

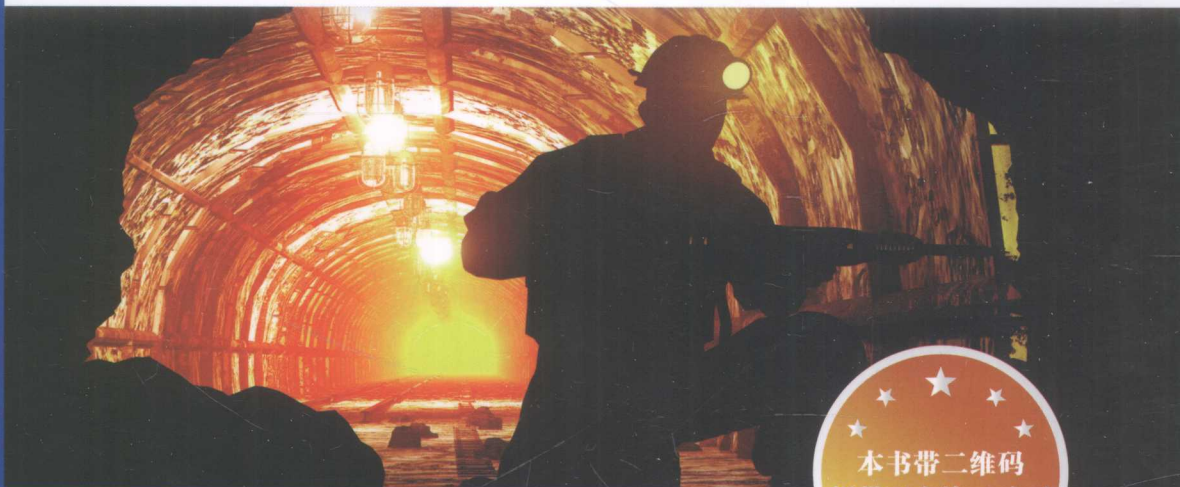


高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地下工程施工

DIXIA GONGCHENG SHIGONG

张 彬 刘艳军 李德海◎主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

地下工程施工

张 彬 刘艳军 李德海 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本教材系统论述了城市地下空间的施工技术、施工方法及施工组织与管理,重点论述了特殊水文地质条件下地下水患的治理方法。全书分为七章,主要包括:绪论、地下工程掘进技术、地下工程支护技术、浅埋地下工程施工方法、盾构技术、地下工程水防治技术、地下工程施工组织与管理等。

本书除作为城市地下空间工程、道桥与渡河工程、地下建筑工程专业的教材用书外,亦可作为从事上述相关专业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 / 张彬, 刘艳军, 李德海主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017. 1

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

ISBN 978-7-114-13372-5

I. ①地… II. ①张… ②刘… ③李… III. ①地下工程—工程施工—高等学校—教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 237336 号

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

书 名: 地下工程施工

著 者: 张 彬 刘艳军 李德海

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 15.75

字 数: 372 千

版 次: 2017 年 1 月 第 1 版

印 次: 2017 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13372-5

定 价: 36.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校城市地下空间工程专业规划教材

编 委 会

主任委员:张向东

副主任委员:宗 兰 黄 新 马芹永 周 勇
金 奕 齐 伟 祝方才

委 员:张 彬 赵延喜 郝 哲 彭丽云
周 斌 王 艳 叶帅华 宁宝宽
平 琦 刘振平 赵志峰

序 言

近年来,我国城市建设以前所未有的速度加快发展,规模不断扩大,人口急剧膨胀,不同程度地出现了建设用地紧张、生存空间拥挤、交通阻塞、基础设施落后等问题,城市可持续发展问题突出。开发利用城市地下空间,不但能为市民提供创业、居住环境,同时也能提供公共服务设施,可极大地缓解城市交通、行车、购物等困难。

为适应城市地下空间工程的发展,2012年9月,教育部颁布了《普通高等学校本科专业目录》(以下简称专业目录),专业目录里将城市地下空间工程专业列为特设专业。目前国内已有数十所高校设置了城市地下空间工程专业并招生,而在这个前所未有的发展时期,城市地下空间工程专业系列教材的建设明显滞后,一些已出版的教材与学生实际需求存在较大差距,部分教材未能反映最新的规范或标准,也没有形成体系。为满足高校和社会对于城市地下空间工程专业教材的多层次要求,人民交通出版社股份有限公司组织了全国10余所高校编写“高等学校城市地下空间工程专业规划教材”,并于2013年4月召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2014年4月召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材陆续出版。

