

城市轨道交通信号设备施工作业质量监督系统

王 亮 魏盛昕 范东明

(卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海//第一作者, 工程师)

摘 要 目的:解决现阶段信号设备施工作业环节存在的信息可信度低、溯源能力差、人员管理难度高及运维效率低等问题。方法:通过分析信号设备施工作业流程,根据信号设备施工作业质量监督系统设计需求,从网络安全架构、技术架构和系统模块三方面研究系统架构设计。将网络安全架构安全网域划分为生产执行网域、生产辅助网域、管理网域及无线网域,并在各网域采取安全防护措施。技术架构采用分布式架构设计,分为感知层、中间层、数据服务层及应用层等四个层级,实现了系统的高可用性和高并发性,提升了系统处理数据的能力和效率。在系统模块设计方面,对信号设备施工作业的每个环节进行了细致划分,包括工单管理模块、监督逻辑分析模块、图像采集模块、图像分析模块及人员绩效评价模块,确保信号设备施工作业的每个环节都能得到有效监督和管理。结果及结论:经过现场生产环境实际应用验证,采用信号设备施工作业质量监督系统可有效提高信号施工作业的质量和效率,降低安全风险和监管成本,实现信号施工过程规范化,为行车安全提供良好保障。

关键词 城市轨道交通; 信号设备; 施工作业; 质量监督

中图分类号 U282+.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.08.043

Quality Supervision System for Urban Rail Transit Signaling Equipment Construction Work

WANG Liang, WEI Shengxin, FAN Dongming

Abstract Objective: It is aimed to tackle the issues of low information reliability, poor traceability, personnel management difficulty, and low operational efficiency in the current SEC (signaling equipment construction) work procedures.

Method: By analyzing the SEC workflow and considering the design requirements of SEC work quality supervision system, the system architecture is researched from three aspects: network security architecture, technical architecture, and system modules. The security domains of network security architecture are divided into production execution, production support, management, and wireless domains, and security measures are implemented in each domain. The technical architecture adopts a distributed architecture design, comprising the perception lay-

er, middleware layer, data service layer, and application layer to achieve high system availability and concurrency, enhancing the system data processing capacity and efficiency. In terms of system module design, each procedure of the SEC work is elaborately classified, including the work order management module, supervision logic analysis module, image acquisition module, image analysis module, and personnel performance evaluation module, ensuring effective supervision and management at every SEC procedure. Result & Conclusion: Through application validation in on-site production environment, the SEC work quality supervision system proves to effectively improve SEC work quality and efficiency, while reducing safety risks and regulatory costs, standardizing SEC procedures, and providing solid assurance for operational safety.

Key words urban rail transit; signaling equipment; construction work; quality supervision

Author's address CASCO Signal Ltd., 200071, Shanghai, China

近年来,随着城市轨道交通在中国日新月异的发展,人们对列车安全、高效率运行提出了更高的要求。2020 年中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》提出,到 2025 年,车辆、能源、通信及信号等智能运维系统在全行业推广应用,日常检修效率和车辆整体可靠性达到世界先进水平,运营安全事故率降低 30%,信号设备故障率降低 15%^[1]。

随着城市轨道交通运营线路里程不断增长,信号设备规模日渐扩大,日常施工作业的工作量也随之增大。目前,主要是选择有经验的监督员对信号设备施工过程进行全程监督,对施工质量进行验收,并对故障易发生点等关键部位进行监控。由于信号设备位置分散、数量繁多、种类复杂,并且施工人员和监督人员的专业技术能力、责任心、对信号设备标准化作业流程的熟悉程度参差不齐,造成信号设备施工过程中容易发生施工不到位或者二次

损伤设备的情况。如何减少对施工作业人员的能力要求,以及用技术和管理手段提升施工作业效率,达到减员增效的目的,是行业的共同追求^[2]。以信号设备施工作业质量监督系统代替人工监督,有助于提升信号设备施工质量和效率,消除误操作带来的安全隐患,减少信号设备故障发生次数,这对整个城市轨道交通的生产和行车安全有着重要意义。

1 系统需求分析

目前的信号设备施工作业流程主要为:维护部负责人制定工作任务然后口头下发到具体施工作业人员;施工作业人员在施工点内到信号设备具体位置进行施工检修,对于室外施工作业,除了作业人员对设备的观察和测量外,还需要室内人员调阅信号集中监测采集的数据;对于施工作业中发现的设备问题,作业人员通过对讲机或者电话设备方式汇报给值班人员,对于难解决的问题还需要层层上报,联系专家。

