

轨道交通市域快线快慢车运营模式方案研究

黄江阳¹ 李爱东² 陈 剑³ 包乐培³

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 中国铁路设计集团有限公司, 300308, 天津;
3. 中国铁路设计集团有限公司广东分公司, 518052, 深圳//第一作者, 工程师)

摘 要 针对轨道交通市域快线在超大城市中大客流组团间的功能需求,以深圳轨道交通市域快线为例,从快慢车运营模式、车站布设形式、工程可行性和工程投资四个方面,分析研究适合该线路的快慢车运营模式,并根据线路实际条件提出单向三线快慢车运营模式。

关键词 市域轨道交通快线;快慢车;运营模式

中图分类号 U292.4:U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.01.025

Study on Express/Local Train Operation Mode Scheme of Rail Transit Commuter Express

HUANG Jiangyang, LI Aidong, CHEN Jian, BAO Lepei

Abstract Targeting the functional needs of rail transit commuter express among large passenger flow clusters in megacities, with Shenzhen rail transit commuter express as example, from four aspects of express/local train operation mode, station layout format, engineering feasibility and project investment, the express/local train operation mode suitable for this line is analyzed and studied, the one-direction three-line express/local train operation mode according to line actual conditions is proposed.

Key words rail transit commuter express; express/local train; operation mode

First-author's address Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

目前,国内超大城市地铁建设已基本完成主要城区覆盖,处于核心区轨道网络加密和快速联系城市副中心组团(以下简称“组团”)的发展阶段。随着运营距离的增长和旅客通勤需求时间的缩短,新型快速轨道交通形式应运而生。轨道交通市域快线(以下简称“市域快线”)作为超大城市内联系各大组团的快速通道,其线路最高运行速度已不满足于传统地铁的线路最高运行速度(80 km/h),在建

的深圳地铁 14 号线已达到 120 km/h,市域快线规划研究方案中其最高运行速度可达 160 km/h,快慢车分线运营势在必行。

本文基于深圳市域快线线路的功能特点及需求,通过对比快慢车组合运营和复线运营两大快线建设模式的相关特点,研究最佳的快慢车分线运营模式,为深圳市乃至全国城市轨道交通建设提供快线建设借鉴思路。

1 项目概况

深圳市域快线,规划设计时速为 120~160 km/h,沿西南—东北向联系前海区、南山区、龙华区、龙岗区等组团,其主要功能为快速联系都市核心区与东部中心,满足龙岗区与龙华区往南山科技园区与前海区的通勤需求。

线路起自南山前保站,途经前海自贸区、南山高新科技园区、龙华深圳北站商务中心区、龙岗大运片区,终止龙岗坪地站,全长 63.8 km,全地下敷设;共设站 24 座(其中换乘车站 18 座),全部为地下车站,最大站间距为 6.975 km(白泥坑站至坳背站),最小站间距为 0.825 km(白石龙站至梅龙站),平均站间距为 2.700 km。其中,南山段平均站间距为 1.400 km,非南山段平均站间距为 3.100 km。龙岗段在科兴站东侧及新生站东侧引出出入线,分别与沙河西停车场和坪地车辆段衔接。深圳市域快线平面图截图如图 1 所示。

2 国内外案例介绍

2.1 局部四线模式

局部四线模式属于快慢线组合运营,意在局部车站设置四线平行敷设,增加越行线。该模式下,慢车可通过站内越行线避让快车,但受追踪最小间隔及越行线数量限制,线路系统能力会有一定折减。



图 1 深圳市域快线平面图截图

Fig. 1 Screenshot of Shenzhen urban rail transit commuter express plan

该模式在日本筑波线、我国广州地铁 18 号线和 22 号线上有所应用。以日本筑波线为例,该线路全长约 58.3 km,设站 20 座,平均站间距为 3.100 km,车辆最高运行速度为 130 km/h。日本筑波线在八潮站和流山苍鹰之森站设越行线,快车比慢车少停 11 站,快车全线旅行时间节省 12 min,平均越行 1 站可节省约 1 min 旅行时间。日本筑波线局部四线方案配线图如图 2 所示。

