

上向弯曲双向槽孔排渗管技术在新厂沟尾矿库的应用

杨 燕¹, 唐泽勋², 魏作安³

(1. 昆明有色冶金设计研究院股份公司, 云南 昆明 650051; 2. 凉山矿业股份有限公司, 四川 凉山 615146;

3. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400030)

摘要: 为了满足矿山生产需要, 凉山矿业公司经过综合比较后, 对即将达到原设计坝高的新厂沟尾矿库进行加高扩容改造, 以延长尾矿库的服务年限。由于该尾矿库在使用过程中, 坝体浸润线一直偏高, 在堆积坝坡面上经常有水渗出, 坝坡面出现沼泽化、局部坍塌等。现场勘察揭示坝体浸润线埋深较浅。因此, 在实施加高扩容前, 需要对坝体过高的浸润线进行治理。综合考量后, 决定采用上向弯曲双向槽孔排渗管技术, 分别在初期坝坝顶、第5级和第8级子坝处施工三排上向弯曲钻孔, 孔内安置双向槽孔排渗管, 实施坝体排渗加固。2009年底排渗工程竣工后, 经过两年多时间的检验, 经现场踏勘和坝体浸润线观测, 结果表明, 该项排渗工程效果显著, 使该尾矿库能够满足加高扩容的要求。

关键词: 尾矿坝; 水平排渗; 矿山安全; 稳定性分析

文章编号: 1003-8035(2013)01-0065-05

中图分类号: TD824.8

文献标识码: A

1 新厂沟尾矿库概况

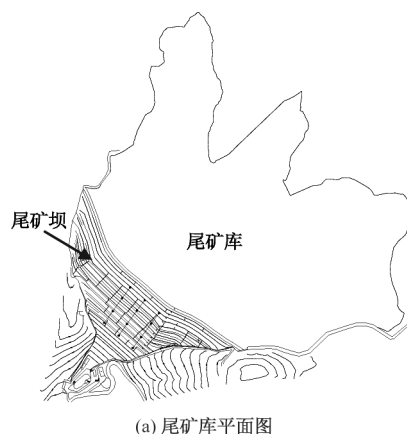
尾矿坝的浸润线是尾矿坝的生命线, 直接影响到尾矿坝的稳定与安全^[1-3]。文献[4]中提到浸润线的位置相差1.0m, 尾矿坝的稳定系数相差1.2%~2.5%。文献[5-6]针对国内外尾矿库的主要病害事故进行了归纳总结, 结果坝体浸润线过高造成的渗漏病害占到了1/4。所以, 在尾矿库的日常生产安全管理之中, 降低坝体浸润线的位置是确保尾矿库安全的关键^[7]。

新厂沟尾矿库属于山谷型尾矿库, 位于四川省会理县拉拉铜矿矿山东南3.0km的纳家湾沟谷内(图1)。该尾矿库于1992年设计, 1993年建成并投入使用。设计采用上游法堆坝方式筑坝。初期坝为透水堆石坝, 初期坝高为29.8m, 堆坝坝高为50.0m(标高+2020m)。尾矿库全库容为 $1004 \times 10^4 \text{ m}^3$, 有效库容为 $880 \times 10^4 \text{ m}^3$, 尾矿库为三等库; 尾矿坝堆积坡度为1:4.0; 尾矿库采用两套直径0.6m的圆形钢筋混凝土排水管以及钢筋混凝土排水斜槽的排洪方式排洪。采用管道输送矿浆、坝前分散放矿。

目前, 尾矿坝已堆积至+2014m标高, 再有两年左右的时间, 该尾矿库就达到原设计规划的坝高, 进入闭库阶段。

为此, 矿山即将面临着如何堆存尾矿的难题。为了节省土地, 降低成本, 保证矿山生产安全及可持续发展, 凉山矿业股份有限公司通过综合考虑后, 决定对新厂沟尾矿库进行加高增容改造, 以满足矿山生产

需要。



(a) 尾矿库平面图



(b) 坝体坡面图

图1 新厂沟尾矿库现状

Fig. 1 The outlook of Xinchanggou tailings pond

收稿日期: 2012-06-08; 修订日期: 2012-09-03

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20070420123)

