

城市轨道交通职业教育系列教材——城市轨道交通工程技术

地铁工程设计与施工

(智媒体版)

主 编 蒋英礼
副主编 王景梅 彭金水
主 审 张厚美



在线开放课程

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

前 言

本书是由西南交通大学出版社和全国十多所院校组成的高职高专城市轨道交通工程专业教材编审委员会组织编写的系列教材之一。按照高职高专城市轨道交通工程技术专业的教学要求,满足行业对高素质技术技能人才的需求,编者根据长期从事地铁、地下工程、隧道工程等课程的教学经验,在西南交通大学出版社出版的《地下铁道施工技术》教材的基础上,按照项目化、模块化、任务式进行教学设计,加以多年教学实践凝练,重新编写了这本地铁工程设计与施工教材。

本书的特点是:①全面系统地介绍了地铁的基本设计知识、施工技术、施工组织与管理等,以加强学生对基本技术技能的掌握,并开发了丰富的数字化教学资源,以拓宽学生的专业视野;②根据技术技能培养需要,全书设计了课程导论和11个项目,每个项目分解为若干个工作任务与项目实训,并列出了地铁设计与施工的部分真实工程案例,具有很强的综合性和实用性;③教材将地铁工程设计与施工领域创新成果和中华民族吃苦耐劳的传统美德融入教材,每个项目以“项目导入”的形式融入专业历史、人物故事、典型工程案例、技术前沿等渗透课程思政元素,注重培养学生的安全意识、精益求精的专业精神、工匠精神、劳动精神等。本书适合作为60~70学时的地铁、地下工程、隧道工程等课程的教学用书,也可供相关专业的师生和一般工程技术人员使用和参考。

本书由广东交通职业技术学院蒋英礼任主编,由广东交通职业技术学院王景梅、彭金水担任副主编。全书共分课程导论和11个项目,编写分工如下:蒋英礼编写课程导论和项目2、3、4、6、7、8;彭金水、蒋英礼共同编写项目1;王景梅、蒋英礼共同编写项目5、9;曾卫平编写项目10;张向东编写项目11。知名隧道专家、广州市盾建地下工程有限公司总工程师张厚美教授担任本书的主审,感谢他对全书的审阅、修改并定稿。

本课程被评为教育部交通教育教学指导委员会精品课程、广东省精品资源共享课程、广东省在线开放课程(见扉页)。教材配套建设了课件、课程动画、微课视频、虚拟仿真实训、习题与测试等多样化教学资源,并制作了在线开放课程,支持移动学习,可为学习者提供丰富的素材和多样的学习模式,方便教师开展“线上+线下”混合式教学。

本书在编写过程中参考、引用了许多专家、学者关于地铁工程施工方面的文献，吸收了广州地铁、深圳地铁等地铁的设计与施工资料，还得到了甘肃交通职业技术学院钱治国、青海交通职业技术学院王占银、河北交通职业技术学院王道远、广东交通职业技术学院王劲松等老师的宝贵建议，广州地铁设计研究院股份有限公司黄定贵提供了部分工程案例，广州地铁设计研究院股份有限公司李龙对部分图表、插图进行了编辑和修改，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本书在内容选择、层次结构等方面难免有疏漏或不足之处，敬请广大读者批评指正，提出宝贵意见。

编 者

2021 年 12 月

目 录

课程导论	001
导论 1 城市轨道交通	001
导论 2 地铁概述	007
导论 3 地铁施工技术概述	012
思考与练习	015
项目 1 地铁线路规划与设计	016
工作任务 1.1 地铁路网规划	017
工作任务 1.2 地铁限界设计	025
工作任务 1.3 地铁线路设计	028
项目实训 1.1 广州市轨道交通 11 号线线路设计实例	037
项目实训 1.2 地铁区间线路设计	040
思考与练习	041
项目 2 地铁车站与区间隧道设计	042
工作任务 2.1 地铁车站平面设计	044
工作任务 2.2 地铁车站建筑设计	049
工作任务 2.3 地铁车站结构构造	067
工作任务 2.4 地铁车站通风与防灾设计	072
工作任务 2.5 区间隧道的衬砌结构构造	078
工作任务 2.6 区间隧道线路上部建筑	084
项目实训 2.1 典型车站总体布置示例	088
项目实训 2.2 地铁车站结构设计方案示例	090
项目实训 2.3 地铁车站建筑设计实例	093
项目实训 2.4 某地铁车站建筑设计	095
思考与练习	096
项目 3 地铁结构计算	097
工作任务 3.1 地铁结构的计算方法	098

工作任务 3.2	结构荷载计算	100
工作任务 3.3	地铁结构设计一般规定	104
项目实训 3.1	地铁结构荷载计算实例	107
项目实训 3.2	广州地铁 3 号线广州东站结构设计实例	110
项目实训 3.3	某地铁明挖隧道框架结构计算	113
	思考与练习	113
项目 4	地铁施工前期策划与准备	115
工作任务 4.1	地铁施工前期总体策划	117
工作任务 4.2	地铁施工前期准备	121
工作任务 4.3	围岩分级及施工方法选择	128
项目实训 4.1	确定某地铁围岩级别	133
项目实训 4.2	编写某地铁工程施工前期准备工作方案	133
	思考与练习	133
项目 5	地铁明挖法施工	134
工作任务 5.1	明挖施工方法	136
工作任务 5.2	围护结构	142
工作任务 5.3	内支撑系统	169
工作任务 5.4	基坑土体加固	174
工作任务 5.5	地下水控制	180
工作任务 5.6	主体结构施工	188
项目实训 5.1	广州地铁 3 号线大石站明挖法施工实例	196
项目实训 5.2	深圳地铁一期工程科学馆站盖挖法施工实例	198
项目实训 5.3	编制某地铁车站明挖法施工方案	201
	思考与练习	201
项目 6	地铁暗挖法施工	202
工作任务 6.1	新奥法施工	204
工作任务 6.2	浅埋暗挖法施工	219
项目实训 6.1	北京地铁 10 号线知春路站施工实例	228
项目实训 6.2	北京地铁 5 号线蒲黄榆车站施工实例	230
项目实训 6.3	编制某地铁工程浅埋暗挖法施工方案	231
	思考与练习	231
项目 7	地铁盾构法施工	233
工作任务 7.1	盾构机类型与选型	236

工作任务 7.2	盾构的基本构造	241
工作任务 7.3	盾构法施工	247
工作任务 7.4	盾构法施工地面沉降机理和防治	258
项目实训 7.1	北京地铁 6 号线南锣鼓巷站—东四站区间隧道盾构法施工实例	261
项目实训 7.2	盾构水平运输机车配置计算	263
项目实训 7.3	编制某地铁区间隧道盾构法施工方案	263
思考与练习	264
项目 8	地铁施工的其他方法	265
工作任务 8.1	沉管法施工	266
工作任务 8.2	顶管法施工	273
项目实训 8.1	南昌市红谷沉管隧道施工实例	280
项目实训 8.2	武汉市轨道交通 5 号线工程王青公路站 I 号出入口顶管施工实例	281
项目实训 8.3	编制某地铁车站出入口顶管法施工方案	282
思考与练习	282
项目 9	地铁信息化施工监测技术	284
工作任务 9.1	地铁施工监测的设计原理	285
工作任务 9.2	地铁信息化施工监测项目	290
工作任务 9.3	监测成果的运用	293
项目实训 9.1	广州地铁 1 号线杨体区间隧道监测实例	296
项目实训 9.2	编制某地铁施工监测方案	298
思考与练习	299
项目 10	地铁施工质量检测技术	300
工作任务 10.1	明（盖）挖法施工质量检测	302
工作任务 10.2	暗挖法施工质量检测	305
工作任务 10.3	盾构隧道管片质量检测	309
工作任务 10.4	混凝土施工质量检测	311
项目实训 10.1	广州地铁 3 号线广州东站—燕塘站区间地质雷达检测实例	318
项目实训 10.2	锚杆长度和砂浆饱满度检测	320
项目实训 10.3	回弹法检测混凝土强度	322
思考与练习	323
项目 11	地铁工程施工组织与管理	324
工作任务 11.1	施工组织	326

工作任务 11.2 施工管理与控制	336
项目实训 11.1 编制某地铁工程施工组织设计	341
思考与练习	342
参考文献	343

课程导论



学习目标

1. 知识目标
 - (1) 了解城市轨道交通的特点及基本类型。
 - (2) 熟悉地铁系统组成。
 - (3) 了解地铁施工技术的现状、发展趋势。
2. 能力目标
能识别城市轨道交通类型。

导论 1 城市轨道交通

1. 城市轨道交通的定义

城市中使用车辆在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通（Rail Transit）。（在中国国家标准《城市轨道交通工程基本术语标准》（GB/T 50833—2012）中，将城市轨道交通定义为“采用专用轨道导向运行的城市公共客运交通系统”。）

城市轨道交通是指具有固定线路，铺设固定轨道，配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。“城市轨道交通”是一个包含范围较大的概念，在国际上没有统一的定义。一般而言，广义的城市轨道交通是指以轨道运输方式为主要技术特征，在城市公共客运交通系统中具有中等以上运量（有别于道路交通），主要为城市内（有别于城际铁路，但可涵盖郊区及城市圈范围）公共客运服务，在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

由于城市轨道交通具有运量大、速度快、安全、准点、保护环境、节约能源和用地等特点，世界各国普遍认识到：解决城市交通问题的根本出路在于优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统。

2. 城市轨道交通的基本类型

根据以上分析，城市轨道交通属绿色环保交通体系，符合可持续发展的原则，特别适用于大、中城市，是大、中城市公共交通的骨干。城市轨道交通种类繁多，技术指标差异

较大，世界各国评价标准不一，并无严格的分类。

《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007)中还明确城市轨道交通包括：地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统。几种不同方式的城市轨道交通的主要技术指标见表 0.1。

表 0.1 几种不同方式的城市轨道交通的主要技术指标

指标		地铁	轻轨交通	独轨交通	有轨电车
平均站间距离/m	市区	250	150	200	150
	市郊	150	—	150	—
最高行车速度/(km/h)		90~120(最高达 160)	80	80	60
旅行速度/(km/h)		30~45	25~35	18~43	16~20
行车最小间隔/s		50~90	90	90	90
每辆车容量/人		150~310	190~336	80~180	110
列车编组/辆		4~10	2~6	2~6	1~3
单向运输能力/(万人次/h)		3~8	2~4	1~2	1~1.4

(1) 地铁

地铁 (Metro 或 Underground Railway 或 Subway 或 Tube)，在中国的应用城市包括北京、上海、重庆、广州、深圳等。地铁是城市快速轨道交通的先驱。地铁是由电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重、具有一定规模运量、按运行图行车、车辆编组运行在地下隧道内或根据城市的具体条件运行在地面或高架线路上的快速轨道交通系统，其主要技术参数见表 0.2。地铁适用于出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。一般认为，人口超过 100 万的大城市可考虑修建地铁，如图 0.1 所示。

表 0.2 地铁主要技术指标

序号	项目	技术参数	序号	项目	技术参数
1	单向运输能力/(万人次/h)	3~8	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组/辆	4~8(最多 11)	10	最小曲线半径/m	300
3	列车容量/人	3 000	11	最小竖曲线半径/m	3 000
4	最高行车速度/(km/h)	90~120 (最高达 160)	12	舒适性	较好
5	旅行速度/(km/h)	30~40	13	城市景观	无大影响
6	车站平均间距/m	600~2 000	14	空气污染、噪声污染	小
7	最大通过能力/(对/h)	>35	15	站台高度/m	一般为高站台， 乘降方便
8	与地面交通隔离率	100%	16	造价/ (亿元人民币/km) ^①	3~8

(2) 轻轨

轻轨 (Light Rail Transit, 简称 LRT)，在中国的应用城市包括上海、重庆等。轻轨交

① 编者注：为简便起见，如无特别说明，以下均只称“元”，省略“人民币”三字。

通是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通系统,是反映在轨道上的荷载相对于铁路和地铁的荷载较轻的一种交通系统(一般轴重约为 10 t)。轻轨是个比较广泛的概念,公共交通国际联合会(UITP)在关于轻轨运营系统的解释文件中提道:轻轨是一种使用电力牵引,介于标准有轨电车和快运交通系统(包括地铁和城市铁路),用于城市旅客运输的轨道交通系统,如图 0.2 所示。



图 0.1 广州地铁



图 0.2 重庆轻轨

轻轨一般采用地面和高架相结合的方法建设,路线可以从市区通往近郊。列车编组采用 3~6 辆,铰接式车体。由于轻轨采用了线路隔离、自动化信号、调度指挥系统和高新技术车辆等措施,最高速度可达 60 km/h,克服了有轨电车运能低、噪声大等问题。

(3) 有轨电车

有轨电车(Tram 或 Streetcar)是使用电车牵引、轻轨导向、1~3 辆编组,运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。

世界上第一条有轨电车线于 1888 年 5 月在美国弗吉尼亚州里士满市开通。中国第一条有轨电车线于 1906 年在天津北大关至老龙头火车站(今天津站)建成通车。旧式有轨电车由于运能低、挤占道路、噪声大、舒适性差等问题,许多国家都对其进行了拆除或改造,如图 0.3(a)所示。

现代有轨电车是一种地面公共交通,采用电力牵引及轮轨行走模式。车辆按每平方米站立 6 人计算,以 2 min 行车间隔考虑,每小时单向的运能最多可以达到 12 000 人次,适用于人口在 50 万~100 万的中等规模的城市,目前我国沈阳、威海、佛山、广州等建有现代有轨电车,如图 0.3(b)所示。



(a) 旧式有轨电车



(b) 现代有轨电车

图 0.3 有轨电车

(4) 市郊铁路

所谓市郊铁路，指的是建在城市内部或内外接合部，线路设施与干线铁路基本相同，服务对象以城市公共交通客流，即短途、通勤旅客为主的铁路。

城市铁路通常分成城市快速铁路和市郊铁路两部分。城市快速铁路是指运营在城市中心，包括近郊城市化地区的轨道系统，其线路采用电气化，与地面交通大多采用立体交叉。市郊铁路是指建在城市郊区，把市区与郊区，尤其是远郊联系起来的铁路。市郊铁路一般和干线铁路设有联络线，设备与干线铁路相同，线路大多建在地面，部分建在地下或为高架。其运行特点接近于干线铁路，只是服务对象不同，如图 0.4 所示。



图 0.4 市郊铁路

(5) 单轨交通

单轨也称为独轨 (Monorail)，在中国的应用城市包括重庆、上海等。单轨交通是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统，其最大的特点是车体比承载轨道要宽。以支撑方式的不同分类，单轨通常分为跨座式和悬挂式两种：跨座式是车辆跨坐在轨道梁上行驶；悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶。

单轨的车辆采用橡胶轮，电气牵引，最高速度可达 80 km/h，旅行速度为 30 ~ 35 km/h，列车可按 4 ~ 6 辆编组，单向运送能力为 1 万 ~ 2.5 万人次/h。中国首条跨座式单轨线路于 2005 年在重庆建成运营，如图 0.5 所示。