这套教材包括《地下工程概论》《地铁与轻轨工程》《岩体力学》《地下结构设计》《基坑与边坡工程》《岩土工程勘察》《隧道工程》《地下工程施工》《地下工程监测与检测技术》《地下空间规划设计》《地下工程概预算》等11门课程,涵盖了城市地下空间工程专业的主要专业核心课程。该套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,充分考虑知识体系的完整性、准确性、正确性和适用性,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例,做到通俗易懂,图文并茂。

为方便教师的教学和学生的自学,本套教材配有多媒体教学课件,课件中除教学内容外,还有施工现场录像、图片、动画等内容,以增加学生的感性认识。

反映城市地下空间工程领域的最新研究成果、最新的标准或规范,体现教材的系统性、完整性和应用性,是本套教材所力求达到的目标。在各高校及所有编审人员的共同努力下,城市地下空间工程专业系列规划教材的出版,必将为我国高等学校城市地下工程专业建设起到重要的促进作用。

高等学校城市地下空间工程专业规划教材编审委员会
人民交通出版社股份有限公司

前 言

城市地下空间是指在城市地面以下由长度、宽度及高度所给出的空间。随着城市化进程的加快,城市地下空间开发利用已经成为提高城市容量、缓解城市交通、改善城市环境的重要手段,是实现建设资源节约型、环境优良型城市的重要途径之一。城市地下空间的种类很多,诸如地下仓库、地下铁路、共同沟、地下停车场、地下商业街、深基坑等等。城市地下空间施工是地下工程施工的一种,与其他地下工程施工相比,其施工特点是:受地面建筑及城市基础设施制约;直接影响地面交通、生产与生活;土体松软,土体维护困难;受地下水、地下管线影响较大。本书旨在使读者通过学习和研讨,熟悉并掌握城市地下空间建设所进行的挖掘(进)、支护及相应的技术管理工作。地下建筑施工方法很多,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)。本书重点论述地下工程施工的基本技术、软土施工技术、地下水处理技术及施工组织与管理等。

本书以我国最新出版的有关技术标准和规范为依据,力争反映地下建筑施工技术最新的科学技术成就。在编写过程中,吸收国内外成功的经验及最新的科研成果,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,使读者对地下建筑施工技术有比较全面的了解。

为帮助师生对《地下工程施工》进行更加深入和立体学习,我们针对本书的特点,制作了部分大型施工工艺辅助视频(书中的二维码),以增加学生的感性认识,实现课堂教学与施工现场“零”贴近。

本书共分七章,张彬、刘艳军、李德海为主编,赵文华、金佳旭、张晓帆为副主编,全书由张彬统稿。编写分工为:张彬(辽宁工程技术大学)第一章、第六章(部分内容);刘艳军(南京林业大学)第四章、第五章;李德海(黑龙江工程学院)第七章;赵文华(辽宁工程技术大学)第二章;金佳旭(辽宁工程技术大学)第三章;张晓帆(山东商务职业学院)第六章(部分内容);顾云(阜新市交通局)参与了本书部分章节的编写工作。王亮(北京建筑大学)提供了施工动画视频。

书中难免有错误或不当之处,恳请有关院校师生及读者批评指正,以便修改完善。

编 者

2016年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 地下工程简介	3
第三节 地下工程施工新进展	6
思考题	10
第二章 地下工程掘进技术	11
第一节 概述	11
第二节 掘进机掘进技术	13
第三节 城市地下工程钻爆法	20
第四节 新奥法理论与实践	34
思考题	39
第三章 地下工程支护技术	40
第一节 概述	40
第二节 构件支护法	42
第三节 锚喷支护法	44
第四节 模筑混凝土衬砌法	60
第五节 装配式衬砌法	70
思考题	76
第四章 浅埋地下工程施工方法	77
第一节 概述	77
第二节 地下工程明挖法施工	78
第三节 地下工程浅埋暗挖法施工	103
第四节 地下工程逆作法施工	108
第五节 其他浅埋地下工程施工方法简介	119
思考题	125
第五章 盾构技术	126
第一节 概述	126
第二节 盾构工作原理及基本构造	127
第三节 盾构的分类及特点	134
第四节 盾构法施工技术	140
第五节 盾构辅助作业技术	150
思考题	157
第六章 地下工程水防治技术	158
第一节 概述	158



