



同济大学交通运输工程学院
COLLEGE OF TRANSPORTATION ENGINEERING
TONGJI UNIVERSITY

城市轨道交通 结构设计与施工

Structural Design and Construction in
Urban Mass Transit

城市轨道交通与铁道工程系

周顺华、宫全美

Structural Design and Construction in Urban Mass Transit

- 本节主讲：金浩

- 办 公 室：交通学院635

- 联系电话：

- 电子邮箱：jinhao@tongji.edu.cn

「第三章」 限界





什么是限界：指限定车辆运行或轨道周边构筑物超越的轮廓线，也是列车沿固定的轨道安全运行时所需要的空间尺寸。

制定限界目的：就是要确定一个既能保证列车运行安全，又不增大桥隧或路基断面的经济空间，以防止车辆在直线或曲线上运行时与各种建筑物及设备发生接触、碰撞。

评价标准：评价轨道交通的限界是否合理，一般以**有效面积比**来衡量。该比值定义为限界断面的面积除以车辆断面面积。一般的合理限界值为2 ~ 3。



限界的分类

限界制定的原则

制定限界的主要技术参数

设备限界的计算

建筑限界



一、限界的分类

限界分类

- **限界确定依据**：轨道交通的限界是根据车辆外轮廓线及技术参数、轨道特性、各种误差和变形，并考虑列车的运动状态等因素，经分析计算确定。
- **分类**：车辆限界、设备限界和建筑限界
- **限界的基准坐标系**采用与线路纵向中心线相垂直平面内的二维直角坐标。
- **车辆轮廓线**即车辆横断面的外轮廓线，是确定车辆限界和设备限界的依据。

车辆限界

- **定义**：车辆限界是车辆在平直轨道上按规定速度运行，计及车辆和轨道的公差、磨耗、弹性变形及振动等**正常运行状态**下的一条最大动态包络线，是**限制车辆横断面最大允许尺寸的轮廓图形**。
- **正常运行状态**是指一系悬挂和二系悬挂在正常弹性范围内、易损件磨耗不过限等。高架或地面线车辆限界易受风荷载的影响,在计算时需要考虑,而这一点与隧道内是不同的。

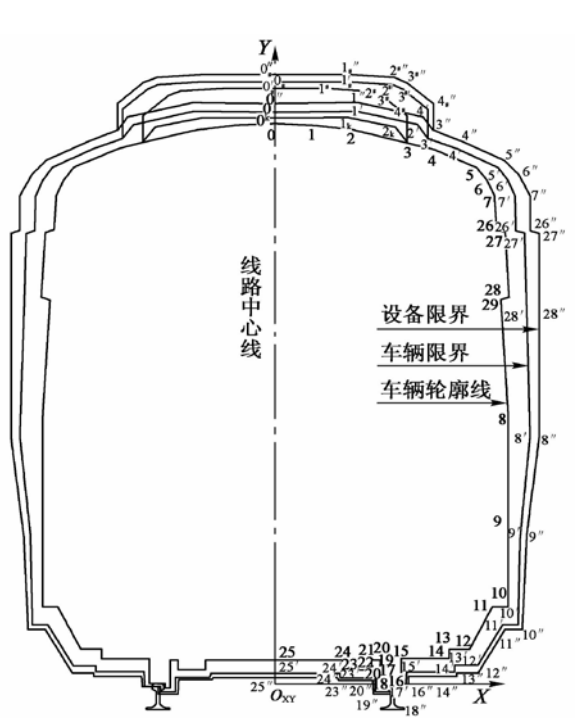
设备限界

- **定义**：设备限界是车辆在**故障运行状态**下所形成的动态包络线，用以**限制轨道区的设备安装界限**。列车在故障状态下严禁突破设备限界。所有固定设备及土木工程（接触轨及站台、屏蔽门除外）的任何部分都不得侵入设备限界。受电弓设备限界或接触轨限界是设备限界组成部分。
- **设备限界**是在车辆限界的基础上，再计入轨道的轨距、水平、方向、高低等出现最大允许误差并考虑车辆在一系或二系悬挂故障状态下引起车辆的偏移和倾斜等附加偏移量，以及在设计、施工、运营中尚未预计的因素在内的安全预留量。因此，对不同的设备和不同的安装工艺应分别考虑各自的制造和安装误差，以满足设备限界要求。对于双线轨道交通，当两线间无墙柱及其他设备时，两设备限界之间应设置不小于 1 0 0 mm 的安全量。

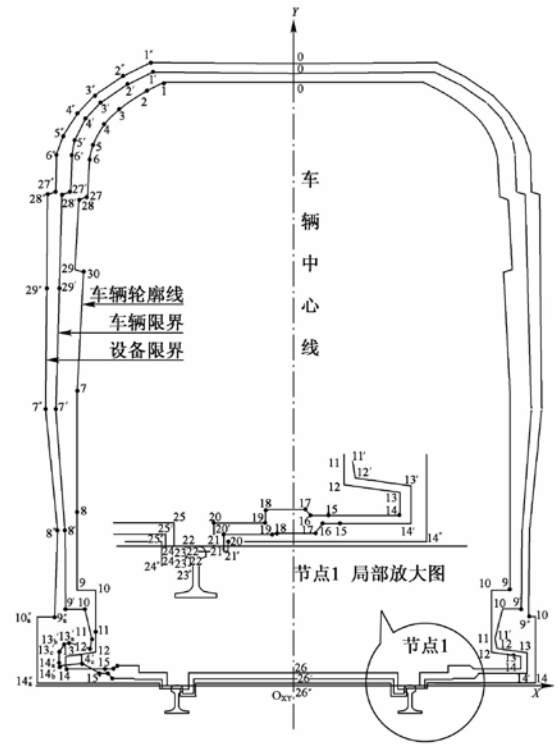
建筑限界

- **定义**：建筑限界是在设备限界的基础上，满足设备和管线安装尺寸后的**最小有效断面**。
- 建筑限界和设备限界之间的空间，应能安装各种电缆线、消防水管及消防栓、动力照明箱、信号箱及信号灯、照明灯、扩音器、通风管、架空接触网及其固定设备或接触轨及其固定设备等。