图 0.5 重庆单轨交通

(6) 磁悬浮交通

磁悬浮交通 (Magnific Levitation for Transportation)，在中国的应用城市包括上海、长沙等。它是一种非轮轨黏着传动、悬浮于地面的交通运输系统。磁悬浮列车利用常导磁

铁或超导磁铁产生的吸力或斥力使车辆浮起，用以上的复合技术产生导向力，用直线电机产生牵引动力，为高速、安全、舒适、节能、环保、维护简单、占地少的新一代交通运输工具，如图 0.6 所示。



图 0.6 上海磁悬浮列车

(7) 新交通系统

在城市轨道交通领域，新交通系统又被称作“自动导向的新交通系统 (Automated Guideway Transit)”。早在 20 世纪的 60 年代，美国有关人士即向议会提出了“未来城市交通的设想”议案，并提出了一系列方案。从此，城市新交通系统开始在世界范围内出现并有所发展。自动导向的新交通系统是车辆运行在具有侧向或中央导轨专用混凝土轨道上的系统，也可以说是在高架的专用轨道上装有轻量橡胶轮胎的车辆沿导轨运行的中等运量输送系统。

新交通系统的发展及应用以日本最具有代表性。这种新型交通系统是在铁路和公路两大交通系统的基础上发展起来的，电动车辆在专用的轨道线路上运行，而且车轮均为橡胶轮胎，沿着特制的混凝土轨道运转，车站无人管理，完全由中央调度室的电子计算机集中控制。导轨交通系统可归纳为两种类型，即侧面导向式和中央导向式 (图 0.7)，每种方式又可分为单用型和两用型。所谓单用型指的是车辆只能在导轨上运行；两用型则指车辆既可以在导轨上运行，又可以在一般道路上行驶。



图 0.7 导向方式原理图

20 世纪 80 年代，法国 MATRA 公司建造了第一条自动化导向交通线，称为 VAL 系统 (轻量自动车辆系统)，如图 0.8 所示。这种车辆采用橡胶轮胎，每列编组 4~6 辆，无人驾驶，取得了良好的服务和经济效益，美国芝加哥国际机场、我国台北等均采用了 VAL 系统。20 世纪 80 年代初，德国也已研制开发出了导向交通技术即 O-Bahn，如图 0.9 所示。车辆结构改变了轨道车辆的传统，车体和驱动系统的设计采用公共汽车的技术，因此可以轻型化。导向机构依靠在车轮上加装水平方向的导向轮，与前轮的转向节直接连在一起。行驶

中导向轮与轨道梁的凸缘相接触,相当于驾驶员控制车辆的方向盘,起到自动导向的作用。



图 0.8 法国里尔 VAL 系统



图 0.9 德国 O-Bahn

3. 城市轨道交通系统的选型

城市轨道交通系统的种类繁多,特点各不相同,故每种城市轨道交通系统的适用范围也不一样。表 0.3 从市场需求、技术经济能力、走行线路条件等方面对城市轨道交通的选型提供简单的参考。但需要说明的是,随着经济实力的不断增长和高新科技的日益进步,其中有些参数指标也可能随之发生变化。

表 0.3 各种城市轨道交通系统的适用范围

类型	市场需求			技术经济能力	走行线路条件		
	城市人口规模/ 万人	单向最大 客流量/ (万人/h)	城市生 产总值/ 亿元		最小曲 线半径 /m	最大限制 坡度/%	线路形式
地铁	>300	3.0~8.0	>400	常规机电工业技术,高 新技术应用	300	35	地下、高架与局 部地面,专用线路
轻轨	>100	1.0~3.0	>300	常规机电工业技术,高 新技术应用	50	60	地下、高架与局 部地面,专用线路 或部分混合道
独轨 (跨坐/ 悬挂)	>100	0.5~2.0	>600	常规机电工业技术,专 用机电设备及轨道梁生 产技术,高新技术应用	60/100	50~120/50	高架,专用道
有轨 电车	>50	0.8~1.5	>200	常规机电工业技术,高 新技术应用	20~50	60	全地面,混合道 或部分专用道
市郊 铁路	>200	4~10	>600	常规机电工业技术	同铁路 标准		高架、地面为 主,利用既有线路 开行
磁悬 浮系 统 (高速/ 常速)	>200	0.6~1.5	>1 000	常规机电工业技术,高 新技术应用	1 590/100		高架,专用线路
新交 通	>100	1~1.8	>600	常规机电工业技术,专	25	60	高架与地下隧

系统			用机电设备生产技术,高 新技术应用			道, 专用线路
----	--	--	----------------------	--	--	---------

导论 2 地铁概述

1. 地铁的发展状况

世界上第一条地铁诞生于英国，1843 年设计，1853 年开始建造，1863 年建成通车，列车用蒸汽机车牵引，线路全长约 6.4 km（图 0.10）。第一条地铁线路采用了“挖一盖”的工序来建造，即挖掘一条深沟，然后封盖其上面，即明挖法施工（图 0.11），此后各地纷纷效仿建造。1890 年，伦敦首次用盾构法施工，建成用电气机车牵引的 5.2 km 的另一条线路。自 1863 年至 1899 年，有英国的伦敦和格拉斯哥、美国的纽约和波士顿、匈牙利的布达佩斯、奥地利的维也纳以及法国的巴黎共 5 个国家的 7 座城市率先建成了地铁。

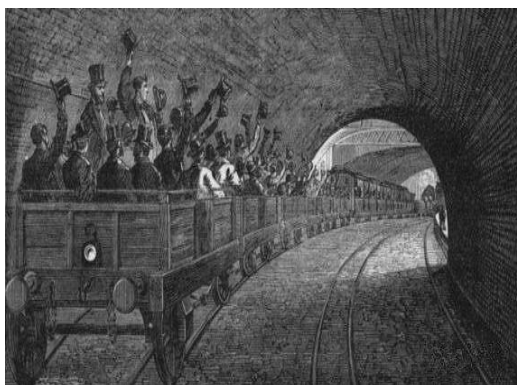


图 0.10 1863 年建成的世界上第一条地铁



图 0.11 世界上第一条地铁的施工方法

1900 年至 1924 年，在欧洲和美洲又有 9 座城市相继修建了地铁，如德国的柏林、汉堡，美国的费城，以及西班牙的马德里，等。1925 年至 1949 年，其间经历了第二次世界大战，各国都着眼于自身的安危，地铁建设处于低潮，但仍有日本的东京、大阪，苏联的莫斯科等少数城市在此期间修建了地铁。1950 年后，世界各国的城市修建地铁有了迅速的发展。据统计，全球至 2021 年底，至少应有 50 多个国家或地区的 200 多座城市开通了地铁。

我国的地铁事业起步较晚，第一条地铁（北京）始建于 1961 年，1969 年修建完成，其线路沿长安街于北京城墙南缘自西向东贯穿北京市区，全长 23.6 km，设有 17 座车站和 1 座车辆段。虽然中国的地铁起步较晚，但总体来看，其发展经历可分为起步阶段（20 世纪 60 年代—80 年代初）、平稳发展阶段（20 世纪 80 年代中—2000 年）和快速发展阶段（2001 年至今）三个阶段。当前中国地铁不管是从技术上还是里程上，都已经处于世界领先的位置。截至 2021 年底，我国地铁运营线路为 9 193 公里，地铁运营里程世界排名前十的城市中国占有 5 个，分别是上海第 1（831 km）、北京第 2（783 km）、广州第 3（589 km）、成都第 4（518 km）、武汉第 10（435 km）。

2. 地铁与轻轨的区别和建设的基本条件

(1) 地铁与轻轨的区别

轻轨和地铁的区别主要在于重量不同、平面曲线不同、编组数不同、运输力不同等。

① 重量不同：地铁的轴重普遍大于 13 t，而轻轨的轴重一般为 10 t。

② 平面曲线不同：地铁的平面曲线半径不小于 300 m，而轻轨一般在 100~200 m。

③ 编组数不同：地铁每列车的编组数多于轻轨，车辆定员亦多。地铁线在高峰小时内，其单向运输能力能达到 3 万~8 万人次，而轻轨的运力为 0.6 万~2 万人次。

④ 运输力不同：无论是轻轨还是地铁，都可以建在地下、地面或高架桥上；虽然地铁的轴重一般要大于轻轨，但为了增强轨道的稳定性，减少养护和维修的工作量，增大回流断面和减少杂散电流，地铁和轻轨都趋向选用重型钢轨。

地铁一般采用 A 型或 B 型列车，分别对应 3 m、2.8 m 的列车宽度，采用 5~8 节编组列车。地铁的运量一般比较大，单小时可以达到 3 万~8 万人次，也是国内许多轨道交通的首选。轻轨为中运量系统，高峰小时输送乘客的能力为 1 万~3 万人次。轻轨一般采用 C 型列车，对应 2.6 m 的列车宽度，采用 2~4 节编组列车。

(2) 地铁与轻轨建设的基本条件

多数城市的城市轨道交通系统已经不是单纯的地铁，而是由地面铁路、高架铁路和地铁组成的快速轨道交通体系，在世界上 200 多个有地铁的城市中，线路完全在地下的只占少数，包括我国的北京、上海、广州等多数城市的地铁线路都在不同程度上包括地面段和高架段，只有在通过市中心区时才进入地下段。据统计，全世界近 200 个城市地铁中，地下线占统计总全长的 35.4%，地面线占 51%，高架线占 13.6%；而全世界近 30 个城市轻轨中，地下线仅占 15.9%，地面线占 79.3%和高架线占 4.8%。因此，城市轨道交通的建设应使地下、地面和高架合理布局，以尽量降低工程建设的造价。

我国于 2003 年下达了国办发〔2003〕81 号文件，明确指出城市快速轨道交通系统的建设要“坚持量力而行，有序发展”的原则，并规定申报建设地铁与轻轨的城市应具备的基本条件。且 2018 年 3 月国家发改委发布的《关于进一步加强城市轨道交通规划建设工作的意见》和 2018 年 7 月发布的《国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见》(国办发〔2018〕52 号)，修订了原有城市轨道交通建设基本条件，大幅提高了申报条件，要求申报建设地铁的城市具备如下条件：

① 地方一般公共预算收入应在 300 亿元以上（2003 年为 100 亿元）；

② 地区生产总值在 3 000 亿元以上（2003 年为 1 000 亿元）；

③ 市区常住人口原则上在 300 万以上（2003 年为城市总人口超过 700 万，城区人口在 300 万以上，主要是人口范围的变化）；

④ 远期客流规模达到单向高峰小时 3 万人。

3. 地铁系统的构成

地铁是一个多专业多工种配合工作、围绕安全行车这一中心而组成的有序联动、时效

性极强的系统。地铁系统由一系列的相关设施组成，包括车站、线路、列车、供电、控制以及通信信号系统等。

（1）地铁建筑组成

地铁设计必须符合政府主管部门批准的城市总体规划和城市轨道交通线网规划。地铁主体结构工程设计使用年限为 100 年。地铁是一种规模浩大的交通性公共建筑。它是现在城市中重要的快速交通之一。地铁根据其功能、使用要求、设置位置的不同划分成车站、区间和车辆段三个部分。这三个部分的组合构成了一个完整的地铁线路运行系统。

车站是地铁系统中一个很重要的组成部分，地铁乘客乘坐地铁必须经过车站，它与乘客的关系极为密切，同时它又集中设置了地铁运营中很大一部分技术设备和运营管理系统；因此，它对保证地铁安全运行起着关键的作用。所以车站位置的选择、环境条件的好坏、设计的合理与否，都会直接影响地铁的社会效益、环境效益和经济效益，影响到城市规划和城市景观。

区间是连接相邻两个车站的行车通道，它直接关系到列车的安全运行。区间设计的合理性、经济性对地铁总投资的影响很大，对乘客乘坐列车时的舒适感和列车运行速度的提高也有影响。

车辆段是地铁列车停放和进行日常检修维修的场所，它又是技术培训的基地，由各种生产、生活、辅助建筑及各专业的设备和设施组成。

（2）线路及轮轨系统

地铁线路应采用右侧行车的双线线路，并采用 1 435 mm 标准轨距。轨道结构应有足够的强度、稳定性和适量弹性，以保证列车安全、平稳、快速运行和乘客乘坐舒适。地铁正线采用 60 kg/m 钢轨，轻轨线路可用 50 kg/m 钢轨，用弹性扣件和减震垫正确固定钢轨位置，并提供适量弹性。轨枕式整体道床和浮置板式整体道床在地铁中运用广泛。高架轨道段不宜采用有砟轨下基础，多用弹性支承无轨式整体道床。

（3）供电系统

电能是地铁系统必需的能源，几乎所有的地铁设备都离不开电力供应，一旦供电中断，地铁运输将陷入瘫痪状态；因此，高度安全、可靠的供电系统是地铁正常运营的重要条件和保证。

地铁供电系统一般包括牵引供电系统、动力照明系统和高压电源系统。其中：牵引供电系统供给地铁车辆运行需要的电能，由牵引变电所和接触网组成；动力照明系统提供车站和区间各类照明、风机、水泵等动力机械设备电源和通信、信号、自动化等设备电源，它由降压变电所和动力照明配电线路组成；高压电源系统视各城市具体情况而定，可以是市电直接供给地铁各变电所，也可由城市高压供电线路集中供给地铁线路，然后由电源变压器再分配给地铁沿线各变电所，还可以是这两种情况的综合。

（4）通信信号系统

通信信号系统在地铁中的作用相当重要：既要确保行车安全，指挥列车运行；又要提高运营效率，充分利用通过能力。信号设备的主要作用是保证行车的安全和提高线路的通过能力。根据地铁高速度、高密度、短间隔的特点，地铁信号系统从传统的以地面信号为主的方式发展到自动监控列车速度和自动调整列车追踪间隔的方式。地铁信号系统按其功能可分为以下几部分：自动闭塞、联锁、列车自动监视系统、列车自动监控系统、列车自

动防护系统、列车自动运行系统。

地铁通信是构成地铁各部门之间有机联系,实现运输集中统一指挥、行车调度自动化、列车运行自动化,提高运输效率的必备工具与手段。为了迅速、准确、可靠地传递和交换语音、图像、数据信息,地铁通信系统是一个自成体系的独立完整的内部通信网。通信网由光纤数字传输系统、数字电话交换系统、闭路电视监视系统、无线调度系统以及车站广播系统等组成。

(5) 环控系统与车站设备

地铁环境控制系统是地铁的重要组成部分,关系到乘客旅行安全和旅途心情,影响着地铁对广大市民的吸引力。早期地铁较少考虑环境问题,以致乘客乘坐地铁必须忍受高温、高湿及污浊的空气。随着经济和社会发展水平的提高,乘客对乘车环境有了更高的要求,不少城市开始在地铁系统中增设环境控制系统以满足乘客要求。环境控制系统主要包括地铁通风、空调和采暖等设备。

为了保证地铁安全正常运行,应在地铁内设置环境控制设备和各类必需的车站辅助设备,包括通风、空调、给排水、消防、自动扶梯、直升电梯、动力、照明、旅客引导等系统设备。现代化程度较高的地铁还配置了自动售检票系统、车站设备自控系统、屏蔽门等。

