

基于隔日回库运营模式的城市轨道交通 信号系统功能优化

柴 娟

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海)

摘 要 [目的]在隔日回库运营模式下,列车会正线过夜或日夜不间断运行,既有城市轨道交通信号系统相关功能已无法满足要求,需要进行优化。[方法]从信号系统的功能优化需求分析出发,详细阐述了车载列车自动控制子系统、轨旁列车自动控制子系统、列车自动监控子系统,以及信号设备自检监测业务等功能优化的场景需求及优化内容。[结果及结论]针对隔日回库运营模式,在车载列车自动控制子系统中增加了列车位置记忆功能,使正线过夜列车上电后能直接以信号系统受控模式投入运营;通过调整缓冲区设置来优化收敛在正线过夜的非通信列车防护包络,以避免影响其他正线列车的运行;优化后的列车自动监控子系统,既要能支持在线更换时刻表后列车计划的自动匹配,又要能支持跨日运行图。信号设备自检监测业务的功能优化,尽量延长了信号系统设备自检或重启的周期,能满足长时间不间断连续运行的需求。一系列信号系统的功能优化提升了信号系统的可用性,改善了服务水平。

关键词 城市轨道交通; 信号系统; 隔日回库运营; 正线存车; 功能优化

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.11.003

Optimization of Urban Rail Transit Signaling System Functions Based on Alternate Day Depot Return Operation Mode

CHAI Juan

(Telecom & Signal Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China)

Abstract [Objective] In the alternate day depot return operation mode, trains either stay overnight on the mainline or run continuously day and night. The relevant functions of existing urban rail transit signaling system can no longer meet the requirements, therefore needing an optimization. [Method] Starting with an analysis of the functional optimization needs of signaling system, the optimization scenarios and contents for the on-board ATC (automatic train control) subsystem, the trackside ATC subsystem, the ATS (automatic train supervision) subsystem, and the signaling equipment self-inspection/

monitoring are elaborated in detail. [Result & Conclusion] For the alternate day depot return operation mode, the on-board ATC subsystem is enhanced with train position memory function, allowing overnight trains on the mainline to start directly upon powered on in the controlled mode of signaling system. By adjusting buffer zone settings, the convergence protection envelope is optimized for non-communication trains staying overnight on the mainline, to avoid impacting the operation of other mainline trains. The optimized ATS subsystem supports both the automatic schedule matching after online timetable changes and the cross-day operation schedules. The functional optimization of signaling equipment self-inspection work enables the extension of signaling system equipment self-inspection or reboot cycle, meeting the requirements for long-term continuous operation. The series of signaling system functional optimizations enhance the availability of signaling systems and improve the service levels.

Key words urban rail transit; signaling system; alternate day depot return operation; stabling on mainline; functional optimization

目前,城市轨道交通线路采用传统的每日回库运营模式:所有列车完成当日正线运营任务后安排回库,次日再由库发至正线投入新一天的运营。在此模式下,运营列车在终端站清客后或开始载客前均为无载客运行,浪费了部分运能。此外,为提高运营服务质量,部分城市在特殊时期还会要求线路全天 24 h 不间断运营。可见,列车每日回库运营模式既不满足节能降耗要求,也不满足连续运行的需求,亟须向隔日回库运营模式转变。

在隔日回库运营模式下,列车完成每日的运营任务后不再回库,或是运行至邻近的存车线、折返线或正线,以断电方式停放,或是在正线夜间连续运行,直至出现需要列车回库完成的计划检修(相邻两次计划修间隔一般为 48 h 及以上)或故障后临时检修,方会回库。

从增加正线施工资源的角度来看,隔日回库模式能减少列车的回库数量,缩短运营结束后的列车收车作业时间,使正线夜间施工起始时间提前,提升线路夜间施工效率^[1]。

为了满足隔日回库运营模式的运营需求,行车计划编制及车辆维护检修等工作要求更高,其信号系统相关功能也需要进行优化。

1 信号系统的功能优化需求

隔日回库运营模式下,信号系统的功能优化需求主要体现在以下几个方面:

1) 需增加列车位置记忆功能。当车载信号系统重新上电时,该功能可确保列车位置信息的不丢失。这是列车建立信号系统受控模式(包含 FAM(全自动运行模式)、DTO(有人值守的列车自动运行)模式、ATO(列车自动运行)模式及 ATP(列车自动防护)模式)的充分必要条件,既能保障运营安全,又能提升运营效率。

