

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

地下结构设计

(地下工程专业方向适用)

许明 主编
罗济章 主审

中国建筑工业出版社

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

地下结构设计

(地下工程专业方向适用)

许 明 主编
吴曙光 卢 黎 副主编
罗济章 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下结构设计/许明主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 8

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(地下工程专业方向适用)

ISBN 978-7-112-16946-7

I. ①地… II. ①许… III. ①地下工程-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 119046 号

本书以《高等学校土木工程本科指导性专业规范》为依据,按新修订的《地下结构设计》课程教学大纲要求编写。本书编写过程中汲取了国内外地下建筑结构方向相关教材和文献编写的经验,考虑了学科的最新发展,结合新规范,重点突出地下建筑结构设计的基本概念、基本理论与基本方法的教学,注重工程实例分析。

本书共分 8 章,主要内容包括:土层地下建筑结构设计概要、防空地下室结构、矩形闭合框架、地道式结构、沉井结构、盾构法装配式圆形衬砌结构、沉管结构、引道结构等地下建筑结构形式。每章均附有本章知识点、本章小结及思考题与习题,同时列出了相关参考书籍或文献。

本书可作为土木工程专业地下工程方向、建筑工程、公路工程、铁路工程、桥梁与隧道工程、水利水电工程等相关专业方向的本科生教材,也可作为高等学校相关专业的教师、科研院所和工程部门的科研人员、工程技术人员的参考书。

责任编辑:王 跃 吉万旺

责任设计:陈 旭

责任校对:张 颖 赵 颖

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材

(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

地下结构设计

(地下工程专业方向适用)

许 明 主编

吴曙光 卢 黎 副主编

罗济章 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

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{1}{2}$ 字数: 432 千字

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-16946-7

(25734)

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)

本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全 沈元勤 高延伟

副 主 任：叶列平 郑健龙 高 波 魏庆朝 咸大庆

委 员：（按拼音排序）

陈昌富	陈德伟	丁南宏	高 辉	高 亮	桂 岚
何 川	黄晓明	金伟良	李 诚	李传习	李宏男
李建峰	刘建坤	刘泉声	刘伟军	罗晓辉	沈明荣
宋玉香	王 跃	王连俊	武 贵	肖 宏	许 明
许建聪	徐 蓉	徐秀丽	杨伟军	易思蓉	于安林
岳祖润	赵宪忠				

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

出 版 说 明

近年来,高等学校土木工程学科专业教学指导委员会根据其研究、指导、咨询、服务的宗旨,在全国开展了土木工程学科教育教学情况的调研。结果显示,全国土木工程教育情况在2000年以后发生了很大变化,主要表现在:一是教学规模不断扩大,据统计,目前我国有超过400余所院校开设了土木工程专业,有一半以上是2000年以后才开设此专业的,大众化教育面临许多新的形势和任务;二是学生的就业岗位发生了很大变化,土木工程专业本科毕业生中90%以上在施工、监理、管理等部门就业,在高等院校、研究设计单位工作的本科生越来越少;三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同,多样化人才的需求愈加明显。土木工程专业教指委根据教育部印发的《高等学校理工科本科指导性专业规范研制要求》,在住房和城乡建设部的统一部署下,开展了专业规范的研制工作,并于2011年由中国建筑工业出版社正式出版了土建学科各专业第一本专业规范——《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。为紧密结合此次专业规范的实施,土木工程专业教指委组织全国优秀作者按照专业规范编写了《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业基础课)》。本套专业基础课教材共20本,已于2012年底全部出版。教材的内容满足了建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要专业方向核心知识(专业基础必需知识)的基本需求,为后续专业方向的知识扩展奠定了一个很好的基础。

