

# 超长输水隧洞多种类传感器数据传输方式

范光亚<sup>1</sup>,何勇军<sup>1</sup>,李宏恩<sup>1</sup>,李 铮<sup>1</sup>,郭晓红<sup>2</sup>

(1. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所,江苏 南京 210029;

2. 南京市水利建筑工程有限公司,江苏 南京 210001)

**摘要:**为了解决超长输水隧洞安全监测工程数据传输距离远以及因安装不同类型传感器导致监测数据格式多样的问题,在对水利工程安全监测系统常用数据传输方式进行优劣比较的基础上,提出适用于光纤传感器和常规传感器交叉组合监测的GPRS数据传输方式,探讨其在超长输水隧洞工程监测信息传输中的适用性和可行性,并在西南某超长输水隧洞工程中进行应用验证。根据超长输水隧洞工程通常无交流电供电的特点,提出风光电互补供电的方式,能够满足监测系统长期供电需求。

**关键词:**输水隧洞;光纤传感器;数据组合通信;信息采集;数据传输;GPRS

中图分类号:TV672<sup>+</sup>.1

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2015)03-0085-04

**Information communication method of multiple sensors for super long distance water delivery tunnel//FAN Guangya<sup>1</sup>, HE Yongjun<sup>1</sup>, LI Hong'en<sup>1</sup>, LI Zheng<sup>1</sup>, GUO Xiaohong<sup>2</sup>** (1. *Dam Safety Management Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *Nanjing Water Construction Engineering Company Limited, Nanjing 210001, China*)

**Abstract:** In this study it is introduced the general packet radio service(GPRS) information communication method, which combining fiber sensors and common sensors, for the long transmission distance of safety monitoring engineering data in super long distance water delivery tunnel and different data formats(resulted from multiple sensors). And it is compared with the common information communication methods about safety monitoring system in hydraulic engineering practice. Besides, it is discussed the applicability and feasibility of the information communication method for super long distance water delivery tunnel as well as tested in an engineering practice in the Southwest China. Due to the fact that alternating current is not available for outdoor projects of super long distance water delivery tunnel, it is proposed the power supply mode of solar, wind, and electrical energy, which are able to meet the power supply demand of monitoring system for a long time.

**Key words:** water delivery tunnel; fiber sensor; mixed data communication; information collection; information communication; general packet radio service(GPRS)

跨流域调水是为解决水资源时空分布不均及资源性短缺问题而采取的水资源优化配置工程。跨流域调水可缓解缺水地区的供需矛盾,从古代的京杭大运河到1949年新中国成立后的引江济汉工程、引滦入津工程和引滦入唐工程,以及南水北调工程等都在一定程度上缓解了这一矛盾,实现了缺水地区经济社会持续稳定的发展<sup>[1-5]</sup>。跨流域远程调水是一个十分复杂、存在高度风险的工程<sup>[6]</sup>。远程调水工程中长距离输水隧洞成为输水工程中重要的组成部分,其沿线场地地质条件复杂多变,同时受岩土力学理论、数值模拟及勘测技术的限制,尚不能在设计阶段就准确预测和评估其在施工及运行过程中的动态响应。因此,应用于反馈设计的长距离隧洞工程

的安全监测工作显得尤为重要<sup>[7]</sup>。传统电测类监测仪器因受传感器传输距离的限制,无法实现数据远距离传输,从而使光纤传感器在长距离隧洞工程监测中得到了应用。由于传统传感器具有性能稳定、精度较高和便于安装等优势,在输水隧洞短洞段仍然应用广泛,因此,长距离输水隧洞工程监测系统通常会安装多种类型的传感器。

针对应用于超长输水隧洞中多种类型传感器交叉组合布置的安全监测工程,结合隧洞工程安全监测特点,笔者拟对目前常用的传感器数据传输方法的优缺点进行分析比较,提出适用于超长输水隧洞工程光纤传感器和常规传感器交叉组合安全监测的GPRS数据传输方式,并以西南某超长输水隧洞工

程为例,介绍该数据传输方式在该监测系统中的应用。

## 1 传感器应用现状

为满足水利工程安全监测需要,通常要安装埋设多种传感器<sup>[8]</sup>。传感器的主要监测项目有变形、裂缝、接缝、倾斜度、应力、应变、压力、位移、环境量等。随着技术的进步,传感器类型也呈现多样化趋势,如差阻式、钢弦式、电容式传感器及光纤传感器等<sup>[9]</sup>。

