

普通高等学校“十三五”规划教材

CHENG SHIGONG

地下工程施工

(第2版)

闫富有 主编



黄河水利出版社

普通高等学校“十三五”规划教材

地下工程施工

(第2版)

闫富有 主编

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书按照最新的技术规范编写,系统深入地介绍了目前广泛使用的地下工程施工技术和方法以及施工技术要点。全书共分7章,主要内容包括明挖法、矿山法与新奥法、盾构法、岩石隧道掘进机(TBM)施工、顶管法、施工辅助作业及辅助工法、地下工程施工组织与管理等。

本书可作为城市地下空间工程、土木工程地下工程方向、市政工程、桥梁与隧道工程、道路工程等专业的本科生教材,也可供地下工程、岩土工程方面的研究生和技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工/闫富有主编. —2版. —郑州:黄河水利出版社,2018.6

普通高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5509-2059-0

I. ①地… II. ①闫… 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(2018)第 130893 号

策划编辑:王志宽 电话:0371-66024331 E-mail:wangzhikuan83@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南承创印务有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18.5

字数:427千字

印数:1—3 100

版次:2011年12月第1版

印次:2018年6月第1次印刷

2018年6月第2版

定价:38.00元

普通高等学校“十三五”规划教材

编审委员会

主 任 刘汉东

副主任 王复明 肖昭然 勾攀峰 杨小林

委 员 李广慧 祝彦知 郭院成 乐金朝

黄志全 姜宝良 孙文怀 闫富有

李化敏 姜 彤 孔德志

再版前言

《地下工程施工》(第1版)自2011年出版以来,得到了多所高校的支持与采用,学校师生在使用过程中也为本书提出了许多宝贵意见。高等教育改革与发展对教材建设提出了更高的要求,尤其是城市地下空间工程专业的设置和建设,为地下工程施工教学提出了新的要求,加之参考的相关规范、规程的修订与发布,使本书的修订成为当务之急。感谢黄河水利出版社提供了本次修订的机会。重新思考、认真领会地下工程施工课程的教学内容和教学目标,本着循序渐进地培养学生认知、领会和掌握地下工程施工与组织管理的基本概念、施工原理和施工工艺的基本内容,对本书进行修订。

本次修订,主要有以下几个方面:

(1) 每章内容进行了较大篇幅的修改及调整,总体上每章内容与第1版相对应。

(2) 增加了“明挖法”中基坑支护开挖基本概念方面的内容,对“盖挖法”内容进行了完善和补充,增加了“沉井法施工”一节。

(3) 增加了岩体分级、公路和铁路隧道围岩分级的内容,补充完善了隧道爆破设计方面的内容。

(4) “盾构法”施工方面,加强了“进出洞段地层加固”“盾构出洞”“管片拼装”和“盾尾注浆”等方面的内容。

本书共分为七章。其中,绪论、第一章第七节、第二章、第三章由郑州大学闫富有编写,第一章第一~六节由郑州大学时刚编写,第一章第八节由中原工学院祝彦知和张志增编写,第四章由河南大学温森编写,第五章由郑州大学刘忠玉编写,第六章由郑州大学张景伟编写,第七章由郑州大学靳军伟编写。本书由闫富有担任主编。

在本书修订过程中,承蒙各方鼎力支持,在此谨致谢意。本书参考文献众多,主要列于书末,但仍有未注,对各位学者表示衷心感谢。限于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2018年3月

前 言

地下工程施工是地下工程、城市空间工程、隧道工程等专业的主干课程之一。由于原先不同部门、从事不同行业施工的企业,如从事矿山、公路、铁路、市政等的企业,已逐渐打破了原有行业的限制,跨行业从事不同类型、不同领域的建设任务。而目前关于地下工程施工技术方面的教材在内容上多针对某一领域(如公路或铁路)编写,无法适应培养多领域、跨行业、不同方向人才的需要,或者教材内容偏多,在教学内容和课时安排上很难适应当前土木工程或岩土工程等专业有限学时的教学需要。基于这一思路,结合郑州大学土木工程专业地下建筑工程方向的教学大纲,参考其他院校地下建筑工程及地下空间综合利用专业方向的教学内容和特点编写了本教材。本教材适用于岩土工程、地下建筑工程、城市空间与利用工程、市政工程、道路与桥梁及隧道工程等专业。

