

新编高等院校教材



# 地下工程施工技术

DIXIA GONGCHENG SHIGONG JISHU

主编  
张彬  
郝凤山

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

# 地下工程施工技术

张 彬 郝凤山 主编

中国矿业大学出版社

## 内 容 简 介

本书为高等院校教材,系统讲述了地下建筑工程的施工技术、施工方法及施工组织。全书分为十一章,主要内容包括:隧道工程,地铁工程,地下工程掘进技术,围岩支护技术,辅助作业技术,地下水处理技术,注浆施工技术,深基坑开挖与支护技术和施工组织设计等。

本书可作为交通土建、地下建筑、岩土工程及矿山建设工程专业的教材,亦可作为相关工程技术人员的技术参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工技术/张彬,郝凤山主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.6

ISBN 978 -7 - 5646 - 0352 - 6

I. 地… II. ①张…②郝… III. 地下工程—工程施工—施工技术—高等学校—教材 IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 085227 号

书 名 地下工程施工技术

主 编 张 彬 郝凤山

责任编辑 杨传良 刘红岗

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 440 千字

版次印次 2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



## 前 言

随着城市化进程的加快,地下空间的开发与建设(地下建筑的规划与施工)已成为当今世界改善生存环境、缓解居住及交通拥挤、促进经济发展的主要途径之一。地下建筑工程的种类很多,如地下仓库、地下铁路、地下隧道、地下停车场、地下商业街、深基坑等。地下建筑工程施工方法很多,但有其共同的特点,均包含两大基本操作,即掘进(开挖)和支护(衬砌)。本书重点讲述地下工程施工的基本技术、地下水处理技术及施工组织与管理等。

本书以我国最新颁布的有关技术标准和规范为依据,力争反映地下建筑工程施工技术最新的科学技术成果,应用成熟的理论和方法,注重理论与实践的有机结合,突出实用性,使读者对地下建筑工程施工技术有比较全面的了解。

本书共十一章,张彬、郝凤山为主编,全书由张彬统稿。编写分工为:张彬(辽宁工程技术大学)编写第一章、第五章、第七章、第八章、第十章;郝凤山(辽宁工程技术大学)、谭广柱(辽宁工程技术大学)编写第四章、第六章、第九章;郑大为(辽宁工程技术大学)编写第二章、第十一章;赵文华(辽宁工程技术大学)编写第三章。冯研参与了部分章节的绘图及整理工作。

书中难免有错误或不当之处,恳请读者批评指正,以便修改完善。

编 者

2009年4月



# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 地下建筑工程概念及隧道简介.....	1
第二节 地下建筑工程简介.....	4
第三节 地下建筑工程施工的发展与展望.....	7
<b>第二章 隧道工程勘测设计概要</b> .....	10
第一节 隧道位置的选择 .....	10
第二节 隧道平、纵、横断面的设计 .....	16
第三节 隧道结构构造 .....	27
<b>第三章 地铁工程</b> .....	40
第一节 概述 .....	40
第二节 地铁规划设计要点 .....	42
第三节 线路 .....	44
第四节 地铁车站 .....	49
<b>第四章 地下工程掘进技术</b> .....	54
第一节 概述 .....	54
第二节 钻爆掘进技术 .....	56
第三节 掘进机掘进技术 .....	72
第四节 开挖方案及选择 .....	77
第五节 新奥法理论与实践 .....	83
<b>第五章 围岩支护技术</b> .....	88
第一节 概述 .....	88
第二节 构件支护法 .....	92
第三节 锚喷支护法 .....	95
第四节 模筑混凝土衬砌法.....	113
第五节 装配式衬砌法.....	124
<b>第六章 辅助作业技术</b> .....	131
第一节 出碴与运输.....	131
第二节 通风与防尘.....	138
第三节 给排水与供电.....	146
第四节 防水防潮综合治理.....	150



<b>第七章 地下水处理技术</b> .....	154
第一节 概述.....	154
第二节 人工降低水位法.....	159
第三节 板桩法 .....	163
第四节 冻结法 .....	166
<b>第八章 注浆施工技术</b> .....	175
第一节 概述.....	175
第二节 注浆堵水加固原理.....	177
第三节 注浆法基本参数.....	184
第四节 注浆帷幕厚度确定.....	189
第五节 注浆材料.....	194
第六节 注浆施工工艺简介.....	200
<b>第九章 其他施工方法及选择</b> .....	211
第一节 管棚法.....	211
第二节 盾构法.....	213
第三节 顶管法.....	227
第四节 沉管法.....	233
第五节 逆作法.....	241
<b>第十章 深基坑开挖与支护技术</b> .....	245
第一节 概述.....	245
第二节 深基坑支护理论.....	247
第三节 深基坑支护技术.....	250
<b>第十一章 施工组织设计</b> .....	259
第一节 概述.....	259
第二节 施工方案设计.....	264
第三节 施工进度计划设计.....	264
第四节 施工平面图设计.....	271
<b>附表</b> .....	274
<b>参考文献</b> .....	277



