

都市圈城际铁路折返能力研究^{*}

马保仁

(中国铁路设计集团有限公司交通运输规划研究院, 300308, 天津//高级工程师)

摘要 为满足都市圈城际铁路公交化运营要求,需实现设计折返能力。以现状技术条件下双司机作业、单线折返为基本方案,提出基于 CTCS2+ATO(中国列车运行控制系统二级结合列车自动运行)列车运行控制系统的折返间隔计算方法。研究增加折返线、优化折返作业组织对提高折返能力的效果,并进一步探讨采用两线交替折返方案及单线折返方案来实现设计折返能力的技术条件和相关数值规律。研究结果表明:在单折返线条件下,折返线作业时间阈值为 64 s,可作为自动折返技术条件下折返线作业时间优化目标值;在双折返线交替折返条件下,折返线作业时间阈值为 244 s,可按此制定自动折返技术调试期折返作业规程。

关键词 都市圈城际铁路;折返能力;折返间隔;折返线作业时间

中图分类号 U293.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.12.021

Study on Metropolitan Intercity Railway Turnback Capacity

MA Baoren

Abstract For fulfilling MIR (metropolitan intercity railway) public transport operation requirements, building targeted turnback capacity is necessary. Taking double drivers operating with single turnback line as the basic scheme under current technical conditions, a method of calculating turnback interval based on CTCS2+ATO train operation control system is proposed. The effect of enhancing turnback capacity by adding turnback line and optimizing turnback operation organization is studied. Furthermore, it is discussed to realize targeted turnback capacity and relative numerical laws by adopting the scheme of interchangeable double turnback lines and single turnback line. Results show that, in case of single turnback line, the threshold of turnback line operation time is 64 s, which can be set as the optimized target value for turnback line operation time under automatic turnback technical conditions; in case of interchangeable double turnback lines, the threshold is 244 s, which can be referred to for formulating turnback op-

eration regulation during automatic turnback technical commissioning period.

Key words MIR (metropolitan intercity railway); turnback capacity; turnback interval; turnback operation time

Author's address China Railway Design Corporation, 300308, Tianjin, China

20 世纪 60 年代,日本都市交通审议会将“市郊私营铁道与地铁按统一标准建设,实现互联互通、直通运输”作为工作重点^[1],持续提高轨道交通通勤服务水平,打造了“轨道上的东京都市圈”。借鉴相关经验,广州都市圈、深圳都市圈新建都市圈城际铁路:一是新建线路伸入城市核心区时,采用地下敷设方式,与城市轨道交通在付费区换乘;二是新建线路与既有铁路衔接融合,兼具城际铁路和市域(郊)铁路双重功能,打造都市圈通勤圈;三是新建线路满足公交化运输组织需求。在 2022 年前,粤港澳大湾区将启动建设深惠城际(含大鹏支线)、深圳机场至大亚湾城际(简称“深大城际”)^[2]等都市圈城际铁路。结合前期研究成果,这些线路平均站间距为 6~8 km,适于采用 160 km/h 速度目标值;主要服务市域通勤需求,兼顾跨区域组团间直连直通,分时段运输组织灵活,对线路通过能力要求高。为更好地适应乘客便捷换乘、随到随走的需要,车站尽量避免设置多站台、多股道,折返站结合敷设条件参照地铁布置型式。

折返能力是都市圈城际铁路线路通过能力的控制环节,主要由列车运行控制(以下简称“列控”)系统制式、车站配线形式和折返作业组织方式、列车最高运行速度、车辆加减速性能、停站时间及列车长度等因素综合确定^[3]。在我国,城市轨道交通列控系统多采用 CBTC(基于通信的列车控制)制式,其折返能力研究相对成熟^[4];高速铁路列控系统制式以 CTCS(中国列车运行控制系统)为主,结

^{*} 中国铁路设计集团有限公司科技开发课题重点课题(2021A20301)

合铁路客运组织和技术作业条件,其地面站采用“空间换时间”^[5]的方式来实现设计折返能力。对于采用 CTCS2 制式的都市圈城际铁路,其折返能力和折返作业组织方法作为新技术研发^[6]的基础,正越发受到关注。

1 都市圈城际铁路列车开行方案

根据深圳都市圈城际铁路研究年度远期(2050 年)线网开行方案(如图 1 所示),在高峰时段,深惠城际开行列车 17 对/h,深大城际开行列车 16 对/h。考虑为深大城际和深惠城际在五和站跨线运行留

