



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

地下结构设计

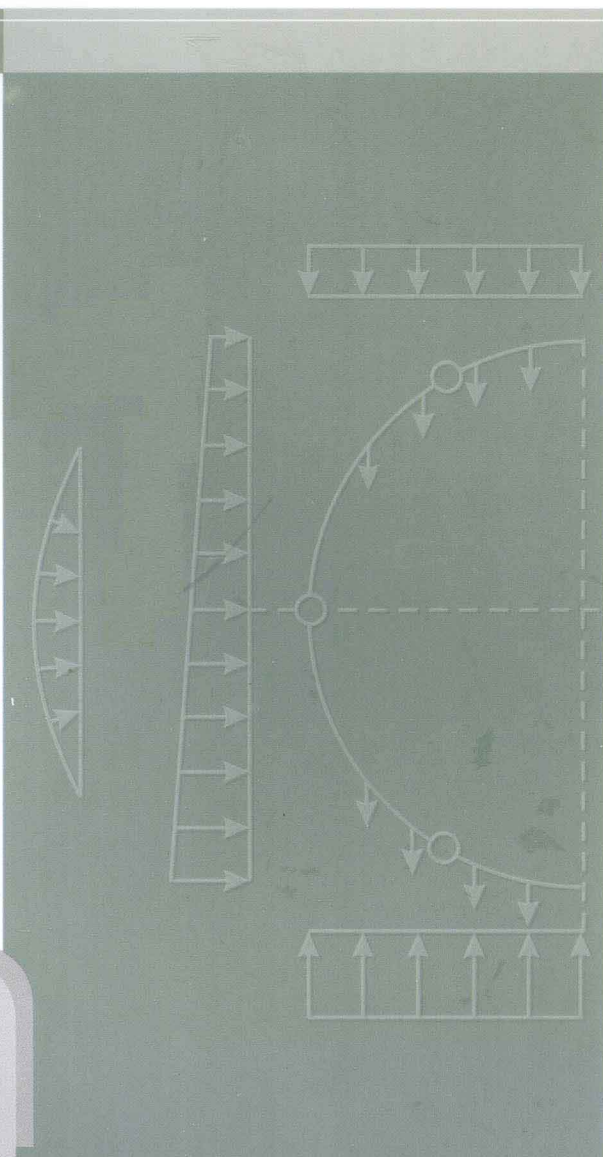
DIXIA
JIEGOU SHEJI

主 编 刘新荣
副主编 钟祖良
主 审 朱合华 刘元雪



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>





高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

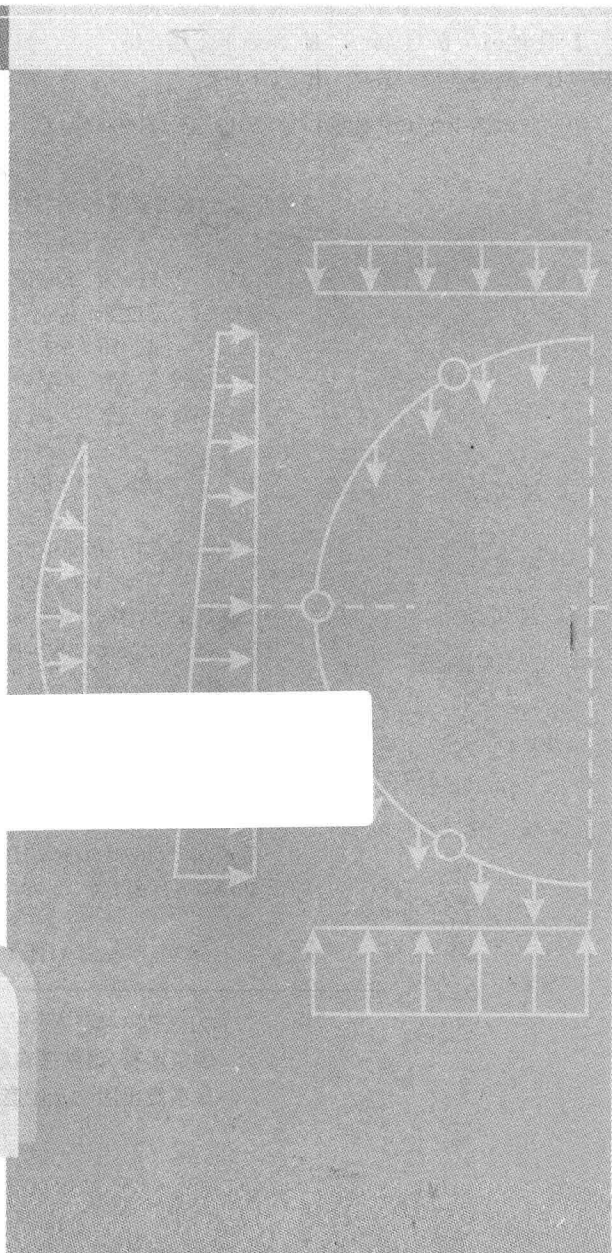
总主编 何若全

地下结构设计

DIXIA
JIEGOU SHEJI

主 编 刘新荣
副主编 钟祖良
主 审 朱合华 刘元雪

重庆大学出版社



内容提要

本书是《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》之一,系统地介绍了地下结构设计基本理论和各种结构形式的设计方法,主要包括地下结构常见荷载的计算理论与地下结构基本的计算方法、浅埋式地下结构设计、附建式地下结构设计、新奥法隧道支护结构设计、盾构法隧道支护结构设计、掘进机法隧道支护结构设计、沉井结构设计、沉管结构设计和地下连续墙结构设计等。

本书可作为土木工程专业本科生教材,亦可作为岩土工程、隧道工程、城市地下空间工程、地质工程、勘查技术与工程等专业的本科生或研究生教材,还可供矿山、铁路、公路和水利水电等相关专业的工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下结构设计/刘新荣主编. —重庆:

重庆大学出版社, 2013. 8

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

ISBN 978-7-5624-7411-1

I. ①地… II. ①刘… III. ①地下工程—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 111609 号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

地下结构设计

主 编 刘新荣

副主编 钟祖良

主 审 朱合华 刘元雪

