

从城市轨道交通大客流拥挤现状谈 高运能指标极限值及运能提升技术的应用效果

丁建中¹ 张琼燕² 刘 循³ 赵 源⁴

(1. 上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海; 2. 上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 201103, 上海;

3. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海;

4. 上海申通地铁集团有限公司运营管理中心, 201103, 上海//第一作者, 教授级高级工程师)

摘 要 上海轨道交通线路从开通走向成熟运营过程中, 客流量不断攀升, 多条线路车辆满载率超过 100% 已成为常态, 满载率最严重时达到 139%, 部分车站只能采取进站限流措施, 以缓解进站客流压力。在综合研究和案例试验基础上, 提出了可应用高运能极限值和 3 项运能提升技术的灵活组合策略来提升运能。

关键词 城市轨道交通; 运能提升; 高峰断面客流; 极限值; 折返间隔

中图分类号 U292.5⁺4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.01.005

Limit Value of High Transportation Capacity and Application Effect of Transportation Capacity Improvement Technology Based on Mass Passenger Flow Congestion in Rail Transit Operation

DING Jianzhong, ZHANG Qiongyan, LIU Xun, ZHAO Yuan

Abstract In the process of Shanghai rail transit line from opening to mature operation, the passenger flow is constantly rising. The train full-load rate over 100% on plenty lines has become the norm, in serious circumstances the full-load rate even reached up to 139%. As a result, stations have to adopt countermeasures to limit the incoming passenger flow, so as to alleviate the station capacity pressure. On the basis of comprehensive research and case studies, a flexible application strategy which combines high capacity limit value and three innovative key control technologies is proposed to improve the high-efficiency operation of urban rail transit.

Key words urban rail transit; transportation capacity improvement; peak section passenger flow in rush hours; limit value; turn-back interval

First-author's address Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

1 城市轨道交通运行能力现状

体现列车运行能力的关键指标为最小发车间隔和车辆满载率。在钢轮钢轨制式下, 莫斯科地铁的最小发车间隔为 90 s, 是世界领先水平; 上海、北京及广州地铁的最好水平为 115 s 左右, 尚有 25 s 的较大差距。对于车辆满载率, 截至 2018 年 12 月不完全统计, 在国内 30 个有城市轨道交通运营的城市中, 已有 16 个城市的部分线路高峰时段车辆满载率超过 100%。北京、上海及广州的超载现象尤为突出。在北京的 20 条城市轨道交通线路中, 有 15 条线路的高峰时段车辆满载率超过 100%, 最高达到 143%。在上海的 15 条城市轨道交通线路中, 有 9 条线路的高峰时段车辆满载率超过 100%, 最高达到 139%。在广州的 14 条城市轨道交通线路中, 有 6 条线路的高峰时段车辆满载率超过 100%, 最高达到 143%。

经研究发现, 列车停站时间一般为 30 ~ 35 s。如停站时间在 35 s 以上, 且线路相关条件较差 (如有坡度等不利因素存在) 时, 则列车在最高的旅行速度下很难满足 90 s 追踪间隔要求和 120 s 折返间隔要求。

目前, 车辆满载率过高的现象主要出现在部分车站早晚高峰时段; 车辆满载率超出 100% 的部分溢出客流, 常被滞留在站台或站台外的蛇形通道上; 若缩短最小发车间隔, 并增加列车运用数, 则可降低车辆满载率; 满载率的下降, 又可减少停站时间 (乘客越多, 停站时间越长), 进而缩短列车的最小发车间隔; 行车密度的增加, 也有助于减少停站时分; 最终实现合理有效疏解客流的良性循环^[1-2]。上海轨道交通网在高峰时段的平均车辆满载率为

107% ,若从乘客舒适度考虑,要使车辆满载率实现低于 80% 的预期指标,则列车配属数量预计增加 25% 。

可见,在不改变既有线路基础设施设备配置条件下,针对性研究高运能极限值和创新关键技术应用,具有行业普适性意义。

2 高运能关键技术指标

经过比对研究既有线应用技术指标,针对最大运能的瓶颈技术参数进行分析,本文提出高运能关键技术指标极限值如下:

