

城市轨道交通列车站后折返时间分配研究^{*}

张江 李健 刘志钢

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 201620, 上海//第一作者, 硕士研究生)

摘要 在城市轨道交通列车站后折返过程中,如何将设备运行与人员操作的各环节紧密衔接,是值得研究的问题。通过列车站后折返流程的梳理分析可知,同一列车在站后折返的接车、折返和发车3个部分的作业过程中有着严格的时间顺序;相邻列车陆续实施站后折返时,在时序和作业流程上有着相互制约的关系。对列车折返过程中各客观因素作业环节和主观因素作业环节的时间进行合理分配,找出主观因素作业时间的弹性范围,可提升站后折返效率。

关键词 城市轨道交通; 列车站后折返; 时间分配; 站台客运作业时间

中图分类号 U292.5+1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.03.010

Research on Time Allocation of Turn-back after Station in Urban Rail Transit

ZHANG Jiang, LI Jian, LIU Zhigang

Abstract In the process of turn-back after station in urban rail transit, how to closely connect equipment operation and personnel operation is a problem worthy of study. By sorting and analyzing turn-back process after station, it is found that the same train has a strict time sequence in the operation process of receiving, turning back and departure of the turn-back after station. When adjacent trains operating turn-back after station one after another, there is a mutual restriction relationship in time sequence and operation process. Reasonable time allocation of each objective factor operation link and subjective factor operation link in the turn-back process, and the definition of elastic range of subjective factor operation time, will improve the efficiency of turn-back after station.

Key words urban rail transit; turn-back after station; time allocation; platform passenger transport operation time

Author's address School of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, 201620, Shanghai, China

提高线路通过能力。线路通过能力包括区间追踪能力、中间站通过能力和折返能力三方面。目前已有的理论研究及实践表明,列车折返能力仍然是限制线路通过能力的主要瓶颈^[1]。列车折返能力不仅受到折返站线路的制约,还受到信号系统、列车运行速度和站台作业时间等条件限制,各限制条件均会对折返时间间隔^[2]产生直接影响。

目前大多数的研究多从优化信号系统设计^[3]或提高道岔限速^[4]等设备层面提升列车折返效率,也有部分研究从缩短停站时间、司机换端作业时间和驾驶出入库时间^[5]等方面提升列车折返效率。由于整个折返过程包含了设备运行和人员操作的各作业环节,各环节环环相扣、相互制约。当设备投入运营后,设备运行时间相对固定,而站台客运作业时间仍具有一定调整空间。本文将重点研究设备运行与站台客运作业在时序上的关系,推导时间分配公式,提出站台客运作业时间和列车追踪间隔时间的调整建议。

1 站后折返的特点及影响因素

1.1 站后折返的特点分析

常见的折返站设置为站后双折返线。站后折返由于交叉进路少,避免了乘客上、下车产生的客流对冲,通过站后设置的配线可完成司机换端作业,因此能更好地确保列车折返安全。

1.2 站后折返的影响因素

站后折返的影响因素可分类为客观因素和主观因素两大类^[6]。其中:客观因素为设备专有属性,包括折返站型、列车型号和信号设置等;主观因素主要为客运人员作业操作。

1) 折返站型。按站台布置分为侧式站台和岛式站台。其中,侧式站台为线路设在上、下行站台的中间,岛式站台为站台设在上、下行线路的中间。

提升城市轨道交通线路运力最直接的方式是

^{*} 国家自然科学基金项目(52072235);“十三五”国家重点研发计划子课题(2017YFC0804900)

因此,与侧式站台相比,岛式站台的站后股道间距较远、道岔区长度较长^[7]。此外,城市轨道交通正线通常采用9号道岔(最大通过速度为35 km/h)或12号道岔(最大通过速度为45 km/h),道岔型号也是制约站后折返的因素之一。

2) 列车型号。根据线路规划建设,城市轨道交通列车可以选用4节、6节或8节编组,由此导致列车的长度、质量有所不同,进而直接影响线路的出清占用区段时间、牵引/制动下的加速度及减速度等参数的取值。

