

上海轨道交通2号线龙阳路停车场CBTC改造后的运营能力分析

张成国 玉 钰 施 韧 吕丰武

(卡斯柯信号有限公司, 200071, 上海//第一作者, 工程师)

摘 要 为解决上海轨道交通2号线列车高峰期满载及超负荷运行问题,需要在龙阳路停车场将列车插入正线投入运行。目前龙阳路停车场并未采用CBTC(基于通信的列车控制)模式,存在着插车效率低、出库间隔长等缺点,不能满足运营的需求。基于既有的土建条件、车辆参数和轨旁布置,结合卡斯柯信号系统,仿真分析了龙阳路停车场在CBTC改造后的运营能力。分析结果表明,改造后龙阳路停车场出入场线及插入正线的运营能力显著提高。

关键词 城市轨道交通; 信号改造; CBTC; 停车场; 运营能力; 仿真分析

中图分类号 U292.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.038

Operational Capacity Analysis of Longyanglu Depot on Shanghai Rail Transit Line 2 after CBTC Retrofit

ZHANG Chengguo, YU Yu, SHI Ren, LYU Fengwu

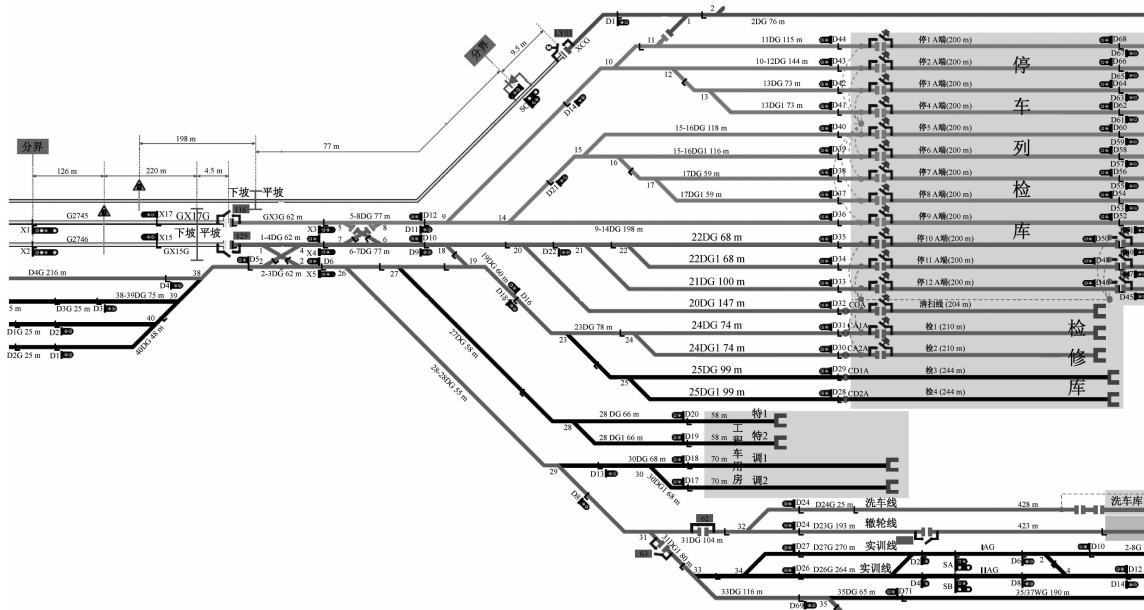
Abstract In order to solve the problem of full loading and overloaded operation of Shanghai Metro Line 2 during the peak period, trains need to be inserted from Longyanglu Depot into the main line. But the depot has not adopted communication based train control (CBTC) mode and can not meet the operational requirements due to the disadvantages of low insertion efficiency and big outbound headway. Based on the existing engineering conditions, vehicle parameters, and track side layout, and combined with CASCO signal system, the operational capacity of Longyanglu Depot after CBTC retrofit is simulated. The analysis result shows that the operational capability of the depot is significantly improved in terms of the entrance/exit lines and the mainline insertion.

