doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.05.014

新型排洪方式在尾矿库扩容工程中的应用分析

李道明[1],王明文[2],吴国高[1],罗敏杰[1],肖文璨[1]

(1. 中国瑞林工程技术股份有限公司,南昌 330031;
2. 中国黄金集团江西金山矿业有限公司,江西 德兴 334213)

摘 要:某尾矿库加高扩容采用模袋筑坝工艺,现有排洪设施不能满足扩容后的排洪要求,需要对现有排洪方式进行改造。根据尾矿库扩容方案特点,通过对阶梯式和分区两种排洪方式的比较,从排洪安全、施工难度及工期、运行管理、工程造价等多方面进行分析后,确定采用在库内新建模袋坝上设置钢筋混凝土结构的溢洪道阶梯式排洪。为解决模袋坝上的溢洪道在排洪过程中可能出现不均匀沉降引起的开裂问题,将溢洪道整体设计成多个 Z 型板自由搭接的实用新型结构,能很好地适应模袋坝沉降变形,该实用新型成果可为类似工程的排洪设计提供借鉴。

关键词:尾矿库;扩容;模袋坝;排洪;溢洪道

中图分类号:TD926.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-4172(2022)05-0086-04

Application analysis on new utility drainage mode in tailings pond expansion project

LI Daoming[1], WANG Mingwen[2], WU Guogao[1], LUO Minjie[1], XIAO Wencan[1]

(1. China Nerin Engineering Co., Ltd., Nanchang 330031, China;
2. China Gold Group Jiangxi Jinshan Mining Co., Ltd., Dexing Jiangxi 334213, China)

Abstract: A tailings pond adopts a geofabriform method for raising and capacity expansion, the existing flood control infrastructure can not meet flood discharge requirements after capacity expansion, and the existing flood discharge methods need to be improved. According to characteristics of the tailings pond expansion scheme, through comparison of the stepped and zoned flood discharge methods, and after analysis of the aspects of flood discharge safety, construction difficulty, construction period, operation management, and project cost, it is determined to adopt the stepped flood discharge of spillway with the reinforced concrete structure on new geofabriform dam in the tailings pond. To solve the problem that the spillway on a geofabriform dam may crack due to uneven settlement during flood discharge, the spillway is designed as a practical new structure with multiple Z-shaped plates freely overlapped, which can well adapt to the settlement deformation of the geofabriform dam. The utility model achievements provide a reference for flood discharge design of similar projects.

Key words: tailings pond; capacity expansion; geofabriform dam; drainage; spillway

排洪设施是尾矿库必须设置的安全设施[1],尾矿库的排洪方式选择与筑坝方式密切相关。目前在运行的尾矿库有部分是采用一次建坝成库[2-4],尤其自 2012 年安监总管一[2012]32 号文《关于进一步加强尾矿库监督管理工作的指导意见》要求“新建四、五等尾矿库应当优先采用一次性筑坝方式”以及 2020 年最新发布的《尾矿库安全规程》[5]要求“上游式尾矿库有足够的初、终期库长以及上游式尾矿库库底平均纵坡不得陡于 20%”后,大部分新建四、五等尾矿库采用一次性筑坝的建库方案,排洪方式多以溢洪道为主。这些尾矿库由于库容小、服务时间短,很难满足工矿企业的尾矿堆存需求,受国家相关

收稿日期:2022-05-05
基金项目:江西省重点研发计划项目(20202BBG73001)
作者简介:李道明(1980—),男,硕士,高级工程师,主要从事工(矿)业固体废物贮存、处理处置及环境治理、生态修复方面的工作。

政策以及征地、拆迁等影响,要新建一座尾矿库审批实施的可行性极低,一般会考虑对尾矿库进行扩容以延长服务年限[6-7]。在进行尾矿库扩容设计中,需要结合扩容方案特点以及现有排洪设施综合分析后,提出经济可行、安全可靠的排洪方式。

1　项目概况

某尾矿库采用一次建坝成库,排洪设施主要为溢洪道。该尾矿库建成投入使用后,矿方在库区中段进行放矿,使得尾矿库形成库尾与坝前均有澄清水而库中间为尾砂干滩面的情况。随着企业扩产,尾矿堆存量逐年增加,而尾矿库所剩库容已不多,为此矿方决定对该尾矿库进行扩容以延长服务年限。

根据尾矿库现状情况和筑坝材料的供应量,并结合矿方生产要求,扩容方案采用模袋筑坝方式,利用库内尾砂在干滩面上就地取材,由库尾向坝前分期采用模袋充填尾砂筑坝进行加高[8],与周边自然山体围合形成阶梯式库容。