责任编辑:王 婷 钟祖才 版式设计:莫 西

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16 字数:399 千

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

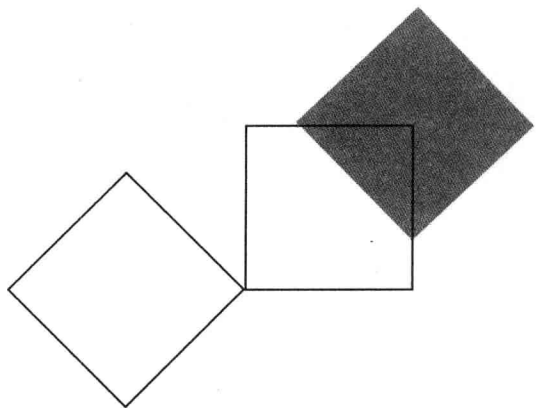
印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7411-1 定价:28.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究



编委会名单

总主编：何若全

副总主编：杜彦良 邹超英 桂国庆 张永兴

编委（按姓氏笔画为序）：

卜建清	王广俊	王连俊	王社良
王建廷	王雪松	王慧东	仇文革
文国治	龙天渝	代国忠	华建民
向中富	刘凡	刘建	刘东燕
刘尧军	刘俊卿	刘新荣	刘曙光
许金良	孙俊	苏小卒	李宇峙
李建林	汪仁和	宋宗宇	张川
张忠苗	范存新	易思蓉	罗强
周志祥	郑廷银	孟丽军	柳炳康
段树金	施惠生	姜玉松	姚刚
袁建新	高亮	黄林青	崔艳梅
梁波	梁兴文	董军	覃辉
樊江	魏庆朝		

总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免了知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

前 言

随着城市化的快速发展,地下空间开发利用愈来愈受到重视,向地下要土地、向地下要空间、向地下要资源,成为世界城市发展的必然趋势,也成为衡量一个城市现代化水平的重要标志。1991年在东京召开的国际会议上就已形成了这样一个共识:“19世纪是桥梁的世纪,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。”实际上,城市地下空间的利用范围相当广泛,包括居住、交通、商业、文化、生产、防灾等各种用途。现代城市的发展再也不能走“摊大饼”的平面发展模式,而应走“上天入地”的立体化发展模式。合理开发利用地下空间,既可以拓展城市空间、节约土地资源,又可以缓解交通拥挤、改善城市环境,亦有利于城市的减灾防灾;既是有效解决城市人口、环境、资源三大难题的重要举措,又是实现城市可持续发展的重要途径。

