

项目一

城市轨道交通线路与站场设备

城市轨道交通线路是城市轨道交通车辆运行的基础，是重要的行车设备，从事运营管理的人员必须认识相关的设备和设施，掌握设备和设施对运营工作的影响。线路的平面和纵断面、线路标志、高架结构和地下隧道、轨道、限界等知识是从事轨道交通运营管理人员必须掌握的基础知识。车站是城市轨道交通线的重要组成部分，又是集散客流、为旅客服务的基本设施。车站的选址、站场布置与规模不仅影响运营效益，而且影响城市建设。

任务一 认知城市轨道交通线路



学习目标

- (1) 了解城市轨道交通线路的平面和纵断面。
- (2) 了解城市轨道交通线路系统的组成及各部分的作用。
- (3) 了解轨道线路标志与限界，学习限界的概念、分类和限界图。
- (4) 了解区间隧道和高架结构工程。



学习任务

认知城市轨道交通线路，主要包括城市轨道交通线路的平面和纵断面、城市轨道交通线路的系统组成与设备、轨道线路标志与限界、区间隧道和高架工程等设备及设施。



工具设备

城市轨道交通线路标志模型、轨道结构模型、盾构模型、高架槽形梁模型、多媒体设备课件、图片、示教板、计算机多媒体设备等。



教学环境

线路设备综合仿真实验室或线路设备维修基地现场。



基础知识

城市轨道交通线路是列车所行驶的轨道式通道，按其空间设置位置，有地下、地面和高架3种形式。上部建筑沿用传统铁路方式，由钢轨、轨枕、联结零件等组成。线路下部基础由路基、道床等组成，现多采用整体道床结构。跨座式单轨铁路的车体重心在轨道梁的上方，运行时车体跨坐在轨道梁上。

一、城市轨道交通线路的平面和纵断面

实际的轨道交通线路是一条长长的交通走廊，它是立体的，要用三维图画才能准确描



述。用立体表现很不方便，不仅费时、费力，而且细部尺寸难以标注。因此，工程中一般采用平面、纵断面、横断面 3 种二维图画结合起来表现。平面图是线路轨道中（心）线在水平面上的投影；纵断面是把线路中心线展直后投影到垂直面上；横断面是线路实体及运营所需空间在线路中线法平面上的投影。

（一）城市轨道交通线路的平面

轨道交通线路中心线在水平面上的投影称为线路平面。它表明线路的直、曲变化状态。线路中心线是两根钢轨间距的中心连线（单轨交通为轨道梁的中心线）。

线路平面由直线、圆曲线及连接直线与圆曲线的缓和曲线组成。在线路平面设计时，为缩短线路长度和改善运营条件，应尽可能设计较长的直线。但为了满足线路选线要求、适应地形变化（地面布置方式）、避让障碍物（地面、地下、高架方式）等，应设置曲线。

为了使城市轨道交通线路平面圆顺且符合运营要求，设计时要遵循一定的技术要求。线路平面设计的主要技术要素包括最小圆曲线半径、缓和曲线线形和长度、最小夹直线长度、最小圆曲线长度等。

1. 圆曲线

线路在转向处所设的曲线通常为圆曲线。其半径的大小反映了曲线弯曲度的大小。圆曲线半径越小，弯曲度越大。一般情况下，曲线半径越大，行车速度可以越高，但工程费用越高。曲线半径宜按标准半径从大到小合理选用。实际工作中，最大半径一般很少超过 3000 m。400 m 以下的小半径曲线具有限制车速、养护比较困难、钢轨侧面磨耗严重及噪声大等缺点，特别是在轨道交通运量大、密度高的情况下，上述缺点更加突出。因此，小半径圆曲线应尽量少用，并应有一定限制。

城市轨道交通系统应根据其运行特征及车辆性能等要素选择一个统一适合的 R_{\min} 值，以便于设计与施工。

城市轨道交通的正线 R_{\min} 常用 300m，困难地段不小于 250m；联络线 R_{\min} 常用 150m，车辆段根据作业情况及布局需要， R_{\min} 还可适当取较小的值（最小 R 值仅有 100 m 左右）。单轨铁路（跨座式）：正线 $R_{\min}=60\text{m}$ ；其他 $R_{\min}=30\text{m}$ 。目前，在我国轨道交通正线设计中，最小曲线半径标准：A 型车为 300~350m，B 型车为 250~300m，具体见表 1.1。

表 1.1 城市轨道交通最小曲线半径

线 路		一般情况 (m)		困难情况 (m)	
		A 型车	B 型车	A 型车	B 型车
正线	$v \leq 80\text{km/h}$	350	300	300	250
	$80\text{km/h} < v \leq 100\text{km/h}$	550	500	450	400
联络线、出入线		250	200	150	
车场线		150	110	110	

注：除同心圆曲线外，曲线半径应以 10m 的倍数取值。

对于最小圆曲线长度，城市轨道交通线路设计时也有要求。城市轨道交通圆曲线长度短，对改善行车条件、减少行车阻力和养护维修有利。但当圆曲线长度小于车辆的全轴距



时，车辆将同时跨越在3种不同的线形上，会危及行车安全，降低列车的稳定性和乘客的舒适度。因此，我国地铁设计规范规定正线及辅助线的圆曲线最小长度：A型车不得小于25m，B型车不得小于20m，在困难情况下不得小于车辆的全轴距。

2. 缓和曲线

圆曲线与直线相连时，存在两个问题：一是ZY（直圆点）处的平面曲率有突变；二是ZY（直圆点）处的外轨超高有突变。设置缓和曲线的目的就是要解决这两个问题，即实现平面曲率的渐变及外轨超高的渐变。

缓和曲线的技术要素有线型及长度两项。

在城市轨道交通中，由于列车速度通常只有70~120km/h，缓和曲线线型一般采用三次抛物线，长度则根据圆曲线半径及列车行车速度不同而变化，具体见表1.2。

表 1.2 缓和曲线长度

$\begin{matrix} L \\ v \\ R \end{matrix}$	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30
3000	30	25	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2500	35	30	25	20	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	40	35	30	25	20	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	55	50	45	35	30	25	20	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	70	60	50	40	35	30	25	20	20	—	—	—	—	—	—
1000	85	70	60	50	45	35	30	25	25	20	—	—	—	—	—
800	85	80	75	65	55	45	40	35	30	25	20	—	—	—	—
700	85	80	75	70	60	50	45	35	35	25	20	20	—	—	—
650	85	80	75	70	60	55	45	40	35	30	20	20	—	—	—
600		80	75	70	70	60	50	45	40	30	20	20	20	—	—
550			75	70	70	65	55	45	45	35	20	20	20	—	—
500				70	70	65	60	50	50	35	20	20	20	20	—
450					70	65	60	55	55	40	25	20	20	20	—
400						65	60	60	55	45	25	20	20	20	—
350							60	60	60	50	30	25	20	20	20
300								60	60	60	35	30	25	20	20
250									60	60	40	35	30	20	20
200										60	40	40	35	25	20
150												40	40	35	25