长距离输水隧洞工程沿途通常需要布设多个监测断面,由于存在不同的监测目的,监测仪器种类和数量均较多。对百千米级超长输水线路工程而言,即使其单段隧洞间会有明渠、渡槽或倒虹吸等连接,但其单体隧洞长度通常仍在10 km以上。在这些较长的单体隧洞中,往往安装有监测围岩变形、渗透压力、锚杆应力、应变、接缝等项目的传感器,若选用钢弦式、差阻式等常规仪器,受其工作原理的限制,其信号传输距离多在2 km以内。虽然采取一些信号放大措施可以传输更远,但其传输距离仍然有限。所以,采用常规的电测类传感器将大幅度制约长距离隧洞安全监测系统的可靠性,长距离输水隧洞监测工程中较长单体隧洞只能选择光纤传感器,其具有传输距离长、抗电磁干扰、耐水、耐高温、保密性好、速度快、带宽大等优点。

但由于光纤传感器施工安装复杂,光纤光栅解调仪价格偏贵,一般只在常规电测类传感器不能满足监测需要时才会选用<sup>[10]</sup>。常规电测类传感器在单体较短的洞段仍被广泛采用。因此,长距离输水隧洞工程不同洞段往往安装着不同种类的传感器。本着可靠、经济和合理的原则,如何保证多种类型的传感器数据信号的有效采集和稳定传输,已成为超长输水隧洞工程安全监测系统亟待解决的问题。

## 2 传感器数据采集方式

根据单体洞段的长短,超长输水隧洞工程通常安装有常规电测类传感器和光纤传感器。常规电测类传感器使用常规采集单元采集信号,即将每支常规传感器电缆直接连接到采集单元;光纤光栅采集

仪负责采集光纤传感器的信号,光纤传感器具有不同传感器波长不同的特点,单芯光纤即可并接若干个光纤传感器(只要在安装时避开相同波长即可)。对于超长输水隧洞工程的安全监测系统,根据监测仪器安装断面情况,将各种传感器信号电缆或光纤牵引至观测支洞或外部观测站房,根据仪器类型分别接入相应的采集装置。常规电测类传感器及光纤传感器数据采集方式见图1。

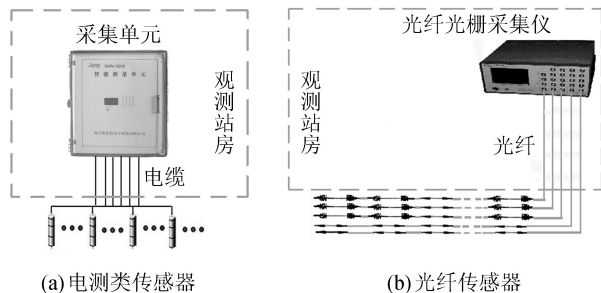


图1 不同类型传感器数据采集方式

## 3 传感器数据传输方式

### 3.1 常用数据传输方式比较

各类传感器监测信号经采集装置采集后,需将采集到的监测数据传输至工程管理部门监测中心机房,目前水利工程中安全监测数据的常用传输方式有RS485数据通信、超短波数据电台、GPRS通信和光纤传输等。水利工程安全监测系统常用数据传输方式见表1。

### 3.2 超长隧洞监测数据传输方式选择

通过比较安全监测系统常用通信方式可知,RS485数据通信虽然安装简便,但距离太短,显然不满足长距离输水隧洞工程安全监测数据传输的需要;输水隧洞通常处于山区地带,超短波数据电台虽然无运行期通信费用,但往往因高山阻隔信号需配置中继站,而中继站又位于山顶,维护相对困难;光纤传输虽具有传输频带宽、抗干扰能力强等优点,但因其投资大且必须沿隧洞内布设导致维护困难。因此,监测点分散的输水隧洞工程安全监测系统宜采用GPRS通信方式,虽需向移动运营商支付一定的数据流量费,但通过技术经济比较,应是当前通信条

