它决定着大气的稳定度,而大气稳定程度又影响着湍流的强度,因而温度层结与大气污染状况有密切相关。

①气温的垂直递减率。在对流层内,气温垂直变化的总趋势是,随着高度的增加气温逐渐降低,这是因为地面是大气主要的和直接的热源,所以近地面层的温度比上层要高;另一方面,水汽和固体杂质的分布从低空向高空减少,他们吸收地面辐射的能力很强,也使得近地面层气温比上层要高。气温随高度的变化通常以气温垂直递减率 $\gamma$ 来表示。气温垂直递减率是指在垂直方向上,每升高100m时的温度变化值。一般来说,在整个对流层中,高度每升高100m,温度平均下降 $0.65^{\circ}\text{C}$ 。

②气温的干绝热递减率。在物理学上,若一系统在与周围物体没有热量交换而进行状态变化时,称为绝热变化,状态变化所经历的过程称为绝热过程。干空气块或未饱和的湿空气在绝热条件下每升高单位高度(通常取用单位高度为100m)所造成的温度下降数值称气温的干绝热递减率,用 $\gamma_d$ 来表示。理论和实践都证明,对一个干燥空气块,在大气中绝热上升每100m气温要下降 $0.98^{\circ}\text{C}$ ,如气块在大气中下降100m,气温升高 $0.98^{\circ}\text{C}$ (可近似取为 $1^{\circ}\text{C}$ )。而这个数值与周温度层结曲线围环境温度无关。通常取气温的干绝热递减率为 $0.98^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。

气温沿高度的分布如图14-2-2所示,这种曲线称为气温沿高度分布曲线或温度层结曲线,简称温度层结。大气中的温度层结有四种类型:a. 气温随高度增加而递减,即 $\gamma > 0$ 称为正常分布层结或递减层结;b. 气温垂直递减率等于或近似等于干绝热递减率,即 $\gamma = \gamma_d$ 称为中性层结;c. 气温不随高度变化,即 $\gamma = 0$ 称为等温层结;d. 气温随高度增加而增加,即 $\gamma < 0$ 称为逆温。

### (2) 大气稳定度

污染物在大气中的扩散与大气稳定度有密切关系,大气稳定度是指在垂直方向上大气稳定的程度。假如一空气块由于某种原因受到外力的作用,产生了上升或下降运动后,可能发生三种情况:①当外力去除后,气块就减速并有返回原来高度的趋势,称这种大气是稳定的;②当外力去除后,气块加速上升或下降,称这种大气是不稳定的;③当外

力去除后 ,气块被外力推到哪里就停到哪里或作等速运动 称这种大气是中性的。

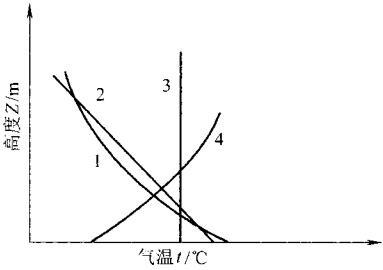


图 14-2-2 温度层结曲线

判别大气是否稳定 ,可用气块法来说明。假如一气块的状态参数为  $T_i$ 、 $P_i$  和  $\rho_i$  ,周围大气参数为  $T$ 、 $P$  和  $\rho$  ,则单位体积气块所受四周大气的浮力为  $\rho g$  ,本身重力为  $-\rho_i g$  ,在此二力的作用下产生的向上加速度为 :

$$a = \frac{g(P - P_i)}{P_i} \tag{2-1}$$

利用准静力条件  $P_i = P$  和理想气体状态方程 则有 :

$$a = \frac{g(T - T_i)}{T_i} \tag{2-2}$$

若气块运动过程中满足绝热条件 ,则气块运动  $\Delta z$  高度时 ,其温度  $T_i = T_0 - \gamma_d \cdot \Delta z$  ,而同样高度的周围空气温度  $T = T_0 - \gamma \cdot \Delta z$  。假设起始温度相同 ,即  $T_0 = T_{i0}$  ,则有 :

$$a = \frac{g(\gamma - \gamma_d)}{\gamma} \Delta z \tag{2-3}$$

从式(2-3)中可知。当  $\gamma - \gamma_d > 0$  时 , $a > 0$  ,气块加速运动 ,大气是不稳定的 ;当  $\gamma - \gamma_d < 0$  时 , $a < 0$  ,气块减速运动 ,大气是稳定的 ;当  $\gamma = \gamma_d$  时 , $a = 0$  ,大气是中性的。因此 静力稳定度可以用温度垂直递减率与干绝热递减率之差来判别 ,即  $\gamma - \gamma_d \geq 0$  为静力稳定度的判据。

(3)逆温

大气温度层结一般是  $\gamma > 0$  ,即气温随高度的增加而递减。但在特定的条件下也为发生  $\gamma = 0$  或  $\gamma < 0$  的现象 ,即气温随高度的增加而不变或增加。一般气温随高度增加而增加的气层称为逆温层。根据大气稳定度的分析 ,当发生等温或逆温时 ,大气是稳定的 ,所以逆温层(等温层可视为逆温层的一个特例)的存在 ,大大阻碍了气流的垂直运动 ,所以也将逆温层称为阻挡层。若逆温层存在于空中某高度 ,由于上升的污染气流不能穿过逆温层而积聚在它的下面 ,则会造成严重的大气污染现象。事实证明 ,有许多大气污染事件发生在逆温及静风的气象条件下 ,所以在研究污染物的大气扩散时必须对逆温给予

足够重视。

根据逆温生成过程,可将逆温分为辐射性逆温、沉降性逆温、锋面逆温、湍流性逆温和地面逆温等五种。

①辐射性逆温。一般来说是由于在晴朗无风的夜间地面强烈地辐射,使地面和近地面的大气迅速降温,而上层大气降温较慢,因而出现上暖下冷的逆温现象。这种逆温称为辐射逆温。它发生在地面和近地面大气层,所以也叫接地逆温层。逆温时的临界风速为  $2.5\text{m/s}$ 。日出后地面受太阳的辐射,使地面和近地面大气层增温,逆温渐渐消失。辐射逆温全年均可出现,它的厚度可从几米到二三百米。

②沉降性逆温。这种逆温是由于在近地面上方有大规模下降的高压气团向周围低气压区域流动而形成的。这种沉降性逆温多发生于亚热带反气旋区。

③湍流性逆温。这种逆温是由于朝山坡方向吹去的大气沿着山坡上升,在这气流上升处,比周围气体温度高而形成的。

④锋面逆温。这是冷热两种气团相遇,暖气团位于冷气团之上而形成的逆温。

⑤地形逆温。这种逆温是由于局部地区的地形而形成的,比如在盆地或谷地中,当日落后进入夜晚时,由于山坡散热较快,使坡面上的大气温度比谷、盆地中大气温度低,这样冷空气就沿斜坡下滑,使谷、盆地的温度较高的暖气流被抬升,这样就形成上部气温比下部气温高的逆温。在我国许多金属矿山均具备这种地形,应注意因地形逆温而造成的污染。

#### (4) 不同温度层结下的烟型

常发现从烟囱排出的烟流扩散的形状与大气的温度层结有密切的关系。如图 14-2-3 所示的五种典型的烟流形状。

①翻卷型(波浪型)。这种烟流呈波浪状。一般出现于中午前后,气温层结处于不稳定状态,即  $\gamma - \gamma_d > 0$  时,扩散条件较好,污染物落地最大浓度点距烟囱较近,多发生在晴朗的白天。

②锥型。烟流呈锥型,发生在中性条件下,即  $\gamma - \gamma_d \approx 0$ 。气温随高度的变化不大,故烟气扩散向前推动良好,比翻卷型差。

③平展型。这种烟流垂直方向扩散很小,像一条带子飘向远方。从上面看,烟流呈扇形展开,它发生在烟囱出口处于逆温层中,即  $\gamma - \gamma_d < -1$ 。污染状况随烟囱高度不同而异,当烟囱很高时,近处地面上不会造成污染,在远方会造成污染;烟囱很低时,会造成近地面严重污染。

④上升型(屋脊型)。这种烟流的下部是稳定的大气,上部是不稳定的大气。一般在日落前后出现,地面由于有效辐射的放热,低层形成逆温,而高层仍保持递减层结。它持

续时间较短,对近处地面污染较小。

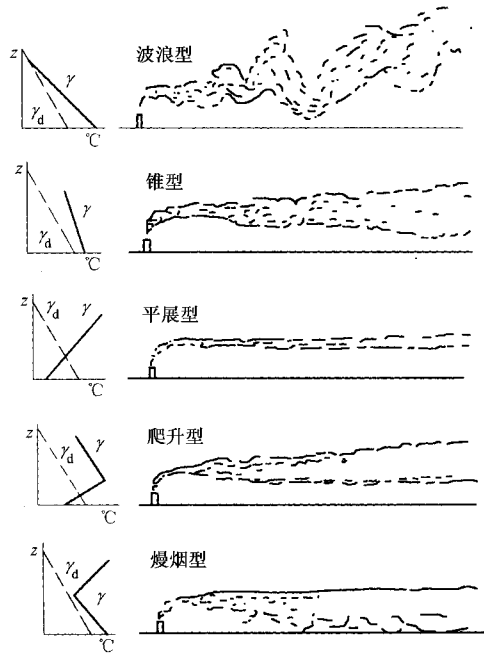


图 14-2-3 温度层结与烟流形状

⑤熏蒸型(漫烟型)。常出现在日出后,由于地面增温,低层空气被加热,使逆温从地面向上逐渐消失,即不稳定大气从地面向上逐渐发展,当发展到烟流的下边缘或更高一点时,烟流便发生了向下的强烈扩散,而上边缘仍处于逆温层中,熏蒸型烟流便发生了。这是烟流下部  $\gamma - \gamma_d > 0$ ,上部  $\gamma - \gamma_d < -1$ 。这种烟流多发生在上午 8~10 时,持续时间很短。

对上述五种典型的烟流,这里仅从温度层结和大气静力稳定度的角度作了简单分析,实际的烟流要复杂得多,影响因素也复杂得多。例如,还应考虑动力因素的影响,在近地面要考虑风和地面粗糙度的影响。这五种烟型可以作为判断大气稳定度的一种依据。

上述五种烟流发生特点与大气温度层的关系可概括于表 14-2-2。

(二)影响大气污染的地理因素

1. 地形和地物的影响

地面是一个凹凸不平的粗糙曲面,当气流沿地面流过时,必然要同各种地形发生摩擦作用,使风向、风速同时发生变化,其影响程度与各障碍物的体积、形状、高低有密切关系。

表 14－2－2 不同温度层结下的烟型及其特点

烟型	性 状	大气状况	发生情况	与风、湍流关系	地面污染状况
波浪型	烟云在上下左右方向摆动很大,扩散速度快,烟云呈剧烈翻卷状,烟团向下风向输送	$\gamma > 0, \gamma > \gamma_d$ 大气不稳定,对流强烈	出现于阳光较强的白天	伴随有较强的热扩散,微风	由于扩散速度快,近污染源地区污染物落地浓度高,一般不会形成烟雾事件
锥型	烟云离开排放口一定距离后,云轴基本上保持水平,外形似椭圆锥,烟云规则扩散能力比波浪形弱	$\gamma > 0, \gamma = \gamma_d$ , 大气处于中性稳定状态	出现于多云或阴天的白天,强风的夜晚或冬季夜间	高空风较大,扩散主要靠热力和动力作用	扩散速度、落地浓度较前者低,污染物输送较远
平展型	烟云在垂直方向扩散速度小,厚度在纵向变化不大,在水平方向上有缓慢扩散	$\gamma < 0, \gamma < \gamma_d$ , 出现逆温层,大气处于稳定状态	多出现于弱晴朗的夜晚和早晨	微风,几乎无湍流发生	污染物可传送较远地方,遇阻时不易扩散稀释,在逆温层下污染物浓度大
爬升型	烟云下侧边缘清晰,呈平直状,而其上部出现湍流扩散	排出口上方: $\gamma > 0, \gamma > \gamma_d$ , 大气处于不稳定状态 出口下方: $\gamma < 0, \gamma < \gamma_d$ , 大气处于稳定状态	多出现于日落后,因地面有辐射逆温,大气稳定,高空大气不稳定	排出口上方有微风,伴有湍流;排出口下方,几乎无风,无湍流	烟囱高度处于不稳定层时,污染物不向下扩散,对地面污染较小
漫烟型	烟云上侧边缘清晰,呈平直状,下部有较强的湍流扩散,烟云上方有逆温层	排出口上方: $\gamma < 0, \gamma < \gamma_d$ , 大气稳定。 排出口下方: $\gamma > 0, \gamma > \gamma_d$ , 大气不稳定	日出后地面低层空气增温,使逆温自下而上逐渐破坏但上部仍保持逆温	烟云下部有明显热扩散,上部热扩散很弱,风在烟云之间流动	烟囱低于稳定层时,烟云就像被盖子盖住似的,烟云只向下扩散,地面污染重

山脉的阻滞作用,对风速也有很大影响,尤其是封闭的山谷盆地,因四周群山的屏障影响,往往是静风、小风频率占很大比重,不利于大气污染物的扩散。

城市中的高层建筑物、体形大的建筑物和构筑物,都能造成气流在小范围内产生涡流,阻碍气流运动,减少平均风速,降低了近地层风速梯度,并使风向摆动很大,近地层风场变得很不规则。一般规律是建筑物背风区风速下降,在局部地区产生涡流,不利于气体扩散。

2. 山谷风

它发生在山区,是以 24h 为周期的局地环流。山谷风在山区最为常见,它主要是由于山坡和谷地受热不均而产生的。如图 14－2－4 所示,在白天,太阳先照射到山坡上,使山坡上大气比谷地上同高度的大气温度高,形成了由谷地吹向山坡的风,称为谷风,在

高空形成了由山坡吹向山谷的反谷风 ;它们同山坡上升气流和谷地下降气流一起形成了山谷风局地环流。在夜间 ,山坡和山顶比谷地冷却得快 ,使山坡和谷地的冷空气顺山坡下滑到谷底 ,形成了山风 ;在高空则形成了自山谷向山顶吹的反山风 ;它们同山坡下降气流和谷地上升气流一起构成了山谷风局地环流。

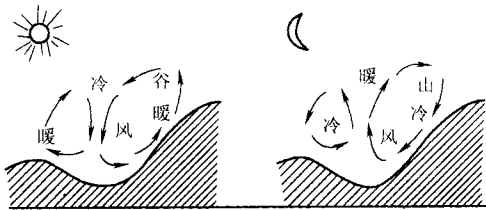


图 14 - 2 - 4 山谷风环流

山风和谷风的方向是相反的 ,但比较稳定。在山风与谷风的转换期 ,风方向是不稳定的 ,山风和谷风均有机会出现 ,时而山风 ,时而谷风。这时若有大量污染物排入山谷中 ,由于风向的摆动 ,污染物不易扩散 ,在山谷中停留时间很长 ,有可能造成严重的大气污染。

3. 海陆风

它发生在海陆交界地带 ,是 24h 为周期的一种大气局地环流。海陆风是由于陆地和海洋的热力性质的差异而引起的。如图 14 - 2 - 5 所示 ,在白天 ,由于太阳辐射 ,陆地升温比海洋快 ,在海陆大气之间产生了温度差、气压差 ,使低空大气由海洋流向陆地 ,形成海风 ,高空大气从陆地流向海洋 ,形成反海风 ;它们和陆地上的上升气流和海洋上的下降气流一起形成了海风局地环流。在夜间 ,由于有效辐射发生了变化 ,陆地比海洋降温快 ,在海陆之间产生了与白天相反的温度差、气压差 ,使低空大气从陆地流向海洋 ,形成陆风 ,高空大气从海洋流向陆地 ,形成反陆风。它们同陆地下降气流和海面上升气流一起构成了海陆风局地环流。

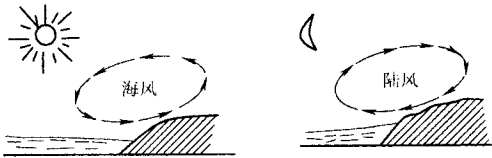


图 14 - 2 - 5 海陆风环流

在大湖泊、江河的水陆交界地带也会产生水陆风局地环流 ,称为水陆风。但水陆风的活动范围和强度比海陆风要小。

由上所述可知,建立海边地区的工厂所排放的污染物必须考虑海陆风的影响,因为有可能出现在夜间随陆风吹到海面上的污染物,在白天又随海风吹回来,或者进入海陆风局地环流中,使污染物不能充分的扩散稀释而造成严重污染。

#### 4. 城市热岛环流

城市热岛环流是由城乡温度差引起的局地风。产生城乡温度差异的主要原因是:(1)城市的覆盖物(如建筑、水泥路面等)热容量大,白天吸收太阳辐射热,夜间放热缓慢,使低层空气变暖;(2)城市人口密集、工业集中,使得能耗水平高;(3)城市上空笼罩着一层烟雾和  $\text{CO}_2$ ,使地面有效辐射减弱。因此,使城市市区净热量收入比周围乡村多,故平均气温比周围乡村高(特别是夜间),于是形成了所谓城市热岛。据统计,城乡年平均温差一般为  $0.4 \sim 1.5^\circ\text{C}$ ,有时可达  $6 \sim 8^\circ\text{C}$ 。其差值与城市的大小、性质、当地气候条件及纬度有关。

由于城市温度经常比农村高(特别是夜间),气压比乡村低,所以可以形成一种从周围农村吹向城市市区的特殊的局地风,称为城市热岛环流或城市风。这种风在市区汇合就会产生上升气流。因此,若城市周围有较多产生污染物的工厂,就会使污染物在夜间向市中心输送,造成严重污染,特别是夜间城市上空有逆温层存在。

### (三)影响大气污染的其他因素

#### 1. 污染物的性质和成分

排入大气的污染物通常是由各种气体和固体颗粒物组成,它们的性质是由它们的化学成分决定的。不同的化学成分在大气中造成的化学反应和清除过程不同。粒径大小不同的固体颗粒在大气中的沉降速度及清除过程是不同的,因而对浓度分布的影响也不同。

#### 2. 污染源的几何形状和排放方式

污染源按几何形状分类,可分为点源、线源、面源,按排放污染物的持续时间分类,有瞬时源和连续源,按排放源的高度分类可分为地面源、高架源等。不同类别的源有不同的排放方式,污染物进入大气的初始状态也不一样,因而其浓度分布就不同,计算污染物浓度的公式也不同。总之,污染源的几何形状和排放方式只是相对的,例如,通常将工厂烟囱排放当作高架连续源,繁忙的公路作为连续线源,城市居民区的家庭灶当作面源。把各个污染源结合在一起考虑,则看成复合源。

## 二、露天矿大气污染的防治

在露天矿山开采过程中,由于使用各种大型移动式机械设备(包括柴油机动力设备)和大爆破,促使露天矿内空气发生一系列尘毒污染,矿物、岩石的风化和氧化等过程也增



加对露天矿大气的毒化作用。露天矿大气中混入的污染物质主要有粉尘、有害有毒气体和放射性气溶胶。如果不采取防止污染措施,露天矿内空气中的有害物质必将大大超过国家卫生标准规定的最高允许浓度,因而对矿工的健康和附近居民的生活环境将造成严重的危害。

### (一)露天矿的粉尘及其卫生特征

露天矿有两种尘源:一是自然尘源,如风力作用形成的粉尘;二是生产过程中产生,如露天矿的穿孔、爆破、破碎、铲装、运输及溜槽放矿等生产过程都能产生大量粉尘,其产生量与所用的机械设备类型、生产能力、岩石性质、作业方法及自然条件等许多因素有关。由于露天矿开采强度大,机械化程度高,又受地面气象条件的影响,不仅有大量生产性粉尘随风飘扬,而且还从地面吹起大量风沙,沉降后的粉尘容易再次飞扬。所以露天矿的粉尘及其导致尘肺病发生的可能性是不可低估的。

矽肺病是由于吸入大量的含游离二氧化硅的粉尘而引起的。露天矿大气中的粉尘按其矿物和化学成分,可分为有毒性粉尘和无毒性粉尘。含有铅、汞、铬、锰、砷、锑等的粉尘属于有毒性粉尘,煤尘、矿尘、硅酸盐粉尘、矽尘等属于无毒性粉尘,但当这些粉尘在空气中含量较高时,也就成为促进矽肺病的“有毒”性粉尘了。

有毒性粉尘在致病机理方面与矽肺病不同,它不仅单纯作用于肺病,毒性还作用于机体的神经系统、肝脏、胃肠、关节以及其他器官,导致发生特殊性的职业病。

露天矿大气中粉尘的含毒性,还表现在粉尘表面能吸附各种有毒气体,如某些有放射性矿物存在的矿山。氡及其气体可吸附于粉尘表面而形成放射性气溶胶。因此,其对人体危害就不限于矽肺病,也可导致肺癌等疾病。

### (二)影响露天矿大气污染的因素

#### 1. 地质、采矿和地理等诸因素对露天矿环境污染的影响

##### (1)地质条件和采矿技术的影响

矿山的地质条件是影响露天矿环境污染的主要因素之一。因为矿山地质条件是确定剥离和开采技术方案的依据,而开采方向、阶段高度和边坡以及由此引起的气流相对方向和光照情况又影响着大气污染程度。此外,矿岩的含瓦斯性,有毒气体析出强度和涌出量也都与露天矿环境污染有直接关系。矿岩的形态、结构、硬度、湿度又都严重影响着露天矿大气中的空气含尘量。在其他条件相同时,露天矿的空气污染程度随阶段高度和露天矿开采深度的增加而趋向严重。如图 14-2-6 所示。

露天矿的劳动卫生条件可以随着采矿技术工艺的改革而发生根本性变化。例如,用胶带机运输代替自卸式汽车运输,使用电机车运输或联合运输方式能显著地降低露天矿的空气污染程度。

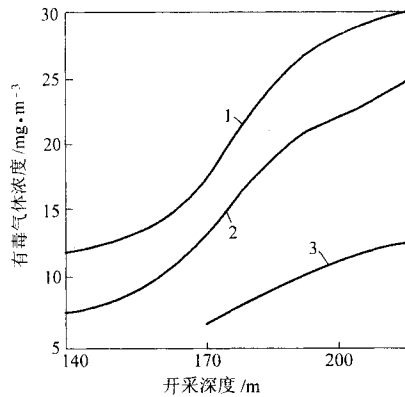


图 14-2-6 露天矿随深度增加与有毒气体的变化

1—醛类 2—二氧化碳 3—黑烟

## (2) 地形、地貌的影响

露天矿区的地形和地貌对露天矿区通风效果有着重要的影响。例如山坡上开发的露天矿,最终也形成不了闭合的深凹,因为没有通风死角,故这种地形对通风有利,而且送入露天矿自然风流的风速几乎相等,即使发生风向转变和天气突变,冷空气也照常沿露天斜面和山坡流向谷地,并把露天矿区内粉尘和毒气带走。相反,如果露天矿地处盆地,四周有山丘围阻,则露天矿越向下开发,所造成深凹越大,这不仅使常年平均风速降低,而且会造成露天矿深部通风风量不足,从而引起严重的空气污染,而易经常逆转风向。而且会造成露天矿周围山丘之间的冷空气,不易从中流出。从而减弱了通风气流。

如果废石场的位置甚高,而且和露天矿坑凹的距离小于其高度的四倍时,废石场将成为露天矿通风的阻力物,造成通风不良,污染严重的不利局面。

一些丘陵、山峦及高地废石场,如果和露天矿坑边界相毗连,不仅能降低空气流动的速度,影响通风效果,而且促成露天采区积聚高浓度的有毒气体,造成露天矿区的全面污染。

## 2. 露天矿所在地区的气象条件对污染的影响

气象条件如风向、风速和气温等是影响空气污染的诸因素的重要方面。例如长时间的无风或微风,特别是大气温度的逆增,能促成露天矿内大气成分发生严重恶化。风流速度和阳光辐射强度是确定露天矿自然通风方案的主要气象资料。为了评价它们对大气污染的影响,应当研究露天矿区常年风向、风速和气温的变化。

高山露天矿区气象变化复杂,冬季,特别是夜间变化幅度更大。例如原苏联西拜斯克露天矿在 1966 年共发生了气温逆增,其中 89% 发生在寒冷季节、34% 发生在 1 月份,致使露天矿大气污染严重。其最大特点是发生在夜间和凌晨,如图 14-2-7 所示。

炎热地区的气象 ,对形成空气对流、加强通风、降低粉尘和有毒气体的浓度是有利的。有强烈对流地区 ,且露天矿通风较好时 ,就不易发生气象的逆转。

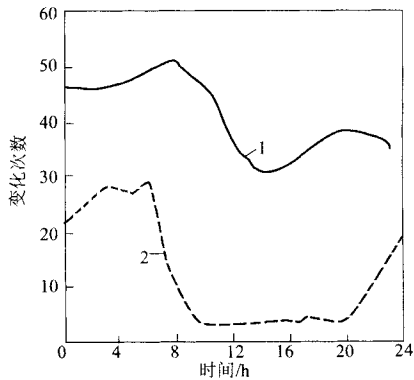


图 14-2-7 某矿一昼夜污染变化次数  
1—冷天 2—热天

在尘源和有毒气体产生强度不变的条件下 ,露天矿大气局部污染程度是下列诸因素的函数 :产尘点的风速、风向、紊流脉动速度、尘源到取样地点的距离以及露天矿入风风流的污染状况。露天矿工作台阶上的风速与露天矿的通风方式、气象条件和露天台阶布置状况有关。自然通风时 ,露天矿越往下开采 ,下降的深度越大 ,自然风力的强度愈低 ,从而加剧深凹露天矿的污染。

粉尘的含量和有害气体的浓度随气流速度变化的过程是不相同的。如果增加气流速度 ,就会使空气中废气污染程度降低 ,但气流达到一定速度后 ,空气含尘量开始增加 ,如图 14-2-8 所示。

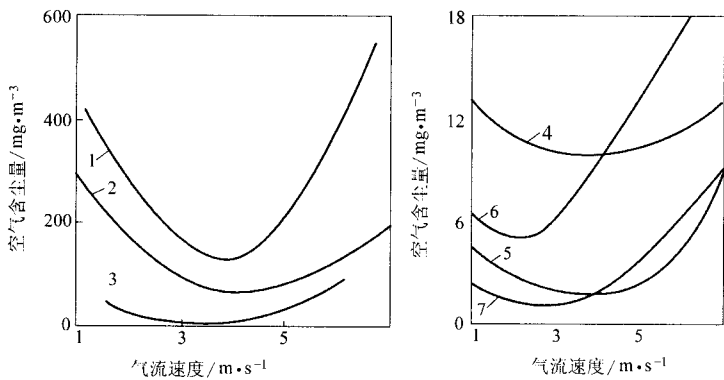


图 14-2-8 风向、风速变化与空气含尘量的关系

1—破碎机下风侧 2—破碎机上风侧 3—钻机下风侧 ;  
4—电铲装矿 5—电铲司机室 6、7—全矿污染

空气的含尘量和废气污染程度变化的特点在于气流速度过高会引起粉尘飞扬。当气流速度尚未达到一定数值时,粉尘和有害气体扩散过程将遵循同一规律,即有害气体和粉尘在空气中含量将下降;气流速度继续增加时,废气浓度继续下降,而空气含尘量由于沉积粉尘飞扬而增加。这样的空气含尘量变化特征,是符合局部污染或整个大气污染的特点,并与工作位置的空气污染和风向有关。在同样速度时的风向变化,可能2~3倍地或更多地改变露天矿大气污染和局部大气污染程度。

### 3. 采、装、运设备能力与露天矿大气污染的关系

试验和研究表明:当其他条件相同时,空气含尘量与矿山机械的生产能力的关系,可用下式表示:

$$n = n_e \exp \left[ C_1 \frac{Q - Q_H}{Q_H} \right] \quad \text{mg/m}^3 \quad (2-4)$$

式中  $n_e$ ——已知生产能力或运行速度的矿山机械工作时的空气含尘量,  $\text{mg/m}^3$ ;  
 $C_1$ ——与机械类型、结构、开采矿岩的物理机械性质有关的系数;  
 $Q_H$ 、 $Q$ ——已知的和新的机械生产能力(或机械移运速度),  $\text{m}^3/\text{h}$ (或  $\text{km/h}$ )。

上式为一定结构的矿山机械工作时确定空气的含尘量( $n$ )的公式。所谓“一定结构”指同一型号的电铲但斗容不同,同一结构的钻机但孔径不同,或直径相同但转速不同等等。

在计算  $Q$  值时,对电铲、钻机而言是代表生产能力,即每小时若干立方米;对汽车、推土机和皮带运输机,是代表移动速度,即每小时若干公里。

对式(2-4)的分析表示于图14-2-9所示。该图表明,研究过程有三种状态:第一是空气含尘量的增长速度比机械设备生产能力的增长速度慢;第二是空气含尘量和机械设备生产能力的增长速度一样;第三是空气含尘量的增长速度大大超过机械设备生产能力的增长速度。

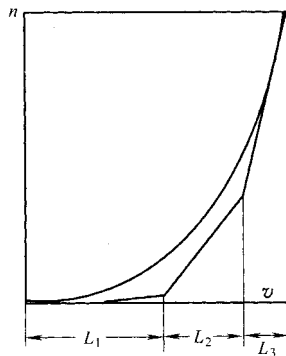


图 14-2-9 采掘设备生产能力与空气含尘量的关系

上述任何一种状态都取决于描述空气含尘量与机械设备生产能力关系曲线的正切线与横坐标之间的夹角的正切值。线段  $L_1$  ,其  $\tan\alpha < 1$  ,符合第一种状态 ;线段  $L_2$  ,其  $\tan\alpha = 1$  符合第二种状态 ;线段  $L_3$  ,其  $\tan\alpha > 1$  ,符合第三种状态。

露天矿机械设备能力对有毒气体生成量的关系大不相同。例如 ,使用火力凿岩 ,当不断增加钻进速度时 ,有毒气体生成量反而逐渐下降 ;对柴油发动的运矿汽车和推土机而言 ,尾气产生量和露天矿大气中有毒气体含量随运行速度提高而直线上升。

4. 矿岩的湿度与空气含尘量的关系

影响空气含尘量的主要因素之一是岩石的湿度。随着岩石自然湿度的增加 ,或者用人工方法增加岩石湿度能使各种采掘机械在工作时的空气含尘量急剧下降。其关系可用下式表示 :

$$n = n_e - \exp[-\alpha(\varphi - \varphi_e)] \tag{2-5}$$

式中  $n_e$ ——开采具有自然湿度的矿岩时空气含尘量 , $\text{mg}/\text{m}^3$  ;

$\varphi_e$ ——矿岩中自然湿度 ,% ;

$\varphi$ ——人工增加矿岩湿度 ,% ;

$\alpha$ ——取决于矿岩性质和对矿岩加湿方法的系数。

当电铲工作时 ,如砂质岩的湿度从 4% 增加到 8% 时 ,电铲周围空气含尘量则从  $200\text{mg}/\text{m}^3$  下降到  $20\text{mg}/\text{m}^3$  ,即水分增加一倍 ,台阶工作面空气中含尘量降为原来的十分之一。

但每种岩石都有自己的最佳值 ,超过该值后 ,空气中含尘量降低不多。所以 ,如果增加岩体的湿度超过上述极限值 ,不管从经济和卫生方面考虑都是不合适的。

(三)露天矿大气污染的防治

由于露天开采强度大 ,机械化程度高 ,而且受地面条件影响 ,在生产过程中产生粉尘量大 ,有毒有害气体多 ,影响范围广。因此 ,在有露天矿井开采的矿区 ,防治矿区大气污染的主要对象是露天采场。

在露天矿的开采过程中 ,使用了机械化强度高的大型移动式设备 ,如穿孔设备、装载设备及运输设备等。根据国内有关实测资料表明 :穿孔设备的产尘量占总产尘量的 6.30% ,装载设备产尘量占总产尘量的 1.19% ;运输设备的产尘量占总产尘量的 91.33% ,凿岩设备的产尘量占总产尘量的 0.57% ;推土设备的产尘占总产尘量的 0.61%。

1. 露天矿机械设备产尘强度计算

机械设备产尘强度的决定 ,需要考虑粉尘的生产过程和排放方式 ,一般有两种方式 :

(1) 如果产生的粉尘没有扩散或泄漏 ,而是集中在一起经由一定的管道排入大气 ,其

产生强度  $g_q$  (mg/s)可按下式计算：

$$g_p = CQ \quad (2-6)$$

式中  $C$ ——管道中平均粉尘浓度 ,mg/m<sup>3</sup> ;

$Q$ ——管道中含尘空气的流量 ,m<sup>3</sup>/s。

(2)有些机械设备产生的粉尘没有经过集中捕集 ,而是在生成过程中就被排入大气 ,这种尘流又没有固定的边界。

①挖掘机、钻机、二次破碎凿岩区等这种点源的产生尘强度  $g_d$  (mg/s)可按下式计算：

$$g_d = \frac{1}{K} X^2 \Psi^2 (n_x - n_0) v \quad (2-7)$$

$$\Psi = K' \frac{v}{v_1} + b \quad (2-8)$$

式中  $K$ ——与采场通风方式有关的系数；

$X$ ——测点至污染源的距 离 ,m；

$\Psi$ ——与风流湍流特性有关的无因次系数；

$n_x$ 、 $n_0$ ——分别为测点及上风源的污染物的浓度 ,mg/m<sup>3</sup>；

$v$ ——风流速度 ,m/s；

$K'$ ——数值等于直线倾角正切的系数；

$v_1$ ——空气动力因素大于热力因素时 ,气流的最低速度 ,m/s；

$b$ ——由热力因素决定的无量纲系数 ,它与大气紊流强度有关。

$K'$ 和  $b$  的数值如表 14-2-3 所示。

表 14-2-3  $K'$ 和  $b$  的数值表

露天矿的通风方式	污染源位置	数 值	
		$K'$	$b$
循环通风	在阶段表面	0.122	0.22
	在阶段表面以上	0.07	0.05
直流式通风	在阶段表面	0.045	0.22
	在阶段表面以上	0.05	0.05
	在露天矿以外的贴地层	0.42	0.05

②汽车、推土机等移动式线源的产生尘强度  $g_s$  (mg/s)可按下式计算：

$$g_s = \frac{K v' u X^2 \Psi (P_1 - P_0)}{N Q (\beta + 2 X \Psi)} \quad (2-9)$$

式中  $v'$ ——空、重车运行时的平均估算速度 ,m/s；

$u$ ——取样时的风速 ,m/s；

- $X$ ——公路中心至取样点的距离  $\mu\text{m}$  ;
- $P_1、P_0$ ——分别为公路上风向与下风向的粉尘浓度  $\mu\text{mg}/\text{m}^3$  ;
- $N$ ——取样的往返车辆数 辆 ;
- $\beta$ ——汽车底盘车轴间距  $\mu\text{m}$  ;
- $Q$ ——取样时吸气流量  $\mu\text{m}^2/\text{s}_0$

