

城市轨道交通多交路模式下中间折返站能力分析

陈 焱, 毛保华*, 柏 贇, 李竹君, 陈志杰

(北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室, 北京 100044)

摘 要: 在城市轨道交通大小交路开行方案下, 中间折返站能力为线路运输能力的关键因素. 本文分别针对中间站站前折返与站后折返, 根据列车折返作业流程, 分析列车在中间站的最小间隔时间, 建立列车间隔时间的计算模型; 并考虑列车接发车作业与折返调车作业之间的冲突, 分析有作业干扰情形下的车站能力. 案例表明: 小交路列车开行比例越高, 车站的发车能力越小, 但不发生作业干扰时, 大小交路开行方案对车站能力的影响较小; 而在有产生作业干扰情形时, 站后折返能力损失可能达30%以上, 要高于站前折返. 在实际运营过程中, 有必要合理安排通过列车在中间折返站的到站时间, 以减少作业干扰、避免线路能力损失.

关键词: 城市交通; 城市轨道交通; 车站能力; 折返; 列车交路; 中间站

Capacity Analysis on Intermediate Turn-back Stations with Multi-routing in Urban Rail Transit

CHEN Yao, MAO Bao-hua, BAI Yun, LI Zhu-jun, CHEN Zhi-jie

(MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: In multi-routing mode of urban rail transit, the capacity of intermediate turn-back stations is a key factor to determine the carrying capacity of the rail line. According to the process of train turn-back, this paper proposes a computation model to calculate the minimum time intervals between trains at intermediate stations with station-front and station-behind turn-back, respectively. With the consideration of route conflict between short-routing train and long-routing trains, its impact on station capacity is analyzed. Case studies show that the station capacity decreases slightly with the increase of the ratio of short-routing train. Route conflict may lead to the loss of the station capacity by more than 30% at station-behind turn-back station, which is higher than that at station-front station. It is important to design reasonable arrival times of long-routing trains at intermediate turn-back stations in order to avoid the route conflict and the capacity loss.

Keywords: urban traffic; urban rail transit; station capacity; turn-back; train routing; intermediate stations

0 引 言

随着城市轨道交通网络化发展, 部分长距离线路采取大小交路开行方案, 如北京地铁10号线.

小交路列车需要在指定的中间站折返, 而大交路列车在中间站停站后通过. 中间折返站的折返能力与通过能力为线路运输能力的一个制约因素. 北京

收稿日期: 2016-12-16

修回日期: 2017-02-13

录用日期: 2017-02-21

基金项目: 国家自然科学基金/National Natural Science Foundation of China (71621001-3, 71390332).

作者简介: 陈焱(1993-), 男, 江西抚州人, 博士生.

*通信作者: bhmao@bjtu.edu.cn

地铁10号线高峰时期最小运行间隔为135 s,中间折返站能力决定了线路在高峰时期能否开行大小交路.因此,中间折返站能力是编制大小交路列车开行方案的基础.研究中间折返站能力对大小交路开行方案与列车时刻表的编制具有重要意义.

国外学者主要针对铁路枢纽车站能力进行研究.Powell等^[1]提出了一种铁路终点站最大接发车能力的解析计算方法,研究了股道布置形式对车站能力的影响.Dessouky等^[2]通过建立仿真模型评估车站股道配置以分析枢纽车站能力.国内学者主要针对终点站折返能力进行大量研究.李俊芳等^[3]、苗沁等^[4]分析了地铁列车在终点站的折返作业过程,并提出了折返能力计算方法.张增勇等^[5]基于列车牵引计算准确对比了站后单线折返与双线折返的作业流程与折返间隔时间.陈垚等^[6]考虑安全防护区段分析了站后双折返线的折返能力.网络化开行方案下的线路能力也备受关注.例如,李明高等^[7]分析了市郊铁路与地铁过轨开行下的线路通过能力.对于多交路开行模式,徐瑞华等^[8]利用周期分析法从运行图角度计算了线路通过能力并分析了因开行大小交路导致的能力损失.张国宝等^[9]研究了大小交路与衔接交路下的中间站折返能力,并分析了中间站站前折返对通过能力的影响.李春雨等^[10]分析了折返作业与接发车作业干扰情形下的折返间隔时间,并分析了干扰发生概率.既有研究对于折返列车的作业流程与折返间隔进行了详细分析.然而,列车折返对于后续通过列车的接发车作业也将产生影响,折返列车与通过列车之间的间隔时间研究相对缺乏.