为更好地宣传、贯彻专业规范精神,土木工程专业教指委组织专家于2012年在全国二十多个省、市开展了专业规范宣讲活动,并组织开展了按照专业规范编写《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业课)》的工作。教指委安排了叶列平、郑健龙、高波和魏庆朝四位委员分别担任建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个专业方向教材编写的牵头人。于2012年12月在长沙理工大学召开了本套教材的编写工作会议。会议对主编提交的编写大纲进行了充分的讨论,为与先期出版的专业基础课教材更好地衔接,要求每本教材主编充分了解前期已经出版的20种专业基础课教材的主要内容和特色,与之合理衔接与配套、共同反映专业规范的内涵和实质。此次共规划了四个专业方向29种专业课教材。为保证教材质量,系列教材编审委员会邀请了相关领域专家对每本教材进行审稿。

本系列规划教材贯彻了专业规范的有关要求,对土木工程专业教学的改革和实践具有较强的指导性。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和单位的大力支持,在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2014年4月

前 言

本书主要作为高等学校土木工程专业地下工程专业方向“地下建筑结构设计”课程的教材，是高等学校土木工程学科专业指导委员会的规划教材之一，主编单位由专业指导委员会确定。本书以《高等学校土木工程本科指导性专业规范》为依据，按新修订的《地下结构设计》课程教学大纲要求编写，该课程为限定选修课，建议学时为48学时。

本书共分为8章，第1章为土层地下建筑结构设计概要，重点介绍了地下建筑结构的概念和特点、地下建筑结构的分类和形式、地下建筑结构的荷载、地下建筑结构的计算模型和设计方法等；第2~8章主要介绍了防空地下室结构、矩形闭合框架、地道式结构、沉井结构、盾构法装配式圆形衬砌结构、沉管结构、引道结构等地下建筑结构形式。

本书在汲取了国内外地下建筑结构方向相关教材和文献编写经验的基础上，力图考虑学科的最新发展，结合新规范，重点突出地下建筑结构设计的基本概念、基本理论与基本方法的教学，注重工程实例分析。每章均附有思考题及习题，同时列出了相关参考书籍或文献，供练习巩固用，在此感谢相关文献资料的作者、编者。

本书可作为土木工程、地下工程、公路工程、铁路工程、桥梁与隧道工程、水利水电工程等专业的本科生教材，也可作为高等学校相关专业的教师，科研院所和工程部门的科研人员、工程技术人员的技术参考书。

本书由重庆大学许明任主编，吴曙光、卢黎任副主编。参加编写工作的有刘先珊、王桂林、陈建功、文海家、谢强、杨海清等。在编写的过程中也得到了苏州市天地民防建筑设计研究院有限公司林蔚勋的帮助，为本书提供了部分工程算例。中国建筑工业出版社的领导、编辑、校审人员为本书出版付出了辛勤劳动。此外，张永荐、刘力生、周玉川、季希、胡东萍等研究生参加了资料整理、绘制插图、校对、编排等工作。鉴于此，在本书付梓之日，作者对于为本书编写出版给予支持和帮助的所有同仁表示衷心的感谢，并谨以本书纪念原主编张永兴教授。

