



普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

水工结构计算基础

主 编 刘建明 曾凌云
副主编 张 磊 夏春兰 尹清杰
何 飞 左雅楠 曾云峰
主 审 牛 斌



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

水工结构计算基础

主 编 刘建明 曾凌云

副主编 张 磊 夏春兰 尹清杰

何 飞 左雅楠 曾云峰

主 审 牛 斌



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为高职水利水电建筑工程专业核心课程使用教材,根据2011年中央1号文件精神及我国现代高职教育特点,将原《水工钢筋混凝土结构》与《水工钢结构》、《砌体结构》有机整合而成,是根据《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)等最新规范编写的一本满足项目化教学要求的精简、适用、通用性教材。

本书结合本专业的培养目标和基本要求,以项目化教学为主线,加强针对性,突出应用性和实用性;注重体现实际工程概念和结构构造要求,通过工程应用的实例加深对结构设计原理和构造的理解。本书针对性强,可作为水工专业学习教学用书,也可作为高职工程类其他相关专业教学用书,也可供其他工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工结构计算基础 / 刘建明, 曾凌云主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014.9

普通高等教育“十二五”规划教材. 示范院校重点建设专业系列教材

ISBN 978-7-5170-2585-6

I. ①水… II. ①刘… ②曾… III. ①水工结构—结构计算—高等职业教育—教材 IV. ①TV314

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第228379号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 示范院校重点建设专业系列教材 水工结构计算基础
作 者	主 编 刘建明 曾凌云 副主编 张磊 夏春兰 尹清杰 何飞 左雅楠 曾云峰 主 审 牛斌
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.75印张 445千字
版 次	2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	39.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书为高职水利水电建筑工程专业核心课程使用教材，根据 2011 年中央 1 号文件精神及我国现代高职教育特点，将原《水工钢筋混凝土结构》与《水工钢结构》、《砌体结构》有机整合而成，根据《水工混凝土结构设计规范》（SL 191—2008）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）等最新规范编写的一本满足项目化教学要求的精简、适用、通用性教材。

本书结合本专业的培养目标和基本要求，以项目化教学为主线，加强针对性，突出应用性和实用性；注重体现实际工程概念和结构构造要求，通过工程应用的实例加深对结构设计原理和构造的理解。

本书由四川水利职业技术学院与中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司共同编写。四川水利职业技术学院刘建明、曾凌云担任主编，张磊、夏春兰、尹清杰、何飞、左雅楠、曾云峰担任副主编，四川水利职业技术学院田明武统审书稿，中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司牛斌担任主审。

本书在编写过程中，四川水利职业技术学院水工专业教学团队其他老师也提出不少很好的意见和建议。本书还大量引用了有关专业文献和工程资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，难免存在错误和不足之处，恳请批评指正。

编者

2014 年 6 月

目 录

前言

项目综述	1
任务一 基本概念	1
任务二 发展简况	5
任务三 本课程的任务和特点	10
思考题	11
项目一 钢筋混凝土材料	12
任务一 钢筋	12
任务二 混凝土	19
任务三 钢筋与混凝土的黏结	29
思考题	33
项目二 结构极限状态设计表达式的应用	34
任务一 结构的功能要求和极限状态	34
任务二 结构上的作用和结构的抗力	36
任务三 水工混凝土结构设计极限状态实用设计表达式	37
思考题	39
习题	39
项目三 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	41
任务一 构造知识	41
任务二 受弯构件正截面受弯承载力的试验研究	44
任务三 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	48
任务四 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	55
任务五 T形截面受弯构件正截面承载力计算	58
思考题	64
习题	64
项目四 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	66
任务一 受弯构件斜截面受剪破坏分析	67
任务二 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	69
任务三 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	76

任务四	钢筋骨架的构造规定	79
思考题	.....	86
习题	.....	86
项目五	钢筋混凝土受压构件承载力计算	88
任务一	受压构件的构造要求	88
任务二	钢筋混凝土轴心受压构件正截面承载力计算	92
任务三	偏心受压构件的破坏特征	97
任务四	钢筋混凝土偏心受压构件正截面承载力计算	99
任务五	偏心受压构件斜截面承载力计算	104
思考题	.....	105
习题	.....	106
项目六	钢筋混凝土受拉构件承载力计算	108
任务一	轴心受拉构件	109
任务二	偏心受拉构件	109
思考题	.....	117
习题	.....	117
项目七	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	118
任务一	受扭构件的破坏形态及开裂扭矩	118
任务二	纯扭构件承载力的计算	123
任务三	矩形截面弯、剪、扭构件的承载力计算	126
思考题	.....	133
习题	.....	133
项目八	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	135
任务一	抗裂验算	135
任务二	裂缝宽度验算	141
任务三	变形验算	146
思考题	.....	149
习题	.....	149
项目九	梁式渡槽的结构设计	151
任务一	概述	151
任务二	梁式渡槽结构设计	156
思考题	.....	164
项目十	钢结构材料	165
任务一	钢结构对材料性能的要求	165
任务二	钢结构的力学性能和破坏形式	165
任务三	钢结构用钢材的分类及钢材的选用	170
思考题	.....	174

