

第二篇

尾矿库的选择及设计

第一章 尾矿设施的概念、组成、功能及重要性

第一节 尾矿设施的概念与组成

一、尾矿设施的概念

金属和非金属矿山开采出的矿石,经选矿厂破碎和选别,选出大部分有价值的精矿以后,剩下泥砂一样的“剩余物”,我们称之为尾矿。这些尾矿不仅数量大(每年以亿吨计算),有些尾矿中还含有暂时未能回收的有用成分,若随意排放,不仅会造成资源流失,更重要的是大面积覆没农田、淤塞河道,造成严重的环境污染,因此,必须将尾矿加以妥善处理。尾矿除一部分可作为建筑材料、充填矿山采空区以及用于海岸造地等外,绝大部分都需要妥善储存在尾矿库内。一般情况下,在山谷口部或洼地的周围筑成堤坝形成尾矿储存库,将尾矿排入库内沉淀堆存,这种专用储存库我们简称之为尾矿库或尾矿场、尾矿池。将选厂排出的尾矿送往指定地点如何堆存或如何使用的过程和方法,称之为尾矿处理。从广义上说,为尾矿处理所建造的全部设施系统,均称之为尾矿设施。但诸如用尾矿作建材,用尾矿充填采空区,尾矿水的专门净化处理等虽也属于尾矿处理,但由于这类处理技术专业性强,内容涉及面广,目前应用经验还不多。故一般尾矿设施主要指尾矿输送、尾矿堆存、尾矿库排洪和尾矿库回水四个系统的工程。

二、尾矿设施的组成

尾矿设施一般是由尾矿输送系统、尾矿堆存系统、尾矿库排洪系统、尾矿库回水系统和尾矿水净化系统等几部分组成。

(一)尾矿输送系统

该系统一般包括尾矿浓缩池、砂泵站、尾矿输送管道、尾矿自流沟、事故泵站及相应辅助设施等。

(二)尾矿堆存系统

该系统一般包括坝上放矿管道、尾矿初期坝、尾矿后期坝、浸润线观测、位移观测以及排渗设施等。

(三)尾矿库排洪系统

该系统一般包括截洪沟、溢洪道、排水井、排水管、排水隧洞等构筑物。

(四)尾矿水处理系统

该系统包括尾矿库澄清水的回水设施和尾矿水的净化设施。

回水设施大多利用库内排洪井、管将澄清水引入下游回水泵站,再扬至高位水池。也有在库内水面边缘设置活动泵站直接抽取澄清水,扬至高位水池。

尾矿水的净化设施主要指当需要外排的尾矿库澄清水水质含有未能满足排放标准的物质而必须进行专门净化的处理设施。

第二节 尾矿设施的功能及重要性

一、尾矿设施的功能

(一)保护环境

选矿厂产生的尾矿不仅数量大,颗粒细,且尾矿水中往往含有多种药剂,如不加处理,则必将成为矿山严重的污染源。将尾矿妥善贮存在尾矿库内,可防止尾矿及尚未澄清的尾矿水外溢污染环境。

(二)充分利用水资源

选矿厂生产是用水大户,通常每处理一吨原矿需用水4~6吨;有些重力选矿甚至高

达 10~20 吨。这些水随尾矿排入尾矿库内,经过澄清和自然净化后,大部分的水可供选矿生产重复利用,起到平衡枯水季节水源不足的供水补给作用。一般回水利用率达 70%~90%。

(三)保护矿产资源

有些尾矿还含有大量有用矿物成份,甚至是稀有和贵重金属成份,由于种种原因,或在目前选矿技术尚未达到的情况下,一时没有全部选净,将其暂贮存于尾矿库中,可待将来再进行回收利用。

二、尾矿设施的重要性

(一)尾矿设施是矿山生产不可缺少的设施

如前所述,尾矿是矿山严重污染源。环境保护是我国一项基本国策。尾矿库又属安全设施,根据我国有关规定,环保和安全设施必须与主体工程同时设计、同时施工和同时生产。某选矿厂就因尾矿设施不正常,在 5 年的时间里,竟停产 404 天;某选矿厂因尾矿坝的安全存在问题,被迫停产 469 天。所以说尾矿设施是矿山生产不可缺少的设施。

(二)尾矿设施投资巨大

尾矿设施的基建投资一般约占矿山建设总投资的 10% 以上,占选矿厂投资的 20% 左右,有的几乎与选矿厂投资一样多,甚至超过选矿厂。尾矿设施的运行成本也较高,有些矿山尾矿设施运行成本占选矿厂生产成本的 30% 以上。为了减少运行费,有些矿山的选矿厂厂址取决于尾矿库的位置。近年来,由于征购土地和搬迁农户越发困难,建设尾矿设施的费用也会更高。可见尾矿设施在矿山建设中的地位是不同一般的。

(三)尾矿库是矿山生产最大的危险源

尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流的危险源。在长达十多年甚至数十年的时间里,各种天然的和人为的不利因素威胁着它的安全。事实一再表明,尾矿库一旦失事,将给工农业生产及下游人民生命财产造成巨大的灾害和损失。

以上几方面足以说明尾矿设施在矿山生产中的重要性,特别是尾矿库的安全问题已引起政府的高度重视。

第二章 尾矿库设计基本知识

尾矿库是选择有利地形筑坝拦截谷口或围地形成的具有一定容积 ,用以贮存尾矿和澄清尾矿水的专用场地。尾矿库内通常设有尾矿坝、排洪系统、移动式回水泵站、值班室和尾矿分散系统等建、构筑物。

尾矿库有以下常用术语 :

库长 由滩顶(对初期坝为坝轴线)起 ,沿垂直坝轴线方向到尾矿库周边水边线的最大距离。

沉积滩 向尾矿库内排放尾矿形成的尾矿砂滩 ,常指露出水面的部分 ,也叫做沉积干滩。

滩顶 尾矿沉积滩面与堆积坝外坡面的交线 ,是沉积滩的最高点。

滩长 自沉积滩滩顶到库内水边线的距离 ,也叫做干滩长度 ,是尾矿库安全度的一个重要指标。

第一节 尾矿库的类型及特点

一、山谷型尾矿库

在山谷谷口处筑坝形成的尾矿库(如图 2-2-1 所示)。它的特点是初期坝不太长 ,堆坝比较容易 ,工作量较小 ,尾矿坝常可堆得较高 ;汇水面积常不太大 ,排洪设施一般比

较简单(汇水面积大时就比较复杂)。这种类型的尾矿库是典型的,国内大量的尾矿库属于此型,管理维护相对比较简单,但当堆坝高度很高时,也会给设计和操作管理带来一定的难度。

二、傍山型尾矿库

在山坡脚下依傍山坡三面筑坝围成的尾矿库(如图 2-2-2 所示)。它的特点是初期坝相对较长,堆坝工作量较大,堆坝高度不可能太高;汇水面积较小,排洪问题比较容易解决。但因库内水面面积一般不大,尾矿水的澄清条件较差。国内尾矿库属于这种类型的较少,管理维护相对比较复杂。

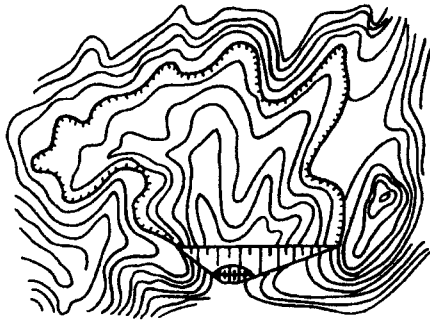


图 2-2-1 山谷型尾矿库

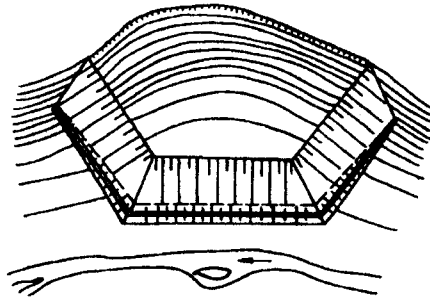


图 2-2-2 傍山型尾矿库

三、河谷型尾矿库

截断河谷在上下游两面筑坝截成的尾矿库(如图 2-2-3 所示)。它的特点是尾矿堆坝从上、下游两个方向向中间进行,堆坝高度受到限制;尾矿库库内的汇水面积不太大,但库外上游的汇水面积常很大,库内和库上游都要设排洪系统,配置较复杂,规模较

大。国内尾矿库属于这种类型的为数不多 ,有中条山铜矿峪十八河尾矿库、西华山钨矿老尾矿库等。相对于山谷型来说 ,此型尾矿库的管理维护比较复杂。

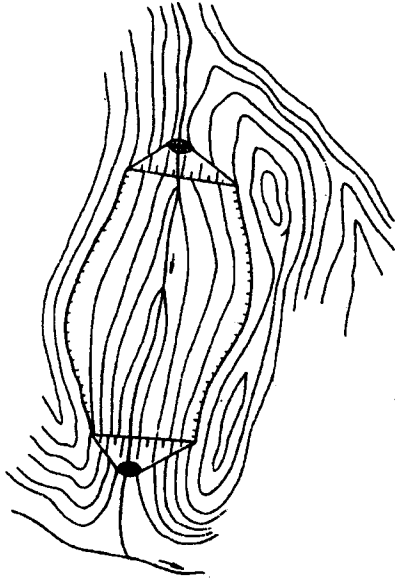


图 2-2-3 河谷型尾矿库

四、平地型尾矿库

在平地上四面筑坝围成的尾矿库(如图 2-2-4 所示)。其特点是没有山坡汇流 ,汇水面积小 ,排洪构筑物简单 ,尾矿坝的长度很长 ,堆坝工作量相当大 ,堆坝高度受到限制一般不高。国内有些尾矿库属于这种类型 ,如金川、哈德门及山东一些金矿的尾矿库 ,管理维护相当复杂。

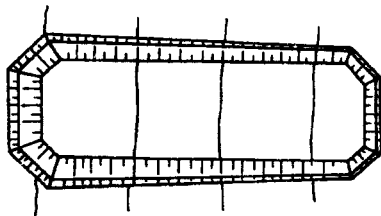


图 2-2-4 平地型尾矿库

第二节 尾矿库的库容

尾矿库的库容随着堆积高度的增大而逐渐增大。某一堆积标高时,坝顶水平面 FE 以下,尾矿堆外坡面、初期坝内坡面 FGA 以内和库底地面 ABE 以上区间所形成的空间(如图 2-2-5 中的 AEFG 部分)称为全库容。它是用来确定尾矿库等别的一个重要指示。根据设计生产年限内选矿厂排出的总尾矿量确定的最终堆积标高时的全库容称为总库容。

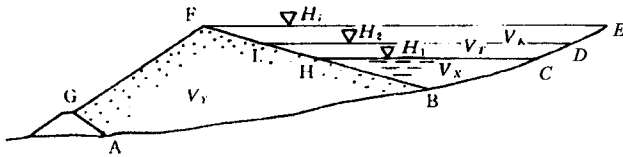


图 2-2-5 尾矿库库容

H_1 —某堆积高程; H_1 —正常水位; H_2 —最高洪水位

全库容可进一步分为有效库容、调洪库容和安全库容几个部分。

有效库容—尾矿沉积滩面 FB 以下、尾矿坝外坡面、初期坝内坡面 FGA 以内和库底地面 AB 以上区间所形成的空间(如图 2-2-5 中的 ABFG 部分)。它是尾矿库实际可容纳尾矿的库容。最终堆积标高时的有效库容称为总有效库容,它表示一个尾矿库最终能容纳多少尾矿量。

调洪库容—正常库水位 HC、尾矿沉积滩面 HI 和地面 DE 三者者以上,最高洪水位 ID 以下区间所形成的空间(如图 2-2-5 中的 IHCD 部分)。它是用来调节洪水的库容。这部分库容在正常生产情况下不允许被尾矿或水侵占。

安全库容—最高洪水位 ID、尾矿沉积滩面 IP 和地面 CD 三以上,坝顶水平面 FE 以下区间所形成的空间(如图 2-2-5 中的 FIDE 部分)。它是为防止洪水漫坝,确保坝的安全预留出的安全储备库容。这部分库容也是任何时候都不允许被尾矿或水侵占。

第三节 尾矿库的面积—容积曲线

尾矿库库容大小在地形已定的情况下随堆坝高度而变。为了清楚地表示出不同堆坝高度时的库容具体数值,可绘制出尾矿库面积—容积曲线(如图 2-2-6 所示)。图中的曲线 $H-F$ 是高程—库面面积曲线,曲线 $H-V$ 是高程—全库容曲线。

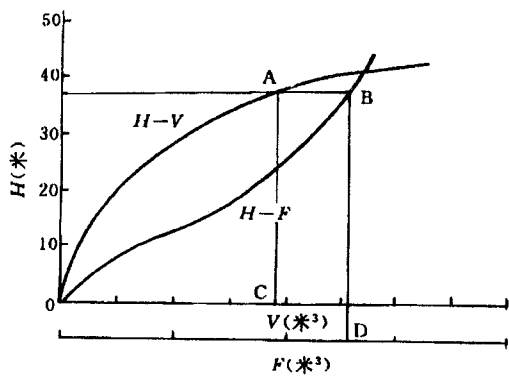


图 2-2-6 尾矿库面积—容积曲线

图中纵坐标轴代表堆坝标高,横坐标轴代表库面面积(F)或库容(V)。已知堆坝标高,在纵坐标轴上从该标高作水平线,交 $H-V$ 及 $H-A$ 曲线于 A 及 B 点,再从 A 及 B 点向下作垂线,交横坐标轴于 C 及 D 点,即可由横坐标轴上查出此堆坝高度时的全库容或库面面积大小。反之,如已知全库容大小,按相反的步骤也可查出坝顶标高。

有的面积—容积曲线图中绘出两条库容—高程曲线:一条是上面所讲的 $H-V$ 曲线,即高程—全库容曲线;另一条是 $H-V_y$ 曲线,即高程—有效库容曲线,从这条曲线上可直接查出某坝顶标高处尾矿库能堆存多少尾矿。

第四节 尾矿库堆积高度的确定

要想知道选矿厂生产多少年后尾矿库能堆积到多高,首先要知道选矿厂向尾矿库内

排放多少尾矿量 ,用公式 2-2-1 计算出所需的全库容：

$$V = W\rho_g(2.7\gamma_d\eta)$$
 (2-2-1)

式中 V ——所需尾矿库的全库容 , m^3 ；
 W ——选矿厂一定时期内排放的尾矿总量 , t ；
 ρ_g ——原尾矿的干密度 , t/m^3 ；
 γ_d ——尾矿平均堆积干重度 , t/m^3 ,可按设计值采用 ,或根据尾矿颗粒组成参照表 2-2-1 选用 ；
 η ——尾矿库库容利用系数 ,与尾矿库的形状、尾矿颗粒粗细和放矿方法等因素有关 粗略计算可参照表 2-2-2 采用。

表 2-2-1 尾矿平均堆积干重度 γ_d

| 序号 | 原尾矿类别 | 分 类 标 准 | γ_d (t/m^3) |
|----|-------|--|---------------------------|
| 1 | 尾粗砂 | > 0.5mm 颗粒含量 > 50% | 1.45 ~ 1.55 |
| 2 | 尾中砂 | > 0.25mm 颗粒含量 > 50% | 1.40 ~ 1.50 |
| 3 | 尾细砂 | > 0.074mm 颗粒含量 > 85% | 1.35 ~ 1.45 |
| 4 | 尾粉砂 | > 0.074mm 颗粒含量 > 50% | 1.30 ~ 1.40 |
| 5 | 尾粉土 | > 0.074mm 颗粒含量 < 50% , 且塑性指数 < = 10 | 1.20 ~ 1.30 |
| 6 | 尾粉质粘土 | 塑性指数 = 10 ~ 17 | 1.10 ~ 1.20 |
| 7 | 尾黏土 | 塑性指数 > 17 | 1.05 ~ 1.10 |

表 2-2-2 尾矿库库容利用系数 η

| 尾矿库形状及放矿方法 | 初期 | 终 期 |
|---------------------|------|-------------|
| 狭长曲折的山谷 ,坝上放矿 | 0.30 | 0.60 ~ 0.70 |
| 较宽阔的山谷 ,单面或两面放矿 | 0.40 | 0.70 ~ 0.80 |
| 平地型或傍山型尾矿库 ,三面或四周放矿 | 0.50 | 0.80 ~ 0.90 |

根据所需的全库容 V 值查尾矿库面积 ~ 容积曲线 ,即可查出尾矿堆积标高(如图 2-2-6 所示)。

反过来说 ,要想知道尾矿库堆积到某一标高时已装了多少尾矿 ,可先从尾矿库面积 ~ 容积曲线上查出此标高时的全库容 ,然后用公式 2-2-2 计算出已装尾矿量：

$$W = 2.7\eta\gamma_dV/\rho_g$$
 (2-2-2)

式中符号见公式 2-2-1。

第五节 尾矿库的等别

一般来说 ,尾矿库的库容越大 ,坝高越高 ,其基建费就越高 ,失事后对下游可能造成的灾害就越重 ,因而其重要性也就越大。

尾矿库的等别体现了尾矿库的重要性 ,它是根据全库容和坝高两个因素 ,由表 2 - 2 - 3 确定的。

表 2 - 2 - 3 尾矿库的等别

| 尾矿库等别 | 全库容(万 m ³) | 坝高(m) |
|-------|-------------------------|-------------------|
| 一 | 供二等库提高等别用 | |
| 二 | ≥ 10000 | $H \geq 100$ |
| 三 | $1000 \leq V < 10000$ | $60 \leq H < 100$ |
| 四 | $100 \leq V < 1000$ | $30 \leq H < 60$ |
| 五 | $V < 100$ | $H < 30$ |

当用库容和坝高两个因素分别确定出的等别相差一等时 ,尾矿库的等别应按高的确定 ;当等差大于一等时 ,则应按高的降低一等确定。另外 ,如果尾矿库失事会使下游重要城镇、工矿企业或重要铁路干线遭受严重灾害者 ,尾矿库的等别要提高一等。

由于尾矿库是不断堆坝的 ,尾矿库的库容和坝高逐渐增大 ,因此 ,尾矿库使用后期的等别常较初期或中期为高。

尾矿库的等别越高 ,对其安全程度的要求越高 ,其建、构筑物的设计安全系数越大 ,排洪标准也越高。

第三章 尾矿库的选择

第一节 尾矿库的型式及选择原则

尾矿库可分三种类型 ,其特点见表 2-3-1。

表 2-3-1 尾矿库的型式及特点

| 库 型 | 初期坝平面形式 | 特 点 | 注 |
|-------|-------------------|--|----------|
| 山 谷 型 | 在谷口一面筑坝 | 初期坝短 ,工程量小 ,基建费省 ,尾矿堆坝 工作量小 ,管理维护简单 ,应优先选用 | 见图 2-2-1 |
| 山 坡 型 | 利用山坡阶地二面或 三面筑坝 | 初期坝长 ,工程量大 ,基建费高 ,尾矿堆坝 工作量大 ,管理维护复杂 ,安全性差 ,只在无 合适的山谷做尾矿库时才选用 | 见图 2-2-2 |
| 平 地 型 | 在平地四周筑坝 | | 见图 2-2-4 |

注 :有的山谷型尾矿库汇雨面积很大 ,如地形条件合适 ,也可在上游谷口设置拦洪坝及排洪沟 ,使洪水不进入库内。

尾矿库的选择在很大程度上决定尾矿设施基建费和经营费的多寡以及管理工作的繁简。由此 ,在选择尾矿库时应综合考虑下列原则 :

- (1)不占或少占耕地 ,不拆迁或少拆迁居民住宅 ;
- (2)距选矿厂近 ,尽可能自流输送尾矿 ;
- (3)有足够的库容(一般应满足储存选厂在设计年限内排出的尾矿量 ,当一个尾矿库不能满足要求时 ,应分选几个 ,每个尾矿库使用年限不应少于五年);
- (4)汇雨面积小(如较大时 ,坝址附近或库岸要有适宜开挖溢洪道的有利地形);

- (5) 坝址及库区工程地质条件好；
- (6) 处于厂区和大的居民点的下游，并最好位于下风向；
- (7) 库区附近有足够筑坝材料。

第二节 尾矿库的库容计算

一、所需库容计算

$$V_z = \frac{WN}{\gamma_d \eta_z}$$

(2-3-1)

式中 V_z ——所需尾矿库的总库容，米³；

W ——选矿厂排出的尾矿量，吨/年；

γ_d ——尾矿平均堆积干容重，吨/米³，根据类似尾矿的实际堆积资料确定，如缺乏此资料时，可根据尾矿颗粒组成参照表 2-3-2 选用；

N ——选矿厂设计生产年限，年；

η_z ——尾矿库的终期库容利用系数，与尾矿库的形状、尾矿粒度、放矿方法有关，粗略计算可参照表 2-2-2 采用。

表 2-3-2 尾矿平均堆积干容重 γ_d

| 序号 | 各 级 尾 矿 颗 粒 含 量(%) | | | γ_d (吨/米 ³) |
|----|----------------------|----------------|---------------|------------------------------------|
| | > 2(毫米) | 2 ~ 0.05(毫米) | < 0.005(毫米) | |
| 1 | < 10 | > 0.25 毫米多于 50 | 0 ~ 3 | 1.60 ~ 1.75 |
| 2 | < 10 | > 0.1 毫米多于 50 | 0 ~ 3 | 1.55 ~ 1.65 |
| 3 | < 10 | > 50 | 3 ~ 10 | 1.50 ~ 1.60 |
| 4 | < 10 | > 40 | 10 ~ 20 | 1.40 ~ 1.55 |
| 5 | < 10 | > 40 | 20 ~ 30 | 1.20 ~ 1.40 |
| 6 | < 10 | < 50 | 30 ~ 50 | 1.00 ~ 1.20 |
| 7 | < 10 | < 50 | > 50 | 0.8 ~ 1.00 |

注 (1) 本表为尾矿比重 $\gamma_g = 2.7$ 时的数据，如 γ_g 不等于 2.7 则应乘以校正系数 $\beta = \frac{\gamma_g}{2.7}$ ；

(2) 根据国内经验，本表数据偏大，一般宜取下限。

二、实有库容计算

尾矿库堆放尾矿时，随着尾矿的不断排入，尾矿坝也逐渐加高。对每一坝高时的库

容均可分为有效库容 V_Y (沉积尾矿所占的库容)和调蓄库容 V_{TX} (有效库容以外的库容)两部分。

调蓄库容又可分为：

空余库容 V_K 最高洪水位以上的库容；

调洪库容 V_T 最高洪水位以下 ,正常水位以上的库容；

蓄水库容 V_X :正常水位以下的库容(对于需进行迳流调节的尾矿库 ,还可进一步分为迳流调节库容和死水库容)。

各部分库容见图 2-2-5 ,其容积可用求积仪量算。

求积仪的使用与面积计算：

将求积仪计数器上的定位标零点对准支杆上的刻度 100(100 分刻)或 33.1(36 分刻)把仪器固定支点放在被测图形之外。量测时先把计算器水平及垂直读数盘均调到零位 ,然后使支杆指针沿图形边缘顺时针移动 ,围量一周记取读数。则被测图形的面积为：

$$F = Kx \tag{2-3-2}$$

式中 x ——读数盘上的指数(水平盘上为整数 ,垂直盘上为小数)；

K ——与所量图形的比例尺有关的面积系数 ,按表 2-3-3 确定。

表 2-3-3 面积系数表

| 图 形 比 例 | | K | 图 形 比 例 | | K |
|---------|--------|------|---------|---------|---------|
| 纵 向 | 横 向 | | 纵 向 | 横 向 | |
| 1:50 | 1:50 | 25 | 1:500 | 1:500 | 2500 |
| | 1:100 | 50 | | 1:1000 | 5000 |
| | 1:200 | 100 | | 1:2000 | 10000 |
| | 1:500 | 250 | | 1:5000 | 25000 |
| 1:100 | 1:100 | 100 | 1:1000 | 1:1000 | 10000 |
| | 1:200 | 200 | | 1:2000 | 20000 |
| | 1:500 | 500 | | 1:5000 | 50000 |
| | 1:1000 | 1000 | 1:2000 | 1:2000 | 40000 |
| 1:200 | 1:200 | 400 | | 1:5000 | 100000 |
| | 1:500 | 1000 | 1:5000 | 1:5000 | 250000 |
| | 1:1000 | 2000 | 1:10000 | 1:10000 | 1000000 |
| | 1:2000 | 4000 | 1:50000 | 1:50000 | 2500000 |

