

首钢孟家冲尾矿坝渗流稳定分析*

李学民 高级工程师 郑海远
(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

学科分类与代码: 620.5020

中图分类号: X936; TD926.4

文献标识码: A

【摘要】 针对孟家冲尾矿库坝面出现的渗水现象, 对坝体的渗流以及稳定进行计算分析。计算结果表明, 由于堆积坝的不断升高, 导致坝体浸润线抬高, 安全稳定系数降低, 从而将造成坝体失稳, 出现溃坝事故。为消除隐患, 提出采用辐射井排渗的设计方案, 并对该方案的可行性进行计算分析。

【关键词】 尾矿坝; 渗流; 稳定; 辐射井; 有限元

Seepage and Stability Analysis on the Mengjiachong Tailing Dam of Shougang

LI Xue-min, Senior Engineer ZHENG Hai-yuan

(Beijing General Research Institute of Mining & Metallurgy, Beijing 100044, China)

Abstract: Aimed at the seepage phenomenon of Mengjiachong tailings dam of Shougang, an analysis and calculation was made on the seepage and stability of this dam. The result indicated that, due to the continual rising of the stacking dam, the saturation line also rose and the safety stability coefficient decreased, which would cause the instability and break of the dam. In order to eliminate such hidden hazards, a drainage method using radiation wells was presented and the feasibility of this method was verified.

Key words: tailing dam; seepage; stability; radiation wells; finite element

0 引言

尾矿库是一个具有高势能的泥石流源, 尾矿坝发生溃坝破坏时, 尾砂往往立即液化, 顷刻间沿山谷向下游倾泻, 其危害程度比水库溃坝要严重得多。尾矿库事故多起因于坝内地下水位控制不当, 或排洪设施不利, 或侵蚀和管涌, 或地震液化作用, 基本上都与地下水的渗流有关。

据不完全统计, 导致尾矿库溃坝事故的直接原因中, 渗流破坏约占 20% ~ 30%。尾矿坝渗流破坏主要原因就是坝体浸润线抬高导致渗流失稳^[1-8]。

首钢孟家冲尾矿库运行期间, 随着堆积坝体升高, 导致浸润线不断抬高, 在标高 102 ~ 109 m 有多处溢出点, 且芦苇茂盛, 在 1976 年唐山大地震时沉积滩临近水边线处出现喷砂冒水现象。为了分析孟家冲尾矿坝渗流险情的原因, 进一步论证坝体的稳

定性确保其安全, 对该尾矿坝进行渗流与稳定性计算, 并提出了可行的排渗设计方案。

1 工程概况

首钢孟家冲尾矿库位于河北省迁安市境内, 1961 年建成并投产。目前尾矿堆积标高为 132 m, 因生产规模的扩大以及建新库无合适的库址等原因, 该尾矿坝需加高至 180 m 标高, 以满足矿山的持续发展。

首钢孟家冲尾矿库初期坝为粘土均质不透水坝, 坝轴线长 335 m, 坝高 16 m, 坝顶标高 101 m, 尾矿堆积坝为上游法尾矿砂堆筑, 尾矿堆积坝外坡比为 1:5, 库内沉积滩长度大于 300 m, 沉积滩坡度 3%。尾矿砂粒级 -200 目含量占 20% 左右, 粒度较粗, 库区为Ⅷ度地震区。图 1 为坝体的剖面图及材料分区。各材料的参数如表 1 所示。

* 文章编号: 1003-3033(2009)03-0114-05; 收稿日期: 2008-12-12; 修稿日期: 2009-02-28

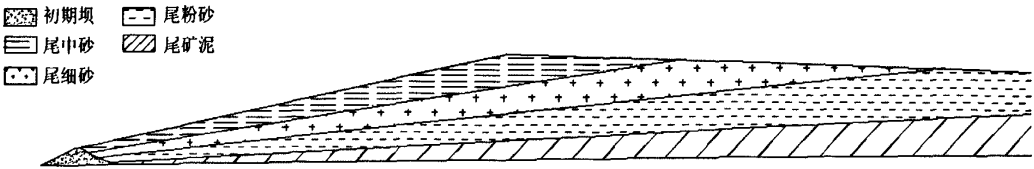


图1 坝体剖面图及材料分区

表1 坝体各材料计算参数

材料名称	天然容重 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	浮容重 $\gamma'(\text{kN/m}^3)$	饱和容重 $\gamma_m(\text{kN/m}^3)$	天然状态		饱和状态		渗透系数 $K(\text{cm/s})$
				$C(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	$C(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	
尾中砂	19.7	11.0	21.0	7	35.0	5	33	1.11×10^{-5}
尾细砂	19.5	10.4	20.4	7	35.7	5	34	1.0×10^{-5}
尾粉砂	20.1	10.6	20.6	8	35.0	6	33	7.75×10^{-6}
尾矿泥	19.9	10.3	20.3	8	34.5	6	32	2.3×10^{-6}
初期坝	19.2	9.8	19.8	12	29.0	10	27	4.0×10^{-8}
基岩	18.0	10.0	20.0	20	40.0	18	38	不透水