# 第一章

## 绪 论

### 第一节 地下建筑工程概念及隧道简介

一般地,将在地表或山体以下,为了达到各种使用目的(居住、商业、交通、生产、军事、业务、文体、贮存、物流等)而修建的各类建筑物或构筑物均称为地下建筑工程(简称地下工程),也称为“地下空间”。例如:铁路隧道、公路隧道、过江(河、海)隧道、城市地铁、地下街、地下停车场、基础工程、人防工程等均属于地下建筑工程。地下工程是涵盖了规划、勘测、设计、施工、管理、维修等的一项综合性应用科学技术,是土木建筑工程的一个分支。地下工程的规划、设计与施工需要运用工程测量、岩石力学、工程力学、工程设计、建筑材料、建筑结构、建筑设备、工程机械、技术经济及管理科学等学科知识,也需计算机应用及工程测试方面的技术知识。因此地下工程是一门涉及范围广泛的综合性学科。

由于受工程地质、水文地质条件的影响及作业空间与环境的限制,与地面建筑工程相比,地下建筑工程复杂多变,工程难度大、成本高、工期长,在特殊的工程地质与水文地质条件下更为如此。

隧道是将地下空间作为交通、物流通道的地下工程,是地下工程的主要类型之一。

#### 一、隧道的种类及其作用

隧道的种类很多,有多种分类方法,例如依据隧道所穿过岩土的性质可分为岩石(硬土)隧道和土质(软土)隧道;依据隧道的位置可分为山岭隧道、城市隧道和水底隧道;依据隧道的埋置深度可分为浅埋隧道和深埋隧道。

上述分类方法的实际应用不多,通常依据隧道的用途进行分类。

##### 1. 交通隧道

交通隧道作为运输通道,是克服平面障碍、充分利用城市地下空间的重要手段。依据其作用的不同可分为下列几种隧道形式:

##### (1) 铁路隧道

当铁路线路通过山区时,最简单的施工方法是绕行或抬高路基,但是有轨机车的运行受一定坡度和曲率半径的限制,当线路绕行或抬高不能满足行车要求或不合理时,往往选择隧道方案。隧道方案初期投资高、施工难度大,但是可缩短运营距离、减小坡度、改善运营条件,可取得较高的长期经济效益。

##### (2) 公路隧道



公路线路的限坡和曲率半径不如铁路线路要求的那样严格。为了降低初期投资,经济不发达国家宁可采用盘山绕行方案也不选择隧道方案。

### (3) 水底隧道

当行车线路与水路(江、河、海)交会时,桥或轮渡并不是唯一的可行方案,此时也可采取隧道方案,即水底隧道方案。水底隧道方案有架桥或轮渡方案所不可替代的作用:① 不受气候影响;② 不像架桥那样受高度制约;③ 战时不易暴露目标。

### (4) 城市地下铁路(简称地铁)

地铁是解决城市、特别是大中城市交通拥挤问题的有效途径,可将人员从地面疏散到地下从而减轻地面交通压力。同时,地铁还具有地面交通不可替代的人防功能。

### (5) 航运隧道

当运河需要穿越分水岭时,选择隧道方案是克服高程障碍的有效途径,即通过开凿隧道将分水岭两侧的河道连通起来。这样,既可以缩短航程,又可以节省船闸的费用。

### (6) 人行地道

在大中城市交通规划中,为了克服道路交叉路段人员拥挤的状况,可以采取人车分行的措施。空中可架设街心高跨桥,地下可建造人行地道。

## 2. 水工隧道

水工隧道是水利枢纽工程的一个重要组成部分,包括引水隧道、尾水隧道、导流(或泄洪)隧道及排沙隧道等。

### (1) 引水隧道

引水隧道分有压隧道(全部充水)和无压隧道(部分充水)两种。通过隧道将水引入发电机组,将水力资源转化为电力资源。

### (2) 尾水隧道

尾水隧道的作用是将发电机组排出的废水(乏水)送出循环系统。

### (3) 导流(或泄洪)隧道

导流隧道起疏导和补充水流的作用,并在溢流隧道流量超限时起泄洪作用。

### (4) 排沙隧道

排沙隧道用于冲刷水库中淤积的泥沙,并将其裹带送出水库。在水库内的建筑或设备需要检修时,排沙隧道也用于排空水库内的水。

## 3. 市政隧道

市政隧道是指安置各种市政设施的各种孔洞,也称地下孔道。常见的市政隧道有:给水隧道、污水排放隧道、管路(煤气、暖气、热水等)隧道、线路(动力电缆和通讯电缆)隧道等。如果将上述各类隧道合并为一个大型的综合隧道,则称其为“共同沟”。另外,人防工程中的隧道工程也属市政隧道范畴。