第二节	人工降低水位法	160
第三节	注浆施工技术	167
第四节	冻结法	197
第五节	地下工程主体结构防排水措施	208
第六节	工程案例	210
	思考题	213
第七章	地下工程施工组织与管理	214
第一节	地下工程施工组织设计	214
第二节	地下工程施工质量与安全控制	217
第三节	地下工程施工进度计划设计	227
第四节	地下工程施工平面图设计	231
	附表	237
	参考文献	240
	本书配套施工动画	241

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、地下工程分类

地下工程是一个较为广阔的范畴。它泛指修建在地面以下岩层或土层中的各种工程空间与设施,是地层中所建工程的总称。通常包括矿山井巷工程、城市地铁隧道工程、水工隧洞工程、交通山岭隧道工程、水电地下洞室工程、地下空间工程、军事国防工程、建筑基坑工程。

地下工程有许多分类方法:可按使用性质分类、按周围围岩介质分类、按设计施工方法分类、按建筑材料和断面构造形式分类,也有按其重要程度、防护等级、抗震等级等分类的。

1. 按使用功能分类

地下工程按使用功能依次可分为交通工程、市政管道工程、地下工业建筑、地下民用建筑、地下军事工程、地下仓储工程、地下娱乐体育设施等。

可以按其用途及功能再分类如下:

(1) 地下交通工程:地下铁道、隧道、过街人行道、海(江、河、湖)底隧道等。

(2) 地下市政管道工程:地下给排水管道、通信、电缆、供热、供气管道,将上述管道汇集到一起的共同沟。

(3) 地下工业建筑:地下核电站、水电站厂房、地下车间、地下厂房、地下垃圾焚烧厂等。

(4) 地下民用建筑:地下商业街、地下商场、地下停车场等。

(5) 地下军事工程:人防工程、地下军用品仓库、地下战斗工事等。

2. 按四周围岩介质分类

可以把地下工程分为软土地下工程、硬土地下工程、水下或悬浮工程;按照地下工程所处围岩介质的覆盖层厚度,又分为深埋、浅埋、中埋等不同埋深地下工程。

3. 按施工方法分类

地下工程常分为:浅埋明挖法地下工程、盖挖逆作法地下工程、矿山法隧道、盾构法隧道、顶管法隧道、沉管法隧道、沉井基础工程等。

4. 结构形式分类

地下建筑和地面建筑结合在一起的常称为附建式,独立修建的地下工程称为单建式。地下工程结构形式可以分为隧道形式,横断面尺寸远小于纵向长度尺寸,即廊道式。平面布局上也可以构成棋盘式或者如地面房间布置,可以为单跨、多跨,也可以单层或多层,通常的浅埋地下结构为多跨多层框架结构。地下工程横断面可根据所处部位地质条件和使用要求,选用不



同的形状,最常见的有圆形、马蹄形、直墙拱形、曲墙拱形、落地拱、联拱、穹顶直墙等。

5. 按衬砌结构材料分类

衬砌结构材料主要有砖、石、砌块混凝土、钢筋混凝土、钢轨、锚杆、喷射混凝土、铸铁、钢纤维混凝土、聚合物钢纤维混凝土等。

二、地下工程性质

地下工程是规划、勘测设计、施工、管理、维修的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门类,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。

由于受地质、水文地质条件的影响及作业空间与环境的限制,地下工程施工与地面工程施工相比,前者复杂多变、工程难度大、成本高、工期长,在特殊的地质与水文地质条件下显现得更为突出。

地下建筑工程具有显著的不同于地面建筑的特征:

- (1)有良好的热稳定性和密闭性。
- (2)具有良好的抗灾和防护性能。
- (3)具有很好的社会效益和环境效益。
- (4)地下工程施工困难,工期一般较长,一次性投资较高。
- (5)使用时须充分考虑人的心理状况。
- (6)对通风干燥要求较高。

三、地下工程施工特点

根据地下工程的特殊性,地下工程的施工作业和地面工程的施工作业具有一定的差异,主要表现在施工环境条件差、施工工艺复杂、施工监测全面、施工危险性大,可以从以下四个方面来把握。

