

# 一、工程建设





# 浅谈数字大岗山的建设与实践

吴楠

(国电大渡河流域水电开发有限公司, 四川 成都 610041)

**【摘要】**大渡河公司先后在瀑布沟、深溪沟、大岗山、枕头坝一级、猴子岩等水电工程中大力推进工程建设信息化的同时,进行了大量的标准化建设和规范化管理工作,并逐步建成了全面感知和数字处理的管控系统,形成了以数字化建设为主要特点的智慧工程先期探索,积累了智慧工程建设的初步经验。文章结合数字大坝的理论概念,介绍了大岗山数字化管理的探索和实践通过建立八大业务管理系统,以及对工程进度、质量和安全管理取得的主要成果,为大渡河智慧工程建设提供了参考和借鉴,并推动了水电建设管理技术的进步。

**【关键词】**数字大坝;智能工程;信息化;大岗山

## 0 引言

大岗山工程建设中,结合工程建设需要,提出了工程管理“四化”要求,通过建设“工程数字化”平台,综合利用建筑物信息模型(BIM)、计算机仿真技术、可视化技术、物联网与传感技术,实现施工过程的精细化、专业化、标准化、数字化。在保证工程质量、进度和安全目标的同时,提高了管理成效,推动了信息技术的发展。

## 1 数字大坝理论概念

数字大坝集成涉及工程质量、进度、施工过程、安全监测、工程地质、设计资料等各方面数据、信息;涵盖业主、设计、监理及施工等单位,同时集成计算机技术、管理科学、信息技术等,借助软、硬件,实现了海量信息数据的管理;并协调各类信息内部关系,实现优势互补、资源共享及综合应用的系统体系,为提升大坝建设管理水平提供了科学途径。数字大坝可用如下表达式表述:数字大坝=互联网+卫星技术+当代信息技术+先进控制技术+现代坝工技术。<sup>[1]</sup>

## 2 数字大岗山的建设

### 2.1 大岗山工程的技术难点

大岗山水电站为一等大( )型工程。工程特点可简要概括为“三高一大”，即高地震烈度(设计抗震基本烈度为8度，属世界第一)、高拱坝(坝高210m，大渡河流域唯一一座混凝土拱坝)、高边坡(边坡开挖高度达到500m级)、大型地下洞室群。工程建设过程中，拱坝抗震安全、混凝土温控、复杂地层灌浆等技术问题十分突出。为了适应大岗山水电站工程建设安全风险大、质量标准高、进度压力大、投资风险高等的需要，就必须改变传统的管理模式，采用技术先进、管理高效、程序优化的大数据智能化科学管理模式。

## 2.2 研究的总体构架

大岗山工程数字化管理系统的定位为处于工程管理层和现场生产之间的执行层，主要负责生产管理和调度执行与质量监控。建立在企业上层的项目管理信息系统(如PMS)，强调的是面向宏观目标管理；建立在底层进行生产控制的是以先进控制、操作优化为代表的过程控制技术(PCS)，强调的是通过控制优化，减少人为因素的影响，从而提高产品的质量与系统的运行效率；中间建立面向生产过程控制的施工过程执行系统(CES)，实现计划管理层和底层控制层之间的上传下达、互联互通。

系统在统一的分布式平台上集成诸如生产调度、产品跟踪、质量控制、设备运行分析、总体报表等管理功能，使用统一的数据库和通过网络连接可以同时为工程业主单位、设计单位、施工单位、监理单位等提供现场管理信息服务。系统通过强调施工过程的综合监控与整体优化来帮助实施完整的闭环生产，协助工程建立一体化和实时化的信息体系，全面保证工程建设的安全、进度与质量。根据大岗山工程的特点，数字化管理系统平台分为4个层次，分别为：业务处理与数据采集层、数据查询与单据输出层、综合查询与分析对比层、关键指标评价与预报警层。其中，前两个层属于操作执行层，可通过制定标准的规范与方法，采用固定的流程组织业务工作，采集相关数据；后两个层次为管理决策层，通过对现场采集的各类数据汇总、归类，实现查询分析、综合关键指标评价与预报警，进而实现对操作执行层的综合反馈、实施控制与工作指导。如图1。