Key words urban rail transit; signal transformation; CBTC; depot; operational capacity; simulation analysis

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

上海轨道交通2号线客流逐年增长,早晚高峰时段该线下行方向世纪大道站—东昌路站区段的列车满载率较高,极端情况下甚至超过了运能供给。未来18号线开通后,龙阳路站将是4线换乘站,预计2号线的客流还会增加,高峰时段的运营压力巨大。由于2号线采用安萨尔多基于轨道电路的准移动闭塞信号系统,缺少新线常规配置的出场列车按调车方式队列出库的功能,其出库能力远达不到上海申通地铁集团制定的《轨道交通车辆基地信号技术规定》中出库能力小于等于3 min的要求。通过模拟器采用人工干预后续扣车的方式,模拟了从不同的位置插车对正线列车的影响,其结果为:①从龙阳路停车场至出入段线转换轨向正线插车,可满足的最小发车间隔为4 min 30 s;②从龙阳路站存车线向正线插车,可满足的最小发车间隔约为3 min 40 s。可见,存车线插车对运营的影响较小,从出入段线或龙阳路停车场库发列车插车对正线运营的影响较大,因而,从龙阳路停车场往正线插车是提高2号线运能的关键。

在2号线正线线路进行CBTC(基于通信的列车控制)轨旁改造的同时,龙阳路停车场也将计划进行CBTC的改造。改造后龙阳路停车场可具备列车自动出入库功能,并具备ATP/ATO(列车自动防护/列车自动运行)的功能。借助MATLAB仿真软件,本文对改造后龙阳路停车场的运营能力进行分析,其中:仿真所需的线路数据、车辆性能、轨旁数据等沿用了既有线路配置,其他仿真数据则采用卡斯柯信号系统予以配置。根据列车的运行区域将从龙阳路停车场内列车发车插入正线的连续作业分解为三部分:停车场内出入库(见图1)、转换轨作业、出场插车作业。



1 停车场内出入库作业能力

通过判定由道岔前的绝缘节和道岔后的绝缘节共同构成的轨道区段的出清占用条件来扳动道岔、排列进路。CBTC 停车场信号机常态灭灯时,出入库作业中前后两车按时间先后发车,分别实施入库(出库)作业,进入不同的轨道并存车(出车)。依据股道的不同而所需出清的条件并会相应变化,以图 1 中的停 1A 端为例说明:当前车进入停 1A 端列检库存车、后车进入停 2A 端列检库存车时,后车需等待前车完全出清 10[#]道岔前面的绝缘节(D14 处),且 10[#]道岔由反位转至定位后,后车才能到达 10[#]道岔前面的绝缘节;当前车进入停 1A 端列检库存车,后车进入停 5A 端列检库存车时,后车需等待前车完全出清 9[#]道岔所对应的轨道电路区段(D11-D14),且 9[#]道岔由反位转至定位后,后车才能到达 9[#]道岔前面的绝缘节。

根据图 1 中不同的道岔以及前后车停放不同轨道的各种组合情况,所对应的出入库能力如表 1 所示。

由表 1 可知,龙阳路停车场的出入库能力随着道岔前后的绝缘节布置不同而变化,前后绝缘节构成的轨道区段越长则出清时间越长,追踪间隔越大。一般轨旁布置所对应的最小追踪间隔在 110 s 左右。

道岔	前车驶入存车轨道	后车驶入存车轨道	追踪间隔/s
9 [#]	停 1、2、3、4、5、6、7、8A	停 9A	123
10 [#]	停 1A	停 3A、停 4A	100
12 [#]	停 2A	停 1、3A、4A	120
13 [#]	停 3A	停 4A	98
15 [#]	停 5A	停 6A、7A、8A	111
17 [#]	停 7A	停 8A	93
18 [#]	停 10、11、12A、清扫线	检 1、2、3、4	93
20 [#]	停 10、11、12A	清扫线	113
21 [#]	停 10A、停 11A	停 12A	106
22 [#]	停 10A	停 11A	93
23 [#]	检 1、检 2	检 3、检 4	91
24 [#]	检 1	检 2	95
25 [#]	检 3	检 4	102
26 [#]	检 1、2、3、4	洗车线、镗轮线、实训线	100
31 [#]	洗车线、镗轮线	实训线	111
32 [#]	洗车线	镗轮线	100
34 [#]	实训线	实训线	101

通过计算,龙阳路停车场 CBTC 转换轨能力和对应的运行时间如表 2 所示。可知,转换轨的追踪间隔在 106 s 左右,与 CBTC 模式下停车场出入库能力相匹配。