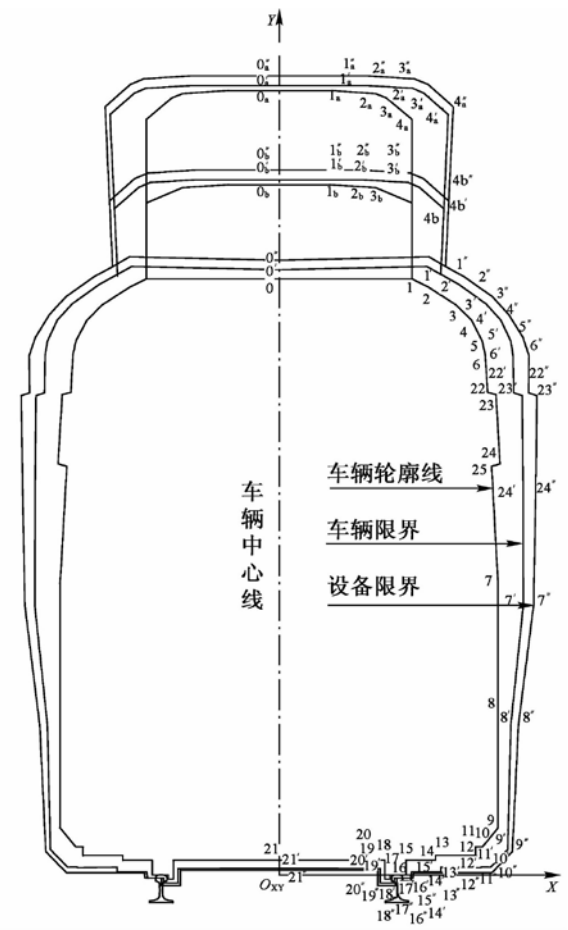
常见车型限界



A型车直线地段限界图（隧道内）



B1型车直线地段限界图（隧道内）



B2型车直线地段限界图（高架线）



二、限界制定的原则



限界制定的一般原则：

- ① 限界应保证列车安全、正常运行。确定的限界应经济合理，安全可靠，且满足各种设备和管线安装的需要。
- ② 限界应根据车辆的轮廓尺寸、技术参数、轨道特性、受电方式、设备及管线安装、施工方法等因素，进行综合分析后由计算确定。
- ③ 限界一般按平直轨道的条件制订。曲线段和道岔区的限界，应在直线地段限界的基础上，根据车辆的有关尺寸以及不同曲线半径、超高和不同的道岔类型分别进行加宽和加高。
- ④ 设备限界与车辆限界之间的间隙主要为安全预留量，应全面考虑横向安全预留量和竖向安全预留量。
- ⑤ 建筑限界和设备限界之间，应充分考虑建筑物上的设备和管线安装位置，在宽度方向上设备和管线与设备限界之间应留出20~50mm安全间隙。当建筑物侧墙或顶板上无设备或管线时，建筑限界和设备限界之间的最小间隙不宜小于200mm，困难地段不得小于100mm。
- ⑥ 建筑限界中，不包括施工误差、测量误差、结构沉降、变形等因素。结构设计和施工中，对上述误差、设备制造和安装误差以及在施工、运营中难以预计的其他因素在内的安全预留量，都应予以考虑。



三、制定限界的主要技术参数

限界制定的技术参数

轨道交通的限界是根据有关技术参数制订的。这些技术参数主要分为三大类：线路与**轨道参数**、**车辆参数**和**其他参数**。

➤ 线路与轨道参数

这类参数主要包括线路及车站最小曲线半径、辅助线及车场线最小曲线半径、轨距、轨道最大超高值、轨道结构高度、道岔类型等。

➤ 车辆参数

包括车体长度、最大宽度、最大高度、车辆定距、转向架轴距、车厢地板面距轨顶面的高度等车体尺寸。在实际计算中，一般采用计算车辆的有关尺寸参数。



限界制定的技术参数

➤ 其他参数

站台装修完成后的地面距轨顶面的高度，站台边缘距线路中心线的距离，供电方式，接触网接触线底面距轨顶面的高度等。

序号	项目名称		单位	车 型			
				A型车	B型车		
					B1型		B2型
					上部受流	下部受流	
1	车体计算长度		mm	22100	19000		
2	车体最大宽度		mm	3000	2800		
3	车辆最大高度		mm	3800	3800		
4	车辆定距		mm	15700	12600		
5	转向架固定轴距		mm	2500	2200~2300		
6	客室地板面距轨顶面高度		mm	1130	1100		
7	受电弓落弓高度		mm	3810	—		3810
8	受电弓最大工作高度		mm	5410	—		5410
9	受流器工作点至转向架中心线水平距离	750V	mm	—	1417.5	1401	—
		1500V			—	1444	
10	受流器工作面距走行轨面高度	750V	mm	—	140	160	—
		1500V			—	200	





四、设备限界的计算



直线段设备限界的确定

直线段设备限界是在车辆限界的基础上,采用基准坐标系确定直线段设备限界的坐标。
直线地段设备限界坐标计算公式为。

$$\begin{cases} X''_n = X'_n + \sum X \pm Y'_n i + \epsilon \\ Y''_n = Y'_n + \sum Y'_x + X'_n i + \epsilon \end{cases} \quad (3-1)$$

式中: X'_n 、 Y'_n ——车辆横、竖向限界坐标值;

$\sum X$ ——轨道横向最大可能容许偏差;

