



高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

地下工程建造技术与管埋

主编 刘 军
主审 穆静波

中国建筑工业出版社

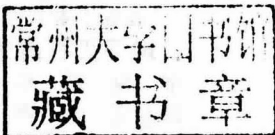
高等学校土木工程专业“十三五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

地下工程建造技术与管理

主 编 刘 军

副主编 陶 津 陶连金 刘天云

主 审 穆静波



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下工程建造技术与管理/刘军主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 3

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材 高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-23276-5

I. ①地… II. ①刘… III. ①地下工程-工程施工-技术管理-高等学校-教材 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 026578 号

本书根据国家现行的法律法规、标准规范编写。全书共 11 章, 主要内容包括绪论、明挖法、盖挖法、矿山法、盾构法、顶管法、沉管法、地下水控制与防水工程、监控量测、地下工程建造管理及绿色施工, 其中管理方面包括施工风险管理、危险性较大工程管理及 BIM 技术在管理中的应用。习题均为案例思考题, 具有一定的综合性, 对提高学生分析问题、解决问题的能力大有裨益。

本书以讲解地下工程建造与管理的基本原理、基本方法为主, 内容围绕近年来地下工程的国家政策法规及新技术、新方法, 并吸收了全国一级建造师执业资格考试用书《市政公用工程管理与实务》中相关内容, 力求做到结合现场实际, 突出重点, 使读者学之即用。

本书可作为高等院校土木工程专业、地下工程专业及其他相关专业本科生或研究生的教材、教学参考书, 可供工程技术人员学习参考, 也可作为工程技术人员报考一级建造师执业资格考试的参考书。

为了更好地支持本课程教学, 本书作者制作了教学课件, 有需求的读者可以发送邮件至 2917266507@qq.com 免费索取。

* * *

责任编辑: 聂伟 吉万旺 王梅

责任校对: 焦乐

高等学校土木工程专业“十三五”规划教材

高校土木工程专业规划教材

地下工程建造技术与管理

主 编 刘 军

副主编 陶 津 陶连金 刘天云

主 审 穆静波

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

天津翔远印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15 字数: 345 千字

2019 年 4 月第一版 2019 年 4 月第一次印刷

定价: 37.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-23276-5

(33591)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

地下工程是土木工程的一个重要分支，工程实践性强、涉及范围广。“地下工程建造技术与管理”是土木工程专业的核心课程之一，通过本课程学习，使学生能够迅速掌握地下工程建造的基本原理和基本方法，具备分析、解决施工中有关技术问题和管理的的能力，为从事相关技术研究、技术创新打下良好基础。

本书根据国家现行的法律法规、标准规范编写，内容包括绪论、明挖法、盖挖法、矿山法、盾构法、顶管法、沉管法、地下水控制与防水工程、监控量测、地下工程建造管理及绿色施工，其中管理方面包括施工风险管理、危险性较大工程管理及 BIM 技术在管理中的应用。本书吸收了编者的最新研究成果、参与编制的国家及地方标准，吸收了成熟的新工艺、新方法，以及全国一级建造师执业资格考试用书《市政公用工程管理与实务》内容，将基本原理和方法与实践结合起来，力求突出实用性和创新性，并体现时代特征。

本书编写时，力求做到重点突出、语言简练、条理清晰。本书第 1、9 章由北京工业大学陶连金编写；第 2、3、7 章由东南大学陶津编写；第 4、5、8、10 章（除第 10.6 节）由北京建筑大学刘军编写，其中第 10.6 节由北京建筑大学王亮编写；第 6、11 章由清华大学刘天云编写。全书由刘军统稿。

本书编写过程中，参考了“全国一级建造师执业资格考试用书编写委员会”提供的大量资料，编委会成员张国京教授级高工对本书的编写提出了许多宝贵建议；我国著名盾构专家中铁十六局集团有限公司阎向林教授级高工审阅了盾构法相关内容，提出了许多宝贵建议并提供了大量素材；北京城建勘测设计研究院有限责任公司马雪梅教授级高工对监控量测部分提出了许多宝贵建议；北京盾构工程协会提供了一些全国盾构行业的调研素材，北方工业大学朱宏军教授（北京盾构协会副秘书长）为本书的编写提出了许多宝贵建议；中国铁建呼和浩特指挥部姜景双总工程师为本书提供了一些素材；北京建筑大学廖维张教授对绪论及管理方面提出了许多宝贵建议。以上建议及素材使本书得到完善与充实，在此一并致谢。

