

高等学校土木工程专业系列教材

混凝土结构设计原理

● 刘锡军 蒋隆敏 主编

HUNNINGTU JIEGOU
SHEJI YUANLI



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

混凝土结构设计原理

主 编 刘锡军 蒋隆敏
参 编 胡秀兰 曾垂军 陈 俊
刘建平 刘保华

中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/刘锡军,蒋隆敏主编. —长沙:中南大学出版社,2010.8

(土木工程系列教材)

ISBN 978-7-5487-0040-1

I. 混... II. ①刘...②蒋... III. 混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU370.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第124305号

混凝土结构设计原理

主 编 刘锡军 蒋隆敏

责任编辑 胡业民

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

印 装 长沙市华中印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 21 字数 518千字

版 次 2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0040-1

定 价 42.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

高等学校土木工程系列教材 编审委员会

主任 曾庆元 院士
委员 (以姓氏笔画排序):

方理刚	王桂尧	刘 杰	刘朝晖
刘锡军	刘 静	吕 昀	任伯帜
阮 波	李九苏	李朝奎	余志武
沈小雄	张向京	杨建军	杨伟军
周志刚	周建普	周殿铭	钟新谷
贺跃光	郭少华	徐林荣	高文毅
唐依民	桂 岚	黄立奎	蒋隆敏
彭立敏	韩用顺	谭海洋	戴公连
戴 伟			

出版说明

• • • • •

为了适应培养 21 世纪复合型、应用型创新人才的需要,结合我国高等院校教学的现状,立足培养学生能跟上国际经济的发展水平,按照教育部最新制定的教学大纲,遵循“学科属性及好教好学”原则,中南大学出版社组织专家教授编写了这套“高等院校人才土木工程专业系列教材”。

土木工程专业作为我国高等院校的专业设置仅十年之久,它是我国高等教育专业设置调整后的一个新兴专业,土木工程专业与建筑工程、交通土建和岩土工程等传统专业相比,在培养目标、教学内容和教学方法上都有较大的区别,以“厚基础、宽口径、强能力”作为学生培养目标,理论阐述以“必需、够用”为原则,侧重定性分析和实际工程应用。

鉴于我国行业技术标准和规范不统一的现状,大部分高校将土木工程专业分为几个专业方向或课程群组织教学,本套教材是在调查十几所高校多年教学实践的基础上进行编写,编委会成员均为长期从事专业教学的资深教师,具有丰富的教学经验和科研水平。本套教材具有以下特点:

1. 以理论“必需、够用”为原则,以工程实际应用为重点

改变了过于注重知识传授和科学体系严密性的传统教学思想,注重应用型人才培养的特点,结合现行的人才培养计划,做到理论阐述以“必需、够用”为原则,侧重定性分析及其在工程中的应用,充分利用多媒体教学的特点,扩充工程信息量,培养学生的工程概念。

2. 注重培养对象终身发展的需要

土木工程领域范围广,行业标准多,本教材注重专业基础理论与规范的关系,重点阐述规范编制的基本理论、方法和原则,适当介绍土木工程领域的新知识、新技术及其发展趋势,以适应学生今后职业生涯发展的需要。

3. 文字教材和多媒体教学相结合

随着多媒体教学的发展和应用,综合多媒体教学在教学中的优势,提高教学效率,在编写文字教材的同时,配套编写多媒体教案和相关计算软件,使学生适应现代计算技术和提高学生自我训练的能力。

4. 编写严谨规范,语言通俗易懂

根据我国土木工程最新设计与施工规范、规程和技术标准编写,体现了当前我国土木工程施工技术与管理水平,内容精练、叙述严谨。采取逻辑关系严谨、循序渐进的编写思路,深入浅出,图文并茂,文字表达通俗易懂。

希望本系列教材的出版,能促进土木工程专业的教材建设,为培养符合市场需要的高水平人才起到积极推动作用。

作者近年来的科研成果和教学经验总结。本书编写力求通俗易懂，便于读者自学，并配有电子教案、习题指导和常用混凝土构件计算电子表格。

本书由湖南科技大学刘锡军(绪言、第3章)、胡秀兰(第5章、第6章)、曾垂军(第2章)，湖南工业大学蒋隆敏(第4章)、湘潭大学陈俊(第7章)、长沙学院刘建平(第8章)、湖南农业大学刘保华(第1章)执笔，由刘锡军、蒋隆敏主编，全书由刘锡军统稿。