2 渗流分析

采用有限元的方法对坝体的浸润线进行计算,该计算考虑了8个工况,即尾矿坝现状标高132 m、中间标高155 m和174 m及最终堆积标高180 m条件下的正常运行工况以及洪水工况下的浸润线,这8个工况涵盖了尾矿坝现状坝高情况下和远期规划坝体加高情况的渗流场的各种情况。

2.1 计算原理

渗流的基本微分方程式及其边界条件为

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial h}{\partial z}) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

初始条件:

$$h(x,y,z,0) = h_0(x,y,z) \quad (2)$$

边界条件:

1) 水头边界

$$h|_{\Gamma_1} = h(x,y,z,t) \quad (3)$$

2) 流量边界

$$K \frac{\partial h}{\partial n}|_{\Gamma_2} = -q(h,x,y,z,t) \quad (4)$$

式(1)中, $S_s = \rho g(\alpha + \eta\beta)$, K_x, K_y, K_z 为渗透系数; α 和 β 分别为土和水的压缩系数^[9]。

2.2 渗流计算

标高132 m,155 m,174 m及180 m的渗流模型的有限元网格如图2~图5所示。

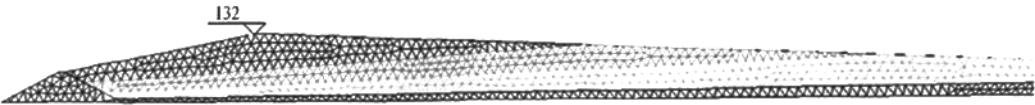


图2 堆积坝标高132 m时的有限元计算网格

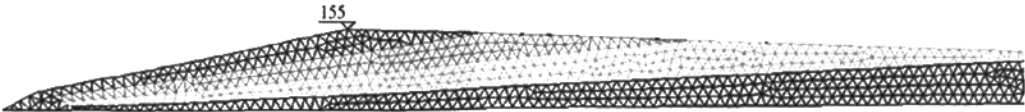


图3 堆积坝标高155 m时的有限元计算网格

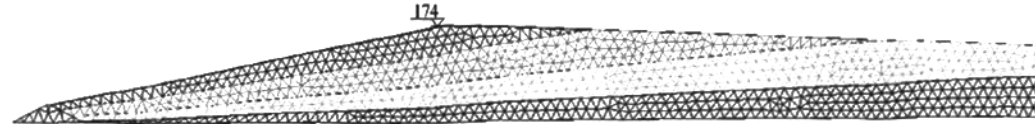


图4 堆积坝标高174 m时的有限元计算网格

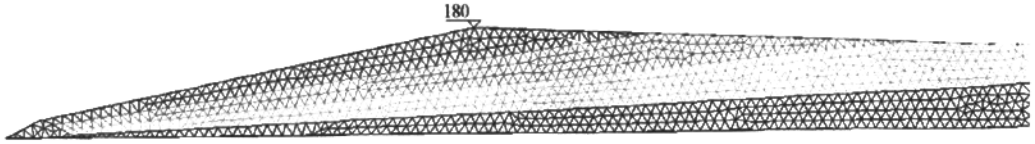


图5 堆积坝标高180 m时的有限元计算网格

设所有标高尾矿库的正常运行情况下的干滩长度为350 m,洪水期的干滩长度为200 m。浸润线计算结果如图6~图9所示。

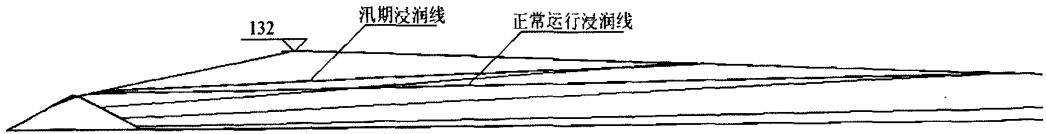


图6 堆积坝标高132 m时的正常运行期以及洪水期的浸润线

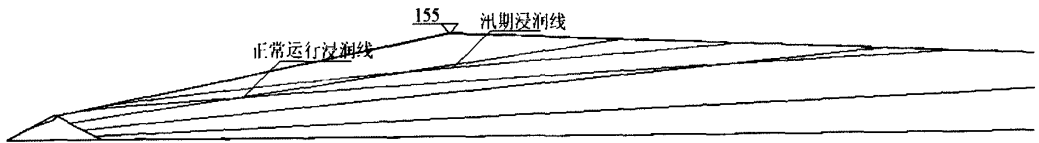


图7 堆积坝标高155 m时的正常运行期以及洪水期的浸润线

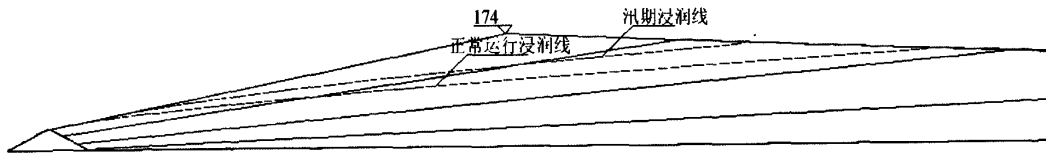


图8 堆积坝标高174 m时的正常运行期以及洪水期的浸润线

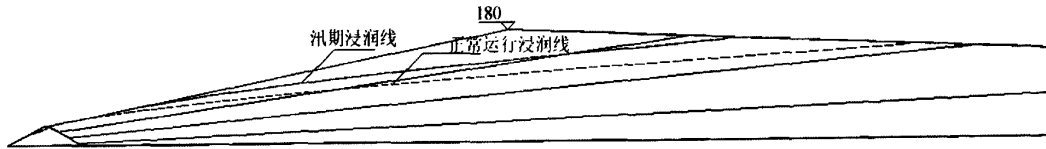


图9 堆积坝标高180 m时的正常运行期以及洪水期的浸润线

