

中国地质大学“211工程”建设重点资助教材

# 地下建筑工程设计与施工

陈建平 吴立 编著



A0969655

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下建筑工程设计与施工/陈建平, 吴立编著. —武汉: 中国地质大学出版社, 2000. 9  
ISBN 7-5625-1567-0

- I. 地…
- II. ①陈…②吴…
- III. 设计与施工-地下建筑工程
- IV. TU22

地下建筑工程设计与施工

陈建平 吴立 编著

责任编辑: 贾晓青

责任校对: 张咏梅

出版发行: 中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编: 430074

电话: (027)87483101

传真: 87481537

E-mail: cbo@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

开本: 787毫米×1092毫米 1/16

字数: 330千字 印张: 13.75

版次: 2000年9月第1版

印次: 2000年9月第1次印刷

印刷: 中国地质大学出版社印刷厂

印数: 1—1000册

ISBN 7-5625-1567-0/TU·22

定价: 20.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 前 言

本书为地下建筑工程专业的本科生教学用书，并作为地下建筑工程专业的地下建筑工程设计与施工两门课程的教材，两门课的总学时数为 100 学时。考虑到在讲授这两门课时，学生已修完“结构力学”、“弹性力学”等力学课程和“凿岩爆破”、“岩土加固”、“地下建筑工程机械”等专业课，本书的内容中涉及到专业基本理论较少，而从设计与施工的角度出发，利用上述三门课的相关内容并增加或补充与设计 and 施工有关的新内容作为教材的主要内容。

根据本专业建设方向要求，本教材内容以岩体地下建筑为主，兼有少量土层地下建筑内容，在工程类型上以最具代表性的隧道和洞室为主体。教材以地下建筑工程设计和施工为主线，第一章到第四章为设计部分，第五章到第十三章为施工部分。从教材结构可看出，教材重点在施工部分。

本书编写过程中，重视新理论、新技术、新工艺的发展与应用，书中既包括了最常用的设计理论和最新设计理论，如新奥法、数值法等，也包括了工程施工中常用的新技术、新工艺，如掘进机法、盾构法、管棚桩法及锚喷支护新工艺等，同时，也列举一定的设计与施工实例。所以，实用性强并有一定理论深度是本书内容的主要特点。

本书由绪论部分和十三章内容组成，绪论由吴立编写；第一、四、五、九、十、十一、十二、十三章由陈建平编写；第二章由陈建平、吴立编写；第三章由陈建平、吴剑平编写；第六章由周传波编写；第七、八章由吴立编写。

全书由陈建平、吴立统编，由唐辉明教授主审。

限于作者的水平，书中难免有许多错误和不当之处，竭诚希望读者不吝赐教。

作 者  
2000 年 6 月

# 目 录

绪 论	(1)
第一章 地下建筑工程概论	(7)
§ 1.1 概述	(7)
§ 1.2 地下建筑工程建设基本原则	(7)
§ 1.3 设计步骤和内容	(9)
1.3.1 初步设计	(9)
1.3.2 施工图设计 (又称施工图设计)	(10)
1.3.3 施工组织设计	(10)
§ 1.4 确定设计与施工方案的技术方法	(10)
1.4.1 类比法	(10)
1.4.2 方案法	(10)
1.4.3 最优化方法	(11)
§ 1.5 地下建筑工程的施工特点	(11)
第二章 地下建筑设计方法	(13)
§ 2.1 概述	(13)
2.1.1 设计方法概要	(13)
2.1.2 地下建筑的功能	(14)
§ 2.2 荷载分析	(14)
§ 2.3 岩体分类与经验设计法	(16)
2.3.1 Terzaghi 岩体荷载 (Terzaghi Rock Load)	(16)
2.3.2 Q 指标 (Q System, 又称 NGI 隧道质量指标)	(18)
2.3.3 岩体结构等级 (Rock Structure Rating, 又称 RSR 分类)	(23)
2.3.4 岩体力学等级与经验设计	(25)
2.3.5 国内围岩分类与经验设计	(27)
2.3.6 用经验法设计隧道实例	(30)
2.3.7 经验设计方法的评价	(31)
§ 2.4 解析计算设计方法	(32)
§ 2.5 变形-约束方法	(33)
§ 2.6 NATM 法	(34)
§ 2.7 不连续面分析方法	(35)
§ 2.8 有限单元方法	(36)
2.8.1 计算范围的确定和离散方法	(37)
2.8.2 单元类型的选择	(38)
2.8.3 边界条件和初始应力场	(38)
2.8.4 开挖过程的模拟	(39)

