

城市轨道交通单渡线精细化设计研究

甘元佳

(中铁二院工程集团有限责任公司, 610031, 成都)

摘要 [目的]城市轨道交通高质量发展关键在于降本、增效、可持续,需要精细化设计、降低设计冗余。渡线是地铁车站设计中最常见的配线之一,对单渡线长度进行精细化设计研究,可减少道岔区土建工程量,节省投资。[方法]以最大限度地缩短渡线长度为目标,通过建立线间距、单渡线长度、插入反向曲线的圆曲线半径及偏角之间的计算模型,对单渡线长度精细化设计进行研究。[结果及结论]采用9号道岔计算,按岔区长度减幅5%的显著性水平考虑,A型车线间距 ≥ 10.207 m时(或B型车线间距 ≥ 9.440 m时),宜采用插入反向曲线的单渡线;对A型车而言,当线间距 ≥ 12.3 m时(或B型车线间距 ≥ 10.9 m时),反向曲线的圆曲线半径 R 取下限值200 m,可使单渡线总长最短;对A型车而言,当线间距 < 12.3 m时(或B型车线间距 < 10.9 m时),为满足反向曲线的圆曲线最小长度要求, R 需适当增大; R 和圆曲线偏角 φ 的最优组合可由计算模型反算得到。

关键词 城市轨道交通;单渡线;精细化设计

中图分类号 U231.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.020

Research on Refined Design of Single Crossover in Urban Rail Transit

GAN Yuanjia

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 610031, Chengdu, China)

Abstract [Objective] The key to high quality development of urban rail transit lies in cost reduction, efficiency improvement, and sustainability, requiring the refined design and the reduction of design redundancy. Crossovers are one of the most common sidings in the design of metro stations, and research on the refined design of single crossover length can reduce the civil engineering quantity in the turnout area and save investment. [Method] Aiming at minimizing the length of single crossover, a calculation model for the distance between track centers, the length of the single crossover, the circular curve radius inserted with the reverse curve and deflection angle is established to study the refined design of the single crossover length. [Result & Conclusion] The research results show that: Using No. 9 turnout for calculation and considering the significance level of a 5% reduction in the turnout area length,

when the track centerline distance for Type A vehicle is ≥ 10.207 m (or when the track centerline distance for Type B vehicle is ≥ 9.440 m), it is recommended to adopt the single crossover with an inserted reverse curve. When the track centerline distance is ≥ 12.3 m for Type A vehicle (or when the track centerline distance is ≥ 10.9 m for Type B vehicle), the circular curve radius R of the reverse curve takes the lower limit value of 200 m, which can make the total length of the single crossover the shortest. When the track centerline distance is < 12.3 m for Type A vehicle (or when the track centerline distance is < 10.9 m for Type B vehicle), R needs to be appropriately increased in order to meet the minimum length requirement for circular curve of the reverse curve. The optimal combination of R and the deflection angle φ of the circular curve can be obtained by back-calculating from the calculation model.

Key words urban rail transit; single crossover; refined design

渡线是地铁车站设计中最常见的配线之一,“正线应每隔5~6座车站或8~10 km设置停车线,其间每相隔2~3座车站或3~5 km应加设渡线”^[1],以平衡和兼顾运行的灵活性和工程规模的经济性;在两线同站台平行换乘站,也宜设置渡线,以实现联络线功能。

以深圳地区明挖地下二层一般站为例,道岔区土建工程投资约1.2万~1.3万元/ m^2 。为减少道岔区大跨度结构的土建工程量,对单渡线进行精细化设计研究具有重要意义。

1 计算模型

在线间距较大的常规单渡线上,于两副道岔之间插入一组反向曲线,以缩短渡线长度、节省工程规模^[2]。

如图1所示,由几何关系可得:

$$l = R\varphi \quad (1)$$

$$T = R \tan \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

$$x_1 = (b + d + T) \cos \alpha \quad (3)$$

$$y_1 = (b + d + T) \sin \alpha \quad (4)$$

$$x_2 = (T + f/2) \cos(\alpha + \varphi) \quad (5)$$

$$y_2 = (T + f/2) \sin(\alpha + \varphi) \quad (6)$$

$$S = 2(y_1 + y_2) \quad (7)$$

$$L = 2(x_1 + x_2) \quad (8)$$

式中:

α ——辙叉角;

b ——道岔后长;

d ——道岔后端至曲线端部的距离;

φ ——插入反向曲线的圆曲线偏角;

R ——插入反向曲线的圆曲线半径;

l ——插入反向曲线的圆曲线长度;

