

上海轨道交通宝山路站的汇合能力提升研究

刘 建

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海 // 高级工程师)

摘 要 基于不同信号系统制式,通过仿真计算,深入分析上海轨道交通宝山路站汇合能力提升方案。研究结果表明:选择合适的信号系统制式,采取接轨改造措施并调整列车开行比例,能有效提升宝山路站的汇合能力。

关键词 城市轨道交通; 汇合能力; 并线运营

中图分类号 U231.4; U292.5⁺1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.04.015

Convergence Capacity Improvement of Shanghai Rail Transit Baoshan Road Station

LIU Jian

Abstract Based on different signaling system formats, through simulation calculation, the convergence capacity improvement scheme of Shanghai rail transit Baoshan Road Station is analyzed in depth. Research results show that by selecting appropriate signaling system format and adopting civil wiring transformation measures, the convergence capacity of Baoshan Road station can be effectively improved.

Key words urban rail transit; convergence capacity; parallel operation

Author's address China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

上海轨道交通 3 号线(以下简为“3 号线”)自上海南站至江杨北路,全长约为 40.7 km,共设 29 座车站。上海轨道交通 4 号线(以下简为“4 号线”)为环线,不含与 3 号线共线部分的线路长约 22.3 km,设 17 座车站。4 号线与 1、2 号线共同组成“申”字形线网。4 号线在宝山路站至虹桥路站段与 3 号线共线运营,进而形成“3 号线+4 号线”的复合型线路(本文称为“3/4 号线”)。3/4 号线线路如图 1 所示。

3/4 号线是国内唯一采用“共线+环线”运营方案的地铁线路,其共线段承载着 3 号线北段和 4 号线外圈的客流,也限制了共线段以外的客运能力。自 2000 年投入运营以来,3/4 号线见证了上海的城市发展,也深受日益增长的客流量困扰。长期以

来,受共线段的客运能力限制,高峰时段的 3 号线北段进站客流一直采用限流措施。

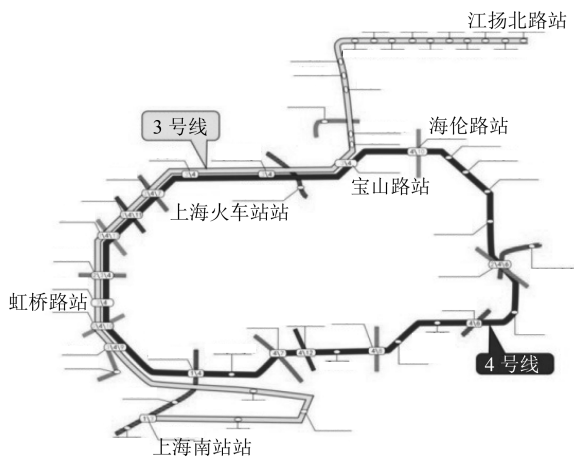


图 1 3/4 号线线路示意图

1 3/4 号线运营能力的瓶颈

通过分析 3/4 号线线路配线和既有信号系统能力发现,宝山路站是整个 3/4 号线中最重要的车站。如图 2 所示,4 号线线路跨越 3 号线线路后,以大坡度下坡接入 3 号线正线。其简易接轨方式存在一定安全风险。

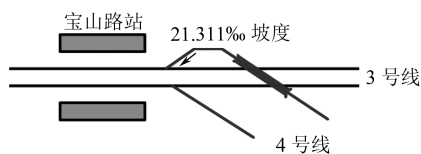


图 2 宝山路站处的简易接轨示意图

宝山路站下行方向并线处的信号设备布置如图 3 所示。为保证 4 号线以大坡度接入 3 号线正线处的行车安全,其信号联锁子系统增加了特殊设计:①信号灯 X3H,开放允许信号的条件是前车出清 E 点;②信号灯 X1H,开放允许信号的条件是前车出清 C 点;③道岔 SW1H,道岔转动的条件是前车出清 C 点。

现有信号系统(U200)为基于轨道电路的准移

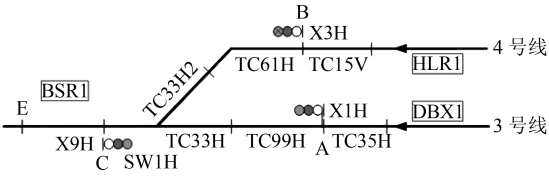


图 3 宝山路站下行方向并线处信号设备布置示意图

动闭塞制式,其系统能力有限。宝山路站是 3 号线与 4 号线下行方向客流汇合车站,其特殊的配线和特殊的联锁设计在保证行车安全的同时,进一步限制了信号系统能力,使宝山路站的汇合能力成为限制 3/4 号线运营能力的瓶颈。