2.8.5	衬砌浇筑过程的模拟 .....	(40)
2.8.6	锚喷支护的模拟 .....	(40)
2.8.7	求单元应力 .....	(41)
2.8.8	支护结构的强度校核 .....	(41)
<b>第三章</b>	<b>隧道衬砌结构计算 .....</b>	<b>(42)</b>
§ 3.1	概述 .....	(42)
§ 3.2	隧道衬砌上的荷载与分类 .....	(43)
§ 3.3	半衬砌的计算 .....	(43)
3.3.1	计算图式、基本结构及正则方程 .....	(44)
3.3.2	单位变位及荷载变位的计算 .....	(45)
3.3.3	拱脚位移计算 .....	(45)
3.3.4	计算各截面的内力并校核计算正确性 .....	(47)
§ 3.4	曲墙式衬砌计算 .....	(48)
3.4.1	计算图式 .....	(48)
3.4.2	主动荷载作用下的力法方程和衬砌内力 .....	(49)
3.4.3	最大抗力值的计算 .....	(50)
3.4.4	在 $\bar{\sigma}_h=1$ 抗力图作用下的内力 .....	(52)
3.4.5	衬砌最终内力计算及校核计算结果的正确性 .....	(52)
§ 3.5	直墙式衬砌计算 .....	(52)
3.5.1	计算原理 .....	(52)
3.5.2	边墙的计算 .....	(53)
§ 3.6	衬砌截面强度检算 .....	(57)
§ 3.7	衬砌计算中存在的问题 .....	(58)
<b>第四章</b>	<b>锚喷支护设计 .....</b>	<b>(60)</b>
§ 4.1	地下洞室破坏类型与机理 .....	(60)
§ 4.2	围岩局部失稳分析方法 .....	(62)
§ 4.3	围岩的稳定性因素与支护作用 .....	(64)
§ 4.4	锚喷支护设计 .....	(65)
4.4.1	理论分析法设计 .....	(66)
4.4.2	监控法设计 .....	(74)
4.4.3	锚喷支护设计技术现状与发展 .....	(74)
<b>第五章</b>	<b>隧道开挖施工 .....</b>	<b>(76)</b>
§ 5.1	施工方案与开挖方法 .....	(76)
5.1.1	施工方案 .....	(76)
5.1.2	开挖方法 .....	(77)
§ 5.2	凿岩爆破 .....	(80)
5.2.1	凿岩爆破基本参数 .....	(81)
5.2.2	炸药在炮孔中分配方法与实际爆破参数的确定 .....	(83)
5.2.3	布孔设计 .....	(83)
5.2.4	光面爆破和预裂爆破 .....	(85)

5.2.5	凿岩机械与工具选择 .....	(87)
§ 5.3	装岩与运输 .....	(89)
5.3.1	洞室装运方式选择 .....	(89)
5.3.2	洞室装运设备选择 .....	(90)
5.3.3	平洞装岩设备生产率计算 .....	(91)
5.3.4	运输设备需要量计算 .....	(92)
5.3.5	岩石装运设计方法 .....	(93)
§ 5.4	洞室通风 .....	(93)
5.4.1	通风方法 .....	(93)
5.4.2	风量计算 .....	(94)
5.4.3	选择风筒 .....	(95)
5.4.4	选择通风机 .....	(96)
<b>第六章</b>	<b>开挖机械化与掘进机施工 .....</b>	<b>(97)</b>
§ 6.1	开挖机械化作业方案配套 .....	(97)
6.1.1	方案配套的原则 .....	(97)
6.1.2	常用的机械配套方案 .....	(97)
6.1.3	掘进设备配套最优化问题 .....	(100)
§ 6.2	掘进机法 (TBM) 开挖施工 .....	(104)
6.2.1	掘进机的类型与应用 .....	(104)
6.2.2	全断面掘进机结构原理 .....	(104)
6.2.3	掘进机开挖隧洞经济分析和施工组织 .....	(107)
<b>第七章</b>	<b>竖井、斜井施工 .....</b>	<b>(110)</b>
§ 7.1	竖井施工 .....	(110)
7.1.1	井口施工 .....	(110)
7.1.2	竖井施工方法 .....	(110)
7.1.3	竖井凿岩爆破 .....	(113)
7.1.4	竖井装岩与提升 .....	(114)
§ 7.2	斜井施工 .....	(117)
7.2.1	斜井施工方法 .....	(117)
7.2.2	斜井装岩 .....	(117)
7.2.3	斜井提升 .....	(119)
§ 7.3	斜井、竖井施工治水 .....	(119)
<b>第八章</b>	<b>施工支洞布置 .....</b>	<b>(121)</b>
§ 8.1	施工支洞的类型、选择及布置 .....	(121)
8.1.1	施工支洞的类型与选择 .....	(121)
8.1.2	施工支洞选择的技术经济比较依据 .....	(123)
8.1.3	施工支洞布置设计 .....	(124)
§ 8.2	施工支洞断面选择 .....	(125)
<b>第九章</b>	<b>锚喷支护施工 .....</b>	<b>(127)</b>
§ 9.1	喷射混凝土支护施工 .....	(127)

