

高心墙堆石坝填筑施工过程 实时监控系统的研发与应用

崔 博, 胡连兴, 刘东海

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

[摘要] 文章针对高心墙堆石坝填筑施工特点,建立了过程控制指标体系,确定了过程监控方法,提出了解决方案,研制开发了具有实时性、高精度、自动化、全天候等特点的大坝填筑施工过程监控系统,实现土石料上坝运输过程、坝面填筑碾压过程的实时监控。该系统应用于亚洲第一高土石坝——糯扎渡心墙堆石坝的施工现场,建立了以监控系统为核心的施工过程控制体系,对大坝填筑施工的主要环节实现精细化的全天候实时监控,有效地控制了大坝填筑施工参数,提高了施工过程的质量控制水平与效率。

[关键词] 高心墙堆石坝;填筑施工过程;实时监控;上坝运输;填筑碾压;研发与应用

[中图分类号] TV547.5 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)12-0091-06

1 前言

随着我国水利水电工程建设的发展,土石坝开始向 300 m 级高度研发和建设^[1]。土石坝施工规模的提高为坝体安全性带来了新的考验,对大坝建设管理特别是施工质量控制提出了更高层次的要求。

心墙堆石坝是土石坝的主要坝型之一。大坝填筑,尤其是防渗体的施工质量,是心墙堆石坝施工质量控制的主要环节,直接关系到大坝的运行安全,而坝体填筑施工质量,主要与料源质量和施工参数有关,因此,在心墙堆石坝的施工中,有效地控制料源质量和施工参数是保证大坝填筑施工质量的关键。在国内心墙堆石坝施工管理中,通常采用采样试验的方法来控制料源质量和填筑质量,依靠人工巡检的方式控制施工参数^[2~4]。有限的试验不能完全反映施工质量,而人工控制施工参数在客观性与精度方面均有欠缺。同时,人工控制方式与大规模机械化施工不相适应,也很难达到水电工程建设管理创新水平的高要求。因此,有必要研究开发一种具有实时性、连续性、自动化、高精度等特点的大坝填筑施

工过程实时监控系统的各个环节进行有效监控,使大坝施工质量始终处于受控状态。

应用系统的观点进行分析,心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统的可分解为两个紧密联系的子系统^[5]:大坝填筑碾压过程实时监控系统和上坝运输实时监控系统的实时监控,分别对填筑碾压过程与上坝运输过程进行实时监控。在土石碾压过程监控方面,国内外学者已经开展了相关研究。国外研究主要集中于道路施工领域^[6~8],对路基土石方碾压过程进行实时监控与指导,以控制路基碾压的密实程度。国内学者近年来将 GPS(global positioning system)技术应用到大坝碾压参数实时监控中^[9~11],为大坝填筑质量控制提供了新手段。其中,在水布垭面板堆石坝施工中得到应用的大坝填筑碾压质量 GPS 监控系统是土石坝填筑施工过程实时监控的一个具体应用。该系统实现了对碾压速度、碾压遍数、铺料厚度这三项碾压参数的实时监控,但没有涉及另外一个碾压参数——碾压机械振动状态,也没有对坝料运输过程进行实时监控。

文章针对高心墙堆石坝填筑施工特点,研制开

[收稿日期] 2011-09-16

[基金项目] 国家自然科学基金创新研究群体科学基金(51021004);国家自然科学基金(50879056)

[作者简介] 崔 博(1983—),男,山东聊城市人,天津大学讲师,研究方向为水利工程施工质量监控与信息管理等;E-mail: cuib@tju.edu.cn

发心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统,实现对土石料上坝运输过程、坝面填筑碾压过程的实时监控,并在实际工程中进行应用。

2 监控指标

以大坝施工工艺参数作为施工过程监控指标:在上坝运输阶段,监控指标为各上坝道路行车密度、加水量以及卸料点料源与分区匹配情况,当监测到车流量过大、加水不足、卸料地点错误时及时提醒现场管理人员进行处理,并统计各种坝料上坝强度;在坝面碾压阶段,监控指标为各项碾压参数(碾压机行驶速度、激振力、碾压遍数、填筑层厚度),当监测到碾压机超速、激振力不达标、漏碾或超碾、填筑层过厚等情况时,及时提醒现场管理人员进行处理,使大坝碾压过程始终处于受控状态。