T ——切线长度;

f ——夹直线长度;

x_1 ——岔心至切线交点水平投影长度;

y_1 ——岔心至切线交点垂直投影长度;

x_2 ——切线交点至夹直线中点水平投影长度;

y_2 ——切线交点至夹直线中点垂直投影长度;

S ——线间距;

L ——单渡线长度。

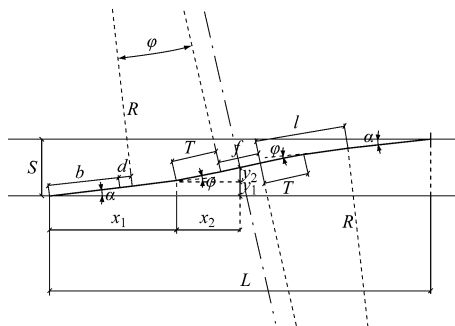


图1 大线间距的单渡线示意图

Fig.1 Schematic diagram of single crossover with large track centerline distance

1.1 参数取值

1) 道岔参数:国内地铁常用的定型道岔为 60 kg/m 钢轨 9 号曲尖轨道岔^[3],其参数见表 1。

表1 9号曲尖轨道岔参数表^[4]

Tab.1 Parameters of No. 9 turnout with curved switch rail

α	b/m	d/m	导曲线半径/m
$6^{\circ}20'25''$	15.73	5.00	200.00

2) 圆曲线参数:道岔后的附带曲线可不设缓和

曲线和超高,但其曲线半径不应小于道岔导曲线半径,因此, $R \geq 200 \text{ m}$;圆曲线最小长度,在正线、联络线及车辆基地出入线上,对圆曲线最小长度 A 型车不宜小于 25 m,对 B 型车不宜小于 20 m;在困难情况下,圆曲线最小长度不得小于一节车辆的全轴距(A 型车车辆的全轴距为 18.2 m;B 型车车辆的全轴距为 14.9 m)。

3) 夹直线长度:大线间距单渡线反向曲线间夹直线可缩短为 10 m。

1.2 采用 A 型车时的单渡线计算

对 A 型车而言,按单渡线插入的反向曲线的圆曲线长度 $l_A \geq 18.2 \text{ m}$ 控制,由式(1)一式(8)可计算得到不同圆曲线半径 R_A 对应的线间距 S_A 、单渡线长度 L_A 和常规单渡线长度 L_{A0} 及岔区长度减幅率 p_A ,见表 2 所示。

表2 反向曲线采用不同圆曲线半径时 A 型车的单渡线要素计算表

Tab.2 Calculation table for Type A vehicle single crossover elements with reverse curve using different circular curve radius

R_A/m	φ_A/rad	S_A/m	L_A/m	L_{A0}/m	$p_A/\%$
200	0.091 000	12.241	86.948	110.166	21.07
300	0.060 667	11.398	87.093	102.580	15.10
400	0.045 500	10.975	87.158	98.776	11.76
500	0.036 400	10.721	87.195	96.490	9.63
600	0.030 333	10.552	87.218	94.964	8.16
700	0.026 000	10.430	87.234	93.874	7.07
800	0.022 750	10.340	87.246	93.056	6.24
1 000	0.018 200	10.212	87.262	91.911	5.06
1 010	0.018 020	10.207	87.263	91.866	5.01
1 020	0.017 843	10.202	87.264	91.821	4.96
1 200	0.015 167	10.127	87.273	91.147	4.25
1 500	0.012 133	10.043	87.283	90.383	3.43
2 000	0.009 100	9.958	87.293	89.618	2.59
2 500	0.007 280	9.907	87.299	89.160	2.09
3 000	0.006 067	9.873	87.303	88.854	1.74

采用 9 号道岔计算,按岔区长度减幅 $\geq 5\%$ 的显著性水平考虑,当线间距 $\geq 10.207 \text{ m}$ 时,才宜采用插入反向曲线的单渡线,以缩短岔区长度。如图 2 所示,线间距越大,岔区长度减幅越明显,为满足圆曲线最小长度要求所需的曲线半径越小;反之亦然。

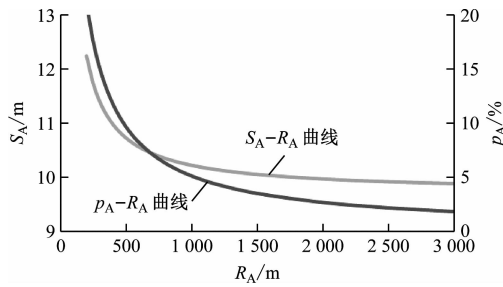


图 2 单渡线 S_A - R_A 、 p_A - R_A 关系示意图 (A 型车)

