



# 基于数据融合驱动的龙溪口航电枢纽工程 智能指挥平台建设与应用

徐乐毅<sup>1</sup>, 蔡志坚<sup>2</sup>, 代礼红<sup>1</sup>, 郑春<sup>1</sup>, 苏哲<sup>2</sup>, 魏学元<sup>1</sup>, 崔博<sup>2</sup>

(1. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000;

2. 天津大学, 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300350)

**摘要:** 龙溪口航电枢纽工程具有点多、面广、施工难度大、各专业协同要求高的特点。当前航电枢纽工程建设管理系统尚未集成施工进度、质量、安全和通航安全问题分析功能, 存在建设管理单一化、智能化水平低等问题。基于物联网、移动互联网、人工智能、可视化等新一代感知与分析技术, 以数据融合驱动为主要推手, 通过B/S+C/S双架构开发一套航电枢纽工程智能指挥平台。依托龙溪口航电枢纽工程, 通过对施工多阶段、全过程的施工生产与航运数据的高效集成及智能指挥平台的可视化智能分析, 构建航电枢纽工程智能建设指挥体系, 实现对航电枢纽工程建设进度、质量、安全和通航的综合管理。信息的跨平台高效、流畅交互查询和智能分析展示, 有效提升了航电枢纽工程建造的智能化水平。

**关键词:** 航电枢纽工程; 智能建造; 施工全过程; 数据融合驱动; 协同管理

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0164-06

## Construction and application of intelligent command platform for Longxikou Navigation-power Junction project driven by data fusion

XU Leyi<sup>1</sup>, CAI Zhijian<sup>2</sup>, DAI Lihong<sup>1</sup>, ZHENG Chun<sup>1</sup>, SU Zhe<sup>2</sup>, WEI Xueyuan<sup>1</sup>, CUI Bo<sup>2</sup>

(1. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

**Abstract:** The Longxikou Navigation-power Junction project has characteristics of many points, wide area, difficult construction, and high requirements for coordination among various professions. The current construction management system for navigation power junction projects has not yet integrated the safety analysis function of construction progress, quality, safety, and navigation, and there are problems such as simple construction management and low intelligence level. Based on the new generation of sensing and analysis technologies such as Internet of Things, mobile Internet, artificial intelligence, and visualization, this paper develops a set of intelligent command platforms for navigation power junction projects through B/S + C/S dual architecture, with data fusion drive as the main driver. Relying on the Longxikou Navigation-power Junction project, the paper constructs the intelligent construction command system of navigation power junction projects through the efficient integration of the construction production and shipping data of the multiple stages and whole process of the construction and the intelligent visualization analysis of the intelligent construction command platform. As a result, the paper realizes the comprehensive management of the construction progress, quality, safety, and navigation of the navigation power junction project. The cross-platform, efficient, and smooth interactive query and intelligent analysis display of information have effectively improved the intelligent level of navigation power junction project construction.

**Keywords:** navigation power junction project; intelligent construction; whole process of construction; data fusion drive; collaborative management

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 徐乐毅 (1964—), 男, 正高级工程师, 从事港口航道和水利水电工程建设管理。

通航河道上航电枢纽工程的施工进度、质量、安全和通航问题意义重大。通过仿真和监控手段有效、准确地控制坝体浇筑质量和进度是关键, 施工期的场区安全和通航是完成枢纽工程建设进度和经济效益的重要保障。因此, 基于 PDA(掌上电脑)、人工智能、物联网、移动互联网等先进技术的融合发展, 提升航电枢纽工程的施工进度、质量、安全和通航综合管理水平, 已经成为航电枢纽工程建设管理由单一化、粗放式向智能化、全面性综合管理转型提升的内在需要和必然选择<sup>[1-2]</sup>。