注：表中 R 为曲线半径（m）； v 为设计速度（km/h）； L 为缓和曲线长度（m）。

3. 夹直线

两相邻曲线转向相同，称为同向曲线；若转向相反则称为反向曲线。

线路上两条相邻的曲线不应该直接相连，应在两条相邻的曲线间设置一定长度的直线，以保证列车运行的平稳，这条直线称为夹直线。

车辆运行在同向曲线上时，因为相邻曲线半径不同，则超高高度不同，车体向内的倾



斜度也不同；车辆运行在反向曲线上时，因为相邻曲线超高方向不同，则车体时而向左倾斜，时而向右倾斜。这两种情况都会造成车体摇晃震动，夹直线长度越短，摇晃震动越剧烈。夹直线太短，也不易保持夹直线的方向，会增加养护困难。因此，我国地铁设计规范规定正线及辅助线上相邻曲线的夹直线长度（不含超高顺坡及轨距递减段的长度）：A型车不宜小于25m，B型车不易小于20m，在困难情况下不得小于一个车辆的全轴距；车场线上的夹直线长度不得小于3m。

4. 曲线附加阻力

列车在通过曲线段时，除了克服基本阻力（即直线段存在的阻力，如列车运行过程中需要克服的轮轨阻力）外，还要克服曲线附加阻力。这是因为曲线段内轨与外轨之间长度不相等，列车在通过曲线段时，会发生外侧车轮滚动、内侧车轮滑动的情况；同时，会因为离心力产生车轮与钢轨之间的挤压力等。

曲线阻力与曲线半径成反比，即曲线半径越大，曲线阻力越小，对运行有利；但曲线半径越小，线路适应地形、避让障碍物的能力越强。

5. 其他

（1）道岔应设置在直线上。在困难情况下，道岔也可设在曲线上，但道岔端部至曲线端部的距离不宜小于5m，车场线可减少到3m。道岔宜靠近车站位置，但道岔基本轨端部至车站站台端部的距离不小于5m。

（2）不同号数道岔的导曲线半径和长度也不同，会影响线路线间距和线路长度。正线和辅助线上为保证必要的侧向过岔速度，宜采用9号道岔；车场线因过岔速度要求低，可采用不大于7号的道岔，以缩短线路长度，节省造价。设置交叉渡线两平行线的线间距宜按规定采用：12号道岔采用5.0m；9号道岔采用4.6m或5.0m，6号、7号道岔采用4.5m或5.0m。

（3）城市轨道交通线路不宜采用复曲线。在困难地段，有充分技术依据时可采用复曲线。当两圆曲线的曲率差大于 $1/2500$ 时，应设置中间缓和曲线，其长度应根据计算确定，在困难情况下不得小于20m。

（4）折返线的有效长度宜为远期列车长度加40m（不含车挡长度）。

（二）城市轨道交通线路的纵断面

线路中心线在垂直平面上的投影称为线路纵断面（单轨铁路以轨道梁中心线为准），它表明线路的坡度变化。

线路纵断面由平道、坡道及设在变坡点处的竖曲线组成。

1. 坡道

坡道是为了选线、避让障碍物及适应运行的需要而设置的路段，坡道的特征用坡段长度和坡度值来表示。

1) 坡段长度

两个坡段的连接点即坡度变化点，称为变坡点。一个坡段两端变坡点之间的水平距离称为坡段长度。如果坡段长度小于列车长度，那么列车就会同时跨越两个或两个以上的变



坡点，各个变坡点所产生的附加应力和局部加速度会因叠加而加剧，影响列车平稳运行和旅客的舒适。因此，线路坡段长度不宜小于远期列车计算长度。按每节车 19.11m 计算，当列车编组为 8 节车厢时，约为 150m；列车 6 节编组时，约为 115m。与干线铁路不同，城市轨道交通线路不要求坡段长度取整为 50m 的整数倍。

2) 坡度

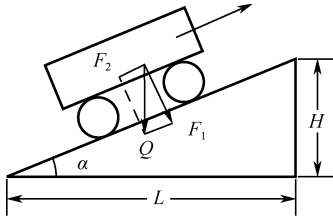


图 1.1 坡道与坡道阻力示意图

坡度是一段坡道两端点的高差 H 与水平距离 L 之比，用 $i‰$ 表示，如图 1.1 所示。

$$i‰ = H/L = \tan \alpha$$

式中 α ——坡道夹角；

H ——坡道高差，单位为 m；

L ——坡道水平距离，单位为 m。

2. 竖曲线

在线路纵断面上，若各坡段直接相连则形成一条折线，列车通过变坡点时，产生的车辆振动和局部竖向加速度增大，乘客舒适度降低。同时车辆处在最不利位置时，可能导致车轮脱轨或相邻车辆脱钩，影响行车安全。因此，必须在变坡点处用竖曲线把折线断面平顺连接起来，以保证行车安全、平顺和乘客乘坐的舒适度。

1) 竖曲线设置规定

(1) 当两相邻坡段的坡度差等于或大于 2‰ 时，应在变坡点处设置圆曲线型竖曲线连接。

(2) 车站站台计算长度内和道岔范围内不得设置竖曲线，竖曲线离开道岔端部的距离不应小于 5m。

(3) 碎石道床线路竖曲线不得与平面缓和曲线重叠；不设平面缓和曲线时，竖曲线不得与超高顺坡重叠，否则立面轨顶超高顺坡与平面缓和曲线渐变将形成复杂的空间曲线，施工中很难做成设计形状，运营中碎石道床也难以保持。

2) 竖曲线半径

竖曲线半径大小与速度有关，速度越高，要求半径越大。我国地铁设计规范规定城市轨道交通竖曲线半径应符合表 1.3 所示的要求。

表 1.3 城市轨道交通竖曲线半径

线 别		一般情况 (m)	困难情况 (m)
正线	区间	5000	3000
	车站端部	3000	2000
联络线、出入线		2000	
车场线		2000	

单轨铁路竖曲线半径不小于 1000m。

车站站台和道岔范围不得设竖曲线，竖曲线离开道岔端部距离不应小于 5m。渡线应设在 5‰ 以内的坡度上，而且竖曲线不应伸入道岔范围之内。竖曲线起点至道岔基本轨起



点的距离，或距离辙叉跟端以外短轨端点的距离，均不应小于 5m。

3. 坡道阻力 (W_i)

坡道阻力是列车通过坡道时因坡度存在而产生的附加阻力。

车辆在坡道上运行，重力分解为对轨道的正压力 F_1 与沿坡道的下滑力 F_2 两个分力，如图 1.1 所示， F_2 即为坡道的坡度引起的坡道附加阻力 W_i ，上坡时， W_i 为正值；下坡时， W_i 为负值。

