

考虑多列车种类的快慢车运行模式分析与评价

孙元广¹ 田 梦² 金 华³

(1. 广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州; 2. 苏交科集团股份有限公司, 211100, 南京; 3. 北京交通大学
交通运输部综合交通运输大数据应用技术交通运输行业重点实验室, 100044, 北京//第一作者, 高级工程师)

摘 要 结合福州地铁机场线的实际数据,利用 Open Track 仿真软件对采用不同运行模式的运行组织方案进行了实时动态模拟,并基于模拟结果分析了各方案的运行指标。根据方案运行指标,分析了不同运行模式的优缺点和适用性。基于考虑多种列车类型的快慢车运行模式,可设计出多样的停站方案,能更好地适应客流波动特征。

关键词 列车运行; 快慢车运行模式; 运行指标

中图分类号 U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.08.027

Analysis and Evaluation of Express/Local Mode Considering Multiple Train Types

SUN Yuanguang, TIAN Meng, JIN Hua

Abstract Using field data of Fuzhou Metro Airport Line, Open Track software is adopted to conduct real-time dynamic simulation of operation organization schemes under different operation modes. Based on the simulation results, operation indicators of each scheme are analyzed. According to scheme operation indicators, strengths and shortcomings and adaptability of different operation modes are discussed. Based on operation mode of express/local considering multiple train types, diversified stop schemes can be devised to suit the passenger flow fluctuation characteristics.

Key words train operation; express/local mode; operation indicator

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

快慢车运行模式是指在具备特定客流特征的线路上开行 2 种及以上旅行速度列车的运营组织形式^[1]。慢车在各站停靠,快车通过减少停站数量或提高运行速度来节省出行时间^[2]。目前,快慢车模式虽一般采用 2 种旅行速度的列车,但增开特快列车可进一步提升直达乘客的出行质量。可见,多列车种类更有利于适应线路客流的不规律性。因此,本文研究考虑特快列车的多列车种类组合运行模

式,并同其他运行模式进行对比,进而深化运营组织方案的设计。

利用仿真软件来模拟分析快慢车在实际线路条件下的旅行速度、行车间隔、慢车待避时间等数据指标是十分必要的^[3]:一方面,可验证运行方案在安全要求下是否可行;另一方面,实际数据的对比有助于分析各模式的优劣。

为此,本文基于福州地铁机场线的基本运行条件,设计增开特快列车的混合运行方案,并提出不同年限的快慢车运行方案及站站停运行方案;利用 Open Track 软件仿真计算不同方案的运行效果;分析仿真结果,评价各运行模式的优缺点与适用条件。

1 福州地铁机场线概述

福州地铁机场线起于福州火车站,经福州长乐机场及大鹤站,至大鹤车辆段,其总长度约为 63.3 km。该项目为福州市老城区与滨海新城核心间的快速轨道交通走廊,能够实现 30 min 从福州老城区直达滨海新城,为滨海新城发展提升动力。

线路共设 14 座车站,其中有 12 座换乘站,平均站间距为 4.7 km,采用 6 辆编组市域 A 型列车,列车设计时速为 140 km/h。为满足快慢车运行需求,将高架车站帝封江站和首占站作为越行车站。越行线形式为双岛四线。列车在线路两端车站间进行折返。其中,福州火车站为站前折返,大鹤站为站后折返。

2 仿真模拟

根据福州地铁机场线的实际数据,采用 Open Track 软件对该线路的列车运行进行模拟。Open Track 软件通过对列车运动和行车信号的求解,获得加速度、速度、位移以及信号机状态、路径占用等信息,可使列车按照给定的线路条件,结合其动力性能,根据时刻表进行仿真运行^[4]。

2.1 运行方案

方案一为慢车、快车和特快车组合(以下称为“3 车组合”)运行方案。其中,慢车站站停靠,快车停靠 9 个车站,特快车仅停靠 6 个车站。3 类列车的停站方案如图 1 所示。