(一)总库容计算

在地形图上定出初期坝的位置 ,按设计的堆坝外坡坡度画出堆积坝外坡面线(图 2-

3-1) 然后量出各等高线和相应的坝高线所围的面积。以相邻两等高线的面积平均值乘以等高距即得二等高线之间的容积。将各层容积累加即得不同堆坝高程时的库容以及最终堆坝高程时的总库容。

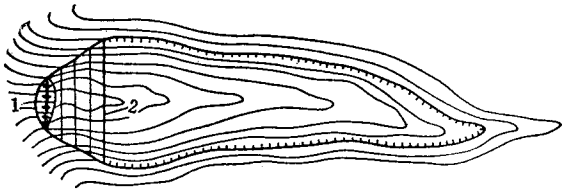


图 2-3-1 总库容计算用图
1—初期坝 2—堆积坝外坡

计算可列表进行(表 2-3-4)。按上表计算结果可绘出尾矿库面积、容积曲线(图 2-2-6)供查用。

(二)调蓄库容计算

在地形图上,按设计的尾矿沉积坡坡度画出某坝高时的尾矿沉积坡面线(图 2-3-2)然后量出各等高线和相应的沉积坡面线所围的面积❶。以相邻两等高线的面积平均值乘以等高距即得二等高线之间的容积。将各层容积累加,即得此坝高时的调蓄库容。其它坝高时的调蓄库容可重复上法计算。

表 2-3-4 总库容计算表

| 等高线 标 高 | 等高线 面 积 | 相邻两等高线 面积平均值 | 相邻两等高 线 的 高 差 | 相邻两等高 线间的容积 | 螺 加 容 积 |
|------------|------------|--------------------------|------------------|----------------|---|
| H_1 | F_1 | $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)$ | $(H_2 - H_1)$ | $V_{1.2}$ | 0 |
| H_2 | F_2 | $\frac{1}{2}(F_2 + F_3)$ | $H_3 - H_2$ | $V_{2.3}$ | $V_{1.2}$ |
| H_3 | F_3 | $\frac{1}{2}(F_3 + F_4)$ | $H_4 - H_3$ | $V_{3.4}$ | $V_{1.2} + V_{2.3}$ |
| H_4 | F_4 | $\frac{1}{2}(F_4 + F_5)$ | $H_5 - H_4$ | $V_{4.5}$ | $V_{1.2} + V_{2.3} + V_{3.4}$ |
| H_5 | F_5 | | | | $V_{1.2} + V_{2.3} + V_{3.4} + V_{4.5}$ |
| | | | | | |

❶ 采用两面放矿和周边放矿的尾矿库,亦可依此原则量算。

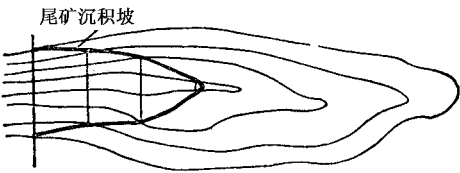


图 2-3-2 调蓄库容计算用图

(三)有效库容计算

某坝高时的库容减去调蓄库容 ,即为此坝高时的有效库容。

三、尾矿库的等级

尾矿库的等级决定防洪标准及库内构筑物的级别 ,而构筑物的级别决定结构安全度。

尾矿库的等级根据总库容或总坝高及重要性等因素 ,参照表 2-3-5 确定。

表 2-3-5 尾矿库及构筑物的等级

| 总 库 容 或 总 坝 高 | 尾矿库等别 | 构 筑 物 级 别 | | |
|---|-------|-----------|-----|-----|
| | | 主要的 | 次要的 | 临时的 |
| $V > 1 \text{ 亿米}^3$ 或 $H > 100 \text{ 米}$ | Ⅱ | 2 | 3 | 4 |
| $V = 1000 \text{ 万} \sim 1 \text{ 亿米}^3$ 或 $H = 50 \sim 100 \text{ 米}$ | Ⅲ | 3 | 4 | 5 |
| $V = 100 \text{ 万} \sim 1000 \text{ 万米}^3$ 或 $H = 20 \sim 50 \text{ 米}$ | Ⅳ | 4 | 4 | 5 |
| $V < 100 \text{ 万米}^3$ 或 $H < 20 \text{ 米}$ | Ⅴ | 5 | 5 | 5 |

- 注 (1)总坝高指尾矿最终堆积标高与初期坝坝轴线处坝底标高的 高差 ;临时构筑物指施工导流设施 ;次要构筑物指隧洞的支线 ,中间排水井的井筒等 ;
- (2)当有下列情形之一时 ,应将表列等级提高一级 :①尾矿库失事将使下游城镇、工矿企业、铁路干线与大面积农田遭受严重灾害 ,或有其它特殊要求 ,经过充分论证时 ;②工程地质条件及水文地质条件特殊复杂时 ;
- (3)初期坝的等级和中间阶段尾矿堆积坝的等级应根据相应的库容或坝高参照本表分别确定。

第四章尾矿建造所需基础资料

第一节尾矿资料

按实际需要取得表 2－4－1 所列有关资料。

表 2－4－1 所需资料的内容与要求

| 用 途 | 资料项目 | 内 容 与 要 求 |
|-----|--------|---|
| 一般 | 尾矿量 | 1. 选矿厂日尾矿排出量(对分期达到设计规模的选矿厂，应取得各期的日尾矿排出量)； 2. 选矿厂生产年限内排出的总尾矿量 |
| | 尾矿特性 | 1. 比重(当粗细颗粒比重差别显著时，应分别给出)； 2. 干容重； 3. 颗粒组成(应取得颗分的逐级颗粒含量，且最大粒径含量不应大于 5%，最小粒级应分析到 5 微米或其含量不大于 10%)； 4. 浓度或稠度 |
| | 选矿工艺条件 | 1. 选矿厂的工作制度及设计生产年限； 2. 尾矿排出口的位置与标高； 3. 选矿生产对尾矿回水水质、水温的要求和最大回水允许量(必要时应做尾矿回水对选矿指标影响程度的试验)； 4. 选矿生产过程中尾矿量和尾矿特性可能的波动幅度 |

| 用 途 | 资料项目 | 内 容 与 要 求 |
|--------------------|-----------|--|
| 考虑尾矿输送系统冰冻情况 | 矿浆温度 | 严寒地区冬季最冷月份选矿厂排出尾矿浆的平均最低温度 |
| 考虑尾矿堆积坝的稳定性并做稳定计算时 | 尾矿的物理力学性质 | <div>1. 尾矿的抗剪强度(根据设计中采用的不同计算方法取得相应的指标 ;当采用总应力法计算堆积坝的稳定性时 ,需用总强度指标 ;当采用有效应力法时 ,需用有效强度指标);</div> <div>2. 安息角(水上和水下);</div> <div>3. 尾矿的压缩性(最大试验压力应与尾矿总堆积高度时的尾矿土压力相当);</div> <div>4. 尾矿的渗透性(分别给出水平与垂直渗透系数)</div> |
| 考虑浓缩回水 | 尾矿的沉降特性 | <div>对在水中能沉降的一般尾矿 :</div> <div>1. 尾矿的沉降速度[用量筒进行试验时 ,其高度不应小于 300 毫米。对于在沉淀过程中澄清界面明显的尾矿浆 ,要求确定在不同浓度的矿浆中尾矿的集合沉降速度 (不少于 5 个不同浓度的矿浆试样 ,最小浓度与设计给矿浓度相当 ,最大浓度与自由沉降带最浓层矿浆的浓度相当 ,后者比设计排矿浓度小一些);对于无明显澄清界面的尾矿浆 ,要求确定设计最小溢流粒径的自由沉降速度];</div> <div>2. 不同历时沉淀尾矿的平均浓度 ;</div> <div>3. 不同历时澄清水的悬浮物含量</div> |
| 考虑浓缩回水 | 混凝沉降试验 | <div>对在水中难以沉降的极细尾矿 :</div> <div>1. 建议采用的混凝剂种类及投药量 ;</div> <div>2. 絮凝体的沉降速度或澄清界面的沉降速度 ;</div> <div>3. 絮凝沉淀物的浓度</div> |
| 考虑尾矿水净化处理 | 尾矿水的水质 | 尾矿水中浮选药剂和有害物质的种类与含量或尾矿水的水质分析资料 |
| | 卫生试验 | 尾矿水中个别有害成分对动、植物的危害性 |
| | 有害物质净化试验 | <div>1. 建议采用的净化工艺流程 ;</div> <div>2. 采用的净化剂种类及投药比 ;</div> <div>3. 净化效果</div> |

第二节 水文气象资料

按实际需要取得表 2－4－2 所列有关资料。

表 2－4－2 所需资料的内容

| 工程情况 | 资 料 内 容 | |
|------------------------|---|--|
| | 第一类(必需资料) | 第二类(参考资料) |
| 尾矿库不需迳流调节的工程项 目 | 1. 设计频率的最大 24 小时暴雨量 H_{24P} 或年最大 24 小时暴雨量均值 \overline{H}_{24} 及其变差系数 C_v ,偏差系数 C_s ,暴雨强度衰减指数 n ; 2. 多年一次最大降雨量及其持续时间或三日、七日最大降雨量 ; 3. 径流模量的经验公式 ; 4. 典型暴雨的时程分配雨型 ; 5. 绝对最高、最低气温 ; 6. 最大积雪深度 ; 7. 水体的最大结冰厚度及结冰期 ; 8. 土壤最大冻结深度及冰冻期 ; 9. 常年主导风向及平均风力 ,最大风速、风力及风向 | 1. 雨力参数 A 、 B 或暴雨公式 ; 2. 邻近地区中、小型水利工程暴雨及洪水计算中所采用的有关数据 |
| 尾矿库需进行迳流调节的工程 项目 | 尚应补充 : 1. 设计保证率的枯水年年径流深度或平均年迳流深度及其变差系数 C_v 、偏差系数 C_s ; 2. 典型年年径流量的逐月分配 ; 3. 最大年蒸发量及其逐月分配 | 1. 设计保证率的枯水年年降雨量或多年平均降雨量 H_0 及其变差系数 C_v 、偏差系数 C_s ; 2. 典型年年降雨量的逐月分配 |
| 需向地面水中排放有害尾矿水的 工程项目 | 尚应补充 : 保证率为 95% 的枯水年河水流量、流速、水位、含砂量、水质分析资料 | 1. 河水的多年平均流量及其变差系数 C_v ,偏差系数 C_s ; 2. 河水的最低水位 ,最低流速 |

注 水文资料最好取得当地的水文计算手册。

第三节 调查资料

一、当地自然经济调查

- (1)尾矿库淹没范围内及管道沿线地带内的耕地种类、亩数、单产量、征购价格及赔偿费用；
- (2)上述范围内的林木种类、面积或株数、经济价值、征购价格及赔偿费用；
- (3)尾矿库内及尾矿库下游附近房屋间数、居民户数、人数、居民可迁住的去向、搬迁费用及房屋拆建费用；
- (4)尾矿库内水井、坟墓等的数量及其赔偿费用；
- (5)下游农田耕地种类、灌溉用水情况及需水量；
- (6)民用井的供水量及使用情况。

二、水文地貌调查

- (1)尾矿库坝址附近河道的最大洪水痕迹调查；
- (2)拟建构筑物(泵站、浓缩池、管道等)场地能否被洪水淹没及最大洪水淹没边界位置；
- (3)尾矿库汇水面积内的地貌,植物被复情况,山坡与河槽之糙率情况,土壤性质的野外描述；
- (4)尾矿库内泉水数量、涌水量、用途以及是否发生过竭流现象,有无落水洞。

三、其它调查

- (1)当地材料设备的生产供应情况及价格；
- (2)交通运输条件；
- (3)施工单位的技术力量及机械设备配备情况；
- (4)改建、扩建工程原有的尾矿设施情况及必要的实测图,建(构)筑物及设备的折旧情况,原尾矿设施的使用经验等；
- (5)尾矿库淹没范围内是否压矿及矿藏情况；

- (6)当地的地震情况；
- (7)拟建坝址附近筑坝土、石料可能的取料场地、运输距离、土石料的种类(土料的野外鉴定方法见表 2-4-3)；
- (8)尾矿库建成后对下游工业、农业(包括林、牧、副、渔)的生产及人民生活可能带来的影响或损害；
- (9)向地面水中排放含有有害物质的尾矿水时,还应调查下游河水的开发利用情况,上下游工业企业排放工业污水的种类、有害物质的含量等；
- (10)尾矿设施距采矿场较近时,应查明采矿崩落区或地表塌陷区的界限。

表 2-4-3 土壤野外鉴定方法

| 土壤种类 | 用手触时的感觉 | 放大镜或肉眼观察下的外表 | 干土强度 | 潮湿时用手搓捻 | 水中溶解 | 其它特征 |
|------|-----------------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|------|------------------------|
| 粘土 | 甚细,难于搓出粉末,手指甲在它表面上摩擦呈光滑油滑,用力能压成块状 | 同类细粒,不含有大于 0.25 毫米的颗粒 | 硬,不易被锤击破 | 很湿时粘手,可以搓成细条,感觉很硬 | 很慢 | 用刀切割时表面光滑无砂粒,干粘土有光亮的痕迹 |
| 粘壤土 | 在手掌上揉辗时不感觉是同等粉末,易压成块 | 可以看到有大于 0.25 毫米的颗粒 | 不硬,以锤冲击及手按时易碎裂 | 有塑性,可以搓成细条,感觉不太硬 | 较快 | 用刀切割时感到砂粒存在,干燥时发光 |
| 粉状壤土 | 手触时感觉有少量砂,类似于粉,易压成块 | 砂少,可以看得出细的粉粒 | 能打碎 | 搓成细条以手一捏即散,搓成球面形稍成裂纹并不破碎 | 很快 | 刀割切时表面有粉砂,干燥时发光 |
| 砂壤土 | 显著感觉其中有砂粒存在,不用力即能压成块 | 大于 0.25 毫米者占多数,更细者为混合物 | 以手指轻压或掷于板上即碎裂 | 搓成细条以手指一捏即散,搓成球面形成裂纹,并不破碎 | 很快 | 刀割切时表面粗糙 |
| 砂 | 感觉不到有粘土成分,是飞散的土壤 | 只能看见砂,几乎全部大于 0.25 毫米 | 松散的,无凝聚性 | 湿度不大时有粘着力,不能滚成圆球 | 散开 | — |
| 细砂 | 手摩之象面粉 | — | 松散的 | 饱和时即成砂浆,不能搓成条 | — | — |
| 砂砾土 | 手摩之象面粉 | 可以看出比颗粒大的孔隙 | 易松散 | — | — | 在地上多呈垂直形的峭壁 |

第四节 测量资料

不同设计阶段所需的地形测量资料如表 2－4－4 所列。

表 2－4－4 所需资料的内容与要求

| 设计阶段 | 资 料 名 称 | 要 求 |
|------------------|---|--|
| 厂址选择 | 企业区域地形图 | 比例 1:50000 ~ 1:25000 |
| 初步设计 | 尾矿设施地形图 洪水痕迹图 | 比例 1:5000 ~ 1:1000 ,测量范围应包括尾矿库全部汇雨面积和筑坝材料取材场 ^① ; 包括三个以上的河道横断面(间距 50 ~ 150 米),一个纵断面 ,标明历史最高洪水位 |
| 施工图 ^② | 坝址地形图 排水构筑物帝状地形图 管道带状地形图 个别建(构)筑物地形图 | 比例 1:1000 ~ 1:500 ,测量范围至坝址外 30 ~ 50 米 ,标高至坝顶以上 10 ~ 20 米 ; 比例 1:1000 ~ 1:500 ,宽 100 ~ 200 米 ; 比例 1:2000 ~ 1:1000 ,宽 100 ~ 200 米 ; 比例 1:1000 ~ 1:500 |

①如包括不了 ,则另需测汇水面积图(图上标明分水岭的分水线及标高 ,山谷主水道走向及标高以及库周山坡若干个代表性断面的地形标高)和取材场地形图 ;
②施工图阶段所需各部分地形图应采用统一的坐标、标高系统 ,并尽可能采用同一比例尺连成一片。

第五节 工程水文地质勘测资料

一、勘测资料的一般内容

勘测资料包括勘察报告和勘察测绘图 ,其内容详见表 2－4－5 至 2－4－7。

表 2－4－5 勘测细目一览表

| 资 料 内 容 | | | 编 号 | 资 料 内 容 | | | 编 号 |
|----------------------------|---|--|-----|----------------------------|-------------------------|--|-----|
| 地貌 条件 | 山谷类型 | | 1 | | 溶洞的类型、分布情况及延伸方向 | | 20 |
| | 地貌特征 | | 2 | | 溶洞的大小、分布具体位置及充填情况 | | 21 |
| 地 质 构 造 | 各地层的时代、成因、岩性与分布 | | 3 | 自然 地质 现象 | 上复土层及风化层的分布厚度与性质 | | 22 |
| | 各地层的含水性及侵水软化性 | | 4 | | 岩石的风化程度及风化深度 | | 23 |
| | 可致滑动的软弱土层的分布 | | 5 | | 人工洞穴的分布位置与大小 | | 24 |
| | 可致滑动的软弱结构带(面)的分布 | | 6 | | 地震等级 | | 25 |
| | 地质构造的类型、产状与展布规律 | | 7 | | 透水层的分布情况 ,性质及埋藏条件 | | 26 |
| | 地质岩性构成 | | 8 | | 透水层的透水性 | | 27 |
| | 岩层产状、厚度 | | 9 | 水 文 地 质 条 件 | 岩层含水性 ,含水层的位置 ,涌水量及补给条件 | | 28 |
| | 节理、裂隙构造发育情况 | | 10 | | 地下水的类型和动态 | | 29 |
| | 有无岩石破碎带 | | 11 | | 泉水的位置 ,涌水量及建库后可能的变化 | | 30 |
| | 断裂破碎带的宽度及其岩性特征 | | 12 | | 地下水对混凝土的侵蚀性 | | 31 |
| | 断裂、裂隙系统的发育程度 ,结构面的产状与力学性质 | | 13 | | 地下通道的走向、出口 | | 32 |
| 自 然 地 质 现 象 | 滑坡、崩塌等不良地质现象对场地的影响程度 | | 14 | 试 验 与 分 析 | 土的抗水性 | | 33 |
| | 泥石流对场地的影响程度 | | 15 | | 稳定性 | | 34 |
| | 泥石流的成因、发育程度、活动规律、类型、固体量、最大平均粒径、今后的速度变化、对工程的危害程度 | | 16 | | 地基土的压缩均匀性 | | 35 |
| | 流砂对场地的影响程度 | | 17 | | 地基标准承载能力 | | 36 |
| | 岩溶发育规律 ,构造与岩溶的关系 ,特别是控制岩溶发育的构造带的渗漏和塌陷对场地的影响程度 | | 18 | | 湿陷性黄土的湿陷性类型及湿陷起始压力 | | 37 |
| | 各种可溶岩的溶化程度 | | 19 | | 岩土的物理力学性质 | | 38 |
| | | | | | 对场地的工程水文地质评价意见 | | 39 |
| | | | | | 防治和处理措施的建议 | | 40 |
| | | | | | 预测工程建筑后所引起的稳定性的变化 | | 41 |

表 2－4－6 建(构)筑物基础岩土的分析和试验项目

| 建 构 筑物 | 坝 基 | | | 排 水 管 | | | 隧 洞 | | | 桥涵基础 | | | 挡土墙 | | | 路 基 | | | | 工业、民 用 建 筑 | | | |
|--------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | 深 挖 | 高填 | 基底 | | | | | |
| 基础土壤 | 粘土类 | 砂类土 | 黄 土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄 土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄 土 | 岩 石 | 粘土类 | 砂类土 | 黄 土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄 土 | 粘黄土 | 砂类土 | 粘黄土 | 砂类土 | 粘黄土 | 砂类土 | 黄 土 |
| 比 重 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 天然容重 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

第四章尾矿建造所需基础资料

| 建 构 筑 物 | 坝 基 | | | 排 水 管 | | | 隧 洞 | | | | 桥涵基础 | | | 挡土墙 | | | 路 基 | | | | 工业、民 用 建 筑 | | | | |
|-------------|-----|-----|----|-------|-----|----|-----|-----|----|----|------|-----|----|-----|-----|----|------|------|------|-----|---------------|-----|------|-----|----|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 深 挖 | 高填 | 基底 | | | | | | |
| 基础土壤 | 粘土类 | 砂类土 | 黄土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄土 | 岩石 | 粘土类 | 砂类土 | 黄土 | 粘土类 | 砂类土 | 黄土 | 粘土黄土 | 砂类黄土 | 粘土类土 | 砂类土 | 粘土黄土 | 砂类土 | 粘土黄土 | 砂类土 | 黄土 |
| 孔隙比 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 天然含水量 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 饱和度 | + | | + | + | | + | + | | + | | + | + | + | + | | + | + | | + | | + | | + | | + |
| 可塑性 | + | | + | + | | + | + | | + | | + | | + | + | | + | + | | + | | + | | + | | + |
| 稠 度 | + | | + | + | | + | + | | + | | + | | + | + | | + | + | | + | | + | | + | | + |
| 相对密度 | | + | | | + | | | + | | | | + | | | + | | | | | | | | + | | + |
| 颗 分 | | + | | | + | | | + | | | | + | | | + | | | + | | | + | | + | | + |
| 收 缩 | | | | | | | | | | | + | ① | | + | ① | + | ① | | + | | | | | | |
| 剪 力 | + | ② | | + | ② | | + | | + | + | + | | + | + | | + | + | | + | + | + | + | | + | + |
| 压 缩 | + | | + | + | | + | + | | + | | + | | + | + | | + | | | + | + | + | + | | + | + |
| 干、湿休止角 | | + | ③ | | | | | + | | | | + | | | + | | | + | ③ | | + | ③ | | + | |
| 湿 化 | + | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 可溶盐含量 | + | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + |
| 有机质含量 | + | | + | | | | | | | | + | ④ | | | | | | | | | + | ④ | | | |
| 渗透系数 | + | | + | | | | | + | ⑤ | | | + | ⑤ | | | | | + | ⑤ | | | | + | ⑤ | |
| 临界孔隙比 | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 孔隙水压力系数软化系数 | + | | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 软化系数 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 相对湿陷系数 | | | + | | | + | | | + | | | | + | | | + | | | | | | | | + | + |
| 饱和自重压力下湿陷系数 | | | + | | | + | | | + | | | | | | | + | | | | | | | | + | + |
| 湿陷起始压力 | | | | | | | | | | | | | | | | + | | | | | | | | + | + |
| 干湿状态极限抗压强度 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 弹性模量 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 泊桑比 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 弹性抗力系数 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |
| 坚固系数 | | | | | | | | | | + | | | | | | | | | | | | | | | |

