

# 浸润线出逸高度对某尾矿库坝体稳定性的影响分析

冯煜彪

(河南省岩石矿物测试中心, 郑州 450012)

**摘 要:** 本文分析了坝体浸润线随尾矿库库区水位的变化规律; 采用 Bishop 简化法描绘了浸润线变化与稳定性的关系; 根据坝体安全系数计算结果, 提出了尾矿库治理搬迁时降低浸润线的措施。

**关键词:** 浸润线; 出逸高度; 坝体稳定; 措施

**中图分类号:** TD745 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4172(2010)05-0061-04

## Influence of Seepage Line Egress Point Height on the Stability of a Tailing Dam

FENG Yubiao

(Henan Rock Mineral Testing Centers Zhengzhou 450012 Henan China)

**Abstract** In this paper, the variation trend of the dam seepage line with the change of a tailing dam's reservoir level has been analyzed. The correlation curve between the stability and the changes of the dam seepage lines has also been carried out using Bishop simplified method. According to the dam's safety factor calculation, some measures have been proposed to lower the seepage lines during the management and removal of the dam.

**Key words** seepage line; egress point height; tailing dam; stability; measures

## 0 引言

某尾矿库位于东秦岭伏牛山北侧, 地形地貌形态属中高山区, 尾矿库属于山谷型尾矿库, 库区地貌属高山谷地貌。沟谷呈不规则的“V”字型, 南北走向, 长度约 1 000 m。尾矿库位于麦秸沟中上部, 库区地形起伏较大, 谷底高程 1 370~1 330 m, 坝址以上汇流面积约 0.148 km<sup>2</sup>。

该尾矿库下游 1 km 处为一乡镇, 人口众多, 且该尾矿库堆积坝坡面出现大面积沼泽化 (如图 1、2 所示)。由于这两个主要原因, 该尾矿库必须进行治理, 治理后进行搬迁。

治理措施主要包括: 对库内排洪、排渗及加强坝体稳定性等。本论文根据浸润线降低后对坝体稳定性的影响进行分析, 确定合理的治理措施<sup>[2]</sup>。

## 1 该尾矿库基础资料

### 1.1 坝体基础资料

该尾矿库初期坝为不透水浆砌石重力坝, 坝高

作者简介: 冯煜彪 (1981-), 男, 助理工程师, 现从事尾矿库设计、非煤矿山及尾矿库安全评价工作。



图 1 堆积坝坡面沼泽化

Fig. 1 Embankment slope swamping

4 m, 坝底宽 4 m, 坝顶宽 3 m, 坝轴线长 28 m, 坝顶高程 1334.49 m, 基本为直臂坝。尾矿堆积坝采用上游式尾矿堆筑, 坝顶长度约 200 m, 坝顶高程约 1395.4 m, 尾矿堆积坝子坝 17 级, 经测量计算: 平均外坡比 1:2.86, 净高 59.8 m。

### 1.2 《工程地质勘察报告》内容

#### 1) 岩土体物理力学性质

各土体的物理、力学特征分述如下:

①尾中砂 ( $Q_{m1}$ ): 该层位于堆积坝的下游坝坡,



图 2 下游冷水镇

Fig. 2 The Lengshui Town

局部微胶结,稍密状。

②尾细砂 ( $Q_{m1}$ ): 该层天然含水量 9.8%, 天然干密度  $1.44 \text{ g/cm}^3$ , 比重 2.67, 相对密实度 0.41, 标贯击数 13~31 击, 平均值 19 击, 多属稍密~中密状砂; 不均匀系数 9.5, 曲率系数 1.7, 级配优良。

③尾粉土 ( $Q_{m1}$ ): 该层天然含水量 17.3%, 天然干密度  $1.96 \text{ g/cm}^3$ , 比重 2.70, 液性指数 0.42, 相对密度 0.53, 标贯击数 3~10 击, 平均值 7 击, 属软~中硬土; 不均匀系数 7.1, 曲率系数为 1.4, 级配优良。

④尾粉砂 ( $Q_{m1}$ ): 该层天然含水量 14.0%, 天然干密度  $1.91 \text{ g/cm}^3$ , 比重 2.69, 相对密实度 0.36, 标贯击数 14~34 击, 平均值 24 击, 多属中密状砂; 不均匀系数 7.9, 曲率系数为 1.4, 级配优良。

⑤尾粉质粘土 ( $Q_{m1}$ ): 该层天然含水量 26.2%, 天然干密度  $1.69 \text{ g/cm}^3$ , 比重 2.72, 塑性指数 13.3, 液性指数 0.40, 多为软土。

