

土石方开挖智能管控系统关键技术研究及应用

宋新江¹, 王旭², 徐海波^{1,3}, 王佩^{1,3}, 赵宇飞⁴

(1、安徽省(水利部淮河水利委员会)水利科学研究院, 安徽蚌埠 233000; 2、定远县江巷水库工程建设局, 安徽滁州, 233200; 3、安徽省建筑工程质量监督检测站, 安徽合肥 231000; 4、中国水利水电科学研究院, 北京 100048)

摘要: 土石方开挖是水利工程建设中的一项重要内容。本文针对土石方开挖智能控制系统关键技术开展研究; 通过布置感知设备, 建立土石方开挖施工质量控制物联网系统; 基于高精度定位、GIS、BIM、云计算、大数据等技术, 提出了数据处理与分析方法, 开发了土石方开挖智能管控系统, 实现了土石方开挖工程的智能化信息化; 结合某河道开挖工程, 验证了土石方开挖智能管控系统的可行性和可靠性。研究成果对推进土石方开挖智能信息化工作具有十分重要的意义。

关键词: 土石方开挖; 信息化; 物联网; 云计算; 大数据

中图分类号:

文献标识码:

1 前言

土石方开挖是水利水电工程建设中的一项重要内容, 不仅影响后续工序的进行, 而且事关工程整体的进度、质量、安全及运行。土石方开挖涉及人员、机械、施工工艺、天气、工序衔接等多个环节, 具有工程量大、受作业环境影响大、工程地质复杂、平行作业干扰大等特点。随着引江济淮、南水北调、淮河入江水道等大型水利工程的实施以及机械设备的发展, 涉及到的土石方开挖工程投入的机械设备多、工期节点要求严、施工质量要求高、开挖范围广, 为土石方工程开挖工程建设管理带来诸多挑战。

工程建设信息化的运用为土石方开挖工程建设管理提供了新的途径^[1]。本文基于土石方开挖施工特点, 结合高精度定位、GIS、BIM、云计算、大数据等技术, 对土石方开挖智能控制系统关键技术进行研究, 重点阐述了智能信息化技术在土石方开挖过程的实现方式、存在的主要问题及发展方向, 开发了土石方开挖智能管控系统, 研究成果对推进水利工程现代化进程具有十分重要的意义。

2 水利工程信息化技术发展现状

2016年, 水利部门制定并实施《全国水利信息化“十三五”规划》、《水利部信息化建设与管理办法》等文件, 水利工程的信息化、智能化工作随即全面启动。根据水利工程建设特点, 许多学者在水利工程信息化、智能化方面做了大量研究, 取得了一定的研究成果。

2.1 建设管理信息化方面

收稿日期:

基金项目: 安徽省水科院科技攻关项目(KJGG201802); 安徽省创新创业领军人才特殊支持计划专项资金资助。

作者简介: 宋新江(1970-), 男, 安徽滁州, 正高级工程师, 博士, 主要从事水利工程信息化和质量检测技术研究。E-mail: sxj06@163.com

为实现水利工程建设管理的信息化,根据建设管理内容将其分为项目管理、合同管理、质量管理、安全管理、进度管理、资金管理、档案管理等多个信息化模块,通过各模块之间的联系进行建设管理。陈祖煜^[2]利用云计算技术构建了一个为多主体协同管理的综合信息服务平台,开发了水利工程建设云管理平台和云管理系统;基于 BIM、GIS 等技术,长江三峡、引江济淮、糯扎渡、三河口水利枢纽等大型工程均进行了工程建设数据平台尝试,将工程建设质量、进度、投资、支付、合同等数据录入大数据平台并进行整理分析,取得了较好的工程建设管理效果。

2.2 监测信息化方面

监测信息化起步较早,技术也比较成熟。监测信息化主要通过埋设自动传感设备或手动输入数据,实时监测土石坝、水闸、泵站等工程的位移、水位、应力、应变、渗流等信息,为工程安全运行提供技术支撑。潘国兵^[3]基于 GPS 与网络传输技术建立了土石坝自动化监测预警系统,实现了对监测数据的实时存储、计算分析、绘图、异常预警等功能;张丰伟^[4]依据物联网分层思想,采用全光纤传输技术,以 FBG 传感器作为检测单元,实现了对土石坝裂缝、渗压等重要数据的采集、监测和分析,开发了基于光纤光栅传感网的土石坝监测系统。

