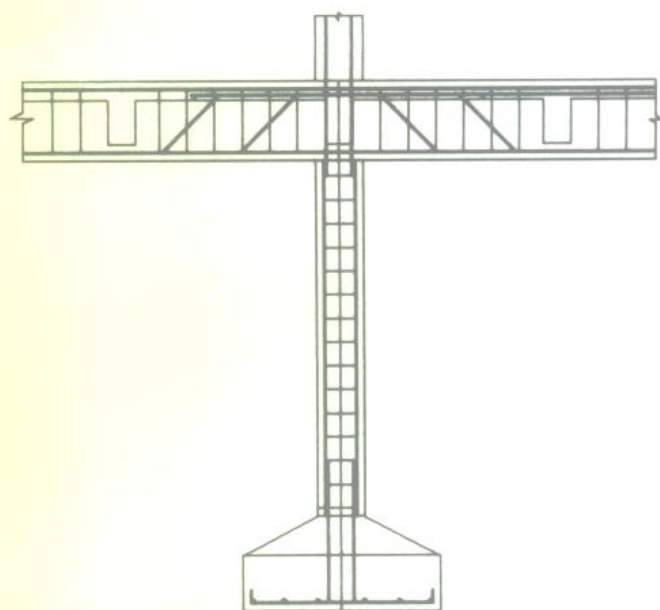


钢筋混凝土结构

舒士霖 主编



TU375
S65

钢筋混凝土结构

舒士霖 主编

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书系统阐述了钢筋混凝土材料的力学性能;以概率理论为基础的极限状态设计方法;各类构件的受力(包括弯、剪、扭、压、拉等)性能、计算方法及配筋构造;变形及裂缝宽度的计算以及预应力混凝土的基本原理及构件计算。全书共分十章,书中有较多的典型实例,每章末均有复习思考题、代表性习题及参考答案。

本书根据我国现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)等有关设计规范编写。

通过本书的学习,要求能够比较全面、系统、深入地理解混凝土结构的基本概念、基本原理、基本理论和基本计算方法,并能在理论指导下运用有关设计规范正确地进行钢筋混凝土结构构件的设计计算。

本书主要对象为高等院校土木建筑工程类专业本科学生;对大专、夜大和函授等学生,在按不同要求对本书内容取舍后也同样适用,本书亦可供土木建筑工程设计、施工及科学研究人员参考。

参加编写人员

舒士霖 邵永治 陈 鸣

07/13/15

钢筋混凝土结构

舒士霖 主编

钱在兹 主审

责任编辑 陈晓嘉

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

浙江大学华家池印刷厂印刷

浙江省新华书店经销

* * *

787mm×1092mm 16开 25印张 635千字

1996年5月第1版 1999年3月第3次印刷

印数: 2001—4000

ISBN 7-308-01808-3/TU·034 定价: 26.00元

前 言

本书根据建设部建筑工程专业指导委员会制订的“混凝土结构及砌体结构”课程中“基本构件”的基本要求,并按我国现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)及《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)等有关设计规范编写,从而,便于大学生在走上工作岗位后尽快地适应实际工作。书中适当地介绍了国外规范的有关内容以及一些最新的科技成果。编写时还参考引用了国内外有关教材、专著和论文。

全书共分十章,系统阐述了钢筋混凝土材料的力学性能;以概率理论为基础的极限状态设计方法;钢筋混凝土受弯、受剪、受扭、受压和受拉等各类基本构件的受力性能、破坏形态、基本理论、计算方法和配筋构造;变形和裂缝宽度的计算方法以及预应力混凝土的基本原理和构件的计算方法。

本课程的性质属于专业基础课,是土木建筑类专业学生的必修课,也是进一步学习混凝土结构设计的基础。

在编写过程中,编者注意到了以下几点:

● 注重理论立足应用

通过本书的学习,要求达到两个基本目的:既要比较全面系统地理解钢筋混凝土和预应力混凝土结构的基本概念、基本原理和基本理论,又要比较熟练地掌握各类基本构件的设计计算方法。

为此,本书除简要地介绍以概率理论为基础的极限状态设计方法和结构可靠度理论外,着重阐述了各类受力(受弯、受剪、受扭、受压和受拉等)构件的试验研究、受力性能、破坏形态、基本理论、设计计算方法和构造要求等,还介绍了变形和裂缝宽度的计算。要求在深入掌握基本原理的基础上,能在理论指导下,运用有关设计规范正确地进行钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件的设计计算。

● 为自学创造条件

课堂教学无疑是一个十分重要的教学环节,但在校学习还应十分注意培养自学能力,养成自学习惯,通过自学去获得知识。因为在学校里限于时间,只能学习一些最基本的理论、基本的知识和基本的技能,以便为今后的工作和发展打下扎实的基础,而对今后工作中将遇到的各种工程实际问题不可能都在学校里学到,特别是科学技术的迅猛发展均有赖于不断通过自学加以充实、更新和提高。

