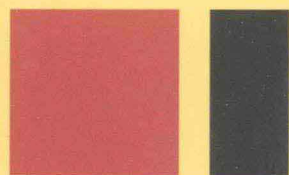


地下工程 设计与施工

向伟明 主编
郑先昌 贾建华 主审



中国建筑工业出版社

地下工程设计与施工

向伟明 主 编
郑先昌 贾建华 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下工程设计与施工/向伟明主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 4

ISBN 978-7-112-15279-7

I. ①地… II. ①向… III. ①地下工程—设计②地下工程—工程施工 IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 055706 号

全书较系统、全面地介绍了地下结构设计、施工的基础理论和方法。书中设计与施工的例子大都来自近年的实际工程, 专业涵盖了工业与民用建筑、交通运输、人民防空、岩土工程等领域。全书共分 3 篇 23 章, 第 1 篇内容包括地下工程的分类及特点、土的基本性质及工程分类、设计计算理论等。第 2 篇主要介绍地下室设计、基坑支护、盾构设计、钻爆法、沉管、顶管、沉井的设计。第 3 篇介绍了深基坑施工的各种方法, 有逆作法、地下连续墙、箱涵等施工方法, 最后介绍了地下工程的降排水技术、施工组织设计等。每一章的设计与施工都配有实例。

本书可作为从事地下工程设计、施工、管理的工程技术人员以及高等院校地下工程专业教学的工具书和参考书。

责任编辑: 杨 允 王 梅 咸大庆

责任设计: 李志立

责任校对: 肖 剑 刘 钰

地下工程设计与施工

向伟明 主 编

郑先昌 贾建华 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京永峥印刷有限公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 23 字数: 570 千字

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-15279-7

(23309)

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)

编 委 会

主 编：向伟明

副主编：沈开鹏 高文伟 蒋 鹏 林靖宇

主 审：郑先昌 贾建华

序

随着人类工业化进程不断加快，城市化水平的提高，城市人口迅速增长，现代大城市，特别是城市中心区域都不可避免地出现了城市化进程快速推进与有限土地资源之间的矛盾，地面土地资源并不能最大限度地满足城市发展的需求。为了解决这个矛盾，人们以现代建筑技术为依托，把土地开发利用的空间从地上移到了地下，地下空间开发利用和管理的研究应运而生。通过地下空间开发利用，可在有限的城市土地资源上拓展生存空间，增加城市空间容量，形成城市地面空间、上部空间和城市地下空间协调发展的城市空间新观念，城市空间的立体化和综合化构成了现代城市发展的理想模式。

自 1863 年英国伦敦建成世界上第一条地铁开始，地下空间的开发利用已经历了近 150 年之久，一些发达国家对城市地下空间的开发利用已具有了相当的水平 and 规模，有些发达国家已开始尝试开发利用 50m 至 100m 的深层地下空间，不少发展中国家也逐渐将城市发展的目光投向了地下空间。城市发展空间由地面向地下延伸、部分城市功能由地面转入地下，这是世界各城市空间发展的必然趋势，也是衡量一个城市现代化的重要标志，地下空间的开发对城市社会经济的可持续发展意义重大。

与地面工程相比，地下工程具有不同的特点，本书系统地介绍了地下工程设计与施工的基础理论和方法，是一本很有价值的工具书和参考书，本书提供的实例，大都来自近年的实际工程，可供参考。

本书内容包括地下工程的分类、设计计算理论、施工方法、土的物理性质、地下室设计、基坑支护、盾构设计、沉管的设计、顶管的设计、沉井的设计、深基坑的施工、地下连续墙的施工、钻爆法施工、地下工程的降排水技术、施工组织管理等，涉及隧道工程、人防地下商业街工程、地下厂房与泵房工程、高层建筑地下室工程、市政管线工程、仓储工程等地下工程专业，内容全面。

