

# 城市轨道交通同站台对向换乘列车 衔接优化方法研究

孙孟毅<sup>1</sup> 宋倩茹<sup>2</sup>

(1. 青岛地铁运营有限公司, 266101, 青岛; 2. 青岛青铁轨道交通产业研究院有限公司, 266101, 青岛//第一作者, 工程师)

**摘 要** 同站台对向换乘方式在方便乘客换乘的同时也增加了换乘站的运营管理压力。两条线路间列车的衔接组织直接影响线路的运输效率和安全。在分析同站台对向换乘优缺点及影响列车衔接组织主要因素的基础上,考虑实际人员操作、列车运行不准点的影响,以优化换乘乘客的站台候车时间为目标,针对客流高峰时段和客流非高峰时段分别提出了列车运行图的优化方法。以青岛地铁五四广场站为例进行了实例分析,以验证3种优化方法的有效性。这些优化方法节省了换乘乘客的站台候车时间。

**关键词** 城市轨道交通; 同站台对向换乘; 站台候车时间  
**中图分类号** U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.07.032

## Study on Urban Rail Transit One-platform-opposite-transfer Train Connection Optimization Method

SUN Mengyi, SONG Qianru

**Abstract** While one-platform-opposite-transfer brings convenience to passengers, it increases pressure on the operation management of transfer station as well. The connection organization of trains on the two lines directly affects the transportation efficiency and safety. Based on the analysis of advantages and disadvantages of one-platform-opposite-transfer and the main factors affecting the connection organization, considering the actual personnel operations and train running inaccuracy, an optimization and adjustment method of train operation diagram during the peak and off-peak hours is proposed for the purpose of saving the transfer passengers' waiting time on the platform. Taking the May 4th Square Station of Qingdao Metro as an example, calculation and analysis are carried out to verify the effectiveness of the three optimization methods. These methods can help passengers to save waiting time on the platform while transferring and can also provide a feasible reference for the optimization of train connection organization in urban rail transit one-platform-opposite-transfer.

**Key words** urban rail transit; one-platform-opposite-trans-

fer; platform waiting time

**First-author's address** Qingdao Metro Operation Co., Ltd., 266101, Qingdao, China

城市轨道交通同站台换乘是指两条线路共用一个岛式站台,乘客可从某线路的列车下车后,直接在同一站台上等待另一条线路的列车的换乘方式,可极大地方便换乘乘客。

同站台换乘可分为同站台同向换乘和同站台对向换乘两种,本文以同站台对向换乘为研究对象。同站台对向换乘方式下,如果两条换乘线路之间的列车衔接不合理,则可能降低换乘服务水平,使之成为客流组织的瓶颈,进而在一定程度上影响线网中部分线路的运输效率,导致乘客出行时间增加。

## 1 同站台对向换乘布置形式的优缺点

常见的同站台对向换乘站布置形式如图1所示<sup>[1]</sup>。其优点主要是短距离换乘、便捷高效。其缺点是:①通常只能满足一个方向上的短距离相互换乘,其他方向上的相互换乘依然需要通过站厅或通道来完成,具有局限性;②因站台面积有限,若大量客流集中到达,站台的缓冲能力较差;③基于乘客心理,易导致争抢上车,以及列车夹人、夹物事件的发生;④若两线中任一条线路在某个方向发生列车延误,容易因候车乘客滞留导致站台过度拥挤,安全管理风险较高。因此,同站台对向换乘方式对两条线路列车到发的合理衔接提出了很高的要求。