本书在内容编排上,围绕当前城市地下工程和隧道工程建设,对当前应用比较普遍的施工技术、施工原理进行讲述,既注意先进性与实用性的协调,又注重当前新的施工方法、新规范和新成果的应用。本教材在满足培养要求和符合学生认知特点的基础上,遵循如下原则:

(1)强调基本施工原理,重点讲授施工技术、施工工艺和施工方法。不同领域的地下工程施工,基本施工原理和施工方法是相通的,在讲授基本施工方法的过程中,适当淡化行业特征,打破行业限制,在强调基本施工技术和原理的同时,重点讲授地下工程的施工方法及新技术的发展。

(2)尽量反映当前地下工程普遍应用的施工技术、施工方法和施工工艺。围绕当前城市地下工程建设所采用的新的施工方法和施工工艺,在对每种施工方法和施工技术讲授的过程中,适当安排一定的工程实例,在学习施工技术的过程中,加深对地下工程施工原理的理解。

(3)本书内容层次分明,适应多层次教学要求。在章节安排上,力求层次分明,使全书各部分内容既相互关联具有系统性,又具有相对独立性,以适应不同专业方向、不同学时、不同类别的教学需要。

本书共分为7章,其中绪论、第二章由郑州大学闫富有编写,第一章第一~六节由郑州大学时刚编写,第七节由中原工学院祝彦知和张志增编写,第三章由中原工学院张志增编写,第四章由河南大学温森编写,第五章由郑州大学刘忠玉编写,第六章由河南大学李斌编写,第七章由闫富有、张志增和李斌编写。本书由闫富有担任主编并编写大纲,第一

章由刘忠玉统稿,第二~七章由闫富有统稿。

本书在编写过程中参考了许多书籍及资料,主要参考文献列于书末,特向各位学者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011年9月

目 录

再版前言

前 言

绪 论	(1)
第一章 明挖法	(8)
第一节 明挖法的基本概念	(8)
第二节 排桩支护结构施工	(12)
第三节 桩锚支护结构施工	(18)
第四节 土钉墙支护结构施工	(23)
第五节 地下连续墙施工	(26)
第六节 盖挖法	(37)
第七节 沉井法施工	(48)
第八节 沉管隧道施工	(55)
思考题	(63)
第二章 矿山法与新奥法	(65)
第一节 围岩压力和围岩分级	(65)
第二节 传统矿山法与新奥法	(70)
第三节 开挖方法	(74)
第四节 钻眼爆破	(79)
第五节 支护施工	(98)
第六节 出渣运输作业	(114)
第七节 超前地质预报与现场监控量测	(116)
第八节 浅埋暗挖法施工	(122)
思考题	(128)
第三章 盾构法	(129)
第一节 概 述	(129)
第二节 盾构机的构造与分类	(133)
第三节 盾构出、进洞技术	(146)
第四节 盾构掘进作业	(158)
第五节 衬砌、壁后注浆和防水	(164)
思考题	(174)
第四章 岩石隧道掘进机(TBM)施工	(175)
第一节 概 述	(175)

第二节 TBM 的类型及构造	(177)
第三节 TBM 掘进施工	(187)
思考题	(195)
第五章 顶管法	(196)
第一节 概 述	(196)
第二节 顶管施工设备	(198)
第三节 顶管工作坑及其附属设施	(210)
第四节 顶管施工技术	(214)
思考题	(224)
第六章 施工辅助作业及辅助工法	(225)
第一节 风、水、电供应	(225)
第二节 通风与除尘	(230)
第三节 轨道交通地下工程防水作业	(236)
第四节 冻结法辅助施工	(246)
第五节 注浆法施工技术	(251)
思考题	(257)
第七章 地下工程施工组织与管理	(259)
第一节 施工准备	(259)
第二节 施工组织设计	(261)
第三节 施工方案	(264)
第四节 施工场地布置和施工进度计划	(266)
第五节 施工管理	(272)
第六节 地下工程施工风险管理简介	(275)
思考题	(284)
参考文献	(285)

