

基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统

胡祥群, 郑学鑫

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文提出了一种基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统,以三维扫描仪为测量手段,实现集尾矿分级和筑坝过程精细化管理、应急指挥和辅助救援于一体的综合化管理。既有利于尾矿坝安全和降低尾矿分级和筑坝成本,又为尾矿坝应急救援、排险加固等提供了强有力的支撑。

[关键词] 三维扫描仪; 中线式尾矿筑坝; 尾矿分级; 应急救援

[中图分类号] TD926.4

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)06-0047-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.06.010

0 背景

尾矿库是指利用山区沟谷或者利用平地建筑围堤坝形成库容,用以堆存金属或非金属矿山选矿后排出矿渣的场所^[1]。尾矿库是一个具有高势能的人造泥石流危险源,存在溃坝危险,一旦失事,容易造成重特大安全和环保事故^[2]。尾矿坝作为尾矿库的主体工程,其稳定性是关系尾矿库能否正常运行的关键因素之一。

目前,根据堆积子坝的坝顶轴线推移方向,可以将尾矿坝的筑坝方法分为上游式尾矿筑坝法、下游式尾矿筑坝法和中线式尾矿筑坝法^[3]。

上游式尾矿筑坝法:在初期坝上游方向堆积尾矿的筑坝方式^[4]。上游式尾矿筑坝法具有工艺简单,操作方便,基建投资少,经营费低等优点,是我国目前广泛应用的尾矿坝建筑方法。但是,上游式尾矿筑坝法容易形成复杂的、混合的坝体结构,坝体内易形成细颗粒透晶体、浸润线较高,从而容易引起坝体渗透破坏或滑坡,尤其是在地震作用下易发生液

化破坏。

下游式尾矿筑坝法:在初期坝下游方向用旋流器分离粗尾砂的筑坝方式^[4]。下游式尾矿筑坝法具有粗砂筑坝、渗透性强、稳定性好等优点,但是需要使用大量的粗粒尾矿,容易出现粗粒尾矿量不足的问题。

中线式尾矿筑坝法:在初期坝轴线处用旋流器分离粗尾砂的筑坝方式^[4]。中线式尾矿筑坝法所建筑的坝体,其坝型介于上游式尾矿筑坝法和下游式尾矿筑坝法之间,其坝体的抗震稳定性也介于上游式与下游式尾矿筑坝法之间,但其坝体上升所需的粗粒尾矿要比下游式尾矿筑坝法少,筑坝费用也比下游式尾矿筑坝法低。

综合上述,下游式或者中线式尾矿筑坝方法具有粗砂筑坝、渗透性强、稳定性好等优点^[5],在高震区有优势,《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013)也提倡地震设防烈度为8度~9度地区采用下游式或者中线式尾矿筑坝^[4],而中线式尾矿筑坝方法所需的粗尾矿比下游式尾矿筑坝方法少,筑坝成本较低。因此,中线式尾矿筑坝方法具有广泛的应用前景,尤其是高震地区。

中线式尾矿筑坝管理的关键是砂量平衡的管理,即排往坝外坡的旋流器分离的粗尾砂与排往库内的细尾砂两者需平衡,使得尾矿坝各阶段坝顶上升速度满足库内尾砂沉积滩面的上升速度^[5]。目前,尚没有一种成熟的管理方法用来实时监测和指

[收稿日期] 2021-05-19

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2017YFC0804600)

[作者简介] 胡祥群(1982-),女,湖南岳阳人,高级工程师,硕士,主要从事尾矿工程咨询设计与研究工作。

[引用格式] 胡祥群,郑学鑫.基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统[J].有色设备,2021,35(6):47-51.

