

城市轨道交通既有车辆段自动化改造方案研究

陈逸 刘燕

(通号城市轨道交通技术有限公司,100070,北京//第一作者,高级工程师)

摘要 以目前市场主流的 CBTC(基于通信的列车控制)系统车辆段为研究对象,立足于技术、设备利用和改造规模等方面,通过对信号系统中的 ATS(列车自动监控)、CI(计算机联锁)/ZC(区域控制器)和 ATP(列车自动防护)/ATO(列车自动运行)进行分析和改造,提出一种对既有传统形式车辆段经济可行的整体改造方案。

关键词 城市轨道交通;车辆段;自动化改造;信号系统

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.09.040

Research on the Automation Transformation Scheme for Urban Rail Transit Existing Depot

CHEN Yi, LIU Yan

Abstract Taking the mainstream CBTC (communication-based train control) system as the research object, based on aspects including technology, equipment utilization and reconstruction scale, through analysis and transformation of ATS (automatic train supervision), CI (computer interlocking)/ZC (zone control), ATP (automatic train protection)/ATO (automatic train operation) in the signaling system, an economic and feasible overall transformation scheme for the existing conventional depot form is proposed.

Key words urban rail transit; depot; automation transformation; signaling system

Author's address CRSC Urban Rail Transit Technology Co., Ltd., 100070, Beijing, China

车辆段在整个交通运输网络中扮演着重要角色,段内列车的作业效率与整条线路的运行效率和准点率密切相关。国际公共交通协会将列车运行的自动化等级(GoA)划分为:GoA0—GoA4^[1-2]。FAO(全自动运行)系统根据自动化等级可分为:GoA3级DTO(有人值守的全自动运行)和GoA4级UTO(无人值守的全自动运行)^[3]。目前,国内主流的车辆段仍然采用传统的联锁控制和人工调度的方式,自动化水平基本上只具备GoA0级的水平。这种传统形式的车辆段,由于没有ATS(列车自动

监控)的进路控制功能,信号楼值班员不得不在CI(计算机联锁)控显机或联锁单元控制台上,通过大量不间断的人工排列进路方式,指挥段内列车进行出库、入库、洗车和检修等作业。司机按照轨旁信号机的显示,在一定限速下用限制人工驾驶模式行车。这种运营方式不但出入库效率低下,在安全防护方面也无法获得良好的保证,且该种方式也已逐渐成为制约既有线高效和安全运行的瓶颈。本文针对传统车辆段的技术特点和既有设施,结合地铁运营商对自动化车辆段的主要需求,研究出一种经济、易实施、功能完善的整体改造方案,可为工程实践提供良好的借鉴思路。

1 车辆段自动化改造方案概况

1.1 系统构成方案

目前,传统的车辆段信号设备主要包括:ATS、CI、轨道占用检测设备、信号机、转辙机和电源等。为实现自动化车辆段里列车的筛选、安全位置的计算、移动授权的计算等功能,在既有车辆段中需新增ZC(区域控制器)和应答器等设备。结合自动化车辆段的自动进路以及安全防护等基础功能,需要对ATS、CI/ZC以及ATP(列车自动防护)/ATO(列车自动运行)功能进行适度修改。

自动化车辆段的设备包括:ATS设备、CI设备、ATP/ATO设备、ZC设备、DCS(数据通信系统)设备以及维护监测设备等。自动化车辆段系统构成示意图如图1所示。

1.2 自动化区域划分方案

自动化车辆段按需求可划分为全自动运行区域、非全自动运行区域和模式转化区域。全自动运行区域含停车列检库、洗车库及(场内)无人区;非全自动运行区域含联合检修库、工程车库、镟轮库、物资库及(场内)有人区;模式转换区为牵出信号机所在牵出线。将列检库、洗车库划分为全自动区域有利于实现列车的自动休眠、唤醒和洗车等功能。

