

上海城市轨道交通基于出库能力提升的车场列车自动控制改造分析研究

王练锋

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//工程师)

摘 要 简要说明在车场出库能力提升的需求下, 基于计算机联锁的车场进行 ATC(列车自动控制)改造的必要性和可行性。提出对基于传统计算机联锁的非 ATC 车场实施 ATC 改造的总体方案, 详细阐述了对信号系统及其他配套专业进行改造的目的、方式及过程。对信号系统可采用的 2 种改造方式(升级改造、整体更新改造)进行比选分析, 整体更新改造方式与升级改造方式相比更具优越性。通过对传统车场进行 ATC 改造, 列车单线出场正向最小行车间隔由原来的 3 min 压缩至 2 min, 车场出库能力得以明显提升。

关键词 城市轨道交通; 停车场改造; 列车出库能力; 列车自动控制; 基于通信的列车控制

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.024

Analysis and Research on Depot ATC Transformation Based on Improvement of Outbound Capacity of Shanghai Urban Rail Transit

WANG Lianfeng

Abstract The necessity and feasibility of ATC (automatic train control) transformation in the depot based on computer interlocking under the demand of improving the outbound capacity of the depot are briefly described. The overall scheme of ATC transformation for non ATC depot based on traditional computer interlocking is put forward, and the purpose, mode and process of transformation for signaling system and other associated majors are expounded in detail. The two transformation modes (upgrading transformation and overall renewal transformation) that can be adopted for the signaling system are compared and analyzed. The overall renewal transformation mode has more advantages than the upgrading transformation mode. Through the ATC transformation of the conventional depot, the forward minimum running interval of the train leaving single track is reduced from originally 3 minutes to 2 minutes, and the outbound capacity of the depot is significantly improved.

Key words urban rail transit; reconstruction of depot; depot

exit capacity; ATC; CBTC

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

早期正线采用 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统的城市轨道交通线路, 主要通过设置单一的计算机联锁设备实现车场的信号控制功能, 由车场信号楼值班员根据行车计划人工排列出库进路, 列车司机人工确认轨旁信号以 RMF(限制人工向前)模式手动驾驶列车出库。由于在传统的计算机联锁控制下列车的发车间隔较长, 且存在大量行车安全限制条件需依靠人工予以确认, 导致车场出库能力(单位时间内从车场发出、投入正线运行的列车数量)普遍偏低, 难以满足正线高峰时段高密度行车的需求^[1]。

为提升车场出库能力, 可采用的方式是将原基于传统计算机联锁的非 ATC(列车自动控制)车场(以下简称“传统车场”)改造为基于 CBTC 的 ATC 车场(以下简称“ATC 车场”), 进而提高列车出库作业的自动化程度、扩展 CBTC 的控制区域, 达到车场与正线信号系统的融合与统一。ATC 车场模式下可实现由 ATS(列车自动监控)自动排列出库进路, 列车采用受控模式, 即以 ATO(列车自动运行)模式或 ATPM(信号防护下的手动驾驶)模式, 依据移动闭塞原理连续追踪出库, 从而压缩了列车出库间隔, 优化了出库效率^[2]。本文从信号及配套专业 2 个方面对传统车场 ATC 改造的基本方案进行总结。

1 传统车场 ATC 改造的总体思路

对传统车场进行 ATC 改造, 其核心工作是对原来仅设有计算机联锁的车场信号系统进行升级或整体更新, 使之达到与正线信号制式统一的 CBTC

信号系统工作要求,最终满足 ATC 车场的功能需求。当车场 ATC 信号设备发生故障、列车无法以受控模式运行时,ATC 车场将降级为传统车场,由计算机联锁承担车场的信号控制功能,列车凭轨旁信号以 RMF 模式运行。

此外,在传统车场的建设阶段,相关线路、轨道等专业的建设标准一般均未考虑可能的 ATC 改造,因此在股道尽头线长度设置、轨道电路绝缘节划分、司机登乘平台设计、轨行区封闭化管理等环节可能不能满足 ATC 车场所需的相关技术条件,需对这些专业设施设备一并进行改造。

2 传统车场 ATC 的信号改造

信号改造是车场 ATC 改造的主要内容,具体可细分为信号控制设备改造和其他相关配套的信号设备改造 2 方面。若传统车场整体信号系统尚未达到大修年限,为节省投资、避免不必要的浪费,车场 ATC 的信号改造原则为:除 ATC 改造涉及的信号设备外,其余室内外的设备一般在改造后继续使用。