9.1.1	喷射混凝土材料	(128)
9.1.2	喷射混凝土的几种工艺	(130)
9.1.3	喷射混凝土施工	(133)
§ 9.2	锚杆支护施工	(135)
9.2.1	概述	(135)
9.2.2	砂浆锚杆支护	(136)
9.2.3	快速锚固剂锚固工艺	(137)
9.2.4	锚杆的其他种类	(138)
§ 9.3	预应力锚索施工	(140)
9.3.1	二次灌浆预应力锚索的结构	(140)
9.3.2	预应力锚索的施工工艺	(141)
<b>第十章</b>	<b>新奥法 (NATM) 施工与监控量测</b>	<b>(143)</b>
§ 10.1	新奥法的基本原理	(143)
§ 10.2	新奥法设计和施工	(144)
10.2.1	设计和施工程序	(144)
10.2.2	施工要点	(144)
§ 10.3	新奥法的现场量测	(145)
10.3.1	现场量测的目的	(145)
10.3.2	量测项目和观测面、点布置原则	(145)
10.3.3	位移量测内容及常用量测仪器	(146)
10.3.4	应力、应变量测内容与仪器	(148)
§ 10.4	量测资料的整理和应用	(149)
<b>第十一章</b>	<b>洞室混凝土衬砌施工</b>	<b>(153)</b>
§ 11.1	洞室衬砌施工工艺概述	(153)
§ 11.2	模板结构与设计	(153)
11.2.1	模板的型式和结构	(153)
11.2.2	模板设计	(156)
§ 11.3	混凝土工程	(158)
11.3.1	混凝土浇筑工艺概述	(158)
11.3.2	混凝土浇筑方案	(159)
11.3.3	混凝土浇筑	(160)
11.3.4	混凝土衬砌机械化作业线	(161)
11.3.5	混凝土的拆模与养护	(161)
11.3.6	施工缝及变形缝的处理	(162)
§ 11.4	竖井衬砌施工	(164)
§ 11.5	壁后回填与压浆	(165)
11.5.1	壁后回填	(165)
11.5.2	壁后压浆	(165)
<b>第十二章</b>	<b>复杂地层与土层施工方法</b>	<b>(167)</b>
§ 12.1	复杂地层的分类	(167)

§ 12.2	注浆法	(167)
12.2.1	常用的注浆材料	(169)
12.2.2	主要注浆设备与工具	(170)
12.2.3	注浆参数的选取	(171)
12.2.4	注浆法施工	(172)
§ 12.3	盾构法	(172)
12.3.1	盾构的构造与分类	(173)
12.3.2	盾构施工	(174)
§ 12.4	管棚桩法	(175)
§ 12.5	格栅拱与模喷联合支护法	(177)
§ 12.6	几种强行穿越法	(178)
12.6.1	短段掘砌	(178)
12.6.2	超前支护	(178)
12.6.3	侧壁导坑法	(179)
§ 12.7	涌水涌沙处理方法	(179)
12.7.1	超前导洞排水降压	(179)
12.7.2	注浆法堵水	(179)
§ 12.8	坍方处理方法	(179)
12.8.1	引起坍方的因素	(180)
12.8.2	坍方处理方法及实例	(180)
<b>第十三章</b>	<b>地下建筑工程施工组织与计划</b>	<b>(183)</b>
§ 13.1	施工组织设计编制方法	(183)
13.1.1	施工组织设计的作用	(183)
13.1.2	编制施工组织设计依据所需资料	(183)
13.1.3	施工组织设计的编制内容	(183)
13.1.4	施工组织设计编制步骤	(184)
13.1.5	施工方案的确定	(185)
§ 13.2	掘进循环与工程进度计划	(188)
13.2.1	掘进循环设计	(188)
13.2.2	循环图表与实例	(191)
§ 13.3	工程进度计划	(192)
13.3.1	水平图表	(192)
13.3.2	竖向图表	(193)
13.3.3	网络图	(196)
13.3.4	主要材料、机具、劳动力需用量计划	(197)
§ 13.4	施工场地设计	(197)
13.4.1	水、电供应	(198)
13.4.2	空气压缩机站设计	(199)
13.4.3	工程用施工仓库设计	(200)
	<b>主要参考文献</b>	<b>(202)</b>



# 绪 论

## 一、概 述

建造在岩层或土层中的各种建筑物 (Buildings) 和构筑物 (Structures), 称为地下建筑 (Underground Buildings and Structures)。地面建筑的地下室部分也归为地下建筑。一小部分露出地面, 大部分处于岩石或土层中的建筑物和构筑物常称为半地下建筑。地下建筑包括交通运输方面的城市地下铁道、铁路隧道、公路隧道、地下停车场、过街或穿越障碍的各种地下通道等, 工业与民用方面的各种地下车间、电站、矿井、储藏库、商店、人防与市政地下工程, 以及文化、体育、娱乐与生活等方面的地下建筑体, 还包括军事方面的地下设施。

自从地球上人类出现以来, 人类就从未停止过对地下建筑的开发和利用。人类曾利用天然洞穴作为居住处所, 以后, 随着科技的进步, 人类逐渐学会修建并利用地下建筑, 我国古代修建的陵墓、地下粮仓、地下采矿洞室已具有相当的技术水准与规模, 如我国湖北大冶铜录山保存完好的采矿遗址, 是我国古代三千多年前西周时期劳动人民的智慧结晶, 其中的竖井、斜井、平巷及其相互贯通具有相当高的建筑水准, 反映了我国古代地下建筑已居世界领先水平; 再如埃及金字塔、巴比伦幼发拉底河引水隧道, 说明古代人类修建地下建筑已具备较高的水平。