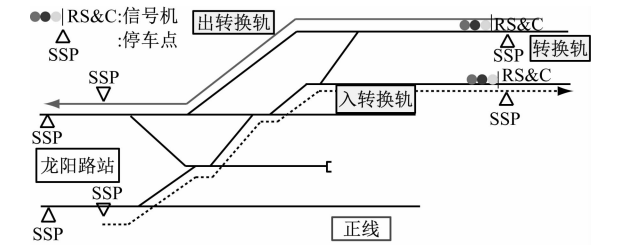


图2 龙阳路停车场转换作业示意图

表2 龙阳路停车场转换轨能力

转换轨追踪间隔能力	出库能力(转换轨至龙阳路站)/s	入库能力(龙阳路站至转换轨)/s
CBTC 追踪间隔	106.0	105.0
CBTC 运行时间	142.2	138.6

3 出场挂车能力分析

龙阳路停车场 CBTC 挂车能力即列车从停车场出库,插入到正线下行运行的列车中间。为了减少出库作业对正线作业的影响,本文进行以下仿真:在一列正线下行(张江高科站至龙阳路站)作业的列车之后,接排一列出库作业列车,再接排一列正线下行作业列车(即正线下行作业前后列车中间插入一列出库作业列车),并模拟前后五辆列车的作业,仿真对应的挂车能力。如图3所示:实线箭头表示X1917和X1915的常规挂车作业,虚线为在X1917处建议的挂车调整作业线路。

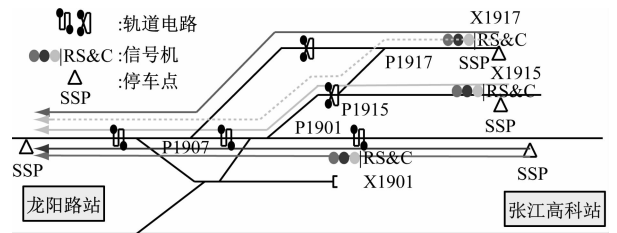


图3 挂车作业示意图

3.1 X1915处挂车作业

在CBTC模式下采用MATLAB仿真X1915处挂车,结果如表3所示。

表3 X1915处挂车能力

X1915 挂车	发车时刻	与后车间的追踪间隔/s
列车1(正线下行)	--0	92
列车2(X1915出场)	--92	92
列车3(正线下行)	--184	92
列车4(X1915出场)	--276	92
列车5(正线下行)	--368	92

插入正线的出场车与正线车以92s等间隔追踪,X1915出场作业的发车间隔为184s(见图4)。

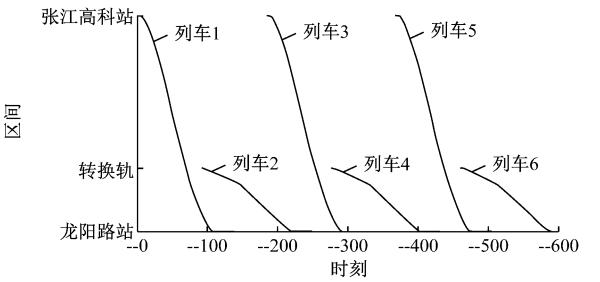


图4 X1915处挂车仿真间隔图

3.2 X1917处挂车作业

同样仿真X1917处挂车结果如表4所示。

表4 X1917处轨挂车能力

X1917 挂车	发车时刻	与后车间的追踪间隔/s
列车1(正线下行)	--0	90
列车2(X1917出场)	--90	135
列车3(正线下行)	--225	90
列车4(X1917出场)	--315	135
列车5(正线下行)	--450	90

由于正线与插入列车需要交替扳动道岔P1907定反位,联锁需要判断以信号机X1901为始端的正线进路出清条件来防护该近路内的道岔P1907,因而导致正线作业的防护区段较长,挂车作业后对应之后的正线作业出现了135s的追踪间隔。X1917处出库插入正线作业的间隔能力为225s(见图5)。

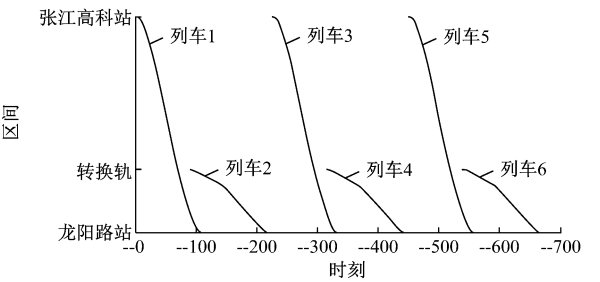


图5 X1917处挂车仿真间隔图

3.3 提高CBTC挂车能力的分析

以上计算可知,X1917处出库插入正线作业的能力(225s)明显低于X1915处出库插入作业的能力(184s)。通过分析可知,在进行龙阳路停车场插入正线作业时(挂车作业如图3中虚线线路所示),X1917处轨道走行道岔P1917-P1915之间的轨道,前后两辆出库列车行经轨道X1915处和X1917处,