为此,本文分别针对站前与站后折返方式,在中间站折返作业流程基础上,分析列车之间的间隔时间,建立其解析计算公式;考虑通过列车的接发车作业对折返调车作业的影响,分析有作业干扰情形下的中间折返站能力.

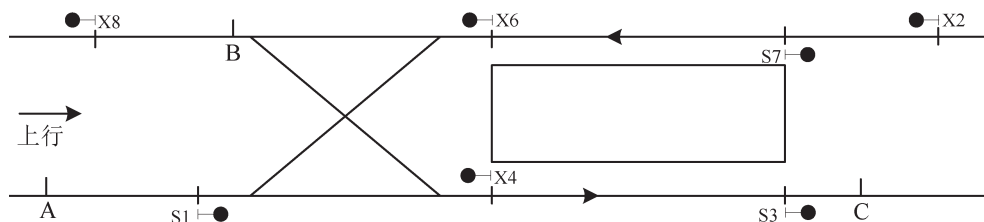


图2 站前折返站站型示意图
Fig. 2 Station-before turn-back station

1 中间折返站能力

大小交路嵌套形式下,以大交路列车运行周期为基准的运行图形式如图1所示.中间折返站能力由一个周期内的列车间隔时间决定.由图1可知,中间折返站能力不仅受小交路列车间的折返间隔影响,同时也取决于大小交路列车间的到达与出发间隔.不失一般性,本文以大小交路列车开行比例1:2为研究对象,分析列车之间的间隔时间.影响中间折返站能力的间隔时间有,小交路列车间的间隔时间、前行小交路列车与后行大交路列车的间隔时间,以及前行大交路列车与后行小交路列车的间隔时间.

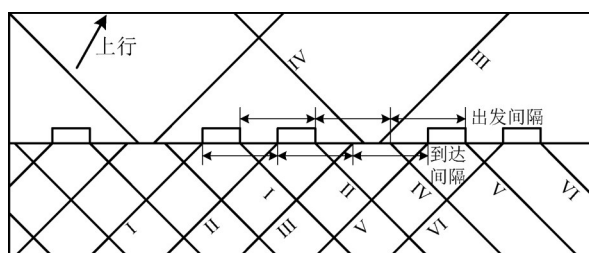


图1 大小交路开行方案下运行图

Fig. 1 Train time-space diagram with multi-routing

在上行进站方向,当前行列车为大交路列车、后行列车为小交路列车时,列车在中间站折返不引起列车到达间隔时间的增长^[9].即,列车III、V间的最小到达间隔为车站追踪间隔时间.同理,在下行出站方向,列车II、IV间的最小出发间隔也为车站追踪间隔时间.因此,本文研究对象包括小交路列车I、II间的到达与出发间隔、列车II、III间的到达间隔,以及列车IV、V间的出发间隔.

2 站前折返作业流程

站前折返指列车在折返车站利用站前渡线进行折返作业.典型站前折返站配线如图2所示.这里以上行方向折返为例.

图2中,A点为上行列车在信号机S1未开放时需要开始制动的位置.B点为道岔区轨道电路分界点,只有当列车全部通过B点后,道岔区段才能解锁.C点为上行正线轨道电路分界点.

2.1 站前折返列车间隔时间分析

在中间站,列车站前折返采用“直进侧出”的方式^[9].在前行列车出清轨道电路分界点B后,折返列车直向进站,在上行正线停站,再侧向出站.折返列车I、II的到达间隔与出发间隔相同,其计算公式为

$$I_a^{1,2} = I_d^{1,2} = t_{\text{接作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{直进}}^{\text{小交路}} + t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} + t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} \quad (1)$$

式中: $t_{\text{接作业}}$ 为接车进路办理时间; $t_{\text{反应}}^{\text{小交路}}$ 为小交路列车直向进站时间; $t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}}$ 为小交路列车在中间折返站的停站时间; $t_{\text{反应}}^{\text{小交路}}$ 为车载设备反应时间; $t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}}$ 为小交路列车侧向出站时间.

