

低成本的列车清洗设备远程控制改造方法研究

邵芳议 弓 宸 章学权
杭州地铁运营有限公司 浙江 杭州 310017

摘要：地铁列车的清洗作业是地铁运维工作中不可或缺的一环，改善现有的洗车方式，可以有效降低运维成本。目前，以杭州地铁运营有限公司为例，以两人一组的形式监控洗车作业安全运行，洗车过程中，绝大部分时间为设备自动动作，有效工时较低。故此，可通过远程监控洗车设备的方式，提升洗车人员工时利用率，进一步节约人力成本开支。在物联网及自动化相关技术日趋普及的背景下，以较低的成本改造既有设备的形式，应用远程控制及自动化技术，能够进一步降低设备采购、升级成本。

关键词：轨道交通；列车清洗；自动化；远程控制

地铁列车的清洗作业是地铁运维工作中不可或缺的一环，改善现有的洗车方式，可以有效的降低运维成本。目前，以杭州地铁运营有限公司为例，以两人一组的形式监控洗车作业安全运行，洗车过程中绝大部分时间为设备自动动作，有效工时较低。故此，可通过远程监控洗车设备的方式提升洗车人员工时利用率，进一步节约人力成本开支。

目前，以国内为例，天津地铁、郑州地铁、福州地铁、西安地铁等公司，已在使用由供应商提供的远程列车清洗装备，其确实起到了提高设备使用效率功效，取得了可观的经济效益。在国外，如新加坡地铁等公司，亦采用了远程控制洗车的方式，节约洗车过程中的人力开支。

但目前的远程列车清洗装备，在实际应用中仍存在下述问题：

①成本较高：市面上同类型设备改造、升级服务售价约在40~55万元，经济性较差。由供货商提供的改造服务，在设备后续维护、保养过程中仍需使用供货商提供的高价零部件，会产生额外的高价维护开支^[1]。

②自动化程度低：市面上由供货商提供的改造服务，存在自动化程度较低的问题，其未对开关机流程及操作过程进行合理优化，仍然有复杂的开关机、模式切换等过程。

③人机交互复杂：由供货商提供的控制设备，交互界面复杂，导致操作难度较大，需要操作人员具备相应专业知识并接受大量培训才可顺利进行简单操作^[2]。

④改造周期长：由供货商提供的改造服务，改造周期通常在3个月以上，期间会影响到正常的洗车工作开展，进而影响运营质量^[3]。

1 基本功能设计

1.1 设计目标及系统设计框架

为达成远程洗车的目标，需实现如下功能：①对洗车机控制台各按钮的远程控制及指示信号状态的监视；②视频监控系统的远程投送；③UPS电源的远程启停；④工控机的远程启停及投送；在本设计中，同时进行了将复杂的开关机操作流程简化的设计，下文中将分模块介绍各系统通信链路及核心功能。

1.2 操作台的远程监控的实现

1.2.1 基本控制原理

为实现洗车机控制台各按钮的远程控制及控制台的状态监视，增设了远程控制模块。其主要功能为远程输出各类控制命令及将各类指示灯信号进行远程反馈。其信号输出链路为：远程控制主机将控制命令发送至网关，由网关进一步将控制命令传送到远程控制模块，控制模块将命令转化为电信号，发送至洗车设备PLC。信号返回链路为：指示灯、蜂鸣器电信号通过中间继电器转换为直流信号，经三极管进行电气隔离，由控制模块将对信号经由网关传递至远程控制主机，再由综合展示进行信号的提示，该种方式可以有效提高信号传输的稳定性和可靠性^[4]。

1.2.2 硬件设计

在本设计中，远程控制模块主要由以太网芯片、MCU、继电器、三极管单元组成，通过以太网芯片，使MCU与上位机构建极低延迟且稳定的远距离通信；MCU进行控制命令的逻辑分解，将一键启动、一键停止等控制命令转换为依次动作的电信号，同时将收集到的反馈信号变动发送至以太网芯片；通过三极管放大电路，转换声光报警等反馈信号至MCU；通过继电器输出MCU发出的各类控制电信号。该种硬件设计，对比常见的通过另一个PLC进行控制及监视方法，在不损失可靠性及安全性的前提下，大幅降低了设备成本^[5]。

1.2.3 服务器设置

仅在需要开展洗车作业时，才需对其进行远程控制，因此服务器与控制终端可以进行整合，由单台设备同时作为远程控制服务器与操作终端，可以省去服务器成本。本设计中的命令信号、返回信号的数据量及通讯频率均较低，无需部署高处理性能、高并发、常态化运行的服务器，常见的办公电脑的性能即可作为服务器主机，节约设备成本。