表1 常用数据传输方式比较

序号	传输方式	性能	优点	缺点
1	RS485数据通信	在低速率、短距离、无干扰时可采用普通的双绞线,否则必须用RS485专用电缆,最长传输1.2 km	施工简便,无使用费	传输距离短,抗干扰能力弱,速率低
2	超短波数据电台	能够实时或接近实时地传送语音、数据等信息,但目标通信方向有高山等障碍物阻隔时需加中继站	频段宽,通信容量大,无使用费	通信距离较近,受地形影响较大
3	GPRS通信	一种端到端分组模式下发送和接收数据的网络资源,是一种高效、低成本的无线数据业务	在线传输,速率高,接入快,支持IP和X.25协议	有使用费
4	光纤传输	利用激光器产生的光波作为载波,是一种通过光导纤维传递信息的通信方式	传输频带宽、容量大,抗干扰能力强,保密性好	一次性投资大,安装、维护困难

件下最适宜的选择。隧洞沿线各观测站房均位于隧洞支洞出口附近地面,有移动信号且易于维护。GPRS 通信方式除可正常传送监测数据外,还可传输图像监控信号,便于今后根据工程实际监测需要进行相应功能扩展。

## 4 工程应用实例

本文以西南某输水线路安全监测工程为例,探讨了超长距离输水隧洞工程安全监测系统的信息采集和数据传输方式。该工程由水库水源枢纽工程、提水泵站工程及约 120 km 输水线路工程组成,其中隧洞长约 78 km,其余部分由明渠、渡槽和倒虹吸等组成。

### 4.1 常规传感器数据采集传输

为满足施工期及运行期安全管理需要,该工程安装的常规传感器有差阻式传感器(钢筋计等)和钢弦式传感器(应变计、渗压计、多点位移计等)。这些监测仪器可使用多功能通用型数据采集单元进行采集,采集单元在不采集时值守电流很小,采集数据时间仅数十秒,即可通过 GPRS 模块向监测中心发送监测数据,仅需使用太阳能电池配合蓄电池即

可满足监测站的数据采集和传输供电需要,不受连续阴雨天气影响。常规传感器供电及数据采集传输方式见图 2。若单个测站的采集单元有 2 台以上,可将 RS485 分地址码并接后再通过 GPRS 模块向监测中心发送监测数据。

### 4.2 光纤传感器数据采集传输

除常规传感器外,该隧洞工程还安装有光纤传感器。光纤传感器数据使用光栅采集仪采集,其供电方式为交流 220 V,光栅采集仪与常规传感器的采集单元不同,光栅采集仪需一直开机待命,达到设定的采集时间或接收到中心站召测命令时采集数据并传送出去。该工程输水线路沿途无交流电源,共有 7 个光纤传感器监测站且分布相对分散,由于沿山区输水线路铺设交流电源造价很高,因此决定采用太阳能电池加风电组合的方式供电,结合蓄电池及逆变器给光栅采集仪提供 220 V 交流电源。由数传仪下达数据采集指令,待光栅采集仪采集数据后通过 GPRS 模块上传到监测中心站机房监测主机。光纤传感器供电及数据采集传输方式见图 3。若光栅采集仪数量超过 1 台,可并接后通过 GPRS 模块向

