

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.03.014

地铁9号曲尖轨道岔区 建筑限界加宽量计算

温朋哲, 耿浩, 高士杰

(天津市市政工程设计研究院轨道交通设计研究院, 天津 300392)

摘要: 限界计算是地铁工程设计过程中较为繁琐的一项工作, 直接关系到车辆运行安全。针对天津地铁6号线工程中应用9号曲尖轨道岔的情况, 综合考虑车辆在道岔侧股运行时的几何偏移量、欠超高引起的动态偏移量、曲线轨道参数及车辆参数变化引起的车体横向位移量, 计算并拟合B型车道岔区建筑限界加宽量图, 为道岔区土建、结构设计提供理论依据。计算结果表明: B型车道岔区外侧建筑限界加宽始于岔心前端25.75 m处, 最大加宽量为166 mm; 道岔内侧加宽始于岔心前端22.55 m处, 最大加宽量为429 mm。

关键词: 地铁; 曲尖轨; 9号道岔; 建筑限界; 加宽量

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2020)03-0092-05

Calculation of Widening of Structure Gauge in No. 9 Curved Switch Turnout Zone

WEN Pengzhe, GENG Hao, GAO Shijie

(Rail Transit Design & Research Institute, Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392)

Abstract: Calculation of metro gauges is tedious in the design process of metro engineering. The design of metro gauges is directly related to the safety of vehicle operation. In view of the application of the No. 9 curved switch turnout on Tianjin metro line 6, the widening of structure gauge in the turnout zone is calculated and the diagram of widening is fitted in this paper. The quantity of throw, dynamic offset caused by deficient superelevation, transverse displacement of the car body caused by changes in curved track, and vehicle parameters are considered. The theoretical basis for the civil and structural design of the turnout zone is provided. The calculation results show that the widening of the structure gauge of a type-B vehicle outside the turnout starts at 25.75 m at the front of the turnout, and the maximum widening is 166 mm. The widening of the inner side of the turnout starts at 22.55 m at the front of the turnout, and the maximum widening is 429 mm.

Keywords: metro; curved switch rail; No. 9 turnout; structure gauge; widening

道岔是轨道车辆从一股轨道转入或越过另一股轨道时必要的线路设备, 用以实现列车折返以及改变前进线路, 直接影响列车的运行安全, 也是线路的薄弱环节^[1]。

道岔区建筑限界的设计包括两个部分, 首先需要

制定直线地段基本建筑限界, 然后根据不同道岔参数和车辆参数计算道岔区建筑限界加宽量。道岔区建筑限界加宽量是指列车在道岔侧股上运行时产生的内外侧加宽量, 具体由曲线几何加宽量、列车以过岔速度运行时由欠超高引起的动态偏移量、道岔区轨距加宽量、钢轨磨耗量、钢轨横向弹性变形量以及一、二系悬挂在列车过岔时产生的横向位移量等数值相加而成^[2]。

