

基于5G技术的远程监控系统在城市轨道交通建设工程中的应用

赵 驰

(广州地铁集团有限公司, 510330, 广州//高级工程师)

摘 要 城市轨道交通建设工程施工点多、分布范围广,施工过程中产生海量的各种数据,当前基于3G、4G技术的远程施工监控系统存在传输容量受限、计算能力差和实时性不强等问题,不能适应城市轨道交通建设快速发展的局面。分析了构建基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统的重要性,介绍了该系统的系统架构、5G传输网络架构和各模块功能。该系统采用多层次、多节点结构的分布式智慧化工点监控系统方案,采用深度学习技术加强计算环节,采用5G技术实现工点间数据传输,支持大容量超高清视频数据实时传输,可实时分析工点监控数据,能够准确预测风险,提高了管理效率和应急处置能力。在广州地铁的试点应用效果表明,该系统满足城市轨道交通工程多线路、多工点并行操作的需求。

关键词 城市轨道交通; 工点监控; 5G技术; 物联网

中图分类号 U231; U298.1⁺²

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.01.036

Application of Remote Monitoring System in Urban Rail Transit Construction Project Based on 5G Technology

ZHAO Chi

Abstract Wide coverage of distributed worksites of urban rail transit construction projects induce massive rail transit data, however the current remote worksite monitoring system based on 3/4 G technology has problems such as limited transmission capacity, poor computing capacity, and poor real-time performance, which makes the system unable to adapt to the rapid development of urban rail transit construction. The importance of constructing a rail transit smart worksite monitoring system based on 5G technology is analyzed, and the systematic structure, 5G transmission network architecture and functionality of each module are introduced. This system adopts multi-layer, multi-node structured distributed smart worksite monitoring system, using deep learning technology to strengthen the calculation, meanwhile, utilizing 5G technology to realize data transmission between worksites, supporting real-time transmission with large-capacity and ultra-high-definition video data, which enables real-time monitor data analysis, accurate prediction of

risks, and improvement of management efficiency and emergency response capabilities. The performance of Guangzhou Metro pilot application shows that the system can meet the demand of multi-line and multi-worksite of urban rail transit projects.

Key words urban rail transit; worksite monitoring; 5G technology; Internet of Things

Author's address Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 510330, Guangzhou, China

0 引言

近年来我国经济水平飞速发展,城市化进程推进速度越来越快,城市轨道交通工程日益增多,施工安全引起了各参与方的高度重视。然而,由于建设周期长、施工风险高、管理难度大,近年来城市轨道交通工程施工安全事故频发^[1]。但大部分事故发生前均有征兆,通过远程监控系统可以提前发现危险源,以便及时处理,减少安全事故的发生。目前已有一些城市轨道交通施工监控系统在实际工程建设过程中成功应用,取得了不错的成绩。

文献[2]介绍的城市轨道交通工程施工网络视频监控监控系统,将视频监控技术和网络传输技术有效结合起来,实现了对施工现场远程监控及指挥调度的功能。文献[3]介绍的城市轨道交通施工安全监控管理信息系统,融合了基础地理信息、施工检测信息、风险管理信息以及应急联动信息的管理,并将GIS(地理信息系统)技术应用于监测数据管理,以便对监测数据进行可视化查询与分析,当出现异常时可直观定位报警点的空间位置。文献[4]针对施工人员,提出基于可穿戴技术的城市轨道交通施工人员安全监控预警系统,采集施工人员位置信息和关键生理状态,据此判定施工人员是否处于危险区域或有异常生理状态,可避免施工人员安全意识缺乏导致的安全事故。文献[5]以“互联网+”思维为理