表2中给出了各种工况下浸润线溢出点的标高。

表2 各种工况下浸润线溢出点的标高

堆积坝 标高(m)	正常运行期浸润线 溢出点标高(m)	洪水期浸润线 溢出点标高(m)
132	101.5	102.2
155	103.6	105.3
174	106.0	111.4
180	106.5	114.2

当堆积标高为155 m时,溢出点增加到103.6 m;堆积标高达174 m以后,浸润线在下游的溢出点则增加到106 m标高的位置。

说明随着堆积坝的不断加高,坝体渗透失稳的风险进一步增加,坝体危险度亦加大。可能的破坏形式就是从子坝渗透变形(流砂)开始,引起局部塌陷,最终导致尾矿坝整体失稳。

3 稳定分析

3.1 计算原理

参照文献[10]中第3.4.1条规定,尾矿坝的稳定计算宜采用瑞典圆弧法进行计算,瑞典圆弧法的计算原理如图10及式(5)所示。

2.3 渗流计算结果分析

孟家冲尾矿库初期坝为粘土坝,由于粘土的透水性较尾矿差,所以该8种计算工况浸润线都在初期坝上游处溢出。

现状堆积标高132 m时,溢出点在坝顶附近。

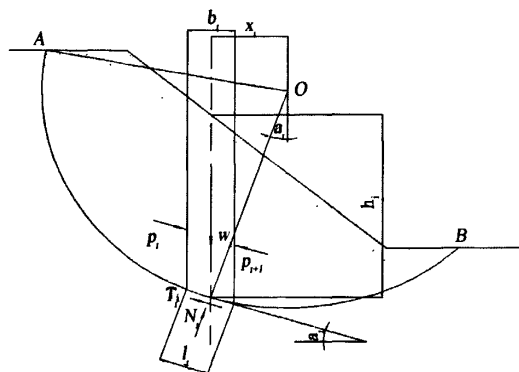


图 10 瑞典法

瑞典条分法安全系数:

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi'_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (5)$$

式中, c'_i ——有效抗剪强度指标;
 W_i ——土条重^[9]。

3.2 稳定计算

对 132 m, 155 m, 174 m 及 180 m 各个标高的尾矿坝高进行稳定性计算, 每个标高的计算工况包括正常运行期、洪水期以及特殊运行期(地震条件) 3 种, 其中各工况浸润线以 2.2 节中的渗流计算结果为依据。

坝体的稳定性参照文献[10]中第 3.4.3 条标准进行判定, 计算结果如表 3 所示。

表 3 稳定性分析结果

堆积坝顶标高(m)	正常运行	稳定性判断	洪水运行	稳定性判断	特殊运行	稳定性判断
132	1.172	稳定	1.083	稳定	1.053	稳定
155	1.071	不稳定	1.013	不稳定	0.956	不稳定
174	0.983	不稳定	0.926	不稳定	0.863	不稳定
180	0.862	不稳定	0.823	不稳定	0.791	不稳定

3.3 计算结果分析

从表 3 可以看出, 尾矿坝现状标高 132 m 时, 正常运行、洪水运行及特殊运行情况下, 最小安全系数均满足^[10]要求, 说明坝体是稳定安全的。

尾矿坝标高 155 m, 174 m 及最终标高 180 m 时, 正常运行、洪水运行及特殊运行最小安全系数均小于规范的要求, 且随着坝体的增高, 安全系数越来越小, 说明在无任何排渗设施的情况下, 坝体若继续加高, 则安全稳定无法得到满足。