基于上述场景,信号设备施工作业质量监督系统的用户根据工作职能分为检修人员与系统管理人员。检修人员需要使用移动终端查看检修工单任务,包括检修的具体设备、设备所在位置、设备履历及设备检修工序,在检修完成后也需要系统及时完成监督,将结果上报系统管理人员。系统管理人员需要使用道岔检修监督系统派发任务,实时掌握各个检修人员检修进度和完成情况。信号设备施工作业质量监督系统需在以下方面对信号设备施工作业的流程管理进行优化:

1) 派单便捷性。信号设备种类繁多,各类设备根据型号不同也有各自的检维修周期,系统需针对信号设备类型和型号设置施工周期,并制定该设备检修任务配置;任务配置中包含检修工序、检修最大时长;系统需根据检修周期和设备所在位置,自动指定人员派发任务;施工人员需在移动端实时接收新的工单和查看工单内容等。

2) 施工过程规范性。在工单执行环节,施工人员按照系统提供的设备检修工序依次完成设备检修,每项工序完成时都应实时提醒施工人员和系统管理员;当提交工单时若系统判断有未完成的工序,则应要求施工人员返工,避免出现漏检漏修和不合规检修。

3) 施工质量监督与管理。系统在某些设备的

检修工序上可引入图像分析技术,根据现场拍摄的图片判断本工序的施工质量;作业人员提交工单后应根据施工后该设备的主要电气特性和应用状态判断本次施工质量,加强对施工质量的监督和管理。

4) 作业人员绩效评价。系统需以每次施工作业的出勤情况、过程规范性、检修质量作为作业人员绩效的评价依据,辅助施工作业人员提高责任心与专业水平。

5) 施工数据挖掘。系统经过一段时间的使用后,在大量数据的驱动下,应具备优化整个城市轨道交通信号设备施工作业流程的能力,为后续制定合理的施工作业计划、安排各类信号设备检维修工序提供决策支持。

2 系统架构设计

2.1 网络安全架构设计

在进行信号设备施工作业质量监督系统网络安全架构设计时,将安全网域划分为生产执行网域、生产辅助网域、管理网域及无线网域等,各网域采取的主要安全防护措施如下:

1) 生产执行网域安全防护措施:主要实现面向设备监测的功能,包括各城市轨道交通线路侧的监测数据的采集、汇聚及逻辑计算,需要高安全等级。该网域与生产辅助网域之间通过单向网闸实现网络安全物理隔离。

2) 生产辅助网域安全防护措施:主要实现面向生产管理的功能,接收来自生产执行网域的单向数据。该网域服务器采用经过安全加固的操作系统及可信服务器设备,卸载所有不必要的应用程序和服务,并且关闭所有非必要开放的对外端口,保障业务应用区安全。

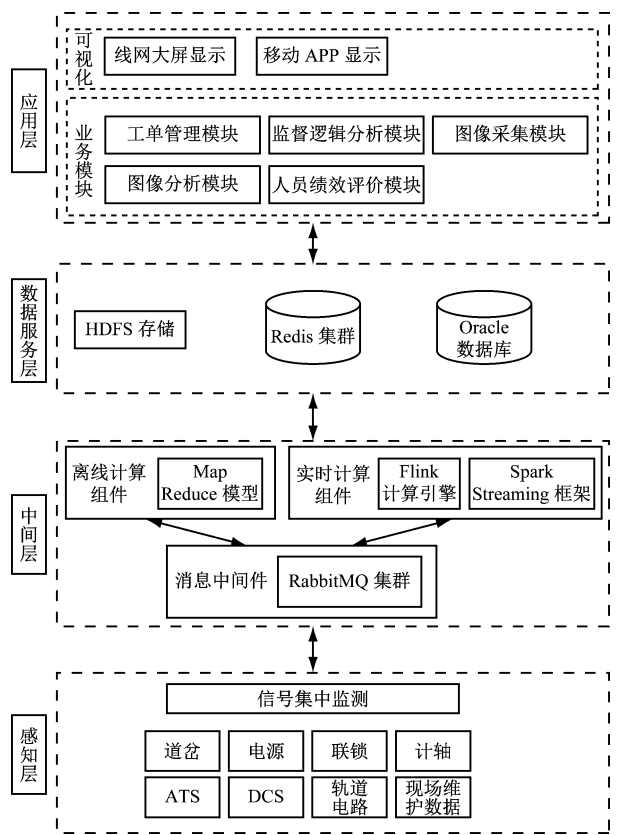
3) 管理网域安全防护措施:通过对外接口,实现和信息化系统、移动应用系统的信息交互;通过制定安全访问控制策略,实现该区域的安全访问控制,并采取服务器安全加固措施。