当小交路列车II出清分界点B后,车站即可办理后行大交路列车III的接车作业.列车II、III的到达间隔时间为

$$I_a^{2,3} = t_{\text{直进}}^{\text{小交路}} + t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} + t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} + t_{\text{接作业}} + t_{\text{反应}} \quad (2)$$

对于小交路列车V,在前行大交路列车IV驶出轨道电路分界点B后可以办理折返调车进路,侧向出发,同时保证列车IV、V的出发间隔时间不能小于追踪间隔时间.由于列车V最早于列车III到达后的一个间隔时间到达,如图3所示,在列车IV驶出轨道电路分界点B时,列车V可能还未停站结束.列车V需要完成折返作业才能出发.

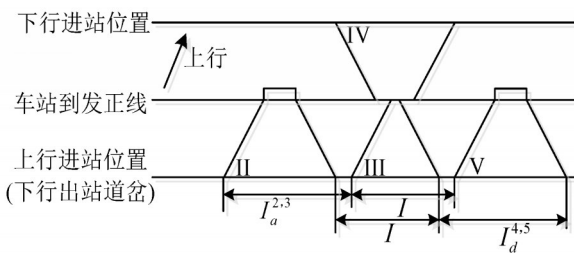


图3 站前折返 $I_a^{4,5}$ 计算示意图

Fig. 3 Illustration of $I_a^{4,5}$ with station-before turn-back

由图3可推算出列车IV、V的出发间隔时间为

$$I_d^{4,5} = I_a^{2,3} > I \quad (3)$$

式中: I 为车站追踪间隔时间.

2.2 作业干扰对列车间隔时间的影响

当折返列车与通过列车产生作业干扰时,列车间隔时间将因此而延长,造成车站能力损失.当折返列车II未出清轨道电路分界点B,而通过列车IV

已经进入进站位置时,列车IV的接车进路与列车II的折返调车进路相互冲突.根据列车接发车优先原则,列车II必须在正线等候列车IV进站停车后,再办理折返调车进路.如图4所示,图中实线为实际作业过程,虚线为不考虑列车IV影响的作业过程.

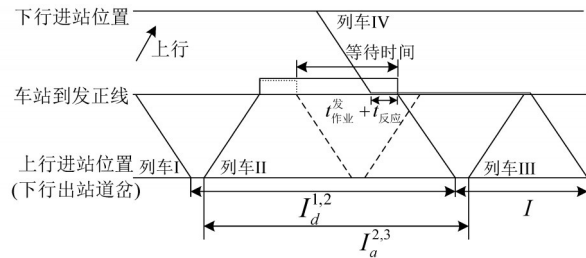


图4 站前折返 $I_d^{1,2}$ 计算示意图

Fig. 4 Illustration of $I_d^{1,2}$ with station-before turn-back

考虑临界情况,当折返列车II即将出清轨道电路分界点B时,列车IV刚好到达进站位置,此时列车II有最大的额外等待时间.列车I、II的折返出发间隔延长时间为

$$\Delta I_d^{1,2} = t_{\text{直进}}^{\text{大交路}} + t_{\text{接作业}} + t_{\text{反应}} + t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} \quad (4)$$

式中: $t_{\text{直进}}^{\text{大交路}}$ 为下行大交路列车直向进站时间.在该情况下,列车II、III的到达间隔时间也将延长,其延长时间与列车I、II的折返出发间隔相同.

当大交路列车IV进站过晚时,后行小交路列车V停站结束后,其与列车IV的出发间隔未达到最小追踪间隔时间,小交路列车V则需要等待.考虑临界情况,当列车IV与列车V同时准备办理发车进路时,根据列车接发车优先原则,列车IV先办理发车作业,列车V的等待时间达到最大.如图5所示,列车V的等待时间为

$$\Delta D^5 = I + t_{\text{直出}}^{\text{大交路}} - t_{\text{侧出}}^{\text{小交路}} \quad (5)$$

式中: $t_{\text{直出}}^{\text{大交路}}$ 为下行大交路列车直向出站时间.列车V在正线的额外等待使其出发时刻推迟,车站发车能力产生损失.