以天津地铁6号线一期工程中应用的9号曲尖轨道岔为研究对象, 综合考虑上述各种因素, 计算该类道

收稿日期: 2019-03-06 修回日期: 2019-04-22

作者简介: 温朋哲, 男, 硕士, 助理工程师, 从事地铁限界以及车辆段工艺设计, 1791313208@qq.com

岔建筑限界加宽量表,为土建、结构设计提供理论依据,并为其他型号道岔区建筑限界加宽量的计算提供参照。

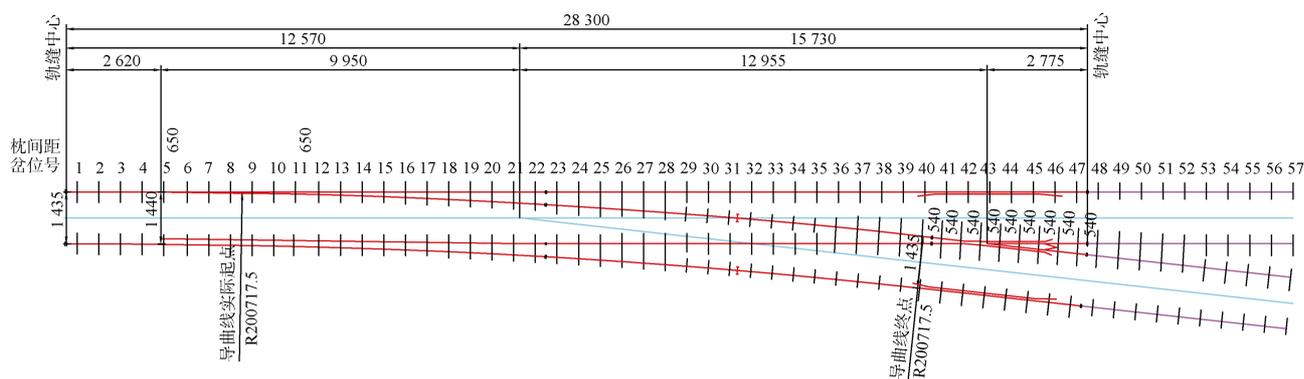
1 道岔简介

地铁工程一般采用与正线同类轨型的9号道岔,有单开、交叉渡线和复式交分道岔^[3]。根据尖轨类型的不同,又分为曲尖轨9号道岔和直尖轨9号道岔。

直尖轨道岔导曲线半径为180 m,允许列车侧向通过速度最大为30 km/h。尖轨采用一点牵引,可以

节省电务设备的投资。该类型道岔广泛应用于中国早期建设的地铁当中。随着近年来城市轨道交通的快速发展以及地铁运营能力需求的不断提高,直尖轨9号道岔已不能满足地铁运营的要求^[4]。

曲线尖轨道岔导曲线半径为200 m,导曲线半径的增加提高了列车侧向过岔速度,最高可达35 km/h,从而提高了列车的折返效率^[5]。尖轨采用两点牵引。另外,9号曲尖轨道岔比直尖轨道岔略短,可有效减少土建开挖,降低工程造价。9号曲尖轨单开道岔平面布置如图1所示。



注:

1. 本图尺寸以mm计;
2. 道岔容许通过速度:直向100km/h,侧向35km/h;
3. 导曲线半径以外轨工作边计;
4. 图中未注明的枕间距均为600mm。

图1 9号曲尖轨单开道岔平面布置

Fig. 1 Floor of No. 9 curved switch single-track turnout

2 道岔区建筑限界加宽量计算

2.1 几何偏移量

将车辆简化为刚性体,当列车侧向通过道岔时,车辆纵向中心线为直线,而轨道中心线是曲线,因此车辆纵向中心线的水平投影线与曲线线路中心线将产生水平失距,即平曲线几何偏移^[6],如图2所示。由于道岔岔线包含尖轨和导曲线两部分,使得道岔区几何加宽量的计算相对比较复杂^[7]。

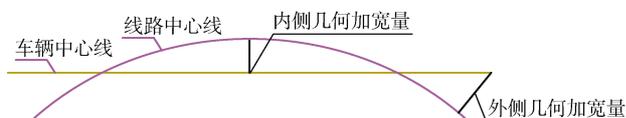


图2 曲线几何偏移示意

Fig. 2 Curve geometry offset

文献^[3]中提出了计算道岔区建筑限界几何加宽

量的两种方法——图解法和公式计算法。文献^[8]详细给出了曲线尖轨9号道岔以及直尖轨9号道岔区建筑限界几何加宽的计算公式。为避免大量繁琐的公式计算,且使计算结果更加直观,基于绘图软件 autuCAD2014,采用图解法计算车辆在道岔区的曲线几何偏移量,具体过程如下:

1) 根据9号曲尖轨单开道岔平面布置图绘制道岔线路图,并以岔心为0点,间距1 m,左右编号,绘出道岔线路分割线(垂直于正线轨道),其中尖轨尖端位于-9.95 m的位置,如图3所示。线路分割线与道岔线路图的交点用以定位车辆位置。