念,综合运用物联网、GIS及大数据处理技术,实现公共事务管理、安全风险、远程视频监控管理、现场门禁管理和远程视频会议等功能,涵盖城市轨道交通风险管理的主要业务功能。文献[6-7]将建筑信息模型(BIM)技术融合到城市轨道交通工程施工管理系统中,对施工过程提前进行模拟,以实现施工管理的精细化。为了进一步提高施工管理系统定位异常事件的准度和效率,文献[8]提出一种基于视频监控的城市轨道交通施工不安全行人检测预警方法,利用计算机视觉算法检测视频数据中的行人,并在此基础上检测人员是否存在吸烟、未戴安全帽、未穿反光衣以及入侵危险区域的不安全行为状态。该方法在苏州地铁3号线建设中取得了较好的效果。研究者提出的以上应用系统在诸多先进信息技术的支撑下,为减少城市轨道交通工程建设安全事故造成的经济损失和人员伤亡提供了强有力的保障。但是上述应用系统多采用3G或4G无线通信技术传输工点现场采集的数据,存在带宽容量受限、传输延迟较高等问题。

5G通信技术具有灵活便捷、容量大、传输速率高、可靠性高、延迟低、安全防控好等特点,为建筑业带来了新的解决思路 and 方案。中国建筑第八工程局有限公司与中国联通率先开展合作在京东集团总部二期工程探索5G技术与工地监控系统的结合,成为全国首个5G智慧工地,推动了5G技术在工地管理系统中的应用。本文将5G技术应用到轨道交通智慧化工点监控系统中,利用5G技术构建工点现场传输网络,支持更高清晰度的监控视频数据传输,从而能够更清晰地掌握工点现场细节;在此基础上,利用智能视频分析技术实时分析视频流,提升风险源定位准度和效率。本文介绍的监控系统在架构设计上采用了多层次、多节点的分布式系统架构,更加适合城市轨道交通建设中多线路多工点同时进行的特点。

1 基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统设计

基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统旨在加强轨道施工各参与方对施工现场的安全监管,提高对工程现场的远程监控和管理水平,提高监理对工程现场安全隐患处理的速度,以达到防风险、保安全、促生产的目标。

1.1 技术优势

5G技术相比于4G技术在传输速率、传输时

延、容量和稳定性等指标上具有明显优势,同时5G基站尺寸较小,易于部署。5G技术所具备的优势将能极大地促进云计算、大数据和人工智能等技术的深度融合,可为城市轨道交通工点监控在内的各行各业升级转型的关键基础设施,将能有效推动城市轨道交通工点监控系统的智能化升级。文献[9]对5G技术在城市轨道交通场景中的应用做了深度研究和探讨,为城市轨道交通场景应用5G技术提供了思路 and 方案。本文讨论了5G技术在广州城市轨道交通建设监控系统中的应用。

1.2 系统设计原则

城市轨道交通分布工点监控系统遵循技术先进、功能完备、性能稳定、节约成本的原则,并综合考虑操作及维护因素,为今后的扩建、改进等情况留有余地。基于此,该系统的设计遵循以下原则:

1) 先进性与可靠性原则。该系统集5G技术、物联网技术、GIS技术、分布式技术、智能视频分析技术等信息技术于一体,机动灵活、操作简单方便、信息交互高效、系统安全稳定,并且具有一定的容错能力和抗毁能力。该系统基于可靠的网络通信技术,能确保系统级别的高稳定性和可靠性,满足全年全天候长期稳定运行需求。

2) 可扩展性与适用性原则。该系统考虑到技术发展和使用需要,在设计中遵循系统可扩展性和可维护性的原则,能够满足系统将来的横向或纵向扩展功能的需求,并且在迭代的过程中具有简单便捷的更新和升级操作。

3) 经济性与安全性原则。该系统充分考虑实际需要和信息技术发展趋势,根据施工现场的特点,设计符合视频监控要求的系统配置方案,并通过严密、有机的组合,实现最佳的性能价格比,以便节约工程投资,同时保证系统功能实施的需求和经济实用。此外,该系统的设计还充分考虑系统的安全性,包括信息安全、物理安全、电气安全。该系统有完整的用户权限管理机制,防止非法访问和非法操作,并提供可靠、完备的数据备份和数据恢复解决方案,确保数据安全和完整。

