



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

结构工程

第十章

主讲：牛红凯

目录

- 10.1 轨道结构工程
- 10.2 高架结构工程
- 10.3 地下结构工程



在线开放课程

10.1 轨道结构工程

- 轨道是由**钢轨、扣件、轨枕、道床、道岔及其它附属设施**等组成。轨道是地铁和轻轨运营设备的基础，它直接承受列车荷载，并引导列车运行。轨道以连接件和扣件固定在轨枕上，轨枕埋设在道床内，道床直接铺设在路基上。地铁轨道与地面铁路轨道基本相似，我国采用标准轨距1435mm，以使与铁路相互配合，更好利用我国铁路的技术、设备。



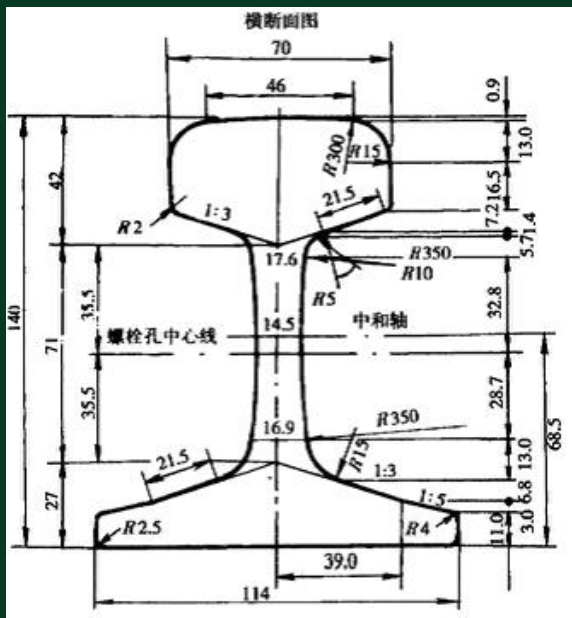
10.1 轨道结构工程

- 城市轨道交通对轨道结构的要求：
 - ① 结构简单、整体性强，具有坚固性、稳定性、均衡性等特点，确保行车安全、平稳、舒适；
 - ② 具有足够的强度、刚度；便于施工，易于管理，可靠性高，使用寿命长，可以少维修或者免维修，并有利于日常的清洁养护，降低运营成本；
 - ③ 对于扣件，要求强度高、韧性好；
 - ④ 采用成熟的新工艺、新技术、新材料，满足绝缘、减振降噪和减轻轨道结构自重的需要，尽可能符合城市景观和美观要求。

10.1 轨道结构工程

- 钢轨：

钢轨是轨道结构的主要组成部分，直接承受列车荷载，并传递到扣件、轨枕、道床和路基，依靠钢轨的头部内侧和列车轮缘的相互作用，引导列车前进。其断面形状主要为工字形，由轨头、轨腰、轨底三部分组成。





10.1 轨道结构工程

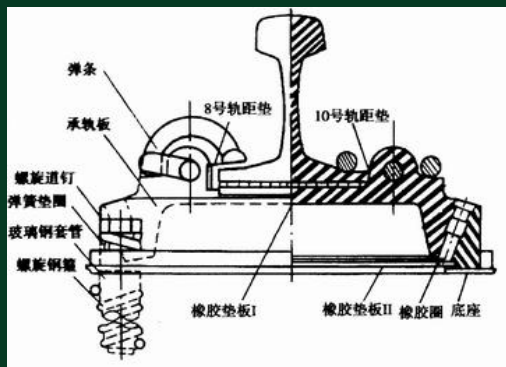
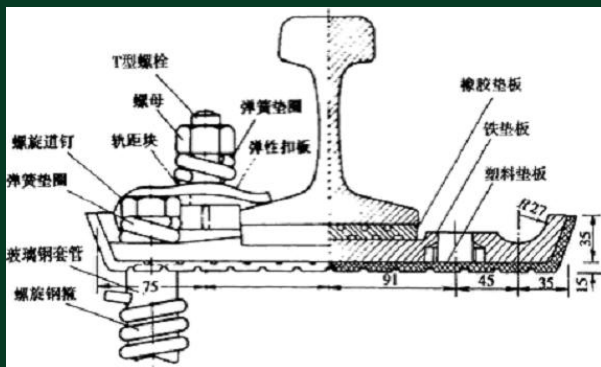
- 钢轨选型：

钢轨类型是按每延米大致重量划分的，选用钢轨原则上应以轨道承受荷载的大小确定。虽然轻轨交通车辆的轴重较轻，如我国轻轨样车轨重只有100kN，但为保证客运车辆的运行质量和钢轨有较长的使用寿命以及适应铺设无缝线路的需要，在正线上宜选用50kg/m以上的钢轨，国内外采用地铁和轻轨有选用重型钢轨的趋势，我国地铁和轻轨均采用60kg/m的重型钢轨。车场线供空车运行，速度又低，所以选用50kg/m或43kg/m的轻型钢轨。

10.1 轨道结构工程

- 扣件：

扣件是钢轨与轨枕或其它轨下基础连接的重要联接件，它的作用是固定钢轨，阻止钢轨产生纵向和横向位移，防止钢轨倾斜，并能提供适当的弹性，将钢轨承受的力传递给轨枕或道床承轨台。扣件由钢轨扣压件和轨下垫层两部分组成。



10.1 轨道结构工程

- 道床与轨枕：
- 碎石（道碴）道床：结构简单，容易施工，减振、减噪性能较好，造价低，但其轨道建筑高度较高，排水设施复杂，养护工作频繁，更换轨枕困难。为此，城市轨道交通的隧道内不采用碎石道床，而采用整体道床。高架混凝土桥面上的轻轨线也不采用碎石轨枕道床，而采用新型的道床形式，以减轻桥面荷载，减少维修工作量，同时还可避免列车运行的偶然石子飞落桥面，伤害行人。只有地面线及车场线等才采用木枕或钢筋混凝土枕的碎石道床。
- 整体式道床：整体性好，坚固、稳定、耐久；轨道建筑高度小，减少隧道净空，节省投资；轨道维修量小，适应地铁和轻轨交通运营时间长、维修时间短的特点。地下铁道正线隧道内线路一般采用短轨枕或无轨枕的整体钢筋混凝土道床；高架轻轨线路多采用承轨台、支撑块整体式道床。
- 轨枕：轨枕类型随道床种类不同而异，分为木枕和钢筋混凝土轨枕两类。

10.1 轨道结构工程

- 地面线采用的碎石混凝土枕道床：



10.1 轨道结构工程

- 车场线采用的碎石木枕道床:



10.1 轨道结构工程

- 地下线采用的整体式道床：



10.1 轨道结构工程

- 车站采用的整体式道床：



10.1 轨道结构工程

- 高架线采用的支撑块整体式道床：



10.1 轨道结构工程

- 道岔：

车辆由一条线路转向或越过另一条线路时所需设备统称为道岔。道岔可分为线路连接、线路交叉及连接与交叉相结合等三种基本形式。

线路连接：普通单开道岔、单式对称道岔、三开道岔等；

线路交叉：直角交叉及菱形交叉；

线路连接与交叉：交分道岔、交叉渡线



10.1 轨道结构工程

- 附属设施——车挡：

车挡设在尽头线末端，用于阻止轨道交通车辆由于操作不当冲出尽头线或撞坏其它构筑物。



10.2 高架结构工程

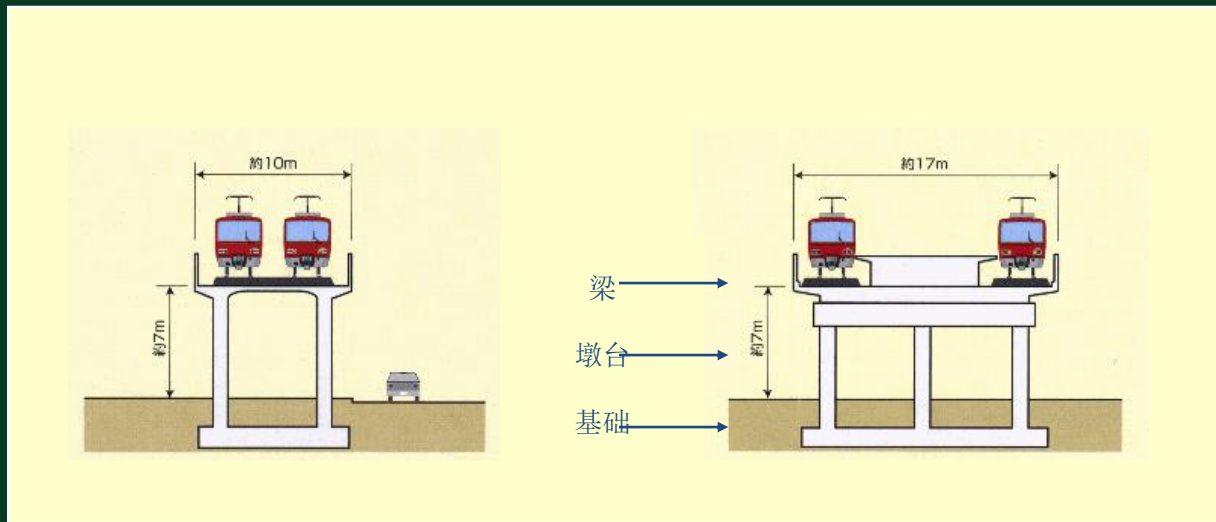
- 城市轨道交通系统进入城区后，随着城市地势的变化或城区建筑群的不同，可以采用地下、地面或高架形式。高架结构是城市轨道交通一种重要的结构形式。
- 高架结构工程是城市永久性建筑的一部分，结构寿命应按50年以上考虑，因而城区高架结构可以作为城市景观的一部分，与城市的其他建筑相协调。高架结构工程必须满足安全、经济、满足使用功能、施工便捷、维修方便等要求。



10.2 高架结构工程

- 组成：

城市轨道交通高架结构主要由梁、墩台和基础三部分组成。



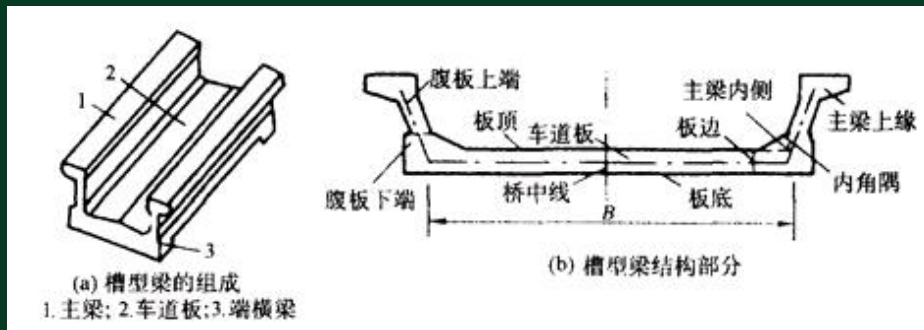
10.2 高架结构工程

- 高架梁结构型式：

目前，在城市轨道交通高架桥上应用较多的梁的型式主要有预应力混凝土槽形梁、预应力混凝土板梁和高架脊梁式结构。

- 高架槽型梁结构：

槽型梁一般是预应力混凝土结构，属下承式桥梁，由车道板、主梁和端横梁3部分组成。



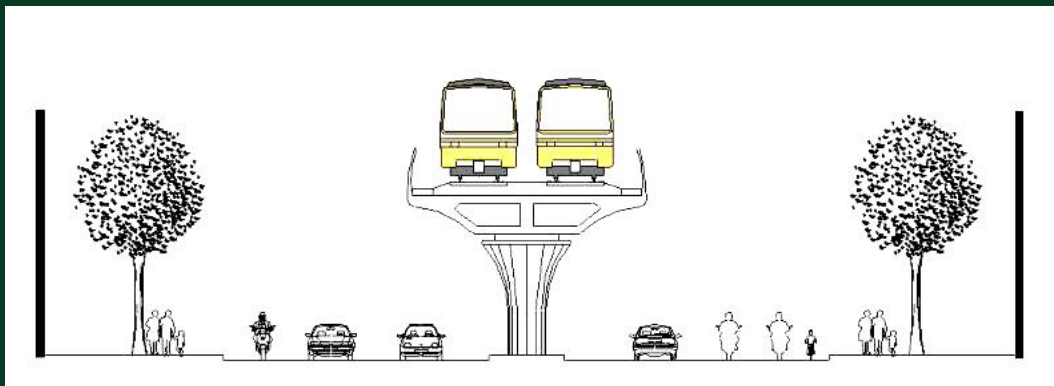
10.2 高架结构工程

- 预应力混凝土板梁：

包括空心板梁和低高度板梁。板梁结构建筑高度小，缺点是刚度较小，对抵抗列车偏载不利。

- 高架脊梁式：

脊梁式结构分上承式和下承式两种。上承式是在单箱梁的上部带悬臂结构，下承式是在脊梁的下底板位置带悬臂结构。下承式脊梁结构具有建筑高度低、施工方便、外型美观的特点，在城市轨道交通高架结构中采用较多。



10.2 高架结构工程

- 墩台：

轨道交通高架桥的墩台除具有足够的强度和稳定性以承受荷载外，还需要考虑美观，并与城市环境和谐，匀称，协调。

轨道交通高架桥墩台断面型式一般有倒梯形、T形、双柱形、Y形等几种。

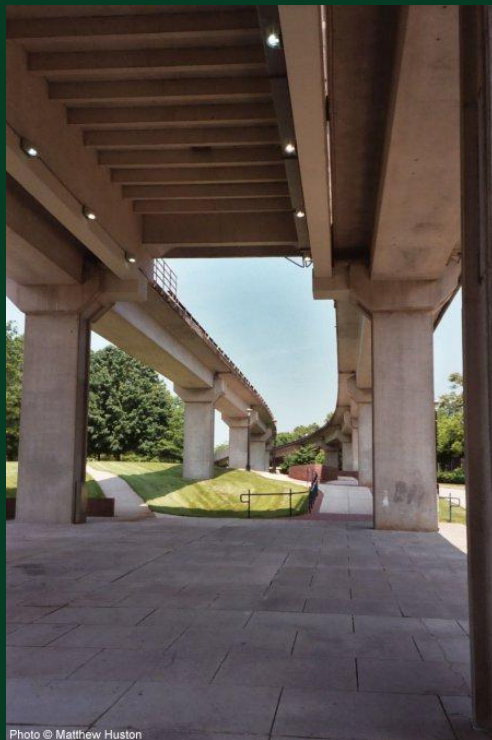
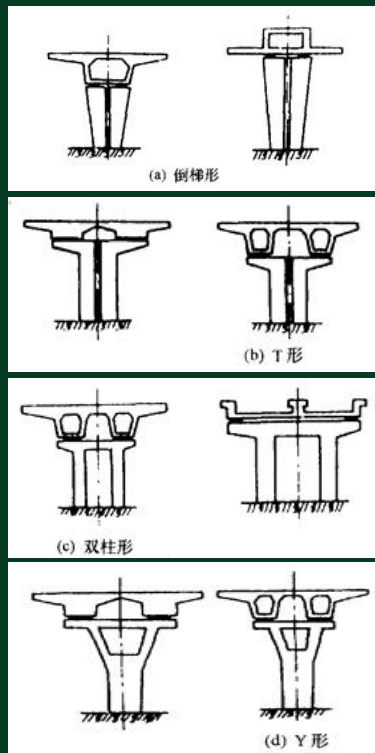


Photo © Matthew Huston

10.2 高架结构工程

- 倒梯形桥墩构造简单，施工方便，受力合理，具有较大的强度、刚度和稳定性，在外观和受力上均较合理。
- T形桥墩占地面积小，是城市轻轨高架桥的最常见的形式。这种桥墩既可为桥下交通提供最大的空间，又具有节省圬工材料，轻巧美观的特点。
- 双柱形桥墩体积小，圬工省，透空空间大，稳定性好，结构轻巧，所适用的上部结构较灵活。
- Y形桥墩结合了T形墩和双柱墩的优点，下部体积小，占地少，上部造型轻巧，比较美观。但其结构与施工相对复杂。



