

# 红透山某铜矿尾矿库坝体整治及其稳定性分析

周志广\*

(辽宁有色勘察研究院, 辽宁 沈阳 110013)

**摘要:**红透山某铜矿尾矿库有别于一般的尾矿库,其主要特点是坝后放矿而坝前蓄水,根据稳定性分析结果,该尾矿库现状坝体在各种运行工况下是不稳定的.为了保证尾矿库的安全稳定,对该尾矿库坝体采取了一定的工程措施进行整治和加固,构建抗滑桩与防渗设施于一体的坝体加固体系.尾矿坝加固后,采用基于极限平衡理论的瑞典圆弧法进行稳定性分析,分析结果认为加固措施是可靠有效的.

**关键词:**尾矿库;防渗帷幕;抗滑桩;稳定性分析

**中图分类号:**TD926.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1674-5876(2016)03-0040-04

## Stability analysis and treatment of a copper mine tailings dam in Hongtoushan

ZHOU Zhiguang

(Survey Institute of Liaoning Nonferrous Metals Geological Bureau, Shenyang 110013, China)

**Abstract:** A copper mine tailings pond in Hongtoushan town is different from the general, whose main feature is the discharge of pulp after dam and the water storage before dam. According to the results of stability analysis, the tailings dam in the present situation is unstable under various operating conditions. In order to ensure the safety and stability of tailing reservoir, some engineering measures are taken for the dam body to carry out the improvement and the reinforcement. After the reinforcement of the tailings dam, the stability analysis of dam is carried out by using the Sweden arc method based on the limit equilibrium theory, and the results of the analysis show that the reinforcement measures are reliable and effective.

**Key words:** tailings dam; anti-seepage curtain; anti-slide pile; stability analysis

尾矿库作为选矿厂重要的安全环保设施,其安全性不仅影响选矿厂的安全生产,同时也威胁着尾矿库下游及其周边人民群众生命财产的安全.目前,尾矿库筑坝方法主要有上游法、中线法和下游法等,在我国,由于上游法尾矿坝后继断面较小及占地较少,且工艺简单,造价低,为绝大多数尾矿库所采用<sup>[1]</sup>.上游法尾矿坝绝大部分均采用坝前多管分散放矿,坝后蓄水,而本文所研究红透山某铜矿尾矿库则坝前蓄水,坝后放矿.这种放矿方式导致该尾矿库坝体直接挡水,其坝体在坝前高水位的静水压力作用以及高水力坡降的渗流作用下,使得该尾矿坝有发生滑动进而导致溃决事故的可能.因此,有必要采取相应的措施保证该尾矿库坝体的安全稳定,避免其发生溃坝.

前人的研究成果表明,在影响尾矿坝安全稳定的诸因素中,坝体渗流浸润线位置是极为重要的因素之一<sup>[2]</sup>,由于坝体渗流浸润线过高造成的渗流问题直接造成坝体失事的比例约占30%~40%,当水在尾矿中运动时,坝体可能发生破坏性渗流变形,甚至发生溃坝事故<sup>[3-8]</sup>.尤其对于坝前蓄水的尾矿库,坝体渗流问题显得更为突出.本文针对红透山铜矿尾矿库坝后放矿而坝前蓄水的工程特点,再考虑影响该尾矿库坝体稳定性的突出因素,对该尾矿坝采取一定的防渗措施,有效降低坝体浸润线,并降低尾矿水渗流坡降,避

免尾矿坝发生渗流破坏,同时再采取一定的抗滑措施,增强坝体的抗滑能力,充分保证坝体的安全稳定.此后,为了校验尾矿库坝体加固措施的效果,采用瑞典圆弧法对该整治后坝体进行稳定性分析.

## 1 尾矿库基本概况

### 1.1 尾矿库现状

红透山某铜矿尾矿库于1960年建成并投入使用,设计最终堆积坝顶标高225 m,采用上游法尾矿筑坝,1985年以来,选矿厂尾矿经旋流器分选,粗颗粒尾矿充填井下,而细颗粒尾矿流入该尾矿库内堆存,由于分选后的溢流尾矿颗粒细小,粒径小于0.0374 mm的颗粒占80%,无法筑坝,后期改为坝后集中放矿,坝前蓄水泄洪.放矿方式的改变,造成尾矿库水靠近坝体,原有尾矿堆积坝成为挡水坝,对尾矿库的安全极为不利,为了保证坝体稳定,同时满足规范对尾矿库最小干滩长度的要求,自2004年,该尾矿库坝体经历了4次加宽处理,处理后坝顶宽度可达60 m.

