

# 北京地铁 5 号线 折返追踪间隔分析

潘晓军<sup>1</sup> 刘旭<sup>1</sup> 刘宇然<sup>1</sup> 李民进<sup>1</sup> 宿帅<sup>2</sup>

(1. 北京地铁运营有限公司客运营销部 北京 100044;

2. 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室 北京 100044)

**摘要** 在城市轨道交通运行系统中,列车在折返区域的追踪间隔是单条线路提升运力的瓶颈。分析北京地铁 5 号线折返追踪间隔,以实现“列车 2 min 运行间隔”的目标。首先根据现场实测数据分析 5 号线列车在折返区域中的进站追踪能力、折返追踪能力和出站追踪能力,进而计算列车在折返区域的最小运行间隔;其次,基于列车运行图编制理论提出通过缩短列车站停时分、出入库时分、转台时分来减小列车折返追踪间隔的方法;最后,结合北京地铁实际的运营管理经验,从系统设计角度提出缩短城市轨道交通列车折返追踪间隔的技术手段和措施。

**关键词** 城市轨道交通;运力;折返追踪间隔;运行图;北京地铁 5 号线

**中图分类号** U231;F530.7 **文献标志码** A

**文章编号** 1672-6073(2016)05-0051-04

城市轨道交通系统作为大城市的主要客运方式之一,对缓解城市交通网络拥挤起到至关重要的作用。截至 2014 年底,北京市地铁线路已有 18 条,运营总里程达 527 km,网络化已初步形成。线网中各线路的联系更加紧密,因而运营网络中单线的运营对相邻线路和整个网络的影响也愈加突出。以北京市地铁昌平线和 13 号线为例,昌平线所有入城方向乘客均在西二旗换乘站换乘 13 号线,然而因 13 号线运力在西二旗至西直门段已经饱和,昌平线即使满载率已达 120%,依然无法提高该通道进京的运力。

保证单线的运力是保障网络化正常运行的关键之

一。北京地铁运营公司也根据运营的需要,为乘客提供更好的运输服务,不断通过缩短运行间隔提升市区骨干线路的运力。北京地铁 5 号线作为核心线路之一,日客流量超过 80 万人次,为乘客提供更好的服务,运力亟待进一步提升。单线的最大运力由运营的最小间隔决定<sup>[1]</sup>,而列车在单线的最小运行间隔通常由列车在折返区域的列车最小追踪间隔决定<sup>[2]</sup>,5 号线目前因线路、设备等原因,还未实现 2 min 的运行间隔。因此,笔者以北京地铁 5 号线为例,利用运行图编制理论分析在折返区域影响列车最小追踪间隔的因素,并提出相应的改进建议。

## 1 问题描述

北京地铁 5 号线作为地铁网络中运力需求大的线路,北京地铁运营公司拟将 5 号线列车运行间隔缩小至 2 min,折返区域的列车运行间隔是整条线路列车运行间隔的关键。

### 1.1 折返方案

北京地铁 5 号线在宋家庄和天通苑北均属于具有站后交叉渡线的双库折返站型(见图 1)。列车在折返区域的折返方式可按照库线的使用分为“单库折返”和“双库折返”。其中,单库折返进一步分为利用 2 号库折返(弯进直出)和利用 1 号库折返(直进弯出)。“双库折返”是列车交替利用两个库线进行折返的方式。使用 1 号库进行单库折返或者双库折返时,由于站台后

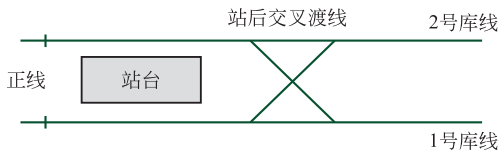


图 1 北京地铁 5 号线终点站折返线配线

收稿日期: 2015-10-20

作者简介: 潘晓军,男,高级工程师,部长,从事城市轨道交通运营工作,10111043@bjtu.edu.cn

的折返线无计轴,只有列车在1号库停稳,并完全经过道岔后方可办理下一列车的进站进路。

经计算,列车占用站台的时间过长导致后续列车长时间无法进站,无法满足2 min的追踪间隔。因此,5号线现均采用“弯进直出”的折返方式。

1.2 列车折返区域最小间隔

列车在折返区域的追踪由进站追踪、折返追踪和出站追踪组成。进站追踪能力、折返追踪能力和出站追踪能力中限定的最大追踪间隔为折返区域列车的最小追踪间隔<sup>[3]</sup>,即

$$h_{\min} = \max \{ h_{\min}^{\text{进站}}, h_{\min}^{\text{折返}}, h_{\min}^{\text{出站}} \}$$
 (1)

