



高等学校规划教材

# 地下工程

翁家杰 主编



煤炭工业出版社

# 前 言

为了反映当今世界地下空间开发的状况和技术发展,使从事地下空间资源开发的工程技术人员和相关院校师生开阔视野、拓宽专业方向,提供一本地下工程发展时代需要的教材,煤炭工业部科教司组织了本书的编写工作。

本书编写遵循的主要原则:

(1) 本书分上下两篇。上篇论述各种主要类型地下建筑物,侧重于工程规划与设计。下篇论述地下工程的典型施工技术,着重于施工工艺和参数计算。

(2) 力求内容全面、重点突出。着意介绍交通、能源和城市地下公共设施,同时将常用的施工技术加大了篇幅,突出了三基内容。

(3) 统筹考虑了有关专业的教学计划与主要专业课的内容,注意了教材的相互配合。 ●

本书的编者及其编写部分:

俞家杰: 前言、绪论, 第一章 地下铁道, 第二章 公路隧道;

顾大钊: 第三章 水底隧道, 第四章 地下电站;

张 铭: 第五章 地下燃料贮库, 第六章 城市地下综合体;

穆祥仁: 第七章 地下连续墙施工, 第八章 沉井法, 第九章 盾构施工技术;

孙跃东: 第十章 沉管隧道和第十一章 长距离顶管。

本书由俞家杰担任主编。

本书在编写过程中,得到了有关专家、教授的热忱支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

本书不足之处,敬请批评指正。

编 者

1994年4月

(京)新登字042号

### 内 容 提 要

本书分上下两篇。上篇6章介绍地下建筑主要类型的规划、设计,叙述了地下铁道、公路隧道、水底隧道、地下电站、地下燃料贮库和城市地下综合体的技术问题,并反映了国内外的现状与发展方向。下篇5章论述了地下工程的典型施工方法、施工工艺及主要参数的计算,突出了地下连续墙施工、沉井法、盾构施工技术、沉管隧道和长距离顶管技术的基础知识、基本技能和基本理论。

本书可供从事地下交通土建工程,地下建筑和隧涵工程以及矿山建设工程的设计施工人员和相关专业院校的师生参考。

高等学校规划教材

## 地 下 工 程

翁家杰 主编

责任编辑:张乃新

煤炭工业出版社 出版

(北京安内门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 787×1092mm<sup>1/16</sup> 印张12<sup>3/4</sup>

字数301千字 印数 1—2,315

1995年5月第1版 1995年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-1085-8/TD2

书号 3853A.0300 定价7.30元

# 目 录

绪论	1
----	---

## 上 篇

<b>第一章 地下铁道</b>	6
第一节 概述	6
第二节 地下铁道路网规划	9
第三节 地铁区间隧道、车站及其它设施	13
第四节 地下铁道施工方式	22
第五节 浅埋地铁隧道结构设计	26
<b>第二章 公路隧道</b>	38
第一节 概述	38
第二节 隧道线路	39
第三节 公路隧道通风	42
第四节 公路隧道照明	45
<b>第三章 水底隧道</b>	47
第一节 概述	47
第二节 水底隧道规划	48
第三节 隧道防水	52
第四节 海底隧道	54
<b>第四章 地下电站</b>	58
第一节 概述	58
第二节 地下水电站生产工艺及组成	60
第三节 地下抽水蓄能水电站	63
第四节 地下水电站隧道	64
第五节 原子能发电站	67
<b>第五章 地下燃料贮库</b>	69
第一节 概述	69
第二节 岩石中金属罐油库	69
第三节 岩盐洞式油库	71
第四节 废旧矿坑油库	72
第五节 地下水封石洞油库	73
第六节 软土水封油库	75
<b>第六章 城市地下综合体</b>	80
第一节 概述	80
第二节 地下街	81
第三节 地下商场	84
第四节 地下停车场	91

第五节 市政地下管道 .....	94
------------------	----

## 下 篇

<b>第七章 地下连续墙施工</b> .....	97
第一节 概述 .....	97
第二节 槽孔施工 .....	98
第三节 泥浆下灌注混凝土 .....	106
<b>第八章 沉井法</b> .....	111
第一节 概述 .....	111
第二节 沉井的结构与设计 .....	112
第三节 大断面沉井施工工艺 .....	119
<b>第九章 盾构施工技术</b> .....	129
第一节 概述 .....	129
第二节 盾构的基本构造 .....	131
第三节 盾构的分类 .....	142
第四节 盾构衬砌 .....	150
第五节 衬砌的内力计算 .....	159
第六节 地表变形及隧道沉降 .....	165
<b>第十章 沉管隧道</b> .....	168
第一节 概述 .....	168
第二节 沉管隧道设计 .....	171
第三节 管段制作 .....	174
第四节 管段沉放 .....	175
第五节 管段连接 .....	178
第六节 沉管的防水技术 .....	181
第七节 沉管基础处理 .....	182
第八节 沉管隧道实例分析 .....	184
<b>第十一章 长距离顶管</b> .....	187
第一节 概述 .....	187
第二节 顶管基本设备与工作状况 .....	188
第三节 中继环接力顶进 .....	191
第四节 触变泥浆减阻 .....	193
<b>参考文献</b> .....	197