10.2 高架结构工程

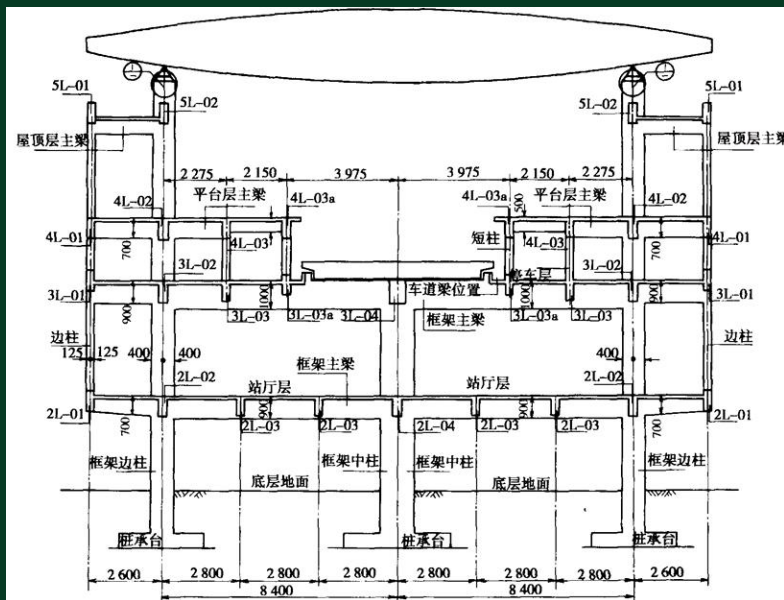
- 高架车站结构形式：

城市轨道交通高架车站可采用钢筋混凝土框架结构、桥梁式结构、框架+桥梁式结构。



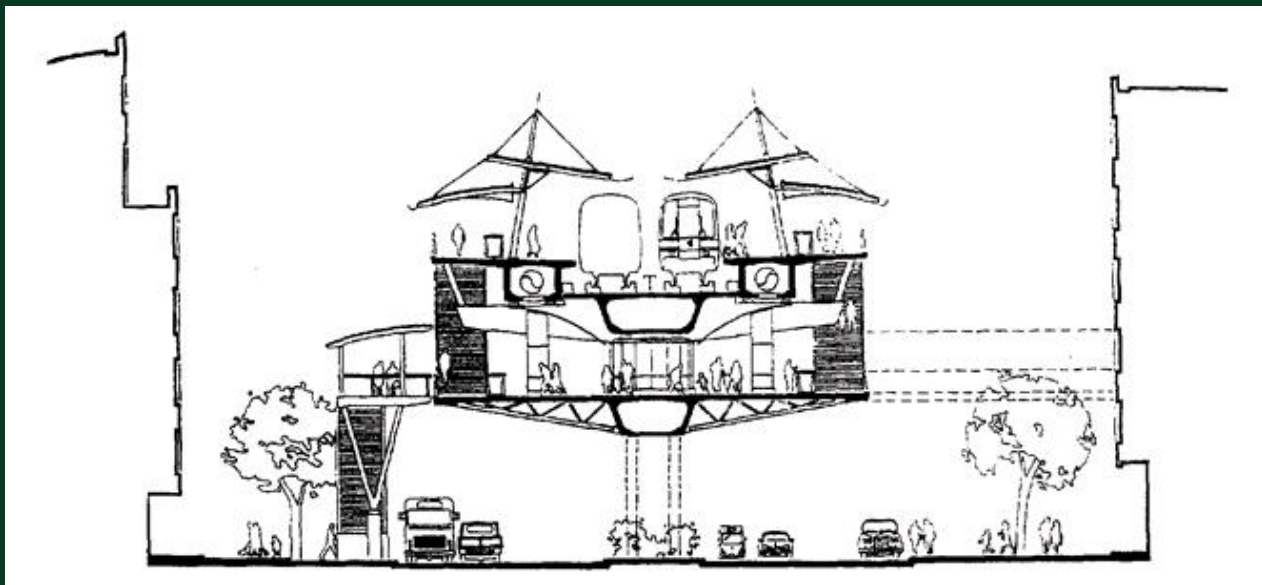
10.2 高架结构工程

- 钢筋混凝土框架结构：
适用于用地范围大，车站客流量大的地段，可做成双层甚至三层，以利于开发利用。



10.2 高架结构工程

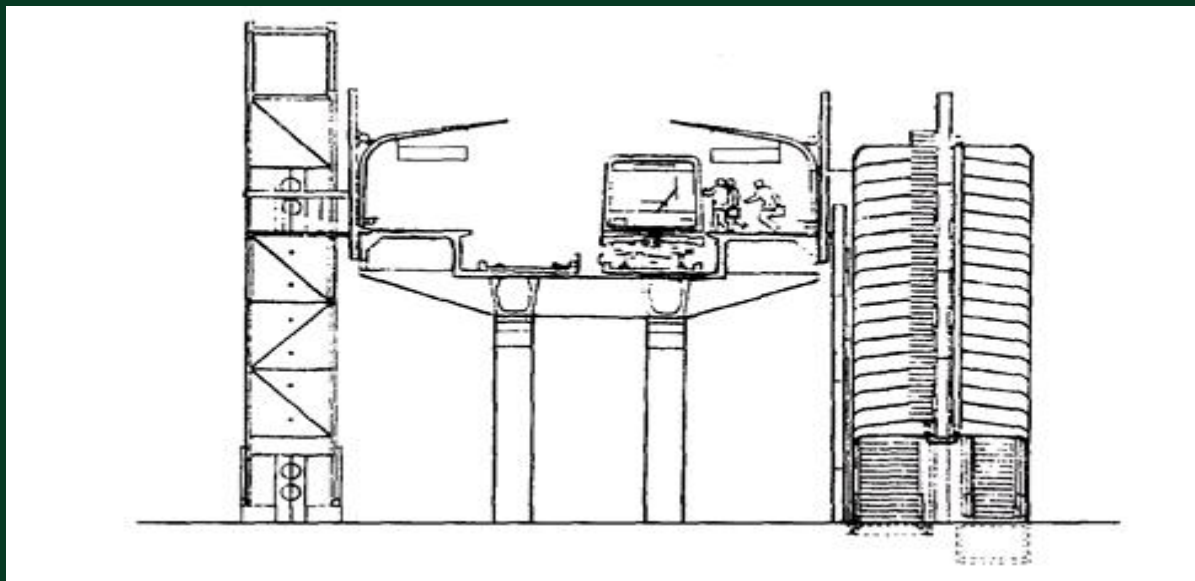
- 桥梁式结构：
适用于用地范围小，车站客流量小的地段



10.2 高架结构工程

- 框架+桥梁式结构：

梁与站台脱开，防止列车行驶时的振动对车站主体结构产生影响，适用于用地范围大的地段。



10.3 地下结构工程

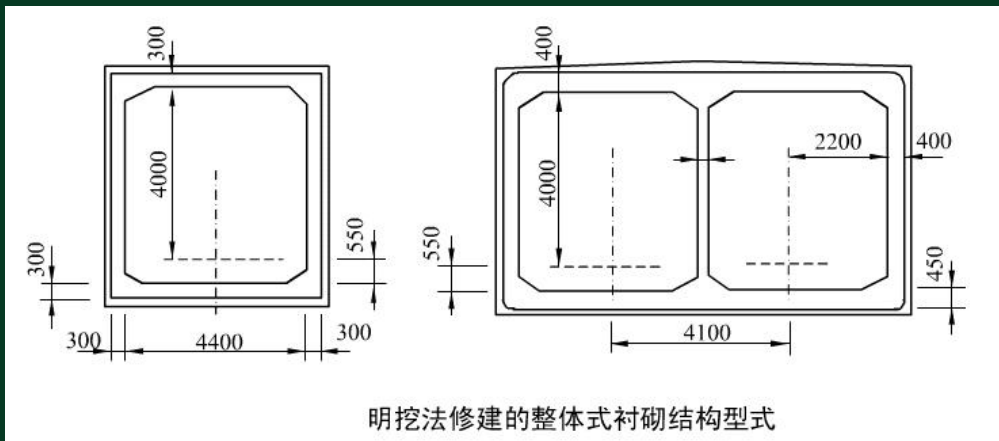
- 城市轨道交通地下结构工程包括区间隧道工程与地下车站工程两部分。
- 城市轨道交通区间隧道结构包括行车隧道、渡线、折返线、地下存车线、联络线以及其它附属建筑物。区间隧道结构取决于隧道的用途，沿线地形、地物、水文地质、工程地质条件、施工方法、环境要求、维修管理、工期要求及投资高低等因素。区间隧道的施工方法可以分为明挖法、矿山法、盾构法和特殊方法等几类，以下分述不同施工方法对区间隧道结构的不同要求。