式(2-7)和式(2-9)中  $K$  值可按表 14-2-4 选取 ,其他参数可选用污染源实测数据。

表 14-2-4  $K$  值

污染源与污染物排放点位置		数 值 $K$	
		复循环式通风	直流式通风
点 污 染 源	在阶段表面	5.6	5.6
	在阶段表面的上方	3.6	3.0
线 污 染 源	在阶段表面	3.0	2.7
	在阶段表面的上方	1.5	1.3

2. 穿孔设备作业时的防尘措施

钻机产尘强度仅次于运输设备 ,占生产设备总产尘量的第二位。根据实测资料表明 :在无防尘措施的条件下 ,钻机孔口附近空气中的粉尘浓度平均值为  $448.9\text{mg}/\text{m}^3$  ,最高达到  $1373\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(1)穿孔作业时的产尘特点

钻机作业时 ,既能生成几十毫米以上的岩尘 ,也能排放出几微米以下的可呼吸性粉尘。对钻机产尘粒度进行分析结果表明 ,其筛上  $R(\%)$ 可近似用 Rosin - Rammlar 方程表示 ,即

$$R = 100\exp(-\beta d_p^n) \tag{2-10}$$

- 式中  $d_p$ ——粉尘粒径  $\mu\text{m}$  ;
- $\beta$ ——与粉尘粒径大小分布有关的系数 ;
- $n$ ——与粉尘粒径分布有关的指数。

为提高钻机效率和控制微细粉尘的产生量 ,当钻机穿孔时 ,必须向钻孔孔底供给足够的风量 ,以保证将破碎的岩屑及时排放孔外 ,避免二次破碎。根据在钻孔中运送岩屑所需最低风速确定的排粉风量如表 14-2-5 所示。

表 14－2－5 钻机排粉风量

钻机类型	钻孔直径/mm	排粉风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	钻机类型	钻孔直径/mm	排粉风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
潜孔钻机	150	17 ~ 25	牙轮钻机	250	30 ~ 35
	200	25 ~ 30		310	33 ~ 50
				380	40 ~ 80

排粉风量不仅与钻孔直径有关 ,而且还受钻杆直径、岩屑密度及其粒径等因素有关 ,在考虑上列因素时 ,可按下式计算排尘风量  $Q_p$  :

$$Q_p = 60 \frac{\pi}{4} (D_k^2 - D_g^2) v_a \quad \text{m}^3/\text{min} \tag{2-11}$$

式中  $v_a$ ——在钻孔中运送岩屑所需最低风速 , $v_a = \beta v_s$  , $\text{m/s}$  ;

$v_s$ ——岩屑的悬浮速度 , $\text{m/s}$  ;可用下式表示 :

$$v_s = 3.85 \sqrt{\rho_s d_s} \tag{2-12}$$

$d_s$ ——岩屑粒径 , $\mu\text{m}$  ;

$\rho_s$ ——岩屑密度 , $\text{kg}/\text{m}^3$  ;

$\beta$ ——系数 ,对于垂直钻孔  $\beta = 1.3 \sim 1.7$  ,对于倾斜钻孔  $\beta = 1.5 \sim 1.9$  ;

$D_k$ ——钻孔直径 , $\text{m}$  ;

$D_g$ ——钻杆直径 , $\text{m}$ 。

(2) 钻机除尘措施的分类

按是否用水 ,可将露天矿钻机的除尘措施可分为干式捕尘、湿式除尘和干湿相结合除尘三种方法 ,选用时要因时因地制宜。

干式捕尘是将袋式除尘器安装在钻机口进行捕尘。为了提高干式捕尘的除尘效果 ,在袋式除尘器之前安装一个旋风除尘器 ,组成多级捕尘系统 ,其捕尘效果更好。袋式除尘器不影响钻机的穿孔速度和钻头的使用寿命 ,但辅助设备多 ,维护不方便 ,且能造成积尘堆的二次扬尘。

湿式除尘 ,主要采用风水混合法除尘。这种方法虽然设备简单 ,操作方便 ,但在寒冷地区使用时 ,必须有防冻措施。

干湿结合除尘 ,主要是往钻机里注入少量的水而使微细粉尘凝聚 ,并用旋风式除尘器收集粉尘 ,或者用洗涤器、文丘里除尘器等湿式除尘装置与干式捕尘器串联使用的一种综合除尘方式 ,其除尘效果也是相当显著的。下面简要介绍干式捕尘和湿式除尘的装置结构。

①式捕尘。为避免岩渣重新掉入孔内再次粉碎 ,除采用捕尘罩外 ,还制成孔口喷射器与沉降箱、旋风除尘器和袋式过滤器组成三级捕尘系统。图 14－2－10 为  $2\pi\gamma$  型干式



捕尘装置。

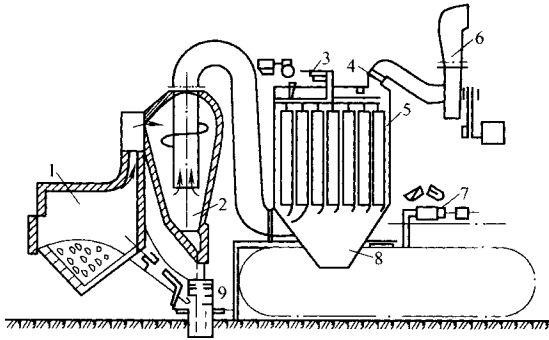


图 14-2-10 2Πy 捕尘装置

1—沉降箱 2—旋风除尘器 3—气动装置 4—闸板 5—袋式除尘器；  
6—风机 7—空压机 8—灰斗 9—喷射器

2Πy 型捕尘装置是用喷射器从钻孔抽吸岩渣，喷射器 9 由空压机 7 供风而工作，供压气量为  $1\text{m}^3/\text{min}$ 。由钻孔抽出的岩渣，粗粒和中粒岩渣沉降在沉降箱 1 内，含尘气流通过旋风除尘器 2 和袋式除尘器 5 进行过滤，过滤后气体由风机 6 排向大气。为了使捕尘器正常工作，当钻孔深度达到  $3\sim 6\text{m}$  时，由气动装置 3 带动振打机构对滤袋进行清灰，清灰掉落的粉尘落于灰斗 8 内，该系统的滤速可通过闸板 4 进行调节，其除尘效率为  $99\%\sim 99.6\%$ 。

我国南芬露天矿研制的一种 FSMC—24 型干式除尘器如图 14-2-11 所示，在牙轮钻采用过滤风速为  $3.25\text{m}/\text{min}$  时，其除尘效率为  $99.9\%$ 。该除尘系统结构简单，过滤风速可调，当过滤风速为  $4\sim 4.5\text{m}/\text{min}$  时，处理风量可达  $3500\text{m}^3/\text{h}$ 。

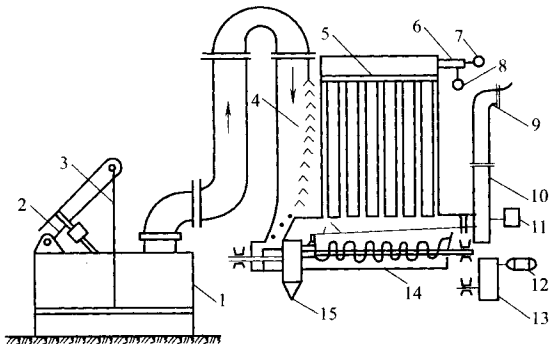


图 14-2-11 FSMC-24 型除尘系统

1—捕尘罩 2—气缸 3—绳索 4—碰撞板 5—布袋 6—脉冲阀 7—电磁阀；  
8—压气包 9—排风管 10—风管 11—风机 12—螺旋机电机；  
13—减速器 14—螺旋输送机 15—放灰阀

②湿式除尘。牙轮钻机的湿式除尘可分为钻孔内除尘和钻孔外除尘两种方式。钻孔内除尘主要是气水混合除尘法,该法可分为风水接头式与钻孔内混合式两种。钻孔外除尘主要是通过对含尘气流喷水,并在惯性力作用下使已凝聚的粉尘沉降。前苏、美等国家在一些露天矿还采用了湿润剂除尘和泡沫除尘的湿式除尘法,都收到一定效果。

图 14-2-12 为原苏联用于牙轮钻的孔内湿式除尘系统。通过混合器将压气与水混合,用水泵将水箱中的水打上水管,由风包供给压气将分散为极细水雾,风水混合后经风水接头和钻杆进入孔底,孔口风机风流将排出的泥浆吹向孔口一侧,并沉积该处,干燥后呈胶结状,不会出现二次飞扬。该装置设有加热器,以防冰冻。该除尘系统能使司机室、作业平台和钻机周围的空气中粉尘浓度达到  $0.5 \sim 1.0\text{mg}/\text{m}^3$ ,钻机班效率提高  $10\% \sim 12\%$ 。

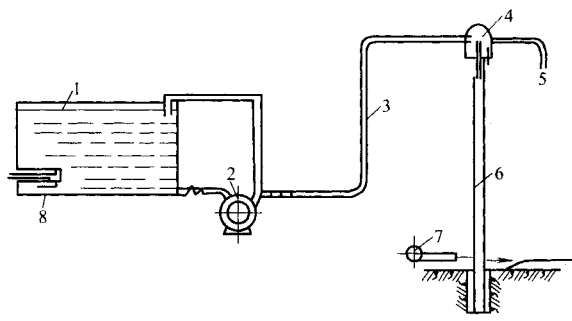


图 14-2-12 孔底气水混合除尘器

1—水箱 2—水泵 3—水管 4—混合器 5—压缩空气管 6—钎杆 7—风机 8—加热器

图 14-2-13 为武汉钢铁公司大冶铁矿的潜孔钻机湿式除尘系统示意图,也是采用风水混合方式捕尘。

若采用防冻剂,风水混合除尘可在  $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$  下应用。氯化钠( $1\text{m}^3$  水中加  $230 \sim 290\text{kg}$ )或氯化钙( $1\text{m}^3$  水中加  $220 \sim 270\text{kg}$ )溶液可用作防冻剂,也可以向水中通压缩空气的方法来防止水箱冻结。各类钻机湿式凿岩的耗水量及岩屑的加湿情况如表 14-2-6 所示。

表 14-2-6 钻机湿式凿岩耗水量

钻机类型	钻机型号	使用矿山	钻头直径/mm	耗水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	岩屑加湿情况
潜孔钻	YQ—150	白银有色公司	150	$0.1 \sim 0.15$	湿岩粉球
潜孔钻	I—170	大冶铁矿	190	$0.3 \sim 0.4$	半流动性岩浆
潜孔钻	73— $\varphi 200$	南芬露天矿	200	$0.3 \sim 0.8$	湿岩粉球
牙轮钻	60—R	南芬露天矿	300	$0.8 \sim 1.15$	湿岩粉球

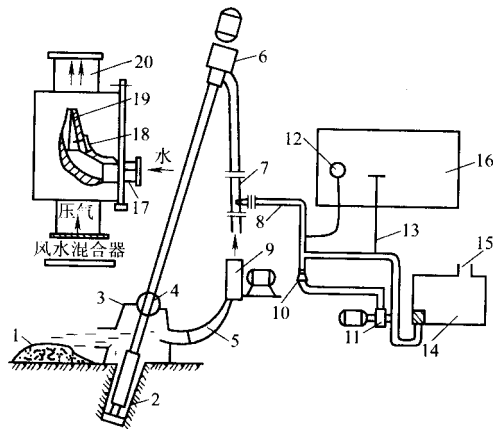


图 14-2-13 大冶铁矿钻机风水混合除尘系统

- 1—岩粉堆 2—冲击口 3—集尘罩 4—密封球 5—帆布风管 6—减速器 7—风水混合器；  
8—出水管 9—风机 10—逆止阀 11—水泵 12—水压表 13—控制阀 14—水箱；  
15—进水口 16—司机室 17—3/4"水管 18—弯头 19—喷嘴 20—风管

3. 岩矿装卸过程中的防尘措施

电铲给运矿列车或汽车卸载时,可使爆破时产生的和装卸过程中二次生成的粉尘,在风流作用下,向采场空间飞扬。卸载过程中的产尘量与矿岩的硬度、自然含湿量、卸载高度及风流速度等一系列因素有关。

我国露天矿山多数使用  $4\text{m}^3$  电铲。据测定:微风时电铲工作场地附近粉尘的平均浓度达  $31\text{mg}/\text{m}^3$ ,司机室内平均浓度为  $20\text{mg}/\text{m}^3$ ;干燥季节且有自然风流时,司机室最高粉尘浓度为  $38\text{mg}/\text{m}^3$ ,平均浓度为  $9.3\text{mg}/\text{m}^3$ ,而室外则超过  $40\text{mg}/\text{m}^3$ 。在无防尘措施时,潮湿季节司机室内的平均粉尘浓度为  $6\text{mg}/\text{m}^3$ ,室外为  $9\text{mg}/\text{m}^3$ 。上述数据是在具体条件下实测的,其数值的变化与采掘矿石比重、湿度、以及铲斗附近的风速等因素有关。

装卸作业的防尘措施主要采用洒水,其次是密闭司机室,或采用专门的捕尘装置。

装载硬岩,采用水枪冲洗最合适,挖掘软而易扬起粉尘的岩土时,采用洒水器为佳。

武钢大冶铁矿在待装运的爆堆上安装可以任意旋转的强力喷雾装置,即为农田喷灌用的喷雾器,效果良好,如图 14-2-14 所示。

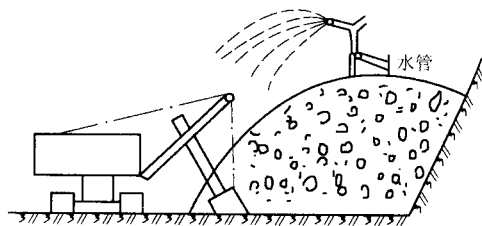


图 14-2-14 铲装时喷洒爆堆

爆堆喷水前 ,铲装工作面粉尘最高达  $45.1\text{mg}/\text{m}^3$  ,平均为  $21\text{mg}/\text{m}^3$  ;喷水后平均为  $1.3\text{mg}/\text{m}^3$  ,最高为  $2\text{mg}/\text{m}^3$  。喷水前后粉尘分散度无显著变化。

白银露天矿电铲尾部配重箱处的一个间隔改装为容积  $4\text{m}^3$  的水箱 ,利用水泵将水加压后 ,经管道送给两组喷雾器。一组装在天轮下部 ,共有 12 个喷嘴向铲斗方向喷水 ;另一组 4 个喷嘴装在司机室前窗下部 ,防止粉尘窜入司机室。上述措施收到良好的除尘效果。

岩体预湿是极有效的防尘措施 ,在国内外煤层开采时都得到应用。在露天矿中 ,可利用水管中的压力水 ,或移动式、固定式水泵进行压注 ,也可利用振动器 ,脉冲发生器或爆炸进行压注 ,而利用重力作用使水湿润岩体却是一种简易的方法。

露天矿的岩体预湿工艺可分为 :通过位于层面的钻孔注水 ;通过上一平台和垂直或与层面斜交的钻孔注水 ,也可利用浅井或浅槽使台阶充分湿透并渗透湿润岩体。钻孔注水时 ,钻孔间距为  $2\sim 3\text{m}$  (中硬岩石) ,注水压力为  $12\text{kg}/\text{cm}^2$  ,每个钻孔的注水量达  $3\text{m}^3$  。

4. 大爆破时防尘

大爆破时不仅能产生大量粉尘 ,而且污染范围大 ,在深凹露天矿 ,尤其在出现逆温的情况下 ,污染可能是持续的。露天矿大爆破时的防尘 ,主要是采用湿式措施。当然 ,合理布置炮孔、采用微差爆破及科学的装药与填充技术 ,对减少粉尘和有毒有害气体的生成量也有重要意义。

(1)大爆破前洒水和注水

在大爆破前 ,向预爆破矿体或表面洒水 ,不仅可以湿润矿岩的表面 ,还可以使水通过矿岩的裂隙透到矿体的内部。在预爆区打钻孔 ,利用水泵通过这些钻孔向矿体实行高压注水 ,湿润的范围大、湿润效果明显。洒水和注水量如表 14-2-7 所示。

表 14-2-7 洒水和注水的单位用水量

矿 岩 类 型	单位矿石耗水量/ $\text{L}\cdot\text{m}^{-3}$		
	水枪喷射	高压注水或喷水	洒 水
岩 石	20 ~ 30	160 ~ 180	150 ~ 200
煤 层	60 ~ 65	40 ~ 170	100 ~ 160

(2)水封爆破

水封爆破有孔内孔外两种。孔外水封爆破是在炮孔的孔口附近布置水袋和辅助起爆药包 ,每个炮孔的耗水量约为  $0.5\sim 0.7\text{m}^3$  ,相当爆破  $1\text{m}^3$  矿石耗水量约为  $0.01\sim 0.015\text{m}^3$  ,如图 14-2-15 所示。孔内水封爆破也需设辅助药包 ,其耗水量小于孔外水封爆破 ,每个炮孔约用水量为  $0.4\sim 0.5\text{m}^3$  即可。

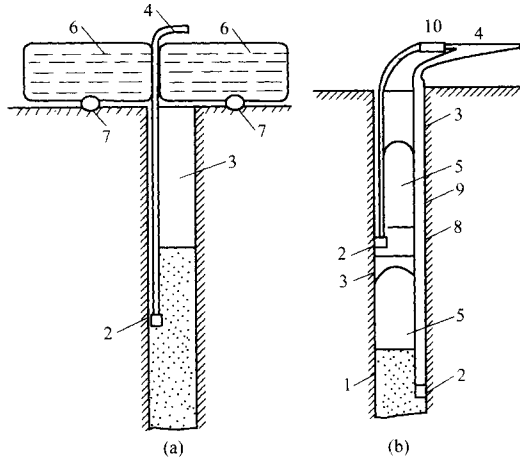


图 14-2-15 孔内(a)与孔外(b)冰封爆破

1—主药包 2—起爆药包 3—炮孔充填物 4—导爆管 5—孔内水袋 6—孔外水袋；  
7—辅助药包 8—附加炮孔充填物 9—保护管 10—导爆连接管

(3)大爆破后通风降尘

原苏联矿冶研究总院研制的 OB 系列风机中的一种如图 14-2-16 所示,它是 БенБЭ—540 型汽车底盘上改装的。OB—3 型通风洒水装置直径为 3.6m 的 AB—7H—161 型螺旋桨,由汽车发动机带动。另外还设有水箱、高压水泵、水枪和喷嘴等。螺旋桨的轴向可以在水平面内转动 45°,开动螺旋桨和水枪,能同时进行通风和喷雾洒水。耗水量 水枪为 15m<sup>3</sup>/h,喷嘴为 5m<sup>3</sup>/h。该装置的风量为 240m<sup>3</sup>/s,初始断面的风速可达 21m/s。全部设备的操纵工作都可在司机室内进行。另外苏联还研制了以飞机螺旋桨为主体的 yмп 系列移动式通风装置。

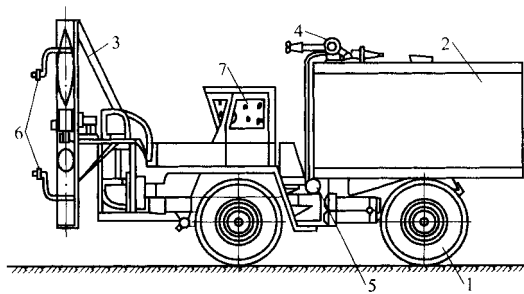


图 14-2-16 移动式局部通风洒水装置

1—БенБЭ 运矿汽车底盘 2—水箱 3—螺旋桨；  
4—水枪 5—水泵 6—喷雾器 7—驾驶室

### 5. 露天矿运输路面防尘措施

汽车路面扬尘造成露天矿空气的严重污染是不言而喻的。其产尘量的大小与路面状况、汽车行驶速度和季节干湿等因素有关。据国外测定,其产尘强度为  $620 \sim 3650 \text{ mg/s}$ ,国内测定的数值是:载重  $25 \sim 27 \text{ t}$  的“玛斯”、“别拉兹”两类汽车司机室内的粉尘平均浓度是:“玛斯”为  $21 \text{ mg/m}^3$  ;“别拉兹”为  $8.1 \text{ mg/m}^3$  ,汽车路面的空气粉尘浓度在  $2.3 \sim 15.1 \text{ mg/m}^3$  。不管是司机室或路面的空气中粉尘浓度,其变化频率和幅度都是很大的,在未采取措施的情况下,引起大幅度变化的重要因素是气象条件和路面状况。

目前国内外为防止汽车路面积尘的二次飞扬,主要采取的措施有:

①路面洒水防尘。通过洒水车、或沿路面铺设的洒水器向路面定期洒水,可使路面空气中的粉尘浓度达到容许值,但其缺点是用水量大,有效抑尘期短( $30 \sim 40 \text{ min}$ ),花钱多,且只能在夏季使用。还会使路面质量变坏,引起汽车轮胎过早磨损,增加养路费。

②喷洒氯化钙、氯化钠溶液或其他溶液。如果在水中掺入氯化钙,可使洒水效果和作用时间增加。喷洒氯化钙溶液时,路面要作专门处理:先挖松路面(非硬质路面),喷洒  $10\%$  的氯化钙溶液,再修成所需路面断面形状,铺  $80 \sim 100 \text{ mm}$  厚粗砂,在其上喷洒  $25\%$  的溶液压实。这样处理的路面,10 天内的空气中含尘量为  $1.8 \sim 2.6 \text{ mg/m}^3$ 。据国外实验表明: $10\% \sim 30\%$  浓度的氯化钙溶液可使空气中含尘量在  $2 \sim 5$  天内不超过允许标准, $40\% \sim 50\%$  浓度的氯化钙溶液可维持 10 天。

我国南芬露天铁矿用氯化钠溶液作粘尘剂进行工业试验。在气温  $-20^\circ\text{C}$  下,每千克水加入氯化钠  $300 \text{ g}$ ,可防水结冰,喷洒后路面空气中粉尘浓度下降至原来的三分之一,平均耗水量为  $0.95 \text{ kg/m}^2$ ,盐耗费用为  $0.05 \text{ 元/m}^2$ ,最短洒水周期为  $5 \sim 7$  昼夜。

③用颗粒状氯化钙、食盐或二者混合处理汽车路面。用颗粒状氯化钙处理后,空气中含尘量在  $45 \sim 90$  天内不超过  $2 \sim 3 \text{ mg/m}^3$ ;用食盐和氯化钙混合后处理路面在  $30 \sim 40$  天内不超过  $1.8 \sim 2.6 \text{ mg/m}^3$ ;用食盐处理后在  $10 \sim 15$  天内不超过  $3.5 \sim 4.5 \text{ mg/m}^3$ 。经济分析表明,用氯化钙处理路面的费用比洒水低  $2/3$ 。

④用油水乳浊液处理路面。原苏联正在推广使用乌尼维辛油( $\gamma\text{HиBpCиH}$ ),这是乌费姆石油加工厂专为公路防尘研制的产品。其成分如下:经过选择净化的石油提炼物  $70\% \sim 94\%$ ,硫化石油沥青  $2\% \sim 10\%$ ,石油裂炼渣  $2\% \sim 10\%$ 。乌尼维辛油乳浊液用亚硫酸盐发酵麦芽浆浓缩液做乳化剂。乳浊液各组分最佳配比为:水  $50\% \sim 60\%$ ,乌尼维辛油  $10\% \sim 20\%$ ,亚硫酸盐发酵麦芽浆  $20\% \sim 40\%$ 。新路面一次喷洒量为  $2 \text{ L/m}^2$ ,通车的老路面为  $0.5 \sim 0.8 \text{ L/m}^2$ 。当汽车运行频度达  $100 \text{ 辆/h}$  时,乳浊液有效抑尘期为  $10 \sim 12$  天。

美国曾采用过路面涂沥青的方法,其缺点是沥青的粘尘作用时间短,而长期使用氯

化钙溶液处理路面又容易损坏车胎。近年来美国研制了一种石油树脂冷水乳液的粘尘剂,这种乳液是把 15% 的乳液水溶液,注入 12mm 深的路面表层中,即可起到凝聚粉尘的作用。

⑤人工造雪防尘。在负温条件下露天矿防尘还没有好的办法。原苏联皮特科洛夫提出在汽车路面上造雪防尘的方法,目前正在某矿进行试验。雪花对粉尘的抑制机理,主要有三种力的作用:即机械力对悬浮粉尘的捕集作用、雪花与粉尘之间的粘着力,以及雪花和粉尘之间的相互作用力。雪花表面的液层对捕尘也有一定的作用。

现场试验表明,在不同负温上造雪器都能正常工作。当 20 个喷嘴呈梳状排列时,喷水量为 80kg/min。如果平均雾化系数为 2.2,计算造雪量相应为 10~11m<sup>3</sup>/h 左右。为了在一个工作班时间内实现露天矿汽车路面有效防尘,每 1m<sup>3</sup> 路面的雾化水量约为 3~3.5kg。这一方法的优点是雪的体积质量小,雪花表面积大,因而容尘量大,不会冻结岩石和腐蚀矿山机械的金属部件,也不会污染环境。

#### 6. 采掘机械司机室空气净化

在机械化开采的露天矿山,主要生产工艺的工作人员,大多数时间都位于各种机械设备的司机室里或生产过程的控制室里。由于受外界空气中粉尘影响,在无防尘措施的情况下,钻机司机室内空气中粉尘平均浓度为 20.8mg/m<sup>3</sup>,最高达到 79.4mg/m<sup>3</sup>;电铲司机室内平均浓度为 20mg/m<sup>3</sup>。因此,必须采取有效措施使各种机械设备的司机室或其他控制室内空气中的粉尘浓度都达到卫生标准,是露天矿防尘的重要措施之一。

##### (1) 采掘机械司机室空气净化的主要内容

- ①保持司机室的严密性,防止外部大气直接进入室内;
- ②利用风机和净化器净化室内空气并使室内形成微正压(大于 20~30Pa),防止外部含尘气体的渗入;
- ③保持室内和司机工作服的清洁,尽量减少室内产尘量;
- ④调节室内温度、湿度及风速,创造合适的气候条件。

##### (2) 司机室的粉尘来源

司机室内的粉尘来自外部大气和室内尘源。室内粉尘来自沉积在司机室墙壁、地板和各种部件上的粉尘和司机工作服上粉尘的二次飞扬。如钻机司机室空气中粉尘的来源,主要因钻机孔口扬尘后经不严密的门窗缝隙窜入;其次为室内工作台及地面积尘的二次扬尘,前者占 70%,后者占 30%。电铲司机室内粉尘的来源:一是铲装过程所产生的粉尘沿门窗缝隙窜入;二是室内二次扬尘,后者占室内粉尘量的 13.5%~54.6%。室内产尘量带有很大的随机性,往往根据司机室的布置、人员、工作服清洗状况等而变化,目前只能根据相类似的司机室实测数据确定。

## (3) 司机室净化系统

典型司机室净化系统如图 14-2-17 所示。系统由下列部分组成：

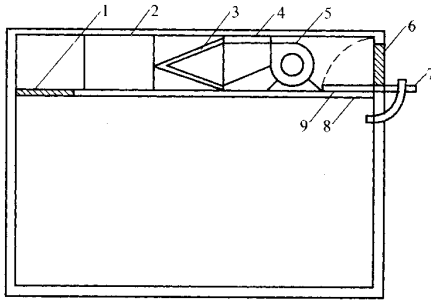


图 14-2-17 典型司机室净化系统

- 1—送风百叶窗 2—空调器 3—过滤器 4—扩散器；  
5—双吸风离心风机 6—外部入风口 7—入风口调节把手；  
9—循环风入口 8—循环风调节风门

①通风机组 宜采用双吸离心式风机；

②前级净化器 在外部大气粉尘浓度高时 为提高末级净化器的寿命 可用百叶窗式或多管式净化器作前级；

③纤维层过滤器 作为净化系统的末级；

④空调器 冬季时加热空气 夏季时降温。

此外还有入风口百叶窗、调节风量用的阀门、外部进气口与内循环风口等部件。

### 7. 废石堆防尘措施

矿山废石堆、尾矿池是严重的粉尘污染源 尤其在干燥、刮风季节更严重。台阶的工作平台上落尘也会大量扬起 例如 当风速为  $5.8 \sim 7.3 \text{ m/s}$  原苏联卡拉达格斯克露天矿空气含尘量达  $412 \text{ mg/m}^3$  可见 风流扬尘的严重危害。

在扬尘物料表面喷洒覆盖剂是一种防尘措施。喷洒的覆盖剂和废石间具有黏结力，互相渗透扩散 由于化学键力的作用和物理吸附 废石表面形成薄层硬壳 可防止风吹、雨淋、日晒而引起的扬尘。鞍钢劳动保护研究所研制成功的覆盖剂的物料组成是：焦油、酸焦油、防腐油、聚醋酸乙烯、乳化剂、水等 由此合成的覆盖剂类型有 7 种。



## 第二节 矿山水污染及其防治技术

### 一、矿山废水的排放标准

#### (一)水质标准

环境标准是为维护环境质量、控制污染而制定的各种技术指标和准则的总称。它是伴随环境立法而发展起来的,是环境保护法律体系的组成部分,是具有法规性的技术指标和准则。根据《中华人民共和国环境保护标准管理办法》的规定,我国环境标准分为两级、三类。两级就是国家级和省、自治区、直辖市级。三类就是环境质量标准、污染物排放标准、环境保护基础和方法标准,最后一类只有国家一级。

目前,我国水环境质量标准,主要是依据《地面水环境质量标准》(GB 3838—88)。该标准根据地面水域使用目的和保护目标将其划分为五类:

I类主要适用于源头水、国家自然保护区;

II类主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等;

III类主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、一般鱼类保护区及游泳区;

IV类主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区;

V类主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

#### (二)工业废水的排放标准

废水排放标准是根据环境质量标准,并考虑技术经济的可能性和环境特点,对排入环境的废水浓度所做的限量规定。我国污水排放标准分综合标准和部门、行业标准两种。综合标准主要依据《污水综合排放标准》(GB 8978—88)代替 GB 54—73(废水部分)的规定。该标准适用于排放污水和废水的一切企、事业单位。工业废水中有害物质最高容许排放浓度,分两类:

第一类污染物。它指能在环境或动植物体内蓄积,对人体健康产生长远不良影响者。含有这类有害污染物质的污水,不分行业和污水排放方式,也不分受纳水体的功能类别,一律在车间或车间处理设施排出口取样,其最高允许排放浓度必须符合表 14-2-8 的规定。

表 14－2－8 第一类污染物最高允许排放浓度

序 号	污 染 物	最高允许排放浓度 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
1	总汞	0.05
2	烷基汞	不得检出
3	总镉	0.1
4	总铬	1.5
5	六价铬	0.5
6	总砷	0.5
7	总铅	1.0
8	总镍	1.0
9	3、4－苯并芘	0.00003

第二类污染物。指其长远影响小于第一类污染物质的 ,在排污单位排出口取样 ,其最高允许排放浓度必须符合表 14－2－9 的规定。

表 14－2－9 第二类污染物最高允许排放浓度

标准值 污染物	标准分级	一级标准	二级标准	三级标准
pH 值		6～9	6～9	6～9
色度( 稀释倍数 )		80	100	—
悬浮物		100	250	400
生化需氧量( BOD )		60	80	300
化学需氧量( COD )		150	200	500
石油类		15	20	30
动植物类		30	40	100
挥发物		1.0	1.0	2.0
氰化物		0.5	0.5	1.0
硫化物		1.0	2.0	2.0
氨氮		25	40	—
氟化物		15	15	20
磷酸盐( 以 P 计 )		1.0	2.0	—
甲醛		2.0	3.0	—
苯胺类		2.0	3.0	5.0
硝基苯类		3.0	5.0	5.0
阴离子合成洗涤剂		10	15	20
铜		0.5	1.0	2.0
锌		2.0	5.0	5.0
锰		5.0	5.0	5.0

为了保证矿区环境不受污染和危害,矿区排放的废水还必须符合国家“工业企业设计卫生标准”的规定,如表 14-2-10 所示。对矿山企业的行业规定有:现有企业悬浮物最高允许排放浓度为 150mg/L(一级)和 300mg/L(二级),新扩改企业为 200mg/L(二级)。

表 14-2-10 地表水体水质卫生要求

指 标	卫 生 要 求
悬浮物质	含有大量悬浮物的工业废水,不得直接排入地面水体,以防淤积河床
色、臭、味	不得呈现工业废水和生活污水所特有颜色,异臭或异味
飘浮物质	水面上不得出现较明显的油膜和泡沫
pH 值	6.5~8.5
BOD(20℃)	不得超过 3~4mg/L
溶解氧	不得低于 4mg/L(东北地区渔业水体低于 5mg/L)
有害物质	不得超过表 14-2-8 规定的最高许可浓度
病原体	含病原体废水必须严格消灭病原体后,才许排入地面水体

二、矿山废水处理的基本方法

(一) 矿山废水污染的控制

为了解决矿山废水所造成的危害,必须采取各种措施和方法,严格控制废水排放,减少废水对周围环境的污染。

1. 控制废水的基本原则

由于矿山废水排放的特性,决定了该废水的处理原则是:采取最有效、最简便和最经济的处理方法,使处理后的水和重金属等物质都能回收利用。故应做到以下几点基本要求。

(1) 改革工艺、抓源治本

污染物质是从一定的工艺过程中产生出来的,因此,改革工艺以杜绝或减少污染源的产生,是最根本、最有效的途径。如选矿厂生产,可采用无毒药剂代替有毒药剂,选择污染程度少的选矿方法(如磁选、重选等),可以大大减少选矿废水中的污染物质。国外已开始应用无氰浮选工艺,我国也有不少单位正在开展氰化物及重铬酸盐等剧毒药剂代用品方面的研究,并取得了一定的实效。如广东某铅锌矿,过去一直是采用氰化钠作为铅锌分选的抑制剂,致使尾矿水和铅锌精矿浓缩溢流水含氰量大大超过排放标准,曾先后污染了几千亩农田,造成了大量牲畜及水生物死亡,现改成无毒浮选工艺,采用硫酸锌代替氰化钠,不仅减少了污染危害,而且也提高了选矿厂的经济效益。