(6) 车辆

地铁车辆是城市轨道交通系统的重要组成部分,也是技术含量较高的机电设备(图0.12)。地铁车辆应具有先进性、可靠性和实用性,应满足容量大、安全、快速、美观和节能的要求。地铁车辆有动车和拖车、带司机室车和不带司机室车等多种形式。动车本身带有动力牵引装置,拖车本身无动力牵引装置;动车又分为带受电弓的动车和不带受电弓的动车。地铁车辆在运营时一般采用动拖结合、固定编组的方式,形成电动列车组。



图 0.12 地铁车辆

一般地铁车辆由以下七部分组成:

① 车体。

车体是容纳乘客和司机驾驶(对于有司机室的车辆)的地方,又是安装与连接其他设备和部件的基础,一般有底架、端墙、侧墙及车顶等。

② 动力转向架和非动力转向架。

动力转向架和非动力转向架装置位于车体和轨道之间,用来牵引和引导车辆沿着轨道行驶,承受与传递来自车体及线路的各种荷载并缓冲其动力作用,是保证车辆运行品质的关键部位,一般由构架、弹簧悬挂装置、轮对轴箱装置和制动装置等组成。

③ 牵引缓冲连接装置。

车辆编组成列安全运行必须借助于连接装置。为了改善列车纵向平稳性,一般在车钩的后部装设缓冲装置,以缓和列车的冲击作用。

④ 制动装置。

制动装置是保证列车安全运行所不可少的装置。城市轨道交通车辆制动装置除常规的空气制动外,还有再生制动、电阻制动和磁轨制动等。

⑤ 受流装置。

从接触导线(接触网)或导电轨(第三轨)将电流引入动车的装置称为受流装置或受流器。

⑥ 车辆内部设备。

车辆内部设备包括服务于乘客的车体内的固定附属装置和服务于车辆运行的设备装置。属于前者的有车电、通风、取暖、空调、座椅、拉手等。服务于车辆运行的设备装置大多吊挂于车底架,如蓄电池箱、继电器箱、主控制箱、电动空气压缩机组、总风缸、电源变压器、各种电气开关和接触器箱等。

⑦ 车辆电气系统。

车辆电气包括车辆上的各种电气设备及其控制电路,按其作用和功能可分为主电路系统、辅助电路系统和控制电路系统三个部分。

我国现有的各型车辆基本参数应符合表 0.4 中的规定。

表 0.4 各型车辆基本参数

参 数		A 型	B 型
计算车体长度/mm	无司机室车辆	22 000	19 000
	有司机室车辆	23 600	19 600
车内净高/mm		2 100~2 150	
计算车体宽度/mm		3 000	2 800
计算车辆高度/mm		3 800	3 800
计算车辆定距/mm		15 700	12 600
计算转向架固定轴距/mm		2 200~2 500	2 000~2 300
地板面距走行轨面高度/mm		1 130	1 100
轴重/t		≤ 16	≤ 14
每侧车门数/对		5	4
车门宽度/mm		1 300~1 400	

车门高度/mm	$\geq 1\ 800$
---------	---------------

导论 3 地铁施工技术概述

1. 地铁施工技术的现状

地铁修建过程主要涉及三种类型的土建工程：① 深基坑工程，主要用于车站、地下停车场和地下仓库；② 隧道工程，主要用于地铁区间线路修建；③ 高架桥梁结构工程。其中，较为典型的地铁则是前两者。众所周知，地下工程是埋设在土体或岩体中的以土体或岩体为介质和环境的工程结构物，其设计和施工受到工程地质条件和周围环境条件等因素的控制，施工难度大，需要考虑但却不可预见的因素众多，而其中的关键问题则是施工方法和技术。选择合理的施工技术和方法是决定地下工程成败的关键因素。通常需考虑的主要因素大体上可归纳为：① 工程的重要性，主要是工程投资规模和运营后的社会、经济和环境效益；② 工程的断面尺寸、埋深等；③ 工程所处的工程地质和水文地质条件；④ 施工条件，包括技术条件、装备情况、安全状况、施工中动力和原材料供应情况等；⑤ 有关地面沉降、环境污染等环境方面的要求和限制等。

其中，对地铁施工方法有决定影响的是地质水文条件和埋置深度。我国城市的地质条件按其地质特性可分为四大类：一是以软土为主，如上海市，隧道和地下车站修筑在软土层中；二是软弱地层与岩层（风化岩层）交变，如南京、广州等地；三是以岩层为主，如重庆、青岛等地；四是以砂卵石层为主，如成都、北京等地。由于地质条件不同，所采用的施工方法也不尽相同。同时，隧道施工方法的选择是一项“模糊”的决策过程，它依赖于有关人员的学识、经验、毅力和创新精神。对上述影响因素进行分析可以看出，地下工程施工及施工技术的选择应当牢固树立和坚持技术可行、安全可靠、经济合理、环境优好的理念和原则。

目前，在地铁工程中，以明挖法、盾构法和浅埋暗挖法等应用较为广泛。地铁车站施工主要采用明挖法、盖挖法和浅埋暗挖法，地铁区间隧道施工主要采用盾构法和浅埋暗挖法。此外还有其他的一些方法如顶管法、沉管法、沉箱法、非开挖技术等。从地下工程相对于地面工程的特点出发，可将其施工方法和技术总结为“一个中心，两个基本点”。“一个中心”就是岩土体和工程结构的稳定与和谐，“两个基本点”就是开挖和支护，这三者之间联系密切，复杂相关。因此，无论是何种特定的施工方法，除了必须包括最基本的开挖技术和支护技术外，还必须具有相应的辅助技术。

2. 城市地下工程施工技术分类

地下工程施工技术以在地层中构筑建筑物为目的，以研究解决地下工程修建中的技术方案和措施，包括在各种地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、

质量、经济和安全管理措施。它所包含的内容主要有地下工程的基本作业、辅助作业、环境控制和施工管理等，如图 0.13 所示。

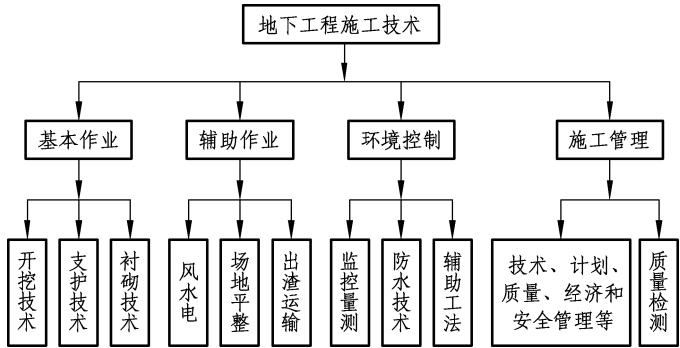


图 0.13 地下工程施工技术

隧道及地下工程的类型很多，工程特点各异，相应的施工方法和技术众多。隧道及地下工程施工技术的简要分类如图 0.14 所示。

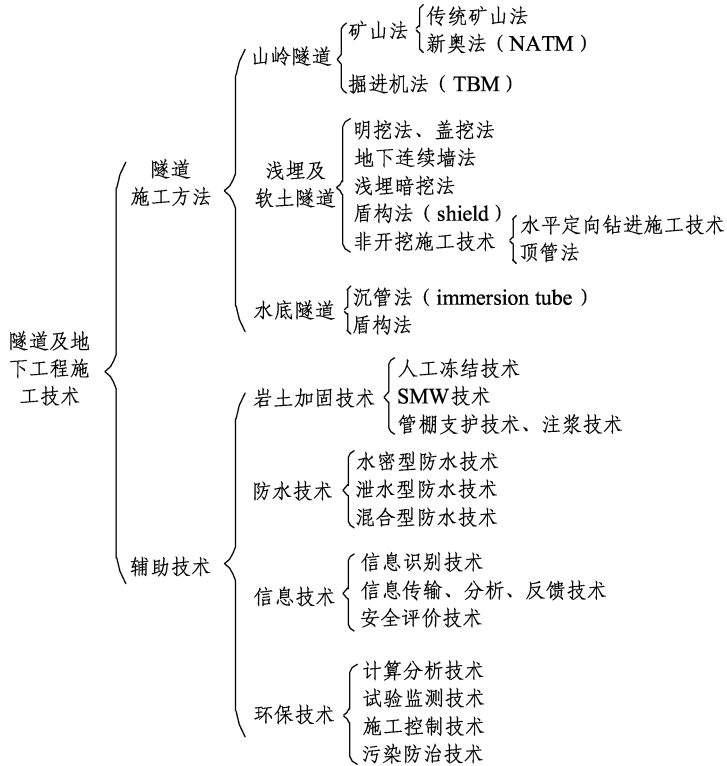


图 0.14 城市地下工程施工技术分类

地铁的结构与构造随着施工方法的不同而不同，目前常见的施工方法及其适用范围如表 0.5 所示。

表 0.5 地铁常见施工方法分类

序号	施工方法	主要工序	适用范围
1	明挖法	(1) 敞口明挖: 现场灌注混凝土结构, 回填	地面开阔, 建筑物稀少, 土质稳定
		(2) 用工字钢桩或钢板桩或灌注桩或旋喷、搅拌桩等支护侧壁开挖: 现场灌注混凝土结构, 回填	施工场地较窄, 土质自稳定较差
		(3) 地下连续墙: 修筑导墙, 分段挖槽, 连续成墙, 开挖土体, 灌注混凝土结构, 回填	地层松软, 地下水丰富, 建筑物密集地区, 修建深度较大
		(4) 盖挖法: 用桩或连续墙支护侧壁, 加顶盖板恢复地面交通后在盖板下开挖, 灌注混凝土结构	街道狭窄, 地面交通繁华地区
2	暗挖法 (新奥法或浅埋暗挖法)	(1) 对岩石地层采用分部或全断面开挖, 锚喷支护或锚喷支护复合衬砌	岩石地层
		(2) 对地层加固后再开挖、支护、衬砌	松软地层, 无地下水地区; 有地下水时要施工降水
3	盾构法	采用盾构机开挖地层, 并在其内装配管片衬砌或浇筑挤压混凝土衬砌	松软地层, 无地下水地区; 有地下水时要施工降水
4	顶管法	预制钢筋混凝土结构, 边开挖, 边顶进	穿越交通繁忙地区、地面铁路、地下管网和建筑物等障碍物地区
5	沉管法	采用船台或干船坞把预制隧道管段浮运至设计位置的沟槽中, 处理好接缝, 回填土后贯通	过江河或过海峡
6	辅助施工方法	(1) 注浆固结法: 向地层注入凝固剂, 增加地层强度后进行土体开挖, 灌注混凝土结构	局部地层不良、发生坍塌、地下水流速不超过 1 m/s 的地带
		(2) 管棚法: 顶部打入钢管, 压注水泥砂浆, 在管棚保护下开挖、立钢拱架、喷混凝土、灌注混凝土结构	松散地层
		(3) 降低地下水水位法: 采用井点将地下水位降低, 以疏干工作面	渗透系数较大的地层
		(4) 冻结法: 对松软含水土体打入冷冻管使地层结冰形成冻土壁, 再开挖土层及灌注混凝土结构	松软含水地层

3. 地铁施工技术的发展趋势

目前, 地铁施工作为城市地下工程施工的一部分, 其技术发展迅速, 各种方法和技术屡有创新和突破。从我国的实际情况出发, 主要的地铁施工发展趋势是: ① 重视 TBM

和盾构机的引进、消化、应用和开发。开发的方向应当是降低成本、提高质量、加快施工进度、延长使用寿命等。此外,要使盾构技术产品化、系列化,盾构管片设计和施工符合自动化、省力化、高速化以及经济化的方向。② 隧道掘进机和混合型盾构掘进机的研制和应用。通过研发,使其更好地适应于复杂地质条件,使掘进机向着机械、电气、液压和自动控制一体化、智能化设备方向发展。③ 异型断面盾构掘进机的研究,如双圆盾构、自由断面盾构、局部扩大盾构、MMSF 盾构等,推广应用挤压混凝土衬砌(ECL)施工技术等。④ 大力发展浅埋暗挖技术、沉管技术、沉井技术、非开挖技术,促进中小口径顶管掘进机的标准化、系列化和推广应用。⑤ 开发多媒体监控和仿真系统、三维仿真计算机管理系统,实现管理信息化、自动化、智能化。⑥ 深入研究和充分利用信息技术,重视隧道动态设计与动态施工,不断积累和总结经验,及时修订相关规范和技术标准,提高施工技术水平。⑦ 制定相应的有关城市地下工程规划、勘察、设计、施工等技术和经济方面的法规、标准等,以保证有法可依、有章可循,引进、消化、吸收国外先进管理方法和经验,进行本土化改造和自主创新研发,从制度上给予科学合理的保证。⑧ 牢固树立和坚持技术可行、安全可靠、经济合理、环境友好的理念和原则,系统、灵活地运用各种可能技术手段,适应隧道及地下工程未来的大型化、深层化、综合化、复杂化等发展趋势。

思考与练习

【思考题】

1. 城市轨道交通的特点及类型有哪些?
2. 简述地铁系统的构成。
3. 简述中国城市地铁建设的现状和发展战略。

【练习题】

1. (选择题) 扫描扉页在线开放课程二维码。
2. 请查阅相关资料,分析、比较地铁与其他城市轨道交通系统的区别。

比较项目	地 铁	轻 轨	有轨电车	单轨(独轨)	磁悬浮
定 义					
主要特征					
线路、车站					
车 辆					
驾驶模式					
运 量					
造 价					

项目 1 地铁线路规划与设计

学习目标

1. 知识目标
 - (1) 了解地铁路网规划的基本知识。
 - (2) 明白地铁线路设计的基本技术标准。
2. 能力目标
能进行地铁线路的简单设计。

项目导入

地铁项目建设的特点是：工程预见性强，建设周期长，一般有 3~5 年（土建工程一般为 2~3 年）的建设工期。目前我国轨道交通建设，以地下线路为主的地铁工程，每千米造价在 5 亿元左右。一般来说，线路从规划到运营的阶段是：前期研究阶段—勘察设计阶段—工程施工阶段—验收及运营阶段，如图 1.1 所示。