注（1）表内“+”号为需要者，其右上数标为：

① 仅对多年冻土区粘性土和非湿陷性土，其天然含水量小于塑限时才需要。

② 浸水剪切；

③ 有地下水的深挖或浸水填方时才需要湿休止角；

④ 经现场鉴定含有机质时才做；

⑤ 考虑基坑排水时才需要；

（2）砂类土的试验项目系指能采取原状土样时的项目，如只能采取扰动样，则只进行颗分和干湿休止角试验；

（3）红土（西南地区）试验项目，一般可参照粘性土栏确定，但应按工程具体情况适当增加膨胀、收缩等项目。

表 2－4－7 筑坝材料的分析和试验项目

| 材 料 项 目 | 石料 | 砾 石 | 砂 土 | 粘 质 土 |
|----------------------|----|-----|-----|----------------|
| 颗粒组成 | － | ＋ | ＋ | ＋ ^① |
| 岩石成分 | ＋ | ＋ | ＋ | － |
| 可溶盐及亚硫酸化合物含量 | ＋ | － | ＋ | ＋ |
| 比 重 | ＋ | ＋ | ＋ | ＋ |
| 容 重(干) | ＋ | ＋ | ＋ | ＋ |
| 吸水性 | ＋ | － | － | － |
| 渗透性 | － | － | ＋ | ＋ |
| 有机物含量 | － | ＋ | ＋ | ＋ |
| 干湿状态下极限抗压强度 | ＋ | ＋ | － | － |
| 抗 冻 性 | ＋ | ＋ | － | － |
| 天然含水量 | ＋ | － | ＋ | ＋ |
| 击 实 | － | － | － | ＋ |
| 孔隙比 | － | － | ＋ | ＋ |
| 可塑性(塑限、液限) | － | － | － | ＋ |
| 剪 力 | － | － | ＋ | ＋ ^② |
| 压 缩 | － | － | － | ＋ ^② |
| 软化系数 | ＋ | － | － | － |
| 孔隙水压力系数 | － | － | － | ＋ |
| 临界孔隙比 | － | － | ＋ | － |
| 安息角(水下及干的) | － | － | ＋ | － |
| 膨胀及崩解 | － | － | － | ＋ |
| 最大分子吸水量 | － | － | ＋ | － |

注：表内‘＋’号为需要者，其右上数标为：

- ① 包括比重计颗分或水析；
- ② 为在最佳含水量时的试验。

二、各设计阶段所需的勘测资料

初步设计阶段要求取得对几个方案的尾矿库主要的工程地质条件进行评价的资料，对能影响场地取舍的不良地质问题作出明确的结论，以作为选定场地的依据。

施工图阶段要求取得建（构）筑物地基的稳定性、渗透性、压缩均匀性等方面的资料，以作为建（构）筑物设计的依据。

各阶段所需资料的内容可视工程的具体情况参照表 2－4－8 确定。

三、勘测任务的布置

按设计阶段向有关勘测部门提出工程、水文地质勘测任务书。

任务书的内容包括：工程构筑物的概况、位置、对勘测的技术要求及要求提资料的内容、日期、份数等。

任务书的格式参见表 2-4-9 和 2-4-10。

表 2-4-8 各设计阶段所需勘测资料的内容

| 设计阶段 | 工程项目 | 所需资料内容或编号(见表 2-4-5) | |
|------|------------------|---|--|
| 初步设计 | | (1)(2)(5)(7)(8)(12)(14)(15)(18)(20)(24)(25)(26)(27)(29)(39) | |
| 施工图 | 尾矿库 | 对可能成为向邻谷渗漏途径的狭窄分水岭 ^① | (8)(9)(10)(26)(27)(40) |
| | | 对被水淹没后可能不稳定的陡薄分水岭鞍部地段 | (3)(4)(6)(13)(16)(21)(32)(38) ^② , (40)(41) |
| | 尾矿坝 ^③ | 1. 坝址工程地质纵、横剖面图(平行于坝轴线的纵剖面一般不少于二个,视地形地质条件可适当增减); 2. 钻探点的工程地质柱状图(一般深度应为初期坝坝高的 1~15 倍或穿过强风化裂隙带,如遇淤泥层等不良地质现象则应穿透至较坚实的岩层,对于高堆坝还需考虑尾矿堆积坝对坝基的影响); 3. 其它(21)(23)(24)(27)(30)(38)(40) | |
| | 排水管 | 1. 沿线工程地质纵剖面图(必要时须做横剖面); 2. 钻探点的工程地质柱状图(其深度视基础砌置深度、尾矿最大堆积高度和地基土的性质而定,一般为 10~15 米或至基岩,如有淤泥层则应穿透至较坚实的岩层); 3. 其它(2)~(6)(13)(23)(31)(35)(36)(38)(41) | |
| | 隧洞 | (5)(8)~(11)(13)(14)(17)(19)(22)(27)(28)(31)(34)(38) | |
| | 尾矿管槽 | 1. 全线的工程地质描述; 2. 个别管段(高填方、深挖方处)的地基稳定性; 3. 其它(19)(41) | |
| | 筑坝材料 | 1. 取料场的位置、范围、材料种类; 2. 材料的可采数量及厚度; 3. 其它(38) | |

注(1)表内标注:

- ① 对不需回水及渗漏水对下游无危害的尾矿库可不要;
- ② 可参照表 2-4-6 坝基栏的内容确定;
- ③ 对于初期坝高度小于 6 米,尾矿堆积总高度不超过 30 米,且坝地质条件简单的尾矿坝,可用地表踏勘代替工程地质测绘。

(2)土的物理力学性质分析测定,对于不同成因类型的每一主要地层,在尾矿坝地段不应少于 6~10 件(次),在排水构筑物地段不应少于 6 件(次)。

| 表 2 - 4 - 9 尾矿设施初步设计阶段工程水文地质勘测任务书 | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----|--|-----------|------|
| 建 设 单 位 | | | | 工 程 名 称 | |
| 随 任 务 书 附 | | 图 纸 | | 张 份 ； 附 件 | 张 份 |
| 要求提交资料日期 | | | | 要求提交资料份数 | |
| 勘 察 项 目 内 容 | | 方 案 | | 第一方案 | 第二方案 |
| | | | | | |
| 尾 矿 坝 | 结构类型 | | | | |
| | 坝 高(米) | | | | |
| | 坝 长(米) | | | | |
| | 顶 宽(米) | | | | |
| | 底 宽(米) | | | | |
| 尾 矿 库 | 最终堆积标高(米) | | | | |
| | 最终水位 | | | | |
| | 使用年限 | | | | |
| | 回水率(%) | | | | |
| 排 水 管 | 结构类型 | | | | |
| | 断面尺寸(米) | | | | |
| | 管 长(米) | | | | |
| 排 水 井 | 结构类型 | | | | |
| | 井 径(米) | | | | |
| | 井 高(米) | | | | |
| | 井荷重(吨) | | | | |
| 隧 洞 | 断面尺寸(米) | | | | |
| | 长 度(米) | | | | |
| | 进出口标高 | | | | |
| 筑坝材料 | 土(石) 砂方量(米 ³) | | | | |
| | 对质量的要求 | | | | |

提出任务单位
(公 章)

设计总负责人 :
提出任务书人 :
提 出 日 期 : 年 月 日

(签 章)

表 2－4－10 尾矿设施施工图阶段工程水文地质勘测任务书

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------------|-----|------------|------------|---------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------|-----|-----|--|----------|----------|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 建 设 单 位 | | | | | | | | 工 程 名 称 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 随 任 务 书 附 | | | | 图 纸 | | | | 张 | | | | 份；附件 | | | | 张 | | | | 份 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 要求提交资料日期 | | | | | | | | | | | | | | | | 要求提交资料份数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 初期坝 | 结构类型 | | | | | | | | | | | | | | | | 坝高(米) | | | | | | | | | | | | | | | | 坝长(米) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 顶宽(米) | | | | | | | | | | | | | | | | 底宽(米) | | | | | | | | | | | | | | | | 坝基标高 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 尾矿库 | 最终堆积标高 | | | | | | | | | | | | | | | | 最终水位标高 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 堆积速率 | | | | | | | | 回水率(%) | | | | | | | | 使用年限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 排水井 | 编 号 | 结 构 | 高 度 (米) | 井 径 (米) | 基 础 情 况 | | | | | | | | 备 注 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 形 状 | 尺 寸 (米) | | 砌置深度 (米) | | 总 荷 重 (吨) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 排水管 | 结 构 类 型 | | | | | | | | 断面尺寸(米) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 每米荷重 (吨) | | | | | | | | 总 长 (米) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 隧洞 | 断面尺寸 (米) | | | | | | | | 进口标高(米) | | | | | | | | 出口标高 (米) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 长 度 (米) | | | | | | | | 拟采用的施工方法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 筑坝材料 | 勘察区位置及最大运距 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 种 类 | | 需 要 量(米³) | | | | | | 对 质 量 的 要 求 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 土 料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 石 料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 砂 料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 尾矿管线 | 管槽尺寸(毫米) | | | | | | | | 总长(米) | | | | | | | | 管槽材料 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 管 桥 | 编 号 | 高 度 (米) | 长 度 (米) | 结 构 | 基 础 情 况 | | | | | | | | 备 注 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 形 状 | 尺 寸 (米) | | 砌置深度 (米) | | 总 荷 重 (吨) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注 (1 砂泵站、浓缩池的工程地质勘测任务由土建专业提出。

提出任务单位(公章)

设计总负责人：(签章)

提出任务书人：

提 出 日 期：年 月 日

第五章 尾矿库的布置

第一节 尾矿库布置型式

尾矿库布置是尾矿库选址过程的组成部分。因为,任一特定尾矿库场地的适用性都必须在充分论证它对特定布置方案的适应性情况下才能确认下来。从某种程度上讲,尾矿布置方案有无限多种,但它必须与各种地形背景相适应,而且与所用坝类型无关,适合于特定尾矿、废水性质及库区特定条件的任意坝类型和升高方法都可以采用。

一、环型

在没有天然凹地的平坦地区,最适合采用环型尾矿库,图 2-5-1 示出环型尾矿库的示意图。这种布置方案,相对于其库容量而言,其所用筑坝材料量较大。由于尾矿库全封闭,所以消除了来自外部的地表径流量,汇水仅是尾矿库表面直受降雨量。环型尾矿库一般按规则几何图形布置,因此便于采用任意类型垫层。

正如图 2-5-1b 所示,这种尾矿库可以分块并依序构筑和排放,因为渗流量与发生渗流面积成正比,故可以显著地降低渗流量,可以同时进行土地恢复,延迟建设费用,缺点是大量筑坝材料,按图 2-5-1b 所示的情况,大约比单一尾矿库所需量多 50%。

二、跨谷型

顾名思义,跨谷型尾矿库是由尾矿坝跨过谷地两侧拦截成尾矿库,布置型式近乎同

于普通蓄水坝,如图 2-5-2 所示,其可分单一尾矿库(图 2-5-2a)和多级尾矿库(图 2-5-2b),因适用性广泛而为世界所普遍接受。跨谷型尾矿库尽可能靠近流域上游布置,以减少洪水流入量。在采用多级型尾矿库时,最上级尾矿库因容积小而负担洪水压力大,需要精心控制地表水。通常采用山坡引水沟汇集正常条件下径流量,但因谷地坡度较陡可以环库布设大型截洪沟,最好采用蓄积、溢洪或在库上游用控水坝分隔方法处理洪水径流。

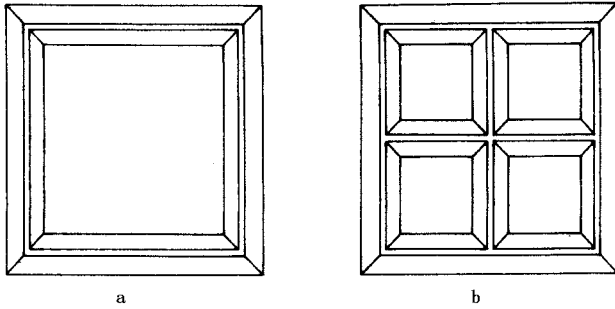


图 2-5-1 环型尾矿库

a—单一尾矿库 b—分块尾矿库

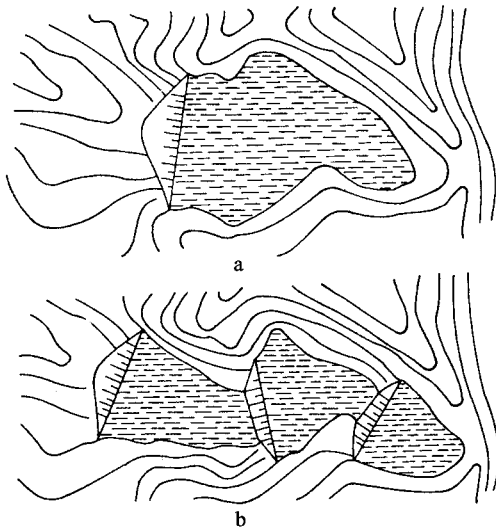


图 2-5-2 跨谷型尾矿库

a—单一型 b—多级型

三、山坡型

图 2-5-3 示出山坡型尾矿库布置,库区三面采用尾矿坝封隔,因此,所需筑坝材料量一般比跨谷型布置多。在适于跨谷型布置但不切割排泄水系的场合,例如山前冲积平原上,或者在切割排泄水系会使汇水面积过大的场合,可以采用山坡型尾矿库。最适宜的山坡坡度是小于 10%,坡度较陡时,筑坝材料量相对于贮积尾矿量增加过大,并且,如果采用多级坝,上级坝体积占下级库容的很大比例。

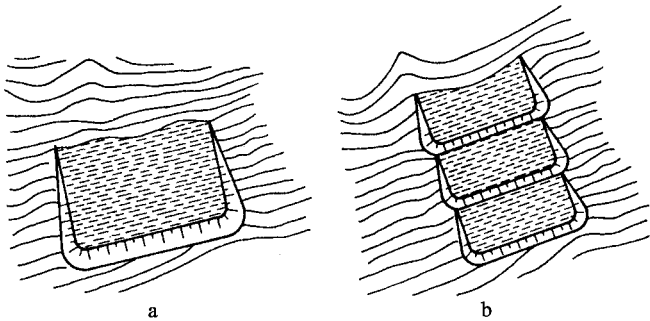


图 2-5-3 山坡型尾矿库
a—单一型 b—多级型

四、谷底型

谷底型尾矿库兼顾跨谷型布置与山坡型布置的特点,如图 2-5-4 所示,非常适用于跨谷型布置汇水面积太大,山坡型布置坡度太陡的场合。因为是两面筑坝,故所需筑坝材料量亦介于跨谷型和山坡型布置之间。谷底型尾矿库往往采用多级型式(图 2-5-4b)随着谷底升高,一个压一个地“叠堆”尾矿库,最终达到较大的总库容。

因为谷底型尾矿库多位于较窄的山谷地,往往需要越过原河槽布置,因此,必须绕库设置引水渠道,以输导最高洪峰流量。如果没有足够的空间布置渠道,则需以很高的代价在山谷坡面岩石中开挖较大宽度的渠道。当然,开挖的石料可用作初期坝材料。此外,为防止在预计洪水条件下外坝面发生高速渗流,需要在坝体逐渐升高过程中连续地抛石维护坝下游面,这样,谷底型布置可能不适用于中心线或下游升高方法。

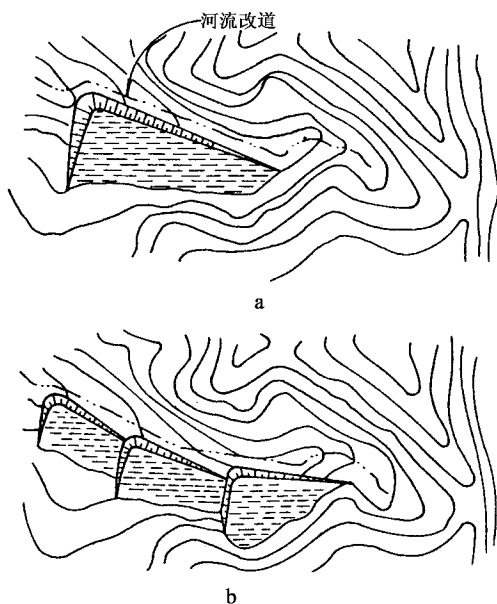


图 2-5-4 谷底型尾矿库

a—单一型, b—多级型

第二节 材料有效利用系数的概念

在尾矿库址、布置方案和坝型已确定的条件下,须实现坝高和库表面积组合的最优化,以便以最少的填筑材料量达到所需求的贮积量。为了定量表达,Coates 和 Yu 首先提出材料有效利用系数的概念,材料有效利用系数定义为尾矿库贮积尾矿量与相应的所需填筑材料量之比。因为填筑材料量直接关系到尾矿库成本,而材料有效利用系数则能够提供尾矿库成本的间接指示,不仅在给定贮积尾矿量的坝高和库面积优化方面,而且在不同库容的不同尾矿库相对成本对比方面也都很有用。但用于后者须注意,材料利用系数是以有效的尾矿贮积量而不是总容量定义的,没有考虑为蓄积洪水径流量所需要的坝高。

下面以图 2-5-5 为例说明填筑材料有效利用系数概念的应用。图 2-5-5a 表示出平均坡度 5%地面上设计的山坡型尾矿库。因场地边界限制,尾矿库宽度定为 600m,而尾矿库长和坝高为变量,就是说,设计变成最有效坝高和尾矿库长度的选择问题。

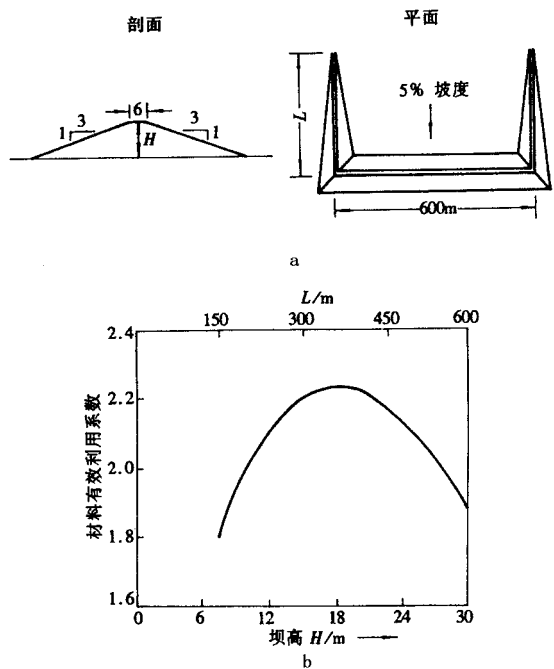


图 2-5-5 假设的山坡尾矿库材料有效利用系数的变化

a—尾矿库和尾矿坝的形状 ;b—填筑材料有效利用系数—坝高的变化

从图 2-5-5b 可以看出 ,材料有效利用系数随着坝高和库长增大而增大 ,且在坝高 16m、相应库长约 360m 达到最大。这样最优尺寸的一个尾矿库不一定能满足尾矿产出率排放需要 ,而一系列最优尺寸的多级山坡尾矿库应是极有效的。因为单一尾矿坝再加高将产生回报递减。

图 2-5-6 说明边长为 L 的正方形环型布置填筑材料有效性的变化 ,坝体几何参数同图 2-5-5a。假设选厂日处理量为 2000t ,尾矿原位干密度为 1440kg/m^3 ,尾矿库寿命为 15a ,产生尾矿总量约 $6.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 。设计问题是为达到指定的尾矿贮积量选择尾矿坝高度和尾矿库面积。显然 ,通过低坝大库或高坝小库都可以实现。

图 2-5-6 之曲线①表示只考虑筑坝材料情况下的变化 ,显而易见 ,低坝大库可以最小的填筑材料量达到指定的尾矿贮积量。图 2-5-6 之曲线②表示库底另采用 1m 厚压密粘土垫层情况下的变化。曲线①和②的对比表明 ,曲线②的总填筑材料量因增设粘土垫层而显著增加 ,而且 ,垫层粘土量因库底面积而变化。在此例中 ,坝高约 9m ,尾矿库宽约 900m ,可以达到要求的尾矿贮积量 ,而所需总填料量最少。这个例子足以说明 ,尾矿库最优化布置除了考虑筑坝材料量 ,还须考虑土地恢复和渗漏控制工程的土方量。

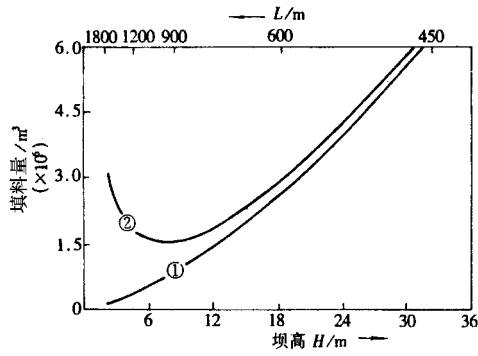


图 2-5-6 填料量—坝高变化曲线

1—筑坝材料 2—筑坝和垫层材料

尽管上述例子很简单,但其原理可应用于比较复杂的库区地形和任意布置型式。尾矿库布置型式选择是一个试验过程,工程经验自然重要,但是,填筑材料有效利用系数的概念必将有助于尾矿库布置优化。

第六章 水的控制

地表尾矿库设计中一个非常关键问题就是要使所需处理的水量与坝型相适应。为此,在规划的早期阶段,必须预计排入尾矿库的尾矿固料量、选矿废水、降水量和径流流入量,并考虑适当的水控制方法。

地表水控制措施的正确设计对坝体抗洪安全性是十分重要的。经验表明,有些尾矿坝可能经受住边坡破坏、渗流引起的破坏,甚至局部液化,但几乎没有能幸免于防洪措施不当所引起的漫坝破坏。库水漫过坝顶之后,尾矿坝遭受快速下切侵蚀,很短时间即可完全溃坝。

尾矿坝的水文分析方法和水力结构物设计方法基本上与普通蓄水结构物相同,但尾矿坝的洪水设计准则和水处理方法略有别于普通水坝。本章讨论地表尾矿库水处理的基本原理。

第一节 正常流入量处理

在地表水处理中,首先要考虑正常流入尾矿库水的处理,即正常气候条件下正常选矿作业排入尾矿库的废水、大气降水和地表径流水。正常流入水量处理的关键是流入水量与流出水量之间的水平衡,在整个工作期间,库内水量保持相对稳定,实现平衡。表 2-6-1 列出水平衡变量。

一、水平衡

正如表 2-6-1 所示,流入尾矿库的水源主要有选厂排放的水,沉积滩和沉淀池上直接降雨、尾矿库区汇水面积内的地表径流和矿山排水。不可能控制降雨量,但可以根据当地年平均降雨量作出粗略估计,如果地处山区,因高程和地势影响,实际降雨量可能变化很大。排入尾矿库的尾矿浆体水含量因不同作业而变化很大,按重量比,一般 50%~85%。如果已知选厂的尾矿的产出率和排放浓度,可以很容易地计算出排水量。通过提高浆体浓度(例如高浓度排放)可以在有限范围内控制尾矿废水量。通过尾矿库区选择可使地表径流量减小,但年平均径流量估计比较复杂,除受降雨因素影响外,还受土壤类型、植被和坡度的影响。特定尾矿库区的降雨和径流数据最好取自当地气象站和水文站。

表 2-6-1 水平衡变量

| 流 入 | 流 出 |
|--------|--------------|
| 选矿排放废水 | 选厂循环用水 |
| 直接降雨 | 蒸发 |
| 地表径流 | 渗流 |
| 矿山流水 | 尾矿孔隙包含的水直接排泄 |

为了设计有效的水控制系统,还需考察尾矿库的流出水。流出水包括选厂循环再利用水、蒸发、渗流、尾矿孔隙保有水和直接排水。这里,尾矿孔隙中保有的水是从尾矿排过程中“消耗掉”的水的意义上看作流出的,可以根据单位孔隙比的概念估计出其量。

可以根据区域性年平均蒸发量等值线图估计蒸发量。通常假定蒸发作用只发生在沉淀池表面,因沉积滩上蒸发估计很难,往往忽略不计。显然,蒸发量的控制因素是沉淀池的规模。

返回选厂的再利用水量,各地区因选矿性质不同,差异较大。

一般在尾矿库规划的初期阶段,很少有充分的资料进行复杂的渗流分析。为水平衡估计,一般采用类比法,即根据相似规模的相当类型尾矿,相近渗透性的尾矿库经验估计渗漏量。影响渗流的因素有尾矿的物理和化学性质,尾矿库基础地质条件,尾矿坝和渗滤设施的特性。渗流水控制方法主要包括坝体分带和排水,布设降压井、防渗墙和截流沟,不透水铺盖,改变沉淀池位置等。

