

高寒地区引调水工程安全监测系统设计探讨

田振华^{1,2}, 王永智³, 黄燕⁴

(1.中国水利水电科学研究院, 北京 100048; 2.北京中水科工程总公司, 北京 100048; 3.河南省引江济淮工程有限公司, 河南郑州 450003;

4. 内蒙古引绰济辽供水有限责任公司 内蒙古乌兰浩特 137699)

摘要: 调水工程具有线路长、构筑物种类多、监测点分散、野外环境恶劣的特点, 因此安全监测系统在防雷、野外供电以及通讯方式上有别于大坝和水库工程。尤其是高寒地区, 设备设施防寒是保证安全监测系统良好运行的关键。本文从结合高寒地区调水工程, 对调水工程安全监测的设计原则、监测项目、监测效果等进行探讨, 为同类型调水工程的安全监测设计提供借鉴。

关键词: 高寒地区调水工程 安全监测设计 防雷系统 供电系统 通信系统

中图分类号:

文献标识码: A

1 研究背景

随着经济社会的快速发展, 我国水资源形势深刻变化, 水安全状况日趋严峻, 水利的内涵不断丰富, 水利对全局的影响更为重大, 地位更加凸显。为解决我国水资源时空分布不均和城市、工业、农业、生态缺水等问题, 各地开展了一系列引调水工程, 如南水北调工程^[1]、引黄工程、引汉济渭、引江济淮、引大济滹、滇池补水工程以及各省市内的调水工程。调水工程的结构形式大致可以分为明渠、渡槽、管道和隧洞等, 其安全监测的内容也有较大差异。本文针对高寒地区的管道和隧洞调水工程为研究对象, 讨论其安全监测系统设计, 包括设计原则、监测项目、设备防寒措施、监测效果等。

2 高寒地区管道调水工程安全监测特点

高寒地区自然条件恶劣, 给安全监测工程也提出了更高的要求。相对于大坝和水库安全监测, 高寒地区管道调水工程安全监测特点主要有几个方面:

- (1) 工程线路长, 动辄十几公里甚至上百公里, 监测点布置分散。
- (2) 隧洞部分距离长、无线信号差, 监测数据传输难度大。
- (3) 野外环境下, 监测设备维护难, 必须考虑防盗措施; 测点分散, 220v常规供电造价高。
- (4) 高寒地区冬季易遭受极低气温, 检修井、气阀井等构筑物布置温度监测, 室外的监测采集等设备必须考虑防寒措施。
- (5) 野外环境恶劣, 考虑设备防盗, 监测采集设备一般选择置于设备杆上, 空野环境下电源防雷要求高。

3 安全监测系统设计

目前调水工程尚无专门的安全监测设计规范以供参考, 设计阶段主要依据混凝土坝和土石坝监测规范。但监测的目的仍以“安全”为主, 设计遵循“实用、可靠、先进、经济”的原则^[2]。监测设计主要根据工程的运行性

收稿日期:

作者简介: 田振华 (1986-), 男, 河南濮阳, 工程师, 硕士, 主要从事安全监测设计、咨询, 涉水工程信息化, 大坝安全鉴定、评价工作。E_mail:tianzhenhua_126@126.com

质、地质条件和工程结构特点，通过监测手段获取影响工程安全的不稳定因素的数据资料，以此对工程的工作状态进行综合评价，确定其运行的安全性。

大坝工程往往从安全监测项目出发，考虑监测设计；对于调水工程而言，其结构形式更多样，根据不同的结构形式设置监测项目更合理。以东北某调水工程为例，介绍其安全监测系统设计，以供参考。工程线路长360余公里，沿线主要由输水隧洞、压力管道、连接井、稳压构筑物、管道镇墩和管道排气阀井等组成。

本工程从监测结构的特点出发，布置监测项目：

(1) 隧洞监测项目包括内外水压监测、结构应力应变监测、施工缝和结构缝的变形监测、温度监测；

(2) 管道监测项目包括结构应力应变监测、结构缝变形监测、结构位移监测、温度监测；

(3) 连接井、稳压构筑物水位监测；

(4) 管道排气阀井室内温度监测。

3.1 隧洞监测

(1) 设备选型

调水工程隧洞长度在几公里甚至十几公里范围，监测仪器数据传输是难点。常规振弦式和差阻式监测仪器传输距离在3-5km以内，传输距离过长数据稳定性不能得到保证，而且水环境下长期运行仪器损耗较大。光纤式监测仪器适应十几公里的信号传输，而且光纤抗干扰能力强、耐腐蚀^[3]；光纤式监测仪器的稳定性不如振弦式和差阻式，而且市场上光纤式传感器产品良莠不齐；在选择光纤式监测仪器时，一定要选择在其他工程应用效果好的产品，必须进行严格的现场率定，确保每支仪器合格。