(2) 循环用水、一水多用

采用循环供水系统,使废水在一定的生产过程中多次重复利用或采用接续用水系统。既能减少废水的排放量,减少环境污染,又能减少新水的补充,节省水资源,解决日

益紧张的供水问题。如矿山电厂、压气站用水和选矿厂废水循环利用等。特别是选矿厂废水的循环利用,还可回收废水中残存的药剂及有用的矿物,既能节省用药量,又能提高矿物的回收率。如河北某铜矿,每天排放废水达两万余吨,过去直接排入渤海,引起近海水资源的污染,后来该矿进行了选矿工艺改革,加高了尾矿坝,开凿了 1000 多米地下隧道,架设了几百米的污泥管道,使尾矿溢流水利用高差自流到选厂循环利用,使水的回收率达到 90% 以上,基本上实现废水闭路循环使用。

### (3) 化害为利、变废为宝

工业废水的污染物质,大都是生产过程中进入水中的有用元素、成品、半成品及其他能源物质。排放这些物质既污染环境,又造成了很大的浪费。因此,应尽量回收废水中的有用物质,变废为宝、化害为利,是废水处理中优先考虑的问题。据估计,全国有色企业每天排放“三废”中的剧毒物质,如汞、镉、砷就达两万多吨,若能正确地回收与处理这些废弃物,将有一举多得的好处。

## 2. 控制矿山废水的措施

采取“防”、“治”、“管”相结合的方法,严格控制废水的形成和排放,是控制和减少水污染的积极措施。

### (1) 选择适当的矿床开采方法

地下采矿时,选择使顶板及上部岩层少产生裂隙或不产生裂隙的采矿方法。是防止地表水通过裂隙进入矿井而形成废水的有效措施。露天开采时,应尽量避免采用陡峭边坡的开采方法,以减轻边坡遭水蚀及冲刷现象;及时覆盖黄铁矿的废石,以防止氧化;下边坡应留矿壁以防止地面水流入采场;可能情况下应回填采空区,以免积水;合理布置采场排水沟,如图 14-2-8 所示。

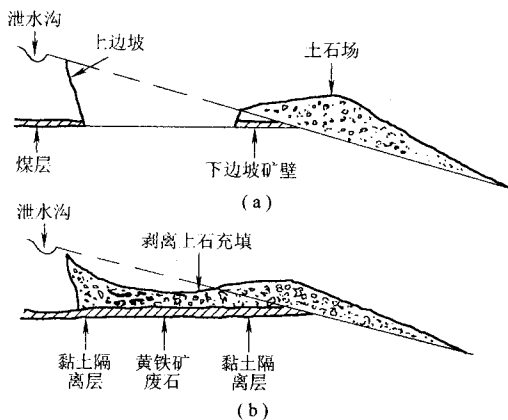


图 14-2-8 防止采区积水示意图

(a) 保留矿壁 (b) 采毕充填空场

(2)控制水蚀及渗透

地下水、老窿水、地表水及大气降雨渗入废石堆后 ,流出的将是严重污染了的水。因此 ,堵截给水、降低废石堆的透水性 ,是防止和减少水渗透的有效措施。高速水流经废石堆时会出现水蚀现象 ,使水受污染。将废石堆整平、压实、植被废石堆以导开地表水流 ,是防止废石堆水蚀的有效方法 ,如图 14-2-19 所示。

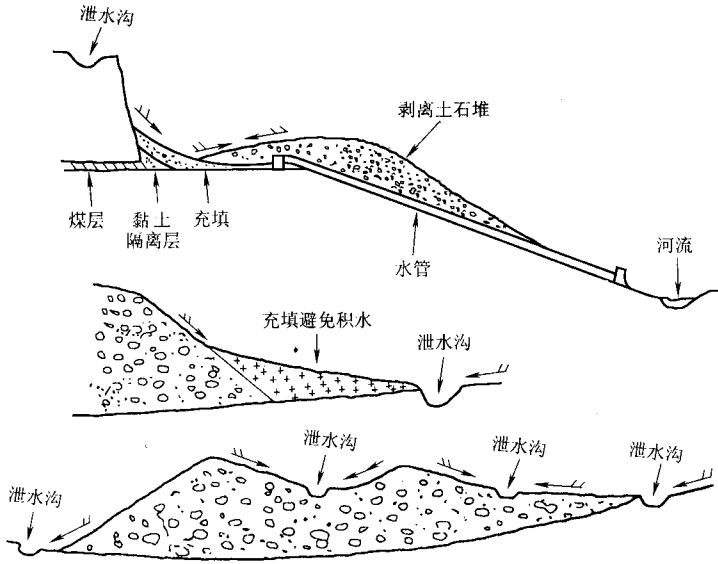


图 14-2-19 露天采场埋设水管排水及径流控制

此外 ,利用某种化学物质喷洒硫化矿废石堆表面 ,使之与空气和水隔绝是控制水污染的有效措施。

(3)控制废水量

在干燥地区亦可建造池浅而面积大的废水池蒸发废水 ,这对排水量大的矿山是减少废水处理量的合理办法。

(4)平整矿区及其植被

平整遭受破坏的土地 ,可以收到掩盖污染源 ,减少水土流失 ,防止滑坡及消除积水的效果。植被可以稳定土石 ,降低地表水流速度 ,因而能在一定程度上减少水土流失、水蚀及渗透。让废水流经某些种植物的地面后排入河流 ,也能使矿井水得到一定的净化。

(二)矿山废水处理系统

1. 废水处理系统的基本概念

(1)废水处理系统的含义

废水的种类和性质非常复杂 ,处理的目的要求也各不相同 ,因此往往需要将几种处

理方法(或称单元技术)组合起来,并合理地配置其主次关系和前后顺序,使之构成一个有机的整体,才能最有效、最经济地实现处理任务。这种由几种单元过程合理组合成的整体,称为废水处理系统。把这处理系统以图形方式表示出来,则称为处理系统图,或称工艺流程图。

## (2) 废水处理系统的组成

废水处理系统一般都由几个处理系列组成。处理系列就是用来完成某特定处理目标的一种或几种方法组合的序列。处理目标可以有各种分类法,废水处理通常按所去除物质颗粒大小、性质(称为颗粒级谱)来确定处理目标。按照这种处理目标划分,并包括泥渣的处理在内,可以把矿山废水处理系列分为以下四类:

- ①颗粒状物质去除系列。方法有筛分法、重力分离法等。
- ②悬浮颗粒和胶体去除系列。方法包括浓缩、澄清、混凝沉淀等。
- ③溶解物质去除系列。处理方法很多,包括各种化学沉淀法、吸附法、离子交换法、膜分离法、萃取法等。
- ④泥渣处理系列。方法包括浓缩、脱水(过滤)、干燥等。

## 2. 废水处理方法和处理系统的选择确定

废水处理方法和系统的选择取决于许多因素,主要是废水性质、对出水水质的要求、需要的场地、未来发展以及该系统在技术上的可行性和经济上的适宜性等。

一般地说,城市生活污水的水质比较均一,目前已形成了一套行之有效的典型处理系统。根据处理目标和任务的不同,可归纳一级处理(或称为初级处理或机械处理)、二级处理(亦称为生物化学处理或生物处理)及三级处理(或称高级处理)等三级处理方式。

工业废水的水质千差万别,处理要求也极不一致。因此,很难形成一种像城市生活污水那样的典型处理系统。只能根据前面所述的一些因素和四个系列,同时根据试验研究资料和参考某些厂矿经验,认真选择与论证特定情况下的处理方法和套用。归纳起来,正确选择废水处理系统,应从以下几点入手:

(1) 废水的水质及水量特征是正确选择处理系统的出发点。从废水的种类来说,需要考虑采用混合处理还是单独处理,或者单独处理一定程度后再混合处理;从排水量及排水规律来说,需要考虑是否要设置蓄水池、均合池,是连续还是间歇运行等。从污染物种类和浓度来说,需要考虑和分析的内容就更多,因为这是选择处理方法和处理设备的主要依据。例如,当污染物为胶体时,要考虑采用混凝、气浮、生物絮凝等方法;当污染物为溶质时,就要考虑采用化学沉淀、萃取、离子交换等物理化学方法;如果有几种污染物存在,就要考虑用一种方法还是用几种方法联合处理问题;若污染物浓度足够高,具有回收价值,就应选择能回收利用有价值成分的方法。

(2) 废水处理后的利用或排放以及对水质的具体要求,是决定和选择处理系统的关键。根据水质的具体要求,考虑处理工艺的繁简深浅,处理规模的大小,以正确地选择与确定废水处理系统。

(3) 进行全面的技术经济综合比较是选择与确定处理系统的基本方法。这一条最重要的是要进行多方案的比较,从技术上、经济上认真分析和论证,选择和确定出最佳方案。

### 3. 废水处理系统的设计

正确选择与确定废水处理系统是整个设计的中心环节和重要内容,因此,一般的设计原则应包括:必须贯彻国家环境保护及其他有关的方针政策;必须遵守国家《环境保护法》和建设项目环境管理方面的规章制度;必须根据具体情况,并在总结生产实践经验和科学研究成果的基础上,充分论证比较,确定方案;必须依据准确可靠的原始资料和设计参数,进行设计、计算;必须按规定编制概算和预算。

设计程序和设计阶段按国家规定的有关规章制度和办法进行。

### (三) 工业废水处理的基本方法

废水处理的目的是用各种方法将废水中含有的污染物分离出来,或将其转化为无害物质,从而使废水得到净化。工业废水的处理方法很多,可按其处理原理划分为物理法、化学法、物理化学法及生化处理法等类型,现简述如下:

#### 1. 物理处理法

这种方法比较简单,主要是通过沉淀、过滤、浮选等物理手段,除去废水中的固体悬浮物质。属于这种类型的方法有五种。

##### (1) 筛选法

筛选法是废水预处理工艺中常采用的方法。主要是筛滤废水中大颗粒物质,以防废水在排放过程中损坏排水设备,如水泵、管道、阀门等。其设置方式是在废水流入水池前,在排水沟道中安置活动栅或固定格栅,以筛滤废水中大颗粒物质。通常废水通过格栅的流速为  $0.3\text{m/s}$  为宜。

##### (2) 过滤法

过滤法是使废水通过多孔滤料,进一步降低固体悬浮物的处理方法。过滤法按其工作原理又可分为重力过滤法、真空过滤法、离心过滤法和压力过滤法四种。采用重力过滤法可除去浓度较低的液体悬浮物质;采用真空过滤法可使浓度较高的泥浆脱水;采用压力过滤法可滤去水中的微小固体颗粒;采用离心过滤法主要除去水中的胶体微粒。一般应根据废水的具体情况 & 处理要求,适当选用。当前我国主要采用的离心过滤法及重力过滤法,相应的设备主要有机械滤罐及重力式快滤池等。

图 14-2-20 是重力式快滤池的构造及工作过程示意图。过滤时,废水由进水管经闸门进入池内,并过滤料层和垫层流到池底,水中的悬浮物和胶体被截留于滤料表面和内层空隙中,滤过的水由集水系统闸门排出。随着过滤过程的进行,污物在滤料层不断积累,当过滤水头损失超过滤池所提供的水头(高、低水位之差),或者出水中污染物浓度超过许可值时,即应终止过滤,进行反洗。反洗时,冲洗水进入配水系统(即过滤时的集水系统),向上流过垫层和滤料层,冲去沉积于滤料层内的污物,并夹带着污物进入洗砂排水槽,由此经闸门排出池外。反洗完毕后,即可进行下一循环的过滤。

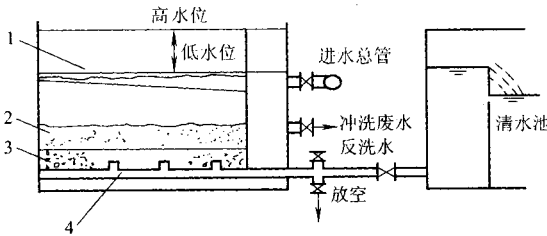


图 14-2-20 重力式快滤池构造及工作过程图

1—洗砂排水槽 2—滤料层 3—垫层 4—集水系统(配水系统)

在采用过滤法时,以焦炭为滤料处理含氰废水,其效果显著。氰化物在焦炭表面被催化成  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2$ ,除氰效率在 90% 以上。吸附病菌效率可达 99.6% 以上。

### (3) 沉淀法

一般废水经过筛滤法处理,除去较大的固体颗粒后,可用沉淀法除去其中的固体悬浮物质。这是一种最经济的使用方法,根据固体颗粒物质的特性,分为三种类型:

① 分离沉降。它指颗粒之间互不聚合,单独进行沉降。因而颗粒的物理性质(大小、形状、比重)在此过程均不发生任何变化,如沉砂池中的砂粒沉降。

② 絮凝沉降。它指沉降颗粒附聚,颗粒密度及其沉降速度也随之变化,如初次沉淀池发生的沉淀。

③ 区域沉降。它指颗粒形成一种绒体,大面积的沉降,并与液相有显著的界面,如二次沉淀池中的活性污泥沉降等。

### (4) 吹脱法

若废水中含有较多易挥发物质时,可采用此方法。此方法是将压气压入废水中,使易挥发物质吸附于压气并逸出,以达到除去挥发性物质的目的。而逸出的气体则可使其逸散到空气中或直接引入燃炉中作为燃料,亦可将逸出的气体加以回收,进行综合利用。

### (5) 气浮法

气浮法就是将空气压入废水中,水中乳状油粒( $0.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ )和悬浮颗粒(固体或液



态颗粒)粘附在气泡表面,并随气泡升浮到水面形成泡沫层,然后用机械方法清除,使污染物从废水中分离出来。

### 2. 化学处理法

这是一种通过化学反应的作用来分离与回收废水中处于各种形态的污染物质,或改变污染物质的性质,使其从有害变成无害。

#### (1)中和法

这是保护水域不受污染的一种基本方法。主要是利用化学手段调整废水中的酸碱度,使其呈中性,如酸性废水利用碱性废水中和、向酸性废水投加碱性废渣、通过碱性滤料层过滤中和等,而碱性废水可利用酸性废水中和、投加中和剂、利用烟道气中和等。金属矿山废水多为酸性水,故大多数采用石灰或石灰石方法处理。

#### (2)氧化法

氧化法是利用强氧化剂氧化与分解废水中的污染物净化废水的一种化学处理方法。强氧化剂能把废水中有机物逐步降解成为简单无机物,也能把溶解于水中的污染物氧化为不溶于水、而且易于从水中分离的物质。氧化进行的方式有:空气氧化、化学氧化和电解氧化三种。前者是将废水暴露在空气中,利用空气中的氧进行氧化;第二种是在废水中加入氧化剂,如通入液态氯或投加次氯酸,或通入臭氧等,使其产生氧化还原反应;第三种是在废水中插入两个电极,阳极可采用石墨板,阴极可采用普通钢板,通电后在阳极板上发生电解氧化作用,以除去废水中某些污染物质的毒性。

#### (3)凝聚法

当废水中含有胶状物质,采用物理方法处理达不到目的时,常采用化学凝聚法进行处理。即在废水中加加凝聚剂,如碳酸铝、硫酸铁、硫酸亚铁、明矾、氯化铁等,以消除胶体所带电荷,使之变成絮状物质而迅速地沉降以达到废水净化的目的。近年来,国外广泛采用碱式氯化铝作为凝聚剂,该物质具有形成颗粒大、凝聚速度快、用量小、成本低等优点,效果十分显著。

#### (4)离子交换法

当除去或回收废水中的重金属时,常用离子交换法进行处理。离子交换法是一种特殊的吸附过程,即吸附重金属离子的同时放出等当量的离子,这就是该方法的实质。该方法主要是在液相和固相之间进行离子交换,以达到废水净化和回收重金属的目的。现仅以不溶于水体的固体磺酸( $R-SO_3H$ )为例,对离子交换法净化水的原理加以说明。把磺酸置于含食盐的水溶液中,则液相和固相之间产生如下反应:



由反应式可见,水溶液中的一部分钠离子吸附到固体磺酸上,同时另一部分等量的

氢离子从固体磺酸上溶离到水溶液中,这种反应称为离子交换。显然,利用离子交换法可以从废水中分离电解质。

### 3. 物理化学处理法

运用物理和化学的综合作用使废水得到净化的方法有:吸附法、泡沫分离法、反渗透法。

#### (1) 吸附法

当废水中含有较多的溶解态的污染物分子和离子时,可采用吸附法。该法是让废水与多孔性固体吸附剂接触,利用吸附剂表面的活性,将分子态或离子态污染物吸附或浓集于其表面,然后将吸附剂和废水分离,达到净化废水的目的。吸附剂通常采用活性炭、活性硅石及腐植酸等物质。

活性炭对废水中有机物具有较强的吸附能力。例如对酚、苯、石油及其产品、杀虫剂、洗涤剂、合成染料、胺类化合物都有很好的去除效果。

采用吸附法所使用的设备类型有:固定床、流化床和移动床三种。图 14-2-21 为活性炭移动床吸附柱的构造示意图。废水从吸附柱底部进入,处理后的水由吸附柱上部排出。在操作过程中,定期将饱和的活性炭从柱底排出,送至再生装置进行再生。与此同时,将等量的新鲜活性炭从柱顶贮炭斗加至吸附柱内。

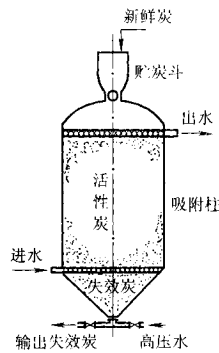


图 14-2-21 活性炭吸附柱构造示意图

#### (2) 泡沫分离法

用物理处理法的气浮法后尚不能清除废水中污染物时,投加浮选剂,改变污染物表面特性,使某些亲水性物质转变为疏水性物质,随气泡浮升到水面、形成泡沫层,然后用机械法清除,使污染物得以从废水中分离,这就是泡沫分离法。

#### (3) 反渗透法

反渗透法是利用半渗透膜和加压的办法分离水中污染物质的一种方法。

一般渗透作用是溶剂通过半渗透膜,从低浓度溶液流向高浓度溶液,如果在高浓度

一面加压,使压力超过渗透压力时,则溶剂出现反向流动,即从高浓度溶液流向低浓度溶液,这种现象称为反渗透作用。该方法就是利用这种反渗透作用,除去废水中的有机和无机污染物质,以达到净化废水的目的。目前半渗透以醋酸纤维为最好。此法操作简单、方便、效率高。但是处理费用较高,经济效果差。

### 4. 生化处理法

生化处理法,亦称生物处理法。这是一种历史最久而相当行之有效的废水处理方法。它是利用水体中多种微生物,将水体中的有机物分解成无毒、无害的简单无机物,以达到净化废水的目的。属于这种类型的处理方法有:好气生化处理法、嫌气生化处理法。

#### (1) 好气生化处理法

好气生化处理法就是在废水中通入大量的空气,促使好气微生物大量繁殖,并注意调节 pH 值(6~9)、温度(20~40℃)和增加必要的养料( $BOD:N:P=100:5:1$ )等条件,以利于微生物的发育和生长。当微生物大量繁殖时,就可将废水中的有机物大量分解,转化为二氧化碳、水、氨及磷酸盐等,就可达到清除污染物的目的。含氰废水经过处理后,使氰被氧化成二氧化碳、水、氨盐等无毒物质,从而使水得到净化。

#### (2) 嫌气生化处理法

嫌气生化处理法就是在缺氧的条件下,利用嫌气微生物来进行废水处理的一种技术。该方法适用于处理有机物含量较高的废水,即生化需氧量在 500~1000mg/L 以上的废水。

嫌气微生物对有机物具有很强的分解能力。能将有机物分解并转化为甲烷和二氧化碳,使废水得到净化。同时还可将甲烷气体收集起来作燃料。嫌气微生物除去污染物的效率可达 80%~90%。当处理条件适宜时净化效果更好,如使废水温度达到 53~54℃时的处理效果,比水温为 37~38℃时提高 2.5 倍。

嫌气法与好气法相比较,其处理费用较低,处理后的产物甲烷还可作燃料;但该方法在分解过程中产生大量硫化氢,使水产生恶臭味,同时水体颜色变黑。因此,该方法尚有待于进一步研究改进。

#### (四) 矿山废水处理基本方法

一般井下废水,通常采用筛滤法和过滤法,即在水池入口处设格栅、砾石或其他滤料,使采掘工作面排出的废水,先通过格栅,除去大块物料,再经过滤料进行过滤,然后进入井底水仓,如图 14-2-22 所示。

一般矿井水仓进水的一侧构筑澄清水池。澄清水池的容积应能容纳矿井 2 小时的正常涌水量。有时还在澄清水池前面设置过滤井,其深度多为 1~1.5m,位于运输大巷一侧。在过滤井内沿对角线设过滤网或带孔铁板,以便滤去井下废水中的大颗粒杂质。

为了较好地澄清矿坑水,也可以在井底水仓进水一侧连续设置 2~4 个澄清池,并在其上安置格栅,在格栅上铺以焦炭层。使矿坑水通过几个澄清池过滤,然后再自动流入井底水仓。

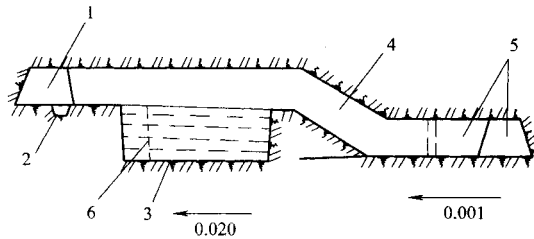


图 14-2-22 附设有澄清池的水仓布置

1—运输大巷 2—水沟 3—澄清水池 4—绕道 5—水仓 6—挡水墙

矿山废水多为酸性水,通常采用中和法。这种方法简单方便,可处理不同性质、不同浓度的酸性水,尤其适用于处理含重金属和杂质比较多的矿井酸性水,矿井采用中和法处理酸性水的一般流程如图 14-2-23 所示。常用的中和方法有 3 种。

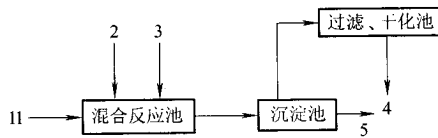


图 14-2-23 矿井酸性水处理流程图

1—矿井酸性废水 2—加入碱性药剂 3—搅拌器 4—出水 5—净化后的水

### 1. 利用碱性废水、废渣中和

此方法既能除碱,又能除酸,一举两得。当附近有电石厂、造纸厂等排出碱性废水、滤渣时,宜予以利用。例如,龙游黄铁矿选矿厂将酸隆流程改为碱性流程后,尾矿水呈碱性,与矿区酸性水同时排入河道进行自然中和,改善了被污染的水体,使排入河流后 2km 区段内仍有鱼类生长。

中和酸性废水的计算公式如下:

$$Q_1 B_1 = Q_2 B_2 aK$$

式中  $Q_1$ ——碱性废水流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$Q_2$ ——酸性废水流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$B_1$ ——碱性废水浓度,  $\text{mol}/\text{m}^3$ ;

$B_2$ ——酸性废水浓度,  $\text{mol}/\text{m}^3$ ;

$a$ ——中和 1kg 酸所需碱量,参见给排水手册;

$K$ ——反应不均匀系数,取  $K = 1.5 \sim 2.0$ 。

## 2. 加石灰和石灰乳中和

采用此方法处理的酸性水量和浓度不限,但成本较高,沉渣多而难处理。向山硫铁矿结合处理矿井酸性水,为了采用此方法,将选矿厂的酸性流程改为碱性流程,既处理了矿井排出的酸性水,又使精矿品位和回收率有所提高。其处理过程如下:

将 pH 值为 3~4、流量约为  $4000\text{m}^3/\text{d}$  的矿井酸性水,扬送至选矿厂上部的高位水池中,再流入药池,加入 pH 值为 12~14 的石灰乳,调整至 pH 值 8~9 后,直接供选矿厂用水,其石灰用量为  $0.8 \sim 1.5\text{kg}/\text{m}^3$ 。

## 3. 用具有中和性能的滤料进行过滤中和

可作为过滤中和的物料有石灰石、白云石和大理石等。目前,国内外厂矿企业对酸性水作过滤中和时,常采用的设施有:

(1)普通中和滤池。用粒径较小的石灰石作滤料,可处理硫酸含量不超过  $1.2\text{g}/\text{L}$  的废水。因中和反应生成的硫酸钙在水中的溶解度小,经常沉结在滤料表面,致使滤料失去过滤中和的能力、影响其效果。

(2)升流式膨胀滤池。它是在普通中和滤池基础上进行改进的滤池。可处理硫酸含量不超过  $2\text{g}/\text{L}$  的废水。其特点是滤池体积小、管理操作简便。酸性废水由池底以  $50 \sim 70\text{m}/\text{s}$  速度向上通过滤料,使粒径为  $0.5 \sim 3.0\text{mm}$  的石灰石呈“悬浮”状态不断地翻滚,互相碰撞摩擦,使过滤中和生成的硫酸钙不易在滤料表面沉结、效果稳定。

(3)卧式过滤中和滚筒。用以处理的废水含酸浓度可高达  $17\text{g}/\text{L}$ ,对处理硫化矿矿山酸性水是一种较理想的设施。

# 第三节 矿山噪声污染及其控制技术

## 一、噪声的危害、容许标准和测定技术

### (一)噪声的危害

噪声对人的影响是一个复杂的问题,不仅与噪声的性质有关,而且还与每个人的心理、生理状态以及社会生活等多方面的因素有关。表 14-2-11 列出矿山噪声的危害情况。

表 14-2-11 矿山噪声危害一览表

影响方面	内 容
影响正常生活	使人们没有一个安静的工作和休息环境 ,烦躁不安 ,妨碍睡眠 ,干扰谈话等
对矿工听觉的损伤	矿工长期在强噪声 90dB(A)以上中工作 ,将导致听阈偏移 ,当 500、1000、2000Hz 听阈平均偏移 25dB ,称噪声性耳聋
引起矿工多种疾病	噪声作用于矿工的中枢神经系统 ,使矿工生理过程失调 ,引起神经衰弱症 ;噪声对心血管系统 ,可引起血管痉挛或血管紧张度降低 ,血压改变 ,心律不齐等 ;使矿工的消化机能衰退 ,胃功能紊乱 ,消化不良 ,食欲不振 ,体质减弱
影响矿山安全生产和降低矿山劳动生产率	矿工在嘈杂环境里工作 ,心情烦躁 ,容易疲乏 ,反应迟钝 ,注意力不集中 ,影响工作进度和质量 ,也容易引起工伤事故 ,由于噪声的掩蔽效应 ,使矿工听不到事故的前兆和各种警戒信号 ,更容易发生事故

## (二) 噪声的容许标准

噪声的危害很大 ,必须对它予以严格的控制。为了保护人的听力和健康 ,保证生活和工作环境不受噪声干扰 ,这就需要制定一系列噪声标准。对于不同行业、不同时间、不同区域规定有不同的最大容许噪声级标准 ,国家权力机关根据实际需要和可能 ,颁布了各种噪声标准。

### 1. 工业企业噪声卫生标准

1979 年 ,我国卫生部和国家劳动总局颁发了《工业企业噪声卫生标准》(试行草案) ,从 1980 年 1 月 1 日起试行。该标准是听力保护标准 ,它所规定的噪声标准是指人耳位置的稳态 A 声级或非稳态噪声的等效声级。该标准适用于工业生产车间或作业场所 ,它对新建和改建企业制定了不同的噪声标准。如表 14-2-12 所示。

表 14-2-12 新建改建企业噪声标准

每个工作日接触噪声时间/h	8	4	2	1	1/2	1/4
改建企业容许噪声/dB(A)	90	93	96	99	102	105
新建企业容许噪声/dB(A)	85	88	91	94	97	100

最高不得超过 115dB(A)

从表 14-2-12 可以看出 ,暴露时间减半 ,允许噪声可相应提高 3dB(A) ,此标准也是按“等能量”原理制定。

### 2. 环境噪声标准

关于噪声对人们的交谈、工作与休息、睡眠以及吵闹感觉等多方面的影响 ,都属于环境噪声标准。1982 年 ,我国颁布的《城市环境噪声标准》(GB 3096—82)见表 14-2-13。

表 14－2－13 城市各类区域环境噪声标准值 [等效声级/dB(A)]

适 用 区 域	昼间( 6 ∶00 ~ 22 ∶00 )	夜间( 22 ∶00 ~ 6 ∶00 )
特殊住宅区	45	35
居民、文教区	50	40
一类混合区	55	45
二类混合区、商业中心	60	50
工业集中区	65	55
交通干线道路两侧	70	55

3. 噪声暴露率

这是美国某研究单位提出的算法。以噪声级高于 90dB(A)为标准 ,对于超过 90dB(A)实际噪声暴露时间除以容许暴露时间 ,即为噪声暴露率。若接受噪声不是某一个固定声级 ,则噪声暴露率应按具体的声级和相应的暴露时间进行计算。

$$D = C_1 / T_1 + C_2 / T_2 + C_3 / T_3 + \dots \qquad (2-13)$$

式中 D——噪声暴露率 ;  
C<sub>n</sub>——在特定噪声级下工作的总时间 ,h  
T<sub>n</sub>——在该噪声级下容许工作的时间 ,h。

噪声暴露率不得超过“ 1 ” ,相当于等效连续 A 声级不超过 90dB(A) ,超过愈多 ,对听力损伤危险越大。

(三)噪声测定技术

为了研究和控制噪声 ,必须对噪声进行测定与分析 ,根据不同的测定目的和要求 ,可以选择不同的测定方法。对于工矿企业噪声的现场测定 ,一般常用的仪器有声级计 ,频率分析仪 ,自动记录仪和优质磁带记录仪等。

1. 声级计

声级计是噪声现场测量的一种基本测试仪器。它不仅可以单独用于声级测量 ,还可以和相应的仪器配套 ,进行频谱分析、振动测量等。如国产 ND<sub>2</sub> 型精密声级计就属此类。

声级计一般分为普通声级计和精密声级计两种。精密声级计又可分两类 ,一是用于测量稳态噪声的 ,一是用于测量脉冲噪声的。它是由传声器、放大器、计权网络、指示表头等部分组成 ,如图 14－2－24 所示。

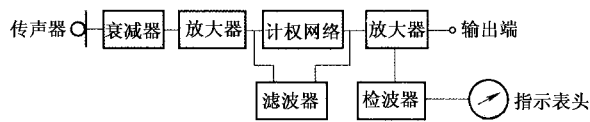


图 14-2-23 声级计结构示意图

声级计工作原理是 声压信号通过传声器转换成电压信号 经过放大器放大 ,再通过计权网络 则可在表头显示出分贝值。

声级计常用的频率计权网络有三种 称 A、B、C 声级。噪声测量时 ,如不用频率分析仪 只需读出声级计的 A、B、C 三档读数 就可以粗略地估计该噪声的频率特性。声级计表头读数为有效值 ,分快、慢两档。快档适用于测量随时间起伏小的噪声 ;当噪声起伏较大时 ,则用慢档读数 ,读出的噪声为一段时间内的平均值。

2. 频率分析仪

频率分析仪是用来测量噪声频谱的仪器 ,它主要是由两大部分组成 ,一部分是测量放大器 ,一部分是滤波器。若噪声通过一组倍频程带通滤波器 ,则得到倍频程噪声频谱 ;若通过一组 1/3 倍频程带通滤波器 ,则得到 1/3 倍频程噪声频谱。在矿山噪声测量时 ,常用倍频程带通滤波器。

3. 噪声测量方法

(1) 进行测量时应将传声器尽量接近机械的辐射面 ,这样可使噪声的直达声场足够大 ,而其他噪声源的干扰相对较小 ;

(2) 测量前 ,应首先检查声级计的电池电压是否满足要求 ,并用活塞发声器对声级计进行校正 ;

(3) 测量噪声要避免风、雨、雪的干扰 ,若风力在三级以上时 ,要在声级计传声器上加防风罩 ;大风天气( 风力在 5 级以上 )应停止测量 ;

(4) 手持仪器进行测量 ,应尽可能使仪器离开身体 ,传声器距离地面 1.2 ~ 1.5m ,离房屋或墙壁 2 ~ 3m ,以避免反射声的影响 ;

(5) 在测定时 ,若本底噪声小于被测噪声 10dB( A )以上 ,则本底噪声的影响可忽略不计。若其差值小于 3dB( A )时 ,则所测的噪声值没有意义。若其差值在 3 ~ 10dB( A )之间 ,可根据表 14-2-14 进行校正 ,测定后应作出完整的噪声测定记录 ,如表 14-2-15 所示。

表 14-2-14 排除本底噪声的修正表

所测出的声源噪声级与本底噪声的差值/dB	3	4 5	6 7 8 9
修 正 值	- 3	- 2	- 1



表 14-2-15 矿山噪声测定记录表

矿山 \_\_\_\_\_

地点 \_\_\_\_\_

日期 \_\_\_\_\_

测定地点环境条件

线性···· dB(A) ····· dB(B) ····· dB(C) ·····

140

120

100

80

60

40

20

0

63

125

250

500

1000

2000

4000

8000

频率/Hz

3

2

1

0

0

2

4

6

8

10

12

14

分贝和运算

附注

二、矿山机械设备噪声控制

(一)冶金矿山机械设备噪声源分析

噪声是污染矿山环境的公害之一。而矿井作业人员所受危害更甚。在大型矿山开采时,使用了许多大型、高效和大功率设备,随之带来的噪声污染越来越严重。目前解决矿山机械设备噪声污染已经成为环境保护和劳动保护的一项紧迫任务。图 14-2-25 为现场测定矿山机械设备噪声级范围。

从测定结果的分析可知,矿山噪声的特点是:声源多、连续噪声多、声级高,矿山设备的噪声级都在 95~110dB(A)之间,有的超过 115dB(A),噪声频谱特性呈高、中频。噪声级超过国家颁发的《工业企业噪声卫生标准》,严重危害职工身体健康。