在本书编写过程中，作者虽然力求突出重点，内容系统而精炼，兼顾科学性和实用性，但因时间和水平有限，书中必然存在一些缺点和错误，敬请读者批评指正。

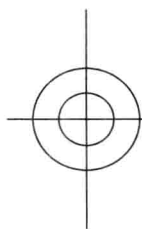
编者
2014年2月

目 录

第 0 章 绪论	1	本章小结	54
0.1 地下建筑结构的概念	1	思考题	54
0.2 地下建筑结构的力学特性	2	第 2 章 防空地下室结构	56
0.3 地下建筑结构的工程特点	3	本章知识点	56
0.4 地下建筑结构设计程序及内容	4	2.1 概述	56
0.5 地下建筑结构设计特点	5	2.1.1 人防工程的类型与防空地下室结构的特点	56
思考题	6	2.1.2 防空地下室结构类型	60
第 1 章 土层地下建筑结构设计		2.1.3 防空地下室的分级	61
概要	7	2.2 防空地下室结构设计原则、步骤及荷载组合	62
本章知识点	7	2.2.1 防空地下室结构设计原则	62
1.1 地下建筑结构的分类和形式	7	2.2.2 防空地下室结构设计步骤	63
1.1.1 地下建筑结构的分类	7	2.2.3 武器爆炸荷载及荷载组合	63
1.1.2 地下建筑结构的形成	8	2.3 防空地下室结构的计算	66
1.2 地下建筑结构的荷载	13	2.3.1 结构内力分析	66
1.2.1 荷载种类和组合及荷载确定方法	13	2.3.2 梁板式结构	67
1.2.2 土层压力的计算理论和方法	15	2.4 防空地下室口部结构	75
1.2.3 地层弹性抗力	36	2.4.1 室外出入口	75
1.2.4 结构自重及其他荷载	38	2.4.2 室内出入口	76
1.3 地下建筑结构的计算模型和设计方法	39	2.4.3 通风采光洞	77
1.3.1 地下建筑结构计算方法的发展	39	2.5 防空地下室结构构造	79
1.3.2 地下建筑结构设计模型	42	2.6 门框墙计算实例	82
1.3.3 荷载—结构法	44	本章小结	84
1.3.4 地层—结构法	46	思考题	84
		第 3 章 矩形闭合框架	86
		本章知识点	86
		3.1 概述	86
		3.1.1 矩形闭合框架结构特点	86

3.1.2 矩形闭合框架结构类型	87	4.3.2 主要截面厚度的选定和几何尺寸的计算	136
3.2 矩形闭合框架设计计算	87	4.3.3 计算理论和简图	137
3.2.1 荷载	88	4.4 单跨双层和单层多跨连拱结构的构造和计算	144
3.2.2 计算简图	89	4.4.1 单跨双层结构计算简图和内力计算特点	144
3.2.3 框架内力计算	90	4.4.2 多跨连拱结构的内力计算	146
3.2.4 抗浮验算	92	4.4.3 构造和配筋	153
3.3 弹性地基上矩形闭合框架设计计算	93	本章小结	154
3.3.1 框架与荷载对称结构	93	思考题	155
3.3.2 框架与荷载反对称结构	97	第5章 沉井结构	156
3.3.3 算例	97	本章知识点	156
3.4 构造要求	104	5.1 概述	156
3.4.1 一般要求	104	5.1.1 沉井的概念	156
3.4.2 承受动载构件的配筋要求	108	5.1.2 沉井的特点和适用范围	158
本章小结	108	5.2 沉井结构	159
思考题	109	5.2.1 沉井的结构类型和构造	159
第4章 地道式结构	110	5.2.2 沉井施工	165
本章知识点	110	5.3 沉井结构设计及计算	171
4.1 概述	110	5.3.1 设计计算内容	171
4.1.1 地道式结构的受力特点	110	5.3.2 沉井结构工作状态下的设计与计算	172
4.1.2 地道式结构的类型和适用环境	111	5.3.3 沉井在施工过程中的设计计算	179
4.2 地道式结构的荷载计算	114	本章小结	188
4.2.1 土压力的计算	114	思考题	189
4.2.2 围岩压力的计算	121	第6章 盾构法装配式圆形衬砌结构	190
4.2.3 我国公(铁)路隧道规范推荐的围岩压力计算方法	128	本章知识点	190
4.2.4 其他荷载	134	6.1 概述	190
4.3 单层单跨拱形结构内力计算	134	6.1.1 盾构隧道的功用、特点和适用范围	191
4.3.1 概述	134	6.1.2 盾构法施工	201
		6.1.3 设计计算内容	204
		6.2 盾构隧道	205