尾矿库扩容前尾矿坝坝顶高程 120.0 m,最大坝高 33.8 m,总库容约 390×10^4 m^3,为四等库,洪水重现期为 200 a。扩容后尾矿坝最终坝顶高程 140.0 m,总坝高 53.8 m,总库容约 873×10^4 m^3,仍为四等库,但考虑到尾矿库下游有村庄和进矿道路,洪水重现期取为 500 a。

2　排洪方案

2.1　现有排洪方式

现状库内设置了一套排水设施,满足日常尾矿库排水及回水,采用双格斜槽+连接井+排水管。双格斜槽为矩形断面,单格净断面尺寸 1.0 m×1.4 m;连接井内径 3.5 m、高 4.9 m;排水管为圆形断面,内径 2.0 m;斜槽、连接井及排水管均为 C25 钢筋混凝土结构。该套排水系统的泄流能力为 7.4 m^3/s,由于不能完全满足尾矿库防洪标准下的最大下泄流量 10.1 m^3/s,在尾矿库左坝肩位置另设置了一套排洪设施,为永久性溢洪道,溢洪道由进口段、溢流堰、明渠渐变段、陡槽段组成,为 M7.5 浆砌块石结构,该套排洪系统的泄流能力为 6.5 m^3/s,排水设施+排洪设施同时工作,可满足尾矿库防洪标准下的排洪要求。

2.2　扩容排洪方案

尾矿库扩容后,洪水重现期为 500 a,根据调洪演算,要求的最大下泄流量为 41.23 m^3/s,而现有的排洪(水)设施最大泄流能力为 13.9 m^3/s,远不能满足尾矿库扩容后的排洪要求,因此需要对现有排洪设施进行改造。

尾矿库的扩容方案是在库内分期新建模袋坝形成多个分区的阶梯式库容,因此尾矿库扩容后需要考虑分区排洪,而现有的排水、排洪构筑物均设置在坝前,针对此特点,为满足尾矿库扩容后的排洪要求,提出以下两种排洪方案。

方案一:尾矿库扩容后在库内分区之间设置溢洪道形成阶梯式排洪,库内洪水从地势高的分区逐级排至现有尾矿坝前所在分区,再通过现有的排水设施和坝肩溢洪道最终将库内洪水排出库外。由于现有的排水设施在日常运行过程中出现过漏水漏砂现象,且位于库内不适合进行改造,只能对其加固或封堵,而现有的坝肩溢洪道又不能满足扩容后的泄流要求,因此,考虑对现有坝肩溢洪道进行改造,根据地形条件,考虑在现有坝肩溢洪道的左侧增加一座永久溢洪道,构成双溢洪道排洪方案。该排洪方式需要新建两座永久性溢洪道,其中一座设在库内,满足分区之间的排洪,另外一座设在现有尾矿坝的坝肩,布置在现有溢洪道的一侧。根据尾矿库扩容后的分区汇水面积进行计算,库内设置的溢洪道所需最大下泄流量为 32.74 m^3/s,为尽可能增加有效库容提高库容利用率,溢洪道设计成宽浅式,净断面尺寸为 $B\times H$=35 m×1 m,采用钢筋混凝土结构;新增的坝肩溢洪道所需最大下泄流量为 32.39 m^3/s,设计采用驼峰堰,进口段宽 5.0 m、长 8.76 m,后接溢流堰,堰高 0.85 m、宽 5.0 m、长 5.1 m,收缩段为矩形断面,宽度由 5.0 m 过渡到 2.5 m,后接陡槽段+消力井+穿路箱涵,最终接入下游明渠,新增的坝肩溢洪道也采用钢筋混凝土结构。

方案二:尾矿库扩容后除尾矿坝前所在分区外的其他分区在库内新建一套排洪设施,采用排水井+排洪隧洞方式,每个分区形成独立的排洪区域,同时考虑对现有排水设施进行加固或封堵。该排洪方式需要在库内新建一座排水井,再新建一条排洪隧洞与之相接,形成库内排洪系统,根据洪水计算结果,设计排水井采用八柱框架式圆型结构,井身内径 4.0 m、外径 4.5 m,井架高 18 m,井座内径 3.5 m、高 6.0 m。排洪隧洞设计采用城门洞型,净断面尺寸为 $B\times H$=3.0 m×3.5 m,长 712 m,全线考虑钢筋混凝土进行衬砌。

以上两种排洪方案的比较具体详见表 1。

表 1 某尾矿库扩容工程排洪方案比较表

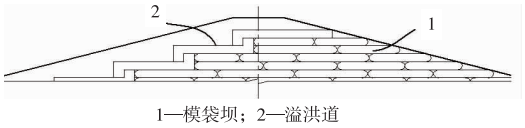
Table 1 Comparison of drainage schemes of a tailings pond expansion project

排洪方案	排洪方式	排洪特点	造价/万元
一	阶梯式排洪,需要新建两座永久性溢洪道,其中一座设置在库内,另一座设置在坝肩,布置在现有溢洪道一侧。	逐级联合排水,最终通过溢洪道排洪,保证率高;施工简单,工期短,对生产无影响,回水有利,运行管理方便;但库内水位不好控制。	640
二	分区排洪,需要在库内新建一套排洪系统,采用排水井+排洪隧洞。	分区独立排洪,库内通过排水井+排洪隧洞进行排洪,保证率相对不高,施工复杂风险大,工期长,对生产有影响,运行管理不便;但库内水位相对好控制。	1 390

根据表 1 可以看出,阶梯式排洪是通过设置溢洪道逐级联合排洪,而分区独立排洪需要在库内设置排水井+排洪隧洞进行排洪,由于排水井井座基础、拱圈盖板质量等要求高,而且在运行过程中易被木头、树枝等杂物堵塞,国内已发生过多起因尾矿库排水井问题引起的安全及环境污染事件[9-12],因此,阶梯式排洪方式相对可靠性高,尾矿库防洪安全风险较低;该尾矿库已运行多年,库内排入的尾砂比较厚且为湿排尾矿库,排水井和排洪隧洞施工难度非常大,施工质量及安全难以得到保证,工期也比较长,对企业生产会造成一定的影响;排水井在运行过程中需要根据库内排尾以及水位情况人工去操作增加或拆卸盖板,运行管理复杂且不方便;采用分区独立排洪所需的排洪隧洞断面较大,总长超 700 m,全断面衬砌,并考虑到在已排尾砂的库内施工排水井措施费用高,总的工程造价明显高于采用阶梯式排洪新建两座溢洪道。从排洪安全、施工难度及工期、运行管理以及工程造价等方面分析,再考虑到该尾矿库是矿山企业正在使用的唯一尾矿库,施工过程中不能影响企业生产,综合以上,推荐方案一即采用阶梯式排洪方式,分别在库内新建模袋坝上和已有尾矿坝肩设置溢洪道。

2.3 溢洪道结构设计

在推荐的排洪方案中,需要在尾矿库内新建永久性溢洪道,以满足逐级联合排水要求。由于溢洪道采用钢筋混凝土结构,通常的做法是考虑开挖山体作为基础再现浇钢筋混凝土形成溢洪道,但本尾矿库扩容,为提高有效库容,溢洪道采用宽浅式,断面宽度达 35 m,这样开挖量非常大且现场地形条件很难满足,因此,设计考虑将溢洪道设置在模袋坝上。但由于模袋坝是采用库内的尾砂充填模袋形成的柔性坝体,坝基为尾砂面,沉降变形特别是初期相对比较大,如果采用常规的结构设计容易产生开裂,为此,需要对溢洪道结构进行优化设计,考虑将常规的溢洪道整体结构设计成多个 Z 型板,Z 型板间根据自身结构上下进行自由搭接,并采用止水带水平固定连接。该溢洪道结构实现难度小,自身强度高,适应变形能力强,具有良好的应用效果。中国瑞林工程技术股份有限公司针对该溢洪道结构已申请了《一种尾砂充填模袋筑坝溢洪道装置》实用新型专利[13]。该尾矿库扩容工程现已竣工验收投入使用多年,目前尾矿库排洪正常,库内模袋坝上的永久溢洪道结构未出现大的开裂,运行正常。图 1 为模袋坝上设置的溢洪道剖面图,图 2 为模袋坝上设置的溢洪道使用效果。



1—模袋坝; 2—溢洪道

图 1 模袋坝上设置的溢洪道剖面图

Fig. 1 Profile of spillway set on geofabriform dam

图 2 模袋坝上设置的溢洪道使用效果

Fig. 2 Using effect of spillway set on geofabriform dam

3 结论

在进行尾矿库扩容工程设计时,需要结合扩容方案、现有排洪方式以及施工工期等多因素综合考虑,因地制宜地提出安全可靠、经济可行的排洪方式。对于采用模袋筑坝的阶梯式排洪方式,在模袋坝上设置溢洪道,可避免开挖山体及占地等问题。溢洪道采用新型结构设计适应坝体沉降变形,解决了模袋坝上设置钢筋混凝土结构的溢洪道容易出现

开裂的问题,为矿山企业赢得了尾矿库扩容的时间和效益,创造了实实在在的价值,具有推广的意义。

参 考 文 献

[1] 田文旗,薛剑光.尾矿库安全技术与管理[M].北京:煤炭工业出版社,2006:32.
TIAN Wenqi,XUE Jianguang. Tailing pond safety technology and management[M]. Beijing:Coal Industry Press,2006:32.

[2] 王立彬,魏诚,黄粤鑫,等.某尾矿库一次性筑坝技术研究[J].现代矿业,2020,36(5):91-93,133.
WANG Libin,WEI Cheng,HUANG Yuexin,et al. Research on one-time dam construction technology in a tailings pond[J]. Modern Mining,2020,36(5):91-93,133.

[3] 刘瀚和.某尾矿坝稳定计算成果合理性分析[J].有色金属(矿山部分),2017,69(1):75-76.
LIU Hanhe. Rationality analysis of a tailings dam stability calculation results[J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2017,69(1):75-76.

[4] 李瑞鸿,袁子有,李跃强.某大型铁矿尾矿库一次性筑坝技术[J].现代矿业,2015,31(5):214-217.
LI Ruihong, YUAN Ziyou, LI Yueqiang. One-time dam construction technology of a large iron ore tailings pond[J]. Modern Mining,2015,31(5):214-217.

[5] 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会.尾矿库安全规程:GB 39496—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
State Administration of Market Supervision, National Standardization Management Committee. Safety regulation for tailings pond: GB 39496—2020[S]. Beijing: China Standards Press,2020.

[6] 张文学,王孟来.某尾矿库模袋法筑坝与加高扩容坝体稳定性分析[J].中国钨业,2020,35(1):13-17.
ZHANG Wenxue,WANG Menglai. Stability analysis based on geofabriform method and raising and expanding volume of a tailings dam[J]. China Tungsten Industry,2020,35(1):13-17.

[7] 朱远乐,唐绍辉,陈星,等.尾矿库加高扩容工程对底部巷道稳定性影响研究[J].有色金属(矿山部分),2018,70(5):86-90,94.
ZHU Yuanle,TANG Shaohui,CHEN Xing,et al. Study on the influence of the heightening project of tailings dam on the stability of bottom roadway[J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2018,70(5):86-90,94.

[8] 李道明,沈楼燕,唐笑.模袋充砂筑坝技术在尾矿库扩容工程中的应用[J].有色冶金设计与研究,2013,34(5):12-14.
LI Daoming, SHEN Louyan, TANG Xiao. Application of technology of dam construction by fabric form sand-filling in tailings storage expansion project[J]. Nonferrous Metals Engineering & Research,2013,34(5):12-14.

[9] 刘晓峰.尾矿库排洪系统失事后处置措施分析[J].有色冶金设计与究,2021,42(4):51-53.
LIU Xiaofeng. Analysis of disposal measures after the accident of flood discharge system in tailings pond[J]. Nonferrous Metals Engineering & Research,2021,42(4):51-53.

[10] 邴永鑫,卓琼芳,黄大伟,等.某尾矿库泄漏次生突发水环境锑污染事件的应急处置[J].环境工程学报,2021,15(9):2888-2894.
BING Yongxin, ZHUO Qiongfang, HUANG Dawei, et al. Emergency disposal of a sudden water environmental accident with antimony pollution caused by leakage of tailings pond[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2021,15(9):2888-2894.

[11] 洪松,孙海洋,冯锐."事事明"软件在尾矿库排水井安全管理中的应用[J].有色金属(矿山部分),2019,71(5):114-119.
HONG Song,SUN Haiyang,FENG Rui. Application of blog manage system on safety management of overflow wells in tailings ponds[J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2019,71(5):114-119.

[12] 刘瀚和,赵自越.尾矿库排水井盖板失事的原因及对策[J].有色冶金设计与研究,2019,40(1):4-6.
LIU Hanhe, ZHAO Ziyue. The cause and countermeasure oftailings pond drainage wells cover failure[J]. Nonferrous Metals Engineering & Research,2019,40(1):4-6.

[13] 李道明,吴国高,胡虎.一种尾砂充填模袋筑坝溢洪道装置:201520350712.6[P].2015-11-18.
LI Daoming,WU Guogao,HU hu. A spillway device on dam construction by fabric form sand-filling:201520350712.6[P]. 2015-11-18.

(编辑:郭文晶)