从 15 世纪开始, 欧洲出现文艺复兴, 产业革命和科学技术开始走在世界的前列, 地下建筑工程发展迅速。1613 年建成伦敦地下隧道; 1681 年修建了地中海比斯开湾长 170 m 的连接隧道; 1843 年伦敦建成越河隧道; 1863 年伦敦建成世界第一条地下铁道; 1871 年穿越阿尔卑斯山、连接法国和意大利的全长 12.8 km 的公路隧道开通。

到 20 世纪 90 年代初, 据不完全统计, 世界上已有 100 多个城市修建了地下铁道, 线路总长度达 5 000 km (其中地下线路近 3 000 km)。各国开凿的铁路隧道, 长 10 km 以上的就有 40 余条。我国 1987 年 5 月建成的大瑶山铁路隧道, 长 14 295 m; 日本青函隧道连接北海道与本州, 全长 53 850 m, 穿越津轻海峡, 其海底长度达 13.3 km; 英法海峡隧道全长 50 km, 海底长度 37 km。此外, 各类地下电站也迅速增长, 全世界的地下水力发电站的数目已超过 400 座。其发电量达 45 亿瓦以上。原苏联的罗戈水电站, 开凿隧道、洞室 294 个, 总长度达 62 km。世界各国还修建了大量的地下贮藏库, 其建造技术不断革新。目前, 一些发达国家, 逐渐将地下商业街、地下停车场、地下铁道及地下管线等连为一体, 成为多功能的地下综合体。

## 二、地下建筑工程的发展前景

### 1. 地下空间资源的发展前景

由于人们对地下空间的需求越来越大, 地下建筑得到迅猛发展, 但也造成地下空间的匮乏, 故从 20 世纪后期, 人们将地下空间列为一种资源, 并像其他资源一样加以规划、保护和

利用。地下空间资源包括三方面的含义：①天然存在的资源蕴藏总量；②在一定技术条件下可供合理开发的资源总量；③在一定历史时期内可供有效利用的地下空间总量。

地球表面积为  $5.10 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。地球表面以下为地壳，陆地下的地壳平均厚度为 33 km，海洋下为 7 km。从理论上讲，整个地壳都具备开发地下空间的条件，也就是说，天然存在的地下空间蕴藏总量有  $7.50 \times 10^{18} \text{ m}^3$ 。以目前的施工技术和维持人的生存所需花费的代价来看，地下空间的合理开发深度以 2 km 为宜。考虑到在实体岩层中开挖地下空间需要一定的支承条件，即在两个相邻岩洞之间应保留相当于岩洞尺寸 1~1.5 倍的岩体。以 1.5 倍计，则在当前和今后一段时间内的技术条件下，在地下 2 km 以内可供合理开发的地下空间资源，总量为  $4.12 \times 10^{17} \text{ m}^3$ 。由于人类的生存与生活主要集中在陆地表面积 20% 左右的可耕地、城市和村镇用地的范围内，因此，可供有效利用的地下空间资源应为  $2.40 \times 10^{16} \text{ m}^3$ 。在我国，可耕地、城市和乡村居民点用地的面积约占国土总面积的 15%，按照上面的计算方法，我国可供有效利用的地下空间资源总量接近  $1.15 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 。

由此可见，可供有效利用的地下空间资源的绝对数量仍十分巨大，从拓展人类生存空间的意义上看，无疑是一种具有很大潜力的自然资源。

## 2. 未来城市的发展前景

从现在的认识水平看，未来城市的发展目标可以概括为：用有限的土地取得合理的最大城市容量，同时又能保持宽敞的空间、充足的阳光、新鲜的空气、优美的景观，以及大面积的绿地和水面，在少用或不用常规能源的前提下，为所有居民提供不受自然气候影响的居住和工作条件，在自然和人为灾害的危险没有消除以前，保障所有居民的安全，使之不受灾害的威胁。由此可见，合理地开发和利用地下空间可以满足未来城市的发展需要。换言之，未来城市具备地下化的发展趋势。

建立地下城市，与关于建立海洋城市、海底城市、宇宙城市等一些设想相比较，是最现实的途径。首先，潜在资源巨大的地下空间在世界人口增长得到有效控制以前，完全可以满足扩大城市容量的需求；其次，开发地下空间在技术上已比较成熟，在原有基础上发展新技术要比开发宇宙技术、海洋技术容易得多；再次，也是最重要的一点，即开发陆地地下空间的最大优势在于不脱离原来的土地和原有的城市，地下空间可以与城市上部空间得到协调的发展，而要建立完全离开地球或远离陆地的城市，不仅在建造技术上，而且在解决空气、水、粮食、能源等一系列供应问题上，都是非常困难的。