教材编写自然亦应为便于自学创造条件,因此,在编写过程中,力求遵循认识规律,由浅入深,循序渐进。学生们在从学习数学、力学等基础课和技术基础课转而学习混凝土结构等专业基础课和专业课时,往往会有难学、难记、抓不住重点的困难,为此,编写中尽量注意分清主次、“削枝强干”、突出重点、抓住难点;对基本概念、基本原理和基本方法力求概念清晰、说理详尽;对非本质性问题则加以压缩简化。学习不仅是循序渐进的过程,也是反复循环和不断深化、提高的过程,编写中注意到问题间的内在联系和相互关系,对基本概念反复交代、前后呼应、及时小结。书中有较多典型实例,每章均附有复习思考题和习题,便于学生自行检查理解和掌握基本内容和基本要求的程度。

● 结合课程特点注意对分析解决问题能力的培养

钢筋混凝土结构构件计算理论和计算方法的建立都离不开试验研究。正是在大量试验研究的基础上,通过理论分析,概括出了结构构件的受力性能和破坏机理,得出强度和变形的规律,并从中抽象出计算模型,提出了各类受力构件的计算方法和计算模式,因此对于钢筋混凝土结构的大部分计算公式都是基于试验研究的半理论半经验公式。解决钢筋混凝土结构构件的计算问题有其特有的规律。教材编写中,注意指出了解决问题的思路、方法和途径。使学生在获得知识的同时,逐步培养和提高分析解决钢筋混凝土结构计算问题的能力,以利于在今后的工作中更好地运用所学知识,独立地、有创造性地解决各种工程实际问题。

但限于编者水平,上述愿望不一定能在教材中得到很好的体现,此外,书中也一定还有不少缺点和错误,均望得到读者的批评和指正。

本书由舒士霖教授主编,并撰写了第一、第三、五、六、七、八、九、十各章,第二和第四章分别由邵永治副教授和陈鸣副教授执笔,焦彬如副教授参加了讨论。本书承钱在兹教授主审,全书插图均由温晓贵同志绘制,邓华同志亦为本书的出版做了很多工作,编者在此一并表示深深的谢意。

舒士霖

1995年6月于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢筋混凝土结构的特点	1
1.2 钢筋混凝土结构的应用与发展	3
1.3 课程的内容、任务和特点	7
第 2 章 钢筋混凝土材料的力学性能	11
2.1 钢筋	11
2.2 混凝土的强度	20
2.3 混凝土的变形	26
2.4 钢筋与混凝土的粘结	37
第 3 章 结构设计的基本方法	46
3.1 极限状态设计法的基本概念	46
3.2 结构可靠度的基本概念	50
3.3 极限状态设计实用表达式	56
第 4 章 受弯构件正截面承载力的计算	68
4.1 试验研究	69
4.2 受弯构件正截面承载力计算的基本原理	75
4.3 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力的计算与构造要求	83
4.4 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力的计算	95
4.5 T 形截面受弯构件正截面承载力的计算	103
第 5 章 斜截面受剪承载力的计算	118
5.1 无腹筋梁斜截面的受剪性能	119
5.2 有腹筋梁斜截面的受剪性能	123
5.3 斜截面破坏的主要形态	125
5.4 影响斜截面受剪承载力的主要因素	126
5.5 受弯构件斜截面受剪承载力的计算	131
5.6 斜截面受剪承载力计算的位置和计算步骤	137
5.7 保证斜截面受弯承载力的构造措施	145
5.8 钢筋的构造要求	156
5.9 连续梁的受剪性能及受剪承载力的计算	161
5.10 偏心受力构件斜截面受剪承载力的计算	166
第 6 章 受扭构件扭曲截面承载力的计算	175
6.1 纯扭构件的受力性能	176
6.2 纯扭构件开裂扭矩的计算	180
6.3 纯扭构件承载力的计算	182
6.4 剪扭构件承载力的计算	191

6.5	弯扭构件承载力的计算	195
6.6	弯剪扭构件承载力的计算	197
6.7	受扭钢筋的构造要求	202
第7章	受压构件正截面承载力的计算	205
7.1	轴心受压构件正截面承载力的计算	206
7.2	矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	216
7.3	工字形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	244
7.4	双向偏心受压构件正截面承载力的计算	248
7.5	受压构件的构造要求	257
第8章	受拉构件正截面承载力的计算	265
8.1	轴心受拉构件正截面承载力的计算	265
8.2	偏心受拉构件正截面承载力的计算	266
第9章	钢筋混凝土构件变形及裂缝宽度的计算	273
9.1	变形控制的目的和要求	273
9.2	受弯构件变形的计算	274
9.3	裂缝控制的目的和要求	284
9.4	裂缝宽度的计算	289
第10章	预应力混凝土构件的计算	304
10.1	预应力混凝土的基本概念	304
10.2	施加预应力的方法	307
10.3	预应力混凝土材料	315
10.4	张拉控制应力和预应力损失	318
10.5	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	326
10.6	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	334
10.7	预应力混凝土受弯构件的应力分析	342
10.8	预应力混凝土受弯构件的计算	348
10.9	部分预应力和无粘结预应力混凝土结构	370
10.10	预应力混凝土构件的构造要求	374
附 表		381
参考书目		390