目前, 航运工程智慧平台建设多关注航道通航监测<sup>[3]</sup>、内河航道整治<sup>[4-5]</sup>等领域。如赵丽宁<sup>[6]</sup>提出基于多主体(agent)的智能航运信息系统, 通过对各种航运信息的实时采集、传输和交换, 对各种运输情况的协调和处理, 建立实时、准确、高效的综合水上运输管理体系。何新华<sup>[7]</sup>提出基于智能化的内河航运系统框架, 构建船舶营运组织方案的决策模型并通过 GIS(地理信息系统)的综合监控系统软件开发, 提高航运管理效益和效率。郭涛等<sup>[8]</sup>和刘怀汉等<sup>[9]</sup>提出长江智能航道系统利用智能传感器、物联网自动获取航道系统要素信息, 通过融合处理与深度挖掘等人工智能技术, 动态发布航道有关信息, 提升长江航道的管理和服务水平。但航运枢纽工程施工进度、质量、安全和通航多方面综合分析与管理的相关研究仍然缺乏。

针对当前航电枢纽工程在施工全过程、全环节、全方位缺乏多方面综合分析与管理不足, 本文以 B/S+C/S 多架构为载体, 基于物联网、移动互联网、人工智能、可视化等新一代感知与分析技术, 以数据融合驱动为主要推手, 依托龙溪口航电枢纽工程, 构建面向航电枢纽工程施工进度、质量与安全全过程、全环节的智能建设指挥平台, 有效提升了龙溪口航电枢纽工程建设智能化管理水平。

## 1 工程概况

龙溪口枢纽工程位于乐山市犍为县新民镇境内, 坝址位于新民镇上游约 600~800 m 的岷江河段。龙溪口航电枢纽工程的开发任务以航运为主结合发电, 促进地方社会经济发展, 工程建成后可渠化库区 31.8 km 河段达到Ⅲ级航道标准, 可通航 2×1 000 吨级船队。工程施工具有点多、面广, 专业协同以及质量、进度、安全要求高, 施工难度大等特点, 亟需智能化管控方法来指导工程建设。

## 2 平台逻辑架构

以龙溪口航电枢纽工程为例, 充分融合人工智能、大数据、互联网+、物联网等先进技术构建平台框架, 使系统相关国家标准、行业标准、集团标准具备良好的实用性、先进性、扩展性、移植性及开放性等, 见图 1。



图 1 龙溪口航电枢纽工程智能指挥平台架构

龙溪口航电枢纽工程智能指挥平台是一个集成化、模块化的管理平台,各功能模块均可独立运行实现特定功能,并打通各模块间数据链路,实现数据互通。平台逻辑架构包含:感知层、传输层、数据层、支撑层、应用层和展现层。

1) 感知层是龙溪口航电枢纽工程智能指挥平台最底层的基础支撑层。通过工区布设的各类传感器设备以及基于 PDA 的人工录入方式获取各类生产数据,包括混凝土施工质量与进度数据、机电金结安装质量与进度数据、胶凝砂砾石坝防渗墙施工及碾压质量参数、质量验评等各类 APP 录入数据、通航水位及船舶数据以及度汛流量数据等。

2) 传输层是根据场区信号强弱,通过内部专网或 4 G/5 G 等无线通讯网络将感知的数据,经由路由器、交换机、数传电台、DTU(数据终端设备)等传输至指定服务器。在传输的过程中实现数据的汇集、交换、整合等,并保证数据传输的时效性与安全性。

3) 数据层主要包括自建数据中心的存储过程,基于 Sqlserver(数据库管理系统)的数据存储媒介,报表、图像、视频等数据交换形式,以及对数据检索、入库、删除、修改等所涉及的数据资源调度等。

4) 支撑层为系统应用及展示提供基础。主要包括视频监控平台、三维数字模型+GIS 平台、工作流引擎、统一用户管理等内容,同时利用 tomcat

(Web 应用服务器)进行系统部署。

5) 应用层是平台与用户在信息服务、信息管理对话过程中的交互界面。基于上述各层的互联互通,对智能指挥平台各子系统的数据进行高度集成与智能化分析,最终形成集枢纽工程施工质量、进度、安全及通航于一体的全方位管控体系,并提供交互式可视化决策分析等。