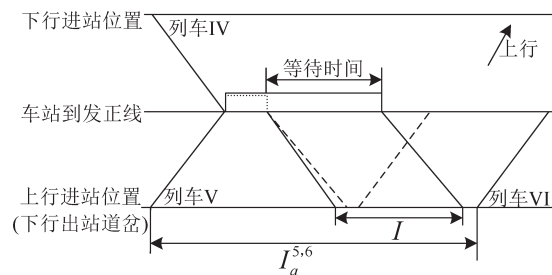


图5 列车V等待时间计算示意图

Fig. 5 The waiting time of train V

3 站后折返作业流程

站后折返指列车在折返车站利用站后折返线

进行折返作业.以站后单折返线为例,典型站后单折返线车站型式如图6所示.

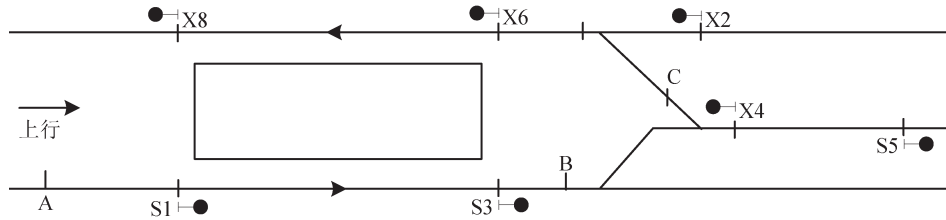


图6 站后折返站站型示意图

Fig. 6 Station-behind turn-back station

图6中,A点为上行列车在信号机S1未开放时需要开始制动的位置.B点为道岔与正线的轨道电路分界点,C点为道岔与侧向直轨的轨道电路分界点.

待前行列车出清轨道电路后才能进行下一阶段作业.因此,列车I、II的折返出发间隔则由接车间隔、折返间隔与发车间隔三者最大值决定.

3.1 站后折返列车间隔时间分析

当采用站后折返时,列车的折返过程为平行作业.站后折返可为接车、折返、发车等3个过程^[4,6].列车的接车过程由前行列车出清轨道电路分界点B起开始进站,在上行正线停车,至列车全部通过B点止.列车最小接车间隔时间为

$$I_{接} = t_{作业接} + t_{反应} + t_{进站小交路} + t_{停站小交路} + t_{出清B点} \quad (6)$$

式中: $t_{出清B点}$ 为列车从站台到出清轨道电路分界点B的运行时间.

$$I_d^{1,2} = \max\{I_{接}, I_{折}, I_{发}\} \quad (9)$$

其中,当接车间隔大于折返间隔时,列车II停站结束,列车I已经驶出折返线,列车II可直接驶入折返线.但当折返间隔大于接车间隔时,列车II需要在正线等待,直至列车I驶出折返线、出清轨道电路分界点C,再办理进折返线的调车作业.

列车的折返过程自前行列车出清轨道电路分界点C起开始进折返线,列车在折返线上进行驾驶室转换,同时办理出折返线进路,直至出清轨道电路分界点C.列车最小折返间隔时间为

$$I_{折} = t_{作业调} + t_{反应} + t_{进折} + \max(t_{转换}, t_{作业调}) + t_{反应} + t_{出清C点} \quad (7)$$

式中: $t_{作业调}$ 为折返调车进路办理时间; $t_{进折}$ 为列车从正线到折返线的运行时间; $t_{转换}$ 为驾驶室转换时间; $t_{出清C点}$ 为列车从折返线到出清轨道电路分界点C的运行时间.

由于后行列车III只有在列车II出清轨道电路分界点B后才可进站,因此当列车II不需要在正线等待时,列车II、III的到达间隔为 $I_{接}$;反之,列车II需要在正线等待,列车II、III的到达间隔为 $I_{折}$.

$$I_a^{2,3} = \max\{I_{接}, I_{折}\} \quad (10)$$

列车IV、V间的出发间隔由列车V的发车过程决定.当列车V在列车IV出清出站信号机X8后即可办理折返调车进路、出折返线,再停站、出发.但若列车IV驶出车站闭塞分区时,列车V还未完成折返作业,列车V则无法立即出折返线,需要完成折返过程后才能出发.列车V完成折返过程的时间受列车II、III到达间隔的约束(图3).因此,列车IV、V之间的出发间隔为