第 1 章

绪 论

1.1 钢筋混凝土结构的特点

建筑物中由若干基本构件(如梁、板、柱、墙、屋架和基础等)组成,用以承受直接作用(如构件自重、以及外部荷载如屋面和楼面活荷载、风荷载、雪荷载等)和间接作用(如地震作用、温度变化、基础沉降、混凝土的收缩和徐变等)的体系称为“建筑结构”(简称结构),它是建筑物的基本受力骨架,是建筑物赖以存在的物质基础,对建筑物的坚固、安全、适用和耐久起着决定性的作用。

结构设计必须满足功能的要求,即在整个使用期间内应能安全可靠地工作,并具有良好的适用性和足够的耐久性,不致因结构损伤和失效影响生产和生活,甚至造成生命和财产的重大损失。

建筑结构按采用材料的不同,可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等。混凝土结构包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和不配钢筋的素混凝土结构,但后者在工程中应用很少。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种性能很不相同的材料组成。混凝土类似于天然石料,具有较高的抗压强度,但抗拉强度很低,大致仅为抗压强度的 $1/8 \sim 1/12$,因此它能承受较大的压力,但经不起受拉;而钢筋则具有较高的抗拉强度。钢筋混凝土结构就是将两种材料结合在一起,钢筋主要用于受拉,混凝土主要用于受压,亦即利用钢筋较高的抗拉强度去弥补混凝土抗拉强度之不足。

图 1.1(a),(c) 所示为截面尺寸、跨度和混凝土强度等级均相同的两根梁,其中一根为素混凝土梁如图 1.1(a) 所示;另一根为配有钢筋的梁如图 1.1(c) 所示。当梁上作用荷载时,中和轴以上为受压区,以下为受拉区。当荷载不大,梁受拉区边缘(即梁底部)混凝土的拉应力未达到其抗拉强度时,两根梁都不会开裂。随着荷载增大,当梁受拉区边缘混凝土的拉应力达到其

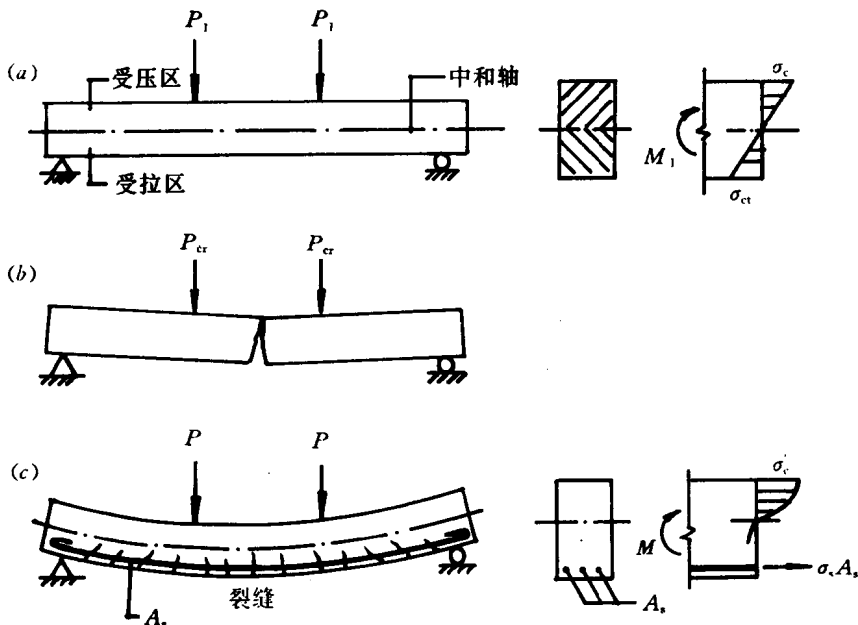


图 1.1

抗拉强度时,将在梁受拉区最薄弱的截面出现一条垂直于梁纵轴的垂直裂缝。对素混凝土梁,一旦开裂,裂缝迅速向上发展,梁随即脆断而破坏如图 1.1(b) 所示,素混凝土梁破坏时能承受的荷载很小,梁的受弯承载能力很低,因为对破坏起决定作用的是混凝土的抗拉强度,此时受压区混凝土的压应力还很小,其抗压强度远未得到充分利用。如果要提高梁的承载能力,势必要将梁的截面尺寸增大到很不合理和很不经济的程度。此外,素混凝土梁受弯破坏是突然发生的,破坏前缺乏必要的预兆,事先无法对即将破坏的结构采取必要的安全措施以避免生命和财产的损失。因此,这种属于脆性破坏的素混凝土梁在建筑工程中是不允许采用的。