3) 信号设置。采用CBTC(基于通信的列车控制)系统的列车在折返过程中都需要得到移动授权,道岔转动时间、进路建立时间、列车运行速度、防护区段设置及联锁逻辑判断等均会直接影响折返效率。

4) 人员操作。站务人员组织乘客乘降的时间,司机确认信号动车的反应时间及换端时间等人员操作贯穿于整个折返过程,其作业的熟练程度直接影响折返效率。

2 站后折返过程

2.1 岛式站台站后折返线路设置

本文以岛式站台为例,对站后折返的过程及时间分配进行深入研究。岛式站台站后折返线路的布置如图1所示。其中:Ⅱ道为上行,Ⅰ道为下行;折返线共设置2条,分别为折Ⅰ线和折Ⅱ线;S表示上行运行方向信号机,X表示下行运行方向信号机,Z为尽头线阻挡信号机,F为防护信号机;P为道岔;A、B、C为计轴点。

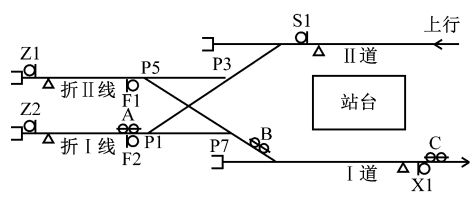


图1 岛式站台站后折返布置图

Fig. 1 Layout of turn-back after station of island platform

2.2 站后折返作业流程

站后折返作业流程按照时间顺序可依次划分为3个阶段:接车作业、折返作业和发车作业。其中,折返作业又划分为入折返线和出折返线两部分。本文以固定采用折Ⅰ线折返为例,阐述列车在移动闭塞模式下的折返作业流程。

1) 接车作业。Ⅱ道至A点空闲时,列车方可获得进站的移动授权。列车驶入Ⅱ道并停于停车点,随后开始站台作业操作:交车司机(上行方向的司机)办理开、关门作业并播放清客广播;站台人员组织列车清客;接车司机上车(双司机折返时为下行方向的司机)。

2) 折返作业。在Ⅱ道站台客运作业期间,信号系统判断折Ⅰ线至B点空闲后,预办理S1至Z2入折Ⅰ线的进路,转动P1、P3至反位锁闭,同时锁闭P5、P7在定位。当Ⅱ道列车的联锁条件满足时,进路准备完毕,进折Ⅰ线信号将开放。司机在确认折返进路信号开放后,将列车驶入折Ⅰ线。当列车出清A点后,P1、P3、P5、P7解锁,列车在Z2前的停车点区域停车。交车司机与接车司机交接列车,并转换列车的驾驶方向。同时,信号系统预办理F2至X1出折Ⅱ线的进路,转动P1、P3至定位锁闭,同时锁闭P5、P7在定位。当Ⅰ道至C点空闲时,出折Ⅱ线的信号开放。此时由接车司机确认信号开放状态,启动列车驶出折Ⅱ线至Ⅱ道停于停车点区域。

3) 发车作业:交车司机完成运行任务,接车司机办理开、关门作业,站务人员组织乘客登乘。接车司机确认时刻表始发时间及出站信号开放后,动车出清C点。

2.3 站后折返作业的时间分析

2.3.1 采用单折返线站后折返的过程时序

根据上述站后折返作业流程,结合移动闭塞情况下各作业间的相互关系,绘制得到单线站后折返过程的时序图如图2所示。

2.3.2 站后折返各作业项目间的时间关系

由图1可知,从单趟列车实施站后折返的角度分析,整个站后折返过程环环相扣,接车、折返、发车3个过程有严格的顺序流程;从多趟列车陆续实施站后折返的角度分析,不同列车、不同作业间的流程相互制约:接车作业受入折返线作业影响,入折返线作业受出折返线作业影响,出折返线作业受发车作业影响,发车作业又受列车追踪间隔影响。