2.3 土石方填筑信息化方面

土石方填筑信息化是当前研究的热点,如杨峰^[5]将高精度标准定位技术应用于大坝填筑施工过程中实时智能化监控中;钟登华、樊启祥、崔博^[6~8]等针对大型拱坝、心墙坝的建设进度与质量精细化管控问题,建立了具有实时性、高精度、自动化的填筑施工过程监控系统;陈祖煜^[9]将无人驾驶技术引入到土石坝填筑施工过程实时智能化监控系统中,实现了自主施工环境感知、自主施工行为决策和自主施工动作执行的目标。土石方填筑信息化的研究对象是施工过程中的信息化,是建设管理信息化内容的进一步细化和补充,但在填筑质量评价分析、集成系统优化等方面仍需要深入研究。

2.4 土石方开挖信息化方面

目前土石方开挖信息化研究仍在探索阶段,已取得的成果主要侧重于模型预测、设备姿态监控等方面。如许应成^[10]基于 UML 建模系统和 Rational Rose 工具,开发了土石方开挖仿真系统软件,准确预测了土石方开挖施工进度和施工强度;燕乔^[11]利用三角模糊数,并结合数字地面模型和可视化技术,建立了土石方开挖随机模糊模型;中联重科、广西柳工、美国卡内基梅隆大学、澳大利亚机器人中心等^[12-14]单位针对挖掘设备,开发了实时姿态测量系统,实现了对开挖机械臂姿态的实时监控。土石方开挖是一项系统工程,对挖掘设备的姿态监控只是土石方开挖过程中的一个环节,实现土石方开挖的智能管控还需要做许多工作。

3 土石方开挖智能管控系统关键技术

BIM、GIS、大数据技术的进步以及传感设备的发展,为土石方开挖智能管控提供了技术支撑。土石方开挖智能管控系统应满足工程建设实际需要,同时又能便于工程管理、指导工程施工和提高工作效率,为此开展以下研究:(1)通过对开挖设施设备布置各种测量部件和传感仪器,建立具有定位、识别、感知、监控功能的物联网系统;(2)实时收集数据,利用 GIS、BIM、大数据、云管理等技术对数据进行处理和分析;(3)开发具有实时展示土石方开挖工程的进度、计量、质量、检验、验收、评价和施工组织方案优化等功能智能信息化系统。

3.1 土石方开挖施工质量控制物联网系统

建立土石方开挖施工质量控制物联网系统是实现土石方开挖智能管控的重要基础,而传感设备的选择是建立物联网系统的关键。传感设备的选取应满足开挖工程测量精度要求,同时兼具有经济合理性;通过对比分析,在挖机各部位布置坐标定位、方向、航向、角度、位移等传感设备,基于 Maxwell 架构开发了数据采集、分析、处理、传输、接收的操作平台,建立了挖掘机工作装置正运动学模型,实现了对车辆实时坐标、航向、方向和姿态以及施工状态(包括开挖位置坐标、

施工过程信息等)的实时监控,搭建了土石方开挖施工质量控制物联网系统,如图1。



图1 土石方开挖施工质量控制物联网系统

3.2 数据处理与分析

开挖过程中每1秒产生几十条甚至上百条数据信息,每个月累计的施工数据将达到千万条,采用常规的数据分析算法会导致远程分析卡死、数据分析展示响应时间较长等问题,严重影响工程的施工动态管理。为有效管理施工数据信息,保障数据传输的安全性,提高运算速度,在数据分析与处理过程中采用了以下方法。

- (1) 采用长连接通信和动态压缩等传输数据,节省资源和时间;
- (2) 采用分库分表、动态缓存、结果优先、数据拆分等技术对大数据进行挖掘和分析;
- (3) 在满足测试精度的前提下,对采集到的数据进行抽稀处理,剔除冗用、无效的数据,提高数据处理效率;
- (4) 采用限幅滤波、中位值滤波、算术平均滤波、卡尔曼滤波等方法对数据进行去噪处理;
- (5) 引入GIS、BIM等建模技术参与数据的处理、分析和计算;
- (6) 根据土石方开挖工程的计量、质量、检验、验收、评价和施工组织方案优化等需要,建立相应的评价模型对数据进行处理分析。

3.3 土石方开挖智能管控系统

土石方开挖智能管控系统主要基于B/S的三层体系架构(数据层、业务处理层、表现层),软件系统平台依托云服务器,主要业务功能通过网页浏览器操作完成,图2为系统技术架构图。