2) 需收敛非通信列车的防护包络。当列车完成运营任务后,进入设置于正线侧股区域的存车线,断电后存放在存车线,此时列车为非通信列车。一般线路由司机操作列车断电,全自动运行线路由列车运行控制系统远程控制列车休眠。非通信列车须限制其防护包络,使其不影响其他列车正常进站及折返。

3) 需增设行车计划结束点。当正线过夜列车完成运营任务清客关门后,信号系统根据行车计划自动排列至存车点(存车线或折返线)的进路;列车以信号系统受控模式运行至存车点,清空运营任务,即达到行车计划结束点。次日,根据计划发车点,一般线路由司机上电启动列车,全自动线路由列车运行控制系统远程控制列车唤醒;之后,由信号系统分配计划运行班次,列车以信号系统受控模式运行至载客点,投入正常运营。

4) 需延长计划行车时间。对于特定日的日夜不间断运营场景,信号系统须根据夜间行车计划连续不间断地控制列车运行,并与次日的日常行车计划无缝衔接。

2 信号系统功能的优化

针对隔日回库运营模式下的信号系统功能优化需求,对信号系统的车载 ATC(列车运行控制)、轨旁 ATC、ATS(列车自动监控)等子系统,以及信

号设备运营维护业务进行功能优化。目前 PIS(乘客信息系统)与 PA(乘客广播)系统已融合为 PIS/PA 系统,还需要优化 ATS 子系统与 PIS/PA 系统接口的内容。

2.1 车载 ATC 子系统的功能优化

在车载 ATC 子系统功能优化前,司机在正线完成断电收车作业后,车载信号系统处于失电状态,会丢失列车当前位置信息。次日发车前,列车上电启动后,车载信号系统完成初始化,却无法确定列车位置。当前方防护信号开放后,列车必须先将运行模式切换至 RMF(人工限速向前)模式,根据轨旁信号指示由司机驾驶向前运行一段距离;待连续读到 2 个有效信标后,方可建立列车定位并升级为信号系统受控模式。

为使正线过夜列车上电后能直接以信号系统受控模式投入运营,在车载 ATC 子系统中增加了列车位置记忆功能,从而实现了其功能的优化。

如图 1 所示,在夜间存车区域,增设记忆定位信标。当列车运行至预先定义的过夜点规定位置停准时,列车通过车载信标天线读取并记录记忆定位信标的位置信息。车载 ATC 子系统功能优化后,该信息不会随着车载信号系统设备的断电而丢失。

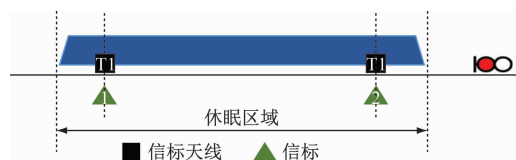


图 1 记忆定位信标布置示意图

Fig. 1 Layout diagram of memory positioning beacons

次日列车上电启动后,车载信标天线再次读取记忆定位信标的位置信息,并与失电前的记忆定位信标位置信息相比较,进行位置校验。若二者一致,则车载 ATC 子系统判断:列车在夜间存车时位置未发生移动,且列车位置信息安全有效;列车能直接切换至信号系统受控模式。若二者不一致,则列车位置信息无效,仍需要通过连续读到 2 个有效信标来实现列车定位^[2]。

2.2 轨旁 ATC 子系统的功能优化

在 CBTC(基于通信的列车控制)模式下,信号系统轨旁 ATC 设备通过通信列车的位置报告来确定通信列车的实际位置,并通过计轴及轨道电路等轨旁次级定位检测设备报告的轨道区段占用或出清情况来确定非通信列车的实际位置。列车的移

动授权范围均由轨旁控制器进行统一计算,轨旁 ATC 子系统会根据次级定位检测设备的计算结果给非通信列车建立防护包络。为防止非通信列车的非预期的移动,轨旁 ATC 子系统会在非通信列车的前后都建立缓冲区。此缓冲区被定义为通信列车移动授权的障碍物,能使通信列车以可靠的安全间隔与非通信列车混合运行。

然而,对于在正线存车线过夜的非通信列车,如果非通信列车的防护包络范围或缓冲区延伸至正线岔区,即使满足联锁条件,防护信号正常开放,正线列车的移动授权也无法穿越受影响的岔区。此时,正线列车将在岔区前方停车,须降级为 RMF 模式方可继续运行,从而影响了正线的正常运营。