列车的发车过程为在前行列车出清出站信号机X8后办理折返调车进路,出折返线,再在下行正线停车,之后出发.列车最小发车间隔时间为

$$I_{发} = t_{作业调} + t_{反应} + t_{出折} + t_{停站小交路} + t_{出站小交路} \quad (8)$$

式中: $t_{出折}$ 为折返列车从折返线到正线的运行时间.

$$I_d^{4,5} = \max(I_{发}, I_a^{2,3}) = \max\{I_{接}, I_{折}, I_{发}\} \quad (11)$$

3.2 作业干扰对列车间隔时间的影响

值得说明的是,这里的“最小间隔”为不考虑前行列车的制约、没有出现作业等待情况下的最小间隔.列车在实际站后折返过程中有可能需要等

当下行大交路列车IV进站过早时,上行小交路列车II还未驶出车站闭塞分区,列车IV已经进入进站位置.列车II必须在折返线等待、让列车IV越行.此时,列车I的后行列车不再为列车II,而是列车IV.如图7所示,第1条横线对于上行小交路列车代表下行出站道岔,对于下行大交路列车代表下行进站位置.

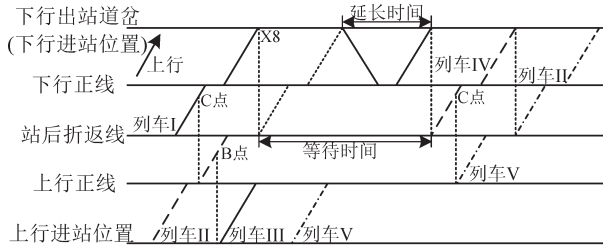


图7 干扰情形下列车站后折返流程

Fig. 7 The process of station-behind turn-back with route conflict

考虑临界情况,当折返列车II即将驶出车站闭塞分区时,列车IV刚好到达进站位置,此时列车I、IV有最大的出发间隔时间,计算公式为

$$I_d^{1,4} = I_d^{1,2} + t_{进站}^{大交路} + t_{停站}^{大交路} + t_{出站}^{大交路} \quad (12)$$

在该情形下,列车IV驶出车站闭塞分区后,列车II即可出折返线,列车IV、II的出发间隔为

$$I_d^{4,2} = I_{发} \quad (13)$$

对于列车V,其到达车站时,列车II还在折返线等待.列车V在列车II出清轨道电路分界点C后,方可进折返线;列车II驶出车站闭塞分区后,列车V方可出折返线.因此,列车II、V的折返出发间隔为

$$I_d^{2,5} = \max(I_{折}, I_{发}) \quad (14)$$

对于下行大交路列车IV进站过晚的情形,如图8所示,当小交路列车V的驾驶室转换完成后,列车IV还未出清出站信号机X8,则列车V需要在站后折返线额外等待列车IV出站后再办理出折返

线作业.

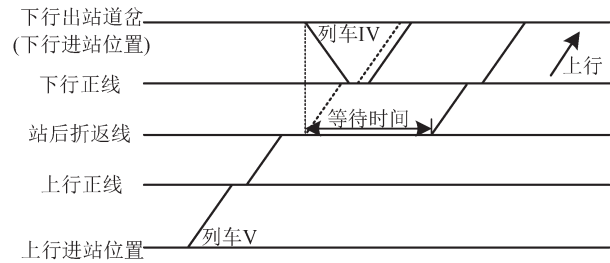


图8 站后折返列车V等待时间计算示意图

Fig. 8 The waiting time of train V

考虑临界情况,当列车V与列车IV同时准备进入下行正线时,列车V在折返线的额外等待时间达到最大,列车V出发时刻延迟时间最长,其计算公式为

$$\Delta D^5 = t_{进站}^{大交路} + t_{停站}^{大交路} + t_{出站}^{大交路} + t_{调车} + t_{反应} \quad (15)$$

4 算例分析

4.1 参数取值

本文选用DKZ4型列车与北京地铁某站前、站后中间折返站为研究对象,分析其折返站能力.车站技术作业时间设置如下:停站时间取30 s,进路作业办理时间取13 s,车载设备反应时间取3 s,驾驶室转换时间取12 s.站前折返站的车站追踪间隔时间I为110 s,站后折返站取100 s.

根据列车牵引特性与车站布置型式,利用列车运行计算模型^[5],计算列车在中间折返站的运行时间,计算结果如表1所示.