当 α 很小时，有 $\sin\alpha \approx \tan\alpha$ ，并取 $g=10\text{m/s}^2$ ，因此有

$$W_i = Q \sin\alpha \approx Q \tan\alpha (k) = Q_i (\text{N})$$

式中 W_i ——坡道附加阻力，单位为 kN；

Q ——车辆重力，单位为 kN；

i ——坡度。

单位坡度阻力为坡道附加阻力与列车重量之比，用 ω_i 表示为

$$\omega_i = W_i / Q = Q \cdot i / Q = i (\text{N/kN})$$

由此可见， ω_i 与 i 成正比，即 i 越大， ω_i 越大，对列车运行速度制约越大。城市轨道交通线路的坡度在满足排水及标高控制要求的前提下应尽可能平缓，其坡度的取值规定如下。

(1) 正线的最大坡度不宜大于 30‰，困难地段可采用 35‰，联络线、出入线的最大坡度不宜大于 40‰（均不考虑各种坡度折减值）。但随着各种城市轨道交通车辆的改进，允许的最大坡度值也正在增大。

(2) 车站坡度。计算地下车站站台长度地段的线路坡度宜采用 2‰，以防止车辆溜动，也便于站内线路排水；困难条件下不大于 3‰。

地面和高架桥上的车站宜设在平道上，以利于列车在车站停车平稳；困难地段不大于 3‰，便于停车和启动。

计算车站站台长度地段的线路应设在一个坡道上，以简化设计、施工，也便于排水处理；有条件时车站宜设置在纵断面的凸形部位上，并设置合理的进、出站坡度，即进站上坡，出站下坡，这样有利于节省列车制动和启动时的能耗。

车场线宜设在平道上，困难时库外线不大于 1.5‰，以防止溜车。

(3) 道岔宜设在不大于 5‰的坡道上，困难地段不大于 10‰。

(4) 折返线和停车线宜布置在面向车挡的下坡道上，隧道内的坡道宜为 2‰，地面和高架线上的折返线、停车线，其坡度不宜大于 1.5‰，以防止溜车，确保停车安全，同时又保证必要的最小排水坡度。

4. 城市轨道交通线路的合理纵断面

城市轨道交通由于部分线路设在地下隧道或设置在高架结构上，又因为车站和区间的埋深和高差不尽一样，在设计地下隧道线路纵断面时，须注意保持合理纵断面。

合理纵断面应既满足有利于列车运行、提高效率、降低消耗、安全可靠的要求，又能满足兼顾降低施工量、减少施工难度、提高施工进度需要。



如图 1.2 所示，由于区间隧道轨道面标高低于车站轨道面标高，所以列车在运行过程中处于出站下坡与进站上坡的有利状态，有利于列车启动加速与进站减速制动。

如图 1.3 所示，纵断面往往会出现在地下隧道且采用明挖法施工建设的系统中，由于片面强调减少挖掘土方，而未先明确列车运行特征、运营后的成本费用问题，以及受地质条件、地下结构等原因的影响，导致出现不合理纵断面。因地下线路无法改造调整，只能成为永久性遗憾。



图 1.2 合理纵断面示意图

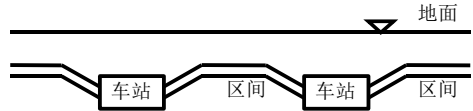


图 1.3 不合理纵断面示意图

地下盾构等施工方式比较容易解决线路走向选择，并且没有施工量多少的问题，一般不会出现上述不合理纵断面。

同样，高架结构线路车站也应选择合理纵断面位置。

二、城市轨道线路系统的组成

城市轨道交通线路是城市轨道交通车辆运行的基础。线路是列车所行驶的轨道式通道，由轨道结构及支撑它的路基、涵洞或桥梁、隧道等建筑物组成。

（一）线路空间设置

城市轨道交通线路空间设置有地下、地面和高架 3 种方式。

1. 地下

地下方式常用于地下铁道系统，线路置于地下隧道中。其优点是与地面交通完全分离，且不占城市地面与空间，基本不受气候影响；其不足之处在于需要较大投资，较高的施工技术，较先进的管理，完善的环控、防灾措施与设备。在建设过程中仍会影响地面交通，运营成本较高，改造、调整与线路维护均较困难。

2. 地面

地面方式一般采用独立路基的方式，减少与地面道路交通的互相干扰。其优点是造价最低，施工简便，运营成本低，线路调整与维护较容易；其不足之处是运营速度难以提高（有部分信号控制的平面交叉点），占地面积较多，破坏城市道路路面，使城市道路交叉口复杂化，容易受气候影响（如雨水、雾、台风等），乘车环境难以改善，有一定的污染负效应（如噪声、景观等）。

3. 高架

高架方式的线路设在高架工程结构物上，与地面交通无干扰，造价介于地下与地面之间。施工、维护、管理、环控及防灾诸方面都比地下线路方便；但要占用一定的城市用地，并且有光照、景观、噪声等负效应，也受气候变化的影响。在同一条轨道交通路线上，上述 3 种不同的空间布置方式可组合采用。较为理想的是在市中心入口、建筑密集、土地价



值较高的区域,采用地下隧道方式设置轨道交通线路,也可适当布置为高架方式;而在城市边缘区或郊区,则宜采用地面独立路基或一般路面路基。如果要提高轨道交通的效率与安全可靠性,则宜采用高架或半高架、高路堤方式。

3种方式建设费用的大致比例:地下:高架:地面(独立路基)=10:5:3。

(二) 线路主要组成

线路由下部基础及上部建筑组成。

1. 下部基础

1) 整体道床结构

城市轨道交通中多采用无砟道床结构,主要用于地下隧道与高架线路。最为普遍的是混凝土整体式道床,就是将道床路基轨枕结合组成钢筋混凝土整体结构的轨下基础。

整体式道床采用就地连续灌注混凝土基床或纵向承轨台,简称 PACT 型轨道。这种形式结构简单,减振性能较好,但施工较为复杂。也可以把预制好的混凝土枕与混凝土道床浇筑成一个整体,或者采用预制的钢筋混凝土支承块与混凝土道床浇筑成一体,如图 1.4 所示。