当在梁的受拉区配置数量适当的纵向钢筋后,在荷载作用下当受拉区边缘混凝土的拉应力达到其抗拉强度时,钢筋混凝土梁和素混凝土梁一样亦将开裂,但开裂后的情况就发生了质的变化,裂缝截面的混凝土退出工作,不再参与受拉,全部拉力转由钢筋承受,此时仍可继续对其加荷,即不致于像素混凝土梁那样一裂即坏。在钢筋混凝土梁两个集中荷载间的纯弯段内,随着第一条裂缝的出现,相继出现大致等间距分布的多条裂缝,裂缝宽度细而分散如图 1.1(c) 所示,不像素混凝土梁那样只有一条裂缝。随着荷载的不断增大,临近破坏时钢筋中拉应力首先达到其抗拉强度。在多条裂缝中,最后有一条发展成为破坏的主裂缝,其宽度不断加大并向上延伸,梁的挠度也显著增大。最后,梁顶受压区混凝土被压坏,梁即告破坏。可见,配筋适当的梁中,两种材料的强度都能得到充分的利用,且这类梁在破坏前有明显的预兆——塑性破坏或称延性破坏,工程中只允许设计成这种梁。

钢筋混凝土梁的抗裂荷载和素混凝土梁基本相同,并不因为配了钢筋使抗裂荷载有所提高,但配筋梁破坏时能承受的极限荷载比素混凝土梁大得多。

房屋中的柱子主要承受压力,而混凝土的抗压强度是比较高的,那末是否可不配钢筋呢?实际工程中的柱子也是配筋的(图 1.2)。柱中钢筋的作用是与混凝土共同承受压力,以减小柱截面尺寸,或增大柱的受压承载力,并承受由于混凝土收缩、温度变化和荷载初始偏心距等原

因在柱中引起的拉应力。此外,如果柱子是预制的,则在起吊、运输或安装过程中还可承受由于柱子受弯引起的拉应力。

在建筑工程中,绝大多数结构构件都应该是配筋的钢筋混凝土构件。

钢筋和混凝土虽然是两种力学性能不相同的材料,但它们能很好地结合在一起共同工作,主要由于具有以下特性:

- (1) 混凝土结硬后与钢筋之间存在着良好的粘结,在荷载作用下,两者成为一个整体,能协调变形,共同受力;
- (2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数很接近,钢筋约为 1.2×10^{-5} 、混凝土大致在 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ 之间,故当温度变化时,两者间不致因产生较大的相对变形使粘结遭受破坏;
- (3) 钢筋受到混凝土的保护不易生锈,具有很好的耐久性。

钢筋混凝土结构在建筑和土木工程中得到最为广泛的应用,主要因有如下优点:

- (1) 合理地利用了钢筋和混凝土两种材料各自的特性,相互取长补短,发挥各自优势,使之结合在一起形成强度较高、刚度较大的结构;
- (2) 钢筋混凝土结构具有很好的耐久性和耐火性。混凝土是不良导体,钢筋又受到混凝土包裹,火灾时不致因钢筋很快达到软化温度而导致结构破坏。混凝土结构与钢结构相比还可省去经常性的维修费用;
- (3) 钢筋混凝土结构,尤其是现浇结构具有很好的整体性,其抵抗地震、振动以及爆炸冲击波的性能都比较好;
- (4) 便于就地取材,与钢结构相比可节约钢材、降低造价;
- (5) 现浇混凝土具有良好的可模性,可按建筑结构物的需要浇制成各种形状。

钢筋混凝土结构的主要缺点是自重较大、抗裂性能较差、隔热和隔声性能也不够理想,此外,现浇结构施工周期较长,易受气候条件限制,木模消耗也较多。但随着混凝土材料和结构的不断发展以及预应力结构的推广应用,这些缺点正在不断得到改进和克服。

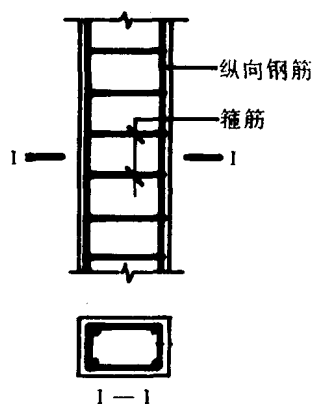


图 1.2

1.2 钢筋混凝土结构的应用与发展

1.2.1 钢筋混凝土结构发展简况

人类采用土、木、石和砖瓦作为结构材料经历了漫长的岁月。1824年,阿斯普丁(J. Aspdin)虽已发明了波特兰水泥,但直到19世纪50年代,随着水泥和钢材等现代工业的兴起,混凝土才开始出现并作为结构材料,从那时至今不过150年的历史。混凝土作为结构材料是结构史上

的一大飞跃。

一般认为,钢筋混凝土结构的发明者是法国花匠蒙约(J. Monier),他在 1861 年用铁丝配筋制成的花盆于 1867 年获得专利权,后来他又制造了钢筋混凝土板、管和拱等结构。但是由于缺乏对钢筋混凝土结构基本原理的认识,纯凭经验制作,因此他曾误将钢筋放在板的中部,而板的这个部位不可能产生拉应力。

从混凝土结构开始出现至本世纪 20 年代,是混凝土结构发展的初期阶段。在此期间出现了钢筋混凝土梁、板、柱、拱和基础等一系列结构构件,但由于当时混凝土和钢筋的强度都比较低;人们对混凝土的性能也缺乏认识,而简单地将混凝土视为弹性材料;设计计算则沿用材料力学的容许应力法;混凝土结构计算理论亦未建立,更没有正式的设计规范及技术标准,所以混凝土结构的发展比较缓慢。