由于作者的业务水平所限，缺点和错误在所难免，请读者批评指正，以便改进。

编 者
2010年5月

目 录

绪 言	(1)
0.1 建筑结构的作用及其发展概况	(1)
0.2 混凝土结构特点及其发展概况	(2)
0.3 混凝土结构领域的科学研究工作	(5)
0.4 混凝土结构设计原理课程特点	(6)
第 1 章 钢筋和混凝土的力学性能	(8)
1.1 混凝土的力学性能	(8)
1.1.1 混凝土的强度	(8)
1.1.2 混凝土的变形	(14)
1.1.3 混凝土的选用原则	(19)
1.2 钢筋的力学性能	(19)
1.2.1 钢筋在单调加载下的应力应变性质	(20)
1.2.2 钢筋的品种及塑性性能	(21)
1.2.3 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求	(27)
1.2.4 钢筋的选用	(27)
1.3 钢筋与混凝土的粘结	(28)
1.3.1 粘结力的定义	(28)
1.3.2 粘结力的组成	(30)
1.3.3 影响粘结强度的因素	(30)
1.3.4 保证钢筋和混凝土间粘结力的措施	(31)
1.4 小 结	(31)
第 2 章 钢筋混凝土结构的基本设计原则	(33)
2.1 结构的功能及其极限状态	(33)
2.1.1 结构的预定功能	(33)
2.1.2 结构的极限状态	(34)
2.2 结构极限状态的设计方法	(35)
2.2.1 结构上的作用、作用效应与结构抗力	(35)
2.2.2 荷载和材料强度的确定	(35)
2.2.3 结构的可靠性、失效概率和可靠指标	(37)
2.2.4 结构的设计状况及设计规定	(40)
2.2.5 承载能力极限状态设计表达式	(40)
2.2.6 正常使用极限状态设计表达式	(42)
2.3 公路桥涵工程混凝土结构设计方法	(43)
2.3.1 设计基本规定	(43)

2.3.2	承载力极限状态设计表达式	(44)
2.3.3	正常使用极限状态设计表达式	(45)
2.3	小结	(46)
第3章	钢筋混凝土受弯构件	(47)
3.1	受弯构件的正截面承载力计算	(50)
3.1.1	受弯构件正截面抗弯性能的试验研究	(51)
3.1.2	正截面受弯承载力计算的基本理论	(57)
3.1.3	单筋矩形截面正截面承载力计算	(64)
3.1.4	双筋矩形截面正截面承载力计算	(70)
3.1.5	T形截面正截面承载力计算	(76)
3.1.6	深受弯构件的承载力计算	(83)
3.1.7	公路桥涵工程中受弯构件正截面承载力计算方法	(84)
3.2	受弯构件斜截面承载力计算	(86)
3.2.1	简支梁剪弯区段的受力过程及剪切破坏形态	(88)
3.2.2	连续梁、框架梁斜截面剪切破坏特征	(95)
3.2.3	影响斜截面受力性能的主要因素	(97)
3.2.4	受弯构件的斜截面受剪承载力计算公式	(100)
3.2.5	进行受剪承载力验算的部位	(104)
3.2.6	斜截面受弯承载力	(108)
3.2.7	深受弯构件斜截面设计	(108)
3.2.8	公路桥涵工程受弯构件斜截面设计方法	(109)
3.3	受弯构件的构造要求	(110)
3.4	小结	(119)
3.5	钢筋混凝土伸臂梁设计实例	(120)
第4章	钢筋混凝土受压构件	(130)
4.1	轴心受压构件	(130)
4.1.1	配置普通箍筋的轴心受压构件	(131)
4.1.2	配置螺旋箍筋的轴心受压构件	(134)
4.1.3	公路桥涵工程中的轴心受压构件	(138)
4.2	偏心受压构件	(139)
4.2.1	偏心受压构件的正截面承载力计算	(140)
4.2.2	偏心受压构件的斜截面承载力计算	(170)
4.2.3	公路桥涵工程偏心受压构件正截面设计方法	(172)
4.3	受压构件的构造要求	(178)
4.4	小结	(183)
第5章	钢筋混凝土受拉构件	(188)
5.1	轴心受拉构件	(188)
5.1.1	轴心受拉构件的受力分析	(188)
5.1.2	建筑工程中轴心受拉构件正截面承载力计算	(188)