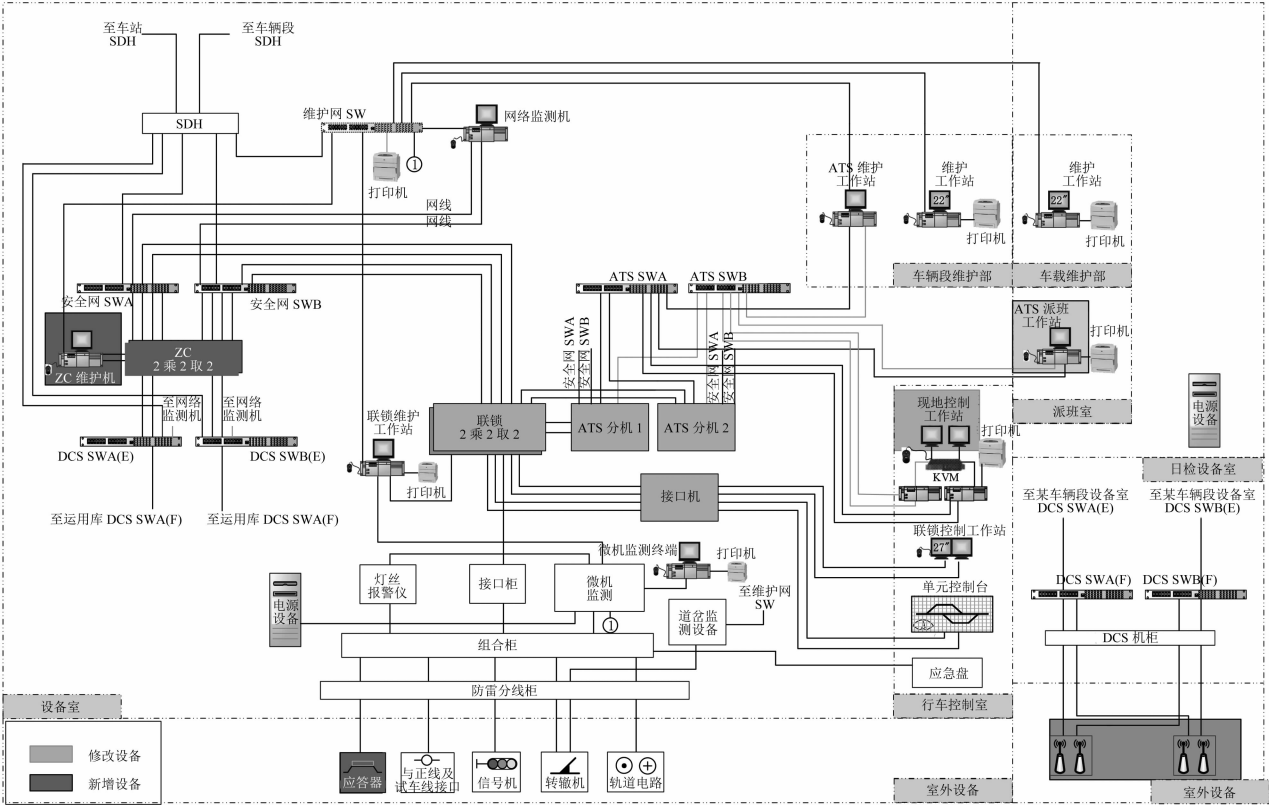


图 1 自动化车辆段系统构成示意图
Fig. 1 Schematic diagram of automatic depot system

全自动运行车辆需列检库增设隔离网、地下通道及其防护分区门禁、电动库门等土建和设施改造,从而增加了改造成本和施工难度。为在兼容既有传统车辆段的同时,节约施工调试时间、降低改造成本和施工难度,本方案将列检库、洗车库、非全自动运行区域纳入自动化运行区域,不考虑这些区域内的列车自动休眠、唤醒和洗车等功能。

