



全国高等院校土建类专业实用型规划教材

混凝土结构基本原理

HUNNINGTU JIEGOU JIBEN YUANLI

陈长冰 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

全国高等院校土建类专业实用型规划教材

混凝土结构基本原理

主 编	陈长冰		
副主编	黎生南	郭光玲	
参 编	王小梅	袁继峰	秦凤艳
主 审	柳炳康		



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书是根据全国高等院校土木工程专业指导委员会对土木工程专业学生的基本要求和审定的教学大纲并参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)编写而成。全书分为11章,内容包括:绪论,混凝土结构材料的力学性能,混凝土结构基本计算原则,受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件和预应力混凝土构件的受力性能、承载力计算方法及构造措施,钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性,公路桥涵工程混凝土结构设计原理简介。本书对混凝土结构构件的性能及分析论述充分,基本概念清楚,突出应用,有明确的计算方法和详细的设计步骤,有相当数量的计算例题。每章包括思考题和习题等内容,便于自学理解。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供相关专业的结构设计、施工和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构基本原理/陈长冰主编. —北京:中国电力出版社,2010.7
全国高等院校土建类专业实用型规划教材
ISBN 978-7-5123-0454-3

I. ①混… II. ①陈… III. ①混凝土结构—高等学校—教材 IV. ①TU37
中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第088830号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑:未翠霞 关童 电话:010-58383312

责任印制:甄苗 责任校对:李楠

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2010年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·19.25印张·470千字

定价:38.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话(010-88386685)

前 言

《混凝土结构基本原理》是土木工程专业重要的专业基础课，它适用于土木工程领域内所有混凝土结构的设计，如房屋建筑工程、交通土建工程、矿井建设、水利工程、港口工程等。其教学内容是土木工程专业本科学生应当具备的基础知识，为学生在校学习专业课和毕业后在本专业的其他领域继续学习提供坚实的基础。

混凝土结构是由一些基本构件所组成的，如受弯构件、受压、拉构件、受扭构件、预应力混凝土构件等。本书主要讲述混凝土结构构件的受力性能和设计计算方法，包括钢筋和混凝土材料的基本性能、混凝土结构构件以概率理论为基础的极限状态设计方法的基本原理，以及基本构件的性能分析、设计计算和构造措施等。

本课程的教学目的是：首先使学生从原理和问题的本质上去认识混凝土结构的受力和变形性能，对钢筋混凝土的基本性能有一个正确的认识，然后引导学生掌握现行设计所用的主要方法，特别是现行设计规范所推荐的方法。本书突出混凝土结构构件的受力性能分析，主要介绍房屋建筑工程和公路桥涵工程的有关规范内容。读者在掌握了基本构件的受力性能和这两类工程混凝土结构的设计原理之后，通过自学不难掌握其他工程的混凝土结构设计原理。

本书按混凝土结构构件的受力性能和特点划分章节，各章相对独立，以便根据不同的教学要求对内容进行取舍。在叙述方法上，注意到学生从数学、力学等基础课到学习专业基础课的认识规律，由浅入深，循序渐进，力求基本概念论述清楚，使读者能较容易地掌握结构构件的力学性能及理论分析方法；有明确的计算方法和实用设计步骤，力求做到能联系实际、具体应用。书中有大量的计算例题，有利于对所学内容的理解和掌握。为了便于学习，每章有思考题和习题等内容。

本书由合肥学院陈长冰任主编，长江大学黎生南、陕西理工学院郭光玲任副主编。茂名学院王小梅、南京理工大学泰州科技学院袁继峰、皖西学院秦凤艳参加了编写。具体的分工为：第1、2、11章及附录由陈长冰编写；第3、10章由黎生南编写；第4、7章由王小梅编写；第5章由袁继峰编写；第6、8章由郭光玲编写；第9章由秦凤艳编写。全书由陈长冰统稿审定，合肥工业大学柳炳康主审。

本书在编写过程中参考了有关专家、学者的著作，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，不妥之处在所难免，衷心希望广大读者批评指正，以便再版时修订完善。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.2 钢筋和混凝土共同工作的基础	3
1.3 钢筋混凝土结构的特点	3
1.4 混凝土结构的发展概况及工程应用	4
1.5 本课程的任务和特点	8
思考题	10
第 2 章 混凝土结构材料的力学性能	11
2.1 钢筋的强度与变形	11
2.2 混凝土	18
2.3 钢筋的锚固与连接	27
思考题	34
第 3 章 混凝土结构基本计算原则	35
3.1 混凝土结构设计理论的发展简史	35
3.2 结构设计的功能要求和极限状态	36
3.3 结构的可靠度和极限状态方程	39
3.4 概率极限状态设计	43
3.5 材料强度指标	49
思考题	50
习题	51
第 4 章 受弯构件正截面承载力计算	52
4.1 概述	52
4.2 受弯构件一般构造要求	53
4.3 受弯构件正截面试验研究	57
4.4 正截面受弯承载力计算原理	64
4.5 单筋矩形截面受弯承载力计算	71
4.6 双筋矩形截面梁受弯承载力计算	79
4.7 T 形截面受弯承载力计算	85
思考题	94
习题	95
第 5 章 受弯构件斜截面承载力计算	98
5.1 概述	98