本世纪 20 年代以后,随着生产的发展、试验工作和理论研究的开展,以及施工技术的改进,混凝土结构进入了第二个发展阶段并逐步得到了广泛的应用。在此期间,装配式结构和空间结构相继出现,特别是预应力混凝土结构的出现,不仅改善了混凝土结构的性能,克服了抗裂性能差的缺点,而且极大地拓宽了混凝土结构的应用领域,产生了一些具有预应力特色,而非其它结构材料所能替代的结构形式和结构体系,成为混凝土结构发展中的一次飞跃。

法国的弗列西涅(F. Freyssient)、比利时的麦格尼尔(G. Magnel)及华裔学者林同炎在发展预应力混凝土方面作出了卓越的贡献。

在混凝土结构发展的第二个阶段中,1938 年,前苏联学者提出了破损阶段设计理论,首次反映了混凝土材料的塑性性质,改变了长期以来将混凝土视为弹性材料的观点。结构设计以构件最终破坏时的截面承载力为依据,并在此基础上制定了钢筋混凝土结构的设计标准及技术规范。

二次世界大战后,随着各国城市的恢复和重建,混凝土结构有了更快的发展,进入了第三个发展时期。其特征是混凝土结构进入了工业化的生产,此外,前苏联学者又在破损阶段设计理论的基础上提出了更为合理的极限状态设计理论,即工程设计应保证结构在使用期内不致进入承载能力、变形和裂缝宽度三种极限状态中之任何一种极限状态,并在荷载和材料强度中开始引进概率方法和统计分析,使设计理论前进了一大步。经过 20 多年的研究和实践,至 70 年代,极限状态设计理论已为很多国家所采用。

前苏联学者罗列依特(А. Ф. Лолейт)、葛渥滋捷夫(А. А. Гвоздев)、穆拉谢夫(В. Н. Мурашев)及巴斯特纳克(И. Л. Пастернак)等在建立混凝土结构设计理论方面起了重要作用。

19 世纪末 20 世纪初,我国也开始有了混凝土结构,但工程规模很小,发展十分缓慢。全国解放后,随着大规模社会主义建设事业的蓬勃发展,混凝土结构才逐步在建筑和土木工程中得到迅速的发展和广泛的应用,并在全国范围内先后进行过四次钢筋混凝土结构设计规范的编制和修订工作,从 1966 年开始,我国规范中已开始采用极限状态设计理论。

1.2.2 混凝土结构的应用与发展

下面,将就材料、结构和计算理论三方面作一个简要介绍。

一、材料方面

我国目前常用的混凝土强度等级为 C15 ~ C40, 发达国家已大多采用强度为 40 ~ 60N/mm² 的混凝土, 预应力结构中混凝土强度已达到 60 ~ 80N/mm²。

混凝土发展的方向是采用高强混凝土、轻骨料混凝土和多功能改性混凝土。

采用高强混凝土可以减小截面尺寸, 减轻构件自重, 是发展高层、大跨和特种结构的需要。发展高强混凝土的措施是合理利用优质掺合料和高效减水剂。近年来国外已配制出强度为 100N/mm² 或高于 100N/mm² 的混凝土, 国内实验室亦已配制出高强混凝土, 但要用于大规模工程建设还有许多工作要做。有关方面预测, 我国到 2000 年预拌混凝土的强度等级可达到 C50, 预应力混凝土可达到 C60。

采用轻骨料混凝土可以大大减轻结构自重, 而且具有抗震性能、保温性能和耐火性能都比较好的优点。我国有丰富的天然轻骨料资源, 如浮石、火山渣和珍珠岩等, 人造轻骨料主要采用工业废料制成煤灰陶粒, 既可废物利用, 又可减少环境污染和大面积堆场。我国轻骨料混凝土的容重大致为 18kN/m³, 强度等级为 C15 ~ C40。

美国于 1971 年在休斯敦所建贝壳广场大厦 (One Shell plaza) 是一个有效应用轻骨料混凝土的典型工程实例, 该大厦原设计为 35 层, 采用轻骨料混凝土后在不改变原基础的情况下增加了 17 层, 达到 52 层。

我国在北京、天津和上海等地也用轻骨料混凝土建造了一批房屋, 但工程规模和发展速度都还有待于扩大和提高。

改性混凝土是当前国内外很活跃的一个研究领域。为了改善混凝土抗拉强度低和延性差的不足, 人们正致力于碳纤维混凝土、耐碱玻璃纤维混凝土及合成纤维混凝土的研究, 并已取得相当成果。树脂混凝土、浸渍混凝土等聚合物混凝土具有耐腐蚀和耐冲刷的特点, 可满足化工、水工、海洋等工程中多功能的需要。防渗、保温、防射线等特殊功能的混凝土也在研究之中。