## 2 同站台对向换乘线间列车到发衔接的影响因素

### 2.1 列车到达间隔时间 $t_d$

列车到达间隔时间是指同线路同方向上连续

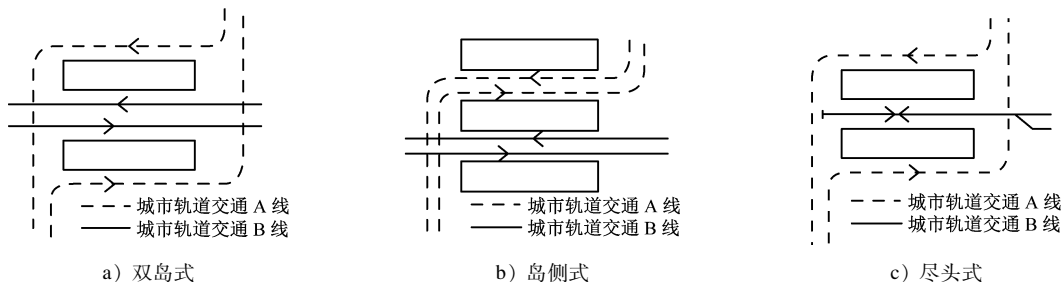


图1 常见的同站台对向换乘站布置形式

Fig. 1 Common layout of one-platform-opposite-transfer station

两列车到达车站的时刻之差<sup>[1]</sup>。 $t_j$ 由实际客流量决定,是列车运行图的重要参数。对于同站台对向换乘站的共用站台,两线间列车到达间隔的匹配应在满足换乘客流安全、有效疏导的同时,兼顾换乘的便捷性。在客流高峰时段(以下简称“高峰时段”)换乘客流密集到达时,需要错开两条线路的列车到达时间,以避免发生因站台拥挤引发安全事故;在客流非高峰时段(以下简称“非高峰时段”),换乘客流相对较小,列车的到发时间应尽可能满足换乘乘客“零等待”的需求。在实际的运营管理中,即使在非晚点的情况下,受司机等人员的操作影响,相对图定的到发时刻,列车的实际到发时间存有少量偏差是难以避免的。为保证同站台对向换乘的服务水平,在进行线间列车到发衔接组织方案设计时,少量的到发时刻偏差也应予以考虑。

## 2.2 乘客换乘时间 $t_h$

乘客换乘时间是指乘客走出列车、进入上车站台直至列车到达车站的时间总和,包含换乘走行时间、排队购票时间和站台候车时间,反映出乘客换乘过程的便捷性<sup>[2]</sup>。由于同站台对向换乘方式下乘客的换乘走行时间可忽略不计,且换乘过程一般无须重新购票,因此,该方式下的换乘时间主要为换乘乘客在共用站台的平均候车时间 $t_h$ 。本文将 $t_h$ 作为线间列车到发衔接组织的优化目标:

$$\bar{t}_h = t_w / P \quad (1)$$

式中:

$t_w$ ——统计期内换乘乘客在共用站台的累计候车时间;

$P$ ——统计期内共用站台上换乘乘客总人数。

## 2.3 其他影响因素

在乘客的换乘过程中,共用站台的面积、两条线路的列车编组数对站台拥挤程度有一定的影响。但目前已有较为成熟的规划、设计及建设标准对其予以规范和约束,在运营过程中还可根据实际客流

情况采取运力调整、站内客流控制等举措加以管控。此外,设备故障、列车火灾等突发事件也会对换乘线路间的列车到发衔接产生直接影响,但这些突发事件具有不确定性,故本文暂不将其纳入研究范畴。本文仅重点对列车间隔时间 $t_j$ 及乘客换乘时间 $t_h$ 进行分析。

## 3 同站台对向换乘线间列车到发衔接的优化方法

### 3.1 主要影响因素的影响机理分析

#### 3.1.1 $t_j$ 的影响机理

对于某个换乘车站而言,列车连续而有规律的到达具有周期性。本文以优化 $t_j$ 、 $t_h$ 为主要目标,假定两条线路的列车到达间隔时间相同,且在共用站台的停站时间也相同,该理想情况下乘客换乘等待时间最小。在此基础上,进一步考虑客流、人员操作等不同因素的影响。