6) 展现层为用户提供多类别、跨平台的交互形式,包括施工现场智能建造研究中心即时交互、基于 PC 端或移动端的远程实时访问等。

### 3 龙溪口航电枢纽工程智能指挥平台应用

#### 3.1 综合管理

基于质量、进度、安全管理各系统子模块,利用 PDA、传感器技术,互联网、无线传输技术等,对工程基础生产数据如混凝土生产、运输、浇筑及温控数据,机电金结安装质量与进度数据,施工场区移动巡检及试验数据,通航船舶及水位流量数据进行集成存储。利用平台预先构建的专家知识库与知识推理算法,对当前施工质量、进度、安全等进行逐层次智能化决策分析,有效反映建设过程中各施工部位及施工质量的优良率、合格率、施工进度、船舶通航状态以及各类工程安全隐患分布,为一线工程建设管控提供数据,并提出科学合理的问题及措施建议,实现整个枢纽建设过程的高度实时指挥调度(图 2、3)。



图 2 智能建设指挥平台总览





图 3 质量进度安全管理

3.2 混凝土动态实时管理

在混凝土施工管理方面, 基于质量管理各业务子系统模块, 对混凝土生产、运输、质检、温控、试验一条龙的混凝土质量信息进行感知与传输存储。通过指挥平台构建的进度仿真及智能分析方法进行逐层次智能化决策, 为现场混凝土施工进度及质量管控提供了强有力的技术支持, 见图 4。其中, 针对混凝土生产过程, 智能指挥平台通过统计分析每一盘混凝土浇筑方量及质量信息, 有效反映当前混凝土浇筑强度及拌和质量, 实现生产阶段拌和质量实时管控; 在混凝土运输方面, 实现基于平台层的装料点到卸料点的全过程监控; 在混凝土质检、试验及温控方面, 基于智能验评、试验等 APP 及大

体积混凝土智能温控系统子模块感知的各仓面验收、试验及温度监控数据, 利用平台构建的智能分析方法与自动化控制手段, 对一线混凝土施工单元进行及时、全面的质量分析, 提供科学有效的指导意见。除此之外, 基于平台 U3D 可视化引擎, 耦合三维数字模型, 通过集成进度与质量数据, 以动态三维可视化方式展现当前工程施工形象与质检信息, 并对各单元进度滞后与否进行研判, 通过对各类信息的整合及平台知识推理技术, 形成基于数据融合驱动的问题剖析及决策建议, 为工程一线混凝土进度与质量管控提供直观的可视化管理手段, 有效解决了传统混凝土管理存在的信息孤岛、各专业协同管理薄弱的问题。



图 4 混凝土动态实时管理界面

### 3.3 机电金结安装质量与进度管理

基于机电金结安装质量与进度管理子系统感知的机电金结安装过程, 以及各构件安装坐标、安装时间及标准化安装过程视频等数据, 利用平台的统计分析功能, 通过与设计值进行对比, 形

成安装质量合格率、优良率、超标统计可视化图表、安装进度横道图及对应的问题剖析与决策建议。构建三维数字模型, 实现安装过程的三维可视化交互式场景。赋能机电金结安装过程智能化管理, 见图 5。

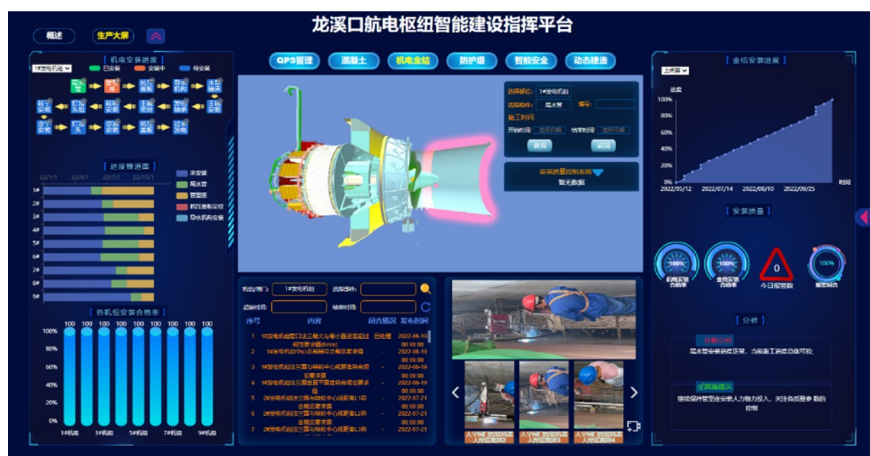


图 5 机电金结安装过程质量与进度管理

### 3.4 防护堤防渗墙施工与填筑碾压质量管理

针对长距离防护堤防渗墙施工及碾压作业管理难度大的问题, 基于北斗定位、传感器、PDA 等技术构建的碾压施工过程智能控制子系统, 对堤坝碾压施工机械作业数据进行实时感知与存储。智能指挥平台利用构建的图形处理、智能算法等手段, 实