1. 地下工程基本作业

基本作业 = 开挖 + 支护 + 内衬砌。

- (1)开挖方法选择的考虑因素。
- (2)地下工程开挖方法。
- (3)隧道开挖方法。
- (4)支护与内衬砌技术。

为确保地下工程开挖的安全,必须对其进行支护。一般分临时支护与永久支护两大类。形式上有木支撑、格栅支架、钢支架、锚杆、喷射混凝土及其组合支护。内衬砌技术,一般有现浇混凝土与预制混凝土两大类。

2. 辅助作业

地下工程辅助作业是配合基本作业的必需环节,一般包括:风、水、电的设计、安装与供给;施工场地的规划与布置;出渣运输计划与设备配置等。

3. 环境监控

主要研究解决施工过程中的安全问题及其对周围环境的影响,如洞室开挖位移过大引起塌方、支护结构位移太大引起结构失稳与倾斜、地表沉陷过大对地面建筑或设施造成破坏甚至倒塌事故、地下水控制等。

主要技术手段是量测监控,发现异常情况应及时通报,并采取相应的加固措施(辅助施工手段),更改施工方案。

4. 施工管理

科学施工组织与管理是保障安全施工和高质量完成建设目标的前提。主要途径有:编制科学合理的施工组织设计;加强施工现场的监督与指导;充分协调现场施工管理部门与监理机构的关系;搞好施工过程的四大控制,即质量控制、进度控制、成本控制及安全控制,使四大控制点相互约束相互协调,以期达到工程施工在保证安全的前提下,高质量、低成本、最短的工期内完成。

第二节 地下工程简介

一、城市地下工程

城市地下空间利用是城市发展到一定阶段而产生的客观要求。同时,城市所在地自然环境 and 地缘政治对其开发利用地下空间的动因、重点、规模、强度等都有一定影响。这些因素构成地下空间发展的背景和条件。例如,日本经济虽然发达,但国土狭小,人口众多,资源短缺,城市空间非常拥挤,因而在 20 世纪 50~80 年代,日本结合城市改造进行立体化的再开发,大量开发利用了城市地下空间。一些西欧和东欧国家在 20 世纪后半叶的冷战时期,为了防止在欧洲和两大阵营之间可能发生的大规模战争中受到袭击或波及,曾一度大规模修建地下民防工程,并成为这些国家城市空间利用的主体。瑞典等北欧国家缺少能源,故利用优越的地质条件,大量建造各类地下储油库,建立国家的石油战略储备,同时还在地下空间中储存热能、冷能、机械能、电能等多种能源。加拿大冬季漫长,气候寒冷,冰雪给城市生活造成很大不便,因此各大城市在建地下铁路的同时,大量建造地下步行街,进而形成大面积的地下商业街。

目前,城市地下空间开发利用的功能,几乎涉及城市功能的全部,但从整体而言,根据功能,城市地下工程可分为以下几类。

1. 地下交通设施

利用地下空间建设各种地下交通设施,是世界各大城市解决城市交通问题的重要手段。目前,地下交通设施不仅包括地下车库等城市的静态交通设施,而且还包括地下道路、地下立交、地下步行系统、地铁等快速轨道交通设施、大型的地下换乘枢纽以及其他的城市动态交通设施。地下交通设施是现代城市地下空间开发利用的主要功能类型之一。

2. 地下市政设施

市政设施是城市基础设施的重要组成部分,也是城市地下空间开发利用的重要内容,除传



统的市政管线外,地下市政设施还包括共同沟、地下污水泵站、地下变电站、地下水库以及地下垃圾回收与处理设施、地下污水处理厂等设施。

3. 城市防灾设施

随着城市化水平的不断提高,城市的地位与作用越来越重要,所以城市防灾设施就成为城市可持续发展的重要领域,并成为城市化建设的重要内容。除利用地下空间建设城市的防空工程体系外,一些发达国家还利用地下空间建设了城市防洪、抗震等各种防灾设施,并在城市的防灾减灾过程中发挥了重要作用。

4. 地下公共空间

科学技术水平的不断提高和经济的不断发展,使地下空间开发利用的功能也不断扩大,其中最显著的是各种城市公共空间向地下不断发展,如地下商城、地下综合体、地下图书馆、地下试验室、地下体育馆、地下医院等,地下公共空间是城市地下空间开发利用的方向之一。