本书编者长期从事地下工程专业的教学与科学研究工作，本书出版是编者多年来从事理论研究 with 工程实践的总结，为此诚意地把本书推荐给广大读者。

陈树坚
中山大学教授
2013 年 1 月

前 言

随着城市人口的剧增，生产、生活用地在许多大中城市日渐紧张，加上交通、人防工程等方面的需求，开发城市地下空间已经成为城市建设的重要组成部分。在一些人口密集诸如北京、上海、广州等特大城市，几乎所有的建筑都设有地下室。作为从事土木工程的技术人员，无论设计和施工都不可避免面对地下工程的设计、施工等技术问题。

地下工程节约用地，减轻地下交通压力，战时防空等优点不言而喻。地下结构的设计、施工与地面工程又有不少差异，尤其是施工的难度与复杂程度比地面工程复杂得多，诸如地下施工支护、降排水、人防工程核武器冲击爆炸等都给设计与施工增加了难度。本书较详细介绍了各种地下工程的设计和方法，编写注重实用性、基础性和先进性，在编写中吸收了国内外先进的方法和积累的经验，着重介绍了现代流行的设计与施工方法，配有较多的设计与施工实例，使读者从中提高分析和解决工程难题的能力。在编写过程得到了广州大学童华炜、郑先昌教授的支持，也得到了广州人防设计院贾建华总工的帮助。中山大学陈树坚教授给予充分肯定，在此表示谢意。本书由广州大学向伟明主编，广州大学沈开鹏、广州人防设计院高文伟、深圳市勘察研究院蒋鹏、肇庆市住房和城乡建设局林靖宇副主编。

本书第1章由沈开鹏、黄洲编写，第2、3章由向伟明、周艳杰编写，第4、5、6章由黄洲、高文伟、林靖宇编写，第7、8章由沈开鹏、向伟明、林靖宇编写，第9、10、11章由沈开鹏、向伟明、方梨梨编写，第12、13、14章由唐春华、周少君编写，第15、16、17、18、19、20、21、22、23章由沈开鹏、向伟明、蒋鹏编写。周少君、伍阳、吴智浩、黄佳参加了全书的校对和整理。

本书由向伟明、沈开鹏统稿，由于编者的水平有限，书中不当之处敬请读者批评指正。

2012年11月

目 录

第 1 篇 地下工程基本知识

第 1 章 绪论	3
1.1 地下工程的分类及特点	3
1.2 地下工程设计的基本方法	5
1.3 地下工程施工技术概述	9
第 2 章 土的基本性质及工程分类	12
2.1 土的生成与特性	12
2.2 土的三相组成	13
2.3 土的物理性质指标	13
2.4 土的物理状态	16
2.5 地基土的工程分类	17
2.6 特殊土	20
第 3 章 地下工程结构设计计算理论	23
3.1 土压力及其分类	23
3.2 静止土压力计算	23
3.3 朗肯土压力理论	24
3.4 库仑土压力理论	27
3.5 挡土墙设计	30
3.6 土坡稳定分析	32

第 2 篇 地下工程设计

第 4 章 地下工程建筑设计	37
4.1 人防工程设计	37
4.2 地下街设计	39
4.3 地下车库设计	43
4.4 地铁站设计	47
第 5 章 附建式地下室的结构设计	55
5.1 荷载及其组合	55

5.2	钢筋混凝土板设计计算	56
5.3	外墙	60
5.4	基础	61
5.5	设计实例	62
第6章	基坑支护结构设计	67
6.1	重力式挡土墙	67
6.2	排桩及地下连续墙支护结构设计	74
6.3	土钉墙支护结构设计	95
第7章	盾构衬砌结构设计	106
7.1	盾构衬砌结构设计方法	106
7.2	设计实例	111
第8章	钻爆法隧道结构设计	122
8.1	隧道爆破设计	122
8.2	钻爆法隧道支护结构设计	128
8.3	隧道工程注浆加固设计	133
第9章	沉管法结构设计	144
9.1	结构所受荷载	144
9.2	横截面的设计	145
9.3	浮力设计	147
9.4	结构分析与配筋	148
9.5	抗震设计及预应力的作用	150
9.6	设计实例	150
第10章	顶管工程结构设计	157
10.1	工作井计算设计	157
10.2	顶管顶力计算	158
10.3	顶管壁后土体稳定验算	158
10.4	顶管结构计算实例	163
第11章	沉井结构设计	171
11.1	沉井设计内容及原则	171
11.2	沉井结构设计计算	172
11.3	沉井结构设计实例	181