绪 论

一、地下工程的概念和分类

地下工程是指深入地面以下为开发利用地下空间资源所修筑的地下建筑物和构筑物,包括地下房屋和地下构筑物、地下铁道、公路隧道、水下隧道、地下共同沟(地下城市管道综合走廊)和过街地下通道等。就用途而言,包括各种工业、交通、民用和军用等地下工程。就广义而言,尚应计入各种用途的地下构筑物,如房屋和桥梁的基础,矿山井巷,输水、输油和煤气管线,信息与通信管线,以及其他一些公用和服务性的地下设施。作为一门学科,地下工程是从事研究和建造各种地下工程的规划、勘察、设计、施工和维护的一门综合性应用科学和工程技术,是土木工程的一个分支。

地下工程按使用功能可分为:

- (1)工业建筑。包括各种仓库和地下工厂及发电站的地下厂房等。
- (2)民用建筑。包括各种民防(人防)工程,地下公共建筑,如地下街、车库、影剧院、餐厅、宾馆和物资储存仓库,以及地下住宅等。
- (3)交通运输建筑。包括铁路与公路隧道、城市地下铁道、河流隧道和水底隧道等。
- (4)水工建筑。包括水电站的地下厂房和附属硐室,各种水工隧洞、电缆洞及调压井等。
- (5)矿山建筑。包括矿山的竖井、斜井、水平巷道和作业坑道等。
- (6)军事建筑。包括各种野战工事、通信枢纽部、飞机和舰艇硐库、军用油库、导弹发射井,以及军火、炸药和各种军用物资仓库等。
- (7)公用和服务性建筑。包括市政隧道、给排水管道、热力和电力管道、输油和煤气管道、信息通信电缆等。

地下工程按地质条件和建造方式可分为:

- (1)土层中的地下建筑。包括采用明挖法施工的基坑工程、浅埋通道和地下室,采用盾构法施工的城市地铁隧道,采用暗挖法施工的深埋地下通道和硐室,采用顶管法施工的市政管道、公路穿越铁路所建造的隧道等。
- (2)岩石中的地下建筑。包括在岩体中建造的各种隧道和人工硐室、为采掘矿产资源所建造的各种井巷等。这两类地下建筑在规划设计和施工技术方面,既具有相似的一面,又有显著区别。本书兼顾这两方面的内容,在不同的章节各有所偏重。

就城市地铁隧道建设而言,从地层特点分析,我国城市轨道交通地下工程的建设主要

包括软弱地层、岩层、软弱地层与岩层的交变和砂卵层四种,其中软弱土层的地下车站和隧道的修建都是在软土层中进行的,如上海市;岩层以重庆和青岛地区为典型;软弱地层与岩层的交变的代表城市如大连、南京、广州等地;砂卵层地区主要有成都、北京等地。受地质条件的影响,不同地区的施工方法不尽相同,因此在地铁建设过程中,施工技术呈现出显著的多样性。

地下工程按空间形态可分为洞道式和厅房式两种。洞道式是指径向尺寸相对其长度较小的地下工程,隧道是其最常见的形式;厅房式是指长度相对较小、径向尺寸相对较大的地下工程,又称为硐室。二者在开挖方式上有一定的区别,在支护结构上有不同的要求。

二、城市地下空间工程的特点

随着大规模建设的要求和地下工程施工技术的发展,人类从最早为了生存和安全而利用地下空间、为防灾减灾而建造地下设施,到伴随城市的现代化和规模化的发展而利用地下空间,伴随科学技术的发展而利用地下空间,为大规模国土资源的有效利用而开发地下空间,地下空间的利用形态已渗透到了人类生活和经济建设的各个方面,尤其是城市地下空间的利用。地下空间是城市可持续发展的重要资源,地下工程是城市建设的主要工程。地下街、地下停车场、地下铁道、市政地下管线、能源地下供给设施、地下上下水道、地下废弃物处理设施和地下文化设施等与地面建筑的集合,构成了现代城市的立体空间网络。

与其他地下工程相比较,城市地下工程具有不同的特点:多数埋深较浅;地面建筑、交通设施密集,地下管线多,开挖造成的影响大,地质条件复杂,多以土体为主,常有膨胀土、砂层、地下水,尤其是沿海沿江城市,淤土、软土的开挖难度更大。因此,针对城市地下工程的特点或难点应主要研究以下技术:

(1)浅埋、超浅埋暗挖施工技术。城市地下工程一般埋深较浅,因为地下工程的埋深不仅直接影响工程造价,而且关系到工程使用的方便程度。在浅埋特别是超浅埋的条件下,地下工程需要穿越不同基础的建筑物、市政管线、街道,地面保护成为施工技术中的首要问题。

(2)复杂、恶劣环境下的开挖技术。诸如流砂层、膨胀土、高压缩性软土淤土、风化破碎岩层、高浓度瓦斯地层、大涌水、岩溶、高应力、地下管线、地面大车流量、建筑物密集等,都是地下工程施工中的技术难题。

(3)大断面隧道或硐室开挖、支护技术。主要是地铁车站、地下街、地下停车场、仓库等,其跨度尺寸多达10 m以上。

(4)开挖影响控制技术。随着工程埋深的减小,开挖对地面的影响越来越大。在超浅埋条件下,开挖影响的控制与开挖方式、施工工艺、支护方法等众多因素有关,是地下工程施工中最为复杂的问题。

目前,我国城市地下空间开发利用形态的主要特点是城市公共活动中心、地铁及轨道交通枢纽和城市建设等相结合,以地铁等快速地下交通网的建设为重点,建设综合型的

下物流仓储网,地下商贸、娱乐、文体、办公等现代服务网,以及地下共同沟等市政设施网。如成都的天府广场地下工程,主体为四层框架结构,规模巨大,结构复杂,工程埋深 28 m。地下负一层为下沉式广场,负二层为站厅层和地下停车场,负三层为地铁 1 号线站台层,负四层为地铁 2 号线站台层。上海虹桥综合交通枢纽是集航空、城际铁路、高速铁路、轨道交通、长途客运、市内公交等多种换乘方式于一体的综合体。上海虹桥交通枢纽地上由两层组成,分别为铁路、磁悬浮列车进站厅、高架车道、公共交通层和磁悬浮列车到达换乘班机的廊道层,地面层为高铁和磁悬浮列车站台层;地下由三层组成,主要为到达换乘层和地铁站台层,并设置了两个夹层作为不同交通的换乘通道。

城市地下空间的总体开发规模是由城市发展对地下空间的需求所决定的,而具体地区的地下空间开发规模则受地区开发性质、功能、开发强度、地铁发展规划以及本地区的工程地质条件等因素的综合影响。地下空间开发应遵循分层开发、公共活动空间相互连通的原则。遵照地下空间的功能设置原则,目前城市地下空间的功能主要定位于:

- (1) 交通功能。包括快捷、安全的地下人行网络、巴士枢纽和停车场。
- (2) 商业、文化、娱乐等服务业功能。包括餐饮和商店、文化设施和休闲娱乐设施。
- (3) 市政设施。包括市政公共设施和综合管沟等。
- (4) 人防设施。

三、地下工程施工技术

地下工程施工技术是以在地层中构筑建筑物为目的,研究解决地下工程建造的技术方案和措施,包括在不同地质条件下的施工方法、手段、工艺和工程实施中的技术、计划、质量、经济和安全管理措施。地下工程的关键是施工技术,它作为地下工程施工的前期环节和主要组成部分,是决定地下工程成败的关键因素。

不同用途的地下工程又各有特点。如地下街或地下停车场以及公路或铁路隧道,其施工环境、作业方式差别较大。地下工程的服务年限不同,对其稳定性的要求也不同。要搞好地下工程的设计与施工,对其用途和特点必须有足够的认识。

地下工程施工主要有掘进、支护和出渣三大工序,作业内容包括基本作业、辅助作业、工程监测和施工管理等。在正常情况下,常规的开挖可较为顺利地完成掘进与衬砌工作;但在特殊地质条件下,如在饱和含水层、松软和破碎等不良地层中施工,则很难保证掘进施工的顺利进行。此时,就需要采取一些辅助施工措施(如冻结法、注浆法等)加固围岩,然后才能进行正常施工。