5. 其他地下设施

其他地下设施,如城市中的各种危险品仓库、粮库等各种仓储设施等,也是现代城市地下空间开发利用的重要内容。

二、矿山地下工程

矿山地下工程主要以巷道为主,包括巷道的设计、掘进以及支护。其中,主要考虑的是巷道的围压,即巷道的顶压、侧压及底压。

1. 地压的概念

开巷后围岩将发生变形、移动弯曲、裂缝、掉渣等一系列变化,这种现象叫作地压现象。未经掘进或回采工作破坏的岩层,其中任何一处的岩石都受到上下、左右、前后岩石的挤压。如果岩石不再受其他外力的干扰时不会发生变形和移动、也不会破坏的、这种静止不动的状态,就叫作岩石的平衡状态。在岩层中开掘了巷道时情况就发生了变化,将使岩石发生形状的改变和位置的移动。

为了使巷道保持一定的断面形状和大小,需要阻止巷道围岩发生变形和破坏。有的围岩本身的强度就可以抵抗这种变形的发生。当围岩强度不够时,就要在巷道中设置支架。

地压的大小,是随巷道围岩的性质、巷道形状大小、开巷后的时间长短等因素变化而变化,在矿山设计和生产实践中,研究和掌握巷道地压现象及规律,对合理设计巷道支护方法、保证安全生产、节约国家资源,具有重要意义。矿山生产中,常常由于巷道布置和支架结构不合理,使巷道维护十分困难,支架需要经常翻修,有时支架的承载力不够,支架被破坏,影响正常生产,甚至发生冒顶事故。有时支架承载力过大,超出实际需要,因而浪费支架材料和费用。这些现象的发生,主要是由于未能掌握各种情况下巷道地压规律所致。由此可见,研究巷道地压是十分必要的,其目的在于:一是选择合理的巷道断面形状和尺寸;二是合理地设计和改善支架结构形式和尺寸;三是合理选择巷道布置位置,改善巷道维护条件。

2. 巷道的维护方法

从长期的生产实践中,人们找到多种维护巷道的方法。

(1)合理地选择巷井位置和断面形状。服务年限较长的巷道,应布置在较坚固的岩层中,尽量避开不利的地质条件,如含水层过大的岩层、断层破碎带等。也可以把巷道开成拱形,以降低支架的压力。

(2)在巷道内架设支架。这是过去应用最广泛的一种方法。支架的作用,一方面可以阻止围岩的变形和破坏的发生,另一方面可以承托破碎了的岩石,防止塌落。

(3)尽量防止由于掘巷而破坏围岩的稳定性。如利用喷浆法加固围岩并防止风化,利用锚杆加固围岩,或采取其他加固围岩的措施。

支护方法要根据当地的具体条件合理选择,充分考虑地质条件、矿山压力、支护材料来源和技术水平等因素,确定采用技术上可行、经济上合理的支护方法。

三、隧道工程

1. 隧道概述

对于洞道式地下工程,不同的行业有不同的称谓,公路及铁路部门称为隧道,在矿山称为巷道,水利水电部门称之为隧洞,而军事部门则称为坑道或地道,在市政工程中又叫通道或地道。隧道通常是指修筑在地下或山体内部,两端有出入口,供车辆行人等通过的通道。大部分隧道的设置以交通运输为主要目的,如交通运输方面的铁路、公路和人行隧道、城市地下铁道隧道、海底及水底隧道等。

2. 隧道的种类

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

交通隧道作为运输孔道,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:铁路隧道、公路隧道、水底隧道、城市地下铁路(简称地铁)、航运隧道、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)隧道及排砂隧道等。

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(动力电缆和通信电缆)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、斜井或平洞)、平巷和各类洞室所组成,开拓系统见图 1-1。

