

乌鲁木齐轨道交通 1 号线不同折返方式下 折返能力计算与分析*

安志龙¹ 马 丽¹ 马 斌²

(1. 陕西铁路工程职业技术学院, 714025, 渭南; 2. 乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司运营分公司, 830057, 乌鲁木齐//第一作者, 工程师)

摘 要 在城市轨道交通系统中, 制约单条线路运能提升的主要瓶颈是折返站的折返能力。以实现乌鲁木齐轨道交通 1 号线远期 100 万人次运能为目标, 分析列车折返能力。基于图解法对折返站的站前单渡线折返、站后单渡线折返、站前站后交替折返和站后双渡线交替折返这 4 种折返方式的折返时间、折返能力进行了分析与计算; 根据不同的折返能力对线路运能进行了计算与分析; 从实际行车组织的角度出发, 给出了不同行车间隔条件下的折返方式选择。

关键词 城市轨道交通; 折返时间; 折返能力; 行车间隔

中图分类号 U292.5⁺1

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.01.009

Calculation and Analysis of Turnback Capacity of Urumqi Rail Transit Line 1 under Different Turnback Modes

AN Zhilong, MA Li, MA Bin

Abstract In urban rail transit system, the main bottleneck restricting the capacity improvement of a single line is the turnback capacity of turnback station. The train turnback capacity of Urumqi Rail Transit Line 1 is analyzed to realize the long-term target of 1 million passenger rides. Based on the graphic method, the turnback time and turnback capacity of the four turnback modes are analyzed and calculated: single cross turnback before the station, single cross turnback after the station, alternating turnback before and after the station, and double crossover alternating turnback after the station. The line capacity is calculated and analyzed according to different turnback capacity. From the perspective of actual operation organization, the selection of turnback mode under different operation interval conditions is given.

Key words urban rail transit; turnback time; turnback capacity; operation interval

First-author's address Shaanxi Railway Institute, 714025, Weinan, China

乌鲁木齐轨道交通 1 号线北至国际机场站, 南到三屯碑站, 贯穿城市主城区, 规划远期日客流量超过 100 万人次, 届时运力的提升将由列车最小行车间隔决定。城市轨道交通行车间隔的大小主要是由折返站的折返能力决定。文献[1]以北京地铁 5 号线实现 2 min 列车运行间隔为目标, 从系统设计角度提出缩短列车折返追踪间隔的技术手段和措施。文献[2]以中间折返站为研究对象, 计算了单渡线折返和双渡线折返方式下的列车运行间隔。文献[3]提出了站前双折返站型, 并计算了理论折返能力。文献[4]通过对岛式车站列车折返时间的计算, 揭示了城市轨道交通列车折返的一般特点。文献[5]通过对站前折返车站的运营方式、折返能力进行分析和计算, 确定了影响站前折返能力的原因。

笔者以乌鲁木齐轨道交通 1 号线国际机场站为例, 基于移动闭塞方式下的行车组织理论分析不同折返作业方式下的折返能力及适应性。

1 列车折返能力的计算

乌鲁木齐轨道交通 1 号线国际机场站为侧式站台, 设置有站后交叉渡线与站前单渡线, 线路示意图如图 1 所示。图 1 中, F3、F6、F5、F7、F10 和 F8 为防护信号机, XC 为下行出站信号机, SC 为上

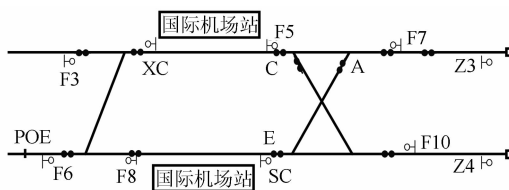


图 1 国际机场站站线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of international airport station line

* 陕西铁路工程职业技术学院研究生专项资助项目 (Ky2018-63)

