

# 尾矿库溃坝的安全监测

曾群伟 谢殿荣 苏举端 袁梅

(中国地质大学工程学院, 岩土钻掘与防护教育部工程研究中心 武汉 430074)

**摘要** 通过尾矿库溃坝事故的原因分析, 提出将浸润线、防洪容量、坝体位移和降雨量作为尾矿库监测预警系统的监测指标, 详细分析监测指标的设置、原理、功能及预警, 实现尾矿库主要安全指标的在线自动监测, 为预测尾矿库的运行状况提供了有力的保障。

**关键词** 尾矿库 溃坝 监测 监测系统

## Risk Analysis of Dam Failing of the Tailings Reservoir

ZENG Qunwei XIE Dianrong SU Juduan YUAN Mei

(School of Engineering, China University of Geosciences, Engineering Research Center of Rock - Soil Drilling & Excavation and Protection, Ministry of Education Wuhan 430074)

**Abstract** This paper analyzes the causes of dam failing, chooses the factors of phreatic line, flood storage capacity, dam's displacement, rainfall as the monitoring indexes and specifically discusses the establishment, principle, function and early warning of monitoring index. Finally the on-line continuous safety monitoring is realized to forecast the risk of the tailings reservoir.

**Key Words** tailings reservoir dam failing monitoring monitoring system

## 0 引言

尾矿库是指筑坝拦截谷口或围地构成的, 用以堆存金属或非金属矿山矿石选别后排出尾矿或其他工业废渣的场所, 是维持矿山进行正常生产的必要设施, 同时也是矿山的重大危险源之一<sup>[1]</sup>。我国现有一定规模的尾矿库超过 8 000 座, 每年排出尾矿近 3 亿 t, 需要耗水 3.5 亿 t。据专家估计<sup>[2]</sup>, 在这些尾矿库中正常运行的库不足 70 %。有的行业大约 44 % 的库处于险、病、超期服务状态。这是一个巨大的潜在隐患。世界范围的统计数字表明, 尾矿库事故的危害在世界各种事故、公害的隐患中排到第 18 位<sup>[3]</sup>, 仅次于地震、霍乱、洪水和氢弹爆炸等灾害。

近年来我国也发生了一系列的尾矿库事故, 给国家、企业及广大人民的生命财产造成了巨大的损失, 给社会带来极坏的影响, 严重地影响了社会的稳定及经济的可持续发展。尾矿引发的事故呈现上升的趋势, 这对安全工作来说是一项严重的挑战。

## 1 溃坝的原因分析

查阅相关文献资料, 尾矿库存在的风险与下列因素有关: 地形条件, 地质条件, 筑坝高度与长度, 排放量, 操作条件等。这些因素引起的尾矿事故类型也是多种多样的。因此, 需要找出事故因素之间的联系, 既要防范重点, 又要顾及全局。在监测指标的选取上应尽可能多地反映事故的发生因素, 从而有利于尽快发现事故隐患。本文着重分析尾矿库溃坝事故的监测。

尾矿库一旦发生溃坝事故就会引起滑坡泥石流等重大灾害, 造成巨大的伤亡及财产损失。造成溃坝的直接原因可以分为以下几个方面:

(1) 坝体自身失稳造成的溃坝。由于坝体在规划、设计时不按标准, 施工过程中偷工减料等因素造成坝的承载力变小, 形成疲劳、过负荷等造成溃坝事故的发生。

(2) 洪水或排(泄)洪不利造成的溃坝<sup>[4]</sup>。尾矿库必须设置排洪设施, 并满足防洪要求。尾矿库的排洪方式, 应根据地形、地质条件、洪水总量、调洪能力、回水方式、操作条件与使用年限等因素, 经过技术比较确定。尾矿库宜采用排水井(斜槽)一排水管(隧洞)排洪系统, 有条件时也可采用溢洪道或截洪沟等排洪设施。排洪设施是尾矿库必须设置的安全设施, 其功能在于将汇水面积内洪水安全地排至库外, 它的安全性和可靠性直接关系到尾矿库防洪安全。当暴雨来临时, 尾矿库的水位会急剧上涨, 这时尾矿库就会因泄洪能力不足、超标洪水、排洪设施损坏或淤堵等原因发生溃坝事故。