6.2.1 盾构隧道结构类型	205	7.2.4 沉管基础	272
6.2.2 盾构隧道荷载计算	213	本章小结	276
6.2.3 隧道衬砌设计要求	220	思考题	276
6.2.4 计算简图	221	第8章 引道结构	277
6.2.5 内力计算	224	本章知识点	277
6.2.6 构造和配筋	227	8.1 概述	277
6.3 圆形衬砌结构的矩阵力法		8.1.1 工程应用实例	278
分析	238	8.1.2 引道的支挡结构分类与	
6.3.1 隧道衬砌内力分析的		特点	281
一般概念	238	8.1.3 引道结构的沉降缝及伸	
6.3.2 基本结构图式	239	缩缝	287
6.3.3 衬砌内力的矩阵运算式		8.2 悬臂式引道支挡结构	287
.....	241	8.2.1 悬臂式引道支挡结构计算	
6.3.4 各种荷载形式及其等效		简图	287
节点荷载	243	8.2.2 悬臂式引道支挡结构内力	
6.3.5 衬砌在各种荷载组合作用		分析	290
下的最终内力和承载能力		8.2.3 悬臂式引道支挡结构的稳	
计算	246	定验算	296
本章小结	248	8.2.4 其他要求	297
思考题	248	8.3 整体式引道支挡结构	298
第7章 沉管结构	250	8.3.1 结构截面尺寸的选择	
本章知识点	250	298
7.1 概述	250	8.3.2 结构抗浮稳定验算	299
7.1.1 沉管的概念	250	8.3.3 引道结构强度计算	299
7.1.2 沉管的适用范围和特点		8.4 引道结构防水与排水	302
.....	253	8.4.1 引道结构防水设计	302
7.2 沉管结构	254	8.4.2 引道排水设计	304
7.2.1 沉管结构的类型和构造		8.5 整体式引道支挡结构算例	
.....	254	305
7.2.2 结构设计	259	本章小结	315
7.2.3 管段连接和防水技术		思考题	315
.....	268	参考文献	317



0.1 地下建筑结构的概念

广义上讲,任何结构物都是修建在相应的介质中的,如上部结构是修建在空气介质中,地下建筑结构一般修建在土层、岩层或水中。传统地下建筑结构理论认为,地下建筑是修建在地层中的建筑物。而地下建筑结构工程新理论,如新奥法认为,地下建筑结构可以看成是建筑在岩土体内的人工结构与围岩(土)体结构共同构成的结构物。所以,现代理念的地下建筑结构应该是由地下支护结构与地层(或岩土体)结构组成。它可以分为两大类:一类是修建在土层中的地下建筑结构;另一类是修建在岩层中的地下建筑结构。地下建筑通常包括在地下开挖的各种隧道与洞室。铁路、公路、矿山、水电、国防、市政等许多领域都有大量的地下工程。随着科学技术和国民经济的发展,地下建筑将会有更为广泛的新用途,如地下储气库、地下储热库及地下核废料密闭储藏库等。

地下建筑结构,即在地面以下保留、回填或不回填上部地层,在地下空间内修建能够提供某种用途的建筑结构物。若在地面以下保留上部地层,修建地下建筑物时,首先按照使用要求在地层中挖掘洞室,然后沿洞室周边修建永久性支护结构——衬砌。为了满足使用要求,在衬砌内部尚需浇筑或修建必要的梁、板、柱、墙体等内部结构。所以,地下建筑结构包括衬砌结构和内部结构两部分,如图 0-1 所示。衬砌结构主要是起承重和围护两个方面的作用。承重,即承受岩土体压力、结构自重以及其他荷载的作用;围护,即