行出站信号机,Z3 和 Z4 为阻挡信号机。列车可以在该站进行站前折返、站后折返和混合式折返作业。

依据站线结构示意图,运用图解法对站前单渡线折返、站后单渡线折返、站前站后交替折返和站后双渡线交替折返这 4 种作业方式进行研究分析。

1.1 站前单渡线折返能力计算

1.1.1 站前单渡线折返作业过程

国际机场站站前只有单渡线,折返方式只能用站前单渡线折返。如图 2 所示,站前折返路径为:F6→F5→XC。其作业过程为:

- 1) 列车经过 F6→F5 进路到达国际机场站下行站台,乘客下车。
- 2) 列车运行至国际机场站下行站台停稳后,司机换端,乘客上车,XC 信号机开放。

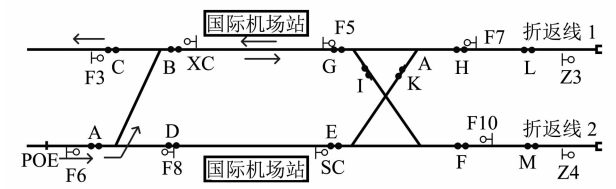


图 2 国际机场站站前折返路径示意图
Fig. 2 Schematic diagram of turn-back route before international airport station

3) 确认乘客上车,车门关闭,列车从下行站台发车。

1.1.2 站前单渡线折返作业时间计算

站前列车折返时间可分为进站时间、停站时间和出站时间。站前折返进程如图 3 所示。

1) 进站时间:列车从 F6 运行至 B 点时间为 t_1 ,出清 B 点运行至车站下行站台停稳时间为 t_2 ,当列车出清 B 点后,可实现出站进路的办理。

2) 停站时间:停站时间包含列车开关门时间、乘客乘降时间、司机换端时间及冗余时间。 T_z 表示列车到站停稳到起动时间。

3) 出站时间:列车从站台起动到出清 C 点时间为 t_3 。

假设冗余时间为 T_{r1} ,进路建立时间为 T_j 。从图 3、图 4 中可知列车出站准备时间 T_b 与 t_2+T_z 在同一时间段内,故列车站前单渡线折返时间 $T=t_1+t_2+T_z=110\text{ s}$ 。

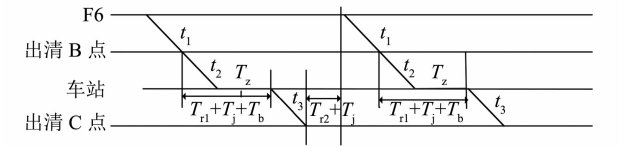


图 3 国际机场站站前折返作业进程示意图
Fig. 3 Schematic diagram of turn-back operation process before international airport station

作业过程	作业时间/s	作业过程
F6→F5 进路办理时间	15	15 s
经过 F6→F5 进路, 列车站台停稳时间	45	45 s
出站进路办理时间	15	15 s
乘客乘降及司机换端时间	50	50 s
列车从下行站台出清 C 点时间	47	47 s
		157 s

图 4 国际机场站站前折返能力计算图
Fig. 4 Calculation chart of turn-back capacity before international airport station

1.1.3 站前单渡线折返能力计算

当前行折返列车出清 C 点后,后续列车进站进路方可办理,其时间包含了 F6→F5 进路建立时间与冗余时间之和。由图 4 可知,折返作业发车时间间隔 $T_{折隔}=t_1+t_2+t_z+t_3+T_{r2}+T_j=157\text{ s}$, 则折返能力 $N_{折}=3\ 600/T_{折隔}=22.92\text{ 列/h}$ 。

1.2 站后单渡线折返

1.2.1 站后单渡线折返作业过程

从图 2 可知,列车在站后利用单渡线进行折返时,可采用折返线 1 进行折返,也可采用折返线 2,由于折返线 1 与折返线 2 的折返能力相同,因此本文只针对折返线 1 进行分析。如图 5 所示,

站后折返路径为: F6→SC→Z3→F7→XC,其作业过程为:

- 1) 列车经过 F6→SC 进路到达国际机场站上行站台,乘客下车。
- 2) 列车经过 SC→Z3 进路到达折返线 1,司机换端,建立进路 F7→XC。
- 3) 列车运行至国际机场站下行站台,确认乘客上车,车门关闭,列车从下行站台发车。

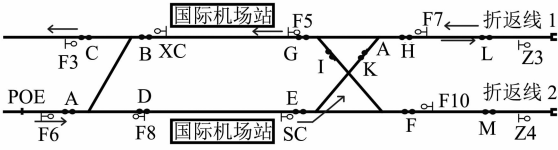


图 5 国际机场站站后单渡线折返示意图

Fig. 5 Schematic diagram of single cross turn-back after international airport station

1.2.2 站后单渡线折返作业时间计算

站后单渡线折返采用弯进直出方式,其包含进入折返线 1 的时间、折返线 1 换端时间、折返线 1 至下行站台间的时间和出站时间,该折返作业进程如图 6 所示。

- 1) 进入折返线 1 的时间:列车从 SC 运行至 H 点时间为 t_1 ,出清 H 点运行至车站下行站台停稳时

间为 t_2 。当前行列车出清 H 点后,可实现 F7-XC 进路的办理。

- 2) 折返线 1 换端时间:从列车在折返线 1 停稳开始计算,包含列车停稳、乘客乘降时间、司机换端时间及冗余时间。 T_z 表示列车到站停稳到起动时间。
- 3) 折返线 1 到下行站台时间:列车出清 G 点到下行站台停稳,整个过程中列车完成加速运行、匀速运行和减速运行,其时间为 t_3 。
- 4) 停站时间:乘客乘车时间。这个过程可实现出站进路的办理。
- 5) 出站时间:列车从下行站台到出清 C 点的时间。

从图 6、图 7 中可知,列车从上行站台运行至下行站台方可完成折返,故列车站后单渡线折返时间 $T = t_1 + t_2 + T_z = 120$ s。

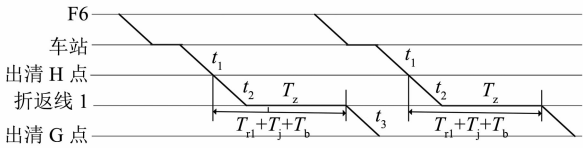


图 6 国际机场站站后单渡线折返作业进程示意图

Fig. 6 Schematic diagram of single cross turn-back operation process after international airport station

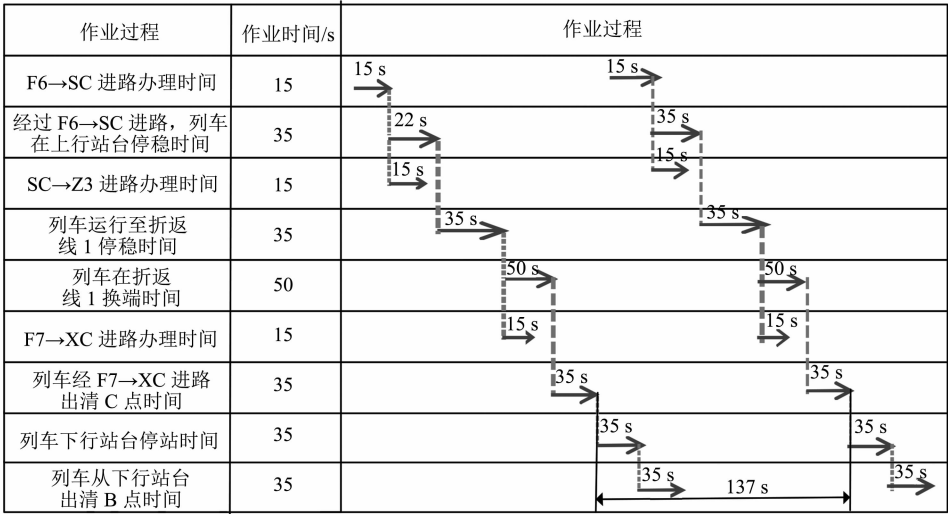


图 7 国际机场站站后单渡线折返能力计算

Fig. 7 Calculation of single cross turn-back capacity after international airport station