1.3 系统架构

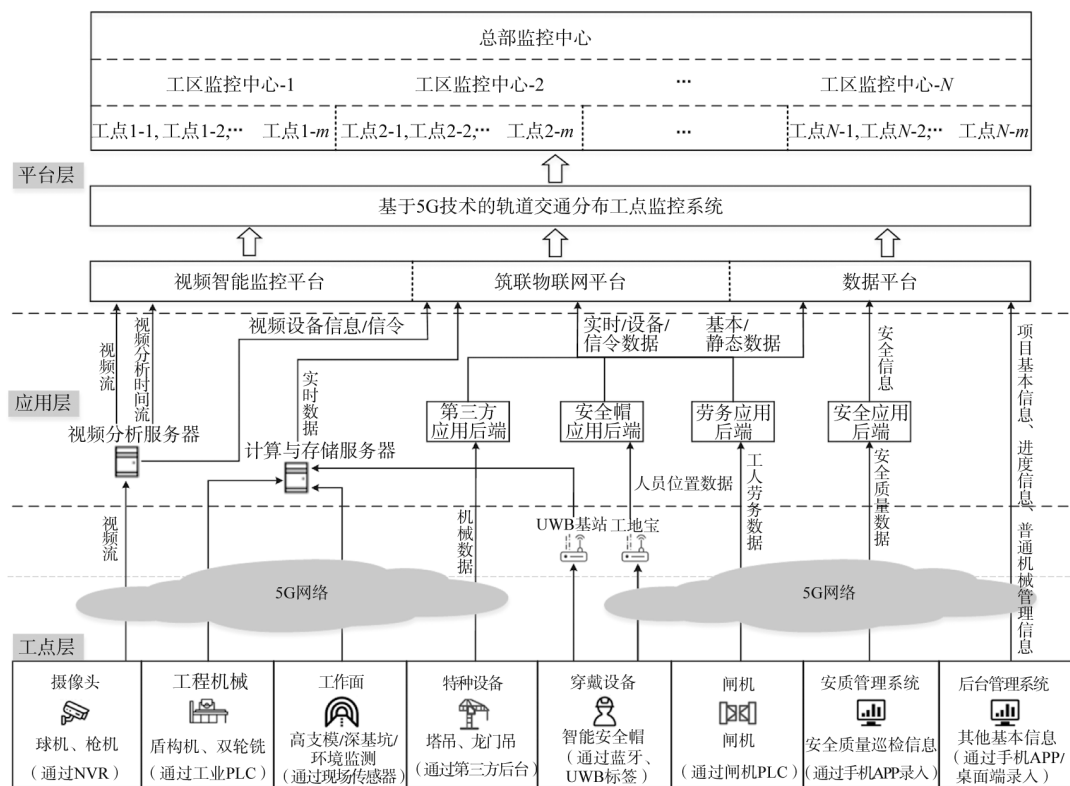
该系统以安全管理为主,把与工点现场安全相关的人员、机械、物料、环境、方案等信息进行集中监控,同时为各建设参与方提供完整的安全管理指引。通过统一、直观界面完善现场实时情况的监管,及时发现现场的异常信息,下达或转发安全管理有关要求,

并与城市轨道交通建设的其它系统实现信息共享。

1.3.1 分层系统架构

考虑到城市轨道交通建设具有多线路多工点并

行进行的特点,该系统设计了分层分布式系统架构,能够同时监管多条线路的施工过程。该系统由工地层、应用层和平台层三层组成,系统架构如图1所示。



注:UWB为超宽带;NVR为网络视频录像机;PLC为可编程逻辑控制器;APP为应用软件。

图1 基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统整体架构

1) 工点层。由部署在工点现场的摄像头、工程机械、工作面、特种设备、穿戴设备、闸机等各种数据采集设备、安质管理系统、后台管理系统以及通信网络等组成。各数据采集设备和管理系统采集得到现场实时数据通过5G通信网络传输到应用层。

2) 应用层。对工地层采集的原始数据进行加工并生成相关业务数据。如应用层视频分析服务器部署的智能安全帽佩戴检测算法实时分析工地层工作面布置的摄像头采集的视频流,当检测发现未戴安全帽的人员时,以视频分析事件流的方式将异常事件传输到平台层,由平台层及时发出告警提示。