1)发车间隔最小极限值为 60 s,含停站时间

25 s。

2)最小折返间隔的平均极限值为 83 s,采用差异化不等间隔时,折返间隔分别为 60 s 和 106 s。

3)有大小交路运行时,可采用 1:1、1:2、2:1 合适的交路开行比例,使共线段的追踪间隔最小极限值为 60 s。

3 运能提升技术

为实现高运能关键技术指标,本文提出了 3 项运能提升技术。

3.1 差速混合折返控制技术

差速混合折返控制技术原理如图 1 所示。

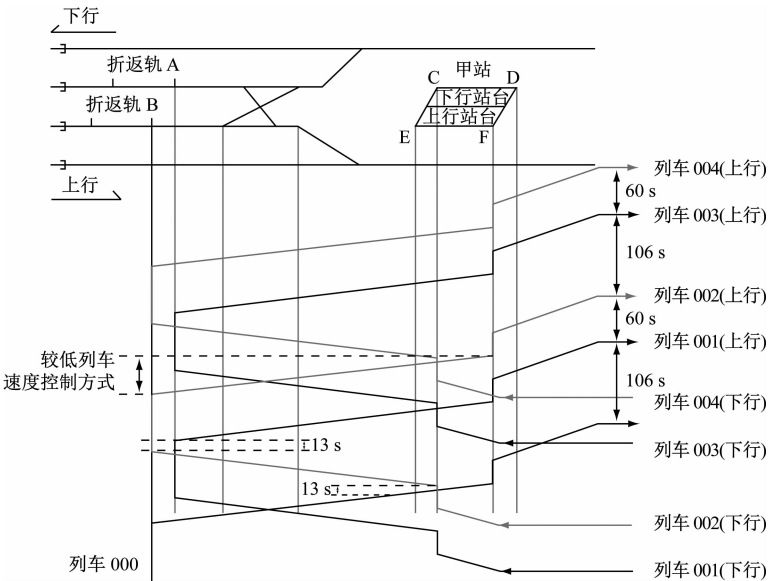


图 1 差速混合折返控制技术原理示意图

3.1.1 作业步骤

折返轨 A 列车 001 向上行站台发车;当列车 001 出清交叉渡线岔区经道岔动作后,折返轨 B 列车 002 发车,与列车 001 的追踪间隔为 60 s;在折返轨 B 发车的同时,列车 003 由下行站台平行作业进入折返轨 A;折返轨 A 列车 003 等待发车时,下行站台的列车 004 进入折返轨 B 等待发车;当列车 004 出清交叉渡线经道岔动作后,折返轨 A 列车 003 向上行站台发车,与列车 002 的追踪间隔为 106 s。以此类推。平均折返间隔为 83 s。

3.1.2 关键技术点

利用双折返轨平行作业方式,使双折返轨始终保持有车待发状态。CBTC(基于通信的列车控制)系统控制下行站台发车间隔和折返轨向上行站台紧密追踪发车,从而实现 60 s 间隔的紧密追踪

能力。

3.1.3 实例运能分析

以某 64 km 长的城市轨道交通线路为例,进行运能分析。该线路采用 6 节编组 A 型车,采用差速混合折返控制技术后,平均最小发车间隔为 83 s,实现了极限运行能力。与原来的 120 s 发车间隔相比,新运行能力提升 44.6%,线路运用列车增加了 46 列,运用列车数提升 50%。

3.2 并轨运行控制技术

大小交路混开,在共线段开行比例为 1:2,并轨运行控制技术原理如图 2 所示。

3.2.1 作业步骤

小交路折返点采用差速混合折返控制技术,把不等间隔中的 106 s 间隔调整设置为 120 s,并在 120 s 中,控制插入 1 列大交路列车,使大小交路开行比例

为 1:2,从而实现大小交路共线段的列车最小发车间隔为 60 s。最终获得大小交路列车开行比例。

3.2.2 实例运能分析

以 6 节编组的 A 型车为例进行运能分析。使

用大小交路开行比例为 1:2 的共线段并轨运行方式时,共线段最小发车间隔为 60 s。与开行比例为 1:1 时相比,在疏解中心城区高峰断面客流时,开行比例为 1:2 时,大小交路的运能分配更加经济合理。

