

某钨矿一号尾矿库的渗流稳定分析及其治理方案

陆惠娣¹ 曾永熊²

(1. 中顺大园工程管理处, 广东 中山 528000; 2. 广东省有色地质勘查研究院, 广东 中山 528000)

摘要: 本文是某钨矿病态尾矿库治理设计的一个部分, 主要内容是在尾砂堆积体渗流稳定分析的基础上, 确定治理工程方案。

关键词: 尾矿库; 渗流破坏; 坝前减压暗沟

某钨矿位于粤北大瑶山脉南段, 现有两尾矿库。其中一号尾矿库于1974年建于老矿区附近的泥茅河曲之中; 至1988年, 随老矿区闭坑而停止放矿, 但未经闭库处理, 堆存尾矿约100万 m^3 。2000年9月, 因洪水进库和子坝溃败, 堆存尾砂体被冲刷出高达24m的陡坎, 使该尾矿库成为病库。

为了消除残留尾砂陡坎崩塌溃败的危险, 该钨矿决定对该尾矿库进行工程治理。本文是根据该项工程设计中与地下水渗流分析有关的内容编写而成的, 指出基本工程方案存在的问题, 并论证了采取坝前减压暗沟的可行性。

1 一号尾矿库概况

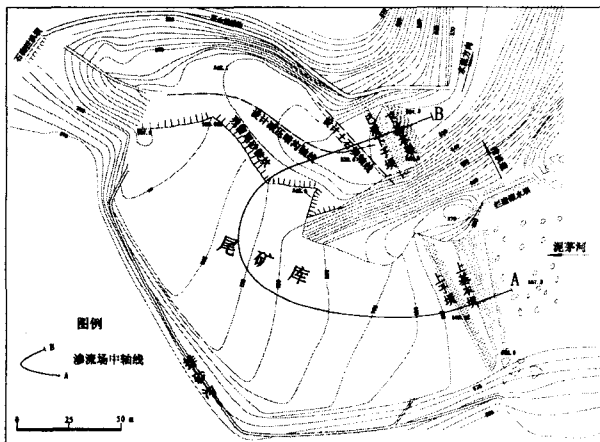


图1 某钨矿一号尾矿库现状平面图

该尾矿库是截河型尾矿库(图1), 总面积为1.8 hm^2 , 库区地层为中下石炭统柱头群碎屑岩, 断裂节理不甚发育, 岩石较完整。上游和下游两基本坝均为半透水浆砌石坝, 建基面为中风化岩石, 坝顶标高分别为562.5m和535.3m, 坝高分别为8.6m和17.2m。库内尾砂采用上游法堆积, 至1988年停止使用时, 上、下两子坝坝顶标高分别为567.8m和564.6m。

尾矿库疏干系统为石砌排水暗涵洞。涵洞布设在库底坚土之上, 穿越下基本坝后, 向泥茅河下游排放。因尾砂掩埋覆盖, 疏干涵洞的准确位置和现有性能已无法准确查清。

尾矿库的防洪系统包括有库前拦渣滚水坝和库周截排水系统两部分。拦渣滚水坝位于库前右岸哑口处, 用钢筋混凝土构筑, 其主要功能是把泥茅河上游来水通过泄洪道直接排入库区下游。库周截排水系统包括有库北西的石砌拦洪坝和库北环山排洪沟, 其功能是拦截和排放库区西侧的山谷来水, 使其直接下行至库区下游。

2000年9月, 因3号台风侵袭和特大暴雨, 造成了西北山谷泥石流下行, 以至拦洪坝严重损毁、洪水进库漫顶、下子坝全面溃败。本次溃坝事故使尾矿流失约20万 m^3 , 并在尾矿堆积体中冲刷出一道宽逾30m、高24m的冲沟。残余尾矿陡坎高达25.8m, 坡角约为70°。

2 尾矿库治理基本方案

溃坝事故后, 该钨矿重修和恢复了库西拦洪坝和库北环山排洪沟, 基本消除了库西山谷洪水进库、漫顶的危险。但因残余尾矿陡坎高度大、坡度陡, 极易发生崩塌, 对下基本坝和泥茅河下游的安全和环境仍又明显的威胁。本次尾矿库治理目的是基本消除尾砂堆积体的崩塌、溃败的危险, 提高尾矿库的安全性。