基于实际的列车运行及人员作业等影响因素,两条线路的列车同时到站上下客的情况如图2所示。图2中: $t_{A,图停}$ 、 $t_{B,图停}$ 分别表示A线、B线列车在共用站台的图定停站时间; $t_{B,到延}$ 为与图定计划相比B线列车到达车站所延误的时间; $t_{A,早发}$ 为与图定计划相比A线列车驶离车站所提前的时间; $t_1$ 为A线、B线列车同时在车站停车时的交集时间; $t_2$ 为A、B两线列车车门均处于打开状态的时间; $t_3$ 为司机关闭车门准备发车的时间。

如图2所示,优化的目标转化为使 $t_1$ 尽可能大。如 $t_{A,图停}$ 与 $t_{B,图停}$ 不相等时, $t_1$ 取 $t_{A,图停}$ 、 $t_{B,图停}$ 中的较小值;当 $t_{A,图停}$ 、 $t_{B,图停}$ 与 $t_1$ 均相等时,两条线路列车将实现同时到发(即同一时间A线、B线列车均到达共用站台,经相同的停站时间后同时驶离)。而在实际运营中,考虑到列车司机操作等因素的影响,要严格把控 $t_3$ (一般在岗位人员作业标准中有相关的规定),并尽量减小 $t_{B,到延}$ 和 $t_{A,早发}$ ,以贴合列车

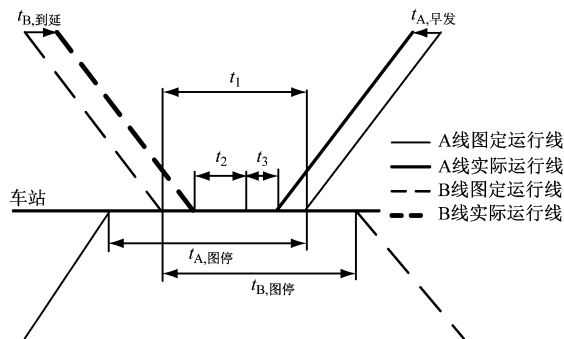


图2 两条线路列车同时在站示意图

Fig. 2 Trains from two different lines parking in station at the same time

运行图的开行计划。

在高峰时段,将两条线路列车错开到发,即一条线路的列车驶离车站后另一条线路的列车再驶入车站,这样可减少下车乘客目睹邻线列车关门动车而无法换乘的情况,此时列车运行及人员作业对列车到达间隔的影响如图3所示。图3中, $t_4$ 为两条线路的列车实际运行时错开到发的时间差,应观测现场的实际情况予以确定。在编制列车运行图时,还应考虑B线列车提前到达时间 $t_{B,早到}$ 和A线列车延迟发车时间 $t_{A,晚发}$ ,以确定两线列车错开到发的最小时间间隔 $t_5$ 。

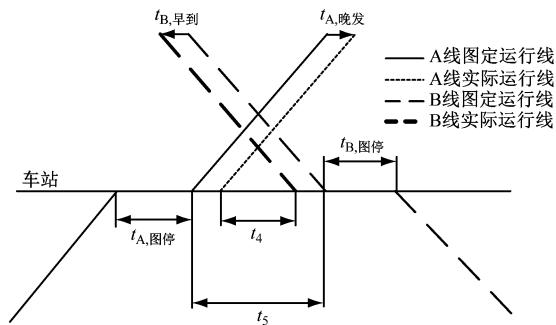
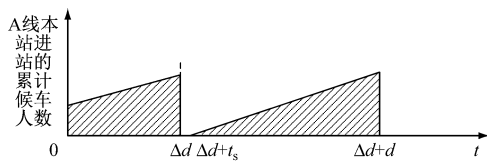


图3 两条线路列车错开到发示意图

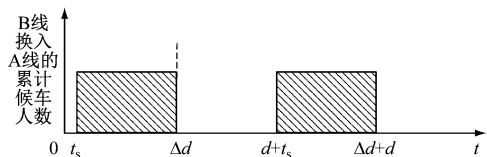
Fig. 3 Diagram of staggered arrival and departure of trains on two lines