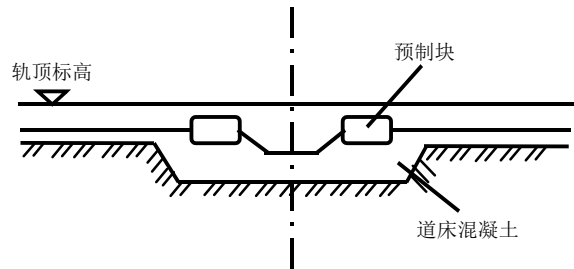


图 1.4 隧道内的整体道床

桥上整体道床结构也称为无砟无枕梁结构,是通过扣件直接把钢轨和混凝土桥面联结起来。

2) 传统铁路下部基础

沿用传统铁路方式:传统铁路线路下部基础由路基、道床等组成。

(1) 路基。路基是铺设轨道的基础。它直接承受轨道的压力,并将其传递到地基。路基状态如何直接关系到线路的质量,影响行车速度及行车安全。路基有两种基本形式,即路堤式和路堑式,如图 1.5 所示。城市轨道交通一般采用路堤式路基,并采用独立路基施工方式。路堤式路基采用取土填筑办法,按规定断面尺寸夯实而成。

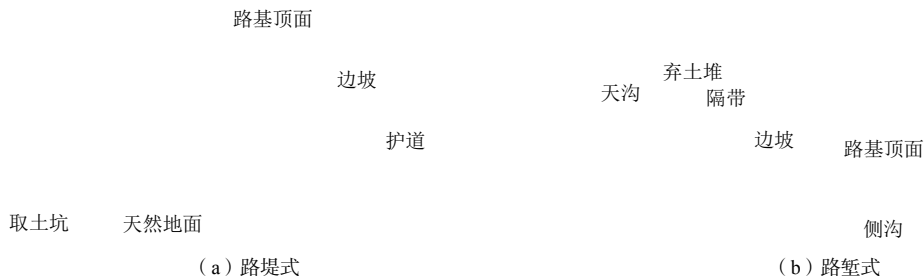


图 1.5 路基

路基作为土木结构物,必须有足够的强度、稳定性和耐久性。路基工程应做好排水设计,确保排水畅通。

(2) 道床。道床是指铺设在路基上的道砟层,它的主要作用是均匀传布轨枕压力于路



基上,并保持轨枕的位置,且使轨道有足够的弹性,以减缓列车的冲击振动。道床主要有以下3种类型。

① 碎石道床结构:采用碎石道床,具有良好的弹性、排水性能,造价低,维护简单可行,防噪声性能也较好。但其强度较低,且须经常维护保养,不太适合地下隧道及市区高架结构线路。道床的断面如图1.6所示。

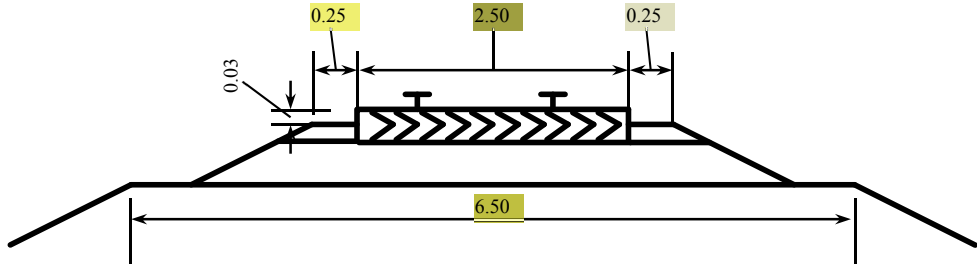


图 1.6 道床的断面(单位: m)

② 整体道床结构:将道床路基轨枕组合形成钢筋混凝土整体结构的轨下基础。主要用于地下隧道与高架结构布置方式的地铁、轻轨等线路。

③ 单轨交通线路结构:单轨交通分为跨座式(骑跨式)和悬挂式(悬吊式)两类,其线路结构分别如图1.7和图1.8所示。

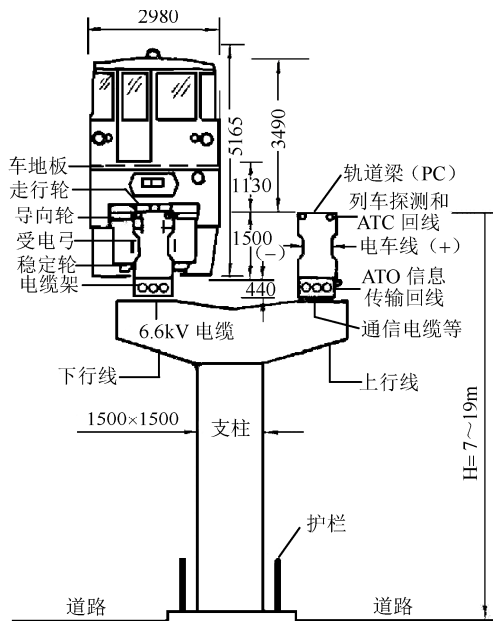


图 1.7 跨座式单轨交通线路结构

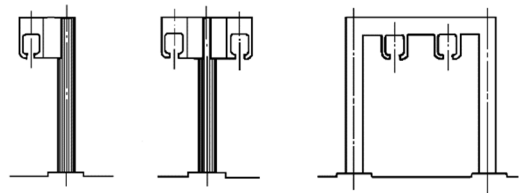


图 1.8 悬挂式单轨交通线路结构

单轨交通线路结构比较简单,由轨道梁、支柱、基础组成。由于单轨交通车辆一般采用橡胶走行轮、导向轮(稳定轮)构成走行部,所以其轨道梁结构主要包括承重面、导向侧面及附属设施(如供电、自动控制、通信等设备)等。



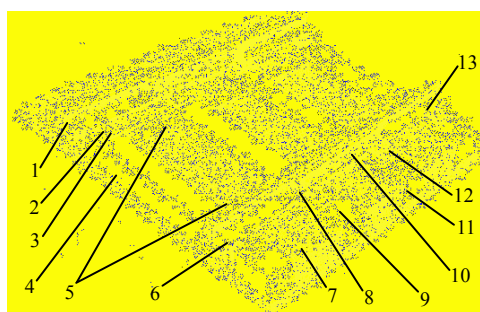
2. 上部建筑

城市轨道交通采用整体道床结构时，只要将钢轨用弹性扣件安装在整体道床上即可。而采用传统铁路方式时，其上部建筑由钢轨、轨枕、联结零件等组成，如图 1.9 所示。

1) 钢轨

钢轨是轨道结构的重要组成部分，是轨道的基本承重结构，它用于引导城市轨道交通车辆的行驶，并将所承受的载荷传到轨枕、道床及路基上，也为车轮滚动提供最小阻力的接触面。

钢轨要求有足够的承载能力、抗弯强度、断裂韧性、稳定性及耐腐蚀性，其断面形状为“工”字形，由轨头、轨腰和轨底 3 部分组成，如图 1.10 所示。



1—钢轨；2—普通道钉；3—垫板；4，9—木枕；5—防爬器；
6—防爬撑；7—道床；8—鱼尾板；10—螺栓；11—钢筋混凝土轨枕；
12—扣板式中间联结零件；13—弹片式中间联结零件