2 宝山路站汇合能力的提升方案

3/4 号线的改造,既要满足客流增长的基本需求,充分满足线路的规划功能,最大限度实现线路最大运营能力;又要根据客流分析,通过灵活的交路设计,尽量减少客流沿途换乘次数,降低对乘客乘车习惯的影响。要提升 3/4 号线的运营能力,必须对提升宝山路站的汇合能力进行分析研究。

3/4 号线信号系统已到大修期,本文主要从信号系统更新改造来提升运能的角度探讨研究。

2.1 信号系统制式

20 世纪末至 21 世纪初,地铁信号系统主要采用的是固定闭塞或者是基于轨道电路的准移动闭塞。例如,3/4 号线采用的 ALSTOM U200 系统就是基于轨道电路的准移动闭塞系统。

目前,CBTC(基于通信的列车控制)系统是轨道交通信号系统的主流系统制式。CBTC 系统是以轨旁设备为中心,通过地面 ZC(区域控制器)来统一管理列车,如图 4 所示。

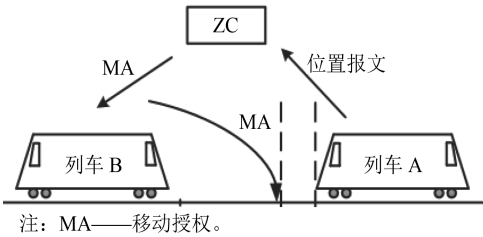


图 4 CBTC 系统数据流向示意图

近年来,随着信号技术的发展,出现了一种基于车车通信的 CBTC 系统——TACS(列车自主控制系统)。TACS 系统以列车为中心,取消了地面的联锁和区域控制器子系统,ATS(列车自动监控系统)直接与 VOBC(车载控制器)进行通信,如图 5 所示。

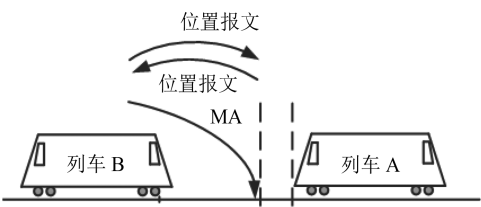


图 5 TACS 系统数据流向示意图

相较于传统 CBTC 系统,TACS 系统精简了轨旁设备,简化了车地间交互的信息量及交互时间,并提高了车载系统性能。与上海轨道交通 3/4 号线信号 U200 系统相比,CBTC 系统和 TACS 系统的移动授权更新时间更短。鉴于不同信号系统供货商系统的差异,本文采用了经验数据,如表 1 所示。

表 1 不同制式系统移动授权更新时间	
系统制式	移动授权更新时间/s
U200 系统	5.71
CBTC 系统	2.39
TACS 系统	0.81

TACS 系统在移动授权更新时间上更短,不仅减少了反应时间,而且还大大提高了追踪能力,提升了整个信号系统的性能。

3/4 号线信号系统在更新改造的同时,还肩负着提升运营能力的使命。鉴于此,本文就不同信号制式对宝山路站的汇合能力进行分析。

2.2 汇合能力的提升

2.2.1 仿真参数

在不同的信号系统制式下,列车的牵引、制动及冲击率等常用参数一致。牵引加速能力如表 2 所示。

表 2 牵引加速能力表	
列车速度/(m/s)	列车加速度/(m/s ²)
0	1.00
0.555 0	1.00
6.944 0	1.00
8.333 3	0.85
10.555 0	0.75
13.888 0	0.65
15.277 7	0.55
16.667 0	0.45
18.055 0	0.35
27.778 0	0.35

最大常用制动加速度的绝对值为 1.44 m/s²;保障紧急制动加速度绝对值为 0.85 m/s²。在牵引和制动时,车辆最大冲击率为 0.75 m/s³。打滑率为 15%。最大坡度的最大加速度为 0.28 m/s²。旋转