2.1 信号控制设备改造

信号控制设备改造主要指将原传统车场使用的计算机联锁设备改造为与正线 CBTC 信号系统统一的 ATC 车场信号设备,这是将传统车场改造为 ATC 车场的关键。根据工程建设实际,信号控制设备改造可分为升级改造和整体更新改造 2 种方式。

2.1.1 升级改造方式

信号控制设备的升级改造方式是指在原有计算机联锁的基础上叠加与正线信号系统制式统一的 ZC(区域控制器)设备,以构成 CBTC 信号系统,由新增的 ZC 向车场内运行的列车提供 LMA(移动授权限制)。升级改造方式基本保留了原计算机联锁系统以及室内电源屏、组合柜、分线柜、接口柜及相关配线,但需增加原计算机联锁与 ZC 的通信功能,计算机联锁可向 ZC 提供进路状态、轨旁设备状态等控制信息。同时还需增加计算机联锁采集/驱动点位,用以控制新增的 SPKS(人员防护开关)、列车信号机等信号设备。此外,计算机联锁、ZC 等设备需接入全线 DCS(数据通信子系统)骨干网中,实现车场与正线的信号贯通控制。

升级改造方式新增设备较少、投资较小、施工安装难度较低,但对原计算机联锁的外部通信安全性、扩展性、稳定性等技术条件有一定要求。传统车场经过多年使用后,原计算机联锁的剩余使用寿命

可能难以满足车场 ATC 改造后的使用年限要求,且由于信号硬件设备的制约条件过多,因而,升级改造方式在车场 ATC 改造中应用较少。

2.1.2 整体更新改造方式

信号控制设备的整体更新改造方式是指不再使用原计算机联锁以及电源屏、组合柜、分线柜、接口柜及相关配线,而是重新设置与正线信号系统制式统一的 CBTC 信号系统,包括新设 ZC、DCS 交换机、计算机联锁及电源屏、组合柜、分线柜、接口柜和相关配线等设备,以实现 ATC 车场功能,并与正线 CBTC 信号系统相贯通。

整体改造方式的工作量与新建同等规模车场信号系统的工作量相当,新增设备众多、投资较大、施工安装工作量比较大、周期较长。

2.1.3 升级改造和整体更新改造的比较

由于在车场 ATC 改造期间仍需保证日常行车工作不受影响,因而有效施工时间受到限制,且在 ATC 功能开通时需采取整体系统倒接的方式,以确保车场能在短时间内完成新旧设备换装后立即投入运行。与升级改造方式相比,整理更新改造方式的改造难度与风险均较大。但是,整体更新改造方式不受老旧设备原有技术条件的制约,新设的 CBTC 系统能最大限度地以最佳性能改善车场出库能力,与升级改造方式相比更具优越性。该方式在传统车场 ATC 改造中得到了广泛的应用。尤其在传统车场原计算机联锁设备已运营多年、已接近或达到大修年限时,更宜采用整体更新改造方式,以便在实现车场 ATC 改造的同时直接替换老旧信号设备。

信号系统采用整体更新改造方式的情况下,若车场 ATC 的新系统具备联锁功能,且能够满足车场正常行车需求,则可以考虑在改造中先行启用联锁功能,以尽早代替原老旧系统,提升系统稳定性,同时为后续实现车场 ATC 功能创造条件。

2.2 信号配套设备改造

ATC 车场根据作业需求划分为 ATC 区域和非 ATC 区域。一般将车场的停车列检库、运用库、咽喉区、转换轨及牵出线等区域作为 ATC 区域,将车场其余区域作为非 ATC 区域。在 ATC 区域中,列车可以按 CBTC 方式以受控模式自动运行;在非 ATC 区域中,列车仍需按照传统车场的要求以 RMF 模式运行。

在车场 ATC 改造时,无论是采用升级改造方式

还是采用整体更新方式,均应考虑在 ATC 区域内无线信号覆盖、列车信号机设置、列车运行定位、股道休眠/唤醒等方面的实际需求,以满足列车在 ATC 区域的运行要求,并参照正线信号系统建设标准对传统车场的配套信号设备进行改造。

传统车场一般不进行信号无线覆盖,或仅覆盖有限的区域,以使 ATS 能显示库内列车车载信号设备通信状态或报警信息。为确保车场 ATC 改造后列车在 ATC 区域能与 ZC 建立安全、可靠的双向通信,需在车场内加装足够数量的无线 AP(接入点),对 ATC 区域及边界覆盖无线信号。正线上根据线路情况会选用波导管、漏泄电缆、自由无线中的 1 种或多种方式作为通信媒介,但由于车场线路具有占地面积较大、主要呈块状分布的特点,一般仅采用自由无线方式作为通信媒介,以确保 ATC 区域能被无线信号全面覆盖。