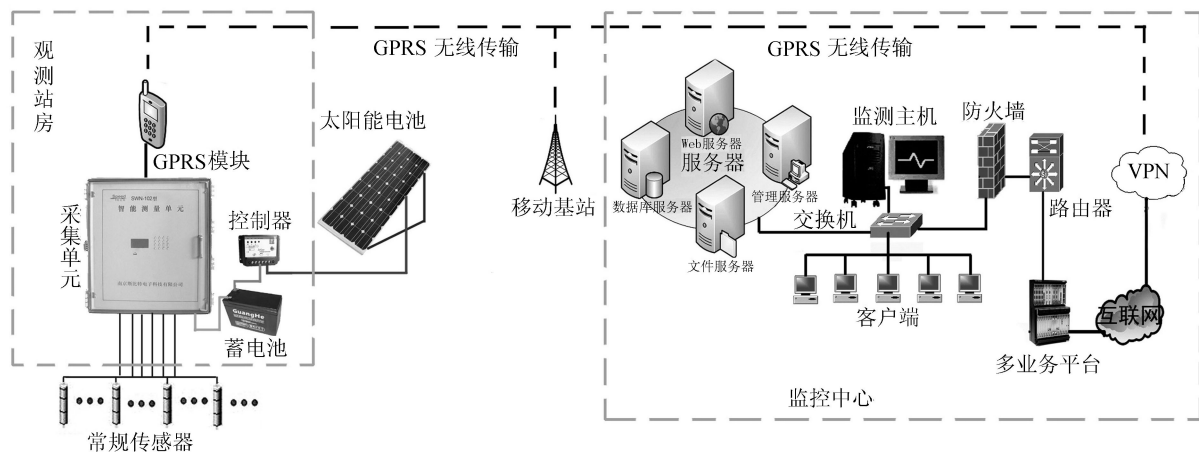


图 2 常规传感器供电及数据采集传输方式

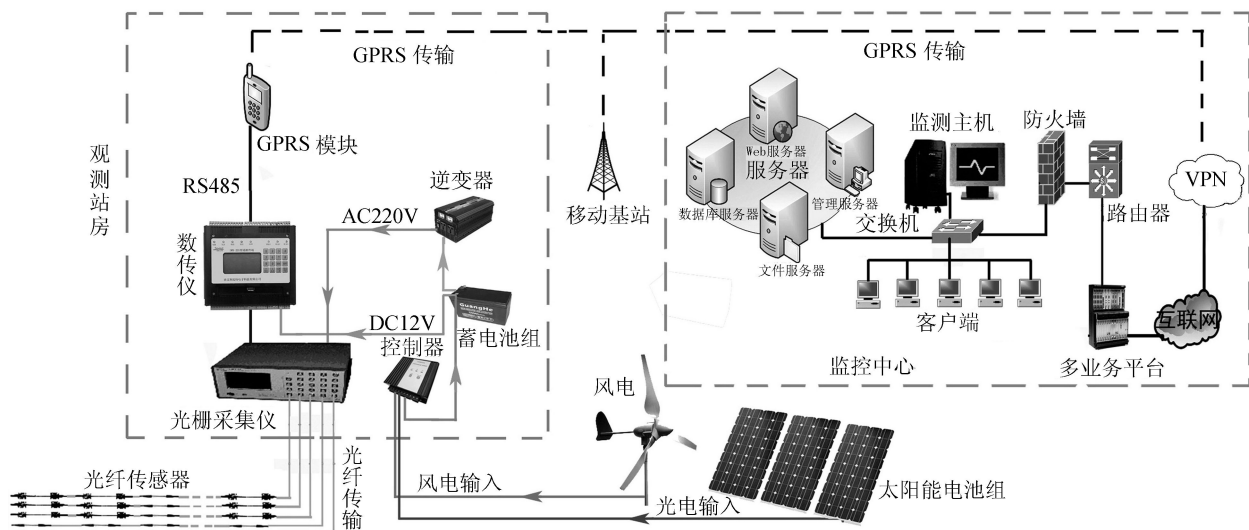


图 3 光纤传感器供电及数据采集传输方式

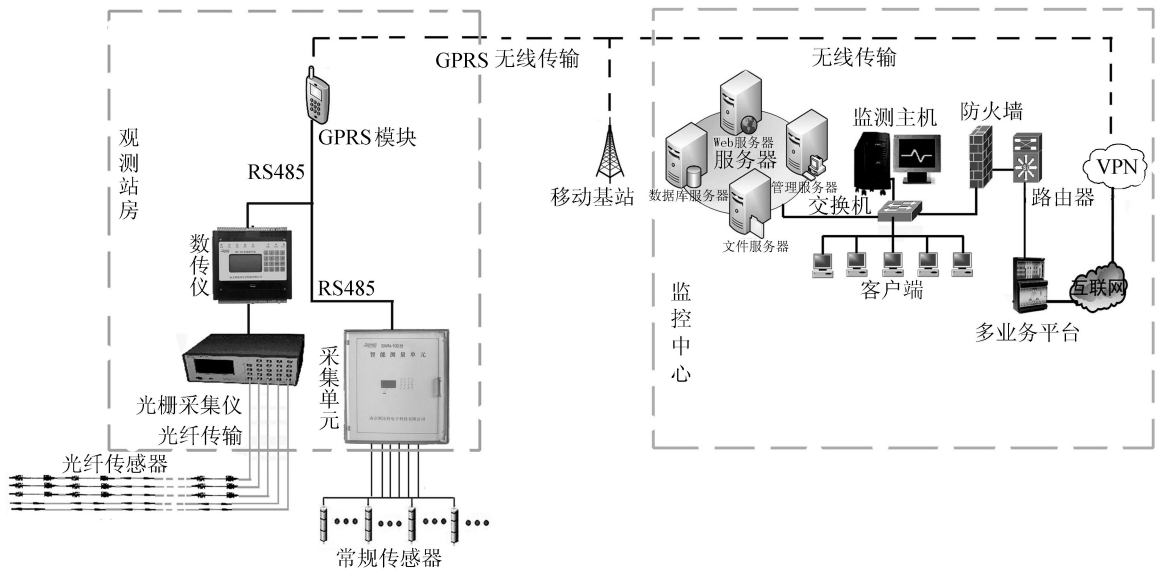


图4 光纤及常规传感器交叉组合数据采集传输方式

监测中心发送监测数据。

### 4.3 组合传感器数据采集传输

对于由常规传感器及光纤传感器交叉组合监测的隧洞段,可将常规传感器接入观测站采集单元,将光纤传感器的光纤引入地面观测站房并接入光栅采集仪。光栅采集仪和采集单元所有数据通信的RS485信号合并后由GPRS模块将监测数据传输至监测中心站监测主机。光纤及常规传感器交叉组合数据采集传输方式见图4。观测站采用太阳能结合风力发电的方式供电。

监测中心站监测主机接收到来自输水隧洞各监测站点的监测数据后,由数据整编和分析评价软件对监测数据进行判定、甄别和分析,并形成各种报表和过程曲线,提供输水隧洞实时监测和预警信息,判定工程运行性态,为超长输水隧洞工程的安全运行和科学管理服务。

## 5 结语

a. 基于超长输水隧洞工程安全监测仪器的多样性,在确保信息传输可靠性及经济性的基础上提出了光纤及常规传感器交叉组合的数据采集传输方式。

b. 通过对水利工程安全监测系统常用数据通信方式的优劣势对比,认为采用GPRS通信方式能满足超长距离输水隧洞安全监测数据传输的需要。

c. 提出了在超长隧洞工程沿线无交流电供电的工况下,因地制宜地采用风光电互补方式,能够满足监测系统长期运行供电需求。

d. 探讨了不同类型传感器在超长输水隧洞安全监测中的数据采集与传输方式,并在某输水线路

安全监测工程中进行了应用,研究成果可为类似工程提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 肖伟华,裴源生,于福亮. 调水工程规划决策体系探讨及应用研究[J]. 水电能源科学,2007,25(5):9-11,26. (XIAO Weihua, PEI Yuansheng, YU Fuliang. Discuss on decision-making index system of planning of water transfer project and a case study [J]. Water Resources and Power, 2007,25(5):9-11,26. (in Chinese))
- [2] 高程程,陈长太,唐迎洲. 上海市青松水利片引清调水方案研究[J]. 水电能源科学,2012,30(2):115-119. (GAO Chengcheng, CHEN Changtai, TANG Yingzhou. Research on water resources scheduling program of qingsong water conservancy zone in Shanghai City [J]. Water Resources and Power, 2012,30(2):115-119. (in Chinese))
- [3] 冯晓晶,金科,梁忠民,等. 引江济太工程调水效益评估[J]. 水电能源科学,2012,30(6):135-138. (FENG Xiaojing, JIN Ke, LIANG Zhongmin, et al. Research on benefit evaluation of Yangtze River Water Transfer Project [J]. Water Resources and Power, 2012,30(6):135-138. (in Chinese))
- [4] 顾文权,邵东国,蒋玉芳. 调水工程水源区需水长系列模拟与供水风险分析[J]. 水力发电学报,2012,32(5):23-28. (GU Wenquan, SHAO Dongguo, JIANG Yufang. Water demand simulation and water shortage risk analysis for sources area of water diversion engineering [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012,32(5):23-28. (in Chinese))

(下转第113页)