注：图中画出了多种类型的扣件是为示图之用，并非现场线路的实际使用情况。

图 1.9 传统铁路轨道组成

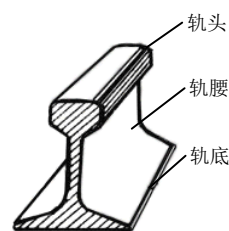


图 1.10 钢轨断面

钢轨的类型是按每延米的重量来区分的，我国现行的主要钢轨类型有 38kg/m、43kg/m、50kg/m、60kg/m、70kg/m 等，60kg/m 以上为重型钢轨。钢轨的标准长度为 25m 和 12.5m。钢轨的主要形式尺寸见表 1.4。

表 1.4 钢轨的主要形式尺寸

钢轨类型 (kg/m)	75	60	50	43	38
钢轨高度 A	192	176	152	140	134
轨底宽度 B	150	150	132	114	114
轨头宽度 C	75	73	70	70	68
轨腰厚度 D	20	16.5	15.5	14.5	13.0
轨头高度 E	55.3	48.5	42	42	39
轨底厚度 F	32.3	30.5	27	27	24
轨头侧坡	1 : 20	1 : 20	—	—	—
$R_1-R_2-R_3$	15-80-500	13-80-300	13-300	13-300	13-300
R_4-R_5	7-17	8-25	5-12	5-10	7-7
R_4	450	400	350	350	350



选用钢轨原则上是以轨道承受荷载的轻重来确定的,但目前国内尚无城市轨道交通钢轨选型标准,目前城市轨道交通系统正线一般采用 60kg/m 或 50kg/m 的钢轨。在车辆段(停车场),由于主要是供空车运行且速度又低,考虑到经济性,可采用 50kg/m 或 43kg/m 的钢轨。

2) 轨枕

轨枕是轨下基础的部件之一。它用于支承钢轨,保持轨距和方向,并将钢轨对它的各向压力传递到道床上。轨枕需要一定的坚固性、弹性和耐久性,除了便于固定钢轨,抵抗轨道框架结构的纵向和横向位移外,还应具有价格低廉、制造简单、易于铺设养护的特点。

轨枕按其使用部位可分为用于区间线路的普通轨枕、用于道岔上的岔枕及用于无砟桥上的桥枕。

城市轨道交通中轨枕现均采用预应力钢筋混凝土轨枕,其稳定性好、坚固耐用。在直线区段,一般每千米配置 1600~1680 根。在曲线半径较小或坡度较大地段,可适当增加,地铁轨枕铺设数量根据《设计规范》规定应符合表 1.5 所示标准。

我国使用的混凝土枕长度为 2.5m,目前有增大的趋势,已出现 2.6m、2.7m 的轨枕。

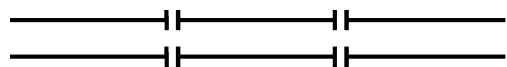
表 1.5 轨枕铺设数量

序号	道床形式	轨枕铺设数量			
		正线 50kg/m、60kg/m 钢轨		辅助线	车场线
		直线及 $R > 400\text{m}$ 或 坡度 $i < 20\text{‰}$	$R \leq 400\text{m}$ 或坡 度 $\geq 20\text{‰}$		
1	枕式整体道床[根(对)/km]	1600~1680	1680~1760	1600	1440
2	减振轨道枕式整体道床[根(对)/km]	1600~1680	1680	1600	1440
3	混凝土枕碎石道床/(根/km)	1600~1680	1680	1600	1440
4	无缝线路混凝土枕碎石道床/(根/km)	1680~1760	1760~1840	1680~1760	—
5	木枕碎石道床/(根/km)	1680~1760	1760~1840	1680	1440

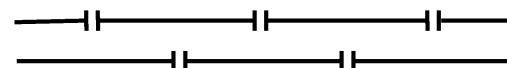
3) 联结零件

联结零件分为接头联结零件和中间联结零件。

(1) 接头联结零件:由夹板、螺栓和垫圈等组成。通过它们把钢轨连接起来,使钢轨接头部分具有和钢轨一样的整体性,以抵抗弯曲和移位,并满足热胀冷缩的要求。



(a) 对接



(b) 错接

图 1.11 对接、错接

夹板是用来夹紧钢轨的。每块夹板都要用 4 枚或 6 枚螺栓上紧,且为了防止车轮万一在接头部位脱轨时切割全部螺栓,螺栓帽的位置应在钢轨的内、外侧相互交错。

在城市轨道交通中已基本采用无缝线路结构,钢轨接头联结零件数量大大减少,但在无缝线路的缓冲区、轨道电路的绝缘区、有道岔的线路区段中,接头联结零件还是不能少的。

钢轨接头按其在两股钢轨上的相互位置分为对接和错接,如图 1.11 所示。城市轨道交通

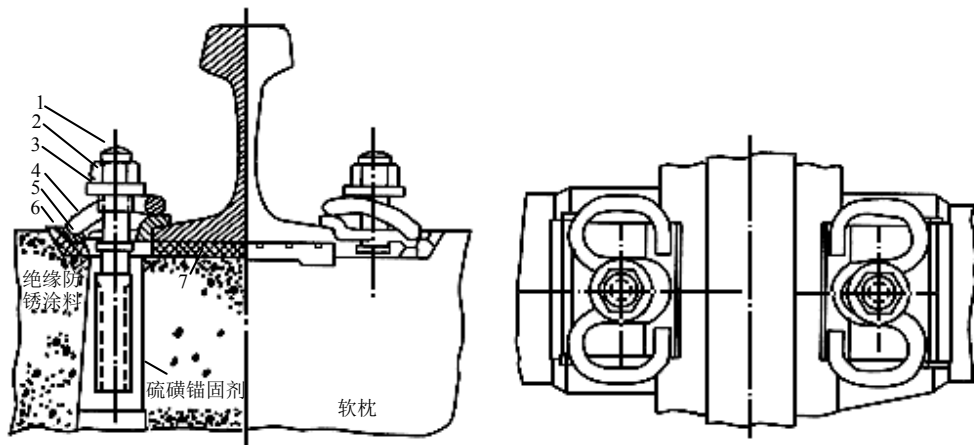


通正线、辅助线钢轨接头常采用对接,可减少列车对钢轨冲击次数,改善运营条件。对于辅助线和车场线半径等于或小于 200m 的曲线地段,钢轨结构应采用错接,错接距离不应小于 3m。

不同类型的钢轨应采用异型钢轨连接。

(2) 中间联结零件:钢轨和轨枕的联结是通过中间联结零件实现的,这种联结零件称为扣件。其作用是将钢轨固定在轨枕上,保持轨距和阻止钢轨相对于轨枕的纵、横向移动。扣件必须具有足够的强度、耐久性和一定的弹性,以有效地保持钢轨与轨枕的可靠联结。此外,扣件还应简单,便于安装和拆卸。