5.2	受弯构件斜截面的受力特点与破坏形态	98
5.3	影响受弯构件斜截面受剪承载力的主要因素	103
5.4	斜截面受剪承载力的计算公式与适用范围	105
5.5	斜截面受剪承载力计算的方法和步骤	110
5.6	保证斜截面受弯承载力	118
5.7	受弯构件中钢筋的构造要求	122
	思考题	124
	习题	125
第6章	受压构件截面承载力计算	127
6.1	概述	127
6.2	受压构件的构造要求	128
6.3	轴心受压构件正截面承载力计算	130
6.4	偏心受压构件正截面承载力计算	135
6.5	I形截面偏心受压构件承载力计算	153
6.6	正截面承载力 N_u-M_u 相关曲线及其应用	154
6.7	双向偏心受压构件正截面承载力计算	156
6.8	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	156
	思考题	157
	习题	158
第7章	受拉构件承载力计算	159
7.1	概述	159
7.2	轴心受拉构件正截面承载力计算	160
7.3	偏心受拉构件正截面承载力计算	161
7.4	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	164
	思考题	165
	习题	165
第8章	受扭构件承载力计算	166
8.1	概述	166
8.2	纯扭构件的试验研究	167
8.3	矩形截面受扭承载力计算	169
8.4	弯剪扭构件承载力计算	176
8.5	受扭构件的配筋构造要求	184
	思考题	184
	习题	184
第9章	钢筋混凝土构件的变形、裂缝验算及延性、耐久性	186
9.1	概述	186
9.2	钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	187
9.3	钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	197

9.4	钢筋混凝土构件的截面延性	206
9.5	混凝土结构的耐久性	209
	思考题	214
	习题	214
第 10 章	预应力混凝土构件	216
10.1	预应力混凝土结构原理及计算规定	216
10.2	预应力混凝土的分类	219
10.3	预应力混凝土的材料	222
10.4	预应力混凝土构件的夹具和锚具	224
10.5	预应力混凝土结构计算的基本原则	228
10.6	预应力混凝土的构造要求	240
10.7	预应力混凝土轴心受拉构件计算	243
	思考题	260
第 11 章	公路桥涵工程混凝土结构设计原理简介	261
11.1	概率极限状态设计法在公路桥涵工程中的应用	261
11.2	受弯构件正截面与斜截面强度的计算	265
11.3	受扭构件承载力计算	270
11.4	受压构件正截面强度计算	272
11.5	裂缝宽度与变形验算	275
	思考题	277
	习题	277
附录	278
附录 1	混凝土强度标准值、设计值和弹性模量	278
附录 2	钢筋强度标准值、设计值和弹性模量	278
附录 3	构件变形及裂缝限值	280
附录 4	受弯构件正截面承载力计算用 ξ 和 γ_s 表	281
附录 5	截面抵抗塑性影响系数基本值 γ_m	284
附录 6	单跨梁板的计算跨度 l_0	284
附录 7	混凝土保护层	285
附录 8	钢筋的锚固与连接	285
附录 9	纵向受力钢筋的最小配筋百分率	289
附录 10	公路桥涵工程附表	289
附录 11	钢筋的公称截面面积、计算截面面积及理论重量	295
附录 12	民用建筑楼面均布活荷载的标准值及其组合值、频遇值和永久值系数	297
参考文献	299

第 1 章

绪 论

本章主要讲述混凝土结构的一般概念，重点阐述性质不同的两种材料（钢筋和混凝土）能够结合在一起共同工作的可能性和有效性以及混凝土结构的特点；简要地介绍钢筋混凝土结构在工程中的应用、发展前景，并对混凝土结构课程的特点及学习方法提出建议。

1.1 混凝土结构的基本概念

混凝土，一般是指由胶凝材料（如水泥），粗、细骨料（如石子、砂粒），水及其他材料，按适当比例配制，拌和并硬化而成的具有所需形体、强度和耐久性的人造石材，也被形象地称为“砼”。

混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构（图 1-1）；钢筋混凝土结构是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构（图 1-2）；预应力混凝土结构是充分利用高强度材料来改善钢筋混凝土结构的抗裂性能，由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构（图 1-3）。

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构常用作土木工程中的主要承重结构。在多数情况下，通常所说的混凝土结构就是指钢筋混凝土结构。