2) 用作图法模拟列车从左向右侧向通过道岔,每隔1 m绘制一辆车。列车侧向通过道岔时,当车辆前转向架开始进入尖轨,车辆即产生曲线几何偏移,当车辆后转向架离开导曲线时,曲线几何偏移结束。

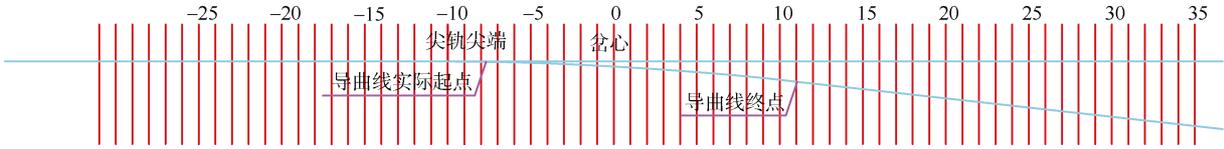


图 3 9 号曲尖轨单开道岔线路图

Fig. 3 No. 9 curved switch single-track turnout

天津地铁 6 号线一期工程采用标准 B2 型地铁车辆，计算车辆定距为 12.6 m，计算车长 19 m。以第 1 辆车的绘制为例对作图法的应用进行详细说明：车辆前转向架进入尖轨且转向架中心位于-9 位置时，以该位置为圆心，作半径 12.6 m 的圆，与道岔线路的左侧交点(-22 与-21

点之间)即为后转向架中心，连接前后转向架中心绘制直线并向前后各延伸 3.2 m，即完成了第一辆车的绘制；将前转向架中心依次置于-8、-7、-6……，采用上述办法分别绘制出第 2 辆车、第 3 辆车、第 4 辆车……，直至车辆后转向架离开导曲线终点位置，如图 4 所示。

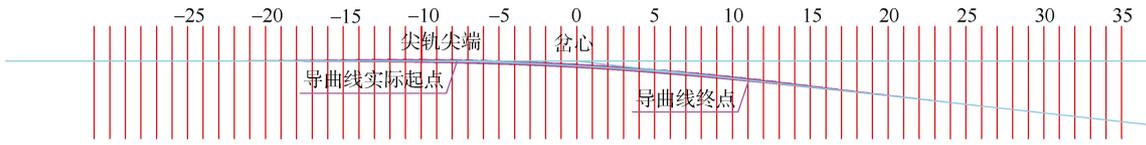


图 4 B2 型车车辆标示线

Fig. 4 Marking line of type B2 vehicle

3) 分别绘制车辆在道岔区内、外侧的几何加宽曲线，如图 5 所示(偏移量绘图比例为 1 : 5)。其中车辆外侧几何加宽曲线为绘制的车辆标示线末端的连线，始于尖轨尖端前 15.8 m，终点为车辆末端连线与道岔正线的交点；车辆内侧几何加宽曲线为车辆标示线与道岔线路分割线最下端交点的连线，始于尖轨尖端前 12.6 m，终点距导曲线终点 12.6 m。

$$\Delta X_{Qa} = \frac{h_{dc}}{1500} m_B g C'_h (1+S) \quad (1)$$

1) 首先，根据式(2)计算车辆以额定速度 $v=35 \text{ km/h}$ 侧向通过道岔时的欠超高值 h_{dc} ，其中道岔导曲线半径 $R=200.7175 \text{ m}$ 。

$$h_{dc} = 1500(v/3.6)^2/R/g = 1500 \times (35/3.6)^2 / 200.7175 / 9.81 = 72 \text{ mm} \quad (2)$$

2) 其次，根据式(3)计算 B2 型车重力倾角附加系数 $S^{[11]}$ 。

$$S = m_B g \left(\frac{h_{sc} - h_{cp}}{k_{\phi p}} + \frac{h_{sc} - h_{cs}}{k_{\phi s}} \right) \quad (3)$$