根据北京地铁5号线的线路及信号设备布局设计,列车进站追踪间隔、折返追踪间隔及出站追踪间隔计算如下<sup>[4]</sup>:

$$h_{\text{进站}} = t_{\text{进站}} + t_{\text{停站1}} + t_{\text{入库出清}} + t_{\text{转动道岔}}$$
 (2)

$$h_{\text{折返}} = t_{\text{入库出清}} + t_{\text{转台}} + t_{\text{出库出清}} + t_{\text{转动道岔}}$$
 (3)

$$h_{\text{出站}} = t_{\text{出库出清}} + t_{\text{停站2}} + t_{\text{出站}}$$
 (4)

1.3 折返间隔计算

与列车折返相关的各环节作业时间见表1和表2。

表1 高峰时段宋家庄站折返作业时间

作业名称	作业时间/s	作业名称	作业时间/s
$t_{\text{进站}}$	22	$t_{\text{转动道岔}}$	13
$t_{\text{停站1}}$	46	$t_{\text{出库}}$	45
$t_{\text{入库}}$	49	$t_{\text{停站2}}$	35
$t_{\text{转台}}$	22	$t_{\text{出站}}$	35
$t_{\text{入库出清}}$	44	$t_{\text{出库出清}}$	43

表2 高峰时段天通苑北站折返作业时间

作业名称	作业时间/s	作业名称	作业时间/s
$t_{\text{进站}}$	22	$t_{\text{转动道岔}}$	13
$t_{\text{停站1}}$	48	$t_{\text{出库}}$	43
$t_{\text{入库}}$	50	$t_{\text{停站2}}$	35
$t_{\text{转台}}$	22	$t_{\text{出站}}$	35
$t_{\text{入库出清}}$	46	$t_{\text{出库出清}}$	40

表1、2中入(出)库时间和入(出)库出清时间不同。以入库为例,列车启动至其尾部完全通过道岔为入库出清时间,之后的列车停稳过程与转动道岔两个进程可以同时进行,而且道岔转动的时间较长,因此公式中使用的是入库出清时间。

以天通苑北为例,根据公式(2)、(3)、(4),计算列车进站追踪间隔、折返追踪间隔及出站追踪间隔,分别为129 s,121 s,110 s。因此,根据公式(1)得知,列车在天通苑北的最小追踪间隔为129 s。若想实现5号线列

车运行间隔为2 min,需将列车进站追踪间隔和折返追踪间隔缩短至120 s以内。为保证时刻表的鲁棒性,并根据实际运营经验,拟将列车进站追踪间隔和折返追踪间隔缩短至115 s,为时刻表预留5 s冗余时间,以满足2 min间隔的实际运营需求。

2 方案分析

列车在折返过程中对线路的占用可划分为3个部分(站后折返区无计轴):进站站台的占用、道岔及2号库线的占用、出站站台的占用。根据列车闭塞时间模型<sup>[5]</sup>,5号线折返追踪时间分析如图2所示。

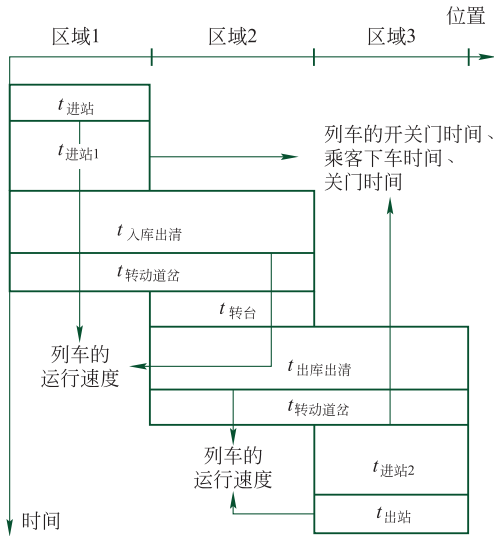


图2 5号线运行间隔分析

2.1 缩短列车停站时间

列车停站时间主要由列车的开(关)门时间和乘客的乘降时间组成。列车的开(关)门时间为司机按下列车开(关)门按钮至列车车门打开(关闭)的时间,另外还有列车关门后至列车启动的时间,这3部分主要由车辆系统及其与站台门系统的联动决定。列车开门时间指列车停稳后,车载信号设备检测列车速度为0,并确认列车门与站台门对准,最后发送车门开启指令,并与站台门系统联动打开站台门,直至站台门、车门完全打开。目前,5号线列车开门时间各为6 s,预计可通过优化车门与站台门打开的同步效果缩短至4 s<sup>[6]</sup>。同样,列车关门时间也可以优化至3 s。除此之外,还可以通过加强站台乘客乘降的管理措施来缩短列车的停站时间,例如,进站前向乘客播放到站通知,增加站台服务人员辅助乘客乘降等,考虑到5号线高峰时段客流量较大,预计可将乘客乘降时间缩短4~5 s。