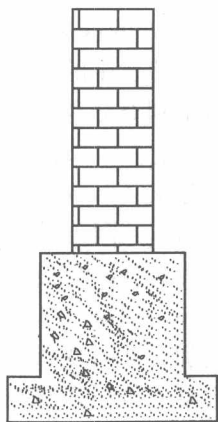


图 1-1 素混凝土基础

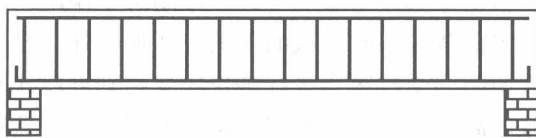


图 1-2 钢筋混凝土梁

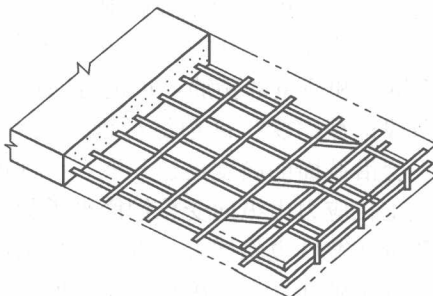


图 1-3 预应力混凝土楼板

钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料。钢筋的抗拉和抗压强度都很高，破坏时表现出良好的变形能力。但细长的钢筋受压时极易失稳，强度得不到充分发挥，仅能作为受拉构件，同时钢筋的防锈能力差，价格较高；混凝土的抗压强度高而抗拉强度很低，一般抗拉强度只有抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$ ，受拉破坏时具有明显的脆性性质，破坏前无预兆，这就使得素混凝土结构仅能用于以受压为主的基础、柱墩和一些非承重结构，很少用作主要受力构件。但如果将钢筋和混凝土这两种材料按照合理的方式有机地结合在一起共同工作，可以取长补短，使钢筋主要承受拉力，混凝土主要承受压力，充分发挥这两种材料的特性，并使得结构具有良好的变形能力。素混凝土与钢筋混凝土梁的破坏情况对比如图 1-4 所示。

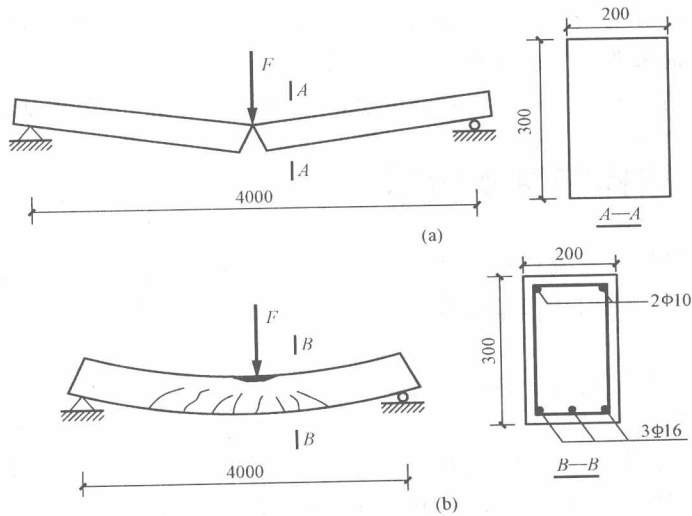


图 1-4 素混凝土与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

图 1-4 (a) 为一根未配置钢筋的素混凝土简支梁，跨度 4m，截面尺寸 $bh = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，混凝土强度等级为 C20，梁的跨中作用一个集中荷载 F 。对其进行破坏性试验，结果表明，当荷载较小时，截面上的应变如同弹性材料的梁一样，沿截面高度呈直线分布；当荷载增大使截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土抗拉极限应变时，该处的混凝土被拉裂，裂缝沿截面高度方向迅速开展，试件随即发生断裂破坏。这种破坏是突然发生的，没有明显的预兆。尽管混凝土的抗压强度比其抗拉强度高几倍或十几倍，但得不到充分利用，因为该试件的破坏是由混凝土的抗拉强度控制，破坏荷载值很小，只有 8kN 左右。如果在该梁的受拉区布置三根直径为 16mm 的 HPB335 级钢筋（记作 $3\Phi 16$ ），并在受压区布置两根直径为 10mm 的架立钢筋和适量的箍筋，再进行同样的荷载试验 [图 1-4 (b)]，则可以看到，当加载到一定阶段即截面受拉区边缘纤维拉应力达到混凝土抗拉极限强度时，混凝土虽被拉裂，但裂缝不会沿截面的高度迅速开展，试件也不会随即发生断裂破坏。混凝土开裂后，裂缝截面的混凝土拉应力由纵向受拉钢筋来承受，故荷载还可进一步增加。此时变形将相应发展，裂缝的数量和宽度也将增大，直到受拉钢筋抗拉强度和受压区混凝土抗压强度被充分利用时，试件才发生破坏。试件破坏前，变形和裂缝都发展得很充分，呈现出明显的破坏预兆。虽然试件中纵向受力钢筋的截面面积只占整个截面面积的 1% 左右，但破坏荷载却可以提高到