### 3.1.2 $\bar{t}_h$ 的影响机理

在不考虑列车运行时间波动及突发大客流的情况下,设B线换入A线方向的站台为共用岛式站台,共用站台上换乘客流的累计候车人数与A线、B线的 $t_j$ 密切相关,且在1个 $t_j$ 周期内具有规律性,如图4所示。图4中:两条线路列车的停站时间均为 $t_s$ ,两条线路的 $t_j$ 均为 $d$ , $\Delta d$ 为周期 $d$ 内两线列车到达时间的差值。



a) A线本站进站的累计候车人数



b) B线换入A线的累计候车人数

图4 2个 $t_j$ 周期内A线站台的累计候车人数动态变化规律Fig. 4 Dynamic change of cumulative waiting passenger number at the A-line platform in two  $t_j$  periods

由图4可知, $\bar{t}_h$ 的计算式为:

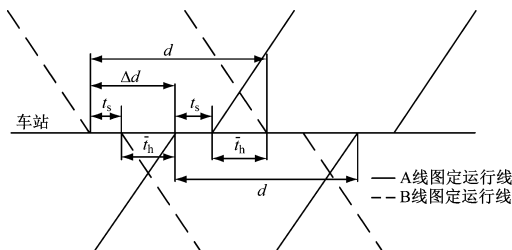
$$\bar{t}_h = \begin{cases} 0, & 0 \leq \Delta d < t_s \\ \Delta d - t_s, & t_s \leq \Delta d < d - t_s \\ 0, & d - t_s \leq \Delta d < d \end{cases} \quad (2)$$

在不考虑乘客上、下车时间及站台走行时间的情况下,如站台两侧列车同时停站,则 $\bar{t}_h = 0$ ;如站台两侧列车未同时停站,则 $\bar{t}_h > 0$ ,且 $\bar{t}_h$ 随着 $\Delta d$ 的增大而增大。

在高峰时段,为了保证密集到达客流的换乘安全,并兼顾两条线路间换乘候车时间的均衡,令 $\Delta d = d/2$ 。此时,可将式(2)简化为:

$$\bar{t}_h = d/2 - t_s \quad (3)$$

根据式(3),将 $\bar{t}_h$ 进行优化,如图5所示。两条线路的下车客流不同时到达,可调整 $t_j$ 使之成倍数关系,使得换入客流较大的线路满足式(3)的要求。

图5 换入客流较大时对 $\bar{t}_h$ 的调整示意图Fig. 5 Adjustment of  $\bar{t}_h$  of the large change-in passenger flow

### 3.2 线间列车到发衔接的优化方法

基于上文的分析及列车运行图的绘制要求,根据客流高峰、非高峰时段换乘客流的不同特征,本文提出同站台对向换乘方式下线间列车到发衔接的优化方法。

3.2.1 高峰时段线间列车的到发衔接优化

高峰时段列车到达间隔时间较小,乘客错过列车后等待下一趟列车的时间较短。为避免客流对冲,应优先将两条线路的停站时间调整一致,并将两条线路的列车到达间隔时间调整一致或成倍数关系,使得两条线路或换入客流较大的线路满足式(3)的要求。当两条线路的列车到达间隔时间、停站时间不一致时,则应错开两条线路的列车到发时刻,在现场观测得到 $t_4$ ,并对 $t_{B,早到}$ 、 $t_{A,晚发}$ 进行统计,以确定 $t_5$ 的合理取值,并在两条线路的列车运行图中予以调整。

3.2.2 非高峰时段线间列车的到发衔接优化

与高峰时段相比,非高峰时段列车到达间隔时间相对较大。为缩短换乘乘客在站台的候车时间,在非高峰时段可通过如调整 $t_j$ 、微调列车运行图、平移部分列车运行线等方法对列车到发衔接进行灵活调整。