第3篇 地下工程施工

第12章	深基坑工程施工	191
12.1	概述	191
12.2	围护结构的形式	191
12.3	钢板桩挡土结构的施工	192
12.4	深沉搅拌桩施工	195

12.5	SMW 工法施工	198
第 13 章	地下连续墙施工	203
13.1	概述	203
13.2	地下连续墙的施工工艺过程	204
13.3	地下连续墙的主要施工工序	205
13.4	地下连续墙槽段间的接头处理	213
第 14 章	沉井施工	215
14.1	沉井类型	215
14.2	沉井制作与下沉	216
14.3	沉井下沉施工常遇问题和预防处理方法	225
14.4	沉井的质量检验标准	227
第 15 章	盾构法施工	229
15.1	盾构法概述	229
15.2	盾构施工	230
15.3	衬砌	238
15.4	工程实例	240
第 16 章	顶管法管道施工	241
16.1	顶管法施工概述	241
16.2	顶管法施工准备工作	242
16.3	常用顶管及施工工法介绍	246
16.4	中继环	253
16.5	管道及其接口	255
16.6	顶管法施工关键技术	255
16.7	曲线顶进技术	258
16.8	土压平衡顶管机工作参数	260
16.9	泥水平衡顶管施工实例	266
第 17 章	逆作法施工	273
17.1	逆作法的概述	273
17.2	逆作法的施工计划	274
17.3	立柱结构的施工	276
第 18 章	隧道钻爆法施工	281
18.1	钻爆法概述	281
18.2	开挖方法	282
18.3	隧道爆破技术	284
18.4	施工通风与防尘	292
18.5	装渣与运输	294
第 19 章	箱涵施工	297
19.1	概述	297
19.2	箱涵施工	297

19.3	箱涵顶进	303
19.4	顶进设备	304
19.5	工程实例	305
第 20 章	沉管法隧道施工	306
20.1	沉管隧道概述	306
20.2	管段的制作及浮运	308
20.3	管段的沉放与水下连接	311
20.4	基础处理	314
20.5	工程实例	317
第 21 章	新奥法 (NATM) 施工技术与监控量测	318
21.1	新奥法概述	318
21.2	新奥法的设计和施工	319
21.3	新奥法的量测	320
21.4	量测资料的整理和反馈	324
第 22 章	地下工程防排水施工	328
22.1	概述	328
22.2	地下工程排水	330
22.3	地下工程防水	331
第 23 章	地下工程施工组织与管理	340
23.1	地下工程施工组织	340
23.2	地下工程施工管理	348
	参考文献	358

第 1 篇 地下工程基本知识



第 1 章 绪 论

1.1 地下工程的分类及特点

1.1.1 地下工程的分类

地下工程由于类型的不同，其工程的特点、设计、施工方法以及施工组织等均不尽相同。通常地下工程可有以下四种分类方法。

(1) 根据使用用途的不同，地下工程的分类见表 1-1。

地下工程按用途分类

表 1-1

序号	工程类型	说 明
1	地下民用与公共建筑	地下商店、图书馆、体育馆、展览厅、影剧院、旅馆、餐厅、住宅及其综合建筑体系——城市地下街等
2	交通隧道	铁路隧道、公路隧道、城市地下铁道及水底隧道等
3	地下仓库	粮食、油料、酿酒和水果、蔬菜等的储藏库，鱼肉食品的冷藏库，车库以及核废料封存库等
4	地下工厂	水力或火力发电站的地下厂房以及各种轻、重工业的地下厂房等
5	地下市政工程	给水工程、污水、管路、线路、废物处理中心等
6	矿山巷道	各类矿山的运输巷道及开采井巷等
7	水工隧洞	水力发电站的各种输水隧洞，为农业灌溉开凿的输水隧洞以及给水排水隧洞等
8	人防工程	人员隐蔽部、指挥所、疏散干道、连接通道、医院、救护站及大楼防空地下室
9	国防地下工程	飞机库、舰艇库、武器库、弹药库、作战指挥所、通信枢纽、军医院和各类野战工事以及永久筑城工事等