(2) 施工注意点

常规振弦式和差阻式也可以在长距离隧洞里应用，信号电缆可采取就进引入永久检修洞或打孔上引至山顶，必须注意的是监测断面距离永久检修洞和山顶的距离不易超过2km。打孔上引至山顶的方法施工难度大，山顶防雷难度大，需慎重考虑。

光纤式传感器的施工难点是熔接损耗和光缆敷设损耗的控制。熔纤时务必保证环境的清洁，熔接损耗控制在0.02dB以内。光缆易折，敷设时控制光缆动态弯曲半径 $\leq 20D$ ，静态弯曲半径 $\leq 15D$ （D为光缆外径），建议加管保护。长距离敷设时，2-3km测试一次总通道衰减，要满足光纤解调允许值。

3.2 管道和水位监测 管道监测主要对其拐弯处的镇墩进行结构监测。连接井、稳压构筑物主要监测水位高程。其监测内容不同，但传输、供电、设备选型和布置、防雷以及防寒内容一致。

(1) 传输方式选择

工程线路动辄十几公里甚至上百公里，监测点布置分散，采用有线传输的成本太高，而且后期维护和更换不方便。随着无线传输技术的成熟，目前主要采用无线方式进行监测数据的传输，比如GPRS、4G、GSM等。在选择无线传输方式前，需对监测区域无线信号进行测评，部分山区和偏远区域GPRS信号差，而且GPRS信号穿透能力不足。如今移动无线信号发展很快，4G覆盖率很高，信号穿透力相对较好，可以尝试4G的通讯方式。

(2) 供电系统

调水工程线路长、测点分散，集中供电成本高。工程一般采用低功耗采集设备，因此可选择太阳能系统供电，并配置蓄电池单元。避免阴雨和冬季雪层覆盖的情况，蓄电池功率在电源中断时保证安全监测正常运行7天以上。

(3) 设备选型和布置

镇墩结构监测仪器建议选择振弦式，巡测的时间短，较之差阻式在野外环境的抗老化能力更好。由于在野外环境，监测设备尽量布置在线杆上，安装高度超过3.5m，可减少人为破坏和偷盗。

(4) 防雷系统

采集站系统防雷设计按设备类型、运行及接地方式、安装地点环境条件等因素合理制定防雷措施。系统防雷应从外部设备开始，至电源及信号设备受电端子，采用分级防护，并与建筑物的防雷、接地及通信系统兼容协调配合。监测设备的工作接地、保护接地、防雷接地共同合用一组接地体的联合接地方式。

1) 接地网

野外采集站在各自现地自建接地网，接地极采用铜包钢接地极建造，并采取降低电阻的措施如化学降阻剂等。接地体顶面的埋设深度不小于冰冻层深度，接地连接必须采用焊接方式，并做好防腐处理。野外采集站接地电阻均不大于 10Ω 。

2) 电源、通信口系统防雷

设备杆塔应设置电源防雷和通讯防雷设施，安装避雷器及接地设备，杆塔上的监测设备箱、太阳能电池灯设备应在避雷针的保护范围内。野外采集站电源、通讯线路抗 $8/20\mu\text{s}$ 雷电冲击。

3) 传感器防雷

对于来自振弦式传感器电缆引线上感应的雷击影响，在数据采集箱中对接入野外监测仪器的各数据采集模块的测量通道前直接加装传感器接口防雷器。传感器输入口防雷电感应 $500\text{W}\sim 1500\text{W}$ 。

(5) 防寒措施

目前国内标准和规范里对电气设备的工作温度要求一般是 -10°C 。我国东北和高原地区冬季易遭受极低气温，最低温达零下30多摄氏度，对采集设备和供电设备是一种考验。高寒地区安全监测设备必须考虑防寒防冻措施。采集和通讯设备加保护箱，要求密闭和加热模块，应对极低气温。电源蓄电池加密封箱埋于防冻层以下。

3.3 管道排气阀井室温度监测 高寒地区温度监测是安全监测的重要部分，尤其是排气阀井室内温度监测。如排气阀井保温效果不好，室内温度在零度以下，排气阀水汽凝结成冰，影响气体排出，将危机整个管道的安全运行。另外，出于野外防盗考虑，一旦排气阀井被打开，室内温度变化也可通过温度监测仪器反映。