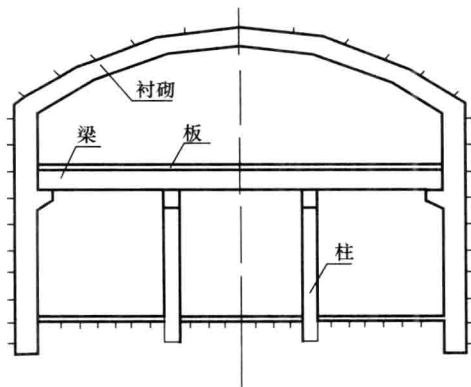


图 0-1 地下建筑结构示意图

防止岩土体风化、坍塌、防水、防潮等。

本书所讲述的地下建筑结构主要指衬砌结构和一些基础结构，而内部结构与地上建筑的设计基本相同。

0.2 地下建筑结构的力学特性

与楼房、桥梁等地上建筑结构物一样，地下建筑结构物也是一种结构体系，但其受力机理、计算理论和施工方法与地上建筑结构体系有较大的差异，主要在于地下建筑结构是一种包括支护结构和地层结构的复合结构体。支护结构埋入地层中，承受的荷载来自于洞室开挖后周围地层的变形和坍塌区产生的压力，同时支护结构在荷载作用下发生的变形又受到地层的约束；地层结构承受自重的同时，也承受地层荷载的作用。由此可见，地下建筑结构的稳定性，首先取决于支护结构周围地层能否保持持续稳定。地层自承能力较强时，地下支护结构将少受地层压力的荷载作用，否则将承受较大的荷载，甚至几乎独立承受全部荷载作用，对地下建筑结构的稳定性造成极大的威胁。因此，在地下建筑结构设计时不仅要考虑外荷载对结构的作用效应，还要考虑地下建筑结构与周围岩土体的共同作用。这一点乃是地下建筑结构在计算理论上与地上建筑结构最主要的差别。

由于地下建筑结构埋置于地下，周围的岩土体不仅作为荷载作用于地下建筑结构，而且约束着结构的移动和变形。从力学角度来看，相比地上建筑结构，地下建筑结构具有如下特点：

1. 工程受力特点不同

(1) 地上建筑结构的先有结构，后有荷载。

地上建筑结构的工程是经过工程施工后形成结构，承受自重、风、雪及其他静力或动力荷载，这类工程是先有结构，后承担荷载。

(2) 地下建筑结构的先有荷载，后有结构。

地下建筑结构是在自然岩土地质体内开挖形成的，而开挖之前的岩土体内形成了原始的地应力环境，由于开挖扰动，原有的地应力环境改变，因此，地下建筑结构的先有荷载，后形成结构。这就造成了地下建筑结构承受的荷载比地上建筑结构复杂，地下建筑结构周围的岩土体不仅是作用于结构的外荷载，还约束着结构的移动和变形，地下建筑结构设计时要充分考虑地下建筑结构与周围岩土体的共同作用。选择合适的衬砌支护刚度和施作时间，充分利用围岩的自承能力对工程的成功至关重要。

2. 工程材料特性的不确定性

地上建筑结构的材料多采用钢筋混凝土、钢材等人工材料，与岩土体相比，其材料的力学与变形性质等的变异性较小，可以加以控制和改变。虽然地下建筑结构的支护材料的性质可控，但岩土体是经历了漫长地质构造运动的地质体，其中存在的软弱结构面由于时间和空间分布的随机性，对地质体的力学性质影响较大。

(1) 空间分布的不确定性

不同位置岩土体介质的地质条件（岩性、断层、节理、地下水条件、地应力等）存在差异，导致地下建筑结构的力学特性在空间分布上存在不确定性。在实际的地下工程岩土体介质的研究中，只能通过有限的地质勘察和取样试验来分析，很难全面掌握整个地下工程的岩土体介质的地质条件。

(2) 时间上的不确定性

由于不同时期的地质构造作用，同一位置岩土体介质的岩性、地应力等也会有所不同。尤其是开挖后的岩土体，其力学特性除了随时间的变化外，还与开挖方式、支护类型、施工时间及工艺密切相关。

3. 工程荷载的不确定性

地上建筑结构的荷载比较明显，尽管某些荷载（如风荷载、雪荷载、地震作用等）也存在随机性，但荷载量值和变异性与地下工程的荷载相比较小。对于地下建筑结构，由于岩土体与支护之间相互作用，作用到支护结构的荷载难以估计，且荷载随着支护类型、支护时间与施工工艺的变化而变化。

4. 破坏模式的不确定性

地上建筑结构的破坏模式比较容易确定，主要为强度破坏、变形破坏、旋转失稳等破坏模式。对于地下建筑结构，破坏模式不仅取决于岩土体结构、地应力环境和地下水条件等赋存环境，还与支护结构类型、支护时间和施工工艺密切相关。