36kN左右。因此，在混凝土结构中配置一定型式和数量的钢筋，可以收到下列效果：

- (1) 结构的承载能力有很大的提高。
- (2) 结构的受力性能得到显著的改善。

承受压力的受压构件——柱（图1-5），通常也配置钢筋，以协助混凝土承受压力，以达到减小柱的截面尺寸、改善柱的受力性能、提高柱的承载能力、增加柱的延性的目的。

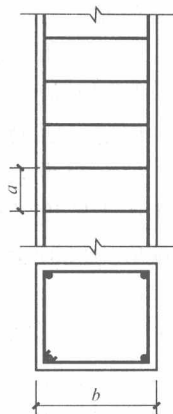


图1-5 柱的受力分析

1.2 钢筋和混凝土共同工作的基础

钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能很不相同，但能够共同工作，其主要原因是：

(1) 钢筋与混凝土之间存在有良好的粘结力，能牢固地形成整体，保证在荷载作用下，钢筋和外围混凝土能够协调变形，共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近。钢材为 1.2×10^{-5} ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ ，因此当温度变化时，两者之间不会产生过大的相对变形导致它们之间的粘结力破坏。

(3) 防止钢筋锈蚀。暴露在空气介质中的钢材，由于受空气中酸性介质的影响，很容易锈蚀，而埋在混凝土中的钢筋，受到呈弱碱性的混凝土保护，只要钢筋至构件边缘间的保护层具有足够的密实度和厚度以及控制构件裂缝不致过宽，混凝土都能够起保护钢筋免受锈蚀的作用，从而保证结构具有良好的耐久性，使钢筋和混凝土长期可靠地共同工作。

1.3 钢筋混凝土结构的特点

混凝土结构与其他结构相比，主要有如下优点：

(1) 用材合理，强度高。能充分合理地利用混凝土（抗压性能好）和钢筋（抗拉性能好）两种材料的受力性能，结构的承载力与其刚度比例合适，基本无局部稳定问题。和砖、木结构相比其强度很高，在某些情况下可以代替钢结构，因而能够节约钢材。

(2) 耐久性好，维护费用低。在一般环境下，钢筋受到混凝土保护而不易发生锈蚀，而混凝土的强度随着时间的增长还有所提高，因而提高了结构的耐久性，不像钢结构那样需要经常的维修和保养。对处于侵蚀性气体或海水浸泡环境中的钢筋混凝土结构，经过合理地设计及采取特殊的防护措施，一般也可以满足工程需要。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体，遭受火灾时，钢筋混凝土结构不会像木结构那样被燃烧，钢筋因有混凝土包裹而不至于很快升温到失去承载力的程度，这是钢、木结构所不能比拟的。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要支模浇筑成各种形状和尺寸的结构，适用于建造形状复杂的结构及空间薄壁结构，这一特点是砌体、钢、木等结构所不具备的。

(5) 整体性好。现浇混凝土结构的整体性好，再通过合适的配筋，可获得较好的延性，有利于抗震、防爆；同时防辐射性能好，适用于防护结构；刚度大、阻尼大，有利于结构的

变形控制。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的大量砂、石，产地普遍，易于就地取材。另外，还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

但是，混凝土结构也存在一些缺点，主要有：

(1) 自重大。钢筋混凝土的重力密度约为 25kN/m^3 ，比砌体和木材的重度都大。这对于建造大跨度结构和高层建筑结构是不利的。因此需要开发和研究轻质混凝土、高强混凝土和预应力混凝土。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度较低，在正常使用时钢筋混凝土结构往往是带裂缝工作的，裂缝存在会降低抗渗和抗冻能力，影响使用性能。在工作条件较差的环境，如露天、沿海、化学侵蚀，会导致钢筋锈蚀，影响结构物的耐久性。采用预应力混凝土可较好地解决开裂问题，利用树脂涂层钢筋可防止因混凝土开裂而导致的钢筋锈蚀。

(3) 施工比较复杂，工序多，施工时间长。需要支模、绑钢筋、浇筑、养护、拆模，工期长，施工受季节、天气的影响较大。现浇钢筋混凝土使用模板多，模板材料耗用量大。

(4) 新旧混凝土不易形成整体。混凝土结构一旦破坏，修补和加固比较困难。

1.4 混凝土结构的发展概况及工程应用

混凝土结构从 19 世纪中叶开始采用。与砖石结构、木结构和钢结构相比，混凝土结构的历史并不长，但发展极为迅速，已成为世界各国现代土木工程建设中应用最广泛的结构之一。为了克服混凝土结构的缺点，发挥其优势，以适应社会建设不断发展的需要，对混凝土结构的材料制造与施工技术、结构型式、结构设计计算理论等方面的研究也在不断的发展。