北京建筑大学穆静波教授在百忙中对本书进行了精心审阅，提出了许多宝贵意见和建议，使本书得到进一步完善。在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中定有不足之处，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地下工程的分类与特点	1
1.2 地下工程建造技术	3
1.3 地下工程发展趋势及前景	5
第 2 章 明挖法	8
2.1 概述	8
2.2 放坡基坑	9
2.3 土钉墙支护基坑	11
2.4 支挡式结构基坑	13
2.5 主体结构施作	31
2.6 基坑回填施工	33
2.7 工程案例	33
案例思考题	38
第 3 章 盖挖法	40
3.1 概述	40
3.2 盖挖顺作法施工	40
3.3 盖挖逆作法施工	41
3.4 盖挖半逆作法施工	43
3.5 工程案例	43
案例思考题	45
第 4 章 矿山法	46
4.1 概述	46
4.2 超前预支护及初期支护结构	48
4.3 矿山法施工	53
4.4 特殊部位施工	67
4.5 二次衬砌施工	71
4.6 初期支护、二次衬砌背后充填注浆	73
4.7 工程案例	74
案例思考题	76
第 5 章 盾构法	77
5.1 概述	77
5.2 盾构类型、构造组成与选型	78
5.3 管片衬砌	93
5.4 盾构法施工	95
5.5 盾构技术发展	109

5.6 工程案例	113
案例思考题	118
第6章 顶管法	120
6.1 概述	120
6.2 顶管分类及设备组成	121
6.3 顶管法施工	124
6.4 工程案例	128
案例思考题	130
第7章 沉管法	131
7.1 概述	131
7.2 沉管法施工	131
7.3 工程实例	142
案例思考题	144
第8章 地下水控制与防水工程	145
8.1 概述	145
8.2 地下水控制方法	146
8.3 防水工程	157
案例思考题	170
第9章 监控量测	171
9.1 概述	171
9.2 工程影响分区及监测等级划分	173
9.3 监测内容、项目及监测点布设	176
9.4 监测方法及监测频率、监测周期	182
9.5 监测项目控制值及信息反馈	189
9.6 工程案例	193
案例思考题	196
第10章 地下工程建造管理	197
10.1 地下工程建造管理概述	197
10.2 地下工程建造管理内容	198
10.3 施工风险管理	204
10.4 危险性较大工程管理	212
10.5 应急预案	216
10.6 BIM 在地下工程管理中的应用	218
案例思考题	221
第11章 绿色施工	223
11.1 绿色施工含义及目的意义	223
11.2 节能	223
11.3 节地	225
11.4 节水	227
11.5 环境保护	228
案例思考题	231
主要参考文献	233

第 1 章 绪 论

地下工程为一个泛指的技术领域，凡在地层内部修筑的地下建筑物（或空间）均可称为地下工程。

1.1 地下工程的分类与特点

1.1.1 地下工程的分类

地下工程的分类方法很多，一般按用途、存在的环境及开发深度进行分类，还有按设计与施工方法、断面的形式及重要性程度、抗震等级进行分类。

1. 按地下工程的用途分类

按用途地下工程分为：地下交通工程、地下市政管线工程、地下综合管廊、地下工业工程、地下商业工程、地下民用工程、地下贮库工程、地下人防工程等。

(1) 地下交通工程

地下铁道、公路隧道、地下步行道、地下停车场属于地下交通工程，为城市地下空间利用的主要内容，也是在城市生活中作用最大的一种地下空间。由这样一些设施组成的城市地下交通网，客运能力强，对于缓解地面上的交通矛盾十分有效。例如一条地铁线路单向每小时客运量为 4 万~6 万人，为地面公共汽车运量的 8 倍；行车速度快，例如快速地铁的速度比常规地铁快 2~3 倍，比地面公共汽车快 5~6 倍。

(2) 地下市政管线工程

地下市政管线工程一般应包括供水、能源供应、通信和废弃物的排除四大系统。城市中的供水、排水、动力、热力、通信等系统的管道、电缆等，一般都埋在地下，占用一定的空间，可以说这是城市地下空间利用的一个传统内容。此外，各种公用设施系统中的处理设施，如自来水厂、污水处理厂、垃圾处理厂、变电站等，也适于布置在地下空间中，对于节省用地，减轻污染，都是有利的。

(3) 地下综合管廊工程

多数市政管线工程是随着城市的发展逐步形成的，因此，往往自成体系、分散布置，互相之间缺乏有机的配合。近年在国际上提倡修建一种多功能的地下管线廊——地下综合管廊，在日本称为“共同沟”，将各类管线甚至交通综合布置在廊道中，有利于地下空间的综合利用。

(4) 地下工业工程

地面上的工业生产一般都可地下进行，特别是精密性生产，在地下环境中更为有利。在许多国家中，将水力发电站的厂房布置在地下，也有的将核电站建在地下，比在地上更为安全。

(5) 地下商业工程

在瑞典、加拿大、德国、法国等国家的一些大城市，地下商场、商店很多，日本的地

下商业街尤为著名。对于商业活动来说，由于不需要天然光线，人们滞留时间相对较短，在地下空间中进行是很合适的。同时，大量人流被吸引到地下去，对改善地面的交通与环境也都是有利的。在气候严寒多雪或酷热多雨地区，购物活动在地下空间中进行，不受外界气候的影响。