## 4. 矿山隧道

矿山隧道也称矿山井巷,它是地下开采、运输、通风、排水等各类孔洞的总称。矿山隧道是一个庞大的、复杂的系统工程,工期长、施工难度大,最大埋深可达千米以上。

矿山隧道一般由井筒(立井、斜井或平硐)、平巷和各类硐室组成,矿山井巷系统如图 1-1 所示。



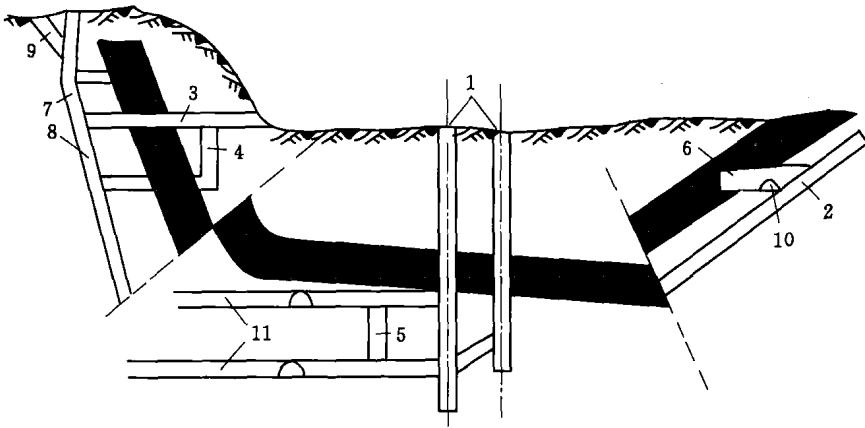


图 1-1 矿山井巷系统图

- 1——立井;2——斜井;3——平硐;4——暗井;5——溜井;6——煤门;7——上山;  
8——下山;9——风井;10——岩石平巷;11——运输大巷

## 二、交通隧道的现状与发展

隧道是最早的地下建筑工程之一,它的产生和发展离不开人们对自然界的认识、社会的进步和生产水平的提高。古代隧道都是修筑在可以自身稳定而无需支撑的岩层里,靠人们的双手和原始的简单工具挖掘而成,一条隧道往往需要十几年或几十年的时间才能完成。有记载最早完成的隧道是公元前七百多年,最早用于交通的隧道(史书称“石门”)产生于公元前 66 年。火药首先应用于地下采矿,之后引入隧道施工,即用钻爆的方法取代人工挖掘,大大提高了掘进速度。随着建筑材料的发展,支护方式也由无支护、砖石砌筑结构发展到模筑混凝土衬砌、锚喷支护。铁路交通的兴起,推动了铁路隧道的发展。1826~1830 年,在英国利物浦至曼彻斯特铁路线上修建了第一条供蒸汽机车牵引车辆通过的隧道,全长 1 190 m。之后,陆续完成了更多的铁路隧道,1857~1871 年间,修建了连接法国和意大利的仙尼斯隧道,全长 12 850 m;1898 年意大利又修建了辛普仑隧道,长达 19 700 m;1971 年日本新干线上修建了大清水隧道,全长 22 230 m,是目前世界上最长的铁路隧道。

除了山区的铁路隧道以外,又修建了一些在城市附近跨河(海)的水底隧道。美国修建的宾夕法尼亚东河水底隧道长 7 190 m。日本修建的新关门隧道长达 18 675 m;修建的自本洲青森至北海道的函馆间的青函海底隧道全长达 53 850 m,其海底部分就长达 23 300 m,是目前世界上最长的水底隧道。

同样,汽车交通事业的进步也推动了公路隧道的发展,世界各地相继出现了不少的公路隧道。奥地利修建了阿尔贝格公路隧道,长达 13 980 m;瑞士修建了圣哥达公路隧道,长达 16 285 m,是目前世界最长的公路隧道。

建国以来,我国隧道工程经历了从修复、改扩建到新建的发展过程。1952 年修建沙丰一线,线路通过险峻的山区,需要构筑密集的隧道,该线全长 100.6 km,共有 56 条隧道。隧道总长为 27.03 km,占全线长的 27%。之后,在宝成线上修建了总长 84.4 km 的 304 条隧道。其中在三个马蹄形和一个“8”字形的复杂展线区段,就集中了 48 条隧道,占全线长的 37.7%,成为以隧道克服山区高程障碍、完成复杂展线的典型范例。



在我国有 8 600 多条铁路、公路隧道,总长度约 4 370 多千米,居世界第一。我国已成为世界上隧道最多、地质条件最复杂、隧道技术发展最快的国家。我国目前最长的隧道是铁路线上的秦岭隧道,全长 18.46 km。双向分离式四车道的终南山隧道是世界第二、亚洲第一的公路隧道。我国隧道施工技术水平已接近国际先进水平,部分已达到国际先进水平。

我国是一个多山的国家,山区面积约占国土总面积的 1/3,交通总里程与发达国家相比还有相当大的距离,远远不能满足经济发展的需要。因此,隧道工程在社会发展和经济建设中的作用与地位是显而易见的。