# 绪 论

## (一)

当今世界，人类正在向地下、海洋和宇宙开发。向地下开发可以归结为：地下资源开发、地下能源开发和地下空间开发三个方面。地下空间的利用也正由“线”的利用向大断面、大距离的“空间”利用进展。

80年代国际隧道协会（ITA）提出“大力开发地下空间，开始人类新的穴居时代”的口号。顺应于时代的潮流，许多国家将地下开发作为一种国策，日本提出了向地下发展、将国土扩大十倍的设想。挪威相当于每百万人口拥有的地下设施的长度已达到19km，瑞典为9.5km，美国为4.2km，日本为2.8km，原联邦德国是0.8km。从某种意义上讲，地下空间的利用历史是与人类文明史相呼应的，可以分为四个时代：

第一时代 从出现人类至公元前3000年的远古时期。人类原始穴居，天然洞窟成为人类防寒暑、避风雨、躲野兽的处所。

第二时代 从公元前3000年至5世纪的古代时期。埃及金字塔、古代巴比伦引水隧道，均为此时代的建筑典范。我国秦汉时期（公元前221年至公元220年）陵墓和地下粮仓，已具有相当技术水准与规模。

第三时代 从5世纪至14世纪的中世纪时代。世界范围矿石开采技术出现。欧洲经历约1000年的文化低潮、建筑技术发展缓慢。

第四时代 从15世纪开始的近代与现代。欧美产业革命，诺贝尔发明黄色炸药，成为开发地下空间的有力武器。日本明治时代，隧道及铁路技术开始引进并得到发展。

现代地下工程发展迅速，各种典型工程著名浩瀚。到90年代初，世界已有近百个城市修建了地下铁道，线路总长达3000多km，各国开凿的铁道隧道，长10km以上的就有41条。我国大瑶山铁道隧道，长14295m，自1981年11月开始施工，于1987年5月建成。日本青函隧道连接北海道与本州、总长53850m、穿越津轻海峡、其海底长度达23.3km。青函隧道工程，自1939年开始规划，1946年实施调查，1971年正式施工、至1988年3月投入运营，经历了半个世纪，后期速度较快。英法海峡隧道总长50km，海底长度37km，已于1987年动工，94年5月投入运营。长度达250km的日韩隧道，连接日本福冈至韩国釜山，采用分段施工方案，需修筑人工岛、开凿立井。其第一条调查斜井已于1986年底动工。著名的公路隧道，如穿越阿尔卑斯山、连接法国和意大利的勃朗峰隧道和连通日本群馬县和新泻县的关越隧道，它们的长度均超过10km。各类地下电站迅速增长，其中地下水力发电站的数目，全世界已超过400座，其发电量达45亿瓦以上。地下电站的建设是个十分庞大的地下工程。原苏联的罗戈水电站，土石方量510万m<sup>3</sup>，混凝土用量160万m<sup>3</sup>，开凿的隧道、硐室294个，总长度达62km。世界各国修建了大量的地下贮藏库、其建造技术得到不断革新。目前城市地下空间的开发利用，已经成为城市建设的一项重要内容。一些工业发达国家，逐渐将地下商业街、地下停车场、地下铁道及地下管线等结为一体，成为多

功能的地下综合体。日本东京新宿副都心、大阪的梅田地下街，均达到现代化的建筑水准。

我国地下空间的开发和利用始于60年代。1965年北京建设地下铁道。一期工程自北京站至苹果园、24.17km，明挖法施工。二期工程为环线，于老城墙下修建，16.1km，浅埋明挖法施工。复兴门地铁车站及折返线，位于建筑物与地下管线密集的街区，采用了浅埋暗挖法施工。北京地铁复八线西单车站为三拱双柱、双层结构、岛式站台，采用了分步暗挖施工技术。60年代上海修建打浦路水底公路隧道。70年代，我国修建了大量地下人防工程，其中相当一部分目前已得到开发利用，改建为地下街、地下商场、地下工厂和贮藏库。80年代上海建成延安东路水底公路隧道，全长2261m，采用直径11.3m的超大型网格水力机械盾构掘进机施工。自1984年开工，1989年5月竣工通车，建成了当时世界第三条盾构法施工的长大隧道。同一时期，上海还建成电缆隧道及其它市政公用隧道等20余条隧道，总长达30余km。1985年至1987年，上海建成黄浦江上游引水隧道一期工程，日引用量达230万t，社会效益十分显著。人民广场地下车库的建成，其平面尺寸达176×146m，深11m。广州地铁、南京地铁等在此一时期进入设计与施工准备阶段，宁波开始了水底公路隧道的修建工作。90年代以来，我国城市地下的交通与市政设施加快了修建速度。上海地铁1号线，长约16km，南起锦江乐园、北至新客站，其南段已于1993年初开通。我国地下空间开发利用的网络体系开始建设，多在地表至-30m以内的浅层修筑地下工程。可以预见随着经济的发展，我国地下工程将进入蓬勃发展的时期。