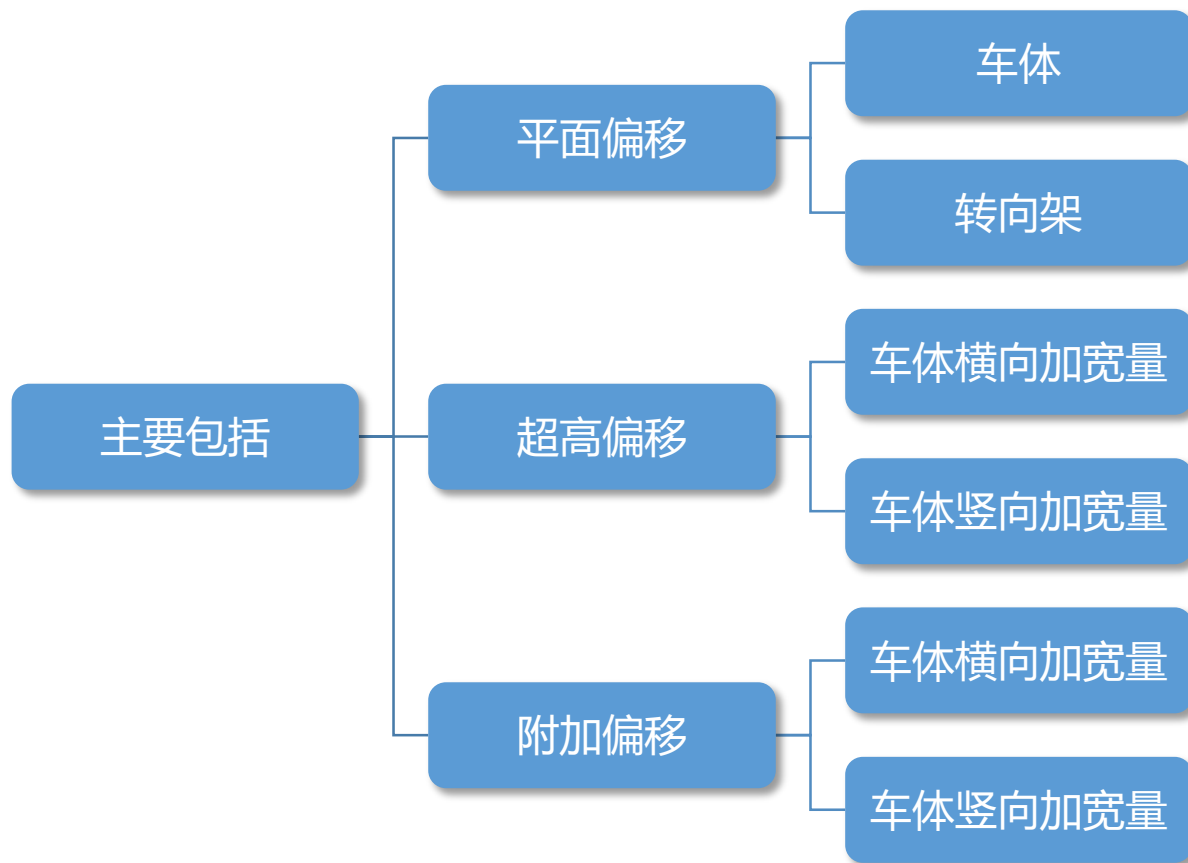
$\sum Y'_x$ ——轨道竖向最大可能容许偏差;

i ——轨道倾斜度;