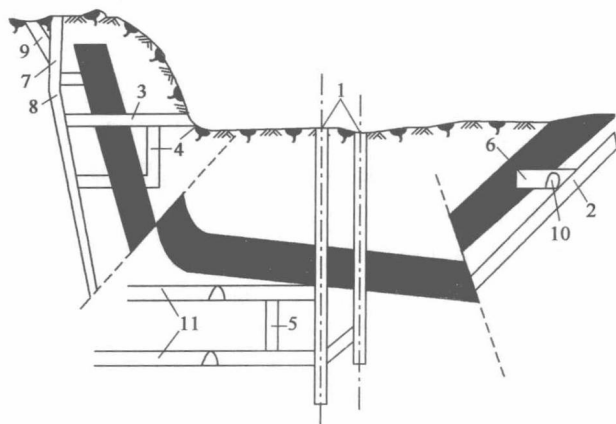


图 1-1 矿山井巷开拓系统图

1-立井;2-斜井;3-平洞;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

第三节 地下工程施工新进展

一、地下工程施工技术沿革

地下工程应用可追溯至 4000 多年前,公元前 2200 年就出现了巴比伦河底隧道,公元前 200 年出现了罗马地下输水道及储水池。近代由于工业革命推动了社会的发展,1863 年,英国采用明挖法在首都伦敦建成了第一条地铁。1867 年,美国在纽约也建成了第一条地铁。随后世界上多个国家相继修建了地铁,到了 20 世纪 30 年代,日本开始发展以地下交通为基础的地下商业街。20 世纪末期,世界上已有 100 多个城市修建地下隧道,大量的地下存储库、地下停车场、地下商业街以及地下管线等连接为一体的地下综合建筑群体出现。

我国在地下工程应用方面的历史也比较久远,公元前 208 年,秦朝修筑了宏伟的秦始皇地下陵墓工程。隋朝时期,我国在洛阳东北建造了数量众多面积很大的地下粮仓。宋朝时期我国在河北建造了 40km 的军用地道。步入现代,1969 年,北京建成第一条地下铁路。1979 年,香港建成全长 43.2km 的地铁。1980 年,天津也建成 7.4km 的地铁。1995 年,上海地铁 1 号线正式开通运营。截止到 2008 年,我国内地城市运营地铁线路总长 746km,北京、上海、重庆、武汉等城市都在大规模的建设城市轨道交通。预计到 2020 年,我国建设城市轨道交通线路将达 2000~2500km。

我国在地下工程施工技术与方法上取得了较大进步,先后采用了明挖法、逆作法、暗挖法、沉井法、盾构法、顶管法及沉管法等施工技术方法,这些技术的研究与应用有的已达到国际先进水平。

1) 明挖法施工技术

明挖法也称基坑开挖技术,指的是先将隧道部位的岩(土)体全部挖除,然后修建洞身、洞

门,再进行回填的施工方法。具有施工简单、快捷、经济、安全的优点,城市地下隧道式工程发展初期都把它作为首选的开挖技术。其缺点是对周围环境的影响较大。

明挖法适用于地面开阔和地下地质条件较好的情况。明挖法主要运用于工程实践中所出现的大量的深基坑工程,并形成了种类齐全的多种基坑围护开挖技术。20世纪90年代以来,基坑工程规模不断加大,深度不断加深,与建筑物等已有设施距离越来越近,推动了深基坑工程的设计向更高水平迈进,使我国基坑工程的设计施工进入环境设计阶段,促进了时空效应基坑工法的生产与应用,并达到了国际领先水平。

2) 逆作法施工技术

逆作法是以地下结构本身作为挡墙,同时又作支撑体系,从上往下分步依次开挖和构筑地下结构体系的施工方法。因为它与传统的先支挡后开挖的顺序施工法呈反向作业,故称为逆作法。逆作法的原理是以结构本体(楼盖体系)作为支撑,其刚度相当大,也减小了支护结构整体变形,显示了明显的优点,逆作法需先设置临时立柱及立柱桩,要增加一些费用,且在混凝土浇筑的各个阶段都分先浇和后浇工序,其交接处给施工带来不便。另外,因临时支撑结构与防水等问题,对施工计划与质量管理也提出了更高要求。

3) 暗挖法施工技术

暗挖法施工技术是在地表下面进行施工,优点是对人们生活无干扰,但技术要求和造价较高。主要有新奥法、浅埋暗挖法、管幕法三种工法。

(1) 新奥法:所谓新奥法,即“新奥地利隧道施工法”国际上简称为 NATM,是一种在岩质、土砂质介质中开挖隧道,以使围岩形成一个中空筒状支撑环结构为目的的隧道设计施工方法。