10.3 地下结构工程

- 明挖法施工的区间隧道结构：

在场地开阔、建筑物稀少、交道及环境允许的地区，应优先采用施工速度快、造价较低的明挖法进行施工。

明挖法施工的区间隧道结构道常采用矩形断面，一般为整体浇注或装配式结构，其优点是结构内轮廓与轨道交通建筑限界接近，内部净空可以得到充分利用，结构受力合理，顶板上便于敷设城市地下管网和设施。

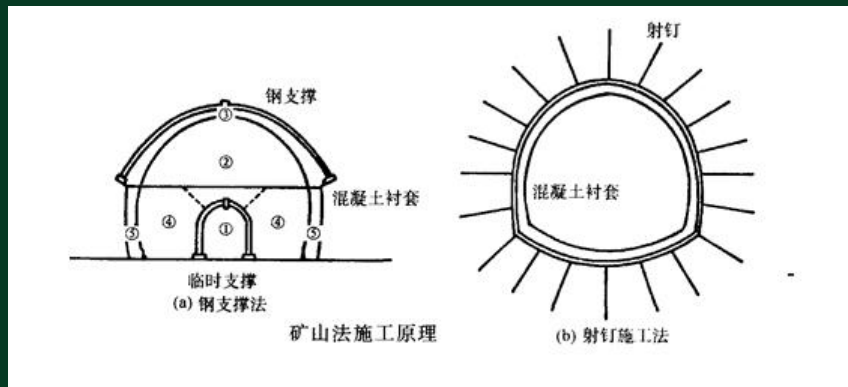


10.3 地下结构工程

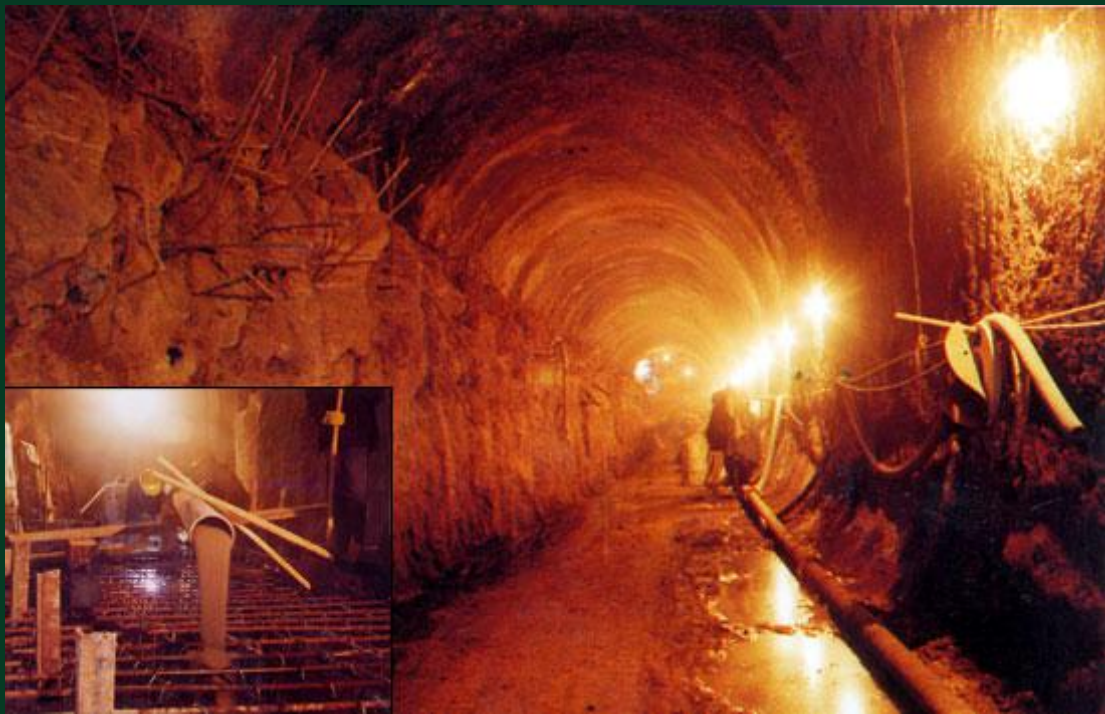
- 矿山法施工的区间隧道结构：

在交通繁忙的市区修建地铁区间隧道常采用暗挖法，在工程地质和水文地质条件适宜时，暗挖法中的矿山法(为与传统矿山法区别，又可称为松散地层的新奥法或浅埋暗挖法)不失为一种最佳的施工方法。

在采用矿山法修建的区间隧道中，隧道衬砌又称为支护结构，其作用是加固围岩并与围岩一起组成一个有足够安全度的隧道结构体系，共同承受可能出现的各种荷载。



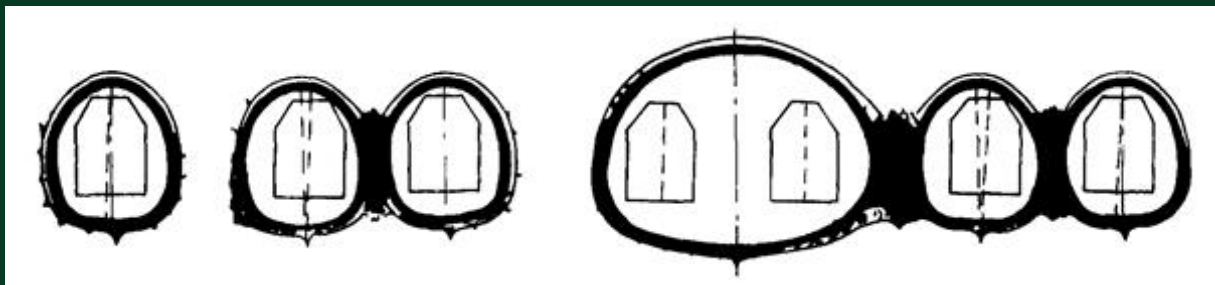
10.3 地下结构工程



10.3 地下结构工程

- 矿山法施工的区间隧道结构：

地铁区间隧道采用矿山法施工时，一般采用拱形结构，其基本断面型式为单拱、双拱和多跨连拱。前者多用于单线或双线的区间隧道或联络通道，后两者多用在停车线、折返线或喇叭口岔线上。



10.3 地下结构工程

- 盾构法施工的区间隧道结构：

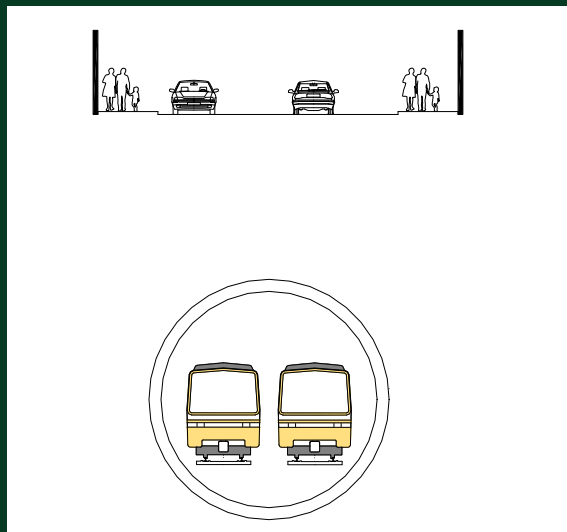
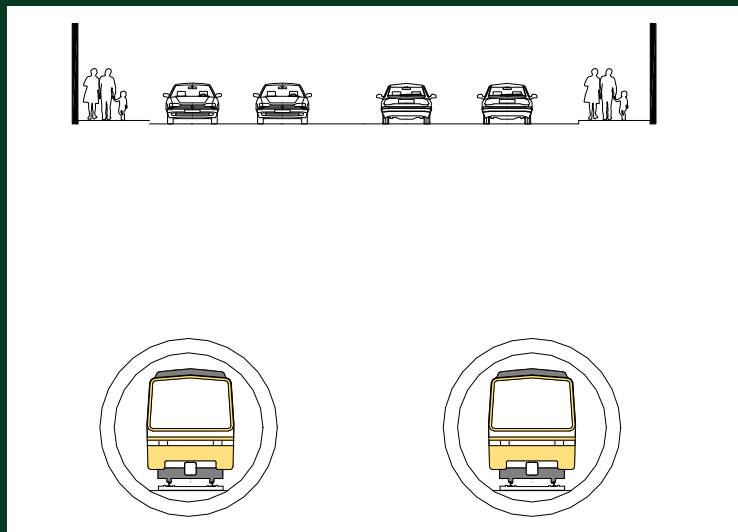
隧道暗挖施工法中除矿山法外，还有盾构法。盾构法是在盾构的保护下修筑隧道的一类施工方法。其特点是地层掘进、出土运输、衬砌拼装、接缝防水和注浆充填盾尾间隙等主要作业都在盾构保护下进行，并需随时排除地下水和控制地面沉降，因而是工艺技术要求较高、综合性较强的一类施工方法。