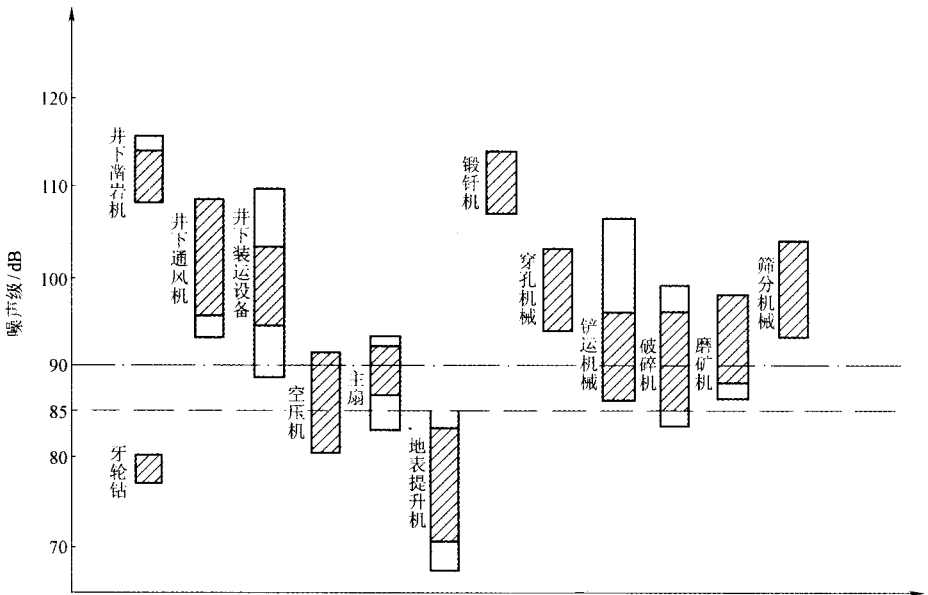


图 14-2-25 矿山机械设备噪声级范围

在矿山企业中,噪声突出的危害是引起矿工听力降低和职业性耳聋。据统计,井下工龄 10 年以上的凿岩工 80% 听力衰退,其表现为语言听力障碍,20% 为职业性耳聋。此外,还引起神经系统、心血管系统和消化系统等多种疾病。并使井下工人劳动效率降低,警觉迟钝,不容易发现事故前征兆和信号,增加发生工伤事故的可能性。

## (二) 井下噪声的特点、控制程序和处理原则

矿山噪声特别是井下作业点噪声与地面噪声是有差别的。其表现为井下工作面狭窄,反射面大,直达声在巷道表面多次反射而形成混响声场,使相同设备的井下噪声比地面高 5 ~ 6dB(A)。

井下巷道直达声按下式计算:

$$SPL_D = SWL - 20 \lg r - 11 \quad (2-14)$$

式中  $SPL_D$ ——直达声的声压级, dB;

$SWL$ ——声源的声功率级, dB;

$r$ ——距声源的距离, m。

一般说来,声压级随距离每增加一倍就减少 6dB,每增加 10 倍就减少 20dB。

井下巷道反射声按下式计算:

$$SPL_R = SWL - 10 \lg a + 6 \quad (2-15)$$

式中  $SPL_R$ ——反射声的声压级, dB;

$a$ ——完全吸收表面的等效面,每平方米的总吸收量。

$$a = A \frac{a}{1 - a} \tag{2 - 16}$$

式中 A——岩石巷道表面积 ,m<sup>2</sup>。

实际上 ,在距声源 5m 时 ,可用下式估算井下巷道内噪声的衰减值。

$$\Delta L = 1.26P/S \cdot x \cdot \alpha^{1.4} \tag{2 - 17}$$

式中 ΔL——井下巷道声音的衰减量 ,dB ；

P——巷道断面的周边 ,m<sup>2</sup> ；

S——巷道的横断面 ,m<sup>2</sup> ；

x——距声源的距离 ,m ；

α——根据频率巷道表面吸声系数 ,如表 14 - 2 - 16 所示。

表 14 - 2 - 16 井下岩石巷道表面随频率而变化的吸声系数

倍频程/Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
吸声系数	0.15	0.10	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16

图 14 - 2 - 26 表示在断面为 3m<sup>2</sup> 的混凝土支护的试验巷道内设置话筒产生噪声 ,并测量噪声随距离增加而衰减情况。

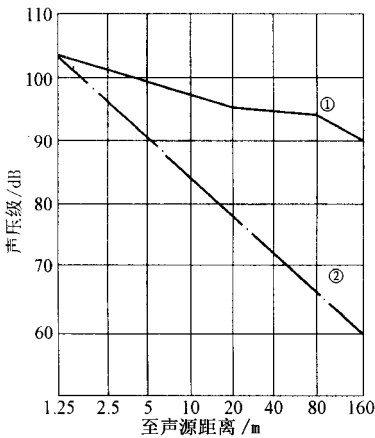


图 14 - 2 - 25 巷道内噪声随距离衰减值  
①—巷道内实测值 ②—自由空间实测值

井下噪声的控制工作 ,首先要进行井下噪声级预测 ,测定声压级和频谱特性 ,根据预测结果和允许标准确定减噪量 ,选择合理控制措施 ,进行施工安装 ,再进行减噪效果的测定和评价 ,噪声控制程序可按图 14 - 2 - 27 进行。

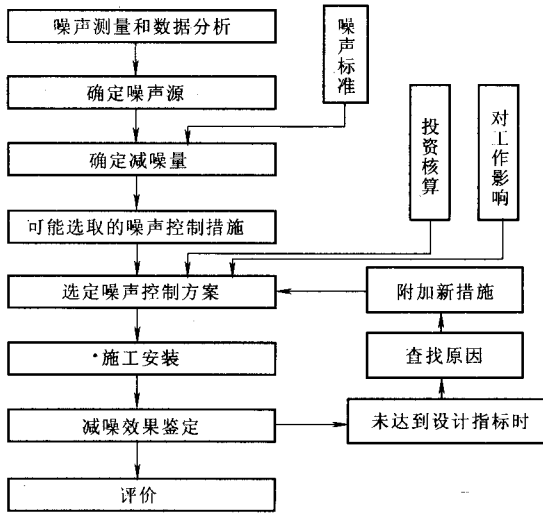


图 14-2-27 噪声控制程序图

由于井下存在多种噪声源,在降低井下噪声时必须遵循如下原则:

- (1) 在降低多种噪声源时,首先要降低其最大干扰的噪声源,这是获得显著效果的惟一途径;
- (2) 一旦最响噪声源已被降到比剩余噪声源低 5dB(A) 时,再进一步降低该噪声源对总噪声量的降低不会产生明显的作用;
- (3) 如果噪声是由许多等响噪声源组成,要使总噪声有明显降低,只有对其中全部噪声源进行降噪处理;
- (4) 尽管降低 3dB(A) 噪声级是很有限的,但是在感觉响度上则有明显的差别,因为噪声降低 3dB(A) 相当于声功率减少一半。

### (三) 风动凿岩机噪声控制

风动凿岩机是井下采掘工作面应用最普遍、噪声级最高的移动设备。一般噪声级达 110~120dB(A) 之间,是目前井下最严重噪声源。

凿岩机总声功率级可由下式估算:

$$SWL = 140 + 10 \lg Q \quad (\text{dB}) \quad (2-19)$$

式中  $Q$ ——凿岩机标准耗气量  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

风动凿岩机噪声源有:废气排出的空气动力性噪声;活塞对钎杆冲击噪声;凿岩机外壳和零件振动的机械噪声;钎杆和被凿岩石振动的反射噪声。风动凿岩机总噪声频谱较宽,是属于具有低频、中频和高频成分的广谱声。如图 14-28 所示,排气噪声频谱呈中、低频特性,在频率为 500Hz 时峰值高达 115dB(A);冲击噪声和机械噪声频谱呈高频特性,在频率为 4000Hz 时峰值高达 118dB(A)。对标准凿岩机进行测试表明:68% 来自排

气噪声 32% 来自活塞与钎杆、钎杆与岩石的冲击或碰撞及机壳振动噪声。因此 ,解决风  
凿机噪声首先降低排气噪声。

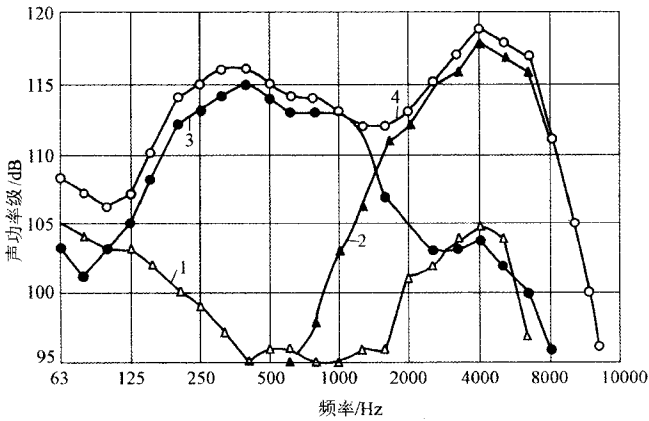


图 14-2-28 凿岩机频谱特性

1—机壳噪声 2—钎杆噪声 3—排气噪声 4—整机噪声

1. 降低排气噪声方法

风动凿岩机噪声主要声源是排气噪声。要降低排气噪声必须了解排气噪声形成的机理。废气经排气口以高速度进入相对静止的大气 ,在废气和大气混合区排气速度降低引起了无规则的漩涡 ,漩涡以同样无规则的方式运动、消散 ,出现许多频带不规则的噪声 ,活塞往复一次压气从气缸排出两次产生周期性脉动噪声 ,排气本身就是凿岩机内部机械噪声的传播介质 ,上述过程产生噪声概括称为“空气动力性噪声”。对于一个确定的排气管来说 ,辐射出的排气噪声在一定的频率上往往有较高的峰值 ,这个峰值频率  $f$  可用下式估算 :

$$f = 0.2 u / d \tag{2-19}$$

式中  $u$ ——气流速度 ,m/s ;

$d$ ——排气管直径 ,m。

由式 (2-19) 可见 ,排气的流速越大 ,排气管直径越细 ,则产生的噪声峰值频率越高 ,越趋于尖叫刺耳。至今人们还无法消除风动凿岩机的排气声源 ,但用限制排气速度和工作速度的办法来降低排气噪声是有可能的 ,也就是说创造最好环流条件 ,减少气流排出时压力波动 ,使缸体内部和大气间保持较小的压力差。上述方法可通过在风动凿岩机排气口安装消声装置实现。

(1) 凿岩机机外消声装置

在凿岩机的排气口装上一段排气软管 ,将排出废气引向安装在气腿子内部或距工人

一定距离处的消声器。图 14-2-29 是一种典型机外排气消声装置示意图,这种消声器是用隔板分为两个不同小室的圆柱体。被引射器吸入,并经过扩散器进入小室。从扩散器出口到消声器排气口,空气经过隔板上分布不对称的小孔,不断改变其运动方向。通过降低接受小室的压力来补偿消声器气流的阻力,该消声器不仅能够降低低频噪声级 16 ~ 30dB,而且能提高钻进速度约 20% ~ 25%,能起到降噪、降尘和降低油雾,改善工作面的劳动条件的作用。

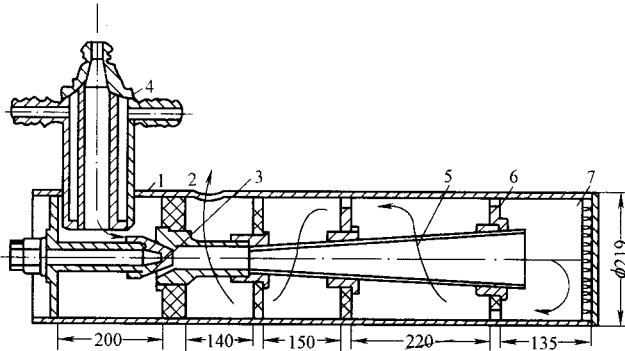


图 14-2-28 凿岩机机外排气消声器

1—圆柱体 2—隔板 3—引射器 4—连接管 5—扩散器 6—带孔隔板 7—吸声材料

## (2) 凿岩机排气口消声装置

根据各类凿岩机的频谱特性和排气口形状、以及工人操作方法设计各种类型凿岩机排气口消声器。美国矿山局和奥萨克铅公司研制用于凿岩台车上的风动凿岩机排气口消声器。其原理如图 14-2-30 所示,当废气进入消声器时,通过前端弯曲的过风道后直接作用在第一块处于振动中折流板,再向中间流动,这样气流就按正弦曲线轨迹通过所有折流板,迂回折转、光滑流动,消除了排气直线运动,缓和了气流,降低排气速度。因折流板强烈振动,在折流板不会结冰。实验证明,该消声器可降低排气噪声 15dB(A),并可降低整机噪声 8 ~ 10(A),消声器内部不结冰,对凿岩机性能无影响。

### 2. 降低钎杆冲击噪声方法

钎杆噪声主要是活塞冲击钎尾引起钎杆振动而发出的噪声。通过理论分析实验研究,欲降低钎杆噪声,可采取如下措施。

(1) 增加活塞与钎杆撞击的延续时间,当撞击时间增加 1 倍,声功率约减少 12dB;

(2) 增加钎杆结构损失系数,在钎杆表面镀铬,使结构损失系数增加 1 倍,声功率级减少 3dB;

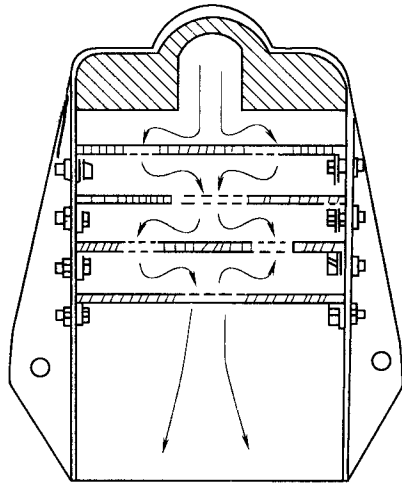


图 14-2-30 排气在消声器内流动示意图

- (3) 增加钎杆横截面半径,比如,钎杆横截面半径增加 1 倍,可在高频范围的声功率级减少 13.5dB,低频率范围的声功率级可降低 4.5 倍;
- (4) 减少撞击偏心率,当撞击偏心率减少 1 倍时,声功率级在全部频率内降低 6dB;
- (5) 在钎肩处加橡皮垫,可使钎杆在钎肩处增加 1 个约束,使钎杆与活塞更趋于对中,加垫后凿岩机噪声级降低 3dB(A)。

3. 降低机械噪声方法

机械噪声是由机械部件振动、摩擦而产生,属于高频噪声。采用超高分子聚乙烯制包封套,使凿岩机机械噪声由 115dB(A)降至 100dB(A)。另外还使用一种吸收噪声的合金制作凿岩机外壳,该合金能吸收振动应力,故衰减噪声能力特别强。

除外,还要采用结实的非谐振材料,例如尼龙做棘轮机构和阀动机构的某些零件,使邻接零件的相对运动变为尼龙和钢的运动,从而完全消除钢对钢的运动。同样,螺旋棒中四个棘爪和配气阀都换成尼龙件。另外在螺旋棒头与它在柄体配合面之间放进尼龙圆盘,以防止冲击噪声。上述措施可进一步降低机械噪声。

4. 降低岩壁反射噪声的方法

由于巷道空间有限,反射噪声形成混响场,从而增加凿岩机噪声强度。国外曾试验在井下巷道周壁喷射高膨胀泡沫稳定层。该泡沫是一种烷基稳定泡沫,膨胀比为 25:1,喷射后泡沫稳定层能牢固地粘在巷道壁面上,并保持一段时间而不会脱落。因含气泡沫又软又多孔,可有效地降低岩壁的反射噪声。其吸声效果是随着距凿岩机距离的加大而增加,频率越高效果就越好。当泡沫层厚度为 51mm 时,可以使总的岩壁反射噪声大约降低 40%,较好地改善听觉环境。

#### (四) 凿岩台车的噪声控制

为提高采矿和掘进速度,目前国内外广泛地采用多机凿岩台车。美国和加拿大联合研制应用于万能-1型台车的隔声防震司机室和法国赛马科掘进台车都装配有隔声防震操作间,为多机凿岩台车作业时全面改善井下环境提供安全舒适的条件。

我国梅山铁矿在 CTC-141 型采矿凿岩台车上安装隔声防震操作室,其隔声结构采用多层复合结构。操作室外壁为 1mm 的铅板夹在两层 15mm 厚的聚氨酯泡沫塑料之间,泡沫塑料外侧覆盖 1mm 的钢板,操作室的内壁覆盖 0.3mm 的微孔铝板。操作室的前方装配两层不同厚度强化玻璃,整个操作室是由上述复合结构和玻璃窗等组成的隔声组合结构。操作室安装在台车双梁尾部,用螺栓连接,便于装卸。室底层装四个弹簧起减震作用,室内有双人座椅,室顶两侧架设探照灯,使司机视野宽广,能清楚地看到顶、底板炮眼。玻璃窗顶部有两个喷嘴向玻璃喷出液体清洁剂,一个动臂型刮水器用来使玻璃保持清洁,以防止玷污玻璃而影响视线。操作室内安装有滤气装置和负离子发生器,净化进入操作室内的空气中粉尘、油雾和其他有害杂质,并使负离子通过风口和风流均匀混合进入室内,提高操作室内负离子浓度,改善室内空气质量。经测定,该操作室的隔声效果、滤尘效果、负离子发生量等项指标均达到设计要求。改善凿岩台车操作人员的工作环境,可以满足矿山工业卫生的要求。

#### (五) 扇风机噪声控制

##### 1. 扇风机噪声源分析

扇风机噪声主要由空气动力性噪声、机械噪声和电磁噪声组成。

(1) 空气动力性噪声。空气动力性噪声系由扇风机叶片旋转驱动空气,使巨大能量冲击机壳产生各种反射、折射而形成。它由下列两种噪声组成:

① 旋转噪声。它是由于旋转的叶片周期性打击空气质点,引起空气压力脉动而产生的噪声;

② 涡流噪声。它是由于风机叶片转动时,使周围空气产生涡流,这些涡流由于黏滞力的作用,又分裂成一系列的小涡流,使空气发生扰动形成压缩和稀疏的过程而产生的噪声。

(2) 机械噪声。机械噪声系由扇风机机壳、风门和其他零件的冲击、摩擦而形成。

(3) 电磁噪声。电磁噪声系由电动机驱动、运转而形成。

在这三部分噪声中,以空气动力性噪声危害最大,具有噪声频带宽、噪声级高、传播远等特点,并且比其他两个噪声源高 20dB,因此是扇风机噪声控制的重点。

##### 2. 扇风机噪声控制方法

控制扇风机噪声的根本性措施是:改进风机的结构参数,提高风机的加工精度,从研



制低噪声、高效率的新型风机入手 ,在设计新风机时可通过下列措施降低噪声。

(1)流线型进气道并配置弹头形整流罩 ,整流罩直接固定于叶轮 ,可使气流均匀 ,减少阻力损失 ;

(2)装配流线型电机 ;

(3)增大电机定子和风机叶轮之间的距离 ;

(4)增加风机转动装置和导流器之间的距离。

对目前正在使用高噪声扇风机 ,则应采取如下措施。

1. 主扇噪声控制

(1)用隔声室隔离机体噪声。它是将发声体和周围环境隔开 ,不让所发出的噪声向外辐射 ,其隔声效果与隔声室结构形式、材料面密度有关 ,用下式表示 :

$$TL = 18lg(Mf) - 44 \tag{2-21}$$

式中  $TL$ ——隔声室的隔声量 ,dB ;

$M$ ——隔声材料的面密度 , $kg/m^2$  ;

$f$ ——频率 ,Hz。

某矿在扇风机壳两侧砌筑宽 240mm ,高 2.6m 的砖墙 ,顶盖用 1.5mm 钢板做隔声罩 ,该罩四周与混凝土地面接触处加垫一层橡胶 ,该罩实际隔声量达 27dB(A) 。若在罩内壁面敷设吸声层 ,可减少室内混响场 ,提高实际隔声量。

(2)排风口消声装置。采用矿渣膨胀珍珠岩吸声砖或水泥蛭石混合料吸声砖 ,是目前主扇排风口消声装置中较理想的材料。具有耐燃、耐潮、抗腐蚀、无二次污染物和较好的吸声性能。图 14-2-31 为赤马山矿东、西风井排风口消声装置。采用排行式结构 ,消声器长 5~6m ,片间距 0.25~0.36m ,通道风速为 5.65~12.65m/s ,阻塞比 0.3~0.4 ,吸声砖厚度为 190mm。经测定 :东风井由 113dB(A)降至 80dB(A) ;西风井由 103.5dB(A)降至 78dB(A) ,阻力损失为 20~50Pa。

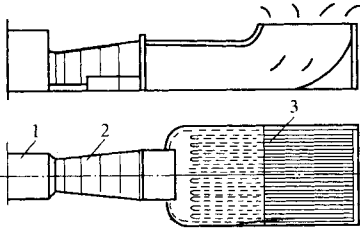


图 14-2-30 赤马山矿风井排风口消声装置

1—风机房 2—风机机壳 3—吸声砖

2. 局扇噪声控制

(1)用各种吸声材料和消声结构制成阻性消声器。图 14-2-32 是用玻璃纤维吸声材料固定在气流通道内壁而做成片式通道消声器,安装在局扇进、出口,它的原理是当声波进入消声器后吸声材料将一部分声能转化为热能而耗损掉。该消声器可使局扇风机噪声降低到 90dB(A)以下,但往往由于矿内空气十分潮湿,加上油、雾、粉尘的沉积,使用一段时间后消声效果明显下降。

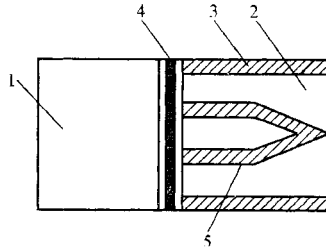


图 14-2-32 阻性消声器

1—局扇 2—消声器 3—吸声材料 4—法兰 5—消声柱

(2)微穿孔板消声器。该消声器是采用双层微穿孔板套制而成,如图 14-2-33 所示。这种由板厚在 1mm,孔径 1mm,穿孔率为 0.5%~5%的金属微穿孔板和空腔组成的阻抗复合消声结构,是一个良好的共振式吸声体,可使 11kW 和 5.5kW 局扇风机噪声降低到 90dB(A)以下。

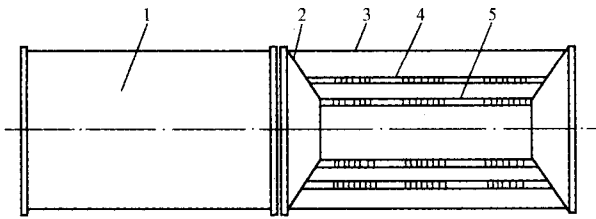


图 14-2-33 微穿孔板消声器

1—局扇 2—支撑圈 3—消声外壁 4—孔板外层 5—孔板内层

(3)柔性消声器。近年来,瑞典研制成功一种矿井局扇柔性消声器。该消声器外壳材料是聚氯乙烯,吸声材料是高密度的矿渣棉,衬里材料是穿孔薄钢板,长度为 1m,进气消声器与排气消声器结构相同,两者可以互换使用。若进气消声器被压扁,内径减小时,可换成排气消声器,则正压可迫使内径恢复原状,风机壳体贴上致密泡沫塑料,外用 PVC 密封,可降低噪声 13~20dB(A),广泛地使用在国外金属矿井。

#### (六)空压机噪声控制

##### 1. 空压机噪声的产生及其特性

空压机噪声是由进、出口辐射的空气动力性噪声,机械运动部件产生机械性噪声和驱动机(电动机或柴油机)噪声组成。从空压机组噪声频谱可看出:声压级由低频到高频逐渐降低,呈现为低频强、频带宽、总声级高的特点。由于矿井空压机房多建在副井口附近,噪声掩蔽运输和提升信号,容易造成井口地面的运输工伤事故。

2. 空压机噪声控制方法

(1) 进气口装消声器

在整个空压机组中,以进气口辐射的空气动力性噪声为最强,解决这一部位噪声的方法是安装进气消声器。对一些进气口在空压机机房里的场合,可先将进气口由车间引出厂外,然后再加消声器。这样消声器的效果会发挥得更好。

针对空压机进气噪声是低频声较突出的特点,消声器设计以抗性消声器为主。图 14-2-34 是用于 4L-20/8 型空压机上的进气消声器。它是由二节不同长度的扩张室组成。其消声原理为:当气流通过时,由于体积骤然膨胀,起到缓冲器作用,从而降低了气流脉动压力。同时,在管道不连续界面处因声阻抗不匹配而使声波产生反射,阻止某些声波频率通过,从而起到消声作用。该消声器各连通管不在同一轴线上,可以延宽消声频率范围,提高消声效果。该消声器的消声值为 15dB(A)。

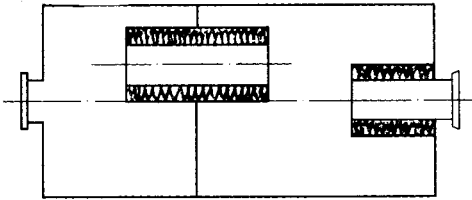


图 14-2-33 4L-20/8 型空压机进气消声器

(2) 机组加装隔声罩

空压机组隔声罩壁是选用 2.5mm 厚的钢板,内壁涂刷 5~7mm 厚的沥青做阻尼层。根据操作的要求,隔声罩上留有一扇足够大的门并镶上双层观察玻璃窗。为了供空压机进气和冷却用风及散热排风,在隔声罩适当位置上安装消声器。为了检修和安装的要求,隔声罩应做成装卸式结构,如图 14-2-35 所示。经测定:在空压机旁 1m 处的噪声级由 116dB(A)降到 90dB(A)。

(3) 空压管道的防震降噪

空压机的排气至贮气罐的管道,由于受排气的压力脉动作用,而产生振动及辐射出较强的噪声。可采取下列方法防震降噪。

① 避开共振管长。为了防止管道共振,在设计管道长度时,一定要避开共振管的长度。所谓共振管长度,是指空压机激发频率与管内气柱系统的固有频率相吻合而引起

共振,此时管道的长度称为共振管长。对于空压机的管道,它一端与压缩机的气缸相连,另一端与贮气罐相连通。由于贮气罐的容积远远大于管道容积,所以可将管道看成一端封闭。其声学管内的气柱固有频率可由下式计算:

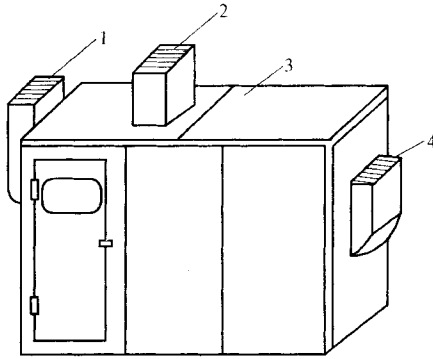


图 14-2-35 空压机的隔声罩

1—进气消声器 2—排气消声器 3—隔声罩 4—电机进气消声器

$$f_r = \frac{c}{4L}i \quad (2-21)$$

式中  $c$ ——声速  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$L$ ——管道长  $\text{m}$ ;

$i$ ——1、3、5……;可计算出基频及谐频。

一般共振区域位于 $(0.8 \sim 1.2)f_r$ 之间。设计输气管道长度时,应尽量避免与共振频率相关的长度。

②在排气管道中加装节流孔板。节流孔板相当于阻尼元件,对系统脉动起减弱作用,从而降低管道的振动和噪声辐射。

#### (4) 贮气罐的噪声控制

空压机不断地将压缩气体输送到贮气罐内,罐内的压缩空气在气流脉动的作用下,产生激发振动,从而伴随强烈的噪声,同时激励壳体振动辐射噪声。这种噪声,除采取隔声方法外,也可以在贮气罐内悬挂吸声体,利用吸声体的吸声作用,阻碍罐内驻波形成,从而达到吸声降噪的目的。

#### (5) 空压机站噪声综合治理

目前采矿企业内空压机站均有数台空压机运转,如对每台空压机都安装消声器,虽能取得一定的降噪效果,但整个厂房噪声水平并不能取得根本改善,可采取如下措施。

①建造隔声间。根据空压机站运行人员的工作性质要求,并不需要每班8h都站在机旁。建造隔声间作为值班人员的停留场所,是控制噪声切实可行的措施。在隔声间内

应有各台机组的开、停机按钮和控制仪表。可使隔声间噪声降低到 60 ~ 65dB(A) 以下。

②在空压机站内进行吸声处理。可以顶棚或墙壁上悬挂吸声体 ,降低噪声 4 ~ 10dB(A)。

(七)球磨机噪声控制

1. 球磨机噪声产生机理

球磨机主要由筒体、主轴承、传动装置、电动机等几部分组成。球磨机的噪声主要由筒体内的钢球、物料与衬板之间的相互撞击和研磨产生的噪声 ,该噪声由筒体表面向外辐射 ,它属于柱状声源。筒体噪声又分为两部分 :一部分是由撞击和研磨产生的空气声经筒体透射到周围 ;另一部分是筒体在钢球、物料撞击衬板多点激励下的声辐射。两者相比 ,后者更为强烈。除筒体产生噪声外 ,电动机、联轴器、传动装置也产生较大的噪声 ,约达 90dB(A) ,但它与筒体噪声相比 ,属于次要地位。

目前厂矿企业使用的各种球磨机 ,由于筒体大小不同 ,使用的钢球不同 ,所粉碎的物料不同 ,以及进料量不等 ,在实际工作中 ,它们所发出的噪声相差较大。图 14 - 2 - 36 为火力电厂磨煤用的大型磨煤机和耐火材料厂用的球磨机的噪声频谱图。

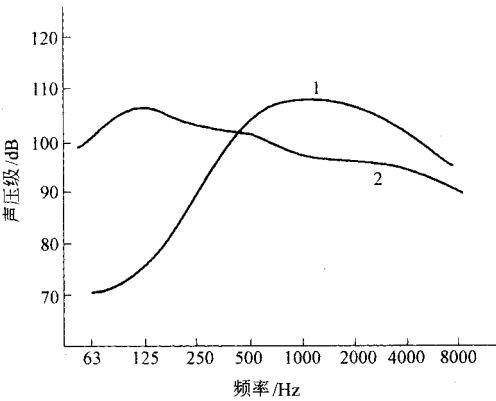


图 14 - 2 - 36 两种球磨机噪声频谱

1—φ1500 × 5700 球磨机 2—φ3000 × 6500 磨煤机

2. 球磨机噪声控制途径

- (1)确定合理的钢球数。钢球间的相互撞击是在钢球过多的情况下发生的 ,过多的钢球对物料的粉碎无作用 ,反而增加撞击噪声。因此 ,通常在球磨机中所装钢球体积占筒体容积 30% ~ 35% ,而钢球最大直径为筒体直径的 1/8 ~ 1/24 时才算合理。
- (2)改变钢球的材料。在满足粉碎物料的条件下 ,可用高阻尼合金球代替钢球。这种材料比钢的内耗大 ,所以激发的噪声比钢球小。
- (3)设置弹性层。如前所述 ,球磨机的噪声是由于球磨机滚筒内钢球撞击到衬板上 ,

并经筒壁向外辐射。因此在滚筒的内表面与衬板之间铺设弹性层,由于消除二者之间的刚性连接,从而降低这种辐射噪声。要选用工业用的耐热软橡胶垫作为弹性层,内衬厚度与滚筒外壳厚度通常的比值为2:1。但当弹性较大时对生产效率会有影响。因此,对于各种类型球磨机必须通过试验来选定弹性层的硬度和厚度。

(4)改变内衬板材料。一般球磨机衬板材料采用锰钢,钢球落在其上产生较大撞击声。如采用橡胶衬板代替锰钢衬板,可以大大地降低噪声。据某矿进行试验结果表明,其声级由原来的102dB(A)下降至93dB(A),频谱特性由高频变成低频。

(5)阻尼包扎、减振隔声。在球磨机筒外壁上紧紧包扎一层阻尼隔声材料,降低筒体振动的声辐射。其操作步骤为:先在筒外壁粘贴一层橡胶,再加一层玻璃棉或工业毛毡,最外层用金属铁皮,并用卡箍夹紧筒体。一般可获得10dB(A)以上的降噪量。图14-2-37为球磨机阻尼包扎示意图。

(6)安装隔声罩或建造隔声间。

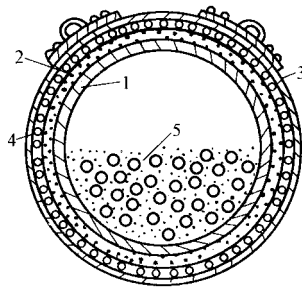


图 14-2-37 球磨机包阻尼隔套

1—筒体 2—橡胶(1~2cm) 3—玻璃棉;  
4—金属皮或木制套 5—钢球和磨料

## 第三章 矿山生态复垦优化系统

### 第一节 矿山生态复垦优化系统

#### 一、生态复垦优化系统问题的提出

矿业开发破坏地形地貌 ,破坏土地资源 ,破坏生态环境 ,使人类生存面临严峻形势。因此 ,社会、经济和环境效应要求对破坏的土地资源进行综合整治 ,重建土地生态系统 ,已是势在必行。

根据依托矿山条件 ,生态适宜性和可开发性 ,应用生态学原理通过生态优化复垦研究 ,使破坏了的生态平衡体系得到最佳的恢复与发展。使矿业发展与环境保护协同进行 ,使土地资源的开发与复垦走上良性循环的轨道。通过生态复垦优化研究 ,指导多层次多功能综合农业复垦 ,取得更高的社会、经济和生态效益 ,为矿区生态复垦的实施提供理论依据 ,这对于提高矿山经济效益 ,优化选择复垦模式 ,保护生态平衡 ,重建生态平衡过程 ,改善作业环境 ,保护土地资源 ,缓解工农征地矛盾 ,有现实指导作用和深远的战略意义。

#### 二、生态复垦优化系统研究内容

生态复垦优化系统研究内容可分如下几点 :

1. 以生态学理论为指导 ,采取理论与实践相结合 ,依托典型矿山复垦实践 ,采用先进优化技术及计算机手段优化选定生态复垦模式。以典型矿山为依托 ,收集有关土地资源

资料 ,进行矿区土地价值方面的资料调查工作。

- 2. 采用考虑均衡度的模糊综合评价法对典型矿山生态环境破坏程度及土地适宜性进行综合评价 ,为确定矿山生态复垦方向提供依据。
- 3. 采用生态可行和经济可行双重选优方法选择生态复垦模式 ,根据系统能流、物流分析结果 ,反馈修复复垦模式 ,用现代优化技术优化选定较完善的复垦工艺和方法。
- 4. 对典型矿山复垦土地 ,因地制宜 ,农、林、副、渔并举 ,采取措施 ,加速熟化土壤 ,缩短复垦周期 ,尽快重建生态稳定的较优的植物群落新区。
- 5. 对复垦区进行复垦前后的环境对比 ,全面评价经济、社会及环境效果 ,评估生态复垦效果。

三、生态复垦优化系统研究方法

生态复垦优化系统研究方法有：

- 1. 分析国内外及本地区现有的生态复垦方法及适用条件、优缺点。
- 2. 依托典型矿区 ,进行生态调查 ,确定生态复垦范围 ,调查自然环境概况 ,社会经济概况 ,建立数据库。