项目十一 钢结构构件	175
任务一 受拉构件	175
任务二 拉弯构件	178
任务三 受压构件	180
任务四 受弯构件	184
任务五 受弯构件扭转	193
任务六 压弯构件	198
思考题	199
习题	199
项目十二 钢结构的连接	202
任务一 钢结构连接方法	202
任务二 焊接连接的特性	203
任务三 对接焊缝的构造和计算	207
任务四 角焊缝的构造和计算	210
任务五 焊接应力和焊接变形	214
任务六 普通螺栓连接的构造和计算	218
思考题	233
习题	233
项目十三 砌体结构	236
任务一 砌体的材料与种类	236
任务二 砌体的力学性能	244
任务三 砌体构件的承载力计算	248
思考题	274
习题	274
附录	275
附录 1 混凝土强度标准值、设计值和弹性模量	275
附录 2 钢筋强度标准值、设计值和弹性模量	276
附录 3 构件变形及裂缝限值	277
附录 4 受弯构件正截面承载力计算用 ξ 和 γ_s 表	278
附录 5 截面抵抗塑性影响系数基本值 γ_m	281
附录 6 混凝土保护层	281
附录 7 钢筋的锚固与连接	282
附录 8 钢筋的公称截面面积、计算截面面积及理论重量	285
附录 9 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	287
附录 10	288
参考文献	292

项目综述

项目任务书

项目名称		项目综述	参考课时	4
学习型工作任务		任务一 基本概念		2
		任务二 发展简况		1
		任务三 课程的任务和特点		1
项目任务		让学生熟悉课程的基本概念及特点		
教学内容		(1) 钢筋混凝土结构、钢结构及砌体结构的基本概念；(2) 发展简况；(3) 课程的任务和特点		
教学目标	知识	(1) 基本概念；(2) 课程特点		
	技能	掌握基本概念		
	态度	(1) 具有刻苦学习精神；(2) 具有吃苦耐劳精神；(3) 具有敬业精神；(4) 具有团队协作精神；(5) 诚实守信		
教学实施		实例图片，图片显示各种结构构件与结构形式		
项目成果		掌握基本概念		
技术规范		《水工混凝土结构设计规范》(SL/T 191—96)；《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)；《钢结构设计规范》(GB 50017—2011)；《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)		

任务一 基本概念

目 标：(1) 掌握钢筋混凝土结构基本概念。

(2) 掌握钢结构基本概念。

(3) 熟悉砌体结构基本概念。

提交成果：基本概念课程报告。

一、混凝土结构的基本概念

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；钢筋混凝土结构是指由配置受力钢筋的混凝土制成的结构；预应力混凝土结构是指由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。

众所周知，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,充分发挥它们的材料特性,并使得结构具有良好的变形能力。因此,工程中应用最为广泛的是钢筋混凝土和预应力混凝土结构。

(1) 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,其主要原因如下。

1) 钢筋与混凝土之间存在有良好的黏结力,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 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,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黏结力破坏。

3) 钢筋至构件边缘的混凝土保护层起着防止钢筋锈蚀的作用,当混凝土保护层具有足够的密实性和厚度时,能够保证结构的耐久性,使钢筋与混凝土长期可靠地共同工作。使钢筋不容易发生锈蚀,且使其受压时不易失稳,在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。因此,在混凝土结构中,钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土作保护层,这是保持二者共同工作的必要措施。

在设计和施工中,钢筋的端部要留有一定的锚固长度,有的还要做弯钩,以保证可靠地锚固,防止钢筋受力后被拔出或产生较大的滑移;钢筋的布置和数量应由计算和构造要求确定。

(2) 混凝土结构与其他结构相比,主要优点如下。

1) 合理用材。能充分合理的利用钢筋(高抗拉性能)和混凝土(高抗压性能)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。对于一般工程结构,经济指标优于钢结构。

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地维修和保养。对处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,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至失去承载力的程度,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。

(3) 混凝土结构也存在一些缺点, 主要如下。

1) 自重大。钢筋混凝土的重度约为 25kN/m^3 , 比砌体和木材的重度都大。尽管比钢材的重度小, 但结构的截面尺寸较大, 因而其自重远远超过相同宽度或高度的钢结构, 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带裂缝工作, 裂缝的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下, 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。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, 模板材料耗费量大。