式中： m_B 为含载客车体质量(AW3)，取值 42 600 kg； $k_{\phi p}$ 为整车一系弹簧侧滚刚度，根据式(4)计算，N·mm/rad； $k_{\phi s}$ 为整车二系弹簧侧滚刚度，根据式(5)计算，N·mm/rad； h_{sc} 为车体重心距轨面高度(AW3)，取值 1 500 mm； h_{cp} 为转向架一系弹簧上支撑面距轨面高度，取值 510 mm； h_{cs} 为转向架二系弹簧上支撑面距轨面高度，取值 905 mm。

$$k_{\phi p} = 0.5n_p c_p b_p^2 = 0.5 \times 4 \times 1800 \times 1930^2 = 1.340964 \times 10^{10} \text{ (N} \cdot \text{mm/rad)} \quad (4)$$

式中： n_p 为车辆一侧一系弹簧并列数； c_p 为每一轴箱一系弹簧垂向刚度值，N/mm； b_p 为转向架一系弹簧横向间距，mm。

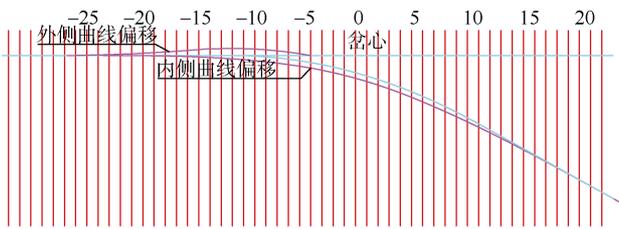


图 5 拟合加宽曲线

Fig. 5 Widened fitting

4) 分别测量内、外侧几何加宽曲线与道岔分割线的各个交点与道岔正线的距离，即为道岔区建筑限界的几何加宽量。

2.2 动态偏移量

道岔导曲线无轨道超高，当车辆以额定速度侧向通过道岔时，由于离心力的作用曲线外侧将产生偏移量^[9]。偏移量的大小可根据式(1)进行计算^[10]。

$$k_{\varnothing s} = 0.5n_s c_s b_s^2 = 0.5 \times 2 \times 480 \times 1850^2 = 1.64 \times 10^9 \text{ (N} \cdot \text{mm} / \text{rad)} \quad (5)$$

式中： n_s 为车辆一侧二系弹簧并列数； c_s 为每一轴箱二系弹簧垂向刚度值，N/mm； b_s 为转向架二系弹簧横向间距，mm。

3) 再次，根据式(6)计算参数 C'_h 。

$$C'_h = \frac{(Y - h_{cp})(h_{sc} - h_{cp})}{k_{\varnothing p}} + \frac{(Y - h_{cs})(h_{sc} - h_{cs})}{k_{\varnothing s}} \quad (6)$$

式中， Y 为建筑限界加宽控制点的竖向坐标值，对于B2型车，取值3094 mm。

4) 最后，计算车辆在道岔侧股运行时的动态偏移量 $\Delta X_{Qa} = 23.33 \text{ mm}$ 。

2.3 轨距加宽与钢轨磨耗

9号道岔导曲线部分存在轨距加宽，具体数值由轨道专业提供。道岔导曲线轨距加宽外侧分量及外轨磨耗可取4.5 mm，内侧分量及内轨磨耗可取1.5 mm。

2.4 钢轨横向弹性变形量

根据《地铁设计规范》，钢轨横向弹性变形量值可取为1.4 mm。

2.5 一、二系悬挂横向位移量

根据《地铁设计规范》，车辆一、二系悬挂横向位

移量曲线与直线上的差值可分别取4 mm和15 mm。

3 道岔区建筑限界加宽量图

上一节对影响道岔区建筑限界加宽的各类因素进行了说明，并详细给出了各个因素下加宽量的计算方法和计算结果。道岔区建筑限界加宽分为外侧加宽和内侧加宽，对上述加宽量进行合理叠加，即可绘制道岔区建筑限界加宽量图，叠加原则如下：