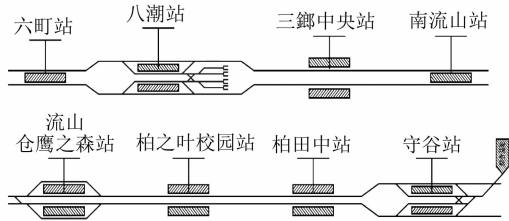


图 2 日本筑波线局部四线方案配线图

Fig. 2 Auxiliary line diagram of Japan Tsukuba Express local four-line scheme

2.2 三线运营模式

三线运营模式属于复线运营模式,意在增设一条线路以满足快慢车运营调配。第三线又分为双向运营和单向运营两种模式。第三线的双向运行

模式是将第三线作为辅助避让行车线,当快车来临时,慢车驶入第三线进行避让,以满足快慢车同时正常运行的需求。该模式应用于韩国首尔地铁 9 号线,该线于 2009 年开通运营,线路全长 31.5 km(一期工程全长 27.0 km,二期工程全长 4.5 km),共设车站 30 座(一期工程 25 座,二期工程 5 座),其中快车站 12 座,是韩国第一条提供快车服务的线路,快车仅在主要车站停靠。快车从金浦机场站开行至中央保助医院站约需 54 min,普速列车则需 86 min,乘坐快车可节省 32 min,节省时间效果显著。

第三线单向运行模式是将第三线作为独立运行线路,快线单线单向运行,主要满足潮汐客流需求,早高峰由居住区开往工作区,晚高峰再由工作区开往居民区。该模式在美国纽约地铁 7 号线(法拉盛站—曼哈顿广场站)有所应用^[1]。快慢线处于同一平面,快车线在中间,两侧为慢车线。由于快车线只有一条,只能开行单向快车。快车站台在快慢车线路中间,同方向的快慢车换乘时不需要换站台,快车不停靠的车站不设快车站台。纽约地铁第三线模式在客流高峰时期为主客流方向同时提供快慢车服务,由于单方向运营,快车由法拉盛站至曼哈顿中心区仅需 38 min。

2.3 四线运营模式

四线运营模式属于复线运营模式,意在增设两条线路以实现快慢车独立运营。该模式在纽约地铁的绝大多数快慢车运营线路上有所应用。分线运行不会造成运营能力上的损失,快线较慢线而言速度相同,但停靠站较少。慢线站站停,而快线只停靠较大的换乘站,或者采用分段停站方案。以采用该模式的纽约弗拉新线为例,快线及慢线的旅行速度分别为 41 km/h、28 km/h,平均站间距分别为 2.500 km、0.700 km。其相关数据可为国内新建市域快线提供参考。

3 快慢线规划设计

3.1 快慢线运营模式

深圳市域快线是龙岗区、龙华区至南山区的直接快速通道,其中非南山区有快线运营的设置条件。列车旅行时间需控制在 1 h 内,以满足旅客的通勤需求。通过研究局部四线、单向三线、四线运行 3 个方案,比选适合本线路的运行模式。

3.1.1 速度目标值

通常来说,列车运行距离至少在加减速距离

合计的 2 倍以上,列车才能达到最高速度,且匀速行驶状态;否则,列车性能将得不到发挥,并处于频繁起停状态,旅行舒适度将有所降低。因此,实现列车最高速度的站间距宜大于列车加减速度距离合计的 2 倍以上。

不同速度目标值对应的列车加减速距离及合理站间距如表 1 所示。由表 1 可知,速度目标值越大,所需充分发挥列车性能的站间距离也越大。基于深圳市域快线南山区和非南山区的平均站间距,其与速度目标值为 120~160 km/h 时的数据匹配性较高。

表 1 不同速度目标值对应的列车加减速距离及合理站间距
Tab. 1 Train acceleration and deceleration distances and reasonable station spacing for different target speeds

速度目标值/(km/h)	加减速距离/km	合理站间距/km
100	1.2	>2.4
120	1.7	>3.4
140	2.3	>4.6
160	3.3	>6.6
200	7.5	>15.0
250	21.7	>43.4

基于站间距,速度目标值采用 120 km/h,同时由于南山区科技园处高层建(构)筑物较多,若速度目标值采用 160 km/h,必将导致大量建筑拆迁,工程可实施性较差。因此在满足旅客需求的前提下,降低最高速度来换取线路平面曲线半径取值的灵活性,故本研究选取速度目标值为 120 km/h 的方案。

