

济论证,充分论证设计方案的可行性、先进性与适用性。

设计阶段需强化标准化设计和创新技术应用,严格执行国家和行业相关规范,推动设计文件审核、会审、校核等流程标准化。引入第三方专家评审、BIM建模与优化等新手段,提升设计质量的系统性与可操作性。通过设立设计质量控制点,实行设计成果责任追溯,为后续建设阶段奠定坚实基础。

4.2 施工建设阶段的质量控制

施工阶段是实现工程实体质量的核心环节。全过程质量控制体系要求建立健全施工组织设计、质量策划、技术交底、工序管理、过程检测、隐蔽工程验收等全流程管理体系。关键工序、重点部位应实行旁站监督、实时监测和专项验收,确保各项工艺参数和技术标准的严格落实。

材料设备的质量控制尤为重要,应加强进场验收、合格证查验和性能抽检,杜绝不合格产品进入现场。现场施工应充分应用信息化管理平台,动态记录工序数据,实现“可查、可追、可溯”。安全管理与环境保护同步推进,严格执行现场安全、文明施工与绿色施工要求。通过全员参与、过程管理、数据驱动的方式,全面提升施工阶段的质量管控水平。

4.3 竣工验收与运行维护阶段的质量保障

工程竣工验收阶段,需依据合同、设计文件和相关规范进行全面系统的质量检查。资料审查、现场检测、性能测试、功能验证等环节应环环相扣,发现问题及时整改并记录归档。移交阶段要保证工程实体、技术资料、运行管理交接“三到位”,实现无缝衔接。

运行维护阶段,是检验全过程质量控制成效的重要环节。需建立标准化运行管理和维护制度,实行定期巡查、故障诊断、预警预报、维修养护和应急处置等措施。依托智能监测平台,对关键部位、重要设备实施远程实时监控,实现状态感知与预警。运行数据应定期分析评估,动态调整养护策略,延长工程寿命,保障运行安全。全过程质量控制体系应覆盖到运营全周期,实现从“建得好”向“管得好”转变。

5 信息化、标准化与智能化在全过程质量控制中的创新应用

5.1 信息化手段提升质量管理效能

信息化技术为水利工程全过程质量控制提供了强大工具支撑。基于项目管理信息系统(PMIS)、建筑信息模型(BIM)、工程地理信息系统(GIS)等平台,实现项目各阶段数据的集中管理与共享。通过移动互联网、云计算等技

术,推动项目数据实时上传、动态监控、远程协同,提升了决策效率和应急处置能力。

物联网与自动化监测技术在材料验收、工序检测、安全管理等方面应用广泛,实现了工序全过程可追溯与智能预警。无人机巡检、三维激光扫描等新兴手段助力工程实体质量的数字化检测,为管理者提供全景数据支持。信息化技术促进了各方信息互通、资源共享与流程再造,提升了工程管理的科学化和精细化水平^[5]。

5.2 标准化管理推动质量管控升级

标准化管理是全过程质量控制体系高效运行的基础。推行标准化作业指导书、管理流程和验收标准,保证各类质量管理活动有据可依。制定全生命周期标准体系,覆盖项目策划、设计、施工、验收、运行维护等各环节,形成闭环管理链条。

推动企业技术标准、施工工艺、材料设备采购、检验检测等标准与国家行业标准的深度对接,促进标准融合与创新。通过标准化管理,提升各参与主体的操作一致性和工作规范性,减少人为差错和操作风险。标准化的推广还促进了优秀经验的复制与推广,为水利工程质量提升提供了强有力的制度保障。

6 结语

全过程质量控制体系是推动水利工程高质量建设和可持续运行的重要保障。本文梳理了当前水利技术管理的主要问题,系统探讨了全过程质量控制体系的理论基础与关键环节,并重点分析了信息化、标准化、智能化技术在管理中的创新应用。研究表明,科学构建并高效实施全过程质量控制体系,有助于防范质量风险、优化资源配置、提升管理效能,为水利工程的可持续发展奠定坚实基础。展望未来,应持续完善制度保障,强化智能化管理,提升队伍素质,助力我国水利工程迈向智能化、规范化的新阶段。

参考文献

- [1] 顾军花.水利工程管理常见问题以及对策研究[J].中国设备工程,2020,(24):191-192.
- [2] 吴江泠.水利工程前期工作全过程质量评价管理办法的制定与应用[J].水上安全,2025,(04):88-90.
- [3] 任超.探究水库工程施工全过程质量控制要点[J].中华建设,2024,(01):42-44.
- [4] 樊喜欢.水利工程施工的全过程质量控制[J].吉林农业,2011,(11):209.
- [5] 付豪.务川自治县茅天水库工程建设全过程质量控制要点分析[J].工程与建设,2024,38(03):719-721.