心墙堆石坝填筑施工过程监控指标体系见图 1。

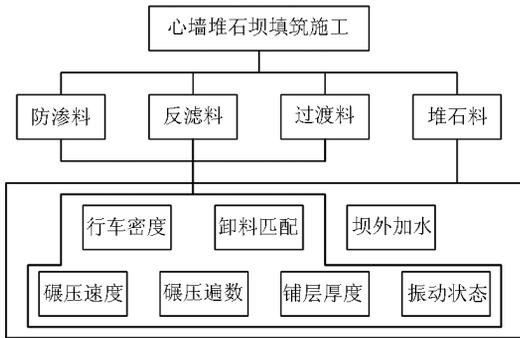


图 1 心墙堆石坝填筑施工过程监控指标体系

Fig.1 Targets architecture of high core rock-fill dam filling construction process monitoring

3 监控方法

在上坝运输阶段,通过安装在自卸车上的空间定位设备与卸料监测设备对自卸车进行时空定位与卸料动作监测,通过 PDA (personal digital assistant, 个人数字助理,即掌上电脑) 实现车辆调度信息更新;在加水站安装射频读卡器、加水阀自动控制装置,配合安装在自卸车上的无线射频卡进行加水量监测以及加水阀门的开合。监测数据通过无线网络传输至监控中心。

在坝面碾压阶段,安装于碾压机上的监测设备对碾压机进行高精度空间定位以获取碾压机精确时空位置数据,激振力监测设备实时监测碾压机振动状态,并将定位得到的三维空间位置坐标数据与监

测得到的振动状态信号通过无线网络传输至监控中心;在各监控点电脑上安装监控客户端,通过互联网网络连接监控中心获取监测数据,对各项碾压参数进行实时计算与图形化显示。

监测数据由监控中心统一管理。根据预先设定的控制标准,监控中心的应用程序实时分析判断监控指标是否达标,通过短信向相关管理人员发送提醒信息,并配合使用监控客户端的图形界面进行不达标事件的处理。

4 解决方案

心墙堆石坝填筑施工过程实时监控的实现依托于几个组成部分,包括碾压机流动站、定位基准站、运输车流动站、加水点控制站、总控中心、现场分控站、PDA 调度模块及通信网络,系统结构见图 2。

1) 碾压机流动站。碾压机流动站包括安装于碾压机上的 GPS 接收机、DTU (data transfer unit, 数据传输单元)、激振力监测设备。GPS 接收机每秒对碾压机进行空间三维定位,激振力监测设备监测碾压机振动状态;两种监测数据汇总至 DTU,通过无线通信数据链路发送至位于总控中心的系统服务器。

2) 定位基准站。基准站是整个监测系统的“位置标准”,通过无线电数据链,与流动站 GPS 接收机的观测数据一起进行数据差分处理,将碾压机 GPS 设备的测量精度提高到厘米级,从而满足大坝填筑碾压质量控制的要求。

3) 运输车流动站。运输车流动站包括安装于自卸车上的 GPS 接收机、卸载操作设备、无线射频卡及 DTU。GPS 接收机每分钟对运输车进行空间三维定位,卸载操作设备监测卸料动作,卸料时额外进行车辆定位;监测数据汇总至 DTU,通过无线通信数据链路发送至位于总控中心的系统服务器。

4) 加水点控制站。加水点控制站包括安装于加水点的阀门控制器、射频读卡器、DTU 设备。射频读卡器对进入加水区域的运输车上安装的无线射频卡进行识别,根据车型换算出设计加水量,据此操作加水阀门。加水记录由 DTU 通过无线通信链路发送至位于总控中心的系统服务器。

5) 总控中心。总控中心是整个系统的核心组成部分,由多台服务器组成,负责系统的通信与数据管理。总控中心设置于建设营地,可配置投影系统对施工过程进行远程监控。

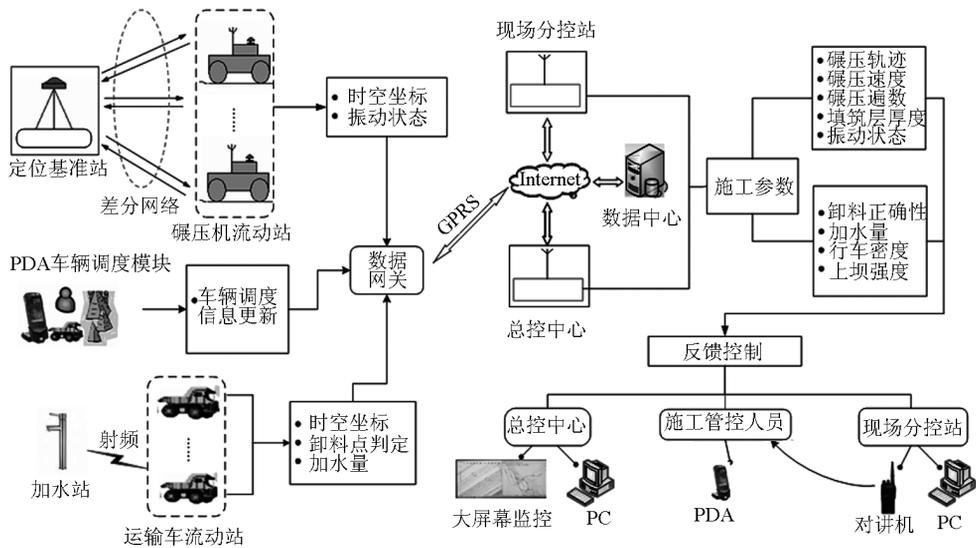


图2 心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统结构

Fig. 2 Structure of real-time monitoring system of high core rock-fill dam filling construction process

6) 现场分控站。现场分控站设置于大坝施工作业面附近,配置监控终端与网络设备,由监理值守,应用系统进行过程监控与问题处理。一旦监控指标出现偏差,监理人员可及时进行纠偏工作。

7) PDA 调度模块。运输车现场调度人员应用已安装车辆调度模块的 PDA 及时更新运输计划,包括运输车的始发料场、运载的土石料的种类、目的卸料分区等,防止系统产生卸料地点判定错误。

5 系统开发

心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统采用 N 层计算结构。从逻辑角度看,系统分成客户端、服务端、数据库;从物理角度看,客户端可以视用户数从 1 到 N 进行扩充,以满足多点监控的要求。

系统工作模式采用 C/S (client/server, 客户机/服务器) 模式,从逻辑上划分为三层:表现层、应用层、数据层。

第一层:表现层,即监控客户端,为用户提供施工过程监控界面,负责各项监控成果的展示。

第二层:应用层,包括通信与计算服务端,是实现各种业务功能的逻辑实体,是系统的核心部分。它一方面负责数据通信,一方面负责接收来自表现层的功能请求、完成相应计算分析之后进行反馈。

第三层:数据层,存放并管理各种信息,实现对各种数据源的访问,也是系统访问其他数据源的统一接口。

系统工作模式见图 3。

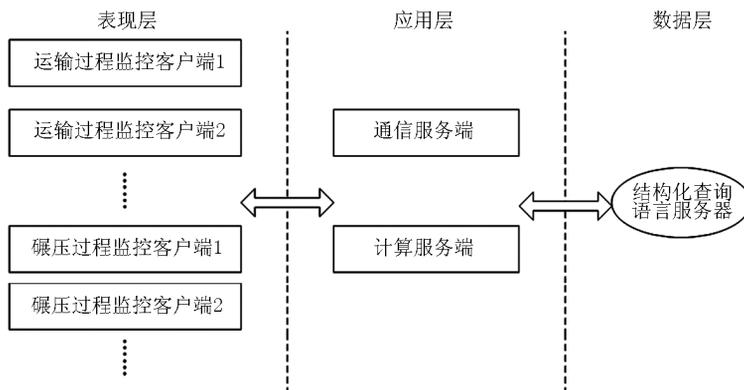


图3 心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统工作模式

Fig. 3 Operation mode of real-time monitoring system of high core rock-fill dam filling construction process