1.4.1 材料方面的发展

1. 混凝土材料

具有高强度、高工作性和高耐久性的高性能混凝土是混凝土的主要发展方向之一。早期混凝土的强度都比较低，较高强度的混凝土又比较干硬而难以成形。20 世纪 50 年代以来，高强混凝土的发展，促进了混凝土结构在超高层建筑中的应用。1976 年建成的美国芝加哥水塔广场大厦达 74 层，高 262m。朝鲜平壤的柳京大厦，105 层，高 305m，也是混凝土结构。美国、俄罗斯等国在高层建筑中采用的混凝土，强度已达 C80~C100。美国西雅图市的 Two Union Square 大厦（58 层）60% 的竖向荷载由中央四根直径为 10inch（3.05m）的钢筋混凝土柱承受，钢筋内填充的混凝土强度等级达 C135。

具有自身诊断、自身控制、自身修复等功能的机敏型高性能混凝土，得到越来越多的研究和重视。例如，自密实混凝土，可不需机械振捣，而是依靠自身的重量达到密实。自密实混凝土具有高工作性，质量均匀、耐久，钢筋布置较密或构件体型复杂时也易于浇筑，施工速度快，使无噪声混凝土施工成为现实，从而实现了文明施工。再如，内养护混凝土，采用部分吸水预湿轻骨料在混凝土内部形成蓄水器，保持混凝土得到持续的内部潮湿养护，与外部潮湿养护相结合，可使混凝土的自生收缩大为降低，减少了微细裂缝。

利用天然轻集料 [如浮石（图 1-6）、凝灰石等]、工业废料轻集料（如炉渣、粉煤灰陶

粒、自燃煤矸石及其轻砂)、人造轻集料(如页岩陶粒、粘土陶粒、膨胀珍珠岩等)制成的轻集料混凝土,以及加气混凝土砌块(图1-7)等,具有重度小(重度仅为 $14\sim 18\text{kN/m}^3$,自重减少 $20\%\sim 30\%$)、相对强度高等特点,同时具有优良的保温和抗冻性能。天然轻集料及工业废料轻集料还具有节约能源、减少堆积废料占用土地、减少厂区或城市污染、保护环境等优点。承重的人造轻集料混凝土,由于弹性模量低于同等级的普通混凝土,吸收冲击能量快,能有效减小地震作用,节约材料、降低造价。

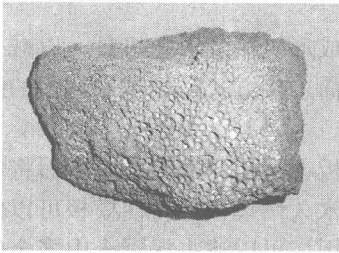


图1-6 浮石

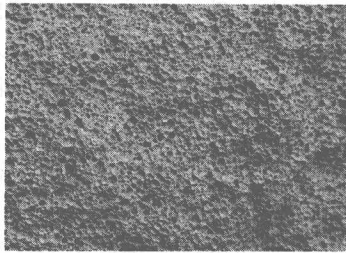


图1-7 加气混凝土砌块的多孔结构

再生骨料混凝土的研究和利用是解决城市改造与拆除重建建筑废料、减少环境建筑垃圾、变废为宝的途径之一。将拆除建筑物的废料如混凝土、砖块经破碎后得到的再生粗骨料,清洗以后可以代替全部或部分石子配制混凝土,其强度、变形性能视再生粗骨料代替石子的比率有所不同。

用于大体积混凝土结构(如水工大坝、大型基础)、公路路面与厂房地面的碾压混凝土,其浇筑过程采用先进的机械化施工,浇筑工期可大为缩短,并能节约大量材料,从而获得较高的经济效益。

为了改善混凝土的抗拉性能差、延性差等缺点,在混凝土中掺加纤维以改善混凝土性能的研究发展得相当迅速。目前研究较多的有钢纤维、耐碱玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维混凝土等。在承重结构中,发展较快、应用较广的是钢纤维混凝土。钢纤维混凝土采用常规施工技术,其纤维掺量一般为混凝土体积的 $0.6\%\sim 2.0\%$ 。当纤维掺量在 $1.0\%\sim 2.0\%$ 时,与基体混凝土相比,钢纤维混凝土的抗拉强度可提高 $40\%\sim 80\%$;抗弯拉强度可提高 $50\%\sim 120\%$;抗压强度提高较小,在 $0\sim 25\%$;弹性阶段的变形与基体混凝土性能相比没有显著差别,但可大幅度提高衡量钢纤维混凝土塑性变形性能的韧性。为了提高纤维对混凝土的增强效果,先撒布钢纤维再渗浇砂浆或细石混凝土的技术已在公路钢纤维混凝土路面中得到应用。

其他各种特殊性能混凝土,如聚合物混凝土、耐腐蚀混凝土、微膨胀混凝土和水中不分散混凝土等的应用,可提高混凝土的抗裂性、耐磨性、抗渗和抗冻能力等,对混凝土的耐久性十分有利。

另外,品种繁多的外加剂也在工程上得到应用,对改善混凝土的性能起着很大的作用。各种混凝土细掺料如硅粉、磨细矿渣、粉煤灰等的回收利用,不仅改善了混凝土的性能,而且减少了环境污染,具有很好的技术经济效益和社会效益。