ϵ ——安全间距。

曲线段设备限界的确定

曲线地段设备限界的计算是曲线地段建筑限界计算的基础。



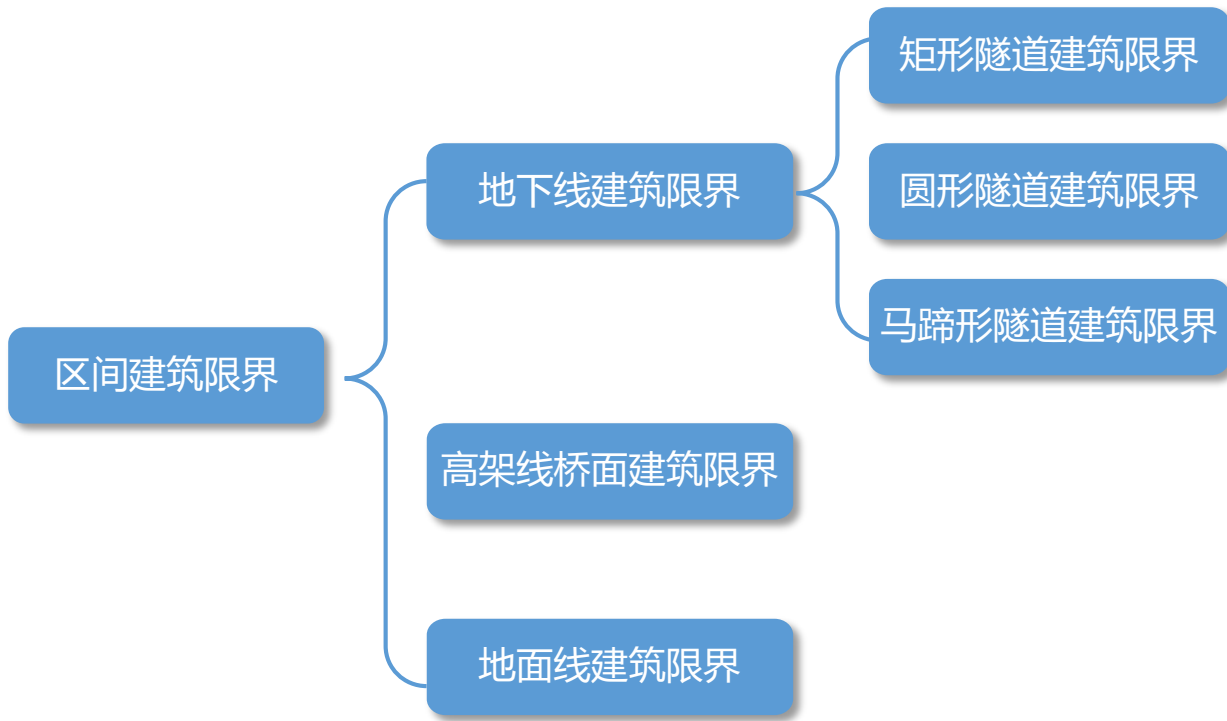


五、建筑限界

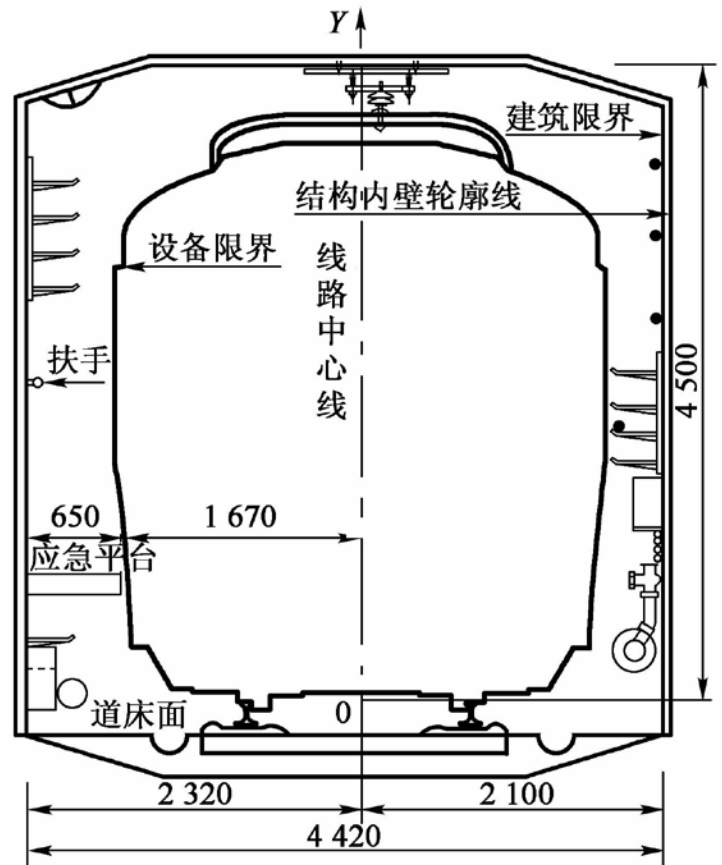


区间建筑限界

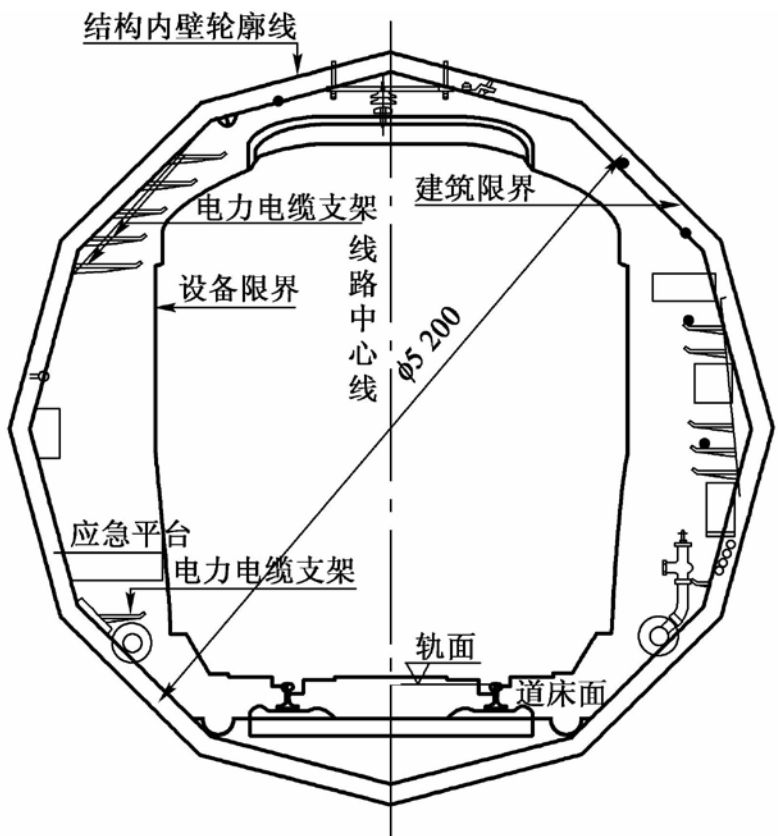
轨道交通的区间一般包括地下区间、高架区间、地面线区间和过渡段。各种区间结构根据不同的施工方法有不同的限界断面。



