

# 猴子岩智慧工程建设的探索与成效

郑正勤

(国电大渡河猴子岩水电建设有限公司,四川 康定 626005)

**摘要:**猴子岩水电站面板堆石坝坝高223.5m,宽高比1:1.25,是深窄河谷上的世界第二高面板堆石坝。为此,猴子岩公司在开工之初就探索将信息技术与工程管理深度融合,不断探索以数据驱动自动感知、自动预判、自主决策的智慧工程管理模式,为类似水电工程管理提供参考和借鉴。

**关键词:**猴子岩水电站;智慧工程;系统建设;成效

**中图分类号:**:[TM622];B848.5;TV54

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2018)05-0071-03

## 1 智慧工程的理论创新与组织架构

2014年初,国电大渡河流域水电开发有限公司总经理涂扬举首先提出了智慧企业的理论体系。智慧企业是站在企业整体的角度,强化物联网建设、深化大数据挖掘、推进管理变革创新,将先进信息技术、工业技术和管理技术深度融合,实现企业全要素的数字化感知、网络化传输、大数据处理和智能化应用,从而使企业呈现出风险识别自动化、决策管理智能化、纠偏升级自主化的柔性组织形态和新型管理模式。

智慧企业的建设目标是企业实现自动预判、自主决策、自我演进。自动预判,即风险识别自动化,通过建设完整的网络体系,做到大感知、大传输、大存储、大计算、大分析,从而实现对各类风险全过程的自动识别、判定及预警。自主决策,即决策管理智能化,通过在企业建立数据驱动的“单元脑”“专业脑”和“决策脑”等,形成多脑协同和系统联动,使企业整体具有人工智能的特点,以实现企业决策管理全面智能。自我演进,即纠偏升级自主化,通过各类历史数据和决策模型的不断累积,使企业具备自主学习功能,实现自我评估、自我纠偏、自我提升、自我引领。

智慧企业组织架构是“一中枢、多中心、四单元”;智慧工程即是智慧企业四大主营业务单元之一,它以全生命周期管理、全方位风险预判、全要素智能调控为目标,将信息技术与工程管理深度融合,通过打造工程数据中心、工程管控平台和决策指挥平台,实现以数据驱动的自动感知、自动预

判、自主决策的柔性组织形态和新型工程管理模式。

## 2 猴子岩工程概况

猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,是大渡河干流水电规划调整“三库22级”的第9个梯级电站,上游为丹巴水电站,下游为长河坝水电站。猴子岩工程开发任务是发电。坝址控制流域面积54 036 km<sup>2</sup>,占全流域面积的69.8%,多年平均流量为774 m<sup>3</sup>/s。水库正常蓄水位1 842.00 m,相应库容6.62亿m<sup>3</sup>,校核洪水位1 845.41 m,相应总库容7.06亿m<sup>3</sup>,死水位1 802.00 m,调节库容3.87亿m<sup>3</sup>,具有季调节性能。电站安装4台单机容量425 MW的混流式水轮发电机组,总装机容量1 700 MW,单独运行多年平均年发电量70.15亿kWh。

电站主要枢纽建筑物由拦河坝、两岸泄洪及放空建筑物、右岸地下引水发电系统等组成。拦河坝为混凝土面板堆石坝,最大坝高223.50 m。右岸布置有1条溢洪洞和1条泄洪放空洞,左岸布置有1条深孔泄洪洞和1条非常泄洪洞(由1#导流洞改建)。右岸首部式地下厂房采用“单机单管”引水及“两机一室一洞”尾水布置型式。

工程于2011年11月通过国家发改委核准,同期,大坝工程和引水发电系统开工。2013年4月,大坝基坑开挖完成;2013年6月,坝基处理完成,坝体开始填筑;2014年3月,地下厂房开挖完成;2014年4月,首台4#机组开始混凝土浇筑;2015年12月,大坝填筑完成;2016年6月,地下厂房发电机层以下混凝土浇筑完成;2016年11