为了确保存放于正线存车线并断电后的非通信列车不影响其他运营列车,信号系统要针对不同站型的存车线,对非通信列车的防护包络进行优化收敛,以确保在安全的前提下非通信列车的防护包络不会影响正线列车的运行。

对此,本研究以某站前设置交叉渡线的终端折返站(A站)为例,对存放于正线存车线并断电后的非通信列车(T2车)防护包络优化前后的正线运行列车(T1车)通过情况进行分析。

2.2.1 T2 车防护包络优化前

T2 车防护包络优化前的 T1 车移动授权情况示意图如图 2 所示。当 T2 车以下行站台 XZG 轨作为正线过夜点存放时,其 T2 车包络覆盖整个 XZG 轨,并沿下行线出站方向产生缓冲区,当道岔 1 位/3 位于反位时,受道岔位置影响,缓冲区截止于轨道区段 GC1-7 与 XJG 轨的边界处,即 X1 信号机处。在排列下行正线接近 XJG 轨至上行正线站台 SZG 轨的进站进路时,联锁子系统先检查道岔位置等相关条件,确认满足要求后,控制始端 X1 信号机点亮月白灯,显示允许信号;但受缓冲区的影响,轨旁 ATC 子系统计算的 T1 车移动授权无法越过 X1,导

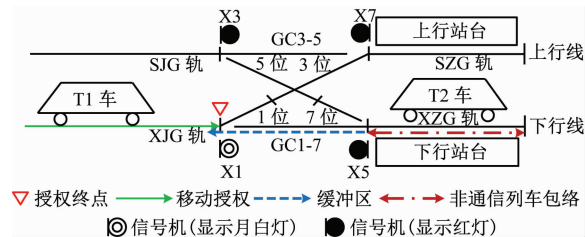


图 2 T2 车防护包络优化前的 T1 车移动授权情况示意图
Fig. 2 Diagram of T1 vehicle mobile authorization before T2 vehicle protective envelope optimization

致 T1 车无法以受控模式进站;在此场景下, T1 车只能切换 RMF 模式后,根据 X1 信号机显示的允许信号以较低的限速进站。可见,此时非通信列车包络降低了列车在终端站的折返效率,对正常运营产生了影响。

2.2.2 优化后的 T2 车包络

为避免对 T1 车移动授权的影响,需要对 T2 车的防护包络进行优化。具体做法为:在轨旁 ATC 子系统配置中对 T2 车的缓冲区设置进行优化,使其在下行线的出站方向不再生成缓冲区。T2 车防护包络优化后的 T1 车移动授权情况示意图如图 3 所示。由图 3 可见,T2 车的防护包络优化后,当 T2 车在下行站台 XZG 轨过夜存放时,轨旁 ATC 子系统为 T1 车计算的移动授权范围能正常延伸至上行站台 SZG 轨末端,使 T1 能够以受控模式完成折返作业。优化后,缓冲区只有在占用 GC1-7 区段时才会延伸,这样既保证了安全,又满足了过夜列车的需求。

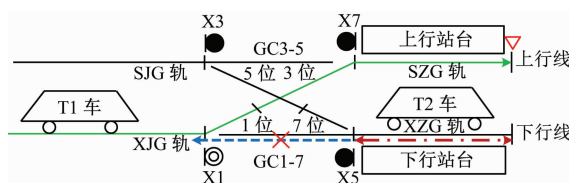


图 3 T2 车防护包络优化后的 T1 车移动授权情况示意图
Fig. 3 Diagram of T1 vehicle mobile authorization after T2 vehicle protective envelope optimization

缓冲区的设置优化可通过对存放过夜列车的存车线信号防护逻辑进行特殊处理来实现。对于拟作为过夜点的存车线,轨旁 ATC 子系统若判断其对应轨道区段被非通信列车占用,则将其产生的缓冲区收敛于存车线的防护信号机处或计轴器处,不再延伸至岔区,同时向运营方输出安全限制,要求其采取措施以确保 T2 车不因非预期的移动而进入防护信号机内方。

2.3 ATS 子系统的功能优化

对于正线夜间存车场景,列车运营的起点和终点可能为具备夜间存车条件的存车线。ATS 系统应能支持相关正线存车线作为日运营计划编制的起始点和终到点,并能根据应用的运营计划在过夜点自动匹配或复位班次。