区间建筑限界

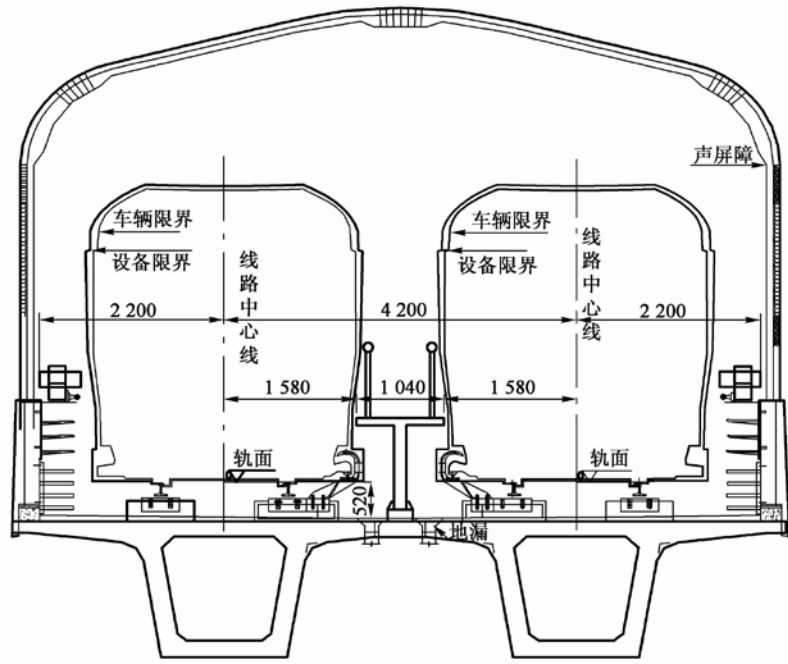
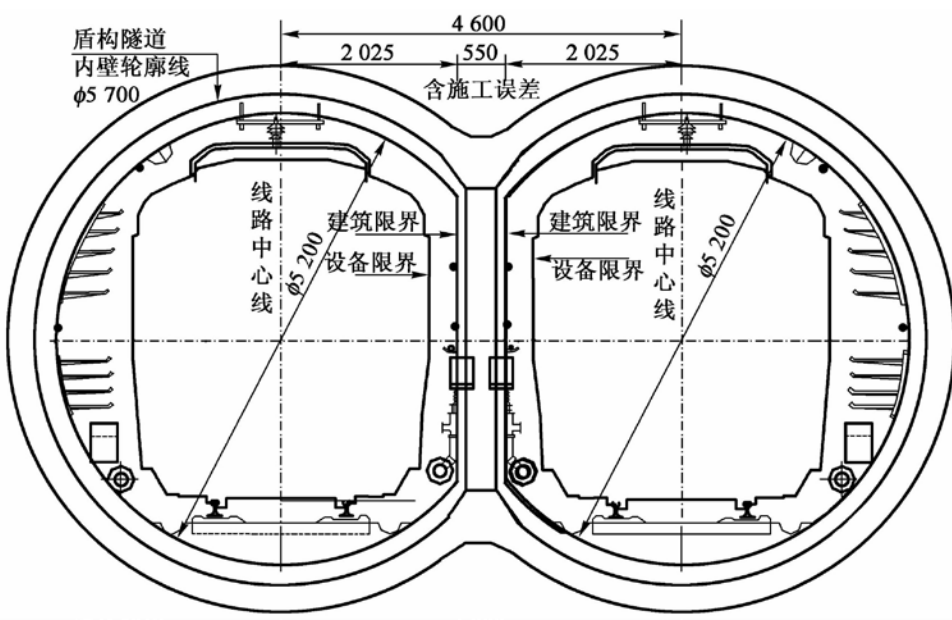


A型车区间直线段矩形隧道建筑限界 (尺寸单位 : mm)



A型车单圆隧道建筑限界 (尺寸单位 : mm)

区间建筑限界



A型车区间直线段双圆隧道建筑限界 (尺寸单位 : mm) B1型车区间直线段双线高架桥面 (尺寸单位 : mm)

区间曲线段建筑限界

车辆在曲线轨道上运行时，会产生偏移。而曲线地段轨道设置超高，引起车辆竖向中心线偏离轨道的竖向中心线，因此车辆在轨道平面和立面上都会产生一定偏移量，曲线段建筑限界应进行加宽。

➤ 圆形隧道和马蹄形隧道

圆形隧道包括单圆隧道和双圆隧道。直线段和曲线段圆形隧道的直径是统一的。圆形隧道和马蹄形隧道在曲线超高地段，采用隧道中心向线路基准线内侧偏移的方法，解决轨道超高引起的内外侧不均匀位移量，位移量计算公式如下。

$$\begin{cases} X = h_0 \sin \alpha \\ Y = -h_0 (1 - \cos \alpha) \end{cases} \quad (3-18)$$

式中： α ——轨道超高角度， $\alpha = \sin^{-1}(h/s)$ ；

h_0 ——直线段圆心距轨面高度(mm)；

h ——轨道超高值(mm)；

s ——内外轨中心距离(mm)，一般取 1 500mm。

区间曲线段建筑限界

➤ 圆形隧道和马蹄形隧道

曲线地段矩形隧道建筑限界，应在曲线地段设备限界基础上，按下列公式计算确定：

曲线地段建筑限界外侧宽度 B_{α} ：

$$B_{\alpha} = X_{k\alpha} \cos \alpha - Y_{k\alpha} \sin \alpha + b_2 (\text{或 } b_1) + c \quad (3-19)$$

曲线建筑限界内侧宽度 B_i ：

$$B_i = X_{ki} \cos \alpha - Y_{ki} \sin \alpha + b_1 (\text{或 } b_2) + c \quad (3-20)$$

曲线建筑限界高度 B_u 应按下式计算确定：

$$B_u = X_{kh} \sin \alpha - Y_{kh} \cos \alpha + h_2 + h_3 \quad (3-21)$$

$$\text{其中： } \alpha = \sin^{-1} (h/1500) \quad (3-21a)$$

式中：

h ——轨道超高值 (mm)；

X_{kh} 、 Y_{kh} 、 X_{ki} 、 Y_{ki} 、 $X_{k\alpha}$ 、 $Y_{k\alpha}$ ——曲线地段设备限界控制点坐标值 (mm)；

b_1 、 b_2 ——右侧、左侧设备或支架最大安装宽度值 (mm)；

c ——设备安装误差和安全间隙 (mm)；

h_2 ——接触网系统高度 (mm)；

h_3 ——轨道结构高度 (mm)。

区间曲线段建筑限界

➤ 圆形隧道和马蹄形隧道

(1) 内侧加宽量

$$\begin{cases} E_{\text{hn}} = e_{\text{pn}} + N_{\text{hn}} \\ e_{\text{pn}} = \frac{X_2 l^2}{8C} \\ N_{\text{hn}} = X_n \cos \alpha_x + Y_n \sin \alpha_x - X_n \end{cases} \quad (3-23)$$

式中： E_{hn} ——缓和曲线内侧加宽量(mm)；

e_{pn} ——缓和曲线平面几何因素引起的内侧加宽值(mm)；

N_{hn} ——超高引起的内侧加宽值(mm)；

W_{hw} ——超高引起的外侧加宽值(mm)。

区间曲线段建筑限界

➤ 圆形隧道和马蹄形隧道

(2) 外侧加宽量

$$\begin{cases} E_{hw} = e_{pw} + W_{hw} \\ e_{pw} = \frac{(L^2 - l^2)(3X_3 + L)}{24C} \\ W_{hw} = X_w \cos \alpha_x - Y_w \sin \alpha_x - X_w \end{cases} \quad (3-24)$$