方法一:调整 $t_j$ 。在编制列车运行图时,可根据客流实际情况,调整两条线路的 $t_j$ ,以确保两线的 $t_j$

一致或成倍数关系。

方法二:微调列车运行图。在 $t_j$ 、停站时间不一致且调整难度较大的情况下,以 $t_1 = t_3$ 为临界点分两种情况对列车运行图进行微调:①当 $t_1 \geq t_3$ 时,在列车运行图编制时找出如列车折返时间、区间运行时间、停站时间等具有冗余量、可微调的时间参数,调整这些时间参数,将两条线路的列车调整为同时在站,并最大限度地增加两条线路列车的同时在站时间;②当 $t_1 < t_3$ 时,调整有冗余量的时间参数,使得两条线路的列车错开时间大于等于 $t_5$ ( $t_5$ 可根据不同时段情况分别取值)。

方法三:平移部分列车运行线。运用两条线路列车到达间隔时间差规律,在满足高峰时段 $t_j$ 及列车错开的基础上,应优先调整非高峰时段 $t_j$ 较大的线路,调整并确定这条线路部分时段的列车运行线。然后,另一条线路的列车运行线配合调整,使得两条线路的列车同时在站时间最大化或满足错开的条件。

这3种优化方法的优缺点如表1所示。

表1 非高峰时段线间列车到发衔接优化方法的优缺点分析

Tab.1 Advantages and disadvantages analysis of the optimization methods of train arrival and departure connection between lines during off-peak hours

优化方法	优点	缺点
方法一(调整 $t_j$ )	列车到达间隔时间均匀,可根据客流情况灵活调整换乘乘客的候车时间	每日运行计划中不同运营时段采用不同的列车运行时刻表,运行图编制的难度相对较高
方法二(微调列车运行图)	列车运行图调整工作量较小。两条线路列车停站时间可不一致,非高峰时段换乘乘客的候车时间较均匀	部分车站的列车停站时间缩短;需逐个手动调整两条线路列车到达时间的衔接
方法三(平移部分列车运行线)	尽可能避免了换乘乘客赶不上对向列车及由此引起的站台客流积压,减少乘客投诉	列车运行图调整工作量较大;部分时段列车到达间隔时间有所增加

综上,在优化列车运行图时,如两线列车到达间隔时间一致,优先采取方法一;其次,可根据客流情况灵活采用方法二(该方法在高峰时段、非高峰时段、高峰和非高峰的过渡时段均可采用)。此外,若一条线路有两个同站台对向换乘站时,可基于“换乘客流大的车站为主要换乘站”原则,采用上述方法,优先满足主要换乘站内两条线路间的列车到发衔接,再通过有冗余量的时间参数微调列车在两个换乘站间的运行计划,以满足沿线其他换乘站列车到发衔接的要求。

4 案例分析

本文以青岛地铁2号线、3号线的换乘站五四广场站为例进行分析,其站台布置形式如图6所示。

该站为双岛式同站台对向换乘,青岛地铁2号线、3号线均为青岛市区的主要线路,客流量较大。

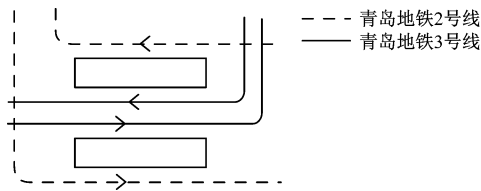


图6 青岛地铁2号线、3号线换乘站五四广场站的站台布置形式示意图

Fig.6 Platform layout of the May 4<sup>th</sup> Square Station, the Qingdao Metro Line 2 and Line 3 transfer station

以2019年旅游季(7~8月)某个工作日为例,由于2号线部分线路暂未开通,两条线路的 $t_j$ 无法

调整一致,基于此确定列车运行图的优化原则为:  
① 将停站时间均设为 45 s;② 根据运营实际,确定  
高峰时段、非高峰时段列车错开时间分别为 10 s、  
35 s;③ 编制列车运行图时,以客流较大的 3 号线为  
基准、2 号线配合为原则,调整五四广场站的列车到  
发时刻。