## (二)

地下建筑是指建造在岩土中或土中的建筑物。广义来讲、它包括地下工程的全部内容，但是一般把矿井等地下构筑物排除，单指建造在地下的工业、交通、民用和军事建筑物。地下建筑有多种分类方法、常见的有：

### 1. 按地下建筑的功能分类

**工业建筑** 包括各类地下工厂、车间、电站等。

**交通建筑** 各种铁路和公路隧道、山岭与水底交通隧道，城市地下铁道。

**民用建筑** 地下商业街、地下商场、地下车库、影剧院、展览馆、餐厅、体育馆，以及一些公共建筑、人民防空工程。

**仓库建筑** 各种地下贮库，包括油库、气库、液化气库、热库、冷库、档案库、物资库、放射性废物库等。

**公用和服务性建筑** 地下自来水厂、污水处理站、给排水管道、热力和电力管线、煤气管道、通讯电缆管道等。

**军用建筑** 各种野战工事、指挥所、通讯枢纽、人员和武器掩蔽所、军火和物资库等。

### 2. 按地下建筑的存在环境及建造方式分类

地下建筑的存在环境，无非是在岩石中或在土中两类。

岩石中的地下建筑，包括利用和改造天然溶洞或废旧矿坑，以及新开凿的人工洞等。在改造并利用天然石灰岩溶洞方面，我国广西、云南、贵州、四川及湖南、湖北等省均积累了丰富的经验，节省了大量开挖岩石的费用和时间。



土中地下建筑，根据建造方式有单建式和附建式之分。所谓单建式是指地下建筑独立建在土中，在地面以上没有其它建筑物，附建式是指各种建筑物的地下室部分。单建式地下建筑，按照施工方法不同，又有掘开和暗挖两种。掘开式是从地面挖掘基坑，进行施工，而后再回填，一般为浅埋地下建筑。而暗挖一般是在较深的土层中，开挖需要的地下空间，通常称为深埋式地下建筑。

地下建筑与地面建筑相比，具有以下主要优点：

#### 1. 为人类的生产、生活及其它活动提供了广阔的空间

随着生产的发展、城市人口和范围的扩大，城市的地面建筑群林立，交通拥挤，公用和服务性建筑剧增，地皮价值不断提高。在这种情况下，地下便成为人类活动的良好空间。

#### 2. 为某些生产工艺提供适宜的环境

对于建造地下建筑最为有用的岩土特性是热稳定性和密闭性。这些特性对于要求恒温、恒湿、超净和防震环境的精密生产非常适宜。在地下比在地面上创造这样的环境容易、经济得多，不但造价低、而且节省运行费用。岩土的热稳定性使得地下建筑周围有一个比较稳定的温度场。这对于低温或高温状态下贮存物质非常有利。

#### 3. 对某些类型的地下建筑、具有明显的经济效益

一般地下建筑的造价、较同类地面建筑为高，因为它增加了大量的岩土工程量。但是，当地质条件适宜或施工机械化程度较高时，某些地下建筑比地面建筑经济。例如一些地下水电站、地下冷库的造价仅为地面的二分之一至十分之一。一些石油、液化气等液体燃料，如果直接贮存在大容积不衬砌的地下洞罐中，则不但造价比地面库低，且可节约大量钢材。另有一些地下建筑，其一次投资可能节约无几，但长期运行后则很经济。

#### 4. 具有良好的防护性能

一定厚度的岩层和土层、具有良好的防护能力，使处于其中的地下建筑可免遭或减轻空袭、炮轰、火灾、爆炸等造成的破坏。

地下建筑具有的优点显著，但也存在一定的局限性或不良因素。主要有：

(1) 施工条件困难。岩体、冲积层、地下水妨碍施工。因此一般工期较长，造价较高。

(2) 地下没有阳光、潮湿，比较闭塞。

这些局限性将随着生产力的提高和科学技术的进步，逐渐得到克服，以使地下建筑得到更大规模和更广泛的发展。

### (三)

地下工程是一门综合性的科学技术，其主要内容包括完成地下建筑所实行的规划、设计和施工。任何在岩石或土层中进行的地下工程施工，在工序上都包括了挖掘、衬砌和设备及管线安装的内容。软岩或土层中的地下施工常有土石方工程、钢筋混凝土工程和防水工程。

土石方工程包括场地平整、基坑与沟槽开挖、地坪填土、路基构筑以及基坑回填等工作。土石方工程受地区、水文和地质等条件影响很大，施工条件复杂。为此，施工前对土层的性质应有充分的了解，施工中应进行水的处理，防止塌方等事故发生。土石方工程的工程量大，是地下建筑的主要特点之一，因此应尽量采用机械化作业。

钢筋混凝土工程是一个综合性的施工过程。它无论在占有的工期、人力、物力和工程量方面均占有非常重要的位置。

防水在地下建筑施工过程和完成后的使用期内均十分重要。涌水会带来施工困难。结构完成后,如果存在渗水,内部的设备及物质会受潮、锈蚀或腐烂变质、影响正常的使用。地下水还可能侵蚀混凝土、锈蚀钢筋,直接影响了工程的安全和使用年限。对于常年埋设于地下水位以下的工程,在设计中应考虑防水措施,搞好防水层施工和及时修补堵漏是确保地下工程质量和使用的重要环节。