(3) 坝体周围环境等因素造成的溃坝。尾矿库附近的非法开采以及周边非法采矿企业的胡乱排放也会造成尾矿库溃坝事故。

(4) 监测管理不力造成的溃坝。根据事故致因理论, 事故发生的早期都是有征兆的, 如果在征兆时期及时发现并恰当处理, 使事故在萌芽期被消灭, 就可避免溃坝事故的发生。

## 2 监测指标的确定

美国谢泼德·米勒公司项目经理斯特拉牵对 1994 年美国大型坝体学会(USCOLD)尾矿坝分会调查报告中所所述的尾矿坝事故进行了评价, 并结合美国环境及计划署(UNEP)最新的尾矿坝事故调查进行对比分析得出事故数量与事故原因的关系<sup>[5]</sup>。查阅文献资料可以看出, 坝体边坡稳定性、漫顶和渗流等是溃坝事故发生的主要原因, 应对其进行重点观测。边坡稳定性可通过观测坝体的位移、浸润线高度、孔隙

水压力及渗流等来反映。漫顶可以通过观测库水位、干滩高程和降雨量等来反映。相关技术指标在《尾矿库安全技术规程》中都作了明确规定。浸润线、调洪能力(通过测量库水位和干滩高程间接获得)、坝体位移等技术指标是检验尾矿库安全的重要技术指标。其他指标如入库流量、渗流、坝坡基础等能通过以上指标体现。因此,在监测过程中选择浸润线、防洪能力、坝体位移和降雨量作为尾矿库监测预警系统的监测指标。由此建立的监控系统包括:浸润线、防洪能力、坝体位移和降雨量监测电路,智能巡检系统,可工业电视监控系统和红外线报警等部分,如图1。

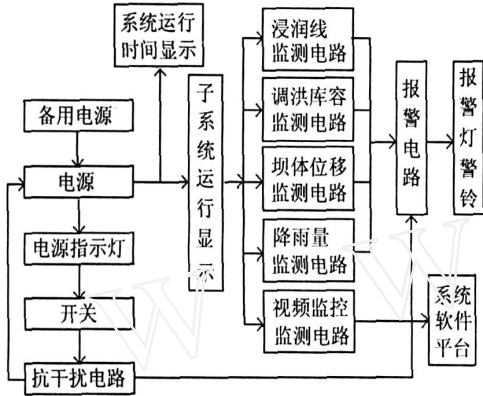


图1 监测系统

### 2.1 浸润线监测电路

尾矿坝的坝体和坝基层总是透水的,当上游式尾矿坝坝体挡水时,在上下游水位差的作用下,水流将通过坝身和坝基(包括两岸)向下游渗透,渗透的水流在坝体内的自由水面,叫浸润面,它与垂直坝轴线的剖面交线称为浸润线<sup>[4]</sup>。系统实时自动测量坝体浸润线标高。根据技术分析需要,绘制监测点孔隙水压力历史曲线图及浸润线深度,并对浸润线超出设定或发生突变时及时给出预警、预报。

### 2.2 调洪库容监测电路

调洪库容是通过测量库水位和干滩高程间接获得的。库水位是尾矿库在某一时间的自由水面的高程。干滩也叫沉积滩,干滩指标包括沉积滩滩顶高程、滩前某处的特征高程。

系统实现实时、自动监测尾矿库库水位,测量误差小于20 mm,符合尾矿库技术规程的要求。实时测量尾矿库滩顶高程、特征高程,测量误差小于20 mm。计算调洪库容,绘制库水位历史曲线图、干滩变化历时曲线图、调洪库容历时曲线图。

### 2.3 坝体位移监测电路

坝体形变是尾矿坝在某一时间段内发生的位移速度比较缓慢的向水平方向、垂直方向沉降的变形。由于溃坝形式有浅层滑动、深层滑动和整体滑动等多种形式,因此,设置坝面位移和坝内位移监测,形成坝体空间位移监测网络。系统采用GPS监测坝体表面位移,利用光纤位移传感器进行内部位移监测。系统实现历史数据图表分析,位移超限自动报警。