(2) 浅埋暗挖法:浅埋暗挖法是以加固和处理软弱地层为前提,采用有足够刚性的复合衬砌(由初期支护和二次衬砌及中间防水层所组成)为基本支护结构的一种用于软土地层近地表修建各种类型地下洞室的暗挖施工方法。

(3) 管幕法:管幕法是以单管顶进为基础,各单管间依靠锁口在钢管侧面相接形成管排,并在锁口间注浆,形成密封的止水管幕。然后对管幕内的土体进行加固处理,随后边内部开挖边支撑,直到管幕段贯通再浇筑结构体。

4) 沉井法施工技术

沉井法又称沉箱凿井法,是适用于不稳定含水地层中建造竖井的一种特殊施工方法。在不稳定含水地层掘进竖井时,在设计井筒位置上预先制作一段井筒,井筒下端有刃脚,借井筒自重或略施外力使之下沉,将井筒内的岩石挖掘出的施工方法。

5) 盾构法施工技术

盾构隧道施工法是指使用盾构机,一边控制开挖面及围岩不发生坍塌失稳,一边进行隧道掘进,并在机内拼装管片形成衬砌实施壁后注浆,从而不扰动围岩而修筑隧道的方法。

盾构的适用范围:掘进隧道允许在纵长的地下结构以下施工,覆盖层浅,在不稳地层和含地下水的地质都不会引起地表断裂或较的沉陷。它可应用于很松散的土质或高压强的地中,如在软塑性的或流动的地层;在暂时稳定地层中也实现了有效的应用,尽管这时的盾构只起部分保护作用。在盾构法施工技术掘进隧道这一领域中,日本处于世界领先地位。其次,德国的盾构法施工技术也达到了很高的水平。因而盾构法有着很广阔的应用范围和前景。

6) 顶管法施工技术

顶管法是采用液压千斤顶或是具有顶进、牵引功能设备,以顶管工作井作为承压壁,在地层土体开挖的同时,将预制好的地下管道(或隧道)一起沿着设计路线分节向前推进,直达目的地。它是隧道或地下管道穿越铁路、道路、河流或建筑物等各种障碍物时采用的一种暗挖式施工方法。

7) 沉管法施工技术

沉管法也称预制管段沉放法,即在船坞内预制钢筋混凝土结构,然后放水浮运,沉埋到设计位置,建成水下工程。这种方法优点是:容易保证隧道施工质量;工程造价较低;在隧道现场的施工期短;操作条件好,施工安全;适用水深范围较大;断面形状、大小可自由选择,断面空间可充分利用。其缺点是技术要求高。

二、地下工程施工技术前沿

随着地下工程建设规模的扩大和密度的提高,面临的技术挑战和施工风险也越来越大,特别是在沿江、沿海软土地区,由于其地质环境极脆弱敏感,建设难度剧增。

基坑工程的周边环境越来越复杂,环境保护要求日趋严格,节能减排、走可持续发展道路等要求给软土基坑工程新技术的应用提供了广阔的舞台。支护结构与主体结构相结合技术、超深水泥土搅拌墙技术、软土大直径可回收式锚杆支护技术、预应力装配式鱼腹梁支撑技术等新技术,以其鲜明的技术特点、有利于节能降耗和可持续发展等优点进入了工程应用行列,取得了良好的经济和社会效益。

1. 支护结构与主体结构相结合技术

支护结构与主体结构相结合技术是采用主体地下结构的一部分构件(如地下室外墙“水平梁板”中间支承柱和桩)或全部构件作为基坑开挖阶段的支护结构,不设置或仅设置部分临时支护结构的一种设计和施工方法。

按照支护结构与主体结构结合的程度进行区分,可将支护结构与主体结构相结合工程归为三大类型,即周边地下连续墙两墙合一结合坑内临时支撑系统采用顺作法施工、周边临时围护体结合坑内水平梁板体系替代支撑采用逆作法施工、支护结构与主体结构全面相结合采用逆作法施工。

目前,我国大部分深基坑工程仍采用常规的临时支护方法。临时围护体如钻孔灌注桩工程费用巨大,而在地下室施工完成后,就退出工作并被废弃在地下,造成很大的材料浪费;临时水平支撑及竖向支承系统往往造价高,施工周期长、土方开挖与地下工程结构施工不便,且混凝土支撑还需拆除,而混凝土支撑拆除困难,浪费了大量的人力、物力和社会资源;采用锚杆虽然可以避免设置内支撑,但其在地下室施工完成后即被废弃在地下,为后续工程留下了严重隐患。与传统的深基坑工程实施方法相比,支护结构与主体结构相结合技术具有利于保护环境、节约社会资源、缩短建设周期等诸多优点,符合国家节能减排的发展战略,是进行可持续发展的城市地下空间开发和建设节约型社会的有效技术手段。

2. 超深水泥土搅拌墙技术

随着地下空间开发向超深方向发展,承压水处理成为一个棘手的问题。对于环境条件苛

刻的基坑工程,有时需采用水泥土搅拌墙截断或部分截断深部承压水层与深基坑的水力联系,控制由于基坑降水而引起的地面沉降,确保深基坑和周边环境的安全。

铣削深层搅拌技术(CSM)是另一种创新性深层搅拌施工法,它通过钻具底端的两组铣轮以水平轴向旋转切削搅拌土体,同时注入水泥固化剂与土体进行充分搅拌混合,形成矩形槽段改良土体,CSM工法铣轮的切削力矩大,可以用于较坚硬的地层如粉砂、砂层、卵砾石层等,可以切削强度35MPa以内的岩石或混凝土。

TRD工法也是一种新型水泥土搅拌墙施工技术,采用链锯型切削刀具插入土中横向掘削,注入固化剂与原位土体混合搅拌,形成水泥土搅拌墙。

3. 软土大直径可回收式锚杆支护技术

锚杆目前主要应用于岩石及硬土层中,对于软土基坑工程,由于土的工程性质较差,锚杆支护技术由于其锚固力不高,变形控制效果不好,其应用受到很多限制。另一方面,锚杆体埋置于地下结构周边的地层中,当工程结束后,作为基坑支护结构的锚杆就失去了作用,一般就被废弃在地层中,形成城市地下建筑垃圾,就会影响周边地下空间的开发与利用。

近年来,工程界提出了一种旋喷搅拌大直径锚杆支护结构,该技术是采用搅拌机械在软土中形成直径达到500~1000mm的水泥土锚固体,通过在锚固体内加筋,并对锚杆体预先施加应力,从而形成一种大直径预应力锚杆,该技术对软土基坑的变形控制产生了较好效果。同时,通过对可回收式锚杆技术的开发与应用,实现了锚杆体的再利用,减少或消除了地下建筑垃圾的产生,通过在上海、天津、武汉等地多个软土基坑工程的应用,取得了良好的经济效益和技术效果。

4. 预应力装配式鱼腹梁支撑技术

当基坑采用传统钢支撑时,杆件一般较密集,挖土空间较小,在一定程度上降低了挖土效率。预应力鱼腹梁装配式钢支撑系统(IPS)是一种以钢绞线、千斤顶和支杆来替代传统支撑的临时支撑系统。该技术在韩国、日本、美国等国家已得到广泛运用,近年来也已被引进国内。预应力鱼腹梁装配式钢支撑系统采用现场装配螺栓连接、不需焊接,且大大增加了基坑的挖土空间,可显著缩短基坑工程的施工工期,材料全部回收重复使用,彻底避免了混凝土等建筑材料的使用,降低了造价。预应力鱼腹梁可随时调节预应力,便于周围土体位移控制和由温度变化引起的支撑伸缩量控制,可以较好地控制深基坑的变形,有效地保护了基坑周边的环境。此外,IPS支护结构的破坏模式为延性破坏,因此针对可能发生的较大水土压力或突发荷载可以采取有效而及时的应急措施。IPS技术已在上海轨道交通5号线西渡站配套工程等多个工程中成功应用。

5. 地铁和过江隧道施工新工艺

随着我国城市化快速发展,大城市的交通压力日益增大,大规模的城市地铁建设势在必行,对于沿江规划的城市过江隧道的建设也越来越多。这类工程建设往往规模大、施工环境恶劣、施工技术复杂。

随着我国城市化进程的加快,城市建设快速发展,规模不断扩大、人口急剧膨胀,城市地下空间的开发和利用不仅引起了人们的高度重视,而且也得到了较快的发展。目前,我国隧道总里程7000km以上,而且每年还以450km以上的速度增长。以地下铁道为代表的城市地下施