Fig. 2 Schematic diagram of the relationship between single crossover S_A , p_A and R_A (Type A vehicle)

1.3 采用 B 型车时的单渡线计算

对 B 型车而言,按反向曲线的圆曲线长度 $l_B \geq 14.9$ m 控制,插入反向曲线的单渡线要素计算结果见表 3。

表 3 反向曲线采用不同圆曲线半径时 B 型车的单渡线要素计算表

Tab. 3 Calculation table for Type B vehicle single crossover elements with reverse curve using different circular curve radius

R_B/m	φ_B/rad	S_B/m	L_B/m	L_{B0}/m	$p_B/\%$
200	0.074 500	10.810	80.503	97.292	17.26
300	0.049 667	10.200	80.602	91.799	12.20
400	0.037 250	9.894	80.647	89.046	9.43
500	0.029 800	9.710	80.672	87.392	7.69
600	0.024 833	9.588	80.689	86.289	6.49
700	0.021 286	9.500	80.700	85.500	5.61
790	0.018 861	9.440	80.708	84.961	5.01
800	0.018 625	9.434	80.708	84.909	4.95
1 000	0.014 900	9.342	80.720	84.080	4.00
1 200	0.012 417	9.281	80.727	83.528	3.35
1 500	0.009 933	9.220	80.735	82.976	2.70
2 000	0.007 450	9.158	80.742	82.423	2.04
2 500	0.005 960	9.121	80.746	82.091	1.64
3 000	0.004 967	9.097	80.749	81.870	1.37

采用 9 号道岔计算,按岔区长度减幅 $\geq 5\%$ 的显著性水平考虑,当线间距 ≥ 9.440 m 时,才宜采用插入反向曲线的单渡线。如图 3 所示,线间距越大,岔区长度减幅越明显,为满足圆曲线最小长度要求所需的曲线半径越小;反之亦然。

2 大线间距单渡线精细化设计

2.1 A 型车单渡线

根据客流预测数据,计算确定岛式站台宽度

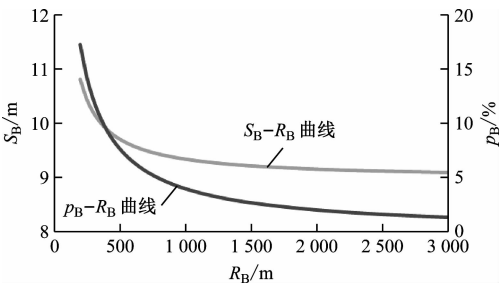


图 3 单渡线 S_B - R_B 、 p_B - R_B 关系示意图 (B 型车)

Fig. 3 Schematic diagram of the relationship between single crossover S_B , p_B - R_B (Type B vehicle)

后,正线线间距也随之确定^[5]。

客流等不受限制的情况下,无柱岛式站台的最小宽度为 8 m,有柱岛式站台的最小宽度为 9 m。在建深圳市西丽综合交通枢纽工程中,地铁 15 号线和 27 号线岛式站台宽度达到 21 m。

对 A 型车而言,线路中线至站台边缘的距离为 1.6 m,则站台宽度为 8~21 m 时,对应的线间距为 11.2~24.2 m。

在满足相关规范的约束条件 ($R \geq 200$ m, $l \geq 18.2$ m, $S \in [10, 25]$ m) 下,利用 GRG (广义简约梯度法, Generalized Reduced Gradient) 算法^[6] 求解目标函数 $\min L(R, \varphi)$, 计算结果见表 4。

表 4 不同线间距 A 型车单渡线最小长度计算表

Tab. 4 Calculation table for minimum length of single crossover for Type A vehicles with different track centerline distances

S_A/m	R_A/m	φ_A/rad	l_A/m	$\min L_A/m$
10.2	1024.8	0.017 760	18.200	87.264
11.2	339.8	0.053 567	18.200	87.124
12.2	203.3	0.089 534	18.200	86.956
12.3	200.0	0.091 659	18.332	87.205
13.2	200.0	0.101 434	20.287	91.011
14.2	200.0	0.111 850	22.370	95.058
15.2	200.0	0.121 854	24.371	98.933
16.2	200.0	0.131 491	26.298	102.658
17.2	200.0	0.140 800	28.160	106.246
18.2	200.0	0.149 814	29.963	109.711
19.2	200.0	0.158 559	31.712	113.064
20.2	200.0	0.167 058	33.412	116.314
21.2	200.0	0.175 332	35.066	119.470
22.2	200.0	0.183 398	36.680	122.539
23.2	200.0	0.191 272	38.254	125.527
24.2	200.0	0.198 968	39.794	128.439