式中: E_{hw} ——缓和曲线外侧加宽值(mm);

e_{pw} ——缓和曲线平面几何因素引起的外侧加宽值(mm);

X_2 、 X_3 ——计算断面处距缓和曲线起点的长度(mm);

C —— $C = Rl_0$, l_0 为缓和曲线长度;

α_x —— $\alpha_x = \sin^{-1}(h_x/s)$;

h_x ——为缓和曲线地段计算断面处的超高值(mm)。

根据车辆所处的不同工况,将建筑限界内外侧加宽量绘制成图,即常用圆曲线和缓和曲线地段建筑限界加宽量图,这样可方便使用。

区间曲线段建筑限界

➤ 竖曲线地段建筑限界

竖曲线地段建筑限界在直线地段上根据公式(3-24)和式(3-25)进行加高。

(1) 凹形竖曲线

$$\Delta H_1 = \frac{l^2 + a^2}{8R_1} \quad (3-24)$$

式中: ΔH_1 ——凹形竖曲线段建筑限界加高量(mm);

R_1 ——凹形竖曲线的半径(mm);

l ——车辆定距(mm);

a ——转向架固定轴距(mm)。

(2) 凸形竖曲线

$$\Delta H_2 = \frac{L^2 - (l^2 + a^2)}{8R_2} \quad (3-25)$$

式中: ΔH_2 ——凸形竖曲线段建筑限界加高量(mm);

R_2 ——凸形竖曲线的半径(mm)。

L ——车体计算长度(mm)。

对于轨道交通线路而言,由于一般竖曲线半径都比较大,根据上述公式计算得出的竖曲线加高值很小,故可以忽略不计。竖曲线半径很小时,可根据需要进行核算。

道岔区建筑限界

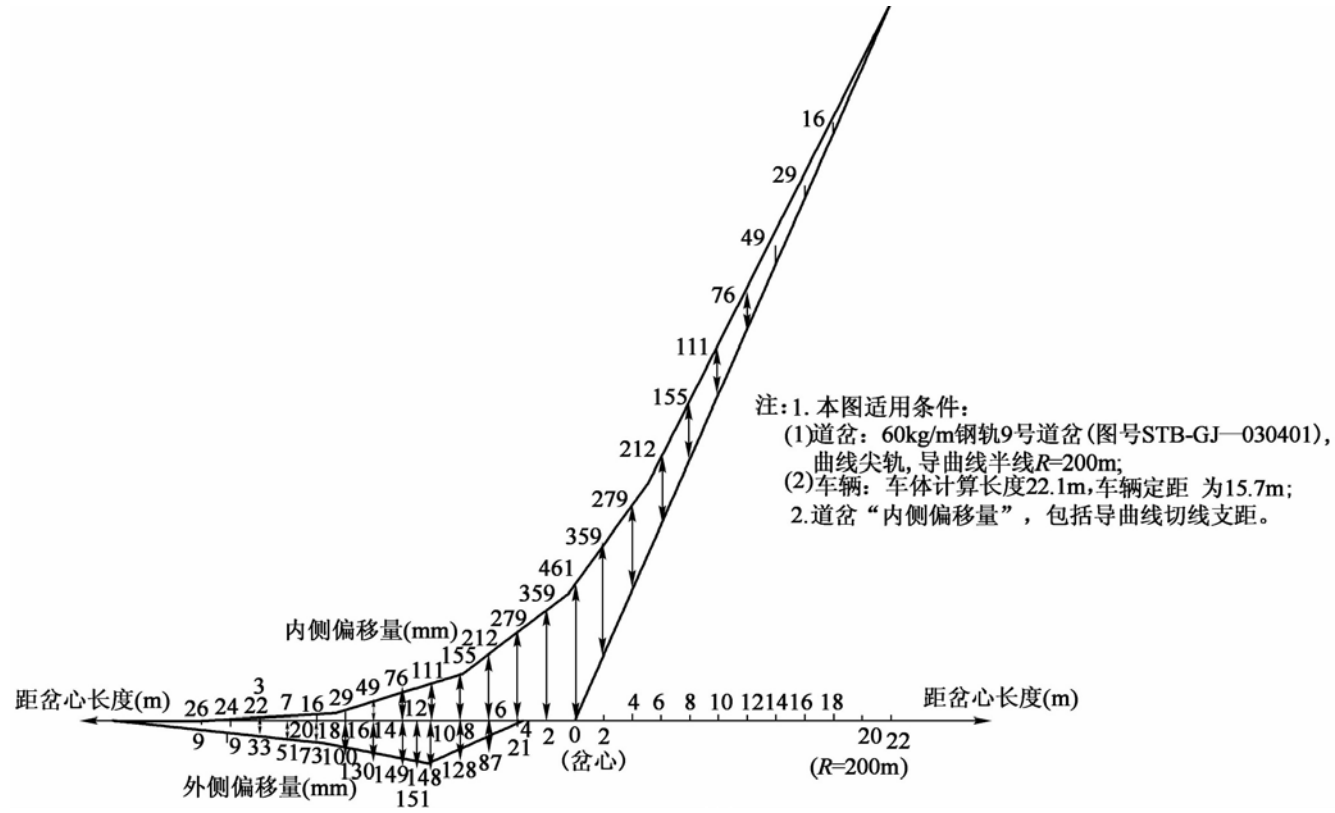
➤ 竖曲线地段建筑限界

道岔区，由于车辆由正线进入侧线或渡线时要产生内外侧偏移，因此，道岔区的建筑限界应在直线地段的建筑限界基础上，根据不同道岔类型和车辆有关尺寸计算出的加宽量和安装设备所需的加高量，进行加宽和加高。加宽分道岔外侧（直股一侧和导曲线外侧）加宽和内侧（侧股的导曲线内侧）加宽。