3.1.2 线路系统能力

基于速度目标值为 120 km/h 的方案,针对不同快慢线运营模式进行线路系统能力的测算。在不影响快车运行的情况下,根据线路条件和列车停站时间等因素^[2-3],设计快慢车开行对数,通过快慢车旅行时间、发车间隔、运能储备等指标分析线路系统能力。列车旅行时间是线路运营的重要参数,直观地反映出全线列车的运行时间。发车间隔是指列车运行时间间隔,可通过高峰小时开行对数获得。运能储备为高峰小时输送旅客客流与高峰小时旅客出行需求之间的关系,可直观地反映线路系统能力。

不同快慢线运营模式下的线路系统能力如表 2 所示。由表 2 可知:当采用局部四线运营模式时,受快慢车速差的影响,高峰小时仅能开行 24 对/h,快车发车间隔为 15.6 min,运能储备仅为 0.3%,应对客流风险性较差,且随着快车开行对数的增加,线路系统能力会进一步折减;当采用三线运营模式

或四线运营模式时,快慢线分线运行,互相不受影响,能够保证客流运输需求,且快慢车开行比例更高。因此建议选用三线运营模式或四线运营模式。

表 2 不同快慢线运营模式下的线路系统能力

Tab. 2 Line system capacity under different express/local train operation modes

快慢车运营模式	高峰小时 开行对数/ (对/h)		旅行 时间/min		发车 间隔/min		运能 储备/ %
	慢车	快车	慢车	快车	慢车	快车	
局部四线	20	4	69(最慢)	51	5.0(最长)、 2.0(最短)	15.6	0.3
三线或四线	14	14	63	51	4.3	4.3	14.0

注:旅行时间=列车运行时间+停站时间,列车运行时间由北京交通大学与香港理工大学共同研发的《城市列车运行计算系统》电算获得,停站时间由每站上下客人数及车门数量、车门大小、人均上下客时间、高峰小时开行对数等参数计算获得。

3.2 线站位方案

线路由南山中心区经龙华深圳北站交通枢纽,终至龙岗大运片区和坪地片区,线路周边条件复杂。龙华区和龙岗区地处城市外环,新旧区域建设差别较大,老区城中村房屋密集、道路较窄,新区建设较好、道路较宽。南山区高楼林立、建筑规整,但其他轨道线路交错纵横,对于线路敷设通道有严格限制。

基于该线路周边环境特点,线站位方案需遵循以下原则^[4-6]:

1) 快慢线站点应根据客流覆盖需要设置,尽量将快线车站设置在换乘枢纽和早晚高峰客流量较大区域,慢线站间距宜控制在 1.500 km,快线站间距宜控制在 3.000 km。

2) 线路尽量选择城市主干道敷设,在快线不停靠站点区间,线路可绕避居民区,以减少不必要的拆迁和噪声影响。

3) 对于线路与其他轨道交通线路的相交点,应尽量将快慢线设于同一平面通道,避免占用两层通道而浪费地下通道空间。

4) 线路应根据城市道路现状和规划要求,采用大半径曲线以保持线路平顺,避免采用小半径曲线而限制全线最高速度取值。

采用四线运营模式,在线路与其他轨道交通立交段快慢线无法处于同一平面,需占用二层地下通道。三线运营模式在线站位敷设方案上较为节省地下空间。局部四线方案车站需增设 2 条越行线,车站宽度较大,较三线和四线运营的车站规模大,对于车站周边地下空间要求较高,局部地段存在大

量拆迁影响。

3.3 车站布置形式

局部四线方案意在通过增设越行线^[7]来满足快车过站而不影响慢车停靠的需求,越行线在外侧,停车线在内侧。四线运营方案地下站的常用形式为双岛四线,列车同向同站台停靠,内侧为快线,外侧为慢线。三线运营方案地下站的常用形式为两岛三线,快线设中间,两侧为慢线。

不同快慢车运营模式下的车站常用布置图如图 3 所示。局部四线方案增设两条快车越行线,车站规模较大。但三线运营模式和四线运营模式的快车停靠车站在局部空间受限地段可采用叠线布置,有效避免了地面建(构)筑物的拆迁。对于道路宽度不富裕的地段,三线运营模式和四线运营模式优势较为明显。