在通讯过程中，控制命令及返回信号由控制模块处理后，经由网关设备发送至部署在远程控制主机的Nginx服务器。通过反向代理的方式，实现远程控制模块与WEB控制台之间的数据交换。该服务器设定为在此台终端设备启动时自启动，可以降低远程控制待机状态下的耗电量。

1.2.4 上位机设计

系统WEB上位机由html+css+js的形式开发，使用modbus协议进行控制信号的输出及返回值的确认。

控制大屏具备洗车设备原本操作台全部的按钮命令与声光信号，还具备一键启停等在本设备中新应用的功能。为确保其具备良好的人机交互性能，在面向不同权限人员时，只会展示其权限所可操作的功能，正常洗车时，仅需操作四个按键（一键开机、一键关机、模式选择、清洗复位）即可完成车辆的清洗，大大降低了设备操作难度。用户管理功能可为不同人员授予不同的设备操作权限，有效避免了操作错误导致的误动作^[6]。

1.3 视频监控系统的远程投送

目前的列车清洗设备，为确保洗车作业质量及防范潜在的安全风险，已在轨行区、前端洗区域、后端洗区域、测洗区域、控制室、污水处理间安装了大量的视频监控设备，依靠上述监控设备，即可实现对现场情况的精确把握。故此，仅需以较低的延迟，将视频监控系统投送至控制主机中，即可实现对现场的远程检视。

在本设计中，通过远程访问NVR录像机的形式，经由光纤及网关设备连接录像机及控制主机，实现低延迟的实时监控及录像查看。经测试，现场视频监控与远程控制端的实时画面显示之间的通讯延迟可以控制在9ms以内，符合远程洗车的控制要求。

1.4 UPS电源的远程启停

现有设备在开关机过程中，需操作UPS设备为控制回路供电。在本设计中，通过将UPS开关点位与远程控制模块连接的方式，由远程控制模块驱动UPS动作，节约控制成本，实现控制集中化，减少操作步骤。

1.5 工控机的远程启停及投送

针对现场控制室内的工控主机，通过修改其BIOS设定，将其设定为来电自启动，通过对送电进行控制，即可使其具备远程启动能力。将工控机与控制主机通过光纤及网关设备与上位机进行连接，即可远程访问工控机并使用相关功能。

1.6 一键启停

目前市面上的洗车设备，开关机操作需频繁进行，且过程复杂繁琐，有严格顺序要求的同时，还需确认上一步动作是否完成，对操作人员有较高的素质要求。故对其操作流程进行优化，可以使洗车设备更容易被更多工作人员正确操作，提升操作效率的同时，杜绝操作错误导致的洗车工作延误等事件发生。

在本设计中，通过在MCU中写入开机、关机逻辑，将一系列复杂顺序操作，交由MCU程序执行，MCU代替工作人员，依次向对应按钮的继电器发出启动命令，同时接收设备反馈，确保设备动作正常。经优化后，仅需操作一键开机/关机按钮，即可实现设备的启停。

1.7 网络部署

在本设计中，通过光纤将远程控制主机与现场的监控系统NVR、工控机、远程控制模块相互连接，实现了低延迟的长距离远程监控。

2 安全功能设计

2.1 远程控制与本地控制间的切换机制

开展远程洗车作业时，尽管远程操作人员可以通过视频监控系统确认控制室是否有人调试、维护设备，但是现场人员无法感知远程端是否有人操作，或存在被控可能，故此，仍然存在双方同时操控设备的可能性。为防范该种情况导致的安全事件发生，需要在硬件层面建立远程控制与本地控制之间的切换机制。

在本设计中，为了规避该情况的发生，在增设了远程/本地切换开关，通过该开关，使得设备只能接收远程控制命令或者本地控制命令。在实际生产过程中，通常在定期维护、故障处理时才会进行洗车库本地操作，故此，洗车库控制台的操作权限的优先级应更高。为切实保护维护作业过程的安全性，应仅在洗车库设置远程/本地切换开关，检修人员应可随时取消设备的远程操作权限。

在通过电路设计防止远程、本地同时作业的同时，还需增设对应的状态显示，当设备切换旋钮在远程/本地状态时，远程操作台将可以确认该状态。如果设备处于本地控制状态，远程上位机将会禁止任何形式的控制操作。