钢筋混凝土结构中, 国内较普遍采用的是热轧钢筋, 以及利用我国丰富的自然资源锰、钛、硅、钒等元素生产的低合金钢钢筋, 其抗拉强度设计值为 210 ~ 500N/mm²。预应力混凝土结构中, 多采用强度较高的冷拉热轧钢筋、冷拔低碳钢丝以及强度设计值在 1000N/mm² 以上的碳素钢丝、钢绞线、刻痕钢丝和热处理钢筋。预应力钢筋将向高强度、粗直径、低松弛和耐腐蚀的方向发展。

二、结构方面

我国居住建筑中, 目前已广泛采用定型化和标准化的钢筋混凝土构件, 预应力空心板作为楼板和屋面板已普遍采用。装配式钢筋混凝土大板结构体系和框架轻板体系在北京、上海和南宁等地有所采用。居住建筑正向大开间、大楼板和灵活隔断方向发展。单层工业厂房中, 大量采用了由预应力混凝土屋架或屋面大梁、预应力混凝土吊车梁、柱及基础等构件组成的装配式排架结构体系。此外也有采用板架合一或板墙合一的板形结构或薄壁空间结构体系的, 如 V 形折板、双 T 形板、马鞍形壳板等。在多层工业与民用建筑中, 采用现浇、装配或现浇——装配相结合, 由梁、板、柱组成的钢筋混凝土框架结构体系。在一般工业与民用建筑中, 主要是走建筑工业化道路, 以加快施工速度、提高施工质量和降低工程造价。

钢筋混凝土和预应力混凝土在高层、大跨和特种结构中得到了日益广泛的应用。

当前世界上最高的钢筋混凝土高层建筑是朝鲜平壤的柳京大厦, 101 层, 高 305m, 为剪力

墙结构,建于1990年。美国芝加哥的311瓦克·德赖夫大楼(311Wacker Drive)65层,高296m。跨度最大的钢筋混凝土结构是法国巴黎国家工业与技术中心陈列馆的三角形平面、每边跨度为218m、采用总厚度仅为120mm的双层双曲钢筋混凝土波形拱壳结构,还有德国法兰克福机场中270m×100m的大跨度悬索轻混凝土板带结构飞机库。最高的高耸结构是加拿大多伦多国际电视塔,高549m,被称为世界第一高塔。

近年来,我国高层建筑有了很快发展,其中绝大部分为钢筋混凝土结构,目前建成高度在100m以上的钢筋混凝土高层建筑已超过100座。最高的钢筋混凝土高层建筑是广州的广东国际大厦,地上63层地下4层,高度为200m,建于1990年。在高层建筑中,主要采用的是剪力墙、框架—剪力墙和筒中筒等结构体系,以及大模板及滑模等施工方法。

1993年建成的上海杨浦大桥,为双塔(塔高220m)双索面(256根拉索)叠合梁的斜拉桥,主桥跨径602m,为世界上跨径最大的斜拉桥之一;最近建成的武汉长江二桥,主桥跨径400m,亦为双塔双索面预应力混凝土结构斜拉桥。

1994年建成的上海东方明珠电视塔,高468m,是国内也是亚洲最高的电视塔,居世界第三位。

未来钢筋混凝土结构的发展,除了继续注意量大面广的一般工业与民用建筑结构中的基本问题外,将注意发展高层建筑、大跨建筑、桥梁、能源、海洋、地下和防护等工程中新的结构形式。预应力混凝土仍然是很有发展前途的结构,国内已在推广部分预应力混凝土和无粘结预应力混凝土结构。灵活地利用预应力手段将会创造出各种新结构和特殊功能的结构。混凝土与钢结构或钢筋混凝土与钢结构的组合结构体系,如钢板混凝土、型钢与钢筋混凝土的组合梁、组合柱以及钢管混凝土约束柱等,也是一个发展方向。

三、计算理论方面

本世纪70年代以来,结构可靠度理论的研究有了很大进展,并已逐步引入结构设计规范,使极限状态设计方法向着更完善、更科学的方向发展。以概率理论为基础,用失效概率或可靠指标来度量结构的可靠性,以替代过去沿用的由经验确定的安全系数,使以往的“定值设计法”(或称经验设计法)转变为“非定值设计法”(或称概率设计法),对提高结构设计的合理性具有重要意义。1971年,由欧洲混凝土委员会(CEB)等六个国际组织联合组成了结构安全度联合委员会,通过广泛的国际合作,于1976年编制了依据近似概率极限状态设计方法的《统一标准规范的国际体系》。1975年,加拿大率先在结构设计规范中采用了可靠度理论。

我国于1984年制订了《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)(以下简称《统一标准》),规定了适用于各类结构(包括混凝土、钢、木及砌体结构等)的结构可靠性分析方法和设计准则,统一了以往各类结构规范分别采用不同设计准则的结构设计方法。

根据《统一标准》,我国在试验研究的基础上制订了以近似概率极限状态设计方法为准则的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(以下简称《规范》),对1974年制订的原规范作了全面修改,反映了我国钢筋混凝土结构学科的最新科学技术水平,使我国的混凝土结构设计规范跻身于国际先进规范行列。今后的研究工作将进一步向全概率的极限状态设计方法发展,采用优化设计,研究开发人工智能决策系统及专家系统。

