

城市轨道交通线路单向阻塞条件下的 交路调整及优化分析*

刘小娣¹ 曾俊伟² 张锦龙^{3**}

(1. 天津铁道职业技术学院, 300240, 天津; 2. 兰州交通大学交通运输学院, 730070, 兰州;
3. 天津三号线轨道交通运营有限公司, 300384, 天津//第一作者, 助教)

摘 要 分析了城市轨道交通线路单向阻塞条件下的行车交路方案、交路特点、适用条件以及优缺点。结合天津轨道交通 2 号线的运营实例,对“单侧小交路+单线双方向”、“双侧小交路+单线双方向”2 种行车调整方案的组织流程进行分析,探究了 2 种方案下单线双方向的列车发车间隔,以及行车值班员的工作量。基于上述 2 种方案提出了列车混跑的优化思路,以期在现场运营管理提供参考。

关键词 城市轨道交通;单向阻塞;行车调整;大小交路;列车混跑

中图分类号 F530.7;U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.03.008

Adjustment and Optimization of Urban Rail Transit Routing under One-way Blocking Condition

LIU Xiaodi, ZENG Junwei, ZHANG Jinlong

Abstract The traffic routing schemes, routing characteristics, applicable conditions, advantages and disadvantages of urban rail transit lines under one-way blocking condition are analyzed. Taking Tianjin Metro Line 2 as an example, the organizational processes of "unilateral short routing + single track" and "bilateral short routing + single track" two schemes are analyzed. The departing time interval of single track two-way train and the workload of train operators on duty under the two schemes are explored. Finally, an optimization of mixed train operation is proposed to provide reference for the on-site operation management.

Key words urban rail transit; one-way block; train operation adjustment; long and short routing operation; mixed traffic

First-author's address Tianjin Railway Technical and Vocational College, 300240, Tianjin, China

单向阻塞是城市轨道交通正线范围内由于某些原因导致列车不能正常运行,致使上行或下行正线部分区段运营中断的非正常运行,需采取如小交路、单线双方向运行等方式维持线路的临时运营。通常造成线路单向阻塞的原因可归纳为设备、环境和人为等 3 种因素^[1],其中设备因素即软硬件故障,包括轨道线路故障、车辆故障、信号故障和供电故障等;环境因素包括火灾、水患及恶劣天气等外部因素;人为因素主要包括行车指挥者大意、设备操作失误及乘客不按照规定乘车等。通常诱发线路单向阻塞的诸多因素间会相互影响,且具有随机不确定性。

结合城市轨道交通线路的运营实践,因设备故障或列车故障造成正线上行/下行或部分区段阻塞是较为常见的行车事件,应采取合理、有效的应急调整策略对线路的行车交路进行调整,将因阻塞对全线运营秩序的影响降至最低^[2]。

1 单向阻塞条件下的列车运行交路

1.1 列车运行交路

城市轨道交通线路的列车运行交路是指列车在规定正线区段内往返运行的回路,一般采用双线单向右侧行车制。部分线路(如北京地铁 4 号线、天津轨道交通 5 号线)为了优化运能与运量的匹配度,结合全线客流分布特点,采取大小交路套跑的运行模式。相比单一交路模式,大小交路模式的行车和客运组织更为复杂^[3]。

1.2 单向阻塞条件下列车的运行交路及特点

当城市轨道交通正线出现单向阻塞、被迫变更

* 国家社科基金项目(15BJY037);甘肃省自然科学基金项目(18JR3RA119)

** 通信作者

行车交路时,其调整原则为:优先考虑在具有折返能力的中间站进行清客折返,列车经渡线/存车线折返到另一方向线路后继续载客运行。交路调整措施可在一定程度上弥补因阻塞造成掉线的车次,同时最大限度保证行车间隔。考虑到线路设计约束及阻塞点位置分布,在线路发生单向阻塞时一般有2种行车交路调整方式:

- 1) 如图1 a)所示,若阻塞点靠近线路任意一端时,优先采取单侧小交路+单线双方向(以下简称“单侧+单线”)调整方案。
- 2) 如图1 b)所示,若阻塞点位于线路中间区段时,优先采取双侧小交路+单线双方向(以下简称“双侧+单线”)调整方案。