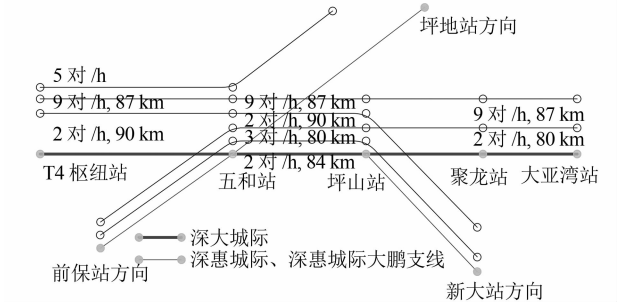


图 1 深圳都市圈城际铁路研究年度列车开行方案
Fig. 1 Annual network operation plan from study on Shenzhen metropolitan area intercity railway

有一定的运营调整裕量,线路设计折返能力不宜低于 20 对/h。为实现设计折返能力,T4 枢纽站作为深大城际端点折返站^[2],相邻列车在该站折返间隔不宜大于 180 s。

2 T4 枢纽站折返间隔影响因素分析

2.1 T4 枢纽站车站布置方案

T4 枢纽站采用一岛两线站后折返布置(如图 2 所示)。站后交叉渡线采用 12[#]道岔。道岔限速为 50 km/h。

2.2 列控系统制式

考虑与既有铁路跨线运营,从与之技术标准相协调角度考虑,暂假定深圳都市圈城际铁路列控系统采用 CTCS2+ATO(中国列车运行控制系统二级结合列车自动运行)制式,列车能够自动进入折返线停稳^[7]。

相邻列车在 T4 枢纽站进站时的追踪过程如图 2 所示。当前行列车(G101)尾部出清站台区段后,列控系统开始为后行列车(G103)办理接车进路,且办理用时为 26 s。若前行列车未能出清站台区段,则后行列车制动停稳于距站台区段进站信号机前方 $L_{防}$ 处。

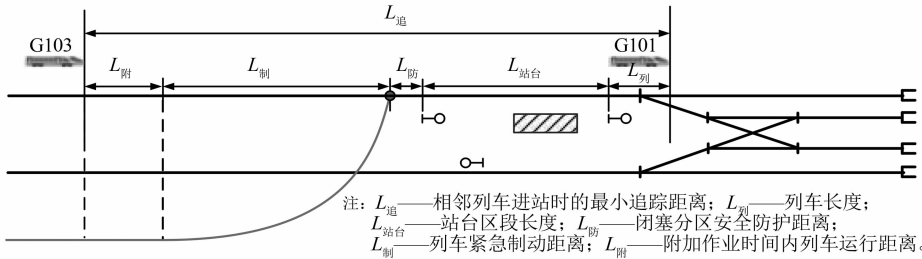


图 2 相邻列车在 T4 枢纽站进站时的追踪过程示意图
Fig. 2 Schematic diagram of inbound tracking process of adjacent trains at T4 station

如图 3 所示,相邻列车在 T4 枢纽站出发时的追踪出站时,前行列车(G101)尾部出清第一离去区

段后,列控系统开始为后行列车(G103)办理发车进路,且办理用时为 26 s。

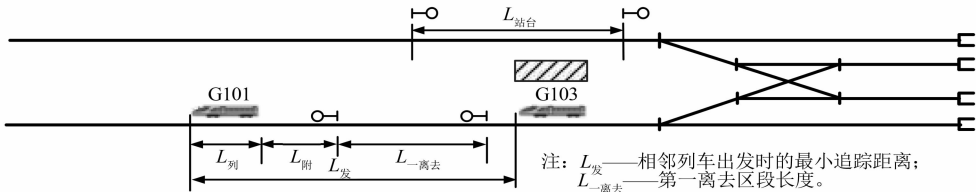


图 3 相邻列车在 T4 枢纽站出发时的追踪过程示意图
Fig. 3 Schematic diagram of departure tracking process of adjacent trains at T4 station

2.3 列车折返作业程序

列车折返作业程序同列控系统制式、乘务组织

及司机操作流程等有关,其包括自列车完全进入折返线停稳时起,至列车开始驶离折返线时止,列车

在折返线上所进行的全部技术作业流程。经过实地调研发现,单司机作业与双司机作业在技术上均可行。通过去掉复核性冗余操作、使司机操作熟练,对常规作业进行优化,现场记录优化前后的列车折返作业程序及平均用时,见表 1。

表 1 现状折返作业程序写实

Tab.1 Documentation of current turnback operation procedure

| 步骤 | 步骤内容 | 单司机作业 用时/s | | 双司机作业 用时/s | |
|----|--------------------------------|---------------|-----|---------------|-----|
| | | 优化前 | 优化后 | 优化前 | 优化后 |
| 1 | 列车停稳确认已开门 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 2 | 退出司机室占用,确认设备休眠 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 增加 | 联控接车司机钥匙 | | | 20 | 20 |
| 3 | 收拾行包,锁闭司机室门 | 45 | 30 | | |
| 4 | 司机换端行走 | 210 | 190 | | |
| 5 | 进入司机室,摆放司机室 物,电器柜静态检 | 30 | 30 | | |
| 6 | 激活司机室(ATP 系统重 启 160 s)、紧急复位 | 50 | 30 | 50 | 30 |
| 7 | 紧急制动测试,ATP 系统 数据信息输入 | 160 | 120 | 160 | 120 |
| 8 | 在 CIR 及手持机终端注册 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 9 | 动车组简略制动试验 | 40 | 35 | 40 | 35 |
| 10 | 系统界面信息检查 | 30 | | 30 | |
| 11 | 复核数据,确认行车凭证 | 60 | | 60 | |
| 12 | 联控关门 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 13 | 确认列车行车条件 | 30 | 20 | 30 | 20 |