地下建筑如在岩层里,用钻眼爆破或机械破岩技术的矿山法开发地下空间比较普遍。土层内地下建筑的施工方法比较复杂,宜根据地质条件及现场实际状况加以确定。土层里地下建筑的主要施工技术有:

### 1. 人工帷幕墙技术

用板桩法、混凝土连续墙或冻结法等技术,均可在地下形成有一定强度的、隔水帷幕墙,以维护基坑开挖过程的土体稳定。

板桩通常用作挡土墙形式的连续或半连续的基坑支护。有木质、混凝土和各种型钢板桩,并具有多种断面型式。

地下混凝土连续墙技术于50年代初开发以来,经过推广与改进、现已在世界各主要工业国家中成为深基础及其它地下工程施工的一种重要手段。我国在50年代后期,首先在水库土坝施工中应用。其基本方法是以钻机钻进并连锁成孔,筑成混凝土桩排式或槽段式地下连续墙。70年代以来已从水利推广到煤炭、交通、城建等部门。‘七五’期间,上海地区完成地下混凝土连续墙工程22项,成墙面积达16.7万 $m^2$ 。上海地铁1号线11个地下车站、2段折返线的矩形暗埋段全部采用多支撑地下连续墙围护进行深开挖施工。地下连续墙的设计技术也有了新的突破。

冻结帷幕法是在开挖基坑和立井时,用人工冻结技术设置临时不透水的冻土帷幕,以防止地下水的渗入并支撑土体。冻结帷幕法可分为传统的盐水冻结法和液氮冻结法两类。

近年来,国外在修建地下结构时,特别是在紧急或抢险工程中,更多地使用了液氮冻结技术。1992年7~8月在上海地铁1号线南段的一个贯通工程中,液氮冻结在我国得到首次应用。液氮冻结设备简单、冻结温度低、在常压下其蒸发温度为 $-195.8^{\circ}C$ ,因此土层的冻结速度约比盐水冻结快10倍,液氮冻土的强度也较盐水冻结的冻土强度为大。

### 2. 降低水位法

在地下工程的开挖前或开挖过程,在基坑的周围设置井点,并不断抽水。这种方法使所开挖的土保持干燥,防止流砂现象的产生。可根据水文地质条件和其它因素,分别采用轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点和深水泵井点等。1952年,我国在上海将井点系统首先用于实际工程,国内最大的深井泵降水的深度已达到150m。

### 3. 沉井法

沉井法虽是一种古老的施工方法,但在现代地下工程和深基础施工中,均得到广泛应用。其独特的优点是:技术简单、无需特殊设备,挖土量及占地面积较小、造价低,沉井结构又可作为地下构筑物的围护结构、其内部空间可得到充分利用。

1944~1956年间,日本采用壁外喷射压气,即用气囊法降低井壁与土层之间的侧面阻

力,使沉井下沉深度超过百米,到60年代末70年代初,沉井下沉深度超过了200m。我国煤矿于1953年首次应用了普通沉井法。1979年单家村煤矿用泥浆淹水沉井创下沉深度192.75m纪录。

上海市隧道工程公司首创钻吸法沉井新工艺,并在延安东路隧道2号风井得到成功应用。1990年又首创了“中心岛式槽挖法”,采用此法在江湾东区泵房沉井施工中,周围地面沉降控制在1cm以内。

#### 4. 盾构法

盾构法是在土层中修筑隧道的一种施工方法。1818年发明,并于1925年首先在泰晤士河下修建世界第一条水底隧道。

随着19世纪下半叶工业革命后的进展,各种型式盾构相继出现,盾构法在世界各国得到了广泛的应用。在我国50年代末60年代初,开始采用盾构法施工隧道。1971年上海建成1.3km的打浦路隧道。随着交通工程、基础设施和能源建设的发展,上海地区大量采用盾构法施工。“七五”期间用盾构法掘进隧道20余条,总进尺达20km。1984年,延安东路隧道用直径11.3m的网格挤压型盾构施工,顺利穿越500m黄浦江底浅覆土层,于1987年准确进入1号风井洞口、盾构掘进计1476m。上海隧道工程公司研制的直径4.35m加泥式土压平衡盾构掘进机,用于电缆隧道施工,1988年1月开始掘进、当年9月贯通,穿越黄浦江全长534m。

#### 5. 沉管法

亦称为预制管段沉放法。先在隧址以外的预制场制作隧道管段,制成后拖运到隧址位置,并沉设于预掘的沟槽中。自50年代后期以来,沉管的水下连接的水力压接法与处理基础用的压浆法的发明,使城市道路水底隧道的建设进入了迅速发展阶段。目前世界各国的水底道路隧道的建设、大多数采用比较经济、合理的沉管法。

