

# 某区小型水库渗流监测设施数字化改造方法与实践

李连忠

浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7507

**[摘要]** 为解决小型水库大坝安全监测设施不全, 数字化程度不高, 无法及时掌握大坝安全性态等问题, 本文以浙江省某区小型水库安全监测设施数字化改造为例, 从渗透压力、渗流量的测点布设、设备选择、平台搭建等方面论述了小型水库渗流监测设施数字化改造方案, 供类似工程参考。

**[关键词]** 小型水库; 渗流监测; 数字化改造

## Method and practice of digital transformation of seepage monitoring facilities of small reservoir in a certain district

Li Lianzhong

Zhejiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

**[Abstract]** in order to solve the small reservoir dam safety monitoring facilities is not complete, digital degree is not high, unable to grasp the dam safety problems, this paper to a district in Zhejiang province small reservoir safety monitoring facilities digital transformation, for example, from the penetrant pressure, seepage measuring point layout, equipment selection, platform construction discusses the small reservoir seepage monitoring facilities digital transformation scheme, for similar engineering reference.

**[Key words]** small reservoir; seepage monitoring; digital transformation

### 引言

大坝安全监测通过采集及分析大坝的渗流、变形等数据, 可实现对大坝安全状况的实时掌握, 充分发挥水库功能, 提升水库大坝的管理水平。

2021年8月, 水利部办公厅印发《关于健全小型水库除险加固和运行管护机制的意见》, 文件指出要加快小型水库雨水情和大坝安全等监测设施建设。根据安全管理需要, 实现降水量、水库水位、大坝渗流量、压力、表面变形等数据、图像或视频的自动采集报送、分析研判、预警发布。鼓励有条件的地区进一步提高建设标准和监测现代化水平。

2021年10月, 为全面完成“十四五”小型水库雨水情测报和大坝安全监测设施建设任务, 推进和规范设施建设与运行管理, 提升信息化管理水平, 落实水库预报、预警、预演、预案措施提高技术支持, 保障水库安全运行, 水利部办公厅印发了《小型水库雨水情测报和大坝安全监测设施建设与运行管理办法》, 对小型水库实施大坝安全监测建设提出了新要求。

### 1 小型水库概况

浙江省某区位于浙江海岸线中部, 东部与椒江区、路桥区紧邻, 西部为仙居县、永嘉县, 南与温岭市、乐清市接壤, 北连临海市, 距省会杭州 207km。辖区共有小型水库 25 座, 其中小(1)型水库 9 座, 小(2)型水库 16 座, 大部分属土石坝。小型水库在防洪、灌溉、保障农村用水安全、改善水生态环境等方面发挥着重要作用。确保水库大坝安全是水库功能正常发挥的重要前提。

全区 25 座小型水库虽实现了雨水情自动监测和视频图像监控, 但大部分未设置渗流监测设施, 25 座小型水库中仅有 6 座水库设有渗透压力监测设施, 1 座水库实现了渗透压力监测的自动化监测, 无一座水库具备渗流量监测能力。渗流监测设施的缺失、监测技术的落后严重影响了水库的日常安全管理。

为改变这一现状, 该区水利部门统一实施全区小型水库安

全监测设施完善及数字化改造, 从渗流量监测、渗流压力监测改造入手, 通过单点渗流监测设备数字化改造实现了各类监测数据的单点或集中自动采集和实时发送; 通过区小型水库安全监测平台建设, 汇集全区小型水库监测数据, 实现了水雨情、监测数据的在线展示和分析。本文以该区小型水库安全监测设施数字化改造为例, 从渗透压力、渗流量的测点布设、设备选择、平台搭建等方面论述了小型水库渗流监测设施数字化改造方案及实践, 供类似工程参考。