直接排泄是尾矿库排出水的主要方式之一,控制方法包括溢水系统(溢水塔、输水平

硐等)和导水工程,或通过溢洪道排出。尾矿库水管理中,应尽可能避免直接排放至环境,为防止水污染,应经水处理后再排放。而且,应尽可能在选厂进行水处理,因为在选厂内消除污染可能比在尾矿库区内处理水经济得多。表 2-6-2 示出溢水系统的对比。

表 2-6-2 溢水系统的对比

| 特 性 | 游动泵和虹吸系统 | 埋入式溢水管路系统 |
|----------|---|--|
| 设计与施工 | 浮船、泵和回流管路必须抗腐蚀。当驳船和泵安装后,惟一施工即延伸回流管路 | 设计和施工简单,按单一阶段或多阶段进行 |
| 作业要求 | 全部时间都需要司泵工 | 需要间断性检查 |
| 适应性 | 需要随自由水池位置的改变重新定位。当广泛变移池位时,在早期阶段,缺乏灵活性可能产生问题,对因流液的质量几乎没有控制 | 不需要重新定位,坝下游永久性设泵 |
| 维护 | 泵和驳船需要大量维护,特别是在冰冻天气 | 下游泵很少需要维护 |
| 潜在事故 | 游动泵比固定泵更易受损和破坏(因漂浮物阻塞),停电或泵损坏可能引起漫溢 | 需要稳定的基础,坝体沉降可能引起管路破坏。埋入式管路的阻塞或破坏是不可恢复的 |
| 洪水控制 | 泵的能力限制了从库区排洪量 | 随着洪水条件下水头相应提高,管路排水能力增大 |
| 废弃后结构物排水 | 排放作业结束后,需要新的排水方案处理地表径流 | 溢水系统应提供永久性排水 |

水平衡方法只能提供尾矿库中预计蓄积水量的粗略估计。实际上,水流入量和流出量都是变量,并且对许多因素都非常敏感,在尾矿库缺少实际作业经验的情况下,这些影响因素又很难确定。例如气候因素(包括降水、蒸发、径流)经常发生偏离“平均”条件的季节性和年度变化。最好按月进行水平衡计算,估计水蓄积的季节性波动变化,按年度采用假定的“干”和“湿”状态划分潜在的水蓄积或排空的上限和下限。

应当承认,在尾矿库的整个服务期间,随着尾矿表面的升高和覆盖面积的扩大,尾矿库表面积、沉淀池水量和支流汇水量也在变化,因此,要全面掌握长期水平衡变化必须对尾矿库整个服务期间的不同时期进行分析。类似地,渗流流出量在尾矿库的整个服务期间也是变化的,而且在任一时期都比较难以估计。

尽管水平衡方法存在这些局限性,但却可以预测过剩水是否在尾矿库内长期蓄积,判别是否需要采取导水渠道或其它措施以减少流入水量。如果在干燥气候条件下,选厂

排放水处理比较简单 ,只需构筑较高尾矿坝 ,扩大沉淀池表面积以增强蒸发。在这种场合 ,为了预测达到稳态条件的高程(这里 ,净流入量平衡蒸发损失) ,从而预测池水稳定的高程 ,需要进行分期水平衡分析。如果水平衡分析表明有长期水蓄积 ,则可以限制采用某些不适合贮水的升高坝型。水平衡分析也可用来快速诊断降水量远远超过流出量的某些危险场合 ,以便采取有效措施 ,防止灾害发生。

二、析例

某一采用浮选方法的选矿厂 ,尾矿排放量(干)为 3000t/d ,尾矿浆体浓度 45% ,尾矿比重 2.7 ,尾矿库内平均干密度 1458kg/m³。从尾矿库返回用水量等于选厂排水量。在尾矿库的中间高程上 ,尾矿库表面积 4.9 × 10⁵ m² ,假设其中一半为沉淀池水覆盖 ,库外汇水面积为 10.5 × 10⁵ m² ,估计渗流量为 25m³/h ,尾矿库没有直接排泄。表 2 - 6 - 3 列出水平衡分析数据。

表 2 - 6 - 3 表明 ,过剩流量为 25m³/h ,通过提供充足的库容 ,可以在整个服务期间把过剩水贮积在尾矿库内 ,最终在尾矿库闭库时释放或蒸发掉。然而 ,通过减少外部径流量 ,例如采用导水渠道 ,也可以消除这部分过剩量。若出现负的总量净差 ,则表明系统内水亏缺 ,可能需要设置水井补充选矿作业用水。当然 ,也可以采取一些实用措施降低渗流损失。

表 2 - 6 - 3 尾矿库水平衡析例

| 名 称 | 面积/m ² | 数量/cm·a ⁻¹ | 流量/m ³ ·h ⁻¹ |
|--------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 淹入 | | | |
| 选厂排水 | 4.9 × 10 ⁵ | | + 166 |
| 直接降水 | 10.5 × 10 ⁵ | 86 | + 57 |
| 径流 | | 41 | + 58 |
| | | 总流入量 | + 281 |
| 流出 | | | |
| 选厂返回水 | | | - 166 |
| 蒸发 | 2.4 × 10 ⁵ | 66 | - 21 |
| 渗流 | | | - 25 |
| 充满孔隙的水 | | | - 44 |
| | | 总流出量 | - 256 |
| | | 净差 | + 25 |

第二节 洪水处理

洪水处理的规划和量化估计主要考虑降雨、融雪或两者共同作用引起的极端事件。洪水可以两种方式危及尾矿库：通过提供过大的入库水量，漫坝而引起坝破坏；或者通过坝址侵蚀，引起坝面损坏或最终破坏。

一、设计准则

尾矿库设计洪水的选择包含一定的风险，这是由洪水可能引起的坝破坏后果、库的规模、下游经济发展程度和土地利用情况所决定的。通用的洪水设计准则有二：不确定性准则，即采用概率统计方法求得重现期洪水；确定性准则，即按照气象和气候条件（不考虑出现概率）确定极端洪水。

不确定性方法：

可以根据河流观测记录、降水记录及尾矿库流域的水文特性从统计上求得重现期洪水。指定水平洪水的年出现概率等于其重现期的倒数。例如，100a 重现期的洪水，在任意指定年份内发生概率为 ≥ 0.01 ，可以采用下式估计尾矿库整个服务期限内指定水平洪水的超越概率：

$$P[f] = 1 - (1 - P_0)^i \quad (2-6-1)$$

式中 $P[f]$ ——第 i 年破坏概率，即在第 i 年内等于或超越指定的设计洪水的概率；

P_0 ——在任意年内指定的设计洪水的出现概率，即重现期的倒数；

i ——尾矿库的服务期限，a。

表 2-6-4 说明尾矿库不同服务年限，不同洪水重现期的破坏风险计算。结果表明，破坏概率随着洪水重现期的加长而降低；在洪水重现期相同的条件下，尾矿库服务年限越长，破坏概率越大；尾矿库服务年限与洪水重现期相同情况下，所设计的尾矿库具有相同的破坏概率约 64%。

表 2-6-4 漫坝破坏概率计算

| 尾矿库服务年限 i/a | 洪水重现期/a | 年出现概率 P_0 | 破坏概率 $P_{f1}/\%$ |
|---------------|---------|-------------|------------------|
| 10 | 10 | 0.10 | 64 |
| | 100 | 0.01 | 10 |
| | 1000 | 0.001 | 1 |
| 30 | 30 | 0.033 | 64 |
| | 100 | 0.01 | 26 |
| | 1000 | 0.001 | 3 |

目前 ,还没有明确的尾矿库可接受破坏风险水平的准则 ,但从工程实用出发 ,一般地 ,设计破坏概率不应超过百分之几 ,风险水平的确定主要取决于破坏对下游居民和土地用户的危害 ,对采矿和选矿作业本身所造成的后果 ,长期影响的环境后果 ,以及清除废碴的经济后果。

确定性方法：

确定性方法是在不考虑洪水出现概率情况下估计可能最大洪水 ,即根据区域内气象和水文条件的可能最不利联合所预计的可能最大降水推断的洪水。最大可有降水往往约为 100a 再现期降水的 5 倍。

设计洪水的量值决定于尾矿库的规模、坝高、破坏的环境、经济和伤亡后果等因素。一般 ,除小型尾矿库(坝) ,大多数尾矿库都要以可能最大洪水进行设计。对于风险水平低至中等尾矿库 ,如果随着尾矿坝升高和库容扩大能提供附加的洪水处理能力 ,在尾矿排放的初期 ,适当水平的重现期洪水亦是接受的。

估计可能最大洪水产生的总水量适当扣除时 ,可以在尾矿库排水区域上渗入量、累加可能最大降水求得。所以 ,选择适当的可能最大降水值需要掌握有关尾矿库设计的极限使用值和所设计尾矿库类型的知识。所要考虑的暴雨有两种 :普通暴雨和雷暴雨 ,前者可能产生最大的总流入量 ,是确定封闭型尾矿库蓄洪量的重要因素 ;后者可能产生较高的峰值流速 ,是控制溢洪道和引水渠道设计的重要因素。可能最大降水资料是由当地气象部门提供的 ,因为降水最容易受到库区地理因素如高程、风向、地形障碍的影响。

应当再一次强调说明 ,洪水估计和控制是尾矿库成功设计和运作的关键 ,务必非常注意。

二、控制方法

正如前面所指出的 ,洪水的主要威胁是漫坝的危险 ,最好是通过合理选择尾矿库址实现入库水量控制。处理洪水方法主要包括以下几种：

(1)控制洪水的主要方法是在库内蓄积洪水,就是说,尾矿库无论何时都以充足的容积接受设计洪水流入量,而上升坝仍保持适当的超高,如图 2-6-1 所示。如果以某种保守程度确定设计洪水量,在尾矿库整个服务期限内未必能经受到如此大的洪水,即使出现设计洪水,如果处在干燥气候地区,所蓄积的径流量最终被蒸发掉,在其它地区,如果洪水受尾矿废水污染,则需要以适当速度加以处理和释放,但这种处理费用往往很高,有时甚至很难处理。

(2)最常用的排水方法是根据库基地形、尾矿坝升高和排洪能力需求,在库内预设一系列排水井,各排水井超过库底基础的排水涵洞排出洪水。排水中的结构尺寸和井水方式(窗口式、框架式、叠圈式、石坝块式)可根据排水能力选择和设计。

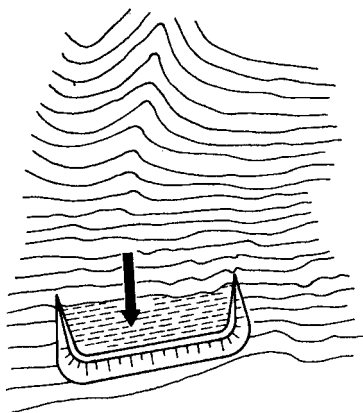


图 2-6-1 蓄积洪水

(3)有些地区,地形制约实际坝高和尾矿库容积,并兼有高降雨量和高负荷选矿废水排放量,使得尾矿库不能蓄积洪水量。在这样情况下,惟一选择是在选矿废水排入尾矿库之前进行水处理,以防混入洪水后造成污染危险。这时,洪水可以经由溢洪道排泄,如图 2-6-2 所示。有些地区,雷暴雨的可能最大降雨量决定溢洪道设计,峰值流速(而不是总流入量)是最重要的。但是,升高坝使用溢洪道很不方便,每次坝升高必须新的坝顶标高构造新的溢洪道,这明显增加施工的成本和困难,在极端情况下,可能要改作一次建成的挡水坝。

(4)在多数场合,引水渠道适于疏导正常径流量,但也可以用作尾矿库周围排洪,如图 2-6-3 所示。不过,如果设计洪水量较大,相应需要较大的渠道(一般地,可能最大洪水的引水渠道宽超过 30m),且为防止过高水流速的冲蚀又需抛石护堤,这样,若设计引水渠过长,则施工可能很不现实,除非引水渠开挖材料可作为升高坝的初期坝的构筑材料。

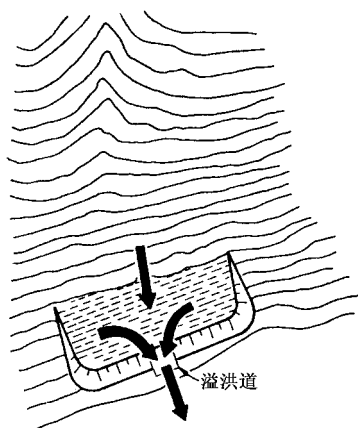


图 2-6-2 溢洪道

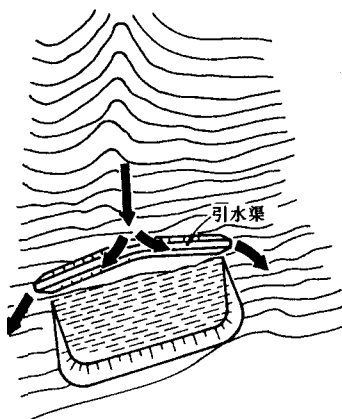


图 2-6-3 引水渠

(5) 露天矿山,通过废石场与采场的合理规划也能为尾矿库提供有利的水控制条件。可以把选厂和尾矿库布置在采场和废石场的下游区。如果采场位于尾矿库的排水区域内,矿坑本身的容积可能贮积的最大洪水。如果运输距离合理,可以把废石场跨过尾矿库排水区域横向布置,即在基本上不发生额外支出情况下通过废石散体实现极端洪水的导流,如图 2-6-4 所示。但采场安全防洪问题和废石场可能的泥石流危险需另作评价。

(6) 与引水渠相关的一种方法是导流堤,就是在尾矿库上游、尽可能靠近尾矿库、横跨尾矿库排水区构筑导流堤,如图 2-6-5 所示。如果尾矿库处在较浅的基岩上,岩石中开挖引水渠费用太高,则非常适用这种方法。靠近导流堤的水流速可能很高,如果导流堤是采用天然土构筑的,可能需要片石护堤,当然,最好采用露天开采的大块、耐侵蚀

废石构筑。

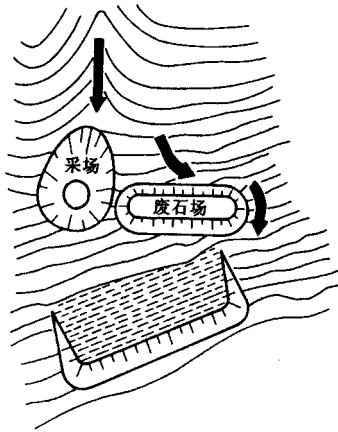


图 2-6-4 矿坑蓄积和废石场导流

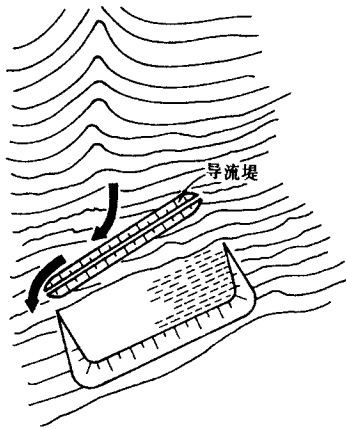


图 2-6-5 导流堤

(7)在非常特殊的场合,例如尾矿库处在一个狭小、缩窄的谷地,上游排水区域又很大,而陡峭的谷坡不可能在尾矿库周围采用引水渠或导流堤排洪,这时,需在尾矿库的上游构筑单独的洪水控制坝,如图 2-6-6 所示。洪水控制坝应能完全蓄积其上游排水区域的预计洪水径流量,并穿经坝下布置涵洞,以逐渐排空坝内所蓄积的水。如果可能的话,应尽可能避免使用这种方法,因为洪水控制坝需要大量的、甚至超过尾矿坝本身的筑坝材料,而且又不能分阶段构筑,一定要在尾矿库作业之前完成,以实现预期的防洪作用。另外,掩埋式涵洞的维修也成问题,涵洞的有限寿命可能使之必须在尾矿库废弃和土地恢复垦之后再提供永久性水控制设施。

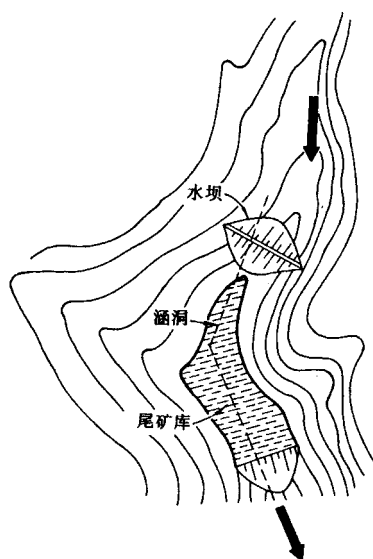


图 2-6-6 洪水控制坝

第七章 渗漏控制

随着世界性水资源和环境保护意识的提高,以及废水管理法规的健全,减少和控制尾矿库渗漏迅速成为矿山工程项目环境评价和管理评价的关键问题之一,从而推动了尾矿库渗漏控制技术的长足进步。然而,就目前而言,在尾矿管理中,认识最肤浅的仍然是尾矿库渗流及其携带污染物对地下水的影响。本章重点介绍各种渗漏控制措施及其有效性。

第一节 渗漏控制目标

渗漏控制方法必须与渗漏水的化学特性和特定库区场地条件相适应。尽管有关影响污染物经由尾矿、土壤和地下水运动的某些地球化学过程、水文地质过程的研究才刚刚开始,还不能完全确定出渗流的特定影响,以及选择出最适于把这些影响降低到最小程度的控制方法,但是,基于现有的尾矿知识和相关技术,在明确确定的控制目标下,采取适当的工程措施,可以实现比较经济而有效的控制。

渗漏控制的一般性规则是:

(1)不是所有选厂废水都含有毒性组分,因矿石类型、选矿工艺和 pH 不同,污染物范围可从毒性重金属(即镉、硒、砷)一直到相对无毒材料(诸如硫酸盐或悬浮固体物),而且,决定这些组分危害性的浓度在不同废水中变化范围很宽。

(2)含有毒性组分的选厂废水渗漏未必造成扩延的地下水污染,地球化学过程可能

阻滞或控制某些组分的迁移 ,在降低 pH 值废水所伴生的最令人烦恼的金属离子迁移率方面也是最有效的。

(3)如果某毒性组分进入地下水域 ,必须根据水文地质因素、基线水质、现时和将来预计使用的地下水资源条件确定地下水环境的最终影响 ,然后作出使影响最小的渗漏控制策略。

根据这些规则 ,渗漏控制策略的类型应当适应废水的化学条件、库区地球化学条件和水文地质条件。Taylor 为铀尾矿渗漏控制提出三类系统 ,实际上可以把它推广到普通尾矿 :

I 类系统 选厂废水中没有污染物 ,或者通过地球化学过程能摄取这些污染物 ,地下水污染潜势不严重 ,不考虑渗漏量 ,因此基本上不控制尾矿库渗漏。

II 类系统 部分地拦截尾矿库废水 ,预期发生一定的渗漏损失。污染潜势大于 I 类 ,需要进行较高水平的渗流—污染分析 ,以及监测地下水质量。

III 类系统 全然通过结构措施控制渗漏 ,这些措施如尾矿库垫层等 ,试图达到尾矿库“零排放” ,通常成本很高。

在渗漏控制策略适应于废水条件和库区场地条件的同时 ,还必须确立地下水保护的目标 ,如表 2-7-1 所示。不同的目标在很大程度上决定所要求的渗漏控制措施 ,或者说 ,为达到某一目标需要相应的某种尾矿库类型 ,即目标对尾矿库的约束。表 2-7-1 中目标是按照递强约束排列的。而且 ,无论哪一目标 ,尾矿库区场地地球化学和水文地质因素以及选厂废水性质是决定渗漏控制策略类型的重要因素。在 I 类、II 类或 III 类尾矿库都适合的情况下 ,则视特定环境而定。

表 2-7-1 地下水保护目标

| 目 标 | 尾矿库类型 | 库区场地条件和废水条件 |
|-------------------------|------------|--------------------------|
| (1)防止污染物迁移到尾矿库区边界以外 | I、II 或 III | 地球化学因素、地下水梯度、缓冲带 |
| (2)限制地下水中特定污染物的浓度达到指定水平 | I、II 或 III | 基线水质 ,地球化学和水文地质因素 ;废水组分 |
| (3)防止对地下水用户有不利健康的影响 | I、II 或 III | 水井的位置 ,地球化学和水文地质因素 ;废水组分 |
| (4)防止有毒污染物进入地下水 | II 或 III | 地球化学和水文地质因素 ;废水组分 |
| (5)防止尾矿库任何渗流释放(“零排放”) | 只有 III | 与所有废水 ,地球化学、水文地质因素无关 |

显然,必须在确定出渗漏控制要求达到什么水平之前,充分考虑渗漏控制目标、尾矿库区场地和相关废水因素。在作出控制水平的决策之后,则要评价用来达到预计结果的各实施方案。

第二节 垫层

为了防止渗漏和使渗漏量最小、从而使污染物释放最小,在地下水保护要求严格、选厂废水中毒性组分浓度较高的场合,常采用垫层作为渗漏控制的最后策略,特别适用于第Ⅲ类系统。

垫层系统的特点是:任何一种垫层的成本都比较高,但如果条件适宜,垫层抗渗效果非常好,这主要因为垫层在地表铺设,可以在控制条件下施工和检查;与渗流障系统和渗流返回系统相比,它不受地下条件的限制,不需考虑地下土壤、岩石性质或地下水条件,可以在任何充分干的地面上进行正常的施工,而渗流障系统和渗流返回系统的效果和施工的可行性完全决定于下部不透水层的存在和所穿过土层的性质。但是垫层必须具有耐废水化学腐蚀和各种物理破裂的性能。

实际上,垫层都会发生一定程度的渗漏,即便是合理设计、规范施工的垫层,也不能保证在整个作业期间起到所预计的作用,或者达到“零排放”。可能发生泄漏的主要原因是:

- 合成薄膜经由缺口和接缝发生渗漏;
- 粘土垫层,如果在尾矿排放之前受干,可能产生收缩裂缝;
- 断裂作用可能增大天然地质垫层的渗透率;
- 垫层必须有足够的柔性,使之经受住应力破坏。在饱和尾矿 30m 深处,总应力约为 600kPa。

根据垫层材料,垫层可分 3 类:

Ⅰ. 尾矿泥垫层

Ⅱ. 粘土垫层

Ⅲ. 合成垫层,包括合成橡胶膜、热性塑胶膜、喷射膜、沥青混凝土。

下面分别讨论尾矿库最常用的垫层材料,并分析它们的相对优点和缺点。

一、尾矿泥垫层

尾矿泥垫层的构想简单,即尾矿泥排至尾矿库内,依靠尾矿自身的低渗透性达到减少渗漏。从表面上看,其酷似一般的尾矿排放程序,但因具有别于其它垫层的某些独特的优点,可能达到特殊的抗渗效果,对于某些尾矿类型,甚至达到相当于或优于其它类型垫层的减少渗漏效果,因此,尾矿泥垫层成为一种合理的、正规的、相当廉价的渗漏控制方法。

不言而喻,铺设尾矿泥垫层要求:①尾矿泥(-0.075mm)量必须占全尾矿的40%以上,并通过旋流器分离出来;②尾矿泥固结后的渗透系数必须接近 10^{-6}cm/s 。

为了说明尾矿泥垫层与粘土垫层的对比效果,我们考察两个例子:

例1:尾矿库深15m,基础为透水砂层,深部有地下水。尾矿下部沉积旋流分离的尾矿泥,渗透系数 $k_2 = 10^{-6}\text{cm/s}$ (0.3m/a),厚度7.5m,渗径 $L_2 = 7.5\text{m}$,水头损失为 h_2 。上部排放全尾矿, $k_1 = 10^{-4}\text{cm/s}$ (30m/a),厚度7.5m,全饱和,渗径 $L_1 = 7.5\text{m}$,水头损失 h_1 。采用简单的一维饱和渗流分析方法,按连续流,单位面积流量

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$\frac{k_1 h_1}{L_1} = \frac{k_2 h_2}{L_2}$$

代入上述各参数,于是

$$Q = \frac{(30 \times h_1)}{7.5} = \frac{(15 - h_1 \times 0.3)}{7.5}$$

求解得 $Q = 0.6\text{m}^3/\text{a}$ 。

例2:尾矿库深度和基础条件完全同于例1,只是下部铺设粘土垫层, $k_2 = 10^{-7}\text{cm/s}$ (0.03m/a),厚度0.6m,渗径 $L_2 = 0.6\text{m}$,上部厚度14.4m,仍然为同样的全尾矿,同理求得:

$$Q = \frac{(30 \times h_1)}{14.4} = \frac{(15 - h_1 \times 0.03)}{0.6}$$

$$Q = 0.7\text{m}^3/\text{a}$$

结果表明,尾矿泥垫层的渗漏量略低于粘土垫层,严格地说,尾矿泥垫层的渗漏量还应包括固结产生的渗流量,但总体上说,在上述条件下二者效果相当。事实上,尾矿泥垫层的渗透性较粘土垫层高,它是通过较大的厚度补偿的。

尾矿泥垫层的突出特点是能够经受住相当大的基础沉降,甚至是地震液化而不失其抗渗效果。因为,就是中等致密的基础土层,在几十米深尾矿作用的载荷下,可能产生很

大的沉降,而其它类型垫层如粘土垫层和合成垫层,都可能因基础沉降而遭破裂。

尾矿泥垫层的主要缺点是:①为了使尾矿泥散布在整个尾矿库范围,必须改进正常的排放程序,必须精心控制池水,使之减至最少。正如图 2-7-1 所示,只从坝顶进行正常的尾矿排放,在尾矿库尾部,池水与天然土壤之间直接接触,形成较大的渗漏通道。如果同时从尾矿库尾部排放,则可能形成连续的尾矿泥垫层;②尾矿泥垫层不能为垫层范围内通过地球化学过程减弱污染物迁移提供机会,且因仅仅是减少渗漏量,下覆天然土壤可能摄入污染物,因此,必须会产生地下水质量保护问题。

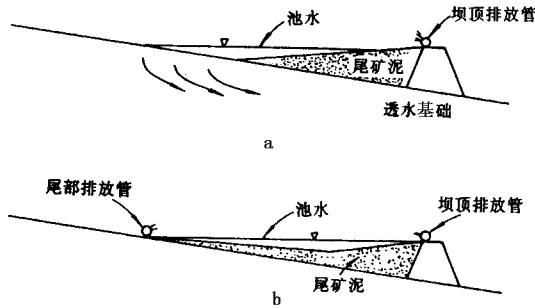


图 2-7-1 通过尾矿泥排放程序控制渗漏

总之,尾矿泥垫层是一个有发展前途的构想,相对于其它类型垫层而言,它的成本显著降低。然而,由于要求精心排放和水控制程序,尾矿泥垫层最适用于汇水量小的尾矿库和再循环水量大的选厂。

二、粘土垫层

粘土垫层很早就用以降低蓄水库和毒性废料库的渗漏,自然地引入尾矿库工程。

(一) 粘土与添加剂

天然粘土或加入添加剂的压密土壤均可用作垫层。最普通的添加剂是膨润土,按重量比 2%~6% 的膨润土,在移动捏土机中与天然砂质土掺合,渗透系数可达 10^{-6} cm/s,可作为良好的粘土垫层材料,而在地面干散膨润土的效果则不佳。亦可采用化学分散剂,包括磷酸四钠、三磷酸钠、碳酸钠(碳酸钙)、氯化钠、六偏磷酸钠和硅酸钠。试验结果表明,如果与土壤充分混合,粘土渗透系数能降低 1 个数量级。化学分散剂主要是通过单个颗粒的分散结构而改变粘土结构,关键是看低 pH 值废水对分散作用抵消到什么程度。一旦在压密土中形成分散结构,即便日后受到团聚的化学环境的作用,也难以形成大的输水孔隙。

(二) 垫层性质

影响垫层功能的主要性质是渗透性、容积稳定性、柔性和抗管涌性。这些性质强烈地受填料含水量的影响,而其结构和密度则决定于现场压密方法和程度。

压实粘土的饱和渗透性变化范围很宽,实验室值一般从 10^{-5} cm/s 到 10^{-8} cm/s。对渗透性影响最大的是各种粘土所特有的粘土矿物。含水量和压密状态决定粘土的结构,进而可能使渗透系数在几个数量级范围内变化。实验室试验证明,在某种粘土含水量 15% 情况下,测定渗透系数为 10^{-7} cm/s,在同样密度下只降低含水量 2%,渗透系数提高到 10^{-5} cm/s。这主要是因为达到最佳含水量时,压缩产生低渗透性分散结构,而略低于最佳含水量则产生可渗透的絮凝粒状结构。

实验室渗透性试验未考虑现场粘土渗透性的众多影响因素,如干燥作用、粘土聚团大小及杂质等。因此,根据实验室测定结果预测现场压密粘土的渗透系数,可能产生 1 个数量级以上的变化,用来预测渗漏量,可能引起 10 倍的变化,并且,在渗流分析中,如果使用饱和渗透系数指导非饱和渗透系数,将会扩大这种不确定性。为此,最好进行现场渗透性试验。

容积稳定性指粘土的收缩—膨胀潜势,影响粘土在干燥状态下的缩裂程度。柔性影响压密粘土经受沉降作用不发生破裂的能力,具有较高塑性和较高含水量的粘土,不仅有较低的渗透性,也有较大的柔性,但干燥时缩裂的潜势也大。另一重要性质是分散式管涌潜势,须采用实际选厂废水进行实验室试验,以精确地量测粘土垫层材料对分散式管涌的敏感性。

(三) 废水—粘土反应

粘土垫层材料与尾矿废水之间的可能反应是一个非常重要的课题。渗透系数增大的可能机理是由于废水引起粘土矿物改变,或者由于酸腐蚀引起颗粒破坏。大量研究结果表明,在低 pH 废水条件下,粘土空隙中废液由于中和作用形成沉淀物,沉淀物的堵塞作用或多或少地平衡酸的破坏作用。眼下还不能说粘土垫层酸腐蚀是一个普遍性问题。在高 pH 值废水条件下,强腐蚀性溶液可能引起某些粘土收缩。

(四) 粘土垫层设计

从设计观点讲,首先要考察当地是否有足够数量、渗透系数在 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ cm/s 范围的压密粘土。然而,单单粘土渗透系数并不能构成合理的垫层设计准则,因为,粘土垫层减少渗漏量的程度并不完全决定于粘土渗透系数的绝对值,而是决定于渗流顺序:尾矿—垫层—基础地层的相对厚度和相对渗透系数。因此,应以允许的渗漏率或要求的渗漏(穿经垫层)降低百分比作为设计准则,而不仅仅以垫层粘土渗透系数作为设计准则。一

般地,为使粘土垫层显著地降低渗漏,其渗透系数至少要低于尾矿的 10 倍。根据贮积材料不同,尾矿砂或尾矿泥,限定的垫层渗透系数为 10^{-5} cm/s 或 10^{-7} cm/s。同样地,为了显著降低饱和渗流条件下的渗漏,粘土垫层的渗透系数至少要低于基础地层的 1~2 个数量级,视地下渗流距离而定。

实质上,粘土垫层设计主要是确定垫层厚度。合理的确定垫层厚度,前提是要有明确的渗流控制目标。如果指定了尾矿库允许渗漏率,则可以用简单的饱和渗流分析确定出与上覆尾矿厚度相适应的垫层厚度。如果指定渗流运动不准超出垫层底板,则可以采用非饱和渗流模型来确定垫层厚度,使之在尾矿库工作期间湿锋前保持在垫层之内。如果要求污染物不迁移出库外,可以采用非饱和原理辅以地球化学分析方法确定垫层的必需厚度。因为粘土对许多污染物具有衰减的功能,所以粘土垫层的主要价值是地球化学“海绵”作用,而不是单位时间渗流量的减少。

如果在垫层上设置排水系统,则可以减少垫层厚度和渗流量,如图 2-7-2 所示。排水的作用在于降低作用在垫层上的水头。在饱和条件下垫层渗漏的程度与作用水头成正比,有效的排水可以使垫层厚度减少到最低的实用厚度约 15~30cm。当天然粘土供应不足时,可以在整个垫层之上铺置旋流分离的尾矿砂,形成有效的、廉价的排水平覆盖层,它既可减少渗漏量,又可以加速尾矿固结。但排出的水必须集中处理。

影响垫层厚度的另一因素是垫层适应地基沉降而不破裂或剪裂的能力。粘土垫层和其它任何类型垫层都不应铺置在软弱、松散、压缩性大或对水敏感的地基上。尽管尚无规范明确规定粘土垫层的允许沉降尺寸,但垫层厚度不应小于尾矿库充满后总预计沉降量的一半。

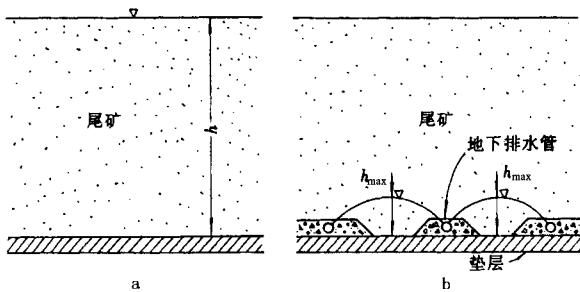


图 2-7-2 作用在粘土垫层上水头对比

a—无排水系统 b—有排水系统

粘土垫层设计还须考虑库底的地形。非常平坦的库底面,刚开始排放就可能全为水淹没,而坡度较大的库底面,可能时达数月或数年有的地方还不能为水所淹没,受干燥和

冰冻作用形成重大裂缝,致使渗透系数增大几个数量级。这些裂缝因随后的饱和膨胀作用而密合,密合的程度取决于材料的收缩—膨胀特性。粘土垫层的渗透性和抗渗效果存在很大的不确定性,很难精确预测。

选择粘土垫层的一个关键因素是当地有可用的粘土源地,如果远距离外运则不经济,可考虑合成垫层。

三、合成垫层

近 20a,尾矿库开始引进合成垫层用作渗流控制。在合成垫层材料中,沥青混凝土和喷射混凝土因成本高,刚性易受不均匀沉降损坏,易受酸腐蚀而碍于在尾矿库广泛应用。喷射膜如沥青—聚合物,抗渗性能好,但日晒老化、喷射厚度不均匀问题有待解决。合成橡胶膜如丁基橡胶、乙烯丙烯二烯单聚体通常专用作饮用水库垫层,因成本高而未能用于尾矿库。热性塑胶膜比较适合且比较广泛应用于尾矿库渗流控制。

国外曾对垫层材料作过大量研究,简要研究结论是:

(1)很多材料都具有良好的抗化学侵蚀性能,但最容易出现的是施工问题。

(2)表面密封层和沥青具有低的渗透性,但往往难于贴合和检查,易损坏,沥青膜需要覆盖土壤。

(3)聚合膜虽易检查,但铺设时易损坏,而且它的性能决定于接缝质量。

(4)合成橡胶垫层(聚氯丁烯和乙二环氧丙烷二烯单体),现场接缝困难。偶尔现场接缝成功的有高密度聚乙烯、聚乙烯、氯化碳化聚乙烯、氯化聚乙烯和聚氯乙烯。

(5)除了聚乙烯外,聚合树脂和沥青对铀尾矿组分显示出长期耐久性,但煤油浓度高时(可能出现在溶剂萃取循环的废液中)可能对垫层起不利作用。

(6)因为柔性隔膜垫层适应用地基内不均匀变形所产生的应力,所以必须精心设计和施工地基。

(7)沥青膜渗透系数 1×10^{-8} cm/s,与无垫层沉淀池相比,减少渗流量到 50% 左右;聚合垫层渗透系数 1×10^{-10} cm/s,减少渗流量到 10% 以下。

(8)尾矿库垫层和相关岩土工程费较高,一般均为尾矿库总投资的 1/5 到 1/3。

热性塑胶膜性质

不同垫层材料的化学结构导致其经受风化、日晒、废水化学腐蚀能力的差异。根据实验室试验结果,在选厂废水常见的酸、碱、盐浓度下,几乎所有的热性塑胶膜都具有好的抗化学可溶性。

聚氯乙烯(PVC)是最廉价的合成垫层材料,但抗风化能力差,为防止日晒老化,需

用水、尾矿或土覆盖。对石油衍生物比较敏感,尾矿库常用 PVC 厚度 0.50 ~ 0.75mm。

氯磺酰化聚乙烯(Hypalon):可能是目前尾矿库应用中最普通的材料,常用厚度为 0.75mm 和 0.90mm,能耐选厂废水中大部分化学组分,包括低浓度的石油衍生物,具有良好的时效性,可以直接受日晒。它的单位面积成本大约为 PVC 的 2 倍。

氯化聚乙烯(CPE):基本性能类似于 Hypalon,而成本介于 Hypalon 和 PVC 之间。

增塑聚烯烃(EP):具有良好的抗晒老化特性,不需要覆盖,但不具有抗石油衍生物性能,成本与 Hypalon 相当。

高密度聚乙烯(HDPE):具有良好的抗化学腐蚀、风化和日晒老化性能,厚度从 0.5mm 到 3.5mm,如果用较大厚度(2 ~ 2.5mm)材料,可显著增强抗刺破、撕破能力。在尾矿库垫层应用中前景看好。

从经济和性能上考虑,也可以结合使用 2 种不同材料,例如用低价的 PVC 垫库底,用 Hypalon 或其它材料垫边坡。总的讲,合成垫层在尾矿库中应用积累有一定的施工经验,但还缺少运营方面的经验。

特别引起关注的一种新材料——地质聚合物近 20a 来得以迅速发展。聚硅酸盐型(—Si—O—Al—O—)或聚硅酸—硅氧型(—Si—O—Al—O—Si—O—)地质聚合物,当它们与矿化尾矿相混合,通过分子键合而达到强度。这些材料,在尾矿管理中应用虽然处于发展阶段,但已明显地显示出低渗透性、高强度、良好的抗溶滤性和耐久性的潜在优势,可能用作垂直防渗墙、水平垫层、坝体加固、表面覆盖等。

合成膜垫层设计

在选取与选厂废水相适应的垫层材料之后,合成垫层设计就变成材料厚度的选择问题,一般地,按蓄水库垫层厚度可以类比尾矿库设计,但在尾矿沉积物作用下的垫层具有不同于水的力学环境:第一,尾矿容重大于水,因此将以高于水的自重应力作用于垫层上;第二,在垫层的倾斜部位,尾矿产生剪切应力,在剪切应力下垫层的力学状态与行为,目前尚无完善的理论模型描述。所以,合成膜垫层设计仍处于经验设计阶段。

垫层设计的另一部分是土方工程。因为不能在陡于 3:1 坡度上铺设垫层,放缓上游坝可能增加筑坝材料量。合成膜垫层最好铺设在平坦的砂质土上,以防刺破。为了使垫层不受风卷和浪冲,以及防晒和油浸,应用土覆盖垫层,并压上片石。

合成膜垫层效果

如前所述,合成垫层渗漏的主要原因是合成膜裂缝和接缝的存在,可能发生的渗流量多少是由现场接合的方法和质量决定的。另一渗漏原因就是完整合成膜本身存在孔隙。合成膜垫层渗透性非常低,厚度 0.75mm 垫层的渗透系数约为 10^{-10} cm/s 。确定能

起到降低渗漏量的作用,实际应用中忽略不计它的渗漏量。但是,通过合成膜的渗漏总是发生的,不可能达到“零排放”,然而,渗流量难以预测,主要是缺少实用的预测方法。如果按 Darcy 渗流定律分析,在不考虑任何撕裂情况下,估算的渗漏量值基本与其它类型垫层相当。

最引人关注的是合成膜的寿命。基于现有的作业经验说明,严格保护的与废水性质相适应的垫层,工作 10a 以上未受老化。控制加速老化的实验室试验结果表明,大多数合成膜有效寿命超过 20a。这就预示,如果垫层选择、接合、保护得当,其寿命都能达到一般尾矿库的服务期限。

第三节 渗流障

渗流障包括截流沟、泥浆墙和注浆幕,如图 2-7-3 所示。渗流障的使用条件是:尾矿坝设有不透水心墙,而且渗流障要与心墙很好连接,显然,在没有心墙条件下,透水的旋流砂或矿山废石所筑的坝不宜采用渗流障。因此要求上升坝的渗流障必须与初期坝同时施工,将渗流障埋设在下游型坝的上游段,中心线型坝的中心段。渗漏障一般不适用于上游型坝,因为它没有、也不可能有不透水心墙。事实上,透水基础对上游坝稳定性具有有利的影响,阻止基础渗流可能引起坝内水面升高。渗流障起到使渗流侧向运动的作用,因此,只有当透水基础地层下覆连续的不透水地层时,渗流障才能充分有效。为了显著地减少渗漏量,渗漏障必须穿过透水基础地层达到不透水地层。

一、截流沟

截流沟采用垂直挖掘方法形成,充填以压密粘土。截流沟是比较经济、应用最广泛的尾矿坝渗漏控制方法。因透水基础地层深度不同,截流沟施工深度一般为 1.5~6.0m 范围,它的开挖不受基础岩性限制,但受水位限制,如果不采用专门的排水措施,开挖困难,不能回填粘土。

二、防渗墙

在不适合开挖截流沟的饱和基础条件下,可用反铲挖掘成窄沟,以土—膨润土浆或水泥—膨润土浆、沥青乳胶、细粒粘土、高密度聚乙烯置换挖掘材料。浆体渗入堑沟周围

的孔隙介质,又起到防止施工期间堑沟倒塌的作用。堑沟回填以土壤、膨润土和水的混合物。土—膨润土与水泥—膨润土混合材料的渗透性近似相同,约 10^{-6} cm/s 。水泥—膨润土墙可用于需要强度的场合,浆体凝结成似硬粘土的稠度,墙体加筋也将提高水泥—膨润土混合材料强度。有些土壤渗流控制可采用塑料—混凝土墙。虽然混合材料具有较高强度,但欠柔性,施工费也较水泥—膨润土混合材料高。土—膨润土可达到低渗透性,但必须考虑废水对渗透性的影响。此外,土—膨润土可能产生变形,还要考虑坝体对变形的适应性。

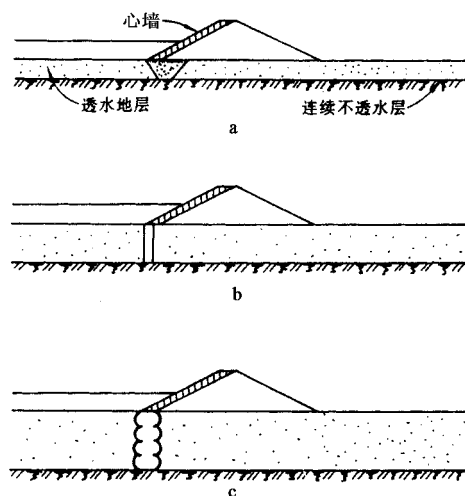


图 2-7-3 渗流障

a—截流沟 b—泥浆墙 c—注浆幕

各种防渗墙都有一定的适用范围,橡胶膜和磺酰化聚乙烯类适用于酸性废料,而合成垫层、粘土和沥青基材料则不适用;土基材料(土壤—膨润土、土壤—沥青和压密粘土)不适用于腐蚀性污染物,沥青基材料、聚合垫层和土基材料不适于侵害性碳氢化合物,聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、土—水泥、土—膨润土和压密粘土在与有机化学物接触时,可成为有效的抗渗材料。

目前,最深的防渗墙工程实例为 30m,但从经济上考虑,一般尾矿库的实用深度 15m 左右。防渗墙成本较高,不易穿过裂隙状基岩或含不规则大块的地层。防渗墙最适用于饱和、细粒、较浅、较平坦的场合。

三、注浆幕

注浆幕即选取适宜浆体,经由钻孔进行压力注浆。浆体包括水泥、膨润土悬浮体或

二者的混合体,也可以采用化学注浆,其与悬浮液混合可以对地下水渗流提供更有效的密封和水力控制。这些化学浆包括:

- 硅酸钠基(20%~60%)与反应剂(酰胺、酸、多价阳离子)、速凝剂(CaCl_2)和水;
- 木质磺酸盐(钙、铵或钠盐)与6价铬反应;
- 丙烯酰胺、速凝剂(过硫酸胺)、交联剂(亚甲双丙烯酰胺)和催化剂;
- 酚基—酚和乙醛(高pH值下缩聚)。

必须根据浆体所穿过空隙的大小选择浆体类型。为了使浆体颗粒穿入土壤孔隙,土壤的 d_{15} 与浆体颗粒的 d_{85} 之比必须大于25,实际上水泥注浆限于原渗透系数大于 $5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 的中砂到砾石范围的应用。在岩石中,可灌裂隙宽度须大于0.75mm。因此,水泥注浆在较粗材料和具有连续、张开裂隙岩石中显著有效。水泥注浆很少把受浆材料的渗透系数降低到 10^{-5} cm/s 以下,显然达不到限制尾矿库渗漏可接受程度,此外,酸性尾矿废水可能侵蚀浆体,因此不可能在尾矿库渗漏控制中得以广泛应用,但可以作为补救措施,控制现有尾矿库的渗漏。注浆幕在降低渗漏量方面可能不尽显著,但可能通过加长渗径和延长地球化学作用时间,而使渗漏废水中污染物浓度降低。

第四节 渗漏返回系统

渗漏返回系统是渗漏出坝外的废水汇集起来再返回尾矿库,从而消除或减少地下水中污染物迁移。返回系统作业有两种基本形式:集水沟(池)和集水井,如图2-7-4所示,它们的工作原理是相同的,即作为渗漏控制的第一道防线,在尾矿坝下游把渗漏废水集中起来,再泵回沉淀池。

集水沟可以单独使用,也可辅助其它渗漏控制措施一起使用。一般地,沿坝下游坡脚附近开挖集水沟,再将渗漏水汇集到池中泵回尾矿库。其适用条件相似于截流沟,下覆连续的较浅的透水层,集水沟挖穿透水层而达不透水层。因不要求坝体中设置不透水心墙,故可用于透水的上游坝、下游坝或中心线坝。沟内设置反滤层,以防发生管涌。

集水井是沿坝下游打一排水井,截流受污染的渗漏水,从井内抽出,泵回尾矿库。井深应足以拦截污染缕流。集水井很昂贵,一般不为尾矿库渗漏控制所选用,但可作为补救措施,防止已污染的含水层进一步被破坏是很有效的。

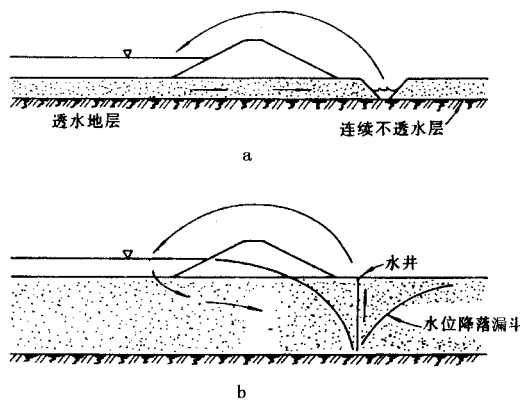


图 2-7-4 渗漏返回系统

a—集水沟 b—集水井

第八章 尾矿库设计方案评价

在尾矿库设计中,无论是尾矿排放方法还是尾矿库选址与布置型式,都存在多方案求优问题,以往因所确立的目标单一,即以费用估计为评价准则,最佳方案确定比较简单,常选定费用最低方案为最优方案。近些年来,在尾矿管理中,环境因素日趋引起重视,其重要程度往往不亚于、甚至或高于经济因素,这样,方案选择成了多目标决策问题。