(6) 地下公共（民用）工程

像电影、戏剧、音乐、运动、游泳等文化、娱乐、体育活动，即使在地面上，也多采用人工照明，因此在地下进行更为方便。由于人员集中，安全问题较大，因此在地下进行这些活动尚不普遍。

此外，办公、会议、教学、实验、医疗、展览、图书阅览等各种业务活动，都可以在地下空间中进行。美国明尼苏达大学土木与矿物工程系的各种教室、实验室和办公室，90%在地下，并采取了各种节能措施，安装了日光和景物两个传输系统，成为迄今为止汇集各种最新技术的大型地下工程的范例。

对于人们能否居住在地下，至今尚无科学的解释。日本法律规定禁止在地下室中住人。但是，现代科学技术完全有可能使地下居住环境得到根本的改善，因此地下居住空间仍有一定的发展潜力。

(7) 地下贮库工程

地下环境最适合于物资的贮存，因为稳定的温、湿度条件是贮存许多物资所必需的。在地下贮存粮食、食油、食品、药品、燃油等，损耗小，质量高，贮存成本低，经济，节能效益高，节省城市仓库用地，因而得到广泛的应用。

贮库按其储藏品的不同有很多类别。按照用途与专业可分为国家储备库、城市民用库、运输转运库等。这些贮库有的相对集中地布置在居住区内，有的则布置在居住区以外专门的贮库区中。按照民用贮库储存物品的性质，分为一般性综合贮库、食品贮库、粮食和食油贮库、危险品贮库和其他类型的贮库。

(8) 地下人防工程

地下空间对于各种自然和人为灾害，都具有较强的防护能力，因而被广泛用于防灾。中国、苏联、瑞士、瑞典、芬兰等国家建造了大量核掩蔽所。此外，地下建筑受地震的破坏作用，要比在地面上轻得多，像日本等多地震国都把地下空间指定为地震时的避难所。

2. 按地下工程的存在环境及建造方式分类

(1) 岩石中的地下工程

岩石中的地下工程包括如下三种形式：一是现代城市在岩石中建设的各种地下工程；二是开发地下矿藏、石油而形成的废旧矿井空间加以改造利用而形成的地下工程。如改造利用已没有价值的废旧矿井，用作兵工厂、军火仓库等，相对来说，投资少、见效快、变废为宝，是充分利用空间资源的好途径；三是利用和改造天然溶洞形成的地下工程。

(2) 土层中的地下工程

根据建造方式分为单建式和附建式两类。单建式地下工程，是指地下工程独立建在土中，在地面以上没有其他建筑物；附建式地下工程，是指各种建筑物的地下室部分。

3. 按地下工程的开发深度分类

按开发深度可将地下工程分为三类：浅层地下工程、中层地下工程和深层地下工程。

(1) 浅层地下工程

浅层地下工程是指在地表 \sim -10m 深度空间建设的地下工程，主要用于地下市政管线、商业、公共空间。

(2) 中层地下工程

中层地下工程是指在一 $10\sim-30\text{m}$ 深度空间内建设的地下工程，主要用于地下交通、地下综合管廊、地下污水处理场及城市水、电、气、通信等公用设施。

(3) 深层地下工程

深层地下工程一般指在一 30m 以下建设的地下工程，如高速地下轨道交通、地下综合管廊、危险品仓库、冷库、油库等。

1.1.2 地下工程的特点及优缺点

相对于建设行业的其他领域，地下工程具有规模大、风险高、投资大、建设周期长、参与面广等特点；此外，地下工程一经建成，对其再度改造与改建的难度是相当大的，不可能恢复原样，单就这一点它又远不如地面建筑，因此它有相当强的不可逆性。

地下空间开发利用与地上空间开发利用相比有其独到之处，也存在一些缺点，主要表现在如下几个方面：

1. 地下工程优点

- (1) 有效地利用土地；
- (2) 能使地表面空间开放，与自然景观协调一致；
- (3) 有效的往来与输送方式；
- (4) 节省能源，地下处于稳定的温度和湿度，并具有隔热性、遮光性；
- (5) 安全性高，能抵御自然灾害，如强风、龙卷风、地震等；
- (6) 噪声和振动的隔离，较少或完全不受噪声和振动的影响；
- (7) 减少维修管理，降低维修管理费用。

2. 地下工程缺点

- (1) 获得自然采光的机会有限；
- (2) 进入和往来的限制；
- (3) 心理不良影响；
- (4) 通风、排水、防水困难；
- (5) 场地局限；
- (6) 工期长、造价高、施工风险高。

1.2 地下工程建造技术

地下工程建造是形成地下工程实体的生产活动，指由人工或机械在地下挖掘后进行建造的各种生活、生产、防护的地下建筑物及构筑物，也可以是某一类型的地下建筑，如交通隧道、油库及国防工程（人防工程）等；构筑物常指那些仅满足使用要求而对室内艺术要求不高的建筑，如各种管道、矿井等。我国地下工程建造技术中最常用的方法有明挖法、盖挖法、暗挖法、沉管法等施工方法，这些技术有的已达到国际先进水平。