混凝土结构的基本理论和计算方法近年来也不断取得新的研究成果。

随着对混凝土应力—应变等本构关系和弹塑性变形性质的深入研究、电子计算机的迅速发展和有限元计算方法的广泛应用,以及现代化测试技术的采用,使混凝土结构已向弹塑性计

算方法发展,目前已可进行结构构件从加荷开始直至破坏的全过程分析。

结构分析亦已逐渐从单个构件的分析计算向整体空间工作分析的方向发展。而且不仅对结构的骨架进行分析计算,还将针对结构骨架与其相关部分(如地基基础和填充墙等)之间的相互影响和共同工作进行分析计算。结构工程的发展将把结构作为一个系统,对其全过程反应进行强度和变形的综合分析,主动设计出优化的结构。

混凝土软化桁架理论的研究近年来已取得较大进展,应用混凝土软化应力—应变关系,通过软化桁架模型可望从理论上解决混凝土受剪和受扭构件的计算问题,改变长期以来沿用直接依靠试验结果的经验公式。

复杂应力状态下混凝土构件的强度、裂缝和变形计算问题、混凝土裂缝扩展理论、混凝土和钢筋粘结理论、防震减灾结构研究及其对策、混凝土结构在设计和使用期间的评价、结构的危险估计以及混凝土结构耐久性理论研究等都是正在进行而且将不断深化的研究领域。

可以预见,采用现代学科研究的新成果,通过现代学科和混凝土学科的横向联系、交叉和渗透,将为创立新的混凝土结构理论和设计方法开辟更为广阔的前景。

1.3 课程的内容、任务和特点

1.3.1 课程的内容和任务

混凝土结构可分为“混凝土结构”和“混凝土结构设计”两部分。

“混凝土结构”主要介绍混凝土结构的基本原理和基本构件的计算方法。内容包括混凝土和钢筋的力学性能、结构设计的基本方法、各类基本构件的受力性能、计算理论、计算方法、配筋构造以及预应力混凝土的基本原理和构件计算。

混凝土结构构件从其受力特性分析,可归纳为以下几类常用的基本构件:

1. 受弯构件

截面内力以弯矩和剪力为主。如梁、板及其组合的楼盖和屋盖结构、雨篷、阳台和楼梯等。

2. 受压构件

截面内力以压力为主,或兼有弯矩及剪力作用。如房屋柱子、屋架或桁架的上弦杆和受压腹杆等。

3. 受拉构件

截面内力以拉力为主,或兼有弯矩及剪力作用。如水池池壁、屋架或桁架的下弦杆和受拉腹杆等。

4. 受扭构件

截面内力有扭矩,或兼有弯矩及剪力作用。如框架结构的边梁、厂房中吊车梁及雨篷梁等。

混凝土结构是一门理论和应用并重的专业基础课,是建筑和土木类专业的必修课,也是学习“混凝土结构设计”的基础和必需的基本知识。

本课程的基本任务是要求较为全面深入地理解和掌握钢筋混凝土结构的基本原理,并能在理论指导下,具有正确运用《规范》进行工业与民用建筑结构构件的设计计算能力。

学习本课程必需的前期基础是数学、材料力学、建筑材料、房屋构造和施工技术课程。

1.3.2 课程特点和学习时应注意的几个问题

指出课程的特点,主要是为了能按照课程自身的规律进行学习,注意学习方法,以便更快地适应和掌握本门课程。

一、钢筋混凝土构件是由两种力学性能不相同的材料组成的构件

“钢筋混凝土结构”和材料力学一样,都是研究构件受力时强度和变形规律的学科,内容是类似的,材料力学中解决问题的方法,在“钢筋混凝土结构”中亦可同样适用,故可认为“钢筋混凝土结构”在性质上相当于“钢筋混凝土的材料力学”。因此,学习本课程时,应注意随时与材料力学进行联系对比。

但材料力学研究的对象是“单一、匀质、连续、弹性”材料的构件,而钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种力学性能不相同的材料所组成,混凝土又是“非匀质、非连续、非弹性”的材料。材料性能的不同将导致结构性能的差异,材料性能的复杂性将带来结构受力性能的复杂性和解决问题的困难程度。因此,在与材料力学的对比学习中,特别要注意找出它们之间存在着差异。

例如钢筋混凝土构件是由两种材料结合在一起共同工作的,因而就存在着两者间相互协调、相互制约的问题;就有两种材料在数量上和强度上合理搭配的问题。配筋率(构件截面上钢筋截面面积与混凝土截面面积的比值)的多少不仅影响构件截面的承载能力,还影响到构件的受力性能和破坏形态,故在进行构件计算时,还要注意其配筋限制条件。与单一材料构件计算相比,这是混凝土构件计算中的一个特殊问题,也是一个重要而基本的问题。