混凝土扣件按其结构分为扣板式、弹片式、弹条式等。城市轨道交通线路多采用弹条式扣件。弹条式扣件用锚固法把螺旋道钉固定在轨枕上预留的孔内,再装上弹条,拧上螺帽,使弹条压紧轨底。在钢轨和承轨台之间,设减振垫层以减小车辆振动,降低噪声。弹条有多种型号,如图 1.12 所示为弹条 I 型扣件。



1—螺纹道钉; 2—螺母; 3—平垫圈; 4—弹条; 5—轨距挡板;
6—挡板座; 7—橡胶垫板

图 1.12 弹条 I 型扣件

三、轨道线路标志与限界

(一) 轨道线路标志

在城市轨道线路中应设下列标志。

(1) 线路标志:百米标、坡度标、曲线要素标、曲线始终点标、道岔编号标、水准基点标、桥号标、涵洞标、水位标等。

百米标安设在一条线路自起点计算每一百米处。

坡度标安设在变坡点处(如图 1.13 所示),标志该坡道的坡度大小及坡段长度,用箭头表示上坡和下坡。其正面和背面分别标明两边坡度和坡段长度值,箭头表示上坡或下坡,箭尾处数字表示坡度,下面的数字表示坡段长度,侧面标明变坡点的里程,如图 1.14 所示。

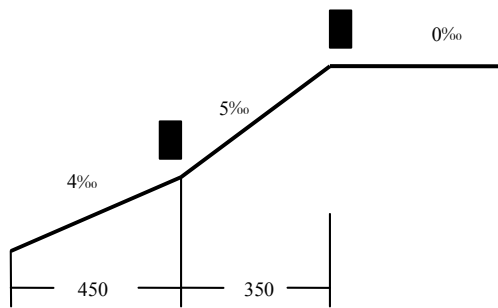


图 1.13 坡度标安设位置

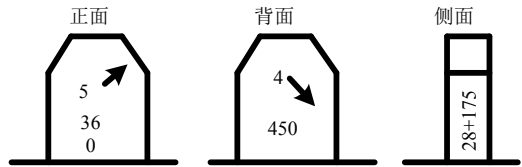


图 1.14 坡度标示意图

曲线要素标安设在曲线中点处，标明曲线中心里程、曲线长度、缓和曲线长度、曲线半径、超高、加宽。

桥号标用于标明桥梁编号及桥梁中心里程，安设在计算里程方向线路的右侧桥头前。

(2) 有关信号标志：限速标、停车位置标、警冲标等。

其中，百米标、坡度标、限速标、停车位置标、警冲标等标志，宜采用反光材料制作。

警冲标设在两设备限界相交处，其余标志安设在行车方向右侧司机易见的位置上。

(二) 限界

城市轨道交通列车是沿着固定轨道快速运动的物体，它需要在特定的空间中运行。根据各种参数和特性，经计算确定，足以保证列车安全运行、限制车辆断面尺寸、限制沿线设备安装尺寸及确定的建筑结构有效净空尺寸的图形称为限界。

限界是确定行车轨道周围构筑物净空大小和管线、设备安装位置的依据，也是设计与施工必须遵守的技术规定。限界设计的任务是在满足城市轨道交通车辆安全运行的前提下，合理地选择桥梁、隧道等结构的有效断面尺寸，以节省工程投资。

1. 限界的种类

根据城市轨道交通系统的构成和设备运营要求，限界分为车辆限界、设备限界和建筑限界。它们是根据车辆外轮廓尺寸及技术参数、轨道特性、各种误差及变形，并考虑列车在运动中的状态等因素，经科学分析计算确定的。

1) 车辆限界

车辆限界是车辆在正常运行状态下形成的最大动态包络线。直线地段车辆限界分为隧道内车辆限界和高架或地面线车辆限界，高架或地面线车辆限界应在隧道内车辆限界的基础上，另外加上当地最大风荷载引起的横向和竖向偏移量。

2) 设备限界

设备限界是为保证城市轨道交通系统的列车等移动设备在运营过程中的安全，而为线路周围所有固定设备及土木工程（接触轨及站台边缘除外）的任何部分规定的不得侵入的最小尺寸轮廓线。设备限界是在车辆限界基础上计入轨道出现最大允许误差时引起车辆的偏移和倾斜等附加偏移量，以及在设计、施工、运营中考虑难以预计的因素在内的安全预留量后确定的空间尺寸。直线地段设备限界是在直线地段车辆限界外扩大一定安全间隙后



形成的：车体肩部横向向外扩大 100mm，边梁下端横向向外扩大 30mm，接触轨横向向外扩大 185mm，车体竖向加高 60mm，受电弓竖向加高 50mm，车下悬挂物下降 50mm。转向架部件最低点设备限界离轨顶面净距：A 型车为 25mm，B 型车为 15mm。

曲线地段设备限界应在直线地段设备限界基础上，考虑平面曲线几何偏移量、过超高或欠超高引起的设备限界的加宽和加高量、曲线轨道参数及车辆参数变化引起的设备限界加宽量计算确定。

3) 建筑限界

建筑限界是行车隧道和高架桥等结构物的最小横断面有效内轮廓线。在建筑限界内、设备限界以外的空间，应能满足固定设备和管线安装的需要。在宽度方向上设备和设备限界之间应留出 20~50mm 的安全间隙。当建筑限界侧面和顶面没有设备或管道时，建筑限界和设备限界之间的间隙不宜小于 200mm；困难条件下不得小于 100mm。