1.2.3 站后单渡线折返能力计算

当列车出清 E 点后,后续列车的进站进路 F6-SC 方可办理。当前行列车出清 G 点后,后续列车进入折返线 1 的进路方可办理。由图 6、图 7 可知:折返作

业发车间隔时间 $T_{折隔} = t_1 + t_2 + t_z + t_3 + T_{t_2} + T_j = 137$ s, 则折返能力 $N_{折} = 3\ 600/T_{折隔} = 26.27$ 列/h。

1.3 站前站后交替折返

1.3.1 站前站后单渡线折返作业过程

遵循站前折返列车后进先出的原则。如图 8 所示,站前站后交替折返路径为:F6→SC→Z3(SC→Z3 与 F6→F5 进路同时进行)→XC→F3。列车出清 B 点后 F7→XC 进路建立,如此交替进行。其作业过程为:

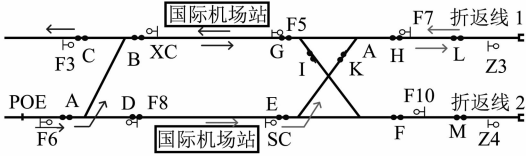


图 8 国际机场站站前站后交替折返示意图
Fig. 8 Schematic diagram of alternating turn-back before and after international airport station

- 1) 站后折返列车经过 F6→SC 进路到达国际机场站上行站台,乘客下车。
- 2) 当站后折返列车越过 D 点后,F6→F5 进路建立,站前折返列车运行至国际机场站下行站台,确认乘客下车,司机换端,出站进路建立。
- 3) 站后折返列车运行至折返线 1,司机换端,等待 F7→XC 进路建立。
- 4) 站前折返列车越过 B 点后,F7→XC 进路建立,站后折返列车运行至国际机场站下行站台,确认乘客上车,车门关闭,列车从下行站台发车。
- 5) 后续列车重复以上步骤。

1.3.2 站前站后交替折返作业时间计算

站前站后交替折返方式下,由于采用的是站前列车后进的原则,因此在这个过程中,就包含 2 个折返作业时间,一个是站前折返作业时间 $T_{前折}$,另一个是站后折返作业时间 $T_{后折}$ 。从图 9 可以看出,站前折返列车由于是后进先出,其折返时间与单独折返方式一致, $T_{前折}=110\text{ s}$ 。对于站后折返列车,由于站前折返列车进路的占用,增加了其在折返线 1 的等待时间,其 T_z 增大,其余作业过程时间与单渡线折返原理一致,故 $T_{后折}=233\text{ s}$ 。

1.3.3 站前站后交替折返能力计算

当站后折返列车出清 D 点后,F6-F5 进路办理,站前折返列车方可进站进行折返作业。当站前折返列车出清 B 点后,F7-XC 进路办理,如此循环。用图解法求解,由图 9、图 10 可知, $T_{折隔}=117\text{ s}$,折返能力 $N_{折}=3\ 600/T_{折隔}=30.77\text{ 列/h}$ 。

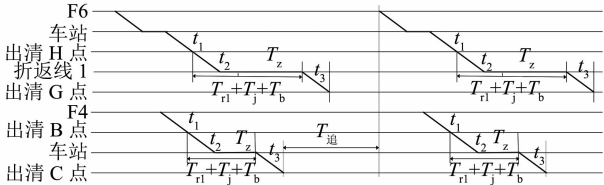


图 9 国际机场站站后单渡线折返作业进程示意图
Fig. 9 Schematic diagram of single cross turn-back operation process after international airport station