4) 无线网域安全防护措施:主要用于实现移动应用的相关功能,外勤人员可连接无线 AP(无线接入点)形成的无线局域网,与系统内部进行安全数据交换。

另外,通过在各网域部署防火墙,实现对信号设备施工作业质量监督系统内各安全域的边界隔离与访问控制,防止非法访问和信息泄露,实现该系统网络与外部网络的安全网络隔离和安全数据交换。

2.2 技术架构设计

信号设备施工作业质量监督系统在系统技术架构上可分为4个层级,分别为感知层、中间层、数据服务层及应用层。系统技术架构如图1所示。



注:HDFS—分布式文件系统;ATS—列车自动监控;DCS—数据控制系统。

图1 系统技术架构图

Fig. 1 Diagram of system technology architecture

2.2.1 感知层

感知层主要是通过信号集中监测收集各类数据,能实时监测信号设备的主要电气特性,包括模拟量参数及开关量参数(如按钮、关键继电器、区间轨道及信号机等设备状态),还能监控信号设备的应用状态。当信号设备电气特性超限或信号设备不能正常工作时能及时预警或报警。

信号设备施工作业质量监督系统从信号集中监测获取的数据主要分为以下几类:道岔的动作曲线、表示状态、转辙机缺口等相关数据;信号机电流;25 Hz 轨道电路的接收电压、轨道状态;电缆绝缘电阻、泄漏电流;车站站场表示信息;移频轨道电路模拟量、主轨道和小轨道状态信息。

2.2.2 中间层

中间层选用 RabbitMQ 消息队列集群接收信号

集中监测传输的各类数据,在解耦的同时将数据传输时间降至毫秒量级。实时计算部分采用数据流框架 Spark Streaming 和分布式计算引擎 Apache Flink 直接从 RabbitMQ 集群中读取队列的数据,实时进行数据处理和分析,并将分析结果发送到数据服务层的数据存储模块或直接提供给应用层。离线计算组件选取 Map Reduce 分布式计算模型提供数据计算能力,整个计算分成 Map(映射)和 Reduce(归约)两个阶段。在 Map 阶段,并行处理输入数据读取 HDFS 中的文件,将文件解析为键值对,经过 Map 函数处理后,转换为新的键值对输出;在 Reduce 阶段,对 Map 结果进行汇总。同样,每个 Reduce 任务都是一个进程,Reduce 任务接收 Map 任务的输出,处理后写入 HDFS。

2.2.3 数据服务层

数据服务层中选用 Redis(远程字典服务)集群与 Oracle 关系型数据库相结合的存储方案服务于应用层,避免在高并发情况下仅用 Oracle 存储数据而无法在短时间内处理或者瞬间读/写大量数据。若积压的大量请求未得到及时处理,很容易发生数据库难以快速处理请求造成整个服务器系统瘫痪的情况。选用面向内存的 Redis 集群存储热点数据,可有效应对瞬时访问量大的情况,在高并发情况下,可以保证数据一致性与安全性。信号设备施工作业质量监督系统接收及分析产生的数据量将随着时间推移越来越大,因此采用 HDFS 存储离线数据。HDFS 能支持大规模数据集,且具备高可用性,可较好地支撑信号设备频繁、大量地采集数据存储。

2.2.4 应用层

信号设备施工作业质量监督系统的业务模块分为工单管理模块、监督逻辑分析模块、图像采集模块、图像分析模块及人员绩效评价模块。结合系统可视化功能,应用层提供了桌面端线网大屏系统供线网指挥中心管理员使用,可实现管理工单、在 GIS(地理信息系统)中查看各线路施工情况、查看各工单施工质量及统筹管理所有施工人员;应用层还提供了移动端 APP 供施工作业人员使用,可查看工单、设备具体位置、设备施工工序及施工质量反馈信息,还能调用图像采集模块对相关设备进行图像分析监督。