经分析,彼此相互影响的干扰点为A、B、C3个计轴点。为使各作业时间相互匹配,避免相互干扰,使列车的折返作业耗时最少,本文进一步描述各作业项目间的时间关系。

受点A影响,列车接车时机的计算式为:

$$t_{\text{Ⅱ,停妥}} + t_{\text{Ⅱ,作业}} + t_{\text{确,入折}} + t_A < t_{\text{追踪}} \quad (1)$$

作业过程		作业项目	作业时间
接车作业		列车在站台Ⅱ道停妥($t_{Ⅱ,停妥}$)	
		办理站台Ⅱ道客运作业($t_{Ⅱ,作业}$)	
折返作业	进入站后折返线	道岔转动($t_{岔,入折}$)	
		信号开放($t_{信,入折}$)	
		司机确认信号开放($t_{确,入折}$)	
		列车出清A点(t_A)	
		列车驶入折返线停妥($t_{折妥}$)	
	从站后折返线驶出	换端作业($t_{换}$)	
		道岔转动($t_{岔,出折}$)	
		信号开放($t_{信,出折}$)	
		司机确认信号动车($t_{确,出折}$)	
		列车尾部出清B点(t_B)	
发车作业		列车在站台Ⅰ道停妥($t_{Ⅰ,停妥}$)	
		办理站台Ⅰ道客运作业($t_{Ⅰ,作业}$)	
		出站信号开放($t_{信,发车}$)	
		司机确认信号开放($t_{确,发车}$)	
		列车尾部出清C点(t_C)	

图2 采用单折返线站后折返的过程时序

Fig. 2 Process sequence of turn-back after station with single turn-back line

受点B影响,列车入折时机的计算式为:

$$t_{折妥} + t_{换} + t_{确,出折} + t_B < t_{II,停妥} + t_{II,作业} - t_{岔,入折} - t_{信,入折} \quad (2)$$

受点C影响,列车出折时机的计算式为:

$$t_{I,停妥} + t_{I,作业} + t_{确,发车} + t_C < t_{岔,入折} + t_{信,入折} + t_{确,入折} + t_A + t_{折妥} + t_{换} - t_{信,出折} \quad (3)$$

受列车追踪间隔的影响,列车发车时机的计算式为:

$$t_{追踪} < t_{信,出折} + t_{确,出折} + t_B + t_{I,停妥} + t_{I,作业} + t_{确,发车} + t_C \quad (4)$$

上述的作业项目中,影响站后折返的主观因素涉及 $t_{II,作业}$ 、折返作业中司机确认信号动车时间($t_{确,入折}$ 、 $t_{确,出折}$)、换端作业时间 $t_{换}$,以及发车作业中Ⅰ道作业时间 $t_{I,作业}$ 。为进一步简化计算,合并时间相近或相同项目,其中 $t_{确,入折} = t_{确,出折} = t_{确,发车} = t_{确}$; $t_{信,入折} = t_{信,出折} = t_{信,发车} = t_{信}$; $t_{岔,入折} = t_{岔,出折} = t_{岔}$ 。将式(1)~(4)进行整理,将主观因素移至不等式左侧后可得:

$$t_{II,作业} + t_{确} < t_{追踪} - t_{II,停妥} - t_A \quad (5)$$

$$t_{II,作业} - t_{换} - t_{确} > t_{折妥} + t_B + t_{岔} + t_{信} - t_{II,停妥} \quad (6)$$