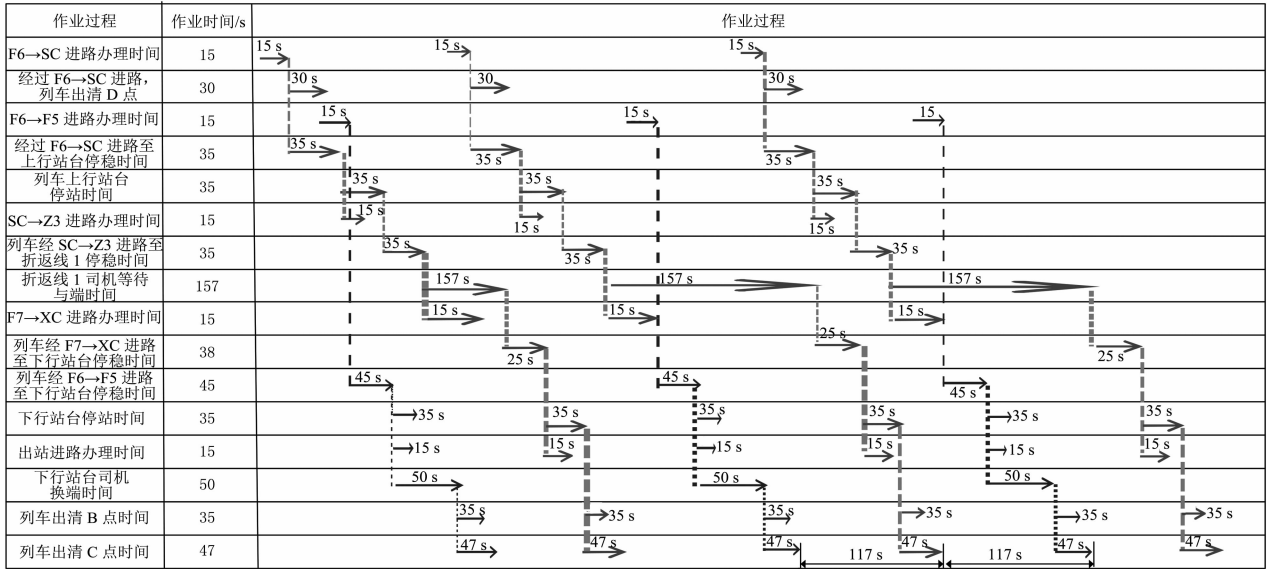


图 10 国际机场站站前站后交替折返能力计算
Fig. 10 Calculation of alternating turn-back capacity before and after international airport station

1.4 站后双线交替折返

1.4.1 站后双渡线折返作业过程

国际机场站站后为双渡线,遵循折返列车交替折返原则,如图 11 所示,其作业过程为:

- 1) 利用折返线 1 折返列车,经过 F6→SC 进路达到国际机场站上行站台,乘客下车。
- 2) 确认乘客下车完毕,列车利用折返线 1 经进路 SC→Z3 运行至折返线 1,司机换端。
- 3) 列车利用折返线 1 越过 E 点后,F6→SC 进路建立;列车利用折返线 2 达到国际机场站上行站台,乘客下车。
- 4) 列车利用折返线 2 达到折返线 2,列车停稳,司机换端。
- 5) F7→XC 进路建立,列车利用折返线 1 运行至国际机场站下行站台,确认乘客上车,出站进路建立,列车发出。
- 6) 列车利用折返线 1 尾部出清 G 点后,SC→Z3 进路建立,后续列车运行至折返线 1。
- 7) 列车利用折返线 1 尾部出清 B 点后,F10-XC 进路建立;列车利用折返线 2 运行至国际机场站下行站台,确认乘客上车,出站进路建立,列车发出。
- 8) 后续列车重复以上步骤。

1.4.2 站后双线折返作业时间计算

站后双线折返方式下,由于采用交替折返的原则,因此在这个过程中,利用折返线 1 与折返线 2 折返时间相同,因此由图 12、图 13 可知: $T_{1折}=T_{2折}=176\text{ s}$ 。