1.2.1 明挖法

明挖法首先要开挖基坑，然后在基坑内修筑主体结构，该方法具有施工简单、快捷、经济、安全等优点，地下工程发展初期都把它作为首选的方法。采用明挖法可建造各种类型的地下工程，如地下交通、地下市政管线、地下商业等。

基坑工程涉及挡土、挖土、支护、防水、降水等许多紧密联系的环节，为岩土工程、结构工程、环境工程以及施工技术等众多学科领域的交叉学科。

1.2.2 盖挖法

盖挖法指的是先形成盖板结构，在盖板保护下开挖土方并施作主体结构的方法。盖挖法也可建造各种类型的地下工程，具有快速、经济、安全等优点，是较明挖法对周边环境影响少、较暗挖法成本低的一种方法。

1.2.3 暗挖法

暗挖法主要包括矿山法、盾构法、顶管法。

1. 矿山法

矿山法是一种传统的施工方法，是指在岩土体内采用人工、机械或钻眼爆破等开挖岩土修筑隧道的施工方法。矿山法借鉴矿山开拓巷道的施工方法而命名，可形成各种断面形式的隧道，且断面的变化极为灵活，但断面大时需要大量的临时支撑，受力转换多且复杂。矿山法可修筑各种类型的地下工程，但需采用较强的初期支护及多种辅助工法。

2. 盾构法

盾构法是指采用盾构修筑隧道的一种方法。盾构法施工由于其安全、高效，已广泛地应用于地下交通工程、地下市政管线工程、地下综合管廊等领域隧道工程的建设中。盾构是目前世界上最先进的工程机械装备，也是衡量一个国家制造业水平和能力高低最具代表性的重大工程机械装备。

近年来，盾构法与矿山法结合建造地铁车站技术得到了发展，拓展了盾构法的施工领域。

3. 顶管法

顶管法是继盾构法施工之后而发展起来的一种施工方法，主要用于地下市政管线工程领域中。顶管法是一种非开挖施工方法，即不开挖或者少开挖的管道埋设施工技术，其施工原理与盾构法施工极为类似。在我国经济高速增长的支持下，顶管技术的发展将面临前所未有的机遇，在加快引进国外先进技术的基础上，努力消化创新，加强研发和人才培养，其前景是非常乐观的。

1.2.4 沉管法

沉管法是预制管段沉放法的简称，是将预制管段分别浮运到海面（或河湖面）现场，并一个接一个地沉放安装在已疏浚好的基槽内，是在水底建筑隧道的一种施工方法。适合于沉管法施工的主要条件是：水道河床稳定和水流不急，水道河床稳定便于沟槽开挖，水流不急便于管段浮运、定位和沉放。

1.2.5 其他方法简介

1. 岩石隧道掘进机 TBM

TBM 是利用回转刀盘和推进装置（千斤顶）的推进力使刀盘上的滚刀切割（或破碎）岩面并掘进，形成整个隧道断面的一种先进的岩石隧道施工机械。按岩石的破碎方

式，大致分为挤压破碎式与切削破碎式两种，破碎后的岩块通过连续皮带机运输到洞外；多采用喷混凝土、锚杆、钢支撑、混凝土衬砌支护，有时也用管片。

TBM集钻、掘进、支护于一体，使用电子、信息、遥测、遥控等高新技术对全部作业进行指导和监控，使掘进过程始终处于最佳状态。在国际上，现已广泛应用于水利水电、矿山开采、交通、市政、国防等隧道工程建设中。

TBM施工具有以下优缺点：

(1) 优点：全断面机械破碎，联合作业连续掘进。与常规施工方法相比，掘进速度快、洞壁光滑平整、超挖量小、操作安全，可以大大地降低工人的劳动强度，改善作业条件。

(2) 缺点：对多变地层适应性差，掘进面改变困难，短隧道成本高。

2. 沉井法

沉井法是把预制好的整体井壁，靠自重局部沉入土中，然后在它的掩护下，边掘进边下沉。随着沉井深度的增加，井壁与井帮的摩擦阻力增加，下沉深度受到限制，一般下沉到20~30m。沉井法施工工艺简单，所需设备少，易于操作且安全，国内外沉井多用作桥梁墩台或重型工业建筑物的深基础，后来逐渐发展成为利用其内部空间供生产使用或其他用途的地下建筑物，如地下厂房、地下仓库、地下人防工程以及地下铁道或水底隧道的通风井、盾构工作井等。