3) 平台层。将应用层所有业务数据进行整合,包含视频智能监控平台、筑联物联网平台和数据平台的业务数据。然后在监控中心进行数据管理和终端展示。监控中心分为工点中心、工区中心和总部中心,分别对应工点(站点)、项目部(线路)和总部三级组织结构。以工点为单位独立采集数据,部署分布式系统节点。按照权限设置、分级管理的原则,总部、项目部、监理部门和政府监管部门等共享资源,可以查

看各自权限范围内的信息。

1.3.2 5G传输网络架构

城市轨道交通施工现场环境复杂,且随着工程的推进,监测点将经常发生变化,在现场铺设光纤进行通信极不方便。因此,以往的城市轨道交通监控系统大多采用3G或4G技术来组建无线传输网络,但是3G或4G传输容量有限,无法支持大容量数据(主要是超高清监控视频数据)的实时传输,阻碍了城市轨道交通监控系统向智能化方向的发展。该系统采用5G技术传输工点现场各类数据,分别汇总到视频智能监控平台、筑联物联网平台和数据平台,然后经由光纤网络传输到监控中心和中铁平台。该系统传输网络架构如图2所示。

2 基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统组成与功能模块

2.1 系统组成

该系统具有完备的轨道交通施工监控功能,由中心管理、视频监控、人员管理、关键机械监测、关键

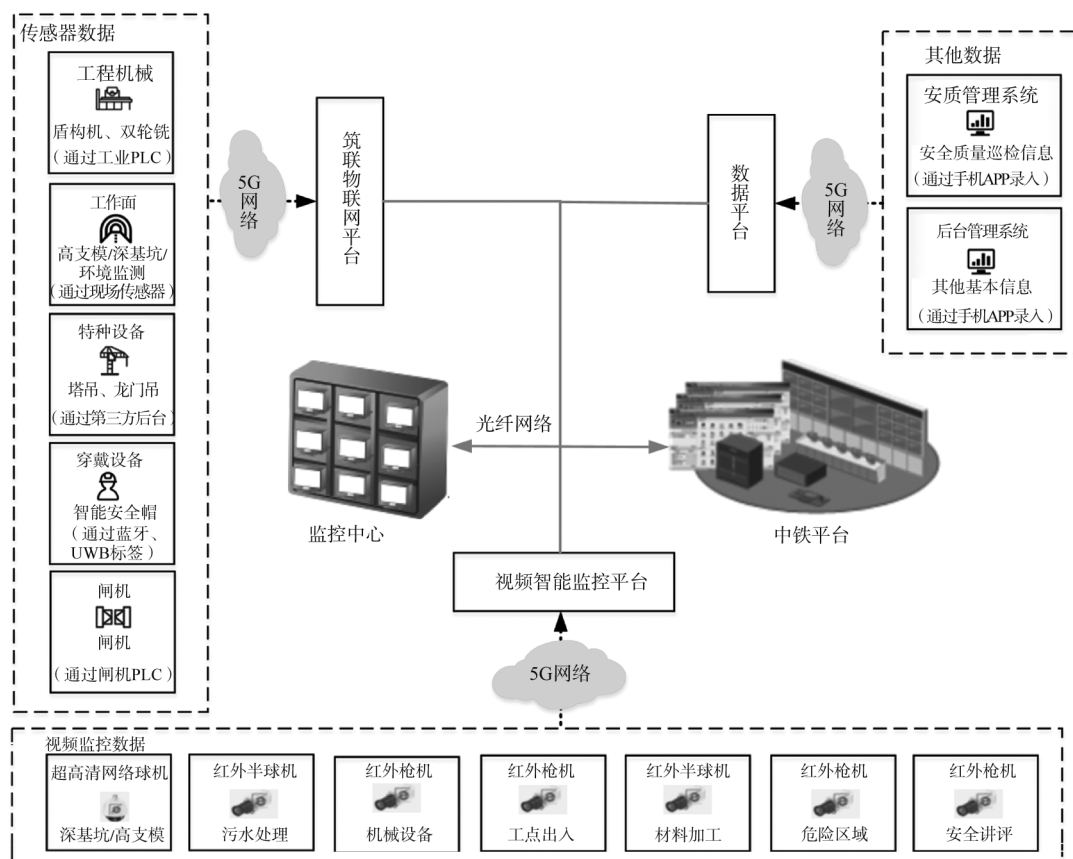


图2 基于5G技术的轨道交通智慧化工点监控系统5G传输网络架构

部位监测、车辆出入监测和环境监测等核心功能模块组成。每个功能模块对应一个或者多个硬件系统。其中,中心管理模块为系统的监控中心,包含总部、项目部和工点三级中心;视频监控模块集中管理工点现场所有监控视频数据,可实时展示,为该系统核心;人员管理包含劳务管理和人员定位;关键机械监测模块主要监测工点现场的大型机械设备,如盾构机、塔吊等;关键部位监测模块主要监测工点现场危险部位,如高支模、基坑等。

2.2 监控中心模块

监控中心是执行日常监控、应急指挥的场所。监控中心模块功能包括数据库服务、管理服务、接入服务、报警服务、流媒体服务、存储管理服务、Web服务等,完成各种数据信息的交互,集管理、交换、处理、存储和转发于一体。在监控中心可查看全部监控数据,查阅各类统计数据。监控中心模块接收并处理报警信息。通过监控中心模块可实现管理的高度集中化,做到管控一体集中处理。