进入21世纪以来,我国地下空间开发利用也蓬勃发展,许多城市纷纷上马或规划地铁、轻轨、地下商场等各类地下建筑,地下空间为各类建筑结构及构筑物的选址开辟了广阔的前景,地下空间与工程成为土木工程的重要发展方向。地下空间规划、地下结构设计、地下工程施工等已发展成为土木工程等相关专业的重要课程。

本书以高等学校土木工程专业指导委员会制定的“高等学校土木工程本科指导性专业规范”为基本依据进行编写,吸取了近年来国内外地下结构方向的相关研究成果、行业规范和标准的新内容。教材结构新颖、内容丰富、图文并茂、注重基本概念和理论讲解,并紧密结合工程案例,强调工程应用,旨在使其学生能较好地掌握基本理论和培养其解决实际工程问题的能力。同时,本书免费提供了配套的电子课件及课后习题参考答案,在重庆大学出版社教学资源网上供教师下载(网址:<http://www.cqup.net/edusrc>)。

本书由重庆大学刘新荣教授任主编,钟祖良副教授任副主编,同济大学朱合华教授和后勤工程学院刘元雪教授主审。参加本书编写人员如下:第1章由重庆大学刘新荣编写,第2章由西华大学舒志乐、重庆大学钟祖良编写;第3章由重庆大学钟祖良编写;第4章由重庆大学钟祖良、贵州大学包太编写;第5章由福州大学黄明编写;第6章由同济大学张子新编写;第7章由华东交通大学方焘编写;第8章由重庆大学李鹏编写;第9章由重庆大学李鹏、刘新荣编写;第10章由重庆大学杨忠平、西安建筑科技大学王铁行编写;全书由刘新荣、钟祖良负责统稿。研究生李小勇、廖静薇和王森为本书绘制插图、编排做了部分工作。此外,重庆大学出版社的领导、编辑、校审人员为本书的出版付出了辛勤劳动。鉴于此,在本书付梓之际,编者对于为本书

编写出版给予支持和帮助的所有领导和同仁表示衷心的感谢。

特别感谢高等学校土木工程专业教学指导委员会副主任何若全教授、重庆科技学院刘东燕教授对本书的编写和出版提出了许多宝贵的意见。

本书在编写过程中参考了大量的国内外文献和一些学者的研究成果,在本书末的参考文献中给予了列出,由于精力有限,难免百密一疏、挂一漏万,在此一并表示衷心的感谢。此外,由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2013年1月

目 录

1 绪 论	1
1.1 概述	1
1.2 地下结构的分类	9
1.3 地下结构的设计程序	15
1.4 课程内容和学习方法	15
本章小结	16
思考题	16
2 地下结构的荷载计算	17
2.1 地下结构荷载的分类和组合	17
2.2 岩土体压力的计算理论	19
2.3 地层弹性抗力计算	39
2.4 地下结构自重及其他荷载计算	40
2.5 地下结构计算模型	41
2.6 地下结构计算方法	43
本章小结	53
思考题	53
3 浅埋式地下结构设计	54
3.1 概述	54
3.2 浅埋式地下结构的分类	54
3.3 矩形闭合结构设计	57
3.4 设计实例	69
本章小结	72
思考题	72

4	附建式地下结构设计	73
4.1	概述	73
4.2	附建式地下结构的特点	74
4.3	附建式地下结构的主要形式	75
4.4	附建式地下结构设计	77
4.5	附建式地下结构的口部结构设计	80
4.6	附建式地下结构的构造	83
	本章小结	86
	思考题	86
5	隧道支护结构设计	87
5.1	概述	87
5.2	新奥法隧道支护结构设计基本程序	89
5.3	单层衬砌支护结构设计	90
5.4	复合式衬砌支护结构设计	98
5.5	超前支护结构设计	116
	本章小结	121
	思考题	122
6	盾构法隧道支护结构设计	123
6.1	概述	123
6.2	盾构机的分类及选型	124
6.3	开挖面稳定	127
6.4	衬砌型式和构造	128
6.5	衬砌设计	135
6.6	隧道防水及其综合处理	153
	本章小结	155
	思考题	156
7	掘进机法隧道支护结构设计	157
7.1	概述	157
7.2	掘进机法及其应用	158
7.3	掘进机的结构类型及构造	162
7.4	掘进机法隧道的支护设计	173
7.5	掘进机隧道实施案例	177
	本章小结	181
	思考题	181

8	沉井结构设计	182
8.1	概述	182
8.2	沉井结构设计与计算	186
8.3	沉井制作与施工	196
	本章小结	198
	思考题	198
9	沉管结构设计	199
9.1	概述	199
9.2	沉管的结构设计	202
9.3	管段的制作与沉设	208
9.4	沉管基础	212
	本章小结	214
	思考题	214
10	地下连续墙结构设计	215
10.1	概述	215
10.2	地下连续墙挡土墙设计	217
10.3	地下连续墙兼作外墙时的设计	232
10.4	地下连续墙接头设计	237
	本章小结	242
	思考题	242
	参考文献	243



1 绪论

本章导读:

- **内容** 地下结构的概念、作用、特点和分类;地下结构的形式;地下结构设计的一般程序与内容。
- **基本要求** 掌握地下结构的概念、作用、特点和分类;了解地下结构计算理论的发展过程;掌握地下结构的形式和结构设计的一般程序与内容。
- **重点** 地下结构的形式和地下结构设计的一般程序与内容。
- **难点** 地下结构的形式和地下结构设计的一般程序与内容。

1.1 概述

1.1.1 地下结构的概念

地下结构是指在保留上部地层(山体或土层)的前提下,在开挖出能提供某种用途的地下空间内修筑的建筑物。修建地下结构时,首先按照使用要求在地层中挖掘洞室,然后沿洞室周边修建永久性支护结构(称之为衬砌结构)。该结构具有承受开挖空间周围地层的压力、结构自重、地震和爆炸等动静荷载的承重作用;同时又具有防止开挖空间周围地层风化、崩塌、防水和防潮等围护作用。为了满足使用要求,在衬砌内部还需修建必要的梁、柱和墙体等内部结构,内部结构的设计和计算与地面结构相似。所以,地下结构包括衬砌结构和内部结构,如图1.1所示。

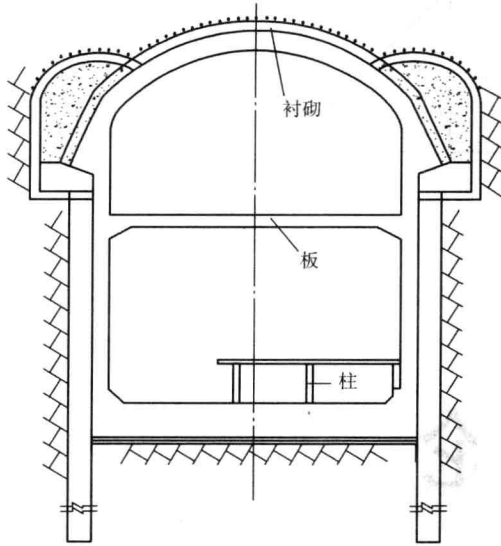


图 1.1 地下结构

1.1.2 地下结构的特点

地下结构与地面结构相比,由于它们在计算理论和施工方法等方面具有很多不同,因此其力学作用机理以及所采用的理论和方法等方面均有所差异。

1) 地面结构体系

地面结构一般都是由上部结构和地基组成。地基只在上部结构底部起约束或支承作用,除了自重外,荷载都是来自结构外部,如人群、设备、列车、风力等[图 1.2(a)]。

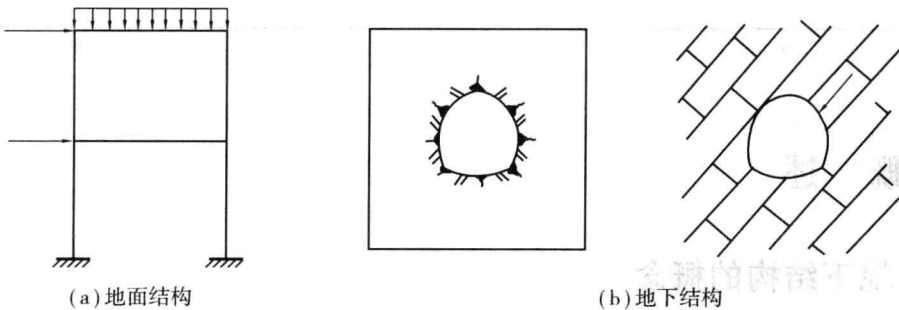


图 1.2 地面结构与地下结构示意图

2) 地下结构体系

地下结构是指埋入地层中的,四周均与地层紧密接触的一种结构形式。结构上承受的荷载来自于洞室开挖后引起周围地层的变形和坍塌而产生的力,同时结构在荷载作用下发生的变形又受到地层给予的约束[图 1.2(b)]。地下结构根据周围地层的情况分成以下两种:

在稳固地层的情况下,开挖出的洞室中甚至可以不设支护结构而只留下地层,如我国陕北的黄土窑洞(图 1.3)。因此,周围地层能与地下结构一起承受荷载,共同组成地下结构体系。

地层既是承载结构的基本组成部分,又是形成荷载的主要来源。

在非稳固地层中,需要修建支护结构,即衬砌(图 1.4),它是在坑道内部修建的永久性支护结构。支护结构有两个最基本的使用要求:一是满足结构强度、刚度要求,以承受诸如水、土压力以及一些特殊使用要求的外荷载;二是提供能满足使用要求的工作环境,以便保持隧道内部的干燥和清洁。

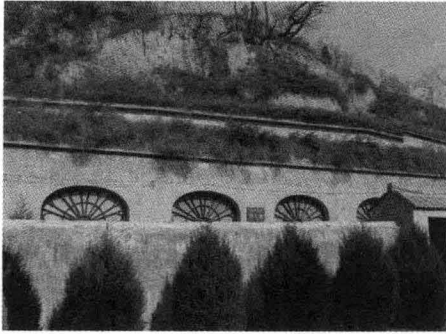


图 1.3 稳固地层中的地下结构



图 1.4 非稳固地层中的地下结构

综上所述,地下结构设计不同于地面结构,它具有以下工程特点:

①地下空间内建筑结构替代了原来的地层,结构承受了原本由地层承受的荷载。在设计和施工中,要最大限度发挥地层自承能力,以便控制地下结构的变形,降低工程造价。

②在受载状态下构建地下空间结构物,地层荷载随着施工进度发生变化,因此,设计时要考虑最不利的荷载工况。

③作用在地下结构上的地层荷载,应视地层介质的地质情况合理概化确定。对于土体一般可按松散连续体计算;而对于岩体,首先查清岩体的结构、构造等发育情况,然后确定按连续或非连续介质处理。

④地下水状态对地下结构的设计和施工影响较大,设计前必须弄清地下水的分布和变化情况。

⑤地下结构设计要考虑结构物从开始构建到正常使用以及长期运营过程的受力状况,注意合理利用结构反力作用,节省造价。

⑥在设计阶段获得的地质资料,有可能与实际施工揭露的地质情况不一样。因此,地下结构施工中应根据工程的实时工况动态修改设计。

⑦地下结构的围岩既是荷载的来源,在某些情况下又与地下结构共同构成承载体系。

⑧当地下结构的埋置深度足够大时,由于地层的成拱效应,结构所承受的围岩垂直压力总是小于其上覆地层的自重压力。

1.1.3 地下结构的作用

地下工程的修建,为促进社会的发展和改善人类居住环境等发挥了重要作用,主要表现在以下几个方面:

①可供城市地区的工业和生活用水、污水排放,并利用地下空间修建地下污水处理设施等,对环境保护起重要作用,如修建地下污水处理厂(图 1.5)。

②可提供食料、能源(瓦斯和石油)等物质的储藏空间,使土地利用面积倍增和增强国防防御能力。

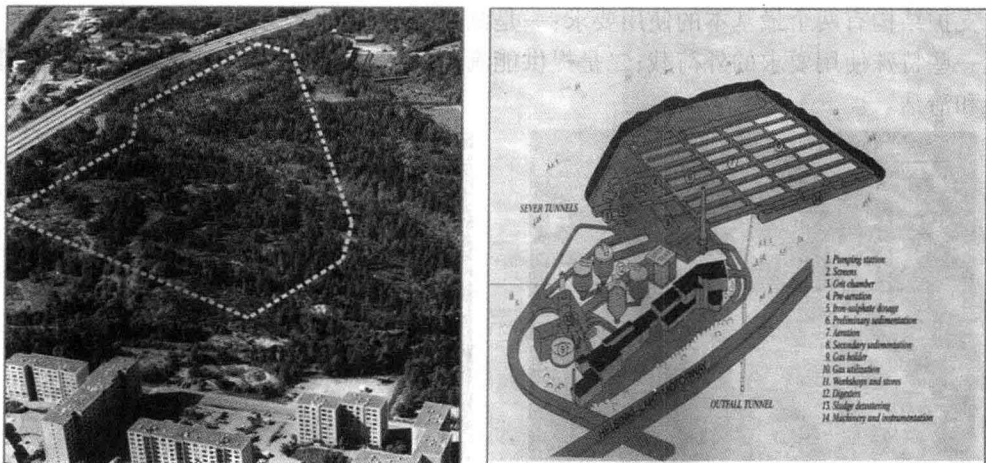


图 1.5 地下污水处理厂

③可作为城市重要的“生命线”工程,提高城市抗御自然灾害和战争的能力。

④可提供放射性废弃物或其他有害废弃物唯一安全的场所。

⑤可提供安全的、环境健全、高速而经济的交通通道,如城市地铁、地下快速路、地下人行通道等。美国的波士顿高架桥改地下高速路就是一个成功的典型案例(图 1.6)。波士顿拆除穿过市中心的 6 车道高架桥,建设 8~10 车道的地下高速路,原有的地面变成林荫路和街心公园。这样的结果是市区空气的 CO 浓度降低了 12%;市中栽植了 2 400 棵乔木树,7 000 多棵灌木树;在海湾的景观岛上栽植了另外的 2 400 棵乔木和 26 000 棵灌木;增加了 260 英亩新的公园和开敞空间。

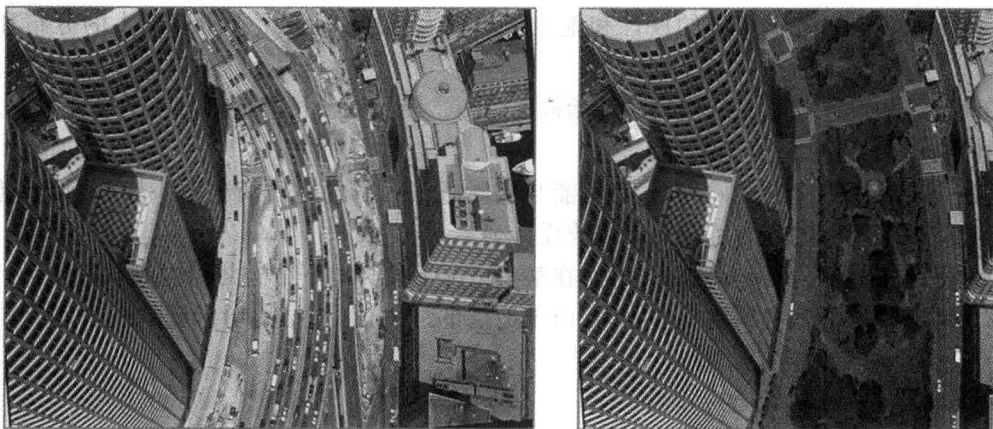


图 1.6 美国的波士顿高架桥改地下高速路的案例

⑥可提供地下生产设施、办公场所、休闲娱乐以及居住等所需的空间。

⑦地下空间的利用可极大地缓和城市的混杂。

1.1.4 地下结构及其计算理论的发展

1) 地下结构的发展概况

地下结构涉及的工程领域比较多,根据目前地下结构的使用情况,主要有以下几个方面:

(1) 铁路和公路隧道

中国已成为世界上隧道最多、建设发展最快的国家。截至2011年3月,我国已投入使用各类隧道1.2万座以上,延长总计7000 km。其中,铁路隧道7000多座,总长度超过4000 km;公路隧道4000多座,总长度超过2000 km。具代表性的隧道有:大瑶山隧道,长14.295 km(1987年);秦岭隧道(图1.7),由两座基本平行的单线隧道组成,间距30 m,各全长18.46 km,最大埋深达1600 m,1999年贯通;风火山隧道,位于青藏铁路上,全长1.338 km,轨面标高4905 m,是现今世界海拔最高的铁路隧道。此外,还建设了部分水下隧道,如已建成的武汉、南京和上海崇明岛三座长江隧道(图1.8);八座黄浦江隧道;两座南水北调的跨黄河隧道和跨越珠江、甬江等的水下隧道;南京玄武湖、杭州西湖、苏州独墅湖、南昌青山湖等湖底隧道;已开挖贯通的厦门翔安海底隧道(图1.9)、青(岛)黄(岛)海底隧道、广州生物岛至大学城隧道及狮子洋海底铁路隧道等跨海隧道。

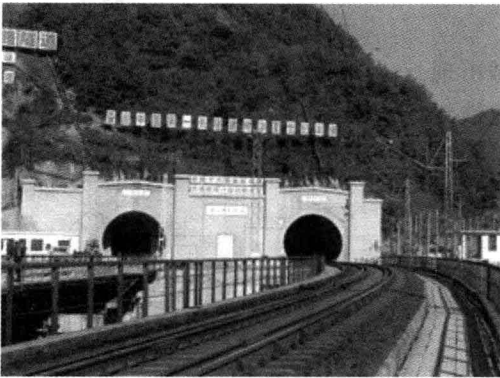


图 1.7 秦岭铁路隧道图

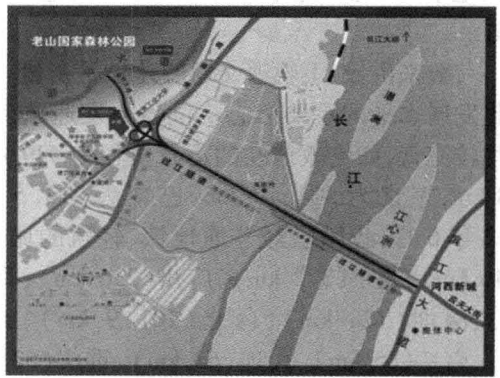


图 1.8 南京长江过江隧道

(2) 水电站、航运和引水工程

水电站地下工程包括:引水隧道、泄水隧洞及大跨度、高边墙的地下厂房等地下工程(图1.10)。据统计,我国建国后建成的大小中型水电站引、泄水隧洞约140座,全长120 km;最长的为四川渔子溪一级电站有压发电隧道,长8.429 km。具有代表性的工程如天生桥二级水电站引水系统工程,其由3条相距40 m并排开挖的、直径9.7~10.8 m、每条平均长度为9.600 km的隧洞组成,加上3条支洞、1条排水交通洞和36个联通洞,总长度达40 km。

航运地下工程:世界最大的航运隧道为法国马赛至罗那航运线上的罗佛隧道,全长7 km,断面宽24.5 m,高17.5 m。

引水工程如南水北调中线中的穿越黄河河床覆盖层的输水隧洞,全长约3.450 km。



图 1.9 厦门翔安海底隧道

(3) 城市地下工程

城市地下工程主要包括城市轨道交通(地铁、轻轨)、地下商业街、地下停车场、地下快速路、地下共同沟等。

一般来讲,地下轨道交通的建设是衡量一个城市现代化发展水平的重要标志。世界上发达城市的地铁建设均较完善,如伦敦地铁的运营里程为 439 km,纽约为 368 km,东京为 304.17 km,巴黎为 213.5 km。截至 2012 年 6 月,我国已经开通地铁、轻轨的城市有:上海(446 km)、北京(372 km)、广州(236 km)、香港(218.2 km)、深圳(178 km)、台北(101.9 km)、天津(86.8 km)、南京(85 km)、大连(63 km)、重庆(52.6 km)、武汉(28 km)、沈阳(27.9 km)、苏州(25 km)、西安(23 km)、成都(18.5 km)等,在建地铁、轻轨的城市有:佛山、合肥、南昌、宁波、郑州、无锡、长沙、长春、青岛、哈尔滨、昆明、杭州、东莞等。至 2015 年前后,北京、上海、广州等 22 个城市将建设 79 条轨道交通线路,总长 2 259.84 km,总投资 8 820.03 亿元。这也意味着,到 2015 年前后,我国建成和在建轨道交通线路将达到 158 条,总里程将超过 4 189 km。到 2050 年,我国规划将建成 290 条城市轨交线路,运营总里程约 11 740 km。

此外,多层次综合开发利用地下空间是城市地下工程建设的另一个特点(图 1.11)。如日本东京的上层地下工程,就多作为地下街、商场和共同沟等;瑞典、挪威、美国等更把地下工程用于民用住宅、图书馆和下水道等;我国利用人防工程改造出商场、地下人行街、车库、避难所等。