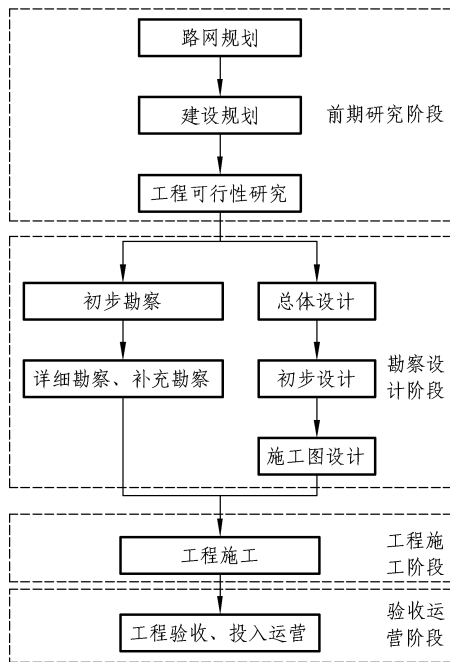


图 1.1 地铁工程建设流程

地铁建设涉及众多技术领域，包括路网规划、线路设计、土建工程、建筑造型和装饰、机电运营设备等系统。地铁工程设计也包括众多技术领域，但主要包括线路设计、建筑设

计、结构构造设计等。

以线路设计为例,地铁工程设计一般分为四个阶段:可行性研究阶段、总体设计阶段、初步设计阶段和施工图设计阶段。可行性研究阶段主要是通过线路多方案比选,完善线路走向、路由、敷设方式,确定车站、配线等的分布,提出设计指导思想、主要技术标准、线路平纵剖面及车站的大致位置等;总体设计阶段是根据可行性研究报告及审批意见,通过方案比选,初步选定线路平面位置、车站位置、配线形式、不同敷设方式的过渡段的位置,提出线路纵剖面的初步标高位置等;初步设计阶段是根据总体设计文件及审查意见,完成对线路设计原则、技术标准等的确定,确定线路平面位置,基本确定车站位置及线路纵剖面设计;施工图设计阶段是根据初步设计文件、审查意见和有关专业对线路平纵剖面提出的要求,对部分车站位置及个别曲线半径等进行微调,对线路平面及纵剖面进行精确计算和详细设计,提供施工图纸和说明文件。



思政点拨

“地下空间将成为未来土木工程建设的主阵地,也将成为助推国家发展的重要空间资源!”在城市人口日益膨胀的当下,地下空间就是城市发展和建设中“一颗冉冉升起的新星”。

中国被称作“基建狂魔”,以港珠澳大桥、北京大兴国际机场为代表的超级工程让全世界刮目相看,这正是一代代土木人用智慧和汗水拼命干出来的。



项目布置

学生分组讨论北京、上海、广州、深圳等城市地铁路网的基本结构形式,并完成某条地铁线路设计。



项目分析

本项目的核心是地铁线路设计,但完成地铁线路设计需要掌握地铁路网规划、地铁限界和线路设计技术参数和要求等知识与技能。因此,本项目安排地铁路网规划、地铁限界设计和地铁线路设计3个工作任务和2个项目实训。

工作任务 1.1 地铁路网规划

1.1.1 地铁路网规划设计原则

路网规划包括规模、走向、线路敷设方式等方面,是地铁交通规划的重要组成和具体体现。好的地铁路网规划必须建立在遵循城市交通规划原则的基础上,这些原则包括全局性、客流预测、线路走向、车站布置、交通组织等原则。

(1) 全局性原则

路网规划必须符合城市的总体规划。地铁交通是大城市总体规划和综合交通规划的重

要组成部分。随着城市经济的不断发展，城市区域会不断扩大，为了减少中心城区或老城区过重的交通压力，需要规划一些组团式的城市副中心，即通过在中心城区的周围发展若干个卫星城的方式来扩大城市。交通引导城市发展是一条普遍规律，可以通过轨道交通和城市快速干道改变城市的区域布局。地铁交通的发展大大改变了城市的发展模式，使城市沿地铁走廊轴向延伸，而城市快速干道及高速公路的飞速发展则带来了城市蔓延和副中心的出现。所以，在制订城市轨道交通路网规划时，一定要根据城市规划发展的方向留有向外延伸发展的可能性。

（2）客流预测原则

路网规划走向要与城市客流预测相适应。通过对城市主要交通干道的客流，定量地确定各条线路单向高峰小时客流量，也就可以确定每条线路的规模和容量。在大城市修建地铁交通最主要的目的是为居民，尤其是对中、远程乘客，提供优质的交通服务，轨道交通应是最能满足出行要求的交通方式。居民每天出行的交通流向与城市的规划布局密切相关，地铁交通只有沿城市交通主客流方向布设，才能照顾到居民快速、方便的出行需要，并能充分发挥地铁交通客运量最大的功能，提高城市的生活品质和社会效益。

（3）线路走向原则

地铁线路要尽量贯穿连接城市中心并沿城市主干道布置。城市各类中心因汇集包括行政、商业、交通枢纽和丰富的文化娱乐等资源而成为客流汇集最多的地方，并由此形成了具有通达效果的主干道。城市居民由于工作、学习、出行或购物等外出时，通常都会沿着主干道汇集流动而形成密集客流。如果规划线路贯穿连接城市交通枢纽（如火车站、飞机场、码头和长途汽车站等）、商业中心、文化娱乐中心、大型的生活居民区等客流集散数量大的场所，可以大大减小线路的非直线系数和缩短居民出行时间。此外，大型主干道路面宽阔，两侧民居较少，沿城市主干道布置的轨道交通线，可以减少拆迁费用，便于工程展开，减少对城市居民生活的干扰。

（4）车站布置原则

线路规划的一项重要内容就是车站规划与选址。距车站远近、换乘条件及换乘次数直接影响着出行时间的多少，并且直接影响客流量的大小。根据国内外的经验，在市区，两平行网线间的距离一般以 1 400 m 为宜；在市郊，两线间距离可以适当增大。

（5）交通组织原则

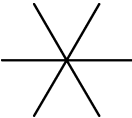
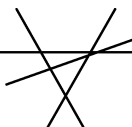
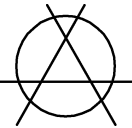
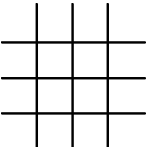
地铁交通路网与城市公共交通路网和其他交通方式相衔接，以充分发挥各自优势，为乘客提供优质的交通服务。所以，大城市的交通组织一定要以城市轨道交通为骨干，常规公共交通为主题，辅助以其他交通方式，构建多方位多层次交通体系。

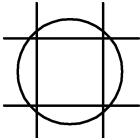
1.1.2 地铁路网的基本结构形式

根据城市现状与规划情况编制的路网中各条线路组成的几何图形一般称路网结构形式，其形式一般要与城市道路的结构形式相适应，但在选定时，首先应考虑客流主方向，并为乘客创造便利条件，以便吸引更多的乘客。路网结构形式布置适当与否，直接关系到路网建成后的经济效益、社会效益和交通服务质量。为此，在设计路网时，不但要考虑各线的具体情况，更要考虑路网的整体布局，也就是要考虑路网总的结构形式是否合理。目

前，世界上已有 200 多个城市建有轨道交通系统，其中伦敦、巴黎、柏林、纽约、东京、莫斯科、北京、上海、广州等早已形成网络。这些轨道交通系统网络虽然形式多种多样，但都与各自城市结构相适应并相互影响。城市现有街道的基本形式及地理条件，对于轨道交通路网形成起了决定性的作用。虽然世界各国城市快速轨道交通路网结构形式比较繁杂，但从几何图形上考虑，主要可归纳为以下几种形式：放射形（星形）、棋盘式（栅格网状）、放射形环状、放射形网状、棋盘加环线形式、对角线形等。现对几种典型的结构形式进行分析，见表 1.1。图 1.2 ~ 图 1.4 分别为俄罗斯圣彼得堡放射形地铁网、我国北京棋盘加环线形地铁网和广州棋盘式地铁网。

表 1.1 几种典型的结构形式分析

结构形式	图示	城市发展	特点	举例
放射形		引导城市向单中心结构发展	① 所有线路均可直接换乘；② 郊区与市中心联系方便；③ 一次换乘即可到达目的地；④ 换乘站客流量大，客流干扰严重；⑤ 各城市副中心之间联系不便，需到市中心换乘	捷克布拉格地铁，俄罗斯圣彼得堡地铁
放射形网状		引导城市呈高密度面状开发，市郊区呈高密度线状开发，城市如手掌状向外延伸	① 市中心区路线和换乘站密集而均匀，网络连通性好，乘客换乘方便；② 郊区到市中心的出行方便，市中心区对市郊经济辐射距离较远；③ 市郊区之间发生联系时，必须到中心区换乘站换乘，导致乘客走弯路	我国台北地铁
放射形环状		引导城市如手掌状向外延伸	① 整个路网连通性好；② 有效地缩短市郊间乘客利用轨道交通出行的里程和时间；③ 起到疏散市中心客流的作用	俄罗斯莫斯科地铁
棋盘式		引导城市较均匀地向外扩展	① 在内城区分布比较均匀；② 存在回路，结构连通性好，乘客换乘的选择较多；③ 能提供很大的运输能力，客流分布比较均匀；④ 二次换乘多；⑤ 无到市中心的径向路线，市郊到市中心出行不便	墨西哥地铁，我国广州地铁

<p>棋盘加环线形式</p>		<p>引导城市较均匀地向外扩展，环绕市中心的环线可以引导城市副中心的形成和发展</p>	<p>① 提高环线上乘客的直达性和减少换乘次数；② 改善环外平行线间乘客的换乘条件，缩短了出行时间；③ 减轻了市中心的线路负荷，起到疏散客流作用</p>	<p>我国北京地铁</p>
----------------	---	---	--	---------------

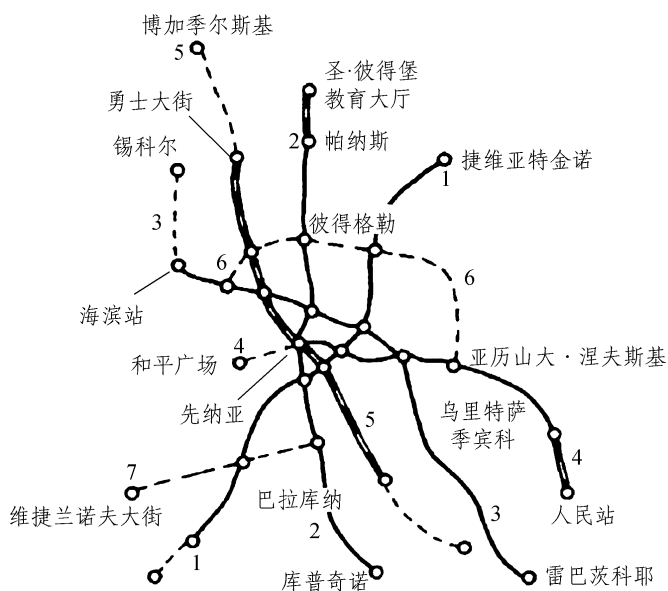


图 1.2 俄罗斯圣彼得堡放射形地铁网

注：1~7 为线路，虚线为未建成线路。

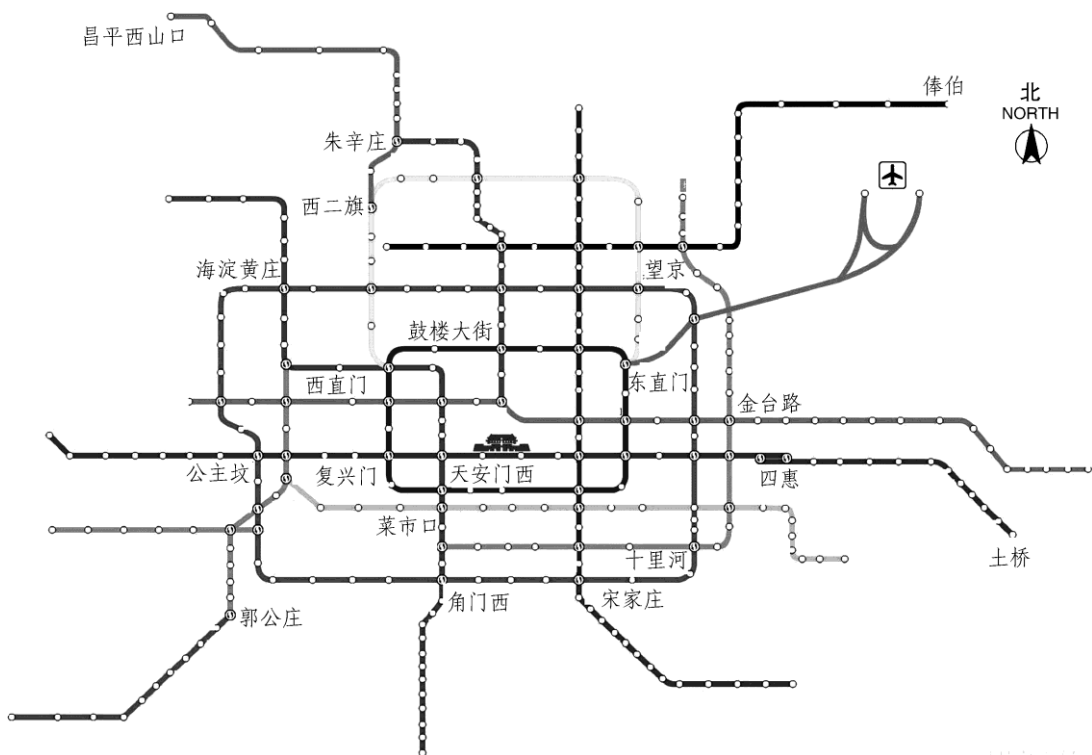


图 1.3 我国北京棋盘加环线形地铁网

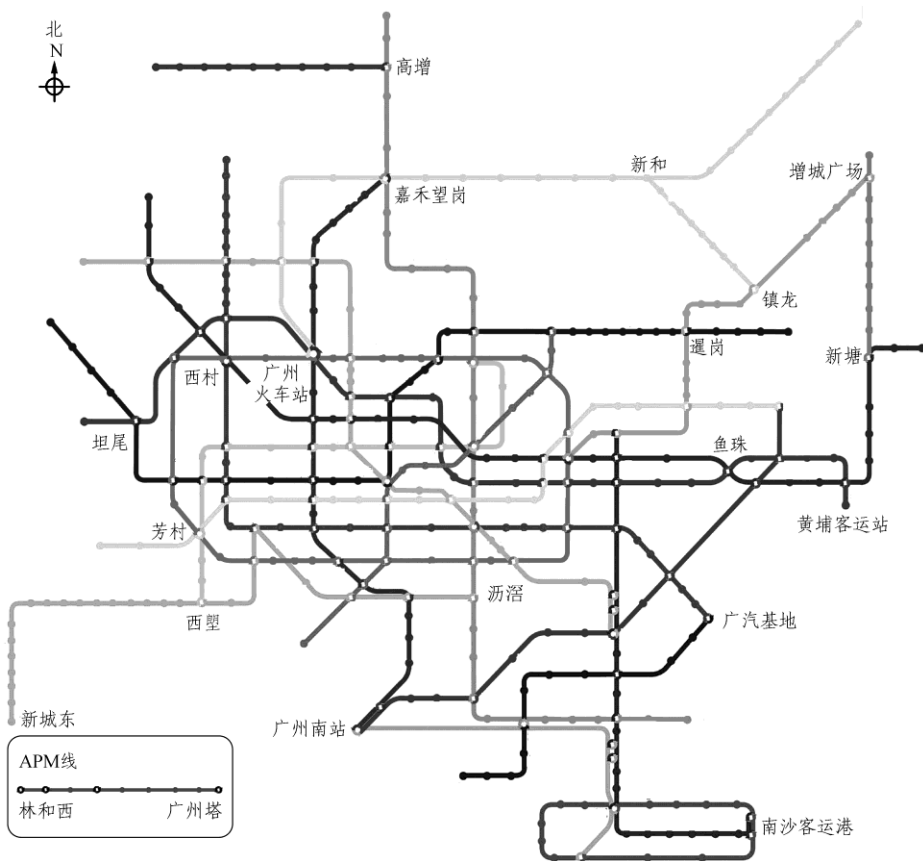


图 1.4 我国广州棋盘式地铁网

1.1.3 路网的组成

地铁路网中的每一条线路必须按照运营要求布置各项组成部分，以发挥其运营功能。路网通常由车站、区间隧道、折返设备、车辆段以及各种联络支线（渡线）组成，如图 1.5 所示。