遵照上述原则,本文将举例说明典型的既有车辆段划分为自动化运行区域和非自动化运行区域的方案。车辆段自动化运行区域示意图如图 2 所示。其中:CD(出段)、JD(进段)、JK(进库)、CK(出库)为不同用途的信号机编号;A、B 为一个列检库中的两个相邻同向信号机;虚线框为自动化运行区域示意范围。该范围包括了以下 6 种区域:

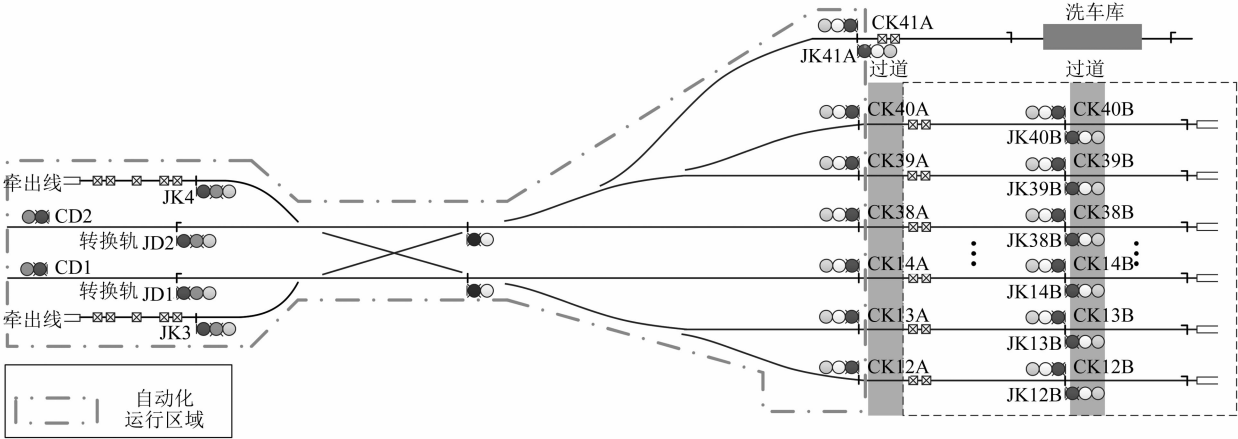


图 2 车辆段自动化运行区域示意图
Fig. 2 Diagram of depot automatic operation zone

1) 出入段线(如 JD1/JD2 信号机右侧)至停车列检库库门(CK12A、CK13A、CK14A、CK38A、CK39A 和 CK40A)前;

2) 出入段线至洗车线洗车机(JK41A)前;

3) 牵出线至停车列检库库门前;

4) 牵出线至洗车线洗车机前;

5) 停车列检库前库列位至出入段线;

6) 停车列检库前库列位至牵出线。

列车在全自动运行区域采用全自动运行模式,限速依照线路限速设置。非全自动运行区域作业按照地面信号机的显示行车,其作业均为限制人工作业模式。

1.3 应答器布置

为满足车辆段内的列车初始化以及定位要求,在车辆段停车列检库各库线的出口、洗车线和牵出线处均需设置无源应答器,各处应答器的布置原则为:①在停车列检库各库线库门处设置 2 个无源应答器,用于列车的初始化;②在洗车线信号机外方设置 2 个无源应答器,用于列车的初始化;③在牵出线上布置 5 个无源应答器,用于列车进入牵出线时的定位停车。

1.4 信号机改造

传统车辆段若均为全调车信号机,在自动化改造时,需按自动化区域划分。采用列调分离的方案,将自动化运行区域的信号机修改为列车兼调车信号机。CI 需满足段内列车及调车进路人工办理。

2 各子系统改造方案

2.1 ATS 改造方案

传统形式车辆段的 ATS 主要包括派班功能和监视功能,但仍需要人工排列出入库的段内进路。为减轻信号楼值班员的工作强度,自动化车辆段的 ATS 改造方案核心为,在既有功能的基础上,添加控制权转换、进路自动触发和自动添加上下线头码车功能。