治理工程方案(图2)要点如下:

(1) 在下基本坝后增设浆砌石反压体, 提高下基本坝的抗滑和抗倾覆能力。

(2) 在下基本坝前的尾砂堆积体上新增一碾压土石坝, 用于修整残余尾矿坡面, 消除陡坡崩塌危险。土石坝坝顶设计标高为540m、坝宽3m, 上下游坝面坡度均为1:1.5; 尾矿堆积体修整设计坡度为1:3。

收稿日期: 2008-02-24 修回日期: 2008-03-10

作者简介: 陆惠娣(1953-), 女, 1978年毕业于中国地质大学(原武汉地质学院), 工程师, 研究方向为堤坝安全。

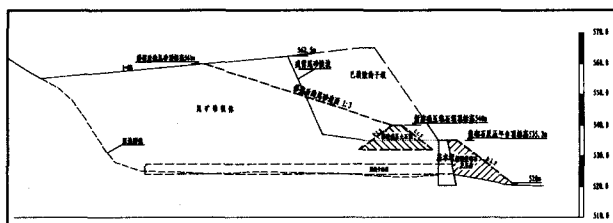


图2 某尾矿库治理工程基本方案示意图

3 渗流稳定分析目的及其方法

3.1 渗流稳定分析的目的

据泥茅河调洪演算,重现频率为2%的过境洪水流量为 $30.48\text{m}^3/\text{s}$ 。此时,拦渣滚水坝水位为565.1m。因上基本坝和子坝的渗透作用,洪水将会入渗库区尾砂堆积体之中,并向残余陡坎和拟建碾压堆石坝基排泄。本次渗流分析的目的是研究在上述洪水条件下,尾砂堆积体的渗流破坏可能性。

3.2 渗流分析方法简述

渗流分析选用潜水三维稳定流模型、在自编的有限差分数值模拟程序中进行。

有限差分法的基本思想是用有限个结点构成的三维网格取代连续渗流空间,把差商取代原渗流方程和边界条件中的微商,把原渗流微分方程和定解条件转化为线性方程组,解此方程组就可以得到原问题在离散结点上的水头数值近似解。然后进一步分析渗流场流网和水力坡降,由此确定可能发生渗流破坏的部位。

潜水稳定流的基本数学物理方程和定解条件如式(1):

(1):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + q|_{z=0} = 0; \quad (1.1)$$

$$H|_{\Gamma} = H(x, y, z \in \Gamma) \quad ; \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=H} = 0. \quad ; \quad (1.3)$$

式中: $H = H(x, y, z)$ ——渗流场特定水头,它是空间坐标 x, y, z 的函数;

k_x, k_y, k_z ——为渗流分析空间中渗流介质在水平方向 x, y 和垂直方向 z 上的渗透系数,它们都是空间坐标 x, y, z 的函数。当各向同性时,三者相等;

$q|_{z=0}$ ——潜水面($z=0$)处的大气降水入渗量;

Γ ——已知水头的边界;

上述(1.1)式为水量均衡方程、(1.2)式为水头边界方程、(1.3)式为潜水面边界方程。它们经离散和差分处理后,可得出如下的显式线性方程组:

$$[K] \{H\} = \{F\} \quad (2)$$

式中: $[K]$ ——差分法中的刚度矩阵;

$\{H\}$ ——渗流场中节点水头列阵;

$\{F\}$ ——差分法中的形变列阵。

3.3 渗流分析物理模型与主要起算参数

本次渗流分析物理模型参见以下各插图。模型中假设原有疏干涵洞已经完全失效。

主要起算参数如下:

- (1) 地基岩土体渗透系数,各向同性、取: $4.32 \times 10^{-5} \text{m} \cdot \text{d}^{-1}$;
- (2) 尾砂堆积体渗透系数,各向同性、取: $0.37 \text{m} \cdot \text{d}^{-1}$;
- (3) 上、下砌石基本坝体渗透系数,各向同性、取: $0.15 \text{m} \cdot \text{d}^{-1}$;
- (4) 拟建碾压土石坝渗透系数,各向同性、取: $0.08 \text{m} \cdot \text{d}^{-1}$;
- (5) 尾砂堆积体孔隙率: 0.426, 给水度: 0.1683;
- (6) 泥茅河洪水期补给衡水头标高: 565.1m;
- (7) 排泄区衡水头采用下基本坝壅水标高: 535.3m;
- (8) 大气降水渗入量: $80 \text{mm} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^2$ 。

4 渗流分析结果及渗流破坏分析

本矿山为石英脉型钨矿,采用重力选矿,磨矿粒度为 $0.2 \sim 0.5 \text{mm}$,故本尾矿库中的尾砂含泥量少、表面活性微弱,粘结力可以忽视。另因尾砂级配较连续,主要渗流破坏形式是管涌。据《水利水电工程地质勘察规范》,尾矿砂允许水力坡降为0.18。

图3和图4分别在库区上游高水位的条件下,现有残余陡坡和增设碾压土石坝、重整尾矿坡面后的渗流场中轴流网图。

图3显示,入渗洪水出渗点位于残余陡坡脚处,最大水力坡度达0.37,大于尾矿砂的允许水力坡降,将会出现强烈的渗流破坏,会导致残余陡坡崩塌和失稳。

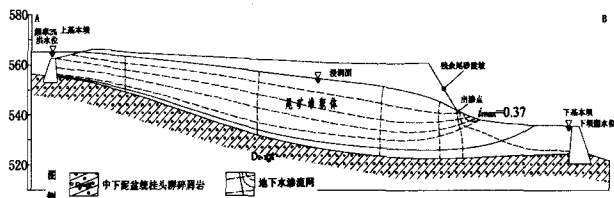


图3 渗流中轴流网图之一: 上游高水位、现有残余陡坡、下基本坝壅水

图4显示,在增设碾压土石坝、重整堆积体坡度后,坡面出渗得到了有效的遏制,但入渗洪水却以坝基渗流形式在碾压土石坝后排出,出渗口的最大坡降达0.43,大于未建土石坝前,渗流破坏会对新建土石坝构成明显的威胁。产生这种现象的主要原因是因基本方案出于降低工程造价需要,选用施工工艺简单的、不设排水菱体的半透水的缘故,以至坝基和坝后的地下水渗流通道狭窄,水力坡降陡增。

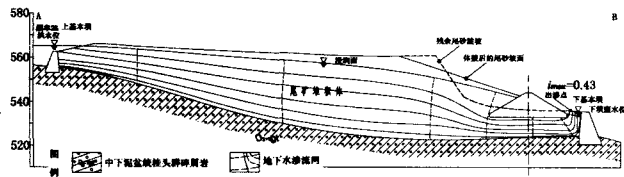


图4 渗流中轴流网图之二: 上游高水位、增设土石坝、下基本坝壅水

5 坝基渗流破坏的工程处治方法

综前述, 原尾矿库治理基本方案的存在的重大问题之一是消除新建土石坝坝基渗流破坏。为此, 我们对坝基帷幕防渗和减压暗沟两方案进行了对比。主要对比项目见表1和图5。

| 对比项目 | 方案名称 | |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | 坝基帷幕防渗 | 坝前减压暗沟 |
| 构筑方法 | 坝下布设防渗帷幕体 | 坝前布设二片石减压暗沟, 穿越碾压土石坝后, 经排水井排出。 |
| 出渗点变化 | 上升至重整后的尾矿坡面。 | 下降至碾压土石坝趾附近。 |
| 出渗点水力坡度 | 0.32 | |
| 渗流破坏可能性 | 较大 | 小 |
| 出渗点破坏预防方法 | 碾压土石坝体中构筑完善的反滤三棱体, 对重整坡面采用钩缝毛石护面。 | 碾压土石坝前附以土工布反滤。 |
| 施工技术要求 | 较复杂 | 简单 |
| 工程造价 | 高 | 低 |