5.1.3	公路桥梁工程中轴心受拉构件正截面承载力计算	(189)
5.1.4	构造要求	(189)
5.2	偏心受拉构件	(190)
5.2.1	矩形截面偏心受拉构件的正截面承载力计算	(190)
5.2.2	公路桥涵工程偏心受拉构件正截面承载力计算	(194)
5.3	矩形截面偏心受拉构件的斜截面抗剪强度计算	(195)
5.4	小 结	(195)
第 6 章	钢筋混凝土受扭构件	(197)
6.1	纯扭构件的受力性能及设计计算方法	(198)
6.1.1	素混凝土纯扭构件的受力性能	(198)
6.1.2	钢筋混凝土纯扭构件的受力性能	(201)
6.1.3	矩形截面钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	(203)
6.1.4	T形和工字形截面钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	(204)
6.1.5	箱形截面钢筋混凝土纯扭构件	(205)
6.2	剪扭及弯扭构件的承载力设计方法	(206)
6.2.1	剪扭构件的承载力计算	(206)
6.2.2	弯扭强度的相关性及其设计方法	(209)
6.2.3	弯剪扭构件的设计计算步骤	(209)
6.2.4	压弯剪扭构件承载力计算	(209)
6.2.5	受扭构件计算公式的适用条件及构造要求	(210)
6.3	公路桥涵工程中受扭构件承载力计算	(213)
6.3.1	矩形和箱形截面受扭构件承载力计算	(213)
6.3.2	矩形和箱形截面剪扭和弯剪扭构件承载力计算	(214)
6.3.3	可不进行抗扭承载力计算的条件	(215)
6.3.4	构造要求	(215)
6.4	小 结	(216)
第 7 章	钢筋混凝土构件的裂缝、变形和耐久性	(217)
7.1	裂缝宽度验算	(217)
7.1.1	混凝土结构裂缝的分类与成因	(217)
7.1.2	裂缝控制的目的是要求	(218)
7.1.3	裂缝宽度的计算理论	(219)
7.1.4	裂缝宽度的验算	(223)
7.2	变形控制	(229)
7.2.1	变形控制的目的是要求	(229)
7.2.2	受弯构件刚度的计算	(230)
7.2.3	受弯构的变形验算	(235)
7.3	混凝土结构的耐久性	(239)
7.3.1	概述	(239)
7.3.2	材料的劣化	(240)

7.3.3	混凝土结构耐久性设计	(243)
7.3.4	提高混凝土结构耐久性的技术措施	(245)
7.4	小结	(245)
第8章	预应力混凝土构件	(248)
8.1	概述	(248)
8.1.1	钢筋混凝土的缺点	(248)
8.1.2	预应力混凝土的基本概念	(248)
8.1.3	预应力混凝土结构的优缺点	(249)
8.1.4	预应力混凝土结构的应用	(250)
8.2	预应力混凝土结构设计的基础知识	(250)
8.2.1	预应力混凝土的分类	(250)
8.2.2	预应力混凝土构件的材料	(252)
8.2.3	锚具	(252)
8.2.4	张拉控制应力	(254)
8.2.5	预应力损失及组合	(255)
8.2.6	混凝土弹性压缩(或伸长)	(261)
8.2.7	有效预应力沿构件长度的分布	(262)
8.2.8	无粘结预应力混凝土结构	(263)
8.3	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(264)
8.3.1	先张法轴心受拉构件各阶段的应力分析	(264)
8.3.2	后张法轴心受拉构件各阶段的应力分析	(267)
8.3.3	先张法与后张法各阶段应力比较	(270)
8.4	预应力混凝土与钢筋混凝土构件各阶段应力比较	(270)
8.5	轴心受拉构件截面设计	(272)
8.5.1	使用阶段正截面承载力计算	(273)
8.5.2	使用阶段正截面裂缝控制验算	(273)
8.5.3	施工阶段验算	(274)
8.5.4	构造要求	(278)
8.5.5	计算实例	(279)
8.6	预应力混凝土受弯构件设计计算	(282)
8.6.1	各阶段应力分析	(283)
8.6.2	受弯构件的截面设计	(288)
8.6.3	构造要求	(297)
8.6.4	计算实例	(299)
附录		(307)
参考文献		(323)

绪 言

0.1 建筑结构的作用及其发展概况

我们建造各种类型的房屋,是为了给人类活动提供不受外界气候条件影响,且能满足各项功能要求的空间。如果仅从建筑物的应用功能来看,似乎只要满足覆盖、围护和分隔作用的建筑构件就足以形成这些空间了,但若要把这些起覆盖、围护和分隔作用的部件支承起来则必须依靠结构(或构件)才能使之形成整体的建筑物,否则这些空间就根本无法形成。因此,某种布局的建筑物空间能否形成,关键在于有没有相应的结构能够把它支承起来。或者更确切地说,承重结构的作用就是保证房屋在使用期限内把作用在房屋上的各种荷载或作用力可靠地承担起来,并在保证房屋的承载力、刚度和耐久性的同时,把所有的作用力可靠地传到地基中去。例如多层房屋采用的钢筋混凝土框架结构就需要承受下列作用力:

- (1)屋盖、楼盖、墙体以及其他建筑部件的重量和承重框架本身的自重;
- (2)在房屋使用期间及施工期间作用在屋盖和楼盖上的活荷载;
- (3)在房屋使用期间及施工期间作用在墙面和屋面上的风荷载;
- (4)当发生地震时由房屋各部分的质量在房屋振动过程中形成的水平或垂直惯性力;
- (5)由温度变化、基础不均匀沉降、混凝土收缩等在结构中引起的强制内力;
- (6)作用在房屋上的其他荷载或作用。