# 三、地下建筑工程的组成与类型

## 1. 地下建筑工程的组成

修建在岩石（或土层）中的地下建筑，通常由图 1 所示的工程组成。

洞室开挖工程：就是根据工程设计，在岩体内进行开挖成洞的作业，以获得符合使用要求的洞室空间。

洞室支护工程：系为了增强围岩的稳定，保证洞室在长期使用条件下的安全。根据支护的形式不同，洞室支护工程有喷射混凝土、锚杆、锚喷、整体式衬砌、装配式衬砌等。

洞内建筑及防排水工程：包括洞内衬套及房屋工程；分隔洞室平面或空间的隔墙和维护工程；防排水工程；设备基础工程；地面工程；各类坑、池、管、沟工程；门窗、粉刷、油漆等装修工程。防排水工程中，有的工程内容，如衬砌壁后的排水盲沟等，则需要在支护工

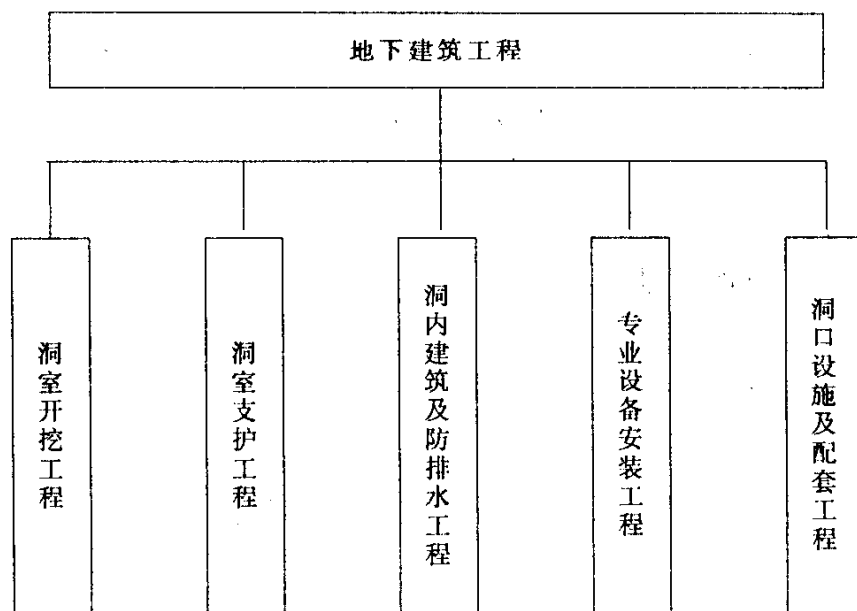


图1 地下建筑工程的组成

程阶段进行。

**专业设备安装工程：**包括生产工艺设备、运输设备、动力、照明、通风、供热、给水、排水、消防、通讯、信号等管线设施；防震、隔音、防腐等专业工程；生活及公共设施的安装工程。

**洞口设施及配套工程：**包括洞门、洞口护坡、泄洪排水、道路以及洞外必需的配套工程。由于地下建筑的类型多，使用要求不同，工程的组成并不一定都包括上述几项。

## 2. 地下建筑的类型

地下建筑类型不同，其工程特点、设计、施工方法和施工组织也不相同。地下建筑有多种分类方法，常见的有：

### (1) 按使用功能分类

- ①**军事建筑：**如地下军事指挥所、人员或装备掩蔽所、地下通讯站及战备电站等。
- ②**交通建筑：**公路隧道、铁路隧道或城市地铁、人行地道等。
- ③**城市基础设施：**城市地下自来水厂、地下污水处理厂及动力电缆、通讯电缆和给排水管道的共同沟（煤气管道及有爆炸危险的管道应单独设置）。
- ④**地下采掘空间：**各种矿体采掘后形成的洞室，这类洞室有些未被利用，常被水、土淤填，这类洞室可用来储藏核废料或其他物资。
- ⑤**地下工厂或车间：**如地下水电站、地下精加工车间等。
- ⑥**地下仓储设施：**地下油罐、粮仓、地下冷库、液化气库、热库、放射性废物库等。
- ⑦**地下民用设施：**地下商场、旅馆、地下游乐场、地下医院、地下住宅等。

### (2) 按断面形状分类

- ①**圆形或椭圆形；**
- ②**直墙拱形；**
- ③**曲墙拱形；**
- ④**其他形状，如矩形、方形等。**

### (3) 按所处的地质条件分类

- ①**岩体地下洞室：**包括人工洞室和天然溶洞两种。

②土体地下洞室：包括黄土洞室和其他土层洞室，当洞室下部为岩石，上部为土体时，根据其周围应力特点及防排水要求，也宜归为土体地下洞室。

(4) 按埋置深度分类

①当  $h/b \geq a$  时，为深埋地下建筑。

②当  $h/b < a$  时，为浅埋地下建筑。

上式中， $h$  为洞顶衬砌外缘至地面的垂直距离； $b$  为洞顶衬砌外缘的跨度或圆形洞室的直径； $a$  的取值，根据土压力理论计算约为 2.5。

## 四、地下建筑的特点

### 1. 地下建筑的优点

(1) 提高土地利用效率

地下空间的利用，可大量节省地面空间，避免由于地面建筑物过分密集所产生的消极影响，提高土地的开发利用率。

(2) 提高交通通行率

开发利用地下空间，可以在同一地点布置住宅和工作场所，缩短人们的上班路程，减少在路上所需要的时间并且降低能源的消耗量。另外，在地表下，商场、工厂和仓库等设施可以紧密布置，因而能降低材料及商品的运输成本和能源消耗。除了交通运输上的高效率外，建筑物之间的行人往来和活动也更加方便和有效。在密集的地方修建地下建筑物不仅能够有效地利用土地，保留出一定的开敞空间，而且还能提供连接周围建筑物的室内步行通道，使行人和地面车辆互不混杂干扰。