在松软含水地层中及城市地下管线密布、施工条件困难地段，采用盾构法更能显示其优越性：振动小、噪声低、施工速度快、安全可靠，对沿线居民生活、地下和地面构筑物及建筑物影响小等。

10.3 地下结构工程

- 盾构法施工的区间隧道结构：

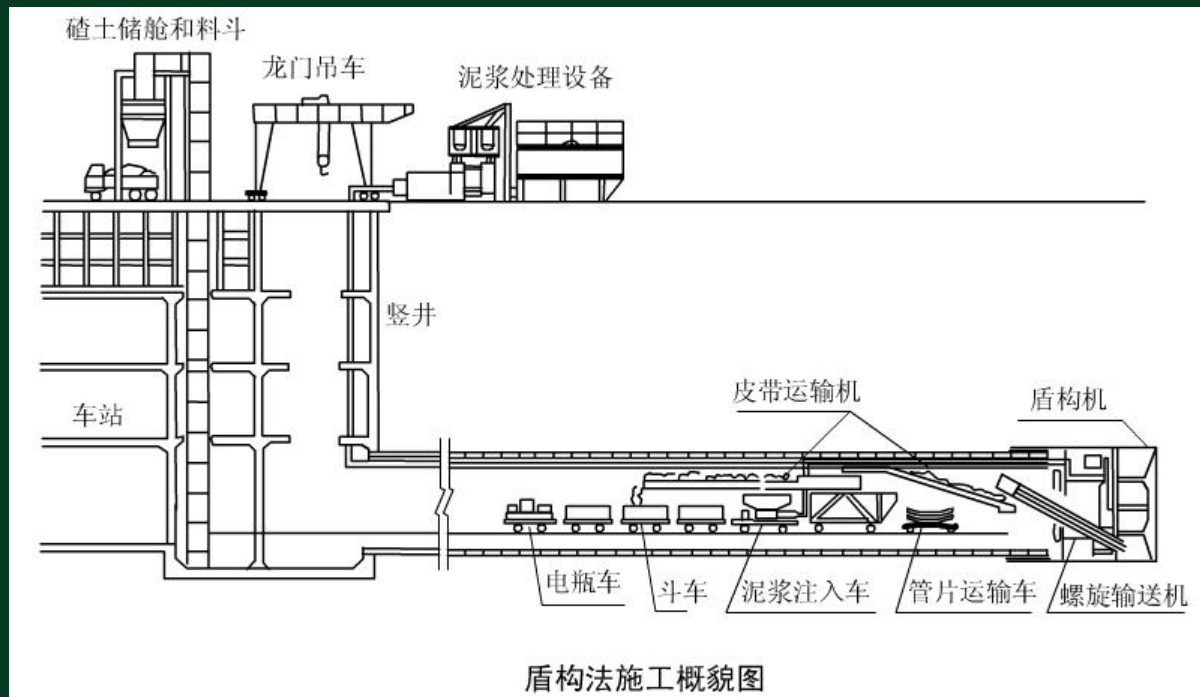
大多数盾构法施工的隧道采用圆形断面结构，少部分特殊盾构隧道也采用马蹄形、椭圆形等断面结构。



10.3 地下结构工程



10.3 地下结构工程



10.3 地下结构工程

- 盾构施工方法由以下几个步骤组成：
 - (1) 开挖竖井，放置盾构机；
 - (2) 将盾构机安装到井底，并装配千斤顶；
 - (3) 千斤顶水平向前推进盾构机，后方出土，形成隧道；
 - (4) 将开挖好的隧道边墙用预制混凝土(或钢制)管片衬砌加固。



10.3 地下结构工程

- 沉埋法施工的隧道结构：

地下铁道穿越江、河、湖、海时，往往来用预制节段沉埋法施工，这一方法的要点是先在船坞或船台上分段制作隧道结构，然后放入水中，浮运至设计位置，逐段沉入水底预先开挖好的沟槽内，处理好各节段的接缝，使其连成整体贯通隧道。

沉埋结构横断面有圆形和矩形两大类，当隧道位于深水中采用圆形断面更为有利，当水深在35m之内时，可用矩形断面。



10.3 地下结构工程

- 地下车站结构工程：
- 地下车站应根据车站规模、运行要求、地面环境、地质、技术经济指标等条件选用合理的结构形式和施工方法。结构净空尺寸应满足建筑、设备、使用以及施工工艺等要求，还要考虑施工误差、结构变形和后期沉降的影响。
- 地下车站按照施工方法可分为明挖法施工的车站结构和暗挖法（包括盖挖法、矿山法和盾构法）施工的车站结构。