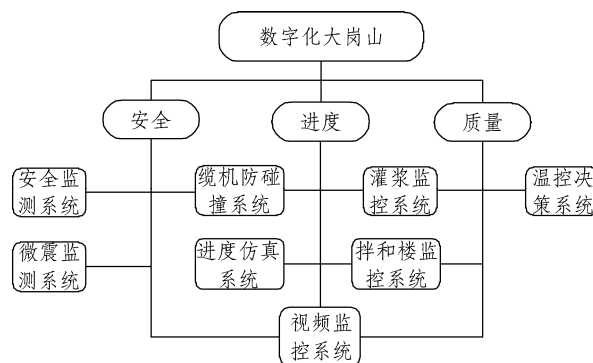


图1 数字大岗山管理系统的组成

## 2.3 研究的主要内容

经过专题研究，汇集国内相关科研院、所优势资源，建成了八大业务管理系统，详见表 1。

表 1 大岗山数字化管理业务管理系统及实施单位

序号	名称	实施单位
1	温控仿真分析系统	武汉大学
2	大坝施工进度仿真系统	天津大学
3	灌浆实时监控系統	长江科学院
4	工程安全监测系统	西北院
5	缆机防撞预警系统	武汉大学/武汉理工大学
6	视频监控系统	四川能信
7	微震监测系统	大连力软
8	枢纽工程三维模型及信息查询系统	天津大学

### 3 主要技术创新点

#### 3.1 温控仿真分析系统

利用物联网技术，在数据采集中应用数字化方法，提高数据采集的效率、及时性与准确性，避免了传统作业方式带来的弊端，系统中应用的数字温度计 + 数字温度采集器 + 数字化温控管理平台的组合方案，实现了大坝混凝土数字测温。

温控决策支持系统能够记录混凝土从生产、入仓、浇筑乃至后期养护全过程中的温度数据，形成每一仓的温度检测统计数据，包括出机口温度、入仓温度、浇筑温度、最高温度、环境温度等。统计每日监测次数，平均温度，最高、最低气温及最大温差，并在图表中绘制气温曲线，包括日平均温度曲线和日最大温差曲线。通过分析采集的相关数据，对混凝土龄期情况、内部温度变化情况、温控措施实施情况、以及环境变化情况进行实时监测及快速分析，对超出设计标准的指标采取相应预警提示及提出决策支持，指导施工进行。

#### 3.2 施工进度仿真系统

包括九大模块，即施工参数模块、仿真计算模块、对比分析模块、图形显示模块、数据输出模块、实际进度模块、信息查询模块、数据库管理模块及帮助模块。该系统支持坝体动态分层分块、大坝施工过程动态跟踪、实时仿真计算、施工进度预测分析与预警、大坝浇筑进度计划制定等功能。结合本系统集成平台，可实现提供大坝基础定义及现场的实际施工进度数据，并依此来综合仿真分析大坝的施工进度计划（浇筑、接缝灌浆等），提供并验证综合施工计划方案，指导长、中、短期的施工计划制定。最终将大坝施工进度仿真计划在系统中予以发布，为工程管理决策以及施工提供有力支持。

#### 3.3 灌浆实时监控系統

以计算机和网络协调器为核心，将一个施工面的所有内嵌无线通信模块的灌浆记录仪，通过无线网络通信方式联网组成。每台灌浆记录仪在完成灌浆数据显示、记录的同时，将所采集的数据以无线多跳路由的方式，实时传输给网络协调器。网络协调器直接与灌浆管理系统的核心电脑连接，完成对现场施工所有数据的实时显示、记录、查询、曲线显示分析、打印、防伪分析等功能。彻底改变了过去灌浆施工仪器设计面向施工方，施工点分散、孤立、难以全面实时监控的局面；采用全新的面向业主和监理的设计理念，大大强化了现场的施工管理和监控的能力。通过设定灌浆量、抬动、压力预警值，实现异常情况的及时处置，保证了工程质量。如图 2。