目前,ATS 运行图应用周期原则上按每日 24 h 设计。当日运行图激活应用超过 24 h 后,其后续信息失效,次日的运行图将自动激活并开始应用。对

于在隔日回库运营模式中正线连续运营的场景,运营部门可通过铺画跨日运行图或通宵专项运行图的形式来编制行车计划。

可见,功能优化后的 ATS 子系统,既要能支持在线更换时刻表后列车计划的自动匹配,又要能支持跨日运行图。

2.3.1 支持在线更换时刻表后列车计划的自动匹配

在日常运营中,一旦因通宵运营或管控等需要大规模改变运行计划,若仅仅依靠调度员人工调整计划,则会导致运营组织混乱。因此,ATS 子系统须确保在运营期间不间断运行的条件下,能实现平滑切换时刻表并重新自动匹配列车新车次号。

目前的信号系统均支持在线更换时刻表的功能,但不同供应商的做法存在差异:有些信号系统支持列车以原有的交路继续运行;有些信号系统支持列车在一个集中站控制区域里继续运行,但运行期间的列车车次号均需人工重新匹配。

对此,优化后的 ATS 子系统应具有自动匹配新车次号的功能。首先,更换新时刻表时,列车总数量必须要与正线在线运营数量保持一致;其次,ATS 子系统要根据列车方向及列车当前位置等,就近匹配新时刻表,并在匹配后由人工一键确认。

2.3.2 支持跨日运行图

在特定的夜间连续运行时,若采用跨日运行图,其部分列车的运行计划将超过 24 h。这就需要在 ATS 子系统设置中,将当前的运行图应用周期选项从单一 24 h 选项调整为 24 h 与 48 h 可选项,或预留更多的模式以匹配跨日运行图相应的行车计划。

无论是支持列车计划可自动匹配在线更换的时刻表,还是支持跨日运行图,都能满足连续 24 h 运营的需求,但从未来发展来看,两种方式有着不同的场景需求,可根据实际运营需求来优化信号系统的处理方式。

2.4 信号设备自检监测业务的功能优化

隔日回库运营模式不仅对信号系统的冗余度和可靠性提出了更高要求,还对信号系统自检机制、设备状态监测与预警、故障设备诊断维修模式等方面提出了改进优化的要求,以进一步提升信号系统的可维护性。

目前,为在连续运行情况下确保信号系统的设

备状态健康可靠,部分信号设备需定期进行自检或自动重启。自检或自动重启一般设置在每日的夜间停运时段进行。当需要在特定日进行正线连续运行时,若某设备自检周期或重启周期设置为 48 h 以下,则该设备很可能在运营期间自检或者重启,需要长时间停车等待或进行设备初始化,会影响线路的正常运营。为规避此类问题,需要在硬件选型、软件设计及运行机制等方面进行优化,尽量延长信号系统设备自检或重启的周期,以满足长时间不间断连续运行的需求。

2.5 优化 ATS 子系统与 PIS/PA 系统接口内容

对于隔日回库列车,包含跨日连续运营的列车,车站 PIS 不再显示首末班车运行计划。对应 ATS 子系统与 PIS/PA 系统接口要增加相关的定义,以区隔日回库列车与每日回库列车的首末班车运行计划显示。

3 结语

为满足人民群众日益增长的出行需求,城市轨道交通运营模式开始向灵活多样的方向转变,正线过夜、通宵运营、跨线运行及大站运行等新型运营模式层出不穷。为更好适应不同场景不同条件下各类运营模式的需求,信号系统要立足于运营需求,来不断丰富优化功能,从列车运行控制系统的角色逐步向高质量运营服务基础系统的角色转变。

参考文献

- [1] 陈春娇,王婵婵.上海城市轨道交通夜间延时运营需求及精细化管理对策研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(3):6. CHEN Chunjiao, WANG Chanchan. Research on demand and refined management strategies of Shanghai urban rail transit extended late-night operation[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(3): 6.
- [2] 张九高.城市轨道交通全自动运行列车唤醒场景动态测试需求探讨[J].城市轨道交通研究,2023,26(2):42. ZHANG Jiugao. Dynamic test requirements in urban rail transit FAO train wake-up scenario[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 42.

· 收稿日期:2024-03-18 修回日期:2024-05-10 出版日期:2024-11-10
Received:2024-03-18 Revised:2024-05-10 Published:2024-11-10
· 通信作者:柴娟,高级工程师,63895780@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license