如图 4 所示:当线间距 ≥ 12.3 m 时,圆曲线半径 R 取下限值 200 m,此时单渡线长度最短;当线间距 < 12.3 m 时,为满足圆曲线最小长度要求, R 需适当增大;具体的 R 和圆曲线偏角 φ 可由计算模型反算得到。

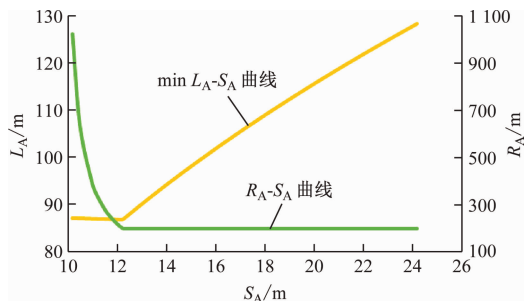


图 4 单渡线 $\min L_A$ - S_A 、 R_A - S_A 关系示意图(A 型车)

Fig. 4 Schematic diagram of the relationship between single crossover $\min L_A$, R_A - S_A (Type A vehicle)

2.2 B 型车单渡线

对 B 型车而言,线路中线至站台边缘的距离为 1.5 m,则站台宽度为 8 ~ 21 m 时,对应的线间距为 11 ~ 24 m。在满足相关规范的约束条件($R \geq 200$ m, $l \geq 14.9$ m, $S \in [9, 24]$ m)下,利用 GRG 算法求解 $\min L(R, \varphi)$,计算结果见表 5。

表 5 不同线间距 B 型车单渡线最小长度计算表

Tab. 5 Calculation table for minimum length of single crossover for B-type vehicles with different track centerline distances

S_B/m	R_B/m	φ_B/rad	l_B/m	$\min L_B/m$
9.4	864.5	0.017 236	14.900	80.713
10.0	358.6	0.041 552	14.900	80.632
10.8	201.1	0.074 085	14.900	80.505
10.9	200.0	0.075 573	15.115	80.923
11.0	200.0	0.076 762	15.352	81.388
12.0	200.0	0.088 308	17.662	85.898
13.0	200.0	0.099 296	19.859	90.180
14.0	200.0	0.109 801	21.960	94.263
15.0	200.0	0.119 884	23.977	98.171
16.0	200.0	0.129 591	25.918	101.924
17.0	200.0	0.138 963	27.793	105.538
18.0	200.0	0.148 033	29.607	109.027
19.0	200.0	0.156 830	31.366	112.402
20.0	200.0	0.165 377	33.075	115.672
21.0	200.0	0.173 694	34.739	118.846
22.0	200.0	0.181 801	36.360	121.932
23.0	200.0	0.189 712	37.942	124.935
24.0	200.0	0.197 442	39.488	127.862

如图 5 所示:当线间距 ≥ 10.9 m 时,反向曲线的圆曲线半径 R 取下限值 200 m,此时的单渡线长度最短;当线间距 < 10.9 m 时,为满足圆曲线最小长度要求, R 需适当增大;具体的 R 和圆曲线偏角 φ 可由计算模型反算得到。

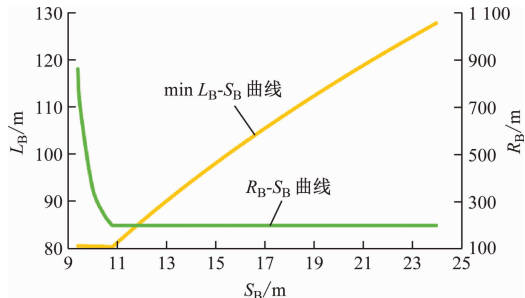


图 5 单渡线 $\min L_B$ - S_B 、 R_B - S_B 关系示意图(B 型车)

Fig. 5 Schematic diagram of the relationship between single crossover $\min L_B$, R_B - S_B (Type B vehicle)

3 结论

1) 采用 9 号道岔计算,按岔区长度减幅 5% 的显著性水平考虑,对 A 型车当线间距 ≥ 10.207 m 时(或 B 型车线间距 ≥ 9.440 m 时),宜采用插入反向曲线的单渡线。

2) 对 A 型车而言,当线间距 ≥ 12.3 m 时(或 B 型车线间距 ≥ 10.9 m 时),反向曲线的圆曲线半径 R 取下限值 200 m 时单渡线总长最短。

3) 对 A 型车而言,当线间距 < 12.3 m 时(或 B 型车线间距 < 10.9 m 时),为满足插入的反向曲线的圆曲线最小长度要求, R 需适当增大; R 和圆曲线偏角 φ 的最优组合可由计算模型反算得到。

以上可为大线间距的单渡线精细化设计提供借鉴和参考。

参考文献

- [1] 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: 43.
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: 43.
- [2] 姜美利. 地铁平行线路缩短渡线的计算原理及画法[J]. 工程建设, 2015, 47(1): 17.
JIANG Meili. Calculation principle and drawing technique of shortened crossover of parallel subway lines[J]. Engineering Construction, 2015, 47(1): 17.