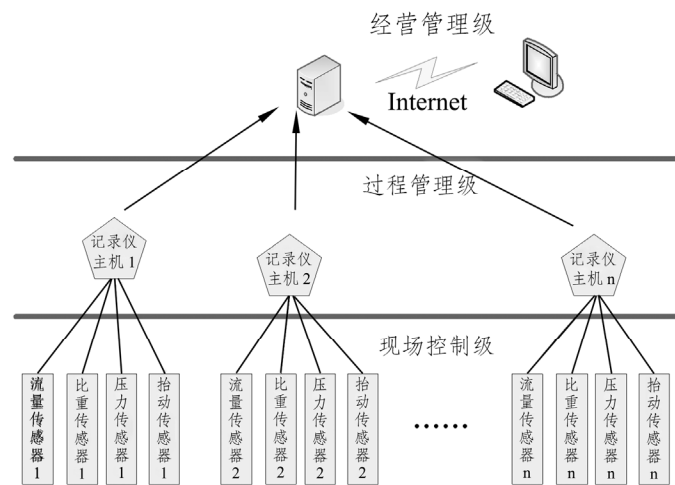


图 2 灌浆监控系统组成

### 3.4 缆机防撞预警系统

针对大岗山阴雾和夜间施工环境下大坝施工的混凝土料罐精确定位的问题，从施工环境复杂性和自然环境多雾性两个角度出发，由武汉大学和武汉理工大学在缆机定位系统的基础上，通过软件与硬件集成的手段，研制的一套全天候自动测控运行系统。

结合 GPS 实时获取高精度位置信息的功能和 GIS 强大的空间分析功能，对项目进行精心的技术设计，通过无线电波通信实现数据远程实时传输，建设一套连续、自动、实时监测，而且不受包括阴雾等自然环境因素影响的、全天候的面向大型缆机施工过程安全的 GNSS/GIS 集成的智能诱导系统，满足连续工作和不受天气影响的施工管理要求。

### 3.5 微震监测系统

针对右岸边坡卸荷裂隙加固处理（图 3），进行了岩质边坡稳定性数值仿真方法的研究，提出了针对岩质边坡稳定性分析的新型数值模拟方法——离心加载法，并研发了 RFPA-centrifuge 软件系统；通过数值仿真试验，再现了岩质边坡渐进破裂和滑坡过程，揭示了岩质边坡在开挖扰动条件下的裂纹萌生、扩展、贯通过程和潜在滑面孕育过程中的微破裂前兆规律；基于能量耗散原理，提出了考虑微震损伤效应的边坡岩体劣化准则，建立了基于微震监测数

据反馈的微震损伤效应边坡稳定性分析法，并开发了 RFPA-MMS 岩石边坡微震损伤稳定分析软件系统。

电站蓄水过程中，受外部因素影响，蓄水时间推后，大坝施工形象与设计发生较大改变，大坝整体出现前倾变化趋势，现有监测手段难以反映坝踵的真实性态状况，为此，首次利用微震监测技术，开展了坝体及坝基在施工、蓄水、初期运行过程中岩体及坝体微破裂变形监测，开拓了微震监测技术的应用新领域。