现堤坝碾压施工机械作业的实时自动监控, 并对防渗墙施工单元合格率及优良率数据进行统计分析, 结合 U3D 可视化引擎, 实现机械碾压遍数、碾压轨迹、压实高程、压实度以及防渗墙施工单元报表的可视化输出, 对超标参数进行实时报警, 提升长距离防护堤施工的智能化管理水平, 见图 6。

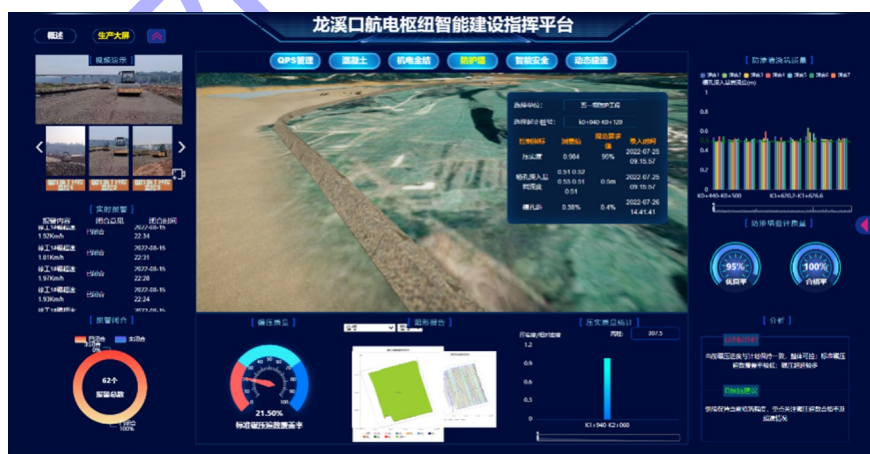


图 6 防护堤防渗墙施工与填筑碾压质量管理界面

### 3.5 安全智能分析

施工场区安全智能分析模块以平台构建的计算机视觉技术为核心, 通过施工场区无线通信网

络接入现场视频监控模块, 基于 YoloV3 深度学习算法实现施工人员安全帽智能识别, 到达实时的、全过程的、不间断的安全信息监管。智能指挥平

台通过接入海事局 AIS 系统数据, 通过统计分析, 实现船舶、航标实时定位与偏航预警, 通过自主设置的水位、流量测站进行全天候的信息感知,

基于平台统计分析与决策功能, 实现通航船舶安全水位及流量监测与超标预警, 赋能施工场区安全智能管控, 见图 7。



图 7 施工场区监控视频安全智能分析界面

### 3.6 实时动态管理

针对施工现场专业协同要求高、信息离散程度大的不足, 基于质量管理、进度管理、安全管理各系统子模块感知数据, 结合平台构建的统计

分析与决策功能, 对当前施工作业情况进行预警分析, 形成闭环处理意见与诊断分析决策, 为施工现场的实时建设指挥调度提供一手建造数据, 见图 8。



图 8 施工过程实时动态管理界面

## 4 结语

1) 基于 B/S+C/S 双系统建设架构及 PDA、传感器, 互联网、无线传输等新一代智能感知与传输技术, 耦合智能分析方法, 融合 U3D 三维可视化引擎, 构建一套基于数据驱动

2) 基于数据驱动的龙溪口智能指挥平台, 实现对龙溪口航电枢纽工程施工进度、质量、安全及通航过程多源数据的集成可视化智能分析与决策建议, 提升多专业、多工种、跨平台协同管理效率, 形成一套面向航电枢纽工程施工的智能化管控体系, 具有较好的推广应用价值。

(下转第 175 页)