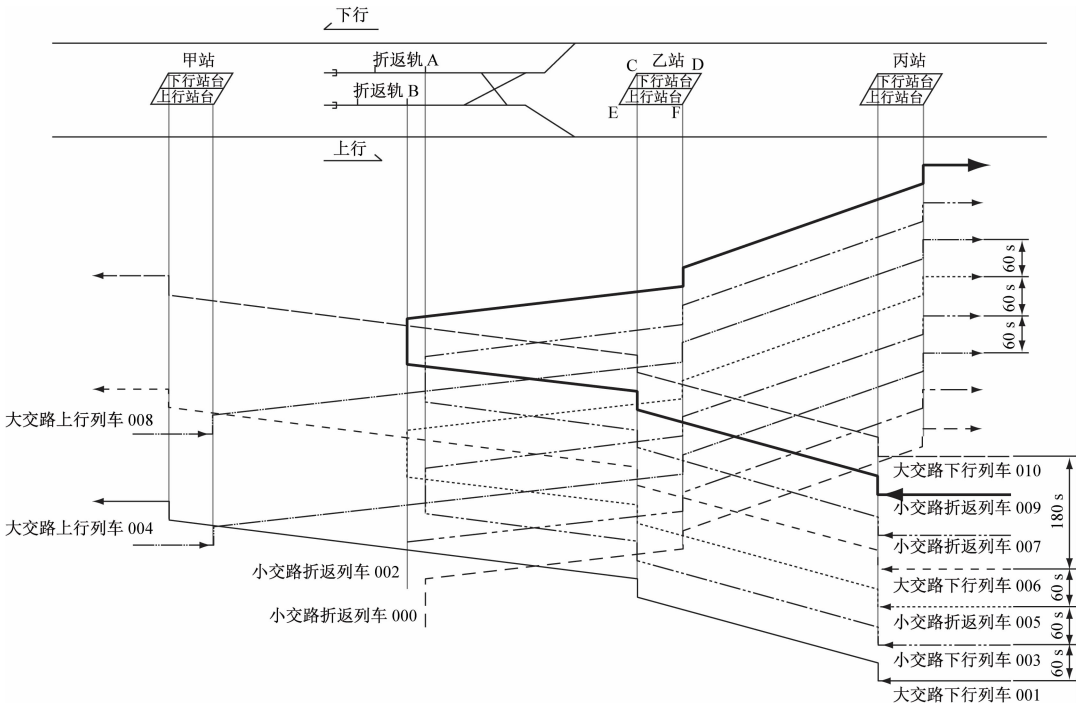


图 2 大小交路共线段并轨运控技术原理示意图

3.3 多列车连续追踪均衡控制技术

多列车连续追踪均衡控制技术原理如图 3

所示。

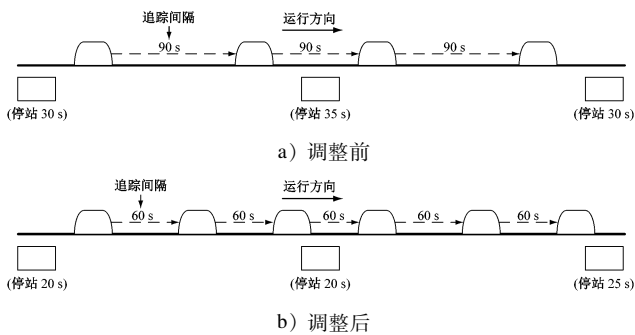


图 3 多列车连续追踪均衡控制技术原理示意图

3.3.1 作业步骤

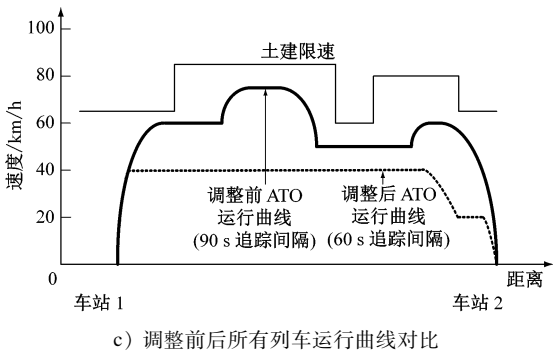
依据计划运行图发车时刻表的发车间隔时间,预先计算并设置各列车运行区段的限速值,从而实现多列车连续追踪间隔的均衡配置,以确保计划运行图与实时运行图高度一致,满足区间多列车连续追踪无迫停的技术要求^[3-4]。

3.3.2 实例运能分析

以 6 节编组的 A 型车为例进行运能分析。区

间列车连续均衡追踪控制技术,能实现区间追踪间隔 60 s,满足无干扰、无迫停的技术要求。相较原有的 120 s 追踪间隔,其运行能力提升了 50%。

采用多列车连续追踪均衡控制技术,增加了行车密度,降低了车辆满载率;虽然降低了旅行速度(以上海某线为例,120 s 追踪间隔下的旅行速度为 43.5 km/h,60 s 追踪间隔下的旅行速度为 30 km/h),但免除了乘客长时间在站台和蛇形通道的排队



c) 调整前后所有列车运行曲线对比

时间,提高了乘客的舒适度。

4 运能提升技术的应用效果

本文使用 CBTC 信号系统动态 MAU(移动授权单元)实验室平台,对上述 3 项技术进行测试验证。该 CBTC 信号系统已在上海轨道交通 8 号线运营中实际使用,本文采用该线路的实际数据进行验证。