2.1.1 控制权转换

控制权转换包括中控、站控以及联锁控制三级控制模式。中控模式下,由 ATS 根据派班计划自动执行相应的控制,实现系统的全自动工作模式。此时,中心调度员具有所有调车及列车进路监控权,信号楼值班员仅具有监视权。站控模式下,控制权在车辆段,对于自动控制进路,ATS 可根据派班计划自动办理相应的进路;对于人工控制进路,信号

楼值班员可以在现地控制工作站上对车辆段内所有调车及列车进路进行人工办理。此时,信号楼值班员具有监控权,中心调度员只具有监视权。中控与站控的转换模式与正线一致。联锁控制模式下,自动化车辆段和既有传统车辆段控制模式一致。

2.1.2 自动出入库

ATS 根据派班计划中列车的上线时间以及上线轨,提前一定时间(提前时间可配置)将对应列车设置为头码车,结合列车所在的触发轨,自动触发列检库至转换轨的列车进路;列车进入转换轨后,ATS 根据列车运行计划自动生成列车识别号,并在正线自动进行列车识别号的连续跟踪;当列车运营结束回到转换轨并停稳时,ATS 根据派班计划中指定的列车回库停车列检线,自动将列车设置为头码车,同时自动触发停车列检线的列车进路;人工对列车设置头码车后,ATS 可自动触发停车列检库与牵出线、牵出线与洗车线之间的列车进路。

1) 单程运行路径规划。传统车辆段中,ATS 仅具有正线进路触发功能。由于正线站型较为简单,ATS 一般依据配置文件中所记录的唯一路径(直接可达),采用人工配置的方式为到达触发轨的列车自动触发至终点的进路。但这种直接可达的路径搜索方式并不适用于车辆段这种复杂站型的路径搜索。因此,自动化车辆段路径搜索有必要实现自动搜索两点之间的多条可达路径。

2) 多次折返路径规划。路径选择除了单次可达路径外,还有少数存在两点之间多次折返可达的路径,如图 3 所示。在 A 处添加头码为 B 的列车,此时 A 与 B 之间不能直接到达,需要从 C 处进行折返换端。ATS 可通过增加额外数据结构描述 A、B、C 之间的关系来解决该触发问题。在 A 处添加目的地为 B 的列车时,系统根据该数据结构自动触发先到达 C 的进路,当列车到达 C 处时,系统自动触发到达 B 处的进路,从而达到多次折返的目的。

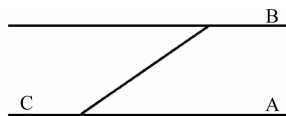


图 3 多次折返路径示意图

Fig. 3 Diagram of multi turn-back route

2.1.3 自动添加上下线头码车次号

ATS 根据派班信息以及提前时间量自动添加头码车次号,并自动为回库方向列车添加至库内洗车或列检库的头码车次号。

2.2 地面 CI/ZC 改造方案

2.2.1 CI

为保证自动化车辆段内信号显示与传统形式的车辆段一致,需考虑车辆段内常态灭灯和常态亮灯两种方式。若车辆段内的信号机常态为灭灯显示,CI 根据 ZC 发送的接近信息进行点灯,则 CI 按照正线方式处理;若车辆段内的信号机常态为亮灯显示,则 CI 需考虑对 ZC 发送的接近信息进行处理。

2.2.2 ZC

若车辆段采用 50 Hz 轨道电路,可能出现分路不良的情况,考虑到安全问题,ZC 不进行物理区段检测设备的故障状态 ARB(计轴故障占用)判断。对于车辆段范围内的 ARB 区段,ZC 判断为 UT(未装备列车)占用。

自动化车辆段列车入库停稳后,联锁对进路进行解锁。按照 ZC 正线处理方式,由于列车所在进路解锁,列车出库升级时将无法获得有效 MA(移动授权)。为应对此场景,ZC 需修改 MA 输入条件,即在特定区段处可以不判断进路状态直接计算 MA 信息。