质量占空车质量的 6.76%。

由于信号系统架构的不同,不同制式的信号系

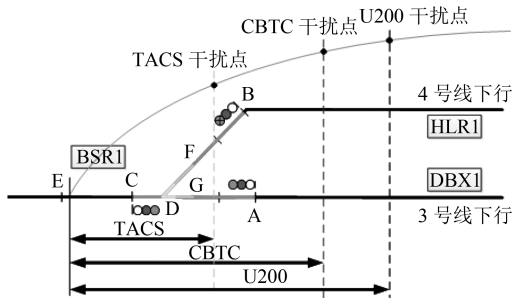
统存在部分特殊的经验仿真参数。本研究采用的特殊仿真数据如表 3 所示。

表 3 不同制式系统特殊参数

系统制式	牵引切断时间	进路办理时间	移动授权获取时间	换端时间	EB 建立时间	道岔可动部分资源控制时间	警冲标内其他区域资源控制时间
U200	0.64	16.1	5.70	20	1.6		
CBTC	0.94	15.6	2.39	11	1.6		
TACS	0.64		0.81	11	1.6	11	2

2.2.2 汇合能力的影响因素

经仿真分析,在 3 种不同信号系统制式下,宝山路站的汇合能力同约束条件和干扰点的列车运行速度有关(如图 6 所示)。



注: BSR1 为宝山路站 1 号站台; HLR1 为海伦路站 1 号站台; DBX1 为东宝兴路站 1 号站台。

图 6 不同系统制式干扰点示意图

1) 约束条件。在既有的 U200 系统中,信号灯 X3H(B 点)的开放允许信号条件为前车出清 E 点。在 CBTC 系统中,信号灯 X3H(B 点)的开放允许信号条件为前车出清 C 点;在 TACS 系统中,列车在 F 点获得道岔资源的条件为前车出清 D 点。

2) 干扰点速度。当采用 U200 系统或 CBTC 系统时,列车运行至 B 点或 A 点的干扰点的速度均相对较高。由于道岔侧向限速,因此列车从 B 点干扰点至列车到宝山路站台停稳的运行时间相对较长。当采用 TACS 系统时,相对于 G 点,列车运行至干扰点(F 点)的速度较低,因此列车从 F 点至宝山路站台停稳的运行时间较短。

2.2.3 汇合能力计算

经仿真计算,在 3 种不同信号系统制式下,宝山路站的汇合间隔时间如表 4 所示。

由表 4 可知, TACS 系统的精细化管理,使宝山路站的汇合能力大幅提升。计算结果表明,不考虑宝山路站的线路其他因素,通过适当调整 3 号线与 4 号线的列车开行比例,可使宝山路站下行方向的汇合间隔时间缩短到 100 s 左右,汇合能力可达 36

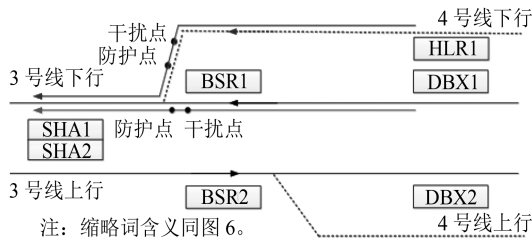
对/h。

表 4 不同系统制式宝山路站汇合间隔时间

系统制式	汇合间隔时间(含 35 s 停站时间)/s	
	前 4 后 3	前 3 后 4
U200 系统	141	167
CBTC 系统	116	148
TACS 系统	101	96

注: 前 3 后 4 指前行列车为 3 号线列车,后行列车为 4 号线列车;前 4 后 3 指前行列车为 4 号线列车,后行列车为 3 号线列车。

由于信号系统能力提升并不能解决大坡道简易接轨的安全问题,故还应结合配线调整,采用将站前接轨改为站后接轨(如图 7 所示)或增加安全线等措施,在提高运营安全的同时,进一步提升宝山路站的汇合能力。



注: 缩略词含义同图 6。

图 7 宝山路站接轨改造后干扰点示意图

本文选取了宝山路站站前接轨改为站后接轨的配线改造方案进行汇合间隔时间分析。站前接轨改为站后接轨既解除了大下坡道简易接轨的安全隐患,改善了信号系统的干扰点影响,又提高了信号系统的汇合能力。

经仿真计算,在不同信号系统制式下,宝山路站接轨改造后的汇合间隔时间如表 5 所示。

不难发现,信号系统的更新改造和土建配线形式调整均可以在一定程度上应对不断增长的客流需求。此外,根据客流变化情况适当调整 3 号线与 4 号线的列车开行比例,可以更好地提升线路的服务水平。