沉井一般由井壁、刃脚、隔墙、凹槽、封底（包括底板）和顶盖等部分组成。

(1) 井壁

沉井的外壁，是沉井的主要部分，为永久结构。井壁应有足够的强度，以便承受沉井下沉过程中及使用时的荷载；同时还要求有足够的重量，使沉井在自重作用下能顺利下沉。

(2) 刃脚

刃脚位于井壁的最下端，多做成有利于切入土中的形状，一般多用钢材制造，刃尖角通常为 30° ，高3m。刃脚外半径比井壁外半径大100~300mm，以便下沉后在井壁四周形成一个环形空间。

(3) 隔墙

为了加强沉井的刚度，或由于使用需要设置隔墙。

(4) 凹槽

凹槽位于刃脚的上方，使混凝土底板能和井壁更好地连接。

(5) 封底

下沉到设计标高后，在沉井底面用素混凝土封底，作地下建筑物的基础，再在凹槽处灌注钢筋混凝土底板。

(6) 顶盖

作为地下建筑物，在修筑好满足内部使用要求的各种结构后，还要修筑顶盖。

施工时沉井利用钢刃脚插入土层，工作面不断破土排渣，依靠井壁自重不断下沉，当沉井刃脚达到基岩后，即进行封底与壁后注浆固井。

1.3 地下工程发展趋势及前景

随着城市地下空间的深度开发，为有效地利用地下空间资源，大跨度、大深度、综合

利用的地下工程不断被设计人员所采用，并成为一种发展趋势。

1.3.1 大跨地下工程

世界上，人工修建的跨度最大的地下空间为挪威 Gjovik 滑冰场，洞室拱顶跨度 61m，岩石覆盖层厚度小于跨度，约为 25~50m。洞室的支护是 15cm 厚的纤维混凝土喷射层加上长 6m、间距 2.5m 的钢锚杆，是迄今世界供人员使用的最大跨度的地下工程。

土耳其伊斯坦布尔的 Basilica 地下蓄水池修建于公元 532 年，围岩为灰岩。由 336 根高 9m 的立柱支撑着结构顶板，洞室宽度达 70m。

大跨地下工程施工难度极大且围岩稳定性问题极为突出，采用单一施工方法，技术上或经济上总有一定局限性，应研究在现有技术水平的的基础上，经过技术扩展，进行大跨地下工程的建设，这是今后发展方向。

1.3.2 深层地下工程

根据地层特点，以及将来的发展趋势，在参考国内外资料及理论计算的基础上，建议将分界深度定为 $4D\sim 6D$ (D 为隧道跨度)，此深度一般大于 30m，且将遇到多层地下水(含承压水)。

日本在深层地下工程方面积累了一些经验，其认为：深层地下工程和目前地下工程相比，不同之处在于必须处理高水压、高土压和地面距离加长等问题，目前东京的山手线约深 40~45m，在下町东部最深为 60~70m。

随着城市化进程的加快，土地资源的匮乏已严重影响了城市的各种功能，特别是交通功能的正常发挥，因此，开发利用深层地下空间，拓展人类生存空间已成为发展的方向。

1.3.3 地下综合管廊

地下综合管廊，是指在城市地下用于集中敷设电力、通信、广电、给水排水、热力、燃气等市政管线的公共隧道，同时设有专门的检修口、吊装口和监测、控制系统，是一种城镇综合管线工程。随着市政道路地下空间开发集约化程度的提高，综合管廊开始成为城市公用建设的重要组成部分。相比于一般的城市地下管线，综合管廊可以明显改善城市环境和城市生活质量，具有明显的利益外溢的外部效益，是新型城市市政基础建设现代化、科学化和可持续发展的重要标准之一。

日本是目前世界上综合管廊建设体系最完善的国家。早在 20 世纪 20 年代，东京的市政机构就在市中心九段地区的干线道路下修建了日本第一条地下综合管廊。1963 年制订《关于建设共同沟的特别措施法》(以后简称《共同沟法》)以后，日本开始大规模兴建地下综合管廊。《共同沟法》从法律层面规定了日本相关部门需在交通量大及未来可能拥堵的主要干道地下建设“共同沟”，并解决了共同沟建设中的资金、技术等一些关键问题。1991 年成立了专门的管理部門促进综合管廊的建设。如今已投入使用的日比谷、麻布和青山地下综合管廊是东京最重要的地下管廊系统。日比谷地下管廊建于地表以下 30m 处，全长约 15km，直径约 7.5m，采用盾构法施工。麻布和青山地下综合管廊系统同样修建于东京核心区域地下 30m 深处，其直径约为 5m，至今已使用了 30 余年。根据东京国道事务所公布的数据，在东京市区 1100km 的干线道路下已修建了总长度约为 126km 的地下综合管廊，其中大部分已经相互连接形成地下综合管廊网络系统。在东京主城区内还有 162km 的地下综合管廊正在规划修建。地下综合管廊系统不仅解决了日本城市交通拥堵问题，还极大方便了电力、通信、燃气、给水排水等市政设施的维护和检修。