### 2 渗透压力监测方案

根据相关规范: (1) 对土质心墙坝和斜墙坝, 宜在典型横向监测断面的心墙或斜墙底部上游侧布置 1~2 个测点, 其中 1 个测点位于心墙或斜墙上游反滤料内; 心墙或斜墙底部下游侧宜布置 2~3 个测点, 其中 1 个测点位于心墙或斜墙下游反滤料内; 在心墙或斜墙底部宜布置 2~3 个测点。心墙或斜墙内渗透压力测点宜在正常蓄水位以下布置 2~5 个监测层面, 每个监测层面布置 3~5 个测点。心墙或斜墙底部设混凝土垫层的坝基, 应在垫层顶部和底部对应布置渗透压力测点。(2) 对均质坝, 应在横向监测断面的坝基面沿上、下游方向布置测点, 坝轴线上游侧至少布置 1 个测点, 下游排水体前缘布置 1 个测点, 其间宜布置 2~3 个测点; 坝体内正常蓄水位高程以下宜布置 2~3 个监测层面, 每层内不少于 3 个测点<sup>[1][2]</sup>。

#### 2.1 监测点位布设原则

根据坝顶长度及实际需要布置 1~2 个监测横断面, 其中 1 个横断面设置在最大坝高处。每个监测横断面上应布置不宜少于 3 个监测点。

(1) 均质坝的上游坝体、下游排水体前缘各 1 个测点, 其中间部位设 1 个测点。

(2) 斜墙(或面板)坝的斜墙下游侧底部、排水体前缘和其间部位各 1 个测点。

(3) 心墙坝: 根据心墙宽度, 确定心墙内部是否设测点,

心墙体外上下游侧各1个测点。

## 2.2 设备与技术要求

渗流压力采用测压管内安装振弦式渗压计的监测方式进行自动化监测。

测压管采用材料为 $\phi 60$ 镀锌钢管, 顺直而无弯曲、无压伤和裂纹, 未受腐蚀。测压管透水段长度3m, 排列均匀且内壁无毛刺, 管底密封。测压管钻孔孔位、孔深符合设计要求, 孔位偏差不得超过5cm, 孔深达到设计深度, 超深部分采用粗砂回填, 一般不超过2m。造孔均采用岩芯管冲击法干钻, 并对岩芯作编录描述; 严禁用泥浆固壁; 终孔后应测量孔斜, 以便精确确定测点位置。

渗压计采用振弦式仪器, 量程0.35MPa, 分辨率 $\leq 0.025\%F.S.$ ; 精度 $\leq 0.1\%F.S.$ ; 接入自动化系统。

## 3 渗流量监测方案

渗流量监测常用方法包括容积法、量水堰法等, 其中容积法适用于渗流量小于1L/s的情况, 而大于1L/s, 小于300L/s的情况下, 则多采用量水堰法。常见的量水堰型式有直角三角堰、梯形堰以及矩形堰。不同的量水堰型式适用不同的渗流量范围。渗流量为1L/s~30L/s时, 直角三角形薄壁堰比较合适; 渗流量大于等于30L/s时, 选用矩形薄壁堰或梯形薄壁堰<sup>[3]</sup>。

根据实际调查, 该区的小型水库渗流量大多在1L/s~30L/s之间, 所以选择采用直角三角堰, 同时在量水堰上游的明渠测设置量水堰计, 实现渗流量的自动监测。

### 3.1 监测点位布设原则

存在渗流明流的小(1)型大坝及存在渗流明流、坝高15m以上的小(2)型大坝应设置1个渗流量监测点。四周山体渗水及山坡表面降雨汇水会造成渗流量的观测值偏大, 故采取增设排水沟等有效措施避免大坝范围以外的渗水及其他降水对大坝渗流量监测的影响。