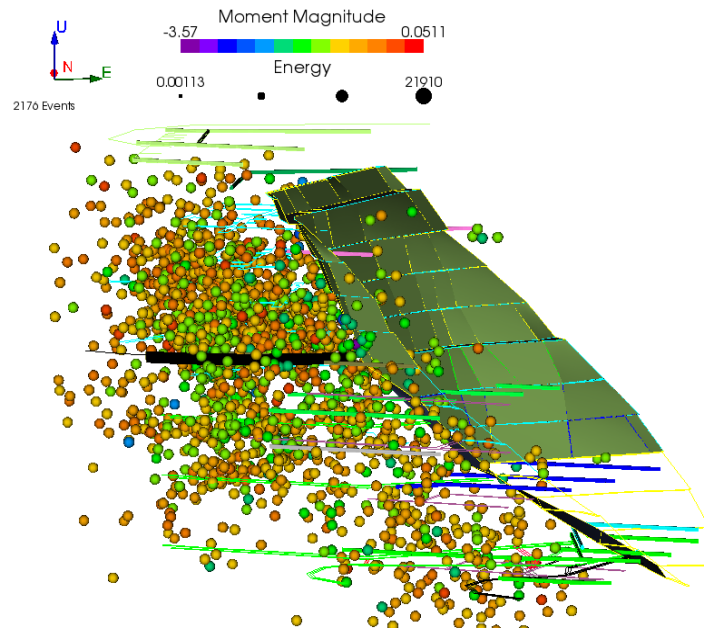


图 3 右岸边坡微震监测事件

### 3.6 安全监测系统

系统对安全监测数据进行了规范的综合统计、分析和展示，以便相关工作人员从整体的角度对大坝工程施工监测数据进行掌控与分析。采用表格、曲线图等多种方式对安全监测的数据进行了个性化的展现，并对安全监测的数据进行分析、整理后，在监测结果查询页面中以成果曲线图和统计报表的形式展现出来。通过成果曲线图，我们可以掌握大坝施工过程中温度、开合度、应力、应变、位移、稳定、渗流、渗压、裂缝等监测项目等监测值的变化趋势，能够对安全监测信息进行全面的查询和展现。

### 3.7 视频监控系统

系统布置总共 11 个点位：桃坝渣场下游省道与县道交汇处、泄洪洞出口、大岗山隧道出口路边、右坝肩下游、右坝肩上游、主厂房安装间顶部、副厂房顶部、海流沟大坝沙石系统、观景台、左坝肩上游、左坝肩下游。各监控点将监控到的图像信息通过光纤网络远程传入数字化监控系统，经过数据转化后，形成的图像信息，可在办公室内安装有客户端的计算机上观看。

### 3.8 三维模型及信息查询系统

枢纽工程三维模型是实现工程数字化管理的基础工作。三维模型不仅应用于枢纽工程的可视化展现，也是枢纽工程建筑物特征的重要描述要素，可以用来定义枢纽工程建筑物的几何特性，如：部位、坐标、方量等信息，同时，作为建筑物信息模型（BIM）的基础，用来定义并维护特征结构、材料、施工工艺参数、约束条件等信息，为数字化管理提供准确的边界条件。同时，通过将施工过程数据与三维模型关联，实现动态的工程数字化管理和展现。

### 3.9 数字化大坝管理平台

以上管理系统的开发对工程建设起到了较大的促进作用，但各系统之间不能兼容，应用还不方便。为此，委托武汉英思科技公司进一步开发了数字大坝集成管理平台，将各个专业子系统进行应用与消息集成，实现数据单一入口、信息资源共享与应用操作集成，进一步提高了施工管理效率。

## 4 取得的成效

### 4.1 工程安全管理

通过缆机防碰撞系统应用，施工过程预警提示 3 000 余次，实现紧急避险 5 次，保证了项目安全生产。

### 4.2 大坝施工质量管理

通过“数字大岗山系统”有效实施，采集近 45 万罐混凝土实时生产数据，监控 450 余万条大坝混凝土关键温控数据，使混凝土双曲拱坝浇筑温度合格率和混凝土峰值温度合格率从前期的不足 80%提升到 96.3%，大坝未出现一条危害性裂缝。

### 4.3 大坝施工进度管理

借助大岗山大坝施工进度仿真系统，科学调配各类资源，精心组织施工，使大坝实际施工进度执行率从 82%提高至 98.7%；通过拌和楼监控平台、缆机远程监控和防碰撞系统联合作用，混凝土施工工效整体提高 7%，大坝总进度提前 2 个月。