Research on Collaborative Application of Water Hammer Prevention and Control Technology in Water Supply Network

Xingzhi Yu Chunzheng Xiang Lei Zang Haodong Xie Zongyu Li

Gansu Jingmei Energy Co., Ltd. Hydropower Management Branch, Baiyin, Gansu, 730913, China

Abstract

Water hammer phenomenon in water supply network is an important factor affecting system stability. This study analyzes the application effects of constant pressure control technology, micro resistance slow closing check valve, and outlet disc pressure relief valve in water hammer prevention and control through experiments.

Keywords

constant voltage control; Water hammer prevention and control; Micro resistance slow closing check valve; Water supply network; pressure fluctuation

供水管网水锤防治技术协同应用研究

于兴志 项春正 藏磊 谢浩东 李宗昱

甘肃靖煤能源有限公司水电管理分公司, 中国·甘肃 白银 730913

摘要

供水管网中的水锤现象是影响系统稳定性的重要因素。本研究通过实验分析恒压控制技术、微阻缓闭止回阀及出水盘路泄压阀在水锤防治中的应用效果。实验采用LabVIEW软件进行数据采集, 监测周期为30天, 记录正常运行、启泵和停泵工况下的压力波动。结果表明, 恒压控制系统将停泵工况下的水锤压力峰值从1.2 MPa降至0.7 MPa, 降幅约41.7%; 引入微阻缓闭止回阀后, 压力峰值进一步降至0.65 MPa, 降幅达45.8%; 联合使用恒压控制系统、微阻缓闭止回阀及出水盘路泄压阀后, 压力峰值降至0.48 MPa, 降幅达60%。研究验证了三者协同作用显著提升管网稳定性, 为供水系统水锤防治提供了有效技术方案。

关键词

恒压控制; 水锤防治; 微阻缓闭止回阀; 供水管网; 压力波动

1 引言

本研究以甘肃靖煤能源有限公司供水管网为对象, 通过实验分析上述技术的应用效果及其协同作用。实验结合LabVIEW数据采集系统和PLC控制算法, 优化压力稳定精度, 并通过现场试点验证技术方案的可行性, 旨在为供水管网水锤防治提供科学依据和实践参考。

2 恒压控制技术的原理与实现

2.1 恒压控制系统的工作原理

恒压控制技术借助PLC自动控制系统达成对供水管网压力的实时监测与调节, 是防治水锤的重要手段之一。这套系统依靠安装在管网关键节点的压力传感器, 实时收集管网压力数据, 再把数据反馈到PLC控制器。PLC依据预设压

力值, 凭借变频器调整水泵的转速或者启停状态, 对供水量加以控制, 以此来让管网压力维持在设定范围之内, 减少因压力波动所引发的水锤效应, 在研究当中, 选用西门子S7-1200型PLC控制器, 结合高精度压力传感器对管网压力展开监测, 采样频率为10Hz。实验数据显示, 在恒压控制系统发挥作用的情况下, 管网压力波动幅度从没有控制时的 $\pm 0.3\text{MPa}$ 降到了 $\pm 0.05\text{MPa}$, 明显提升了系统稳定性, 恒压控制的核心是通过动态调节水泵的运行状态, 降低水流速度突变的可能性, 进而降低水锤压力的产生^[1]。公式(1)为水锤压力计算公式, 用来评估压力波动幅度:

$$H = \frac{a \cdot \Delta v}{g}$$

其中, H 为水锤压力 (m), a 为管道中压力波传播速度 (m/s), Δv 为水流速度变化 (m/s), g 为重力加速度 (9.8m/s^2)。借助实验测量得出, 恒压控制系统能够把速度从 2.5m/s 降到 0.8m/s , 显著削减水锤压力。这样能够实现像恒压控制系统与微阻缓闭止回阀协同工作这样的安排, 凭借PLC

【作者简介】于兴志 (1974-), 男, 中国甘肃靖远人, 本科, 工程师, 从事机电工程研究。

对阀门关闭时间加以控制,让阀门动作周期得到延长,使压力波传播速度得以减缓,以此来进一步削弱水锤效应。

2.2 恒压控制系统的实施与优化

甘肃靖煤能源有限公司供水系统里,恒压控制系统的实施主要凭借自动化改造后的13座无人值守水泵站。调度室对系统进行集中监控,实时收集各泵站的压力、流量和电流数据,再借助4G网络把这些数据传输到中央控制室,研究选取主供水管路当作实验对象,监测点设置于管道高程变化较大之处以及水泵站出口处,总共安装25个压力传感器和15个流量计^[2]。利用Lab VIEW软件对实验数据进行采集和分析,监测周期是30天,记录正常运行、启泵和停泵工况下的压力波动状况,结果表明,没采用恒压控制时,停泵工况下水锤压力峰值能够达到1.2MPa,引入恒压控制之后,峰值压力降到0.7MPa,降幅大概为41.7%。在优化进程中,调整PLC控制算法,采用PID控制策略,进一步提升压力稳定精度,将误差控制在±0.03MPa以内,这样能够让系统集成故障诊断功能,通过分析压力、流量和电流参数的变化,精准判断水锤发生的可能性,并且自动调整水泵运行状态,避免压力出现突变,表1是实验期间不同工况下的压力波动数据,数据由Lab VIEW实时采集且经过均值处理。