所有这些作用力都要通过框架这个承重结构传给基础,然后再由基础传到地基。因此,我们也可以把承重结构理解为建筑物中的传力体系。有时,某些起覆盖、围护和分隔作用的构件如屋盖构件、墙体等也可以同时是承重结构的组成部分。

房屋承重结构所起的这种关键作用对人类历史上各个时期的建筑风格和建筑造型都曾产生过决定性的影响。而每个历史时期所采用的结构形式又是与当时社会生产力的发展水平和人类对结构性能的认识水平密切相关的,亦即取决于:

- 社会所能提供的生产和加工结构材料的能力;
- 社会所能提供的结构施工方法和手段;
- 人类对结构设计经验的积累以及对设计理论和方法的掌握程度。

例如,当人类走出洞穴并开始建造房屋时,利用当时的石制工具只能对天然木料进行简单的加工,从而出现了全由手工捆绑架立的简单木支架。而到了埃及、希腊的奴隶制全盛时期,由于已能利用金属工具来开采和加工石料,从而出现了用巨大石块建造的神庙等建筑物。这些建筑物是依靠大量奴隶的体力劳动和借助简单的机具和方法来完成的。虽然当时不可能从理论上认识石材抗压强度高和抗拉强度低的特点,但是从大量实践中已经摸索出了一些经验,因而出现了在密排高立柱上面架设深梁(梁的跨度与截面高度之比在2.5左右)的柱廊式建筑形式。到19世纪中期,基本上仍将砖石和木材作为主要的建筑材料。随着历史的发展,人类对砖石材料的受力性质有了进一步的认识,施工技术也不断进步,人们发现了最

能发挥砖石材料性能的结构形式——拱结构。在欧洲中世纪后期和文艺复兴时期建造了不少利用人工加工的石材和由人工砌筑而成的拱结构建筑物。在我国将近两千年的封建社会中,砖石材料的应用也是相当普通的。在保留至今的古建筑和桥梁中,也不乏巧妙利用砖石材料的杰出设计,如赵州桥等。但是在更多的房屋建筑中则是采用榫头接合的木构架作为主要的承重结构。这与当时用铁制工具加工木材和采用以人工为主的施工方式相适应。这种木构架与欧洲 17~18 世纪出现的木格架相比,在充分利用木材的结构性能方面虽然不是最合理的结构形式,但在生产力尚未发展到能把螺栓等金属连接件用于木结构之前,这种结构形式仍不失为一种可行的结构方案。直到 19 世纪中后期,随着现代工业的兴起和工艺技术的发展,水泥、钢材等新型结构材料才相继出现,从而为现代的钢结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的发展和大量采用奠定了物质基础。在此期间,结构分析和设计理论也得到相应的发展,使人们得以在深入理解各种材料性能的基础上采用更为合理的结构形式,设计出既坚固适用、又经济合理的建筑结构。这些结构形式的采用也是与由现代工业提供的施工机械和施工工艺分不开的。可以肯定,随着社会生产力的进一步发展,必将有更新的结构材料(如合金材料、复合材料)和更加合理的结构形式在建筑物中得到采用。

0.2 混凝土结构特点及其发展概况

钢筋混凝土结构是我国用量最大的建筑结构形式之一,我国水泥产量已连续 21 年居世界第一,年产约 13 亿吨,占全球总量的 40% 以上,建筑业每年消耗的混凝土达 20 多亿立方米,建筑业每年消耗的钢筋超过 8000 万吨,几乎占全球的三分之一。

以混凝土为主要材料制作的结构称为混凝土结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和预应力混凝土结构等。

素混凝土结构(plain concrete structure)是指无筋或不配置受力钢材的混凝土结构。

钢筋混凝土结构(reinforced concrete structure)是指配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架组成的混凝土结构。

型钢混凝土结构或称钢骨混凝土、劲性混凝土(steel reinforced concrete structure)是指由型钢或钢板焊接而成的钢骨架的混凝土结构。

钢管混凝土结构(concrete filled tube)是指在钢管内浇注混凝土做成的结构。

预应力钢筋结构(prestressed concrete structure)是指由配置预应力筋再通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

为了充分发挥材料的力学性能,近几年出现了钢混凝土组合结构和砌体混凝土框架组合结构等新的结构形式。图 0-1 为常见的混凝土结构形式。

19 世纪中期硅酸盐水泥的制成是土木工程界的一个重大工艺突破。利用水泥掺以级配合理的粗细骨料,加水拌和后就可以在模型中浇筑出人们需要的各种形状的人工石材——混凝土。这种工艺很快为工程界所接受并得到广泛应用和迅速推广。