水库坝体渗流监测采用三角量水堰, 量水堰设置在坝后排水棱体或排水沟处, 断面为矩形。

### 3.2 设备与技术要求

量水堰监测系统是由量水堰板、测量堰上水头的堰上水位计等组成。

堰板采用不锈钢板制作, 过水堰口下游宜做成 $45^\circ$ 斜角, 并与水流方向垂直, 垂直度误差不得超过 $1^\circ$ 。堰身采用混凝土现浇而成, 浇筑过程中预埋不锈钢钢板, 钢板外露5cm, 便于与预加工不锈钢板进行焊接。水尺设在堰口上游3~5倍堰上水头处, 并与地面垂直。

量水堰计采用振弦式, 其各种性能优异, 适合各种恶劣环境使用。技术性能指标如下: 量程为0mm~300mm, 分辨率 $\leq 0.025\%F.S.$ , 非线性度 $\leq 0.5\%FS$ , 绝缘电阻 $\geq 50M\Omega$ , 工作温度为 $-30\sim+70^\circ C$ 。

## 4 数据采集与传输

每个测点设置单点数据采集模块和传输模块, 进行自动化数据采集及传输。测数据的采集、传输及供电方式如下:

### 4.1 数据采集及通信

单点采集设备通过有线/无线模式传送至附近的储存模块, 然后按照监测平台通信协议传送至监测平台。数据报送形式为自报式, 具体数据采集频次可根据管理人员需要进行设定。

### 4.2 供电及其他要求

常见的供电方式有市电供电和太阳能供电两种, 市电供电相对稳定, 但架设成本较高, 太阳能供电则具有不受线路限制的缺点。由于大部分小型水库位于偏远山区, 市电无法到达, 故采用太阳能供电的模式。对于具备市电供电条件的水库, 为

保证数据传输的实时性, 监测设备供电方式采用太阳能供电与市电相结合模式。

## 5 监测系统平台设计

### 5.1 基础支撑组件

监测系统平台基础支撑组件包括地理信息服务平台、物联网平台、短信发布平台等。

#### 1) 地理信息服务平台

地理信息服务平台基于WebGL和html5技术实现免插件跨平台、跨浏览器的二维、三维WebGIS平台, 支持3D、2D形式的地图展示, 可以自行绘制图形, 高亮区域。在操作方面, 除了可以在浏览器中实现常用操作之外, 还可以进行选取面、选取线、选取模型、要素选择、图层叠加等不同的操作。允许用户对特征数据进行更新、删除、插入操作。

#### 2) 物联网平台

物联网平台主要功能是实现安全监测设备的标准化接入、设备查看、设备设置、异常监测、远程运维、日志存储等。

#### 3) 短信发布平台

短信平台用于预警发布或事件通知。系统根据不同人员的需求分类, 以便能自动地在需要时将同一批信息发送到相同的服务类型的人员手机中, 从而实现信息发送功能。

### 5.2 平台功能

小型水库安全监测管理平台主要实现对水库安全监测和预报预警信息的全局呈现, 动态跟踪运行关键指标, 直观展示水库基础信息、水情雨情、安全监测等方面的概览信息, 全面掌握建设范围内水库大坝安全监测趋势和管理关注重点。主要包括小型水库安全监测驾驶舱、水库场景视图、实时监测、数字档案、预警管理、后台管理、数据库表、数据接入、系统集成等内容。

#### 1) 安全监测驾驶舱

安全监测驾驶舱以GIS地图为底图, 通过一张图的方式, 直观展示全区25座小型水库的基础信息、水情雨情、安全监测、位置分布等方面的概览信息进行全局掌控, 全面掌握水库大坝安全监测趋势和关注重点。

驾驶舱中央以GIS地图为底图, 一张图展示小型水库所在位置情况, 以图层形式展示小型水库关联水位水情测站的位置分布情况、视频监控分布情况等。通过二级交互展示水库信息弹窗, 汇集水库基本信息、水雨情、安全监测、视频监控信息。