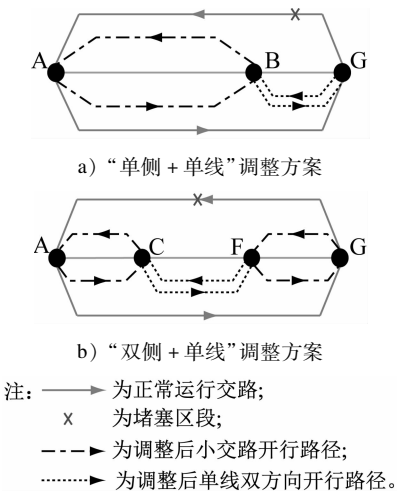


图1 正线单向阻塞条件下列车交路调整示意图

1.2.1 “单侧+单线”调整方案

如图1 a)所示,当阻塞点靠近正线某一端时,采用“单侧+单线”方案能够最大限度保证非堵塞区段(A—B)的行车间隔。由于小交路折返站B至终点站G的上行或下行一侧线路阻塞,只能被迫在另一侧组织单线双方向行车,即B至G间只安排1列车往返载客运行,此时B—G间最小行车间隔取决于单线双方向列车发车间隔(即列车经由B—G—B的运行时长)。一般情况下,由于线路两端的客流量相对较少,启用该调整方案对乘客的影响相对较小。

1.2.2 “双侧+单线”调整方案

如图1 b)所示,当阻塞点靠近正线中间区段时,若采用“单侧+单线”方案,势必会对单线双方向一侧行车间隔造成较大影响,此时优先选择“双侧+单线”开行模式。此调整方案下C—F间的最

小行车间隔仍取决于单线双方向列车发车间隔(即列车经由C—F—C的运行时长)。启用该调整方案能最大限度保证线路两端的运能不受影响,但是由于阻塞点位于线路中间区段,此方案也易造成中间站乘客滞留,增加中间站的客运组织难度,同时也增加了乘客的换乘次数,降低了乘客的出行体验。

1.3 单线双方向区段列车的发车间隔

在单线双方向区段运行的列车,其发车间隔的计算公式为^[4-5]:

$$T=2\left(\sum_{i=1}^{n-1}t_{i,\text{运行}}+\sum_{i=1}^nt_{i,\text{站停}}\right)+\sum_{i=1}^n\Delta t_{i,\text{延误}}\tag{1}$$

式中:

- T ——单线双方向区段的列车发车间隔;
- i ——单线双方向区段内列车运行经过的第*i*个车站;
- n ——单线双方向区段内的车站总数;
- $t_{i,\text{运行}}$ ——列车在区段内相邻2个车站间的运行时间;
- $t_{i,\text{站停}}$ ——列车在第*i*站的停站时间;
- $\Delta t_{i,\text{延误}}$ ——列车在车站办理闭塞、客运组织、接收及执行调令过程中可能造成的延误时间。

$\Delta t_{i,\text{延误}}$ 很大程度上取决于各岗位人员的业务熟练程度。另外,由于单线双方向运行列车在终点站无需折返,仅需换端,且该作业与乘降作业同时进行,因此司机换端时间可不纳入计算范畴。

2 单向阻塞情况下行车交路调整实例分析

城市轨道交通正线发生单向阻塞时,通常采取上述2种方案维持临时运营,在具体的运营组织中还经常与其他行车调整方式相结合,如扣车、缩短或延长发车时间、跳停、列车下线等,以实现最佳的调整效果。本文结合案例分别对2种行车调整方案及组织流程进行分析。

2.1 线路故障情景设定

城市轨道交通线路故障具有随机不确定性,为方便说明组织流程,本文以天津轨道交通2号线为例分析。如图2所示,基于2号线的线路布局设定故障情景如下:

- 1) 阻塞情景①:假设105次运行至咸阳路站下行出站时因线路故障无法通过。
- 2) 阻塞情景②:假设116次运行至天津站上行出站时因线路故障无法通过。

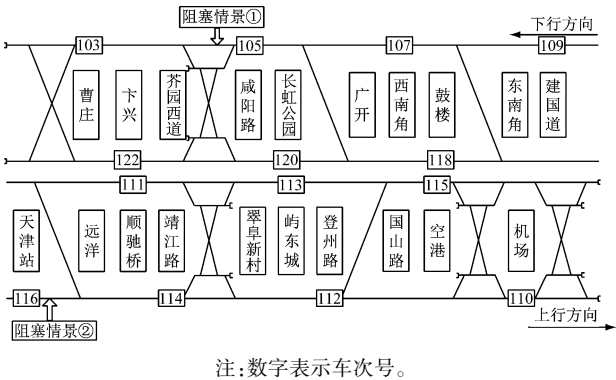


图2 天津轨道交通2号线阻塞情景示意图

2.2 阻塞情景①下的行车调整流程

- 1) 步骤1:接到司机报告列车故障后,OCC(运营控制中心)马上启动应急调整方案,扣停105次列车,并命令105次列车换端,反方向运行至咸阳路站下行站台,开门待命。
- 2) 步骤2:通知107次列车运行至下行长虹公园站开门待命,下行的其余后续列车延长站停时间。同时告知全线车站因咸阳路上行线路阻塞,部分列车运行时间延长,令相关专业抢险队伍赶赴故障点抢修。
- 3) 步骤3:上报OCC值班主任,申请启动“单侧+单线”行车调整方案,即:在长虹公园站至机场站实行小交路行车,自下行107次起后续列车在长虹公园站清客折返;在长虹公园站至曹庄站上行单线双方向运行列车发902次临时列车(由下行103次列车折返后担当)。经值班主任同意后,行车调度通知全线司机及车站变更行车交路信息,同时告知长虹公园站作为小交路新的终点站,做好客运组织。
- 4) 步骤4:小交路运行区段可视情况调整行车间隔;通知车辆段(停车场)备用车上线,随时待命。
- 5) 步骤5:视故障修复情况继续执行交路运行或恢复按图行车。

2.3 阻塞情景②下的行车调整流程

- 阻塞情景②下组织流程的步骤1、2与阻塞情景①相同。
- 步骤3中,OCC启动“双侧+单线”行车调整方案,即:在天津站站至机场站区段实行小交路行车,自111次开始清客折返;曹庄站至东南角站实行小交路行车,自118次开始清客折返;天津站站至东南角站下行单线双方向运行列车发901次临时列车(由下行113次列车担当)。同时通知东南角站、天

津站站作为新的折返站,做好客运组织。

其后续行车调整与情景①相似,视线路两端车辆运用情况适当上线或下线部分列车,以保证小交路行车间隔。

2.4 单线双方向列车发车间隔实例计算

以2号线平日图为例进行计算。正常运营期间,2号线的最小行车间隔为5 min,最大行车间隔7.5 min。结合《2号线列车运行图使用说明》中列车运行参数^[6],当线路出现单向阻塞时单线双方向列车的最小发车间隔利用式(1)计算,结果如表1所示。

表1 天津轨道交通2号线单向阻塞情况下单线双方向区段的发车间隔

阻塞点位	调整方案	单线双方向区段	T/s
曹庄站	单侧+单线	曹庄站至芥园西道站	610
卞兴站	单侧+单线	曹庄站至芥园西道站	610
芥园西道站	单侧+单线	曹庄站至芥园西道站	610
咸阳路站	单侧+单线	曹庄站至长虹公园站	1 196
长虹公园站	单侧+单线	曹庄站至长虹公园站	1 196
广开站	单侧+单线	曹庄站至鼓楼站	1 948
西南角站	单侧+单线	曹庄站至鼓楼站	1 948
鼓楼站	单侧+单线	曹庄站至鼓楼站	1 948
东南角站	双侧+单线	东南角站至天津站	610
建国道站	双侧+单线	东南角站至天津站	610
天津站站	双侧+单线	东南角站至天津站	610
远洋站	双侧+单线	远洋站至靖江路站	502
顺驰桥站	双侧+单线	远洋站至靖江路站	502
靖江路站	双侧+单线	远洋站至靖江路站	502
翠阜新村站	单侧+单线	翠阜新村站至机场站	1 908
屿东城站	单侧+单线	翠阜新村站至机场站	1 908
登州路站	单侧+单线	翠阜新村站至机场站	1 908
国山路站	单侧+单线	国山路站至机场站	1 000
空港站	单侧+单线	国山路站至机场站	1 000
机场站	单侧+单线	空港站至机场站	1 000

当采取“单侧+单线”方案时,单线双方向区段的列车发车间隔随阻塞点不同而发生跳跃式变化,可见正线范围内折返线/渡线的设置可有效提升线路阻塞时的行车效率。例如,咸阳路站后折返线、广开站后单渡线的设置,有效缩短了阻塞时单向双方向列车的运行区段,从而缩短了发车间隔。但是,当采取“双侧+单线”方案时,单线双方向区段的列车发车间隔明显缩短,但该方案会额外增加乘