(2) 按断面形状的不同，地下工程的分类见表 1-2。

地下工程按断面形状分类

表 1-2

序 号	断 面 类 型	说 明
1	曲线型断面	圆形、椭圆形、曲墙拱形
2	半曲线型断面	直壁平底拱形、直壁仰拱形
3	直线型断面	矩形、方形等

(3) 按所处的地质条件, 地下工程的分类见表 1-3。

地下工程按所处的地质条件分类

表 1-3

序号	条件类型	说明
1	岩体地下洞室	包括人工洞和天然洞两种
2	土体地下洞室	包括黄土洞室和其他土层洞室。当洞室上部为土层, 下部为岩层时, 根据其周围应力特征和防排水要求, 也宜归为土体地下洞室进行设计

(4) 按埋深分类, 地下工程的分类见表 1-4。

地下工程按埋深分类

表 1-4

序号	埋深分类	说明
1	当 $h/b \geq k$ 时, 为深埋隧道	其中, h 为毛洞的埋深, b 为毛洞的跨度; k 的取值与岩性有关, 当为土层时, 取为 2.5, 当为坚硬岩石时, 取值偏高, 建议值为 1~2, 但同时满足: $h \geq (2 \sim 2.5) h_0$ (h_0 为压力拱的计算高度)
2	当 $h/b < k$ 时, 为浅埋隧道	

1.1.2 地下工程的特点

地下建筑工程是在岩体或土体中开挖的空间结构工程, 与地面工程相比, 地下工程在很多方面具有完全不同的特点, 主要表现在以下几个方面。

(1) 工程受力特点不同

地面工程是先有结构, 后有荷载, 经过施工形成结构后, 再承受自重、风雪以及其他静载或动载; 地下工程是先有荷载, 后有结构, 在岩土地质体内开挖, 在工程开挖之前就存在着地应力荷载, 所以地下工程是先有荷载, 后形成结构。

(2) 工程材料特性不确定性

地面工程结构材料多为人工制造, 如钢筋混凝土、钢材、砖块等, 这些材料与岩土体材料相比, 在力学和变形性质等方面人们可以对其进行控制和改变。地下工程结构所涉及的材料包含两部分, 一部分是支护结构材料性质是人工制造的, 而另一部分作为地下结构重要组成的工程围岩是难以预测和控制的岩土地质体。这样的地质体不仅包含大量的断层、节理夹层等不连续介质, 而且还存在着很大程度的不确定性, 这种不确定性主要体现在两个方面:

① 空间上的不确定性。对于地下工程围岩, 不同位置围岩的地质条件存在差异 (如岩性、构造、地下水条件等), 因此, 人们通过有限的地质勘察、取样, 很难全面了解掌握整个工程体地质条件和力学特性。

② 时间上的不确定性。即使在同一地段的不同历史时期, 其地应力、岩土体物理力学特征等也会发生变化。尤其是开挖后的工程岩体特性除随时间的变化而变化外, 更重要的还与开挖顺序、支护方式、施工工艺方法、施工时间等因素密切相关, 这往往是一个十分复杂的变化过程。

(3) 工程荷载的不确定性

地面结构所受荷载较为明确，其荷载量值及其变异性与地下工程相比要小得多。对于地下工程，工程围岩的地质岩体不仅是支护结构的荷载，同时又是承载体，作用到支护结构上的荷载难以精确计算，而且，此荷载是随着支护类型、支护时间与施工工艺的变化而变化。因此，地下工程的设计与计算，难以准确地确定作用于结构上的荷载类型与量值大小。

(4) 破坏模式的不确定性

工程数值分析、计算的主要目的在于为工程设计提供评价结构破坏或失稳的安全指标，如稳定性系数、各种力学与变形指标等。这种指标的计算是建立在结构的破坏模式基础上的。地面工程的破坏模式较容易确定，如强度破坏、变形破坏、旋转失稳等破坏模式。而地下工程破坏模式一般难以确定，它不仅取决于岩土体工程、水文地质性质，而且还与开挖顺序、支护方式、施工工艺、支护时间等密切相关。