该铜矿尾矿库为山谷型尾矿库,坝体主要由初期坝和后期尾矿堆积坝组成,现状坝顶标高220 m,坝底标高为185 m,总坝高为35 m,现状总有效库容约为 $290 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为四等尾矿库.该尾矿库初期坝采用风化料堆筑而成,高14.5 m,内、外坡比均为1:2,坝址处设有排水棱体,坝底铺有排渗褥垫.据现场调查该初期坝坝脚有渗水,水质清澈,可见该初期坝为透水型坝体;后期堆积坝前期采用上游式尾矿堆筑,堆积至设计最终标高225 m,至1985年,坝后集中放矿,坝体直接临水,在正常生产情况下,坝前水位最大深度可达2 m.坝坡面较为平整,且覆有植被.

### 1.2 尾矿库现状坝体稳定性分析

本文以该尾矿库的主轴剖面为研究对象,以工程勘察为基础对主轴剖面进行概化建立稳定性计算模型,采用瑞典圆弧法对该尾矿库现状坝体进行稳定性分析,以反应该尾矿库的现状稳定性,为尾矿库的整改提供依据.

该尾矿库现状坝体在正常运行、洪水运行及特殊运行工况下的稳定性计算结果如表1.

表1 现状尾矿坝体稳定性计算结果

运行工况	稳定性系数 计算值	规范要求最 小安全系数
正常运行	1.148	1.15
洪水运行	1.042	1.05
特殊运行	0.971	1.00

从上述计算结果可知,该尾矿库现状坝体在各种运行工况下稳定性系数均小于规范要求.

## 2 坝体整治及加固措施

为了保证尾矿坝安全稳定,设计在尾矿坝第二级子坝平台上布设抗滑桩,同时在现状坝顶近水一侧设置防渗帷幕,同时,为了恢复该尾矿库设计最终堆积坝高,采用来源于金铜矿尾矿库的粗尾砂堆筑于现状坝顶之上,堆筑坝体内预设粘土防渗墙,并于内坝坡面铺设防渗层,最后形成抗滑与防渗于一体的坝体整治及加固体系(图1).

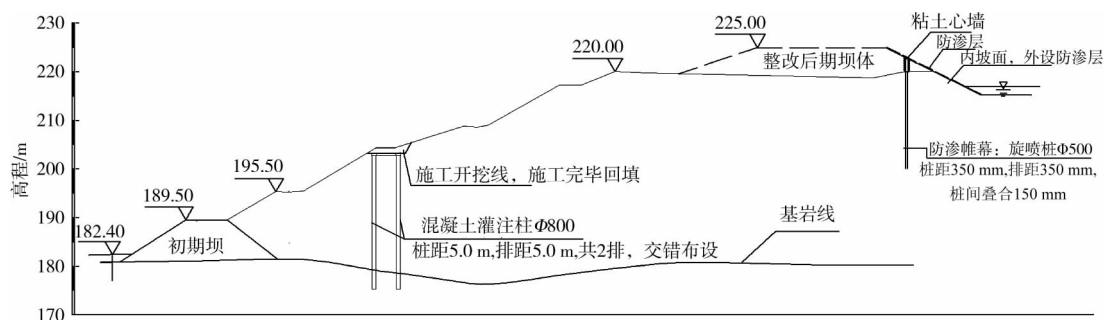


图1 尾矿库坝体整治断面

### 2.1 抗滑桩加固

抗滑桩采用钢筋混凝土灌注桩,采用冲击钻孔灌注成桩,桩径800 mm,材料采用C30钢筋混凝土,共布设2排,桩距5.0 m,排距5.0 m,桩长依据地形为12.0~33.0 m,桩身进入基岩面3.0 m以下.桩顶设冠梁,前、后排桩间由连梁连接.灌注桩施工完毕后桩顶铺设300 mm厚碎石压覆.本方案前排桩设置39根,后排桩设置38根,共计77根.

## 2.2 坝体防渗帷幕设置

为了有效降低坝体浸润线,同时降低尾矿水渗流坡降,避免坝体发生渗流破坏,本方案在现状坝顶内侧设置高压旋喷桩防渗帷幕。

旋喷桩采用三重管法施工,注浆材料主要为水泥,水泥强度等级不低于 32.5 级,水泥浆水灰比 1.0 ~ 1.5,注浆压力 20 ~ 30 MPa。共布设 2 排,交错布设,桩长 15.0 ~ 20.0 m,桩径 500 mm,桩距 350 m,排距 350 mm,桩间叠合 150 mm,形成防渗帷幕,后排桩距坝内坡肩 5 m 左右。本方案防渗帷幕长度为 292 m,设置旋喷桩 1 667 根。

## 2.3 坝体加高及其防渗体系的构建

采用来源于金铜矿尾矿库的粗尾砂由坝顶外缘向内推进 7 m 开始堆筑后期坝体,分层碾压,在坝前均匀堆放,堆筑高度为 5 m。为了确保坝体安全稳定,后期坝体在堆筑中每隔  $\Delta h = 1.5$  m 厚加铺土工格栅,土工格栅采用钢塑复合土工格栅。此外,在堆筑坝体过程中,在坝体内设一道粘土防渗墙。

加高坝体外坡比为 1 : 3,内坡比为 1 : 2,坝顶宽 28 m。同时,在坝体内坡面布设防渗层,其结构由外到内依次为 100 mm 厚的 C15 钢筋混凝土预制板护坡、900 g/m<sup>2</sup> 防渗膜一层及 GCL 钠基膨润防水毯一层。坝体内粘土防渗墙与原坝体防渗帷幕,结合坝体内坡面防渗层,形成一整体防渗体系。

## 3 整治后坝体稳定性分析

### 3.1 计算方法的选择

尾矿坝体的稳定性分析,主要指抗滑稳定和渗流稳定分析。

渗流稳定分析采用有限元数值方法,计算软件采用加拿大 GeoStudio 计算软件计算,分别进行正常和洪水水位运行工况下的渗流分析计算。而坝体抗滑稳定性分析由于不同于水库大坝,也不同于一般边坡,一般按堆填料假定为均质土体选用瑞典圆弧法进行计算<sup>[9]</sup>。计算工况包括正常工况、洪水水位工况和特殊工况。

### 3.2 稳定性计算模型的建立

本文选取勘察报告提供的尾矿坝主轴工程地质剖面,并结合尾矿坝整治方案构建坝体稳定性计算模型,坝体浸润线选用现场实测,如图 2。

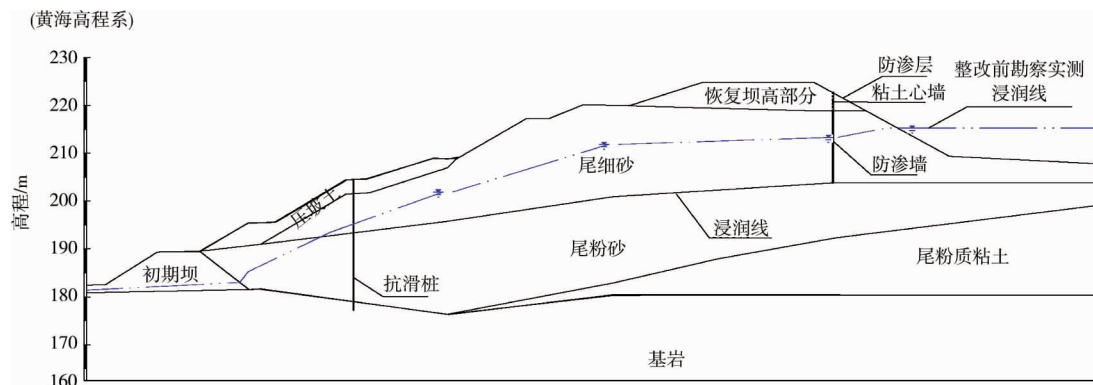


图 2 坝体稳定性计算模型

由于该尾矿库运行方式为坝后放矿、坝前积水形式,尾矿坝为挡水坝性质。考虑保证足够的调洪库容,正常运行工况和特殊运行工况下稳定性计算均采用低于坝顶 2 m,即 +223 m 水位时计算浸润线,洪水工况下稳定性计算采用最高洪水水位时计算浸润线,该尾矿库为四等尾矿库,坝顶安全超高为 0.5 m,坝前集水风浪雍高取 0.5 m,即尾矿库最高洪水水位需至少低于坝顶 1 m,本次设计最终坝高时最高洪水水位为 +224 m。计算浸润线基于二维渗流理论采用有限元法计算获得。

### 3.3 参数的选择

本次稳定性计算所选参数选取自工程地质勘察资料及其相关试验结果,并结合工程经验最终确定,其中渗透系数根据实测浸润线反演而得,如表 2。

### 3.4 稳定性分析结果

对于该整治后尾矿坝,对其处于正常运行工况和特殊运行工况下的抗滑稳定性计算是在正常运行工况下渗流计算的基础上,采用瑞典圆弧法进行的,而对其处于洪水运行工况下的抗滑稳定性计算是在洪水

运行工况下渗流计算的基础上,采用瑞典圆弧法进行的.其中特殊运行工况的坝体稳定性计算采用拟静力法进行.

坝体稳定性计算结果如图3~图5和表3.

表2 坝体稳定性计算参数

项目	天然重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	内聚力 $c/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	渗透系数 $K_v/(\text{cm}/\text{s})$
初期坝	22.0	10.0	34.0	$3.0 \times 10^{-2}$
压坡土	17.8	2.0	30.0	$5.0 \times 10^{-3}$
尾细砂	18.5	4.4	29.0	$1.3 \times 10^{-3}$
尾粉砂	19.5	4.4	28.6	$3.75 \times 10^{-4}$
尾粉质粘土	19.4	15.8	19.0	$5.9 \times 10^{-6}$
加高坝体	20.0	0.0	29.0	—
基岩	24.0	32.0	42.0	—

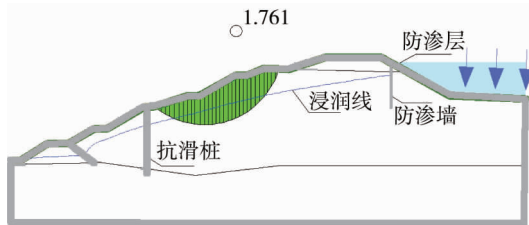


图3 正常运行工况下稳定性计算结果

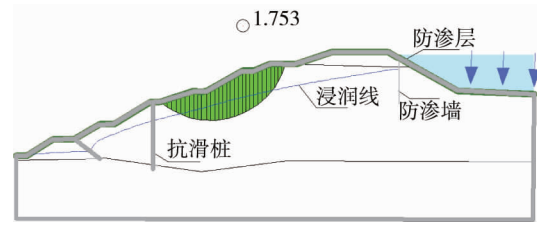


图4 洪水运行工况下稳定性计算结果

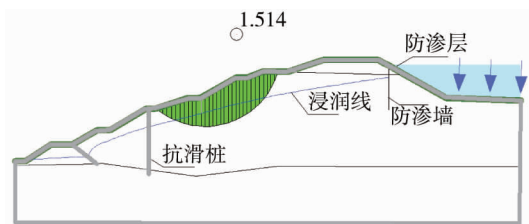


图5 特殊运行工况下稳定性计算结果

表3 整治后尾矿坝体稳定性计算结果

运行工况	稳定性系数计算值	规范要求最小安全系数
正常运行	1.761	1.15
洪水运行	1.753	1.05
特殊运行	1.514	1.00

通过上述计算结果可知,在坝前高水位作用下,该尾矿库坝体经整治后,坝体浸润线明显降低,且浸润线于初期坝脚逸出,系透水型坝体正常排水现象,不会产生如管涌、表面沼泽化等渗透破坏现象.且3种运行工况下潜在滑动面于抗滑桩顶处剪出,抗滑稳定性系数均大于规范要求的最小安全系数,可见坝体加固效果显著.

## 4 结论

1) 红透山某铜矿尾矿库坝体加固后,其稳定性系数均大于规范要求,是安全稳定的,说明加固措施是有效的、可靠的.

2) 对尾矿坝体采取抗滑桩、旋喷桩防渗帷幕与坡面防渗层相结合的加固措施,一方面可以有效地降低坝体浸润线,另一方面也可以增强坝体的稳定性,这种坝体加固方式在同类尾矿库坝体加固中具有推广意义.

## 参考文献:

- [1] 潘建平,王笙屹,朱洪威.尾矿坝液化流滑破坏模型与稳定措施研究[J].金属矿山,2011(4):134-136.
- [2] 路美丽,崔莉.影响尾矿坝渗流场的因素分析[J].中国安全科学学报,2004,14(6):17-21.
- [3] 路美丽,崔莉.复杂地形尾矿坝的三维渗流分析[J].岩土力学,2006,27(7):1176-1180.
- [4] 柳厚祥,李宁,廖雪,等.考虑应力场与渗流场耦合的尾矿坝非稳定渗流分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(17):2870-2875.
- [5] 梁冰,白云鹏,金佳旭.库水位升高对尾矿坝稳定性的影响[J].水资源与水工程学报,2010,21(4):11-14.
- [6] 王少军,丁东彦.基于MIDAS/GTS的尾矿库三维渗流分析[J].现代矿业,2015,554(6):159-161.
- [7] 王东,沈振中,陶小虎.尾矿坝渗流场三维有限元分析与安全评价[J].河海大学学报(自然科学版),2012,40(3):307-312.
- [8] 梁亮,沈振中,王东,等.尾矿坝排渗墙渗流控制效果计算分析[J].水电能源科学,2011,29(4):89-91.
- [9] 楼建东,李庆耀,陈宝.某尾矿坝数值模拟与稳定性分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2005,20(2):58-61.