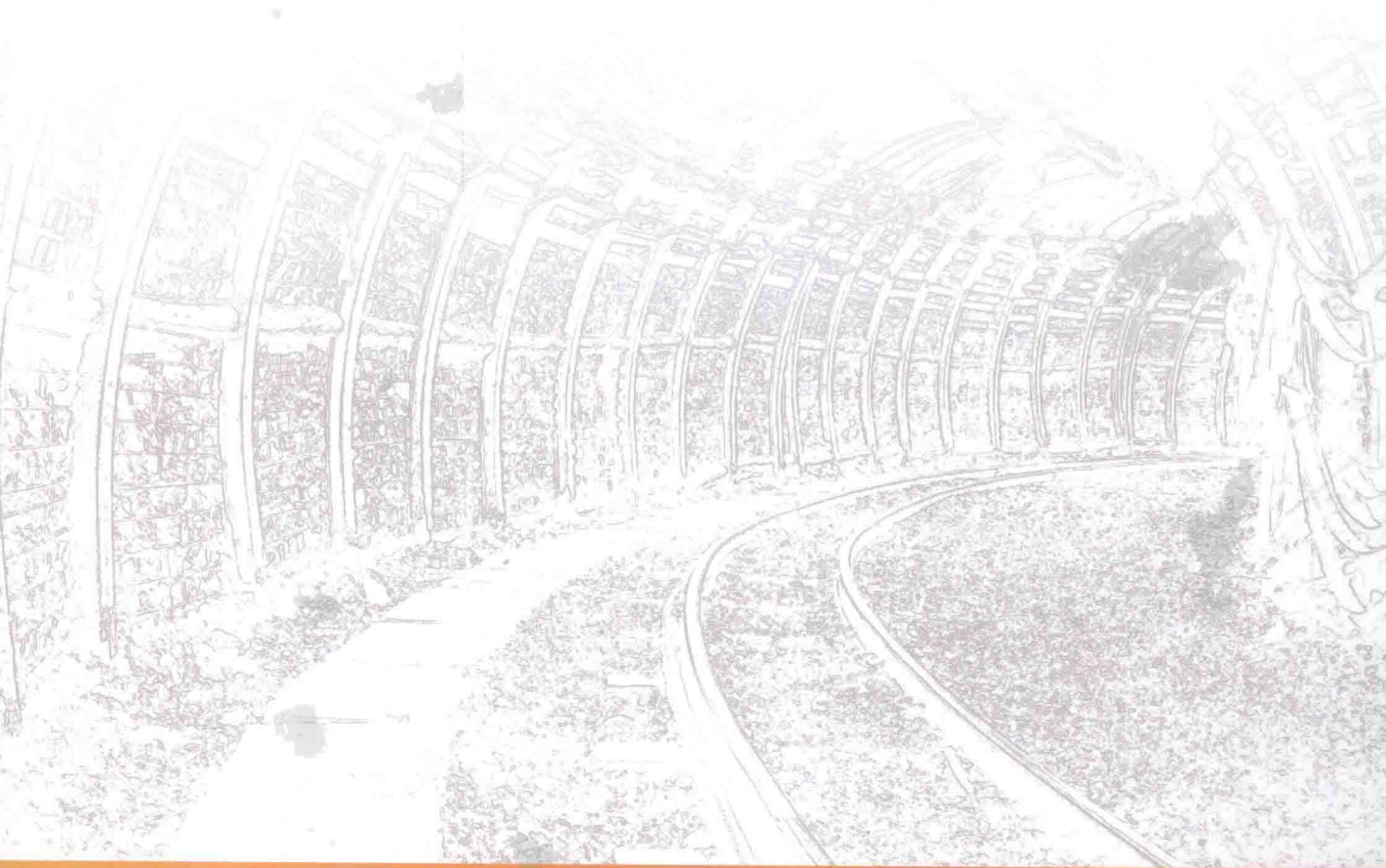




普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

地下工程结构

主编 钱德玲 席培胜
主审 杨小礼



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

地下工程结构

主 编 钱德玲 席培胜
副主编 袁海平 李 凡
主 审 杨小礼



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下工程结构/钱德玲,席培胜主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.9
普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
ISBN 978-7-307-15917-4

I. 地… II. ①钱… ②席… III. 地下工程—结构设计—高等学校—教材
IV. TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 118783 号

责任编辑:王亚明

责任校对:黄孝莉

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:13.25 字数:362千字

版次:2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15917-4 定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等教育“十二五”规划教材

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾 问:干 洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程 桦 颜事龙

主任委员:丁克伟 徐 颖 高 飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙 强 杨智良 陆 峰 胡晓军

殷和平 黄 伟

委 员:马芹永 王 睿 王长柏 王佐才 韦 璐 方诗圣

白立华 刘运林 关 群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张 洵 张 速 张广锋 陈 燕 邵 艳 林 雨

周 安 赵 青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘 书 长:蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 www.stmpress.cn 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

前言

本书为住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会“2013年度高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项”立项课题成果之一。

人类于21世纪步入地下空间开发的新时代,世界各国日益重视对地下空间的开发和利用,地下工程结构的需求量和建设迅猛增长。随着我国经济的持续发展,综合国力的不断增强,高新技术的不断发展,地下工程结构的应用领域和应用深度不断拓展,如西部大开发、高速铁路、高速公路、大型水电站、南水北调、西气东输等工程中都有大量的地下工程结构需要建设。除此之外,现代城市建设中的地铁工程、市政工程(如排污管、输水管、电缆等)、过江和穿海隧道也在不断增加。在各国基础设施大规模建设的背景下,大力开发和利用地下空间已成为人类发展的必然选择和重要出路。

为了更好地使地下工程专业的学生和从事相关工作的技术人员掌握地下工程结构设计和施工的基本理论和基础知识,特别是为了提高土木工程专业卓越工程师的培养成效,本书在编写上注重实用性、可读性、系统性和新颖性等,结合结构力学和混凝土结构等知识,着重介绍了地下工程结构涵盖的基坑工程结构、浅埋地下工程结构、盾构隧道结构、顶管法工程结构、沉井结构、沉管结构、新奥法与锚喷支护、岩石巷道工程结构和地下工程结构信息化施工。每一章节的内容都针对实际工程问题,阐述了地下工程结构在荷载作用下的应力和应变变化规律及其在工程中的应用。在编写过程中,编者力求概念准确、明晰,语言精练、通畅,书中例题和习题有助于读者掌握书中理论知识和复杂的计算过程,力求易读易懂。

本书按照高等学校土木工程学科专业指导委员会于2011年10月制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求编写,内容涵盖了地下工程结构学科要求学生了解、理解和掌握的知识点。

本书由钱德玲教授和席培胜教授担任主编,由袁海平副教授和李凡教授担任副主编。

具体编写分工如下:

合肥工业大学,钱德玲(第1、6章);

合肥工业大学,李凡(第2、7章);

安徽建筑大学,席培胜(第3~5章);

合肥工业大学,袁海平(第8~10章)。

本书由中南大学杨小礼教授担任主审。杨小礼教授在百忙之中抽出宝贵时间对全书进行了审阅和修改,在此深表感谢!

由于时间紧迫,编者水平有限,书中难免存在不妥或错误之处,敬请读者指出,不胜感谢。

编者

2015年7月

目录

1 绪论	(1)
1.1 地下工程结构的概念及意义	(2)
1.2 地下工程结构的分类及特点	(3)
1.3 地下工程事故案例	(4)
1.4 地下工程结构的发展现状	(6)
1.5 本课程的特点	(8)
参考文献	(8)
2 基坑工程结构	(9)
2.1 概述	(10)
2.2 基坑围护结构的类型及其选择	(12)
2.3 放坡开挖	(18)
2.4 排桩、地下连续墙结构	(21)
2.5 土层锚杆	(32)
2.6 水泥土重力式围护墙	(37)
2.7 逆作拱墙及其逆作法施工	(46)
2.8 基坑支护新技术	(49)
知识归纳	(54)
独立思考	(54)
参考文献	(55)
3 浅埋地下工程结构	(56)
3.1 概述	(57)
3.2 浅埋地下工程结构的主要形式	(57)
3.3 矩形闭合框架的计算	(59)
3.4 矩形闭合框架构造要求	(64)
3.5 算例	(67)
知识归纳	(68)
独立思考	(68)
参考文献	(69)
4 盾构隧道结构	(70)
4.1 概述	(71)
4.2 盾构机及盾构推进	(71)
4.3 装配式圆形衬砌	(73)
4.4 衬砌内力计算与管片截面设计	(75)

4.5 算例	(80)
知识归纳	(87)
独立思考	(87)
参考文献	(87)
5 顶管工程结构	(88)
5.1 概述	(89)
5.2 顶管的分类	(89)
5.3 顶管机	(90)
5.4 顶管管道	(93)
5.5 顶管工程设计	(94)
5.6 中继环	(100)
5.7 施工关键技术	(102)
知识归纳	(103)
独立思考	(103)
参考文献	(104)
6 沉井结构	(105)
6.1 概述	(106)
6.2 沉井构造	(108)
6.3 沉井结构的设计计算	(111)
6.4 沉井施工	(126)
知识归纳	(128)
独立思考	(129)
参考文献	(129)
7 沉管结构	(130)
7.1 概述	(131)
7.2 沉管结构设计	(133)
7.3 管段接缝处理与防水措施	(136)
7.4 管段沉设与水下连接	(139)
7.5 管段接头	(144)
7.6 沉管基础	(146)
知识归纳	(148)
独立思考	(148)
参考文献	(148)
8 隧洞围岩压力与新奥法锚喷支护技术	(149)
8.1 隧洞围岩压力的确定	(150)
8.2 新奥法支护原理	(157)
8.3 锚喷支护技术	(161)
知识归纳	(167)
独立思考	(167)

参考文献	(167)
9 岩石巷道工程结构	(168)
9.1 概述	(169)
9.2 巷道断面设计	(169)
9.3 岩石巷道掘进施工	(175)
9.4 特殊条件下的巷道施工	(180)
知识归纳	(188)
独立思考	(188)
参考文献	(188)
10 地下工程结构信息化施工	(189)
10.1 概述	(190)
10.2 现场施工监测技术	(190)
10.3 施工信息反馈设计	(199)
知识归纳	(202)
独立思考	(202)
参考文献	(202)

绪 论

课前导读

□ 内容提要

本章的主要内容包括地下工程结构的概念及意义、地下工程结构的分类及特点、地下工程结构的发展现状和本课程的特点等。本章的教学重点及难点为地下工程结构的意义、分类及其在土木工程中的应用。

□ 能力要求

通过本章的学习,学生应了解学习地下工程结构的目的是,地下工程结构的基本概念,地下工程结构的分类、破坏类型和研究内容等;掌握地下工程结构在工程建设中的重要意义。

1.1 地下工程结构的概念及意义

地下工程是指人类将工程结构设施埋置在地面以下所进行的工程活动。地下工程结构为在地面以下土层或岩层中建造的各类地下建筑物或构筑物,如地下交通运输工程(地铁和隧道)、地下商场、地下储库、地下军工厂,文化、体育、娱乐、人防等地下设施,为具有单一或多种功能的地下建筑物和构筑物。

21世纪,人类步入地下空间开发的新时代,世界各国日益重视对地下空间的开发和利用,地下工程结构的需求量和建设正在迅猛增长。随着我国基础设施的大规模建设,西部大开发、高速铁路、高速公路、大型水电站、南水北调、西气东输等工程中都有大量的地下工程结构需要建设。除此之外,现代城市建设中的地铁工程、市政工程(如排污管、输水管、电缆等)、过江和穿海隧道工程也在不断增加。因此,在土地资源日益减少和人口增长的双重压力下,大力开发和利用地下空间已成为人类发展的必然选择和重要出路。

对于城市地下空间开发利用方式,目前应用较广泛的有高层建筑物地下室、平战结合的人防工程,如上海人民广场地下商场,哈尔滨、长春、石家庄等城市中的地下商业街。同时,鉴于地下工程结构具有恒温恒湿、受地面干扰小、防灾抗灾能力强等特点,我国已修建了许多地下储库,如地下粮库、油库、金库等。

在城市中,地上建筑往往和地下工程结构联合建设,成为地上和地下交通枢纽及购物、休闲场所,使其功能得以提升。例如,总建筑规模为 $7 \times 10^5 \text{ m}^2$ 、堪称亚洲之最佳的北京东直门交通枢纽地上、地下各有两层;地上一层为公共电、汽车到发站,地上二层为磁悬浮列车的到发站和首都机场第二始发大厅;地下二层是西直门至东直门的城市轻轨铁路的到发站,地下一层是环城地铁的东直门站。在这个立体式的交通枢纽里,人们可以轻松完成市内公交、郊区公交、地铁、城市轻轨、机场高速铁路、出租车、水上交通游艇7种交通形式的转换。

随着我国经济的持续发展,综合国力的不断增强,高新技术的不断发展,地下工程结构的应用领域和应用深度将不断拓展,我国已成为世界上隧道和地下工程最多、最复杂、发展最快的国家。回顾我国铁路隧道的建设历史,可见我国地铁和隧道施工技术的快速发展和进步,从而对隧道建设的前景充满了信心(图 1-1~图 1-4)。隧道的发展是我国国民经济发展、国家西部大开发战略和开展通海战略的迫切需要。



图 1-1 穿山隧道



图 1-2 厦门越海隧道

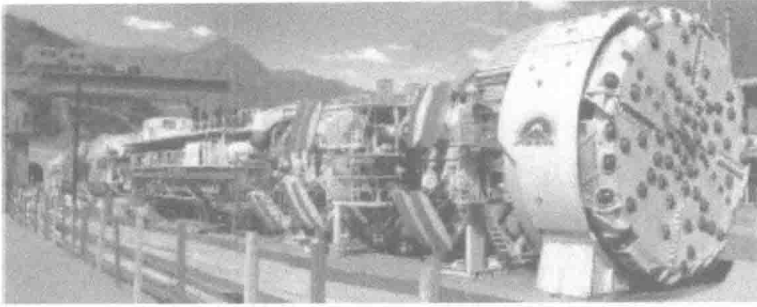


图 1-3 TBM 全断面掘进机施工技术



图 1-4 城市地铁

充分利用城市地下资源建设各类地下工程结构是城市经济高速发展的客观需要,地下工程结构设计与其施工技术的发展为其提供了充分的技术保障。目前,我国沿海地区人均国民生产总值已超过 1000 美元,达到了发达国家地下空间开发、地下工程建设高峰时的状态。所以,我国地下工程结构,特别是在东部经济发达地区和大中城市将迎来建设高潮,同时将为土木工程施工企业带来无限商机。我国已开通地铁的城市有北京、上海、广州、天津、南京、深圳等,正在兴建和增建地铁的城市有北京、上海、广州、深圳、南京、重庆、成都、杭州、沈阳、西安、合肥和昆明等。此外,我国已经批准和正在筹建地铁的城市有 20 多座。21 世纪将是我国大规模开发地下空间和进行地铁建设的时代。

1.2 地下工程结构的分类及特点

以地下工程结构周围的围岩来分类,地下工程结构可分为修建在土中的地下工程结构和修建在岩石中的地下工程结构。近年来,地下工程结构的概念进一步延伸,如提出了在海底建设悬浮于海水中的悬浮隧道。这类水下工程结构由于从地表无法看见,似乎也可归为地下工程结构。

地下空间的开发可分为浅层、次浅层、次深层和深层开发。相应地,地下工程结构按照其埋深可分为浅埋地下工程结构和深埋地下工程结构。一般来说,浅层地下空间和次浅层地下空间分别指地表以下 10m 以内和 10~30m 的空间,次深层和深层地下空间则分别指地表以下 30~100m 和 100m 以下的空间。浅层和次浅层地下空间适合建设可供人类活动的地下工程;次深层和深层地下空间则仅适合建造各类地下储存系统,如废弃物处理地下工程、地下水封储库、能源设施等。随着军事科技的发展,出于人防的需要,地下人防设施的建设深度越来越大,如深埋于地表以下的飞机洞窟、地下指挥中心、地下疏散中心和地铁等。如今,莫斯科地铁的最大埋深超过了 80m。为了降低储存成本及满足战时需要,水资源、能源、粮食等主要战略储备物资常采用地下储存方式。美国等大多利用地下透水层和溶岩空间存储地下水、石油、天然气及其他战备资源,除此之外,也可采用岩体中的洞室、溶岩腔存储。

隧道按用途可分为交通隧道、水工隧道、市政隧道、矿山隧道和特殊用途隧道等。水工隧道包括引水、给水和排水隧道(洞),水电站(特别是类似于三峡工程和黄河小浪底工程这类大型水利枢纽工程)中就有大量的水工隧道,我国南水北调工程中也有“穿黄”(即穿越黄河)等高难度水工隧道需要建设。市政隧道包括市政给水、排水、引水及用于铺设地下电缆、通信管道等隧道,如上海市“合流污水”工程中建造了几十千米的大直径排水隧道。矿山隧道包括采矿需要的运输、通风、行人隧(巷)道,我国仅煤矿每年就要掘进巷道上千千米。特殊用途隧道包括军工隧道、人防地下工程和各种地下储库等。

1.3 地下工程事故案例

城市地铁车站开挖工程是在岩土体内部进行的,无论其埋深大小,开挖施工都将不可避免地扰动地下岩土体,使围岩产生应力重分布。施工常常波及地表,宏观表现为地层的移动与变形,形成施工沉降槽。施工沉降槽可能会造成地面沉降和塌陷,从而导致道路路面破损,地下已有管道破坏及建筑物、桥梁等市政设施损坏。同时,地铁工程常常具有地质条件复杂、开挖跨度大、临时支撑和工法转换频繁、时空效应显著等特点,因此城市地铁工程往往施工难度大,安全风险大。

大型地下工程结构的设计、建造是百年大计。然而地下工程结构设计、建造的复杂性,以及设计、施工、监测、管理等方面的不成熟与不完善,导致近年来发生了大量地下工程事故,造成了巨大的生命、财产损失和不良社会影响。



图 1-5 南京地铁站地陷

2012年11月29日上午11点左右,南京大行宫附近突发一起地陷事故,路面出现 20m^2 的坑洞。地铁建设指挥部门透露,发生地陷事故的现场紧邻南京地铁3号线施工工地,确与地铁施工有关。南京地铁3号线大行宫站施工点位于秦淮河古河道,流沙较多,因施工挖掘较深而导致地面沉降(图1-5)。

2008年11月,杭州地铁1号线南端湘湖车站的基坑工地突然坍塌(图1-6),造成21人遇难或失踪,为我国地铁修建史上发生的最严重的事故。

2005年7月21日中午12时许,广州市海珠区江南大道海珠广场工地基坑挡土墙突然发生坍塌,导致邻近两幢建筑物出现不同程度的倾斜,部分墙体开裂,事故造成5人被困。事故工地基坑南端约100m长的挡土墙突然坍塌,拉动工地与居民楼之间宽约6m的水泥路整体下陷,造成工地边的砖木平房倒塌,5人被压。同时,塌方事故引起邻近一幢9层楼宾馆和一幢8层居民楼出现倾斜(图1-7),部分墙面开裂。该事故原因分析为:施工与设计不符,基坑施工时间过长,支护受损失效。该基坑原设计深度只有17m,2004年7月,设计深度变更为19.6m,而实际基坑局部开挖深度



图 1-6 杭州地铁施工塌陷事故

为 20.3m, 较原设计超深 3.3m, 造成原支护桩 (深度为 20m) 变为吊脚桩; 同时, 该基坑施工时间长达 2 年 7 个月, 基坑暴露时间大大超过了临时支护期限为 1 年的规定, 致使开挖地层软化, 出现渗水和透水, 钢构件锈蚀, 锚杆 (索) 锚固力降低, 最终使基坑支护严重失效, 造成重大事故。

2004 年 4 月 1 日上午 8 时左右, 广州地铁 3 号线沥滘站地下连续墙围护结构突然出现塌方, 造成车站北端周边范围内发生一定的沉降, 附近民房受到一定影响。在事故现场, 巨大的主体工程向北延伸, 最靠北的一段紧靠民房, 塌方正好发生在此段施工工地, 崩塌长度约 40m, 泥砂块堆积如山, 支撑主体工程的黄色大钢管横七竖八地落在地上 (图 1-8)。

2003 年 7 月 1 日凌晨 6 点, 正在施工的上海轨道交通 4 号线附近通道工程施工作业面内, 因大量水及流沙涌入, 造成隧道部分结构损坏及周边地区地面沉降, 三栋建筑物发生严重倾斜 (图 1-9), 防汛墙局部塌陷, 导致防汛墙围堰管涌, 直接经济损失达 1.5 亿元。

新加坡主要交通干道尼诨大道的部分路段于 2004 年 4 月 20 日下午突然发生坍塌。该起意外事故是新加坡有史以来发生的最为严重的地铁工地和高速公路坍塌事故, 造成 1 人死亡, 另有 3 人受伤和 3 人失踪。失踪者中有 1 名是中国籍工人。坍塌路面长 100m、宽 150m, 估计道路修复工程需要 6~9 个月才能完成。有关方面调查发现, 土质松软导致尼诨大道附近正在施工的地铁环线一地下隧道支架倒塌, 并造成公路坍塌 (图 1-10)。

位于德国科隆市中心的科隆城市档案馆于 2009 年 3 月 3 日突然发生坍塌, 同时引发周边建筑不同程度坍塌下沉, 造成 1 人死亡、9 人失踪。更令德国人痛心的是, 大批德国珍贵历史文献及影像资料也葬身废墟。

在地下工程结构建设过程中, 如何保证地下工程结构、地表附近重要建筑及设施的安全是一个重要而迫切的现实问题, 亟待解决。这一问题严重影响着人民生命财产安全, 决定着工程建设的成败, 解决不好会造成严重的经济损失和恶劣的社会影响。因此, 进行地下工程结构施工时要采取有效措施来减小地表变形, 保证地表房屋、道路、管线及历史文物等不被损害, 生态环境不发生恶化。



图 1-7 广州地铁海珠广场站基坑塌方



图 1-8 广州地铁 3 号线沥滘站塌方



图 1-9 上海轨道交通 4 号线重大工程事故



图 1-10 新加坡尼诺大道坍塌事故

1.4 地下工程结构的发展现状

人类对地下空间的应用已有较长的历史。由于洞穴具有冬暖夏凉的特点,既可防风避雨又可躲避野兽侵袭等,因此古人类很早就已将天然洞穴作为居住的地方,如北京周口店的山顶洞人。随着人类文明的发展,特别是使用青铜和铁制工具后,人类开始有意识地建造各类地下工程以满足人类的需要,如建造于公元前 2000 多年前的巴比伦河底隧道,建造于公元前 312—公元前 226 年的罗马地下输水道和储水池等。近代地下工程结构的发展主要以海底隧道、山岭隧道和城市地下铁道的发展为标志,伦敦于 1863 年建成了世界上第一条城市地下铁道。

欧洲早在 19 世纪末 20 世纪初就修建了穿越阿尔卑斯山脉的辛普朗(Simplon)隧道。它由两条长 19.8km 的单体铁路隧道组成,位于瑞士伯尔尼到意大利米兰的铁路线上,工程宏伟、艰巨。20 世纪 60 年代,日本开始修建连接本州和北海道的青函(Seikan)隧道,其长 53.85km,到 1988 年 3 月才竣工通车,历时 24 年。1994 年 5 月 6 日,连接英法两国的海底隧道正式通车。这条长 50.5km 的隧道仅用了 6 年时间就修通了,充分体现了现代隧道施工技术的水平。

世界近代建筑发展的历史大致可划分为三个阶段,即 19 世纪是桥梁建设的世纪,20 世纪是高层建筑建设的世纪,而 21 世纪则为地下空间发展的世纪。实际上,自 20 世纪 20 年代以来,由于城市化进程加快,城市用地紧张,基础设施落后,环境恶化等问题日益突出,一些发达国家就开始开发地下空间,通过修建地下过街通道、地铁、商场、仓库和地下综合服务区等实现对地下空间的利用。东京首条地下高速路东京中央环状新宿线于 2007 年 3 月开通之后,不仅大大缩短了通行时间,而且有效地缓解了市中心地区的交通拥挤,减轻了市内环境污染问题;美国波士顿中央大街改造工程是美国在 20 世纪最复杂、最宏大、最具技术挑战性的高速路工程,它是在中央大街下面建设一条地下快速道路和一条穿越波士顿港的海底隧道,以连接机场和城市中心,完善城市交通,改善城市环境;巴黎也将建筑两环加放射的地下道路机动车交通系统,用以解决机动车在城市内部的行驶问题。

在交通隧道方面,随着我国高速公路干线网的不断完善,特别是向我国西部多山地区的不断延伸,如海南岛与陆地间的跨海延伸,辽东半岛与胶东半岛之间的跨海连接,崇明岛与上海之间等长江沿线的地下连接等,都需要巨大的隧道工程来支撑。随着西部的开发,我国铁路隧道、公路隧道的单体长度及数量记录都将不断被刷新。在跨海、跨江隧道方面,目前青岛与黄岛之间的海底隧道已建成(图 1-11),且对琼州海峡隧道完成了可行性研究。不少有识之士提出了跨越渤海湾,连接辽东与胶州半岛的南桥北隧固定联络通道;跨越长江入海口,连接上海—崇明—启东的江底隧道,

甚至提出了兴建台湾海峡隧道的设想。日本青函海底隧道(全长 53.85km,海底部分长 23.3km)、英法海底隧道(图 1-12,全长 50.5km,海底部分长约 38km)的建成运营,以及其他国家正在规划与实施的众多海底隧道,都为我国树立了榜样。



图 1-11 青岛与黄岛之间的海底隧道

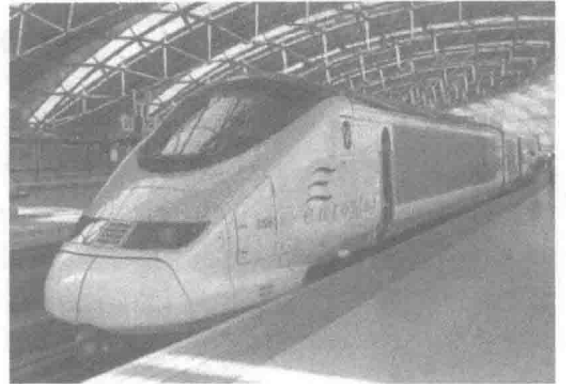


图 1-12 英法海底隧道

在水利水电隧道方面,我国自 20 世纪 70 年代中期以后先后建成了一大批著名的水电工程,如二滩水电站工程、黄河小浪底水电站工程、葛洲坝工程、世界最大水电工程之一的长江三峡工程。在水利水电系统的地下工程和隧道建设中,一个明显特点是工程规模不断大型化,具体体现为引水隧洞埋深增加,导流、泄洪洞断面面积增大,跨度增大,边墙增高,隧洞承压水头增大等,如锦屏二级引水隧洞埋深达 2600m(与目前世界上最大埋深的法国谢栏引水隧洞埋深 2620m 相近),二滩水电站导流洞断面面积达 403m^2 ,已建成的天湖抽水蓄能电站的水头高达 1074m。在长度方面,1991 年建成的太平驿引水隧洞长达 10km,辽宁省大伙房引水隧洞全长 85km。

在城市地下工程方面,随着现代化城市的高密度化发展,生活水准的高标准化发展,各种供给设施(如电信、电气、煤气、给排水等设施)的需求量将会急剧增加,需要改造和增设的管线愈来愈多。解决这一问题的最好对策是修建统一规划与管理的城市地下共同沟(即城市地下公用事业综合隧道),如 1994 年上海浦东建成了我国第一条规模较大的张扬路共同沟。上海黄浦江下已建成多条水底隧道将浦东、浦西连接起来,广州的珠江、宁波的甬江下都已建成水底地铁和公路隧道,武汉江底隧道、厦门岛与大陆间的水下通道都已建成。我国上海、北京、广州等城市都在加快地铁建设,已通车里程接近 600km(含城铁通车里程)。目前,我国共有 20 多个城市正在建设或规划建设城市轨道交通。北京计划到 2015 年全市轨道交通运营线路达 19 条,总里程达 561km,形成“三环、四横、五纵、七放射”格局;上海“十二五”期间要建成 200km 轨道交通;广州 2015—2025 年将新建 200km 轨道交通。

随着国民经济和城市建设的快速发展,城市地下空间的开发与利用已成为 21 世纪我国城市基础建设的重要组成部分,是解决我国城市化发展与城市用地紧缺之间矛盾的主要手段。在城市地下空间的开发利用中,大型复杂地下工程的建设已成为地下空间开发与利用的重要组成部分。发展大运量的城市地下快速交通,特别是地铁,已成为解决大城市交通问题的关键,也是城市向可持续、生态型方向发展的必然之路。2008 年,国务院批复了 22 个城市的地铁建设规划。至 2016 年,我国将新建轨道交通线路 89 条,总建设里程为 2500km,2014 年已有 50 条、约 1154km 线路开工在建。作为城市地下工程结构的一种主要形式,地下铁道的建设在我国具有广阔的发展前景。

1.5 本课程的特点

地下工程结构的设计与建造涉及工程地质、材料力学、土力学、岩石力学、水力学、结构力学、混凝土结构等专业理论和知识,地下工程结构的学习也涉及与其相关的岩土工程、结构工程、防灾减灾工程等专业理论和知识。

地下工程结构与地面工程结构相比,在计算理论和施工方法两方面都有许多不同之处。其中,最主要的区别是地下工程结构所承受的荷载比地面工程结构复杂。这是因为地下工程结构埋置于地下,其周围的岩土体不仅作为荷载作用于地下工程结构上,而且约束着结构的移动和变形。所以,在地下工程结构设计中除了要计算因素多变的岩土体压力之外,还要考虑地下工程结构与周围岩土体的共同作用。这一点就是地下工程结构在计算理论上与地面工程结构最主要的差别,也是本课程的主要特点。

【参考文献】

- [1] 杨新安,吴德康.铁路隧道.上海:同济大学出版社,2003.
- [2] 吴波.城市地下工程技术研究与实践.北京:中国铁道出版社,2008.
- [3] 朱永全,宋玉香.隧道工程.2版.北京:中国铁道出版社,2007.
- [4] 吴波,阳军生.岩石隧道全断面掘进机施工技术.合肥:安徽科学技术出版社,2008.
- [5] 吴能森.地下工程结构.武汉:武汉理工大学出版社,2010.
- [6] 郑刚.地下工程.北京:机械工业出版社,2011.