2. 配筋材料

钢筋的发展方向是高强、防腐、较好的延性和良好的粘结锚固性能。我国用于普通混凝

土结构的钢筋强度已达 $500\text{N}/\text{mm}^2$ ，预应力构件中已采用强度为 $1960\text{N}/\text{mm}^2$ 的钢绞线。为了提高钢筋的防腐性能，带有环氧树脂涂层的热轧钢筋和钢绞线已开始在某些有特殊防腐要求的工程中应用。

采用纤维筋代替钢筋的研究也得到较大进展，常用的树脂粘结纤维筋有碳纤维筋、玻璃纤维筋和芳纶纤维筋。这几种纤维筋的突出优点是抗腐蚀、强度高，同时还具有良好的抗疲劳性能、大的弹性变形能力、高电阻及低磁导性，缺点是断裂应变性能较差、较脆、徐变值和热膨胀系数较大，玻璃纤维筋的抗碱化性能较差。

在钢筋的连接成形方面，正在大力发展各种钢筋成形机械及绑扎机具，以减少大量的手工操作。除了常用的绑扎搭接、焊接连接方式外，套筒连接方式得到越来越多的推广应用。

3. 模板材料

模板材料除了目前使用的木模板、钢模板、竹模板、硬塑料模板外，今后将向多功能发展。发展薄片、美观、廉价又能与混凝土牢固结合的永久性模板，将使模板可以作为结构的一部分参与受力，还可省去装修工序。透水模板的使用，可以滤去混凝土中多余的水分，大大提高混凝土的密实性和耐久性。

1.4.2 结构和施工方面的发展

混凝土结构在土木工程各个领域得到了广泛的应用，目前混凝土结构的跨度和高度都在不断地增大。在城市建筑中，上海市的金贸大厦（图 1-8），建筑总高度为 420.5m，主楼地上 88 层、地下 3 层，为框筒结构体系，核心筒为现浇钢筋混凝土，外框为钢结构与混凝土结构复合成巨型框架，混凝土施工采用超高层泵送商品混凝土技术，C40 级混凝土一次泵送高度 382.5m，C50 级混凝土一次泵送高度 264.9m，C60 级混凝土一次泵送高度 229.7m。在桥梁工程中，武汉长江二桥（图 1-9），全桥总长 4678m，正桥 1877m，主跨 400m，桥面宽度 26.5~33.5m，桥下通航净空为 24m，系双塔双索面自锚式悬浮体系的预应力钢筋混凝土斜拉桥。其主跨度和桥面宽度在亚洲及国内已建成的同类型桥梁中位居第一；作为斜拉桥的主跨跨度，在世界已建成的同类型桥梁中也名列前茅。在水利工程中，世界上最高的钢筋混凝土拱坝——格鲁吉亚的英古力坝，高 272m；我国的混凝土拱坝——雅砻江二滩双曲拱坝（图 1-10），高 240m。在特种结构中，上海电视塔主体为混凝土结构，高 415.2m，是我国目前最高的电视塔（图 1-11）。

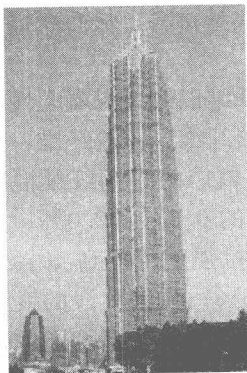


图 1-8 金贸大厦

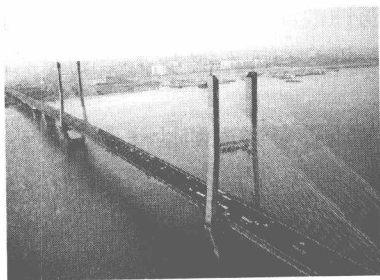


图 1-9 武汉长江二桥

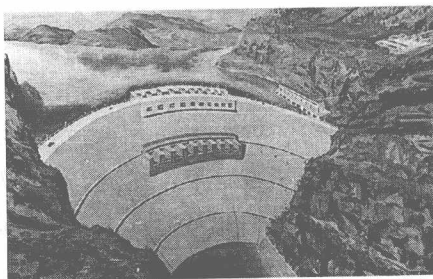


图 1-10 二滩双曲拱坝

近年来, 钢板与混凝土或钢板与钢筋混凝土、型钢与混凝土组成的钢—混凝土组合结构得到迅速发展应用, 如钢板混凝土用于地下结构和混凝土结构加固、压型钢板—混凝土板用于楼板、型钢与混凝土组合而成的组合梁用于楼盖和桥梁、外包钢混凝土柱用于电站主厂房等。以型钢或以型钢和钢筋焊成的骨架做筋材的钢骨混凝土结构, 由于其筋材刚度大, 施工时可用其来支撑模板和混凝土自重, 可以简化支模工作。在房屋建筑工程中, 世界上最高的混凝土高层建筑——马来西亚吉隆坡 City Center 的双塔大厦 (图 1-12) 为钢骨混凝土结构, 高 450m。