我们知道,混凝土这种人工石材具有和天然石材类似的抗压强度较高而抗拉强度很低的特点,这是由水泥凝胶体本身的微观结构所决定的。这种性质决定了素混凝土和天然石材一样只适合应用在以受压为主的结构构件中。如果用它来做受弯构件,就必须选用相当高的截面,才能保证梁的自重及梁上荷载的作用下不致因下边缘的拉应力超过混凝土的抗拉强度而

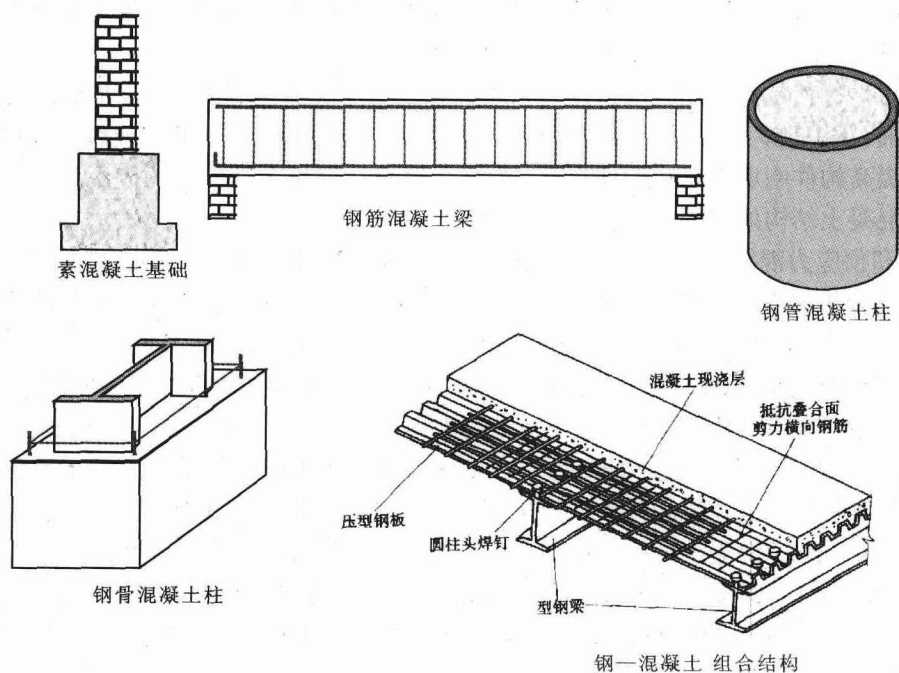


图 0-1 常见的混凝土结构形式

折断。但如果把钢筋以合理的形式浇筑在混凝土中，就会形成一种全新的结构材料——钢筋混凝土。这种全新的结构材料能在各种不同的内力作用下分别发挥钢筋和混凝土这两种材料的特点，做到物尽其用。例如，受弯构件中，可以由钢筋承担弯矩引起的全部拉力，而压力则由受压区的混凝土来承担。这种分工也适用于偏心矩较大的偏心受压和偏心受拉构件。以受拉为主的构件中，可以用钢筋来承担全部拉力，混凝土则对钢筋起保护作用，使之不被锈蚀。在受压为主的构件中，从经济的角度本可以全部用混凝土来承担压力，但为了减小构件的截面尺寸和改善构件的受力性能，配置一定数量的钢筋来分担构件所受的压力往往也是必要的。同样，通过混凝土和钢筋的相互配合，钢筋混凝土也适合于承担剪力和扭矩的作用。

由于混凝土的凝结作用以及混凝土与表面粗糙的或表面带肋纹的钢筋之间存在机械咬合作用而使混凝土在钢筋表面形成了一定程度的粘结力，从而使钢筋与混凝土之间的粘结面具有一定的抗剪强度。在受压状态下，这种粘结作用能保证钢筋与混凝土协调变形、共同工作直到接近破坏。在受拉状态下，这种粘结作用虽然在拉力较高时会局部失效，但从总体来看依然可以保证这两种材料的协调变形，并且能使混凝土分担有限的一部分拉力。

由于钢筋和混凝土具有几乎相同的温度线膨胀系数（钢材为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ）。因此，当温度变化时，在两种材料内不会产生强制应力，也不会产生可能削弱两种材料之间粘结强度的强制剪应力。

此外，包在钢筋外面的混凝土（一般称保护层）由于其所具有的碱性性质而起着保护钢筋不生锈钢的作用；实验观测发现，当空气中的碳酸根侵入混凝土内部时，将使混凝土从表层开始向内逐步失去碱性。这种现象称为混凝土的“碳化”。如果碳化深度达到钢筋表面混凝土

保护层就失去了对钢筋的保护作用。因此,如果能保证保护层混凝土具有足够的密实性和厚度,从而保证混凝土的碳化深度在相当长的时间内不会达到钢筋表面,或者混凝土裂缝不致使钢筋锈蚀,混凝土保护层就可以长期保护钢筋免遭锈蚀。

通过张拉钢筋,也就是对钢筋施加预拉力和对混凝土构件施加预压力,可以形成预应力混凝土结构。这种结构能够克服钢筋混凝土结构在荷载作用下混凝土易于开裂或裂缝过宽的缺点,并能有效提高构件刚度和减小构件自重,为高强钢材在混凝土结构中的应用创造了条件,从而使钢筋混凝土结构的应用范围进一步扩大。

钢筋混凝土和预应力混凝土结构具有易于浇筑成各种形状的结构构件、耐久性好、在常规情况下几乎不需要维修保养、耐火性能比钢结构和木结构好以及现浇结构及装配整体式结构整体刚度较大等一系列优点。从1867年法国人约瑟夫·莫尼埃(Joseph Monier)第一次获得生产配有钢筋的混凝土构件的专利以来,这种结构的应用日益广泛。到今天已经成为世界各国在工业与民用建筑工程、桥梁工程、水工及港口工程、地下工程、海洋工程、原子能反应堆工程以及国防工程中应用最广的结构形式。这种结构与钢结构相比虽然自重较大;但由于它的用钢量低,所以除超高层建筑和特重型厂房等情况外,与其他结构相比,仍然是造价较低的一种结构形式。当然,混凝土结构也还存在抗裂性差、材料性质较脆、维修困难等不足之处,这些会随着轻质高强混凝土、纤维混凝土和新型组合结构的出现和应用而得到改善。因此,在今后相当长的时期内,从国家技术政策的角度来看,在上述各种工程领域内较多地采用钢筋混凝土或预应力混凝土结构以及新型组合结构是符合我国国情的。

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业而发展起来的,1872年纽约建造的第一幢钢筋混凝土房屋距今已有130多年的历史。1824年,英国约瑟夫·阿斯匹丁(Joseph Aspidin)发明了波特兰水泥并取得了专利。1850年,法国蓝波特(L. Lambot)制成铁丝网水泥砂浆小船。1867年法国约瑟夫·莫尼埃(Joseph Monier)获得制造混凝土板、管道和拱桥等专利。

1866年,德国学者发表了混凝土结构的计算理论和方法,1887年又发表了试验结果,并提出了钢筋应配置在受拉区的概念和板的计算方法。在此之后,钢筋混凝土的推广应用才有了较快的发展。1891—1894年,欧洲各国的研究者发表了一些理论和试验研究结果。但是在1850—1900年的整整50年内,由于工程师们将钢筋混凝土的施工和设计方法视为商业秘密,因此总的来说公开发表的研究成果不多。

1850年美国学者进行过钢筋混凝土梁的试验,但其研究成果直到1877年才发表并为人所知。19世纪70年代初有学者曾使用过某些形式的钢筋混凝土,并于1884年第一次实用变形钢筋且获得了专利。1890年在旧金山建造了一幢两层高的钢筋混凝土美术馆。从此以后,钢筋混凝土在美国获得了迅速的发展。

混凝土结构的发展大体上可分为三个阶段。

第一阶段是从1850年至20世纪初为钢筋混凝土发展的初步阶段。所采用的钢筋和混凝土强度比较低,主要用于建造中小型楼板、梁、柱、拱和基础等构建。结构内力和截面计算均套用弹性理论,采用容许应力设计方法。

第二阶段是从20世纪20年代至第二次世界大战前后。随着混凝土和钢筋强度的不断提高,使得混凝土结构可以用来建造大跨度结构,1928年法国杰出的土木工程师弗雷西内(E. Freyssinet)使预应力混凝土进入了实用阶段。在计算理论上,前苏联著名的混凝土结构专家格沃兹捷夫(A. A. Гвоздев)提出了考虑混凝土塑性性能的破损阶段设计法,50年代又提

出更为合理的极限状态设计法，奠定了现代钢筋混凝土结构的基本计算理论。

第三阶段是从二战以后至今。随着建设速度加快，对材料性能和施工技术提出更高要求，出现装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产技术。

随着高强混凝土和高强钢筋的发展、计算机的采用和先进施工机械设备的发明，一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型工程，成为现代土木工程的标志。在设计计算理论方面，已发展到以概率理论为基础的极限状态设计法，三维混凝土结构非线性分析，钢筋混凝土结构的基础理论得到很大的发展。基础理论问题大都得到解决，最新的剪切理论已经能够严格满足二维应力平衡条件。二维摩尔圆应变协调条件以及软化双轴本构关系规律。而新型混凝土材料及其复合结构形式的出现又不断提出新的课题，并不断促进混凝土结构的发展。