- (JIANG Shouyan, DU Chengbin. Study on numerical precision of extended finite element methods for modeling weak discontinuities [J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2012, 44 (6): 1005-1015. (in Chinese))
- [43] 杜修力, 金浏, 黄景琦. 基于扩展有限元法的混凝土细观断裂破坏过程模拟[J]. 计算力学学报, 2012, 29 (6): 940-947. (DU Xiuli, JIN Liu, HUANG Jingqi. Simulation of meso-fracture process of concrete using the extended finite element method [J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2012, 29 (6): 940-947. (in Chinese))
- [44] 于红军. 含复杂界面非均匀材料断裂力学研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [45] 茹忠亮, 申崑, 赵洪波. 基于扩展有限元法的钢筋混凝土梁复合断裂过程模拟研究[J]. 工程力学, 2013, 30 (5): 215-220. (RU Zhongliang, SHEN Wei, ZHAO Hongbo. Simulation of mixed-mode fracture process of reinforced concrete beam based on extended finite element method [J]. Engineering Mechanics, 2013, 30 (5): 215-220. (in Chinese))
- [46] 汪基伟, 张雄文, 林新志. 考虑黏结滑移的平面组合式单元模型研究与应用[J]. 工程力学, 2008, 25(1): 97-102. (WANG Jiwei, ZHANG Xiongwen, LIN Xinzhi. Research and applications of a plane embedded combined element model considering bond and slip [J]. Engineering Mechanics, 2008, 25(1): 97-102. (in Chinese))
- [47] SIMONE A, WELLS G N, SLUYS L J. A novel technique for modelling interfaces in reinforced brittle materials [C]//DEBORST R, MAZARS J, PIJAUDIERCABOT G. 4th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete Structures. Leiden: A A Balkema Publishers, 2001: 841-846.
- [48] DEB D, DAS K C. Enriched finite element procedures for analyzing decoupled bolts installed in rock mass [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2011, 35(15): 1636-1655.
- [49] IBRAHIMBEGOVIC A, BOULKERTOUS A, DAVENNE L, et al. Modelling of reinforced-concrete structures providing crack-spacing based on X-FEM, ED-FEM and novel operator split solution procedure [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2010, 83 (4): 452-481.
- [50] 何学. 钢筋混凝土扩展有限元单元模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2013.
- [51] CONTRAFATTO L, CUOMO M, FAZIO F. An enriched finite element for crack opening and rebar slip in reinforced concrete members [J]. International Journal of Fracture, 2012, 178(1/2): 33-50.
- [52] 方修君, 金峰. 基于 ABAQUS 平台的扩展有限元法 [J]. 工程力学, 2007, 24(7): 6-10. (FANG Xiujun, JIN Feng. Extended finite element method based on abaqus [J]. Engineering Mechanics, 2007, 24 (7): 6-10. (in Chinese))
- [53] 杨涛, 邹道勤. 基于 XFEM 的钢筋混凝土梁开裂数值模拟 [J]. 浙江大学学报: 工学版, 2013, 47(3): 495-501. (YANG Tao, ZOU Daoqin. Numerical simulation of crack growth of reinforced concrete beam based on XFEM [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2013, 47(3): 495-501. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-02-07 编辑: 骆超)

(上接第 88 页)

- [5] 曾祥, 胡铁松, 郭旭宁, 等. 跨流域供水水库群调水启动标准研究 [J]. 水利学报, 2013, 44(3): 253-261. (ZENG Xiang, HU Tiesong, GUO Xuning, et al. Triggering mechanism for inter-basin water transfer-supply in multi-reservoir system [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(3): 253-261. (in Chinese))
- [6] 姜广义. 长距离调水工程中信息化设备的维护与管理初探 [J]. 水电能源科学, 2008, 26(3): 116-117. (JIANG Guangyi. Discussion on maintenance and management of informationization equipment in long distance water supply project [J]. Water Resources and Power, 2008, 26(3): 116-117. (in Chinese))
- [7] 李铮, 李宏恩, 袁启旺, 等. 阶跃函数模型在龙江水电站压力钢管监测中的应用 [J]. 水电能源科学, 2011, 29 (7): 97-99, 152. (LI Zheng, LI Hongen, YUAN Qiwang, et al. Application of step function model to steel penstock monitoring of Longjiang Hydropower Station [J]. Water Resources and Power, 2011, 29 (7): 97-99, 152. (in Chinese))
- [8] 李宏恩, 李铮, 范光亚, 等. 龙江水电站坝后厂房高边坡锚杆应力分析 [J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(8): 59-62, 94. (LI Hongen, LI Zheng, FANG Guangya, et al. Analysis of anchor bar stress for high slopes of powerhouse at dam toe of Longjiang hydropower plant [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32 (8): 59-62, 94. (in Chinese))
- [9] 何勇军, 刘成栋, 向衍, 等. 大坝安全监测与自动化 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 2-7.
- [10] 崔何亮, 郑晓红, 王玉洁. 光纤应变分布传感的工程实用情况及其在水工领域的应用前景 [J]. 大坝与安全, 2012(1): 43-46. (CUI Heliang, ZHENG Xiaohong, WANG Yujie. Application of optical fiber distributed strain sensing and its future in hydraulic engineering [J]. Large Dam & Safety, 2012(1): 43-46. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-02-16 编辑: 骆超)