糯扎渡高心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统经过多年的设计、研发、建设、运行及完善,实现了对于填筑碾压参数、加水量、卸料正确性等施工参数的实时监控以及道路行车密度、上坝运输强度等重

要参数的统计,减少了施工过程控制中的人为因素,提高了施工过程的质量控制水平与效率。系统软件操作界面见图5。该系统在实际应用中体现出以下特点。

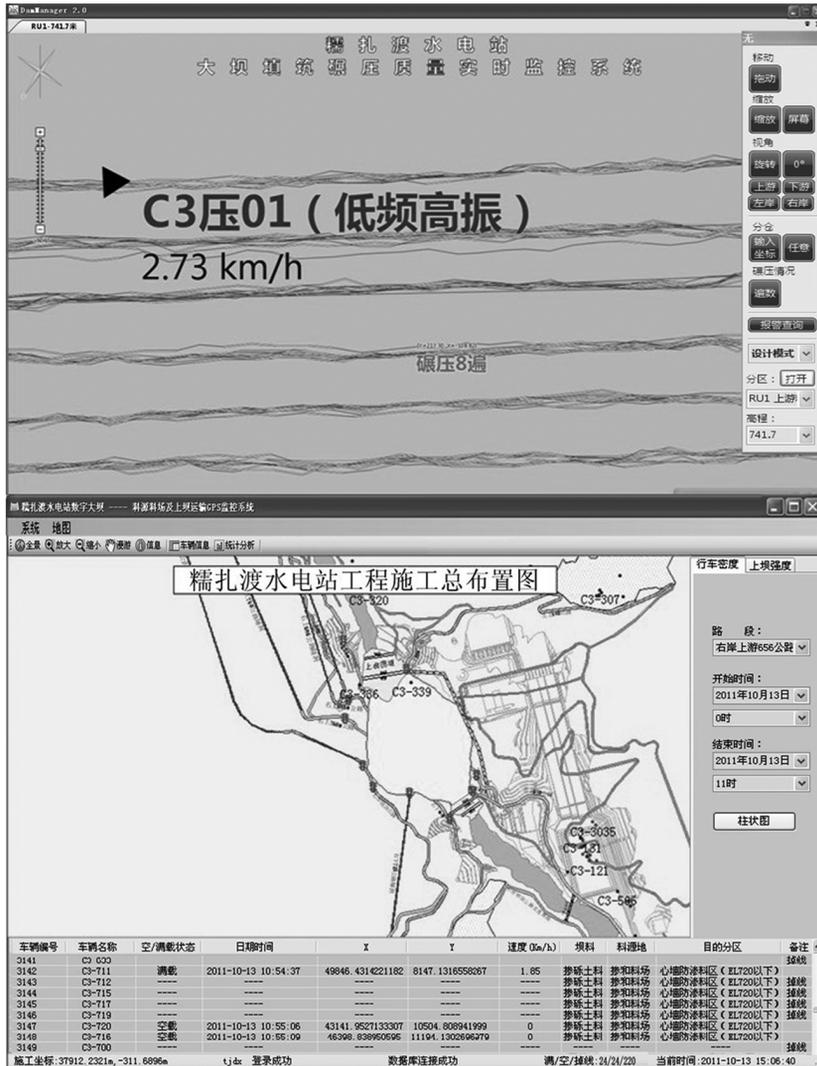


图5 糯扎渡心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统软件操作界面
Fig. 5 Operation interface of real-time monitoring software system of Nuozhadu core rock-fill dam filling construction process