表1 列车运行时间

Table 1 The running time of trains (s)

站前折返				站后折返								
$t_{直进}^{小交路}$	$t_{侧出}^{小交路}$	$t_{直进}^{大交路}$	$t_{直出}^{大交路}$	$t_{进站}^{小交路}$	$t_{出清B}$	$t_{出清C}$	$t_{进折}$	$t_{出折}$	$t_{出站}^{大交路}$	$t_{进站}^{大交路}$	$t_{出站}^{大交路}$	
44	36	33	31	34	21	30	44	44	18	39	18	

4.2 无干扰情形下的车站能力计算

基于技术作业时间与列车运行时间,根据

式(1)~式(3)与式(6)~式(11),分别计算无干扰情形下列车折返出发间隔时间,如表2所示.

表2 折返出发间隔时间

Table 2 The departure headway between turn-back trains

列车间隔	站前折返		站后折返			
	到达间隔	出发间隔	接车间隔	折返间隔	发车间隔	折返出发间隔
间隔时间/s	123	123	101	106	108	108

在站前折返方式下,车站的接发车能力相同,间隔时间均为123 s,折返能力达29列/h.而采用站

后折返方式时,列车折返时存在作业等待情形,造成车站的接发车能力不平衡.在该站后折返站,车

站接车能力最大,列车需要在到达正线额外等待5 s再进折返线;由于发车间隔大于折返间隔,列车在折返线上额外需要等待2 s再出折返线.综合3个过程,站后折返站的折返能力为33 列/h.对比站前折返与站后折返能力可以发现,由于列车站后折返为平行作业,站后折返站能力要大于站前折返站.

在大小交路列车不同开行比例下,中间折返站发车能力不同.折返站发车能力随大小交路列车开行比例的变化规律如图9所示.

由图9可知,小交路列车开行比例越高,车站发车能力越小.这是因为折返出发间隔时间大于车站追踪间隔时间,车站折返能力小于通过能力.因此,折返列车越多,车站发车能力越小.

由于车站追踪间隔与折返出发间隔比较接近,车站发车能力变化并不明显,变化范围均小于2 列/h.在折返作业与接发车作业不发生干扰时,大

小交路开行方案对线路能力的影响较小.

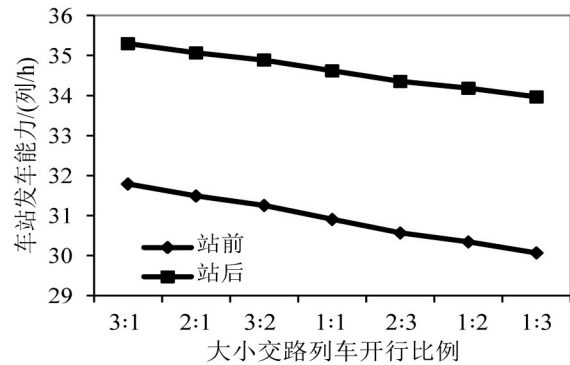


图9 车站发车能力

Fig. 9 Station capacity

4.3 作业干扰对车站能力的影响

考虑通过列车的接发车作业对折返作业的最大干扰,以大小交路开行比例1:2为例,计算大交路列车运行周期内的出发间隔时间,如表3所示.

表3 列车出发间隔时间

Table 3 The departure headway between trains

	站前折返		站后折返	
	出发间隔时间/s	变化比例/%	出发间隔时间/s	变化比例/%
无干扰情形	356	—	316	—
通过列车到站过早	439	23.3	411	30.1
通过列车到站过晚	461	29.5	419	32.6

由表3可知,在站前折返站,当通过列车到站过早时,列车出发间隔相较于无干扰情形均增加83 s;而通过列车到站过晚时,列车出发间隔增加105 s.车站能力分别降低23.3%和29.5%.

采用站后折返方式时,由于列车折返不占用正线,作业干扰对车站的接车能力影响较小,但对车站的发车能力影响较大.当通过列车到站过早时,列车作业相互干扰,通过列车越行折返列车,列车发车间隔时间增长,车站发车能力下降30.1%;而当通过列车到站过晚时,车站能力未被充分利用,发车能力也将损失32.6%以上.