决策过程涉及众多客观因素如场地自然条件和尾矿状态参数,和众多主观因素如价值冲突和行政法规,为了实现最优化决策,必须构造一个合理的框架,确立一个科学的评价和选择方法,使之在满足生产要求和达到费用最低化的同时实现环境保护和公众健康。本章介绍一种简单、实用评价方法——系统评价方法。

第一节 系统方法

图 2-8-1 示出系统评价程序,其主要由以下 5 个单元组成:

一、确定目标

明确地确定尾矿排放策略应当达到的目标是系统评价的最重要步骤,按照这个目标制定各种可能的排放方法和各个备选的尾矿库场地。如果没有明确的目标描述就不可能进行逻辑评价。

选择尾矿排放方法的目标包括:

- 使尾矿库的完整性最佳 ,确保尾矿不释放 ；
- 排放费用最低化 ；
- 渗漏量最小化 ；
- 土地恢复期间最大化地使排放面积恢复到其原状态的面积 ；
- 对正在进行的采矿作业破坏最小。

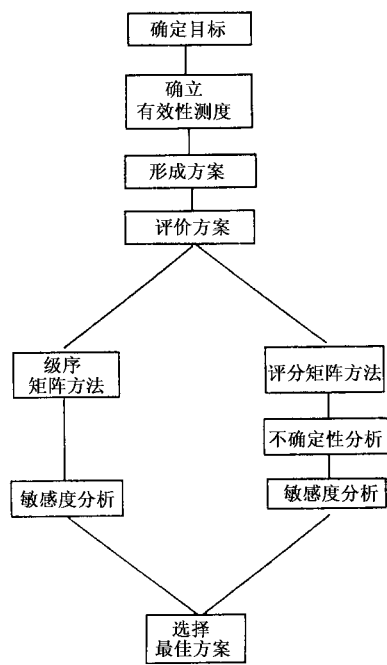


图 2-8-1 系统评价程序框图

为进行尾矿库场地比较 ,前面所述的许多选址因素可作为目标 ,例如 ：

- 尾矿库至选厂距离最短 ；
- 汇水面积最小 ；
- 总填筑材料量最小。

与环境有关的目标包括 ：

- 渗漏对地下水的影响最小 ；
- 扰动的地表面积最小 ；
- 对珍奇物种和生境扰动最小。

有关环境目标主要是依据政府部门制定的法规、准则确定的。

二、有效性测度的量化表达

要为每个目标的有效性确定量化单元,以量度某一备选策略是否达到特定目标,否则所确定的目标是没有意义的,因此说,这也是评价过程的基本元素。有效性测度应满足以下两个准则;

- 是一个量化的数值单位;
- 可以通过计算或通过现场测量检验。

许多目标的有效性测度是直达式的,例如至选厂距离和高程可以直接量度选厂接近度目标。材料有效利用系数可以作为填筑材料量最少化程度的良好测度。有些环境影响可能与尾矿库扰动面积相关,尾矿库面积可作为有效性间接的、但有益的测度。

有效性测度对备选方案的最终确定极为重要,有些目标必须明确定义有效性测度,例如目标“尾矿库渗漏的不利影响最小”,陈述简单,但可能的后果范围颇为含糊,依照其严格和限制程度递增顺序,可能有以下 5 个不同的有效性测度:

(1)最近水井的水质不变坏:只需要把尾矿库定位在最近水井的足够距离即可满足这一测度;

(2)地下水质量不变坏:限制采矿之后地下水利用不低于原质量水平,这主要决定于原地地下水质量,可能对尾矿库定址有极小的影响;

(3)矿区境界外污染物无迁移:因尾矿库区水文地质和地球化学特性不同,该目标的有效性测度也不同,可从不控制渗流到铺设不透水垫层;

(4)污染物不进入地下水:防止污染物进入地下水,实际上允许一定的渗漏,其量大小决定于地下水位的深度、天然土通过 pH 缓冲和离子交换吸收污染物的能力;

(5)尾矿库的渗流不释放:限制尾矿库场地处在不透水天然地层上,或者需要采取结构措施如垫层等。

理想地,有效性测度应当就尾矿库允许的额定渗漏率给出一个的数值限度,或者标志出指定地点和时间不能超越的特定污染物和浓度。

在确定尾矿排放费用的有效性测度时,除了作业费一定要考虑外,必须决定是以初始建设费还是以总费用量度费用最低化,特别是在对比单一型尾矿库和多级型尾矿库时尤为重要。各单个尾矿库的初始费用较低,但最终的总费用较高。如果不适当地确定费用的有效性测度,可能使备选方案的继后评价失真。

三、确定方案

无论采用任何评价方法,都要确定出适当数量时备选方案(排放方法或尾矿库场

地)通过筛选排除明显不可行的方案,从而得到可行的评价方案子集。确定备选方案的主要因素是工程经济和工程判断,以及管理机构的态度。

确定备选方案须全面考虑排放系统的所有元素,各方案应包含有关尾矿排放方法、尾矿库场地、渗流控制、土地恢复等问题解决办法的最佳结合。例如露天矿坑排放,由于矿坑面积较小,需要把选矿废水排至蒸发地,以消除过多的水量。确定方案时必须考虑蒸发池。从渗漏损失的观点看,这似乎很有利,但很可能是把潜在的渗漏问题从尾矿排放区转移到蒸发池场地。再例如地下矿山尾矿充填方案,还必须考虑为剩余的尾矿泥排放设置的地表尾矿库。总之,每个备选方案的确定都必须包括所有尾矿和废水排放或处理的全部设施。

四、备选方案的评价

确定出一组可行备选方案之后,则要依照已确立的有效性测度分别评价和对比各方案,确定它们达到既定目标的程度。常用方法是矩阵评价方法,其由以下几个单元组成:

(1)由备选方案子集和判别备选方案的目标子集构造一个二维矩阵。赋予每个目标一个权重系数,以反映其相对重要性,赋予每个备选方案一组数值,以反映其达到每个目标的程度。通过累加每个单独目标分值与相关权重系数之积而求出每个备选方案的总排序。

(2)为了研究不同权重系数所引起的备选方案排序变化,可进行敏感度分析,以提供各个目标重要性的测度,识别出对总体评价起决定作用的目标,并说明不同评价人员可能得出值的差异。

(3)在对每个备选方案各个目标赋予分值中,可以通过采用主观概率估计和期望值考虑不确定性的影响。

五、选择最佳方案

通过上述矩阵分析,按照每个备选方案的排序或分值,表明它们达到既定目标的程度。一般,剔除较低级序的方案之后,余下2~3个排序相近的方案,再作敏感度分析,研究不同权重系数对备选方案序别的影响。如果指定方案对特定目标所赋予的权重系数非常敏感,说明其选择可能引起争议。如果关键性权重系数作较大变化而对指定方案的相关值影响很小,这个方案可能是极易接受的。

第二节 矩阵评价方法

一、级序方法

级序方法是多目标项目评价的常用而简便方法。下面以 2 个实例说明矩阵构造及其应用。

例 1 尾矿库选址

美国怀俄明州南方一个正在开采矿山 ,为增加至少 5a 的尾矿贮积能力而选择并评价尾矿库。要求渗漏量最小 ,并剥离地表土壤以供闭库时土地恢复使用。

确定了 3 个尾矿库场地 A、B、C ,三者相对于选厂距离和高程基本相当 ,因此 ,接近度就不作对比因素。洪水径流采用蓄积法控制。尾矿库场地的一般特性列于表

场地 A 提供 10a 的尾矿贮积能力 ,占地面积 $8.9 \times 10^5 \text{ m}^2$,材料有效利用系数(包括表土剥离)为 5.7 ,因为天然土壤沉积层较厚 ,估计在这三个场地中其渗流潜势最低 ,

场地 B 提供 15a 的尾矿贮积能力 ,占据较大面积 $10.8 \times 10^5 \text{ m}^2$,材料有效利用系数最高 0.83 ,粘土沉积层与场地 A 相似 ,但因库区较大 ,估计其渗流潜势中等。

场地 C 是面积最小的尾矿库 $4.3 \times 10^5 \text{ m}^2$,提供 6a 的尾矿贮积能力 ,材料有效利用系数为 7.8 ,仅略低于场地 B。但场地 C ,尾矿坝较高 ,坝肩为强烈裂隙状页岩 ,容易产生渗漏问题 ,且又邻近河流 ,尾矿库渗漏有直接进入地表水体的可能性 ,判定场地的渗流潜势最高。

表 2-8-1 各尾矿库特性

| 场地 | 面积/ m^2 | 最大坝高/ m | 库容/ m^3 | 尾矿库寿命/a | 筑坝材料量/ m^3 |
|----|--------------------|--------------------|-------------------|------------|---------------------|
| A | 8.9×10^5 | 10.5 | 4.6×10^6 | 10 | 0.27×10^6 |
| B | 10.8×10^5 | 12.0 | 7.0×10^6 | 15 | 0.19×10^6 |
| C | 4.3×10^5 | 15.0 | 2.6×10^6 | 6 | 0.09×10^6 |
| 场地 | 剥离表土/ m^3 | 总土方量/ m^3 | 材料有效 利用系数 | 相对渗 流潜势 | |
| A | 0.54×10^6 | 0.81×10^6 | 5.7 | 最低 | |
| B | 0.66×10^6 | 0.85×10^6 | 8.3 | 中等 | |
| C | 0.20×10^6 | 0.35×10^6 | 7.8 | 最高 | |

确定 3 个目标 ,并依其重要性赋予相应权重系数 :

(1)土地扰动最小 :有效性测度为尾矿库面积。从长远意义讲 ,考虑到尾矿库废弃后要复垦、覆盖表土和植被 ,此目标相对不很重要 ,因此赋予最低的权重系数 0.1 ;

(2)费用最低 :鉴于 3 个场地的输送管路费用相当 ,费用则决定于填筑材料量 ,因此 ,取费用的有效性测度为材料有效利用系数 ,应认为此目标最重要 ,取权重系数 0.5。

(3)渗漏的有害影响最小 :由于现有渗流资料有限 ,渗漏目标的有效性测度不能实现量化 ,故以相对渗漏损失潜势来确定 ,赋予权重系数 0.4。

在此框架下 ,根据每个目标的有效性测度(见表 2-8-1) ,为每个场地方案赋予整数的级值。因为是把每个方案的每个目标排列级序 ,故相对分级数与方案数相同 ,此例中 3 个方案 ,有效性测度 3 个等级 ,其中 3 为最高级序 ,1 为最低级序。例如土地扰动目标的级序可以直接从表 2-8-1 查出 :方案 A 为 2 ,方案 B 为 1 ,方案 C 为 3 ,其它目标类同。如此构造成方案一目标的二维评价矩阵 ,示于表 2-8-2。

表 2-8-2 尾矿库选址评价矩阵

| 目 标 | 土地扰动 (权重系数 0.1) | 费 用 (权重系数 0.50) | 渗 流 (权重系数 0.4) |
|------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 方案 A | 2 | 1 | 3 |
| 方案 B | 1 | 3 | 2 |
| 方案 C | 3 | 2 | 1 |

加权级序 :

场地 A $(0.1 \times 2)+(0.5 \times 1)+(0.4 \times 3)=1.9$

场地 B $(0.1 \times 1)+(0.5 \times 3)+(0.4 \times 2)=2.4$

场地 C $(0.1 \times 3)+(0.5 \times 2)+(0.4 \times 1)=1.7$

中等

最有利

最不利

每个方案的总级序通过累加各目标权重系数与相应级值之积求得 ,如表 2-8-2 所示 ,方案 B 总级序最高 ,表明最有利 ,方案 C 最不利 ,方案 A 居中。

例 2 尾矿排放方法

某铀矿赋存于地下 900m 深的坚硬岩石中 ,拟采用地下开采方法 ,要求全面评价各种排放方法。确立评价目标有 3 :

- (1)由天然因素提供高度完整的隔离环境 ,防止经数百年的侵蚀过程造成尾矿扩散 ;
- (2)应使废水渗漏量最小 ;
- (3)应使初始建设费用最低。

针对铀尾矿的特殊性质 ,在排放方法选择中 ,实现尾矿的长期隔离是关键、最偏重的

目标,从长远观点看,其重要性大体为渗漏量最小或建设费用最低目标的 3 倍。假设渗漏重最小和费用最低具有相当的重要性,则赋予各目标的权重系数为:目标 1 为 0.6,目标 2 和目标 3 分别为 0.2。

考虑这些因素,确定出以下 3 个排放方法的备选方案:

方案Ⅰ:在矿山开始开拓之后,尾矿从选矿厂泵送地下,贮积在采空的矿房中。矿房围岩的性质允许不构造人工不透水垫层,保持裸壁。选厂生产的尾矿全部返回地下。

方案Ⅱ:在选厂建设期间,专门为排放尾矿在地表挖掘一个大坑,应用合成垫层材料衬垫,在选厂整个工作期间提供尾矿地下排放。

方案Ⅲ:在选厂建设期间,构筑尾矿坝形成普通地表尾矿库。因当地缺少低渗透性的天然粘土材料,需从远处外运工业膨润土作垫层。

现在,可以为各备选方案能满足评价目标的相对能力确定级序,从而构造评价矩阵:

长期隔离的目标:方案Ⅰ(地下矿山排放),在矿房中深埋尾矿,实现最大程度的隔离,赋予最高级值 3;方案Ⅱ(掘坑排放)因埋深较浅,隔离程度略次,赋予级值 2;方案Ⅲ(地表尾矿库排放)可能长期受到侵蚀作用,赋予最低级值 1。

当达到渗漏量最小的目标,方案Ⅰ的矿房裸露岩石中可能包含有使渗流量大于方案Ⅱ或Ⅲ的节理,所以赋予级值 1;方案Ⅱ因合成垫层能消除渗漏,故赋予级值 3;方案Ⅲ,因为构造完完全全的土壤—膨润土垫层困难,其防渗效果可能比完整的合成垫层差,而此裸壁好,所以赋予级值 2。

初始建设费用最低的目标:方案Ⅰ因尾矿地下输送管路过长,费用适中,赋予级值 2;方案Ⅱ专门掘坑排放,费用最高,赋予级值 1;方案Ⅲ尾矿坝的建设费用最低,赋予级值 3。

表 2-8-3 为依据上述资料构造的评价矩阵,最后求出每个方案的加权总级序。结果表明,方案Ⅰ加权总级值最高,最有利;方案Ⅱ居中;方案Ⅲ为最不利方案。

级序方法简单,适用于可行性研究阶段,实际的和确认的资料有限,所用数据不足以进行可靠的定量分析,但是,可以凭经验取得适当的工程结论,粗略地区分方案的优劣。

表 2-8-3 尾矿排放方法选择的顺序评价矩阵

| 目 标 | 长期隔离 (权重系数 0.6) | 渗漏量 (权重系数 0.2) | 费 用 (权重系数 0.2) |
|-----|--------------------|-------------------|-------------------|
| 方案Ⅰ | 3 | 1 | 1 |
| 方案Ⅱ | 2 | 3 | 1 |
| 方案Ⅲ | 1 | 2 | 3 |

| 目 标 | 长期隔离 (权重系数 0.6) | 渗漏量 (权重系数 0.2) | 费 用 (权重系数 0.2) |
|-------|--|-------------------|-------------------|
| 加权级序： | | | |
| 方案Ⅰ | $(0.6 \times 3) + (0.2 \times 1) + (0.2 \times 2) = 2.4$ | 最有利 | |
| 方案Ⅱ | $(0.6 \times 2) + (0.2 \times 3) + (0.2 \times 1) = 2.0$ | 中等 | |
| 方案Ⅲ | $(0.6 \times 1) + (0.2 \times 2) + (0.2 \times 3) = 1.6$ | 最不利 | |

级序方法存在两个主要缺点：一是级序并不能完全反映达到目标的有效性差异，例如，假设方案Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的费用分别为 100 万元、1500 万元和 1600 万元，级序自然为 3-2-1，却忽略了方案Ⅱ与Ⅲ之相近性。二是加权级值是一个定性指标，并无实际意义，例如上例，方案Ⅲ为方案Ⅰ的 1.5 倍，只说明方案Ⅰ比方案Ⅲ还有利，并不指方案Ⅰ优于方案Ⅲ 50%。

二、评分方法

评分方法在概念上与级序方法相同，但需要更多的数据和判断，可以在一定程度上克服级序方法的缺点，并提供更确切的评价资料。下面以级序分析的同一铀尾矿排放方法选择实例说明这种方法的应用。表 2-8-4 示出以评分方法构造的评价矩阵。

在能够获得明确的目标有效性测度的场合，可以采用主观方法或计算方法为各备选方案的各目标有效性评分（而不是排序）。假设有效性测度范围从 0 到 3.0，指定为评分的下限和上限。为达到长期隔离的目标评分：认为方案Ⅰ（地下矿山排放）在永久性隔离方面最有效，因此赋予最高分数 3.0；方案Ⅱ（掘坑排放）略欠有效，赋予分数 2.8；方案Ⅲ（地表尾矿库）长期经受侵蚀，有效性仅为方案Ⅰ的二分之一，即 1.5。

表 2-8-4 尾矿排放方法选择的评分评价矩阵

| 目 标 | 长期隔离 (权重系数 0.6) | 渗 漏 量 (权重系数 0.2) | 费 用 (权重系数 0.2) |
|-----|--------------------|---------------------|-------------------|
| 方案Ⅰ | 3.0 | 1.0 | 1.8 |
| 方案Ⅱ | 2.8 | 2.8 | 1.5 |
| 方案Ⅲ | 1.5 | 2.8 | 2.0 |

| | | | |
|--------|---|-----|--|
| 加权级分数： | | | |
| 方案Ⅰ | $(0.6 \times 3.0) + (0.2 \times 1.0) + (0.2 \times 1.8) = 2.36$ | 有利 | |
| 方案Ⅱ | $(0.6 \times 2.8) + (0.2 \times 2.8) + (0.2 \times 1.5) = 2.54$ | 最有利 | |
| 方案Ⅲ | $(0.6 \times 1.5) + (0.2 \times 2.8) + (0.2 \times 2.0) = 1.86$ | 最不利 | |

同样地 , 渗漏量和费用目标的有效性测度正比于所计算的渗漏量(m^3/h)和估计的费用值(元) , 从而进行适当的评分。与级序方法不同有是允许备选方案在同等程度上满足目标 , 并赋予相同的分数(见表 2 - 8 - 4)。根据加权分数值可以得出结论 : 方案 II 最有利 , 其次是方案 I , 明显低分的是方案 III , 因此不需要再考虑了 , 而方案 I 和 II 之间差异甚小 , 可能是因为没有考虑次级因素的影响引起的。最佳方案的最终确定应进行敏感度分析。

三、敏感度分析

敏感度分析的目的是要辨别矩阵分析中的主观因素 , 说明方案选择过程中价值差异的原因。敏感度分析基于这样的假定 , 即在相同情况下 , 参数值变化范围宽条件下的有利方案比变化范围窄条件下的有利方案更可取。为反映不同评价者的不同价值 , 例如管理部门可能强调环境保护 , 而矿山公司可能偏重经济效益 , 现改变权重系数如下 : 长期隔离 0.3 , 渗漏量最小 0.3 , 费用最低 0.4 , 而目标分值保持同前(当然也可作目标分值的敏感度分析) , 重新求得各方案的加权分数 , 示于表 2 - 8 - 5。

与表 2 - 8 - 4 的结果相比较 , 方案 II 仍保持为最有利 , 这是因为在敏感度分析中提高了费用目标的重要性 , 而方案 I 的分数降低是因为降低了长期隔离的重要性。基此分析 , 可选方案 II 作为铀矿优选排放方法。

表 2 - 8 - 5 敏感度分析的评价矩阵

| 目 标 | 长期隔离 (权重系数 0.3) | 渗 漏 量 (权重系数 0.3) | 费 用 (权重系数 0.4) |
|--------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 方案 I | 3.0 | 1.0 | 1.8 |
| 方案 II | 2.8 | 2.8 | 1.5 |
| 方案 III | 1.5 | 2.8 | 2.0 |

加权级分数 :

方案 I $(0.3 \times 3.0) + (0.3 \times 1.0) + (0.4 \times 1.8) = 1.92$

方案 II $(0.3 \times 2.8) + (0.3 \times 2.8) + (0.4 \times 1.5) = 2.28$

方案 III $(0.3 \times 1.5) + (0.3 \times 2.8) + (0.4 \times 2.0) = 2.09$

不利

最有利

中等

四、不确定性分析

在尾矿库设计中 , 常常遇到重大的不确定性和风险 , 例如在评价尾矿库对长期侵蚀的敏感度时 , 在估计特定土地恢复规划再植被成功的可能性时 , 在评价尾矿排放对生物

群的影响时,这时,在矩阵评价中,可以通过概率方法求得矩阵元素的期望值,代入评价矩阵,以考虑不确定性的影响。

期望值是根据随机事件的出现概率加权每个可能结果表明其结果。对于具有 n 个可能结果的随机事件 x ,其期望值为

$$E(x) = \sum_{i=1}^n P_i C_i \tag{2-8-1}$$

且

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1$$

式中, $E(x)$ 为期望值,各可能结果相互独立并构成一个穷举的集合; P_i 为结果 i 的出现概率; C_i 为与结果 i 有关的值。

随机事件的概率有两种解释,一是相对频率的概念,通过重复试验确定其概率;二是信赖程度的概念,主观赋值表明对某预测结果的置信度,后者对矩阵评价是非常有用的。

下面,以渗流控制中选取合成垫层有效性的实例说明主观概率和期望值在矩阵评价方法中的应用。某一设计服务年限 50a、深度 90m 的尾矿库,拟采用合成垫层,但只有 20a 以内垫层老化特性的资料记载,而深度无如此深、时间无如此长的设计先例。因此,除了不知道与设计 and 施工质量有关的短期整体性外,垫层的长期整体性也存在一定不确定性。

假设此例中垫层整体性有 3 个可能结果:

(1)在整个 50a 间垫层完全有效,不发生渗漏,赋予这一结果的矩阵分数值 3.0。评价者基于经验判断,估计垫层完全有效的概率为 0.5;

(2)由于不完善施工,难以实现垫层的完全接合,估计发生渗漏概率为 0.3,如果发生渗漏量为 $10\text{m}^3/\text{h}$,赋予分数值 2.0;

(3)由于不了解垫层长期完整性,认为在 50a 服务期限结束之前,垫层老化的概率为 0.2,如果发生老化,渗漏量达 $50\text{m}^3/\text{h}$,赋予其分数值 0.5。

渗漏控制目标的期望分数值通过累加 3 个可能结果各自分数值与相应概率之积求得:

$$E(x) = (0.5 \times 3.0) + (0.3 \times 2.0) + (0.2 \times 0.5) = 2.2$$

图 2-8-2 以决策树形式说明这一计算过程。对于表 2-8-3 中方案 II 的渗漏控制目标,应以上述计算的期望值 2.2 替代原分数值 2.8。如果矩阵中所有不确定元素都如此采用期望值,则可以全面实现不确定性分析。

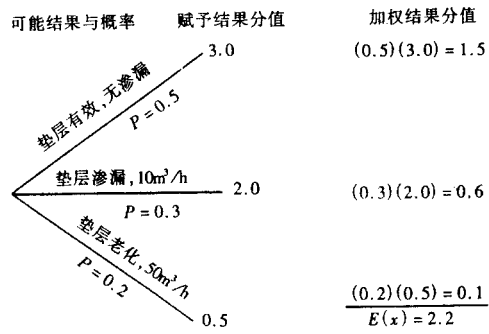


图 2-8-2 期望分数值计算

第九章 尾矿库设计的特殊问题

第一节 岩溶地区尾矿库的防漏与落水洞处理

可溶性岩层(石灰岩、大理岩、白云岩、大理化灰岩等)在地下水的长期作用下可能产生溶洞,甚至形成地下通道。有的溶洞暴露于地表,有的则为第四纪残积、坡积层所覆盖,埋藏在深部不易被发现。这种岩溶现象对尾矿库建设的危害性很大。