表1 恒压控制前后供水管网压力波动数据

工况	未控制压力波动 (MPa)	恒压控制后压力波动 (MPa)	降幅 (%)
正常运行	±0.30	±0.05	83.3
启泵	±0.45	±0.08	82.2
停泵	±1.20	±0.70	41.7

3 微阻缓闭止回阀在水锤防治中的作用

3.1 微阻缓闭止回阀的工作机制

微阻缓闭止回阀作为供水管网里防治水锤的关键装置,它的核心功能是借助延长阀门关闭时间,来减缓水流速度变化,以此降低水锤压力。和普通止回阀相比,微阻缓闭止回阀凭借内置阻尼装置,让阀门关闭过程有了快闭和缓闭这两个阶段。快闭阶段能迅速阻断逆流,缓闭阶段则依靠阻尼调节,将关闭时间延长,避免压力波快速叠加。研究人员选用了DN400微阻缓闭止回阀,把它安装在水泵站出口处,这阀门关闭时间的可调范围为5-30秒。实验里,通过设置不同的关闭时间,对其给水锤压力造成的影响进行测试,结果显示,当关闭时间为15s时,水锤压力峰值从1.2MPa降到了0.65MPa,降幅达到45.8%。它的工作原理能够用水锤压力衰减公式(2)进行描述:

$$P_t = P_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

其中, P_t 为 t 时刻的水锤压力 (MPa), P_0 为初始水锤压力 (MPa), t 为阀门关闭时间 (s), τ 为系统阻尼时

间常数 (s)。借助实验测定,微阻缓闭止回阀的阻尼时间常数大概是12.5s,这显示出它在让压力波衰减时间延长方面成效明显。微阻缓闭止回阀和恒压控制系统一同运作时,能够进一步减小水锤压力,在实验里将两者联合运用后,水锤压力峰值降到了0.5MPa,下降幅度达到58.3%。

3.2 微阻缓闭止回阀的现场应用效果

甘肃靖煤能源有限公司水电管理分公司供水管网当中,微阻缓闭止回阀的现场应用大多集中于主供水管路的高压段以及水泵站出口处。研究开展的时候选取了3座水泵站开展试点工作,分别把DN400和DN500微阻缓闭止回阀安装上,将阀门关闭时间设定成15s,实验周期是60天,在这期间借助高精度压力传感器以及数据采集系统,把停泵工况下的水锤压力变化记录下来,对数据进行分析之后发现,安装微阻缓闭止回阀以后,水泵站出口处的压力波动幅度从±1.2MPa降到了±0.6MPa,降幅达到50%。微阻缓闭止回阀的维护成本比较低,实验期间阀门运行稳定,没有出现卡滞或泄漏问题。表2是不同水泵站安装微阻缓闭止回阀之后的水锤压力数据,数据依靠现场传感器采集并且经过统计处理。

表2 微阻缓闭止回阀应用后水锤压力数据

水泵站编号	未安装阀门压力峰值 (MPa)	安装阀门后压力峰值 (MPa)	降幅 (%)
泵站1	1.2	0.6	50
泵站2	1.15	0.58	49.6
泵站3	1.25	0.62	50.4

4 出水盘路泄压阀在水锤防治中的作用

4.1 出水盘路泄压阀的工作机制

出水盘路泄压阀是供水管网中另一项重要的水锤防治装置,其主要功能是通过快速释放管网中的瞬时高压,防止压力波的叠加和传播。出水盘路泄压阀通常安装在水泵站出水管或管网压力高点处,能够在检测到压力异常升高时迅速开启,将多余的压力通过泄压口释放到外部环境或专用泄压管道中,从而有效降低水锤压力。相比微阻缓闭止回阀的缓释机制,出水盘路泄压阀更注重快速响应和瞬时压力消散,其反应时间通常在0.1-0.5秒之间,适用于应对突发性压力波动。图1展示出出水盘路泄压阀工作原理,直观反映其快速泄压效果。

研究中选用了DN300出水盘路泄压阀,安装于水泵站出水管道的关键节点,阀门设定压力阈值为1.0MPa,当管网压力超过此阈值时,阀门自动开启泄压。实验测试表明,在停泵工况下,单独使用出水盘路泄压阀可将水锤压力峰值从1.2MPa降至0.75MPa,降幅约为37.5%。其工作原理可通过压力释放公式(3)描述:

$$\Delta P = \frac{Q \cdot \rho \cdot v}{A}$$