2.2 远程控制模块的主备机设计

考虑到远程控制有出现故障的可能性，为尽快恢复正常生产，远程控制模块采用主备机设计。通常情况

下,由主机实际控制设备,备机仅接收目前的工作状态,不输送控制命令。

当主机出现故障时,操作人员根据现场情况,可切换至备机运行。切换至备机运行时,备机根据目前工作状态,输出控制命令;主机的输出信号将被总继电器切断。

作为更优选的方案,模块中的控制主机和备机,可采用快接口设计,当主机故障时,可快速拆下并更换,有效节约维修时间,降低设备故障对生产效率产生的影响。

2.3 通讯中断情况下的安全动作

本设计中,控制命令通过局域网进行传输,一旦通信线网或通信设备发生故障,则设备会处于失去控制的状态。为防止该种情况的发生,特别引入了看门狗机制,其作用原理如下:当远程控制正常运作时,远程控制模块内的断联安全装置会定期与服务器进行通信,通信成功时重置其计时器,如果由于通信故障或者硬件故障导致无法重置,则计时器丢失并生成超时信号,当超时信号产生时,将会触发远程控制模块内的急停继电器动作,迫使设备急停,避免影响扩大。

3 管理改进

目前,以杭州地铁运营有限公司为例,因在洗车库内开展洗车作业,为确保作业安全进行,需要一人监护,一人操作,共计两人开展洗车作业,在洗车作业过程中,绝大部分时间为设备自动动作,有效工时较低。

基于此背景,在杭州地铁7号线盈中车辆段开展了如本文所述的远程控制系统的部署及实验,将洗车作业地点由洗车库本地控制变更为在DCC控制中心远程控制洗车。DCC控制中心人员数量较多,可以起到对作业人员的监护效果,同时,提升了洗车操作员与车辆段调度人员之间的沟通效率。以此,可减少一名作业时的监护人员。

目前,盈中车辆段以单名操作员在DCC进行列车清洗的方式进行洗车作业,该洗车方式以实验六个月,期间未发生任何问题。由于洗车作业通常在车辆回场过程中进行,在车辆回场前,检修作业量相对较少,可以考虑取消专职洗车操作员,由车辆检修人员进行洗车作业,以进一步提升工时利用率。

4 应用情况及经济效益

4.1 应用现状

自2023年10月1日始,在杭州地铁7号线盈中车辆段上线实验本系统,目前已累计清洗列车607列次,达成了预期效率提升效果,已可由一人独立完成洗车设备相关

操作。同时,杭州地铁9号线昌达路停车场已完成对应改造、杭州地铁3号线星桥车辆段已在开展对应改造,该改造方法已被初步验证具备泛用性。

4.2 经济效益

设备改造成本:经调研,市面上同类型设备改造服务售价约在40万元~55万元,而根据本文所述的改造方法,则仅需2万元的改造成本。以杭州地铁运营公司为例,目前共计有列车清洗设备17台,每台设备平均约可节约改造支出42万元,总计可节约714万元的改造成本。

人力工时成本:根据目前杭州地铁的洗车模式,以远程洗车监控形式开展洗车作业,每段场可优化1.5岗设备维修操作工工时,单段场人力开支每年可节约27万元。目前现有17个段、场全部应用后,预期每年可产生459万元经济效益。

5 结语

本文提供了一种低成本的既有非远程控制列车清洗设备远程自动控制改进的方法,其通过简化及兼用操控装置、改善施工方式的方式,有效降低改造成本的同时,还通过增设安全切换机制、看门狗、主备机控制的方式兼顾了安全性。通过实践,该模式实现了良好的安全效益和经济效益,可供轨道交通工艺设备专业作参考。随着国内轨道交通智能控制技术的不断深化引用,关于列车自动清洗设备操作模式的研究和思考还将深入开展,列车清洗设备自动控制、无人值守、成本改善、清洗效果等方面都具有较高的研究价值。

参考文献

- [1]胡屏,柏军.单片机应用系统中的看门狗技术[J].吉林大学学报:信息科学版,2003,21(2):4.DOI:10.3969/j.issn.1671-5896.2003.02.023.
- [2]刘丽华,易毅坚,何冠平.基于Internet的列车清洗机远程作业监控系统设计[J].制造业自动化,2022(005):044.
- [3]史鸣,刘永强,郭叶星.UPS在地铁列车自动清洗机中的应用[J].机械工程与自动化,2021.DOI:10.3969/j.issn.1672-6413.2021.05.081.
- [4]刘晓光.基于物联网技术的列车清洗设备远程监控系统研究.机械研究与应用,2019,32(6):88-92.
- [5]赵建中,张雁.基于无人机技术的列车清洗设备远程控制改造方法研究.交通技术与发展,2020,40(4):56-60.
- [6]范俊韬,陈智钊,张三多,等.广佛地铁列车清洗模式优化[J].轨道交通装备与技术,2019(1):3.DOI:CNKI:SUN:T DGR.0.2019-01-012.