该系统的中心分为总部中心、项目部中心和工点中心。总部中心从全局把控监测所有工点状态,项目部中心则仅监测项目部所属工点的状态,通常

对应某条线路的所有工点。总部中心和项目部中心主要管理和展示的数据为:①工点数量、工人数量、物资数量和进度信息;②机械设备状态与关键部位情况;③工点环境状况、近30天达标情况;④报警事件、告警事件处理情况;⑤地图展示所有工点分布情况(正常工点和超标工点状况),并可查看具体工点的各项细节指标;⑥各工点实时监测画面;⑦应急指挥、下达危险事件处理指令。

工点中心用于监控具体工点状态,展示与管理的数据主要为:①工地基础信息、各班组到岗人数统计;②环境量数据展示、近30d环境检测状况和近24h环境变化趋势数据;③告警事件和物资管控数据展示;④工点视频画面和地图展示、地图上危险和普通区域状态展示;⑤人员位置的分布情况;⑥工程项目信息、人员统计信息、物资管控信息、告警事件、安全帽数据、环境监测信息等,并可跳转至相应平台模块查看具体详情;⑦紧急情况广播与上报。

2.3 5G智慧化视频监控模块

在事故多发的施工现场,保证施工质量、施工人员的人身安全,以及工地的建筑材料、设备等财产安

全是重点关注的事件。然而实际上,城市轨道交通建设工程的工点十分分散,以致没有足够的人力和精力频繁到现场去监管,从而造成管理上的困难。视频监控模块通过安装于各工点现场的高清枪机、高清球机等,实现全天候实时不间断监控,结合GIS可以实时观看各工点现场监控画面,并支持视频回放。该系统采用5G技术构建传输网络,支持更低时延更大容量的超高清晰度视频数据传输,使得传输到监控中心的工点现场细节状态更加清晰。在此基础上,采用先进的智能图像处理算法实时对视频流进行分析,及时发现安全隐患事件,具体采用的算法有:①安全帽佩戴检测算法——检测现场人员安全帽佩戴情况,避免在危险区域内出现不佩戴安全帽的行为;②行为姿态检测算法——通过对人的行为姿态检测分析,判断该人员是否存在违规行为,或者是否存在危险情况;③积水检测算法——检测施工现场路面是否存在积水,当存在积水时及时进行告警处理;④洞口防护物件检测算法——当检测洞口未添加防护工序或防护被人为移走情况时,及时发现此类现象,保障现场作业人员安全;⑤吸烟行为检测算法——检测施工人员在施工过程中的吸烟行为,帮助现场巡管人员及时发现及制止该种行为。为避免超高清视频数据容量过大,导致监控中心存储和传输压力过大的问题,该系统以工点为单位部署分布式系统节点对数据进行存储,由监控中心对各节点数据进行调度和管理。