### 三、隧道工程施工的基本理念

根据作者的体会,针对目前存在的问题,隧道施工的要点归纳起来就是四句话:“爱护围岩”、“内实外美”、“重视环境”和“动态施工”,这也是隧道施工的四大理念。

所谓“爱护围岩”有两层含义:一层含义是不损伤或少损伤遗留围岩的固有支护能力,这可以通过采用机械开挖技术和控制爆破技术予以解决;另一层含义是通过各种手段和方法,如采用支护技术、加固或预加固技术以及各种辅助施工技术增强围岩的支护能力等。这些技术形成了隧道施工的核心技术。

所谓“内实外美”,关键是内实。而内实的关键就是要做到“四密实”,即混凝土密实、喷混凝土密实、喷混凝土与围岩密实、二次衬砌与初期支护密实。这牵涉到混凝土、喷混凝土、回填、支护接触等技术。

所谓“重视环境”,也有两层含义:一层含义是指内部环境,即施工作业环境;另一层含义是指外部环境,即周边环境的影响。重视环境是时代的要求,许多环境技术都是因时代的变迁而得到发展,许多基准都是因环境的要求而制定的。

根据暴露出来的围岩状态来采取对策,是隧道施工的基本原则。这里所谓“动态施工”是指,隧道施工过程中的地质条件是不断变化的,其力学状态也是不断变化的,因此,施工过程就不可能是一成不变的。我们在施工过程中采用的各种施工方法和技术都是为了适应这种“变化状态”的。因此,隧道施工的各种决策都要在施工阶段的地质勘察技术、施工阶段的测量技术和施工阶段的质量控制技术的基础上进行管理。这也是动态施工的基本含义。

## 第二节 地下建筑工程简介

### 一、开发地下空间的必要性

随着科学技术的进步、社会经济的不断发展,城市人口剧增。例如,1950 年我国的城市数为 132 个,其中人口达到百万人以上的大城市为 5 个;到 2002 年城市数已发展到 660 个,城市人口达到近 3.6 亿,人口密度达 760 人/km<sup>2</sup>。百万人以上的大城市已发展到 31 个,这当中人口已达到或超过 500 万的特大城市占 1/5 以上。

城市的发展及人口密度的急剧增加,导致城市用地及能源的短缺,空间拥挤、交通堵塞、城市污染等一系列“城市”问题尤为突出。因此,开发地下空间是挖掘人类生存空间的必经之路。另外,地下空间具有如下独特的优点:

- ① 能避开现代化工业和城市交通发展所带来的各类污染;
- ② 节省土地,不占用或少占用地上空间;
- ③ 能形成理想的空間气候环境;



- ④ 具有较高的防灾性能；
- ⑤ 节约能源。

## 二、几类常见地下工程简介

### 1. 地下街

修建在大城市繁华的商业街下或客流集散量较大的车站广场下,由许多商店、人行通道和广场等组成的综合地下建筑统称为地下街。习惯上,按其功能可将地下街分成三大类,即交通类、购物类和停车类。

日本是地下商业街最发达的国家,在全国 17 个城市中共拥有 76 条地下街,总面积约为 81.8 万  $\text{m}^2$ ,其中最大的地下街是东京八重州地下街,面积为 6.8 万  $\text{m}^2$ ,拥有商店 215 家,其横断面结构如图 1-2 所示。以东京车站为中心的地下街网,总延长近 6 km,有 141 个出入口,与 51 座大楼相连通,每天通行人数达 300 万人以上。

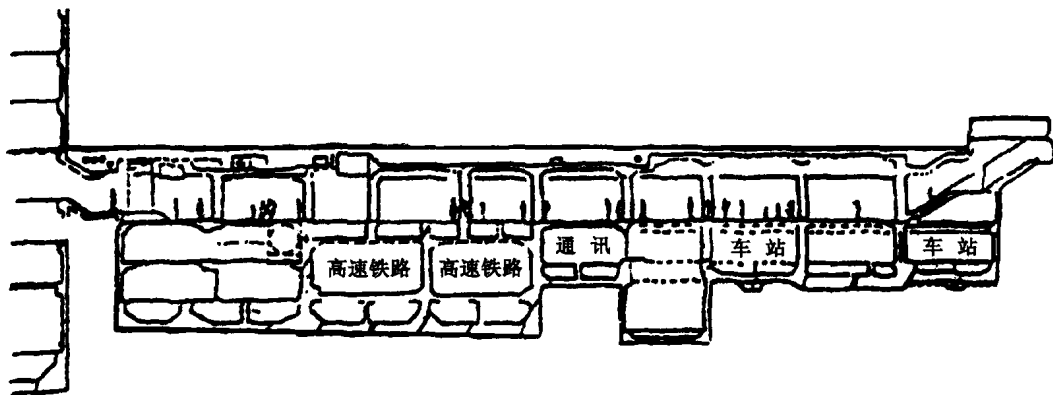


图 1-2 日本八重州地下街结构示意图

法国、英国等欧美国家也正在修建地下街,例如加拿大最大城市蒙特利尔,已规划出以地铁车站为核心,修建连接城市 2/3 设施的地下街网。我国的大城市均在开发建设地下商场、地下商业街和地下过街通道;因起步晚,在开发建设数量、规模及使用功能上远不能满足城市发展的需求,发展潜力很大。