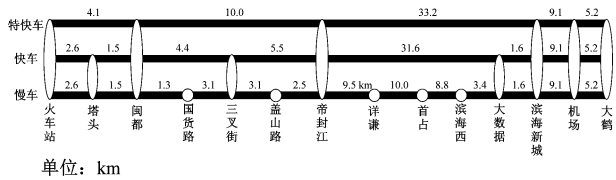


图1 方案一的3类列车停站方案示意图

本文针对线路运营初期、近期及远期的特点,设计了快慢车开行比例为 2:1 的慢车和快车组合(以下称为“2 车组合”)运行方案,同方案一及站站停方案作分析比较。各种运行方案的列车开行对数如表 1 所示。

| 表 1 各方案列车开行对数 | | 单位:对/h | | | |
|---------------|-----------|--------|----|----|----|
| 方案 | 运行模式 | 开行对数 | | | |
| | | 慢车 | 快车 | 特快 | 总计 |
| 方案一 | 3 车组合 | 13 | 6 | 1 | 20 |
| 方案二 | 站站停 | 24 | | | 24 |
| 方案三 | 初期的 2 车组合 | 8 | 4 | | 12 |
| 方案四 | 近期的 2 车组合 | 10 | 5 | | 15 |
| 方案五 | 远期的 2 车组合 | 14 | 7 | | 21 |

2.2 仿真模拟过程

列车仿真运行基于列车牵引计算,需输入车辆牵引性能数据、线路条件、列车运行进路与时刻表信息等数据。本文使用 Open Track 软件进行仿真模拟,不仅能动态显示列车的运行过程,还能实现延误分析等功能^[5],而且在仿真结束后,更能输出多种曲线图表来刻画单列车的性能。

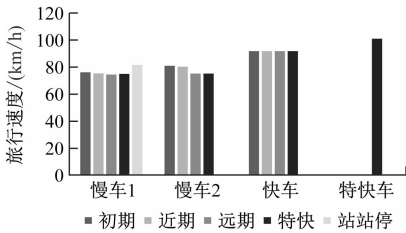
3 运行指标分析

运行指标应准确描述地铁列车运行的状态与特点。由于运行模式对线路通过能力影响较大^[6],对运行安全性与稳定性的要求高,故指标体系应包括基本运行指标、能力指标、安全性指标及鲁棒性指标^[7]。

3.1 基本运行指标

3.1.1 旅行速度

图 2 为不同开行方案旅行速度变化图。



注:慢车 1 表示开行周期内的第 1 列慢速列车,慢车 2 表示开行周期内第 2 列慢速列车。

图 2 不同开行方案旅行速度变化图

对于慢车而言:方案二的慢车旅行速度最大;2 车组合运行方案的部分慢车需待避快车,导致其旅行速度降低。

经计算,方案三和方案四的慢车旅行速度差异约 5 km/h,方案一和方案五的慢车旅行速度基本一致。所有组合方案的快车旅行速度均为 92.0 km/h,特快列车的旅行速度则可达到 101.2 km/h。

3.1.2 运用列车数

各方案的运用列车数如表 2 所示。由表 2 可以看出,随着发车频率的增加,运用列车数也相应增加。对于方案一,由于列车接续困难,运用列车数较大,故而企业运营成本也会增加;此外,列车类型的增多会导致运行线的不均衡程度增大,运用列车数也会更多。

表 2 不同开行方案运用列车数与慢车待避时间对比

| 方案 | 运用列车数/列 | 慢车待避时间/s | |
|-----|---------|----------|-----|
| | | 帝封江站 | 首占站 |
| 方案一 | 36 | 220 | 190 |
| 方案二 | 39 | | |
| 方案三 | 20 | 265 | 210 |
| 方案四 | 24 | 225 | 190 |
| 方案五 | 35 | 225 | 190 |

3.2 能力指标

3.2.1 越行线利用率

分析帝封江站与首占站的越行线占用情况可以发现:在运营初期,越行站利用率较低,上下行方向均只使用了 1 个越行站的侧线进行越行作业。对于方案一、方案三及方案四来说,虽然发车频率增大后 4 条越行线均被使用,但越行线的总体利用率不高,越行时的间隔约束才是影响组合运行方案通行能力的关键。

3.2.2 折返能力

由于福州火车站站与大鹤站的折返形式不同,

各方案的列车折返能力也不尽相同。在方案三和方案四中,大鹤站的折返线较空闲,部分列车在福州火车站站的折返线上停留时间较长,其折返线的综合利用率较小,折返能力仍有富余。方案一、方案二及方案五的折返线利用率较高,基本接近饱和。