2.4 人员管理模块

随着轨道施工规模越来越大,工地人员也越来越复杂,对各类人员进行科学有效地管理,对于保证施工安全及施工进度有着非常重要的意义。人员管理的目标有两个:一是对工点现场人员进行实名制管理;二是通过带有UWB定位功能的智能安全帽实现人员的实时定位。

2.5 关键机械监测模块

盾构机和塔吊是轨道交通施工过程中最容易发生安全事故的设备,其运行状态直接影响工程进度。在这些关键机械设备中配置有该系统的监测模块,实时采集设备状态数据并传输至该系统,实现对设备的动态管理,保证设备安全稳定运行。

1) 盾构机状态监测。部署在工点的工控机通过5G网络可将每台盾构机的实时状态数据传输到筑联物联网平台和数据平台,经过算法模型处理后,将盾构关键指标,如位移、里程、泡沫量、同步注浆量、

膨润土量、盾尾油脂量、主驱动油脂量、掘进参数的曲线分析、掘进参数预警等相关信息上传至该系统。该系统实时监测盾构机运行的各项参数,结合盾构施工周边环境,实现对盾构机的远程监控。

2) 塔吊监测。监测每台塔机运行的载重、角度、高度、风速等安全指标数据,以及操作者、每次起吊质量、塔机大臂摆动的角度、小车走的位置,以及升降机操作具体人员、维保具体人员,实现“人的不安全行为”和“物的不安全状态”提前防控。该系统的塔吊监测模块的特点为:①实时监控——对不安全的作业行为、环境因素等进行实时预警和远程控制;②模拟监控——依据采集保存的数据,智能化模拟现场塔机运行情况,与现场同步预警;③电子地图——根据GIS信号在地图上显示工地的地理位置和设备运行情况分布图;④塔机分布图——根据GIS信号定位塔机分布位置,并实时分析碰撞关系,适时报警;⑤报警信息——管理人员可查询每台起重机械违章详情,并根据需要对违章的过程进行全程模拟回放;⑥统计报表——实现对起重机械运行各项数据的综合统计分析,掌握设备的安全状况,以及司机的技能水平和工作状态。

2.6 关键部位监控模块

对施工过程中的关键位置进行监控,实现实时监测、超限预警、危险报警的监测目标,并将数据传输至筑联物联网平台和数据平台。当监测值超过预警值时,自动提醒相关人员,以便及时采取应急措施消除安全隐患。

1) 高支模变形监测。采用实时监测的自动化措施建立高支模实时监测系统,通过对高大模板支撑系统的模板沉降、支架变形和立杆轴力的监测,对高支模进行预压监测和混凝土浇注过程中的安全监测,保证监测数据的及时性、准确性和有效性。当监测值超过预警值时,监测设备、系统平台同时发出报警信号,警示相关人员及时进行处理。

2) 基坑监测。建立深基坑实时监测系统,在基坑的支护结构及周边环境部署各种传感器,通过无线采集终端实时采集各传感器数据,并传输到深基坑实时监控系统;各个工点通过深基坑实时监控系統可以及时查询在建工程基坑现场的监测数据,实时掌握工程监测情况,实现动态监管目的,保证基坑工程施工安全。

2.7 其他功能模块

1) 车辆出入监控。汽车起重机、材料运输车、渣

土车出入时未清洗上路、无证黑车入场清运等容易引起场内的安全隐患、增加材料管理难度,并影响城市道路清洁和安全。通过工地出入口车辆管控能减少甚至杜绝类似的安全隐患。

2) 环境监测。实时监测 $PM_{2.5}$ 、颗粒物、温度、风速、风向、噪声等数据,并通过拍照记录异常状态。当现场环境扬尘等监测数据超标时,与喷淋系统自动进行对接,开启喷淋系统进行降尘,切实加强建筑工地施工扬尘污染环境的治理,以提高施工现场扬尘污染防控能力和文明施工水平。