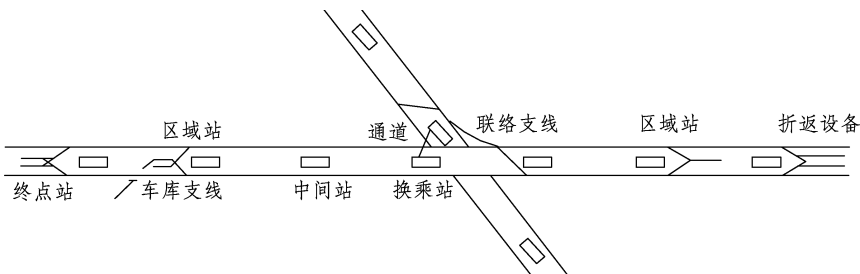


图 1.5 地铁线路网组成

1. 车站

(1) 车站分布影响因素

- ① (特) 大型客流集散点。

一般认为地铁上下车产生 3 万人次/h 或 20 万人次/d 及以上客流量的，称之为特大型客流集散点。(特)大型客流集散点往往是城市的政治、经济活动中心，是城市发展的窗口地段。该地段客流数量大、集中，对地面交通压力很大。地铁通过车站吸引这些客流能充分发挥自身的效能，并且对解决城市交通起到积极作用，所以地铁在大型集散点上必须设站。

② 城市规模大小。

城市规模大小包括城市建成区和规划区域面积及人口。城区面积大、人口多，线路上客流量大、乘距长时，地铁应以长距离乘客为主要服务对象，车站分布宜稀一些，以提高地铁乘客的交通速度。反之，车站分布宜密一些。

③ 城区人口密度。

我国地域辽阔，分布在南北东西各地的城市人口密度差异很大，如：2017 年北京常住人口密度为 1 323 人/km²，首都功能核心区人口密度 2.3 万人/km²；广州市常住人口密度为 1 530 人/km²（2019 年），其中广州市越秀区的常住人口密度为 33 754 人/km²。人口密度大，同样吸引范围内发生的交通客流量就大，因此车站分布宜密一些。

④ 线路长度。

一条线路的长度，短则几千米，短线路宜多设站，长线路宜少设站。

⑤ 城市地貌及建筑物布局。

城市中的江、河、湖、山和铁路站场、仓库区等，人口密度低甚至为无人区时可以不设站，但若有开发条件，则应在主出入口处考虑设站。

⑥ 地铁路网及城市道路网状况。

两条地铁线路交叉或地铁线路与城市主干道交叉时，为了乘客的方便，宜设车站。

⑦ 站间的合理距离。

我国规范规定：车站分布应以规划线网的换乘节点、城市交通枢纽点为基本站点，结合城市道路布局和客流集散点分布确定，车站间距在城市中心区和居民稠密区宜为 1 km 左右，在城市外围区宜为 2 km，超长线路的车站间距可适当加大。

除上述各因素外，线路平面、纵剖面、车站站位的地形条件，城市公交车线路网及车站位置，也会对地铁车站分布数目造成一定影响。

(2) 车站分类

车站是乘客上下车及换乘的场所，也是列车始发和折返的场所。按运营功能，地铁车站分为中间站、换乘站、区域站和始发（终点）站。

① 中间站。

中间站（即一般站），仅供乘客上下车之用，功能单一，是地铁最常用的车站。

② 换乘站。

换乘站是位于两条及两条以上线路交叉点上的车站。它除具有中间站的功能外，更主要的是客流还可以从一条线上通过换乘设施转换到另一条线路上。

线路交叉位置和两站换乘站台的平面位置一般有交叉 L 形、T 形和十字形三种组合方式（图 1.6）。上下车站站台间以阶梯连接，如图 1.6 所示。其中十字形交叉方式施工比较简单，但在两站的端部进行换乘时，增加了乘客不必要的步行，同时在站台上形成了拥挤

的步行人流，对客流疏散不利。

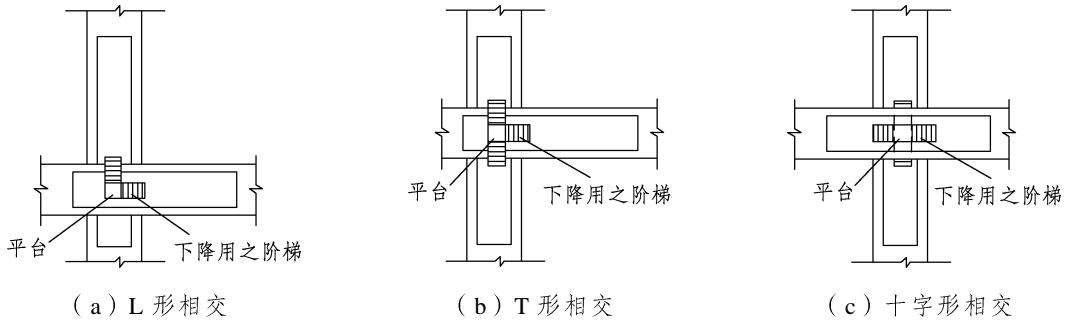


图 1.6 地铁换乘站的三种类型（垂直换乘方式）

在客流较大时，换乘的理想方案是采用平行型的换乘站，乘客只需走到站台的另一边或通过天桥地道即可换乘。但在车站前后的线路必须进行复杂的展线，并立体交叉，因此加长了线路，加大了坡度，增多了曲线，当线路夹角越大时，越复杂。平行型换乘站内均可设两个站台，两站台间以地道或天桥连接，如图 1.7 所示。

当车站位置较深时，可利用联合式的地面站厅或地下站厅来换乘。联合式地面或地下站厅用自动扶梯与两个车站连接，而在地面上只设一个共同出入口。如图 1.8 所示，这种换乘方式在深埋地铁车站中选用较多。

③ 区域站（即折返站）。

区域站是有折返线和设备的中间站，一般设在两种不同行车密度交界处，可根据客流量大小，合理组织列车运行。在两个区域站之间的区段上可增加或减少行车密度。

④ 终点站。

终点站是设在线路两端的车站。就列车上下行而言，终点站也是起点站（或称始发站）。终点站设有可供列车全部折返的折返线及设备，也可供列车临时停留检修。

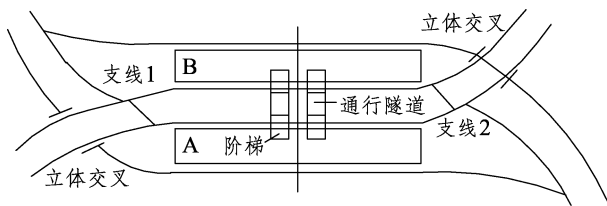


图 1.7 地铁平行型换乘站站台连接图

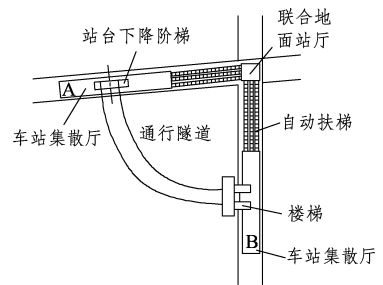


图 1.8 联合换乘站

2. 区间隧道

区间隧道供列车通过，内铺轨道，并设有排水沟，安装有牵引供电装置（接触轨——第三轨或架空接触线）、各种管线及信集闭设备。

3. 折返设备

折返设备有环形线、单线尽端线和双线尽端线。前两者只能供列车折返；后者可停放

列车，列车也可在此进行临时检修（应设检修坑）。折返线是指在线路两端终点站或中间站供运营列车往返运行时的调头转线及夜间存车用线，如图 1.9 所示。

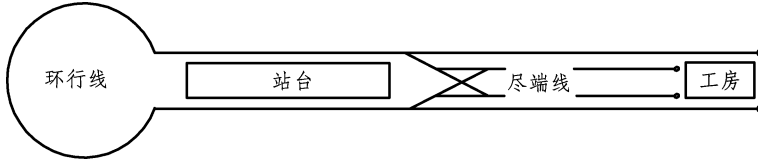


图 1.9 地铁折返线

折返线应根据行车组织交路设计确定，起、终点站和中间站折返站应设置列车折返线。折返线布置应结合车站站台形式确定，可采用站前折返或站后折返形式（图 1.10），并应满足列车折返能力要求。

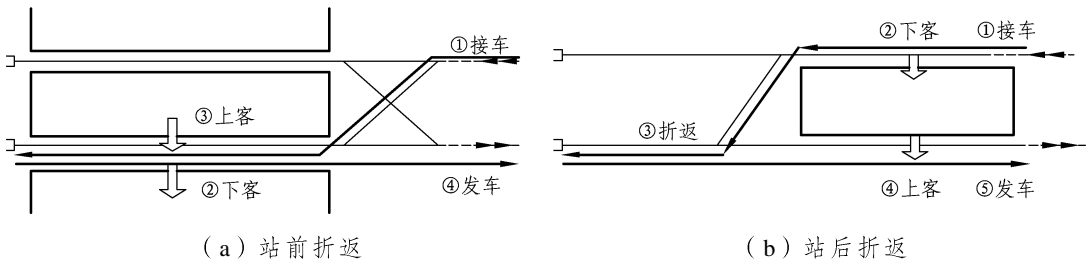


图 1.10 折返形式

4. 车辆段（车库）

车辆段（车库）规模根据该地铁所拥有的车辆数来决定。车辆段一般位于靠近线路端点的郊区，早上车辆向市中心发车，夜间收班向郊区入库。车辆段设有待避线、停留线、检车区、修理厂、调度指挥所和信号所等。

车辆段通过出入线与正线相连。出入线主要有两种典型形式（图 1.11）：一是车辆段出入线与正线为平面交叉，二是车辆基地出入线与正线为立体交叉。车辆基地出入线与正线为平面交叉时，连接简单，渡线短，工程造价低。它的主要缺点是平面有敌对交路，车辆段向正线取送列车的能力低，因此采用该出入线时要验算通过能力。当车辆基地出入线长时，可在道岔后部增设安全线，如图 1.11（a）中虚线所示，将出段列车预先行驶到安全线道岔前端待命。车辆基地出入线与正线为立体交叉时，出入段列车与正线列车没有敌对交路，取送列车能力大，使用灵活。通常将出入线与折返线合并设置，则使用更为方便，只是工程较复杂，造价较高。



(a) 车辆基地出入线与正线为平面交叉

(b) 车辆基地出入线与正线为立体交叉

图 1.11 车辆基地出入线的典型形式

5. 联络线

地铁路网中的每条线路（除支线外）都是各自独立运行的系统，为了使路网形成有机的整体，能机动灵活地调用路网中各线的车辆，因此需要设置联络线。联络线是指为沟通两条独立运营路线而设置的连接线，为两线车辆过线服务。

联络线一般采用单线，设置地点由路网规划研究统一安排。其设置位置（即设在两交叉线的哪一象限）应依据工程简单、施工干扰小、拆迁量少等原则选择。联络线的使用频率很低，正常情况下，一般每月经使用 1~2 次。图 1.12 是联络线的实例。

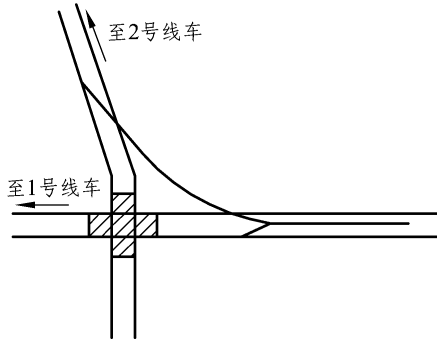


图 1.12 联络线的形式

6. 其他配线布置

停车线具备故障车待避和临时折返功能，停车线尾端应设置单渡线与正线贯通。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。

用道岔将上行线、下行线及折返线连接起来的线路称为渡线，有单渡线和交叉渡线之分（图 1.13）。渡线单独设置时，用来临时折返列车，增加运营列车调度灵活性；在与其他配线合用时，能完成或增强其他配线的功能。当两折返线（停车线）之间相距 5 个车站，且工程不复杂时，宜在中间端再设一单渡线，平时可增加维修工程车折返的灵活性，一旦线路及设备发生故障时，可使运营中断地段缩短。

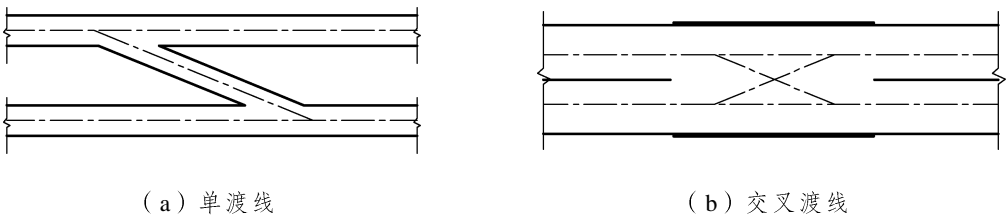


图 1.13 渡线结构

工作任务 1.2 地铁限界设计

限界是一种规定的轮廓线，这种轮廓线以内的空间是保证地铁列车安全运行所必需的

空间。隧道的大小和桥梁的宽窄，都是根据限界确定的，限界越大，行车安全度越高，但工程量和工程投资也随着增加。所以，要确定一个既能保证列车运行安全，又不增大桥隧空间的经济、合理的断面是制定限界的任务和目的。

