



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
教育部普通高等教育精品教材

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地下建筑结构

(第三版)

朱合华	主 编
张子新 廖少明	副主编
杨林德	主 审

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
教育部普通高等教育精品教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地下建筑结构

(第三版)

朱合华		主 编
张子新	廖少明	副主编
杨林德		主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地下建筑结构/朱合华主编. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 教育部普通高等教育精品教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材 (经典精品系列教材)

ISBN 978-7-112-19292-2

I. ①地… II. ①朱… III. ①地下建筑物-建筑结构-高等学校-教材 IV. ①TU93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 061022 号

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
教育部普通高等教育精品教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
(经典精品系列教材)

地下建筑结构 (第三版)

朱合华 主 编
张子新 廖少明 副主编
杨林德 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
北京红光制版公司制版
北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 28 $\frac{3}{4}$ 字数: 596 千字
2016 年 6 月第三版 2016 年 6 月第十八次印刷

定价: 55.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-19292-2
(28556)

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)

本书参考国内外相关文献，并结合新规范，着重从基本概念、基本理论和方法介绍了地下建筑结构的成熟成果与观点。全书重点突出，各篇章相互衔接，每章均附有思考题及习题。

本书主要内容包括：绪论、地下建筑结构的荷载、弹性地基梁理论、地下建筑结构的计算方法、地下工程数值计算方法、浅埋式结构、附建式地下结构、沉井与沉箱结构、地下连续墙结构、盾构法隧道结构、沉管结构、基坑围护结构、顶管、管幕及箱涵结构、整体式隧道结构、喷锚支护、特殊结构等。

本教材适用于地下工程、建筑工程、公路工程、铁路工程、桥梁与隧道工程、水利水电工程等专业的本科教学使用，也可供相关专业工程技术人员参考。

读者若需要本书教学课件（PPT），请到同济大学隧道一室网站作者主页下载，网址为：<http://www.sinotunnel.org/>。

* * *

责任编辑：王 跃 吉万旺

责任校对：陈晶晶 党 蕾

出版说明

1998年教育部颁布普通高等学校本科专业目录，将原建筑工程、交通土木工程等多个专业合并为土木工程专业。为适应大土木的教学需要，高等学校土木工程学科专业指导委员会编制出版了《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》，并组织我国土木工程专业教育领域的优秀专家编写了《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》。该系列教材2002年起陆续出版，共40余册，十余年来多次修订，在土木工程专业教学中起到了积极的指导作用。

本系列教材从宽口径、大土木的概念出发，根据教育部有关高等教育土木工程专业课程设置的教學要求编写，经过多年的建设和发展，逐步形成了自己的特色。本系列教材投入使用之后，学生、教师以及教育和行业行政主管部门对教材给予了很高评价。本系列教材曾被教育部评为面向21世纪课程教材，其中大多数曾被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和普通高等教育土建学科专业“十五”、“十一五”、“十二五”规划教材，并有11种入选教育部普通高等教育精品教材。2012年，本系列教材全部入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

2011年，高等学校土木工程学科专业指导委员会根据国家教育行政主管部门的要求以及新时期我国土木工程专业教学现状，编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。在此基础上，高等学校土木工程学科专业指导委员会及时规划出版了高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材。为区分两套教材，特在原系列教材丛书名《高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材》后加上经典精品系列教材。各位主编将根据教育部《关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》要求，及时对教材进行修订完善，补充反映土木工程学科及行业发展的最新知识和技术内容，与时俱进。

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

第三版前言

《地下建筑结构》第一版于2005年由中国建筑工业出版社出版。2009年中国建筑工业出版社建议作者进行修订，并作为《普通高等教育“十一五”国家级规划教材》出版了第二版；2015年作者在前两版基础上，对整本教材进行了全面校核，并作为《“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材》出版。该教材的英文教材“Underground Structures”也于2009年由中国建筑工业出版社出版，并被评为《普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材》，目前英文教材第二版正在修订中。

与第二版相比，本书在修订过程中作了整本教材谬误的修订，并对第5章进行了整体修订，这些修订主要根据地下建筑结构学科发展需要以及本人教学实践和全国30余所大学使用该教材的反馈意见进行调整的。自1996年以来，作者一直承担本科生和研究生的“地下建筑结构”课程的教学工作，并于2005年以来承担“地下建筑结构”的全英文教学工作，在教学实践中体验到《地下建筑结构》第二版的部分文字和谬误需要及时修订，从而提高教学效果。为此，在《地下建筑结构》第三版修订过程中，结合该课程国家级精品课程和上海市全英语示范课程的建设，提供了整套教材中、英文的教学课件（PPT），供教师和读者参考使用，并请多提宝贵意见。

本书的组织和设计，由朱合华和张子新负责，并承担主要编写与修订工作。在本版的修订中，总论中的第1章朱合华、张子新编写，第2章张子新、王军编写，第3章徐干成、张子新编写，第4章朱合华、张子新编写，第5章黄昕、张子新编写；第二篇土层地下建筑结构中的第6章李增福、陆继贻、李树信和彭芳乐编写，第7章张立平、廖少明编写，第8章彭芳乐、陆同寿编写，第9章廖少明、钱福元编写，第10章廖少明、董云德编写，第11章廖少明、郑汉璋编写，第12章、第13章廖少明编写；第三篇岩石地下建筑结构中第14章张子新、罗济章、徐干成编写，第15章张子新、吴兆兴、王桐封编写，第16章张子新、罗济章编写。张子新对本书进行了统一校正。此外，胡欣雨、贺伟莲、高文杰、刘长祥、雷庆华、李佳宇等研究生为本书修订和出版付出了辛勤劳动，在此表示衷心感谢。

本书在内容设计上，注重系统理论分析和工程实践结合，中、英文PPT更是注重理论与工程案例的分析；在结构安排上，将国际上经典的经典理论和解析以及数值方法相结合，更有利于学生或读者对地下建筑结构理论的学习和掌握。

本教材可作为高年级本科生和研究生教材，以及理论研究和土木工程技术人员参考书。

由于编者水平有限，不当和错漏之处在所难免，敬请广大读者谅解，欢迎批评指正，作者的电子邮箱为：zxzhang@tongji.edu.cn。同时，若需要本书中、英文教学课件（PPT），请到同济大学隧道一室网站作者主页下载，网址为：<http://www.sinotunnel.org/>。

作者

2015年深秋于上海同济大学求实斋

第二版前言

《地下建筑结构》最初于2005年在中国建筑工业出版社出版。2009年中国建筑工业出版社建议作者进行修订,作为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”出版。该教材的英文教材“Underground Structures”也于2009年由中国建筑工业出版社出版,为“普通高等教育土建学科专业‘十一五’规划教材”。

基于对地下建筑结构范畴的理解,在第二版的内容安排上遵循了第一版的基本框架结构,主要内容包括绪论、地下建筑结构的荷载、弹性地基梁理论、地下建筑结构的计算方法、地下建筑结构可靠度理论、浅埋式结构、附建式地下结构、沉井与沉箱结构、地下连续墙结构、盾构法隧道结构、沉管结构、基坑围护结构、顶管、管幕及箱涵结构、整体式隧道结构、喷锚支护、特殊结构等。通过介绍地下建筑构架,希望能够引领读者对地下建筑结构的构架和理论体系产生一个基本认识。

与第一版相比,本书在修订过程作了相当幅度谬误的改动,这些改动主要根据本人教学实践需要进行调整的。自1996年以来,一直承担本科生和研究生的《地下建筑结构》课程的教学工作,在教学实践中体验到《地下建筑结构》第一版的部分理论内容需要和工程实际紧密结合,从而提高教学效果。为此,在《地下建筑结构》第二版修订过程中,结合该课程国家级精品课程的建设,提供了相关章节的教学课件(PPT),供教师和读者参考使用。

本书的组织和设计,由朱合华和张子新负责,并承担主要编写与修订工作。在本版的修订中,总论中的第一章朱合华编写,第二章张子新、王军编写,第三章徐干成、张子新编写,第四章朱合华、张子新编写,第五章黄宏伟编写;第二篇土层地下建筑结构中的第六章李增福、陆继贇、李树信和彭芳乐编写,第七章张立平、廖少明编写,第八章彭芳乐、陆同寿编写,第九章廖少明、钱福元编写,第十章廖少明、董云德编写,第十一章廖少明、郑汉璋编写,第十二章、第十三章廖少明编写;第三篇岩石地下建筑结构中第十四章由张子新、罗济章、徐干成编写,第十五章由张子新、吴兆兴、王桐封编写,第十六章由张子新、罗济章编写。张子新对本书进行了统一校正。此外,闫静雅、胡欣雨、贺伟莲、高文杰、刘长祥、雷庆华、李佳宇等研究生为本书修订和出版付出了辛勤劳动,在此表示衷心谢意。

本书在内容设计上,注重系统理论分析和工程实践结合;在结构安排上,将国际上经典的理论方法和数值方法相结合,有利于学生或读者对地下建筑结构理

论的学习和掌握。本教材可作为高年级本科生和研究生教材，以及理论研究和土木工程工作者的参考书。

由于编者水平有限，不当和错漏之处在所难免，敬请广大读者谅解，欢迎批评指正，作者的电子邮箱为：zxzhang@tongji.edu.cn。同时，若需要本书教学课件（PPT），请到同济大学隧道一室网站作者主页下载，网址为：<http://www.sinotunnel.org/>。

作者

2010年仲秋于上海同济大学求实斋

第一版前言

随着我国国民经济的飞速发展,高速公路、水电、城市地铁、铁路、矿山、国防建设、市政通道及地下商业建筑等都有很大的发展,因此,各种形式的地下建筑结构也越来越多,地下建筑的设计、施工水平也取得了长足的进步,但与世界先进水平相比,尚有一定差距。

地下建筑结构是原建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下工程等多个专业合并的土木工程专业主干课程之一。地下建筑结构所处的环境条件与上部建筑结构有本质区别,但长期以来大多沿用适用于地面工程的理论和方法解决地下建筑结构的问题,因而常常不能准确地描述地下建筑结构中出现的各种力学行为,使地下建筑的设计和施工更多地依赖于经验设计和施工,这种局面与飞速发展的地下空间开发极不和谐,也不能满足目前地下建筑方向本科教学的要求和工程技术人员的需要。本教材就是在汲取了国内外地下建筑结构方向相关教材和文献的基础上,为适应上述要求而编写的。本教材适用于地下工程、工民建、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,也适用于大专院校师生,可供相关专业工程技术人员参考。

本书共分为三篇,第一篇为总论,包括第1章至第5章,重点介绍了地下建筑结构的基本概念、荷载类型及确定方法、弹性地基梁理论、地下结构的荷载法和地层结构法及可靠度理论;第二篇为土层地下建筑结构,包括第6章至第13章。该篇主要介绍了浅埋矩形框架结构、附建式的梁板结构和口部结构、沉井与沉箱结构、地下连续墙结构、盾构法隧道结构、沉管结构、基坑围护结构、顶管管幕及箱涵结构;第三篇为岩石地下建筑结构,包括第14章至第16章。重点介绍了整体式隧道结构、喷锚支护结构与特殊结构。本书力图考虑学科的最新发展,结合新规范,着重从基本概念、基本理论和方法介绍地下建筑结构的成熟成果与观点。全书系统完全,重点突出,各篇章相互衔接,每章均附有思考题及习题。同时,书中列出了相关参考书籍或文献,学习时可供课外参考。

本书由朱合华主编,张子新、廖少明副主编,杨林德主审。总论中的第1章由朱合华编写,第2章由张子新、王军编写,第3章由徐干成、张子新编写,第4章由朱合华、张子新编写,第5章由黄宏伟编写;第二篇土层地下建筑结构中的第6章由李增福、陆继贻、李树信和彭芳东编写,第7章由张立平、廖少明编写,第8章由彭芳乐、陆同寿编写,第9章由廖少明、钱福元编写,第10章由廖少明、董云德编写,第11章由廖少明、郑汉璋编写;第12章、第13章由廖

少明编写；第三篇岩石地下建筑结构中的 14 章由张子新、罗济章、徐干成编写，第 15 章由张子新、吴兆兴、王桐封编写，第 16 章由张子新、罗济章编写。张子新对本书进行了统一校阅。中国建筑工业出版社的领导、编辑、校审人员为本书的出版付出了辛勤劳动。此外，闫静雅、胡欣雨、贺伟莲、高文杰、刘长祥、郭建刚、张占荣等研究生为本书打印、校对、编排做了许多工作。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。

特别应该强调的是本教材是在《岩石地下建筑结构》（中国建筑工业出版社，1979 年）和《土层地下建筑结构》（中国建筑工业出版社，1982 年）这两本教材的基础上编写而成的，在此衷心感谢为上述教材的编写作出贡献的单位与个人。

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。

作者

目 录

第一篇 总 论

第 1 章 绪论	1
1.1 地下建筑结构的概念及其作用	1
1.2 地下建筑结构的形成	2
1.3 地下建筑结构设计程序及内容	5
思考题	6
第 2 章 地下建筑结构的荷载	7
2.1 荷载种类和组合	7
2.2 荷载确定方法	8
2.3 岩土体压力的计算	9
2.4 初始地应力、释放荷载与开挖效应	41
2.5 地层弹性抗力	43
2.6 结构自重及其他荷载	44
思考题	45
第 3 章 弹性地基梁理论	47
3.1 概述	47
3.2 弹性地基梁的计算模型	47
3.3 弹性地基梁的挠度曲线微分方程式及其初参数解	49
3.4 弹性地基短梁、长梁及刚性梁	61
3.5 算例	66
思考题	68
习题	68
第 4 章 地下建筑结构的计算方法	69
4.1 概述	69
4.2 荷载—结构法	72
4.3 地层—结构法	74
4.4 算例	82
思考题	86

第5章 地下工程数值计算方法	87
5.1 有限单元法	87
5.2 有限差分法	96
5.3 离散单元法	99
习题	113
第二篇 土层地下建筑结构	
第6章 浅埋式结构	115
6.1 概述	115
6.2 矩形闭合框架的计算	119
6.3 截面设计	125
6.4 构造要求	126
6.5 算例	131
思考题	143
习题	143
第7章 附建式地下结构	144
7.1 概述	144
7.2 梁板式结构	153
7.3 口部结构	162
思考题	166
第8章 沉井与沉箱结构	167
8.1 概述	167
8.2 沉井结构	168
8.3 沉箱结构	193
思考题	202
第9章 地下连续墙结构	203
9.1 概述	203
9.2 地下连续墙挡土墙设计	205
9.3 地下连续墙兼作外墙时的设计	222
9.4 地下连续墙接头设计	227
思考题	232
第10章 盾构法隧道结构	233
10.1 衬砌形式和构造	233
10.2 衬砌圆环内力计算	242
10.3 衬砌断面设计	257
10.4 隧道防水及其综合处理	267

10.5	盾构新型管片衬砌形式简介	269
10.6	算例	272
	思考题	278
	计算题	278
第 11 章	沉管结构	280
11.1	概述	280
11.2	沉管结构的设计	284
11.3	沉管的防水设计	291
11.4	变形缝与管段接头设计	294
11.5	沉管基础设计	297
	思考题	301
第 12 章	基坑围护结构	302
12.1	概述	302
12.2	基坑工程的设计内容	304
12.3	基坑围护结构的内力计算	309
12.4	基坑稳定性验算	319
12.5	基坑工程的变形计算	325
12.6	常见围护结构及其构造设计	328
	思考题	337
第 13 章	顶管、管幕及箱涵结构	338
13.1	顶管结构	338
13.2	管幕结构	354
13.3	箱涵结构	358
	思考题	368

第三篇 岩石地下建筑结构

第 14 章	整体式隧道结构	369
14.1	概述	369
14.2	半衬砌结构	372
14.3	直墙拱结构	380
14.4	复合衬砌结构	397
14.5	连拱隧道结构	399
	思考题	405
	习题	405
第 15 章	喷锚支护	408

15.1	概述	408
15.2	围岩分级	408
15.3	喷锚支护设计	412
15.4	施工信息的反馈	420
15.5	围岩稳定性的分析	421
	思考题	423
	习题	423
第 16 章	特殊结构	424
16.1	概述	424
16.2	穹顶直墙结构	424
16.3	洞门	426
16.4	岔洞	431
16.5	竖井和斜井	434
	思考题	440
	参考文献	441