客的换乘次数,中间区段的车站容易造成客流积压,选择实施该方案时应慎重。

2.5 不同车站行车值班员的工作任务

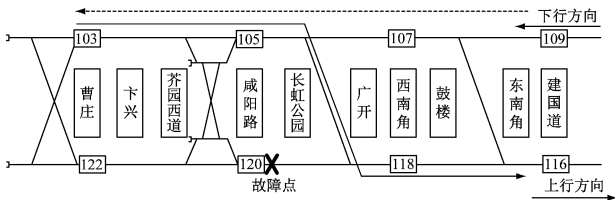
当正线范围内因故阻塞采取小交路行车时,行车指挥权通常交由车站行车值班员(以下简称“行值”)负责。行值的业务熟练程度决定了该站接发列车的效率。在单线双方向运行区域的车站,按照规定须执行电话闭塞法行车,行值的具体工作包括记录本站列车到发时刻、向前方站请求闭塞、填写路票、同意后方站闭塞请求、向行车调度员报点等;小交路折返车站行值的工作包括及时排列列车折返进路、同意单线双方向一侧车站闭塞请求、监控本站范围内列车运行、向行车调度员报点等;阻塞点位置车站的行值除了接单侧列车的工作外,还需负责故障抢险相关工作,主要包括办理抢修施工作业票、向各专业通报故障、向行车调度上报抢修进度、故障恢复后出清线路等。小交路折返站行值的工作量明显要比一般车站行值的工作量多,且任务繁琐,因此在正线具有折返能力的车站配备的行值需要有更高的业务水平和处置经验。

2.6 2种方案实施过程优化探讨

上述2种调整方案在实际处置中可视线路布线情况灵活运用,旨在保证行车间隔的同时最大程度减少列车清客,进而降低车站的客运组织难度,乘客也不会因线路堵塞导致满意度降至最低。现假设线路阻塞点出现在咸阳路站上行出站处,如图3所示,此时行车调整仍选择“单侧+单线”方案,则单线双方向运行区域为长虹公园站至曹庄站下行线,在长虹公园站至机场站区段采取小交路行车。由于长虹公园站与广开站之间仅有单渡线,为避免小交路折返列车与单线双方向列车在运行时发生冲突,只有当小交路列车折返至广开站上行站台后,单线双方向列车才能进入长虹公园站下行站台作业。换言之,只有当单线双方向列车出清长虹公园站下行站台后,小交路折返列车才能进入长虹公园折返站作业。此种运营调整方式只适用于较大行车间隔时的运营调整,当行车间隔较小时会严重影响小交路的折返效率。因此,本文针对此类情况将“单侧+单线”方案进行优化。

如图3所示,假定阻塞点位于上行120次出站位置,此时优先启动“单侧+单线”调整方案,为避免冲突等待,可组织单线双方向列车与小交路列车

进行混跑,即原本要进入小交路折返的107次列车可临时指定为单线双方向列车直接运行至终点站曹庄站(图3中的虚线运行路径),109次列车在长虹公园站清客后进入小交路折返。当107次列车反方向运行至长虹公园站后,可直接经单渡线加入小交路运营(图3中的实线运行路径)。后续可视小交路行车间隔选择间隔1列次或2列次组织单线双方向列车与小交路列车混跑。对于“双侧+单线”方案亦可效仿此种混跑模式,但在追求效率的同时一定要守好行车安全红线,这需要行车调度员、列车司机和小交路折返站行值之间的密切配合。



注:数字表示车次号。

图3 单向阻塞条件下行车调整优化示意图

3 结语

本文对单向阻塞情况下城市轨道交通线路的行车交路调整方法进行了探讨,分析了“单侧+单线”和“双侧+单线”2种行车交路调整方案实施的优缺点,讨论过程中加入运营实例进行分析和计算。在此基础上本文结合案例的线路布线特点,提出了单线双方向列车与小交路列车混跑的优化方案。该优化方案既能降低车站作业难度,减少工作量,同时又能减少列车清客频次,提高乘客乘车体验,可为单向阻塞情况下的运营调整提供一种思路。

参考文献

- [1] 刘意,陈东.城市轨道交通列车大小交路开行方案优化[J].铁路运输与经济,2019(2):117.
- [2] 刘浩江.小交路运行在地铁行车组织中的应用[J].城市轨道交通研究,2011(5):91.
- [3] 宋焱.轨道交通行车调度调整方法探讨[J].都市快轨交通,2013(2):70.
- [4] 陈福贵.地铁单向加车小交路方案研究[J].都市快轨交通,2019(1):123.
- [5] 李红艳,范君晖.上海轨道交通9号线大小交路运行模式研究[J].城市轨道交通研究,2012(1):84.
- [6] 天津轨道交通运营集团有限公司.2号线列车运行图使用说明[R].天津:天津轨道交通运营集团有限公司,2019.

(收稿日期:2019-04-19)