4) 新老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。

二、钢结构的基本概念

钢结构主要是指由钢板、热轧型钢、薄壁型钢、钢管等构件组合而成的结构, 它是土木 engineering 的主要结构形式之一。目前, 钢结构在房屋建筑、地下建筑、桥梁、塔桅、海洋平台中都得到广泛应用, 这是由于钢结构与其他材料的结构相比, 具有如下特点。

1. 钢结构的优点

(1) 建筑钢材强度高, 塑性和韧性好。

1) 强度高。钢与混凝土、木材相比, 虽然密度较大, 但其强度较混凝土和木材要高得多, 其密度与强度的比值一般比混凝土和木材小, 因此在同样受力的情况下, 钢结构与钢筋混凝土结构和木结构相比, 构件较小, 重量较轻。适用于建造跨度大、高度高、承载重的结构。

2) 塑性好, 结构在一般的条件下不会因超载而突然断裂, 只增大变形, 故容易被发现。此外, 尚能将局部高峰应力重分配, 使应力变化趋于平缓。

3) 韧性好, 适宜在动力荷载下工作, 因此在地震区采用钢结构较为有利。

(2) 钢结构的重量轻。钢材容重大, 强度高, 但做成的结构却比较轻。结构的轻质性可用材料的密度 ρ 和强度 f 的比值 α 来衡量, α 值越小, 结构相对越轻。建筑钢材的 α 值在 $1.7 \times 10^4 \sim 3.7 \times 10^4 / \text{m}$ 之间; 木材的 α 值为 $5.4 \times 10^4 / \text{m}$; 钢筋混凝土的 α 值约为 $18 \times 10^4 / \text{m}$ 。以同样的跨度承受同样的荷载, 钢屋架的重量最多不过为钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$ 。

(3) 材质均匀, 与力学计算的假定比较符合。钢材内部组织比较均匀, 接近各向同性, 可视为理想的弹-塑性体材料, 因此, 钢结构实际受力情况和工程力学计算结果比较符合, 在计算中采用的经验公式不多, 从而, 计算的不定性较小, 计算结果比较可靠。

(4) 工业化程度高, 工期短。钢结构所用材料皆可由专业化的金属结构厂轧制成各种型材, 加工制作简便, 准确度和精密度都较高。制成的构件可运到现场拼装, 采用焊接或螺栓连接。因构件较轻, 故安装方便, 施工机械化程度高、工期短, 为降低造价、发挥投资的经济效益创造条件。



(5) 密封性好。钢结构采用焊接连接后可以做到安全密封,能够满足一些要求气密性和水密性好的高压容器、大型油库、气柜油罐和管道等的要求。

(6) 抗震性能好。钢结构由于自重轻和结构体系相对较柔,受到的地震作用较小,钢材又具有较高的抗拉和抗压强度以及较好的塑性和韧性,因此在国内外的历次地震中,钢结构是损坏最轻的结构,已公认为是抗震设防地区特别是强震区的最合适结构。

(7) 耐热性较好。温度在 200°C 以内,钢材性质变化很小;当温度达到 300°C 以上时,强度逐渐下降;当温度达到 600°C 时,强度几乎为零。因此,钢结构可用于温度不高于 200°C 的场合。在有特殊防火要求的建筑中,钢结构必须采取保护措施。

2. 钢结构的缺点

钢结构的下列缺点有时会影响钢结构的应用。

(1) 耐腐蚀性差。钢材在潮湿环境中,特别在处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀。因此,新建造的钢结构应定期刷涂料加以保护,维护费用较高。

目前国内外正在发展各种高性能的涂料和不易锈蚀的耐候钢,钢结构耐锈蚀性差的问题有望得到解决。

(2) 耐火性差。钢结构耐火性较差,在火灾中,未加防护的钢结构一般只能维持 20min 左右。因此需要防火时,应采取防火措施,如在钢结构外面包混凝土或其他防火材料,或在构件表面喷涂防火涂料等。

(3) 钢结构在低温条件下可能发生脆性断裂。钢结构在低温和某些条件下,可能发生脆性断裂,还有厚板的层状撕裂等,都应引起设计者的特别注意。

现在钢材已经被认为是可以持续发展的材料,因此从长远发展的观点,钢结构将有很好的发展前景。

三、砌体结构的基本概念

砌体结构是由块材和砂浆砌筑而成的墙、柱作为建筑物主要受力构件的砌体为主制作的结构。它包括砖结构、石结构和其他材料的砌块结构。分为无筋砌体结构和配筋砌体结构。砌体结构在我国应用很广泛。