1) 精细监控。碾压机械定位精度达到厘米级水平;自卸车平面定位精度达到米级水平;碾压遍数、碾压高程、压实厚度计算像素化,计算单位为数厘米边长的方形网格。

2) 实时、远程监控。监测设备实时地将数据通过无线网络传输至总控中心,各监控点可通过互联网接入系统获取监控数据,通过装有监控客户端的电脑对施工过程进行远程、实时监控。

3) 全天候监控。系统各类监测设备、硬件设施均为全天候不间断工作,保证系统连续正常运行。

4) 高度自动化运行。碾压机械流动站设备为全自动运行,不需任何人工操作;定位基准站无人值守运行;运输车流动站设备自动定位,空满载开关操作简便。

7 结语

高心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统及其在实际工程中的应用,为工程质量实时监控提供了先进的技术手段,在保证工程质量方面发挥了重大作用。施工过程监控系统以其科学性及对高新技术的高度适应性,成为工程管理者实时监控工程建设过程、控制工程质量、提高管理水平与效率的重要途径。研究开发心墙堆石坝填筑施工过程实时监控系统具有重要的实用价值,并在我国流域梯级开发中具有广阔的推广应用前景。

参考文献

- [1] 王柏乐,刘瑛珍,吴鹤鹤. 中国土石坝工程建设新进展[J]. 水力发电,2005,31(1):63-65.
- [2] 刘经迪,王金汉. 鲁布革水电站土石坝施工[J]. 水力发电,1988(12):55-59.
- [3] 王碧,李玉洁,王奇峰. 小浪底大坝填筑施工技术和施工方法[J]. 水力发电,2000,26(8):35-38.
- [4] 张应波,何仲辉. 冶勒水电站大坝沥青混凝土心墙质量控制与管理[J]. 水力发电,2004,30(11):32-34.
- [5] Zhong Denghua, Cui Bo, Liu Donghai, et al. Theoretical research on construction quality real-time monitoring and system integration of core rockfill dam[J]. Science in China Series E: Technological Science, 2009, 52(11): 3406-3412.
- [6] Anderegg R, Dominik A von Felten, Kuno Kaufmann. Compaction monitoring using intelligent soil compactors[C]//Geo Congress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age. 2006: 41-46.
- [7] Edward Minchin R, David C Swanson, Thomas H Randolph. Computer methods in intelligent compaction[C]//2005 ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering. 2005: 1145-1155.
- [8] Hossain M, Mulandi J, Keach L, et al. Intelligent compaction control[C]//Airfield and Highway Pavements: Meeting Today's Challenges with Emerging Technologies—Proceedings of the 2006 Airfield and Highway Pavement Specialty Conference. 2006: 304-316.
- [9] 黄声亨,刘经南,吴晓铭. GPS实时监控系统及其在土石坝施工中的初步应用[J]. 武汉大学学报,2005,30(9):813-816.
- [10] 燕乔,毕明亮,王立彬. 碾压混凝土坝施工质量实时动态监控系统[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2009,31(4):5-8.
- [11] Wu Hao, Wang Qiankun, Chen Qin, et al. Research on monitoring system of roller compaction for dams based on GPS and GIS[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(15): 45-48.

Development and application of the real-time monitoring system for filling construction process of high core rock-fill dam

Cui Bo, Hu Lianxing, Liu Donghai

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety,
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] In this paper, on the basis of research on high core rock-fill dam filling construction characteristics, the process control index architecture is established; the method of process monitoring is determined; the solution scheme is proposed; the monitoring system of core rock-fill dam filling construction process, with the characteristics of real-time, high precision, automation and all weather, is developed in order to achieve monitoring on process of transportation to dam and rolling on dam surface. The monitoring system is applied in the construction field of the highest earth rock-fill dam in Asia, Nuozhadu core rock-fill dam, as the core component of the construction process control architecture, achieving refining, all-whether and real-time control on key links of dam filling construction, which improves quality control level and efficiency of construction process.

[Key words] high core rock-fill dam; filling construction process; real-time monitoring; transportation to dam; rolling on dam surface; development and application