道岔区的建筑限界内外侧加宽量可以采用计算法，也可以采用图解法求解车辆内外侧偏移量。城市轨道交通的正线、辅助线道岔一般采用9号道岔。道岔外侧钢轨不设超高。道岔尖轨有曲线形和直线形两种。

道岔区建筑限界

➤ 竖曲线地段建筑限界

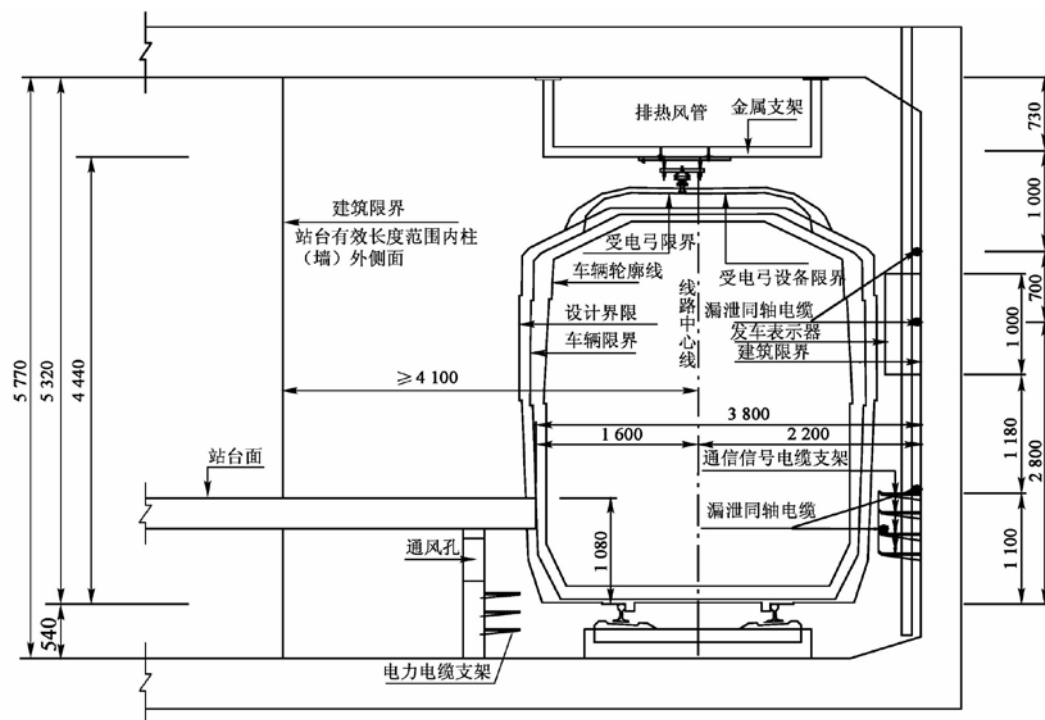


60kg/m钢轨9号道岔曲线尖轨单开道岔内、外侧加宽量图

车站限界

➤ 地下车站

地下车站的建筑限界主要考虑站台边缘至线路中心线间距离、站台面距轨顶面高度、线路中心线至外墙距离及建筑限界高度等。



直线段矩形隧道岛式车站建筑限界图 (尺寸单位: mm)

车站限界

➤ 高架车站

轨道交通的高架车站根据车站形式的不同，分为侧式车站和岛式车站。

(1) 侧式车站

$$A = (a_0 + \text{站台宽度}) \times 2 + l_0$$

(2) 岛式车站

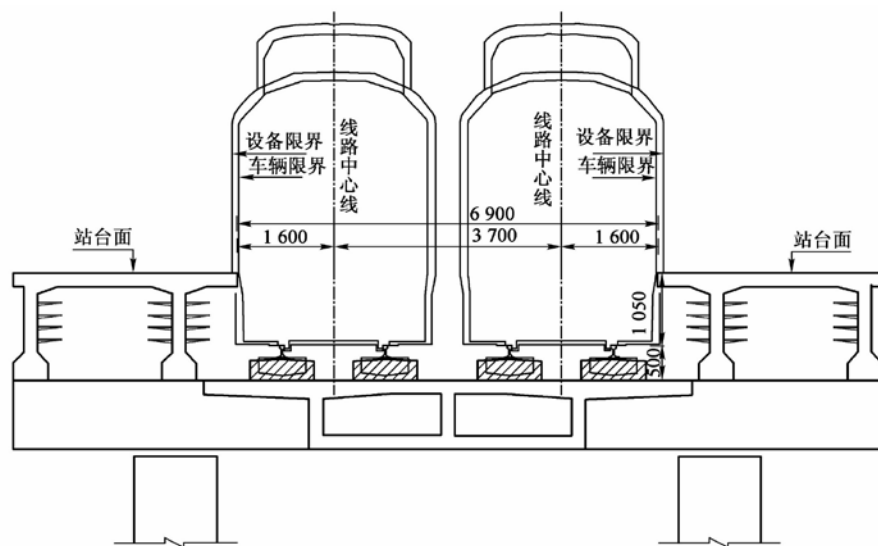
$$A = b_0 \times 2 + l_0$$

式中： A —车站建筑限界值 (mm)

a_0 —线路中心线至站台边缘
距离 (mm)

l_0 —线间距 (mm)

b_0 —线路中心线至护栏内测距离



直线段矩形隧道岛式车站建筑限界图 (尺寸单位: mm)

车站限界

➤ 屏蔽门与安全门建筑限界

车站屏蔽门与安全门的建筑限界，一般按屏蔽门与安全门的安装尺寸在不考虑弹性变形状态下，屏蔽门（安全门）最外突出点至车站地段车辆限界之间应有不小于25mm的安全间隙考虑