$$t_{I,作业} - t_{换} < t_{岔} + t_A + t_{折妥} - t_{I,停妥} - t_C \quad (7)$$

$$t_{I,作业} + 2t_{确} > t_{追踪} - t_{信} - t_B - t_{I,停妥} - t_C \quad (8)$$

其中,将 $t_{II,作业}$ 、 $t_{I,作业}$ 定义为在上行站台和下行站台的客运作业时间,即司机在离开驾驶位至返

回驾驶位的时间段内司机及站务人员执行作业内容所需的总时间。具体的作业内容依次为:司机离开驾驶位、打开司机室侧门、站台门和列车车门打开并确认、站务人员组织清客或登乘、站台门和列车车门关闭并确认、关闭司机室侧门、返回驾驶位。 $t_{II,作业}$ 和 $t_{I,作业}$ 的区别仅在于站务人员的作业内容: $t_{II,作业}$ 中站务人员在Ⅱ道站台办理清客作业; $t_{I,作业}$ 中站务人员在Ⅰ道站台组织乘客登乘。

3 影响站后折返的主观因素在时间上的分配

3.1 计算前提

在移动闭塞模式下,本文对列车站后折返的参数进行设定:采用站后折Ⅰ线折返;列车过岔的速度不得大于35 km/h;站台范围为平直股道,列车进、出站的速度不得大于60 km/h;道岔转动时间取10.00 s,信号反应时间取3.00 s;列车长度为140 m,采用A型6节编组列车;列车的加速度和常用制动速度取0.8 m/s²;列车运行等级为一级。

基于上述参数,得到各客观因素的具体时间分别为^[8]: $t_{II,停妥} = 20.09$ s; $t_A = 48.97$ s; $t_{折妥} = 4.24$ s; $t_{岔} = 10.00$ s; $t_{信} = 3.00$ s; $t_B = 40.11$ s; $t_{I,停妥} = 13.53$ s; $t_C = 22.78$ s。将这些时间点分别代入式(5)~(8),得到影响站后折返主观因素间的不等式为:

$$t_{II,作业} + t_{确} < t_{追踪} - 69.06 \quad (9)$$

$$t_{II,作业} - t_{换} - t_{确} > 37.26 \quad (10)$$

$$t_{I,作业} - t_{换} < 26.90 \quad (11)$$

$$t_{I,作业} + 2t_{确} > t_{追踪} - 79.42 \quad (12)$$

由于客观因素在线路建成后若再进行技术改造,将会产生较大的成本,因此,在运营管理中如何控制影响站后折返的主观因素,对于提升线路通过能力有着重要意义。

3.2 列车追踪间隔与站台客运作业时间的最优关系

分析双司机换端作业及确认信号作业可知,司机换端时间 $t_{换}$ 、确认信号最小时间值 $t_{确}$ 分别为20.00 s、6.00 s。整理式(9)~(10)可得, $t_{II,作业}$ 与上行列车追踪间隔的关系为:

$$63.26 < t_{II,作业} < t_{追踪} - 75.06 \quad (13)$$

在此情况下, $t_{II,作业}$ 的最小值为63.26 s, $t_{追踪}$ 的最小值为138.32 s。若增加 $t_{II,作业}$,则接车的追踪间隔也需同步增加,否则将造成列车在站外停车、无

法正常进站的情况发生。

由式(11)~(12)可得, $t_{I, \text{作业}}$ 与 $t_{\text{追踪}}$ 的关系为:

$$t_{\text{追踪}} - 91.42 < t_{I, \text{作业}} < 46.9 \quad (14)$$

为了不影响出折返线作业, $t_{I, \text{作业}}$ 必须控制在 46.90 s 以内。当 $t_{I, \text{作业}}$ 取最大值 46.90 s 时, $t_{\text{追踪}}$ 为 138.32 s。

综上可得到折返车站站台上、下行作业时间与列车追踪间隔间的关系。线路正常运营时, $t_{\text{追踪}}$ 的最优值为 138.32 s, $t_{II, \text{作业}}$ 为 63.26 s, $t_{I, \text{作业}}$ 为 46.90 s。