从国内外建设综合管沟的情况看,修建综合管廊主要是为了解决大城市日益增长的交通量与道路下市政管线的施工、维护和检修的尖锐矛盾。近期,我国财政部、住房城乡建设部联合下发了《关于开展中央财政支持地下综合管廊试点工作的通知》,并组织了地下综合管廊试点城市评审工作,这将引起地下综合管廊建设的高潮,可以认为其建设规模完全不亚于城市轨道交通。

1.3.4 地下工程发展前景

地下空间的作用和价值被人们重新发现后,地下空间被认为是一种人类仅有的少数尚未被充分开发的自然资源。地下空间资源的开发,从理论上说几乎是无限的。瑞典曾有人估计,在30m深度范围内,开发相当于城市总面积1/3的地下空间,就等于全部城市地面建筑的容积,即不需扩大城市用地,就可使城市的环境容量增加1倍。

我国地下空间利用最早始于西北黄土高原,至今还有人居住在延续数千年的窑洞建筑中,在黄土层中还修建过结构简单和圆筒拱形地下粮库。在20世纪60年代、70年代建设了一批地下工厂、早期人防工程和北京、上海地下铁道。20世纪80年代各大城市修建地下综合体工程,集商业、交通、人行过街和停车场等服务设施于一体。近年来我国城市地下空间开挖技术得到了长足发展和提高,但与发达国家在地下空间利用方面的发展相比还有一定的差距。

(1) 美国将城市地下空间利用点、线、面以整体网络型组合起来。其中生活设施有考虑到节约采暖、空调费用的地下住宅及复式住宅;城市设施主要从更新城市机能及节约能源的角度来看,除地下街、地下铁道、道路隧洞外,还有考虑到与自然比较协调及采光要求的半地下式大学;贮藏设施除食品贮藏外,还正式研究开发保存放射性废料的设施;交通设施有道路隧洞、地下停车场等;地下核防护设施数量规模居世界之最。

(2) 日本由于国土狭窄,地下空间的综合利用虽起步晚,但是地下街道、地下车站、地下铁道、地下商场的建设规模、地下综合管廊的建设,其成熟度已居世界领先地位。

21世纪是地下空间开发与利用的世纪。发达国家的发展历史表明,人均GDP进入500美元以后,就具备了大规模开发利用地下空间的条件和实力;人均GDP在1000~2000美元之间,则达到了开发利用的高潮。

事实上,我国北京、上海等大城市已经率先进入地下工程开发建设的高潮。据有关部门推算,北京市10m深以上可利用地下空间资源为19.3亿 m^3 ,可提供6.4亿 m^2 的建筑面积,超过全市现有建筑面积。北京市已规划将地下50m的空间作为资源进行开发和管理,加强地下综合管廊、停车场、商场、人防工事、娱乐设施等城市地下空间的开发与利用;上海对全市地下空间建设提出了分层布局的指导原则,对轨道交通、地下道路、地下车库等地下交通设施、地下市政管线、站场和共同沟等基础设施以及人防工程设施等内容,提出了规划建设的指导性要求,力求高效、合理、安全地利用地下空间。

地下空间的利用是多方面的、广泛的。北京、上海等城市率先形成四通八达的地铁交通网络及点、线、面结合开发地下空间,形成三维立体化城市。可见,在未来相当长的一个时期内,城市地下空间作为一种重要资源,其开发力度将不断加大。

第 2 章 明 挖 法

本章讲解了明挖法施工的基本方法和原理。通过本章学习掌握放坡开挖的含义及开挖方法，查表法；掌握土钉墙支护基本内容和施工步序；掌握灌注桩、地下连续墙的施作方法；掌握竖井的施工步序；掌握内支撑体系的做法；掌握土方开挖方法等内容。

2.1 概 述

2.1.1 明挖法的含义及优缺点

明挖法指的是从地面向下开挖基坑，直至达到结构要求的尺寸和高程，然后在基坑中进行防水和主体结构施工，最后回填土方恢复地面。

明挖法的优点是施工技术简单、快速、经济及主体结构受力条件较好，易于保证施工安全质量，地层适应性强等，在没有地面交通和环境等条件限制时，应是首选方法。但其缺点也是明显的，如对环境的影响较大，受气候、气象条件变化影响大等。

2.1.2 明挖法基坑分类

明挖法基坑分为放坡基坑和有支护结构的基坑，有支护结构的基坑又可分为土钉墙支护基坑和支挡式结构（或围护结构）基坑。基坑支护是为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全，对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施。基坑侧壁是构成建筑基坑围体的某一侧面，基坑侧壁安全等级见表 2-1。

基坑侧壁安全等级

表 2-1

安全等级	破坏后果
一级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响很严重
二级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响一般
三级	支护结构破坏、土体失稳或过大变形对基坑周边环境及地下结构施工影响不严重