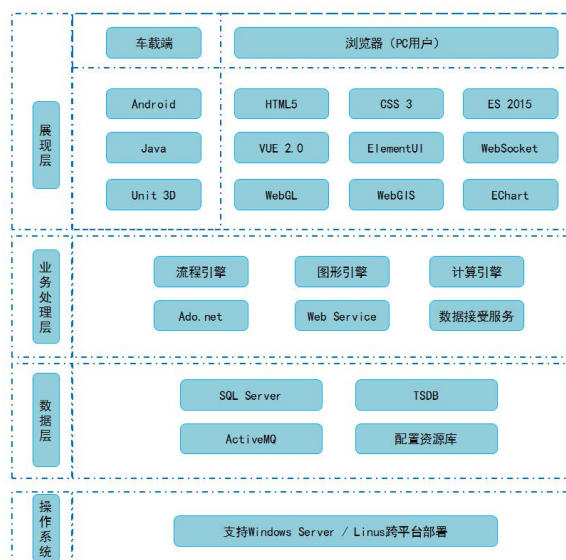


图2 系统技术架构图

根据土石方开挖过程实时监控的需求,从业务功能逻辑方面将土石方开挖智能管控系统分为

基础平台和土石方开挖质量控制智能系统两个部分。基础平台主要包括工程基础信息、施工机具信息、单位部门、用户/角色/权限、数据字典、业务参数/规则配置等内容，同时提供 3D / GIS 图形资源、数据分析算法、数据报表配置、业务流程定义等通用基础业务功能。土石方开挖质量控制智能系统包括面向挖掘机驾驶员的土石方开挖施工过程监控软件系统和面向工程管理者土石方开挖质量管理体系两部分，面向挖掘机驾驶员的土石方开挖施工过程监控软件系统包括开挖范围、开挖高程、开挖坡度、开挖过程等监控及引导等模块，面向工程管理者土石方开挖质量管理体系主要包括质量分析与工程面貌展示、工程统计与分析、数据管理、质量检验与评价、单元报表、系统管理、施工组织方案优化等。

3.4 工程应用

某河道开挖工程，设计河底高程为 41.68m，设计边坡坡比为 1:1.5。采用挖机开挖方式进行施工，施工前在挖机上安装智能管控系统；为评价系统的可靠性，现场采用 GPS 对开挖成果进行测量。图 3 为智能管控系统中的显示数据，系统中实时显示边坡的开挖范围、开挖高程、边坡坡度、需填/挖的高度等信息，驾驶室内平板引导平台为开挖技术人员提供实时开挖引导；表 1 为某断面实测结果与系统计算成果的汇总表。

根据表 1 可知，实测高程的平均值为 41.680m，系统显示高程的平均值为 41.690m，两者相差 1cm；系统显示的各测点的高程值与实测高程平均值之差的最大值为 2.8cm，证实土石方开挖智能管控系统的最大测量误差为 2.8cm，；实测坡比平均值为 1:1.502，系统显示的坡比平均值为 1:1.498，两者数据较接近。通过高程和边坡坡比的比对，验证了系统测量结果的准确性。

表 1 实测结果与系统计算成果对比表

项目名称	测点高程值	平均值
实测高程 (m)	41.675、41.711、41.692、41.670、41.706、41.690、41.670、41.670、41.661、41.680	41.680
系统显示高程	41.701、41.682、41.708、41.693、41.673、41.705、41.684、41.667、41.675、41.708	41.690
实测坡比	1:1.50、1:1.50、1:1.51、1:1.50、1:1.51、1:1.49	1:1.502
系统显示坡比	1:1.49、1:1.50、1:1.50、1:1.50、1:1.51、1:1.50	1:1.498



图 3 现场测试

4 主要存在的问题

随着 GPS 定位技术及物联网、BIM、GIS 等计算机技术的应用，可以将土石方开挖施工过程中的开挖动态、工程进展、开挖断面、工程统计等相关信息进行展示，实现了土石方开挖的智能管控，为土石方开挖的质量控制和施工过程监控提供了新的技术。但在推广应用前仍有几个问题需要解决。

4.1 信息化施工的标准制定

土石方开挖智能管控系统涉及多种传感器和电子产品，不同产品具有不同的通讯协议、稳定性、采集频率、灵敏度、精度等，且产品如何组合、安装的标准如何确定，组成的系统如何检定、评价，生成的电子报验表是否纳入验收的程序等都是推广应用前亟需解决的问题。

4.2 数据的挖掘与综合利用

土石方开挖工程会产生大量信息数据,如何对这些数据进行深度挖掘,是土石方开挖工程智能控制与分析的重要基础。

4.3 工程地质条件对施工的影响

工程地质条件的变化直接影响着土石方开挖的过程、开挖质量以及整个施工安全和施工工期。施工场地的工程地质条件具有复杂多变性和不可预见性,如何在土石方开挖智能管控系统中考虑工程地质条件对开挖施工的影响是一项极具有挑战性的难题,也是土石方开挖智能信息化过程中必须解决的问题。