#### 2) 水库场景视图

从单个水库工程角度, 直观展示水库基础信息、水情雨情、安全监测、视频监控、责任人等方面信息, 展示水雨情、安全监测、视频监控等监测设备的分布情况。

#### 3) 实时监测

主要包括水雨情、安全监测数据的实时展示、数据查询、布点展示、报表下载、报告生成、视频监控等功能。

#### 4) 数字档案

按照“一数一源、动态管理”的原则对全区水库相关信息进行整理入库, 包括水库基本信息、责任人信息等。

#### 5) 预警管理

基于对水库的安全监测分析, 对水库各类安全监测项的安全性异常预警。预警分析模块包括预警列表、预警判据、预警模型、预警责任人管理等。

### 5.3 数据库表设计

基于区水利数据仓, 在区已有数据的基础上, 进行25座水库的专题库建设, 收集和整编25座小型水库的基础数据、位置分布、工程特性等相关数据, 接入水雨情监测、安全监测、视频监控的数据。

按照水利信息资源标准规范和统一数据要求,结合水利资源目录梳理成果,开展25座水库的专题库数据库表结构设计,编制数据字典,生成标准数据库脚本。具体包括基础库、业务库和空间库等数据库。

#### 5.4 数据接入设计

在省级和区级水利数据仓已有的水库相关数据基础上,通过建设接口的方式,向省、市、区水利数据仓进行数据申请,实现25座小型水库的数据接入,具体包括基础数据、水雨情数据、安全监测数据、视频监控数据等。为保证后期建设的小型水库数据接入,应预留相应对接接口,将相关数据接入平台进行展示。

#### 5.5 系统集成设计

集成涉及到的设备包括渗压计、量水堰计等多种设备;设备类型多种多样、数量繁多、通信多协议等特点。采用物联网管理平台提供成熟可靠的设备连接、设备管理服务,可以将分散化的相关物联网设备进行统一管理。

物联网平台提供多种接入方式来保证不同协议、不同类型的设备接入。平台提供设备激活、认证、注册策略来保障设备的合法性。设备连接到物联网平台之后,平台可对设备进行数据采集和远程控制;同时可以基于数据层进行数据的存储、深度挖掘、数据可视化等服务;面向上层应用,平台提供API接

### 上接第150页

置温度计对棚内温度实时监测,当棚内温度低于5℃时立即进行加热。

6) 注浆过程中加强对注浆口处浆液温度的检测,当注浆口处浆液温度低于5℃时,应检测注浆管的保温措施是否损坏,如有损坏及时进行更换。注浆管保温措施无损坏时,可适当提高暖棚内浆液的温度。

#### 4.2.6 成孔质量要求

(1) 每孔应记录钻孔尺寸、钻孔角度、孔斜、岩粉颜色、钻进速度、岩性、孔深。造孔结束后,经工程建设监理人检验合格,方可进行下一工序;

(2) 内锚固段应置于设计要求的岩层内。钻孔孔深应根据记录资料经工程建设监理人确定,保证内锚固段穿过地质构造面且锚固于较好岩体内。若发现钻孔已达设计深度仍未穿过断层等软弱岩层面时,应会同地质、设计人员商定修正钻孔孔深;

(3) 终孔孔径应满足设计要求;孔径偏差不应大于10cm;终孔孔深不应小于设计孔深;终孔孔轴偏斜不应大于孔深的2%,对穿锚索不得大于1%;方位角偏差不应大于3°。

#### 5 质量安全及环保措施

在施工过程中,质量、安全和环保措施都显得尤为重要,它们直接关系到工程的顺利进行及对环境的影响。质量保证措施方面,首先,孔位的准确测定至关重要,确保根据设计规格设置孔位,误差需控制在规定范围内。其次,在采用钻孔法时,钻具的倾角与方位角的控制是关键,需定期校核以纠正偏差,保障孔位的精准性。此外,岩锚孔必须保持直线,孔壁应无错台和松动岩石,以增强锚固稳定性。终孔的深度和直径增加要求能够确保有效的锚固。同时,在施工过程中,严密的地质编录工作可以确保锚固段置于良好的岩层内,这对提高锚固效果大有裨益。最后,灌浆过程中对浆液温度的监测尤为重要,尤其是在低温环境下,必须确保浆液温度维持在合适的范围,以避免性能下降。