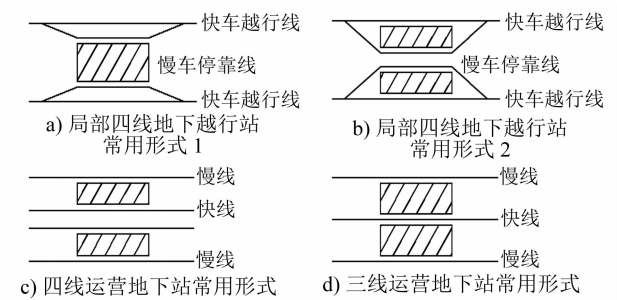


图 3 不同快慢车运营模式下的车站常用布置图
Fig. 3 Common layout of stations under different express/local train operation modes

3.4 工程投资

3 个快慢车运营模式中,局部四线模式虽造价较小,但无法满足旅客通勤时间要求;四线运营模式功能齐全、体量较大、造价高昂(较三线运营模式多 15.34%)。根据客流测算,该线的远期高峰小时客流量为 51 100 人,而四线运营模式可以提供 128 160 人/h 的输送能力,大大超过客流需求,会造成一定的资源浪费。单向三线可提供 64 080 人/h 的输送能力,较满足客流需求。不同快慢车运营模式下的工程投资如表 3 所示。

表 3 不同快慢车运营模式下的工程投资
Tab. 3 Project investment under different express/local train operation modes

运营模式	总投资/万元	较局部四线增幅比/%	较三线增幅比/%
局部四线	5 824 142.02		
三线运营	7 104 403.24	21.98	
四线运营	8 193 985.41	40.69	15.34

3.5 3 种运营模式分析

3 种快慢车运营模式的差异较为明显,线路系统能力随着工程投资的增长而显著增长。局部四线方案较为经济,能够满足一定的快车通行需求,但无法满足长大距离的快速通勤需求。三线运营模式可满足单向通勤需求,是解决潮汐客流的最优解,但车站三线并行敷设,占地较多,工程投资较局部四线方案多。四线运营模式可满足超大城市内各大组团间的快速联络,不仅能满足一个中心区的通勤需求,还可满足沿线各大中心就业区的通勤需求,但其占地规模较大,工程投资也最多,选择此方案时应详细研究及预测远期客流形态与需求。

针对不同组团间的客流需求和客流特征形态,选出最适宜的快慢车运营模式来解决城市内旅客快速通行的需求。不同快慢车运营模式方案比较如表 4 所示。

表 4 不同快慢车运营模式方案比较
Tab. 4 Comparison of different express/local train operation modes

比较项目	局部四线	三线运营	四线运营
线路系统能力	快慢车同线运营,在车站处增设越行线,线路系统能力一般	快慢车独立运营,快线单向运行,线路系统能力较好	快慢车独立运营,快线双向运行,线路系统能力好
线路空间关系	其中两线处于同一平面,占用空间较少	三线处于同一平面,占用空间适中	四线处于两个平面,占用空间较多
车站布设	车站规模较大	车站规模可灵活调整	车站规模可灵活调整
工程投资	较少	适中	较大
工程适用性	沿线城市发展不均,车站客流差别较大,运能需求不大	沿线城市就业区与居住区划分明显,潮汐客流特征显著,通勤需求较大	沿线城市发展呈组团式集中分布,有双向快速联络需求,各大组团间运能需求较大

4 结语

本文基于深圳市域快线,研究了 3 种市域快线快慢车运营模式设置,获得以下几点结论:

1) 随着城市的扩张,新区不断建设,线路长度随之有所增长,对于旅行速度的要求也越来越高。独立运行的快线势在必行,复线运行模式是未来的发展趋势。

2) 快慢车运营模式需要根据线路特点和旅客需求进行选择,综合比选得出结论,避免功能过剩而造成资源浪费。

3) 工程应根据线路条件和线路周边控制点情况,分段选择适宜的线路要素设置,而不是一味要

求全线统一高速运行。

4) 三线运行模式作为快慢车运营模式设置的一个重要方式,在周边建设条件和工程投资有所限制的情况下,是值得采用的、能满足基本通勤需求的有力保障模式。

参考文献

- [1] 陈睿玮,彭其渊. 纽约地铁快慢线并行模式对带状城市轨道交通线路布置的启示[J]. 交通运输工程与信息学报, 2013, 11(2):70.
CHEN Ruiwei, PENG Qiyuan. Enlightenments from the parallel local/express lines of New York Subway for urban rail network of the ribbon-form cities[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2013, 11(2):70.
- [2] 仲莹莹. 城市轨道交通快慢车与跨线运行配线设计[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(4):21.
ZHONG Yingying. Design of station sidings of urban rail transit for operation of express and normal trains and cross-line operation[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(4):21.
- [3] 魏玉光,夏阳,赖艺欢. 城市轨道交通线路通过能力计算方法研究[J]. 中国铁道科学, 2018, 39(2):112.
WEI Yuguang, XIA Yang, LAI Yihuan. Research on calculation

method of line carrying capacity for urban rail transit[J]. China Railway Science, 2018, 39(2):112.