现代地下街正从单一功能的过街通道、地铁商店、地下商店街等向集地铁车站、商店、广场、车库、人行地道、共同沟、事务所等设施为一体的大型地下综合体——地下城方向发展。

### 2. 共同沟

共同沟是指容纳通讯、电气、煤气、上下水道等两种以上管线的地下综合管廊,图 1-3 所示为两种不同结构形式的共同沟。某些共同沟还应包括与自身系统相匹配的处理设施,例如自来水厂、污水处理厂、垃圾处理厂等。

现代城市的高密度化和生活方式的高水准化,各种供给设施的需求量将会急剧增加,改造和增设新的供给管线工程就会越来越多,缓解这一问题的最好对策是构筑共同沟。与传统的分散浅埋式管线相比,设立共同沟可减少道路的反复开挖及施工对交通和居民日常生活的影响,提高道路路面的强度,便于拆换、增设管线及平时的维修保养。实践证明,共同沟已成为实现城市市政基础设施现代化的主要途径之一。

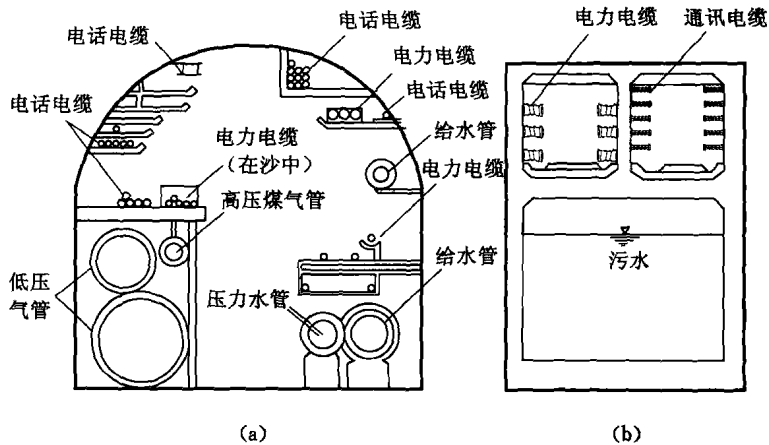


图 1-3 共同沟示意图  
(a) 地下管道; (b) 地下管廊

### 3. 地下停车场

地下停车场是指建筑在地下用来停放各类大小机动车辆的建筑物,也称地下(停)车库。有的地下停车场也提供低级保养和重点小修业务服务。在我国,自行车作为重要的交通工具之一,数量众多,因此城市地下也建有用于停放自行车或自行车和机动车合用的停车场。地下停车场的建设是为了缓解城市停车空间的严重不足,如瑞典斯德哥尔摩地面停车场仅能停放车辆总数的 6.8%,容车量最高的多伦多仍有半数以上的车辆在地面无处停放。因此,欧美和日本都在积极修建地下停车场。如斯德哥尔摩 1957 年建成的一座现代化地下停车场,平时停车 500 辆,战争时期可供 2 500 人住宿;停车场位于地下 15 m 深的花岗岩内,内部设有独立发电站、通风设备、温湿调节装置,附设有容量 102 000 kg 的汽油库,停车场大门重达 25 t,可防冲击波。法国巴黎地下大型停车场有 80 余座,遍布市区,可停车 4 万余辆,弗许大街的地下停车场全长 500 多米,宽 32 m,共 4 层,可停车 3 千多辆,据称是欧洲最大的地下停车场。图 1-4 所示是美国洛杉矶波星广场地下车场示意图,车库共 3 层,可停车 2 150 辆,第一层与下面两层用螺旋坡道连接,坡道长 8.37 m,坡度为 8%,每车占用面积为 27.66 m<sup>2</sup>。

地下停车场宜布置在城市中心区或其他交通繁忙和车辆集中的广场、街道下。在有条件时,应与城市地面、地下交通和商业设施进行统一规划设计。

### 4. 地下仓库

地下仓库是修建在地下的贮品建筑物。根据贮品的不同地下仓库可分为:地下粮库,油品、药品库,地下冷藏库,地下物质仓库,地下燃油、燃气库,地下军械、弹药库,核废料贮藏库等。地下仓库除了可以节省大量的地面空间以外,与地面仓库相比还有以下优势:防空、防爆、防辐射、隔热、抗震;贮品不易变质、能耗小;维修和运营费用低、节省材料;库内发生事故时对地面影响较小。

人类将物品贮藏于地下具有悠久的历史,早在五六千年前,我国原始社会的仰韶文化时期,人们就利用口小底大的袋状窖穴贮粮。地下仓库作为人类开发利用地下空间资源的最早土木工程之一,已从单一贮粮功能发展到贮品种类繁多、形式多样、功能设施完备的地下

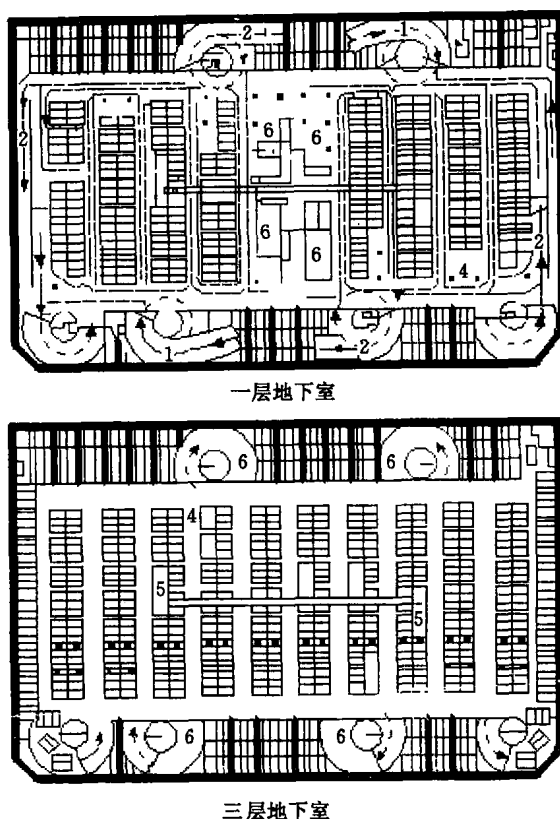


图 1-4 美国洛杉矶波星广场地下车库

1——入口坡道;2——出口坡道;3——服务站;4——加油站;5——行人通道;6——通风机房;  
7——附属房;8——加油站;9——行人通道;10——通风机房

构筑物。随着人口的增长、经济的发展及都市化步伐的加快,世界各国均面临着粮食、能源和水供应问题,放射性物质及其他废弃物的处理问题。因此,地下仓库的规划、开发及建设在地下建筑领域占有十分重要的地位。

### 第三节 地下建筑工程施工的发展与展望

地下建筑工程将作为一种新型国土资源造福人类。一种非常普遍的观点是“19世纪是桥的世纪,20世纪是高层建筑的世纪,21世纪则是人类开发利用地下空间的世纪”。人们已认识到把地下岩土体当成一项新型国土资源来开发,把地下空间当成地下工业开发的重要性。在这样的机遇面前,我国地下工程的施工技术将会有很大的发展。

世界各发达国家已有的施工技术大部分在我国已开发应用,但地下工程施工技术的发展离不开我国的国情:人口众多,劳动力便宜,而资金较少。因此,我国地下工程施工技术的发展将具有中国特色。

(1) 明挖法。明挖法仍然是首选的施工方法,因它施工简单、安全、快速、造价较低,但对城市生活干扰大,应用受到各种因素的限制,但它仍是基坑施工中的重要施工方法。



明挖法施工中降水是为保证基坑的施工安全,近年来我国降水施工技术发展较快,但存在的问题应引起各方面的注意;因降水引起的对周围环境的影响,引起地面沉降,使附近建筑发生沉降、开裂甚至破坏的事故时有发生。我国水资源匮乏,大范围施工降水不仅是对水资源的浪费,也容易造成水资源的污染。从保护水资源的角度出发,应限制降水、抽水的施工,而发展帷幕止水技术,即用旋喷注浆的方法保证边坡的稳定和起到防水作用,用定位控制注浆的方法保证基坑底的稳定和隔水功能。

边坡支护的土钉墙支护技术将会有较大的发展,它实质是锚喷施工技术 in 边坡支护中的应用。目前已出现垂直和反坡土钉墙施工的实例。为了消除锚杆对已有建筑物和后继建筑产生的影响,出现了可拆式锚杆。由于城市建筑密度过大,周围已建成建筑无条件打锚杆或采用锚杆施工技术经济上不合理,上海出现多道多层混凝土内支撑的基坑支护方式,北京出现了钢结构内支撑的施工实例,为困难条件下的明挖创造了条件。今后在城市工程的深基坑施工中内支撑的支护方法将逐渐增加。在成孔成槽施工技术中,我国的整体机械化水平不高、效率低,尤其是泥浆钻机造成对环境的严重污染,因此,首先要提高成孔机械的水平和效率,要研制、发展、使用无注浆成孔(槽)的机械和技术。

(2) 盖挖法。盖挖法是修建地铁车站和地下工程的主要方法。在世界上盖挖法修建地铁车站占有很大比例,通过合理组织施工及疏导交通可以做到基本上不影响交通,在北京、上海、南京、广州等有近 10 座车站采用这种方法,取得了很多经验,在总结这些经验的基础上,一定会使这种施工方法有新的发展,国外地铁区间结构也有不少采用盖挖法的实例,我国也应创造条件应用这种方法,以提高速度,降低造价。我国一些城市的地下商场、地下商业厅等工程已采用这种方法并获得了成功。高层建筑业用盖挖法施工在北京、上海、天津、广州、深圳都取得了成功。

(3) 暗挖法。暗挖法在技术上我们可以说已经走在世界前列,在繁华市区,采用暗挖法可以不中断交通,减少对城市人民生活的干扰,特别是在地下水较深的条件下,不需要降水时,它具有灵活、安全的特点,有广泛的应用前景。目前北京的热力、电力等地下隧道的暗挖施工已有 10 支队伍在推广应用;据不完全统计,已建成各种隧道近百公里。暗挖法施工技术还在不断发展,用暗挖法修建了国家计委地下停车场;在月坛公园的绿地下采用五连拱、5 m 跨距修建了大型地下商业城;在长安街过街人行通道的工程中,创造了覆土仅 1 m 左右,保证地面交通正常行车的暗挖世界纪录,还创造了“平顶直墙超浅埋暗挖法”,把暗挖、盖挖和房建的临时支撑等多项技术的优点集中应用,打破了暗挖拱形结构的传统理论,通过临时支撑实现受力转换,没有废弃工程,施工方法简便,可以应用到大型地下工程中去,已申请专利。专家认为这项技术属于国际首创,受到国内外专家好评。1996 年修建的北京站地铁站与恒基大厦的联络方厅,规模为 27 m×28 m,采用了平顶直墙超浅埋多跨框架结构,利用多道临时支撑,在国际上首次实现了六跨暗挖的平顶直墙的梁柱施工技术,为暗挖大型多跨多层地下商场、地下停车场等地下工程创造了新的施工方法。结合国内外已有的暗挖法施工技术,微气压和预切槽等暗挖法有可能得到应用。地层加固技术,特别是含水粉细砂地层的加固技术,这一世界难题应得到重视和解决。

(4) 盖挖、暗挖相结合的技术有新的发展。盖挖、暗挖法都有各自的优点,相关部门做了大量研究,如“修建大型地下空间的方法”专利技术,即所谓的“桩、梁、拱”方法,北京地铁天安门西站施工方法就属于这种方法。同时,这种方法也可以应用到其他地下工程中,王府



井地下商业街就是采用小平硐做底纵梁,然后做钻孔桩及盖板,在其保护下做盖挖法施工。该工程宽 40 m,长 800 m,地下二层结构,该工程的修建为地下工程结构及环境、防灾系统提供了宝贵的经验。

(5) 盾构法施工技术在我国也将有良好的发展前景。为加快施工速度,在不降低地下水位的条件下,采用盾构法将有一定的发展前景。目前上海、广州已经开始应用盾构施工技术,北京、南京也开始积极筹备及应用。盾构施工技术在世界各国的发展中是有争议的,主要是它一次性投资大,造价较高,但全世界目前已生产了 5 000 台以上盾构机。盾构法虽然投资大,但具有快速、安全、减少地面沉降的优点,使盾构施工技术得到不断发展。我国将随着经济实力的增强而逐步发展盾构技术,不仅在地铁区间隧道中应用,也应创造条件在车站施工中应用,我们研究的盾构应以土压平衡为主,起步时应以人工或半机械化盾构为起点,逐步积累经验,缩短时间,尽快赶上国际水平。我国的插板式半盾构已试制成功,已在北京地铁复八线区间隧道中应用。这是一种人工出土盾构,结构采用喷射混凝土结构,属盾构、暗挖施工相结合的产物。这种进步将对盾构施工技术产生深远影响。岩石盾构将在铁路、水工隧道施工逐步推广应用。

(6) 要不断提高机械化水平,才能提高施工速度。目前除明挖法采用机械化施工外,盖挖、暗挖施工中大部分采用人工施工,虽然成本较低,但施工速度慢,只有创造条件发展适用的施工机械,不断提高施工机械化水平,才能不断加快施工进度。



## 第二章

# 隧道工程勘测设计概要

### 第一节 隧道位置选择

隧道是线路上的一种建筑物,它的位置与线路是互为相关的。在一般的情况下,当一段线路的方案比选一旦确定以后,区段上隧道的位置就只能依从于线路的位置大体确定,最多只是在上、下、左、右很小幅度内做些小的移动而已。但是,如果隧道很长、工程规模很大、投资很多、工期时间很长、技术上也有一定的困难,属于本区段的重点控制工程时,那么这一区段的线路就得依从于隧道所选定的最优位置,然后线路以相应的引线凑到隧道的位置上来。所以,隧道位置的选定是与线路的选定同时考虑的。

隧道具体位置的选择与当地的工程地质条件、水文地质条件、地形地貌条件、工程难易程度、投资数额、工期要求及施工技术现有的水平和今后运营条件等因素有关。其中,地质条件和地形条件是确定隧道具体位置最为重要的因素。

#### 一、按地形及地质条件选择

##### (一) 按地形条件进行选择

隧道是克服地形障碍的有效手段。隧道位置的选择在很大程度上受地形条件的制约。地形障碍有高程障碍和平面障碍两方面。

##### 1. 高程障碍

路线前进方向如果遇到高山,由于路线坡度的严格限制,不能在一定的距离内拔起越过山峰,于是,高山就成了路线上的高程障碍。要克服此类障碍,有三种选择方案:

##### (1) 绕行方案

当附近地形开阔,山坡地带宽阔时,可以避开前方的山峰,迂回绕行而过。若是上述条件具备,这是一个比较简易的办法。工程容易施工,工期较短,工程费用也会少。可是,绕行势必延长线路,以后的运程必然增加;路线弯道增多,曲线半径也可能减小,使长期的运行条件变坏,行车速度和牵引定数都会有所降低。尤其是今后随着国民经济的发展,对运输任务提出更高的要求时,就会给技术改造带来困难。此外,绕行方案靠近山坡时,地质条件复杂,工程困难程度大。所以,从长远的效益来看,这一方案是不可取的,只有具体条件相宜时才可采用。

##### (2) 深堑方案

当地形比较开阔,有山谷台地可资展线时,就可以尽量地把线路展长,增大坡度,争取把





线路标高抬起到可能的高度。然后把高程尚有不足之处在山顶部位开凿深路堑通过。若是上述条件具备,这也不失为一个可供比较的方案。其展线比绕行方案略少一点,至于急弯陡坡就不一定好多少,前述的缺点依然存在。但是,在山顶开挖路堑,往往工程量很大,施工困难,边坡切削太甚,易于引起坍方落石,需要加强防护。若地下水发育,还会引起滑坡,给今后的运行和养护留下防不胜防的隐患。这一方案在展线方面是性质改良的,而在劈山方面仍包含着不利因素。所以,这也不是太好的方案。

### (3) 隧道方案

当地形复杂,山坡陡峭,不具备上述条件时,开凿隧道,穿山直过,就成为唯一可行,而且是比较有利的方案。修建隧道可能工程量要大一些,工期也会长一些,但是,它能使线路平缓顺直,不需用较大的坡度,不需设置太多、太急的曲线。在以后长期的运营中,由于技术条件好,可以牵引更大的重量,提高行驶速度,缩短运程,还不受外界干扰,战争时期还是良好的掩护所。因此,从全局和长期考虑,隧道方案通常是比较合理的。

## 2. 平面障碍

路线进入山区,那里山峦起伏,河谷蜿蜒,线路不得不依山傍河迂回前进。有时行走在凹岸,则须注意是否受到河水冲刷。如果行走在同凸岸山嘴,则沿山坡绕行,凸度较大时,曲率半径势必很小,行车条件恶化。若是山嘴伸出太急,线路就无法随之环绕。这就出现了平面障碍。解决平面障碍有以下两种方案:

### (1) 沿河傍山绕行方案

沿着山体自然弯曲傍山绕行,如果地形条件尚能允许,则可采用。在不得已时,只得大量劈坡,或高层填土,上设御土墙,下设护坡护岸,有时还须跨谷建桥,有时为防滚石坠落还需设置防护明洞。由于线路行走在山坡表层内,地质多为风化松散带,施工时极易坍方;行车后,也难保安全。至于遇急弯猛拐处,线路条件也较差,行车不能多拉、快跑。因此,这种方案只有在条件允许时,才能采用。

### (2) 隧道直穿方案

如果在平面障碍的前方开凿隧道,穿山而过,虽然初期工程略大一些,但线路顺直平缓,可不设急弯,没有陡坡,路线行程缩短,运营条件改善,而且不受山坡坍方落石的威胁,如图2-1所示。从长远的效益来看,隧道方案往往是比较合理的。

## (二) 按地质条件进行选择

隧道是埋置在地层内的结构物,它受到地层岩体的包围。周围地层的地质条件,对结构物应具备的构造形式和适宜的施工方法都有着决定性的影响。如何避开不良地质区域,或是如何拟定克服不良地质的措施,是选择隧道位置时必须审慎考虑的问题。

在单斜构造的地区,地层各层间有的是紧密贴附的,有的是出现裂缝又被一些细碎物质所填充了的。不管是哪一种情况,层间接触面比岩层实体总是较为薄弱,称之为软弱结构面。从力学观点来看,一种岩体的强度常常不是由岩石本身的强度来控制,而是由它的软弱结构面的强度来控制的。

单斜构造的各层大体平行而有同一倾角。当层间的抗剪强度不足时,地层在外力作用下将会发生层间相对错动。如果隧道的位置恰在层间软弱面上,地层滑动将使隧道结构受到很大剪力,以致把结构物损坏。如果隧道恰在层间软弱面的上方,地层滑动会使隧道的某一段发生横向推移而与邻段断开。如果层间软弱面正在隧道的上部,或是距隧道上部不太