安全监测系统组成和结构如图1所示。

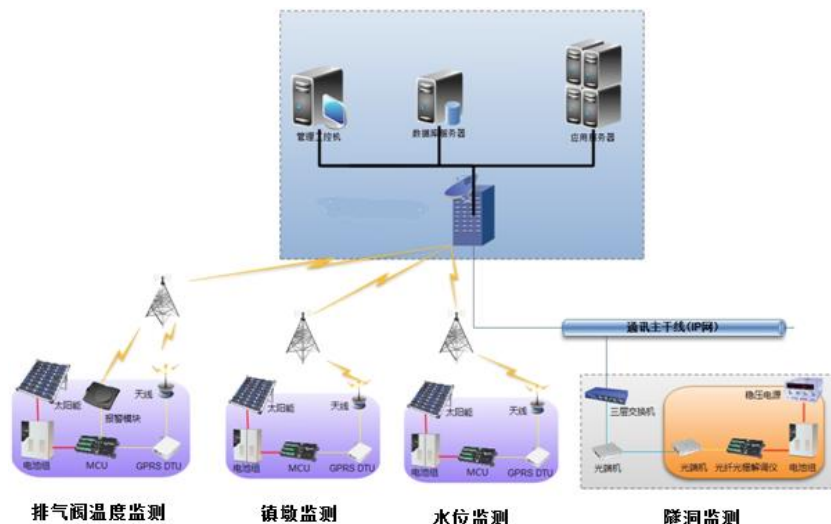


图1 安全监测系统组成和结构

3.4 渗漏监测 本工程未开展渗漏监测工作，针对管道和隧洞以及明渠调水工程的渗漏监测，本文讨论分布式光纤渗漏监测的可行性。

调水工程渗漏不仅是对水资源的浪费，而且危及工程安全。因此，对渗漏的实时监测具有重大意义，能够及时、准确地探测出渗漏位置，在事态未扩大之前指导相关单位进行维护和修补。分布式光纤通过监测渗流点温度变化来判断渗流^[4]，工程造价相对便宜，每公里造价在3-5万。管道工程可在

管道接缝处布置一个测点，沿线敷设分布式光纤，在配电室位置安装采集终端监测渗流，而且光纤采集频率高，可实现实时监测。目前分布式光纤产品已逐渐成熟，但其测量精度偏低，其监测效果和渗漏点判定对工程经验的依赖性较大；实施前必须设计渗漏试验，检验分布式光纤的监测效果。

4 工程应用效果

该调水工程于2016年底完成自动化系统，经历了3年的冬季运行。尤其在-30℃气温下，管道和水位监测数据采集传输正常。监测系统供电系统整体运行良好，未遭遇雷击损坏设备的情况。

隧洞监测光缆最长19km，光纤总通道最大损耗20-30dB，满足光纤解调仪50dB以内的允许值。光纤监测仪器完好率100%。

管道排气阀温度监测采用GPRS无线传输，部分测点信号弱，而且穿透性差，数据传输经常中断，良好率在95%以上，部分井室监测到零度以下的情况，根据监测情况对井室保温进行了处理，保证了排气阀

5 结论

调水工程安全监测具有特殊性，尚无专门规范参考。本文通过某高寒地区调水工程实例，讨论安全监测系统设计，从结构特点出发，讨论设备选型、通讯方式、供电方式以及防雷、防寒措施等内容。通过实际工程应用效果，对施工过程中注意点进行了归纳总结，旨在为同类型工程安全监测提供借鉴。

参 考 文 献：

- [1] 杨进新, 忽惠卿. 南水北调中线 PCCP 管道工程安全监测方案研究[J]. 水利水电技术, 2009 (7): 55-61.
- [2] 俞晓红, 李桂来. 长距离输水隧洞工程安全监测和控制系统[J]. 西部探矿工程, 2005 (1) :223-224.
- [3] 田振华, 李宝石, 王经臣. 水工隧洞衬砌混凝土衬砌裂缝监测与成因分析[J]. 水力发电, 2017(9): 45-48.
- [4] 肖衡林, 蔡德所. 基于温度测量的分布式光纤渗漏监测技术机理探讨[J]. 岩土力学, 2008 (11): 550-554.

Discussion on Safety Monitoring System deign of Long-distance Water

Diversion Projects in the High and Clod Areas

TIAN ZhenHua^{1,2}, WANG Yongzhi³, HUANG Yan⁴

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 2.Beijing IWHR Technology Co., Ltd, Beijing 100048; 3. Henan Yangtze-to-huaihe Water Diversion Engineering co.,Ltd., Zhengzhou 450003, China; 4. Inner Mongolia Yin Chao Ji Liao Water Supply Co.,Ltd, Hulanhate 137699, China)

Abstract: The water diversion project has the characteristics of long line, many kinds of structures, scattered monitoring point and bad environment, so the safety monitoring system is different from dam and reservoir in lightning protection, field power supply and communication mode. Especially in the high and cold areas, cold

protection of equipment is the key to ensure the safety monitoring system. This paper discusses the design principle, monitoring project and monitoring effect of the water diversion project in high and cold areas, and provides reference for the same type of water diversion project.

Key words: Water Diversion Projects in the High and Cold Areas, Safety Monitoring Design, lightning protection system, power supply system, communication system.

田振华，工程师，硕士毕业于河海大学水工结构专业，2012年进入中国水利水电科学研究院从事大坝安全监测设计、实施、咨询，涉水工程自动化、信息化，大坝安全鉴定、评价等工作。通讯地址：北京市海淀区车公庄西路20号，电话：010-68786841,传真：010-68450776，手机号：13911644346，电子邮件：tianzhenhua_126@126.com。