注:ATP——列车自动保护;CIR——车载综合无线通信设备。

从表 1 中可以看出:在列车折返线作业中,单司机作业优化前平均用时为 765 s,优化后用时可压缩至 565 s;双司机作业优化前用时为 500 s,优化后用时可压缩至 335 s。本文不考虑司机熟练度及冗余作业的影响,故仅按优化后用时进行分析。

2.4 其他参数

动车组的车长按 201.4 m 计算。考虑乘客舒适度,兼顾动车组快启快停需求,列车最大减速度按 0.9 m/s² 控制^[8]。

3 T4 枢纽站折返间隔检算及压缩策略

3.1 基本方案

基本方案为双司机作业、单折返线折返。由表 1 可知,基本方案折返作业平均用时为 335 s。基本方案折返作业流程如图 4 所示。以利用 II 道单线折返为例,前行折返列车尾部出清警冲标 AC2 时,后行折返列车即可接入 II 道。

由图 4 可知,基本方案的折返间隔为 451 s,折返能力为 7 对/h,未实现设计折返能力。

CTCS2+ATO 列控系统 will 折返车站划分为到达站台分区、折返线分区和出发站台分区等 3 个闭塞分区。列车在折返站追踪过程可相应等效为相邻列车在 3 个闭塞分区按准移动闭塞追踪运行的过程。对列车折返作业流程进一步合并处理,如图 4 b) 所示,将折返间隔重构划分为列车占用到达站台分区时间(即相邻列车在到达站台分区追踪间隔 $I_{到达}$)、列车占用折返线分区时间(即相邻列车在折返线分区追踪间隔 $I_{折返}$)和列车占用出发站台分区时间(即相邻列车在出发站台分区追踪间隔 $I_{出发}$)。

不难看出,相邻列车在折返线分区实现最紧密追踪,列车在折返线分区追踪间隔是列车折返间隔的控制环节。研究压缩 T4 枢纽站折返间隔,就是研究压缩相邻列车在折返线分区追踪间隔。

将折返线分区追踪过程展开如图 5 所示。由图 5 可以看出,由于前行列车占用进折返线咽喉,与后行列车占用出折返线咽喉不能同时发生,仅可按顺序进行,故相邻列车在折返线分区的追踪间隔受限。针对这一情况,本文提出折返间隔压缩策略。

3.2 压缩策略一

折返间隔的压缩策略一为双司机作业、多折返线交替折返策略。列车在折返线上的作业时间(335 s)较长,故提出增设折返线,组织多列车在折返站平行作业,进而压缩列车折返间隔。在该策略基础上,细化为双折返线交替折返方案与三折返线交替折返方案。

3.2.1 双折返线交替折返方案

在双折返线交替折返方案中,I 道与 II 道交替使用。通过调整,使列车进折返线占用咽喉与出折返线占用咽喉时间紧密接续。相邻列车在折返站追踪时序为:

第 1 步:①车在 II 道停车。

第 2 步:在①车完全进入 II 道后,即可办理②车进 I 道进路。

第 3 步:在①车完成折返线作业后,即可办理出 II 道(进入出发站台)。此时,不影响②车进入 I 道停车(出 II 道与进 I 道形成平行进路,可同步进行)。

第 4 步:①车尾部出清 II 道时,即可办理③车接入 II 道进路。

第 5 步:③车完全进入 II 道后,即可办理②车出 I 道的进路。

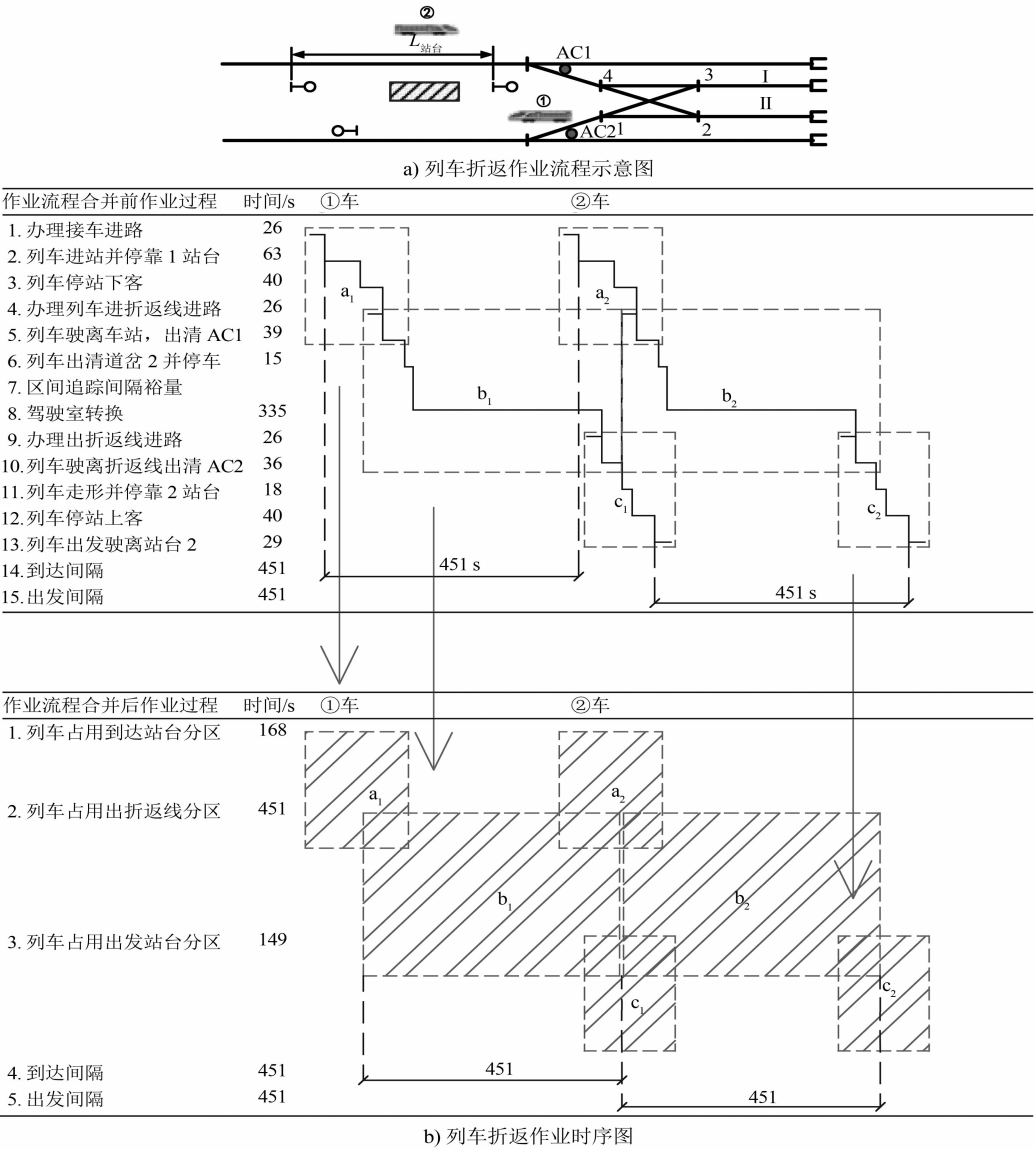


图 4 基本方案中相邻两列折返列车追踪过程和列车折返作业时序图

Fig. 4 Diagram of two adjacent turnback trains tracking process and train turnback operation procedure in the basic scheme

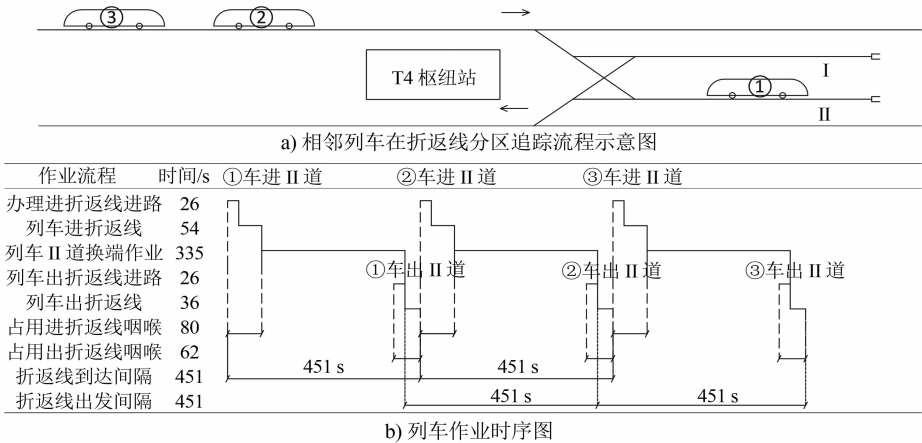


图 5 相邻列车在折返线分区的追踪流程及时序图

Fig. 5 Diagram of tracking procedure and sequence of adjacent trains in turnback line section