导中线式尾矿筑坝,使得中线式尾矿筑坝管理过程中容易混乱,容易出现分级粗尾砂过多不经济或分级粗尾砂不足而影响筑坝安全、坝外坡局部欠砂不利于局部边坡的稳定、子坝堆筑过早不利于边坡稳定、子坝堆筑滞后影响尾矿库防洪安全的不良后果^[6]。因此,需要寻求一种新的用于中线式尾矿筑坝的管理系统,为中线式尾矿筑坝日常管理提供实时监测和指导。

与此同时,缘于我国尾矿库数量之多,且随着城镇化进度加快,尾矿库距离人口居住区越来越远,一旦发生溃坝或者尾矿渗漏,将会严重影响到下游人民的生命财产安全,对周边环境造成极大的负面影响,尾矿库监测预警应急信息化管理方面近年来也逐渐被重视。传统的尾矿库在线监测系统侧重尾矿库数据的采集、管理和展示,无法满足尾矿库应急救援需求,在险情发生时往往已经瘫痪,无法发挥监测系统辅助应急救援的作用^[7]。因此,需要寻求一种新的中线式尾矿坝应急救援系统,当险情发生时,可以集成丰富的地面监测数据、影像等,为尾矿库应急救援构建一个抗干扰性强、性能稳定、反映迅速的综合信息化系统。

1 系统概况

提出一种基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统,该系统以三维激光扫描仪为测量手段,实现集尾矿库正常运行时的尾矿分级和筑坝过程精细化管理、险情发生时的应急指挥和辅助救援于一体的综合化管理。

日常管理过程中,结合三维激光扫描仪与中线式尾矿筑坝砂量平衡原理,参照中线式尾矿分级筑坝计划,实时对比通过扫描仪获得的实际坝体三维地形与设计规划的坝体三维图形,分析尾矿粗砂欠缺情况,优化后续尾矿分级和筑坝过程,避免出现分级粗尾砂的浪费或不足、子坝堆筑过早或滞后的现象^[6]。

险情发生时,以三维激光扫描仪为观测手段,保证在最危急的时刻,应急救援系统能够获得第一线的数据,并提供辅助性应急指挥,为尾矿坝应急救援、排险加固等提供强有力的支撑。

2 三维扫描仪

三维激光扫描技术又被称为实景复制技

术^[8-9],是测绘领域继 GPS 技术之后的一次技术革命^[10]。三维激光扫描的主动性和非接触性测量系统,采用高速激光测量获取目标物表面三维点云数据的方式,来快速获取三维坐标 (X, Y, Z) ,为特殊环境条件下的工程监测提供了一种新的量测方案^[11-13]。目前,三维激光扫描技术已广泛应用于工程测量、变形监测、古建筑和文物修复、数字智慧城市建设等领域^[14-16],并且国外学者在捕获海底图像、农田土壤侵蚀测量等复杂环境领域也成功进行了应用。它突破了传统的单点测量方法,具有高效率、高精度的独特优势。三维激光扫描技术能够提供扫描物体表面的三维点云数据,因此可以用于获取高精度高分辨率的数字地形模型^[17]。

日常管理过程中,通过三维激光扫描仪及配套软件实时获取中线式尾矿坝坝顶标高、沉积滩标高、下游累积粗砂量和欠砂区域,为下一步尾矿分级和筑坝精细化管理提供依据。

险情发生时,通过三维激光扫描仪及配套软件第一时间获取坝体变形区域的位置和范围,全面掌控事态发展趋势,保证应急救援工作迅速有序高效开展。

3 筑坝管理系统

3.1 技术方案

根据中线式尾矿分级筑坝砂量平衡原理,制作尾矿分级筑坝计划图,从该图上能查出任意堆坝坝顶标高时库内尾矿沉积滩标高、下游累积需要粗砂量和对应的累积排放尾矿时间,这个计划图作为中线式尾矿筑坝管理的准绳。尾矿库实际运行过程中,根据三维激光扫描仪测算的实际库内尾矿沉积滩标高、实际下游累积粗砂量,和查得的实际累积尾矿排放时间,对照尾矿分级筑坝计划图,查算出目前堆坝坝顶标高下,尚需下游粗砂量和允许的排放尾矿时间,从而得到需要的日均粗砂产量,据此确定后续尾矿分级计划,并调整旋流器设备的运行数量。其间,根据下一级子坝施工工期,可反推出堆筑下一级子坝的起始时间。

3.2 实施方式

中线式尾矿分级筑坝坝体横剖面示意图如图 1 所示,图中: H 为某堆坝坝顶标高, H_0 为某堆坝坝顶标高 H 下实际库内尾矿沉积滩标高, H_1 为某堆坝坝顶标高 H 下最终库内尾矿沉积滩标高, W_0 为某堆坝