- 1) 道岔区建筑限界内、外侧几何偏移量为叠加基础。
- 2) 由欠超高引起的动态偏移量只在道岔外侧进行叠加，且在尖轨尖端到导曲线终点范围内叠加一完整动态偏移量，其他范围内按线性渐变原则进行叠加。
- 3) 轨距加宽与钢轨磨耗引起的加宽量只在道岔轨距加宽范围内进行叠加。
- 4) 钢轨横向弹性变形量在道岔内、外侧建筑限界整个加宽范围内均进行叠加。
- 5) 一、二系悬挂横向位移量在道岔内、外侧建筑限界整个加宽范围内均进行叠加，且在尖轨尖端到导曲线终点范围内叠加一完整量，其他范围内按线性渐变原则进行叠加。

根据以上5个原则，最终得到9号曲尖轨道岔区建筑限界加宽量图，如图6所示。

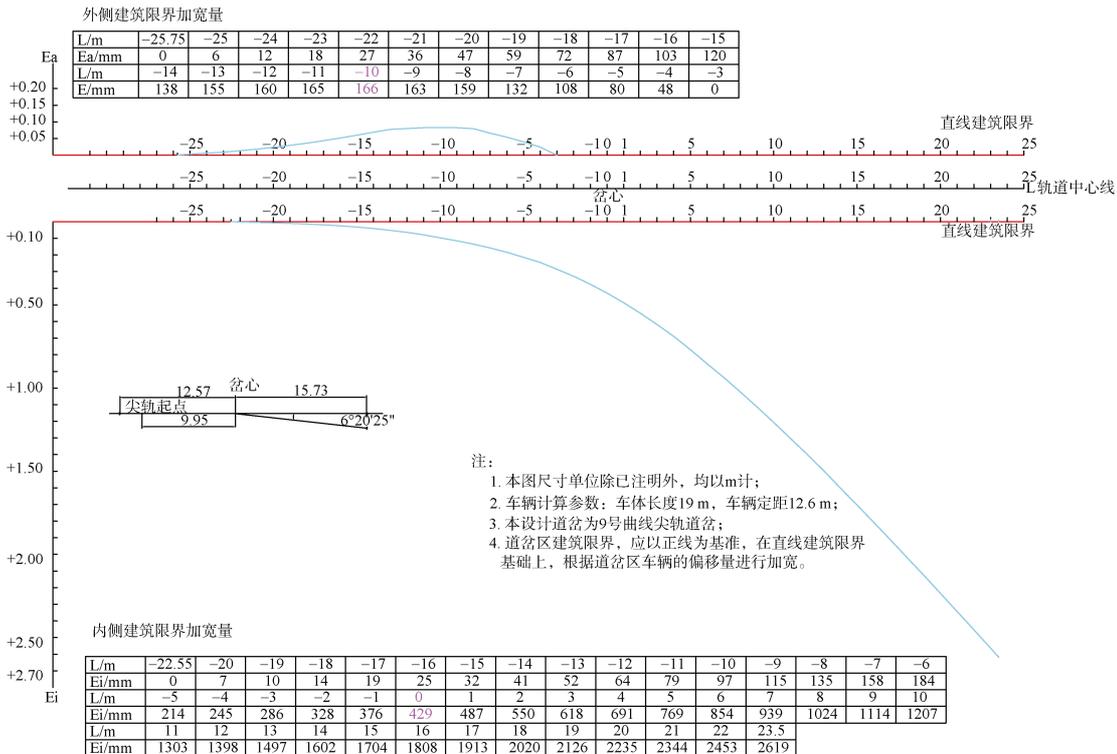
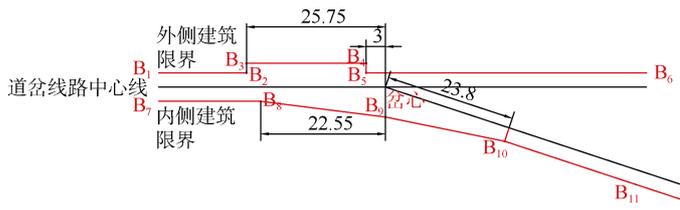