第一篇 总论

第1章 绪论

1.1 地下建筑结构的概念及其作用

地下建筑是修建在地层中的建筑物，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，即埋置于地层内部的结构。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 1-1 所示。

衬砌结构主要是起承重和围护两方面的作用。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，即防止岩土体风化、坍塌、防水、防潮等。

本书所研究的地下建筑结构主要指衬砌结构和一些基础结构，而内部结构与地面建筑的设计基本相同。

地下建筑与地面建筑结构相比，在计算理论和施工方法两方面都有许多不同之处。其中，最主要的是地下建筑结构所承受的荷载比地面结构复杂。这是因为地下建筑结构埋置于地下，其周围的岩土体不仅作为荷载作用于地下建筑结构

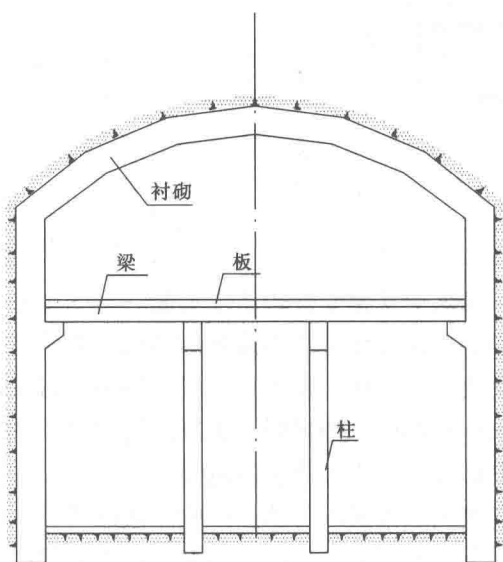


图 1-1 地下建筑结构示意图

上,而且约束着结构的移动和变形。所以,在地下建筑结构设计除了计算复杂多变的岩土体压力之外,还要考虑地下结构与周围岩土体的共同作用。这一点乃是地下建筑结构设计在计算理论上与地面建筑结构最主要的差别。

1.2 地下建筑结构的型式

地下建筑结构的型式主要由使用功能、地质条件和施工技术等因素确定。此外,还要注意施工方法对地下结构的型式会起重要影响。

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。地下结构断面可以有如图 1-2 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;圆形隧道,当受到均匀法向压力时,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。其余五种形式系介于以上两者的中间情况,由具体荷载和尺寸决定,例如顶压较大时,则可用直墙拱形结构。大跨度结构需用落地拱,底板常做成仰拱式。

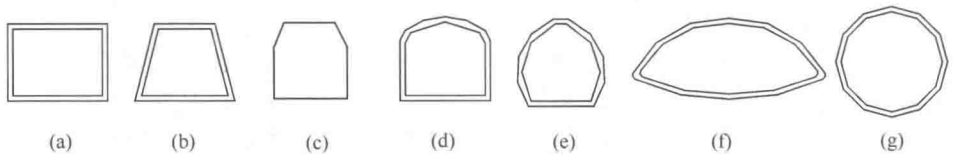


图 1-2 地下结构断面形式

(a) 矩形; (b) 梯形; (c) 多边形; (d) 直墙拱形; (e) 曲墙拱形; (f) 扁圆形; (g) 圆形

结构形式也受使用要求的制约,一个地下建筑物必须考虑使用需要。如人行通道,可做成单跨矩形或拱形结构;地铁车站或地下车库等应采用多跨结构,既减小内力,又利于使用;飞机库则中间部位不能设置柱,而常用大跨度落地拱;在工业车间中,矩形隧道接近使用限界;当欲利用拱形空间放置通风等管道时,亦可做成直墙拱形或圆形隧道。

施工方案是决定地下结构形式的重要因素之一,在使用要求和地质条件相同情况下,由于施工方法不同而采取不同的结构形式。

综合地质条件、使用要求、施工技术等因素,地下建筑结构形式根据地质情况的差异,可分土层和岩层内的两种形式。本书拟按土层和岩层分别介绍地下建筑结构形式如下:

1.2.1 土层地下建筑结构

(1) 浅埋式结构:平面成方形或长方形,当顶板做成平顶时,常用梁板式结构