(3) 具备特殊的防护能力

地震时，地震波的振幅随着震源距离的增大和在地下埋藏深度的增加而减小。地面建筑物因只有基础在地下而受到很大的剪力，一般情况下，地下建筑物在地震中受到的损坏要比地面建筑物轻。对于地表建筑易受的危害，如台风、暴雨、洪水等，地下建筑易于避免。遭到轰炸和核攻击时，地下建筑物可用作蔽护所。

(4) 隔音与隔振

多数地下建筑物，除了少量露出地面的部分，都被巨大的岩（土）体包围，能够降低或完全消除噪音和振动。因此，地下建筑物可以用于要求安静和与周围隔离的环境，例如，一些特殊的实验室以及只允许有轻微振动的生产车间等。此外，当地下建筑物内部产生噪音时，岩（土）体可以起到降低对外部环境干扰的作用。

### 2. 地下建筑的缺点

地下建筑物建造在地表面以下，自然会给设计和施工带来许多难题，同时也构成了地下建筑物的缺点。

(1) 观景和自然光线受限制

由于地下建筑物的一部分或全部都处于地表以下，因此，自然采光和向室外观景受到了限制。

(2) 出入和通行受限制

大部分行人和车辆的往来都是在地面上进行的，地下建筑物给人和车辆进出造成一定的困难。交通是否方便，取决于地下建筑物接近地面的程度、场地的条件及与建筑物功能有关

的进出要求。

### (3) 可视性受限制

地下建筑物对地面上视野的遮挡影响很小，在很多场合是非常有利的，但有时也成为其缺点。例如，城市商业区的店铺必须使人从街道上能够看到，有时商店还要依靠橱窗来吸引步行顾客的目光。一个全地下的商店，要使其具有吸引力和容易识别就困难得多。地面公共设施多用标志性的建筑物来引人注目，例如，大型商场、教堂、博物馆、体育馆等，要求有象征性的建筑形态，全地下建筑物就无法做到这一点。

### (4) 不良的心理反应

把地下与死亡和埋葬联系在一起，惟恐有坍塌破坏和被埋在里面的危险，以及由简陋的设计和通风不好的地下室联想到地下建筑物中必然潮湿和不舒适，结果可能导致人们产生忧虑恐怖症和不良的心理反应。

### (5) 受场地限制

各种不同形状的地下建筑物可以适应各种各样的用地条件，但是场地的某些特点常会使地下施工遇到一些特殊问题。地层条件对地上和地下建筑物都是一个制约因素。透水性很好的地层，对地下施工就是一个难题，膨胀粘性土会对地下建筑结构产生附加压力；地下水位也常使地下工程建设受到限制。

### (6) 防水问题

地下建筑物与地面建筑物相比，渗水、漏水的可能性更大。如果地下建筑物有一部分在地下水位以下，防水的问题就更为突出。修补地下建筑物漏水的主要困难是，很难找到漏水的位置。即使能确定漏水的位置，也要开挖破坏建筑结构，所需费用较高。

### (7) 施工较困难

土体、冲积层、地下水妨碍施工，因此一般工期较长，造价较高。

地下建筑的缺点不可忽视，然而，这些缺点并不构成绝对的障碍，通过精心设计和技术革新，可以最大程度地克服这些缺点。

## 五、地下建筑工程设计与施工的研究内容及任务

地下建筑曾经是建筑类型中最古老、最原始的一种。由于历史的原因，相当一段时期以来，对地下建筑存在一些狭隘的甚至是片面的认识，认为只是一种构筑物（如防空洞、下水道等），或者认为不过是建筑的一种类型，与同类地面建筑相比，质量和环境都差得多。这种看法不足为怪，因为地下建筑在发展的低级阶段，的确曾给人们留下了这样的印象。但是现在情况已有了很大的变化，不但地下建筑物的质量已大大提高，地下环境已大有改善，而且地下空间的开发利用已成为人类在有限的地球上扩大生存空间唯一现实的途径，对人类社会未来的发展，有着难以估量的重要意义。现代地下建筑承担了部分城市功能，由点（单体建筑）、线（交通线、物流线等）、体（综合体）组合而形成了城市空间以及一些其他特殊用途的空间。经过近几十年的发展，地下建筑及其相关学科已逐步发展形成了建筑学的又一个分支学科——地下建筑学（Underground Architecture）。

地下建筑区别于地面建筑的主要特征在于条件和环境的差异。特定的存在条件产生了特殊的环境，由此使得地下建筑既是建筑和城市空间整体的一部分，又有许多特点和相对独立的学科内容。