第 6 步:②车尾部出清 I 道后,即可办理④车接入 I 道进路。
连续 3 列列车为 1 个周期。此后重复第 3 步至

第 6 步。
该方案的流程及时序如图 6 所示。

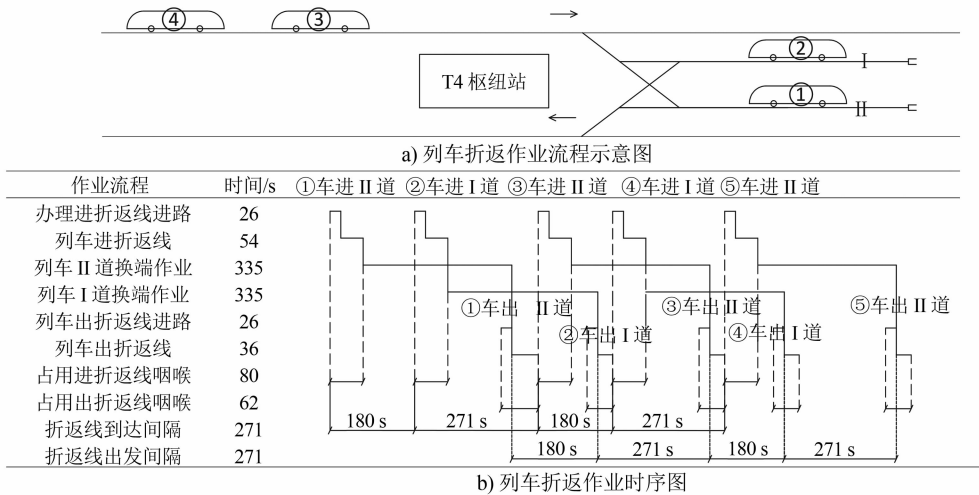


图 6 双折返线交替折返方案的列车作业流程及时序图

Fig. 6 Diagram of train operation procedure and sequence in the scheme of double turnback lines interchanging

经检算,双司机作业、双折返线交替折返时,折返能力为 15 对/h,未能实现设计折返能力。

3.2.2 三折返线交替折返方案

在三折返线交替折返方案中,3 条折返线(I 道、II 道及 III 道)交替使用。通过调整,使列车进折返线占用咽喉与出折返线占用咽喉时间紧密接续。相邻列车在折返站追踪时序为:

- 第 1 步:①车在 III 道停车。
 - 第 2 步:①车完全进入 III 道后,即可办理②车进 II 道进路。
 - 第 3 步:②车完全进入 II 道后,即可办理③车进 I 道进路。
 - 第 4 步:①车完成折返线作业后,即可办理出 III 道(进入出发站台)。此时,不影响③车进 I 道停车(出 III 道与进 I 道形成平行进路,同步进行)。
 - 第 5 步:②车完成折返线作业后,即可办理出 II 道(进入出发站台)。
 - 第 6 步:②车尾部出清 II 道时,即可办理④车进 III 道进路。
 - 第 7 步:④车完全进入 III 道后,即可办理③车出 I 道进路。
 - 第 8 步:③车尾部出清 I 道时,即可办理⑤车进 II 道进路。
- 连续 4 列列车为 1 个周期。此后重复第 4 步至第 8 步。

该方案的折返线布置及折返流程时间如图 7 所示。

经检算,相对双折返线交替折返方案,双司机作业、三折返线交替折返方案的折返能力为 16 对/h,虽有一定提升,却仍未能实现设计折返能力。

3.3 压缩策略二

压缩策略二为优化折返作业组织策略,通过合理排列列车折返作业时序,优化折返作业组织,进而压缩折返作业间隔。以三折返线交替折返方案为例,如图 8 所示,调整④车进入 III 道与①车驶离 III 道接续,调整②车在 II 道等待,可将列车折返间隔压缩至 180 s,实现设计折返能力。

4 折返线作业时间优化及数值规律

4.1 双折返线的作业时间优化

都市圈城际铁路一般会在断面客流量突降的中间站设置折返站。小交路折返由于不宜占用正线,故至多采用双折返线交替折返方案。

如图 9 所示:使列车占用进折返线咽喉与占用出折返线咽喉流程紧密接续,当列车的折返线作业时间压缩为 244 s 时,列车折返间隔为 180 s,可以实现设计折返能力。当组织列车在双折返线交替作业时,因折返作业存在平面交叉,前行折返列车即便提前完成驾驶室换向等技术作业,也需在出清折返线前等待后行列车进入折返线,因而列车在折返