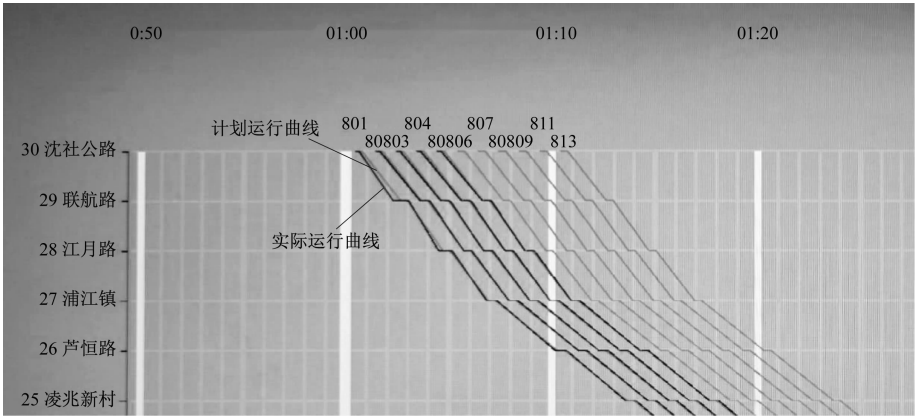


图 4 设置区间限速的计划与实时运行图对比截屏图

4.2 差速混合折返控制技术的验证

上海轨道交通 8 号线列车在江月路站上行站台发车。列车按照计划运行图的时刻表,按发车小间隔为 60 s、大间隔为 106 s、停站时间为 20 s 进行排图,并设置区间限速为 35 km/h。当采用差速混合折返控制技术后,列车实现了按 60 s 和 106 s 的差

4.1 多列车连续追踪均衡控制技术的验证

上海轨道交通 8 号线列车在沈杜公路站下行站台发车。计划运行时刻表按发车间隔为 60 s、停站时间为 25 s 进行排图,并设置区间 TSR(临时限速)为 35 km/h。当采用多列车连续追踪均衡控制技术,并在部分区间设置了区间 TSR 后,最小发车间隔为 60 s 时的计划运行线与实时运行线密贴吻合度极高(见图 4),密贴控制效果良好。

异化间隔发车,满足差速混合折返控制技术指标。计划运行曲线与实时运行曲线比较见图 5,二者密贴吻合度较高,实现了稳定的双折返轨差速混合折返控制效果。图 5 中,平均发车间隔为 83 s,平均停站时间为 24.75 ~ 37.00 s。

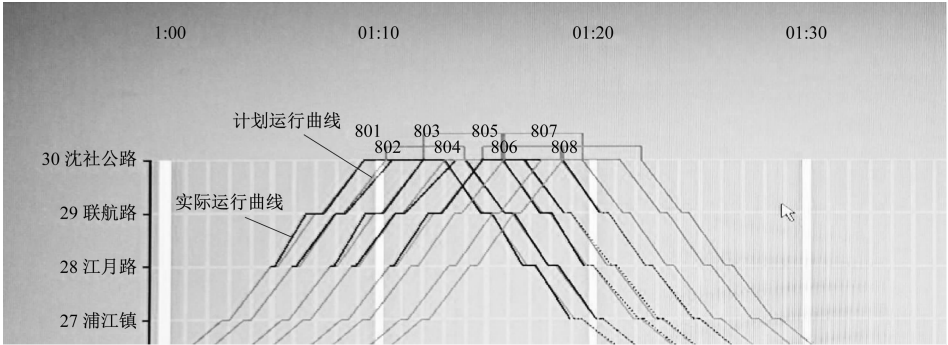


图 5 计划运行图与实时运行图比较截屏图

5 应用建议

本文提供的 3 种提高城市轨道交通运能的运行控制技术,基于既有线路基础配套设施设备不变的情况,其技术可靠、有效。根据线路条件,既可单独应用,也可灵活配置综合应用。由于在不同列车型

号、编组长度等技术参数下,信号系统匹配后得到的极限值存在一定差异性,应用时需根据实际情况加以进一步验算确定。

由于国内既有信号系统多具有区间临时限速功能,且部分信号系统具备支持列车 60 s 连续追踪能力的均衡控制技术。只要计算得到的极限值验

(下转第 30 页)

6 智轨快运系统的不足

1) 智能驾驶技术。目前智轨快运系统车辆仍处于人工驾驶模式,智能化程度较低,建议后续更新换代中逐步实现“智能驾驶+司机值守”的功能。

2) 储能技术。株洲智轨体验线使用容量为 237 kW·h 的电池,其容量有限,无法满足里程较长的线路需求。如使用大容量的储能设备,则列车需在首末站停靠很长时间充电,影响线路运营。