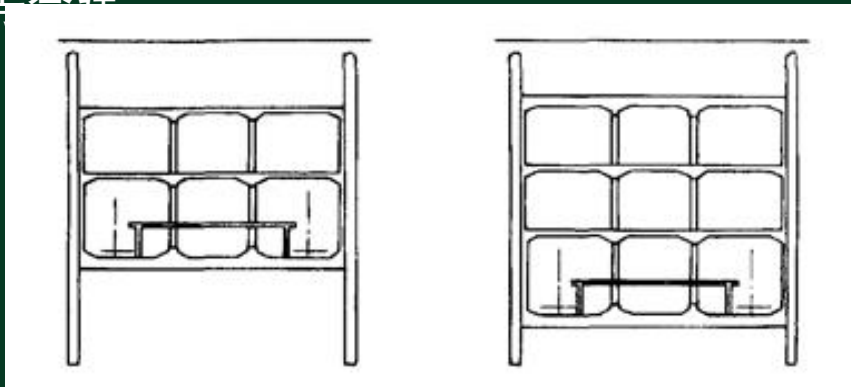
10.3 地下结构工程

- 明挖法施工的车站结构形式：

明挖车站可采用矩形框架结构或拱形结构，适应性强，可以根据场地条件和使用要求灵活布置车站的平面及纵断面。

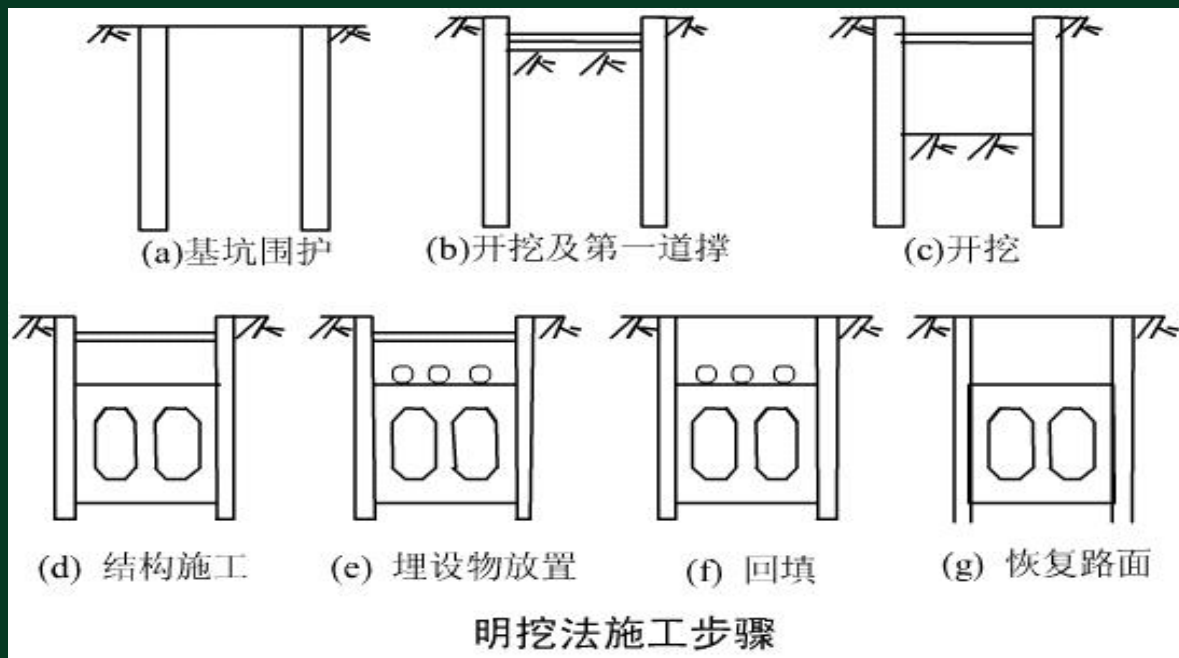
。

明挖车站可较好地利用地下空间，能紧凑、合理地把设备用房集中设置在车站内，管理方便。尤其适用于客流量大的车站、换乘站以及需要考虑城市地下、地上空间综合开发利用的车站，例如与地下车库、地下街、城市立交工程和高层建筑等合建。



10.3 地下结构工程

- 明挖车站施工过程：



10.3 地下结构工程



10.3 地下结构工程

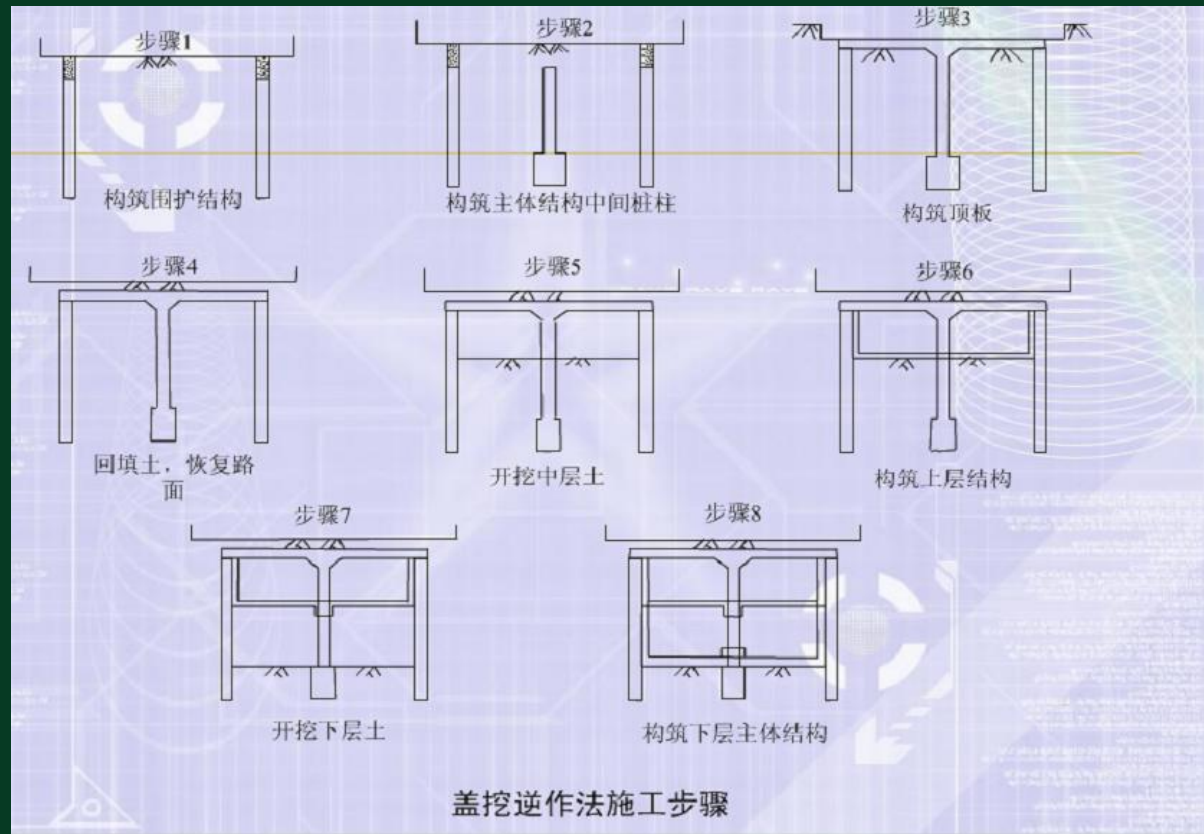
- 盖挖法施工的车站结构：

盖挖法是利用围护结构和支撑体系，在一些交通繁忙路段利用结构顶板或临时设施维持路面交通，在其下进行车站施工的方法。

盖挖法按结构施工的顺序可以分为逆筑和顺筑两类。盖挖逆筑法一般需要对交通做短暂封锁，待结构顶板施工结束，恢复道路交通，利用竖井作出入口进行内部暗挖逆筑。盖挖顺筑法一般是利用临时性设施（钢板等）作辅助措施维持道路通行，在夜间将道路封锁，掀开盖板进行基坑土方开挖或结构施工。