当尾矿坝再进行加高时, 必须采取必要的工程措施, 进行坝体排渗, 降低浸润线, 确保尾矿库安全及下游群众的安全。

4 排渗措施

根据渗流和稳定计算结果, 该尾矿坝最主要的问题就是初期坝采用了不透水粘土进行筑坝, 导致

坝体浸润线抬高, 水流高点出逸, 从而影响坝体稳定。要提高尾矿坝的安全性, 有效而首要的方法是降低浸润线, 即在坝体上修建排渗设施, 降低坝体内的浸润线高度, 从而提高坝体的稳定安全系数。

根据该工程的实际情况, 提出采用辐射井进行排渗。辐射井是由一口大直径的竖井和自竖井向四周含水层打进的滤水管所组成。由于它具有伸向含水层的滤水管范围大, 数量多及竖井深等显著特点, 目前已广泛用在尾矿坝降水工程上。辐射井排渗控制范围广, 降水深度大, 疏干体的体积也大, 且具有自流排渗, 后期管理方便等特点。

4.1 渗流及稳定计算

对修建辐射井后的坝体分别进行了渗流计算和抗滑稳定计算, 计算标高为尾矿坝最终堆积标高 180 m。图 11 为修建辐射井后计算出的浸润线位置, 稳定计算结果如表 4 所示。

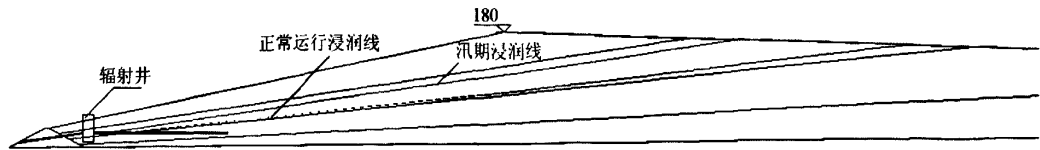


图 11 修建辐射井后的浸润线位置

表4 标高180 m的堆积坝修建辐射井后的安全系数

运行工况	安全系数	稳定性判断
正常运行	1.435	稳定
洪水运行	1.396	稳定
特殊运行	1.286	稳定

4.2 计算结果分析

从图11中可以看出修建辐射井后浸润线已落到坝体内部。

从表4看出,尾矿坝最终堆积标高180 m情况下,修建辐射井后正常运行、洪水运行及特殊运行3种工况与无排渗设施相比,安全系数均提高了60%以上,满足了文献[10]中的规定要求,稳定性判断表明坝体是安全稳定的。

5 结 论

1) 渗流计算表明:对于使用粘土作为初期坝的

尾矿库,由于粘土的不透水性,当尾矿堆积到一定高度时,浸润线往往从堆积坝坡溢出,易造成管涌,导致垮坝事故。依文献[10]中的规定要求,当堆积坝高度达到最终堆积坝高的1/3以上时,应进行坝体稳定性分析,考虑是否建设排渗措施,以排除坝体隐患。

2) 根据抗滑稳定计算结果,现状标高132 m坝体的抗滑稳定安全系数满足文献[10]中要求,当坝高达到155 m时,抗滑稳定安全系数将不能满足要求,随着坝体加高,坝坡抗滑稳定安全系数将进一步降低。

3) 浸润线是影响尾矿坝稳定的最主要因素。根据该尾矿坝的特点和已有工程经验,采用辐射井降水排渗是最为经济有效的手段。辐射井可以使浸润线大幅度降低,既确保了尾矿坝的安全稳定,又保证了矿山可持续发展。

参 考 文 献

- [1] 祝玉学. 关于尾矿库工程中几个问题的讨论[J]. 金属矿山, 1998(10): 7-10
- [2] 王来贵. 尾矿库灾害及其工程整治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(3): 76-80
- [3] 腾志国. 关于尾矿坝地震稳定性的分析及评价[J]. 河北冶金, 2003(1): 16-17
- [4] 李作章, 徐日升. 尾矿库安全技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1996: 83
- [5] 徐桂兴. 尾矿坝的渗流及其影响[A]. 冶金矿山尾矿库技术交流会文集[C], 1987: 7-13
- [6] 洪石笙. 尾矿坝渗透稳定性分析[A]. 冶金矿山尾矿库技术交流会文集[C], 1987: 78-86
- [7] 赵晖. 尾矿工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986: 170-195
- [8] 田文旗, 薛剑光. 尾矿库安全技术及管理[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006
- [9] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 155-166, 304-307
- [10] 中华人民共和国建设部. 选矿厂尾矿库设计规范[S]. ZBJ-1990, 1990