由此可知,由通过列车的接发车作业对折返作业的干扰引起的折返能力损失,站后折返要大于站前折返.而不论站前折返还是站后折返,作业干扰对车站能力均影响显著.因此,在采用大小交路开行方案时有必要合理安排大交路通过列车在中间折返站的到站时间,以避免作业干扰.

5 结论

本文分别针对中间站站前折返与站后折返,根据折返作业流程,建立了列车间隔时间的解析计算公式,计算了无作业干扰情形下的车站能力,并分析了作业干扰对车站能力的影响,最后通过算例验证了本文方法的有效性.主要研究结论如下:

(1) 采用本文参数取值时,在无作业干扰的情形下,站后折返能力可达33 列/h,大于站前折返的29 列/h.

(2) 由于折返出发间隔时间大于车站追踪间隔时间,小交路列车开行比例越高,车站的发车能力越小.但由于车站通过能力与折返能力比较接近,在折返作业与接发车作业不发生干扰时,大小交路开行方案对车站能力的影响较小.

(3) 考虑通过列车的接发车作业对折返作业的最大干扰,站后折返能力损失达30%以上,要高于站前折返.作业干扰对车站能力影响显著,有必要合理安排通过列车在中间折返站的到站时间,

以避免作业干扰。

参考文献:

- [1] POWELL S, WONG H Y. A deterministic approach to evaluating transport infrastructure at a terminus[J]. *Transportation Research Part A: Policy & Practice*, 2000, 34(4): 287-302.
- [2] DESSOUKY M M, LU Q, LEACHMAN R C. Using simulation modeling to assess rail track infrastructure in densely trafficked metropolitan areas[C]// *Simulation Conference*, 2002. *Proceedings of the Winter*, 2003: 725-731.
- [3] 李俊芳, 樊晓梅. 城市轨道交通车站折返能力计算[J]. *铁道运输与经济*, 2009, 31(5): 50-53. [LI J F, FAN X M. Turning-back capacity calculation of urban mass transit station[J]. *Railway Transport and Economy*, 2009, 31(5): 50-53.]
- [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, 13(11): 57-61. [MIAO Q, ZHOU T X. Analysis of turning-back capacity at urban rail transit station[J]. *Urban Mass Transit*, 2010, 13(11): 57-61.]
- [5] 张增勇, 毛保华, 蒋玉琨, 等. 基于牵引计算的城市轨道交通站后折返站能力计算方法[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(2): 450-455. [ZHANG Z Y, MAO B H, JIANG Y K, et al. Calculation method for station-end turn-back capacity of urban rail transit based on train traction[J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2013, 33(2): 450-455.]
- [6] 陈垚, 毛保华, 李明高, 等. 基于安全区段的站后双折返线折返能力分析[J]. *都市轨道交通*, 2014, 27(5): 55-59. [CHEN Y, MAO B H, LI M G, et al. Capacity analysis of station-behind double turn-back line with overlap[J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2014, 27(5): 55-59.]
- [7] 李明高, 毛保华, 杜鹏, 等. 城市轨道交通与市郊铁路直通运营下通过能力研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(1): 111-115. [LI M G, MAO B H, DU P, et al. Capacity calculation under through operation between urban rail transit and suburban railway[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2016, 16(1): 111-115.]
- [8] 徐瑞华, 陈菁菁, 杜世敏. 城轨交通多种列车交路模式下的通过能力和车底运用研究[J]. *铁道学报*, 2005, 27(4): 6-10. [XU R H, CHEN J J, DU S M. Study on carrying capacity and use of rolling stock with multi-routing in urban rail transit[J]. *Journal of the China Railway Society*, 2005, 27(4): 6-10.]
- [9] 张国宝, 刘明姝, 徐瑞华. 城市轨道交通列车在中间站折返时的通过能力适应性分析[J]. *城市轨道交通研究*, 2005, 8(6): 31-35. [ZHANG G B, LIU M S, XU R H. Analysis on carrying capacity for URT train turn-back at wayside station[J]. *Urban Mass Transit*, 2005, 8(6): 31-35.]
- [10] 李春雨, 杜文, 祝晓波. 城市轨道交通中间折返站折返模式分析[J]. *都市轨道交通*, 2009, 22(1): 44-47. [LI C Y, DU W, ZHU X B. Analysis of reentry models on the intermediate turn-back stations of urban rail transit[J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2009, 22(1): 44-47.]