作者简介: 杨 燕(1963—), 女, 四川自贡人, 高级工程师, 主要从事固体废弃物处置、尾矿库工程设计与科研工作。

E-mail: yysdszmyy@163.com

由于该尾矿库曾经出现过浸润线从坝坡逸出,坝坡表面渗水、局部坍塌等不良现象(图2)。2008年8月30日攀枝花-会里交界处发生6级地震,对尾矿库造成了一定程度震害。同时,勘察揭示目前坝体浸润线埋深过浅。通过稳定性计算也发现(表1),新厂沟尾矿库目前不具备加高扩容条件。需要对坝体实施排渗加固措施,降低坝体浸润线,提高坝体稳定性后才能考虑。为此,经过慎重考量后,决定采用上向弯曲双向槽孔排渗管技术进行坝体排渗处理。

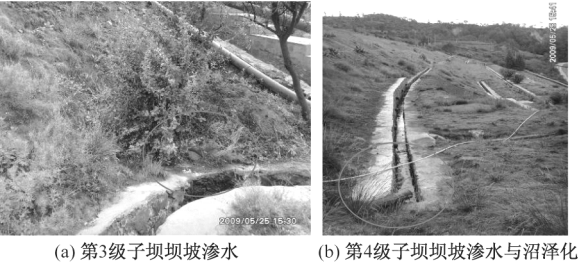


图2 坝坡面渗水和沼泽化现象

Fig.2 The phenomenon of dam slope surface water seepage and marsh

2 尾矿坝排渗措施设计与施工

2.1 双向槽孔排渗管

双向槽孔排渗管是一种PE材质、槽孔结合的特制异型管^[8-9](图3)。管外径75mm,壁厚6mm,在管外壁上,平行于管体的轴心方向均匀开有12个渗水凹槽,在渗水凹槽的底部,隔一定距离(150~200mm间距)、按照螺旋形布置方式钻有渗水小孔,直径一般为8mm。异型管外包不锈钢丝网编织的过滤网。

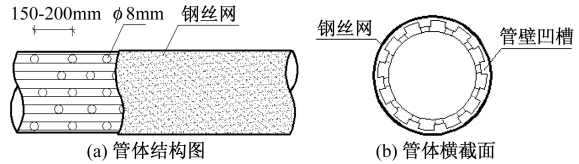


图3 双向槽孔排渗管

Fig.3 Two-way hole-slot drainage tube

这样由过去的孔面渗水改变为槽面渗水,使排渗管在坝体内与尾砂实际接触的渗水面积提高30倍左右,提高渗水能力20~25倍。同时,排水孔是设置在凹槽内,排水孔之间为串联形式,这样单一孔的堵塞,不会影响整体的渗水效果,从而提高了排渗功能的持

久性。

2.2 坝体排渗工程设计

根据坝体的实际情况和浸润线位置等因素综合考虑后,决定沿尾矿堆积坝坡面设置上向弯曲排渗孔。排渗孔由直线段和上向弯曲段组成,直线段坡度为3%,上向弯曲段末端与坝坡面的水平距离为50m左右。排渗孔沿坝轴线的水平间距为8.0m,孔内放置双向槽孔排渗管(图4)。设计布置三排排渗孔,即初期坝坝顶、第5级和第8级子坝处,其中,初期坝坝顶处布置14个孔,第5级子坝布置26个孔,第8级子坝处布置20个孔。孔内安置双向槽孔排渗管,以满足坝体排渗加固的要求。

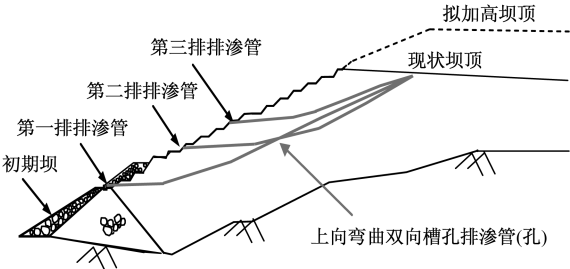


图4 上向弯曲双向槽孔排渗管的布置示意图

Fig.4 A diagrammatic arrangements of up-curved two-way hole-slot drainage tubes

2.3 坝体排渗工程施工

该项排渗工程是由经验丰富的专业队伍、采用DDW-320型非开挖水平定向铺管钻机、按照排渗工程设计进行工程施工的。工程于2009年7月26日开始施工,2009年10月10日竣工(图5、图6)。共实施完成60个钻孔,初期坝坝顶处14个,钻孔总长度2785.4m,第5级子坝处26个,钻孔总长度4278.1m,第8级子坝处20个,钻孔总长度3105.5m。

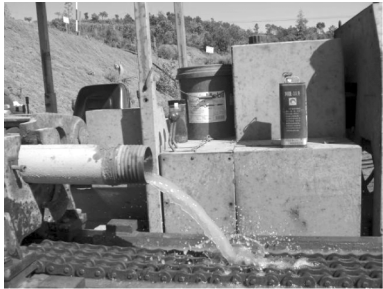


图5 钻孔完工后地下水从排渗孔口排出情况

Fig.5 The underground water was flowing from the drainage hole after works finished



图 6 竣工后的第 8 级子坝处的排渗管

Fig. 6 The drainage tubes on the eighth sub-dam

3 排渗工程实施效果

3.1 现场监测效果

为了更好地监测浸润线的变化情况(图 7),分别在第 4、8、12、15 级子坝上,布置了 12 个浸润线观测孔,纵向 3 排,每排 4 个孔,排距 50m,孔深 12m。在排渗工程实施过程中,监测孔亦进行了施工。在排渗工程完工后的第 6 天(2009 年 10 月 16 日)开始浸润线和渗水量的观测工作。

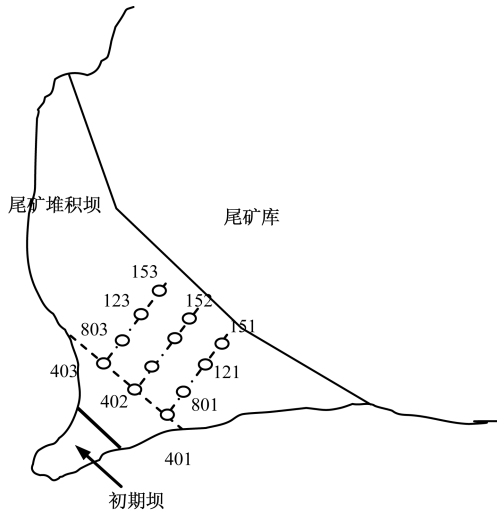


图 7 坝体浸润线监测孔平面布置及编号

Fig. 7 The examine hole location of phreatic surface and its number

2009 年 10 月施工完成时,每天渗出水量约 2000m³,至 2010 年 3 月,渗水量及浸润线均处于稳定期,渗水量降至每天约 400 ~ 500m³,主要出水源来自初期坝处的排渗管。另外,旱季及雨季出水量有些差异外,但浸润线埋深基本稳定、没有变化(图 8)。

同时,原来坝坡面渗水和沼泽化现象也全部消失。从现场观测显示,排渗工程效果显著。

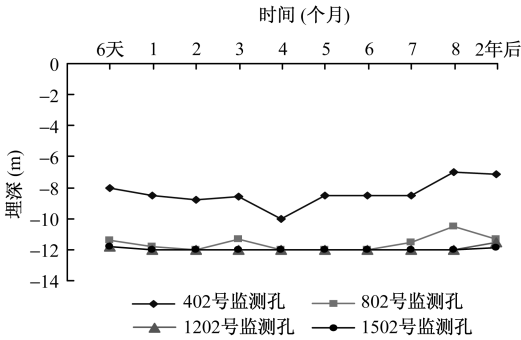


图 8 新厂沟尾矿坝实施排渗工程后浸润线的观测结果

Fig. 8 The examine result of phreatic surface after drainage works finished

3.2 排渗前后尾矿坝体稳定性计算

根据现场地质勘探的坝体剖面图和拟加高设计资料,选取了典型的坝体剖面图,采用 Slide 软件^[10-12],对排渗前后坝体的稳定性进行计算。坝体尾矿的物理力学参数如表 1。

现状(+2015m)情况下,坝体稳定性计算结果如表 2 ~ 表 5。从表 2 中可以看出:当前尾矿坝(+2015m 标高)的稳定性在特殊工况下不满足规范要求,必须对尾矿坝采取加固处理措施。

为此,先对坝体采取排渗措施,降低浸润线的高度。考虑到地勘资料中提出的尾矿地震液化深度等条件,宜将坝体浸润线的埋深控制在 8.0m 以下,同时,洪水工况下干滩长度应大于 100m,这时,坝体稳定性的计算结果见表 3。

表 1 新厂沟尾矿库坝体材料的物理力学指标

Table 1 Physical and mechanics parameters of tailings of the dam

土样	天然密度 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	渗透系数 (垂直 Kv) cm/s	压缩性		抗剪强度	
			压缩系数 $a(\text{MPa}^{-1})$	压缩模量 $Es(\text{MPa})$	粘聚力 $C(\text{kPa})$	内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$
尾粉砂① ₂	20.0	6.5×10^{-4}	0.121	11.2	14	26
尾粉土① ₃	18.5	1.6×10^{-4}	0.165	10.6	28	21
初期坝	21.56	2.70×10^{-3}	—	—	0.0	38.0

表 2 新厂沟尾矿库坝现状(坝顶标高 +2015m)
稳定性计算结果

Table 2 The result of stability calculation of the dam at present status

运行工况	正常运行		洪水运行		特殊运行	
计算方法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法
稳定系数	1.236	1.327	—	—	1.039	1.091
规范值	1.20		1.10		1.05	

表 3 尾矿库坝(+2015m) 采取排渗加固措施后
稳定性计算结果

Table 3 The result of stability calculation of the dam after drainage works finished

运行工况	正常运行		洪水运行		特殊运行	
计算方法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法
稳定系数	—	—	1.295	1.382	1.083	1.140
规范值	1.20		1.10		1.05	

从表 3 中可以看出:采取降低浸润线高度措施后,现状下尾矿坝(+2015m)的稳定性在特殊工况下满足规范要求,因此,根据现状情况,需要先对尾矿坝实施:坝体排渗、降低浸润线的措施,才能使尾矿坝的稳定性满足规范要求。

根据加高扩容初步设计,考虑加高坝体 15m,即尾矿坝加高到 +2030m 标高,这时的坝体的稳定系数计算结果见表 4。

表 4 尾矿库坝加高 15m(+2030m 标高)后稳定性计算结果

Table 4 The result of stability calculation of the dam after heightening 15m

运行工况	正常运行		洪水运行		特殊运行	
计算方法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法
稳定系数	—	—	1.243	1.331	1.030	1.086
规范值	1.20		1.10		1.05	

从表 4 中可以看出:加高 15m(+2030m)后,尾矿坝的稳定系数在特殊工况下不满足规范要求,因此,按照规划需要考虑采用块石贴坡的措施进行坝体加固。

在综合分析后,考虑三种块石贴坡的方案,即初期坝块石贴坡,坡度 1:2.5,初期坝坝顶加宽 5.0m,之后,对堆积坝实施块石贴坡反压,贴坡坡度为 1:2.0,宽度为 5.0m,高度分别为:5.0m、10.0m 两种方案,这时坝体的稳定系数见表 5。从表 5 中可以看出:为了使尾矿坝加高达到 15m(+2030m 标高),则先采用坝体排渗,然后实施块石贴坡(高度为 10.0m),这样坝体的稳定性才满足规范要求。

表 5 尾矿库坝加高 15m(+2030m) 块石贴坡后
稳定性计算结果

Table 5 The result of stability calculation of the dam after heightening 15m and rubble pasting the slope

运行工况		洪水运行		特殊运行	
计算方法		瑞典法	毕肖普法	瑞典法	毕肖普法
稳定 系数	初期坝贴坡	1.247	1.349	1.033	1.097
	贴坡 5.0m	1.266	1.376	1.046	1.120
	贴坡 10.0m	1.287	1.401	1.061	1.136
	规范值	1.10		1.05	

4 结论

采用上向弯曲双向槽孔排渗管技术,对新厂沟尾矿坝实施坝体排渗加固后,经过两年多现场监测检验,效果显著。

(1)坝体浸润线的埋深达到了设计要求,且基本保持稳定状态。

(2)原有的坝坡面渗水和沼泽化现象也全部消失,排渗措施效果显著。

(3)坝体稳定性计算结果表明,实施排渗措施后,该尾矿坝的稳定性满足规范要求;进一步采取贴坡措施后,则能满足加高扩容的要求,并到可达预期的堆坝高度。

参考文献:

[1] Shamsai Abolfazl, Ali Pak, Bateni S. Mohyeddin and Ayatollahi S. Amir Hossein. Geotechnical characteristics of copper mine tailings: A case study[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2007, 25(5): 591 – 602.

[2] 尹光志,魏作安,万玲,等. 龙都尾矿库渗流场的数值模拟分析[J]. 岩土力学,2003,24(增 2):25 – 28. YIN Guangzhi, WEI Zuoan, WAN Ling, et al. Numerical simulation analysis about seepage field of Longdu tail bay[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24 (S2): 25 – 28.

[3] 祝玉学,戚国庆,鲁光明,等. 尾矿库工程分析与管理[M]. 北京:冶金工业出版社,1999. ZHU Yuxue, QI Guoqing, LU Zhaoming, et al. Engineering analysis and management in tailings dam [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1999.

[4] 《中国有色金属尾矿库概论》编辑委员会,中国有色金属尾矿库概论[M]. 中国有色金属工业总公司,1992. Editorial Committee of Introduction of Nonferrous Metals Tailings Dam of China. Introduction of nonferrous metals tailings dam of China [M]. Beijing: China National

- Nonferrous Metals Industry Press, 1992.
- [5] 敬小非. 尾矿堆积坝稳定性分析与溃决泥沙流动特性研究[D]. 重庆:重庆大学博士论文,2011.
JING Xiaofei. Study on the flow characteristics of debris flow surging from tailings dam-break and disaster prevention [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [6] Rico M, Benito G, Salgueiro A. R, et al. Reported tailings dam failures—A review of the European incidents in the worldwide context [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 154(3): 846–852.
- [7] 王凤江,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.
WANG Fengjiang, WANG Laigui. Hazards of tail reservoir and its engineering control [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003,14(3): 76–80.
- [8] 付文堂. 槽孔排渗管—一种尾矿坝用新型排渗管[J]. 金属矿山,2009,(增):73–74.
FU Wentang. slot drainage tube—a new type drainage tube for tailings dam[J]. Metal Mine, 2009, (S):73–74.
- [9] 付文堂,李湘滨,李恒军,等. 浅谈尾矿坝排渗管的埋设[J]. 金属矿山,2010,(增):44–46.
FU Wentang, LI Xiangbin, LI Hengjun, et al. Discussion on the burial of drainage tube in tailings dam [J]. Metal Mine, 2010, (S):44–46.
- [10] YIN Guangzhi, LI Guangzhi, WEI Zuoan, et al. Stability analysis of a copper tailings dam via laboratory model tests: A Chinese case study [J]. Minerals Engineering, 2011, 24(2):122–130.
- [11] Rocscience Slide, Scientific Software-2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes. Version 5.0. Rocscience Inc., Canada, 2007.
- [12] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996.
QIAN Jiahuan, YIN Zongze. Principles and calculation on Geotechnics (2nd edition) [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1996.

Application of up-curved two-way hole-slot drainage tube technology into the Xinchanggou tailings dam

YANG Yan¹, TANG Ze-xun², WEI Zuo-an³

(1. Kunming Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co., Ltd. Kunming 650051, China;

2. Liangshan Mining Co., Ltd. Sichuan Liangshan 615146, China; 3. College of Resource and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to meet the mine production needs, after a comprehensive comparison, the Liangshan Mining Company made a decision to continuously heighten the tailings dam of Xinchanggou tailings pond that will soon reach the original design life, which will extend the service life of this tailing pond. During the service of tailings pond, the phreatic surface of tailing dam has been high, and the slope surfaces often have water seepage which caused marsh and partial collapse of slope surfaces. The site survey revealed the shallow phreatic surface of tailing dam. Therefore, before heightening the tailings dam, the excessive high phreatic surface has to be controlled by using some measures. After comprehensive consideration, it was decided to adopt up-curved two-way hole-slot drainage tube technology; three lines of up-curved hole were implemented on the top of first dyke, fifth sub-dam and eighth sub-dam, respectively, and two-way hole-slot drainage tubes were put into the holes for the dam drainage reinforcement. Drainage works have been completed by the end of 2009, after more than two years of the test, through the site check and seepage line observations, the results show that the drainage project are very well, and the tailing dam meets the heightening of the expansion requirements.

Key words: Tailings dam; horizontal drainage; mine safety; stability analysis