支护结构设计时根据基坑侧壁安全等级确定结构重要性系数 γ_0 ，安全等级为一级时取 $\gamma_0=1.1$ ；安全等级为二级时取 $\gamma_0=1.0$ ；安全等级为三级时取 $\gamma_0=0.9$ 。

若基坑所处地面空旷，周围无建筑物或建筑物间距很大，地面有足够空地能满足施工需要又不影响周围环境时，应优先选用放坡基坑；如果因场地限制，基坑边坡坡度稍陡于规范规定时，则可采用土钉墙支护基坑；如果基坑很深，地质条件差，地下水位高，特别是又处于繁华市区，地面建筑物密集，交通繁忙，无足够空地满足施工需要，则可采用支挡式结构的基坑。

基坑支护结构类型应根据基坑周边环境条件、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、施工工期及施工季节等选择，国家标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 规定的常用支护结构的适用条件见表 2-2。

各类支护结构的适用条件

表 2-2

结构类型		适用条件	
		安全等级	基坑深度、环境条件、土类和地下水条件
支挡式结构	锚拉式结构	一级 二级 三级	适用于较深的基坑
	支撑式结构		适用于较深的基坑
	悬臂式结构		适用于较浅的基坑
	双排桩		适用的基坑深度大于悬臂桩,但占用较大场地。当锚拉式、支撑式和悬臂式结构不适用时,可考虑采用双排桩
	逆作法		适用于不宜采用临时支护结构构件或主体结构地上、地下同步施工的场所
土钉墙	单一土钉墙	二级 三级	适用于地下水位以上或可实施降水的基坑,但基坑深度不宜大于 12m
	预应力锚杆复合土钉墙		适用于地下水位以上或可实施降水的基坑,但基坑深度不宜大于 15m
	水泥土桩垂直复合土钉墙		基坑深度不宜大于 12m 且不宜用在含有高水头地下水的碎石土、砂土、粉土层中
	微型桩垂直复合土钉墙		适用于地下水位以上或可实施降水的基坑,基坑深度不宜大于 12m
			1. 排桩适用于地下水位以上、可降水或结合截水帷幕的基坑 2. 地下连续墙宜同时用作主体地下结构外墙,可同时用于截水 3. 锚杆不宜用在软弱土层和含有高水头地下水的碎石土、砂土层中 4. 当邻近基坑有建筑物地下室、地下构筑物等,锚杆的有效锚固长度不足时,不应采用锚杆 5. 当锚杆施工会造成基坑周边建(构)筑物的损害或违反城市地下空间规划等规定时,不应采用锚杆 当基坑潜在滑动面内有建筑物、重要地下管线时,不宜采用土钉墙

注: 1. 当基坑不同部位的周边环境条件、土层性状、基坑深度等不同时,可在不同部位分别采用不同的支护形式;

2. 支护结构可采用上、下部以不同结构类型组合的形式,如土钉墙+灌注桩等。

2.2 放坡基坑

放坡基坑为不加任何支护或简单进行保护措施的基坑,是基坑工程常用的一种方法,其优点是施工方便,造价较低,但有一定的适用范围,仅适用于硬质、可塑性黏土和良好的砂性土,基坑深度一般不超过 10m,且周边空旷。

基坑表面要采取保护措施,确保不被雨水冲刷,减少雨水渗入土体,降低边坡强度。通常可采用在土坡表面抹一层钢丝网水泥砂浆,或喷射砂浆,或铺设塑料薄膜等保护,也可以增加一些锚杆进行护坡。

2.2.1 放坡坡度的确定方法

基坑放坡开挖的坡度要视土质情况、场地大小和基坑深度而定,同时,还要考虑施工环境、施工条件情况,如气候季节、相邻道路及坡边地面荷载等影响。

边坡坡度一般由坡度系数表示 (图 2-1):

$$i = \tan \alpha = H/B = 1 : (B/H) = 1 : m$$

式中, m 为坡度系数, $m = B/H$ 。

边坡的形式有斜坡、折线坡、踏步 (台阶) 式。

确定基坑边坡坡度一般有 2 种方法, 即计算法和查表法。

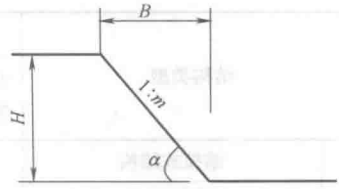


图 2-1 边坡坡度计算图示

1. 计算法

通过计算公式确定边坡开挖深度和坡度。如图 2-2 所示, 假定边坡破裂面为通过坡脚的一个平面, 滑动面上部土体为 ABC , 当土体处于极限平衡状态时, 边坡极限高度 h 为:

$$h = \frac{2C \sin \theta \sin \varphi}{\gamma \sin^2 \left(\frac{\theta - \varphi}{2} \right)} \quad (2-1)$$

式中 C ——土体内聚力 (kN/m^2);

θ ——边坡坡度角 ($^\circ$);

φ ——土的内摩擦角 ($^\circ$);