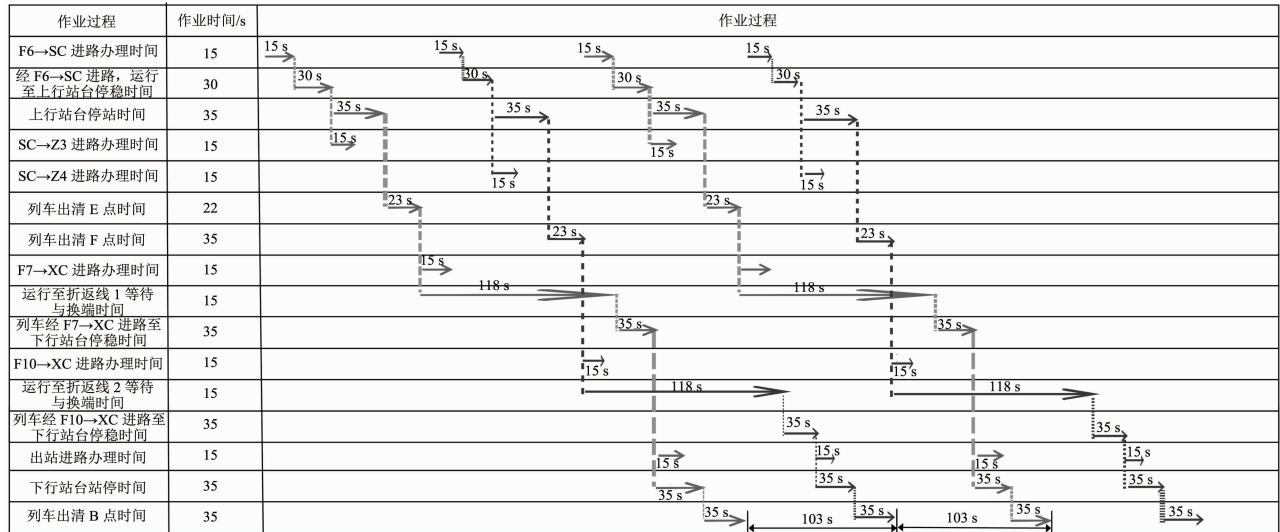


图 13 国际机场站站后双线交替折返能力计算

Fig. 13 Calculation of double crossover alternating turn-back capacity after international airport station

2 运能分析

通过对站前单渡线、站后单渡线、站前站后交

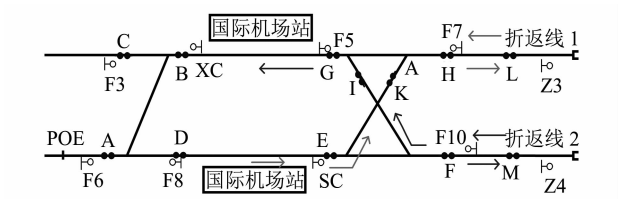


图 11 国际机场站站后双线交替折返示意图

Fig. 11 Schematic diagram of double crossover alternating turn-back after international airport station

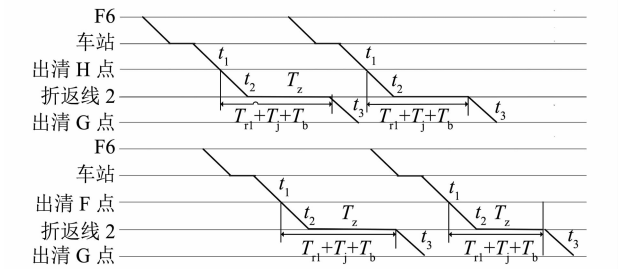


图 12 国际机场站站后双线交替折返作业进程示意图

Fig. 12 Schematic diagram of double crossover alternating turn-back operation process after international airport station

1.4.3 站后双线折返能力计算

站后双渡线折返时,由于交替使用折返线 1 和折返线 2,大大提高了折返能力,由图 12、图 13 得知; $T_{折隔}=103\text{ s}$,折返能力 $N_{折}=3\ 600/T_{折隔}=34.95$ 列/h。