若车辆段内的信号机常态为亮灯显示,列车为 CTC(连续列车控制)控制等级,当列车包络跨越信号机时,ZC 会向 CI 发出跨越信号机和 CTC 占用信息,此时信号将从开放信号变为关闭信号,如图 4 所示。

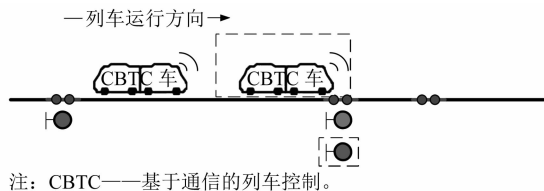


图 4 列车跨压场景示意图

Fig. 4 Diagram of train crossing signal scene

为防止此时司机看到关闭信号后进行误操作,自动车辆段 ZC 需判断列车实体进入信号内方计轴区段后,向 CI 发送列车跨压状态和逻辑区段的 CTC 占用状态,此时 CI 再将信号机从开放信号变为关闭信号,如图 5 所示。

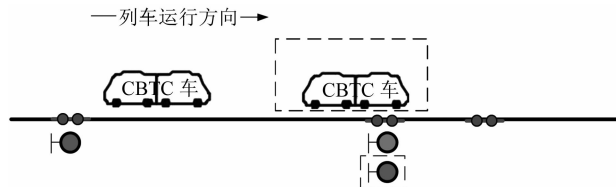


图 5 ZC 修改后的列车跨压场景示意图

Fig. 5 Diagram of train crossing signal scene with revised ZC

车回库时,ZC 将安全防护点最远设置于库门前,并回缩一定安装误差,不能进入库内。出库时,ZC 不对库门进行防护。

2.2.3 ATS 与 CI 接口改造

为满足自动化车辆段的进路自动触发需求,需修改 CI 与 ATS 通信协议,增加命令类型分配,包括非进路调车、非进路故障复原、停止股道检查和取消停止股道检查。非进路故障复原以及停止股道检查为安全命令。

2.2.4 CI 与 ZC 接口改造

为实现自动化车辆段列车的自动运行和防护功能,新增车辆段联锁与 ZC 接口,除既有接口功能外,还需增加列检库线、洗车线等特殊地点的移动授权管理功能。

2.3 ATP/ATO 改造方案

对于传统车辆段,列车在库内上电后,以 RM(限制人工)驾驶模式出库,库内无法实现 CM-C(监控下人工驾驶模式)/AM-C(列车自动驾驶模式)运行。列车入库并进入转换轨后,无论列车运行级别是 CBTC 或点式级别,车载 ATP 均在车载 MMI(人机交互界面)上提示司机“列车回段,降级至 RM 模式”,司机按压确认按钮后,车载 ATP 将转为 RM 驾驶模式。

对于自动化车辆段,列车出库时在库内上电后,经过库线两个应答器后建立定位,向车辆段内 ZC 发起注册。注册成功后,ZC 向车载 ATP 发送移动授权信息,车载 ATP 升级为 CM-C/AM-C 运行。入库时,列车进入转换轨后,当列车运行级别处于点式级别,ATP 功能和传统形式的车辆段一致,列车运行级别处于 CBTC 级别,则不进行降级 RM 驾驶模式提示。列车以 CM-C/AM-C 进入车辆段运行。当列车进入库门前轨道且速度低于 25 km/h 时,车载 ATP 在车载 MMI 上提示司机“列车回库,降级至 RM 驾驶模式”,司机按压确认按钮后,车载 ATP 转为 RM 驾驶模式。

为兼容自动化车辆段和传统车辆段,ATP 通过特殊数据配置,自动识别全自动化车辆段和非自动化车辆段。ATO 与正线一致。

3 结语

本文针对传统车辆段的既有设备布置特点和站场形状,提出了自动化功能区域划分方式以及

(下转第 222 页)