安全措施方面,主要防范措施应关注在操作机械时可能出现的事故。例如,钻机的移动需确保安全,避免因移动时的不

口以及应用网关等模块用于应用开发。在设备管理方面,物联网平台构建了设备激活、认证、注册到设备数据采集处理、实时状态监控、远程控制、设备告警设置、消息推送以及设备的故障诊断分析、设备售后管理等涵盖设备全生命周期的管理架构。同时提供可视化的设备管理界面进行设备的管理。

#### 6 结语

渗流监测是大坝,特别是土石坝安全监测中的重要内容之一。渗流安全关系着水库大坝的运行安全。当前,我国水利正在向高质量发展转变,通过对小型水库监测设施的数字化改造,可实现对水库大坝渗透压力、渗流量的实时掌握,结合库水位、降雨量等可实时水库大坝坝体及坝基渗流情况的及时分析,为判断工程安全状态提供依据,同时提升了小型水库的数字化管理水平。

#### [参考文献]

- [1]中华人民共和国水利部.水利水电工程安全监测设计规范:SL 725—2016[S].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [2]中华人民共和国水利部.土石坝安全监测技术规范:SL 551—2012[S].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [3]唐鹏程.大坝渗流量监测方法简述[J].水上安全,2023,(11):132-134.

当操作导致设备倾覆。对传动部位的保护,确保有适当的防护罩,防止操作人员受伤。此外,在钻孔时,保障周围环境的安全,操作人员须保持安全距离,避免意外发生。在浆液操作中,工作人员应佩戴防尘口罩,确保呼吸道安全。同时,为了减少高压管道的危险,必须确保所有连接处牢固,以避免因压力不稳引发意外。电气安全亦不可忽视,包括确保设备良好接地及使用合规的电气设备,减少电气火灾和触电的风险。

环保措施方面,必须加强施工废弃物的管理,确保所有废弃岩芯和水泥袋按照规定处理,杜绝污染现象。此外,严禁在工地随意抛弃废物,控制废油等污染物的泄漏,通过铺设薄膜等方式有效收集,保护环境。采用湿式作业能显著降低岩粉飞扬,减少对周围环境的影响,保证施工区域的空气质量。灵活的浆料使用能减少废浆的产生,从源头降低对环境的负担。

#### 6 结语

在地质条件复杂、岩石较破碎、岩石内部出现不同程度的泥石夹层和夹砂,预应力锚索孔钻孔时出现漏气、塌孔、卡钻、不出渣等钻孔成孔困难现象,边坡锚索施工期在冬季低温季节进行。为保证锚索成功率,采取锚索孔灌浆,注浆24h后进行锚索孔钻孔为止,直至锚索成孔质量满足要求,气温均在5℃以下,在制浆现场搭建暖棚,用燃烧煤炭的方式多水箱进项加热,并设置暖风机进行加热、保温,注浆管外设置电伴热带+保温棉的方式进行保温进行锚索护壁灌浆,设置温度计对水泥浆温度进行实施监测。对低温季节预应力锚索护壁灌浆钻孔施工进行研究,施工工艺更简单,保证施工质量的同时,加快工程施工进度,为后续边坡开挖支护提供了有效保证。

#### [参考文献]

- [1]陈丽俊,陈建勋,郭汇杰,等.小孔径预应力锚索对软岩隧道围岩的加固效应[J].中国公路学报,1-16[2024-10-18]
- [2]邹育祥.边坡加固中预应力锚索损失情况及处理措施[J].交通世界,2024,(27):97-99.
- [3]押腾飞,张兆龙,马海堂,等.复杂地质下锚索施工技术浅谈[J].建筑机械化,2024,45(09):73-75+91.