#### 6. 顶管法

水下长距离顶管是直接在地下水位以下长距离顶进管道的一种施工方法。采用这种方法敷设管道、无需挖槽或在水下开挖土方,并可避免为疏干和固结土体而采用降低水位等辅助措施,从而加快施工进度、降低造价,并能克服在穿越江河、通向湖海等无法降水的特殊环境下施工的困难。

顶管法问世一个世纪以来,其独特的优点使该施工方法在世界各国得到广泛应用。美国于1980年创造9.5h顶进49m的纪录。到目前为止用顶管法施工顶进距离超过500m的管道还只有德国、美国和我国。我国1981年完成的浙江镇海穿越甬江工程,直径2.6m管道,从甬江一岸单向顶进581m。

近年来,我国用钢质管道长距离顶进施工技术有了新进展,创造了一次顶进距离新纪录。1986年上海市南市水厂输水管道用钢质管道穿越黄浦江,单向1次顶进1120m。在此超千米顶管施工中,将计算机、激光、陀螺仪等先进技术,有机地结合应用。

# 上 篇

## 第一章 地 下 铁 道

### 第一节 概 述

自1863年伦敦建成世界上第一条地下铁道以来,世界各大城市的地下铁道有了很大的发展。特别是近30年来,地下铁道已经成为大城市交通的重要组成部分。从1863年到1963年的100年间,世界上共有20多个城市修建了地下铁道,而到1982年底已有80座城市有地铁运行(表1-1),到1990年全世界已有近百个城市运营或正在兴建地铁,其线路总长度达3000多公里。

目前,世界地铁总里程最长的城市,依次为纽约、巴黎、伦敦和莫斯科。纽约地铁交通网总里程为416km,其中地下部分232km,车站493个。伦敦为地铁工程的先驱城市,100余年不断发展。第二次世界大战期间,伦敦修建了16条隧道作防空掩体,每条隧道长427m、内直径5.03m,设计时就已考虑战后作为地铁快速干线的使用功能。呈蛛网状的莫斯科地铁线路网,有效地服务于城市的各个区域,目前约承担了该城市的公共交通客流量的50%。

我国地下铁道建设始于60年代。北京地下铁道于1965年7月1日开工修建,第一期工程全长22.4km、车站17座,于1971年投入运营。天津市于1970年动工,1980年地铁通车。香港地铁1975年开始兴建,1980年MIS (Modified Initial System) 系统全部完工并运营。全线长15.6km中包括了用沉管技术施工的1400m的过海隧道。随着经济建设的发展,我国城市交通日渐繁忙。以北京为例,80年代后期,城市全年客运量达25.75亿人次,平均每年增长10%~15%。目前,上海正在兴建第一条约16km长的南北地铁1号线。广州、南京等城市地铁建设正从规划走向现实。

地下铁道是现代化的交通工具,具有运送能力大、运行速度快、准点、安全、成本低、环境污染小等优点。地下铁道在地下构成独立的线路网,不受地面交通干扰和影响。现代地铁采用电动机车牵引,且备有良好的通风、通讯、自动信号等装置,这些都保证了车辆的安全高速行驶。平均车辆行驶速度为35~40km/h,最高可达90km/h,甚至100km/h以上。但是地铁建设在地下施工,条件困难、工期长,工程建设费用较地面高。

一般认为人口在100万以上的大城市,其单方向的每小时稳定的等候客流密度超过3万人时,以地铁作为城市的交通主体较为合理。但是究竟城市人口多少、客流量到什么程度才能建设地铁,目前世界并无统一标准,应根据城市的具体情况决定。原苏联早期的规范规定高峰小时单方向客流量达到6000人,就可以修建地下铁道,巴黎等城市定为8000人,华盛顿则为1万人。