坝顶标高 H 下实际下游累积粗砂量, ΔW 为某堆坝坝顶标高 H 下尚需粗砂量。

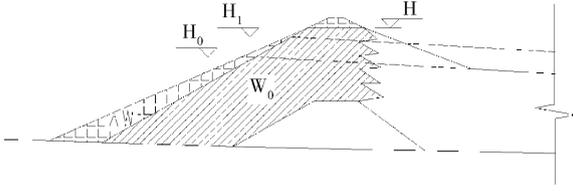
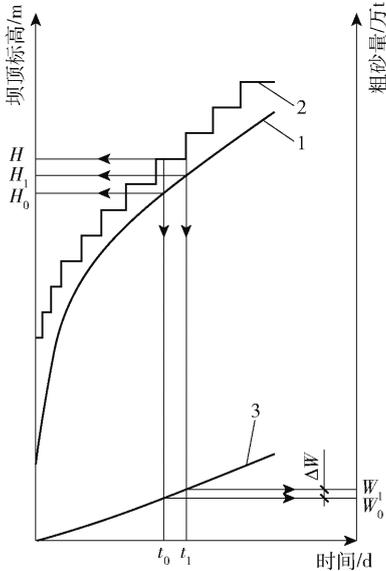


图1 中线式尾矿分级筑坝坝体横剖面示意图

根据中线式尾矿分级筑坝横剖面和中线式尾矿分级筑坝砂量平衡原理,制作中线式尾矿分级筑坝计划示意图,如图2所示。



1. 库内尾矿沉积滩标高线 2. 设计堆坝坝顶标高线 3. 下游累积需要粗砂量曲线 W_1 . 某堆坝坝顶标高 H 下最终需要下游累积粗砂量

图2 中线式尾矿分级筑坝计划示意图

中线式尾矿分级筑坝管理流程如图3所示,图中: t_0 为某堆坝坝顶标高 H 下实际累积排放尾矿时间, t_1 为某堆坝坝顶标高 H 下最终累积排放尾矿时间, t 为堆筑下一级子坝的施工工期, t_a 为堆筑下一级子坝的起始时间, m_0 为实际每日生产粗砂量, m_1 为调整后的每日生产粗砂量。

具体实施方案为^[6]:根据图2,查得 W_1 、 H_1 、 t_1 。根据三维激光扫描仪测得 H_0 ,再由图2查得 t_0 。根据三维激光扫描仪和配套软件测算得 W_0 。计算 m_1 :

$$m_1 = \frac{W_1 - W_0}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

将 m_1 与 m_0 对比,调整后旋流器设备的运行

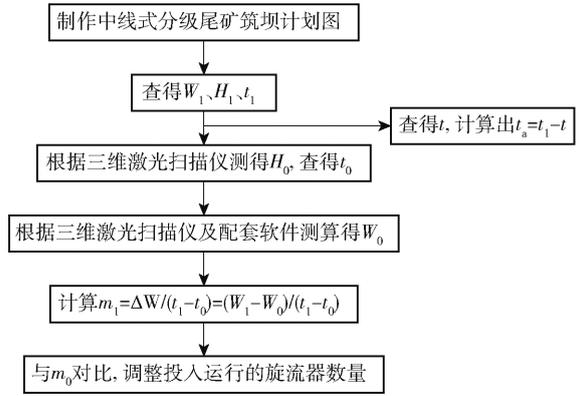


图3 中线式尾矿分级筑坝管理方法流程图

数量。

其间,根据 t ,计算出 t_a :

$$t_a = t_1 - t \quad (2)$$

3.3 有益效果

一种新的中线式尾矿筑坝管理系统,在中线式尾砂筑坝管理过程中,实时、精准、快捷地测算出实际粗砂量与设计所需粗砂量之间的差距,再结合排放尾矿时间,指导和调整后续尾矿分级和子坝堆筑,该管理方法贯穿于中线式尾砂筑坝的整个生命周期,使得中线式尾矿筑坝管理有章可循,避免了出现分级粗尾砂量的浪费或不足、子坝堆筑过早或滞后的不良现象,具有良好的经济效益,同时为中线式尾砂筑坝提供了安全保障。