3.3 安全性指标

3.3.1 最小间隔时间

各方案中不同类列车间的最小追踪间隔时间如表 3 所示。其中快车间、慢车间的追踪间隔时间随着发车频率的增加而减小,特快方案与远期方案相比,通过压缩快车间隔时间为特快列车预留空间。快、慢车之间的最小追踪间隔时间主要在越行站取得,其中初、近期方案出于均衡发车间隔的考虑,快-慢以及慢-快的间隔时间增加,远期方案则由于发车频率较高,快、慢车之间的最小追踪间隔时间被压缩。

| 表 3 不同开行方案最小追踪间隔时间对比 | | | | | | |
|----------------------|--------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| 前后车组合 | 安全间隔/s | 各方案的运行间隔时间/s | | | | |
| | | 方案一 | 方案二 | 方案三 | 方案四 | 方案五 |
| 快车-快车 | 90 | 500 | | 900 | 720 | 513 |
| 慢车-慢车 | 990 | 148 | 150 | 335 | 298 | 148 |
| 快车-慢车 | 90 | 90 | | 110 | 130 | 90 |
| 慢车-快车 | 60 | 93 | | 133 | 81 | 93 |
| 特快车-慢车 | 90 | 90 | | | | |
| 慢车-特快车 | 60 | 93 | | | | |

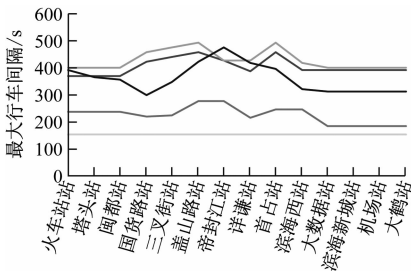
3.3.2 慢车待避时间

快车和特快车在帝封江站停站通过,而在首占站直接通过。因此,帝封江站的慢车待避时间更长。仿真计算发现,各方案的慢车待避时间接近。其中,方案三属于初期方案,发车间隔较大,需通过增加慢车待避时间来平衡各方向的发车间隔。其他方案的发车间隔较小,不需增加慢车待避时间。

3.4 鲁棒性指标

3.4.1 最大行车间隔时间

图 3 为各方案的最大行车间隔时间变化。从图 3 可以看出,除了站站停方案在各站的行车间隔时间均相等之外,其余方案的最大行车间隔时间均有变化。从空间分布上来看,帝封江站和首占站的最大行车间隔时间有明显的高峰。对于初、近和远期方案而言,随着发车间隔的缩小,最大行车间隔时间变小,但是特快方案中列车差异较大,最大行车间隔时间反而增大。



— 初期 — 近期 — 远期 — 特快车 — 站站停
图 3 不同开行方案最大行车间隔时间变化图

3.4.2 延误时间

分析延误时间可有效评价运行方案的稳定性,有助于发现通行能力瓶颈,并增强运行方案的抗干扰能力^[8]。除了方案二外,其余方案均会产生延误情况,帝封江站、首占站、大鹤站及福州火车站站等越行站和折返站是延误高发站。所有方案的最大延误时间仅为 1 min 左右。此时,线路基本能按计划行车。如快慢车组合运行方案的开行密度越高,则运行图的不均衡性越大,相邻列车间的影响程度就越大,进而使延误时间越长。

4 运行模式评价

根据上述方案的运行指标分析,对不同的运行模式进行总体评价。

4.1 站站停模式

4.1.1 模式的优缺点

优点:在线路通过能力方面,站站停方案能充分利用线路资源,折返线利用率较高,线路通过能力可达到最大值。此外,列车在运行过程中的追踪间隔稳定,运行效果好,且鲁棒性强,易于调整;列车运行过程中不发生越行,运行组织难度较低。

缺点:站站停模式中所有列车均在每站停靠,列车旅行速度较低,对于客流不均衡的适应性较差。

4.1.2 模式的适用性

站站停模式能最大程度地利用线路资源,提高线路通过能力,对于客流规模较大、通过能力接近饱和的线路来说适用性较强,但对线路客流不均衡,波动明显的情况适应性较差。此外,当线路不具备相应的越行配线条件时,宜采用站站停方案。

4.2 2 车组合运行模式

4.2.1 模式的优缺点

优点:在 2 车组合运行模式下,快车旅行速度可达到 92.0 km/h。相较于站站停模式,2 车组合运行模式的列车平均旅行速度大幅提高,其对于直达乘

客的服务质量较高。

从能力上来看,采用2车组合运行模式的线路通过能力受到越行与折返能力的限制,仅为21对/h,线路通过能力损失较大。越行站和折返站同样是延误高发点。延误时间在越行站处有明显高峰,说明越行对快车和慢车的运行稳定性产生了较大影响,鲁棒性较差。此外,快慢车组合运行不仅会增加乘客在站台的平均等待时间,还会增加慢车乘客的出行时间,故在运营中需结合客流特征使用。