⑥片岩 ( $\epsilon_{1+2}$ ): 根据工程类比和地区经验, 该岩石属软质岩。

## 2) 尾矿堆积坝工程地质条件及评价

该尾矿库堆积坝的坝基岩性为弱风化的片岩 ( $\epsilon_{1+2}$ ), 属不透水坝基。岩层产状与坝体受力方向相反, 有利于坝体的稳定。尾矿库两侧山体基岩出

露, 两岸坝肩岩层均为弱风化的片岩 ( $\epsilon_{1+2}$ ), 节理裂隙不发育, 岩层走向  $280^\circ \sim 290^\circ$ , 倾向北东, 倾角  $50^\circ \sim 60^\circ$ , 岩层倾向与坝坡相反, 坝肩基本稳定。堆积坝左坝肩山体较单薄, 其东部为一山沟, 该处副坝堆积松散, 坝面冲沟发育, 坝顶高于坝肩山体局部低洼段, 坝面流水直接向左侧山沟排泄, 容易携带尾砂出库, 造成下游环境污染。

浸润线出露于尾矿堆积坝上游坡脚和初期坝接触部位, 并有明流排出。坡脚处坝面上有干砌石护坡, 由于长年渗流, 坝面上堆积了大量渗流携带出的灰黑色细粒土。浸润线常年出露于堆积坝的坡脚, 严重影响堆积坝坡脚稳定, 甚至可导致渗透破坏。

尾矿堆积坝面局部微胶结, 坝面排水沟和坝肩排水沟基本完整, 但 1383 m 台阶以上坝面冲沟发育, 在遇暴雨、地震等诱因的影响下, 极易产生滑坡、泥石流等地质灾害。另外坝面排水沟和坝肩排水沟局部有腐蚀破坏现象。

尾矿库中间部位堆积物颗粒较粗, 渗透性相对较好, 浸润线相对较低, 两侧接近山体, 局部有尾粉质粘土薄层, 垂直方向上起到阻水效应, 使浸润线稍高, 因此需要加强堆积坝下游垂向排水措施。

该尾矿堆积坝第 ④尾粉砂层位于浸润线以下, 其粘粒含量百分率小于 10, 经按地震设防烈度 7 度进行地震液化判别, 不存在地震液化问题。

鉴于以上问题和现象, 建议完善堆积坝坝面排水设施, 防止坝体冲刷破坏。为降低坝体浸润线, 建议加强堆积坝下游垂向排水措施。同时应加强坝体变形及浸润线逸出位置、排泄水量、排泄水泥砂含量等方面的观测工作。

3) 尾矿沉积滩正常水位为 1387.0 m, 最高洪水位 1388.6 m。

4) 尾矿堆积坝和沉积滩内的各层尾细粒土和尾粘土等取原状样进行了室内渗透试验。各岩土体渗透试验结果列于下表 1。

表 1 岩土体渗透试验结果统计表

Table 1 The statistical table of the rock and soil permeability test results

土体单元及编号	组数	范围值	平均值	渗透性等级
1 尾中砂	-		$1.0 \times 10^{-3}$	中等透水
2 尾细砂	1		$2.5 \times 10^{-3}$	中等透水
3 尾粉土	4	$6.6 \times 10^{-4} \sim 9.8 \times 10^{-4}$	$8.3 \times 10^{-4}$	中等透水
4 尾粉砂	5	$1.2 \times 10^{-3} \sim 2.3 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$	中等透水
5 尾粉质粘土	4	$8.7 \times 10^{-5} \sim 1.9 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	弱~中等透水
6 片岩	-	-	$1.0 \times 10^{-5}$	弱透水

## 2 坝体浸润线计算

1) 浸润线计算原理。

坝体的浸润线计算图如下图 3 所示。

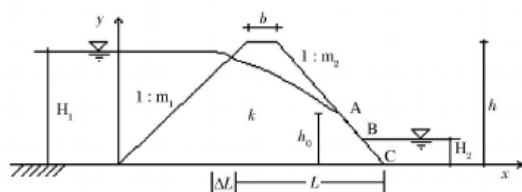


图 3 渗流计算简图

Fig. 3 Flow diagram of seepage calculation

坝体的单宽流量:

$$q = k \frac{H^2 - a^2}{2(l - ma)}$$

浸润线方程:

$$y = \sqrt{H^2 - \frac{H^2 - a^2}{l - ma} x}$$

浸润线在坝体处的溢出点高度  $a$ :

$$a = \frac{l}{m} - \sqrt{\left(\frac{l}{m}\right)^2 - H^2}$$

其中,  $l$  为化引渗透长度<sup>[3]</sup>:

$$K = \frac{\sum [C b \sec \beta + (W_1 + W_2) \sec \beta - (u - \gamma_w Z) b \sec \beta \tan \varphi] \frac{1}{1 + \frac{\tan \varphi' \tan \beta}{K}}}{\sum (W_1 + W_2) \sin \beta}$$