3 系统模块设计

信号设备施工作业质量监督系统的模块结构

图如图 2 所示。

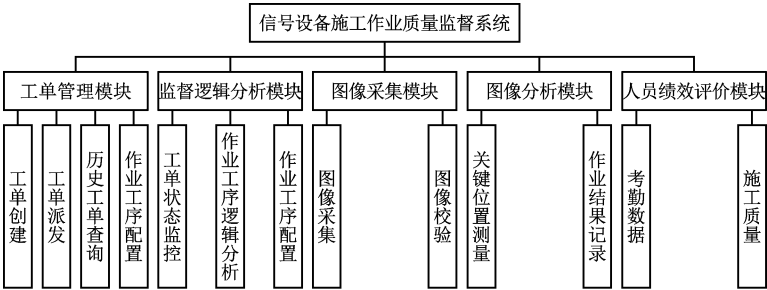


图 2 系统模块结构图
Fig. 2 Diagram of system module architecture

道岔设备作为信号系统的“三大件”之一,若发生故障则直接影响行车效率,甚至发生重大行车事故。道岔转辙机是道岔的转换装置,可用来转换道岔或锁闭道岔,同时其顶端通常附带有标示或指示信号,用以反映道岔尖轨所处的位置。道岔转辙机无法在设计层面进行冗余和备份设计,为单点故障影响线路运行的关键设备^[3]。因此道岔转辙机设备施工作业的质量是影响轨道交通信号设备状态的关键环节。下面以道岔转辙机施工作业为例,介绍信号设备施工作业监督系统各模块。

3.1 工单管理模块

工单管理模块中工单计划的创建包含创建计划工单和临时工单,计划工单创建支持根据各类设备检修周期自动安排施工作业任务;临时工单创建支持根据设备异常状态结合维修人员位置自动派发工单。线网管理员可在线网大屏终端查看各线路的工单任务,也可根据突发状态适时调整工单任务。系统自动根据各设备的电气特性设定作业工序,线网管理员也可进行作业工序的调整。

施工人员使用信号设备施工作业质量监督系统的移动端 APP 可查看具体工单内容,包括设备位置、交底事项、工器具核点等,到达施工点后可点击开始本工单的施工作业。工单可根据具体设备匹配到施工工序,施工人员需根据 APP 中显示的施工工序依次完成设备施工。

3.2 监督逻辑分析模块

监督逻辑分析模块可在工单提交时或者工单超时时启动,线网管理员也可通过线网大屏终端界面调用监督逻辑分析模块对某项施工进行分析。道岔施工工序逻辑分析内容如表 1 所示。

3.3 图像采集模块

图像采集模块与图像处理模块相连。在检修

表 1 道岔施工工序逻辑分析表	
Tab. 1 Logic analysis of turnout construction procedure	
监督项	监督逻辑
手摇道岔转换状态是否良好(定位到反位)	出现过道岔定位到反位失表示告警则认为通过该工序检查
手摇道岔转换状态是否良好(反位到定位)	出现过道岔反位到定位失表示告警则认为通过该工序检查
电操试验 4 mm 不锁闭(定位到反位)	出现过道岔定位到故障位曲线或故障位到故障位曲线
电操试验 4 mm 不锁闭(反位到定位)	出现过道岔反位到故障位曲线或故障位到故障位曲线
道岔来回转换检查状态(定位到反位)	道岔定位到反位或定位到故障位动作次数大于 4 次,则认为通过该工序检查
道岔来回转换检查状态(反位到定位)	道岔反位到定位或反位到故障位动作次数大于 4 次,则认为通过该工序检查
电操道岔转换状态是否良好(定位到反位)	检修结束或到期时,不存在未恢复的定位到反位转动过程异常预警
电操道岔转换状态是否良好(反位到定位)	检修结束或到期时,不存在未恢复的定位到反位转动过程异常预警
缺口是否符合标准(定位)	检修结束或到期间,不存在未恢复的道岔定位缺口超限报警,则认为通过该工序检查
缺口是否符合标准(反位)	检修结束或到期间,不存在未恢复的道岔反位缺口超限报警,则认为通过该工序检查

过程中,检修人员首先通过移动摄像头进行拍照,为了获得更高精度的检修结果,在拍摄过程中需使待检测的道岔转辙机被识别在取景框的虚线范围内进行校验校准。系统对因拍摄角度、拍摄清晰度等因素引起的图像质量不合格的检修图片会及时给出反馈信息,检修人员可以及时纠正拍摄角度以获得高质量的检修图片,提高检测效率。并且根据道岔转辙机的类型不同,检修人员可以从道岔转辙