在结构的安全度及可靠度设计方法方面，20世纪50年代以前，基本上处于经验性允许应力法阶段，20世纪50年代，世界各国逐步采用半经验半概率的极限状态设计法。20世纪70年代以来，以概率数理统计学为基础的结构可靠度理论有了很大的发展，使结构可靠度的近似概率法进入了工程设计中。

0.3 混凝土结构领域的科学研究工作

为了能在比较准确地了解混凝土结构受力特点的基础上设计出满足各种不同要求而且总体效益良好的承重结构，各国科研工作者进行了大量的科学研究工作。正是这些研究工作推动了混凝土结构这门学科的不断发展和完善。已经开展的研究工作大致可以分为以下五个方面。

1. 通过试验和理论分析了解在静力荷载所引起的不同内力作用下的各类构件的受力性能并提出其截面的设计计算方法

对于钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构来说，通常按所受内力的不同而将构件分为受弯构件、轴心受压和偏心受压构件、轴心受拉和偏心受拉构件以及受扭构件等来进行研究，并将这几类构件统称为基本构件。虽然已经经过了几十年的试验研究，但是到目前为止，对某些受力机理比较复杂的问题，例如钢筋混凝土构件的剪扭问题，仍然无法给出能够全面反映其受力性能变化规律的较为理想的力学模型，而只能借助由试验得出的直接结果给出建立在经验公式基础上的截面设计方法。因此，在这些方面还有很多问题有待进一步探索，如研究一种能包括钢筋混凝土和预应力混凝土结构弯曲、轴力、剪切和扭转的统一理论，把适用于不同应力状态的单个理论进行整合。不过，从总体来看，对各类常用构件的受力性能，其中包括复合内力作用下的构件性能，都已经做了较为广泛的研究并且已经提出了一整套适于各种构件的实用的截面设计计算方法。

2. 对混凝土结构的结构形式及其相应内力分析方法的研究

经过多年来的设计实践和理论研究，形成了一系列适用于不同房屋类型、不同材料供应条件和不同施工条件的受力合理、经济实用的结构形式。设计者的任务则在于根据每个建筑物的具体情况合理地选择结构形式，并对结构形式进行改进。

由于钢筋混凝土所具有的非弹性性质，严格地说其内力分析方法应有别于由经典力学提出的弹性方法。但经过多年研究，迄今也只是对连续梁、板结构提出一些可以用于设计的非

弹性分析方法。借助计算机对结构进行非线性分析的方法虽然已能实现,但由于基本假定和计算模型还不够完善,与结构在非线性阶段的实际受力状况还是有一定的区别。因此,目前大多数结构的内力分析仍然采用建立在弹性假定基础上的经典力学方法。这种内力分析方法虽然与截面设计中采用的考虑材料非弹性性质的设计计算方法不够协调,但由于用弹性分析方法进行内力计算较为简便,且计算结果在绝大多数情况下偏于安全,因此仍不失为一种比较现实的权宜之计。

3. 对结构设计基本原则的研究

三十多年来,国内外在这个领域的研究工作取得了可喜的进展。目前已经能够借助可靠度理论把保证结构安全性、适用性和耐久性的一些基本准则的定量分析工作建立在概率论和数理统计理论基础之上,从而逐步摆脱了过去只能借助于半经验半统计方法的那种不尽合理的局面。我国在这个领域的研究成果已经反映在2001年颁布的国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)中。

4. 对钢筋混凝土结构构造问题的研究

所谓构造问题,一般是指不宜或无法通过计算确定,而只能根据经验或试验研究成果直接做出的各种细部处理规定或技巧,其中包括构件混凝土保护层的厚度、钢筋布置方式、钢筋的锚固和接头以及支座、支托、节点和其他一些特殊部件中的细部做法等等。在以往的设计工作中,构造规定或建议多数是根据经验给出的,因此往往比较粗糙,甚至不尽合理。鉴于工程事故中有很很大一部分是由于构造处理不当造成的。为了使构造规定更具有科学性,近年来已越来越重视对构造问题的研究,尤其是对混凝土耐久性(保护层厚度、混凝土开裂和钢筋锈蚀机理等)进行了大量试验研究和理论分析,通过试验和理论分析找到了一部分构造问题的理论依据,从而使构造规定日趋合理。