0.3 地下建筑结构的工程特点

地下建筑设计不同于地上建筑设计，其设计的工程特点表现在：

(1) 地下空间内建筑结构替代了原来的地层，建筑结构承受了原本由地层承受的荷载。在设计和施工过程中，要最大限度发挥地层自承载能力，以便控制地下建筑结构的变形，降低工程造价。

(2) 在受载状态下构建地下空间结构物，地层荷载随着施工进度发生变化，因此，设计要考虑最不利的荷载工况。

(3) 作用在地下建筑结构上的地层荷载，应视地层介质的地质情况合理概括确定。对于土体，一般可按松散连续体计算；而对岩体，首先查清岩体的结构、构造、节理、裂隙等发育情况，然后确定按连续或非连续介质处理。

(4) 地下水状态对地下建筑结构的设计和施工影响较大。设计前必须弄清地下水的分布和变化情况，如地下水的静水压力、动水压力、地下水的流向、地下水的水质对结构物的腐蚀影响等。

(5) 地下建筑设计要考虑结构物从开始构建到正常使用以及长期运营过程的受力工况，注意合理利用结构反力作用，节省造价。

(6) 在设计阶段获得的地质资料，有可能与实际施工揭露的地质情况不一样，因此，在地下建筑结构施工过程中，应根据施工的实时工况，动态修改设计。

(7) 地下建筑结构的围岩既是荷载的来源,在某些情况下又与结构共同构成承载体系。

(8) 当地下建筑结构的埋置深度足够大时,由于地层的成拱效应,结构所承受的围岩垂直压力总是小于其上覆地层的自重压力。地下建筑结构的荷载与众多的自然和工程因素有关,它们的随机性和时空效应明显而且往往难以量化。

0.4 地下建筑结构的设计程序及内容

地下建筑结构的设计,应做到技术先进、经济合理、安全适用。地下建筑设计的主要内容包括:横向结构设计、纵向结构设计和出入口设计。

(1) 横向结构设计

在地下建筑中,一般结构的纵向较长,横断面沿纵向通常都是相同的。沿纵向的荷载在一定区段上也可以认为是均匀不变的,相对于结构的纵向长度来说,结构的横向尺寸不大,可认为力总是沿横向传递的。计算时通常沿纵向截取 1m 的长度作为计算单元,即把一个空间结构简化成单位延米的平面结构按平面应变进行分析。

横向结构设计主要分为荷载确定、计算简图、内力分析、截面设计和施工图绘制等几个步骤。

(2) 纵向结构设计

横断面设计后,得到结构的横断面尺寸和配筋,但是沿结构纵向需配多少钢筋,是否需要沿纵向分段,每段长度多少等,则需要通过纵向结构设计来解决。特别是在软土地基和通过不良地质地段情况下,如跨越活断层或地裂缝时,更需要进行纵向结构计算,以验算结构的纵向内力和沉降,确定沉降缝的设置位置。

工程实践表明:当隧道过长或施工养护注意不够时,混凝土会产生较大损伤,使其沿纵向产生环向裂缝;由于温度变化在靠近洞口区段也会产生环向裂缝。这些裂缝会使地下建筑渗水漏水,影响正常使用。为保证正常使用,就必须沿纵向设置伸缩缝。伸缩缝和沉降缝统称为变形缝。

从已发现的地下工程事故来看,较多的是因为纵向设计考虑不周而产生裂缝,故在设计和施工时应予以充分考虑。

(3) 出入口设计

一般地下建筑的出入口,结构尺寸较小但形式多样。有坡道、竖井、斜井、楼梯、电梯等,人防工程口部则设有洗尘设施及防护密闭门。从使用上讲,无论是平时或战时,地下建筑的出入口都是很关键的部分,设计时必须给予充分重视,应做到出入口与主体结构承载力相匹配。