表 1-1 世界各国地下铁道概况

国 家	城 市	轨 距	线路长度	地下线	车站数目	平 均	线路最大	曲线最小	开始通车
		mm	km	路长度		站 间 距	坡 度	半 径	
				km		km	%	m	
阿根廷	布宜诺斯艾利斯	1435	34	34	58	0.58	4	80	1913
澳大利亚	阿得雷得	1600	141	1.8	105	1.2	2.2	200	1981
	悉尼		5.8	4.2	6	0.97	3.3	160	1926
奥地利	维也纳	1435	31	16.9	34	0.852	3.8	300	1898
比利时	安特卫普	1000	5.1	5.1	5	0.53	0	18	1975
	布鲁塞尔	1435	37.5		19	0.66	6.2	100	1952
巴 西	里约热内卢	1600	16	16	.	0.73	4	500	1979
	圣保罗	1600	24.5	16.6	27	0.98	4	300	1974
加拿大	哀的类顿	1435	9	1.6	6	1.0	3	140	1982
	蒙特利尔	1435	46.8		51	0.89	6.5	140	1966
	多伦多	1435	56.9		59	0.769	3.45		1954
智 利	圣地亚哥	1435	35	20	35		4.8	400	1973
中 国	北 京	1435	23.6	23.6	17	1.4	2.4	250	1969
	天 津	1435	5	5	6	1.0	3	300	1980
	香 港	1435	26.1	20.2	25	1.1	3	300	1979
芬 兰	赫尔辛基	1524	11.2	4	9	1.1	3.5	300	1982
捷克斯洛伐克	布拉格	1435	20	20	23	0.68~0.90			1974
法 国	里 尔	2060	13.3	8.55					1982
	里 昂	1435	14	11.8	20	0.69	6.5	100	1978
	马 赛	2000,1435	9	6	12	0.6~1.0	5.5	150	1977
德 国	巴 黎	1440	190.8		359	0.54	4.36,4.08		1900
	柏 林	1435	116.8	98.7	133	0.77	4	50, 74	1902
	波 鸿	1000,1435	5.6	5.6	7	0.55			1979
	科 隆	1435	29.53		26	1.1			1968
	埃 森	1435	9.7	6.6	17	0.6			1977
	法兰克福	1435	56		61	0.7			1974
	汉 堡	1435	89.4	31	80	1.052	5	70	1912
	汉诺威	1435	95	11.4	59	0.68			1975
	慕尼黑	1435	32		37	0.86			1971
	纽伦堡	1435	14.9	8.86	22	0.685	4	100	1978
希 腊	雅 典	1435	25.84	3	21	1.36			1930
匈牙利	布达佩斯	1435	25.1		22	0.925	4	300	1896
以色列	海 法	1980	1.75	1.75	6	0.35	15.5		1959
意大利	米 兰	1435	47.1		57	0.59, 0.80			1964
	那不勒斯	1435	26.1	11.1	11				1925
	罗 马	1435	25.5	14.5	33	0.67	4	100	1954
日 本	福 岗	1067	5.8		17				1981
	神 户	1435	5.7	5.18	4	1.9	2.9	300	1968
	京 都	1435	6.9	6.9	8	0.94			1931
	名古屋	1435	52		53		3.5	125	1957
	大 阪	1435	90.9	78.3	73	1.1	3.5	120	1933
	札 幌	1435	33.1	28.42	33	0.953,1.08	4.3, 3.5	205	1972
	东 京	1067,1372	181.1	116.6	183	1.0	3, 3.5	300, 164	1927
		1435							
	横 滨	1435	12	12					1972
南朝鲜	汉 城	1435	23.7	14.3	17	1.39	4	100	1974

续表

国 家	城 市	轨 距 mm	线路长度 km	地下线 路长度 km	车站数目	平 均 站 间 距 km	线路最大 坡 度 %	曲线最小 半 径 m	开始通车 年 代
墨西哥	墨西哥城	1995, 1435	78.25	44.7	80	0.881	7	105	1967
荷 兰	阿姆斯特丹	1432	18	3.5	20	0.8~0.9	3.2	300	1977
	鹿特丹	1435	5		22	0.55~1.6	3	60	1968
挪 威	奥斯陆	1435	48.44	36.8	44	0.9			1928
葡萄牙	里斯本	1435	12.5	12.5	20	0.63	4	150	1959
罗马尼亚	布加勒斯特	1435	17.4		12	1.4		150	1978
西班牙	巴塞罗那	1674, 1435	60.4	54.6	86	0.62~0.78	4	150	1924
	马德里	1445	93.3	83	135	0.65	5	90	1919
瑞 典	斯得哥尔摩	1435	104	56	94	1.0	4	200	1933
原苏联	巴 库	1524	18.6	18.6	12	1.8	4	300	1967
	塔 林	1524	7.6	5.7	9	1.44			1981
	高尔基城	1524	9.6		8	1.37			1982
	哈尔科夫	1524	17.3		13	1.44	4	300	1975
	基 辅	1524	26.2		21	1.3	4	400	1960
	列宁格勒	1524	66.1	66.1	40	1.86	4	400	1955
	莫斯科	1524	184	166.7	115	1.84	4	300	1935
	塔什干	1524	15.42		12	1.5	4		1978
	梯比里斯	1524	18.8	16.4	16	1.25	4	400	1966
英 国	格拉斯哥	1220	10.4	10.4	15	0.710	6.25	104	1897
	利物浦	1435	146.4		98				1886
	伦 敦	1435	388	162	266	1.5			1863
	纽卡斯尔	1435	40.8	6.4	37	1.1	3.3	210	1980
美 国	亚特兰大	1435	21.9		17		3	230	1979
	巴的摩尔	1435	12.8	7.2	9	2.0	4	186	1982
	波士顿	1435	11.526	28.72	85	0.32~3.18	5	122	1898
	芝加哥	1435	145.2	16.3	140	1.1	3.5	27.4	1904
	克利夫兰	1435	30.6	0.8	18	1.8			1955
	底特律	1435	24.2	13.7	17				
	纽瓦克	1435	6.9	2	11				
	纽 约	1435	416.3	232.4	493	0.8~1.9	4.8	27.4	1904
	费 城	1435, 1581	62.08		66	0.48, 2.4	5	61	1908
	旧金山	1676	115	37.4	34	4	4	120	1965
	华盛顿	1435	68.2	39.8	47	2	4	198	1976
委内瑞拉	加拉加斯	1435	14		14	0.9	3.5	225	1980