收稿日期:2018-07-31

月,导流洞下闸,水库开始蓄水;2017年1月,首台4#机组投产发电;2017年11月,水库蓄水至正常蓄水位,末台1#机组完成72h试运行。

### 3 智慧工程建设探索及成效

猴子岩工程是深窄河谷、深厚覆盖层、高地震烈度区的一等大(I)型水电工程,枢纽建筑物有深窄河谷、深厚覆盖层上在建世界第二高混凝土面板堆石坝,有高地应力深埋地下厂房洞室群。开工之初,猴子岩公司就探索将信息技术与工程管理深度融合,试图打造工程数据中心、工程管控平台和决策指挥平台,以实现以数据驱动的自动感知、自动预判、自主决策的工程管理模式。

#### 3.1 大坝填筑 GPS 质量监控系统

##### 3.1.1 建设目的

为了适应猴子岩面板堆石坝填筑工程工期紧、施工强度大等特点,同时保证对大坝填筑过程实时、高效、精细化的管理,建立了猴子岩堆石坝填筑碾压过程实时监控系统。实现了对大坝坝面碾压包括碾压遍数、行车速度、激振力等参数的有效监控,并建立了实时控制和预警机制。

##### 3.1.2 系统功能

猴子岩面板堆石坝填筑碾压实时监控系统主要功能如下:

(1)动态监测施工作业面碾压机械运行轨迹、速度、振动状态和碾压高程,并在坝体施工数字地图上可视化显示。

(2)实时自动计算和统计施工作业面各位置的碾压遍数、压实厚度等,并在坝体施工数字地图上可视化显示,同时在驾驶室监控终端上实时显示。

(3)当碾压机械运行超速,以及振动状态不达标时,系统自动给车辆司机、现场监理和施工人员发送报警信息,并在现场监理分控站PC监控终端上醒目提示,同时把该报警信息写入施工异常数据库备查。

(4)在每单元施工结束后,输出碾压质量图形报表,包括碾压轨迹图、碾压遍数图、压实厚度图和碾压高程图等,作为质量验收的辅助材料。

(5)可在总控中心和现场分控站对大坝填筑碾压情况进行监控,实现远程、现场“双监控”。

猴子岩面板堆石坝施工现场信息PDA采集系统主要功能如下:

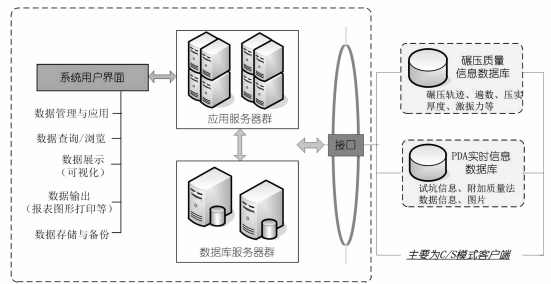


图1 猴子岩面板堆石坝建设信息管理系统结构

(1)现场试验数据(如试坑试验)与现场照片图片的PDA采集与编辑,包括整个施工期内的所有试坑信息。

(2)现场采集数据通过PDA无线传输至系统中心数据库,实现库中数据的有效管理与网络共享;对于相对固定的数据信息(如实验室试验数据)也可通过IE客户端输入,PDA主要采集施工过程中的临时变动数据。

##### 3.1.3 应用成效

大坝填筑GPS质量监控系统的应用,克服了猴子岩深窄河谷定位精度和信号覆盖差的技术难题,实现了准确监控大坝填筑碾压机械行进速度、振动状态、碾压轨迹、碾压遍数、仓面高程及厚度等施工情况,有效保证了大坝填筑质量。同时减轻了施工期人工监控强度,节约人工监控成本约50万元。截至2018年5月底,坝体最大沉降为1274.2mm,占坝高的0.57%,大坝填筑质量优良。

#### 3.2 滑坡体动态监控及预警系统

##### 3.2.1 建设目的

为了实时掌控猴子岩库区开顶滑坡体变形动态,做到危险状况下提前预警,保障滑坡体下方省道S211通行安全,建立了猴子岩开顶滑坡体动态监控及预警系统。

##### 3.2.2 系统功能

猴子岩开顶滑坡体三维智慧信息平台主要完成了变形体三维实景建模,裂缝、孤石、道路、房屋、TP点及GNSS监测点等关键信息的叠加,主要功能如下:

(1)能够实时查看变形体各个监测点的各个方向的监测数据、库区水位、附近降雨量。

(2)更加立体、直观地观察变形体的三维影像,能快速对山体任一点的三维坐标、任一坡面的山体坡度及高程进行查询。

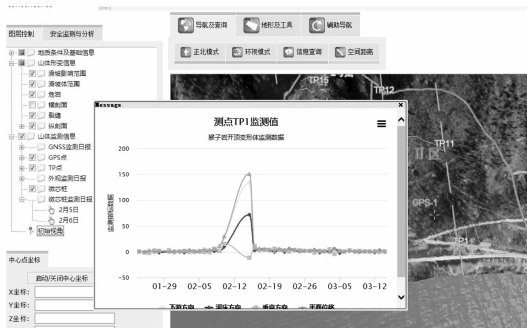


图2 猴子岩开顶滑坡体监测数据查询

猴子岩开顶滑坡体微芯桩实时监测预警系统有别于传统的外观监测,微芯桩实时监测预警系统基于高精度态势感知智能传感物联网,主动监测工程安全参数的细微变化,分析工程安全状态及演变趋势,通过云平台及移动互联网推送实时信息及安全警示。该系统主要包含微芯桩传感器、一杆式采集测站等硬件部分和云平台、手机客户端等软件部分。针对变形体,可实现位移监测、倾斜、振动、监控照片等实时主动观测,可通过手机客户端实时对监测数据及警示信息进行查看。同时,该系统还具备如下功能:

(1)全天候24小时监测:对边坡危岩块体的倾斜角度、坡体的振动实现全天候24小时的在线监测,实时掌握边坡整体安全状态

(2)双重分级预警:数据异常时,系统会触发相应的两级报警机制,第一时间以手机APP、短信等形式通知用户。

(3)提供参考依据:存储监测数据,为今后同类工程设计、施工提供类比依据。

(4)缩减监测成本:大幅降低监测成本,且提高检测频率(1小时/次)和安全冗余。



图3 猴子岩开顶滑坡体微芯桩实时监测预警平台

### 3.2.3 应用成效

2018年2月5日,微芯桩所测倾斜值日变化量逐渐增大趋势明显,开顶滑坡部分测点日变形量超过50 mm。按照专项应急预案要求,猴子岩公司发出危险预警并立即启动了应急预案响应,避免了多次坍塌带来的损失。

2018年3月15日,现场排危施工造成局部垮塌,微芯桩主动感知危险前兆,实时发送避险预警信息,及时引导垮塌范围内作业人员迅速撤离到安全区域,在所有人员撤离3分钟后,顶部危石滚落,被砸落变形的3号微芯桩在后台显示仍处于正常工作状态,并持续发出预警。

截至2018年5月底,微芯桩实时监测预警系统主动发出黄色预警提示和红色预警提示累计1000余次,为滑坡排危施工及时发出避险警报并成功引导避险6次。

## 3.3 混凝土生产智能调度系统

### 3.3.1 建设目的

2013年以来,猴子岩大坝、引水发电系统、泄洪系统等主体工程相继进入混凝土浇筑高峰,各标段混凝土需求叠加,2015年5月最大月供应强度87500 m<sup>3</sup>,超出拌和系统80000 m<sup>3</sup>/m的设计生产能力达9.4%;2014年8月至2016年1月的平均月供应强度达61700 m<sup>3</sup>/m。同时,混凝土原材料因主、辅供厂家多,导致原材料品种增多,胶凝材料多达6种,外加剂多达4种,胶凝材料与外加剂组合多达14种,导致混凝土施工配合比众多。

鉴于主体工程混凝土浇筑高峰叠加、混凝土供应强度高、品种多的严峻形势,为确保混凝土生产、供应环节高效、准确、有序,保障混凝土供应质量和混凝土浇筑进度,建立了猴子岩工程混凝土生产智能调度系统。

### 3.3.2 系统功能

猴子岩工程混凝土生产智能调度系统主要功能如下:

(1)利用ZigBee无线通信技术、RFID无线射频技术和IEEE 802.15无线网络技术等,实现了有限场地、集中并行布置条件下混凝土运输车辆、调度室、拌和楼配料系统三者之间联合控制,有效保证了同一时段、不同标段、不同部位、不同品种

(下转第95页)

达 117.50 m,基础混凝土防渗墙深达 80 m,在国内外同类项目中极为罕见。设计过程中通过对围堰基础不同防渗深度下围堰渗流稳定分析及围堰建成后大坝基坑开挖过程中不同阶段围堰渗流稳定分析,选择安全合理的堰型及堰基防渗型式,为工程顺利完工创造了有利条件;在猴子岩水电站工程建设中,2011 年汛前填筑分流围堰,设计将上下游围堰与上下游分流围堰结合布置,为汛后及早进行上、下游围堰超深防渗墙施工创造了有利条件。