设计工作一般分为初步设计和技术设计(包括施工图)两个阶段。

初步设计中的结构设计部分,主要是在满足使用要求下,解决设计方案技术上的可行性与经济上的合理性,并提出投资、材料、施工等指标。

初步设计的内容主要包括：

- (1) 工程等级和要求，以及静、动荷载标准的确定；
- (2) 确定埋置深度与施工方法；
- (3) 初步设计荷载值；
- (4) 选择建筑材料；
- (5) 选定结构形式和布置；
- (6) 估算结构跨度、高度、顶底板及边墙厚度等主要尺寸；
- (7) 绘制初步设计结构图；
- (8) 估算工程材料数量及财务概算。

结构形式及主要尺寸的确定，一般可通过同类工程的类比法，吸取国内外已建工程的经验教训，提出设计数据。必要时可用近似计算方法求出内力，并按经济合理的含钢率初步配置钢筋。

将地下建筑的初步设计图纸附以说明书后，送交有关主管部门审定批准后，才可进行下一步的技术设计。

技术设计主要是解决结构的承载力、刚度和稳定、抗裂性等问题，并提供施工时结构各部件的具体设计尺寸及连接大样。

技术设计的主要内容是：

- (1) 计算荷载：按地层介质类别、建筑用途、防护等级、地震级别、埋置深度等求出作用在结构上的各种荷载值；
- (2) 计算简图：根据实际结构和计算的具体情况，拟出恰当的计算图式；
- (3) 内力分析：选择结构内力计算方法，得出结构各控制设计截面的内力；
- (4) 内力组合：在分别计算各种荷载内力的基础上，对最不利的可能情况进行内力组合，求出各控制界面的最大设计内力值；
- (5) 配筋设计：通过截面承载力和裂缝计算得出受力钢筋，并确定必要的分布钢筋与架立钢筋；
- (6) 绘制结构施工详图：如结构平面图、结构构件配筋图及节点详图，还有风、水、电和其他内部设备的预埋件图；
- (7) 材料、工程数量和工程财务预算。

0.5 地下建筑结构的设计特点

地下建筑结构的设计方法与地上建筑结构的设计方法相比，其设计特点有以下几个方面：

(1) 基础设计

- 1) 深基础的沉降计算要考虑土的回弹再压缩的应力-应变特性；
- 2) 处于高水位地区的地下工程应考虑基础底板的抗浮问题；
- 3) 厚板基础设计，如筏形基础的板厚设计，应根据建筑荷载和建筑物上部结构状况以及地层的性能，按照上部结构与地基基础协同工作的方法确定

其厚度及配筋。

(2) 墙板结构设计

地下建筑结构的墙板设计比地上建筑结构要复杂得多,作用在地下建筑结构外墙板上的荷载(作用力)分为垂直荷载(永久荷载和各种活荷载)、水平荷载(施工阶段和使用阶段的土体压力、水压力以及地震作用力)、变形内力(温度应力和混凝土的收缩应力等),设计工作应根据不同的施工阶段和最后使用阶段,采用最不利的组合和板的边界条件,进行结构设计。

(3) 明挖与暗挖结构设计

地下建筑结构的明挖可采用钢筋混凝土预制件或现浇钢筋混凝土结构,而暗挖法施工一般采用现浇混凝土拱形结构。

(4) 变形缝的设置

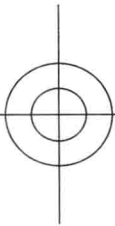
地下建筑结构中设变形缝最难处理的是防水问题,所以,地下建筑结构一般尽量避免设变形缝。即使在建筑荷载不均匀可能引起建筑物不均匀沉降的情况下,设计上也尽可能不采用沉降缝,而是通过局部加强地基、用整片刚性较大的基础、局部加大基础压力增加沉降或调整施工顺序等来得到整体平衡的设计方法,使沉降协调一致。地下建筑结构环境温差变化较地上结构小,温度伸缩缝间距可放宽,也可以通过采用结构措施来控制温差变形和裂缝,以避免因设置伸缩缝出现的防水难题。