盖挖车站也多采用矩形框架结构，其与明挖车站的主要区别在于施工方法和工序不同。

10.3 地下结构工程

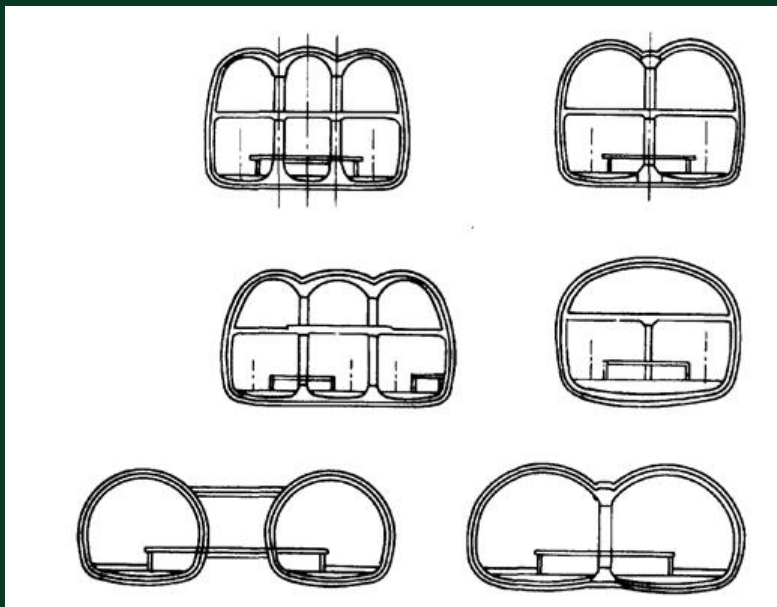


10.3 地下结构工程

- 矿山法施工的车站结构：

矿山法施工的地铁车站可采用单拱式车站、双拱式车站或三拱式车站，根据需要可作成单层或双层。

。



10.3 地下结构工程

- 矿山法施工的车站结构：

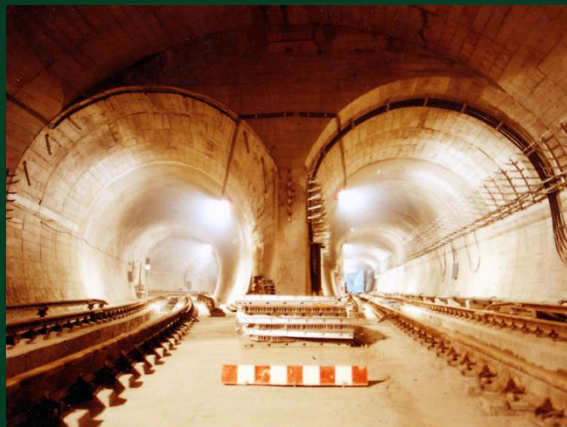
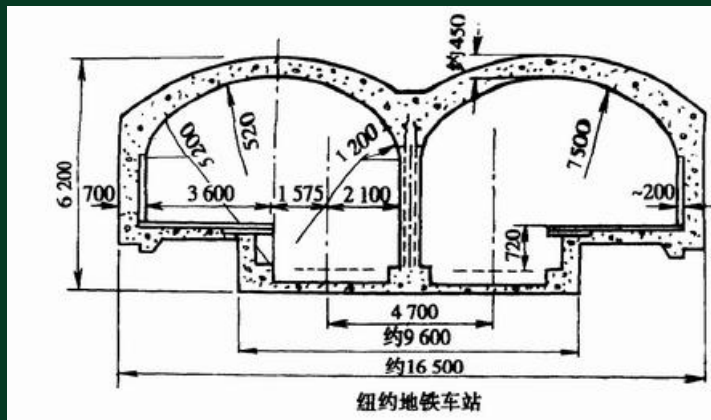
单拱车站由于可获得宽敞的空间和宏伟的建筑效果，在岩石地层中采用较多，但施工难度大、技术措施复杂，造价也较高。