又如材料力学在研究梁的变形问题时,抗弯刚度是一个常数,而混凝土梁在使用阶段,一般都是带裂缝工作的,开裂后梁的抗弯刚度就不是一个常数,随荷载大小而变化,并随时间增长而降低,因此,解决钢筋混凝土梁的刚度问题远比单一弹性材料梁复杂得多。

举出这些例子是希望在与材料力学的对比学习中更多地注意其差别,以加深对钢筋混凝土结构特点的理解,更好地掌握课程的内容。

二、重视试验研究在建立钢筋混凝土结构计算理论和计算方法中的作用

对任何一门学科,实验和实践都是建立和检验理论的基础。混凝土结构由于材料的复杂性,至今尚缺乏完整系统的强度和变形理论,因此,混凝土结构比其它学科在更大程度上需要依靠试验研究。混凝土构件的计算理论和计算方法都离不开大量的试验研究和对试验结果的分析,随着电子计算机的运用可以减少试验数量,但不能完全代替真实的结构试验。

根据当前混凝土学科理论发展的水平,结构构件计算的很多公式都是半理论半经验的公式,还有一些公式至今仍沿用直接依靠试验结果的经验公式。混凝土构件计算中完全由理论推导的计算公式是极少的。

由于试验的局限性,所建立的计算公式都有一定的限制范围和适用条件,还有很多经验系数,所有这些都使学习时感到与数学和力学类课程有很大不同,觉得混凝土结构这门课程“概

念多、方法多、公式多、条件多、系数多”，似乎缺乏完整、系统并能解决各类受力构件计算问题的理论，进而产生“难学、难记、抓不住重点”的困难。

为了逐步克服这些困难，学习时应重视试验研究，及通过受力分析从中概括出来的受力性能和破坏机理，以及在此基础上提出的计算方法和计算模式。因为只有在深入理解和掌握这些客观规律的基础上，再来学习计算理论和计算方法，才会感到这些都是顺理成章的事，也才能主动地进行结构构件的设计计算。学习“钢筋混凝土结构”，要特别注意对基本概念和基本原理的理解，不要死记硬背公式。

三、本课程要解决的不仅是力学计算问题，还是一个设计问题

材料力学和结构力学等课程侧重于应力、应变、强度和变形的分析，主要解决的是一个计算问题。“钢筋混凝土结构”不仅要解决结构构件强度和变形的计算问题，还要解决设计问题。

结构构件的设计包括诸如确定截面形状和尺寸、选择材料和施工方法、计算钢筋用量及配筋构造等一系列内容。设计还要正确处理安全和经济的矛盾，满足预定功能的要求，因此是一个综合性的问题。力学的解答往往是唯一的，虽然解题的方法和途径可以是各式各样的，但钢筋混凝土结构构件设计计算的解答却往往是多种多样的。例如在给定荷载作用下，设计一个钢筋混凝土构件就可能面临多种选择：不同的截面形状和尺寸、不同品种的材料和强度等级、不同的配筋方式和不同的配筋数量等，我们只能经过全面考虑、综合分析，从中找出符合实际情况的较优解。

通过本课程的学习，应有意识地培养自己全面综合分析和解决问题的能力。

设计结构构件时还应十分重视配筋构造。构造措施是长期工程实践经验的积累，是试验研究和理论分析的成果，它不仅是对计算的必要补充，有时还通过一些简便的构造措施来代替计算。设计结构构件时，计算和构造都是很重要的，要避免重计算轻构造的倾向。实际工程中，由于构造措施不当造成事故的实例是屡见不鲜的。学习构造措施亦应理解其作用和实质，通过反复应用加以掌握。

工程实践和施工知识不论对设计工作还是对本门课程的学习都是十分重要的，因此除按计划参加生产实习和参观外，还应随时有意识地观察和了解附近在建工程的施工方法、结构布置和配筋构造等实践知识。

四、熟悉、理解和运用设计规范

结构设计规范是国家颁布的具有法律性的文件，是进行结构设计计算和构造要求的技术规定和技术标准，是设计人员进行设计时必须遵守的准则，也是设计校核和审核的依据。

应用规范的目的是贯彻国家的技术经济政策，保证设计质量，达到设计方法必要的统一性和标准化。

本门课程内容与我国现行的《规范》密切关联，学习课程时要联系规范，逐步熟悉，学会运用，以便走上工作岗位后能尽快地适应工作。

学习规范和学习课程一样，重在正确理解规范条文的内容和实质，了解有关背景材料，切忌死记硬背公式和盲目套用规范条文，只有这样，才能在设计工作中发挥主动性、灵活性和创造性，提高设计质量。

要从发展的观点看待规范，随着科学研究的深入和工程实践经验的积累，规范将不断进行修订和补充，以吸收最新科学技术成果，不断完善和提高规范的内容和质量。著名预应力混凝土

土结构专家林同炎在他的专著《预应力混凝土结构设计》一书的扉页曾有一句名言,即把该书“献给不盲从规范而寻求利用自然规律的工程师”。

除《规范》外,本课程还与另外一些规范有关,如《统一标准》、《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87)、《混凝土结构工程施工及验收规范》(GB50204—92)(以下简称《施工规范》)等。