## 第二节 地下铁道路网规划

地下铁道是城市建设的重要组成部分。因此，地铁线路网的规划应纳入城市发展的总体规划。地下铁道路网规划主要包括路网规模、走向、形式的确定，车站的间距、类型和埋深的决定，并进行线路设计。

### 一、路网规划原则

地下铁道路网规划应满足城市交通对地铁的要求，并考虑城市发展的远景，人口、交通运输量的增长趋势和城市的地面、地下建筑状况等因素。路网规划与建设应遵循的主要原则有：

(1) 地铁路网的基本走向应满足城市交通需要。路网应贯穿城市中心和城市人口集中区域及城市的重大枢纽，如城市中心区、居住区、工业区、事业区、商业区、游览区及体育场、火车站等。

(2) 充分利用城市道路网，地铁路网基本走向往往沿城市主要街道布置。这样，城市道路可为地铁提供工程场地，防止城市地面建筑与地下埋设物的过多拆迁，同时又满足了地铁线路通过城市交通客流量的集中地带的要求。

(3) 必须考虑到城市的发展远景，城区改造和郊区的发展，并考虑地铁与地面交通工具的分工、配合及衔接。

(4) 应根据技术水平和施工能力选线。充分研究城市地形、地貌、水文及地质条件和遭遇困难施工条件和通过河流、各种城市地下建筑和管线的可能性。

我国一些大城市的地铁线路的规划和建设实践体现了上述原则。北京市的总布局大体是旧城区为市中心区，三环路以内大部分为建成区，此外还有许多重点建设地区。目前北京地铁路网中环线46km、一线29km，主要沿三环路内的道路干线布置和建设。地铁的发展也要在总布局的基础上进行扩充。兴建的复兴门折返线、地处永定河冲积扇中部，地铁隧道洞身通过的地层为砂层、砾砂层，松散不稳定地层采用了注浆技术施工。

改革开放使广州的经济迅速发展。据1989年统计，广州市区的固定人口是1949年的2.8倍，另增加流动人口一百余万。市区机动车和自行车分别为40年前的182和63倍，形成了道路拥挤，交通事故率增高。广州市地铁经长期筹备，1984年纳入城市建设规划。广州地铁规划路网大部分线路均处在人口稠密、商业集中、道路狭窄、交通繁忙的市中心腹地。规划路网由东西线（1号线）和南北线（2号线）组成，呈十字线型。广州地铁路网规划情况见表1-2和图1-1。

### 二、地铁路网型式

根据国内外已建成的地铁线路，可将地铁路网归纳成以下几种主要型式：

#### 1. 单线式

仅在客运最繁忙的地段，重点地修一、二条线路，如意大利罗马和荷兰的阿姆斯特丹均采用此简单形式。

#### 2. 单环式

在客流量集中的道路下设置地铁线路并闭合成环，便于车辆运行和减少折返设备。英国格拉斯哥城市即建成这种形式。

#### 3. 多线式

表 1-2 广州地铁路网建设方案

建设期	起迄点	线路长度 km	站数(座)		备注
			普通	换乘	
I	芳村-广州东站	14.29	12	1	计划1993年开工 1997年开通
I	广钢-芳村	3.81	3		
	三元里-中山大学	10.43	10	1	
II	三元里-新市	3.32	3		
	中山大学-赤岗	4.06	3		
小计		35.91	31	2	
远期	赤岗-天河体育中心	5.40	4	1	
	天河体育中心-黄埔	22.10	11		

城市具有几条方向各异或客流量大的街道，可设置多线式线路网。这几条线路往往在市中区汇交，这样便于乘客自一条线路换乘至另一条线路，也利于线路的延长扩建。图1-2为美国波士顿路网示意图。

#### 4. 蛛网式

蛛网式路网由多线辐射状线路与环形线路组合，图1-3所示为莫斯科地铁线路网。莫斯科地铁由8条线路组成，其中3条贯通线、4条放射线、1条环形线，规划线路网总长度为200km。蛛网式路网的运送能力很大，可减少旅客的换乘次数，又能避免客流集中堵塞，减轻像多线式存在的市中区换乘的负担。

#### 5. 棋盘式

地铁线路沿城市棋盘式的道路系统建设而成。线路网密度大，客流量分散，但乘客换乘次数增多，增加了车站设备的复杂性。图1-4是美国纽约地铁的线路网示意图。

近年来，地铁的发展趋势是从地下隧道发展成架空线路与地面线路相结合的线路系统。地下铁道线路在城市中心区是地下隧道线路，而在城市边缘、近郊区或特殊地形地带则采用地面线路或高架结构线路。因此，地下铁道也有别的称谓，在纽约也称为“有轨公共交通线”(Mass Transit Railway)。华盛顿地铁全长157km，其中地下线77km、高架线13km、地面线67km。旧金山地下铁道全长114km，其中地下线、高架结构线路与地面线路各占约 $\frac{1}{3}$ 左右。