10.3 地下结构工程

- 矿山法施工的车站结构：

双拱车站是两个主隧道之间间隔一定距离开有横向联络通道，主隧道的净距一般不小于主隧道的开挖宽度。双拱立柱式车站早期多在石质较好的地层中采用。

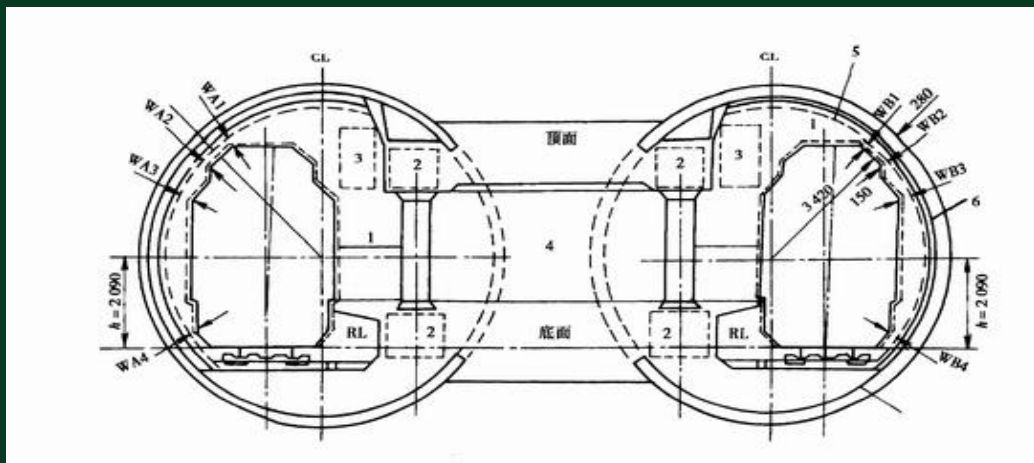


10.3 地下结构工程

- 盾构法施工的车站结构：

传统的盾构车站是采用单圆盾构或单圆盾构与矿山法结合修建，其结构形式可大致分类为三类：

- (1) 由两个并列的圆形隧道组成的侧式站台车站

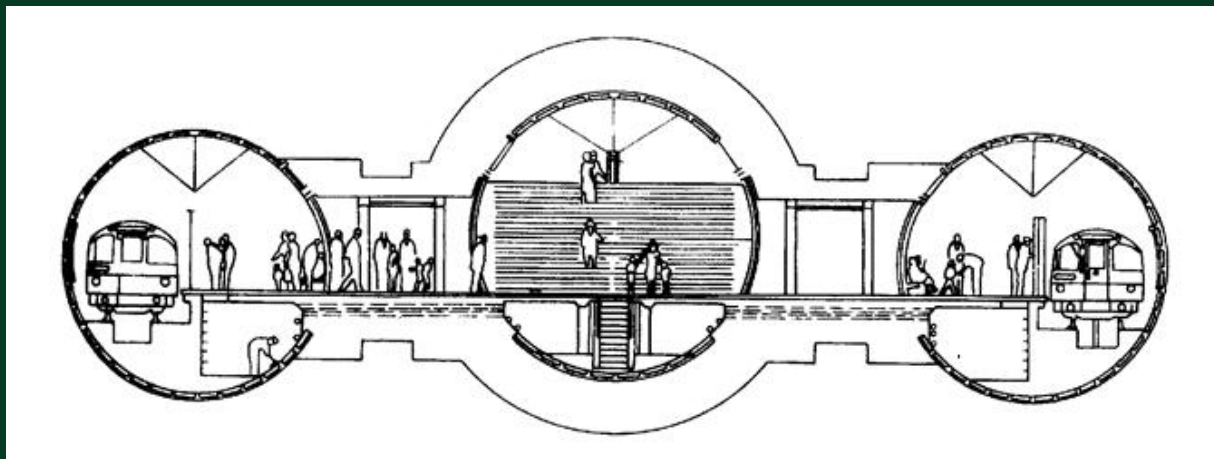


10.3 地下结构工程

- 盾构法施工的车站结构：

(2) 由三个并列的圆形隧道组成的三拱塔柱式车站

由三个并列的圆形隧道组成的三拱塔柱式车站总宽度较大，一般为28~30m，适用于中等客流量的车站。

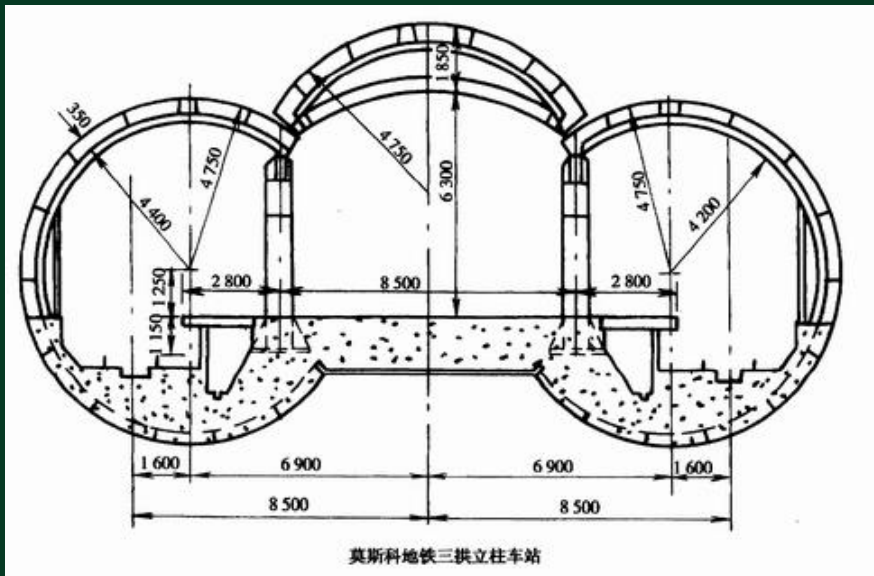


10.3 地下结构工程

- 盾构法施工的车站结构：

(3) 三拱立柱式车站

两侧行车隧道由盾构法开挖，中间站台部分用
矿山法开挖。



10.3 地下结构工程

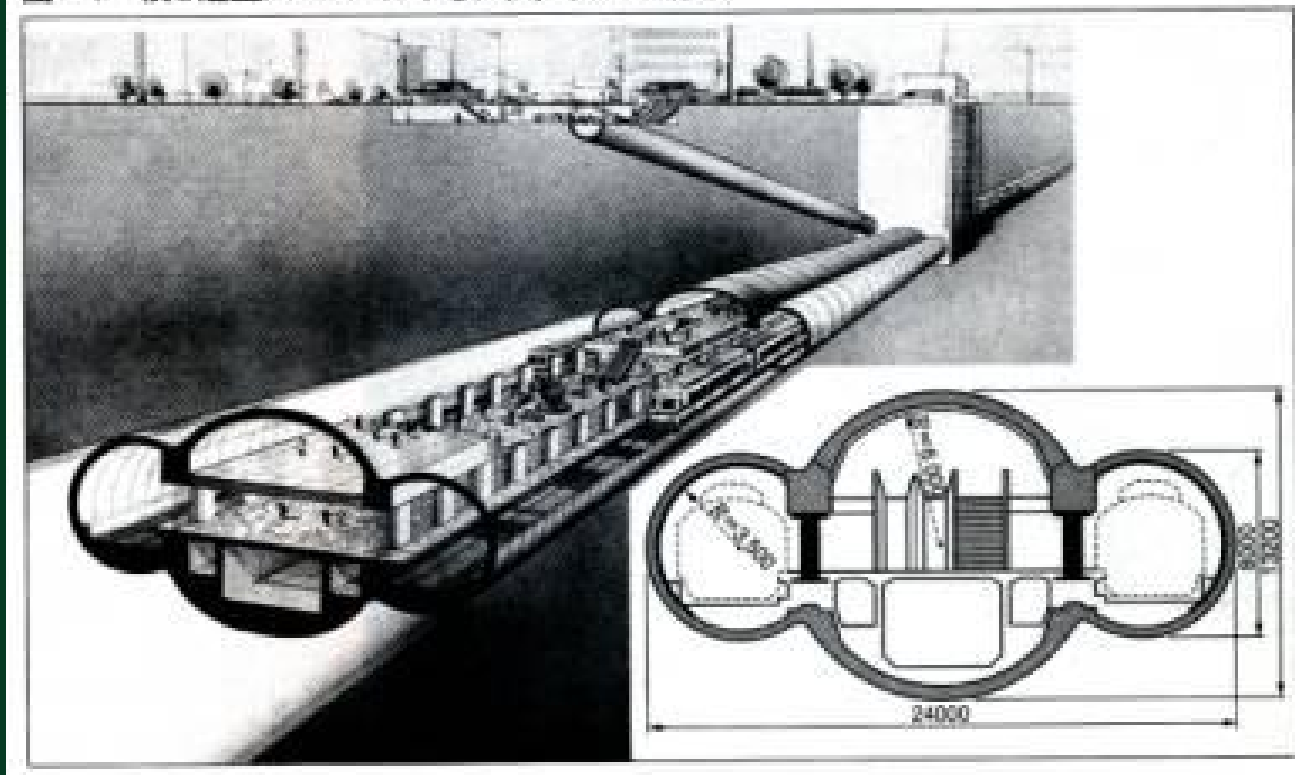
- 盾构法施工的车站结构：

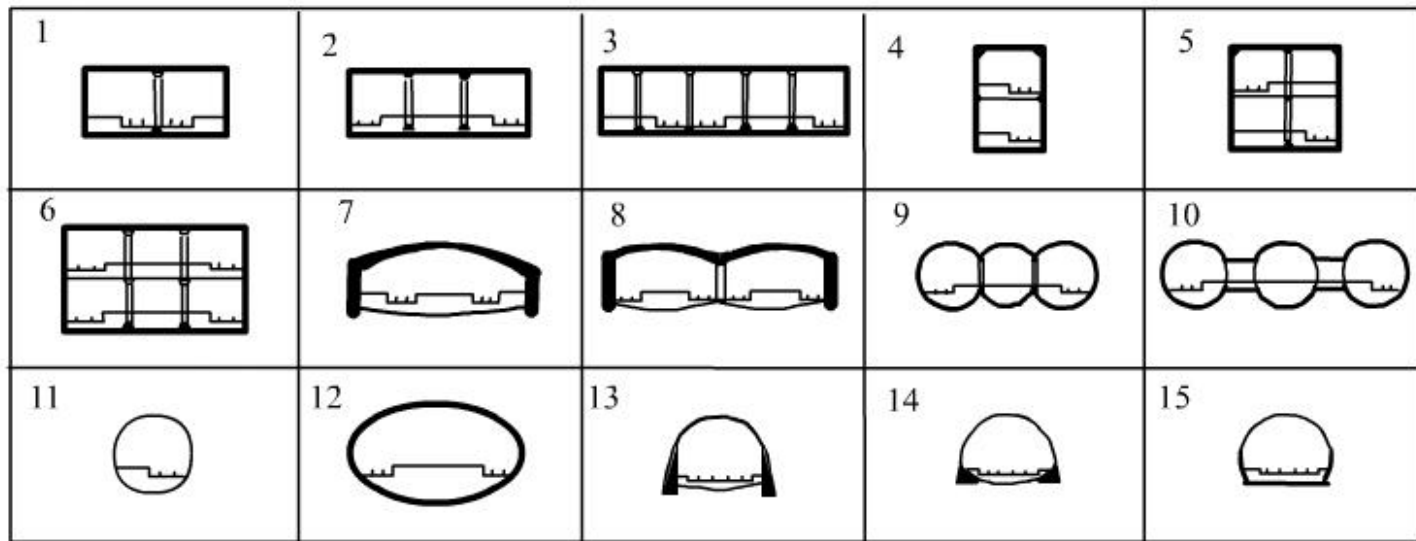
传统型的立柱车站施工工序多，工程难度大，造价也高。针对传统盾构车站存在的问题，日本开发了“多圆型盾构”。这种新型盾构经组装或拆卸后，既可用于地铁区间隧道，也可用于车站隧道的施工，车站断面一次开挖成型。



10.3 地下结构工程

图-4 横3連型MFシールド駅（島式ホーム駅）





- 1~6 矩形断面 7、8 拱形断面 9~11 圆形断面 12~15 其它类型断面
1. 双跨框架侧式 2. 三跨框架岛式 3. 五跨框架一岛一侧式 4. 双层单跨框架重叠侧式 5. 双层双跨框架相错侧式 6. 双层三跨框架重叠岛式 7. 单拱一岛二侧式 8. 双拱双岛式 9. 三拱立柱岛式 10. 三拱塔柱岛式 11. 单圆侧式 12. 椭圆岛式 13. 钟形式 14. 马蹄形式 15. 马蹄形式

城市轨道交通地下车站主要结构型式总结

小结:

城市轨道交通地下结构施工方法总结

序号	施工方法	环境场地要求	优点	缺点	发展方向
1	明挖法	市郊施工场地开阔, 软岩和土体, 如北京和天津地铁	进度快, 工作面大, 便于机械和大量劳动力投入	破坏环境生态, 影响交通, 带来尘土和噪声污染	1)有效井点降水系统; 2)可靠的支撑系统; 3)大型土方机械, 混凝土搅拌及运输机械
2	盖挖法	市区浅埋地铁车站, 交通繁忙, 要求阻断交通时间短	占用场地时间短, 对地面干扰小, 安全	施工工序复杂, 交叉作业, 施工条件差	1)建立合理的施工管理网络, 交叉施工, 流水作业; 2)地下小型施工机具; 3)作为永久衬砌支护的地下连续墙; 钻孔桩柱施工质量控制和托换技术
3	矿山法	岩石和坚硬土体, 如青岛和重庆地铁	地面干扰小, 造价低	进度慢, 劳动强度高, 风险大	1)多臂钻孔台车, 自动装药引爆装置; 2)光面爆破, 喷锚支护, 监控数据反馈指导设计和施工方法
4	盾构法	城市软地层、深埋隧道, 如上海、广州、北京等城市地铁	地面影响小, 机械化程度高, 安全, 工人劳动强度低, 进度快	机械设备复杂, 价格昂贵, 施工工艺繁琐, 专业施工队伍	1)开发适用不同地质条件、自动更换刀盘的气压、土压泥水平衡盾构和顶管, 超前探测排障技术; 2)钢纤维挤压混凝土衬砌; 3)三维仿真计算机管理系统, 管理信息化, 自动化; 4)自动导向, 中途对接异型盾构
5	沉管法	跨越江河湖海, 软地基, 如广州、宁波、上海过江隧道	造价高, 速度快, 隧道断面大	占用航道, 专门的驳船、下沉、对接机具, 水下作业, 风险大	1)大型涵管制作及驳运技术; 2)地下定位对接、防水技术

北京交通大学
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

开放课程

梁

小结

- 10.1 轨道结构工程
- 10.2 高架结构工程
- 10.3 地下结构工程



在线开放课程