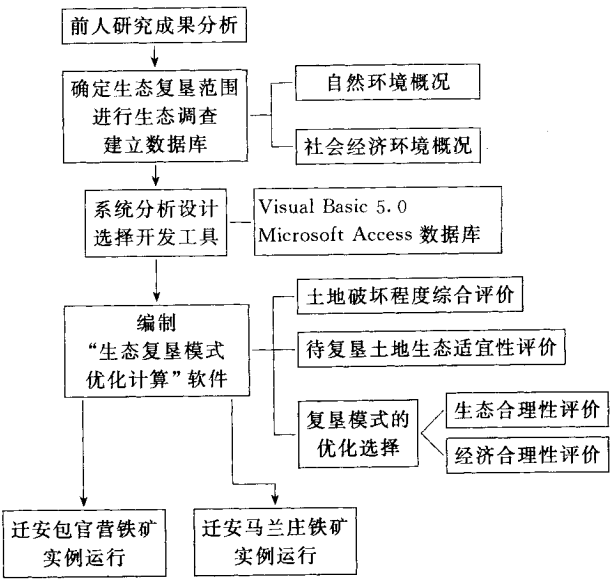


图 14-3-1 研究步骤框图

3. 采用 Visual Basic 语言、Microsoft Access 数据库 ,编制 矿山生态复垦模式优化 软件 ,包括土地破坏程度综合评价、土地适宜性评价、生态复垦模式优化选择等几个主要模块。



- 4. 采用考虑均衡度的模糊综合评价方法优化选定排土与复垦相结合的方案。
- 5. 应用该软件对两个典型矿山进行了生态复垦模式优化研究。

四、生态复垦优化系统研究特色

生态复垦优化系统研究特色有：

- 1. 针对中小矿山首次提出矿山生态复垦的思想 ,即不单纯追求土地的恢复而是优化再建土地生态系统 ,使破坏了的生态平衡体系得到最佳的恢复与发展 ,并在典型矿区得以实践。
- 2. 以土地学、生态学、土壤学、采矿学及数学优化理论为指导 ,依托矿区条件 ,采用定量分析方法 ,对土地破坏程度及生态适宜性进行综合分析 ,将模糊数学应用到复垦规划中。
- 3. 用生态可行及生态经济可行选优方法 ,优化选定生态复垦模式 ,建立适宜不同条件的优化复垦工艺 ,使所设计的复垦生态系统结构合理、功能健全 ;分析了复垦生态系统的能流、物流 ,并根据分析、计算结果 ,反馈修改模式 ,力图使复垦生态系统的生产力更高 ,形成物质良性循环 ,同时对复垦模式进行经济分析 ,使生态复垦模式具生态可行性 ,在经济上也合理。
- 4. 采用 Visual Basic 语言、Microsoft Access 数据库 ,编制“生态复垦模式优化计算”软件 ,取代了传统的手工估算方法 ,这不仅省时、省力 ,误差小 ,计算准确 ,而且通用性和适应性强 ,为中小矿山生态复垦模式进行优化研究 ,提供了一套计算机系统。
- 5. 在矿山扩建中将排土与复垦及生态重建作为一个有机统一体 ,利用多目标决策方法优化选定排土与复垦方案 ,在此提出了考虑均衡度的模糊综合评价方法。从而保证了将复垦纳入排土工艺 ,使复垦工作提前开展 ,增加了边坡的生态可恢复性 ,减少了水土流失。

五、生态复垦模式优化系统

生态复垦模式优化涉及的土地破坏评价 ,土地适宜性评价 ,能流、物流计算以及经济效益评价 ,工作量繁重 ,若仅通过人工经验和手工运算 ,不仅要花费较多的时间和精力 ,而且也难以做到快速和准确。评价指标的计算失误多 ,就不可避免地影响决策的科学性和准确性。计算机在这一领域的应用很好地解决了这一难题。计算机是信息存储、分析、处理以及逻辑推理的重要工具 ,它与当代数学紧密结合可以很快完成大量的计算任务 ,为方案决策的快速和准确提供了现实可能性。

在此编制了“矿山生态复垦模式优化”软件作为研究的计算工具 ,该程序采用 Visual

Basic 语言、Microsoft Access 数据库进行编程。Visual Basic 的问世开辟了程序设计的新天地,Visual Basic 为事件驱动程序设计语言,它继承了 Basic 语言简单易用的优点,吸取了 C 语言言语丰富的长处,能开发出同 Windows 界面效果一致的应用软件。

“矿山生态复垦模式优化”计算软件采用多文档界面 MDI,即在单个容器窗体中包含多个窗体的应用程序。为了使程序结构清晰和调试容易,把整个程序分成几个互相比较独立的功能模块,并且使模块间的接口尽量少。各模块可针对不同的问题,单独使用进行计算,也可互相调用数据,对一个系统进行完整的计算。MDI 应用程序可同时显示多个模块,每个模块显示在它自己的窗口中。模块或子窗口被包含在父窗口中,父窗口为应用程序中所有的子窗口提供工作空间。当父窗口最小化时,所有模块窗口也被最小化,只有父窗口的图标显示在任务栏中。

在本程序中,采用菜单形式管理各子模块,每一个子模块窗体的菜单都显示在 MDI 窗体上,而不是在子窗体本身。当子窗体有焦点时,该子窗体的菜单(如果有的话)就代替菜单栏上的 MDI 窗体的菜单。如果没有可见的子窗体,或者如果带有焦点的子窗体没有菜单,则显示 MDI 窗体的菜单。

程序开始运行,首先显示数据编辑窗口,在该窗口可以对程序运行时所需的数据进行编辑,进行如菜单所示的各种操作,并可将最终结果制成数据文件。

数据编辑完毕,关闭数据编辑窗口,就可进入应用程序的主窗口,在这个窗口可选择进行哪一部分的计算。

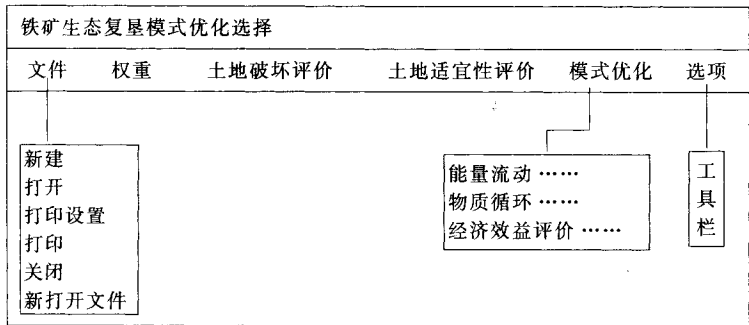


图 14-3-2 程序主窗口

本程序主要模块有五部分,1 个辅助功能模块,4 个计算模块——模式优化权重计算模块、土地破坏程度评价模块、土地适宜性评价模块、复垦模式优化模块,现将其介绍如下:

### 1. 辅助功能模块

辅助功能模块的名称为文件,主要功能有:

- (1)新建 在程序运行时建立新的数据文件。
- (2)打开 提供打开对话框 ,允许用户选择打开文件。
- (3)打印设置 提供打印设置对话框 ,允许用户选择打印机、打印纸大小和打印方向。还提供了显示另一个对话框的命令按钮。这个对话框用于访问打印机的其它属性。这些属性随打印机的不同而不同 ,包括半色调、负片和镜像打印、比例和优化 Post Script。
- (4)打印 提供打印对话框 ,用户可选择打印页数的范围或指定打印的份数 ,然后打印所选的窗口或运行结果。
- (5)关闭 关闭正在运行的窗口。
- (6)新打开文件 :可列出最近打开的 3 个文件。

2. 模式优化权重计算模块

评价因子的权重计算均采用“ 主、客观赋权法 ”,权重计算模块利用人机交互输入数据 ,完成土地破坏程度评价和土地适宜性评价中评价因子分配权重的计算。

3. 土地破坏程度评价模块

采用模糊综合评价法 ,利用矿山实测数据 ,对其破坏程度进行综合评价 ,显示评价地块所占的评价等级以及大致的复垦方向 ,并为土地适宜性评价提供依据。

4. 土地适宜性评价模块

采用基于模糊数学原理的模糊集合综合评价法 ,依据矿山实测数据和土地破坏评价结果 ,对土地的适宜性进行评价 ,评价结果作为复垦具体实施的依据。

5. 复垦模式优化选择模块

复垦模式优化选择模块共包括 13 个子模块 ,如图 4-3-3 所示。该模块采用 3 级菜单形式 ,增强了该程序的功能。

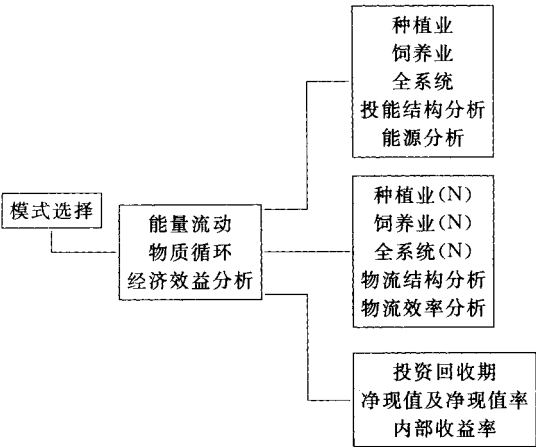


图 14-3-3 复垦模式选择模块的三级菜单

模式选择模块涉及大量数据的存储与运算,在本程序中使用 Visual Basic 语言调用 Microsoft Access 数据库来管理这些数据,用 Data 控件来创建应用程序。

## 第二节 土地破坏程度综合评价

对矿山开采已被破坏土地进行评价和按矿山开采规划对以后将要破坏的土地进行预测评价是矿山生态复垦的一项重要内容,可为生态土地复垦、土地利用规划及复垦工程设计提供基础数据。作为土地破坏程度综合评价的第一步。它揭示了土地的可资利用范围以及利用上的潜在能力,它对于进一步研究土地的承载能力、区域可持续发展战略有重要意义。

### 一、土地评价单元划分

土地评价单元是复垦土地评价对象的最小单位。同一评价单元在土地的基本属性方面是基本一致的。由于复垦土地评价的最终结果是通过复垦土地评价单元的质量鉴定得出的,因此,评价单元的划分与复垦土地评价工作量的大小和评价成果应用有密切的关系。目前,复垦土地评价中划分评价单元的方法主要有以下 3 种:

1. 采用土壤发生学分类的某一级(耕地采用土种,牧地采用土属)作为评价单元。土种是土壤分类的基本单元,是具有相同地形、母质、质地、剖面构型的地块的集合。同一种土种,其土层厚度、质地、障碍层次、pH 值等基本相似,只在量上有变异。所以,可以认为同一土种的肥力是一致的。

2. 采用土地类型作为评价单元。土地类型可看成是一定气候条件下的地貌、土壤和植被的共同体。首先进行地貌、土壤和植被的单项调查,然后根据上述土地要素在空间的不同组合形成,划分不同的土地类型。土地类型常以地貌-土壤-植被联合命名,称为三名法,如中山-黄棕壤-常绿阔叶林草灌丛。也有的以土壤-地貌联合命名,如黄棕壤-丘陵地。

3. 按耕作地块作为评价单元。在同一土地单元内,不仅地貌特征相对一致,而且水热条件、土壤特点以及土地利用方向和生产管理也颇为相似。故按耕作地块作为评价单元,这对于合理利用每一块复垦土地,具有较大的实用价值。

### 二、评价因素、因子的选择

#### 1. 选择原则

由于影响土地分级的因素很多,应视具体情况选出有关的主导因素(必选因素)和非主导因素(选择因素)参加评分,以提高对被破坏土地定级的准确性。确定必选因素的基本原则是:

(1)影响大,对分级具有重要作用。如果缺乏这些主要因素即使其它次要因素、因子再多,也不能概括土地质量等级。

(2)覆盖面广,适用于一般矿山受破坏土地的评价。要求参评因素对一个区域内矿山土地单元都有一定影响,否则容易产生不均衡现象,不能真实反映各矿山土地的差别,不能进行有效的对比。

(3)能反映出土地质量的差异。土地分等定级的实质就是要揭示土地等级质量的差别,如果参评因素不能达到这一目标,即使重要性再大,也会失掉现实意义。

(4)因素指标值有较大的变化范围,因素、因子的资料容易取得,避免人为意志的干扰。

### 2. 评价因素、因子确定

根据矿山生态复垦的要求,依据国家土地资源评价等级表(GB/T 15772—1995),选择4个评价因素,共包括9个评价因子。将土地分为六级,等级高的作为农林果牧用地都适宜,等级低的一般不宜作农地,可依次作为经济林或人工草地和人工林地,最低的等级一般是难利用土地。

评价因素、因子的具体内容如下:

(1)物理性状:包括地貌和地面坡度两个因子。

地貌:又称地形,是地表外貌各种形态的总称,它是内动力地质作用和外动力地质作用对地壳作用的产物。按其形态可分为山地、丘陵、高原、平原和盆地等地貌单元;按其成因可分为构造地貌、侵蚀地貌、堆积地貌和气候地貌等类型;按动力作用的性质可分为河流地貌、冰川地貌、岩溶地貌、海成地貌、风成地貌和重力地貌等类型。从农业地貌的角度出发,采用定量描述的方法,依次划分为平整大块、缓坡大块、缓坡小块、陡坡小块、急坡破碎和难利用地六个等级。

地面坡度也是一个重要的条件,接近平坦或有缓坡的土地可增加水分的渗入,较不易被侵蚀。平地及洼地排水不良,限制氧气对根的有效性,陡坡上进入土壤的水分较少,且易被侵蚀。

(2)化学性状:包括土壤酸碱性和有机质含量。

土壤酸碱性是土壤溶液的重要性质,它影响着植物生长、微生物活动,以及土壤养分有效性等。土壤溶液的酸碱性分酸性、中性和碱性,用酸碱度(pH值)表示。根据植物适宜的pH值,可进行酸碱性调节,土壤改良便是调节酸碱性的主要内容,酸性土壤改良最

有效的办法是施用石灰和草木灰,碱性土壤改良可施用石膏、硫磺或明矾。

土壤中的有机物质是指土壤中的动植物体,以及它们分解腐烂的产物。如活的动植物体,是活的有机物质。死的有机物质经过腐烂、转化、合成,常呈黑褐色的物质,称为腐殖质。有机物质的主要成分是碳、氢、氧,还有氮、磷、硫以及少量的铁、镁等元素。土壤有机物质的含量和微生物活动是影响土壤生产力的关键因素,它在土壤的理化、生物变化中起着主要的作用。因此,应尽量保护和增加土壤中的有机质,如增施有机肥,再配合适当的耕作排灌措施,就可以迅速增加土壤有机质的含量,使死土变成活土。能表明土壤中有机质含量的有:颜色(越黑越好);腐殖酸的含量(越高越好);碳氮的比率(越小越好)。

(3) 土体剖面:包括土壤质地、土层厚度、砾石含量和土壤侵蚀程度。

土壤质地是土壤生产力的重要特性,是土壤颗粒各种粒级的相对比例,即砂粒、粉粒和黏粒的百分比,一般说来,黏粒含量越高,土壤板结的可能性就越大,它决定着土壤供给作物养分、水分和空气的能力。目前,我国以砂粒(物理性砂粒)和黏粒(物理性黏粒)的百分含量为依据,将土壤质地分为3类(砂土类、壤土类和黏土类)九种(松砂土、砂土和砂壤土、轻壤土、中壤土和重壤土、轻黏土、中黏土和重黏土)。

土层的厚度是土壤的基本性状,因为土壤层的厚薄决定着不同根系作物的生长。土层厚度一般以植物能利用的土壤母质层为界限。一般作物正常生长要求的土层厚度,应在1m以上最好,起码也应有0.5~0.7m,表层土壤(有时简称表土)是整个土壤剖面里最肥沃的一层,在很大程度上,表土应认为是土壤的主体,而底土和母质都是不同程度的未熟化的土体部分。因此,在剥离时,应尽量使表土分层剥离,另行堆存,以减少表土中营养成分的损失,因为表土层的具体情况反映着土壤肥力的指标。

砾石含量影响土壤的蓄水量,支配着土壤渗水能力,决定土壤的孔隙度。砾石含量高,土壤蓄水能力低,有效养分易于流失;砾石含量过低,对植物生长有一定的影响,主要表现为植株矮于正常高度,根系浅或呈畸形,生长缓慢,产量低等。

土壤侵蚀程度和许多因素有关,比如说渗透性好时增加土壤抑水性,减轻侵蚀;渗透性不良时增加了径流和侵蚀。粉砂土易受侵蚀,地面呈陡坡时进入土壤的水分较少,易被侵蚀等。

(4) 管理现状即有无灌溉条件。

作为农业区,有无灌溉条件是一个重要因素,矿物质的风化、微生物的活动、有机物的合成与分解以及土壤中所有养分的运转都必须有水分存在才能进行。

### 三、土地破坏评价方法选择

土地是一个多因素耦合的复杂动态系统,随着土地破坏程度评价工作的不断深入,

需要研究的变量关系也愈来愈多、愈加错综复杂,其中既有确定可循的变化规律,又有不确定的随机变化规律。另外,人们对土地质量的认识也是既有精确的一面,又有模糊的一面。土地质量同时具有的这种精确与模糊、确定与不确定的特性都具有量的特征。有的时候可以用精确的语言来表述,有的时候则需要用模糊的语言来表述。

在土地破坏评价的整个过程中,被评价的对象、评价方法甚至评价主体及其掌握的评价标准都具有不确定性。把土地破坏评价中不确定性的原因大致可归纳为:认识上的局限性、数据的不充分性或不可靠性、土地质量本身具有的随机性和可变性等三个方面。由此,土地破坏评价结论必然存在一定程度的不确定性。如何处理评价中的不确定性因素,不仅关系到评价结论是否全面地反映土地质量的价值,而且还关系到依据评价结论所做的决策是否正确。

模糊数学的兴起为确定和不确定,为精确与模糊的沟通建立了一套数学方法,也为解决土地质量评价中的不确定性开辟了一条途径。将模糊评价方法引入土地破坏程度评价是客观事物的需要,也体现主观认识能力的发展。

### 第三节 待复垦土地适宜性评价

#### 一、概述

待复垦土地的适宜性评价是对受破坏土地针对特定复垦方向的适宜程度所作出的判断分析。这些特定的复垦方向包括农作物种植、水产养殖、家禽家畜养殖、林果种植、蔬菜种植、建筑利用和娱乐场所等。矿区待复垦土地资源属于特殊立地条件,即土地用途受到极大限制,土地资源位于特定环境条件下,它不同于一般的土地资源,有其特殊性。

##### 1. 土地破坏程度制约土地复垦利用方向

土地破坏程度越严重,土地复垦利用方向限制越大。土地破坏程度对土地复垦利用方向的制约程度可通过增加投入来弥补。复垦投入越大,复垦方向的选取越灵活。

##### 2. 非现状、非评价对象本身的因素起较大的制约作用

非现状因素是指未来开采的影响程度、种植习惯、管理水平、复垦工程措施的选取等,非评价对象本身的因素是指相邻采区的情况、相邻区域的环境条件和土地利用模式、水利设施、交通运输条件和充填料来源等。因此,待复垦土地的适宜性评价不只是对现

状的评述,还具有一定的预测性。评价因子应包括非现状、非评价对象本身的因素。

### 3. 经济、环境、社会效益必须有机结合

矿区破坏土地的复垦利用既是一项经济活动,又是矿区环境治理的任务,因此必须兼顾经济、环境和社会效益。

### 4. 区位原则具有特定的含义

所谓区位原则,是指地块地理位置的差异带来经济效益上的差异。待复垦土地范围一般较小,区位原则具有特定的含义,即:地块距充填料来源地近时,复垦土地利用方向的选择范围大;地块距水源地近且有深坑时,越宜发展水产养殖业;距矿山工业广场愈近地区越需加强绿化造林,以改善矿山环境质量等。

## 二、土地适宜性评价依据及评价因子选择

待复垦土地适宜性评价是根据联合国粮农组织的《土地评价纲要》、《唐山土壤》结合矿山的实际进行的。《土地评价纲要》将这一系统分为纲、类、亚类、单元四级。首先分为适宜纲和不适宜纲,然后根据土地适宜性的程度(高度适宜、中等适宜和临界适宜),在适宜纲内,划分适宜类。不适宜纲类,通常分两类,暂时不适宜和永久不适宜;其次在适宜类内,根据限制性因素的种类(如土壤水分亏缺、侵蚀危险等)划分适宜性亚类;最后,土地适宜性单元则表示土地的生产特征和管理要求,同一适宜性单元具有相似的生产潜力和相似的管理措施。

根据需要将评价对象分为适宜纲和不适宜纲,适宜纲又分为宜农用地、宜基塘复垦用地、宜林果用地3类;对宜农用地又进一步分为一级宜农用地和二级宜农用地。

不同的复垦方向,其影响因子不尽相同,因素间的重要性也存在差异。3种不同的复垦方向的影响因子分别为:

1. 农作物种植复垦方向。影响因素有:积水状况、土地利用现状、排灌条件、区位条件和土壤条件等。积水状况和土地利用现状反映了土地破坏程度以及土地的能力和耕作条件等;排灌条件包括两个方面,即旱能灌、涝能排,它直接影响土地生产力的发挥。区位条件是指复垦地块距充填料及水源、道路的远近。土壤条件没有细分为有机质含量、土层厚度等因素,主要是土地破坏评价中已涉及,再则据测试评价区域内土壤条件变化不大。其它因素,如地形起伏等对农业生产限制较大,但同一小区域内这些因素的取值或条件变化不大,故可以不考虑这一因素。

2. 基塘复垦方向。影响因素有:水源条件、积水状况、治理现状及其它外部条件。外部条件是指能否成片开发,政府与农民的积极性,水、电、路通畅条件等。

3. 林果种植复垦方向。影响因素有:环境污染程度、治理现状、地表标高及区位条件



等。

三、适宜性评价方法

常用地适宜性评价方法有极限条件法、指数法和模糊数学等方法。使用一种基于模糊数学原理的模糊集合综合评价法。

模糊集合综合评价法由单项适宜性评价模型和多目标生产布局决策模型两部分组成。

1. 单项适宜性评价模型

设对某一复垦方向作适宜性分析 ,影响因素有  $m$  个 ,每个因素对应一个状态集  $V_i$  为 :

$$V_i=(v_{i1},v_{i2},\dots,v_{ij},\dots,v_{in})\quad(i=1\sim m,j=1\sim n)\tag{3-1}$$

式中  $i$ ——影响因子序号 ;  
 $j$ ——某一复垦方向适宜等级。

例如对影响因子附加坡度而言 ,若将宜农复垦方向分为两个等级 ,则它所对应的状态集为  $v=(\leq 0.5^{\circ},>0.5^{\circ})$  ,显然 ,每个因素的状态集都是一个对指定复垦方向从优到劣的全序集。

所有影响因素属性值的优劣可用矩阵  $R$  表示。

$$R=\begin{vmatrix} a_1p_{11} & \cdots & a_ip_{1i} & \cdots & a_mp_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ a_1p_{j1} & \cdots & a_ip_{ji} & \cdots & a_mp_{jm} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ a_1p_{n1} & \cdots & a_ip_{ni} & \cdots & a_mp_{nm} \end{vmatrix}\tag{3-2}$$

式中  $a_i$ ——第  $i$  个因子对指定复垦方向的影响权重值 ;  
 $p_{ji}$ ——第  $i$  个因子对指定复垦方向  $j$  适宜等级的贡献函数值(或称适宜分值)。

$p_{ji}$  的确定方法是 :首先设定一等级的适宜分值 ,其它适宜等级的分值用贡献函数方程确定。

显然 , $j$  等级的理想分值  $p_j$  为

$$p_j=\sum_{i=1}^mp_{ji}\quad(j=1,2,\dots,n)\tag{3-3}$$

设每个评价单元或地块的属性指数值为  $ID$  ,则有 :

$$ID=\frac{\sum_{i=1}^ma_ip_{1i}}{\sum_{i=1}^ma_ip_{ji}}\tag{3-4}$$

又设  $D$  为评价单元对于  $j$  等级的相容度 则有：

$$D = 1 - |ID - p_j/p_j| \tag{3-5}$$

若某一等级的理想分值  $p_j$  使  $D$  值最大 则可将此评价单元归为  $j$  等级。

2. 多目标生产布局决策模型

设备选复垦方向有  $k$  个 这时就需建立多目标生产布局决策模型进行综合适宜性评价。

设与  $k$  复垦方向有关的因素有  $r$  个 , $r$  个因素的实际属性指数值为 $(t_1, t_2, \dots, t_r)$ , 对于  $k$  复垦方向最佳要求的属性值为 $(T_1, T_2, \dots, T_r)$ , 于是 ,实际属性与取佳要求属性存在距离

$$d_k = \sqrt{\sum_{i=1}^r \alpha_i (t_i - T_i)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, r) \tag{3-6}$$

比较  $k$  个复垦方向的距离  $d_k, d_k$  最小者即为最佳复垦方向。

四、评价因子、属性及权重的确定

根据评价因子、评价方法的选择 ,各复垦方向的参评因子属性值及由权重模块计算得到的权重值可见表 14-3-1、表 14-3-2 及表 14-3-3。

表 14-3-1 农作物种植复垦方向的参评因子、权重及属性

评价因子		积水状况	土地利用现状	区位条件	排灌条件	土壤条件
因子权重		0.12	0.25	0.21	0.24	0.18
属性	一级 (100)	无	水浇地、菜地及 稻麦两熟地	距排水沟近、离 污染源远	起伏小、有排灌 设施	轻壤、中壤质褐土、水稻土
	二级 (80)	短期积水	旱地	距排水沟远、离 污染源远	排灌设施不健 全	中壤质淋溶褐土,砂质、黏质 潮土
	三级 (60)	季节性积水	可改造荒地、草 地	距排水沟近、离 污染源近	有起伏、排灌设 施不健全	轻盐化潮土杂砂黑土
	四级 (40)	常年积水	难利用荒地	距排水沟远、离 污染源近	起伏大、无排灌 设施	砾质中层轻、砂壤质淋溶褐土

表 14-3-2 基塘复垦方向的参评因子、权重及属性

评价因子		水源条件	积水状况	治理现状	外部条件
因子权重		0.10	0.16	0.34	0.4
属性	一级 (100)	好	常年积水	精养鱼塘,浅滩区	距污染源远,有成片 开发可能
	二级 (80)	不稳定	季节性积水	深水区	距污染源远,无成片 开发可能
	三级 (60)	较困难	短期积水	未曾利用	距污染源较近,有成 片开发可能
	四级 (40)	无生活水源	无	难利用	距污染源近

表 14－3－3 林果种植复垦方向的参评因子、权重及属性

评价因子		地表标高	污染现状	治理现状	区位条件
因子权重		0.14	0.29	0.26	0.31
属性	一级 (100)	平地	无	完全开发利用	远离污染源
	二级 (80)	洼地、丘陵	微	部分利用	沟、渠、路居民点四周
	三级 (60)	较高	轻	修整中	厂、矿四周
	四级 (40)	高	严重	荒地	距污染源近

五、评价步骤

评价步骤可分为：

1. 划分土地评价单元 :与土地破坏评价的单元划分一致。
2. 确定具体的复垦方向( 根据土地破坏评价得出 )。
3. 选择影响因子 ,这些因子包括土壤、气候、地貌和地物等自然因素 ,工农业生产布局、资金投入和土地利用结构等经济因素 种植习惯和行政区划等社会因素。
4. 按照设定的标准评判某一地块的各个因子对指定复垦方向的适宜程度。

## 第四章 矿山土地复垦技术

### 第一节 矿山土地复垦技术

#### 一、矿山土地复垦模式

矿山土地复垦按《土地复垦规定》定义为：“土地复垦是指对在生产建设过程中，因挖损、沉陷、压占等造成破坏的土地，采取整治措施，使其恢复到可供利用状态的活动”。中小矿山多是露天开采，少数是地下开采，其被压占、破坏的土地，一般是内外排土场、尾矿场和露天采场。沉陷地是地下开采时才出现。

根据复垦顺序，一般前期是工程复垦，后期是生物复垦。前者是根据当地自然条件，土地破坏情况，结合采矿工程特点，采用采矿设备，纳入采矿工艺，对破坏土地进行顺序回填、平整、覆土及综合整治利用。后者是利用生物措施，恢复土壤肥力与生物生产能力的活动，主要内容有土壤评价与改良，植被品种筛选和植被工艺优选等。

根据复垦目的，依据生态学原理，因地制宜，复垦类型可分为建设用地复垦、农业复垦、林业复垦、渔业复垦和草地复垦等。对于地方中小型矿山，因其尾矿排放管理不善，废石、尾矿排放无序等，研究表明：应把治理尾矿、废石纳入工艺过程，使采、选、排、覆土和植被等各环节结合起来，形成工艺系统。又因为中小型矿山规模小，废料量少，易于采取灵活形式，将治理与复垦相结合，因地制宜，充分利用有利地形，山谷，低洼地，就近选址废石场和尾矿场，分期分片排放，分片复垦工艺。

#### 1. 排土场复垦模式

迁安李庄子铁矿、包官营铁矿、遵化市王爷陵铁矿利用废石填沟,将表土分别堆放再覆于废石场表面已取得成功经验,其工艺过程如图 14-4-1 所示。

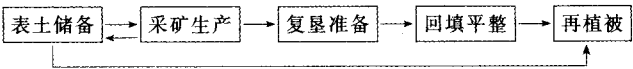


图 14-4-1 排土场复垦一般工艺流程图

排土场复垦工程步骤：

(1) 边排土边复垦或将剥离表土分运分排分堆,覆土厚度一般在 50cm。农业耕种要覆盖 10~15cm 土壤,容根层要超过覆盖层 3~5 倍,有些废石场的表土适宜农作物生长,可不必另覆盖一层土壤,可依靠生长的植物逐步形成腐殖层,达到逐步改良土壤复垦条件的目的。

(2) 排土场要平整表面,要有一定的缓坡(不小于 0.5%),修沟渠,避免水土流失。

(3) 排土场边坡复垦,在可能条件下,可采取削缓边坡至 28°~35°,在边坡喷覆泥浆,喷种草籽或植被,或挖鱼鳞坑植树等,防止水土流失。

(4) 排土场表面在场外客土土壤不足的情况下可以搞挖坑栽树(坑直径 1m,坑深 0.8~1.2m)如栗树。

2. 河滩围池尾矿复垦模式

该复垦模式已应用于有大面积河滩地的马兰庄铁矿。

复垦工程：

(1) 将河滩地坝区划分成方形池(每池 2.67hm<sup>2</sup>(40 亩)左右),便于顺序排尾,顺序用于复垦。

(2) 围埝,埝高 3m,埝顶宽 1~1.5m,边坡 1:1,坝内底平面形成向溢流管倾斜的 3%~5% 坡度。

(3) 埝内一侧设溢流口,溢流管顶口低于埝顶 0.1~0.2m。

(4) 尾矿向池内流入充填,清水溢流池外为选厂复用或排入田间或入河流,溢流管每隔 30~50cm 开一排孔以减少溢水积存深度。溢流管每隔 20m 设一排尾矿管,一池排尾矿,排满后,干燥 20 天,再平整,在上部覆土 25~30cm 后可种植农作物,然后尾矿管转排相邻另一池,重复上述作业,其工艺如图 14-4-2 所示,工艺流程见图 14-4-3。

3. 尾矿充填低洼地或冲沟复垦模式

迁安市赵店子铁矿,包官营铁矿,迁西汉儿庄铁矿,遵化王爷陵铁矿均采用此模式复垦土地,种植沙地梨,间种旱田作物和小麦,水稻也成方成片,长势良好。这种复垦模式适用于选厂附近有冲沟、山谷或低洼地。这种尾矿库坝短,工程量小,基建费用低。工程

要求:用废石在适宜的山谷或冲沟处分段筑坝,坝高一般小于 $4\sim 5\text{m}$ ,岩石砌坝有孔隙可将尾矿水渗出,或在坝内埋设溢流管,排出的清水由回水系统回收供选矿厂重复使用。尾矿充填顺序是先充填山谷的地势高处,再充填低处,便于分区复垦,尾矿充满于涸后经推土机平整,在上部铺以 $25\sim 30\text{cm}$ 覆土即可种植农作物,如图14-4-4所示。

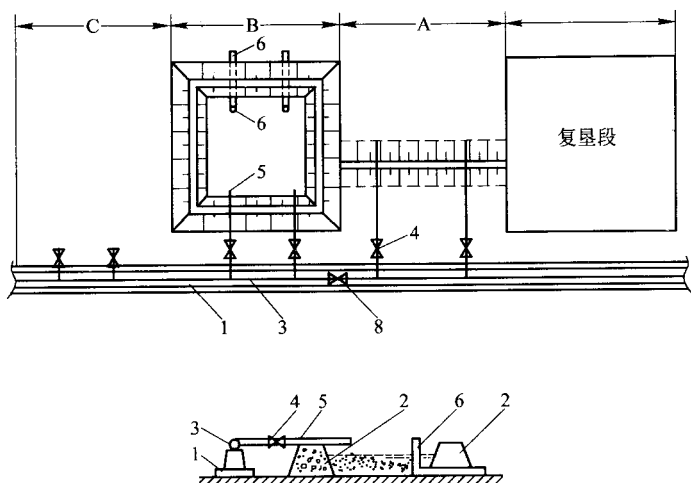


图 14-4-2 河滩围池尾矿复垦示意图

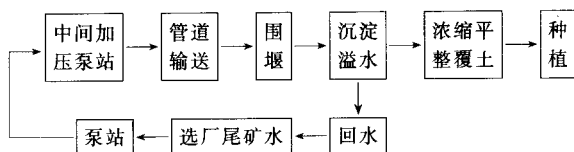


图 14-4-3 尾矿复垦工艺流程图

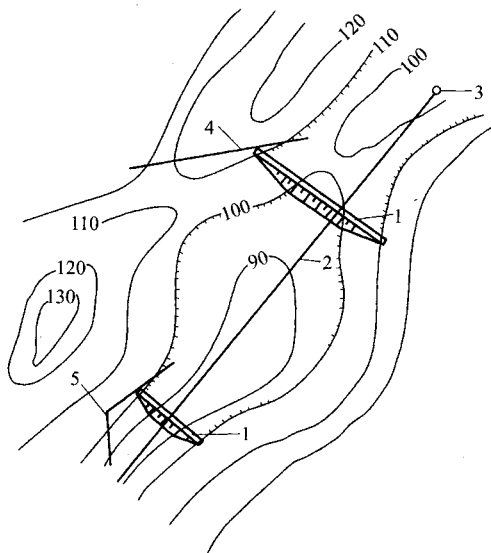


图 14-4-4 尾矿充填低洼地或冲沟示意图

#### 4. 尾矿库分期分段种草植林复垦模式

该种复垦模式在迁安首钢矿山公司,大石河矿区尾矿库已分段在尾矿库干坡段植树、紫穗槐、沙棘,起到了固沙固氮、绿化环境、加速熟化、减少污染的作用,经过种植也增加尾矿沙的有机质含量。此种模式适用于较大的、服务年限较长的尾矿库,要根据尾矿库干坡段进展情况分期分段种草植林。

