

# 道岔限速对站后折返站型折返能力影响分析<sup>\*</sup>

王潇骁<sup>1,3</sup> 虞 翊<sup>2</sup> 刘 循<sup>3</sup>

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海; 2. 同济大学国家磁浮交通工程技术研究中心, 201804, 上海; 3. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海//第一作者, 工程师)

**摘 要** 对于采用 CBTC(基于通信的列车控制)系统的轨道交通线路而言, 制约线路运行能力的瓶颈点通常是折返站的折返能力, 道岔限速对站后折返站型折返能力的影响尤为明显。在分析道岔限速和站后折返能力计算方法的基础上, 研究分析了道岔侧向限速对折返能力的影响, 并据此提出了提高折返能力的建议。

**关键词** 轨道交通; 道岔限速; 折返能力; 站后折返

**中图分类号** U292.2; U231

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2019.08.029

## Influence of Turnout Speed Limit on the Turn-back Capacity of the Station-back Return Station

WANG Xiaoxiao, YU Yi, LIU Xun

**Abstract** For rail transit lines that adopt CBTC system, the bottleneck point that restricts the operation capacity of the line is usually the turn-back capacity of the station-back return station, and the influence of the turnout speed limit on the capacity of station-back return station is particularly obvious. Based on an analysis of the turnout lateral speed limit and the turn-back capacity calculation, the influence of turnout lateral speed limit on the turn-back capacity is studied, suggestions to improve the turn-back capacity are put forward.

**Key words** rail transit; turnout speed limit; turn-back capacity; station-back return

**First-author's address** State Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China

## 1 轨道交通常见道岔

### 1.1 常见道岔型号与使用环境

道岔是轨道连接的重要设备, 在引导车辆由一条轨道顺利进入另一条轨道的同时, 还承受并传递

车辆运行中产生的各种荷载<sup>[1]</sup>。国家铁路的正线道岔以 12 号道岔为主, 车场线以 9 号、7 号道岔为主。城市轨道交通的正线道岔基本以 9 号道岔为主, 车场线以 7 号道岔为主, 也有较少正线使用了 12 号道岔。因用地面积受限等因素, 对于是否在车场线使用 6 号道岔, 由设计单位按照具体情况而定。由于城市轨道交通站间距离小、运行时间短, 提速的可能性不大, 因此仍以 9 号道岔为主。即使郊区铁路, 提速的幅度也不可能太大, 最大一般应用至 12 号道岔已足以满足列车侧向运行需求<sup>[2]</sup>。例如上海轨道交通 2 号线广兰路站安装有一组 12 号道岔。不同辙叉号道岔其侧向允许通过速度不同, 采用大号道岔可以提高列车过岔速度。但与此同时也带来了更大的占地空间、更高的造价等问题。因此, 道岔号数的选用要因地制宜, 要因线而异, 不可一概而论。

### 1.2 常见道岔限速设置

对一组单开道岔来说, 侧向过岔速度包括转辙部分、导曲线、辙叉部分和连接曲线的通过速度。从辙叉的强度条件分析, 道岔的允许速度大于导曲线的允许速度; 岔后的连接曲线半径一般大于道岔导曲线半径, 所以道岔的允许速度也大于导曲线允许速度。故控制道岔侧向通过速度的部位主要是转辙器和导曲线<sup>[2]</sup>。从限速计算方法上说, 道岔侧向限速应根据导曲线半径、未被平衡横向加速度进行控制计算<sup>[3]</sup>, 主要的计算结论如表 1 所示。

表 1 道岔侧向限速表

道岔号数及 尖轨类型	导曲线 半径/m	道岔侧向通过速度/(km/h)	
		道岔设计速度	道岔临界速度
7 号普通尖轨	150	25	28
7 号弹性可弯尖轨	150	25	28
9 号普通尖轨	180	30	35
9 号弹性可弯尖轨	200	35	40
12 号弹性可弯尖轨	350	50	55