(一) 基本作业

地下工程的基本作业包括开挖、支护和出渣三个方面。

对于开挖技术来说,非常重要的是开挖方法的选择,它直接决定地下工程的成败,是地下工程施工的关键问题。开挖方法应根据工程地质和水文地质条件、地形地貌、工程埋深、结构形状和规模、使用功能、环境条件、施工水平与施工机具、工期要求、技术和经济等因素,综合研究来确定。地下工程应选择安全、适用,技术上可行,经济上合理的施工方法。

地下工程开挖方法可简单划分为明挖法、盖挖法和暗挖法三大类。对于在不同类型的岩土中开挖的地下工程,其开挖方法分类如图 0-1 所示。

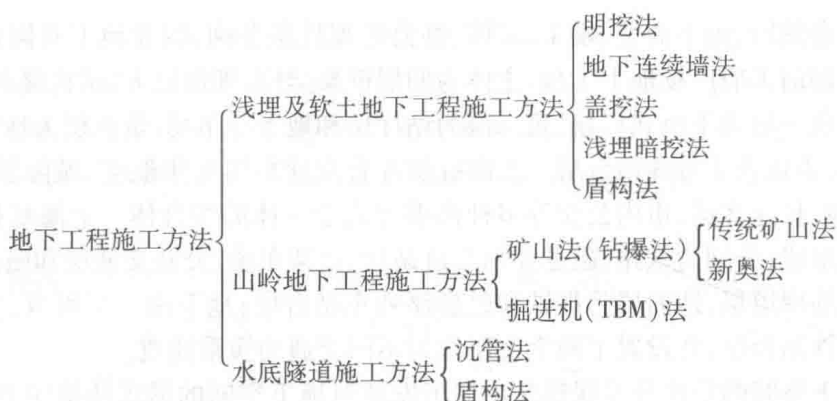


图 0-1 地下工程开挖方法分类

所谓明挖法,是指地下结构施工时,从地表向下分层、分段依次开挖,直至达到结构要求的尺寸和高程,然后在基坑中进行主体结构施工和辅助作业,最后恢复地面。一般基坑工程开挖方法属于明挖法,水下隧道沉管法施工也可简单地归为明挖法。

盖挖法又称盖挖逆筑法,即先修筑地下结构的维护墙和支撑柱及结构顶板,然后利用出入口、通风道或单独设置竖井,采用自上而下的逆筑法施工单层或多层地下空间结构。这种施工方法介于明挖、暗挖施工方法之间,除结构顶板明挖施工外,其他都为暗挖施工,在基坑工程、隧道工程、地铁工程尤其是结构复杂的地铁车站施工中更具有意义。

暗挖法包括传统矿山法、新奥法、掘进机(TBM)法、盾构法和顶管法等。

地下工程支护技术是为了确保开挖过程和周围环境的安全,所采用的必要的支挡、支撑、衬砌技术的总称。支护技术可划分为初期支护和二次衬砌两个方面。初期支护是开挖后即进行支护,形式上包括各种支撑结构、锚杆及土钉、支护桩、喷射混凝土、注浆等及其组合;衬砌支护又称二次衬砌,即在地下工程周边构筑的永久性的支护结构。对于不同的开挖方法,在支护技术的选择上也有差别。衬砌是为防止围岩变形或坍塌,沿隧道洞身周边用钢筋混凝土等材料修建的永久性支护结构,可分为现浇混凝土和预制混凝土两类,包括单层衬砌、复合衬砌和拼装衬砌。

(二) 辅助作业

地下工程辅助作业是配合基本作业所必需的环节,包括风、水、电的设计安装和供给,除尘和排水,施工场地的规划和布置,设备配置等。统筹考虑这些辅助作业,可以改善施工人员的作业环境,为加快地下工程施工创造良好的条件。

(三) 工程监测和施工管理

地下工程施工是在地层内部进行的,不可避免地引起土(岩)层的移动。因此,一方面需要对施工过程进行监测,如围岩的变形;另一方面需要对因施工引起周围环境的变化进行监测。一旦发现异常情况,及时采取加固措施或改善施工方案。