城市地下铁道的线路布局，目前尚无公认的理论 and 规定可循，在考虑原则的基础上，往往是根据城市的具体条件，因地制宜地加以布置。香港地铁是一项大而复杂的工程，其建设过程反映了科学决策在现代化交通建设工程中的应用。图1-5为香港地铁线路网示意图。MIS线路从香港岛的必打街过海隧道及旺角等站抵达九龙的观塘，全部线路长为15.6km，其中有2.8km为高架结构线路。该线由过海隧道将香港岛的主要商业、贸易中心与九龙的工业和住宅区联系起来，是城市交通客流的主要方向。香港另有荃湾线，从九龙向西北方向扩展，大体平行于海湾，线路共长10.5km。



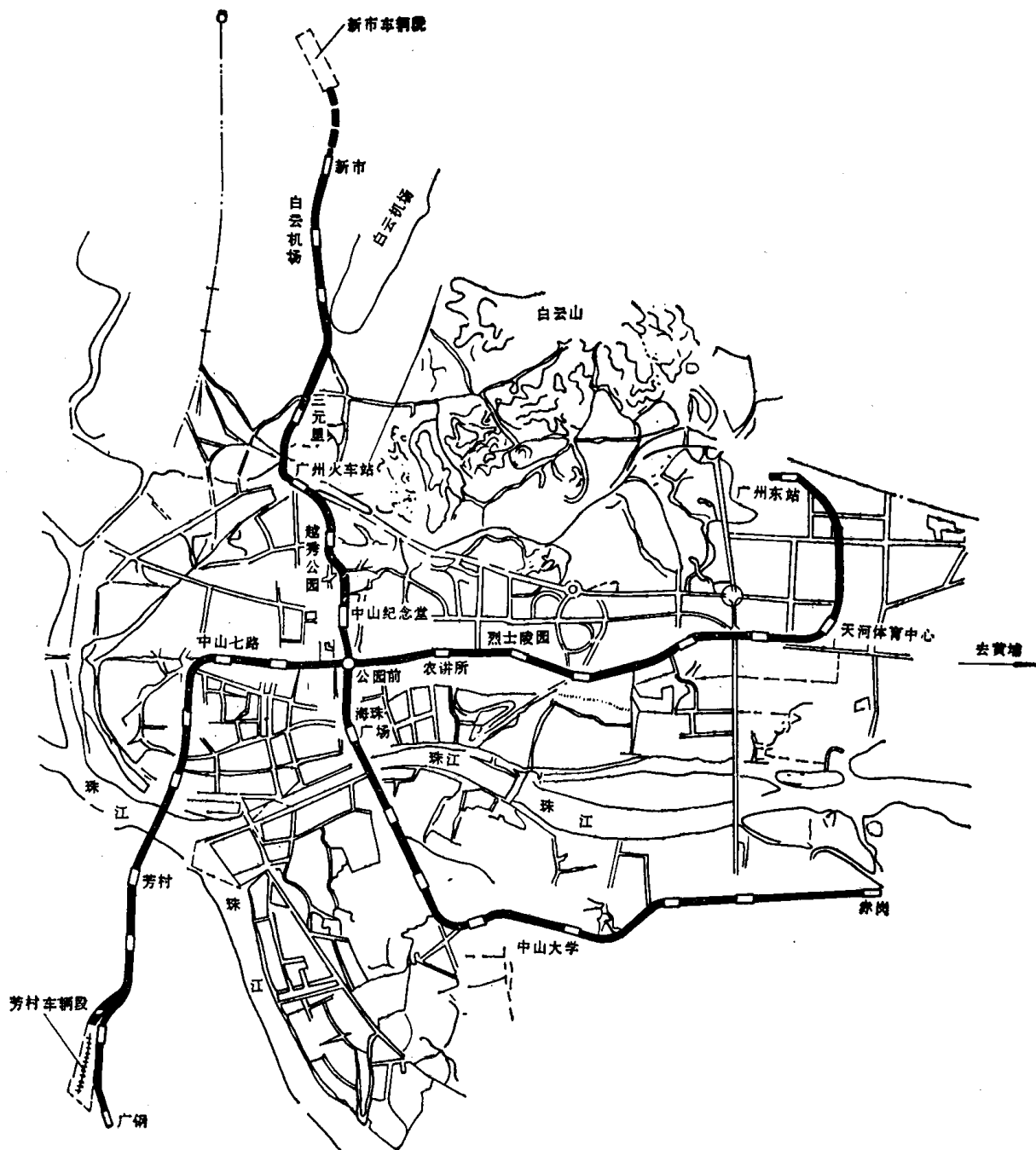


图 1-1 广州地下铁道路网规划

### 三、地铁埋深

地下铁道的埋设深度是指线路的轨面到地面的距离。一般以20m左右为界分浅埋与深埋两种。地铁的埋深对线路设计与施工影响很大。图1-6是不同埋深地铁的纵剖面状况。

浅埋地下铁道与深埋地下铁道相比，具有建筑造价低、运营费用省、防水性能好（采用现浇混凝土和外敷防水层）等优点。其主要缺点是因为车站处于线路低点，列车进站必须减速制动，出站必须爬坡。深埋地铁车站在高点，列车进站上坡自然减速、出站下坡可自然加速。地铁线路埋深的确定，受技术条件、地质情况及防护要求等因素的制约。在建