当尾矿库建成投入使用后,库内水位逐渐升高,水压、土压逐步增大,改变了溶洞覆盖层或充填物的存在条件,使其结构破坏。当充填物被冲走形成空洞时,可能引起地表塌陷,破坏构筑物的稳定性,造成严重的事故,或形成落水洞,使尾矿水与尾矿大量流失,不仅影响选矿厂的生产,而且对通道下游出口附近地区也会造成很大的危害,如通道与采矿坑道相通,则给采矿场造成极大的危害。

因此,当不得不在岩溶地区建尾矿库时,必须进行库区工程地质普查及详尽的勘探,查明落水洞的数目、位置、充填情况、渗透通道的走向、出口等,并在设计中充分考虑防漏和确保水工构筑物地基稳定的工程措施,以便在基建中进行妥善处理。

一、一般处理方法

尾矿库防漏与落水洞处理的一般方法见表 2-9-1。在处理时应本着因地制宜,就地取材,土洋结合,慎重对待的原则。

除表列各法外,当尾矿库地形较平,面积较大,落水洞遍布库内,为确保安全生产,也

可在基建过程中筑堤将尾矿库分成几部分轮换使用。如云锡葫芦塘尾矿库即采用此法 , 效果良好。

又当尾矿库边缘一带有较大落水洞或落水洞群 ,处理困难时 ,也可采用筑坝隔离法隔出尾矿库外。隔离坝可一次建成 ,也可用尾矿堆坝。云锡个旧湖老阴山落水洞、水菁尾矿库、卡房尾矿库落水洞区均采用过此法 ,效果良好。

此外 ,当库区内有泉水 ,可视其流量大小 ,水头高低决定是否引出加以利用或堵塞。但坝趾下的泉眼一般应导出坝外 ,以免影响坝体稳定。

表 2 - 9 - 1 岩溶地区尾矿库防漏及落水洞处理方法汇总表

| 处理 方法 | 适 用 条 件 | 主要材料 | 处 理 步 骤 | 要 求 | 附注 |
|-------------------|---|-------------------------|--|--|-------------|
| 竖 井 隔离法 | 基岩完整的石落水洞 , 并欲用以排洪或有其它 特殊要求不能封闭时 | 砂石、水 泥 | 1. 清基 ; 2. 修建半圆井或竖井围 起 | 在井筒不同标高 处设排水口 ,可用作 排洪 | 图 2 - 9 - 1 |
| 圪 工 封盖法 | 基岩较完整 ,有明显洞 口的石落水洞 | 毛石、粗 砂、水 泥、 钢筋 | 1. 清理洞口浮石、草木、 并冲洗 ; 2. 50 号 砂 浆 灌 基 岩 裂 隙 ; 3. 50 号 砂 浆 砌 毛 石 ,上 覆混凝土盖板 | 砌石前洒水湿润 , 选狭窄地段及基岩 完整处墙洞 ,砌石与 基岩结合紧密 ,混凝 土洒水养护 | 图 2 - 9 - 2 |
| 反 滤 式 堵 塞 法 | 覆土层较厚 ,表面形成 漏斗但无明显洞口的土 落水洞 | 毛石、树 枝、砾 料、 粗砂、粘土 | 1. 清基至一定深度 ,必 要时清出洞口 ; 2. 抛大块毛石及树枝 , 以形成骨架 ; 3. 用砾料、粗砂做反滤 层 ; 4. 回填土夯实 | 粘土回填厚度 ,以 大于 1/10 水 头 为 宜 ; 覆盖范围应超出 落水洞边缘 3 ~ 5 米 | 图 2 - 9 - 3 |
| 裂 隙 充填法 | 峭壁、陡坡或坡度较大 的岩石露头 ,断层破碎带 裸露并查明有渗漏的裂 隙 | 毛石、碎 石、粗 砂、 水泥 | 1. 清开裂隙 ,清除杂物 , 清水冲洗 ; 2. 小于 50 毫米裂隙 ,用 水泥砂浆填缝 ,表层养 护 ; 3. 50 ~ 200 毫米裂隙 ,用 碎石充填 ,表层 30 ~ 50 毫米深用水泥砂浆 灌实抹平 ; 4. 200 毫米以上裂隙用 块石与碎石充填 ,表层 100 ~ 200 毫米深用 100 号混凝土填平、捣 实 | 充填砂浆要细致、 饱满 ; 填充前洒水湿润 , 表层抹平 ,厚度应大 于 30 毫米 ,以免起 壳 ,最后洒水养护 | 图 2 - 9 - 4 |

| 处理 方法 | 适 用 条 件 | 主要材料 | 处 理 步 骤 | 要 求 | 附注 |
|------------|--|-------------------------|--|--|---------|
| 防 渗 斜墙法 | 岸坡陡峻,灰岩沿坡脚 出露,查明崖壁脚为主要 渗漏区的大面积裂隙 | 碎石、粗 砂、毛 石、 水泥、粘土 | 1. 岩壁裂隙先用裂隙充 填法堵塞; 2. 清出岩脚破碎带; 3. 最后用粘土回填,夯 实 | 岩脚破碎带如发 现明显洞口,先用圪 工法封盖,再回填粘 土,按土坝要求施 工,不得由库内取土 | 图 2-9-5 |
| 粘 土 铺盖法 | 地形平缓,覆土层较薄 的大面积断层破碎带 | 粘土、碎 石、毛石 | 1. 清除原覆土层,发现 大洞穴视情况用圪 工法或反滤式法堵塞; 2. 用新粘土回填,夯实 厚度应大于 1/10 水头 | 水边线附近,覆盖 厚度应增大,或加草 皮护面,地形较陡 处,削平后回填;不 得由库内取土 | |
| 原 土 压实法 | 土质松软,覆土层厚度 3~5 米,迳流水缓慢漏 光的天然封闭洼地 | 粘土 | 1. 清除原低洼地带渗漏 区杂草、树枝; 2. 陡坡削平; 3. 用压路机或羊脚碾碾 压三遍以上 | 在碾压过程中,局 部压缩较大时,可取 新土填平,再辗平 | |
| 防 渗 齿槽法 | 库内无断层,崖壁完整 无裂隙,岩脚破碎漏水的 大面积渗漏区 | 粘土 | 1. 先开挖岩脚,看揭露 情况决定齿槽断面; 2. 一般齿槽深 3 米,外坡 1:1; 3. 然后用新粘土回填, 夯实 | 下口宽应大于渗 漏范围 1~2 米; 岩脚破碎严重地 带,可先做砂、碎石 过渡层,再回填粘土 | 图 2-9-6 |

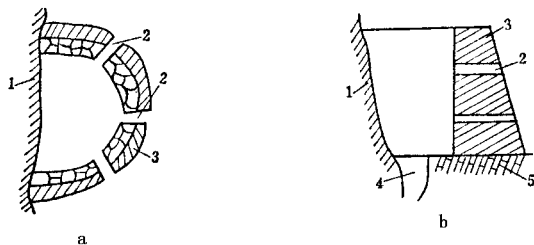


图 2-9-1 竖井隔离法处理落水洞示意图

a—平面图 b—断面图

1—陡壁 2—预留排水口(加闸门) 3—竖井壁 4—落水洞 5—基岩

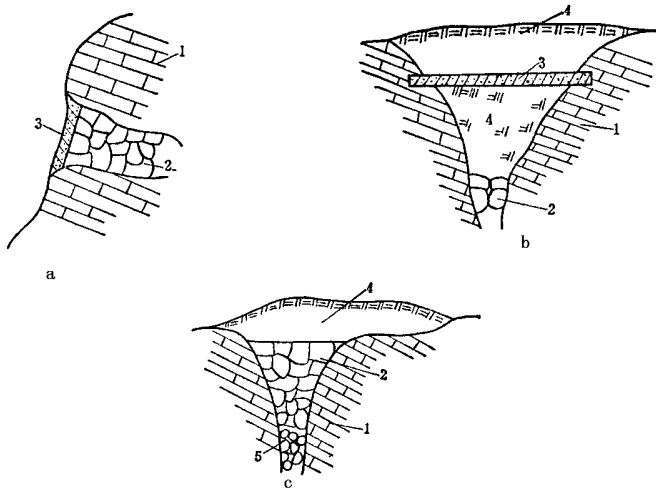


图 2-9-2 圬工封盖法处理落水洞示意图

a—水平或倾斜的石洞 b—洞口较阔的竖洞 c—洞口较狭的竖洞
1—基岩 2—浆砌毛石 3—混凝土或钢筋混凝土盖板 4—夯实粘土 5—抛毛石

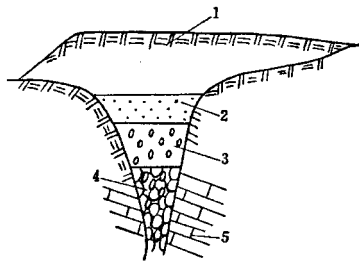


图 2-9-3 反滤式堵塞法处理落水洞示意图

1—粘土夯实 2—粗砂 3—砾石或碎石 4—抛毛石及树枝 5—基岩

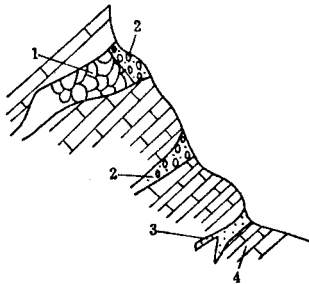


图 2-9-4 裂隙充填法处理漏水裂隙示意图

1—浆砌块石 2—碎石混凝土 3—砂浆填缝 5—基岩

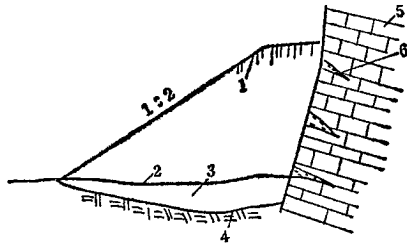


图 2-9-5 防渗斜墙法处理大面积漏水裂隙示意图

1—粘土防渗斜墙 2—原地地面线 3—岩脚渗漏区 4—清基线；
5—基岩 6—裂隙充填处理

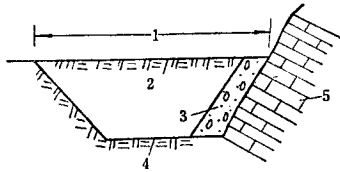


图 2-9-6 防渗齿槽法处理岩脚渗漏区示意图

1—齿槽上宽 2—夯实粘土(不小于 3 米厚) 3—岩脚砂石过渡层；
4—清基线 5—基岩

二、实例

(一)老厂背阴山冲尾矿库坝下落水洞处理

该库初期坝为浆砌毛石重力坝,高 14 米,清基深 6 米。坝趾下有背阴山冲东西向断层通过,落水洞甚多。

清基后发现中段有较大的落水洞两处,均为竖向石洞,洞周基岩完好,上口有部分石块与基岩脱离,洞口最宽处达 4 米,曲折向下深不见底。两坝肩则多为断层破碎带的溶蚀裂隙。

处理方法如下：

(1)对中段石洞,不论大小,先清掉破碎石块,用水枪冲洗清出洞口,由下部较狭处填大块毛石,每填厚 50 厘米左右,灌水泥砂浆一层,填至与洞口平。其上用混凝土盖板(洞口大于 1 平方米者用钢筋混凝土盖板)封闭,盖板略大于洞口,四周均放到较完整的基岩上。然后将所有可能漏水的裂隙均清理冲洗,填以水泥砂浆(图 2-9-7)。

(2)对坝肩上的裂隙带,先清基,再视裂隙大小用混凝土或砂浆灌实找平。处理范围下游至坝基外不小于 1 米,上游将所有的明显裂隙均加以处理。

经处理后,该坝从 1963 年建成至 1975 年,已用尾矿堆坝 15 米高,安全工作 11 年来未发生变形、裂缝,坝基稳定。

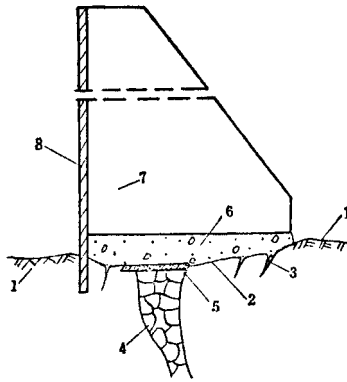


图 2-9-7 背阴山冲尾矿坝落水洞处理示意图

1—原地面线 2—清基线 3—裂隙充填 4—石洞内填毛石混凝土;
5—钢筋混凝土盖板 6—混凝土垫层 7—浆砌石坝体 8—混凝土截水墙

(二) 小凹塘尾矿库防漏处理

该库基底岩石为中厚层个旧灰岩和岩墙状喷出花岗岩,其上覆盖着火把冲煤系泥质页岩,厚度一般大于 6 米,起天然铺盖作用,对防漏有利。

基建时对库内石洞及崖壁上的裂隙处理较认真,生产中未发生问题,但对覆土区下的落水洞处理注意不够,使用中多次漏浆,影响生产。

1. 基建时的处理

对查明的落水洞,均视具体情况分别进行了处理。

1 号落水洞位于库内最低点(见图 2-9-8),库内径流水均由此洞漏走,开挖后有明显漏水通道,四周裂隙甚多。处理办法先用砂浆灌缝,再用毛石混凝土垫层和钢筋混凝土板(厚约 30 厘米)封盖,其上的空洞充填毛石混凝土,在洞口再用钢筋混凝土板封堵(见图 2-9-9)。

2 号洞较 1 号洞高 8 米,系一狭长洞,洞口小,内部曲折,至 8 米以下变为细缝。由于内部裂隙过多,面积太大,未采用灌浆处理,仅由洞口抛入大量毛石形成骨架,表面灌浆后用混凝土板覆盖,厚约 50 厘米,面积达 20 平方米。将洞口周边浮土清除使基岩裸露,把所有裂隙均用砂浆或混凝土填补平。

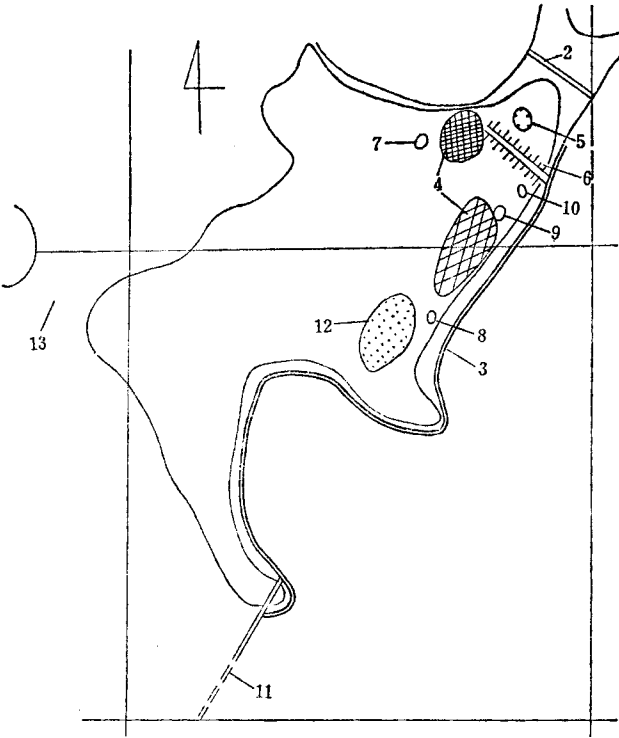


图 2-9-8 小凹塘尾矿库落水区示意图

1—库区 2—小庙丫口天然坝 3—周边放矿沟 4—灰岩裂隙区 5—土洞落水坑；
6—临时土石围堰 7—1 号落水洞 8—2 号落水洞 9—3 号落水洞；
10—4 号落水洞；11—尾矿渡槽；12—砂石粘土胶合区；13—栏马石丫口

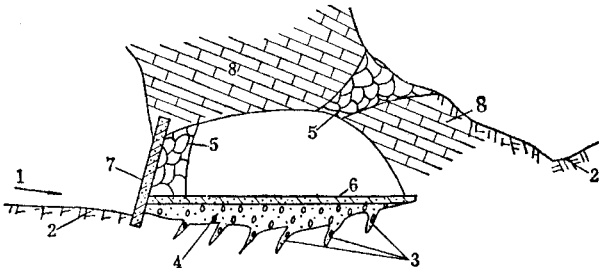


图 2-9-9 1 号落水洞处理示意图

1—逕流水流向 2—地面线 3—裂隙充填 4—混凝土垫层 5—浆砌毛石；
6—平铺钢筋混凝土板 7—洞口钢筋混凝土板 8—基岩

3 号洞在石灰岩崖壁中间，系一平洞，长约 20 米，四周横缝交错。对此洞仅在洞口用混凝土板加以封闭，未充填毛石。

4号洞在3号洞以上,为四个洞中最大者,洞口甚小,洞内分两支,向东者转小,向南者渐大,后者空间可容六七十人,裂缝发育,石笋林立。此洞如全部充填费工费时,施工困难,同时考虑到此洞标高已很高,承受水压已不太大,故洞内未予充填,仅在洞内分支处砌一毛石隔墙,既可断绝水的通路,又可加强岩石顶板的承压力。由毛石隔墙至洞口则用浆砌毛石填充,洞口用钢筋混凝土板封堵。

此外对岩壁上大片岩灰裂隙及1号落水洞以上的灰岩裸露地带(面积达8000米²)亦作了处理。办法是先将浮土草根除去,冲洗干净,再用砂浆或碎石砂浆补缝。

2. 生产中的处理

该库放矿存水至7~8米高时,曾在陡壁上及其附近发生小气泡及小旋涡数处,后经尾矿充填即消除。

此后,水位又上升2米时,在小庙丫口天然坝前斜坡地段上突然大量漏浆,一夜间即漏掉所蓄尾矿水的80%,约十万余立方米。

事故发生后,在漏水区筑围堰并进行清理,发现漏浆处形成一直径25米,深6米的大漏斗,覆土层大部冲走,露出基岩,有4个明显落水洞。对此采用下述方法进行了处理。在洞口打混凝土板封堵,然后清除土坑内的淤泥、尾矿、杂草等,向坑内抛毛石约1米厚,毛石表面灌水泥砂浆一层,厚约30厘米,其上再以粘土覆盖。

经处理后再放矿,当水位升高至坑口上缘1米左右时,原处又大量漏浆,一昼夜间又形成大坑。

第二次处理经讨论决定处理办法如下:

(1)先将毛石清开,找出所有洞口,用毛石混凝土堵好;

(2)覆土层必须分层夯实,保证质量,填平坑口后夯实土与坑边原土接触密实。

处理后再放矿,当水面高出坑口上缘3米左右时,不料又发生大量漏浆。

经再次研究,两次堵洞来成功的原因在于对漏水情况没有彻底查清。此区覆盖层下存在落水洞群,复土层土质松散,遇水后将土粒冲走,形成漏斗而大量漏水。针对这种情况采取以下两项措施:

①在天然坝附近多设尾矿分散管,均匀排放尾矿,利用沉积尾矿覆盖潜在落水洞区,压实原土减少渗透,并保持沉砂面总是高于库内水面;

②利用有利地形,在落水洞区外沿修筑土石围堰,防止清水流入落水区,清水由围堰溢流口排至落水区以外。

对落水漏斗的处理仍清开土坑,不另砌毛石,仅以粘土层层夯实(土坑四周凡有漏水迹象处,均用草包装土层层垒实,填平坑口)。

经此次处理并在生产中注意放矿方法之后,未再发生问题。

第二节 挖泥船的应用

一、挖泥船在尾矿设施中的用途

尾矿设施中采用挖泥船是我国冶金工业近期出现的新事物。其主要用途是：

(一)倒库回水

在已堆满或接近堆满的尾矿库中设挖泥船,将其中的沉积尾矿挖出,以较高的浓度送往另一尾矿库堆存,而继续利用旧尾矿库回收尾矿澄清水。

(二)堵塞落水洞

当尾矿库在使用过程中出现小的落水洞群,采用周边放矿不能制止漏水,而围堰堵洞又不便施工,且工程量过大时,可利用挖泥船将库内其他区域的沉积尾矿挖至落水洞区,以较高的浓度均匀排放,可避免落水洞继续扩大,并将落水洞逐步堵塞。

(三)改善堆坝条件

当由于某些原因,尾矿的排放未按正确的方法由坝前放矿,致使初期坝前沉积的全是尾矿的细粒部分,不利于尾矿堆坝时,可采用挖泥船将坝前细粒级尾矿挖除,另换充较粗粒级的尾矿以改善堆坝条件。

挖泥船在尾矿设施中的应用历时尚短,但从云锡公司使用经验看来,挖泥船在某些情况下有重要的作用。例如,在老尾矿库即将用完,需修建新尾矿库而其距离又较远的情况下,可设挖泥船倒库回水,或在新建选矿厂的尾矿库选择中,往往会遇到较近的山谷容积较小,不能满足容纳选厂整个生产年限内排放尾矿的需要,而能满足需要的较大的山谷又距选矿厂较远。在这种情况下,就可以考虑先用近的小的山谷作第一期尾矿库,并在其使用后期修建远的第二期尾矿库,利用挖泥船倒库回水。这样不仅可以节省新建尾矿输送系统和回水系统的基建费,而且还可节省回水系统的电费,同时又可使新、老尾矿库互为备用,增大尾矿库使用的灵活性和安全性。

二、挖泥船的结构和使用方法

(一)挖泥船的结构和配置

为便于拆装,船体常采用组合式结构,中央为主浮箱,前后两侧为四个副浮箱,用钢

板焊成并联结在一起。主浮箱负担主要排水量,副浮箱负担次要排水量并增强船体稳定性。

主浮箱为机仓位置,其中设有六筒绞车、减速器、砂泵、电动机、水封泵以及操作台,主要管道和梯道等。机仓顶棚上开有活动窗口,并设起吊设备以便检修仓内设备。水封泵除供砂泵水封用水外,还供吸泥时喷水造浆用水。

副浮箱为甲板位置,其上设有前后左右边锚,前副浮箱上还设有起重架。

出砂管由船体尾部用胶管与排砂管相连通。排砂管用胶管接头,设于浮筒上通至岸边。浮筒上铺木板并设栏杆以便通行。每节排砂管不宜过长,以4~6米为宜。

挖泥船由岸边变压器供电。尾矿库四周岸边设固定桩,用缆索系船体,借船上六筒绞车定位或移动。

(二)挖泥船的使用

挖泥船既可单独使用,也可配合其它排砂设施共同工作。

单独使用时,船所在处的水层不宜过深过浅,一般为0.8~0.5米较适当。吸泥时,用起重架调节吸泥管的俯角,即可调节吸泥深度,并随时借六筒绞车前后左右移动船体,变换吸泥位置。挖细泥时,勿须使用喷水管,当尾矿沉积密实,吸泥管吸泥困难时,则需开启喷水管喷水造浆。

挖泥船不宜在下述区域挖泥:

- (1)曾出现过落水洞群,已用尾矿覆盖堵漏的区域;
- (2)尾矿坝附近堆坝坝基区域;
- (3)尾矿库周边沉砂防漏的地段。

挖泥船配合使用的方法见实例。

三、实例

- (1)几个挖泥船的制造资料(表2-9-2)
- (2)卡房选厂挖泥船(图2-9-10及表2-9-3~2-9-4)
- (3)挖泥船的排矿浓度及粒度(表2-9-5)
- (4)黄茅山选厂挖泥船使用情况简介