(下转第 124 页)

- 400 km/h + High-speed railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 96.
- [19] 王田天, 胡冲, 龚彦峰, 等. 扩大斜切式缓冲结构对时速 400 km 铁路隧道口微气压波缓解研究[J]. 空气动力学学报, 2021, 39(5): 151.
- WANG Tiantian, HU Chong, GONG Yanfeng, et al. Mitigation of micro-pressure wave at 400 km/h railway tunnel exit by oblique enlarged tunnel-hood[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2021, 39(5): 151.
- [20] 徐银光, 王志钧, 魏康, 等. 400 km/h 动车组车体压力载荷列车参数影响特征研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(2): 62.
- XU Yinguang, WANG Zhijun, WEI Kang, et al. Influence characteristics of train parameters on 400 km/h emu carbody pressure load[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(2): 62.
- [21] 毕海权, 雷波, 巩云. 高速地铁隧道压力波研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(5): 36.
- BI Haiquan, LEI Bo, GONG Yun. Study on pressure wave in high-speed underground railway tunnels[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2017, 47(5): 36.
- [22] 吴明. 基于一维流动模型的高速列车隧道压缩波特特性研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.
- WU Ming. Numerical study on the characteristics of compression waves produced by high-speed trains in tunnel based on one-dimensional flow model[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2013.
- [23] 梅元贵, 贾永兴. 单列高速列车通过内置开孔隔墙隧道时的压力波数值分析[J]. 铁道学报, 2013, 35(12): 95.
- MEI Yuanguai, JIA Yongxing. Numerical investigation on pressure waves produced by a high-speed train passing through a tunnel with perforated wall[J]. Journal of the China Railway Society, 2013, 35(12): 95.
- [24] 霍卿. 高海拔特长隧道气动载荷特性分析[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2011.
- HUO Qing. Analysis of the characteristics of aerodynamic Loads in extra-long tunnels in high altitude region [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2011.
- [25] WOODS W A, POPE C W. A generalised flow prediction method for the unsteady flow generated by a train in a single-track tunnel [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1981, 7(3): 331.
- [26] 郭瑞. 高速列车通过隧道时洞内压力载荷特征及最不利隧道长度特性研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2019.
- GUO Rui. Characteristics of pressure load in tunnel when high-speed train passes through tunnel study on the most unfavorable characteristics of tunnel length [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2019.
- [27] SAITO S, IIDA M, KAJIYAMA H. Development and verification of numerical simulation of pressure changes in underground high-speed railways[J]. RTRI Report, 2006, 20(1): 29.
- 收稿日期:2022-09-02 修回日期:2022-11-17 出版日期:2025-01-10
Received:2022-09-02 Revised:2022-11-17 Published:2025-01-10
- 第一作者: 户迎灿, 高级工程师, huyingcan@cqsf.com
通信作者: 胡冲, 博士研究生, chonghuq@csu.edu.cn
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
- ~~~~~
- (上接第 116 页)
- [3] 温朋哲, 耿浩, 高士杰. 地铁 9 号曲尖轨道岔区建筑限界加宽量计算[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(3): 92.
- WEN Pengzhe, GENG Hao, GAO Shijie. Calculation of widening of structure gauge in No.9 curved switch turnout zone[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(3): 92.
- [4] 汪博. 缩短大间距交叉渡线全长的研究[J]. 山西建筑, 2021, 47(5): 137.
- WANG Bo. The research of shortening the length of the crossing line with large spacing [J]. Shanxi Architecture, 2021, 47(5): 137.
- [5] 郭福强, 叶霞飞. 城市轨道交通站台宽度计算方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(8): 108.
- GUO Fuqiang, YE Xiafei. Study on the calculation method of urban rail transit platform width[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(8): 108.
- [6] NIAZKAR M, ZAKWAN M. Application of MGPP, ANN, MHBMO, GRG, and linear regression for developing daily sediment rating curves [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021: 1.
- 收稿日期:2023-12-06 修回日期:2024-01-31 出版日期:2025-01-10
Received:2023-12-06 Revised:2024-01-31 Published:2025-01-10
- 通信作者: 甘元佳, 工程师, gan.yuanjia@qq.com
- ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn