

界牌枢纽外部变形监测系统改造方案及实施

杨晓波¹, 丁玉堂^{2*}, 陆阳洋², 姜晓桢², 熊国文²

(1. 江西省港航管理局界牌航电枢纽管理处, 江西 鹰潭 335001; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘要: 许多兴建于上世纪的航电枢纽, 安全监测系统较为陈旧, 难以满足当前日趋规范化的安全管理要求。本文以信江界牌枢纽安全监测系统改造项目为案例, 针对枢纽建筑物“种类多、工作面小; 轴线长、测量精度要求高”等技术难点, 详细探讨了枢纽外部变形监测系统改造方案与实施要点。系统改造后的监测数据分析表明, 改造方案与改造施工是成功的。本案例可为我国众多老旧枢纽的安全监测系统改造提供参考。

关键词: 界牌枢纽; 安全监测改造; 外部变形

中图分类号: TV61

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2021) 09—0102—03

航电枢纽具有航运、防洪、发电、灌溉等功能, 是一类重要的水利枢纽工程。自 1986 年西江桂平枢纽开工建设以来, 我国兴建了数量众多的航电枢纽^[1], 许多枢纽的服役期目前已逾 20a。水利枢纽在长期服役条件下, 其结构及基础均存在劣化的风险, 枢纽病险案例近年来时常见诸报道^[2]。随着安全管理的日趋重视, 航电枢纽的长效运行状态成为工程人员与科研人员关注的重点^[3]。

规范化的安全监测是评判枢纽长效运行状态、保障枢纽安全的一个有效手段。许多航电枢纽受以往投资额度与技术手段的限制, 监测设施不足, 监测精度与效率低下, 不能满足当前枢纽运行管理的需求。因此, 对这些老旧枢纽开展安全监测系统的后期改造升级是极为必要的。

与新建工程相比, 在已建成的枢纽上开展安全监测系统改造面临一些难点。其中, 枢纽的外部变形监测系统改造最具代表性。

一方面, 航电枢纽多位于宽河道、大流量的河流中下游, 坝轴线较长; 枢纽运行多年后变形状态相对稳定, 年度变化量最低可在数个毫米内。老旧枢纽的变形监测很多采用人工观测方法。其结果往往因设备精度不足、专业技术人员缺乏以及气象条件干扰等因素影响, 可信度较低。在长坝轴线条件下, 人工观测精度更难以保证。因此, 为避免测量误差掩盖枢纽的真实变形规律, 改进后的监测系统必须具备较高的测量精度且能胜任长坝轴线的监测需求。

另一方面, 枢纽建筑物种类杂、数量多, 挡水、泄

水、通航、发电、过鱼及坝顶公路桥等不同建筑物结构迥异, 位置紧凑。测点的布置既要保证各建筑物的监测需求, 还要避让现有重要结构, 克服工作面狭小的制约。

针对上述难点, 本文以信江界牌航电枢纽安全监测改造为例, 详细介绍了界牌老枢纽坝段外部变形监测系统的改造方案与实施要点, 并对改造后的监测成果进行分析。在总结相关经验的同时, 以期对国内类似项目提供有价值的参考。

1 工程概述

界牌枢纽位于信江中下游鹰潭市中童镇的界牌村, 是信江渠化工程的第一个梯级枢纽。工程于 1992 年 11 月开工建设, 1997 年 6 月基本完工。枢纽主体工程主要由电站、船闸、左支泄水闸、右支泄水闸、平板坝、溢流坝、土坝以及坝顶公路桥等组成, 坝轴线总长约 1.0km。枢纽的布置如图 1 所示。

枢纽兴建时, 除船闸、厂房外, 其余坝段基础均未开挖至新鲜基岩, 而是采取了置换回填砂砾石的方式进行基础处理。运行多年后, 部分坝段分缝处已有一定的变形发展, 因此需要持续的监测关注。

2018 年 11 月界牌船闸改建工程开工, 对原有船闸、土坝拆除重建, 并对枢纽其余部分进行安全监测设施改造。南京水利科学研究院承担了本次改造的前期方案布置与后期施工工作, 中水珠江规划勘测设计有限公司承担了具体设计。其中外部变形监测系统改造区域包含(自左至右): 左支泄水闸、平板坝、溢流坝(含交通桥)、右支泄水闸。

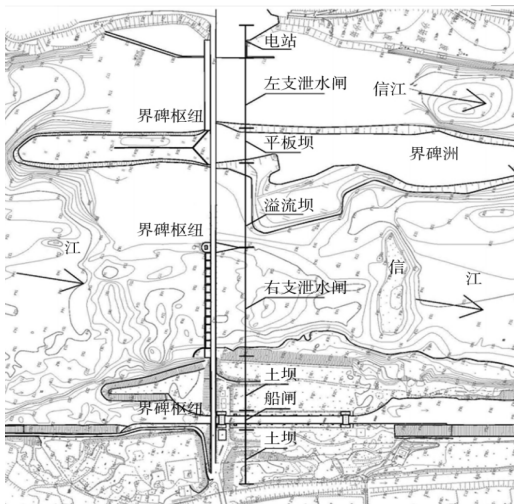


图1 界牌枢纽布置图

2 改造方案与施工要点

2.1 改造方案

2.1.1 总体布局

采用当前广泛应用的引张线系统与静力水准系统^[4]开展枢纽表面水平位移与垂直位移（沉降）的观测，并以倒垂装置与双金属标作为水平位移与垂直位移测量的工作基点。上述设施均接入自动化监测系统，实现自动化观测及记录。针对枢纽坝轴线长、各坝段结构形式不同、存在线路遮挡的情况，采用分段布置的方式设置测点。左支泄水闸坝段、平板坝与溢流坝坝段、右支泄水闸坝段各布置1套独立的测点系统。

2.1.2 测点布置

左、右支泄水闸坝段测点均布置于闸墩迎水侧，以避免对闸门日常启闭、检修造成干扰。由于安装空间不足，平板坝与溢流坝测点布置在平板坝支墩及溢流坝上部交通桥桥墩的迎水侧。倒垂装置与双金属标布置于左、右支泄水闸两端，与平板坝、溢流坝监测系统共用。各坝段测点数量统计如表1所示。

以左支泄水闸为例，测点布置如图2所示。倒垂装置（IP-Z-1，IP-Z-2）、双金属标（LS-Z-1）、引张线系统的固定张拉端以及静力水准系统中的基准测点（TA-Z-1，TA-Z-6）布置于坝段两侧。静力水准测点与引张线测点配合布置，位于闸墩迎水侧。其中，倒垂装置IP-Z-1与双金属标LS-Z-1同时承担平板坝与溢流坝测点系统工作基点的任务。

2.1.3 设备选型

引张线仪与静力水准仪采用南京南瑞生产的RY-

40S型引张线仪与RJ-50S型静力水准仪，综合误差均 $\leq 0.7\%F.S.$ 。自动化系统采用南京水利科学研究院研发的DBJC型安全监测自动化系统。

表1 各坝段测点分布

坝段名称	水平位移测点数	垂直位移测点数	水平位移工作基点	垂直位移工作基点
左支泄水闸	4	6	IP-Z-1, IP-Z-2	LS-Z-1
平板坝与溢流坝	8	10	IP-Z-1, IP-Y-2	LS-Z-1
右支泄水闸	6	8	IP-Y-1, IP-Y-2	LS-Y-1

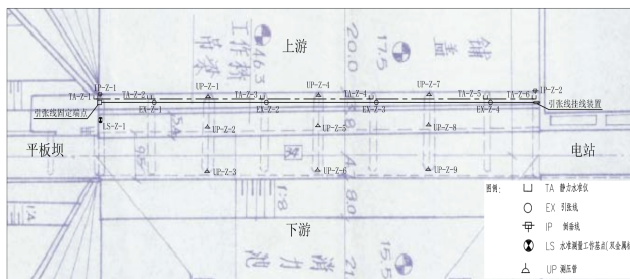


图2 左支泄水闸测点布置图

2.2 施工要点

改造施工面临的主要难题是作业空间的缺乏。界牌枢纽平板坝、溢流坝坝段测点布置在平板坝支墩及溢流坝上部交通桥桥墩的迎水侧。测点附近无作业平台及电缆、管路通道。针对此问题，设计新增钢栈桥一座，用于上述坝段仪器安装及日常检修。

溢流坝坝段钢栈桥主体采用 $\Phi 114\text{mm}$ 及 $\Phi 48\text{mm}$ 钢管焊接而成，每段长约16m，宽0.9m。交通桥桥墩两侧通过化学锚栓各固定一根悬挑槽钢，利用吊机将各段钢栈桥体吊装至安装部位，通过手拉葫芦将桥体固定于悬挑槽钢上。平板坝段，先以化学锚栓将支撑三角架固定在坝面迎水侧，再铺设钢板桥面。钢栈桥布置示意图及安装后效果图分别如图3、图4所示。