1.2.1 地铁限界的种类与规定

地铁限界分为车辆限界、设备限界和建筑限界，如图 1.14 所示。

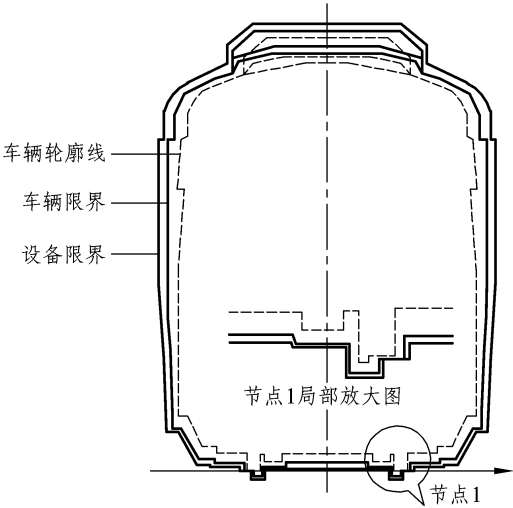
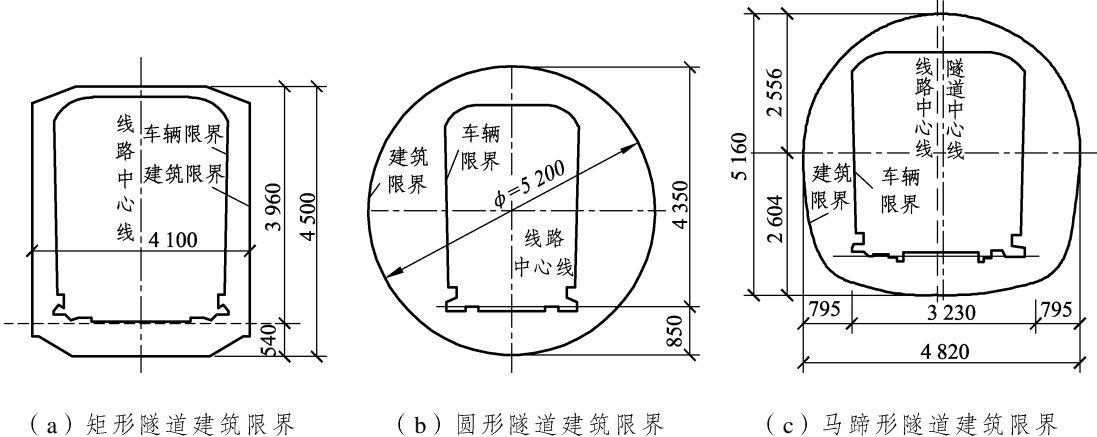


图 1.14 隧道内直线地段接触网受流车辆轮廓线、车辆限界和设备限界

① 车辆限界根据所处区域、地段分：按隧道内外区域，分为隧道内车辆限界和隧道外车辆限界；按列车运行区域，分为区间车辆限界、站台计算长度内车辆限界和车辆基地内车辆限界；按所处地段，分为直线车辆限界和曲线车辆限界。

② 设备限界按所处地段分为直线设备限界和曲线设备限界。

③ 建筑限界应分为隧道建筑限界、高架建筑限界、地面建筑限界。其中，隧道建筑限界可按工程结构形式分为矩形隧道建筑限界（明挖法）、圆形隧道建筑限界（盾构法）和马蹄形隧道建筑限界（矿山法），如图 1.15 所示。



(a) 矩形隧道建筑限界

(b) 圆形隧道建筑限界

(c) 马蹄形隧道建筑限界

图 1.15 隧道建筑限界 (单位: mm)

1.2.2 制定限界的基本参数

(1) 车辆的基本参数

各型车辆基本参数应符合本书导论中表 0.4 的规定。

(2) 限界的基本参数

① 接触导线距轨顶面安装高度: 地上线路接触线距轨面的高度宜为 4 600 mm, 困难地段不低于 4 400 mm; 车辆基地的地上线路接触线距轨面高度宜为 5 000 mm; 隧道内接触线距轨面的高度不低于 4 040 mm。

② 轨道结构高度符合表 1.2 的规定。

表 1.2 轨道结构高度

单位: mm

结构形式	轨道结构高度	
	正线、配线	车场线
矩形隧道	560	—
单线马蹄形隧道	650	—
单线圆形隧道	740	—
高架桥无砟道床	500 ~ 520	—
有砟道床 (木枕 / 混凝土枕)	700 ~ 950	580 ~ 625
车场库内	—	500 ~ 600

③ 区间限界列车计算速度应为 100 km/h, 过站限界列车计算速度应为 60 km/h。

④ 当区间设置疏散平台时, 疏散平台应符合表 1.3 的规定, 且疏散平台高度 (距轨顶面) 应不大于 900 mm。

表 1.3 疏散平台最小宽度

单位: mm

设置位置	隧道内		隧道外	
	一般情况	困难情况	一般情况	困难情况
单线 (设于一侧)	700	550	700	550
双线 (设于中央)	1 000	800	1 000	800

1.2.3 车站限界

(1) 车站直线地段建筑限界

车站隧道断面多为矩形和直墙拱形, 其限界见图 1.16。车站直线地段建筑限界应符合下列规定:

① 站台面不应高于车厢地板面, 站台面距轨顶面的高度应符合以下规定: A 型车应

为 $(1\ 080\pm 5)$ mm; B₁、B₂型车应为 $(1\ 050\pm 5)$ mm。

② 站台计算长度内的站台边缘至轨道中心线的距离,应按不侵入车站车辆限界确定。站台边缘与车辆轮廓线之间的间隙,应符合下列规定:当车辆采用塞拉门时采用 100^{+5}_0 mm;当车辆采用内藏门或外挂门时采用 70^{+5}_0 mm。

③ 站台计算长度外的站台边缘至轨道中心线的距离,宜按设备限界另加不少于 50 mm 安全间隙确定。

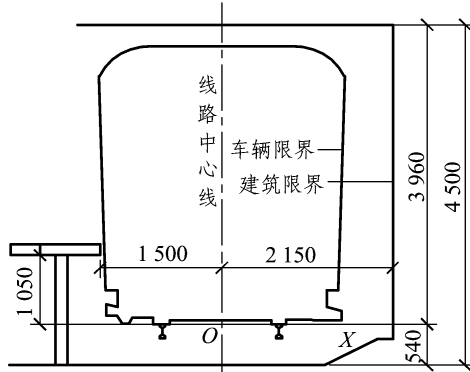


图 1.16 B₁、B₂型车辆的车站直线地段建筑限界(单位: mm)

(2) 车站曲线地段建筑限界

车站曲线地段建筑限界,都应在直线地段车站的各有关尺寸基础上根据平面曲线半径和是否设置超高进行加宽。曲线车站站台边缘与车厢地板面高度处车辆轮廓线的水平间隙不应大于 180 mm。

工作任务 1.3 地铁线路设计

1.3.1 线路平面设计

1. 技术标准

(1) 曲线半径

曲线半径(图 1.17)宜按标准从大到小合理选用。在实际工作中,最大半径一般很少超过 3 000 m。

400 m 以下的曲线半径轮轨磨耗大、噪声大,应尽量少用,尤其是位于两站中间时更应少用。因此曲线半径是修建地铁的一个主要技术指标。最小曲线半径的计算公式为:

$$R_{\min} = \frac{11.8v^2}{h_{\max} + h_{\text{qy}}} \quad (1.1)$$

式中: R_{\min} ——满足欠超高的最小曲线半径(m);

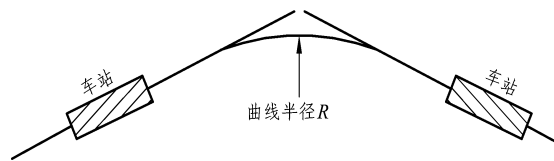


图 1.17 地铁曲线连接示意图

v ——地铁运行设计速度 (km/h);

h_{\max} ——最大超高, 取 120 mm;

h_{qy} ——允许欠超高, 一般取 $153a$, 即 61.2 mm, 其中 a 为当速度要求超过设置最大超高值时, 产生的未被平衡的向心加速度。我国现行规范规定 $a = 0.4 \text{ m/s}^2$ 。

根据目前我国地铁车辆运行情况, 规范规定的曲线最小半径如表 1.4 所示。

表 1.4 圆曲线最小曲线半径

单位: m

线 路	A 型车		B 型车	
	一般地段	困难地段	一般地段	困难地段
正 线	350	300	300	250
出入线、联络线	250	150	200	150
车场线	150	—	150	—

车站站台宜设在直线上。当设在曲线上时, 其站台有效长度范围的线路曲线最小半径应符合表 1.5 的规定。

表 1.5 车站曲线最小半径

单位: m

车 型		A 型车	B 型车
曲线半径	无站台门	800	600
	设站台门	1 500	1 000

折返线、停车线等宜设在直线上。困难情况下, 除道岔区外, 可设在曲线上, 并可不设缓和曲线, 超高应为 $0 \sim 15 \text{ mm}$ 。

(2) 曲线连接

在地铁线路上, 直线和圆曲线不是直接相连的, 它们之间需要插入一段缓和曲线, 如图 1.18。

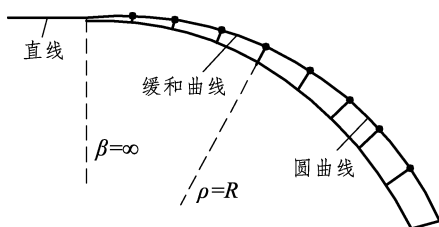


图 1.18 缓和曲线示意图

① 缓和曲线长度的计算。

缓和曲线长度应同时满足超高顺坡率的要求和限制超高时变率、保证乘客舒适度分析两个方面的要求进行计算。

从超高顺坡率的要求计算: 一般超高顺坡率不宜大于 2‰ , 困难地段不应大于 3‰ , 按此要求, 则缓和曲线的最小长度为:

$$L_1 = \frac{h}{3} \sim \frac{h}{2} \quad (1.2)$$

式中： L_1 ——缓和曲线长度（m）；

h ——圆曲线实设超高（mm）；

从限制超高时变率、保证乘客舒适度分析计算，则缓和曲线的最小长度为：

$$L_2 = \frac{hv}{3.6f} \quad (1.3)$$

式中： L_2 ——缓和曲线长度（m）；

v ——设计速度（km/h）；

f ——允许的超高时变率， $f = 40 \text{ mm/s}$ 。

将 $f = 40 \text{ mm/s}$ 和最大超高 $h_{\max} = 120 \text{ mm}$ 代入式（1.3）得 $L_2 = 0.84v$ ，因此缓和曲线的长度应满足上述二式。根据超高顺坡的要求，在一定的速度范围内，缓和曲线长度的计算方法为：

当 $v \leq 50 \text{ km/h}$ 时，缓和曲线 $L = h/3 \geq 20 \text{ m}$ ；当 $50 \text{ km/h} < v \leq 70 \text{ km/h}$ 时， $L = h/3 \geq 20 \text{ m}$ ；

当 $70 \text{ km/h} < v \leq 3.2\sqrt{R}$ （由 $R = \frac{11.8v^2}{H}$ 可得 $v = \sqrt{\frac{RH}{11.8}} = \sqrt{\frac{120}{11.8}}R = 3.2\sqrt{R}$ ）时， $L = 0.007vh \geq 20 \text{ m}$ 。

缓和曲线长度 L 值按上述公式计算求得，其计算按“2舍3进5，取5的整数倍”处理。

缓和曲线 L 的最小长度为 20 m ，这主要是考虑不短于一节车厢的全轴距而确定的。全轴距指一节车厢第1位轴至最后位轴之间的距离，目前我国地铁车辆的全轴距最大不超过 20 m 。

② 曲线半径的确定。

缓和曲线是为满足乘客舒适度要求而设置的，是否设置则视曲线半径 R 、未被平衡离心加速度的时变率 β 是否能符合不大于 0.3 m/s^3 的规定而确定。当设计速度 v 确定后，按允许的 β 值，由下式可确定不设缓和曲线的曲线半径 R ：

$$R \geq \frac{11.8v^3g}{1500 \times 3.5L\beta + Lvi g / 2} \quad (1.4)$$

式中： v ——设计行车速度（km/h）；

g ——重力加速度（ m/s^2 ），取 9.81 ；

L ——车辆长度（m），取 19 ；

β ——未被平衡离心加速度的时变率（ m/s^3 ），取 0.3 ；

i ——超高顺坡率（‰），取 $2 \sim 3$ 。

如最高速度为 $v = 100 \text{ km/h}$ ，取 $i = 2 \text{ ‰}$ 时， $R = 2384 \text{ m}$ ，即当速度为 100 km/h 时， $R \geq 2384 \text{ m}$ 就可不设缓和曲线，因此规范规定：在正线上当曲线半径等于或小于 3000 m 时，圆曲线与直线间应根据曲线半径及行车速度设置缓和曲线。复曲线上两圆曲线的曲率差大于 $1/2000$ 时，应设置中间缓和曲线，其长度应根据计算确定，但不应小于 20 m 。缓和曲线采用三次抛物线。

配线上是否设缓和曲线，无严格要求；联络线及车辆段出入线，一般应设缓和曲线；车场线上不设缓和曲线。

正线及配线上两缓和曲线尾端的圆曲线、不设缓和曲线的圆曲线，最小长度一般不应小于 20 m ；困难条件下，不得小于一个车辆的全轴距。

正线、联络线、车辆基地出入线上，两相邻曲线间，无超高的夹直线最小长度应符合表 1.6 的要求。道岔缩短渡线，其曲线夹直线可缩短为 10 m。

表 1.6 夹直线最小长度

单位：m

正线、联络线、出入线	一般情况	$\lambda \geq 0.5 v$	
	困难时最小长度 λ	A 型车	B 型车
			25

2. 线路平面位置选择

(1) 地下线平面位置

① 线路位于道路规划红线范围内。

地铁位于城市规划道路范围内，是常用的线路平面位置，对道路红线范围以外的城市建筑物干扰较小。图 1.19 为地铁线路的三种代表位置。图中的 A 位：地铁线路居道路中心，对两侧建筑物影响较小，地下管网拆迁较少，有利于地铁线路裁弯取直，减少曲线数量，并能适应较窄的道路红线宽度。其缺点是当采用明挖法施工时，破坏了现有道路路面，对城市交通干扰较大。B 位：地铁线路位于慢车道和人行道下方，能减少对城市交通的干扰和对机动车路面的破坏。C 位：地铁线路位于待拆的已有建筑物下方，对现有道路及交通基本上无破坏和干扰，地下管网也较少，但房屋拆迁及安置量大，只有与城市道路改造同步进行时，才十分有利。

② 线路位于道路范围以外。

在地质条件好、城市非建成区或广场或公园绿地(耕地)老街改造区等有利的条件下，地下线置于道路范围之外，可以达到缩短线路长度、减少拆迁、降低工程造价的目的。

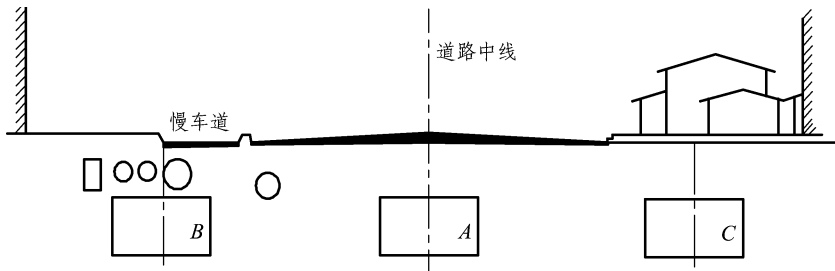


图 1.19 地铁线路设置位置示意图

(2) 高架桥平面位置

高架线路平面位置选择要比地下线严格，其自由度更少。一般要沿城市主干道平行设置，道路红线宽度宜大于 40 m。在道路横截面上，地铁高架桥墩柱位置要与道路车行道分别配合，一般宜将桥柱置于分隔带上，如图 1.20 所示。