4.1 高峰时段的优化措施

根据现场数据,运用式(1)对数据进行计算后,  
该站的优化调整措施为:因高峰时段的客流较大,

2 号线上线列车数增加 1 列,将 2 号线的  $t_j$  从原来  
的 5 min 20 s 压缩至 5 min。受 2 号线列车运行间  
隔缩小的影响,考虑错开列车的到发时间,对 3 号线  
的列车运行图进行配合调整。五四广场站高峰时  
段各方向的平均站台换乘候车时间如表 2 所示。其  
中,早高峰时段 2 号线下行换 3 号线下行的平均站  
台换乘候车时间仅为 1 min 38 s。此外,两条线路的  
列车到达时间错开了 10 s,有效地避免了列车同时  
在站情况下同站台对向换乘客流对冲的情况。

表 2 高峰时段五四广场站各方向的平均站台换乘候车时间对比

项目	早高峰时段(07:30—09:00)的平均站台换乘候车时间				晚高峰时段(17:30—19:00)的平均站台换乘候车时间			
	3 下换 2 下	2 下换 3 下	3 上换 2 上	2 上换 3 上	3 下换 2 下	2 下换 3 下	3 上换 2 上	2 上换 3 上
优化前	2 min 48 s	1 min 45 s	2 min 40 s	2 min 46 s	2 min 44 s	2 min 12 s	2 min 30 s	2 min 22 s
优化后	2 min 42 s	1 min 38 s	2 min 35 s	2 min 39 s	2 min 40 s	2 min 08 s	2 min 26 s	2 min 15 s

注:平均站台换乘候车时间 = 统计期内换乘乘客在共用站台的总候车时间/换乘乘客总人数;“3 下换 2 下”表示 3 号线下行换乘 2 号线下行,余类同。

4.2 非高峰时段的优化措施

与高峰时段相比,非高峰时段两条线路的客流量  
相对较小。因此,保持两条线路的  $t_j$  不变。采用  
微调方法对列车运行图进行优化。五四广场站非  
高峰时段平均站台换乘候车时间如表 3 所示。其  
中,在 2 号线下行换 3 号线下行、3 号线上行换 2 号  
线上行两个换乘方向上的平均站台换乘候车时间  
均减少了 53 s,大大地提升了换乘乘客的出行便捷  
性,达到了缩短站台候车时间的优化目标。两条线  
路的列车到达时间错开了 35 s,从现场执行情况看  
达到了预期的效果。此外,在 2019 年的旅游季期  
间,这两条地铁线路均未有五四广场站同站台对向  
换乘乘客投诉事件,列车运行图的优化调整取得了  
良好的效果。

表 3 非高峰时段五四广场站各方向的平均站台换乘候车  
时间对比

项目	非高峰时段(11:00—15:00)的平均站台换乘候车时间			
	3 下换 2 下	2 下换 3 下	3 上换 2 上	2 上换 3 上
优化前	2 min 55 s	3 min 24 s	3 min 23 s	3 min 03 s
优化后	2 min 30 s	2 min 31 s	2 min 30 s	2 min 50 s

5 结语

本文对同站台对向换乘列车衔接的影响因素  
进行分析,结合高峰时段、非高峰时段的客流特点  
及列车运行不准点等情况,从优化列车运行图的角  
度提出了 3 个优化两条换乘线路间列车到发衔接的  
方法,以合理调整换乘站两线间的列车到发时刻,  
减少换乘乘客在站台的候车时间,提升乘客出行的  
便捷性,同时在乘客换乘出行安全性上也起到了一  
定的保障作用。

参考文献

[1] 赵宇刚. 考虑服务水平城市轨道交通换乘问题研究[D]. 北  
京:北京交通大学,2011.  
ZHAO Yugang. On Interchange of urban rail transit considering  
level of service[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.  
[2] 毛保华,张妍. 地铁同台换乘站台参数变化对服务水平的影响  
研究[J]. 铁道科学与工程学报,2018(6):1586.  
MAO Baohua, ZHANG Yan. On impact of platform's parameters  
variation on service level of transfer in urban rail transit[J]. Jour-  
nal of Railway Science and Engineering, 2018(6):1586.

(收稿日期:2020-04-30)