## 二、矿山土地复垦技术要点

### 1. 排土场复垦技术要点

排土场复垦技术要点如下:

(1)结合排土场复垦规划实施,把复垦纳入排土工艺,应把地表熟化土壤分别堆置,堆高不宜超过10m,以防止土壤有机质及细菌含量下降,堆置时间不宜超过一年。

(2)结合排土计划应考虑就近排放,尽量利用露天采空区,选用内排土场,以减少占地。

(3)为减少排土场占地时间,可利用调整排土线发展方式,用逐段复垦代替最终复垦,如可用减少台阶高度、坡面角等方式,以减少水土流失。

(4)基底整平,使不同岩土均匀分布。平整中平台坡度宜小于 $5^{\circ}$ ,四周高于中部,平整后铺一层风化岩石碎屑,碾压密实,形成防渗层,再覆表土0.5m为宜,上部为耕作层。基底表面做成 $4^{\circ}$ 左右反坡,以避免雨水冲刷边坡。平台要有横向排水坡度,使暴雨径流导向排洪系统。在植林时,平整允许有平缓起伏,可有 $10^{\circ}$ 左右起伏。

(5)回填耕作层,其土壤可用客土或单独堆存的表土,可针对矿山剥离物和客土特点进行物理、化学及生物性状调查,在考虑经济效益的前提下选择耕作土层。耕作土层厚度依植物种类及贫瘠程度而定。种植农作物时,表土层0.25m,贫瘠土 $\geq 0.5\text{m}$ ,用于绿化时可薄一些,林业复垦时,厚度依树种不同厚度可为1~2m。

(6)排土坡面治理工程:此工程由于难度大,目前处于规划、试点研究阶段。

①沿陡坡等高线,及时设置水平沟,长0.6m,两穴间距1.2m,采用棋盘式布置。

②在边坡顶部眉线内侧修筑土埂,以阻止平面汇水外流。

③坡面、平台及覆土工程应同步进行,以早春施工,利于春季保墒播种。

(7)植被类型:

①在排土场上部,首先尽量考虑恢复为耕地,不过一般情况要覆土恢复植被,根据自然条件植林种草,培养肥力,改善环境,后期再作为农田、经济林等地类利用。而在排土场边坡上,应及时种植牧草和灌木,以取得控制水土流失、加速生土熟化速度的效果。

②根据当地条件,植被品种应引进抗逆性强的丰产品种,粮食作物还要求其耐瘠薄

能力、抗旱、抗病虫害能力强,而牧草与灌木品种要以根系发达、固土能力强和抗逆性强为首要条件。结合唐山北部山区条件,排土护坡植被品种有柠条、紫穗槐和沙棘等,实践证明,它们根瘤固氮作用强,生长快,在土质坡面其当地条件绝大多数可直接栽植树种。而碎石坡面须是客土填坑才能栽植。紫穗槐造林密度为  $5000 \text{ 丛/km}^2$  (每丛 3~5 株),丛行距  $1\text{m} \times 2\text{m}$ 。小鱼鳞坑整地 ( $0.7\text{m} \times 0.5\text{m} \times 0.4\text{m}$ ) 碎石坡面树种可选爬山虎等藤类植物,造林密度  $3333 \text{ 株/km}^2$ ,株距  $0.3\text{m}$ ,带状整地(宽深各  $0.5\text{m}$ )。

## 2. 尾矿场复垦技术要点

尾矿是经过加工的矿岩,已形成散体结构,有一定湿度,有假相胶结,它对堆积地点要产生一个集中载荷场。由于是散体结构,故要破坏地形地貌,污染环境,也影响环境地质。尾矿库选址一般都就近选在山沟、山谷,在居民区和厂区的下风侧,尽量远离厂区。大中型尾矿库一般容积都在上千万吨,服务年限 10~20 年,故尾矿坝稳定性保护都非常重视。地方中小铁矿由于有的矿山不重视尾矿合理排放,造成占地面积大、淤积河流、污染环境。但是,经验证明矿山规模小,尾矿量少,故易于组织填沟填谷复垦,并易于采取灵活多样的形式组织实施。鉴于上述特点,在尾矿复垦决策中本着分区分期,将复垦纳入排尾工艺,循序渐进处理,结合中小铁矿特点,采取分散排放,分片复垦工艺。

### A. 尾矿场选址原则

地方中小矿山规模小,尾矿量也小,一般 3~4 万  $\text{t/a}$ ,矿山又多是山区,故尾矿库容易选址。为正确选址,一般应遵循如下原则:

- (1) 坚持不占或少占耕地,不毁林果木,不拆迁或少拆迁居民住宅。
- (2) 尾矿库要有一定库容,可考虑分散设置与填沟造地结合,分区分段复垦,将尾矿复垦纳入尾矿排放工艺。
- (3) 尾矿库址就近选定,尽可能采用自流输送尾矿,考虑回水利用。
- (4) 一般库区汇水面积小,如果汇水面积大时,坝内要考虑设截水沟或开挖溢洪道。
- (5) 依据坝址及库区工程地质条件,较规范的尾矿坝要有设计,要保证尾矿坝安全稳定。
- (6) 坝址要处于场区和居民点的下风侧。

### B. 尾矿复垦技术要点

尾矿复垦技术要点如下:

- (1) 因地制宜,总结多种尾矿复垦模式,如根据地形变化的有河滩围池筑坝复垦模式、充填沟谷分段筑坝复垦模式,有尾矿覆土复垦,也有尾矿不覆土复垦,要因地制宜,既要考虑简化工艺过程,又要讲科学性。

- (2) 在尾矿复垦实施中要注意完成矿区土地复垦方案设计,初步设计,包括建立复垦



点 测地质地形图 ,做工程复垦方案 ,完成技术经济分析。完成生物复垦方案 ,根据矿区自然条件与附近农林发展现状 ,对土质物理、化学性质 ,水质进行分析 ,进行农林作物筛选 ,进行农林作物种植试点 ,追踪调查农作物长势、产量、施肥情况统计 ,追踪调查土壤熟化情况、土壤及农作物有毒有害元素含量变化 ,以便采取措施加速熟化土壤 ,治理并减少对土壤、农作物有毒有害元素污染 ,进行尾矿复垦效益分析( 包括经济、生态、社会效益 )。

- ( 3 )要采取多种筹资方案 ,以保证资金到位。
  - ( 4 )制定复合本地具体条件的复垦土地技术标准 ,以起到指导作用。
3. 生物复垦的技术要点

生物复垦是工程复垦的延续 ,是土地复垦过程中不可分割的一部分。如筛选作物品种 ,作物轮作和间种 ;各种培肥措施 ;监测土壤及农作物有毒有害元素 ,采取措施减少危害 ,加速复垦地生土熟化 ,边坡植被覆盖 ,农、林、副、渔等复垦模式的优化配置等。这些措施对提高土壤肥力和作物产量水平都起着重要的作用。其技术要点如下 :

( 1 )根据唐山北部山区气候条件 ,通过测试尾矿复垦土壤化学成分主要有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{SiO}_2$  等 ,且  $\text{SiO}_2$  含量占 68.37% ,土壤中的养分含量 ,以马兰庄铁矿为例 ,全磷含量客土比复垦地较低 ,而速效氮、速效钾则较高 ;客土有机质含量高于复垦地 ,而二者土壤中细菌总数相差不大。这说明复垦地肥力水平低 ,因此复垦地土壤应以培肥为重点 ,以增施有机肥和种植农作物为手段 ,进行农作物栽培。

表 14 - 4 - 1 马兰庄铁矿场内外土壤养分含量比较表

地 点	时间	全磷 / %	速效氮	速效钾	含水率 / %
场内尾矿复垦地	1992.5	0.164	$25.54 \times 10^{-6}$	$59.28 \times 10^{-6}$	1.64
场外客土农田	1992.9	0.063	$55.62 \times 10^{-6}$	$75.14 \times 10^{-6}$	2.36

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

( 2 )通过对尾矿、废石、表土、客土土壤基本物理性质测试分析 ,尾矿砂属细砂土 ,废石表土加尾砂属多砾质粗砂土 ,废石土属石渣土 ,这些土壤砂性强、肥力低、保水、保肥能力差 ,但它们的透气性和渗透性较好。实践证明 :尾砂复垦时与粉粒、黏粒含量高的土壤混合( 如山皮土 ) ,多施有机肥 ,复垦土壤能适应农作物生长。

( 3 )经过对尾砂与客土土壤测试 ,二者容重为  $1.14 \sim 1.30\text{g}/\text{cm}^3$  ,密度为  $2.64 \sim 2.79\text{g}/\text{cm}^3$  ,孔隙率为 53.4% ~ 58.3% ,容重小 ,孔隙率大 ,客土土壤有的地区比较黏 ,易板结 ,通透性差。在此 ,遵化兴旺寨乡用尾砂改良板结土壤 ,即用尾砂垫猪圈沤肥 ,然后施入黏性大的土壤( 每亩施沤肥  $21\text{m}^3$  ) ,提高农作物产量 10% 左右。

( 4 )经跟踪调查结果表明 ,复垦后要及时进行农林种植 ,因为随着农林种植时间延长 ,复垦土壤中有机质含量、碱解氮、速效磷、速效钾含量逐年增加 ,黏粒、粉粒含量增加 ,

砂粒含量减少。

(5)提高砂性复垦土壤肥力,其途径主要有:

- ①砂土掺黏土改良土壤;
- ②增施有机肥,秸秆还田;
- ③建立合理轮作制。豆科作物与其它作物轮作,发挥豆科作物增磷补氮作用;
- ④积极种植绿肥,豆科绿肥有较强的固氮能力,还可维持土壤的有机质平衡与稳定,可以改善土壤结构,降低水土流失。

(6)选择适宜种植作物及林果品种。

①根据土壤化验结果,复垦土壤属于砂性强、低肥力水平。故在试点地要选择耐瘠薄的作物品种,如豆类、谷子、薯类和玉米等。复垦后应优先选择豆类作物,有利于加速熟化土壤,另外实践也证明,在土壤底层有保水层条件下,水肥充足也可保证水稻生长。

②根据测试,覆土 pH 值在 6.8~8.1 之间,适宜种植板栗、苹果。表土中含钾、铁,钾对糖分转化、运输和积累有很大促进作用,铁可使果实中糖分增加。迁西、迁安、遵化地区盛产香甜可口板栗是有得天独厚条件的。

③根据复垦土壤砂性强、易流失的特性应选择种植林木和牧草。这样不但可以培肥土壤,提高土壤湿度,加速土壤熟化,而且还可以防风固沙,减少水土流失,防止环境污染。实践证明,夏季护田林气温较农田低  $3.6^{\circ}\text{C} \sim 4.3^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度增加 14%~17%,土壤含水量增加 3.8%~4.7%,蒸发量减少 7.5%。马兰庄铁矿滦河滩复垦地,杨柳林木成行成网,有的排土场复垦点栗树或梨树与农作物间种。首钢尾矿库大面积种植沙棘、紫穗槐已经成林,起到了防风固沙、熟化土壤的作用。

④根据复垦土壤的容重和孔隙度选择适宜的农作物和林果品种。

各种作物生物特性不同,根系的穿透能力不同,适宜小麦生长的土壤容重为  $1.14 \sim 1.26\text{g}/\text{cm}^3$ ,总孔隙度为 52%~56%。当孔隙度小于 50%时,小麦产量即显著下降,黄瓜根系穿透能力较弱,当土壤容重为  $1.45\text{g}/\text{cm}^3$ ,孔隙度为 45.5%时,即不易透过。根据实践,迁安马兰庄铁矿和迁西汉儿庄铁矿类似的复垦土壤适宜种植小麦、黄瓜。

唐山北部铁矿复垦土壤砂性强、疏松、容重小、孔隙度大,特别适合块根块茎作物的生长,如甘薯和马铃薯等。栗树对坚实土壤有较强的忍耐能力,故在土壤容重为  $1.55 \sim 1.65\text{g}/\text{cm}^3$  的坡地土壤条件下能正常生长;而苹果、梨树则适合于较疏松的土壤,故在尾矿复垦地、排土场复垦地都长势良好。

(7)针对复垦对农作物的生长及原粮品质是否造成不良影响,分别对尾矿砂、复垦土壤和原粮中的有毒有害元素和放射性进行了测试,以便为复垦的可行性提供依据。测试证明,唐山铁矿尾矿和覆土中有毒有害元素均未超过农作物生长受阻含量;有些有害元

素虽然复垦地高于客土土壤 ,但均未超标 ,不能造成污染。

对唐山地方铁矿复垦地内外场地原粮中有毒有害元素测试结果表明 ,铅在遵化和马兰庄矿复垦地内外场地原粮中含量有微小超标 ,但超标率场外高于场内 ,说明该地区原粮中有害元素含量的本底值较高 ,复垦未造成污染。

(8)对复垦地有毒有害元素污染的防治措施 :

①施加抑制剂 :复垦地施加石灰可以提高土壤 pH 值 ,施加碱性磷酸盐可降低镉、汞等元素的溶解度 ,从而降低其有效性。

②增施有机肥 ,改良砂性土壤。

③加强水肥管理 :水稻在淹水条件下 ,可明显抑制对镉的吸收 ,却增加了对砷的吸收 ,在干旱条件下 ,砷不易被作物吸收。严加控制含有毒物质的化肥品种。

④控制和消除工业“三废”的排放 ,控制化学农药的使用。

(9)测试表明 :矿山复垦地尾矿水、农用水的各种有毒成分含量均未超过农用水水质标准。这表明尾矿水排放未造成对农业环境的影响。

(10)经检测复垦地及客土土壤中 ,放射性均低于国家规定标准 ,说明尾矿复垦对当地土壤未造成放射性污染 ,原粮中也未造成放射性污染。说明鞍山式铁矿尾矿复垦的可行性。

(11)实行轮作、间作制 ,可以合理利用土壤中各种养分和充分利用光照。迁安赵店子铁矿尾矿复垦地沙地梨树与豆类、小麦作物间种 ,遵化王爷陵铁矿梨树与板蓝根间种 ,使禾木科与豆类、块根作物的根系都得以充分伸展 ,提高了不同深度土层的网络能力 ,增加了耕作渗水和抗侵蚀能力 ,有利于水土保持。

(12)在矿山复垦中 ,优化选定综合复垦模式 ,优化再造人工土地生态系统 ,使复垦达到经济、社会、生态效益的统一。

## 第二节 复垦对农业生态环境的影响分析

### 一、尾矿、覆土和场内外土壤中有毒元素分析

#### 1. 迁西地方铁矿尾矿及覆土有毒元素分析

迁西地方铁矿尾矿及覆土有毒元素含量见表 14-4-2。

表 14－4－2 迁西地方铁矿尾矿及覆土有毒元素含量( × 10<sup>-6</sup> )

名称	取样地点	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷	硫化物
尾矿	汉儿庄铁矿	92.4	1.71	31.67	6.25	0.082	2.20	3.94
	高家店铁矿	92.4	1.19	56.10	3.88	0.044	0.40	2.35
	栗树湾铁矿	92.4	1.13	19.69	8.04	0.095	1.89	2.25
	平均		1.34	22.49	6.06	0.074	1.50	2.85
覆土	汉儿庄铁矿	92.4	1.33	54.58	24.00	0.110	8.51	1.98
	高家店铁矿	92.4	1.35	22.70	18.26	0.047	5.19	1.89
	平均		1.34	38.64	21.13	0.079	6.85	1.94
国家农用污泥排放标准		< 10	1000	900	17	75		
国外农作物生产受阻含量			125	100 ~ 200	400 ~ 500	40 ~ 50	20 ~ 70	

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

从表 14－4－2 中可以看出 ,迁西地方铁矿覆土中铬、铅、砷的含量高于尾矿 ;而硫化物的含量则是覆土低于尾矿 ;镉和汞的含量覆土和尾矿相差不多。但是 ,迁西县各铁矿尾矿和覆土中上述有毒元素的含量均低于作物生长受阻的含量值 ,也就是说 ,尾矿复田对农作物无毒害。

2. 遵化地方铁矿覆土中有毒元素分析

遵化地方铁矿尾矿及覆土有毒元素含量见表 14－4－3。

表 14－4－3 遵化地方铁矿尾矿及覆土有毒元素含量( × 10<sup>-6</sup> )

取样地点	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷	硫化物	锌
靠山庄铁矿山皮土	92.5	1.00	58.30	14.80	0.116	8.59	1.52	
靠山庄尾矿复垦	92.5	1.80	54.90	12.98	0.014	5.66	2.43	
王爷陵复垦栗树园	92.5	2.03	167.3	10.95	0.015	5.89	1.92	
靠山庄尾矿复垦	92.9	2.03	113.1	6.18	0.010	5.30	0.45	
王爷陵 5 号排土场	92.9	1.88	153.1	12.48	0.011	6.89	未	
王爷陵张庄子路边	92.5	2.00	133.0	14.48	0.013	5.83	0.51	
靠山庄废石复垦	92.9	1.83	75.6	7.28	0.014	5.54	0.95	
王爷陵排土场	99.6	0.55	121.0	10.5		3.23		40.5
王爷陵尾矿复垦	99.6	0.66	175.0	5.43		1.35		109.1
王爷陵栗树园	99.6	0.64	108.0	4.91		1.42		62.7

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

表 14-4-3 的结果表明 ,遵化地方铁矿覆土中有毒元素的含量均未超过农作物生长受阻的含量值 ,说明该地区覆土对农作物无毒害。但是 ,该地区不同铁矿覆土中有毒元素含量相差较多。

3. 迁安马兰庄铁矿场内外土壤中有毒元素的含量比较

马兰庄铁矿场内外上田中有毒元素的含量见表 14-4-4。

表 14-4-4 马兰庄铁矿场内外农田中有毒元素的含量( × 10<sup>6</sup> )

取样地点	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷	硫化物
马兰庄铁矿场内葡萄园	92.5	0.80	15.30	10.05	0.103	22.67	5.29
马兰庄铁矿场内葡萄园	92.5	0.85	6.90	8.21	0.048	10.40	3.21
马兰庄铁矿场内葡萄园	92.5	0.90	16.90	8.91	0.056	23.85	3.37
靠山庄铁矿尾矿复田	92.11	0.90	5.98	6.43	未	2.15	未
平均		0.86	11.27	8.40	0.052	14.77	2.97
马兰庄铁矿场外农田	92.11	0.78	5.98	7.60	0.008	2.76	0.90
马兰庄铁矿场外农田	92.11	1.00	5.72	7.03	0.009	5.62	0.06
马兰庄铁矿场外农田	92.10	1.03	5.13	8.18	0.010	4.98	0.13
马兰庄铁矿场外农田	92.9	0.73	5.03	5.83	0.009	5.61	未
平均		0.89	5.47	7.16	0.009	4.74	0.27
马兰庄矿场内葡萄园	99.6	0.367	23.6	7.44		22.0	
马兰庄矿场内菜园	99.6	0.48	7.48	3.02		3.33	

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

从表 14-4-4 中可以看出 ,迁安马兰庄铁矿场的土壤中铬、汞、砷及硫化物含量均高于场外 ,镉和铅的含量场内外相差不多。但是 ,无论是场内还是场外 ,土壤中有毒元素的含量均未超过农作物生长受阻的含量值。说明马兰庄铁矿尾矿复垦后对农业生态环境未产生不良影响。

综上所述 ,可以得出如下结论 ( 1 ) 三县 ”各铁矿尾矿或覆土中有毒元素均未超过农作物生长受阻含量 ( 2 )不同地区和同一地区不同铁矿尾矿和覆土中有毒元素含量相差较大 ( 3 )有些有毒元素虽然场内高于场外 ,但均未超标 ,不能造成污染。说明尾矿复垦是可行的。

二、原粮中有毒元素分析

1. 迁西地方铁矿场内外原粮中有毒元素含量分析

迁西地方铁矿场内外原粮中有毒元素含量见表 14－4－5。

表 14－4－5 迁西地方铁矿场内外原料中有毒元素含量( × 10<sup>-6</sup> )

取样地点及作物	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷
栗树湾铁矿场外玉米	91.9	0.03	0.20	0.30	<0.01	未
		<0.4	<0.55	<1.0	<0.22	20.0
栗树湾铁矿场内玉米	91 92	0.03	0.26	0.54	<0.01	0.02
		<0.4	0.55	1.0	<0.02	3.1
汉儿庄铁矿场内内薯	92 95	<0.4	<0.5	0.41	0.008	0.16
		0.06	<0.02	0.23	<0.003	0.50
汉儿庄铁矿场内玉米	92.9	<0.4	<0.5	未	未	0.16
		0.03	1.99	0.48	<0.02	0.20
食品卫生标准		≤0.4	≤0.55	≤1.0	≤0.02	≤0.7

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

从栗树湾铁矿场内外玉米中有毒元素含量的测试结果中可以看出 ,场内外玉米中砷的含量超标 ,而且场外比场内超标要高 ,说明栗树湾铁矿场外玉米中原来砷的含量值就高 ,其它有毒元素均未超标。说明尾矿复垦对该矿玉米无污染。

从汉儿庄铁矿场内几种作物果实中有毒元素的测试结果中可以看出 ,不同作物原粮中有毒元素的含量不尽相同 ,今后应继续测试上述元素含量 ,研究个别农作物个别指标超标原因以区别研究治理办法。

2. 遵化地方铁矿和迁安马兰庄铁矿场内外原料中有毒元素的含量分析

其测试结果分别见表 14－4－6 和表 14－4－7。

表 14－4－6 遵化地方铁矿场内外原粮中有毒元素的含量( × 10<sup>-6</sup> )

取样地点及作物	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷
王爷陵矿物外大豆	92.9	未	<0.55	未	0.001	0.15
王爷陵矿场内白薯	92.9	未	<0.55	未	0.007	<0.7
		0.03	0.94	<0.2	0.003	0.3
王爷陵矿场外花生		0.04	0.79	<0.2	<0.002	0.3
靠山庄铁矿场内白薯	92.9	未	<0.55	未	0.007	0.16
靠山庄铁矿场内水稻	91.10	0.04	0.5	0.93	<0.01	0.10

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

表 14－4－7 马兰庄铁矿场内外原粮中有毒元素的含量( × 10<sup>-6</sup> )

取样地点及作物	取样时间	镉	铬	铅	汞	砷
场内玉米	92.10	0.06	1.87	0.97	0.004	0.3
场外玉米	92.10	0.03	2.74	0.40	0.002	0.4
场外玉米	92.10	0.20	0.04	3.87	0.006	0.4
场外玉米	92.10	0.05	0.43	< 0.2	< 0.002	0.3
场内花生	92.9	< 0.4	< 0.55	< 1.0	< 0.02	< 0.7
场内大豆	92.9	< 0.4	< 0.55	1.0	< 0.02	1.0
场内白薯	92.9	< 0.4	< 0.55	1.0	0.04	< 0.7
场内玉米	99.6	未检出	未检出	未检出	0.14	未检出
场内高粱	99.6	未检出	未检出	未检出	0.17	未检出

资料来源 :天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

从表 14－4－6 和表 14－4－7 的结果中也可以得出 ,不同作物原粮中有毒元素的含量不同。但从这两县的测试结果中可得出同样的趋势 ;即原粮中镉的含量超标 ,而且都是场外超标大于场内 ,说明这两县原有粮食中镉的含量就高。部分场内外玉米中铬的含量超标 ,而且也是场外超标高于场内。

3. 遵化地方铁矿场内外原粮中有毒元素超标率分析

遵化地方铁矿场内外原粮中有毒元素超标率见表 14－4－8。

表 14－4－8 遵化地方铁矿场内外原粮中有毒元素含量

有毒元素	场内外	样品数/个	超标数/个	超标率/%	对比分析意见
镉( Cd )	外	4	0	0	场内外均不超标
	内	6	0	0	
铬( Cr )	外	4	0	0	超标率场内大于场外
	内	6	1	16.7	
铅( Pb )	外	4	1	25	超标率场外大于场内
	内	6	1	16.7	
汞( Hg )	外	4	0	0	场内外均不超标
	内	6	0	0	
砷( As )	外	4	0	0	场内外均不超标
	内	6	0	0	

从表 14-4-8 中可以看出 ,遵化地方铁矿原粮中镉、汞和砷的含量场内外均不超标 ,超标率为 0 ,铬的含量场外不超标 ,场内超标率大于场外 ,说明铬对场外农作物原粮的品质有一定的污染 ,但污染并不严重 ;铅的含量场内外都超标 ,但场外超标率大于场内 ,说明该地区场外原粮中铅含量的本底值就高 ,因此 ,尾矿复垦后 ,铅对场外农作物原粮的品质无污染。

4. 迁安马兰庄铁矿场内外原粮中有毒元素超标率分析

马兰庄铁矿场内外原粮中有毒元素超标率见表 14-4-9。

表 14-4-9 马兰庄铁矿场内外原粮中有毒元素超标率

有毒元素	场内外	样品数/个	超标数/个	超标率/%	对比分析意见
镉( Cd )	外	8	0	0	场内外均不超标
	内	12	0	0	
铬( Cr )	外	8	1	12.5	超标率场外大于场内
	内	12	1	8.3	
铅( Pb )	外	8	4	50	超标率场外大于场内
	内	12	2	16.7	
汞( Hg )	外	8	0	0	场内外均不超标
	内	13	0	0	
砷( As )	外	8	0	0	超标率场内大于场外
	内	12	1	8.3	

表 14-4-9 的结果表明 ,马兰庄铁矿场内外原粮中镉和汞的含量均未超标 ,超标率为 0 ,铬和铅的含量场内外均有超标样品 ,超标率均是场外大于场内 ,说明场外原粮中来铬和铅的含量就高 ,两种元素对原粮品质无污染 ,砷场内超标率大于场外 ,说明砷对原粮品质有一定的污染 ,但污染不严重。

综上所述 ,可以得出以下几点结论 :

- ( 1 ) 三县 铁矿场内外原粮中有毒元素 ,除遵化和马兰庄铁矿原粮中铅的含量超标外 ,其他元素只有少部分超际 ,超标率不高 ,污染不严重。
- ( 2 ) 不同铁矿及同一铁矿的不同样品中有毒元素含量相差较大 ,今后应查找分析原因。
- ( 3 ) 若原粮中有毒元素含量场外高于场内 ,说明该地区原粮中有毒元素含量的本底值较高 ,尾矿复垦未造成污染。



### 三、有毒元素超标的原因分析及防治措施

#### 1. 有毒元素超标的原因分析

无论从场内看 ,还是从场外看 ;“三县”各铁矿土壤、尾矿及覆土中有毒元素均未超标 ,原粮中镉和汞的含量也都没超标 ;而原粮中铬、铅和砷的含量却有超标样品。因此 ,造成有毒元素超标的原因之一是测定样品数量少 ,测定结果误差大 ,可引起元素超标 ;第二 ,不同土壤的 pH、有机质含量、质地及 EH 等与原粮中有毒元素的含量有关。如 ,土壤 pH 及 EH 的高低可影响有毒元素在土壤中的有效性。pH 高 ,镉、铬、汞和铝等易形成氢氧化物而沉淀 ,有效性降低 ,不易被作物吸收 ;pH 低 ,镉、铬、汞、和铝的有效性提高 ,易被作物吸收 ,并转移到籽粒。EH 低 ,砷可转变为可溶性的亚砷酸 ,易被作物吸收。土壤中的有机质及粘位矿物对土壤中的重金属及砷有一定的吸附能力 ,这样可以减少作物的吸收。第三 ,由于超标元素大部分是场外大干场内 ,因此 ,由其它污染源 ,如“三废”施肥施农药等造成污染是可能的。例如 ,汽车排放的气体 ,可引起大气和土壤中铅的含量增加 ;化学肥料中 ,有的品种本身含有有毒物质 ,磷肥和磷矿粉含有较高氟和痕量的砷、镉等 ,易引起土壤污染或被作物吸收 ;很多农药中含有砷和汞制剂 ,被作物吸收后可进入茎叶和籽粒。

#### 2. 超标元素造成污染的防治措施

针对上述造成有毒元素超标的原因 ,提出以下几个方面的防治措施 :

(1)施加抑制剂 轻度污染的土壤 ,施加某些抑制剂 ,可改变污染元素在土壤中的迁移转化方向 ,促进某些有毒元素的转移、淋洗或转化为难溶物质而减少作物的吸收。抑制剂主要有石灰和碱性磷酸盐等。施石灰可提高土壤 pH ;施碱性磷酸盐可降低镉、汞等元素的溶解度 ,从而降低其有效性。

(2)增施有机肥 ,改良砂性土壤。

(3)加强水肥管理 水稻在淹水条件下 ,可明显抑制水稻对镉的吸收 ,但却增加了对砷的吸收 ;在干旱条件下 ,砷不易被作物吸收。对本身会有有毒物质的化肥品种 ,施用范围和数量要严加控制。

(4)控制和消除工业“三废”的排放 ,控制化学农药的施用。

### 四、水质分析

马兰庄铁矿尾矿水和当地农户用水水质分析见表 14-4-10。

表 14－4－10 马兰庄铁矿尾矿水和当地农户用水水质分析

取样地点	取样时间	分析成分/ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$									pH
		镉	铬	铅	汞	砷	硫化物	氟化物	氯化物	锌	
马兰庄铁矿尾矿水	92.11	未	0.098	未	未	0.006	未	0.26	25.52	0.034	7.34
马兰庄铁矿附近农户用水	92.11	未	0.075	未	未	0.005	未	0.28	45.38	0.008	6.9
工业废水最高允许排放浓度		0.14	0.5	1.0	0.05	0.5	1.0	10		5	6~9
农田用水水质质量标准		0.005	0.1	0.1	0.001	0.05	1.0	3	300	3	5.5~8.5

资料来源 天津地质矿产测试中心 ,中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

从表 14－4－10 中可以明显看出 ,无论是尾矿水还是农户用水 ,镉、铅、汞和硫化物均未检出 ;尾矿水中铬和锌的含量高于农户用水 ,而农户用水中氯化物含量高于尾矿水 ;其它成分相差不多。表中各种成分的含量及 pH 均未超过农田用水水质标准 ,说明尾矿水的排放并不能造成对环境的污染。

五、土壤及原粮中放射性检测结果分析

1. 场内外土壤中放射性检测结果分析

马兰庄铁矿和汉儿庄铁矿场内外土壤中放射性检测结果见表 14－4－11。

表 14－4－11 马兰庄铁矿和汉儿庄铁矿场内外土壤中放射性检测结果

放射性物质	马兰庄铁矿		汉儿庄铁矿		国标
	场内	场外	场内	场外	
$^{238}\text{U}$ (Ci/kg)	$1.18\times10^{-9}$	$1.29\times10^{-9}$	$1.51\times10^{-9}$	$1.91\times10^{-9}$	0.1
$^{226}\text{Ra}$ (Ci/kg)	$1.07\times10^{-9}$	$3.56\times10^{-9}$	$2.60\times10^{-9}$	$2.66\times10^{-9}$	$7\times10^{-11}$
$^{137}\text{Cs}$ (Ci/kg)	$1.27\times10^{-10}$	$3.97\times10^{-10}$	$3.18\times10^{-10}$	$4.68\times10^{-10}$	$2\times10^{-9}$
钍 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	3.38	3.50	2.14	4.74	200
总 $\alpha$ (Ci/kg)	$4.41\times10^{-11}$	$2.19\times10^{-10}$	$5.41\times10^{-12}$	$1.55\times10^{-11}$	
总 $\beta$ (Ci/kg)	$1.11\times10^{-11}$	$1.29\times10^{-11}$	$4.87\times10^{-11}$	$4.87\times10^{-11}$	

注 测试单位为核工业部理化工程研究院。

从表 14－4－11 中可看出 ,无论是马兰庄铁矿还是汉儿庄铁矿土壤中放射性物质除汉儿庄铁矿场内外总  $\beta$  的放射性相同外 ,其它放射性物质的放射性均是场外大于场内 ,也就是说原来土壤中放射性物质的效时性就高于尾矿 ,而且除  $^{226}\text{Ra}$  以外 ,两矿场内外土壤中其他放射性物质的放射性均低于国家规定标准 ,所以 ,尾矿复垦对当地土壤不能

造成放射性污染。

2. 马兰庄铁矿和汉儿庄铁矿场内外玉米中放射性检测结果分析

马兰庄铁矿和汉儿庄铁矿场内外玉米中放射性检测结果见表 14－4－12。

表 14－4－12 马兰庄铁矿和汉儿庄铁矿场内外玉米中放射性检测结果

放射性物质	马兰庄铁矿		汉儿庄铁矿		国标
	场内	场外	场内	场外	
<sup>238</sup> U (Ci/kg)	1.32 × 10 <sup>-10</sup>	1.03 × 10 <sup>-10</sup>	4.73 × 10 <sup>-11</sup>	1.30 × 10 <sup>-10</sup>	0.1
<sup>226</sup> Ra (Ci/kg)	2.07 × 10 <sup>-10</sup>	1.98 × 10 <sup>-10</sup>	1.28 × 10 <sup>-10</sup>	1.01 × 10 <sup>-10</sup>	7 × 10 <sup>-11</sup>
<sup>137</sup> Cs (Ci/kg)	4.54 × 10 <sup>-11</sup>	4.73 × 10 <sup>-11</sup>	3.92 × 10 <sup>-11</sup>	3.95 × 10 <sup>-11</sup>	2 × 10 <sup>-9</sup>
钍 (μg/kg)	4.32	5.56	3.18	5.46	200
总 α (Ci/kg)	5.57 × 10 <sup>-11</sup>	5.68 × 10 <sup>-12</sup>	5.41 × 10 <sup>-12</sup>	5.68 × 10 <sup>-12</sup>	
总 β (Ci/kg)	6.46 × 10 <sup>-11</sup>	7.41 × 10 <sup>-11</sup>	6.08 × 10 <sup>-11</sup>	7.22 × 10 <sup>-11</sup>	