3.3 列车追踪间隔 120 s 时的站台客运作业时间

为了实现地铁线路的高密度运行, 行车密度应满足不小于 30 对/h。当列车追踪间隔达到 120 s 时, 需对客运作业时间作进一步计算。 $t_{II, \text{作业}}$ 因只受前序折返列车影响, 故仍设置为 63.26 s, 此时会出现列车站外停车、排队等待进站的情况, 后续列车的排队等待时间为 18.32 s。由此, $t_{I, \text{作业}}$ 应调整为 28.58 s。在此情况下, 对客运作业提出以下几点建议:

1) 在未改变折返流程和信号系统逻辑判断的情况下, 站台 II 道的客运作业时间均可设置为 63.26 s, 可满足线路末端车站乘客较少时的清客需求。

2) 如需延长站台 II 道的停站时间, 将导致站外列车排队等待时间增加。此时还需考虑站间距对闭塞分区的影响, 以避免多列车区间阻塞。

3) 如需适度延长站台 I 道的乘客登乘时间, 可采取提高列车区间运行等级或缩短途中停站时间等措施, 以保证列车按图定追踪间隔运行。

4) 站台客运作业宜采用标准化流程, 以确保司机作业一次完成, 避免因误操作造成的时间延误。在提高折返效率的同时, 更应重视折返安全, 站务人员与司机需加强沟通协作, 避免夹人、夹物等危险情况的发生。

4 结语

本文通过分析列车在站后折返过程中设备运行和人员操作的各作业环节, 梳理了各环节间的相互制约关系, 并将这些关系转化为不等式。代入相对固定的设备运行时间后, 计算得到站台客运作业

时间, 使设备运行与人员操作的各环节更加紧密结合。此外, 在运营过程中还可根据本文研究得到的时间分配公式, 用以推导不同列车追踪间隔下的站台客运作业时间范围, 并有针对性地制定列车站后折返的标准化作业方案, 以提升折返效率。

参考文献

- [1] 王俊锋. 城市轨道交通车站站后折返间隔的研究[J]. 铁路运输与经济, 2019(6): 100.
WANG Junfeng. A study of behind-station turn-back headway in urban rail transit[J]. Railway Transport and Economy, 2019(6): 100.
- [2] 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(11): 57.
MIAO Qin, ZHOU Tianxing. Analysis of turning-back capacity at urban rail transit station[J]. Urban Mass Transit, 2010(11): 57.
- [3] 董松. 信号系统提升车站折返能力的研究[J]. 铁道通信信号, 2019(1): 70.
DONG Song. Research on improving station turn-back capability by signaling system[J]. Railway Signalling & Communication, 2019(1): 70.
- [4] 郭予广, 梁东升, 潘允. 广州地铁 3 号线折返站折返速度的探讨[J]. 铁道通信信号, 2017(7): 75.
GUO Yuguang, LIANG Dongsheng, PAN Yun. Discussion on the turn-back speed of Guangzhou Metro Line 3 turn-back station[J]. Railway Signalling & Communication, 2017(7): 75.
- [5] 潘晓军, 刘旭, 刘宇然, 等. 北京地铁 5 号线折返追踪间隔分析[J]. 都市快轨交通, 2016(5): 51.
PAN Xiaojun, LIU Xu, LIU Yuran, et al. Analysis of headway in turn-back area for Beijing Subway Line 5[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016(5): 51.
- [6] 李莉. 城市轨道交通列车折返能力综合优化分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018(5): 47.
LI Li. Comprehensive optimization analysis of turn-back capacity in urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018(5): 47.
- [7] 曹宏丽. 城市轨道交通站后折返能力影响分析及优化[J]. 铁道通信信号, 2018(3): 93.
CAO Hongli. Influence analysis and optimization of turn-back capability of urban rail transit station[J]. Railway Signalling & Communication, 2018(3): 93.
- [8] 王潇骁, 虞翊, 刘循. 道岔限速对站后折返站型折返能力影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019(8): 132.
WANG Xiaoxiao, YU Yi, LIU Xun. Influence of turnout speed limit on the turn-back capacity of the station-back return station[J]. Urban Mass Transit, 2019(8): 132.

(收稿日期: 2020-02-24)