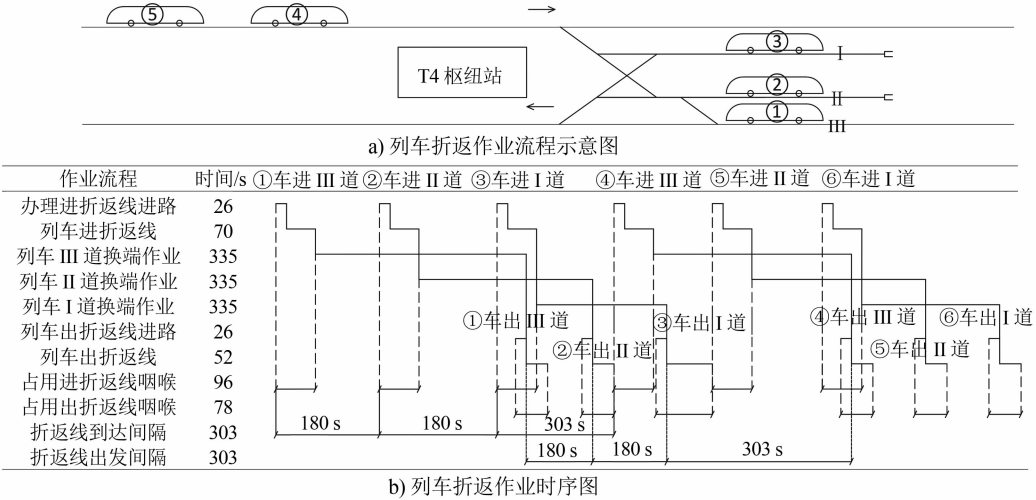


图 7 三折返线交替折返方案的列车作业流程及时序图

Fig. 7 Diagram of train operation procedure and sequence in the scheme of three turnback lines interchanging

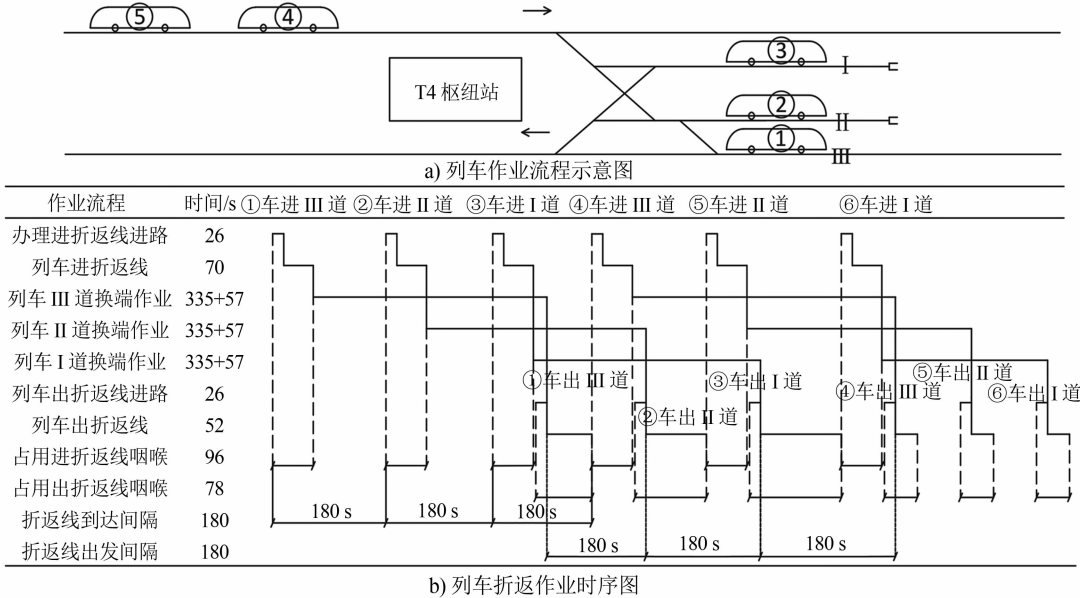


图 8 优化后的三折返线交替折返方案列车作业流程及时序图

Fig. 8 Diagram of train operation procedure and sequence in the optimized scheme of three turnback lines interchanging

线上停留的时间不能低于 206 s。据此计算,此方案中留有 38 s 调节裕量。

结合图 9 中的反算结果,如站后组织列车双折返线交替折返,则需在当前折返线作业时间(335 s)基础上进一步核减 91 s。司机号、车次号及载频信息等信息可从 CTCS 的列车计划中获得并由司机手动输入,CCS 编号、电话号、列车参数可由 ATP 软件从配置中读取。由此,建议优化 DMI(列控车载人工界面)数据输入,以 ATP 软件自动录入代替人工输入,并由司机在发车前一键确认,同时省略 ATP

激活后的制动测试^[5]。此时,折返线作业时间可压缩至 120~215 s,低于折返线作业时间阈值 244 s,不再制约 180 s 折返间隔的实现。

4.2 单折返线的作业时间优化

当站后折返站折返线与停车线合并设置时,需以单折返线来实现设计折返能力。

如图 10 所示,使列车占用进折返线咽喉与占用出折返线咽喉紧密接续。当列车在单折返线上的作业时间为 64 s 时,列车追踪间隔为 180 s,能实现设计折返能力。