## 2.2 缩短列车入库时间

当前,5号线列车采用ATO自动驾驶时运行速度较慢,因此,在正式运营时采用人工驾驶模式。为提高列车在折返区域的运行速度以缩短列车的入库时间,运营公司专门培养了一批专门负责折返区驾驶的“调度司机”。这些司机在本务司机到达终点站时进入驾驶室,列车关门后驾驶列车完成入库和出库的作业,在对侧站台与本务司机对调后,通过站厅层回到终点站继续下一轮的折返作业。“调度司机”对折返区的驾驶经验丰富,对列车速度的掌握更加精确,与一般司机相比,“调度司机”可将列车入库和出库时间均缩短4 s左右。

## 2.3 缩短转台时间

5号线列车运行图中规定列车在折返区域转台时间为25 s,目前操作时间为22 s左右,冗余较小,拟通过进一步优化转台作业流程,在保证运营安全的前提下,缩短转台时间3 s。但也考虑到不同的司机操作水平存在一定差异,暂将转台时间缩短2 s,操作20 s,基本可以保证多数司机能按规定作业时间完成。

在对列车停站时间、入库时间和转台作业时间进行优化后,列车进站追踪间隔、折返追踪间隔和出站追踪间隔分别为114 s,111 s,97 s。冗余6 s,防止站台二次开关门和乘客乘降时间过长对运营带来影响,理论上基本满足2 min间隔的运营需求。

## 3 系统设计解决方案

为了迎合北京城市轨道交通的大客流运输需求,减少运营中单线运力的瓶颈给城市轨道交通网络带来的压力,笔者还进一步结合地铁5号线折返间隔的经验为城市轨道交通系统设计提出了参考性的建议。

### 3.1 道岔选择

列车在折返道岔区域的运行受道岔限速的影响,决定了其通过道岔和占用道岔区域的时间。为提高列车运行的速度、缩短列车入库时间,建议折返区域选择12号道岔(允许通过速度50 km/h),替代现有的9号道岔(允许通过速度30 km/h)。根据列车的牵引计算<sup>[7]</sup>,更换道岔后,可缩短列车入库时间5~6 s。

### 3.2 ATO系统算法优化

ATO驾驶系统的使用,一方面可以大大减少司机的劳动强度,同时也增加了列车运行时间的稳定性,减少人为因素对实际运营造成的差异性。现有5号线ATO设备运行速度较慢,建议未来车载ATO设备在保证安全的前提下,充分利用列车的牵引制动特性,通过

优化ATO系统的推荐速度曲线<sup>[8]</sup>,提高列车在折返区域的运行速度,从而缩短入库时间。

### 3.3 自动折返技术的应用

城市轨道交通列车在折返区域已经可以通过ATO实现自动折返<sup>[9]</sup>。司机在终点站列车关门作业完成并具备折返条件后,可按下自动折返按钮,列车将自动运行至库线,实现自动转台,驶入对面站台并停稳。司机可以在列车自动折返的过程中从车厢内走向另一端控制台(列车入库出库时间足够),开始另一方向的列车运行控制。ATO控制的列车在运行速度相当的情况下,列车自动折返可以缩短转台时间14 s左右(自动折返转台5 s左右)。

### 3.4 线路设备布局

5号线站后折返,车站与道岔之间无计轴器,导致站台和站后区域形成一个长大区间,造成列车的入库出清时间过长,使进站追踪成了折返追踪的瓶颈。若站后安装有计轴器,列车入库出清时间会从原来的驶出道岔变为通过计轴器的时间,可大大缩短入库出清时间和进站追踪间隔。

### 3.5 其他方案

另外,若能在系统设计初期通过增大车门数量和宽度,也可以减少乘客乘降时间<sup>[10-11]</sup>。采用新型的折返站型设计缩短折返追踪间隔也是一种从根本上减小繁忙线路运营压力的方法<sup>[12]</sup>。

## 4 结语

缩短城市轨道交通线路折返区域的追踪间隔是单线运力提升的关键,笔者以北京地铁5号线为例,提出了通过运营管理手段缩短停站时间、入库时间和转台时间,以及提高车辆与站台门系统的联动以缩短列车在折返区域的追踪间隔;并根据对5号线折返追踪间隔的分析,从运营的角度为系统设计提出了参考建议,包括优化线路设计,采用现代先进控制技术等。

### 参考文献

- [1] VUKAN R. Urban transit: operations, planning and economics [M]. USA, NJ: Wiley, 2004: 5-10.
- [2] 金娟, 杨梅, 王长林. 基于移动闭塞原理的地铁列车线路通过能力的研究[J]. 铁路计算机应用, 2008, 6(17): 7-10.
- [3] 苗沁, 周天星. 城市轨道交通折返站折返能力分析[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(11): 57-61.
- [4] 胡思继. 列车运行图编制理论[M]. 北京: 中国铁道科学

出版社,2007;33-43.