图 1-11 上海电视塔



图 1-12 亚吉隆坡双塔大厦

在钢管内浇筑混凝土形成的钢管混凝土结构, 由于管内混凝土在纵向压力作用下处于三向受压状态并抑制钢管的局部失稳, 因而使构件的承载力和变形能力大大提高; 由于钢管可兼作混凝土的模板, 施工速度较快。因此, 在高层建筑结构的底层和拱桥等工程中得到了逐步推广应用。

例如, 我国四川涪陵乌江桥 (图 1-13) 就是一座跨度非常大的钢管拱桥, 主跨达 200m。

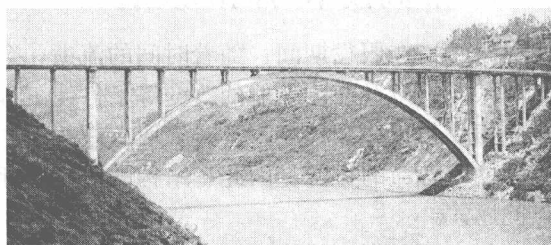


图 1-13 涪陵乌江桥

这些高性能新型组合结构具有充分利用材料强度、较好的适应变形能力 (延性)、施工较简单等特点, 从而大大拓宽了钢筋混凝土结构的应用范围, 使得大跨度结构、高层建筑、高耸结构和具备某种特殊功能的钢筋混凝土结构的建造成为可能。

预应力混凝土结构由于抗裂性能好, 可充分利用高强度材料, 各种应用发展迅速。同时结合传统预应力工艺和实际结构特点, 发展了以增强后张预应力孔道灌浆密实性为目的的真空辅助灌浆技术、以减小张拉力减轻张拉设备为目的的横张预应力技术、以实现筒形断面结构环向预应力为目的的环形后张预应力技术、以减小结构建筑高度为目的的预拉预压双预应力技术等。在高耸结构与特种结构中, 世界上最高的预应力混凝土电视塔为加拿大多伦多电视塔, 高达 549m; 某些有特殊要求的结构, 例如, 核电站安全壳和压力容器、海上采油平

台、大型蓄水池、贮气罐及贮油罐等结构，抗裂及抗腐蚀能力要求较高，采用预应力混凝土结构有其独特的优越性，而非其他材料可比拟。

将预应力钢筋（索）布置在混凝土结构体外的预应力技术，因大幅度减小预应力损失，简化结构截面形状和减小截面尺寸，便于再次张拉、锚固、更换或增添新索，已在桥梁工程的修建、补强加固及其他建筑结构的补强加固中得到应用。

1.4.3 设计计算理论方面的发展

从把材料看作弹性体的容许应力古典理论（结构内力和构件截面计算均套用弹性理论，采用容许应力设计方法），发展为考虑材料塑性的极限强度理论，并迅速发展成按极限状态设计的理论体系。目前在工程结构设计规范中已采用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论。

混凝土的微观断裂和内部损伤机理、混凝土的强度理论及非线性变形的计算理论、钢筋与混凝土间粘结——滑移理论等方面也有很大进展。钢筋混凝土有限元方法和现代测试技术的应用，使得混凝土结构的计算理论和设计方法向更高的阶段发展，并日趋完善。结构分析可以根据结构类型、构件布置、材料性能和受力特点选用线弹性分析方法、考虑塑性内力重分布的分析方法、塑性极限分析方法、非线性分析方法和实验分析方法等。

在混凝土结构耐久性设计方面，已建立了相关的材料性能劣化计算模型进行结构使用年限的定量计算，并基于混凝土在环境作用（碳化、氯盐、冻蚀、酸腐蚀）下的损伤机理，提出了结构设计应采取的防护措施。

1.4.4 加固技术方面的发展

建筑结构在服役期间，随着时间的流逝，会因劣化、损伤造成使用功能下降，或因技术条件的限制，以及使用功能的改变等条件使工程无法正常的使用。如果能够科学地分析这种劣化、损伤的规律和程度，及时采取有效的处理措施，就可以延缓结构的损伤过程，达到延长结构使用寿命的目的。因此，结构的可靠性评估方法及加固技术已逐渐成为工程界关注的热点问题。

近年来，混凝土结构的加固技术得到重视和发展，在加固工作程序、补强加固方法、加固材料、裂缝修补方法等方面基本形成了比较成熟的设计体系。碳纤维布等片材粘贴加固混凝土结构技术的应用，使混凝土结构的加固不仅快速简便，而且不增加原结构质量，施工时对使用影响也很小。

总之，随着科学技术的发展和对混凝土结构研究的深入，混凝土结构的缺点正在得到克服和改善，混凝土结构在土木工程领域将得到更为广泛的应用，发展前景更加广阔。

1.5 本课程的任务和特点

本课程是土木工程专业重要的专业基础理论课程。学习本课程的主要目的和任务是：掌握钢筋混凝土及预应力混凝土结构构件设计计算的基本理论和构造知识，为学习有关专业课程和顺利地从事混凝土建筑物的结构设计和研究奠定基础。

学习本课程需要注意以下特点:

1. 本课程是研究钢筋混凝土材料的力学理论课程

由于钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料组成的复合材料,钢筋混凝土的力学特性及强度理论较为复杂,难以用力学模型和数学模型来严谨的推导建立。因此,目前钢筋混凝土结构的计算公式常常是经大量试验研究结合理论分析建立起来半理论半经验公式。学习时应注意每一理论的适用范围和条件,而且能在实际工程设计中正确运用这些理论和公式。这就使得本课程与研究单一弹性材料的《材料力学》课程就有很大的不同,在学习时应注意它们之间的异同点,体会并灵活运用《材料力学》课程中分析问题的基本原理和基本思路,即由材料的物理关系、变形的几何关系和受力的平衡关系建立的理论分析方法,对学好本课程是十分有益的。

2. 钢筋和混凝土两种材料的力学性能及两种材料间的相互作用

结构构件的基本受力性能主要取决于钢筋和混凝土两种材料的力学性能及两种材料间的相互作用,因此掌握这两种材料的力学性能和它们之间的相互作用至关重要。同时,两种材料在数量上和强度上的比例关系,会引起结构构件受力性能的改变,当两者的比例关系超过一定界限时,受力性能会有显著的差别,这也是钢筋混凝土结构的特点,几乎所有受力形态都有钢筋和混凝土的比例界限,在课程学习过程中应予以重视。

3. 配筋及其构造知识和构造规定具有重要地位

在不同的结构和构件中,钢筋的位置及形式各不相同,钢筋和混凝土不是任意结合的,而是根据结构和构件的形式和受力特点,主要在其受拉部位(有时也在受压部位)布置。构造是结构设计不可缺少的内容,与计算是同样重要的,有时甚至是计算方法是否成立的前提条件。因此,要充分重视对构造知识的学习。在学习过程中不必死记硬背构造的具体规定,但应注意弄清其中的道理,通过平时的作业和课程设计逐步掌握。

4. 学会运用设计规范至关重要

为了贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一化、标准化,国家各部委制定了适用于各工程领域的混凝土结构设计规范,对混凝土结构构件的设计方法和构造细节都作了具体规定。规范反映了国内外混凝土结构的研究成果和工程经验,是理论与实践的高度总结,体现了该学科在一个时期的技术水平。对于规范特别是其规定的强制性条文,设计人员一定要遵循,并能熟练应用。由于土木工程建设领域广泛,不同领域的混凝土结构设计有不同的设计规范(或规程)。因此,本课程注重于各规范相通的混凝土结构的基本理论,涉及的具体设计方法以国家标准为主线,主要有《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)和《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。

由于科学技术水平和生产实践经验是在不断发展的,设计规范也必然要不断进行修订和补充。因此,要用发展的眼光来看待设计规范,在学习和掌握钢筋混凝土结构理论和设计方法的同时,要善于观察和分析,不断进行探索和创新。由于设计工作是一项创造性工作,在遇到超出规范规定范围的工程技术问题时,不应被规范束缚,而需要充分发挥主动性和创造性,经过试验研究和理论分析等可靠性论证后,积极采用先进的理论和技术。因此既要有工程师对问题的基本把握和判断,又要有科学家对问题从理论上去解决。

5. 学习本课程的目的能够进行混凝土结构的设计

结构设计是一个综合性的问题,包含了结构方案、材料选择、截面形式选择、配筋计算和构造等,需要考虑安全、适用、经济和施工的可行性等各方面的因素。同一构件在给定荷载作用下,可以有不同的截面,需经过分析比较,才能作出合理的选择。因此,要搞好工程结构设计,除了形式、尺寸、配筋数量等多种选择,往往需要结合具体情况进行适用性、材料用量、造价、施工等项指标的综合分析,以获得良好的技术经济效益。

思 考 题

- 1-1 什么是混凝土结构?
- 1-2 什么是素混凝土结构?
- 1-3 什么是钢筋混凝土结构?
- 1-4 什么是型钢混凝土结构?
- 1-5 什么是预应力混凝土结构?
- 1-6 在素混凝土结构中配置一定型式和数量的钢材以后,结构的性能将发生什么样的变化?
- 1-7 钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料,它们为什么能结合在一起共同工作?
- 1-8 钢筋混凝土结构有哪些主要优点?
- 1-9 钢筋混凝土结构有哪些主要缺点?
- 1-10 人们正在采取哪些措施来克服钢筋混凝土结构的主要缺点?
- 1-11 混凝土结构是何时开始出现的?
- 1-12 近 30 年来,混凝土结构有哪些发展?