(5) 地下工程设计施工信息的不充分性与模糊性

地下工程设计与施工的主要信息是通过工程勘察手段和从局部的工作面或露头中获取，此获取信息的数量与质量是局部和有限的，且可能存在错误的资料或信息；准确充分的围岩工程地质与物理力学性质资料对地下工程设计与施工指导作用极其重要，但描述对这些资料的内容如节理特征、充填物性质以及岩性的描述等又都具有模糊性。

1.2 地下工程设计的基本方法

1.2.1 地下工程设计的内容

1. 结构设计的过程与步骤

(1) 熟悉地下空间建筑的可行性论证报告，按照论证报告中所规定的内容进行设计。

(2) 了解建筑设计方案，确定关键结构技术，如结构形式、体系、承重方式、受力特点等。

(3) 确定工程的荷载性质，包括是否具有防护等级要求，平战结合要求，水土压力，地面活荷载状况等。

(4) 确定施工方法及埋置深度，地下空间结构受施工影响较大，常需进行施工阶段及使用阶段的荷载分析，有时还需进行动载（武器爆炸冲击波）作用分析，并进行分析比较后方能确定其主要结构构件尺寸。

(5) 确定荷载值及进行荷载组合，确定主要建筑材料及其强度。

(6) 确定各结构部分的结构型式及布置，根据经验及规范的要求估算结构的主要尺寸。

(7) 进行结构初步设计，并出初步设计图纸。

上述过程可以认为是初步设计（中小型工程）或技术设计（中大型工程）中所包括的内容。在初步设计经审批后即可进行施工图设计。

2. 施工图设计内容

(1) 荷载取值

根据建筑功能性质、设防等级、抗震等级、埋置深度、岩土性质、施工方案、水土压力、安全可靠度等多种因素根据荷载规范确定荷载取值。

(2) 计算简图

根据结构形式及结构设计理论、岩土性质、计算手段提出既接近实际又能简化计算的合适简图。因为简图决定着计算理论的差别，此差别决定力学结果的变化，因而引起构件断面及材料强度的变化。

(3) 内力计算及荷载组合分析

根据施工、使用等不同阶段及所采用的计算手段（电算、手算、查表等进行内力计算，按最不利的状况进行组合分析）求出结构构件的弯矩、剪力和轴力（ M 、 V 、 N ）值，并绘出受力图。

(4) 结构配筋

由于地下空间结构大多为钢筋混凝土结构，因此需进行配筋设计。通过截面强度和抗裂缝要求求出受力钢筋，并确定分布筋及架立筋的数量及间距。钢筋应选择常用的规格，应尽量统一直径，以便购料和施工。

(5) 构造确定

所有结构设计都有相应的构造要求来约束。构造要求是行业或构件设计中规范（或标准）规定的应该执行的定量或定性的一些措施，是多年工程实践经验及理论研究的总结，起着很重要的作用。所以，构造设计绝不可忽视，对构造要求的忽视有可能造成工程浪费或产生重大结构安全事故。

(6) 施工图

根据设计及计算结果绘制结构平面布置图、结构构件配筋图、结构构造说明及节点详图、相关专业（风、水、电、建筑、通信、网络、燃气、防护等）需要设置的预埋件、措施、洞口、预留及扩建图。

(7) 图纸预算

一般认为工程有三算，即初步设计概算、施工图预算、竣工图决算。施工图完成后需根据当年的预算价格计算材料用量及费用，费用包括材料、人工、机械三项外加管理费。结构只是工程项目的-一个组成部分。