注 测试单位 核工业部理化工程研究院。

首先 ,从马兰庄铁矿场内外原粮中放射性检测结果来看 ,总 α 的放射性场内高于场外 ,而 228U、1371Ca、钍和总 β 的放射性则是场外高于场内。但是 ,无论场内还是场外 ,除 226Ra 以外的其他放射性物质的放射性均低于国家规定标准 ,所以 ,尾矿复垦后 ,除 226Ra 以外的其他放射性物质对当地原粮无放射性污染。

其次 ,再从汉儿庄铁矿场内外原粮中放射性检调结果来看 ,上述几件放射性场废除 226Ra 以外的放射性均是场外高于场内 ,而它们的放射性均低于国家规定标准 ,这说明汉儿庄铁矿尾矿复垦后 ,除 226Ra 以外的放射性物质对当地原粮也没造成放射性污染。

第三 “两矿”原粮中 226Ra 的放射性是场内高于场外 ,且超过了国家规定标准 ,因此 226Ra 对当地原粮造成了一定的污染。但从放射性强度上看。超标并不严重 ,因此 ,污染不大。

总的看来 ,尾矿复垦对农作物种植未产生明显不良的影响。说明唐山地区鞍山式铁矿尾矿复垦是可行的。

第三节 复垦资金筹集及有关政策

复垦资金筹集到位 ,是及时有效的开展土地复垦的保证 ,为此国务院 1988 年制定并颁布了《土地复垦规定》,该规定的实施提高了矿山复垦意识 ,推动了土地复垦工作。唐山矿山土地复垦工作在市、县土地复垦部门的直接领导和推动下 ,建立一系列的《细则》、

《规定》在 1999 年下发的确保耕地占补平衡的《规定》提出了建立开发耕地专项资金,包括新增建设用地有偿使用费留成部分、耕地开垦费、土地整治费,资金使用专项资金与受益方自筹资金按 1:1 比例配套使用。建设单位占用耕地上缴到省返还的专项资金和上缴市的耕地开垦费,由市土地局分户储存,按项目工程进度分期拨付给耕地开垦单位。《迁安土地开发复垦及整治管理办法》规定了资金筹措的 7 个方面即新增建设用地有偿使用费地方留成部分、耕地开垦费按比例带项目返还、土地复垦费、新菜地开发建设基金、上级下拨的土地开发复垦整理资金的全部。同时还制定了补助标准。耕地  $15000 \sim 45000$  元/ $\text{hm}^2$ ;同时对复垦土地的承包做了建议性要求:复垦土地承包要公开招标,承包方法:(1)前 3 年不收承包费,第 4 年收 750 元/ $\text{hm}^2$ ;第 5 年收 1500 元/ $\text{hm}^2$ ;第 6 年按正常收取承包费。(2)前 5 年不收承包费,第 6 年校正正常收承包费,以上做法,主要是为了培肥地力,调动农民投入的积极性。

迁西县有的矿山把复垦任务承包给土地权属村,每公顷地复垦费  $15000 \sim 45000$  元;对于厂矿尾矿排放临时用地,复垦资金筹集主要靠收取土地整理费,申请国家复垦贷款,村集体自筹,企业投入和国家支持等途径获取。迁西矿山复垦一次复垦  $61.67\text{hm}^2$ (925 亩),共投入 170 万元,国家补贴 40 万元,村自筹 30 万元,企业投入 100 万元。遵化王爷陵铁矿,用租赁农村低洼地排尾矿,每年赔农产品年效益的办法解决占地资金。这样筹集资金排尾矿占地比向远距离尾矿库排尾每年可节省资金 60 万元。首钢尾矿库  $80\text{hm}^2$ (1200 亩)复垦植林,安排生产建设专项资金和土地整治费返还款,承包给矿业公司内部 19 个单位,保栽保活。统一验收。马兰庄铁矿扩建期利用沙河改道机会,将表土剥离与复垦相结合,复垦纳入剥土工艺,在滦河滩复垦土地  $10.3\text{hm}^2$ (154 亩),解决了复垦资金。

正是上述一系列地方复垦资金筹措办法和复垦优惠政策,对矿山复垦工作起到了推动作用,复垦资金筹措的实践拓宽了资金渠道,使矿山复垦工作得到保证。当然,当前矿山土地复垦管理细则规范有待进一步科学化、规范化,拓展新的复垦资金来源,建立新的经费管理方式,尤其对于确属建矿时间长复垦欠账多、经济效益不好、资金紧张的单位应由有关部门给这些企业提供部分或全部复垦资金,以保证企业完成复垦任务。

## 第四节 尾矿土地复垦技术

### 一、概述

土地复垦是指对在生产建设过程中,因控损、塌陷、压占等造成破坏的土地进行整

治,使其恢复到可供利用状态的活动。尾矿复垦是指在尾矿库上复垦或利用尾矿在适宜地点充填造地等与尾矿有关的土地复垦工作。

(一)尾矿复垦特点

尾矿是经过一系列加工的矿岩,不同类型的矿山、不同的选矿工艺所产生的尾矿,其理化性质有很大差别,有的尾矿还有再利用的价值需要回收;且尾矿库多处于山地或凹谷,取土与运土困难,对复垦极为不利;另外,尾矿库由于形成大面积干涸湖床,刮风天气易引起尘土飞扬,污染当地环境。基于尾矿的这些特点,一般尾矿复垦利用初期大多以环保景观为目的,后期根据其最终复垦利用目标改为实业性复垦,或作半永久性复垦(这一情况是考虑经过一段时期后,尾矿还需回收利用)。目前我国尾矿复垦现状,大致有以下3种情况。

(1)仍在使用的尾矿库复垦。这类尾矿库的复垦利用主要是在尾矿坝坡面上进行复垦植被,一般是种植草藤和灌木,而不种植乔木,原因是种植乔木对坝体稳定性不利。如攀枝花钢铁公司某尾矿库,坝体坡面上曾人工覆盖山皮土,以种草为主,并辅之以浅根灌木种藤本植物。经过试种,达到了预期效果。

(2)已满或已局部干涸的尾矿库复垦。这种类型是尾矿库复垦利用的重点。如本钢南芬选矿厂老尾矿库于1969年新库建成后停止使用,投资10万元,覆土厚度30cm,造田约18hm<sup>2</sup>,复垦后交当地农民耕种。随后将矿各种垃圾筛选发酵后堆放到尾矿库低洼处。种植面积逐年扩大,基本上整个老尾矿库所占用的土地经复垦后都用于耕种。

(3)尾矿砂直接用于复垦。这种类型主要适合于尾矿中不含有毒有害元素的中小矿山,且在矿山周围有适宜的地形。矿山可根据当地地形条件采用灵活多样的复垦模式。如唐山马兰庄铁矿和包管营铁矿就利用此模式复垦了大量土地。

(二)尾矿复垦利用方式

尾矿复垦工作在我国起步较晚,可以说还处在初级阶段,总结近些年来我国尾矿复垦情况,主要有如下几种复垦利用方向。

(1)复垦为农业用地。这种复垦方式一般应覆盖表土并加施肥料或前期种植豆科植物来改良尾砂,其覆土厚度一般可按下列公式估算:

$$P_c = h_b + h_k + 0.2$$

式中  $P_c$ ——覆土厚度,一般取值为0.2~0.5 m;

$h_b$ ——毛细管水升高值,随土壤类型不同而不同, m;

$h_k$ ——育根层厚度,随植物种类不同而变化, m。

(2)复垦为林业用地。大多数尾矿库特别是其坝体坡面覆盖一层山皮土后都可用于种植小灌木、草藤等植物,库内可种植乔、灌木,甚至经济果木林等。复垦造林在创造矿

区卫生优美的生态环境方面起了很大作用,并对周围地区的生态环境保护起着良好的作用。

(3)复垦为建筑用地。有些尾矿库的复垦利用必须与城市建设规划相协调。根据其地理位置、环境条件、地质条件等修建不同功能的建筑物,以便收到更好的社会效益、经济效益和环境效益。复垦建筑用地时的地基处理是关键,应根据尾矿特性、地层构造、结构形式等设计相应的基础条件,在结构设计上采取可靠措施,以达到健全、经济、合理之目的。但尾矿库上修筑的建筑物一般以2~4层为宜,不宜超过5层。

(4)尾砂直接用于种植改良土壤。尾矿砂一般具有良好的透水、透气性能,且有些尾砂由于矿岩性质和选矿工艺不同,还含有植物生长所必需的营养元素,特别是微量元素,因此,尾砂可直接用于种植或用作客土改良重黏土而复垦造地。

### (三)尾矿土地复垦的一般程式

尾矿复垦作为一个工程,其工作程序离不开工作计划和工程实施两个阶段。由于土地和生态系统的形成往往是经过较长时间的自组织、自协调过程,复垦工程实施后所形成的新土壤和生态环境,往往也需要一个重新组织和各物种、成分之间相互适应与协调的过程才能达到新的平衡。而复垦工程实施后的有效的管理和改良措施可以促使复垦土地的生产能力和新的生态平衡尽早达到目标,所以,复垦工作后的改善与管理工作是必不可少的。因此,根据土地复垦工程的特点,其一般可概括为以下三大阶段。第一阶段:尾矿复垦规划设计阶段;第二阶段:尾矿复垦工程实施阶段,即工程复垦阶段;第三阶段:尾矿工程复垦后改善与管理阶段,除复垦为建筑或娱乐用地外即生物复垦阶段。

复垦规划是复垦工作的准备阶段,决定复垦工程的目的和是否技术经济可行,是后两阶段的依据。复垦工程实施是复垦规划付诸实现的工程阶段,其实质为各种土地整治工程,保质、保量、准确、准时是该阶段的关键,但该阶段的完成仅仅只是完成了复垦工作的60%。美国法律规定,该阶段的完成仅退回60%的复垦保证金。余下40%的复垦工作是由复垦后改善与管理阶段完成,该阶段主要任务是达到复垦最终目标和提高复垦效益,建立良好的植被和生态环境。

## 二、尾矿复垦规划

复垦规划阶段的目的是确定复垦土地的利用方向和制定复垦规划,提交土地复垦规划报告和规划图。

### (一)尾矿复垦规划的意义

尾矿复垦规划的意义如下:

(1)保证土地利用结构与矿区生态系统的结构更合理。尾矿复垦规划是土地利用总

体规划和矿区生态环境恢复规划的重要内容,又是土地利用和矿区生态恢复的一个专项规划。国内外尾矿复垦实践证明:制定一个科学合理的尾矿复垦规划,是矿区生态环境恢复的关键之一。

(2)避免尾矿复垦工程的盲目性和浪费,提高尾矿复垦工程的效益。不经过系统规划设计的尾矿复垦工程,往往存在以下盲目性和工程浪费。

- ①先破坏后治理,大大增加了复垦工程的难度和工程量,降低了尾矿复垦效益;
- ②缺乏系统性科学性,复垦工程效益低;
- ③尾矿库不及时复垦,容易产生二次污染等。

通过对尾矿复垦工程进行系统的规划,可以最大限度地发挥矿区自然和环境资源优势,正确选择尾矿复垦投资方向,达到投资少见效快,系统整体效益明显之目的。

(3)保证尾矿复垦项目时空分布的系统性和合理性。尾矿复垦规划的实质就是对尾矿复垦工程实施的时间顺序及时空顺序及空间布局作系统的科学安排,即在时间上,使复垦工程与企业生产和发展规划相结合,在空间上,按照尾矿特性,因地制宜进行尾矿复垦。

(4)保证土地部门对尾矿复垦工作的宏观调控。根据我国人多地少的国情,在条件容许的情况下,应优先考虑复垦为耕地,土地管理部门通过审定尾矿复垦规划,对尾矿复垦方向可实现宏观调控。

## (二)尾矿复垦规划的任务

尾矿复垦规划的主要任务有以下两个方面:

(1)尾矿复垦后土地的利用方向。尾矿复垦后土地利用方向的确定是复垦规划的关键。它受到当地的社会、经济、自然条件的制约,一般而言,均应因地制宜选择合适的利用目标,并以获取最大的社会、经济和环境效益为准则。影响复垦土地利用方向的主要因素是当地气候、地形地貌、土壤性质及水文条件、尾矿砂理化特性和需要状况等五大因素,其中需要状况主要是指当地土地利用总体规划、市场需要和土地使用者的愿望。对尾矿复垦土地利用方向的选择正是要基于深入分析和调查这些影响因素,并从森林用地、牧草地、农田用地、娱乐地、建筑用地、水利及水产养殖等土地利用类型中通过多方案对比分析而最优的确定。

(2)制定尾矿复垦规划。在上述确定的尾矿复垦利用方向的基础上,制定详细的尾矿复垦规划。应使用多目标规划、线性规划、层次分析法、特尔菲法、投入产出效益分析法等进行多种规划方案的技术经济对比,从而优选规划方案。详细的尾矿复垦规划应形成书面报告,并应经过土地管理部门批准。尾矿复垦规划报告的主要内容是:

- ①待复垦区自然条件概述(地理、气候、人口、耕地、社会、经济等);

- ②尾矿理化性质及其变化情况；
- ③矿山采选现状、尾矿占地及其发展概况；
- ④复垦土地利用方向的确定及其依据；
- ⑤复垦总体设计方案及可行性论证；
- ⑥复垦工程量的确定；
- ⑦复垦工程投资及收益估算；
- ⑧复垦工程实施的方法及设备；
- ⑨复垦工程进度安排；
- ⑩待复垦区总体规划图。

### (三)尾矿复垦规划的原则

制定尾矿复垦规划应遵循以下几个基本原则：

(1)现场调查及测试的原则。由于尾矿复垦规划不仅需要知道占用的现状,还要根据当地的各种条件确定土地利用方向和进行复垦工程的技术经济分析,因而应进行大量细致的土地、气候、水文、市场等情况调查是必需的,越详尽越好,并对尾矿理化性质进行测试。

(2)因地制宜原则。尾矿复垦土地利用受到周围环境多种条件的制约。因地制宜对尾矿复垦的土地再利用可以起到投资少、见效快的效果。反之如果不遵循这一原则,如对不适宜复垦为农业用地的地方硬性复垦为农业用地,其结果只能是适得其反。

(3)综合治理的原则。综合治理有利于优化组合,产生高效益。如对尾矿库积水区和非积水区的不同,工程上有综合的作用,收益上也有综合的效果,值得认真研究与遵循。

(4)服从土地利用总体规划的原则。土地利用总体规划的原则是对一定地域全部土地利用开发、保护、整治进行综合平衡和统筹协调的宏观指导性规划。尾矿复垦规划的实质是土地再利用规划,所以它应是土地利用总体规划的有机组成部分。只有服从于土地利用总体规划才能保证农、林、牧、渔、交通、建设等方面的协调,从而才能恢复或建立一个新的有利于生产、方便生活的生态环境。

(5)最佳效益原则。效益是决定一个工程是否上马的主要依据,也是衡量工程优劣的标准。目前,我国经济实力还不雄厚,复垦工程又需要较大的投资,更应注重经济效益,力争以少的投入达到较多的产出。尾矿复垦不仅仅是恢复土地的利用价值,还要恢复生态环境,所以社会效益和生态效益也是十分重要的。因此,尾矿复垦所期望达到的最佳效益乃是经济、社会和生态效益的统一。

(6)把尾矿复垦纳入矿山开发和采选计划的原则。尾矿土地占用与矿山选矿生产紧



密相关。尾矿常可用来充填低洼的劣质土地,与采选计划的结合可以在基本不增加排尾费用的情况下稍加改变排尾系统来完成,特别是中小矿山效益可观。所以,尾矿复垦规划应与矿山开发和采选计划一致。

(7)动态规划原则。采选生产是一个动态的过程,尾矿的产生也是动态的,采选生产的变动情况又直接影响到尾矿复垦工作,所以尾矿复垦规划应与矿山生产的动态发展相适应。此外,尾矿复垦工程又会因工程过程中新发现的地质、水文、土壤、施工等情况需要调整原复垦规划,因此,动态的规划是必要的。

### 三、尾矿工程复垦

工程复垦阶段的目的是完成规划的复垦工程量,达到复垦土地的可利用状态。

#### (一)尾矿工程复垦基本要求

尾矿工程复垦的实施主要应遵循以下原则:

(1)保质、保量原则。质量是工程成功的关键,复垦工程必须保质、保量按复垦规划进行才可有效地达到复垦目标。

(2)按时完成的原则。时间就是效益,由于复垦农田的季节性强,因而复垦工程的时间性就显得更重要。只有按时按复垦规划时间完成复垦任务,才能有效实现复垦目标。

(3)符合土地利用方向具体要求的原则。每一种土地利用方向都有相应的特点要求。对于恢复为农田的土地,应尽量避免压实,这就要求减少机械设备在复垦土地上的时间和往返次数。并注意在土壤较干时进行平整和修整措施。而对于复垦土地用作建房时,则应采取压实措施,使土地达到承载设计楼房强度的要求。挖掘鱼塘则应满足鱼塘边坡和深度等要求。

#### (二)尾矿工程复垦技术

尾矿工程复垦的任务是建立有利于植物生长的表层和生根层,或为今后有关部门利用尾矿复垦的土地(包括水面)做好前期准备工作。主要工艺措施有堆置和处理表土和耕层、充填低洼地、建造人工水体、修建排水工程、地基处理与建设用地的前期准备工作等。适合我国的具体尾矿工程复垦技术主要有以下几种:

(1)尾矿库分期分段复垦模式。此种模式适用于尾矿量大、服务年限长的尾矿库,要根据尾矿库干坡段进展情况分期分段采用覆土或不覆土复垦方式,然后进行种植。该种复垦模式在迁安首钢矿山公司、大石河矿区尾矿库已分段在尾矿库干坡段种植了紫穗槐和沙棘等,起到了固沙固氮、绿化环境、加速熟化、减少污染的作用,经过种植也增加尾矿砂的有机质含量。

(2)尾矿充填低洼地或冲沟复垦模式。这种复垦模式适用于选矿厂附近有冲沟、山

谷或低洼地。这种尾矿库坝短,工程量小,基建费用低。工程要求:用废石在适宜的山谷或冲沟处分段筑坝,坝高一般小于 $4\sim 5\text{m}$ ,岩石砌坝有孔隙可将尾矿水渗出,或在坝内埋设溢流管,排出的清水由回水系统回收供选矿厂重复使用。尾矿充填顺序是先充填山谷的地势高处,再充填低处,便于分区复垦,尾矿充满干涸后经推土机平整,在上部覆土或不覆土即可种植农作物。

(3)围池尾矿复垦模式。该复垦模式适用于在矿山附近有大面积滩涂或荒地的选矿厂。

复垦工程程序主要包括:

①将选择的滩涂地坝区划分成方形池,便于顺序排尾、顺序复垦。

②围埝,埝高 $3\text{m}$ 左右,埝顶宽 $1\sim 1.5\text{m}$ ,边坡 $1:1$ ,坝内底平面形成向溢流管倾斜的 $3\%\sim 5\%$ 坡度。

③埝内一侧设溢流口,溢流管顶口低于埝顶 $0.1\sim 0.2\text{m}$ 左右。

④尾矿向池内流入充填,清水溢流池外排入田间或入河流,溢流管每隔 $0.3\sim 0.5\text{m}$ 左右开一排孔以减少溢水积存深度。溢流管每隔 $20\text{m}$ 左右设一排尾矿管,一池排尾矿,排满后,干燥,再平整,在上部覆土或不覆土,即可种植农作物,然后尾矿管转排相邻另一池,重复上述作业。

(4)尾矿改良土壤模式。该模式适合于无毒无害的尾矿,并且在选矿附近有大量的重黏土土壤的土地。

该模式的主要工艺是:在选矿厂附近建双尾矿池,周围墙高 $3\text{m}$ 左右,墙厚上部 $1\sim 1.5\text{m}$ ,坡度 $1:1$ ,坝内底部平面坡度 $3\%\sim 5\%$ ,一端设渗水墙(可以用废石堆砌)或设溢流管,以滤出清水,供选矿厂回水使用或排入河流。一个尾矿池排满后排另一个尾矿池,前者排满的尾矿经滤水晒干后供农民用车拉走,沤肥垫地,改良板结土壤。以上工序依次交替进行。河北遵化兴旺寨乡利用该方法改良土地 $140\text{hm}^2$ ,改良后土壤砾石、砂粒含量增加,粗粉粒、细粉粒、粗黏粒和黏粒含量减少,使土壤砂性增强;改良后土壤有机质含量增加 $0.54\%$ ;农作物产量明显增加,谷类增产 $10\%$ ,地瓜增产 $20\%$ ;社会效益显著,减少了尾矿占地,消除了尾矿排放对环境的污染。

### (三)尾矿复垦实例

#### 1. 首钢矿业公司尾矿复垦实践

首钢矿业公司地处迁安市西北,有三座大型尾矿库,每年有近 $800\text{万t}$ 尾矿砂排入尾矿库,尾矿坝面逐年增大,而且逐年加大干燥的尾砂裸露,在干旱季节将造成二次扬尘,污染环境,尾矿库环境治理已势在必行。1996年以来投资 $1430\text{万元}$ ,在水厂铁矿新水尾矿库植树 $80\text{hm}^2$ ( $1200\text{亩}$ )。

(1)自然条件 迁安地区属暖温带半湿润大陆性气候 ,年日照时数为 2675.3h ,年平均气温 10℃ ,极端最高气温 38.9℃ ,最低气温 - 28.2℃ ,年降水量 669mm ,集中在 7、8 月份 ,占全年降水量的 65% ~ 70% ,无霜期 165 ~ 180 天。

尾矿砂主要化学成分含量、粒度组成及营养成分含量分别见表 14 - 4 - 13、表 14 - 4 - 14 及表 14 - 4 - 15。尾矿砂外观呈黑灰色 ,透水、透气性能好 ,渗透速度快 ,保水、保肥能力差。其营养成分含量很低 ,pH 值在 9 左右。

表 14 - 4 - 13 尾矿化学成分

化学成分	SiO <sub>2</sub>	TFe	Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
质量分数 /%	72.63	9.60	3.90	0.56	0.97	3.82	2.82	0.092	0.12

表 14 - 4 - 14 尾砂砂粒度分级表

粒度 /mm	大于 0.833	0.246 ~ 0.833	0.175 ~ 0.246	0.147 ~ 0.175	0.097 ~ 0.076	0.074 ~ 0.075	小于 0.074
%	5.30	23.00	6.50	11.00	11.90	12.20	30.10

表 14 - 4 - 15 尾矿营养成分

地点	全磷 /%	全钾 /%	碱解氮 /mg·kg <sup>-1</sup>	有效磷 /mg·kg <sup>-1</sup>	有效钾 /mg·kg <sup>-1</sup>	pH
水北侧	0.0686	0.39	0	1.4	22.0	8.90
水东侧	0.0588	0.294	0	0.4	16.0	9.00
新水坡	0.0613	0.385	0	0.8	22.2	9.05

(2)复垦方案的选择 根据当地气候条件及尾矿属含泥量较大 ,氮、磷、钾含量低 ,偏酸性砂性贫瘠土壤的特点 ,另外沙棘、紫穗槐、桑树等树种有喜光抗寒、耐风沙 ,耐水湿和盐碱 ,也耐干旱、瘠薄 ,生长较快 ,根系发达 ,有根瘤菌 ,枯枝落叶量大的特点 ,是干旱风沙地区造林与固沙的先锋树种 ,它还可以改良土壤 ,加速熟化土壤。因此 ,在尾矿库直接栽植沙棘等是完全可行的 ,故确定不覆土直接栽植的复垦模式。

(3)复垦方案的实施 :

种植时间 :1997 年 3 月至 1998 年 4 月。

种植面积 80hm<sup>2</sup>。

造林密度 林种和树种的选择根据环境治理的要求 ,林种确定为沙棘 ,树种为紫穗槐、桑树。为尽快发挥绿化效果 ,达到改善环境 ,防止二次扬尘的目的 ,采取初期密度为高密度的造林方式。由于尾矿坝高差较大 ,坡度较陡 ,为提高保水蓄墒的能力 ,便于管理 ,先沿尾矿坝坝体等高线用推土机推成 10 ~ 15m 的平台 ,然后在进行整地种植。尾矿

坝平台及尾矿库库内平台采用穴状整地 ,按照株行距 1m × 1m 挖植树坑 ,坑规格 30cm × 30cm ;平台与平台之间的斜坡用鱼鳞坑 ,坑规格 50cm × 30cm ,品字形排列 ,行距 2m、株距 1m。初期密度为 :在尾矿坝平台 9990 株/bm<sup>2</sup> ,尾矿坝斜坡面 4995 株/hm<sup>2</sup>。

造林及管理 :沙棘、紫穗槐、桑树条状混交 ,即一行沙棘 ,一行紫穗槐 ,一行桑树 ,造林方式为植苗造林 ,每穴两株 ,为提高造林的成活率 ,采用植苗加直播的方法 ,即植苗穴内植一年生小苗两株 ,同时在植穴旁的 30 ~ 50cm 处直播相同树种的种子 10 ~ 15 粒 ,并覆土 2 ~ 3cm。栽植当天浇足水 ,然后隔一周浇水一次 ,共浇水 3 次 ,常规管理。

( 4 )树木成活、生长境况 :1997 年栽植的苗木 ,一周后部分苗木开始发芽 ,大约二周后有 50% 的苗木发芽 ,其余树枝枯死。枯死苗木以桑树最多 ,其次是紫穗槐 ,而沙棘有 85% 的发芽。经对枯死苗木挖出观察分析 ,发现大部分苗木虽然地上部分枯死 ,但根系生长正常。紫穗槐和桑树这种现象比较普遍。6 月初随气温升高 ,降雨增多 ,大部分枯死的苗木开始发芽 ,只有少量的苗木枯死。从苗木成活情况看 ,凡栽植深度在 20cm 以下的 ,成活率很高 ,栽植深度在 20cm 以上的 ,大部分死亡。在植树穴直播的种子 ,在雨季大部分发芽长出小苗 ,但因外界条件恶劣 ,生长不良 ,越冬困难。

苗木成活后 ,生长基本正常 ,特别是沙棘生长良好 ,而桑树、紫穗槐因气温高、土地干旱、空气湿度小 ,苗木出现灼伤现象 ,部分叶片枯死。但随雨季的到来 ,苗木又长出新芽。从 3 个不同品种苗木的生长情况看 ,沙棘最好 ,紫穗槐次之 ,桑树生长较差 ,其表现为叶片发黄 ,长势缓慢。分析原因 ,是 ,由于尾矿沙的肥力极低 ,特别是氮的含量为零 ,且土壤干旱。而沙棘和紫穗槐都是耐干旱、瘠薄的树种 ,并且有根瘤菌 ,有较强的固氮能力 ,特别是沙棘的这一特性更为明显 ,因此生长良好。而桑树虽也耐干旱、瘠薄 ,但没有固氮能力 ,因此 ,生长较差。另外 ,沙棘除有较强的生命力外 ,其强大的根系具有较强的根 ,所以树木生长快。树木生长情况见表 14 - 4 - 16。

表 14 - 4 - 16 树木成活情况表

项目	1 年/m			2 年/m		
	最高	平均高	冠径	最高	平均高	冠径
沙棘	0.95	0.65	0.35	1.2	0.89	0.55
紫穗槐	1.1	0.35	0.15	1.3	0.45	0.25
桑树	0.5	0.25	0.1	0.6	0.32	0.15

注 :1999 年测定数据。

( 5 )效益分析 :尾矿库种植树木后 ,全部覆盖了尾矿砂 ,沙漠变绿洲 ,基本抑制了二次扬尘 ,减少了因风沙造成的水土流失 ,改善了生态环境。在尾矿库上直接种植树木 ,减少了覆土的大量费用 ,同时也避免了因取土而造成新的生态破坏 ,与国家下达的治理投资

比较,可节约覆土资金 1000 多万元。另外,沙棘果可食,还可做糕点、果酱、酿酒、酿醋、饮料等,种子可入药和榨油,含油量 16%;果还可提取烤胶,嫩枝可做饲料,并可提取黑色染料,木材坚硬,可作各种工艺品,根有大量根瘤菌,可固氮,大量的枯枝落叶,可改良土壤。总之,其环境、经济及社会效益显著。

2. 唐山马兰庄铁矿尾矿复垦实践

(1)概述

马兰庄铁矿位于河北省迁安市滦河边,1970 年建矿。由于当时资金紧张,尾矿库一时建不起来,为了不影响投产,又不致造成环境污染,经于水利部门协商,该矿采取了临时措施,在滦河西岸的大片荒滩上,用河卵石围成了 3 个简易尾矿池,解决了尾矿排放问题。当其中一个尾矿池排满后,当地农民平整后(18 亩)种植了花生,并获得了丰收,从而推动了该矿的尾矿复垦工作。累计共利用尾矿复垦土地 35hm<sup>2</sup>。

(2)复垦工艺

滦河滩围池尾矿复垦:用推土机推河卵石、河沙堆坝,坝高 3~4m,池形为矩形,面积为 26000~34000m<sup>2</sup>。坝顶标高一致,使复垦的土地大致平坦。沿坝边沿每隔 0.5m 高的溢流管上开孔,共设 6~8 层,溢流孔不宜过高,以减少渗水的积水深度,溢流管的埋设应依地势而定,选在地势较低的一边,以利于尾矿浆水的汇积和排出。尾矿冲集坡度约为 3%~5%,每 20m 敷设一排尾矿管。尾矿在池内经过自然沉淀后清水通过溢流管排往池外,经排水沟流入滦河。排出的清水符合国家卫生标准,水质分析见表 14-4-17。

表 14-4-17 马兰庄铁矿选厂尾矿水水质分析 (mg/L)

化学成分	镉	铬	铅	汞	砷	硫化物	氟化物	锌	氯化物	pH
质量分数	无	0.098	无	无	0.006	无	0.26	0.034	5.52	7.34
标准	0.005	0.1	0.1	0.01	0.05	1.0	3	3	300	5.5~8.5

注:标准为国家农田用水水质标准,天津地质矿产测试中心。

尾矿池冲填满后,水分经过 10 天左右时间蒸发和渗漏变的枯干,然后用推土机进行整平,使坡度小于 0.5%,然后敷设一层厚度为 25~30cm 的亚黏土(山皮土),每亩约 160~200m<sup>3</sup>。

(3)种植试验

通过对本地区农作物资源调查分析,按下列原则选择农作物。

- ①由于复垦土地较贫瘠,不宜选择深根型植物和对土壤要求过高的植物,应以耐干旱、耐贫瘠及适应性强及浅根型植物为宜。
- ②考虑今后在矿区有推广的可能,选择短期内有收益的农作物及果木。
- ③复垦土壤的改良是评价复垦成功与否的重要标志,由此要选种能改良复垦区土壤和培育肥力的物种。

依据上述原则及以往的种植经验 ,选择大豆、白薯、花生、玉米、葡萄、桃进行种植试验分析。

作物种植管理 种植的关键是田间管理 ,针对复垦土地沙多、太阳辐射强、水分蒸发快的特点 ,适时地进行浇水、施肥。在病虫严重的季节 ,定期观测及时喷药灭虫。种植试验选择的农作物有小麦、水稻、花生、大豆、白薯、玉米等 ,农作物种植管理及收成见表 14－4－18。

表 14－4－18 农作物种植管理及收成情况表

品种		花生	大豆	白薯	玉米	小麦	水稻
施肥 /kg·亩 <sup>-1</sup>	农家肥	3000～4000	3000～4000	3000～4000	3000～4000	3000～4000	3000～4000
	复合肥	20	20	20	20	20	20
浇水		及时	及时	及时	及时	及时	及时
行距×株距 /cm×cm		(30～35)× (25～30)	(35～40)× (27～32)	(55～66) ×(23～27)	(40～50) ×(30～40)	(30～40)×	(30～40) ×(20～25)
每穴株数		2～3	4～5	1	1		4～5
产量 /kg	1990 年	127.5	125.0	1400	270	225	250
	1991 年	125.0	135.0	1500	350	300	
	1992 年	150.0	150.0	1500	340	325	

果木种植 (1)桃树 桃树挖坑种植 ,在平整的尾矿复垦的土地里挖坑 50cm×50cm×50cm 的坑 ,填 20～30cm 的山皮土 ,加适量农家肥 ,种植并浇透水。行距为 5.0m ,株距为 1.2～1.5m ,平均每公顷 1275～1350 棵 ,桃树成活率为 100%。桃树的管理每年 3 月中旬在树旁挖坑施肥 ,每公顷施优质农家肥 22500～30000kg、尿素 750kg。及时浇水 ,注意防治病虫害 ,收成情况见表 14－4－19。(2)苹果 ,苹果树苗的种植方式和桃树相同 ,行距 10m ,株距 6～7m ,每公顷 1200～1800 棵。苹果的管理是每年初春在树旁挖坑施肥 ,每公顷放碳胺 1500kg、尿素 375kg ,6 月份再施钾肥 ,每公顷 300～450kg ,二胺 150～300kg ,及时浇水 ,注意防治病虫害 ,产量见表 14－4－19。(3)葡萄种植方式和桃树相同 ,行距 6.0m ,株距 3.0～4.0m ,每公顷 3750～4500 棵 ,葡萄树成活率为 100%。葡萄树的管理及施肥情况 ,同苹果 ,3 年的收成见表 14－4－19。

表 14－4－19 果木收成情况表 (kg/hm<sup>2</sup>(kg/亩))

年度	桃树	苹果	葡萄
1997 年	5625( 3750 )	3750( 2500 )	3375( 2250 )
1998 年	9000( 6000 )	6375( 4250 )	2100( 1400 )

年度	桃树	苹果	葡萄
1999 年	112500( 750 )	75000( 5000 )	22500( 1500 )

④有毒有害元素分析。复垦土壤及粮食有毒有害元素含量见表 14－4－20。

表 14－4－20 复垦土壤、粮食有毒有害元素含量变化 ( mg/kg )

地 点	取样 时间	样品 名称	镉	铬	铅	汞	砷	锌	硫化物	氟化物
复垦地			0.86	11.27	8.40	0.052	14.77		2.97	25.65
客 土			0.89	5.4	7.16	0.09	4.74		0.27	36.48
标 准			125	100～200	400～500	40～50	20～70			
马兰庄	99.5	玉米	未检出	未检出	未检出	0.14	未检出	16.27		
马兰庄	99.5	高粱	未检出	未检出	未检出	0.17	未检出	19.54		
标 准			≤0.4	≤0.55	≤1	≤0.02	≤0.7	≤0.4		

注：1. 标准为国外规定农作物生长受阻含量标准。  
2. 天津地质矿产测试中心 , 中国农业科学院土壤肥料研究所测试中心。

尾矿复垦的土地土壤中有毒有害元素的含量低于农作物生长受阻含量标准。镉、铅的含量和当地土壤基本相同 , 铬、汞、砷、硫化物的含量略高于当地土壤 , 氟化物则低于当地土壤。