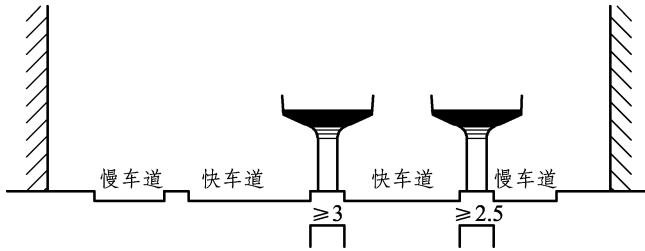
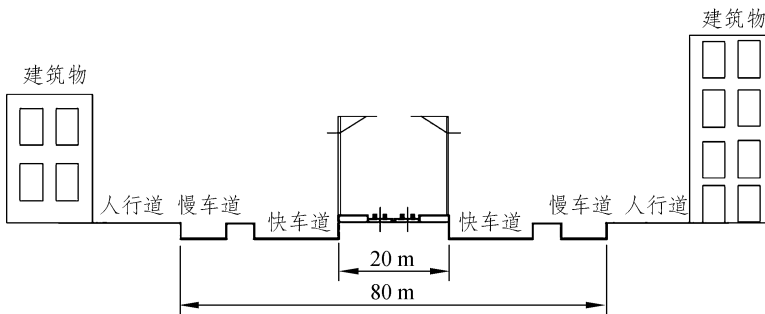


图 1.20 高架桥线路设置位置 (单位: m)

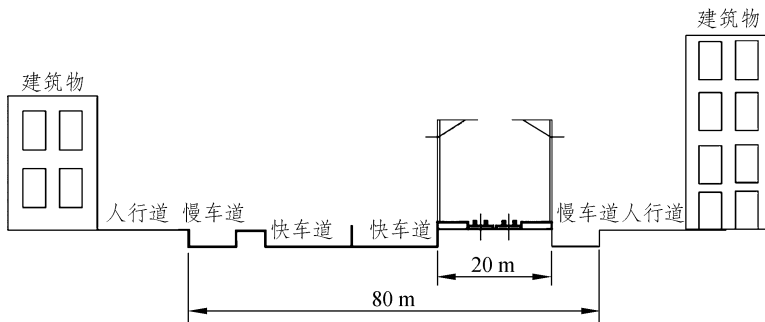
(3) 地面线平面位置

地面线位于道路中心带上, 带宽一般为 20 m 左右, 如图 1.21 (a) 所示。当城市快速路或主干道的中间有分隔带时, 地面线设于该分隔带上, 不阻隔两侧建筑物内的车辆按右行方向出入, 不需设置辅路, 有利于城市景观及减少地铁噪声的干扰。其不足处是乘客需通过地道或天桥进入地铁。

地面线位于快车道一侧, 带宽一般为 20 m 左右, 如图 1.21 (b) 所示。当城市道路无中间分隔带时, 该位置可以减少道路改移量, 其缺点是在快车道另一侧需要建辅路, 增加道路交通管理的复杂性。



(a) 地面线位于道路中心带上



(b) 地面线位于快车道一侧

图 1.21 地面线平面位置 (单位: m)

(4) 地铁与地面建筑物的安全距离

为了确保地铁施工时地面建筑物的安全, 地铁与建筑物之间应留有一定距离, 即安全

距离。安全距离与施工方法、施工技术水平有密切关系。采用放坡明挖法施工时，其距离应大于土层破坏棱体宽度。

(5) 线路位置比选

线路位置比选包括直线位置和曲线半径比选，比选内容为：

① 线路条件比选：包括线路长度、曲线半径、转角等。对于小半径曲线，在拆迁数量、拆迁难度、工程造价增加不多的情况下，宜推荐较大半径的方案；若半径大于或等于400 m，则不宜增加工程造价来换取大半径曲线。

② 房屋拆迁比较：包括拆迁房屋数量、质量、使用性质、拆迁难度等的比较，质量差的危房可以拆。住宅房屋易拆迁，办公房次之，工厂厂房难拆迁；学校、医院等单位，一般要邻近安置；商贸房屋的搬迁，在市场经济的条件下，拆迁难度大。

③ 管线拆迁比较：包括上下水管网、地下地上电力线(管)、地下地上通信电缆线(管)、煤气管、热力管等的数量、规格和费用、拆迁难度比较。大型管道改移费用高，下水管改移难度大。

④ 改移道路及交通便道面积比较：包括施工时改移交通的临时道路面积及便桥、恢复被施工破坏的正式路面及桥梁等。

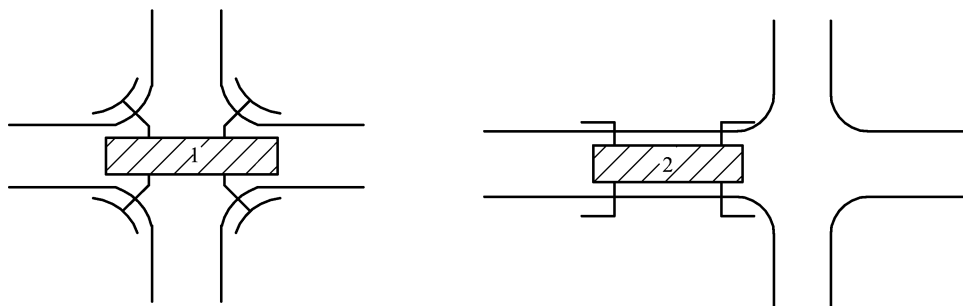
⑤ 其他拆迁物比较：不属于上述拆迁内容的其他拆迁。

⑥ 地铁主体结构施工方法比较：包括施工的难易度、安全度、工期、质量等方面的综合分析评价。

3. 车站站位选择

车站站位选择原则有：① 方便乘客使用；② 与城市道路网及公共交通网密切结合；③ 与旧城房屋改造和新区土地开发结合；④ 方便施工，减少拆迁，降低造价；⑤ 兼顾各车站间距离的均匀性。

一般车站按纵向位置分为跨路口、偏路口一侧、两路口之间三种，按横向位置分为道路红线内外两种位置选择，见图 1.22。



(a) 跨路口站位

(b) 偏路口站位

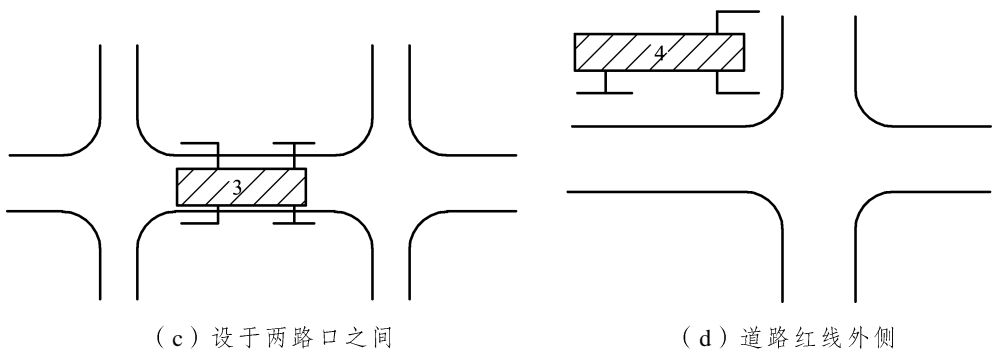


图 1.22 车站与路口位置关系

(1) 跨路口站位

跨路口站位如图 1.22 (a) 所示。这种位置的车站站位跨主要路口，并在路口的各个角上都设有出入口，乘客从路口任何方向进入地铁均不需过马路，提高了乘客安全性，减少了路口的人、车交叉，与地面公交线衔接好，乘客换乘方便。

(2) 偏路口站位

偏路口站位如图 1.22 (b) 所示。这种位置的车站不易受路口地下管线影响，减少了车站埋深，方便乘客使用，也减少了施工对路口交通的干扰和地下管线的拆迁，降低了工程造价。其缺点是乘客集中于车站一端，降低了地铁车站的使用效能，增加了运营管理上的困难。

(3) 站位设于两路口之间

站位设于两路口之间如图 1.22 (c) 所示。当两路口都是主路口且相距较近（一般小于 400 m），横向公交线路及客流较多时，可将车站设于两路口之间，以兼顾两路口。

(4) 道路红线外侧站位

道路红线外侧站位如图 1.22 (d) 所示。这种位置一般在有利的地形条件下采用。

4. 左右线路的位置关系

地铁线路不论是在地下、高架或地面，左线与右线一般并列于同一街道范围内。在左右线并列条件下，依照两线间距离的大小与轨面高差有各种组合形式。

(1) 左右线等高并列平行

左右线等高并列平行形式如图 1.23 所示。图 1.23 (a) 所示线间距离为 3.6 ~ 5.0 m，适用于区间矩形隧道结构、采用敞口明挖方法施工或顶管法施工的线路；图 1.23 (b) 所示线间距离在 11 m 及以上，适用于车站矩形框架隧道结构；图 1.23 (c) 为左右线分开，线间距离宜大于 $2D$ (D 为隧道开挖直径)，困难情况下，采取土壤加固措施后，最大可降至 $1.4D$ ，适用于单线单洞圆形或马蹄形隧道结构、采用盾构法施工或矿山法施工的线路。

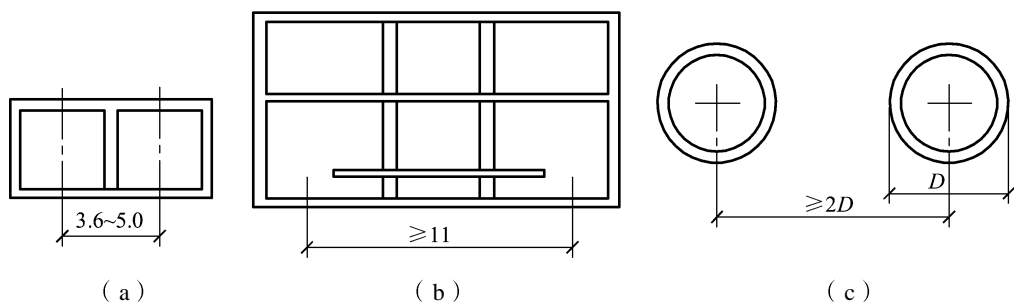


图 1.23 左右线等高并列平行的位置关系 (单位: m)

(2) 左右线上下重叠

这种形式明、暗挖法施工均可采用,适用于狭窄的街道下方布置线路,见图 1.24。

(3) 左右线既不等高并列平行,又不上下重叠,并保持一定距离

这种形式采用暗挖法施工,适用于较窄的街道下方布置线路。香港地铁港岛线常有这种线路布置形式,由于上下行站台不等高,增加了车站的提升设备数量和高度,对乘客使用也欠方便,见图 1.25。

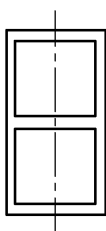


图 1.24 左右线上下重叠的位置关系

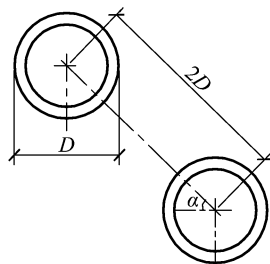


图 1.25 左右线上下错开的位置关系

1.3.2 线路纵剖面设计

线路纵剖面设计的一般原则: ① 纵剖面设计应保证列车运行的安全、平稳及乘客舒适坡段应尽量长; ② 线路纵剖面要结合不同的地形、地质、水文条件和线路敷设方式与埋深要求、隧道施工方法、地上地下建筑物与基础情况、线路平面条件等,进行合理设计; ③ 尽量设计成符合列车运行规律的节能型坡道。车站一般位于纵剖面的高处,区间位于纵剖面的低处。除车站两端的节能坡道外,区间一般宜用缓坡,避免列车交替使用制动和给电牵引。

1. 技术标准

(1) 最大坡度

① 区间线路。

地铁由于行车密度高和运量大,为保证行车安全与准点,其纵剖面设计原则要求列车在失去部分(最大可以达到一半)牵引动力的条件下,仍能用另一部分牵引动力,将列车从最大坡度上起动,因此最大坡度阻力及各种附加阻力之和,不宜大于列车牵引力的一半。

我国规范规定,正线上最大坡度不宜大于 30%,困难地段可采用 35%,在山地城市

的特殊地形地区，经经济技术比较，有充分依据时，最大坡度可采用 40‰；联络线、出入线的最大坡度宜采用 40‰。

② 车站线路及配线。

车站宜布置在纵断面的凸形部位上；车站站台范围内的线路应设在一个坡道上，坡度宜采用 2‰，当具有有效排水措施或与相邻建筑物合建时，可采用平坡；具有夜间停车功能的配线，应布置在面向车挡或区间的下坡道上，隧道内的坡度宜为 2‰；道岔宜设在不大于 5‰的坡道上，在困难地段应采用无砟道床，尖轨后端为固定接头的道岔，可设在不大于 10‰的坡道上。

(2) 最小坡度

对于最小坡度，由于排水的需要，规范规定宜采用 3‰，困难条件下可采用 2‰。

(3) 坡段长度

规范规定，线路纵向坡段长度不宜小于远期列车长度，同时应满足两相邻竖曲线间的夹直线坡段长度不宜小于 50 m 的要求。

(4) 坡段连接及竖曲线

规范规定，两相邻坡段的坡度代数差等于或大于 2‰时，应设圆曲线形的竖曲线连接，此要求比市郊铁路高，因为地铁的道床多为混凝土整体道床，其弹性变形量比碎石道床小得多。竖曲线的半径不应小于表 1.7 的规定。

表 1.7 竖曲线半径

单位：m

线 别		一般情况	困难情况
正 线	区 间	5 000	2 500
	车站端部	3 000	2 000
联络线、出入线、车场线		2 000	

车站站台有效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应符合表 1.8 的规定。

表 1.8 道岔两端与平、竖曲线端部的最小距离

项 目	至平面曲线端或竖曲线端	
	正 线	车场线
道岔型号	60 kg/m-1/9	50 kg/m-1/7
道岔前端/后端	5/5 (m)	3/3 (m)

2. 影响纵剖面设计的因素

纵剖面设计除考虑设计原则与标准、埋设方式、线路平面条件、结构类型外，下列因素也影响纵剖面设计，而且须在设计过程中逐一考虑。

(1) 覆土厚度

在浅埋地下线中，往往希望隧道结构尽量贴近地面，但受各种因素限制，因此需要确定最小覆土厚度。

(2) 地下管线及建筑物

一般以改移地下管线较为适宜。工作中可与市政有关部门协商,下水管线与地下线纵剖面设计矛盾最突出,是纵剖面设计的重点。

地铁车站(包括车站出入口、通风道等)上方的地下管线,其横越管线宜改至车站两端区间,平行管线宜平移出车站范围,以减小车站埋深。即使改移管线在经济上不太合算,也宜改移管线,以方便乘客出入和节省运营费。只有地下管线无法改移时,才考虑地铁车站加大埋深或移动站位。