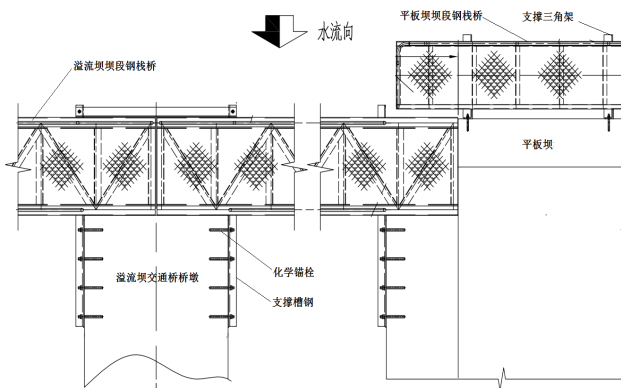


图3 钢栈桥布置示意图



图4 钢栈桥布置现场照片

3 监测数据分析

监测系统改造施工于2021年1月底完工,随后各测点接入自动化监测系统。选取各坝段典型测点,对坝体水平位移与垂直位移计进行分析。

(1) 坝体水平位移典型测点测值(沿下游方向为正)过程线如图5所示。由图可以看出,左支泄水闸与平板坝坝段典型测点水平位移较小,测值在0mm附近波动。右支泄水闸与溢流坝坝段典型测点测值在0~3mm范围内波动。各坝段典型测点测值总体均较为平稳,右支泄水闸与溢流坝坝段测值波动更为显著,主要与上述坝段位于主河道、挡水前缘宽有关。

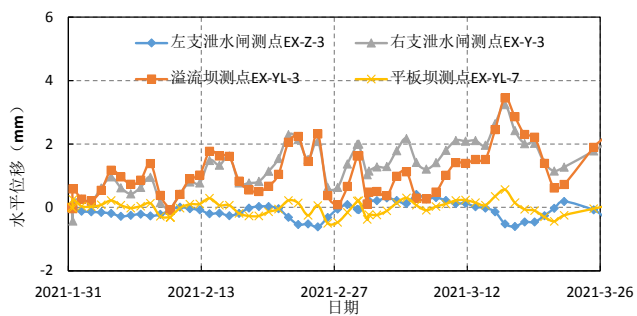


图5 典型测点水平位移测值过程线

(2) 坝体垂直位移典型测点测值(沉降为正,上抬为负)过程线如图6所示。由图可以看出,各测点测值均在-2~1mm范围内,各坝段垂直位移状态较为稳定。观测期内测值有一定的上行趋势,这与春季气温回升、混凝土微幅膨胀有关,符合混凝土结构的一般变形规律。

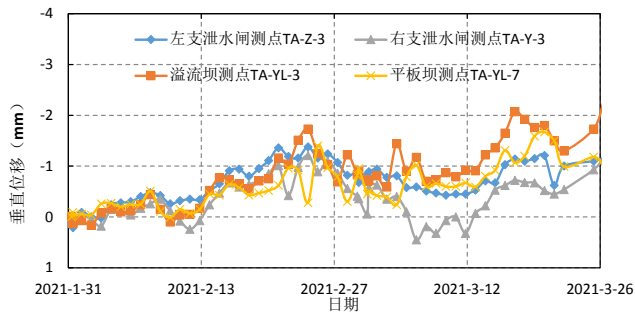


图6 典型测点垂直位移测值过程线

上述监测数据表明,改造后外部变形监测系统精度有明显的提升,测值可反映出枢纽外部变形的微幅波动特征。枢纽变形分布及变化特点与实际工况相吻合。观测期内枢纽外部变形状态正常。

4 结论

以界牌枢纽为例,探讨了已建航电枢纽外部变形监测系统的改造方案与施工要点,并对改造后的监测成果进行分析。得到的主要结论如下:

(1) 采用高精度的电测仪器及自动化监测系统,可胜任运行期较久的老枢纽外部变形监测。

(2) 对于坝轴线长、建筑物多的枢纽,宜采用分段布置的方式设置观测系统。同时注意每套观测系统应配备足够的工作基点。

(3) 工作面不足是老枢纽监测系统改造施工过程中面临的主要难点。可通过增设施工平台、便桥、通道等设施满足施工要求。

(4) 监测数据显示,观测期内变形的波动量在3mm以内,各坝段水平位移与垂直位移均较为稳定,枢纽运行状态正常。

参考文献:

- [1] 翟慧娟,李颖,张林江.航电枢纽建设与内河航运发展[J].交通建设与管理,2008(07):68-72.
- [2] 韩安定.对连江航运枢纽安全监测的思考[J].珠江水运,2004(11):28-30.
- [3] 吴中如,徐波,顾冲时,李占超.大坝服役状态的合评判方法[J].中国科学:技术科学,2012,42(11):1243-1254.
- [4] 何金平.大坝安全监测理论与应用[M].中国水利水电出版社,2010.

基金项目:南京水利科学研究院青年基金项目(Y316020)。