施工管理是通过有效的管理措施来保证工程质量和工期的,对施工过程中的各个环节进行科学的计划、组织和安排,保证施工安全,达到经济、高效和安全施工的目的。

同其他建筑工程一样,地下工程施工必须按照批准的相关设计文件、相应的规范或规程进行施工。如需变更,应按设计单位先行的设计变更处理办法执行。开工前应深入工

地做好调查研究,核对设计文件,编制实施性施工组织设计,在时间顺序和工程项目上进行合理安排,对施工现场在平面和空间上进行合理布置,完成实测和定位工作。正确记录施工过程中出现的各种问题以及所揭示的地质现象,完善施工问题的组织上报制度。工程完工时编写工程施工技术报告,提供竣工文件,并按有关规定进行验收。

地下工程施工的特点是在地下作业,作业空间有限,作业条件恶劣,作业场所不断延伸,工作对象是被称为地质体的土体或岩体,不稳定因素很多。由于地质勘察的局限性、工程地质条件的复杂性和多变性,地下工程施工过程中经常会遇到突然变化的地质条件,一些对工程不利的地质现象通过施工才会暴露出来,一些意外情况,如涌水和塌方可能会突然出现,而且施工过程是一个技术难度不断增加、作业条件逐渐恶化的复杂过程,原先制订的施工方案、施工技术措施和施工计划也要随之调整。地下工程施工切忌不假思索地按图施工,要理解设计的根本意图,按照相关技术规范和设计原则进行施工,切勿有“按设计施工,后果由设计单位承担”这种极其幼稚的想法。这就要求地下工程技术人员加强学习,具有一定的理论基础和实践经验,才能发现设计中的不足,从而做到快速、安全施工。

四、地下工程施工技术的发展现状

随着我国城市建设和经济建设的发展,人口激增,许多城市面临着严峻的交通需求。城市轨道交通由于速度快、运量大、空间集约等特点,成为缓解交通压力的重要手段,地铁建设实现了重大跨越和加快发展,也逐渐成为塑造城市形象的一部分。

截至2017年末,中国内地(不含港澳台)共计34个城市开通城市轨道交通并投入运营,开通城轨交通线路165条,运营线路长度达到5 033 km。其中,地铁3 884 km,占比77.2%;其他制式城轨交通运营线路长度约1 149 km,占比22.8%。2017年新增运营线路32条,同比增长24.1%;新增运营线路长度880 km,同比增长21.2%。2017年的统计表明,中国内地城轨交通进入快速发展新时期,运营规模、客运量、在建线路长度、规划线路长度均创历史新高,可研批复投资额、投资完成额均为历年之最。城轨交通发展日渐网络化、差异化,制式结构多元化,网络化运营逐步实现。从2017年新增运营线路长度看,南京131.9 km居全国首位,广州、武汉次之,分别为88.5 km、72.2 km;从运营场站看,投运车站3 234座,比上年增长21.1%,其中换乘车站286座,投运车辆段和停车场235座,拥有换乘站的城轨交通城市达到26个,占已开通城轨交通城市的76.5%,比上年提高6.5%。

伴随着地铁建设的迅速发展,城市综合体被赋予了新的内涵,逐步形成地下城市综合体。地下城市综合体整合多重城市功能,不断扩大与城市的联结面,突破建筑自身的封闭状态而演变为一种多层次、多要素复合的动态开放系统,在更广泛的层次上与城市公共空间融合共生,成为城市公共空间系统的有机组成部分,成为市民消费、娱乐、休闲等社会生活的一种新的载体。地下城市综合体呈现建筑功能综合化、城市与建筑一体化、对外联系便捷化、地下步行系统网络化和建设主体多元化的特点,地下城市综合体与城市交通的整合如地铁站和交通枢纽的整合,又促进了城市综合体的发展。如广州的体育西路地铁站城地下城市综合体、时尚天河地下商业中心、宏城广场地下城市综合体、公园前地铁站城

地下城市综合体、英雄广场区域地下城市综合体、沈阳市五爱立交地下空间综合体、杭州复兴国际商务广场地下城市综合体。上海市面对日益发展的城市地下综合体建设,制定了城市地下综合体设计规范。简单地说,这些城市设施多围绕地下轨道交通和交通枢纽建设,城市设施包括商业及服务设施,如商业、餐饮、娱乐、休闲等;市政设施如共同沟、管线、变电站、水处理设施等;停车设施;其他活动设施如体育馆、游泳池、网球馆、电影院等。