➤ 曲线车站

曲线段车站计算内侧或外侧加宽时，采用车辆限界，其控制点的坐标高度，在车体倾斜后，计算内侧加宽时不低于站台高度，计算外侧加宽时不高于站台高度。加宽计算中除了考虑平面几何加宽，还要考虑外轨超高和外轨超高顺坡引起的超高加宽。

车站限界

➤ 曲线车站

圆曲线地段站台限界的内、外侧加宽由平面曲线偏移量,轨道超高产生的偏移量和弹簧压缩量等附加值三部分组成。其中平面曲线偏移量可分别按凹形站台和凸形站台进行计算。

对于凹形站台,加宽量:

$$\alpha = \frac{l_1^2 + a^2}{8R} \quad (3-28)$$

对于凸形站台,加宽量:

$$\beta = \frac{L^2 - (l_1^2 + a^2)}{8R} \quad (3-29)$$

式中: l_1 ——车辆定距(mm);

L ——车体计算长度(mm);

a ——转向架固定轴距(mm);

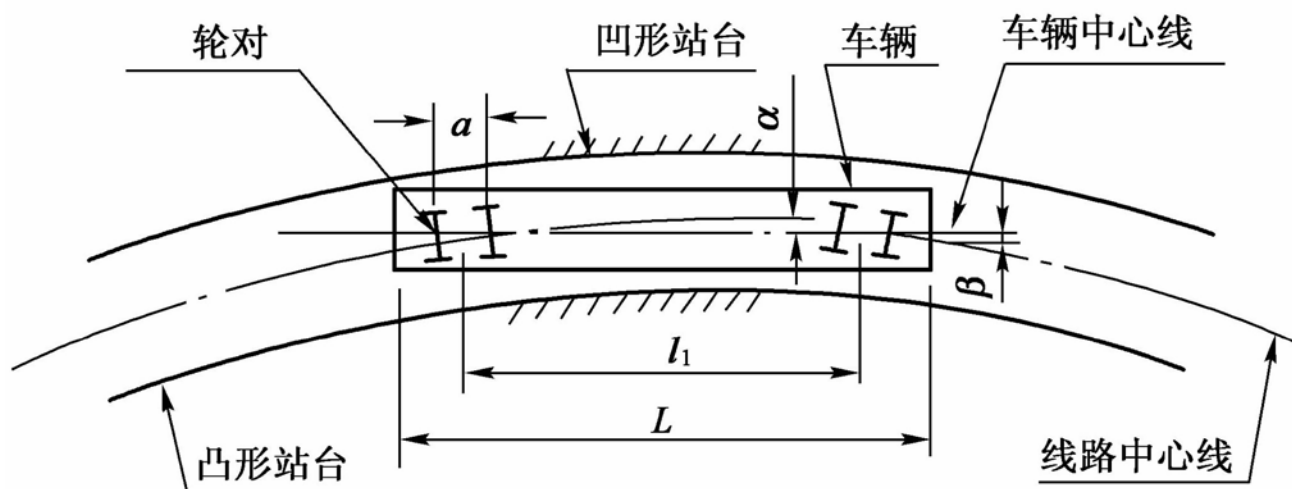
R ——站台段圆曲线半径;

α, β ——分别为凹形站台和车辆中部,凸形站台与车辆端部的间隙增加量,如设轨道超高,还需考虑因超高引起的加宽量。

由上述式中可以看出,不同的车体长度在同样的站台曲线段,车辆与站台的间隙是不同的。车体越长,间隙越大。曲线车站站台与车辆间隙如图 3-11 所示。

车站限界

➤ 曲线车站



曲线车站站台与车辆间隙示意图

车站限界

➤ 曲线车站

缓和曲线地段站台限界的加宽可按式(3-30) ~ 式(3-33)进行计算。

$$\text{内侧加宽:} \quad E_{H\text{内}} = e_{p\text{内}} + N_{h\text{内}} \quad (3-30)$$

$$\text{其中:} \quad e_{p\text{内}} = \frac{(x - s_0)l^2}{8Rl_0} \quad (3-30a)$$

$$N_{h\text{内}} = X_0 \cos \alpha_x + Y_0 \sin \alpha_x - X_0 \quad (3-30b)$$

$$\text{外侧加宽:} \quad E_{H\text{外}} = e_{p\text{外}} + W_{h\text{外}} \quad (3-31)$$

$$\text{其中:} \quad e_{p\text{外}} = \frac{(L^2 - l^2)[3(x - l - l') + L]}{24Rl_0} \quad (3-31a)$$

$$W_{h\text{内}} = X_0' \cos \alpha_x + Y_0' \sin \alpha_x - X_0' \quad (3-31b)$$

式中: $E_{H\text{内}}$ 、 $E_{H\text{外}}$ ——缓和曲线内(外)侧加宽量(mm);

$e_{p\text{内}}$ 、 $e_{p\text{外}}$ ——缓和曲线平面几何因素引起的内(外)侧加宽值(mm);

$N_{h\text{内}}$ 、 $W_{h\text{外}}$ ——超高引起的内(外)侧加宽值(mm);

x ——加宽起点至计算点长度(m);

l' ——中心销至车端(计算断面)距离,A型车为3.2m;

l_0 ——缓和曲线长度(m);

X_0 、 Y_0 、 X_0' 、 Y_0' ——车辆限界加宽计算控制点坐标;

s_0 ——ZH点至内侧加宽起点,其值按不小于一个车辆全轴距取整(m)。

站台限界在加宽计算中,必须注意控制点的选取原则。同时与缓和曲线或圆曲线连接的直线内、外侧加宽值也需考虑,可采用内插法计算。



思考题





1. 曲线站台和直线站台相比，在设计方面应该注意哪些问题？
2. 区间隧道采用盾构法修建时，盾构机直径的选择应考虑哪些因素？
3. 线路的状况对限界产生什么样的影响？
4. 限界与行车速度之间存在哪些关系？
5. 若受电方式采用第三轨供电，对应的限界特征是什么？



QUESTION AND DISCUSSION



「 谢 谢 ! 」