图6 9号曲尖轨道岔区建筑限界加宽量

Fig. 6 Structure gauge widening in No. 9 turnout zone

4 道岔区建筑限界加宽量图工程应用

在地铁工程设计中，道岔通常布置于车站站前或站后用以实现列车的折返。为减少工程量，道岔布置位置与车站站台端部距离较近，非有效站台通常位于道岔区建筑限界加宽范围内，若直接基于图6进行非有效站台的设计，非有效站台边缘形状则较为复杂。为使图6更便于工程应用，对其进行合理简化，如图7所示。需要特别说明，图7未考虑道岔信号转辙机的安装要求，在工程设计中应根据转辙机的安装要求



加宽范围	建筑限界加宽值/m
B ₃ -B ₄	0.166
B ₉	0.429
B ₈ -B ₉	0-0.429
B ₉ -B ₁₀	0.429-0
B ₁ -B ₂ 、B ₅ -B ₆ B ₇ -B ₈ 、B ₁₀ -B ₁₁	0

图7 9号曲尖轨道岔区建筑限界示意图
Fig. 7 Structure gauge in No. 9 turnout zone

对图7进行适当修改。

5 结语

近年来，中国轨道交通行业取得了巨大的发展，新技术、新产品的应用对工程设计人员提出了更高要求。以天津地铁6号线一期工程中应用的9号曲尖轨道岔为研究对象，结合前人的研究成果和《地铁设计规范》，对影响道岔区建筑限界加宽的因素进行了分析，给出了加宽量曲线，并对加宽量曲线进行了合理简化，使其更便于工程应用。

参考文献

[1] 陈鸿兴. 道岔构造与铺设[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1985.

[2] 地铁设计规范: GB 50157-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Code for design of metro: GB 50157-2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

[3] 施仲衡, 张弥, 王新杰, 等. 地下铁道设计与施工[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1997.

[4] 刘道通, 程保青, 田苗盛. 城市轨道交通60 kg/m钢轨9号单开道岔设计与研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(7): 65-69.
LIU Daotong, CHENG Baoqing, TIAN Miaosheng. Design and study on No.9 single turnout of 60 kg/m rail of urban rail transit[J]. Journal of railway engineering society, 2013, 30(7): 65-69.

[5] 赖治平. 直线尖轨道岔与曲线尖轨道岔在城市轨道交通中应用探讨[J]. 铁道通信信号, 2013, 49(10): 15-19.

[6] 地铁限界标准: CJJ 96—2003[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
Standard of metro gauges: CJJ 96—2003[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2003.

[7] 王建, 倪昌. 地铁道岔区建筑限界加宽量的计算[J]. 都

市轨道交通, 2006, 19(2): 34-36.

WANG Jian, NI Chang. Calculation for the widening value of structure gauge in metro turnout section[J]. Urban rapid rail transit, 2006, 19(2): 34-36.

[8] 蔺增良. 地铁9号道岔建筑限界加宽计算方法[J]. 地铁与轻轨, 2000(4): 15-23.

[9] 张斌, 潘玲, 朱剑月. 城轨交通车辆限界和设备限界计算[J]. 现代城市轨道交通, 2007(3): 32-34.
ZHANG Bin, PAN Ling, ZHU Jianyue. Clearance calculation for urban rail transit vehicle and equipment[J]. Modern urban transit, 2007(3): 32-34.

[10] 罗湘萍, 沈培德. 城市轨道交通车辆限界计算方法研究[J]. 城市轨道交通研究, 2002, 5(2): 40-46.
LUO Xianqin, SHEN Peide. A study of vehicle gauge calculation method of urban mass transit[J]. Urban mass transit, 2002, 5(2): 40-46.

[11] 陈园. 轨道交通曲线道岔加宽量及建筑限界设计[J]. 都市轨道交通, 2015, 28(2): 61-64.
CHEN Yuan. Design and study on widening value and structure gauges of curve turnout in urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2015, 28(2): 61-64.

(编辑: 郝京红)