截至2017年底,我国投入运营的铁路隧道有14 547座,总长达15 326 km。仅2017年开通运营的长度超过15 km的双线单洞隧道就有兰渝铁路西秦岭隧道(28.236 km)、木寨岭隧道(19.095 km)、哈达铺隧道(16.590 km)、黑山隧道(15.757 km)和西成客运专线秦岭天华山隧道(15.988 km)、老安山隧道(15.161 km)。投入运营的高速铁路总长2.5万km,共建成高铁隧道2 835座,总长4 537 km。其中的石太客运专线长度为27.839 km的太行山隧道、云贵铁路长度为18.208 km的石林隧道等取得了很多施工技术的突破。2017年开通运营的高铁有6条,共有隧道198座,累计长度约604 km,其中特长隧道16座,总长210 km。在建的高铁隧道共40条,总长9 956 km,共有隧道1 456座,累计长度为3 057 km。其中特长隧道54座,长度超过15 km的特长隧道8座。

与铁路隧道相比,公路隧道的特点是断面尺寸大,多为双洞隧道,施工难度大。2007年我国自行设计施工的秦岭终南山公路隧道通车,是世界上第一座最长的双洞高速公路隧道。隧道单洞长18.02 km,双洞全长36.04 km。隧道共设置了三座通风竖井,最大竖井深661 m,最大竖井直径1.5 m,竖井下方均设大型地下风机厂房,通过竖井抽风和送风,保持隧道空气流畅。2011年建成的海棠山公路隧道左线长3 525 m,右线长3 508.89 m,设有4个车行通道、8个紧急停车带和5个人行通道。胶州湾海底隧道的建设,标志着我国海底隧道施工技术跻身于世界先进水平。隧道全长7 800 m,其中路域段3 850 m,海域段3 950 m。纵断面采用V字坡,设双向6车道。全断面帷幕、周边帷幕和局部注浆等3套超前预注浆方案成功应用于不同出水条件海域段断层,采用上、下断面法施工。为了确保施工安全,减少对拱顶围岩的扰动,爆破进尺采取严格限制措施,并采用减震控制爆破技术。京沪高铁最长的隧道——西渴马一号隧道采用新奥法施工,进口段明洞长30 m、缓冲式洞门27 m,出口段缓冲式洞门27 m,其余为暗洞。按围岩级别划分,Ⅲ级围岩长1 775 m,Ⅳ级围岩长630 m,V级围岩长407 m。Ⅲ、Ⅳ级围岩采用台阶法开挖,V级围岩采用双侧壁导坑法施工,隧道开挖断面面积为140~154 m²,净空断面面积为100 m²,隧道开挖量为439 037 m³。

一些特殊的施工技术也获得了很大的发展,如人工冻结技术,用人工冻土帷幕来抵抗水土压力,以保证开挖的顺利进行。作为一种成熟的施工方法,冻结法在国际上已有100多年的历史,我国采用此法已有40多年的历史。SMW工法起源于美国而成熟于日本,在我国已得到了广泛应用。防水技术是地下工程施工中的重要内容和关键技术之一,尤其对于城市地下空间工程,不但关系到工程的施工、运营状况、使用功能及使用寿命等,而且与人类生存的大环境也息息相关。我国已制定了许多相关的防水工程技术规范和标准。据不完全统计,防水工程技术规范和标准共计105项,其中与地下防水工程有关的专项规范20项。

小半径曲线盾构掘进技术实现重大突破。上海地铁北横通道工程超大直径盾构完成

了急曲线施工,掘进通过了 S 弯。北横通道主线盾构法隧道长达 6.4 km,采用直径 15.56 m 的泥水平衡盾构掘进施工,隧道线路中多处连续急曲线是北横盾构隧道的显著特点,最小转弯半径仅 500 m,且转弯半径 500 m 的区段长度占到 34%。海域超大直径复合地层盾构隧道贯通。珠海横琴马骝洲交通隧道(横琴第三通道)全线贯通,工程全长 2 834.6 m,为双向 6 车道设计,采用直径为 14.93 m 泥水气压平衡盾构机掘进施工。大型地下工程深基坑工程施工技术取得了前所未有的发展。