式中:  $W_1$  为现状库区水位坡外水位以上条块实重, 浸润线以上为湿重, 浸润线和外水位之间为饱和重;  $W_2$  为现状库区水位坡外水位以下条块浮容重;  $W_1'$  为库区水位降低后坡外水位以上条块实重;  $W_2'$  为库区水位降低后坡外水位以下条块浮容重;  $u$  为库区水位降落前坝体中的孔隙压力;  $\beta$  为条块重力线与通过此条块底面中点的半径之间的夹角;  $Z$  为条块底部中点至坡外水位的距离<sup>[1]</sup>。

在库区水位变化情况下, 计算稳定安全系数时可以分为两个步骤: (1) 当坝体内水位在 58.1 m、56.5 m、50 m、40 m、30 m、20 m 时, 计算滑裂面上各土条底的法向有效应力。(2) 相应高度时水位进行稳定分析。可以使用较小的步长计算各个时间段坝体的稳定安全系数, 然后比较各时段的稳定性, 找出不利时刻的最不利断面。

对相应坝体水位时的坝体稳定性采用理正岩土边坡稳定分析软件进行计算, 稳定分析采用 Bishop

$$l = l_1 + \Delta l \quad \Delta l = \frac{m_2 H}{2m_0 + 1}$$

2) 计算结果如下表 2 所示。

表 2 不同水位的浸润线出逸高度

Table 2 The seepage line egress point heights at different reservoir level

坝体内水位 /m	内摩擦角 $f^\circ$	浸润线逸出 高度 /m	浸润线逸出 水平距离 /m
58.1	24.5	14.74	28.62
56.5	25	12.19	27.83
50	26	6.38	24.63
40	27	2.72	19.70
30	28	1.15	14.78
20	29	0.41	9.85

## 3 坝体稳定性计算

1) 坝体稳定性计算原理

坝体稳定性分析中经常采用 Bishop 简化法, 该方法采用圆弧滑裂面, 并假定土条两侧的水平力均为零。对于坝体部分浸水的部分, 土的容重按饱和和容重计算, 同时还要考虑滑动面上的孔隙水压力和作用在土坡坡面上的水压力。采用有效应力法对坝体稳定进行计算 (不考虑地震作用), 其安全系数计算公式:

简化法进行计算<sup>[5]</sup>。

2) 计算结果如下图 4 所示。

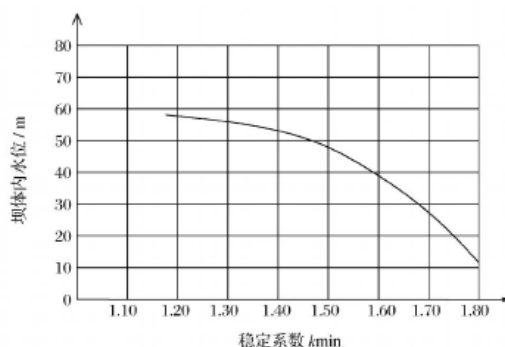


图 4 坝体稳定性与坝体内水位高度关系曲线图

Fig. 4 Relation curve diagram between the height of reservoir level and the dam stability

(下转第 67 页)

(上接第 63页)

## 4 结论

1)库区水位逐渐降低时,坝体浸润线也逐渐降低,坝体稳定性逐渐增大。

2)坝体浸润线下降的速度取决于库区水位下降的速度、土堤的渗透系数和土堤的给水度等因素,与坝体的结构形式特别是坝体的排水条件有很大的关系。

因此,经过分析认为,治理该尾矿库应降低浸润线出逸高度。降低坝体浸润线的方法常见的有:深挖盲沟、虹吸井、轻型井点、沉井、辐射井及垂直水平联合排渗等<sup>[4]</sup>。根据该尾矿库实际,该尾矿库需短时间内快速降低库内浸润线高度,应采用辐射式排

渗井的方式,辐射式排渗井的结构应由主井、辐射滤管、导水管和排水插板组成<sup>[6]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] 张力霆,周国斌,谷芳,等.库区水位变化对尾矿库坝体稳定的影响[J].金属矿山,2008,8:119-122.
- [2] 齐清兰,张力霆,谷芳,等.影响尾矿库渗流场的因素及降低浸润线的措施[J].金属矿山,2009,12:35-37,102.
- [3] 袁湘民.下水湾尾矿库安全评价及溃坝模拟分析[D].长沙:中南大学,2008.
- [4] 方国清,郑选荣,卫建军.尾矿库浸润线降低技术研究[J].西部探矿工程,2009,21(10):125-126.
- [5] 国家安全生产监督管理局.AQ2006-2005.尾矿库安全技术规程[S].
- [6] 汪良峰,朱君星,项宏海,等.尾矿库排渗辐射井的设计探讨[J].金属矿山,2010,2:55-56,61.