5 主要结论

水利工程的智能信息化是实现水利现代化的重要基础。本文针对水利工程中土石方开挖智能管控系统关键技术进行研究,通过布置传感设备,基于高精度定位、GIS、BIM、云计算、大数据等技术,阐述了土石方开挖施工质量控制物联网系统、数据挖掘、分析与评价,建立了土石方开挖智能管控系统,通过某河道开挖工程验证了系统的可行性和可靠性。提出土石方开挖信息化施工的标准制定、数据的挖掘与综合利用、工程地质条件影响等是下阶段推广应用过程中需要解决的问题。

参 考 文 献

- [1]. 杨顺群, 郭莉莉, 刘增强. 水利水电工程数字化建设发展综述[J]. 水力发电学报, 2018, 37(8): 75-84.
- [2]. 陈祖煜, 杨峰, 赵宇飞等. 水利工程建设管理云平台建设与工程应用[J]. 水利水电技术, 2017, 48(1): 1-6.
- [3]. 潘国兵, 曾广燃, 吴森阳. 基于 GPS 与 GIS 的土石坝自动化监测预警系统研究[J]. 长江科学院学报, 2013, 30(9): 110-113.
- [4]. 张丰伟, 陈小勇, 宋维彬等. 基于光纤光栅传感网的土石坝监测系统[J]. 光学技术, 2014, (4): 357-361.
- [5]. 杨峰, 李建坤, 魏胜利等. 高精度标准定位技术在水利工程施工过程中的应用及思考[J]. 工程建设标准化, 2017, 512(12): 121-122.
- [6]. 钟登华, 任炳昱, 宋文帅等. 高拱坝建设进度与质量智能控制关键技术及其应用研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 8-17.
- [7]. 樊启祥, 周绍武, 林鹏等. 大型水利水电工程施工智能控制成套技术及应用[J]. 水利学报, 2016, 47(7): 916-923.
- [8]. 崔博, 胡连兴, 刘海东. 高心墙堆石坝填筑施工过程实施监控系统研发与应用[J]. 中国工程科学, 2011, 13(12): 91-96.
- [9]. 陈祖煜, 赵宇飞, 周斌等. 大坝填筑碾压施工无人驾驶技术的研究与应用[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 1-7.
- [10]. 许应成, 王理, 夏国平等. 土石方开挖数学模型和仿真系统的设计与研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(30): 214-219.
- [11]. 燕乔, 杨占宇, 陈炎和等. 土石方开挖随机模糊仿真技术研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(12): 2031-2034.
- [12]. Singh S, Cannon H. Multi-Resolution Planning for Earth moving. Proceedings International Conference on Robotics and Automation. Leuven, Belgium: 1998
- [13]. Nguyen QH, Ha QP, Rye DC. Force/position tracking for electro-hydraulic systems of a robotic excavator. Proceeding of the 39th IEEE Conference on Decision and Control. Sydney, 2000, 5224~5229.
- [14]. 牛大伟. 基于 MEMS 传感器的挖掘机姿态检测系统的研究[D]. 厦门: 华侨大学, 2015.

Research and application of key technology of intelligent control system for earthwork excavation

SONG Xin-jiang¹, Wang xu², XU Hai-bo^{1, 3}, WANG Pei^{1, 3}, ZHAO Yu-fei⁴

(1、Anhui and Huaihe River Water Resources Research Institute, Bengbu 233000, China; 2、Jiangxiang Reservoir Engineering Construction Bureau of Dingyuan County, Anhui Chuzhou, 233200, China;
3、Anhui Supervision and inspection Station of Construction Engineering Quality, Anhui Hefei, 231000, China; 4、China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

Abstract: Earthwork excavation is an important part of the construction in water project. In this paper, the technologies of intelligent control system for earthwork excavation was studied; Through arranging sensing equipment, an IOT system for quality control of earthwork excavation construction is established; Based on high-precision positioning, GIS, BIM, Cloud Computing, Big Data and other technologies, the method of data processing and analysis was put forward and the Intelligent quality control system for earthwork excavation was developed, which realized the intelligent informatization of earthwork excavation construction. Combined with a river excavation project, the accuracy of intelligent control system for earthwork excavation was verified. The research results are very important to advance the intelligent informationization of earthwork excavation.

Keyword: earthwork excavation; informationization; IOT; Cloud Computing; Big Data

宋新江，男，正高级工程师，博士，安徽省（水利部淮河水利委员会）水利科学研究院副院长，安徽省安徽省“特支计划”领军人才，主要从事水利工程信息化和质量检测技术研究。

地址：安徽省蚌埠市龙子湖区治淮路 771 号；

电话：0552-3076538，传真 0552-3076538；手机 13905527598，[电子邮箱 sxi06@163.com](mailto:sxi06@163.com)