(5) 其他特殊要求

地下建筑结构设计还应考虑防水、防腐、防火、防霉等特殊要求的设计。

思考题

- 0-1 简述地下建筑结构的概念及其形式。
- 0-2 简述地下建筑结构设计程序及内容。



第1章

土层地下建筑结构设计概要

本章知识点

主要内容：地下建筑的基本结构形式，地下建筑的荷载分类和组合，土层压力和围岩压力的计算理论和方法，地下建筑弹性抗力的计算方法，地下建筑的计算模型和设计方法。

基本要求：了解地下建筑的概念和作用，熟悉土层和岩石中地下建筑的常见结构形式和结构设计的一般程序与内容。了解土层和岩石地下衬砌结构的荷载，了解结构弹性抗力的概念和计算理论，掌握常见荷载的计算方法和弹性抗力的局部变形理论计算方法。了解地层与地下建筑共同作用的概念、计算原则和工程应用。

重点：地下建筑荷载的确定方法，它与上部结构本质上的差别；地下建筑的设计模型；地下建筑计算方法与具体地下建筑形式的结合，各种形式地下建筑的相互作用计算与分析。

难点：地下建筑的形式和地下建筑设计的一般程序与内容；地下建筑常见荷载的计算方法与地下建筑常用的设计模型；地下建筑所面临的学科领域非常广泛，实践性也很强，教学中需要学生首先建立起地下建筑的工程概念，对缺乏实际工程背景的本科生难度较大。

1.1 地下建筑的分类和形式

1.1.1 地下建筑的分类

根据地下空间的特点，地下建筑按用途、几何形状和埋深的分类见表 1-1~表 1-3。

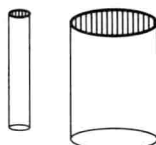
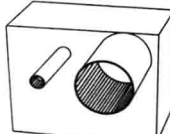
地下建筑结构按用途分类

表 1-1

序号	用途	功能
1	工业民用	住宅、工业厂房等
2	商业娱乐	地下商业城、图书馆等
3	交通运输	隧道、地铁、地下停车场等
4	水利水电	电站输水隧道、农业给排水隧道等
5	市政工程	给水、污水、管路、线路、垃圾填埋等
6	地下仓储	食物、石油及核废料存储等
7	人防军事	人防工事、军事指挥所、地下医院等
8	采矿巷道	矿山运输巷道和开采巷道等
9	其他	其他地下特殊建筑

地下建筑结构按几何形状分类

表 1-2

几何形状	施工形式	方向	几何形状	施工形式	方向	
	钻孔或竖井	挖掘	垂直或倾斜	洞室或洞穴	天然或挖掘	水平或倾斜
	微型隧道或隧道	天然或挖掘	水平或倾斜或螺旋	竖壕或露天矿	明挖	倾斜或垂直

地下建筑结构按埋深分类

表 1-3

名称	埋深范围 (m)			
	小型结构	中型结构	大型运输系统结构	采矿结构
浅埋	0~2	0~10	0~10	0~100
中埋	2~4	10~30	10~50	100~1000
深埋	>4	>30	>50	>1000

1.1.2 地下建筑结构的形成

地下建筑结构的形成主要由使用功能、地质条件和施工技术等因素确定。要注意施工方法对地下建筑结构的形成会起重要影响。

结构形式首先由受力条件来控制，即在一定条件下的围岩压力、水土压力和一定的爆炸与地震等动载下求出最合理和经济的结构形式。地下建筑结构断面可以有如图 1-1 所示的几种形式：矩形隧道适用于工业、民用、交通等建筑物的使用限界，但直线构件不利于抗弯，故在荷载较小，即地质较好、跨度较小或埋深较浅时常被采用；拱形隧道包括直墙拱形和曲墙拱形，分别适用于顶部有较大围岩压力或顶部和两侧均有较大围岩压力的地层中；圆形隧道当受到均匀径向压力时，弯矩为零，可充分发挥混凝土结构的抗压强度，当地质条件较差时应优先采用。其他形式系介于以上几者的中间情况，按具