ATC 车场中以受控模式运行的列车需由列车信号机防护。由于防护接发以受控模式运行列车的信号机必须是列车信号机,对于有接发以受控模式运行列车需求的停车股道,需将原设置的调车信号机改造为列车兼调车信号机,以满足 ATC 车场的行车作业需求。此外,对于建设规模较大的车场,由股道直接触发至转换轨的出场列车进路可能存在着占用线路过长、锁闭道岔过多、进而导致影响其他列车平行出场作业的情况。因此,需在恰当位置新设列车信号机,或将原调车信号机改为列车兼调车信号机,将原来 1 次完整触发的长列车进路分割为若干个列车间隔信号机间的短进路,并采用分段触发的方式,以增加车场平行出库能力,实现列车在 ATC 车场采用队列方式以受控模式追踪出场,进一步提升车场的出库能力。

在 CBTC 系统下列车的正常运行需要依靠信标进行定位,因此需在车场内按规定要求布置一定数量的无源信标,以满足列车的定位需求。同时,为确保列车车载设备在特定位置重新上电后能立即具有定位功能,且以受控模式发车,在停车股道等处需设置安装特殊的无源信标作为休眠/唤醒信标。以采用头尾双端(即 I 位端、II 位端)信号车载设备布置为例,其信标设置如图 1 所示。当列车在收车或检修作业等车辆不移动的情况下,若车载设备失电,重新上电启动时车载设备能够立即读取停车点下方的休眠/唤醒信标。在比对预先存储的信标信息、得到信息一致的结论后,即可安全建立列

车定位信息,具备以受控模式动车的条件。此外,在 ATC 与非 ATC 交接区域应布置初始化定位信标,供列车从非 ATC 区域进入 ATC 区域时能及时建立列车定位报告,进而在收到移动授权后列车转为以受控模式运行。

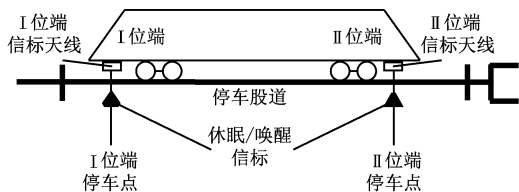


图 1 车场停车股道内休眠/唤醒信标设置示意图

Fig. 1 Setting diagram of sleep/wake beacon in parking track of parking lot

在改造过程中,还需对有接发受控模式列车需求但未安装列车位置检测设备的股道加装轨道电路或计轴设备,对列车车载设备的硬件或软件进行升级改造,使其在车场内特定位置具备休眠/唤醒等功能。

3 传统车场 ATC 的相关配套专业改造

相关配套专业改造也是车场 ATC 改造中必不可少的工作。由于传统车场在建设时土建、线路、安防等专业设计大多未考虑到 ATC 车场行车组织、维护检修、人员防护等方面的特殊要求,因此在进行车场 ATC 改造时需对相关配套专业的设施设备一并进行改造。

3.1 加装物理隔离装置

由于在 ATC 区域内列车能够以 ATO 模式自动驾驶,依靠司机瞭望难以确保行车安全,因此需将 ATC 区域与非 ATC 区域分隔,并在 ATC 区域加装物理隔离设备,使之按照封闭化的要求进行管理。

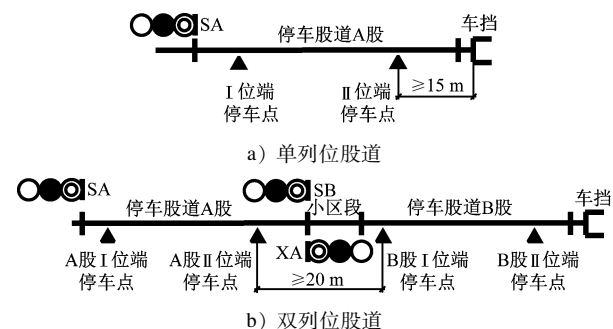
为确保正常检修时段内 ATC 区域内作业人员安全,保证一定的作业检修效率,需将 ATC 区域划分为若干个检修防护分区,每个分区通过物理隔离装置分隔。各分区的出入口需设置门禁系统,以防止无关人员进入。每个分区内设置 1 个 SPKS, SPKS 可置于正常或检修 2 种状态,并由信号系统负责采集 SPKS 状态信息。当对某 1 个分区内的列车或设备进行检修时,需将对应分区的 SPKS 从正常位调至检修位,此时由信号系统控制该分区内的所有列车,列车信号不能开放,不允许列车以受控模式动车。需要说明的是,在传统车场的 ATC 改造过程中,检修防护分区的划分及加装物理隔离装置