#### 参考文献:

(上接第 73 页)

混凝土供应的准确性和供应效率。

(2)利用 Sql Server2000 数据库开发技术,实现了数以千种的混凝土配比数据的综合查询、远程访问、分布式存取、备份和处理。

(3)通过 LED 屏幕显示、语音播放及硬盘录像机功能,扩展了车辆智能调度系统的交互能力,有效提高了车辆司机、拌和楼控制系统以及调度室调度人员之间的协调性,从而提高了混凝土生产供应环节质量的可靠性,使拌和系统的运行真正实现生产管理自动化。

#### 3.3.3 应用成效

猴子岩工程混凝土生产智能调度系统实现了混凝土高峰供应强度达到设计供应能力的 109.4%,保证了供应环节的高效、准确、有序,同时保证了混凝土供应质量和混凝土浇筑进度。

## 4 结 语

猴子岩水电站首台 4#机组已于 2017 年 1 月

(上接第 85 页)

滑动的危险。修建大坝时需采取措施提高地基强度,以降低软土的压缩性,减少坝体变形及不均匀沉降,防止坝体产生裂缝。处理办法最好是挖除软弱地基,也可采取换砂、压重或砂井法,同时控制填土速率,还可采用振冲碎石桩或强夯等加固方法。

(3)我国面板堆石坝建坝数量多,当前正朝着 300 m 级高面板堆石坝、高寒地区面板堆石坝、高地震烈度区面板堆石坝建设发展,无论坝高、填筑规模还是技术难度都处于世界前列。而关于深厚覆盖层上面板堆石坝渗漏量监测、高水头下堆

[1] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川大学. 大渡河猴子岩水电站围堰和大坝基础边坡渗流、稳定及应力变形计算分析[R],成都,2009.

[2] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司. 四川省大渡河猴子岩水电站可研施工组织设计报告[R],成都,2009.

#### 作者简介:

梁 娟(1981-),女,四川南部人,高级工程师,学士,从事水电工程施工组织设计工作;

张有山(1973-),男,河南南阳人,教授级高级工程师,学士,从事水电工程施工组织设计工作;

王小波(1983-),男,江苏海安人,高级工程师,学士,从事水电工程施工组织设计工作。 (责任编辑:卓政昌)

投产发电,末台 1#机组已于 2017 年 11 月完成 72h 试运行,目前枢纽建筑物已完建,并经过 2017 年一个完整蓄水期检验,各枢纽建筑物运行正常。下一步,猴子岩公司将在大渡河公司智慧企业组织架构下,在电站反恐设计、水库调度、检修等方面,把猴子岩水电站向智慧电厂纵深推进,真正实现设备智能巡检、故障精准排查、系统协同联动的目标。

#### 参考文献:

[1] 涂扬举. 建设智慧企业,实现自动管理[J]. 清华管理评论,2016(10):29-37.

[2] 涂扬举. 智慧企业关键理论问题的思考与研究[J]. 企业管理,2017(11):107-110.

[3] 涂扬举. 数据驱动智慧企业[J]. 企业管理,2018(2):100-103.

#### 作者简介:

郑正勤(1970-),男,福建尤溪人,国电大渡河猴子岩水电建设有限公司总经理,高级经济师,主要从事水电工程建设管理工作。 (责任编辑:卓政昌)

石料力学特性、渗透特性及长期变形特性试验等方面仍是技术难题,还应加强研究。

#### 参考文献:

[1] 张光斗. 1998. 法国马尔帕塞拱坝失事的启示[J]. 水力发电学报,(4):96-98.

[2] 陈志强. 2003. 水利枢纽工程坝型优选模型及其应用研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学.

[3] 黄浩,杨正贵,丁国泰. 2014. 猴子岩水电站大坝深窄基坑开挖施工技术[J]. 水电与新能源,(3):8-10.

#### 作者简介:

陈春文(1966-),男,重庆长寿人,教授级高级工程师,主要从事水电工程地质勘察工作;

何万通(1989-),男,江西上饶人,博士,主要从事水电工程地质勘察工作。 (责任编辑:卓政昌)