建筑限界分为隧道建筑限界、高架线及地面线建筑限界等。

2. 区间直线地段的限界

1) 地面线建筑限界

A 型车区间直线地段地面双线建筑限界如图 1.15 所示。

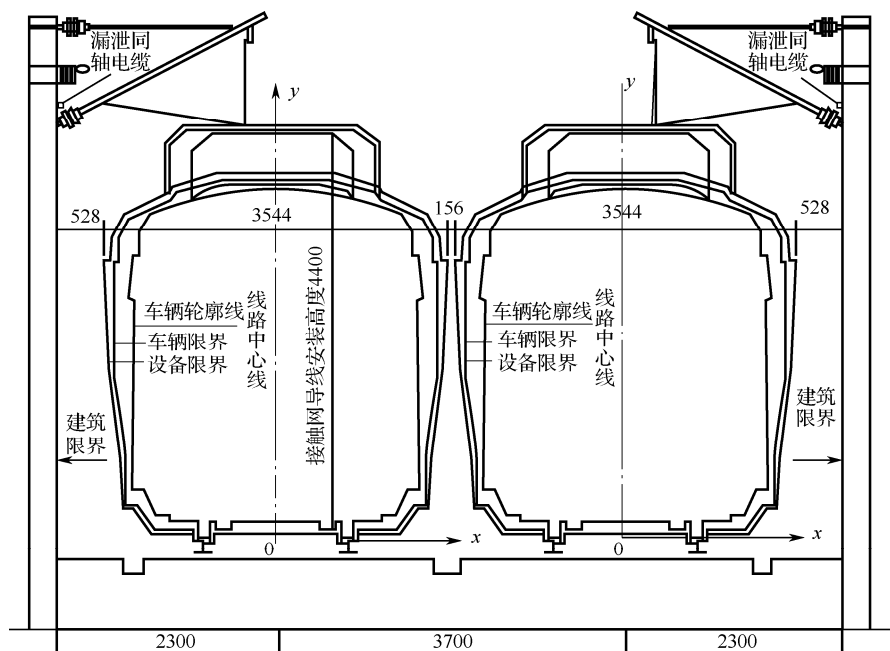


图 1.15 A 型车区间直线地段地面双线建筑限界

2) 隧道限界

隧道限界是在既定的车辆类型、受电方式、施工方法及结构类型等基础上确定的隧道限界。它又可以分为矩形隧道限界、圆形隧道限界、马蹄形隧道限界 3 种类型。

(1) 矩形隧道限界。一般地下铁道明挖施工方法下形成矩形隧道，其单洞单线隧道的隧道建筑限界宽度为 4300mm，高度为 4500mm，如图 1.16 所示。

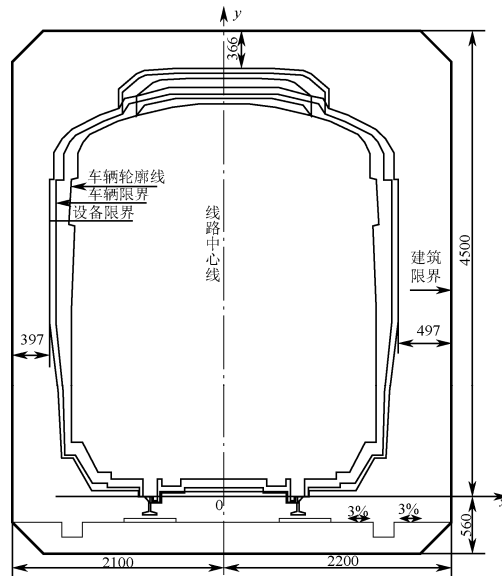


图 1.16 区间直线区段矩形隧道建筑限界图（单位：mm）

(2) 圆形隧道限界。盾构施工为圆形隧道，不论在直线还是在曲线地段，只能采用同一直径的盾构，所以应按最小曲线半径选用盾构进行施工，才能满足圆形隧道的建筑限界要求。当线路最小平面曲线半径 R 为 300m，圆形隧道建筑限界的直径宜为 5200mm，如图 1.17 所示。

(3) 马蹄形隧道限界。矿山法施工的浅埋暗挖隧道多采用马蹄形断面，其建筑限界最大宽度为 5000mm，如图 1.18 所示。

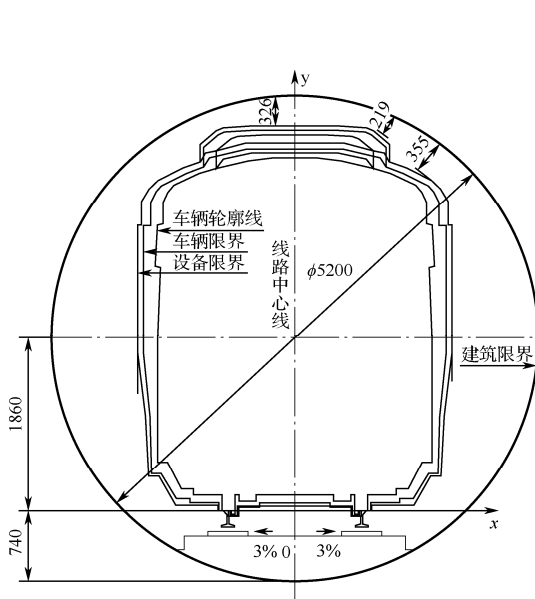


图 1.17 区间直线区段圆形隧道建筑限界（单位：mm）

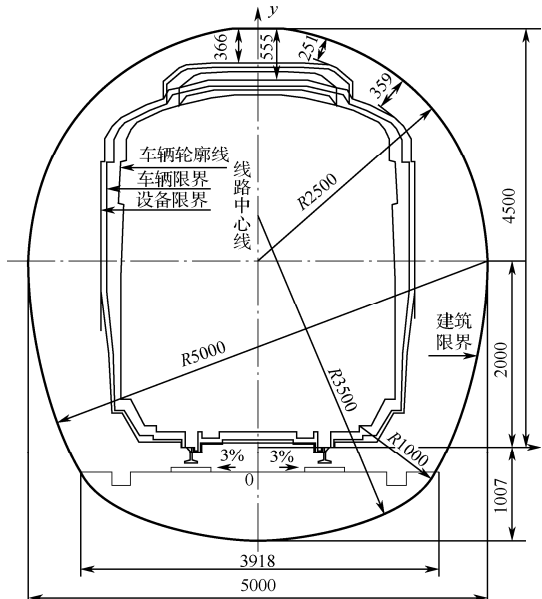


图 1.18 区间直线区段马蹄形隧道建筑限界（单位：mm）



3) 高架桥建筑接近限界

在城区,有时会在城市轨道交通线路上设计高架的人行通道。为保证安全,这种高架桥的人行桥要给城市轨道交通列车及设备留有适当的空间,这就是高架桥建筑接近限界。

高架桥建筑接近限界宽度一般为 8600mm。线路中心至防护栏内距离为 2400mm,侧向人行道宽度为 750mm。如果两线之间设接触轨受电,线路间距宜为 3800mm。侧式站台桥面建筑限界的总宽度与选用的车辆宽度、侧站台的宽度有关,例如,选用车辆宽度为 2800mm,侧站台的宽度为 4000mm,其建筑限界的纵宽度宜为 14 600mm。

3. 曲线地段及道岔区建筑限界

车辆在曲线上运行时,由于车辆纵向中心线是直线,而轨道中心线是曲线,所以车辆产生平面偏移。在曲线地段,轨道一般需要设计一定的外轨超高,这将引起车辆的竖向中心线发生偏移。因此,对曲线或道岔地段而言,运行中的车辆在平面和立面上都产生一定的偏移量,故其建筑限界应进行加宽和加高。曲线加宽应分内侧加宽和外侧加宽,加宽量可计算确定。