γ ——土体重度 (kN/m^3)。

土体 C 、 φ 、 γ 值和边坡极限高度 (基坑开挖深度) h 为已知, 则基坑边坡的坡度角即可求出。并由式 (2-1) 可知:

① 当 $\theta = \varphi$, $C = 0$ 时, 则边坡极限高度不受限制, 且边坡处于平衡状态。

② 当 $\theta > \varphi$ 时, 则边坡为陡坡, 其 C 值越大, 则边坡极限高度 h 越高; 若 $C = 0$, 则 $h = 0$, 即非黏性土时, 边坡任何高度都是不稳定的。

③ 坡度角 θ 越大, 坡高 h 越小; 反之, 坡度角 θ 越小, 坡高 h 越大。

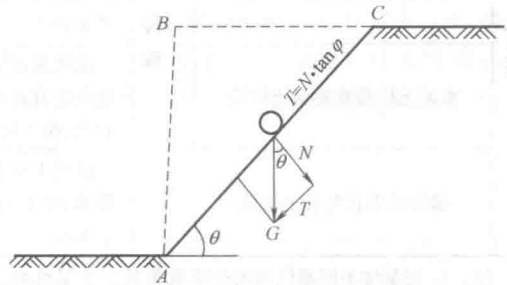


图 2-2 计算法示意图

2. 查表法

一般在地质条件良好、土质较均匀, 而地下水位低或通过降水将地下水位维持在基坑底面以下时, 常采用查表法确定基坑边坡的坡度 (表 2-3、表 2-4)。

岩石基坑边坡坡度

表 2-3

岩土类别	风化程度	坡度容许值 (高宽比)	
		坡高在 8m 以内	坡高 8~15m
硬质岩石	微风化	1 : 0.10 ~ 1 : 0.20	1 : 0.20 ~ 1 : 0.35
	中等风化	1 : 0.20 ~ 1 : 0.35	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50
	强风化	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75
软质岩石	微风化	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75
	中等风化	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75	1 : 0.75 ~ 1 : 1.00
	强风化	1 : 0.75 ~ 1 : 1.00	1 : 1.00 ~ 1 : 1.25

土质基坑边坡坡度

表 2-4

边坡土体类别	状态	坡率允许值(高宽比)	
		坡高小于 5m	坡高 5~10m
碎石类土	密实	1 : 0.35~1 : 0.50	1 : 0.50~1 : 0.75
	中密	1 : 0.50~1 : 0.75	1 : 0.75~1 : 1.00
	稍密	1 : 0.75~1 : 1.00	1 : 1.00~1 : 1.25
一般性黏土	坚硬	1 : 0.75~1 : 1.00	1 : 1.00~1 : 1.25
	硬塑	1 : 1.00~1 : 1.25	1 : 1.25~1 : 1.50

2.2.2 土方开挖

1. 开挖方法

目前常用的方法有人工开挖、小型机械开挖和大型机械开挖。

人工开挖一般只在土方量小,如修坡或缺乏机械开挖的情况下采用;小型机械开挖一般在施工空间受限制而无法采用大型机械的情况下采用。对于大面积的土方开挖,采用大型机械如单斗挖土机、铲运机。

2. 开挖注意事项

- (1) 基底以上 20cm 须人工开挖,避免超挖;
- (2) 基坑深度大于 5m 须设平台,土质边坡平台宽度不小于 1.5m,岩质边坡平台不小于 0.5m;
- (3) 基坑周边堆载或动荷载不能超出设计要求;
- (4) 槽状基坑须分段开挖;
- (5) 边坡要有合理的防排水措施,防止地表水流入基坑或渗入边坡;
- (6) 加强监测与巡查,若出现裂缝应停工检查原因,并采取有效措施;
- (7) 基坑开挖完成后,应及时清底验槽,减少地基土暴露时间,地基土不应长期暴晒或雨水浸泡。暴露时间在 1 年以上的基坑,要采取护坡措施。

2.3 土钉墙支护基坑

土钉墙是土钉加固的基坑侧壁土体与护面等组成的支护结构,即由土钉、侧壁土体、喷射混凝土护面(内有钢筋网片、加强筋)构成,此外还有泄水孔,护面构成见图 2-3。土钉为设置在基坑侧壁土体内的承受拉力与剪力的杆件,杆件可以是钢筋也可以是钢管。土钉墙与预应力锚杆、微型桩、水泥土桩等中的一种或多种组成的复合型支护结构称为复合土钉墙。

土钉主要可分为钻孔注浆土钉与打入式土钉两类。

(1) 钻孔注浆土钉,是最常用的土钉类型。即先在土体中钻孔,置入钢筋,然后沿全长注浆。

(2) 打入土钉,是在土体中直接打入角钢、圆钢或钢筋等,不再注浆。优点是不需预先钻孔,施工速度快,但不适用于砾石土和密实胶结土,也不适用于服务年限大于 2 年的