5. 对结构抗震性能的研究

发生地震时结构将经受强烈振动。在这种情况下将反映出与承受静力荷载时颇不相同的性质。二十多年来,国内外对此已经进行了不少富有成果的研究,其中一部分成果已经反映在进行地震区建筑结构设计时所应遵循的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001),以及其他结构设计规范中。2008年汶川地震后对现有抗震规范部分内容进行了修订。近几年我国抗震试验手段发展很快,很多重点大学建立了大型拟动力系统、大型振动台和振动台阵等试验设备,抗震试验从构件试验为主逐渐向大比例、整体结构抗震性能试验发展,使试验结果更接近于实际结构。随着计算机的发展,结构数值模拟以及大型有限元非线性分析软件的出现,对提高结构抗震理论分析起到了重要作用。但在这个研究领域中仍有不少课题有待进一步深入开拓。

0.4 混凝土结构设计原理课程特点

“混凝土结构设计原理”这门课程所要讨论的是钢筋混凝土结构(包含预应力混凝土结构)的设计理论和设计方法。由于这种结构是我国目前房屋建筑中采用得最为广泛的结构类型。所有土木工程专业(建筑工程方向)的毕业生,不论他将来是从事设计、科研或施工工作,还是在工程管理部门工作,都将时刻与之接触。因此,它是这个专业主干课程中的一门重要课程。鉴于目前我国建筑工程和公路桥涵工程的规范没有完全统一,公路桥涵混凝土设

计内容仅作简要介绍,同学们应注意两种规范对结构使用环境和可靠度要求的不同之处。

在本书的第1章和第2章,将讨论钢筋和混凝土这两种材料的力学性能以及结构的基本设计原则,因为这两部分内容是混凝土结构设计理论赖以建立的基础。在随后的第3到第6章中将依次讨论受弯构件、轴心受压和偏心受压构件、轴心受拉和偏心受拉构件以及受扭构件的受力性能、设计计算方法和构造措施。第7章将讨论钢筋混凝土构件的裂缝、变形和耐久性及其计算方法和构造要求。在第8章将讨论预应力混凝土结构的受力性能和设计计算方法。

通过这些内容的学习,希望能使学生基本上掌握这种结构设计所必需的理论知识,并能通过后续的课程设计和毕业设计等实践性教学环节,初步学会如何运用这些理论知识来正确进行设计和解决工程中的技术问题。

需要强调的是,结构设计知识不仅对于今后从事结构设计工作的人是至关重要的,对于从事施工和工程管理的人同样也是必不可少的。因为只有具备了较为完整的结构设计知识才能正确理解各类结构的受力性能 and 设计要求,从而在制定技术政策、理解设计意图、审议设计方案、确定施工工艺以及处理工程事故等方面做出正确的判断。

在这门课程中将用到在高等数学、力学(特别是材料力学和结构力学)、建筑材料、房屋建筑学等课程中已经学到的知识。而且所讨论的问题往往涉及的影响因素较多、综合性强。因此要求学生注重培养自己对问题的综合分析和归纳能力,在分析问题时,既要善于看到影响所研究的问题的各种因素和对其他方面的影响,又要善于抓住问题的核心和实质,同时还要善于用变化和发展的观点去思考和理解问题。

此外,这门课程还具有较强的实践性。这是因为一方面结构设计理论是以从试验中获得的对结构性能的认识和前人的工程实践经验为基础而建立起来的;另一方面,在一个人的设计能力中,除去理论知识外,还有一个必不可少的方面,这就是在方案选择、细部处理手法等方面的经验积累,而这些经验只能从大量工程实践中去获得。

还应指出的是,为了对建筑结构设计的质量进行控制,国家或各主管部委专门颁布了一系列具有法律效力的设计技术规范(或规程),作为设计人员从事建筑结构设计工作时必须遵守的共同准则。为了适应这种要求,本教材所涉及的具体内容参照我国2001年颁布的《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)和现行规范《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和(征求意见稿2009.7)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)等编写。一个合格的结构设计人员必须正确理解规范内容,避免盲目照搬规范条文。而要做到这一点,就必须注重理解规范条文赖以建立的理论依据和科研成果,即规范编制的背景材料,而这恰恰是本教材各个章节,特别是第2到第6章所要着重讨论的内容。当然,必须承认,在高等院校的专业课教材中也只能对有关背景材料作一定程度的扼要说明,而对规范的深入细致理解,则有待于学生参加工作后通过进一步熟悉有关技术文献和亲自参加设计或工程实践来实现。还应指出的是,随着科学技术的不断发展,需要不断地把通过科学研究获得的、并经过工程实践验证了的新理论、新技术和新方法纳入设计规范,同时将已经陈旧的内容从规范中剔除,因此世界各国的技术规范都以5~10年为一个周期不断进行修订。这表明我们应以发展的眼光看待规范条文,并争取通过所从事的科研和设计工作为发展混凝土结构这门学科以及进一步完善和充实规范内容做出贡献。本教材主要编写依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—200X 征求意见稿)尚未最后定稿,相关内容应以正式出版的规范作为设计依据。