通过水质分析表明 , 尾矿水各有害元素含量均未超过国家农田用水水质标准。只要澄清排放 , 并不会对环境造成污染。

3. 狮子山铜矿尾矿复垦实践

狮子山铜矿杨山冲尾矿库属山谷型尾矿库 , 1966 建成使用 , 设计库容 747 万 m<sup>3</sup> , 1990 年关闭 , 库区汇水面积 0.54km<sup>2</sup> , 库区面积 22hm<sup>2</sup>。库区东北部约数万米<sup>2</sup> 的地带严重地被污染 , 地表呈现明显的黑色。该区地表重金属含量砷( As ) 高达 8000mg/kg , 镉( Cd ) 29.9mg/kg , 铅( Pb ) 37mg/lcg , 铬( Cr ) 24.4mg/kg 等等。污染区地表氟化物含量高达 25mg/kg。另外 , 库区原有水域也严重污染。水域水 pH 值超标高达 10 , 总盐量高达 1.04g/L , 水中氟化物严重超标 , 高达 7.28mg/L。库区扬尘污染严重 , 影响当地下游社区环境和居民生活。

为了既保护便于二次资源的再利用 , 又要防治污染 , 1997 年由北京矿冶研究总院对该尾矿库进行了不覆土建立植被的研究工作。经过 2 年的努力 , 主要取得了以下成果：

( 1 ) 盆栽试验结果 : 已从 5 个抗耐品种中筛选出 3 个适应品种 ; 从 8 个二元、三元、多元品种匹配试验中筛选出 3 个最佳匹配品种 ; 筛选出熟化剂 2 种及其适宜配比和投加

量,从 15 个种植密度试验中筛选出 4 组适宜种植密度条件。

(2)小区试验结果:依据盆栽试验结果,1998 年秋季进行了无土小区种植试验,共设置 87 个小区。依据库区所在的立地条件,已从 10 个品种三个匹配品种中筛选出抗旱、耐贫瘠、耐寒的适生品种,3 个单一品种和一个双匹配品种以及一个适生三匹配品种。试验区试验结果表明,最佳种植条件下的植被地表覆盖率高,根系发育,根深已达 20cm 之下,最深者达 24cm 之深,可明显观察到植被已有效地控制了冬春季尾砂的严重风蚀和夏天雨季的水土流失。

(3)田间扩大实验结果:1999 年进行了无土田间扩大种植试验。经过 1 年多观察,试验区长势良好,成活率大于 60%,有的单元覆盖率达到 80% 以上。已筛选出适合当地气候条件和尾矿特性的最佳种植条件。复垦区植被草类根系发育好,已形成根系网络结构,两季草根系控制直径达 1m 以上。部分豆科草已开花结籽,自行繁育,扩大覆盖尾砂区。有效彻底地防止了尾砂粉尘污染,具有显著的生态环境效益。



## 第五章 矿产资源可持续发展对策

可持续发展包括公平性原则、持续性原则和共同性原则三个最基本原则。公平性原则强调的是要满足当代全球人民的基本需求和过较好生活的愿望,要给以世世代代利用资源的公平权利,当代人不能损害他们的权利,强调全世界公平分配有限的资源。持续性原则强调人类的经济和社会发展不能超越资源与环境的承载能力。共同性原则要求全球采取联合行动。因此,矿产资源可持续发展应体现在满足当代社会、经济的发展所消耗的矿产资源能得到持续地补偿,使后代人能继续满足其社会经济发展的需要;矿产开发造成的环境影响控制在环境可以承载的范围内。人类只有一个地球,可持续发展是全球人类共同的事业。为此,1992年联合国环境与发展大会上对此得到了共识,1994年我国率先向全世界提出本国21世纪议程,把实现可持续发展作为一项重大战略提出。

为在我国实现矿产资源可持续发展需要采取以下对策。

### 第一节 目标与战略

原地质矿产部编写的1996年中国矿产资源报告中有比较精辟的论述,报告认为:保证国民经济和社会可持续发展的矿产资源开发利用战略,是以矿产资源的持续供给、合理利用、有效保护和减低环境代价为前提,充分满足国民经济建设对矿产资源的需求,全面提高矿产资源开发利用的经济效益、资源效益、环境效益和社会效益。

#### 一、目标

达到保持资源增长与资源消耗基本平衡,主要矿产探明储量的增长速度与社会经济

发展水平相适应 ;有效地进行矿产资源管理与保护 ,提高单位矿产资源的国民经济产出率 ,降低单位国民生产总值的矿产资源消耗水平 ;健全政策与法律 ,建立可持续发展的矿产资源管理政策体系、法律体系 ,建立可持续发展的资源开发利用综合决策机制和统一协调管理机制 ,建立健全以《矿产资源法》为主体的法律、法规体系 ,把矿产资源开发、地质环境保护和地质勘查工作及各项管理纳入法制轨道 ;控制因矿产资源开发利用引起的环境污染于法律规定的允许范围内。

## 二、战略

为实现目标必须采取开放型资源供给战略 ,立足用好国内资源的基础上 ,扩大矿产资源领域的国际合作与交流 ,充分利用国外资源 ;节约型的资源消耗战略 ,提高资源开发利用效率 ,提高每一单位资源的利用价值和产出率 ,以最少的资源消耗和环境代价 ,取得最大的社会、经济效益 ,实现资源效益、经济效益、环境效益和社会效益四统一 ;集约型与科技推动型的资源开发战略 ,不断扩大资源开发利用的广度、深度 ,增加资源供给 ,提高资源回收率、综合利用率、二次资源利用率 ,开发新资源及替代资源 ;协调型的区域发展战略 ,充分发挥区域资源潜力和优势 ,形成各具特色、优势互补、共同发展的区域资源发展新格局 ,缓解区域经济发展不平衡以及交通运输紧张局面。

## 第二节 国家的基本国策

矿产资源中的绝大部分在人类存在的历史阶段中是不可再生的 ,开采一点就少一点 ,已知资源总有枯竭的一天。因此 ,保护、节约、合理利用矿产资源 ,尽量延长其使用时间 ,为子孙后代留下更多的矿产资源是当代人不可推卸的责任。由于要做到这一点很不容易 ,又涉及国家与人民的当前与长远的重大利益 ,需要全国通过政府行政强制实行。为此 ,应当把保护、节约、合理利用矿产资源确立为国家基本国策 ,通过国家权力机关制定有关法律、法规 ,在全国执行 ,才能逐步地落到实处。

## 第三节 具体政策措施

### 一、加强矿产勘查工作 ,建立地勘工作新体制

加强矿产勘查工作 ,寻找更多的矿产资源是实现矿产资源可持续发展的基础。为

此,需要增加勘查投入,改革勘查工作的体制,重组勘查队伍,合理部署及组织勘查工作。

### (一)增加矿产勘查的投入

新中国初期,为发展国民经济,建设新中国工业,国家大力加强矿产勘查工作,找矿工作有足够的投入,取得很大的成绩,满足了各个国民经济发展五年计划对矿产资源的需求。1980年以来,固体矿产勘查的实际投入呈逐步下降的趋势。以原地矿部门为例,“六五”期间(1981~1985)地勘工作费用年均8.1亿元,钻探工作量年均274.8万米,而“八五”期间(1991~1995),年均工作费用下降为7.7亿元,年均钻探工作量为68.1万米;“九五”前三年(1996~1998)年均工作费用又下降为6.6亿元,年均钻探工作量29.3万米。找矿成果亦相应下降,这种状况与目前我国矿产资源的严峻形势形成极大反差,使矿产资源持续发展面临危机。因此,迫切需要引起政府的高度重视,采取切实措施,增加矿产勘查投入,以加强矿产勘查工作。

增加矿产勘查的投入应当多渠道进行。国家中央财政地质勘查费需要增加,其增加度应与材料工业增长比例相适应,应着重于加强矿产勘查的预查及普查工作。各地方政府在地方财政中亦应划出一块开展为发展地方的经济建设所需的地方矿产勘查工作。坚持矿产资源有偿使用,完善矿产资源补偿费的收取与管理,作为中央与地方矿产资源勘查和加强矿产资源管理的资金。制定必要的优惠政策吸引国内外矿业公司、企业、社会团体、集体和个人投资进行矿产勘查与开发。这样矿产勘查工作才能得到真正的加强。

### (二)建立矿产勘查工作新体制

为适应我国社会主义市场经济体制,地勘工作必须进行改革,这项改革工作已进行了近20年,目前正进入关键时期。改革的实质内容是:一是对不同性质的地质工作进行划分,基础性、公益性、战略性地质工作由国家承担,商业性的地质工作进入市场,由企业来承担;二是对地质队伍进行重组,保留一支精干的地质工作队伍承担国家的地质工作,大部分地质队伍逐步企业化,进入市场。

矿产资源勘查工作新体制就是在上述改革原则下进行的。矿产勘查工作中战略性的工作由国家来承担,其工作的内容及工作程度,应当结合各国的实际情况来确定。一般说大多数发达的资本主义国家,矿产勘查是由矿业公司来进行的,国家提供基础性地质资料和负责办理探矿权的登记,并给企业以政策上的支持,如对国家急需矿种的勘查给以风险贷款,勘查如果失败,国家承担全部或部分风险。但亦有一些发达国家,如法国及北欧的一些国家,由政府出资组织国有的企事业单位,亦从事矿产勘查与开发。发展中国家大多地质工作比较薄弱,过去处于殖民地状态时,矿产勘查与开发主要由宗主国及列强来进行。与我国相对可比的是印度,印度是仅次于我国的第二大发展中国家,属

于国家的印度地质调查总局承担全国基础地质工作及矿产普查工作,普查成果投向市场,有偿转让给矿业公司,近年来亦已向外国公司转让,由公司勘探与开矿。根据我国的情况,社会主义市场经济体制刚开始建立,矿产勘查与矿业市场目前属于酝酿和初建阶段,目前大多数矿山企业缺乏活力,还承担不了勘查风险,而对全国来说矿产勘查是一项长周期的工作,不能停顿,因此,在目前阶段,国家承担的战略性矿产勘查工作拟做到普查阶段为适当。亦就是矿产勘查的风险部分主要由国家来承担,普查成果进入市场有偿转让,由企业去勘探、开发。同时亦可制定矿产勘查风险贷款政策,支持企业进行矿产预查和普查,减轻国家的负担。当矿山企业活力增大,市场对矿业集资增大时,企业将逐步增大对矿产勘查、开发的投入,从矿业收益中提取勘查资金,加大勘查投入,形成矿产勘查、开发的良性循环,使矿产勘查与开发持续发展。

### (三) 组织精干的国家地质工作队伍

建立包括矿产勘查工作在内的地质工作新体制的另一个重要内容是重组地质工作队伍。关于这个问题,朱镕基总理于1994年9月有过明确指示:“地质队伍要逐步划分为野战军和地方部队,野战军吃中央财政,精兵加现代化设备,承担国家战略任务,地方部队要搞多种经营,分流人员,逐步走向企业化”。今年国务院决定大部分地质队伍属地方化、企业化,成立中国地质调查局,保留2万人左右的“野战军”队伍。作者认为成立具有精干的2万人队伍的中国地质调查局是今后地质工作及矿产勘查战略性工作的保证。50年来,在地质工作实践中形成的80多万地质工作者组成的基础地质调查、固体矿产和环境地质工作队伍得来不易,为祖国经济建设做出了卓越贡献。在新形势下国家保留的精干队伍应当是80万队伍的精华,需要更好地组织,给以现代化装备,给以相对稳定的工作任务,在不断的地质工作实践中锻炼、培养、成长,使其成为国际先进水平的队伍。

### (四) 合理部署与组织矿产勘查工作

在新的体制下矿产勘查部署需要进行宏观的全国性战略部署,按东、中西部研究程度不同,分层次分别部署相应的地质工作和矿产勘查工作。部署过程中要坚持经济建设需要、地区发展要求与客观地质成矿条件的可能相结合,处理好紧急矿种优先,又要兼顾其他矿种,要坚持综合找矿的原则,要坚持区域展开,重点突破,点面结合、统一部署各项地质工作、科研工作的原则,要坚持依靠科技进步,学习与合理应用地质理论与各种找矿技术方法。在全国由国家统一规划与部署的基础上,要发挥地方及中外企业的积极性。国家按财政的拨款,分轻重缓急,由中国地质调查局承担和组织规划中的地质工作,包括战略性矿产资源勘查工作,并向社会公布调查成果。国土资源部按国家法律、法规办理国内外企、事业单位矿产资源勘查登记,监督管理勘查工作的进行。使在新体制下全国地质工作、矿产资源勘查工作进行得更加有序、有效。

### 二、有计划、有组织地开拓新的矿产资源及新的找矿领域

已知的绝大部分矿产资源随着人类社会与经济的发展,而不断开发消耗,必定会枯竭,对于已有资源当然要保护、节约、合理利用,对使用过的废料要回收再利用,这些都很重要。但从根本上解决资源枯竭的危机,只能是不断发现可供接替的新兴的矿产资源或代用品,在这方面我们也有乐观的展望,但能否实现,决定于人类自己的努力。为了实现这个决定人类生存与发展的历史性任务,必须首先使全社会高度重视,有危机感和紧迫感;其次,各国政府及有关部门要有组织、有计划地组织稳定队伍,进行研究、攻关,给以经费保证;第三要充分依靠科技进步,依靠联合攻关,联合国应组织国际攻关项目,集中各国科学家的智慧攻克人类共同的矿产资源问题。

### 三、发展国内矿产勘查与矿业市场

实践已证明,矿产资源的勘查与开发,单靠国家来承担是不符合客观经济规律的。矿产资源属性是商品,可以进入市场,经公司经营勘查与开发,其矿产品可在市场销售,取得利润,公司再从利润中提取一定比例,一般 20% ~ 50%,投入再找矿,找到矿,再开发,再获利。如此形成良性循环。因此,国际上众多的矿业公司得以生存与发展。我国长期以来是计划经济体制,国家统包,没有发挥市场的作用,出现一系列弊端。因此,中央决定进行经济体制的重大改革。对于矿业来说从计划经济转向市场经济,目前重要的是尽快建立国内规范的矿业市场,把“台”搭起来,使矿产勘查与开发有“台”可唱戏。显然,这要有一个过程,要有一系列配套法律、法规来保证。实施的有利条件是在国际上有很多好经验可供我们借鉴。作为国家需要有计划地加以组织,进行培育,逐步予以完善。最终形成的矿业市场应当是面向国内与国际,能够有效地吸收市场资金发展矿产勘查与开发实业,促进我国矿业的健康发展。

### 四、利用两种资源,主动挤入国际矿业大市场

在世界经济国际化的大趋势不断增强的形势下,矿业国际化已成为现实。我国作为一个矿业大国,本国的紧缺矿产资源需要进口,优势矿产需要出口,进入国际矿业大市场是国内、亦是国际的需要,符合国家利益。目前的问题是,如何对我们更有利地进入国际矿业市场。

要扩大利用国外资源,实行国内外资源互补。我国紧缺的矿产,如石油、富铁矿、铜矿、锰矿、铬铁矿、钾盐、金刚石等,国外均较丰富;而我国的不少优势矿产,如稀土、钨、锡、锑、煤、石墨、菱镁矿、滑石、重晶石、萤石、叶腊石等,又是国外所需。因此,国内外资

源互补很有条件。关键要制定与实施有效利用国外资源和开拓国外矿产品市场的战略措施。如原油要减少出口,增加石油储备;充分利用国外富铁矿资源,加速国内钢材出口,以出养进。除扩大进口贸易外,还应走出国门,支持国内企、事业单位到国外进行风险勘查、开发矿产资源,采取独资或合作方式直接参与开发,建立海外矿业供应基地,或与有关国家建立长期稳定的矿产供求关系。实行必要的战略矿产储备。在此过程中,国家对到国外从事矿产勘查与开发的企、事业单位,要给以优惠政策,尤其是风险勘查阶段,应给以风险贷款,国家承担一定风险。

对优势矿产的出口,既要扩大企业出口经营权,又要加强宏观调控和管理,避免自相压价,要从政策上鼓励多出口高附加值及深加工产品,不鼓励甚至限制未加工或粗加工资源性矿产品出口;要从比较利益原则出发,对其他矿产实行有进有出的战略,对于国内资源不足但精加工(冶炼、炼油)能力过剩的矿产,可采取出口成品、进口原料,并力争大出多进的战略等,以提高矿产品外贸的国际支付能力。

在国际矿业市场中,要按照国家的法律、法规,吸引国际资本投入国内的矿产勘查与开发,但亦要考虑保护我国矿业界的利益,要制定全国统一的矿产品进出口政策及建立不断完善外资在国内从事矿产勘查与开发的具体办法,作为我国资源政策体系的重要组成部分。

## 五、调整资源利用结构

考虑到合理利用资源及资源利用对环境的影响,结合我国实际情况,需要逐步调整某些资源利用结构,以适应矿产资源可持续发展的需要。在能源结构上,由于我国煤炭资源比较丰富,因此,在我国能源结构中煤炭占有 75%,水能占 5.7%,而天然气不到 2%,核能源不到 1%。燃煤造成严重的环境污染,而天然气、核能、水能资源在我国尚有开发的可能。因此,未来我国能源结构上应提高天然气、核能及水能的比例。目前,国际上天然气提供的能源一般达到 20%,核能占 5%,水能占 7%,在我国适当调整能源结构是有基础和有可能的。当然以煤为主的能源比例在我国可能将长期维持下去,但比例宜适当下降。

在金属与非金属矿产资源利用上,由于非金属矿产资源比较丰富,并且随着科技发展,新材料产业将有较大发展,亦将扩大对非金属矿物原料的新要求。因此,非金属矿产新矿种将不断发现,并被利用。由非金属矿产原料或主要由非金属矿产为原料制成的新材料必将不断替代金属矿产原料。我国原材料矿产的组成结构中,非金属矿产的比例将增加。这种结构性调整,看来在 21 世纪必将加快,我们应当自觉地促进这种调整。

六、加强矿产资源综合利用及二次资源开发

矿产资源综合利用及二次资源开发是实现矿产资源可持续发展的重要工作与措施。对于节约资源 ,改善环境 ,提高经济效益 ,促进经济增长方式由粗放型向集约型转变 ,实现资源优化配置具有十分重要的作用。矿产资源综合利用及二次资源开发的范畴应包括矿产开采、加工过程中的伴生、共生有用元素的应用 ,尾矿、废气、废水的利用以及其产品废弃物的回收 ,再利用。如图 14 - 5 - 1 所示。

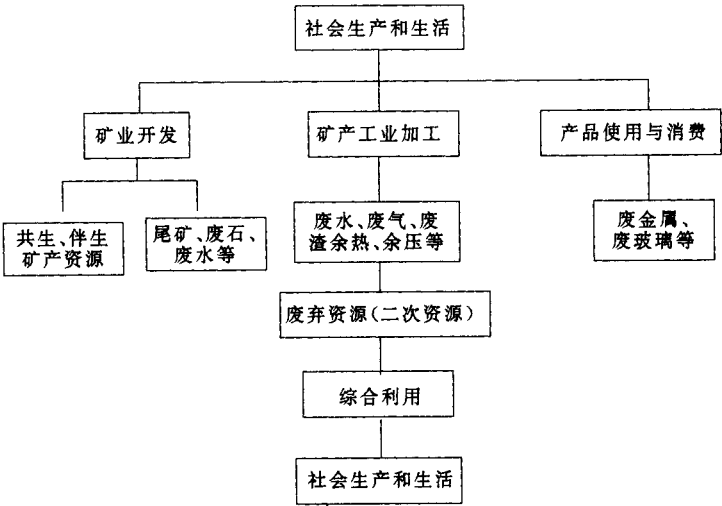


图 14 - 5 - 1 矿产资源综合利用流程图

(一) 矿产资源综合利用的现状与潜力

我国已探明的矿产储量中 ,共、伴生矿床比重占 80% 左右 ,其潜在价值占总潜在价值的 37% ,应在 30 万亿人民币以上。目前开发利用的 139 个矿产资源种类中 ,有 87 种矿产部分或是全部来源于共、伴生矿产 ,占总数的 62.6%。矿产资源总回收率为 30% 左右。全国对共生、伴生矿进行综合开发的占其总数的 1/3 ,综合利用率近 20%。而国外矿产资源总回收率与共、伴生资源综合利用率先进的水平都在 50% 以上。据有关部门估算我国每年矿产开发损失的资源价值约 780 多亿元。目前我国综合利用的矿种只占可以开展综合利用矿种总数的 50% 左右。如我国铁矿资源共、伴生组分大约有 30 多种 ,目前能回收的仅 20 余种 ,攀枝花钒钛磁铁矿床伴生的铜、镍、钴、铬等 10 多种有益组分 ,至今尚不能回收。煤系地层中伴生、共生 20 多种矿产 ,绝大多数矿产尚未利用。我国铜、铅、锌伴生金属冶炼回收率为 50% 左右 ,而发达国家平均在 80% 以上。包头白云鄂博铁稀土矿 ,稀土综合回收利用率仅为 6%。我国矿山“三率”(采矿回收率、采矿贫化率和选矿回收率)水平普遍较低。9 种主要有色金属的采矿回收率为 53% ,选矿回收率为

62.5% , 采选总回收率为 33% , 采选冶总回收率约为 30% , 远低于前苏联采选冶总回收率 70% 的水平。我国矿产资源开发损失浪费极大。可见我国矿产资源提高开发的回收率 , 提高共生、伴生资源的综合利用潜力极大。

矿产开发与矿产工业加工形成的“三废”(固体废弃物、废气、废液)实际上是一种宝贵的“二次资源”。随着科技进步,废弃物的再资源化程度日益提高,变废为宝,既利用了资源又保护了环境。我国与矿业开发及矿产品加工有关形成的固体废弃物,从 1992 年到 1996 年每年都在 6 亿吨以上,其中尾矿量最大,以 1995 年统计,占 29.4% , 其次是煤矸石占 18.3% 和粉煤灰占 18.1% , 冶炼废渣占 11% , 其他还有化工废渣、炉渣等。这些废弃物一个显著特点是矿物伴生成分多和未燃碳分含量高,具有再资源化和能源化的巨大潜力。据 1996 年统计,冶炼废渣利用率达 83.7% , 粉煤灰利用率为 47.9% , 煤矸石利用率为 38.0% , 尾矿利用率最低,仅为 7.4% 。而国外最好水平是前三种基本上完全利用,尾矿利用率达到 60% 。因此,我国在这方面有很大差距,有很大的再开发的潜力。废液、废气方面同样亦有再开发的潜力。

与矿产资源再利用有关的废钢铁、废有色金属、废玻璃等,是可以回收再次加工利用的二次矿产资源。这方面有很大潜力。废钢铁的量最大,据估算,全国 1996 年废钢铁产生量为 5000 万吨,废玻璃达 1000 万吨,1996 年全年废钢铁回收量为 4200 万吨,占当年产生量的 84% , 约为钢生产的 41.5% , 相当于节约铁矿石 1.68 亿吨,节约能源 3738 万吨标准煤,节约工业用水 3.15 亿吨;1995 年废铜、铝、铅、锌回收量为 44.5 万吨,数量亦相当大。但与国际上发达国家比,我国回收利用废金属方面水平比较低。国外废钢铁回收率达到 95% 以上;废杂铜直接利用率我国最高只有 50% 左右,而发达国家一般达到 60% , 再生铜占铜产量的比例,我国为 14% , 世界平均水平为 35% , 再生铅占铅产量的比例,我国不到 10% , 世界平均水平为 22% 。随着经济发展,这类再生矿产资源产生量还会不断增大。对它们的回收利用潜力相当大。

## (二) 加强矿产资源综合利用的对策

首先,全社会要树立和增强资源意识,了解矿产资源综合利用对社会可持续发展的重要意义。把矿产资源综合利用工作列入各级国民经济和社会发展规划中去。其次,要完善有关的法律及政策。需要尽快出台“资源综合利用法”,使矿产资源综合利用纳入法制轨道。要制定有关矿产资源综合利用的技术经济政策,要继续执行及进一步完善鼓励矿产资源综合利用的政策,并落到实处。严格执行有关建设项目中资源综合利用工程与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。第三要大力依靠技术进步,加强资源综合利用重点领域的研究与开发,提高资源综合利用的整体技术水平。第四要增加投入及加强政府管理。因为资源综合利用既是一项经济工作,更是一项长期性、公益性工作,国家需要



设立专项基金 ,并逐步增加投入 ,并加强组织管理。

### 七、加强矿产勘查、开发过程中的环境保护

矿产开发对环境的影响只能限制在环境可承受的范围内 ,才可保证人类社会的可持续发展。人类的社会长期以来是以牺牲自然环境为代价的。这种后果将影响人类自身的生存与发展 ,世界各国日益对此取得共识。矿产勘查与开发是改变自然的活动 ,从业者有责任保护自然环境。

在这方面 ,首先对于过去造成的环境破坏要治理 ,建立国家基金来治理 ;正在勘查与开发的矿山要按有关法规要求边开发边治理 ;对于将要勘查与开发的矿产要防、治结合 ,在勘查与开发设计中要列入防止破坏环境的措施以及恢复环境的工作内容。

要进一步完善国家环保法律、法规中有关矿业方面的内容 ,并制定适合我国经济发展阶段的矿产开发的具体环保要求(如矿山环境保护法规) ,并由国家矿产勘查、开发管理部门列入矿产勘查与采矿立项的工作内容中去。实施矿山开发全过程的环境管理并纳入该地区社会经济发展规划。

### 八、建立国家战略性矿产资源的储备制度及系统

矿产资源的保证程度 ,涉及国家的安全。在和平时期为保证国家经济和社会发展及稳定 ,除了本国的政治因素外 ,获取足够的资源保证是重要的物质基础。在战争期间 ,关键性的战略矿产资源更是国家取得战争胜利的重要保证条件之一。因此 ,任何一个国家 ,为了国家的安全 ,都有矿产资源储备问题。美、英、日、法等发达资本主义国家都有严格的战略矿产资源储备的制度与系统。

以石油为例 ,世界很多国家都有石油储备制度。国外石油储备分为物性储备和资源储备两类。前者储备对象是石油 ,可直接投放市场的商品 ;后者是作好开发准备的原地埋藏的石油资源 ,这类储备美国在第一次世界大战时就有 ,现在还保留了一些。物性储备有常规和应急两种。常规储备又称商业储备 ,用于维护正常生产和销售 ,起调节市场作用。应急储备亦称战略储备 ,主要用于应付突发事件导致的石油中断。1962 年经合会组织(OCED)提出储备 60 天石油需要的建议。1980 年国际能源机构(IEA)规定各石油进口国有义务保有相当于 90 天净进口量的石油储备。同时 ,欧共体把储备要求亦提为 90 天。1993 年美国的石油储备近 2 亿吨 ,储备要求达 99 天。日本、德国、意大利的储备分别为 7807 万 ,4016 万 ,2127 万吨。法国、英国、加拿大和荷兰的石油储备均超过 1000 万吨 ,可用天数依次为 75 天 ,76 天 ,70 天和 226 天。前苏联解体后 ,美国石油储备有所减少 ,但目前仍有近 1 亿吨。美国能源部 1997 年 8 月新出台的战略计划中仍强调要加强

储油基础设施的建设,使储备石油由 1997 年的每天 370 万桶,提高到 2000 年每天储备 420 万桶。其他战略矿产资源,如铀、稀土、钴、铂、镍、锡、钨等这些主要发达国家亦都有储备。

对于我国这样一个虽属矿产资源大国,但矿产资源安全形势严峻。为此,需要采取有效的矿产资源储备战略和实际措施,对我国具有的优势的战略性矿产资源要有节制地开发,要储备一定的数量优势矿产地,对我国短缺的战略性矿产资源,除了加强国内勘查开发,要加强去国外合作勘查开发,或把使用这类矿产资源的产业尽可能移到国外经营,根据国家财力,尽量少用国内资源,并要进行国家储备,制定储备制度及有关政策,确定储备额度,建立国家储备系统。

## 九、加强国家对矿产资源勘查、开发、利用的管理

要实现矿产资源可持续发展必须加强国家对矿产勘查、开发、利用的全程管理。

### (一)建立有效的行政管理体制

执行国家有关矿产资源的法律、法规、政策需要在全国有健全的、有效的代表国家的行政管理体系。国务院建立了主管全国土地、矿产、海洋等资源的国土资源部,省(区)在即将进行的机构改革中亦将成立省级国土资源行政管理部门,矿产资源管理部门将设到县级,在全国形成体系。矿产资源的管理要切实体现矿产资源国家所有的根本原则,矿产资源不是矿产资源所在地的个人、部门、地方政府所有。国务院代表国家、国务院矿产资源主管部门行使管理职责。要按矿产资源法实施细则上规定的分级、分类管理的原则进行,要处理好国家与地方的利益。各级管理机构要严格执法,依法行政,全国要政令畅通,令行禁止。关键要不断地提高各级管理部门干部的掌握有关法律、法规、政策的水平和执法意识以及廉政勤政、优质服务的作风。要建立对各级管理部门行政执法情况的监督制度,保证管理体系的健康、有效地运行。

### (二)完善和建立有关矿产资源的法律、法规和政策

作为社会主义市场经济体制下的与矿产资源勘查、开发、利用、保护等有关法律、法规和政策应当说还很不完善,或有不少尚待建立。需要进一步完善矿产资源法,特别是有关矿业开发、矿山环境保护等方面的内容需要进一步完善;矿产资源综合利用法应尽早制定;要组织制订矿产资源开发战略,建立包括国家矿产品进出口政策、矿产资源保护政策、战略矿产资源储备政策、鼓励勘查和开发政策在内的矿产资源政策体系,逐步完善有利于矿产资源可持续利用和保护环境的的价格政策和财政税收政策等。

### (三)切实实行勘查、开采区块管理制度

矿产资源勘查、开采区块管理制度,是国际上通行的国家管理矿产资源的有效办法。

勘查矿产资源必须按区块向国家提出申请,经批准并缴纳体现国家所有权的探矿权使用费,领取勘查许可证,成为探矿权人后才能进行勘查活动。开采矿产资源必须向国家申请,并经批准才能开采。国家保护探矿权人及采矿权人的合法权益,不允许其他单位或个人进入已登记的区块内进行勘查和开采矿产资源。区块登记部门必须公平、公正地面向社会进行登记工作,以维护国家及申请者的利益。使勘查、开采纳入法治轨道,有序进行。

### (四)对矿产资源实行统筹规划,集中统一管理

国家矿产资源管理部门要组织开展定期、不定期矿产资源供需形势分析和成矿远景区划、矿产资源总量预测、矿产资源经济区划研究,制定矿产资源开发战略、资源政策和资源规划。全国矿产资源规划要兼顾好当前与长远利益关系、全局与局部利益关系。全国矿产资源规划应对全国矿产资源的分配做出统筹安排,各地方应在全国统筹安排的基础上,在全国矿产资源管理部门指导下,进行省(区)内矿产资源的规划,发展省(区)经济。

### (五)强化监督管理

强化在矿产资源勘查、开发过程中的监督管理,严格执法,是保证矿产资源可持续发展的重要措施。要监督勘查与开采区块登记过程中的公平、公正、合理性;监督在勘查、开采矿产资源过程中执行有关法规要求的执行情况;搞好矿山开发秩序的有效监督管理,及时制止滥采乱挖;加强矿山开采中的管理,提高采矿回收率、选矿回收率、降低采矿贫化率,提高矿产资源综合利用率,使矿产资源得到有效开发和利用;在矿山开采过程中对环境保护的监督要列为重要内容,要达到按法规所要求的环保目标。

## 十、依靠科技、推动找矿

矿产资源可持续发展的动力是科技进步。21世纪中一方面需要在矿产资源勘查、开发及合理利用工作中充分利用社会有关方面的科学技术新成果,同时,要专门有目的地加强上述方面的科技攻关研究,开创矿产资源事业发展的崭新局面。

### (一)推动矿产勘查科技革命,提高找矿命中率

要加强矿产资源形成的基础理论与规律研究,进行矿床地质科学与其他基础地质科学和基础学科的交叉,联合研究,建立更接近客观实际的成矿理论,更有效地指导找矿。发展信息找矿技术方法,充分利用电子计算机技术、全球定位系统、地理信息系统及航空航天遥感技术,研究和开发新的地球物理、地球化学探矿技术方法,发展快速、准确、痕量分析测试方法,高效钻探、挖进技术,加快地质成矿信息的获取与科学的综合分析,提高成矿预测可靠度,有效地缩小找矿靶区,提高找矿命中率。

## (二) 开拓新的矿产资源

未来可控核聚变技术的突破,将使人类社会能源结构发生彻底变化,取之不尽的核聚变能将保证人类社会对能源的需求。天然气水合物开发技术的突破,亦将为人类提供充足的能源。深海探矿、采矿技术的发展将使海底矿产资源开发成为现实。随着高新技术的发展,新材料的层出不穷,对新矿物原料的需求将日益增长,需着力加强对矿物、岩石物理化学性质的研究,以发现具有开发价值的新的矿产资源。

## (三) 发展采矿技术及矿产综合利用技术,充分合理利用矿产资源及开发二次资源

要有计划开展矿产资源采、选、冶新工艺技术的攻关研究与开发,不断提高资源回收率,充分利用低质量的资源。如开发采矿技术中的堆浸技术、地浸技术、细菌采矿技术等使大量搁置的低品位贫矿和过去无开采价值的矿产得到开发,近些年来,对金、铀、铜等矿业发展起到日益重要的作用。因此要大力加强矿产综合利用技术的研究,实行一矿多用,无尾矿开采。大力开发利用尾矿、废石堆、工农业和社会生活废弃物,发展二次资源利用技术。

## 十一、加强全民矿产资源意识的宣传教育

矿产资源问题是涉及全社会生存与发展的切身大事,必须提高全国人民的认识,明确自己的社会职责。为此,要实施全民性的矿产资源国情教育,可持续发展和资源持续利用教育,建立新的矿产资源观。特别要使全民了解矿产资源是国家所有,是有限的,要保护资源、节约资源、合理利用资源;要依法探矿、采矿、要严禁乱采乱挖,破坏资源、浪费资源;要综合开发和利用资源,要开发利用二次资源;在勘查、开采和利用矿产资源过程中,要保护环境,不能以破坏环境为代价来开采矿产,开发矿产对环境的影响不能超过环境可承受的程度,要按制定的环保法规来要求;要认识矿产资源可持续发展的重要性,矿产资源对国家安全的重要性。