替折返和站后双渡线折返方式进行分析,可知:在移动闭塞方式下,站前单渡线折返发车作业间隔时间为 157 s,站后单渡线折返发车作业间隔时间为

137 s,站前站后交替折返发车作业间隔时间为 117 s,站后双渡线折返发车作业间隔时间为 103 s。

乌鲁木齐轨道交通 1 号线采用 A 型车,6 辆编组,定员 1 860 人。列车折返发车作业时间间隔不同,折返能力也不同,则不同折返方式下,线路的运能也不同。

1) 在站前单渡线折返方式下,折返作业发车间隔时间为 157 s,折返能力为 22.92 列/h,则其运能为 4.09 万人次/h。

2) 在站后单渡线折返方式下,折返作业发车间隔时间为 137 s,折返能力为 26.27 列/h,则其运能为 4.88 万人次/h。相比站前单渡线折返,其运能增加了 18%。

3) 在站前站后交替折返方式下,折返作业发车间隔时间为 117 s,折返能力为 30.77 列/h,则其运能为 5.72 万人次/h。相比站前单渡线折返,其运能增加了 34%。

3 结论及建议

1) 对于站前折返方式,由于列车在折返时进路交叉,因此对行车安全不利,且运能相对较少;此外,在同站台折返、乘客乘降时会引起站台秩序混乱。建议在无法实现站后折返时采用。

2) 对于站前站后交替折返方式,虽比单独实现站前折返能力强,由于其在行车组织过程中难度大,发生故障时不易恢复。建议当列车作业折返间隔时间在[117,137)之间且站后只能单渡线折返时使用。

3) 由于站后折返方式一般采用弯进直出的方式,且行车作业比较流畅,发生故障后容易恢复,对

全线造成影响较小,建议当列车作业折返间隔时间大于 137 s 时,采用站后单渡线折返方式。

4) 当因运能需要,列车作业折返间隔时间在[103,117)之间时,建议采用站后双渡线折返方式,且实行 AR(列车自动折返模式)折返。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 江志彬,饶娅. 多股道城市轨道交通车站站前折返能力分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2017(9):1328.
JIANG Zhibin,RAO Ya. Turnback capacity assessment at rail transit stub-end terminal with multi-track[J]. Journal of Tongji University(Natural Science),2017(9):1328.
- [3] 王冠军. 折返能力对提高轨道交通线路运能的影响[J]. 都市快轨交通,2014(3):39.
WANG Guanjun. Influence of turnback capability on improving transport capacity of rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit,2014(3):39.
- [4] 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):63.
MIAO Qin,ZHOU Tianxing. Analysis of turning-back capacity at urban rail transit station[J]. Urban Mass Transit,2010(11):63.
- [5] 梁九彪. 城市轨道交通站前折返能力分析与计算[J]. 都市快轨交通,2008(5):27.
LIANG Jiubiao. Analysis on station-front turning-back capacity for urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit,2008(5):27.

(收稿日期:2020-01-06)

(上接第 42 页)

- [5] 张乾睿,江志彬. 上海轨道交通 16 号线快慢车通过能力技术分析[J]. 地下工程与隧道,2016(2):30.
ZHANG Qianrui,JIANG Zhibin. Technical analysis of carrying capacity of express and local train of Shanghai Rail Transit Line 16[J]. Underground Engineering and Tunnels,2016(2):30.
- [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.
ZHAO Yuan,DING Xiaobing,XU Xingfang. Analysis and calculation of metro carrying capacity in express and local train mode[J]. Urban Mass Transit,2018(10):16.

- [7] 徐瑞华,张国宝,徐行方. 轨道交通系统行车组织[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
XU Ruihua,ZHANG Guobao,XU Xingfang. Train operation organization of rail transit system[M]. Beijing: China Railway Publishing House,2005.
- [8] 屈明月,黄树明. 城市轨道交通快慢车方案研究[J]. 铁道运输与经济,2012(4):79.
QU Mingyue,HUANG Shuming. Study on fast and slow train scheme of Urban Rail Transit[J]. Rail Transport and Economy,2012(4):79.

(收稿日期:2020-01-31)