该厂因生产扩大,其回水浓缩池($\phi 53$ 米四台)的能力已不能满足需要,需增建两台,但设备难以解决,且场地亦受限制,遂不得不将总尾矿的一部分又排往已停用的背阴山冲老尾矿库内,利用该库解决一部分回水。

表 2-9-2 云锡公司几个挖泥船的制造情况

| 项 目 | 挖 泥 船 编 号 | | | | |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 设 备 地 点 | 新冠选厂 水 菁 尾 矿 库 | 新冠选厂 水 菁 尾 矿 库 | 黄茅山选 厂背阴山 冲尾矿库 | 老厂选厂 背阴山冲 尾矿库 | 卡房选厂 堀 牛 塘 尾 矿 库 |
| 船体自重(吨) | 18 | 14 | 16 | 13.5 | 23.7 |
| 吃水深度(米) | 0.81 | 0.48 | 0.57 | 0.6 | 0.57 |
| 总排水量(吨) | 34 | 40 | 44.5 | 49 | 42.51 |
| 砂泵型号 | 6PHA-7 | 8H3 | 8H3 | 8H3 | 8PNA |
| 制造需时(月) | 6 | 3 | 3 | 1.5 | 6 |
| 制造单位 | 中华造船厂 | 自制 | 自制 | 自制 | 自制 |
| 下水日期 | 67年11月 | 73年6月 | 69年5月 | 69年12月 | 72年6月 |
| 钢材用量(吨) | 11 | 10 | 12 | 8 | 21 |
| 造 价(万元) | 24 | 10 | 7 | 3.5 | 10.5 |
| 功 率(千瓦) | 200 | 139 | 150 | 200 | 160 |
| 操作定员(人) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 经营费(元/吨尾矿) | 0.207 | 0.185 | 0.171 | 0.227 | 0.244 |

注 经营费按将尾矿扬送至岸边计算。

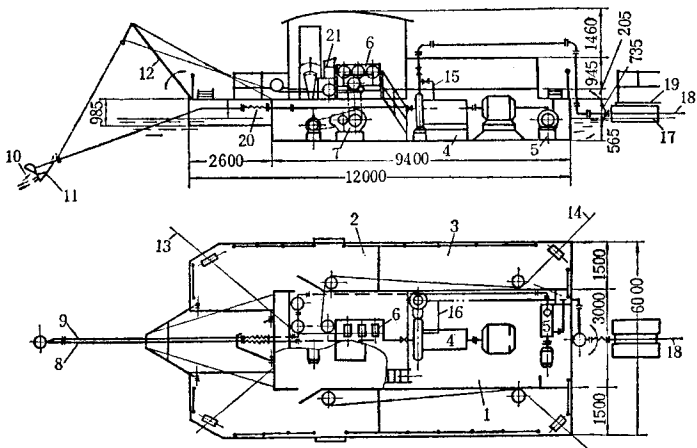


图 2-9-10 卡房选厂挖泥船配置示意图

- 1—主浮箱 2—前副浮箱 3—后副浮箱 4—8PNA 型砂泵机组(130 千瓦电动机)；
5—4DA-8×4 型水泵机组(20 千瓦电动机) 6—六筒绞车 7—减速器 8—吸泥管(φ250)；
9—喷射水管 10—吸泥口 11—喷嘴 12—起重架 13—前锚钢绳 14—后锚钢绳；
15—灌水 管 16—水封管 17—浮筒 18—排泥管(φ310) 19—人行板 20—胶管 21—操作台

表 2－9－3 卡房选厂挖泥船主要数据表

| 项 目 | 单位 | 数 据 | 附 注 |
|---------------|----|-------------|--|
| 船体尺寸 | 米 | 12×6×3.9 | 长×宽×高 |
| 主浮箱尺寸 | 米 | 9.4×3×15 | 钢板厚 8 毫米加肋骨 |
| 主浮箱排水能力 | 吨 | 24.62 | |
| 前副浮箱尺寸 | 米 | 6×2.1×0.985 | 甲板钢板厚 3 毫米浮箱 侧面底面钢板厚度 4 毫米 |
| 前副浮箱排水能力 | 吨 | 9.34 | |
| 后副浮箱尺寸 | 米 | 6×1.5×0.985 | |
| 后副浮箱排水能力 | 吨 | 8.55 | |
| 总排水能力 | 吨 | 42.51 | 当主浮箱吃水深 0.565 米 ,前后 副 浮 箱 吃 水 深 0.25 米 时 ,排水量为 23.7 吨 |
| 挖深能力 | 米 | 6 | |
| 挖泥排出距离(至岸边) | 米 | 200 | |
| 总 功 率 | 千瓦 | 160 | |
| 总 重 | 吨 | 23.7 | 包括设备 ,管道 |

表 2－9－4 卡房选厂挖泥船主要设备表

| 设 备 名 称 | 型 号 | 主 要 数 据 |
|---------|--|--|
| 水封泵 | 4DA－8×4 | 扬程 48 米 ,重 325 公斤 |
| 配用电机 | JO－70－4 | 功率 20 千瓦 ,转速 1460 转/分 ,重 235 公斤 |
| 进出水管 | | φ100/φ108 |
| 砂泵 | 8PNA | 扬程 30 米 ,排沙量 140 米 ³ /时 ,重 2200 公斤 |
| 配用电机 | JS127－8 | 功率 130 千瓦 ,重 1480 公斤 |
| 进砂管 | | φ250 |
| 出砂管 | | φ350 |
| 六滚筒电动绞车 | $\frac{6 \times 0.8 \text{ 吨}}{6 \text{ 米}}$ | 滚筒拉力 800 公斤 ,平均速度 6 米/分 ,钢丝直径 11 毫米 ,重 112 公斤 |
| 配用电机 | JO ₂ 54－4 | 输入轴扭力 26 公斤 ,功率 10 千瓦 ,重 135 公斤 |
| 减速箱 | JXO 型分引减速器 | 中心距 500 毫米 ,主轴转速 1000 转/分 ,齿轮减速比 1:40.17 ,重 390 公斤 |

表 2-9-5 云锡公司挖泥船排矿浓度与粒度测定表

| 项 目 | | 老 厂 背阴山冲尾矿库 | | 新冠水菁尾矿库 | | 黄 茅 山 背阴山冲尾矿库 | | 卡 房 犸牛塘尾矿库 | |
|-------------|---------|----------------|------|------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|
| 粒 级 (毫米) | | 个别 | 累计 | 个别 | 累计 | 个别 | 累计 | 个别 | 累计 |
| | + 0.074 | | | 0.22 | 0.22 | 0.65 | 0.65 | 4.10 | 4.10 |
| | 0.037 | 0.19 | 0.19 | 2.70 | 2.92 | 3.47 | 4.12 | 9.90 | 14.00 |
| | 0.019 | 0.79 | 0.98 | 8.42 | 11.34 | 11.56 | 15.68 | 9.23 | 23.23 |
| | 0.010 | 2.97 | 3.95 | 6.07 | 17.41 | 11.02 | 26.70 | 6.61 | 29.84 |
| | - 0.010 | 96.05 | 100 | 82.59 | 100 | 73.30 | 100 | 70.16 | 100 |
| 浓 度 (%) | | 24.64 | | 18.16 | | 10 ~ 30 | | 16.8 | |
| 测 定 日 期 | | 1973.9.5 | | 1973.10.27 | | 1973.10.11 | | 1973.11.1 | |

但该尾矿库初期坝质量低劣 ,坝前沉积尾矿又较细 ,为确保安全 ,按设计规定已不允许再堆高。为此在库内设置了挖泥船 ,将库内泥浆挖出 ,与浓缩池的排砂一起送往牛坝荒新尾矿库。

由于挖泥船不能靠近坝前挖砂 ,坝前沉积滩面仍有升高。为了解决这个问题 ,该厂在坝左肩库内尾矿沉砂面上 ,用浆砌毛石修筑了一个排砂竖井 ,内径 2 米 ,深 5 米 ,在井筒上设多层排泥阀门 ,将竖井周围的沉积尾砂用水枪冲至排砂竖井内 ,经与竖井连接的暗涵和旧有防洪沟 ,将尾矿送往尾矿输送流槽内排往牛坝荒尾矿库。但因排砂竖井所排尾矿浓度较高(最高达 40%) ,粒度粗 ,常使尾矿流槽发生堵塞 ,为此该厂又由挖泥船排矿管引一支管至排矿竖井排矿口处 (配置见图 2-9-11) ,使泥浆与粗砂混合输送 ,从而使输送系统的工作得以正常。

经多次改进后 ,该厂自 70 年起就用挖泥船和排砂竖井倒库回水 ,全部代替了浓缩池回水 ,每日工作 10 ~ 14 小时即可挖除选厂一天的尾矿量 ,使尾矿排入和排出量基本平衡 ,尾矿库尾矿堆积高度不再升高 ,同时回水率和回水水质也均较浓缩池高。采用挖泥船倒库回水与浓缩池回水的效果对比见 2-9-6。

挖泥船与排砂竖井配合倒库回水的操作方法如下 :

当挖泥船与排砂竖井共同工作时 ,竖井周围冲排区即暂停放矿 ,总尾矿由周边放矿沟放入库内。当竖井周围沉砂已排出约 40 × 40 平方米 ,深 2 ~ 3 米时 ,竖井暂停工作 ,总尾矿又放矿至冲排区 ,待粗砂沉满后 ,竖井又进行排砂。每次冲排时间约 8 ~ 10 小时 ,沉砂时间约 14 ~ 16 小时。

竖井停止排矿时 ,挖泥船可单独工作 ,亦可停止工作。

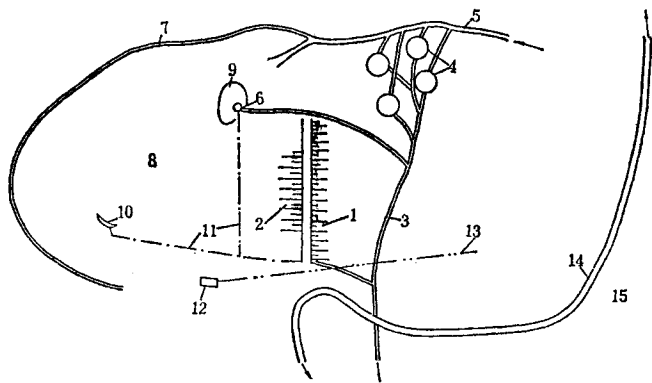


图 2-9-11 黄茅山选厂老尾矿库倒库回水设施配置示意图

1—初期坝 2—尾矿堆积坝 3—尾矿流槽 4— $\phi 53$ 米浓缩池 5—总尾矿流槽；
6—排砂竖井 7—周边放矿沟 8—尾矿库库区 9—冲排区 10—挖泥船；
11—排泥管 12—集水池 13—回水管 14—一个老公路 15—选厂区

表 2-9-6 浓密机与挖泥船(配合排砂竖井)比较表

| 比 较 项 目 | | 单 位 | 4 台 $\phi 53$ 米 浓 密 机 | 挖泥船配合 排 砂 竖 井 | 备 注 |
|---------|-----------|----------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 基本建设 | 建 设 时 间 | 月 | 24 | 4 | |
| | 投 资 | 万元 | 252 | 14 | |
| | 使 用 钢 材 | 吨 | 298 | 37.5 | |
| | 使 用 水 泥 | 吨 | 1316 | 6.3 | |
| | 浆 砌 石 方 量 | 米 ³ | 9260 | 37.5 | |
| | 混 凝 土 方 量 | 米 ³ | 3240 | 7.3 | |
| 经营管理 | 处 理 量 | 吨/日 | 2200 | 3450 | |
| | 每日工作时数 | 时 | 24 | 12 | |
| | 耗 电 数 | 千瓦 | 14 × 4 = 56 | 130 | |
| | 电 费 | 元/吨尾矿 | 0.0427 | 0.0316 | 每度电费按 0.07 元计 |
| | 管 理 操 作 | 人 | 4 人三班作业 | 4 人二班作业 | |
| 使用效果 | 总 尾 矿 浓 度 | % | 4.5 | 4.5 | |
| | 排 矿 浓 度 | % | 19.23 | | |
| | 设 计 | % | 18.00 | 25 | 平均浓度 |
| | 回 水 率 | % | 78 | 86 | |
| | 回 水 含 泥 | % | 0.5 | 0.2 | |

第十章 日本圣曼纽尔铜矿 10[#] 尾矿库的设计、堆筑和运行

圣曼纽尔(Sanmanuel)铜矿隶属马格玛铜业公司 ,采用简单的方法堆筑 10[#] 尾矿库。

第一节 规 划

由于日处理量从 42000 吨增到 65000 吨 ,迫切需要一个轮换的尾矿库。

规划中主要考虑经济和安全问题 ,根据几个理由选择了一个新尾矿库。现有的 1[#] 和 2[#] 库已堆高到需立即用泵扬送尾矿。3[#] 和 4[#] 库也接近这种情况。5[#] 和 6[#] 库容纳不了即将产出的大量尾矿。7[#]、8[#] 和 9[#] 尾矿库是前几年设计的 ,需要大量的兴建工作 ,但是认为现在没有必要。因此 ,考虑在 1[#] 库附近建 10[#] 尾矿库。面积为 5.18 平方公里 ,能容纳新增加的尾矿量 ,最大高度 79 米 ,与其它尾矿库配合使用 ,可堆存 26 年半。

10[#] 尾矿坝的堆筑型式同现有的坝一样 ,可省去对新坝的试验和研究工作。

第二节 设计和堆筑

挖一条改流渠 ,将流经尾矿库的一条冲沟水流引至改流渠道 ,排至库北翼外边的一

条冲沟,渠长约 2133 米,坡度为 1.5 ~ 2.0%,以减低冲刷和侵蚀作用。渠需要挖方 8.7 万立方米,填方 6400 立方米(见图 2-10-1)。

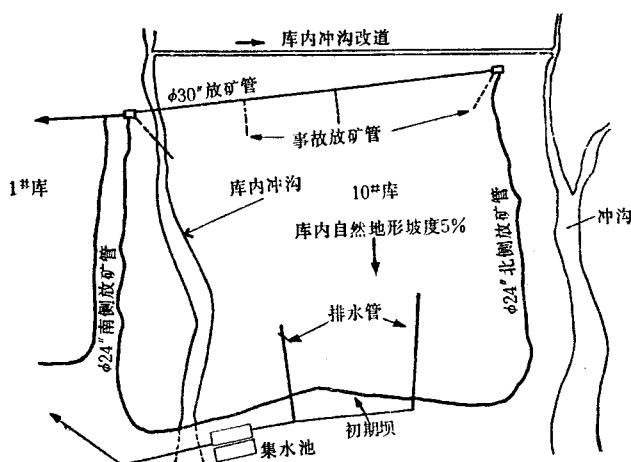


图 2-10-1 10[#] 尾矿库的布置

库内的泄水系统采用自流方式。由溢水井顶进水,流经排水管,然后进入坝外集水井。10[#] 库有两条排水管线,管径为 0.4 米,其坡度大体与地面的自然坡度一致,约为 5% (见图 2-10-2)。管线穿过坝下与坝面成 90°,连接于一条直径 0.6 米管并引至两个集水井。井的尺寸为 8 × 4 × 3 米。

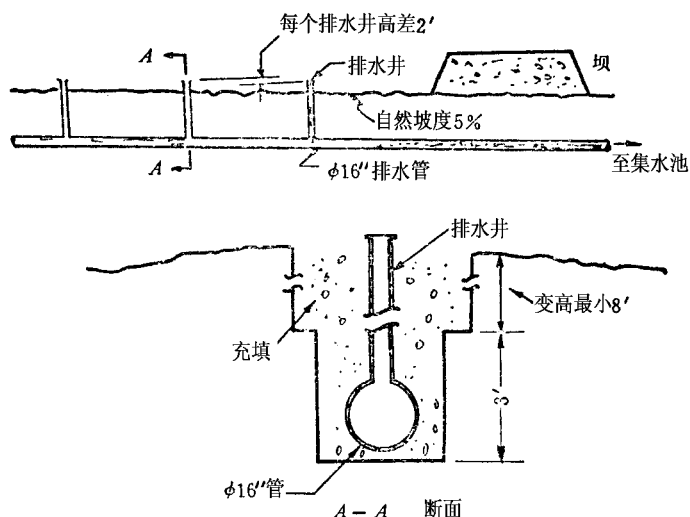


图 2-10-2 泄水系统纵横剖面

坝长 2133 米 ,两翼坝长 2438 米 ,初期坝边坡为 1:1.5 ,坝顶宽 9 米 ,总土方量为 29 万立方米。筑坝前 ,在坝基可能渗水的地方挖了防渗沟 ,其宽约 4.5 米 ,深至坚固的不透水层。

防渗沟用粘土混砂的半不透水材料充填 ,筑成防渗齿墙。完成后用当地的外来材料进行修筑初期坝。初期坝包括两翼部分 ,并利用运土设备的重量进行压实。坝顶宽 9 米 ,作施工用道路及安管的基础。

在两翼坝的端部有两个混凝土联接槽(NJ_1 和 NJ_2),并用直径 76 厘米 ,坡度为 0.5% 的石棉水泥管连接起来。另一条直径 76 厘米石棉水泥管路用于连接 NJ_1 槽到 1# 库放矿管。这些联接槽用作北翼坝和南翼坝的尾矿分配点。在联接槽间直径 76 厘米输送管路上装有 4 个 76 厘米的阀门 ,做事故放矿用(见图 2-10-1)。沿两翼的 60 厘米放矿管路是在 5% 的自然坡度上加以修整 ,按 0.5% 坡度铺设的。处于陡峻地带 ,管道用直径 1.8 米 ,高为 6.0 米的跌水井把管路形成台阶(见图 2-10-3)。管路最后一个跌水井约高出初期坝顶 24.40 米。从最近一个跌水井出来的管路主要是按自然地面坡度铺设。

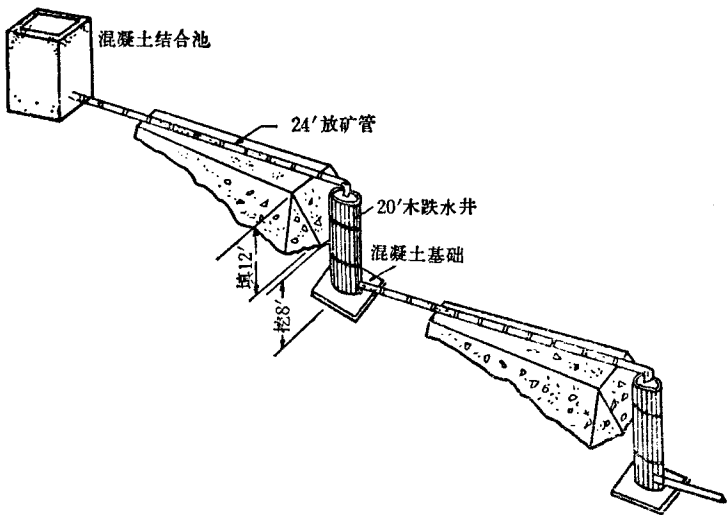


图 2-10-3 坝的南翼和北翼输送管跌水井的布置

最后一项是布置旋流器分配管 ,它是遍布在施工用道路内侧的全长上 ,并弯向两翼 ,连接上最后跌水井的放矿管路。在直径 60 厘米总管上 ,每隔 8 米装上一个为旋流器送矿的 100 毫米旋塞阀 ,在不同的地方装有 3 个直径 60 厘米的阀门 ,就可以把指定的尾矿库区域根据需要而孤立开 ,见图 2-10-4 总管的铺设。

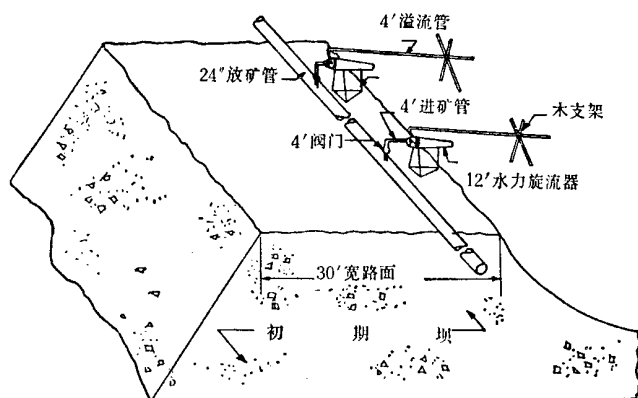


图 2-10-4 运行开始时的子坝

第三节 运行和维护

除初期坝是用外来材料修筑外,全部堆积坝均用旋流器沉砂筑成。开始的准备工作,就是靠近放矿主管沿着路基里边设置一排 1.5 米高的支架。采用 366 个直径 300 毫米的水力旋流器,用直径 100 毫米钢管和直径 100 毫米橡皮弯管与总管上的直径 100 毫米旋塞阀相连。每一旋流器联接约 18 米长、直径 100 毫米溢流管,使细粒矿泥远离堆积坝的地方沉积。

在许多地方,初期坝高出原地面不多,因此,每 8 米需用一台旋流器,图 2-10-4 表示开始运行时子坝的情况。当旋流器沉砂将要覆盖 1.5 米高支架时,关闭给矿管并转到轮换的坝。使此坝静置充分固结,以便进行维护。此时,在距离原有的 1.5 米支架外 10 米处架设起新的分三层的 5 米高的木支架,将旋流器安装在木支架的下一层,接上给矿管和溢流管,即恢复旋流器供矿。当沉砂圆锥形堆升高接近旋流器时,即停止供矿,将旋流器升移到第二层并继续运行,

当 43 米给矿管全部接完或者 14 米高堆积坝筑成,则旋流器的分配总管需升高到一新的标高。当达到了预期的高度即停止放矿,让坝干燥和固结,待表面没有沉陷时才可以使用重型设备。

采用这种方式的运行需要有轮换的尾矿库,不仅是为了维护,而且也使各库能循环放矿,因而使坝得到高度的稳定性。

在开始升高坝时,全部进料总管和溢流管都不连接并放在施工道路上,用两台推土机推平沉砂圆锥形堆,使形成一条9米宽的道路。利用吊车将4米一段石棉水泥管提高到新筑子坝的中间。然后吊车沿道路上移将石棉水泥管提高到新的台阶上。沿着新施工道路里边建立一条线路,使石棉水泥管安置在此水平上。当提高第一个石棉水泥管时,每个塞阀都要从总管上拆下。因为子坝已经高于细泥尾矿沉积面,不再需要每隔6米设置旋流器。旋流器安置在16米的中央用以继续堆高坝。在重新安好总管后,把新的5米高木支架布置在离总管12米处,在此处开始修筑新的子坝。旋流器安放在支架的下一层,连接和支撑好管子即可继续运行。在圣曼纽尔,以后每次升高均按第一次支架与总管间的12米距离作为每次提高石棉水泥管后的标准。

尾矿的给入全部靠自流,当子坝高度增加时为了维持旋流器足够的压力,所以从给料管路上拆除跌水井。一般12米压头(1.2 公斤/厘米^2)对管壁磨损最小,对10[#]库最初25米水头,进行了一次计算,即在第一次提高总管之前,附加的跌水井的费用将超过任何管子磨损的费用。目前,坝的南侧和北侧还不同时运行,当一端正在静止和变硬以便在其上工作时,对面一端正在运行。这种要求是暂时的,直到发展成足够的区域为止。放矿堆坝的操作只有6名人员和一名有经验的管理人员。他们的工作内容是运送管子和木料、设立新支架、迁移和连接旋流器。

澄清水经过两个排水管的溢水口流出,它是靠控制那些旋流器的运行来完成的。最初的排水是用两翼最远的旋流器给矿,使水流向下坡流动。打开沿两翼曲线的旋流器,使水流沿坝面流动。打开坝面的旋流器,使水流进入排水井的溢流口。澄清水在排水管内自流到坝外的集水井。每一条排水管上总保持两个溢水口工作。在排水管路上每高差0.6米处设置一座溢水口(见图2-10-2),当水位达到井口管时,就要封闭下边的溢水口。