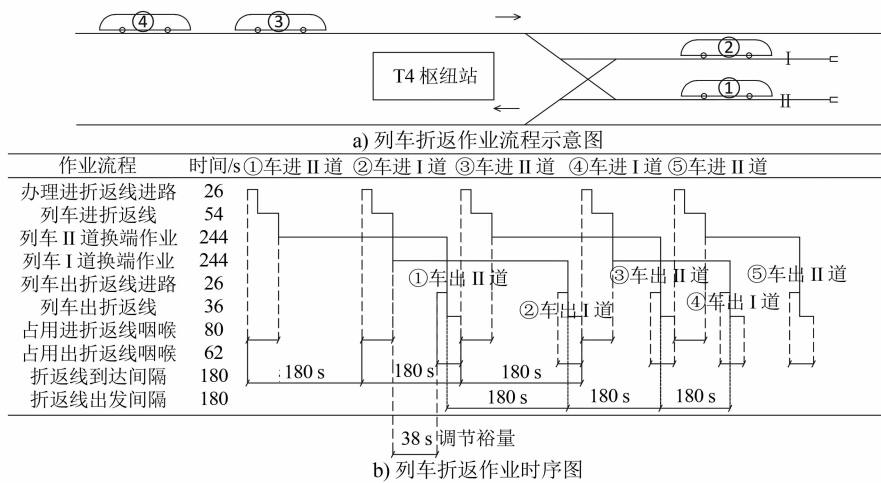


图 9 双折返线交替折返方案下反算折返线作业时间阈值

Fig. 9 Reverse calculation of operation time threshold in the scheme of double turnback lines interchanging

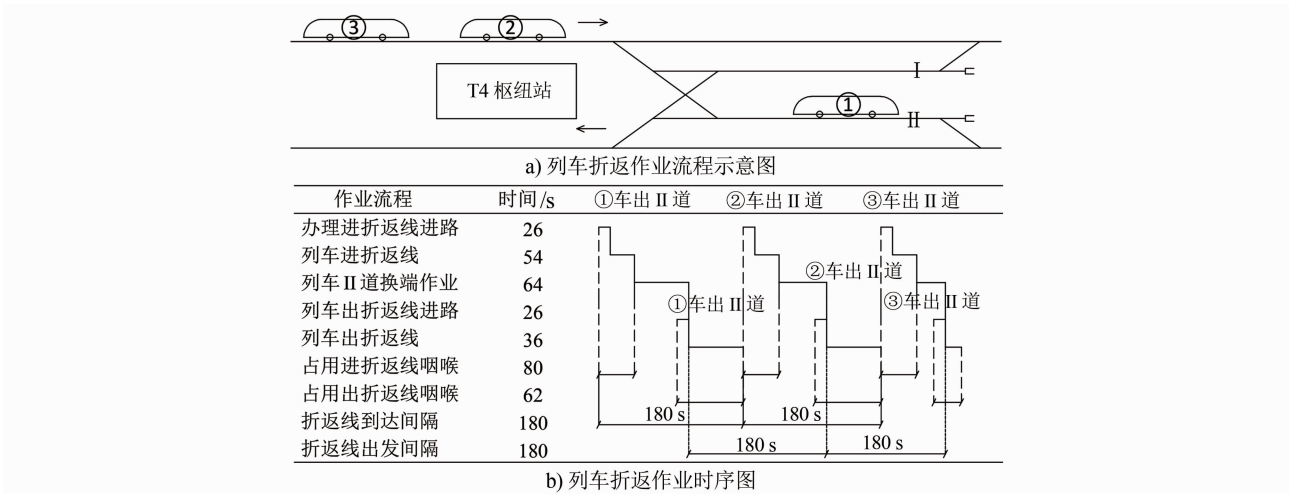


图 10 单折返线条件下反算折返线作业时间阈值

Fig. 10 Reverse calculation of operation time threshold under condition of single turnback line

结合图 10 中的反算结果,为实现设计折返能力,需在双折返线作业时间优化的基础上,将折返线作业时间进一步核减 64~151 s。通过动车组增设贯通线或车站增加无线设备等技术改造手段,将折返线上技术作业时间(表 1 中的步骤 2 至步骤 7、步骤 9 至 12)压缩至 3 s;考虑折返线上仅司机乘降,不考虑各车门上下客的不均衡延误和站台门的开关门延缓时间,仅考虑开门时间 3 s、关闭车门(含预告时间)时间 6 s 和关门后列车起动反应时间 2 s,将列车停稳确认开门时间从 20 s 压缩至 11 s。此时,单折返线作业时间可压缩至 64 s,能实现设计折返能力。

4.3 相关数值规律分析

针对不同折返线数量,反算得出折返线作业时

间阈值,依此推演折返线上技术作业时间与折返线数量的等量关系:

- 1) 采用三折返线交替折返时,任一折返列车占用折返线时间为 540 s。
- 2) 采用双折返线交替折返时,任一折返列车占用折返线时间为 360 s;
- 3) 采用单折返线折返时,任一折返列车占用折返线时间为 180 s。

由此可知,折返线数量 N 、任一列车占用折返线时间 $t_{占}$ 和实现设计折返能力的折返间隔 $I_{系统}$ 之间存在等量关系:

$$N = \left\lceil \frac{t_{占}}{I_{系统}} \right\rceil = \left\lceil \frac{t_{作业} + t_{进折返线} + t_{换} + t_{延} + t_{出折返线}}{I_{系统}} \right\rceil$$

式中:

$t_{\text{作业}}$ ——办理进折返线进路时间;

$t_{\text{进折返线}}$ ——列车开始驶离到达站台,至列车完全进入折返线;

$t_{\text{换}}$ ——列车换端时间;

$t_{\text{延}}$ ——列车完成换端后,因等待后行列车进入其他折返线,需在开始驶离折返线前等待时间;

$t_{\text{出折返线}}$ ——列车开始驶离折返线,至列车尾部完全出清折返线时间。

考虑 $I_{\text{系统}}$ 受相邻列车在到达站台分区追踪间隔 $I_{\text{到达}}$ 、相邻列车在出发站台分区追踪间隔 $I_{\text{出发}}$ 中较大值控制,且为列车进、出折返线咽喉留有调整,其取值应满足约束条件:

$$\text{s. t. } I_{\text{系统}} \geq \max [t_{\text{进折返线}} + t_{\text{作业}} + t_{\text{出折返线}} + t_{\text{作业}}, I_{\text{到达}}, I_{\text{出发}}]$$

5 结语

1) 提出基于 CTCS2+ATO 列控系统的折返间隔计算方法和控制因素。结合折返站列车追踪流程,将基于 CTCS2+ATO 列控系统的折返过程分解为列车在到达站台分区、折返线分区和出发站台分区按准移动闭塞追踪运行的过程,识别折返间隔的控制因素为折返线分区追踪间隔。

2) 提出都市圈城际铁路折返能力提升策略并计算论证。论证结果表明,在双司机、站后三折返线交替折返时,通过优化折返作业组织,能够实现设计折返能力。

3) 提出了 N 、 $t_{\text{占}}$ 与 $I_{\text{系统}}$ 的数值关系,以期为都市圈城际铁路配线设计、运营管理规程编制和自动折返有关技术研发提供理论指引。

参考文献

- [1] 沈砾子. 日本国铁东京通勤五方面作战实施影响分析及启示[J]. 中国铁路, 2020(5): 22.
- SHEN Lizi. Implementation effect analysis and enlightenment on JR's Tokyo commuting line expansion strategy[J]. China Railway, 2020(5): 22.

- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于粤港澳大湾区城际铁路建设规划的批复: 发改基础[2020]1238号, 2020.
- National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Reply on the construction plan of intercity railway in Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area: basis of development and reform[2020]No. 1238[S]. Beijing: General Office of the National Development and Reform Commission, 2020.
- [3] 国家铁路局. 市域(郊)铁路设计规范: TB 10624—2020[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2020.
- National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of suburban railway: TB 10624—2020[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2020.
- [4] 吴慈远, 陈琪. 地铁折返站折返能力的确定[J]. 地铁与轻轨, 1996(1): 23.
- WU Maoyuan, CHEN Qi. Determination of turnback capacity of metro turnback station[J]. Metro and Light Rail (Urban Rapid Rail Transit), 1996(1): 23.
- [5] 王栋, 刘实秋. 城际铁路应用无人自动折返技术研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018(12): 47.
- WANG Dong, LIU Shiqu. Study on application of automatic turn-back technology in intercity railways[J]. Railway Signaling & Communication Engineering, 2018(12): 47.
- [6] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[R]. 北京: 中国城市轨道交通协会, 2020.
- China Association of Metros. Development outline of smart urban rail transit in China[R]. Beijing: China Association of Metros, 2020.
- [7] 中国铁路总公司. 中国铁路总公司关于印发《城际铁路 CTCS2+ATO 列控系统暂行总体技术方案》的通知: 铁总科技[2013]79号[Z]. 北京: 中国铁路总公司, 2013.
- China State Railway Group Co., Ltd. Notice of China State Railway Group Co., Ltd. on issuing the interim overall technical scheme for intercity railway CTCS2 + ATO train control system: CR Co., Tech. [2013]79[Z]. Beijing: China State Railway Group Co., Ltd., 2013.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

(收稿日期: 2021-03-16)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

<http://umt1998.tongji.edu.cn>