- [4] 潘学英,魏庆朝,邱丽丽,等. 快慢线模式在北京地铁新线设计中的应用[J]. 都市快轨交通, 2012, 25(5):33.
PAN Xueying, WEI Qingchao, QIU Lili, et al. Mode of express and slow routes applied in the design of Beijing Subway new lines[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2012, 25(5):33.
- [5] 程雯,韩宝明. 北京地铁 6 号线快慢线运营模式设计[J]. 都市快轨交通, 2015, 28(5):71.
CHENG Wen, HAN Baoming. Design of operation mode on Beijing Metro Line 6 as an express and local line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2015, 28(5):71.
- [6] 陈晓峰. 上海轨道交通 16 号线快慢车运行方案研究[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(5):68.
CHEN Xiaofeng. On express/slow train operation program on Shanghai Rail Transit Line 16[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(5):68.
- [7] 缪道平. 地铁快慢车模式车站辅助配线方案研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(6):97.
MIAO Daoping. Research on the scheme for the station sidings in the express/slow metro train organization mode[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(6):97.

(收稿日期:2020-10-15)

(上接第 125 页)

4 结语

本文设计了一种新型的列车静态防滑测试系统。该系统主要由硬件系统和软件系统组成。硬件系统主要由计算机、嵌入式实时控制器、信号输出模块、信号采集模块和压力传感器组成。软件系统的主要功能是完成防滑阀地面检测过程中的阀门状态检测、模拟信号输出、数据的处理与分析、测试数据的显示、数据的存储与管理、测试报告生成等操作。由现场试验可知,该测试系统的试验结果符合预期制动系统运行规律和制动效果,因此该列车静态防滑测试系统可以有效地应用于列车在静止状态下的防滑性能检测,具有较高的实用价值。

为了能够实现全速度范围内不同防滑性能判别依据的分析测试,在未来的工作中将会利用相关的仿真软件对不同阶段的速度进行防滑性能的仿真分析,并根据分析结果设计一种含有多种防滑依据综合判断的测试系统,全面改进和完善静态防滑测试技术。

参考文献

- [1] 周军,曹宏发,陈伟,等. 高速列车防滑系统仿真台架试验标

准和方法研究[J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(2):43.

- ZHOU Jun, CAO Hongfa, CHEN Wei, et al. Test method and standard on simulation rig of wheel slide protection system for high-speed train[J]. Railway Locomotive & Car, 2013, 33(2):43.
- [2] 余接任,钱华,夏帅,等. 城轨车辆制动防滑检测与保护[J]. 机车电传动, 2015(2):94.
YU Jieren, QIAN Hua, XIA Shuai, et al. Brake anti-slide detection and protection for metro vehicles[J]. Electric Drive for Locomotives, 2015(2):94.
- [3] 孙环阳,罗飞平,王群,等. 高速列车防滑控制策略研究[J]. 机车电传动, 2017(5):35.
SUN Huanyang, LUO Feiping, WANG Qun, et al. Study of wheel-slide-protection strategy of high-speed EMUs[J]. Electric Drive for Locomotives, 2017(5):35.
- [4] 张龙平,石喆文,李国庆. 城轨列车混合制动防滑控制技术研究[J]. 铁道车辆, 2017, 55(9):18.
ZHANG Longping, SHI Zhewen, LI Guoqing. Research on the antiskid control technology for mixed braking on urban rail trains[J]. Rolling Stock, 2017, 55(9):18.
- [5] 陈哲明,曾京,罗仁. 列车空气制动防滑控制及其仿真[J]. 铁道学报, 2009, 31(4):25.
CHEN Zheming, ZENG Jing, LUO Ren. Wheel-slip prevention control and simulation under train pneumatic braking[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(4):25.

(收稿日期:2020-08-31)