大规模地下工程建设为地下工程施工技术的发展提供了客观条件,地下工程施工技术的进步为大规模建设地下工程奠定了基础。同国外发达国家相比,我们还存在着许多不足。如何获得更为接近实际的地质勘察信息、施工中的超前地质预报、隧道施工的机械化配套技术、高强度衬砌技术、预制拼装衬砌研究应用技术、信息化施工技术的研究和应用等,是我们要进一步解决的问题。

五、本课程的学习要求

在当前地下空间大规模开发利用的时代,作为一位合格的土木工程师,必须正确面对各种地下工程建设,因为许多中心城市的主要建筑工程、交通工程以及地下工程融为一体,组成了一个复杂的综合体。因此,除具备一般的土木工程知识外,对地下工程施工技术的了解也必不可少。对于岩土工程师或地下工程师来说,地下工程施工技术则是一门专业必修课程。作为一门技术性较强的综合课程,地下工程施工将结构力学、弹性力学、混凝土结构、土力学、岩石力学、地下建筑结构、施工管理等方面的知识综合在一起,来研究地下工程施工技术以及施工管理,解决地下工程施工过程所遇到的问题,研究在保证安全、经济的条件下,如何高效地建设地下工程,为国民经济建设服务。

对本课程的学习,除加强地下工程施工原理和各种施工技术要点的学习外,还需要深入理解各种施工方法、不同作业方式的优缺点和适用条件,注意细节,活学活用,才能逐步运用所学的知识解决实际问题。

第一章 明挖法

第一节 明挖法的基本概念

一、明挖法

(一) 概念

所谓明挖法,是指地下结构工程施工时,从地面向下分层、分段依次开挖,直至达到结构要求的尺寸和高程,然后在基坑中进行主体结构施工以及防水作业,最后恢复地面的一种工法。明挖法施工简单、方便,地层表面附近(浅埋)的地下工程多采用明挖法进行修建,如房屋基础、地下商场、地下街、地下停车场、地铁车站、人防工程及地下工业建筑等。

明挖法通常分为放坡开挖和基坑支护开挖两种形式。放坡开挖的优点是不必设置支护结构,而且主体结构施工时场地较大,便于施工布置;缺点是开挖工程量相对较大,而且占用场地大,适合在旷野采用明挖法修建的地下工程。在场地条件受限的情况下,如城市地下工程施工,常采用基坑支护开挖方法。通常,为保证基坑侧壁稳定及邻近建筑物的安全,需采取基坑侧壁的支护加固措施,即设置基坑支护结构,包括支护桩墙、支撑系统、围檩、防渗帷幕、土钉及锚杆等。基坑支护结构安全与否,不仅直接关系到所建工程的成败,而且关系到邻近已建工程的安危。

施工时,采用放坡开挖还是基坑支护开挖,应根据工程地质条件、开挖工程规模、地面环境条件、交通状况等因素综合确定。

(二) 适用条件

明挖法的应用与许多因素相关,如建筑周边的环境条件,工程地质、水文地质条件,结构物的埋深及技术经济指标等。因此,选用明挖法修建各种地下工程时,应全面、综合考虑各种因素。

(1) 浅埋地下工程施工。常见的浅埋地下工程主要有地铁车站、地铁行车通道、城市地下人行通道、地下综合管网工程等。这些浅埋工程的覆土厚度(埋入土中的深度)多为5~10 m,一般都采用明挖法施工。在某些情况下,有的埋深达10多m甚至20多m的地下工程,也可采用明挖法施工。但是,明挖法施工明显受结构埋深的制约。当埋深较大时,由于施工技术难度大,同时往往因开挖和回填工程量很大,工程费用有可能比暗挖法高,此时从技术经济角度考虑,选用明挖法就不适宜了。

(2) 平面尺寸较大的地下工程。某些地下工程埋深不大,但平面尺寸很大,如一些城市的地下广场、大规模地铁车站、地下商场等,其内部结构也多采用一般的梁板结构,这类工程适宜采用明挖法施工。对于这类大平面尺寸的地下工程,明挖法施工时通常采用分部开挖法或沟槽开挖法。先在周边开挖至设计标高,建造好外围结构,然后开挖中间部分,再进行内部结构施工及顶板施工和覆土回填。