3) 受恶劣天气影响较大。由于智轨快运系统是基于对地面标线的图像识别来进行导向,因此雨雪天气的积水积雪将覆盖地面标线,使识别功能失效,是智轨快运列车退化为“加长版公交车”。

4) 相应规范和法律法规体系有待完善。目前国内外尚无智轨快运系统的设计、施工、运营规范或标准,同时,有关智轨快运系统车辆在道路上的权责也尚无法律依据。

7 建议

1) 国家有关部门宜尽快出台相应的规范标准和法律法规,为智轨快运系统工程的规划、设计、建设、研究、运营提供指导与支撑。

2) 车辆厂商应对智轨快运列车的性能进行充分测试,以支撑设计单位针对系统特点和城市具体情况,对智轨快运系统工程更好地进行设计研究。

(上接第 21 页)

算结果合适,即可应用。

对于新建线路设计配套,建议大小交路折返站,如有条件均可按照站后四线双折返轨配线型式设计,以适应近期、远期和超远期的客运能力增长变化的需要。

6 结语

随着城市轨道交通的高速发展,各城市出现的乘车拥挤度也越来越严重,仅通过增加新建线路来平衡各线路疏解客流,难以根本解决中心城区高峰断面大客流问题。

在高运能控制系统技术创新研究中,本文把信号系统、行车组织、线路配型、区间限速调控、乘客舒适度、运行交路等高运能核心设备技术深度融合后,提出了信号系统运能控制的极限值指标,对改善超载现状具有积极指导意义。

建议采取循序渐进的方式,从既有的最小发车

3) 智轨快运系统可解决一部分传统城市轨道交通建设存在的问题,但仍有其不足。各城市应结合自身特点,综合考虑交通需求、工程造价和建设周期等因素,合理选择城市轨道交通制式,避免为追求所谓的“创新”与“第一”而盲目建设。

参考文献

- [1] 金昱. 中低运量轨交系统在上海的适用性研究[J]. 上海建设科技, 2013(4): 21.
- [2] 张临辉. 上海张江科学城中运量交通系统规划研究[J]. 交通运输部管理干部学院学报, 2016, 26(4): 33.
- [3] 董伟力, 郭高华, 王艳荣, 等. 轨道交通系统在公共交通级配体系中的定位研究[J]. 交通科技, 2016(5): 164.
- [4] 闵国水, 曾琼. 中小城市发展中低运量城市轨道交通系统制式选择研究[J]. 铁路技术创新, 2016(6): 40.
- [5] 曾栋鸿, 金伟. 玉溪市中心城区中运量公交发展适应性研究[J]. 城市地理, 2016(22): 34.
- [6] 章华金. 现代有轨电车与快速公交 BRT 的比较及其在我国的应用[J]. 交通标准化, 2013(11): 84.
- [7] 刘阳, 张玲, 沈小静, 等. 有轨电车与快速公交 BRT 适用性比较分析——以曲靖市为例[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2015, 31(3): 31.
- [8] 马永红, 黄海明. 各种中低运量制式轨道交通优势比较研究[J]. 世界轨道交通, 2013(12): 64.
- [9] 李永华. 虚拟轨道、超级电容、无人驾驶——“智轨快运列车”汇集了多少黑科技? [J]. 中国经济周刊, 2017(24): 39.

(收稿日期: 2018-06-01)

间隔为 120 s 出发,逐步减小发车间隔时间,逐步增加可运用列车数量,直至解决大运量高峰时段客流拥挤问题。建议配套研究多专业融合管理创新方法,完善区间救援突发工况危险源识别与应急预案匹配等配套标准,以满足日益增长的城市轨道交通运营安全、高效的服务质量和高速发展要求。

参考文献

- [1] 朱沪生. 上海城市轨道交通网络化建设的实践和对策[J]. 城市轨道交通研究, 2006(12): 5.
- [2] 丁建中, 张琼燕. 地铁无人驾驶系统及关注的主要问题[C]//第四届中国城市轨道交通可持续发展战略及建设论坛-轨道交通信息化建设论坛. 北京: 中国城市轨道交通网, 2008.
- [3] 张琼燕, 邓瀚, 赵霞. 城市轨道交通列车运行控制系统仿真分析与研究[J]. 城市轨道交通研究, 2012(8): 103.
- [4] 洪海珠, 胡宗福, 薛小平, 等. 轨道交通信号系统的安全认证[J]. 城市轨道交通研究, 2009(2): 21.

(收稿日期: 2019-05-28)