机前机、道岔转辙机后机等不同角度拍摄多张图片,然后发送图片给图像分析模块。

3.4 图像分析模块

图像分析模块是在道岔检修过程中对道岔图像采集模块获得的图片进行分析和处理,应用图像识别技术对关键测试信息进行智能分析。道岔转辙机自动开闭器包括两组装置,每组装置包括两排静接点和一排动接点。道岔检修图像的识别主要从以下几个方面展开:动静接点接触深度,动接点与静接点座间隙,动接点柱中心与静接点簧片中心线的距离,动接点柱上的防松环不断裂、配线不松动及螺栓和螺帽不松动。经过计算和处理反馈,道岔转辙机呈现出正常、更换或调整三种状态。把动静结点接触深度及动静结点底座间隙的测量结果和分析结果反馈在检修系统桌面端和 APP 端界面上,测量结果的精度为 0.1 mm。经过图像处理模块的分析与处理,系统将测试结果推送给检修系统桌面端和 APP 端,使得检修人员和系统管理员能够实时获取测试结果,实时了解道岔转辙机施工质量。

3.5 人员绩效评价模块

人员绩效评价模块通过统计施工数据,确定作业人员出勤情况,并且根据作业工序完成情况和设备施工后的状态数据判断每项施工作业的质量得分,纳入人员的考核指标中。在线网大屏终端和手机 APP 中都可以实时查看每位作业人员的得分,奖惩有据,公开透明,从而激发作业人员工作热情。

4 结语

在信号设备施工作业中,以信号设备施工作业质量监督系统代替人工监督,结合信号集中监测和相关子系统采集的数据并进行分析,可有效减少施工作业中漏检漏修、不合规检修、二次损伤设备等问题;应用图像识别技术进行检修数据分析,可提高检修过程的智能化程度,降低人为因素造成的检修误差,提升检修结果的准确性及实时性;可提高信号设备日常施工质量和城市轨道交通的运维自动化水平,保障行车效率和安全。

参考文献

[1] 施聪. 城市轨道交通通信信号专业的智能运维系统[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8):172.
SHI Cong. Communication and signal intelligent operation and maintenance system in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8):172.

[2] 杜心言. 轨道交通工程学科发展战略研究专题报告(六)[R]. 北京:中国城市轨道交通协会,2019.
DU Xinyan. Special report on the development strategy of railway engineering discipline (VI)[R]. Beijing: China Association of Metros, 2019.

[3] 曾祥益. 基于大数据的敏捷地铁维护支持系统的研究与设计[D]. 北京:北京交通大学,2021.
ZENG Xiangyi. Research and design of agile metro maintenance support system based on big data[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.

(收稿日期:2023-02-23)

(上接第 221 页)

由于施工图设计阶段未充分考虑到不同转弯半径道岔摆动时道岔分段绝缘器间隙的影响,故产生了道岔分段绝缘器与道岔的干涉问题。对此,可采用局部调整道岔或调整分段绝缘器施工图尺寸的解决措施。

由轨道梁本身存在不平顺,不同型材的热膨胀系数不一致,紧固力矩存在差异,故而钢铝复合轨不锈钢带面与分段绝缘器的表面存在平面超差问题。在安装使用说明要求范围内调整紧固力矩,在局部无法调整位置打磨等措施可有效解决该问题。

参考文献

[1] 张银虎. 跨座式单轨交通轨道梁定位测量及线形检测方法探

讨[J]. 铁道勘察, 2020, 46(3):1.
ZHANG Yinhu. Discussion on the method of positioning measurement and linear detection of track beam in straddle monorail transit[J]. Railway Investigation and Surveying, 2020, 46(3): 1.

[2] 李贵明. 跨座式单轨分段绝缘器方案设计研究[J]. 中国设备工程, 2019 (17): 134.
LI Guiming. Study on scheme design of straddle monorail segmented insulator[J]. China Plant Engineering, 2019(17): 134.

[3] 于素芬. 跨座式单轨系统接触轨选型分析[J]. 电气化铁道, 2018, 29(2):60.
YU Sufen. Analysis of contact rail model selection for straddle type monorail system[J]. Electric Railway, 2018, 29(2): 60.

(收稿日期:2021-03-03)