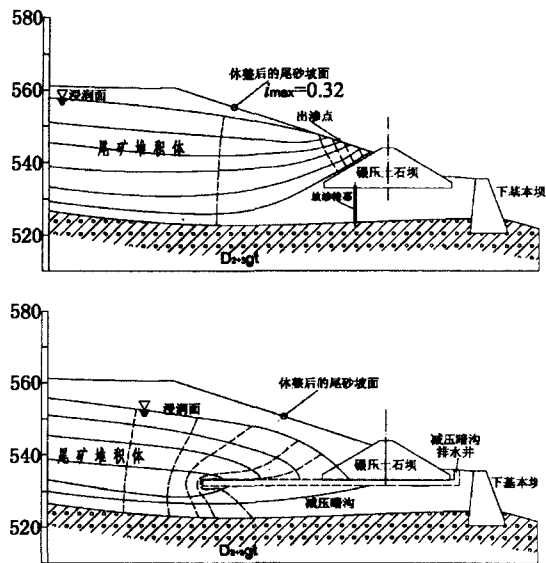


图5 坝基防渗帷幕(左)与坝前减压暗沟(右)的局部流网图

两方案对比显示:

(1) 坝基帷幕防渗虽能解决坝基渗流破坏问题, 但因需进一步解决由此引起的地下水浸润面上升造成的重整坡

面渗流破坏, 需增加坝前反滤体或对重整坡面进行防渗护面, 施工技术较高, 工程费用高。

(2) 坝前减压暗沟能有效的降低坝前地下水浸润面, 不但使坝基的水力坡降大幅度下降, 有效抑制坝基渗流破坏的发生, 还能具有减少碾压土石坝的侧水压力的附加作用, 施工技术较简单, 工程费用低廉。

两者相比, 无论是在技术可靠性和造价两方面, 坝前减压暗沟都明显优于坝基帷幕防渗。

本钨矿一号尾矿坝治理工程已于2007年9月全面完成, 本文所述的坝前减压暗沟和土工布反滤两项措施均为设计采用, 其中减压暗沟的主要结构见图6。

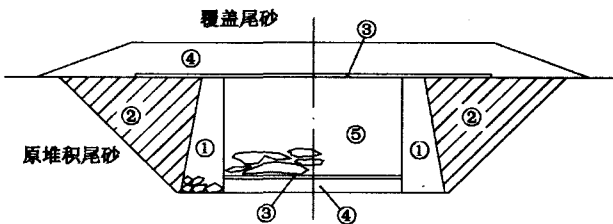


图6 减压暗沟结构示意图
①浆砌石护壁, ②夯实粘土, ③土工布
④撼实或碾实中细沙, ⑤手摆二片石

6 结论

(1) 减压暗沟和减压井是水工建筑较常用的预防渗流破坏的工程措施之一。与坝体反渗菱体相比, 其工作原理和反滤效果相同, 但因布设自由度大, 可布设在坝前区, 以取得更为显著的降压效果, 加上施工技术简单, 所以不失为治理尾矿库渗流破坏的一种有效手段。

(2) 减压暗沟和反渗菱体都同样存在随使用年限增加而出现淤堵和减压效果下降的问题, 因此要十分重视减压暗沟过滤面层的选材、厚度和铺设工艺。

(3) 尾矿库是一种特殊构筑物, 尾砂既是弃置废料, 也是子坝的主要构筑材料。地下水渗流破坏和洪水漫顶是尾矿库事故的最主要诱因。本次治理工程主要是针对尾砂残留陡坡破坏而设计的, 但因一号尾矿库位于泥茅河和西北沟谷洪水、泥石流的下行通道之上, 其安全等别仍未达闭库标准。较彻底的治理方法是增大拦渣滚水坝的溢洪能力, 把库北西拦洪坝改建为泥石流挡坝, 才能解除洪水进库的威胁。

参考文献:

[1] 长沙冶金设计院. 某钨矿1号尾矿坝工程地质勘察报告[R]. 2006年
[2] 广东金隧安全山生产服务有限公司. 某钨矿1号尾矿坝安全评价报告[R]. 2006年