4.2.2 模式的适用性

2车组合运行模式能明显提升部分快车的旅行速度,适用于存在明显站间直达客流的线路。此外,受通过能力损失的影响,2车组合运行模式只能用于通行能力富余、客流量不太大的线路。

4.3 3车组合运行模式

4.3.1 优缺点

方案一的特快列车旅行速度可达101.2 km/h。可见该运行模式下,列车运行速度得到了进一步提升,出行时间大幅压缩。车底需要数较站站停模式有所下降,但比2车组合运行模式略多。在3车组合运行模式下,同类列车的最小追踪间隔较小,故而乘客在车站的等待时间相对较短。

3车组合运行模式下不同列车的差异性较大。对福州地铁机场线而言,大鹤站和福州火车站站的折返能力基本饱和,越行线的利用率已达到最大,多方面的限制导致能力较小。经比较发现,在3车组合运行模式下,折返站的延误更加明显,折返间隔也已缩至最小,最大行车间隔波动明显,对运行组织要求较高。此外,慢车的待避时间过长,运营效果略差。

4.3.2 模式的适用性

在3车组合运行模式下,福州地铁机场线的特快列车旅行速度提高到100.0 km/h以上,显著降低

了旅客出行时间。可见该模式更适于部分站间OD(起终点)客流较大,并且对时间要求较高的线路,有利于提高乘客服务水平。此外,该模式下的折返条件对于线路通过能力的影响较大,故该模式仅能在客流需求较小、开行密度较低的情况下使用。

5 结语

本文使用Open Track软件,以福州地铁机场线为例,对不同运行方案进行仿真模拟,并分析了各运行方案的运行指标,探讨了不同运行模式的优缺点与适用性。

研究表明:站站停模式作为最基本的运行模式,能在大部分线路中运行,适用性较强;快慢车模式对于提高客流不均衡线路的服务水平有重要作用;具有特快列车的快慢车模式能有效提升旅行速度,提高直达乘客的服务水平。

参考文献

- [1] 孙元广,冉昕晨,杨帆航,等.城市轨道交通快慢车开行方案设计与评价研究[J].铁道科学与工程学报,2018(1):233.
- [2] 孙元广,史海欧.市域线快慢车组合运营模式研究与实践[J].都市快轨交通,2013(2):14.
- [3] 宋键,徐瑞华,缪和平.市域快速轨道交通线开行快慢车问题的研究[J].城市轨道交通研究,2006(12):23.
- [4] 吴刚.城市轨道交通快慢车仿真研究[J].机电工程技术,2014(6):21.
- [5] 谢蜀劲.轨道交通运行仿真程序的发展现状及展望[J].城市轨道交通研究,2006(10):64.
- [6] 赵源,丁小兵,徐行方.快慢车模式下城市轨道交通线路通过能力分析与计算方法[J].城市轨道交通研究,2018(10):16.
- [7] 赵文翰,蒲琪,樊茜琪,等.城市轨道交通运营管理评价指标体系研究[J].城市轨道交通研究,2018(3):52.
- [8] 曹志超,袁振洲,李得伟,等.城市轨道交通列车运行图鲁棒性优化模型[J].中国铁道科学,2017(3):130.

(收稿日期:2019-08-20)

“那是一条神奇的天路”——习近平总书记走进拉林铁路

7月22日上午,习近平总书记来到林芝火车站,了解川藏铁路总体规划及拉萨至林芝段建设运营等情况,随后乘火车前往拉萨市,实地察看拉林铁路沿线建设情况,深入研究有关问题。拉林铁路是我国首条高原电气化铁路,90%以上的线路在海拔3000 m以上,16次跨越雅鲁藏布江,沿线地形地质条件极为复杂,施工难度极大。历时6年多的修建,于2021年6月25日开通运营。拉林铁路全长435.48 km,设计时速160 km,沿途共设9个车站,拉萨至林芝最快3 h 29 min可达。拉林铁路连接既有的拉日和青藏铁路,还是在建的川藏铁路的重要组成部分、规划的滇藏铁路的共线路段。它的建成通车,结束了藏东南地区不通铁路的历史,进一步完善了区域铁路网布局,提升了交通运输的稳定性和通达性,人们终于实现了“坐着复兴号去拉萨”的梦想。

(摘录自2021年7月23日10:27:59中央广播电视总台央视新闻,记者 肖冰毅、张宇、潘毅等报道)