地下建筑工程涉及的内容相当广泛，除建筑设计和城市规划的一些基本内容外，还与多种学科交叉，融合多种学科知识，例如，地质学、工程地质学、岩体力学、结构力学、城市学、环境学、心理学、结构工程学、防护工程学、系统工程学，以及经济学、社会学等。同时，它还涉及到一些生产工艺的领域，如地下工程施工工艺、岩土加固与支护工艺、粮食贮存工艺、液体燃料贮运工艺、铁路设计工艺等。如果对这些工艺没有相当深度的了解，就无法利用地下空间的特点，以满足这些生产工艺的特殊要求。

从学科属性上看，地下建筑工程设计与施工的研究范围大体上有以下几个方面：①地下空间资源的合理开发与综合利用；②各类地下建筑的规划设计；③地下工程施工工艺；④地下洞室支护技术；⑤岩石地下建筑结构与地下环境特殊性有关的一些技术问题，如环境问题、防灾问题、防护问题、防水排水问题、环境与人体生理和心理上的相互作用问题等。

地下建筑应当包括岩石地下建筑和土体地下建筑两大类，而这两类建筑工程无论在规划设计方面，还是在施工方面，都既相类似，又有显著区别。由于受篇幅及专业教学体系的限制，本教材在兼顾以上各方面内容的基础上，重点介绍岩石地下建筑工程设计、施工与管理的方法和步骤。

# 第一章 地下建筑工程概论

## § 1.1 概 述

地下建筑工程是在岩土中建设的不同用途的工程，包括各类隧道和洞室工程，如铁路隧道、公路隧道、城市地铁隧道、水利水电输水隧道、矿山井巷工程、地下电厂、停车场等。它们是修建在岩体与土体中的地下建筑物。

一项建筑工程的建设要经过可行性研究、设计、施工、投产等阶段，其中设计是一项涉及科学、技术、经济和方针政策等各方面内容的工作。一个工程建设项目在建设时期和生产时期的效果，在很大程度上取决于其设计和施工的质量。

设计是根据业主对一个建设工程项目的总要求，通过调查研究，摸清和掌握有关资料与数据，将合适的先进工艺、技术和设备应用到设计工程中，并运用技术和经济等各方面的科学知识，经过综合研究，反复比选而编制出设计文件，用以指导施工和规划生产及竣工验收的过程。施工起着将设计的图纸转化为工程实体的作用，其中需要在设计的指导下，根据工程的具体情况，从技术和经济的角度制定出合理的施工方案和施工方法，用于指导施工。所以，施工是一项从施工技术、工艺、施工机械、施工组织与管理等方面，研究多快好省地进行工程建设基本规律的工作。

同地面工程结构物的区别是，地下建筑工程，不但要用建筑材料，而且首先要在承载的且变化难测的岩体中开挖地下空间，这无疑增加设计和施工的难度。所以，无论设计还是施工都特别重视支护系统。地下建筑工程施工，是在地下作业，其工作面狭小，且作业场所不断延伸，工作对象是称作岩体的地质体，不稳定的客观因素多。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。虽受外界气候条件影响较小，可受地质条件的影响较大。

另外，像交通隧道、引水隧道、探矿坑道等地下建筑工程，往往位于交通不便的偏僻地区，条件艰苦，且水电供应和交通设施建设难度较大，费用较多。施工准备时，不仅需要修建为施工服务的道路和辅助设施，而且还要修建为工人生活服务的临时生活设施。

不同用途的地下工程又各具特点。如服务年限不同，对其稳定性要求就不相同。要搞好地下工程设计和施工，对其用途和特点必须有足够的认识，如坑探工程一般规模小、分散，服务年限短，设计和施工的支护系统就比较简单。对于重要的或服务年限长的工程，应有其相应重要的支护系统，而对于人口活动密集的公共场所的地下工程，如地铁等，则应配有复杂的支护系统及相应的辅助设施。

## § 1.2 地下建筑工程建设基本原则

任何建筑工程的建设都必须按一定的原则与程序进行，地下建筑工程设计和施工应遵循如下基本原则：

### 第一，要遵循基本建设程序

所谓建筑工程基本建设程序是指基本建设项目从决策、可行性研究、设计、施工到竣工验收整个工作过程中的各个阶段及其先后次序。科学的基本建设程序是基本建设过程及其规律性的反映。

在项目决策阶段，根据业主发展经济长远规划布局的要求编制项目建议书。项目建议书经批准后（国家建设项目须经其主管部门批准），由业主委托设计单位或咨询单位进行可行性研究，可行性研究的任务和作用是从技术经济方面论证建设该项目是否可行，如果证明其兴建是必要的和可行的，经（主管部门）审批后，则应编制设计任务书作为它的附件；设计任务书在工程建设之前起定项目、定方案的作用，是工程建设的指导性文件，是编制设计文件的主要依据之一。在可行性研究的基础上，对推荐的方案再进行研究，落实各项建设条件和协作配合条件，使项目建设及建成投产后所需的人、财、物有可靠保证。有了经过审批的设计任务书，该项目就算基本确定，可据此进行设计等各项建设的前期工作。但是，设计任务书并不是工程动工兴建的许可证，我国规定，没有经过批准的设计文件，没有列入国家年度计划，没有经过批准的开工报告，不能开工。