(3) 地质条件

当地下线路遇到不良地质条件(主要是淤泥质黏土及流砂土层)时,应尽量考虑躲避;若躲避有困难时,应采取工程措施。

(4) 施工方法

地下线采用明挖法时,为减少土方开挖量,车站与区间线路埋深越浅越节省工程造价,线路纵剖面主要坡型是车站位于低位,区间位于高位,即所谓凹形坡。当采用暗挖法时,一般应选择较深的好地层,线路纵剖面主要是凸形坡,车站位于纵剖面高处。

(5) 排水站位置

地下线排水站主要是排除隧道结构渗漏水 and 冲洗水,设于线路纵剖面的最低点,困难条件下,允许偏离不超过 10 m。排水站位置受很多因素制约,区间排水站要选出水口的位置,为了检修,往往要求与区间通风道结合在一起;车站端部排水站受车站平面位置制约,至车站中心的距离往往是定数,因此纵剖面设计要考虑排水站的设置位置。

(6) 防洪水位

在有洪水威胁的城市中修建地铁时,纵剖面设计要满足防洪要求。地面线路基、地下线的各种出地面口部,应按 100 年一遇的洪水水位设计。



项目实战演练

项目实训 1.1 广州市轨道交通 11 号线线路设计实例

1. 线路概况

广州市轨道交通 11 号线起于新滘东路,经琶洲会展中心、员村、天河公园、华师、广州东站、云台花园、广州火车站、流花湖公园、荔湾湖公园、芳村、广州造船厂、逸景路,之后沿新滘路闭合形成环线(图 1.26)。线路穿越广州市主城区,串联广州市天河区、白云区、越秀区、荔湾区和海珠区,连接广州火车站、广州东站等大型交通枢纽,同时照顾芳村白鹅潭与员村城市设计,并与广州轨道交通 1、2、3、5、6、8、10、12、13、14、19、21 号线及广佛线换乘。

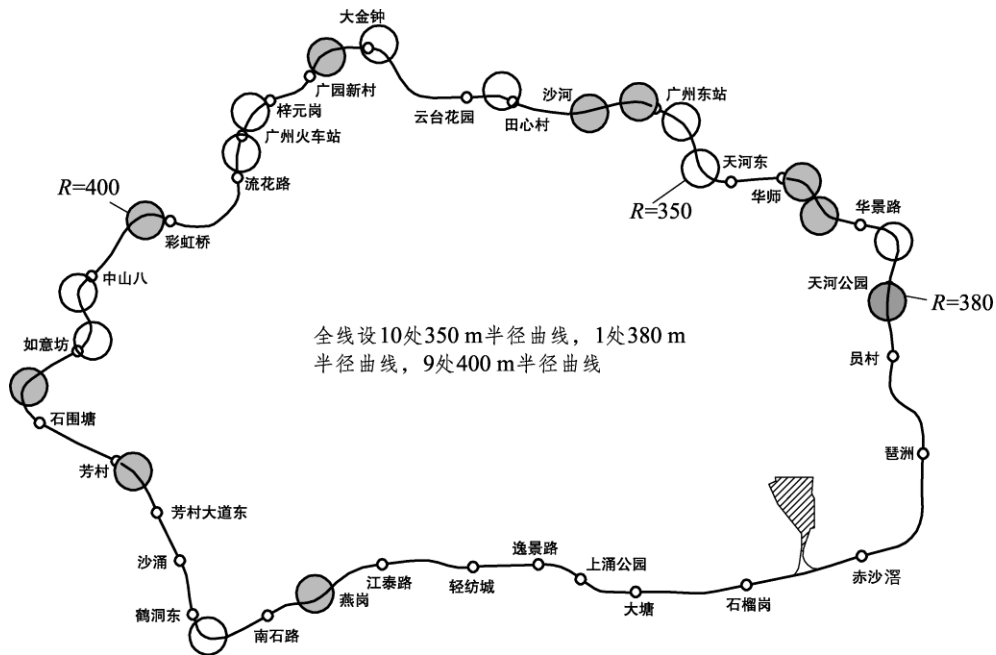


图 1.26 广州市轨道交通 11 号线工程平面示意图

线路全长 44.2 km,全部采用地下敷设方式,全线共设 32 座车站,平均站间距 1.38 km,最大站间距 2.41 km (赤沙滘—琶洲),最小站间距 0.63 km (大金钟—广园新村)。设置车辆段 1 座,位于黄埔涌的南侧,利用原赤沙车辆段及其西侧地块进行扩建。

11 号线设计速度为 80 km/h,采用 8 节 A 型车编组。

2. 工程地质与水文地质条件

11 号线主要的不良地质作用为地面沉降、岩溶、断裂、基岩风化不均及风化深槽、砂土液化和花岗岩与混合花岗岩球状风化体 (孤石)。特殊性岩土有填土、软土、残积土及风化岩。

线路沿线大部分地段地下水水位埋藏较浅,水位埋深为 0.60~7.20 m。线路沿线第四系孔隙潜水主要赋存在第四系砂层中,其补给主要靠大气降水和珠江水,砂层水排泄主要表现为大气蒸发及珠江退潮时向江河排泄,地下水水位受季节和江河潮汐的影响明显。

3. 线路主要技术标准

(1) 线路平面

列车最高运行速度: 80 km/h。

正线数目: 双线。

轨距: 1 435 mm。

线路平面的最小曲线半径不得小于本项目表 1.4 的数值。

缓和曲线: 线路平面圆曲线与直线之间应设置三次抛物线型缓和曲线;缓和曲线长度应根据曲线半径、列车通过速度及曲线超高设置等因素确定。

(2) 线路纵断面

11 号线正线线路的最大坡度按不宜大于 30‰设计，困难地段可采用 35‰设计；联络线、出入线最大坡度一般情况按 35‰设计，困难条件按不宜大于 40‰设计（均不考虑坡度折减值）。

11 号线的正线最小坡度按不宜小于 3‰设计；困难情况下在确保排水条件下，可采用小于 3‰的坡度设计。

11 号线车站有效站台长度范围内的坡度按宜为 2‰设计，困难条件下按不大于 3‰设计。

相邻坡段的坡度代数差等于或大于 2‰时，应设圆曲线型竖曲线连接，竖曲线半径按本项目表 1.7 的规定取值。

4. 线路设计方案比选

(1) 线路平面设计方案比选（广州东站段方案，图 1.27）

方案一：线路出沙河站后继续向东行进，下穿广州大道北高架桥后，沿禺东西路向东行进，下穿广州东站铁路股道后转向东南于广州站北侧、广园快速路高架桥南侧设置广州东站，之后线路再次下穿铁路股道转向南，沿天寿路西侧南行至天河北路转向东，在龙口西路东侧设天河东站。

方案二：线路出沙河站后继续向东行进，下穿广州大道北高架桥后，沿禺东西路南侧向东行进，后转向东南沿铁路股道南侧至广州东火车站南侧设置广州东站，出站后转向南沿天寿路西侧南行至天河北路转向东，在龙口西路东侧设天河东站。

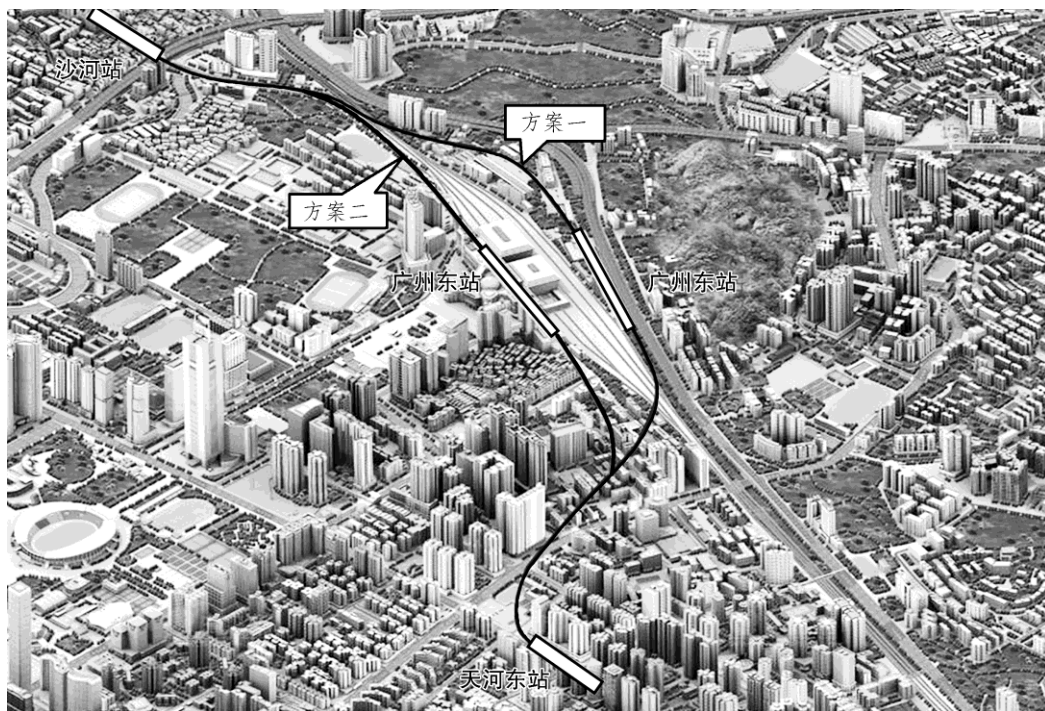


图 1.27 广州东站段方案现状示意图

以上两种线路方案的线位、站位综合比较详见表 1.9。

表 1.9 广州东站段方案综合比较

比较内容	方案一	方案二
路由	广州东站北侧路由	广州东站南侧路由
线路长度/km	3.3	3.1
广州东车站位	广园快速高架桥以南, 广州东站北侧	广州东站南侧
线路技术条件	采用两处 R-350 m 的半径	采用一处 R-350 m 的半径
穿越建构筑物的影响	沿线穿越大量房屋, 主要为东铁酒店、市公安局公交分局、珠委小区及水科院等	沿线穿越大量房屋, 主要为全圣大厦、解放军体育学院、广州东站南站房、东站招待所、林和新村、林和东小区、市公安局公交分局、珠委小区及水科院等
与 1、3 号线换乘关系	距离 1 号线换乘距离较远, 通道长约 220 m, 与 3 号线换乘距离较近	与 1、3 号线换乘距离较近
施工条件	沿线穿越大量房屋, 施工难度大	沿线穿越大量房屋, 施工难度大
结论	推荐	不推荐

(2) 线路纵断面设计方案比选 (广园新村站至梓元岗站区间方案, 图 1.28)

广园新村站至梓元岗站区间的纵断面方案为近似节能坡, 接近广园新村站的坡采用坡率为 25‰ 的下坡, 主要是纵向避让广州中医药大学校园的建(构)筑物。

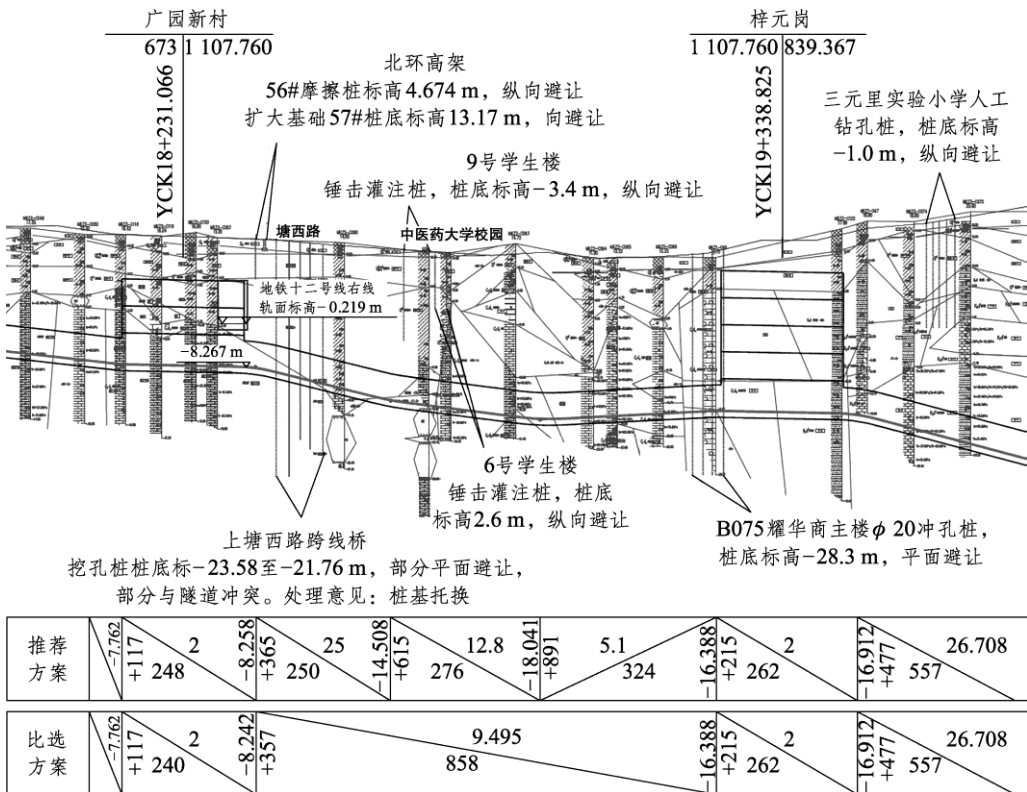


图 1.28 广园新村站至梓元岗站区间纵断面方案比选示意图

① 推荐方案：线路自广园新村站出站后，线路采用坡率为 25‰、坡长为 250 m 的下坡，接坡率为 12.8‰、坡长为 276 m 的下坡，然后接坡率为 5.1‰、坡长为 324 m 的上坡，到达梓元岗站。该方案左线与右线共消耗的牵引能耗为 103.070 kW·h。

② 比选方案：此方案采用单向坡，线路自广园新村站出站后，线路采用坡率为 9.495‰，坡长为 858 m 的上坡，到达梓元岗站。该方案左线与右线共消耗的牵引能耗为 110.551 kW·h。

综合上所述，推荐方案的总牵引能耗较比选方案减少 7.481 kW·h，百分比为 6.8%，见表 1.10。

表 1.10 广园新村站至梓元岗站区间纵断面能耗比较

方案	站间距/km	牵引能耗/(kW·h)	
		左线	右线
比选方案	1.108	70.224	40.327
推荐方案	1.108	65.811	37.259

项目实训 1.2 地铁区间线路设计

运用思维导图，绘制地铁线路设计（平面设计、纵断面设计）的主要内容及技术参数标准。



【思考题】

1. 地铁路网有哪些基本形式？
2. 说明地铁线路设计的阶段与各阶段的主要内容。
3. 什么是地铁限界？地铁限界的确定应考虑哪些因素？
4. 说明地铁线路平面设计的主要参数及要求，简述线路平面位置选择要点。
5. 说明地铁线路纵断面设计的主要参数及要求，简述影响地铁线路纵断面设计的主要因素。

【练习题】

1. (选择题) 扫描扉页在线开放课程二维码。
2. (计算题) 已知地铁通过曲线段最高运营速度为 75 km/h，外轨最大超高 120 mm，内轨最大欠高 61.2 mm，理论计算平面曲线最小曲线半径 R_{\min} ？