3 结语

基于 5 G 技术的轨道交通智慧化工点监控系统集成 5 G 技术、物联网技术、智能视频分析技术、GIS 技术、分布式平台技术等诸多先进技术于一体。包含监控中心、5 G 智慧化视频监控、人员管理、机械监测、关键部位监测、车辆出入管理和环境监测等完备的轨道交通工点施工过程中的风险源,及时为管理者提供应急决策依据。目前该系统已成功在广州地铁某线路工程建设中进行应用试点。该系统的成功应用,有效落实了城市轨道交通建设各参与方的安全监管责任,提高了对工程现场的远程管理水平,加快

了对工程现场安全隐患处理的速度,进而保证工程施工的质量和进度。同时,该系统在广州城市轨道交通建设中的成功试点应用,为城市轨道交通建设过程中应用 5 G 技术提供了较好的范例。

参考文献

- [1] 于海莹,彭玉林,张立艳,等.城市地铁施工期事故统计分析[J].地下空间与工程学报,2019(增刊2):852.
- [2] 陈小林,叶礼旭.宁波轨道交通工程施工网络视频监控系统设计与实现[J].铁道标准设计,2009(12):130.
- [3] 王乾坤,王淑婧,万畅,等.城市轨道交通施工安全监控管理信息系统的研究[J].武汉理工大学学报,2010(7):147.
- [4] 李蒙,龚雨洁,余宏亮,等.地铁施工人员安全监控预警系统构建及应用——基于可穿戴技术[J].建筑经济,2018(7):37.
- [5] 沈卫平,张俊,袁标,等.基于智慧互联技术的成都地铁盾构施工安全风险信息管理信息系统研究[J].岩石力学与工程学报,2019(增刊2):3822.
- [6] 吴守荣,李琪,孙槐园,等.BIM 技术在城市轨道交通工程施工管理中的应用与研究[J].铁道标准设计,2016(11):115.
- [7] 羊权荣,汪宇,何跃川.城市轨道交通施工监测在 GIS+BIM 平台的集成应用[J].隧道建设(中英文),2019(增刊2):345.
- [8] 谢逸,张竞文,李韬,等.基于视频监控的地铁施工不安全行为检测预警[J].华中科技大学学报(自然科学版),2019(10):46.
- [9] 艾渤,马国玉,钟章队.轨道交通场景 5 G 关键技术[J].都市快轨交通,2019(5):38.

(收稿日期:2020-06-29)

(上接第 165 页)

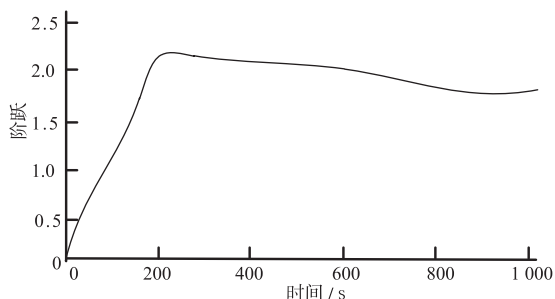


图8 串级控制算法阶跃响应仿真曲线

扰的适应性,同时也加强了车站环境温度控制系统响应的精确性。

3) 在原来 PID 控制基础上加入模糊控制后,车站环境温度控制系统的振荡明显减弱,提高了系统的稳定性。从现实的角度来考虑,这是一种节能且使机器磨损很小的控制方式。

4 结语

地铁车站采用环境温度串级控制系统能很好地

结合模糊控制和 PID 控制,给地铁车站这种大延时、大空间、非线性及时变的环境温度控制提供了一个较好的思路。其具有良好的动、静性能以及较强的鲁棒性,是一种实用、有效的环境温度控制系统。

参考文献

- [1] 魏晓东.城市轨道交通自动化系统与技术[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 李士勇.模糊控制和智能控制理论与应用[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1990.
- [3] 吕钧星.自学习模糊控制在车间空调系统中的应用[J].华南理工大学学报,1998(5):111.
- [4] 王洋浩,俞炳丰,王冬青,等.模糊变频空调器控制效果分析与系统的仿真研究[J].系统仿真学报,1998(6):25.
- [5] 张化光,杨英旭,柴天佑.多变量模糊控制的现状与发展(I)[J].控制与决策,1995(3):193.
- [6] 李士勇.模糊控制、神经控制和智能控制论[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1996.

(收稿日期:2019-03-25)