[5] HANSENS I, Railway timetable and traffic[M]. Germany: Eurail - press, 2008.

[6] 李震. 成都地铁1号线天府广场停站时间研究[J]. 交通运输工程与信息学报,2011,9(2):20-24.

[7] 北京市地铁运营有限公司. 北京地铁技术管理规程[A]. 北京,2011:151.

[8] SU S, TANG T, CHEN L, et al. Energy - efficient train control in urban rail transit system[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F: Journal of Rail & Rapid Transit,2014(1):40-41.

[9] 李春宇. 沈阳地铁一号线无人自动折返方案[J]. 铁路通信信号工程技术,2009(1):40-41.

[10] 沈景炎. 车站站台乘降区宽度的简易计算[J]. 都市轨道交通,2008,21(1):9-12.

[11] 曹守华,袁振洲,赵丹. 城市轨道交通乘客上车时间特性分析及建模[J]. 铁道学报,2009,31(3):89-93.

[12] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 北京地铁3号线工程可行性研究报告[R]. 北京,2014:83-87.

(编辑:曹雪明)

## Analysis of Headway in Turn – back Area for Beijing Subway Line 5

Pan Xiaojun<sup>1</sup> Liu Xu<sup>1</sup> Liu Yuran<sup>1</sup> Li Minjin<sup>1</sup> Su Shuai<sup>2</sup>

(1. Department of Transport and Marketing, Beijing Subway Operation Co., Ltd., Beijing 100044;  
2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

**Abstract:** In urban rail transit systems, train headway in the turn-back area is the bottleneck of the line capacity. To achieve the headway of 2 minutes for Beijing Subway Line 5, this paper analyzes the train headway of the turn-back area. Based on the operational data, the headways of arriving at the terminal station, turn-back tracking, and leaving the terminal station are calculated, and the minimum headway for the turn-back area is obtained. Then, on the basis of the timetable theory, the methods of reducing the dwell time, the running time in the turn-back area and the exchange time of the operation direction are proposed to reduce the headway. Finally, some other countermeasures from the aspect of system design are suggested to cut down the headway of urban rail transit systems in view of the operation experience.

**Key words:** urban rail transit; capacity; turn-back tracking time; headway; Beijing Subway Line 5

### 成都轨道交通产业技术研究院和产业发展联盟正式成立

日前,成都轨道交通产业诞生了两个新成员——成都轨道交通产业技术研究院、成都轨道交通产业发展联盟正式成立。

成都轨道交通产业技术研究院由金牛区政府、中铁二院、西南交通大学、中国中车、成都地铁公司共同发起成立,力争用5年时间,产出自主创新知识产权项目200项以上,科技成果转化项目150项以上,制定轨道交通行业标准10项以上,培育上市企业5家以上,初步建成“行业领先、国际一流”的轨道交通技术创新平台和产业孵化平台。

成都轨道交通产业发展联盟由12家单位共同发起成立,包括中铁二院、西南交通大学、成都地铁公司、中电十所、中电二十九所、金牛区政府、中铁科学研究院有限公司、中铁八局、成都铁路局、四川省测绘地理信息局、东方电气集团、中铁二局等。

通过“强强联合”,可以充分发挥高校、科研院所、轨道交通关联企业各自优势,打造具有行业领先优势、资源聚集优势的工程总承包商,助推成都轨道交通“走出去”。推进智能装备制造、电子信息、新材料研发等技术与轨道交通进行深度融合,同步扩宽尖端技术的应用领域。

摘编自 <http://www.umat1998.com/2016-08-05>

### 高速磁浮交通技术及产业发展战略研讨会在京举行

2016年8月6日,由中国工程院“高速磁浮技术与产业发展战略研究”课题组与北京科技协作中心共同主办的“高速磁浮交通技术与产业发展战略研讨会”在京召开。会议邀请了来自科研院所、政府部门和相关企业代表,共同探讨高速磁浮交通在国内发展的必要性,及其技术现状和未来发展前景。

我国于2002年率先建成世界上首条高速磁浮示范线,至今已安全稳定运行近13年,这充分证明了高速磁浮交通的安全性与实用性。专家也纷纷表示,后期应尽快建设一条具有商业应用前景的中等长度(150~200 km)工程试验线,尽快形成我国高速磁浮交通系统产业链。

会上,专家倡议成立我国高速磁浮交通产业促进与发展战略联盟,团结全国产学研优势力量,协作攻关,以早日实现我国高速磁浮交通技术的工程应用,并建立设计、制造、建设和运营管理产业链,形成世界领先的高速和超高速磁浮交通产业能力,填补高速铁路和航空系统之间的速度空白,为“中国智造”和“一带一路”战略作出重大贡献。

摘编自 <http://rail.ally.net.cn/2016-08-09>