在设计阶段，业主可招标确定或委托设计单位，按设计任务书的要求，编制设计文件。设计文件是安排建设项目和组织工程施工的主要依据。

在着手地下结构设计时，首先要详细了解工程所在地及附近的地质情况，对现场进行如钻探、取样分析、物理力学测试、岩石结构模型分析、水文分析等工程地质勘查，必要时采用坑探手段进一步了解岩性与岩体结构。工程地质勘查是工程设计的非常重要的前期工作，它直接关系到设计的优劣和工程投资的大小。

设计完成后，需要由施工单位付诸实施。我国规定，国家的建设项目确定施工单位必须进行公开招标，通过投标择优选择施工单位。在基本建设程序中，一般要求在施工图设计完成进行招标，这样可减少施工中工程量的变动和索赔。

工程施工必须按照批准的设计文件施工，如需变更，应按设计单位现行的变更设计处理办法执行。业主和施工单位都要做好施工前的准备工作，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，对工程施工在时间顺序上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；工业场地平整及障碍物拆迁，形成施工需要的“三通”（即路通、水通、电通），完成施工需要的工业设施和必要的生活设施；做好设备、材料、工具及劳保用品的准备工作，编制劳动力计划，并做好调配、培训工作，做好对外协作工作；要加强施工管理，严格质量控制，以保证在预定的时间内，用较少的人力和物力，完成规定的任务。

工程施工必须实行监理制，通过对工程质量、进度和价款进行控制和管理，保证工程按质按期完成。

工程完工时编写工程施工技术报告，提交竣工文件，按有关规定进行验收。

### 第二，要搞好调查研究，取得必要的资料

必要的资料，特别是工程地质、水文资料和工程技术经济论证报告，是可行性研究和设计、施工的依据，是保证设计和施工质量的重要条件。在进行设计和施工之前，应根据不同设计阶段和施工准备的任务、目的和要求，针对不同用途的地下建筑工程的特点，确定应搜集资料的内容和范围，力求做到搜集资料齐全、准确，满足设计和施工要求。

### 第三，要认真贯彻执行国家有关的方针政策



设计的基本任务是要做出能体现国家有关方针、政策，切合实际，安全适用，技术先进，经济效益好的设计。因此，设计和施工要遵守国家的法律、法规，认真贯彻执行国家经济建设各项有关方针政策，如征用土地必须按《中华人民共和国土地法》的要求，少占良田，充分利用荒地；选用材料和施工时必须满足《中华人民共和国环境保护法》的要求，保护生态环境，防止自然环境的破坏和污染。

#### 第四，必须遵守有关规范和规程

设计内容和深度要满足有关规定的要求，内容要简明扼要，突出重点；图件、附表要清晰齐全。

不论是哪一类地下工程，其设计的基本目标均须充分利用围岩的自承能力，在施工过程中尽量减少对围岩的破坏。对地质变化较大的工程，选用的施工方法要有较大的适应性，对方案的技术问题，要通过技术和经济比较分析，使确定的方案符合国家当前技术经济政策，要在技术上可靠和先进的基础上，能达到最大的经济效果。

## § 1.3 设计步骤和内容

一个工程建设项目的任务书经批准后，按国家有关规定：一般建设项目，按初步设计和施工图设计（亦称施工图设计）两个阶段进行设计；对于技术复杂而又缺乏经验的项目，需增加技术设计阶段；对于一些大型综合工程、矿区和水利水电枢纽工程，为解决总体部署和开发问题，还需进行总体规划设计或总体设计。

采用三阶段设计时的设计文件是：①初步设计及总概算；②技术设计及修正总概算；③施工图设计及施工图预算。

在初步设计和技术设计阶段，都要编制指导性施工组织设计，它既是工程设计的必要组成部分，又是组织工程施工必不可少的依据。在施工阶段的施工准备中亦必须编制实施性施工组织设计，从内容上要求比指导性施工组织设计具体、准确，更能切合施工实际。

一般隧道工程的施工图设计属于单项设计，它的编制是以计划任务书（或委托任务书）和地质设计为依据。在施工图设计的基础上编制施工图预算。

### 1.3.1 初步设计

初步设计目的是确定建设项目在指定地点和规定期限内进行建设的可能性和合理性，从技术上和经济上对建设项目通盘规划和合理安排，做出基本技术决定和确定总的建设费用，以便取得最好的经济效益。一般以单项工程作为初步设计的对象。初步设计的内容包括文字说明和图表两部分。初步设计的内容和深度应满足下列要求：

(1) 对于主要的设计方案要进行多方案比较，并择优推荐设计方案，以备上级机关或委托单位的审批。

(2) 为主要设备主要材料的订货及土地征用提供依据。

(3) 为编制设计概算，控制基建投资提供依据，包括投资包干、招标承包等。

(4) 据此指导和编制施工图设计和施工组织设计。

(5) 据此进行施工准备和生产准备。