(下转第 70 页)

制系统”中一项“联锁上车”(原联锁子系统部分功能移至车载子系统)就是功能前置,结合表 1,可将部分功能向车载子系统进一步前置。

3.3.3 基于平台虚拟化的发展可能性

移动通信网络设备规模庞大,促进了从专用设备转换为通用设备的需求,催生了虚拟化功能,将原来跨平台的硬件交互,转变为同平台内的软件交互,消除了外部通信周期(秒级),实现了运算周期内交互(毫秒级)。

受设备规模限制,列控系统自身的平台虚拟化存在一定压力,但可以从技术的角度进行探索。从云化应用非安全系统,到基于容器或虚拟主机进行的安全结构探索(虚拟 MooN),都是平台虚拟化的尝试。在平台虚拟化的基础上,列控系统扩容及新功能部署会更有利于全自动无人驾驶列控系统的发展。

3.4 列控系统发展趋势

基于移动通信网络架构的演进规律来分析列控发展趋势过程,可以为从技术角度抽象梳理列控系统功能及进行功能重配置提供清晰的思路。不仅能作为正在进行的研发实践及科学研究提供例证,也能为正在进行的功能研究提供上述演进规律的实践运用。可见,列控系统向结构扁平化、功能前置化及平台虚拟化趋势的发展是可能的。

4 结语

当前,在列控系统的发展中,研发实践及科研探索的方向均可适用移动通信网络架构演进规律来解释。这证明了移动通信网络架构演进规律对

列控系统发展趋势判断的可借鉴性。列控系统的技术演进方向也指向结构扁平化、功能前置化及平台虚拟化。其最终目的是使列控系统更好地发展,使其能更加安全灵活高效地支撑运输服务。

参考文献

[1] ILYA G. High performance browser networking: What every web developer should know about networking and web performance[M]. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013.

[2] VINCZE B, TARNAI G. Evolution of train control systems [C]//European Rail Research Network of Excellence. 14th International Symposium EURNEX-ZEL. Zilina: EURNEX, 2006.

[3] GSM Association. GSMA Mobile Economy 2020 Global [R/OL]. (2019-03-15) [2020-09-24]. https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf.

[4] GSM Association. GSMA Mobile Economy 2020 China Chinese [R/OL]. (2019-03-18) [2020-09-24]. https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_China_Chinese.pdf.

[5] 朱湘琳. 移动通信网络体系架构[J]. 移动通信, 2013 (13): 47.

[6] 江明. CTCS-3 级列控系统发展历程及技术创新[J]. 铁路通信信号工程技术, 2020 (1): 1.

[7] 张曙光. CTCS-3 级列控系统总体技术方案[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.

[8] 汪小勇. 城市轨道交通全自动运行系统的现状及展望[J]. 城市轨道交通, 2019 (2): 20.

[9] 夏庭楷, 崔科. 城市轨道交通下一代 CBTC 系统发展展望[J]. 城市轨道交通研究, 2018 (5): 43.

(收稿日期: 2020-09-29)

(上接第 64 页)

表 5 接轨改造后的宝山路站汇合间隔时间

系统制式	汇合间隔时间(含 35 s 停站时间)/s	
	前 4 后 3	前 3 后 4
U200 系统	123	116
CBTC 系统	116	109
TACS 系统	101	72

3 结语

3/4 号线客流量与日俱增,具有信号系统更新改造和运能提升的迫切需求。本文基于不同信号系统制式,通过仿真计算,深入分析宝山路站汇合能力提升方案。计算结果表明,选择合适的信号系统制式、采取土建配线改造措施、调整列车开行比例,能有效提升宝山路站的汇合能力。研究结果可

为其他线路信号系统制式选择和运营能力提升提供一定的参考。

参考文献

[1] 徐启禄. 基于车车通信的 CBTC 系统关键技术研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020 (5): 110.

[2] 柴明东, 祝陶美, 王涛. 基于车-车通信的 CBTC 系统方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019 (5): 80.

[3] 罗情平, 吴昊, 陈丽君. 基于车-车通信的列车自主运行系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018 (7): 46.

[4] 杜建新. 城市轨道交通车车通信信号系统的控制思想[J]. 城市轨道交通研究, 2016 (增刊 2): 21.

[5] 刘会明. 城市轨道交通既有有线更新改造将成为常态[J]. 城市轨道交通研究, 2019 (6): 彩 12.

(收稿日期: 2020-09-29)