<sup>\*</sup> 上海市磁浮与轨道交通协同创新中心基金支持项目(20132223); 上海市科委科研计划项目(18DZ1205800)

## 2 站后双折返线站型能力分析

### 2.1 计算前提

本文以常用站后双折返线站型为例,分析不同道岔限速对站后折返能力的影响,采用的主要计算参数和条件如下<sup>[4]</sup>:

- 1) 信号系统制式为移动闭塞系统;
- 2) 道岔为城市轨道交通正线常用的 9 号道岔,道岔的临界限速分别为 35 km/h、38 km/h、40 km/h;
- 3) 全线为平直股道,土建限速为 85 km/h,站台限速为 60 km/h;
- 4) 含道岔转换的进路办理时间为 13 s,无道岔转换的进路办理时间为 2 s;
- 5) 列车编组为 6 节 A 型车,列车长度为 140 m;
- 6) 基于舒适度控制的列车加速度和常用制动减速度为  $0.8\text{ m/s}^2$ ,保障紧急制动率为  $0.85\text{ m/s}^2$ 。
- 7) 列车运行曲线为等级一,即最高运行效率曲线。

### 2.2 计算方法

#### 2.2.1 追踪方式

在道岔区域,CBTC(基于通信的列车控制)系统采用计轴设备替代传统的轨道电路。后车移动授权最远可延伸至前车尾部安全防护包络末端,前后两列列车距离间隔根据后车运行速度动态变化<sup>[5]</sup>。

#### 2.2.2 接车干扰点

接车干扰点是指在前、后列车无扰运行条件下,前车逐步出清站台安全防护区段、后车准备进站作业过程中,后车可以接近站台的极限位置。

#### 2.2.3 站台安全防护区段

站台安全防护区段是指为保证列车安全接车

进站,在列车运行方向站台外侧预留的安全区段。只有当站台安全防护区段空闲时,列车具备无扰进站条件。对于站后折返路径,可选的站台接车安全防护区段有直向防护及侧向防护。为简化描述,本文所讨论的站台安全防护区段均为直向防护。

#### 2.2.4 折返瓶颈点分析方法

第一步:确定折返路径及分段走行时间。该步骤将列车整个折返路径以关键设备或者关键位置(干扰点、安全防护区段末端等)为分割点,根据牵引计算结果,得出每段列车的走行时间及走行距离。

第二步:确定折返瓶颈点。通常可将折返过程分为站台接车作业、折返轨作业及站台发车作业 3 个阶段。列出 3 个阶段进路开放条件并统计列车间隔时间。

第三步:根据最大瓶颈点确定列车折返对数。比较折返过程 3 个阶段前后车由于进路开放条件限制形成的时间间隔,确定最大瓶颈时间  $I(\text{s})$ ,计算出每小时列车折返对数  $N(\text{对/h})$ , $N$  为正整数。计算公式为: $N_{\text{折返}}=3\,600\text{ s}/I$ 。

### 2.3 折返轨 3 的折返能力分析

#### 2.3.1 折返路径概述

使用折返轨 3 进行折返能力分析,道岔的临界限速为 35 km/h,折返路径如图 1 中带箭头粗线所示。为方便后文描述,将列车由下行站台发车至折返轨 3 进行换端的折返路径简称为“短进长出”折返路径。具体折返过程为:列车由示例站下行站台接车干扰点运行至示例站下行站台停稳,走行距离为 134.40 m,走行时间为 20.09 s;示例站台下行停站时间为 30.00 s;列车经 10 号道岔反位至尾部出清 AC02 计轴,走行距离为 264.66 m,走行时间为 48.34 s;列车由尾部出清 AC02 计轴至折返轨 3 停车点 SSP01 停车,走行距离为 5.00 m,走行时间为 4.24 s;列车换端时间为 20.00 s;列车由折返轨 3 停

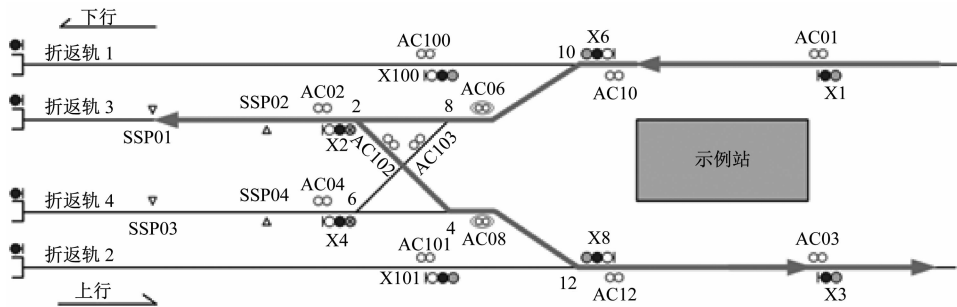


图 1 “短进长出”折返路径

车点 SSP02 经 2/4 号道岔反位,至尾部出清 AC08 计轴,走行距离为 216.59 m,走行时间为 40.19 s;列车由尾部出清 AC08 计轴,经 12 号道岔反位,至示例站上行站台,走行距离为 53.32 m,走行时间为 13.53 s;列车在示例站台上行侧停站时间为 30.00 s;列车由上行站台发车至出清站台安全防护区段,走行距离为 191.13 m,走行时间为 22.78 s。

2.3.2 折返瓶颈点分析

1) 下行站台接车作业条件:前车出清 AC02 计轴,13.00 s(道岔动作)后,10 号道岔转至定位。此时后车由示例站下行站台接车干扰点运行至站台停车,停站 30.00 s 后,列车由站台发车至出清 AC02 计轴。因此下行站台接车作业时间  $T_{下行站台} = 20.09\text{ s} + 30.00\text{ s} + 48.34\text{ s} + 13.00\text{ s} = 111.43\text{ s}$ 。

2) 折返轨作业条件:前车出清 AC08 计轴,后车办理由示例站下行站台至折返轨 3 的进路。13.00 s 后,10 号道岔转至反位,2/4 号道岔转至定

位。此时后车由示例站下行站台至 SSP01 停车。停站 20.00 s 后,列车由 SSP02 发车至出清 AC08 计轴。因此折返轨作业时间  $T_{折返轨} = 48.34\text{ s} + 4.24\text{ s} + 20.00\text{ s} + 40.19\text{ s} + 13.00\text{ s} = 125.77\text{ s}$ 。

3) 上行站台发车作业条件:前车出清示例站上行站台安全防护区段,后车进路办理至示例站上行站台。13.00 s 后,2/4 号道岔转至反位。后车由 SSP02 经 2/4 号道岔反位、12 号道岔反位运行至示例站上行站台停车。停站 30 s 停站后,列车由示例站上行侧站台发车至出清站台安全防护区段。因此上行站台发车作业时间  $T_{上行站台} = 40.19\text{ s} + 13.53\text{ s} + 30.00\text{ s} + 22.78\text{ s} + 13.00\text{ s} = 119.5\text{ s}$ 。

由上述分析可知:在整个列车折返过程中,折返瓶颈点发生在折返轨作业,最大瓶颈时间  $I = 125.77\text{ s}$ ,与此相应的每小时列车折返对数  $N_{折返} = 3\,600\text{ s}/125.77\text{ s} = 28\text{ 对}$ 。图 2 为“短进长出”折返路径折返时序折线图。

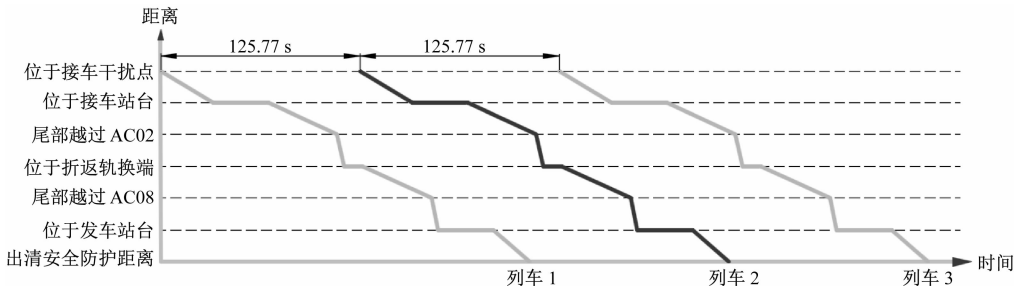


图2 “短进长出”折返路径折返时序折线图

2.4 折返轨 4 的折返能力分析

2.4.1 折返路径概述

使用折返轨 4 进行折返能力分析,道岔的临界限速为 35 km/h,折返路径如图 3 中带箭头粗线所示。为方便后文描述,将列车由下行站台发车至折返轨 4 进行换端的折返路径简称为“长进短出”折返路径。具体折返过程为列车由示例站下行站台接车干扰点运行至下行站台停稳,走行距离为

134.40 m,走行时间为 20.09 s;示例站台下行停站时间为 30.00 s;列车由示例站下行站台经 10 号道岔反位至出清 AC04 计轴,走行距离为 264.92 m,走行时间为 48.97 s;列车由出清 AC04 计轴至折返轨 4 停车点 SSPO3 停车,走行距离为 5.00 m,走行时间为 4.24 s;列车换端时间为 20.00 s,期间 6/8 号道岔转至定位,12 号道岔转至反位;列车由折返轨 4 停车点 SSP04 经 6/8 号道岔定位,行驶至出

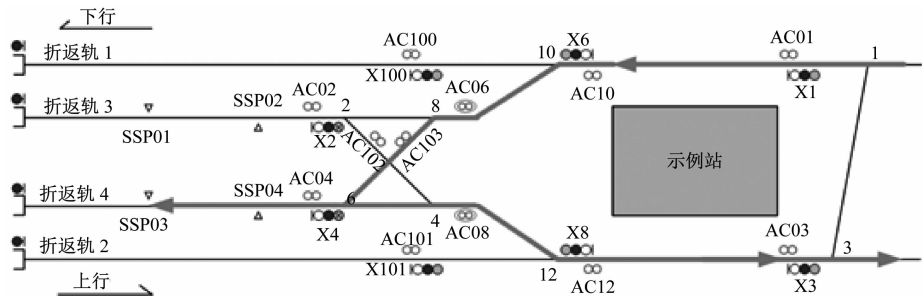


图3 “长进短出”折返路径

清 AC08 计轴,走行距离为 216.34 m,走行时间为 40.11 s;列车由出清 AC08 计轴,经 12 号道岔反位运行至示例站上行站台停稳,走行距离为 53.32 m,走行时间为 13.53 s;列车在示例站上行站台侧停站时间为 30.00 s;列车由示例站上行站台起动至出清站台安全防护区段,走行距离为 191.65 m,走行时间为 22.78 s。

2.4.2 折返瓶颈点分析

- 1) 下行站台接车作业条件:前车出清 AC04 计轴,13.00 s(道岔动作)后,10 号道岔转至定位。此时后车由示例站下行站台接车干扰点运行至站台停车。停站 30.00 s 后,列车由站台发车至出清 AC04 计轴。因此下行站台接车作业时间  $T_{\text{下行站台}} = 20.09\text{ s} + 30.00\text{ s} + 48.97\text{ s} + 13.00\text{ s} = 112.06\text{ s}$ 。
- 2) 折返轨作业条件:前车出清 AC04 计轴,后车办理由示例站下行站台至折返轨 4 的进路。13.00 s 后 10 号道岔转至反位,6/8 号道岔转至反

位。此时后车由示例站下行站台行驶至 SSP03 停车。20.00 s(列车换端)后,列车由 SSP04 发车至出清 AC08 计轴。因此折返轨作业时间  $T_{\text{折返轨}} = 48.97\text{ s} + 4.24\text{ s} + 20.00\text{ s} + 40.11\text{ s} + 13.00\text{ s} = 126.32\text{ s}$ 。

3) 上行站台发车作业:前车出清示例站上行站台安全防护区段,后车进路办理至示例站上行站台的。13.00 s 后,6/8 号道岔转至定位。列车由 SSP04 经 6/8 号道岔定位、2/4 号道岔定位、12 号道岔反位运行至示例站上行站台停车。停站 30 s 后,列车由站台发车至出清站台安全防护区段。因此上行站台发车作业时间  $T_{\text{上行站台}} = 40.11\text{ s} + 13.53\text{ s} + 30.00\text{ s} + 22.78\text{ s} + 13.00\text{ s} = 119.42\text{ s}$ 。

由上述分析可知:在整个折返过程中折返瓶颈点发生在折返轨作业,最大瓶颈时间  $I = 126.32\text{ s}$ ,与此相应的每小时列车折返对数  $N_{\text{折返}} = 3\ 600\text{ s} / 126.32\text{ s} = 28\text{ 对}$ 。图 4 为“长进短出”折返路径折返时序折线图。

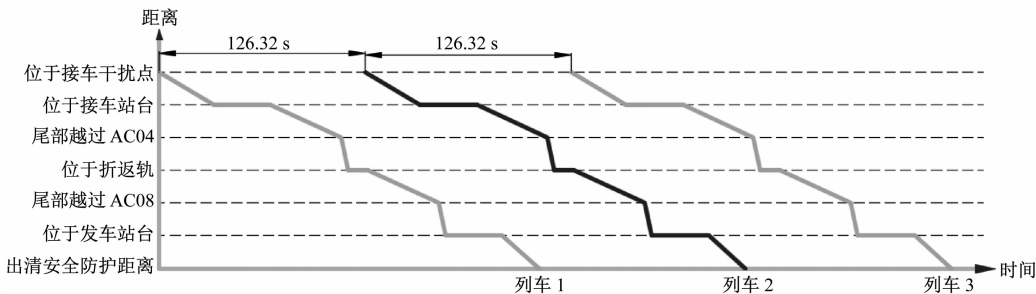


图 4 “长进短出”折返路径折返时序折线图

3 道岔提速后能力对比分析

在现有轨道交通线路设计中,9 号道岔的临界限速大多都统一设置为 35 km/h。根据表 1,当满足曲线半径 200 m,且道岔采用弹性可弯尖轨的情况下,对现有 9 号道岔进行提速,则可缩短列车的过岔时间,进而提升折返能力。表 2 以站后短进长出折返为例,给出了不同道岔限速条件下站台接车作业、折返轨作业和站台发车作业的间隔时间,以及折返作业瓶颈点和折返能力的比较结果。从比较结果看,在满足相应规范<sup>[4]</sup>条件下,如果将站后折返的道岔临界速度由 35 km/h 提升到 40 km/h,则可在不增加任何工程改造的情况下,将对应于本文示例的站后折返能力提高 7.1% 以上,即每小时增加 2 对列车。

4 结论

- 1) 对于常用站后折返方式,无论是采用长进短出还是短进长出的折返路径,折返能力是基本相同的,ATS(列车自动监控)系统可以根据折返轨的空闲状态智能选择合适的折返轨进行折返作业。
- 2) 对于 9 号道岔,在土建、限界专业许可的情况下,提升其侧向通过速度可带来较好的折返能力提升。当道岔临界限速由 35 km/h 提高至 38 km/h 时,连续折返能力可提高约 1 对/h;当道岔侧向通过临界限速提升至 40 km/h 时,连续折返能力可提高约 2 对/h。
- 3) 不是所有类型 9 号道岔均有提速空间,曲线半径 200 m 且采用弹性可弯尖轨的 9 号道岔,其临界速度可提升至 40 km/h。在此条件下,将有助于提升列车折返能力。

表 2 不同道岔临界限速下折返能力对比

作业阶段	间隔控制条件	间隔时间/s		
		道岔临界 速度 35 km/h	道岔临界 速度 38 km/h	道岔临界 速度 40 km/h
站台 接车作业	前车出清 AC02 计轴,10 号道岔转至定位。后车由示例站下行站台接车干扰点,至站台停车。停站 30 s 后,列车由站台发车至出清 AC02 计轴	111.43	109.80	107.80
折返轨 作业	前车出清 AC08 计轴,后车办理由示例站下行站台至折返轨 3 的进路。10 号道岔转至反位,2/4 号道岔转至定位。后车由示例站下行站台至 SSP01 停车。20 s 后,列车由 SSP02 发车至出清 AC08 计轴	125.77	120.77	116.82
站台 发车作业	前车出清示例站上行站台安全防护区段,后车办理至示例站上行站台进路。13 s 后,2/4 号道岔转至反位。后车由 SSP02 经 2/4 号道岔反位、12 号道岔反位运行至示例站上行站台停车;停站 30 s 后,列车由站台发车至出清站台安全防护区段	119.50	117.86	115.89

结论:由各作业阶段分析可知,折返瓶颈为折返轨作业。在此折返瓶颈条件下,道岔临界速度为 35 km/h、38 km/h、40 km/h 时的折返能力分别为 28 对/h、29 对/h 和 30 对/h

4) 本文开展的道岔提速研究,对于既有线折返站折返能力提升而言,相比传统的土建、线路等改造方式,具有不停运、投资小、周期短等优势,并可有效提高线路高峰时段的客流运输能力。

5) 在保障安全的前提下,建议信号供货商、车辆供货商进一步协作研究 ATP(列车自动保护)顶篷速度与 ATO(列车自动运行)目标速度间速度差关系。通过缩小两者间的速度差,可在不提升道岔临界速度的基础上提高列车实际过岔速度,从而提升折返能力。

参考文献

[1] 魏玉光,张红亮,杨浩. 道岔选型对重载铁路车站通过能力影

响的研究[J]. 中国铁道科学,2013,34(4):1.  
[2] 上海申通地铁集团有限公司轨道交通培训中心. 城市轨道交通线路技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2011.  
[3] 牛英明. 完善行车限速标准提升线路通过能力[J]. 城市轨道交通,2017(1):4.  
[4] 上海申通地铁集团有限公司. CBTC 条件下的车站配线技术规定(暂行):沪地铁[2013]78 号[S]. 上海:上海申通地铁集团有限公司,2013.  
[5] 刘循. 城市轨道交通折返能力的匹配性设计研究[J]. 现代城市轨道交通,2012(5):3.

(收稿日期:2019-03-15)

(上接第 131 页)

现代有轨电车平交道口常规道路交通流的通过能力问题,在分析影响现代有轨电车平交道口常规道路交通流通过能力关键因素的基础上,利用停车线法建立了现代有轨电车平交道口在各交通信号类型情况下的常规道路交通流通过能力模型。基于广州现代有轨电车试验段新港东路口的交通调查数据,计算出平均车头时距,并基于模型得出无信号优先及绝对信号优先下的平交道口常规道路交通流通过能力。通过上述研究,以期对现代有轨电车的规划、设计、管理,以及提高路网运行效率提供指导意见。

参考文献

[1] 刘力力. 不利天气条件下城市交叉口交通流特征参数研究[D]. 北京:北京工业大学,2013.  
[2] 李小帅. 城市大型平面交叉口交通组织优化研究[D]. 北京:北京交通大学,2009.  
[3] 李园园. 现代有轨电车平面交叉口通行能力分析[D]. 南京:东南大学,2016.  
[4] 刘宇鹏. 信号交叉口直行车道通行能力研究[D]. 长春:吉林大学,2009.  
[5] 翁小雄,谭国贤,姚树申,等. 城市交叉口交通流特征与短时预测模型[J]. 交通运输工程学报,2006,6(1):103.

(收稿日期:2019-03-22)