### 2.4 降雨量监测电路

通过雨量计自动获取雨量数据,以及根据降雨量的情况

预测库水位发展变化趋势,绘制历史曲线图。

### 2.5 报警系统

报警系统包括声、光2种报警方式,见图2。

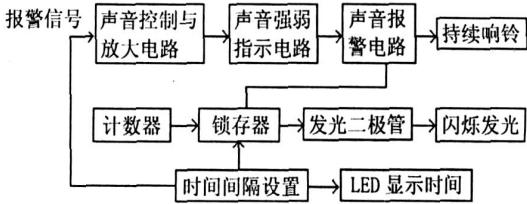


图2 报警系统

时间间隔为报警持续时间间隔,若未设置,则令其默认值为1 min。各个子系统均有报警系统,将各个报警装置放置在统一位置并加以标记,这样当某个子系统发生故障时通过总台可以很方便地观察到。LED显示时间以min为单位,选择2位LED数码管显示,可设置0-60 min。在管理室无人的时候可以适当增大报警时间以引起注意。

### 2.6 视频监控器<sup>[6]</sup>

在尾矿库安全监测系统中,为了实时掌握尾矿库运行状况,通常在溢水塔、滩顶放矿处、坝体下游坡等重要部位设置视频监测设备,以满足准确清晰把握尾矿库运行状况的需要。对监控区域300 m或更大范围内进行全网总体观察和局部重点观察。图像可以根据系统预定的时间在设置好的终端上显示,并能自动切换,显示不同监控点的图像,可以单一画面或多画面同时显示。通过计算机控制,可以对观察的画面进行调整,得到满意的图像效果;对监控的图像可以录像保存。

### 3 监测仪器的选择<sup>[7]</sup>

为使监测有效可靠,应从先进性、环境适应性、长期运行、造价经济合理、能实现自动化数据采集等方面,对传感器进行比选。选取的监测仪器要与尾矿库的检测实际相匹配,在保证监测数据达到所要求的精确度、不失真的条件下,应考虑其经济投入并与实际情况相结合,同时,还要注意仪器的使用寿命以及各种仪器连接在一起时的兼容性问题。

#### 3.1 监测设备的实用性

选用国内外定型的、经过质量认证的、工程应用实践证明的高可靠产品,特别是传感器、监测监控终端、可编程控制器、交流接触器等设备,选用的设备应对恶劣的环境条件具有较强的适应能力,以确保系统安全、可靠运行。选用设备的原则是优先选用国内已批量生产的成熟设备,经济上比较实惠。同时采用国内生产尚未成熟、性能稳定的进口设备(如弦式压力传感器),这样既保证系统的可靠性,又具有一定的先进性。

#### 3.2 监测设备的可靠性<sup>[8]</sup>

在大坝安全监测系统中,有各种不同的设备,选择数据采集、传输、自动化设备时,性能差别很大,往往会出现各种设备可靠性不同的问题。有的设备性能比较差,经常出现问题,影响整个系统的性能。因此,在选择自动化设备时要从整体考虑,否则,即使有些设备的可靠性较高也提高不了整个系统的监测水平。为适应“无人值班,少人值守”的要求,设置自动巡测、在线诊断、自动报警是对系统的必然要求。

自动化系统大部分由电子产品组成,其防雷、抗干扰性能较差。许多测值超差和故障是由于自动化系统本身引起的。因此,设计时要采取相应措施,在高可靠性的基础上选用先进的仪器,使建成后的系统达到较高的可靠性。

### 3.3 检测设备的寿命

任何设备都有使用期限,检测设备作业的环境有时很恶劣,如果设备寿命选择不合理而导致经常性地更换设备,不仅影响监测结果的准确性,还会因为多次更换设备间接地导致投入增加。