(下转第165页)

4 TCMS 在 UTO 中的应用难点及研究方向

由于 UTO 列车具有完全无人驾驶的特性,可靠性和安全性是 UTO 最重要的指标,对于 TCMS 来说更是如此。UTO 运行模式下对 TCMS 的要求包括:在故障发生前要有预警机制,故障发生过程中要有自愈及指示性操作建议;在故障发生后要有数据库的积累和分析,用来指导故障再次发生的预警和判定。

由于 TCMS 作为车辆的运行大脑,也是对外接口(ATC 和 RADIO)的桥头堡,今后 TCMS 的研究方向如下几点:

1) 提高 TCMS 的内部故障自愈能力。可以通过增加硬件的冗余性和提升软件的裁决机制的稳定性,如在目前列车单端的 CCU 内部增加 CPU 数量,经由单端 CCU 内部实现冗余机制算法;也可增加 RIOM 配置数量以及内部硬线双通道采集来提高 TCMS 的可靠性。

2) 实时以太网控制网(TRDP)和 MVB 的结合应用。通过列车总线使用实时以太网提高传输带宽

和容量,车辆总线使用 MVB 协议来保证对高时延数据的可靠性要求,可降低列车总线的数据负载率,将故障节点数据限制在车辆级,防止影响整列车的网络性能。

3) 实现车载故障诊断和处理决策机制。拥有众多车载控制系统运行/状态数据以及对外接口数据的 TCMS,如何安全、可靠地实时处理故障,产生合理的决策显得至关重要。这就需要 TCMS 系统具有海量数据分析和特征提取的能力,以实现故障前、故障时和故障后的三级预警处理机制。

参考文献

- [1] 张海涛,梁汝军. 地铁列车全自动无人驾驶系统方案[J]. 城市轨道交通研究,2015(5):33.
- [2] 王曰凡. 全自动无人驾驶系统——全新理念的城市轨道交通模式[J]. 城市轨道交通研究,2006(8):1.
- [3] IEC. Railway Application-Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems-Part1: System Principles and Fundamental Concepts; IEC 62290-1—2014[S]. Geneva: IEC, 2014:17.
- [4] 张程贻. 卡斯柯技术专家解读地铁列车无人驾驶技术[J]. 城市轨道交通研究,2012(7):135.

(收稿日期:2018-05-29)

(上接第 161 页)

依次经过 P1915-P1901 道岔插入正线下行作业,发车间隔为 184 s,与 X1915 处插车能力一致。

4 结语

龙阳路停车场 CBTC 改造后可具备列车自动出入库功能,实现龙阳路基地与正线匹配 1:1 并满足 3 min 出库能力的要求。通过仿真得出该停车场的运营能力为:库内追踪间隔在 110 s 左右;转换轨追踪间隔为 106 s 左右;与正线 1:1 插车出库时间间隔为 200 s 左右。很显然,停车场的插车能力是决定线路运营能力的关键。本文进而分析了不同插车进路排列场景下的效率,提出了缩短插车间隔、提高运营效率的优化措施。以上论述可为城市轨道交通线路车辆基地在进行 CBTC 改造后如何提升运营能力提供参考。同时,对于高峰运能不足的城

市轨道交通线路而言,车辆基地 CBTC 改造的同时若能结合插车优化分析,可显著提升其运能。

参考文献

- [1] 北京市地下铁道公司. 城市轨道交通信号系统通用技术 GB/T 12758—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2015:6.
- [2] 周明,李瑜芬,卢弋,等. 上海轨道交通运能规划实践与分析[J]. 都市快轨交通,2015(3):39.
- [3] 李洁. 简谈全自动无人驾驶系统车辆段/停车场信号系统设计[J]. 铁路通信信号工程技术,2017(4):48.
- [4] 徐霄. 城市轨道交通无人驾驶信号系统设计需求分析[J]. 城市轨道交通研究,2016(7):32.
- [5] 赵玉慧. 列车运行仿真系统在地铁信号改造过程中的运用[J]. 铁路通信信号工程技术,2009(4):35.
- [6] 韩臻. 既有地铁线路运能提高信号系统局部改造方案举例[J]. 上海节能,2014(11):84.

(收稿日期:2018-06-04)