1.2.2 地下工程设计的原则

由于地下建筑结构的建筑费用昂贵，在施工过程中，又受到许多不确定性因素影响，任何疏忽都有可能导致设计的失败。所以要求地下建筑结构设计必须按照以下几个原则进行设计：

(1) 符合安全可靠性的要求，即坚持保障人身及财产安全为前提。

(2) 符合经济性和耐久性的要求，对于可供选择的方案应进行择优选择，在满足安全可靠性和正常使用的前提下，应做到经济、环保等要求。

(3) 严格满足相关规范与标准的要求，行业的规范与标准是评价设计质量的前提与方向，设计中必须遵循相关规范与标准。

(4) 选择合适可靠的设计软件，可减轻计算工作量，而且保证设计速度，又可减少计算失误。

1.2.3 地下工程计算理论

由于地下空间结构存在地层弹性抗力作用，因此，弹性抗力限制了结构的变形，改善了结构的受力状况。矩形结构的弹性抗力作用较小，在软土中常忽略不计，而拱形、圆形

等有跨变结构的弹性抗力作用显著。在设计计算中如考虑弹性抗力的作用,应视具体的地层条件及结构形式而定。地下空间结构的计算方法主要有结构力学分析法、弹性地基梁法、矩阵分析法以及有限单元法、弹塑性、非线性、黏弹性、黏弹塑性等计算方法。我国地下工程界著名学者孙钧院士与侯学渊教授把上述计算方法归为两大类:荷载结构法与地层结构法。

荷载结构法是把地层结构周围的土层视为荷载,在土层荷载作用下求结构产生的内力和变形,如结构力学法、假定抗力法和弹性地基梁法等。结构力学法用于软弱地层对结构变形的约束能力较差的状况(或衬砌与地层间的空隙回填、灌浆不密实时),反之,则可用假定抗力法或弹性地基梁法。此种方法在分析中把荷载与结构视为作用与反作用的关系。

地层结构法是把地层与结构(衬砌)视为一个受力变形的整体,并可按连续介质力学原理来计算衬砌和周边地层的计算方法。常见的关于圆形衬砌的弹性解、黏弹性解、弹塑性解等都归属于地层结构法。这是因为地层岩土材料的本构关系有线弹性、非线性弹性、黏弹性和黏弹塑性差别,由此便可建立上述多种关系的计算模型。地层结构法中只是对圆形洞室(指只有毛洞,不设衬砌)的解析发展得比较完善。

上述两大类法都可用数值计算方法进行分析,有限单元法、有限差分法、加权余量法和边界单元法等都属于数值计算方法。在地下工程中,由于材料非线性、几何非线性、岩层节理和其他不连续特征及开挖效应等复杂性因素均可在有限单元法中得到适当的反映和考虑,因此,地下空间结构与岩土工程力学分析方法中发展最快的是有限单元计算方法。

1.2.4 地下工程设计方法

1. 工程类比设计方法

地下建筑结构的工程类比设计方法就是将拟建地下工程的自然条件和工程条件与已建成的类似工程相比较,将已建成工程的稳定状况、影响因素及工程设计等方面的有关经验,应用到类似的所要建设的地下工程中去,进而确定有关设计参数的一种方法。

地下建筑结构工程类比设计的基础是充分掌握和占有以往类似工程的资料 and 成功经验,前提是正确地地下工程围岩进行分级。对于用工程类比法设计的地下工程,成功建造的关键是做好施工过程的监控量测和信息反馈。

工程类比设计方法的优点是能综合考虑多种非确定性影响因素,快速地对拟建地下建筑结构的设计参数作出估算和评价。该方法的主要缺点是进行工程类比时往往以人的经验为主,解决地下建筑结构设计问题的范围较窄并带有很大的主观性。

2. 力学模型设计方法

进行地下建筑结构设计之前,首先要根据具体工程的特点,抽象出合理的力学结构模型,然后基于力学模型进行地下建筑结构设计。地下建筑结构设计一般为超静定结构,结构内力只有在拟定了结构的尺寸、材料和构造并确定地下工程的荷载类型和大小后,才能计算出结构的内力,验算结构的承载力、刚度和稳定性。如果满足结构设计的要求,则选定初设的结构尺寸、材料和构造;否则,重复上述过程反复迭代计算,直到满足设计要求。

对于混凝土梁、板、柱、拼装的弧板、复合衬砌等地下建筑结构,根据确定的荷载可