4 应急救援系统

4.1 技术方案

借助三维激光扫描仪和配套软件测量计算出坝体表面位移,结合其他监测项(浸润线埋深、干滩、库水位、降雨量等),通过数据预处理对多角度、多层次的数据进行有序存储和过滤,使得准确有效的监测数据送到计算和安全评价模块,评估出尾矿库安全状态,一旦通过监测数据的趋势发现未来有险情发生可能时,启动联动报警和预案管理流程,指挥中心通过在线监测系统获得现场监测数据和影像资料,实时全面准备地掌握险情状态和发展趋势,以确定救援方案,保证应急救援工作迅速有序高效开展。

4.2 实施方式

根据中线式尾矿筑坝应急救援技术方案,构建在线监测及应急指挥拓扑图,如图4所示,拓扑图由四个模块组成,分别为监测模块、计算模块、评价模

块和应急指挥模块。

监测模块完成数据监测、采集和预处理任务,实现尾矿库全方位监测,监测内容有坝体内部位移、坝体表面位移、浸润线、干滩长度和安全超高、库水位、降雨量、视频等,其中三维扫描仪负责坝体表面位移观测,仪器支架安装在地基稳固、没有滑坡倾向的山体处,以防险情发生时设备失灵。

计算模块^[8]完成数据存储、模型和计算、统计和整理任务,将准备有效的数据传递给评价模块和供指挥中心调用。

评价模块^[8]根据各监测数据、趋势分析,对尾矿库安全性进行综合评价,得出结论。

应急指挥模块^[9]包括报警预案、指挥中心和工业现场三部分,报警预案是指评价得出尾矿库有险情时,自动启动报警程序,通过电话、短信、邮件、铃声、灯光等方式告知工作人员报警,同时启动应急预案程序。指挥中心根据现场险情状况和发展趋势,制定应急救援方案,指挥调度应急物资和资源。

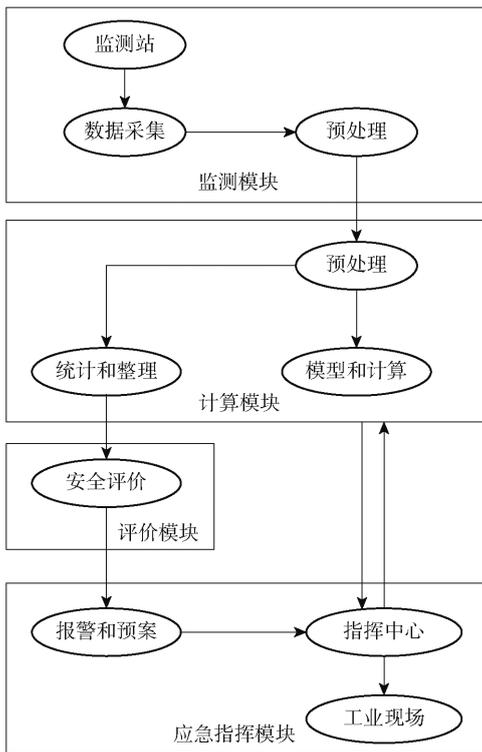


图4 在线监测及应急指挥拓扑图

4.3 有益效果

一种新的中线式尾矿坝应急救援系统,弥补传统在线监测系统的不足,启用三维扫描仪对坝体表面位移实施观测,结合其他在线监测项,构建一个抗

干扰能力、性能稳定性、反映速度相对较好的综合信息化系统,当险情发生时,为尾矿库应急救援提供强有力的保障。

5 结论和建议

(1)本文提出了一种基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统,以三维激光扫描仪为测量手段,实现集尾矿库正常运行时的尾矿分级和筑坝过程精细化管理、险情发生时的应急指挥和辅助救援于一体的综合化管理。

(2)结合三维激光扫描仪与中线式尾矿筑坝砂量平衡原理,参照中线式尾矿分级筑坝计划,构建中线式尾矿筑坝管理系统,实时对比分析坝体实际填筑与设计填筑的差别,以优化后续尾矿分级和筑坝过程,实现中线式尾矿筑坝精细化管理,有利于尾矿坝安全和降低尾矿分级和筑坝成本。

(3)利用三维扫描仪对坝体表面位移实施观测,结合其他在线监测项,构建中线式尾矿坝应急救援系统,险情将发生或发生时,应急救援系统获得第一线数据,并提供辅助性应急指挥,为尾矿坝应急救援、排险加固等提供强有力的支撑。