## 4 监测系统

### 4.1 监测软件系统<sup>[9]</sup>

系统软件模块见图 3。

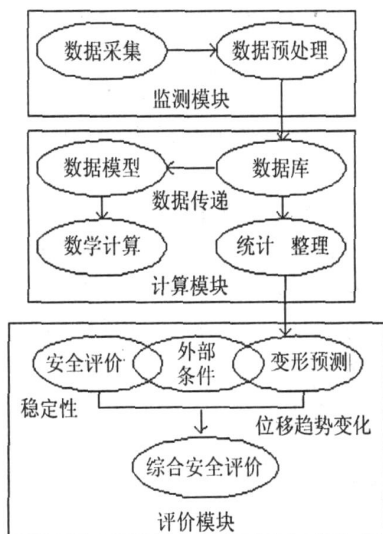


图3 软件结构模型

工作过程:利用监控器采集所需要的数据,并进行过滤噪声值、放大等预处理。预处理过的数据传送到数据库进行统计计算。计算结果与相应的模型相结合进行综合评价,给出合理的动态变化趋势,可结合专家系统给出建议。

系统软件采用的操作系统为 Linux。Linux 通常使用的微处理器是 Intel X86 芯片家族,但它同样能运行于 Motorola 公司的 68K 系列 CPU 和 IBM、Apple、Motorola 公司的 PowerPC CPU 以及 Intel 公司的 Strong ARM CPU 等处理器系统,这意味着嵌入式 Linux 将具有更广泛的应用前景。而且 Linux 完全免费,可在网路上下载、复制、使用,同时它的程序代码也完全公开,可以任意开发、更改。

数据管理系统:SQL server 2000。SQL server 作为数据库及报表功能,将硬件监测到的数据保存在数据库中,定期进行维护和修复。

数据链接系统:VB6.0。把直流或交流信号转换成数字信号传至数据处理平台处理,同时保存到数据管理系统。

### 4.2 管理系统

监控主机对监测数据有一定的管理能力。同时,人工管理参与系统的报警。避免设备漏检的情况,人工监测作为设备监测的补充,也必须得到相应的重视。系统能够分析、解读各项监测数据,作出各级单项预警,为尾矿库的生产管理者提供决策依据。同时,能够根据坝体变形、浸润线埋深、干

滩指标、库水位等数据的变化,综合分析坝体的安全稳定性,给出必要的预报。工程技术人员可以根据专家分析系统的提示,及早地采取相应的技术措施,消除事故隐患,确保尾矿库的安全运行。此外,尾矿库管理部门是系统的直接管理和维护部门,可以进行数据录入、报警判据设置、综合分析、打印图表等操作。不同部门设置一定的管理权限。

## 5 结论

通过对尾矿库事故原因的分析研究,结合现代监测监控技术建立了尾矿库溃坝等灾害监测预警系统,从而实现尾矿库主要安全指标的在线自动监测,实时显示各种监测数据的变化情况,实现各项数据的越界预警。这样不仅减小了劳动强度,还减少了人工监测带来的误差,提高了数据的准确性,为预测尾矿库的运行状况提供了有力的保障。信息化管理,智能化监测,更有利于系统拓展,为其他尾库的检测提供参考。

### 参考文献

- [1]李全明,陈仙,王云海,等.基于模糊理论的尾矿库溃坝风险评价模型研究.中国安全生产科学技术,2008,4(6):57-61.
- [2]李作章.尾矿库安全技术.北京:航空工业出版社,1996.
- [3]门永生,柴建设.我国尾矿库安全现状及事故防治措施.中国安全生产科学技术,2009,5(1):48-52.
- [4]国家安全生产监督管理总局.尾矿库安全操作规程.2005-12-7.
- [5]C 斯特拉奎.尾矿坝的运行特征.矿物加工,2002(4):36-42.
- [6]郑得存.煤矿安全生产监测监控系统设计.河北煤炭,2006(1):22-23.
- [7]Buselli and lu2001 G. Buselli and K. Lu, Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. Journal of Applied Geophysics,2001,48:11-23.
- [8]巩向伟,侯丰奎,张卫东,等.水库大坝安全监测系统及自动化.水利规划与设计,2007(2):65-68.
- [9]孟子,王书声,孙建.加油站安全监测系统研究.工业安全与环保,2009,35(1):54-56.

作者简介 曾群伟,男,中国地质大学(武汉)安全工程与技术专业硕士研究生,研究方向为安全仿真与安全技术。

(收稿日期:2009-07-20)



痛下决心

(朱天明)