(4) 其他地下工程

地下结构还可用作各类物资的储库,以及大型跨江海桥梁的基础等,如地下粮食库(图 1.12)、地下油库等。

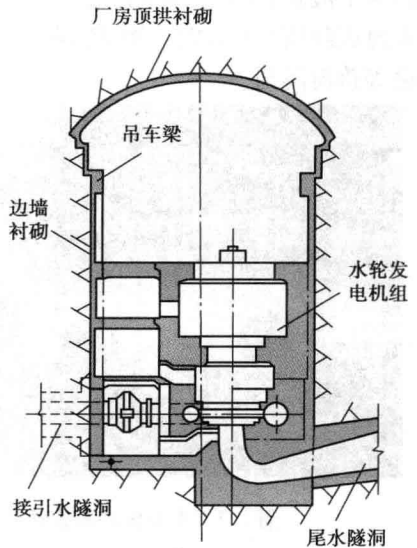


图 1.10 水电站地下厂房

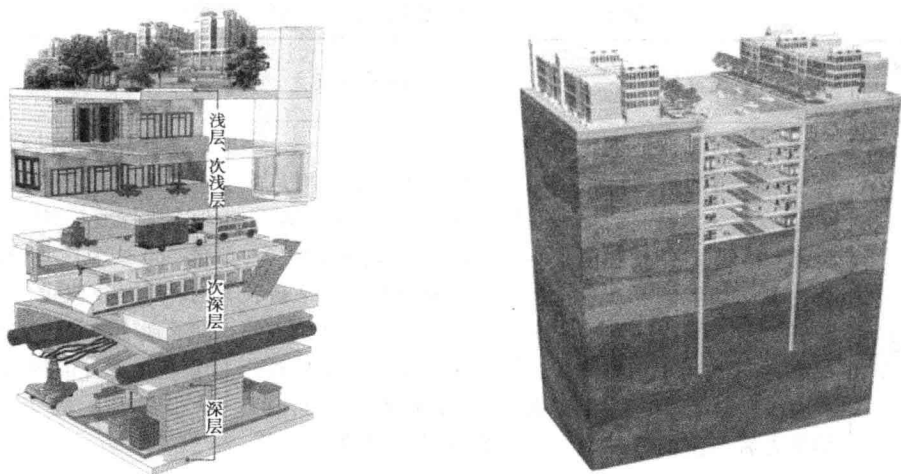


图 1.11 地下城市示意图

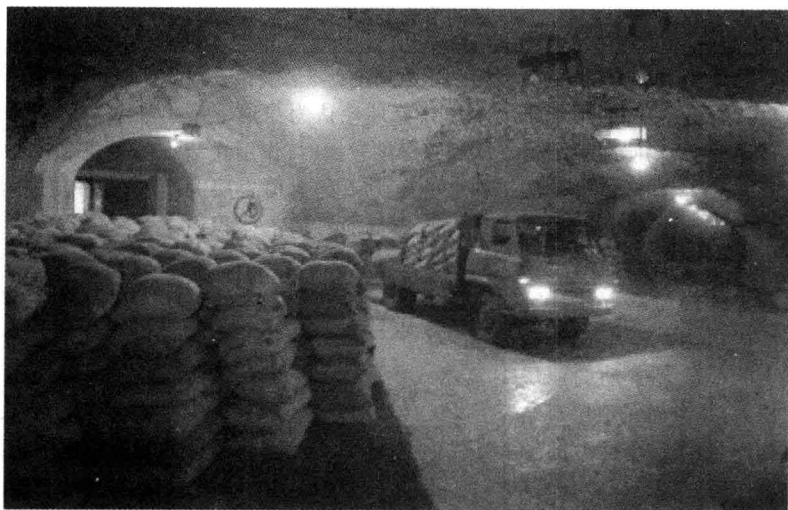


图 1.12 地下粮食库

2) 地下结构计算理论的发展阶段

早期地下工程的建设完全依据经验,19 世纪初才逐渐形成自己的计算理论,开始用于指导地下结构的设计与施工。地下结构计算理论发展的历史沿革,大致可以分为四大阶段,如表 1.1 所示。

应特别指出的是,地下结构计算理论的上述几个发展阶段在时间上并没有截然的先后之分,后期提出的计算方法一般也并不否定前期的研究成果。鉴于岩土介质的复杂多变,这些计算方法各有其比较适用的一面,但又各自带有一定的局限性。因此设计者在选择方法时,应对其有深入的了解和认识。