### 4.4 投资控制管理

通过数字化应用取得了较好的经济效益。通过数字化智能管理技术研究，取得直接经济效益 8 000 万元，间接效益 2 亿元。



## 5 结 语

在大岗山水电站，大渡河公司联合多家科研单位提出了“数字大岗山”建设规划，通过对大坝浇筑、温度控制、基础处理、缆机运行等施工过程的信息化、数字化管控，实现了多个专业工程的全面数字管理，保障了工程安全和质量。

### 参考文献

- [ 1 ] 钟登华，王飞，吴斌平，等. 从数字大坝到智慧大坝[J]. 水力发电学报，2015（10）：1-13.
- [ 2 ] 吕鹏飞. 大岗山大坝数字化管理[J]//水电可持续发展与碾压混凝土坝建设的技术进展：中国大坝协会 2015 学术年会论文集：33-40.
- [ 3 ] 吕鹏飞，卢军. 大岗山水电站数字化管理平台开发与应用[J]. 人民长江，2014（22）：9-12.
- [ 4 ] 肖平，吴基昌，李方平，等. 大岗山水电站数字化管理信息系统建设与应用[J]. 人民长江，2012（22）：18-21.

# 大岗山水电站库区郑家坪变形体应急处置

陈兴泽<sup>1, 2</sup> 赵连锐<sup>1</sup> 廖勇<sup>1</sup> 曾露<sup>1</sup>

(1. 国电大渡河大岗山水电开发有限公司, 四川 石棉 625409;

2. 四川铁投城乡投资建设集团有限责任公司, 四川 成都 610041)

**【摘要】**近年来,部分身处西部高山峡谷地区的大型能源、交通工程在建成投用的同时,也深受伴随其身的大型变形体(滑坡体)等地质灾害的“困扰”。大岗山水电站面对蓄水后在库区出现的郑家坪变形体,通过采取勘察与界定、变形监测、分析定性、安全应急、工程临时处置等措施,保持了S217省道淹没复建公路的通畅,实现了重大地质灾害下长时间的零伤害,避免了电站的不正常运行。

**【关键词】**地质灾害;变形体;应急处置;成效

## 0 引言

近年来,部分地处西部高山峡谷地区的大型能源、交通工程在建成投用的同时,也深受伴随其身的大型变形体或滑坡体等地质灾害的“困扰”,工程的正常运营及人民生命财产的安全受到了严重威胁<sup>[1-4]</sup>。针对这些大型变形体(滑坡体),国内外现阶段的文献主要集中于研究其成因机制、动态演化过程、时空分布规律、灾害影响、风险评价体系、防灾减灾措施等偏理论方面,系统性论述应急处置实践经验的较少。而对地质灾害及时、科学、妥当的应急处置是地质灾害理论研究的主要意义之一,也是对科学技术方面要求最具体和最突出的工作阶段<sup>[5]</sup>。同时,地质灾害应急防治是一项各阶段相互联系的工作,是有组织的科学与社会行为<sup>[5]</sup>,故深入分析研究典型案例的实践经验具有很重要的现实意义。

## 1 概况

郑家坪变形体位于大渡河大岗山水电站水库右岸,S217省道淹没复建公路(以下简称“复建公路”)K8+030 m~K10+750 m之间,距离坝址约11.8~15.0 km,总体积约5500万立方米(见图1)。

大岗山水电站于2015年10月份四台机组全投,并首次蓄水至正常蓄水位高程1130 m。同月,复建公路K9+400 m~K9+500 m段开始出现沉降变形,至12月底,公路边坡及挡墙出现多处裂缝。2016年3月,在与路面高差47~110 m之间的公路边坡开口线外发现数条宽10~70 cm的裂缝,同时在公路内侧边坡挡墙及外侧便道路面发现横向裂缝,上、下边坡