4. 车站建筑限界

车站建筑限界的确定方法如下。

(1) 在直线站台有效长度范围内,其边缘至线路中心线的距离应根据车厢宽度进行确定,一般站台边缘与车厢外侧之间的空隙设置以不大于 100mm 为宜。

(2) 直线地段站台面的建筑高度应受车厢地板面至轨顶的垂直距离控制,一般站台面低于车站地板面 50~100mm 较为合适。

(3) 站内线路中心线至隧道边墙内侧面的距离,如无特殊要求,一般都与区间相一致。

(4) 车站建筑限界的高度,一般与区间相同就能满足设备限界的要求。但由于建筑装饰和有些设备及管线安装的需要,车站建筑限界的高度都比区间大。

(5) 站台有效长度两端以外的所有用房的外墙面距线路中心线的距离宜不小于 1800mm,且外墙面不允许安装任何设备和管线。

四、区间隧道与高架结构工程

城市轨道交通系统进入城区后,可以随着城市地势的变化或城区建筑群的不同,或从空中走形成高架,或进入地下形成隧道,也可在地面。

(一) 区间隧道

城市轨道交通占有较大比重的是地下隧道。地下隧道在地下,对地面其他交通工具无干扰,其运输能力不受气候影响,也避免了噪声对城市的污染,还可作为民用防空设施。地下隧道优点非常明显,但造价昂贵,应充分进行技术经济比较后,分区段确定线路方案。城市轨道交通的区间隧道与铁路隧道基本相同。地层的工程地质、水文地质资料是隧道设计的重要依据,地层情况变化直接影响施工方法的确定,不同的施工方法对应的投资差别较大。

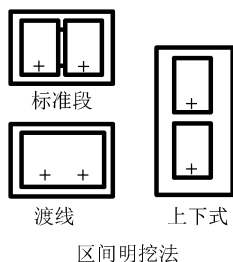


图 1.19 地下隧道横断面典型形状

在双线区段, 区间和车站地段隧道的横断面有许多形式, 其典型形状如图 1.19 所示, 不同横断面形式的隧道应采用不同的施工方法。

区间隧道的开挖大多沿闹市区的街道下面, 开挖必然引起地面沉降, 如何控制地面沉降量、不致影响建筑物的安全, 是地下隧道施工所面临的一大课题。

列车在曲线地段运行时, 轨距和道床须进行加宽; 同样, 当列车在曲线隧道中运行时, 隧道的内净空也

须进行加宽。其原因如下。

(1) 由于曲线外轨超高引起车体内倾, 车体中线由原来的竖直变为向内倾斜, 隧道建筑限界上方控制点向内偏离线路中线。

(2) 由于车体行径曲线时, 前后两转向架中心与线路中心重合, 而车辆两端中线偏移线路中心外侧, 车辆中部向线路中心内侧偏移。

轨面到地面的高差小于 20m 时 (浅埋式), 一般采用明挖法施工。明挖法施工的造价较低, 但土方工程量较大, 且影响地面交通。当到地面的高差大到 20m 时 (深埋式), 则宜采用暗挖法施工。暗挖法施工对地面影响较小, 避让地下建筑障碍及地质困难地段较有利, 受影响小, 具有较强军事功能。

1. 明挖法隧道

当城市地面空间足够时, 可以采用明挖法修筑隧道。对应的区间隧道一般采用框架结构, 上部设计荷载以回填土重加上路面荷载来考虑, 侧面荷载考虑侧土压力。其特点是整体性好, 防水要求容易得到保证, 断面内轮廓与城市轨道交通线路最为接近, 内部净空可以得到充分利用。

根据线路设置条件, 区间隧道分为单线隧道和双线隧道两种。双线隧道一般采用双孔矩形断面, 中间设隔分开, 以利于区间隧道的通风。

2. 暗挖法隧道

1) 盾构法隧道

盾构法是一种在盾构机的保护下进行土体开挖和拼装衬砌的施工方法。它具有进度快、作业安全、衬砌质量可靠、防水性好、地表沉降小、不影响城市交通等优点。

盾构是松软地层中修建隧道的专门机具, 盾构沿其长度可分为三部分: 前部称为切口环, 中部称为支撑环, 后部称为盾尾。其断面形式有圆形或椭圆形、半圆形、马蹄形、箱形, 大多数为圆形。

盾构既是一种施工机具, 又是一种强有力的临时支撑结构, 其开挖和衬砌工作均在盾壳保护下进行。切口环是为了保护开挖面的稳定和作业空间的安全而设置的。支撑环连接着切口环和盾尾, 使盾构构成整体, 是盾构结构的重要组成部分, 在其周边内装有一组盾构千斤顶。在盾尾中设有组装机, 主要用于组装预制衬砌管片。



2) 矿山法隧道

矿山法是充分利用围岩的自稳能力,在围岩失稳前及时进行初期支护,在初期支护的保护下,再进行二次衬砌,最终形成永久结构的施工方法。该方法工艺简单、灵活,在变截面地段尤为适宜,施工时对道路交通无干扰。

矿山法施工主要包括全断面法、台阶法、下导坑漏斗棚架法,以及上、下导坑先拱后墙法等,我国铁路隧道大部分采用矿山法修筑而成。

3) 新奥法

新奥法是新奥地利隧道施工法的简称。

新奥法的基本原则概括为“少扰动,早喷锚,勤量测,紧封闭”。新奥法施工的理论是建立在现代岩体力学基础上的。

新奥法施工按其开挖断面的大小及位置,基本上可以分为全断面法、台阶法、分部开挖法三大类及若干变化方法。

(1) 全断面法。全断面法是将隧道设计轮廓线一次钻爆成型,其优点:工序少、相互干扰少,便于组织施工和管理;工作空间大,便于采用大型施工机具。

(2) 台阶法。台阶法是将开挖断面分成两步或多步,又可根据台阶的长短划分为长台阶法(台阶长度大于5倍洞跨)、短台阶法(台阶长度大于洞跨)和超短台阶法(台阶长度小于洞跨)。

(3) 分部开挖法。分部开挖法是将开挖断面进行分部开挖逐步成型,并且将某部分超前开挖,故又可称为导坑超前开挖法。

(二) 高架结构工程

高架结构工程是城市永久性建筑的一部分,结构寿命应按50年以上考虑,因而城区高架结构作为城市景观的一部分,必须与城市的其他建筑相协调。另外,因为在城区施工,要求建设速度快,对现有的交通干扰小。

1. 高架桥梁部结构

高架桥上应考虑管线设置或通过的要求,并设有紧急进、出通道,有防止列车倾覆的安全措施及在必要地段设置防噪屏障,还应设有防水、排水措施。

高架桥梁部结构一般有槽形梁结构、脊梁结构、超低高度板结构、箱梁结构和T形梁结构。

目前城市高架桥大都采用预应力或部分预应力混凝土结构。

1) 高架槽形梁结构

高架槽形梁结构的跨度有10m、20m、30m及35m,建筑高度为0.35~0.5m。

槽形梁一般是预应力混凝土结构,属于下承式桥梁,由车道板、主梁和端横梁三部分组成,如图1.20所示,各部分如图1.21所示。