(4)中线式尾矿筑坝方法下游坝采用粗砂堆筑,透水性较强,有利于坝体稳定,在高震区优势明显,本文提出的基于三维扫描仪的中线式尾矿筑坝管理和应急救援系统能较好地帮助矿山企业管理中线式尾矿坝最关键的砂量平衡问题,当险情将发生或发生时,能提供辅助应急指挥,为应急救援提供强有力的支撑,建议在类似工程中可以借鉴使用。

[参考文献]

[1] 袁永强. 第Ⅱ类尾矿库环保防渗系统设计探讨[J]. 金属矿山, 2016(5): 178 - 182.
 [2] 黄荣南. 浅谈构建我省尾矿库安全管理长效机制的途径[J]. 安全与健康, 2009(9): 34 - 35.
 [3] 《尾矿设施设计参考资料》编写组. 尾矿设施设计参考资料[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
 [4] GB 50863—2013, 尾矿设施设计规范[S].
 [5] 杨春福. 中下游式尾矿坝设计概要[J]. 中国矿山工程, 1999(3): 33 - 36.
 [6] 郑学鑫, 胡祥群, 唐雅婧, 等. 用于中线式尾矿筑坝的管理方法、装置、设备及介质[P]. 中国: CN108759660B, 2020. 4. 28.
 [7] 张达, 张晓朴, 杨小聪. 尾矿库在线监测及应急指挥系统关键技术及工业应用[J]. 矿冶, 2011, 20(2): 20 - 25.

- [8] 战凯,陈凯,张达. 三维激光扫描技术在采空区群探测中的应用[J]. 矿业研究与开发,2016,36(2):24-27.
- [9] YUE Depeng, WANG Jiping, ZHOU Jinxing, et al. Monitoring slope deformation using a 3-D laser image scanning system; a case study[J]. Mining Science and Technology, 2010,20(6):898-903.
- [10] 徐云乾,袁明道,刘建文,等. 地面三维激光扫描技术及其在水利工程中的应用[J]. 广东水利电力职业技术学院学报,2016,14(1):13-16.
- [11] 杨必胜,梁福逊,黄荣刚. 三维激光扫描点云数据处理研究进展、挑战与趋势[J]. 测绘学报,2017,46(10):1509-1516.
- [12] MAALEK R, LICHTI D, RUWANPURA J. Robust segmentation of planar and linear features of terrestrial laser scanner point clouds acquired from construction sites[J]. Sensors,2018,18(3):819.
- [13] 陈西江,张小平,章涛,等. 利用误差熵确定激光点云变形可监测指标[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2018,43(11):1681-1687.
- [14] 谢卫明. 高浊度河口潮滩动力地貌过程及植被影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2018.
- [15] 傅咏冬. 无人机和地面三维激光扫描仪在1:500城市基本地形图测绘中的应用[J]. 测绘工程,2018,27(5):77-80.
- [16] INDIRABAI I, NAIR M H, JAISHANKER R N, et al. Terrestrial laser scanner based 3D reconstruction of trees and retrieval of leaf area index in a forest environment[J]. Ecological Informatics,2019(53):100986.
- [17] 杜江丽,岳军红,陈建平,等. 基于三维激光扫描仪的矿区边坡变形监测数据的分析处理[J]. 矿业安全与环保,2021,48(1):75-79.
- [18] 曾群伟,谢殿荣,苏举端,等. 尾矿库溃坝的安全监测[J]. 工业安全与环保,2010,36(1):44-46.
- [19] 李忠奎,廖国礼. 尾矿库溃坝监测预警系统设计研究[J]. 有色金属(矿山部分),2008(6):33-35.

Management and Emergency Rescue System for Tailings Dam with Centerline Embankment Based on 3D Scanner

HU Xiang-qun, ZHENG Xue-xin

Abstract: A management and emergency rescue system for tailings dam with centerline embankment based on 3D scanner is put forward in this paper. With 3D scanner as the measuring device, refined management on tailings classification and embankment process, and integrated management on emergency command and rescue can be realized. The system can enhance the safety of tailings dam, reduce cost of tailings classification and embankment, and serve as strong support to tailings dam emergence rescue, risk elimination and reinforcement, etc.

Key words: 3D scanner; centerline embankment for tailings dam; tailings classification; emergency rescue