的方案需综合考虑场内既有的股道间距、车库主跨立柱位置、乘务人员走行通道设计等诸多因素,按同一分区内包含尽可能少的股道数量为目标进行统筹设计。

3.2 延长停车股道长度

在 ATC 区域的停车列检库及运用库设置若干用于停放列车的停车股道。在线路条件和停车位置不变的情况下,在进行车场 ATC 改造时,必须考虑在最不利情况下列车以 ATO 模式或司机以 ATPM 模式越过规定的停车点后,是否有足够的紧急制动距离,保证列车不会碰撞到线路尽头的车挡或另一端停放的列车。

根据相关标准,单列位或尽头式停车股道的停车点距车挡距离应不小于 15 m,如图 2 a) 所示。双列位停车股道 A 股停车点距 B 股停车点距离应不小于远期最大车长加 20 m;同时根据不同信号系统的安全需求,A 股停车轨道区段与 B 股停车轨道区段间宜增加 1 段独立的小轨道区段,作为 A 股停车对位时的保护区段,如图 2 b) 所示。



注:SA——出 A 股信号机;SB——出 B 股信号机;XA——进 B 股信号机。

图 2 股道安全防护距离设置要求

Fig. 2 Requirements for setting safety protection distance of track

当既有线路设置不满足上述标准时,应进行延长改造以满足相关制动距离标准。不满足延长条件的,可以采取列车入场时以 ATO 模式自动在库前停车,由司机转为 RMF 模式手动控制列车在股道停车点停准的方案,避免原股道长度无法满足列车以 ATO 或 ATPM 对位时所需的安全距离不足的限制^[3]。

3.3 调整侵限绝缘设置

在传统车场中,办理经由侵限绝缘一侧道岔区段的进路时,需检查相邻轨道区段是否空闲。改造为 ATC 车场后,为确保列车在 CBTC 控制下的运行

安全,当侵限绝缘一侧道岔区段的相邻轨道区段处于占用状态时,位于该道岔区段内的道岔将被锁闭,无法扳动。

与传统车场的出场进路一次性排列至转换轨的方式不同,为提高出库效率,ATC 车场的出场进路自停车股道至总出发信号机间采用 2 个相邻间隔信号机之间分段排列的方式。由于行车密度较大,易导致列车因间隔条件不满足而迫停在信号机前。若信号机处所设置绝缘为侵限、且前方道岔恰处于相反位置,由于道岔被锁无法动作,致使后续无法排通列车进路,场内正常的行车秩序由此受到影响。

当原绝缘节设置因影响行车效率需要移动时,在满足轨道专业对绝缘设置基本要求的情况下,可采用配轨或锯轨的方式,将绝缘节向远离尖轨方向移动,以满足车场 ATC 的设计需求,避免因相邻区段占用而导致道岔锁闭的情况。

4 结语

上海最早一批采用 CBTC 信号系统的城市轨道交通线路,迄今均已运营超过 10 年。为应对客流快速增长,这些线路一般会通过增购列车、压缩行车间隔等方式以缓解运能压力。随着列车配属数的增加,夜间车辆的检修耗时随之增加;而高峰时段运用列车数的增加又使得早高峰时段列车密集出库用时进一步延长。在时间资源有限的前提下,这两者互为影响、互为制约,已成为城市轨道交通线路增加运能的一大瓶颈。

为缓解来自运营组织与维护保障两方面的巨大压力,上海已在多条城市轨道交通线路所属的车场实施了车场出库能力改造工程。通过对传统车场进行 ATC 改造,列车单线出场正向最小行车间隔由原来的 3 min 压缩至 2 min,减少了整体图定运用列车出库耗时,达到高峰时段短时间内快速提升正线运能的目标。同时,改造后的车场在保证运能的基础上适当延迟了列车密集出库的时间,从而增加了列车夜间检修作业宝贵的时间资源。此外,在车场 ATC 改造后,还可降低列车司机、信号楼值班员等车场内行车相关作业人员的劳动强度,进一步提升了车场行车工作安全性与可靠性。

参考文献

- [1] 汪小勇.城市轨道交通自动化车辆段和停车场的关键功能分析[J].铁道通信信号,2016(2):53. (下转第 111 页)