1. 砌体结构的优点

(1) 容易就地取材。砖主要用黏土烧制;石材的原料是天然石;砌块可以用工业废料——矿渣制作,取材方便,价格低廉。

(2) 砖、石或砌块砌体具有良好的耐火性和较好的耐久性。

(3) 砌体砌筑时不需要模板和特殊的施工设备。在寒冷地区,冬季可用冻结法砌筑,不需特殊的保温措施。

(4) 砖墙和砌块墙体能够隔热和保温,所以既是较好的承重结构,也是较好的围护结构。

2. 砌体结构的缺点

(1) 与钢筋混凝土相比,砌体的强度较低,因而构件的截面尺寸较大,材料用量多,自重大。

(2) 砌体的砌筑基本上是手工方式,施工劳动量大。

(3) 砌体的抗拉、抗剪强度都很低,因而抗震性能较差,在使用上受到一定限制;



砖、石的抗压强度也不能充分发挥；抗弯能力低。

(4) 黏土砖需用黏土制造，在某些地区过多占用农田，影响农业生产。

任务二 发展简况

目 标：(1) 了解钢筋混凝土结构发展简况。

(2) 了解钢结构发展简况。

(3) 了解砌体结构发展简况。

提交成果：发展简况课程报告。

一、混凝土结构的发展简况

混凝土结构从 19 世纪中叶开始采用以来，距今仅 150 多年。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，目前已成为世界各国现代土木工程建设中占主导地位的结构。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，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地发展。

(一) 材料与施工技术方面的发展

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型。目前立方体抗压强度为 $50\sim 80\text{N/mm}^2$ 、坍落度为 $12\sim 16\text{cm}$ 的高性能混凝土已在工程中广泛应用；立方体抗压强度为 $100\sim 200\text{N/mm}^2$ 的超高强混凝土也在实际工程中得到了应用。采用活性细粉配制的混凝土立方体抗压强度可达 $200\sim 800\text{N/mm}^2$ ，抗拉强度可达 $25\sim 150\text{N/mm}^2$ 。大型结构的现浇混凝土施工，因采用工地现场拌和楼（站）集中搅拌混凝土和泵送技术，可将混凝土通过泵送管道输送至浇筑地点，给机械化现浇混凝土施工带来很大方便；商品混凝土的发展结束了在现场存放混凝土原材料、混凝土搅拌等工序，保证了混凝土质量，减少了环境污染，在城市建筑中得到迅速发展。

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。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。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、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、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等）制成的轻集料混凝土，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。

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 $40\% \sim 80\%$; 抗弯强度可提高 $50\% \sim 120\%$; 抗剪强度提高 $50\% \sim 100\%$; 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、微膨胀混凝土和水下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。

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黏结锚固性能。我国用于普通混凝土结构的钢筋强度已达 500N/mm^2 , 预应力构件中已采用强度为 1960N/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, 常用的树脂黏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。

在钢筋的连接成型方面, 正在大力发展各种钢筋成型机械及绑扎机具, 以减少大量的手工操作。

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。

(二) 结构形式方面的发展

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,上海市的金贸大厦是当今中国第一、世界第二的高楼,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,武汉长江二桥是一座主跨 400m 双塔双索面自锚式悬浮体系的预应力混凝土斜拉桥,桥式组成以跨径 5m+180m+400m+180m+5m 双塔双索面的预应力混凝土斜拉桥为主桥,两侧布置跨径 125m+130m+83m 预应力混凝土连续刚构,在北岸边滩地布置跨径 7m×60m 预应力混凝土连续箱梁,斜拉桥部分桥面宽 29.4m,其他部分为 26.4m,车行道宽均为 23m (6 车道),建筑规模与同类型斜拉桥相比,仅次于美国达姆角桥,居世界第二;世界上跨度最大的混凝土拱桥——克罗地亚的克尔克 II 号桥,跨度达 390m。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;我国目前最高的混凝土拱坝——雅砻江二滩双曲拱坝,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。

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,为钢骨混凝土结构,高 450m。

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起到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;由于钢管极为混凝土的模板,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。我国目前跨度最大的钢管拱桥——四川涪陵乌江桥,主跨达 200m。

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,因大幅度减少预应力损失,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。

(三) 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、钢筋与混凝土间黏结-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。

(四) 加固技术方面的发展

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,而且不增加原结构重量,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。

二、钢结构的发展简况

我国是最早用铁建造结构的国家之一。比较著名的是铁链桥,主要有云南省永平与保山之间跨越澜沧江的霁虹桥以及四川泸定大渡河上的泸定桥;其次是一些纪念性建筑,如建于 967 年的广州光孝寺的东铁塔和建于 963 年的西铁塔,以及建于 1061 年的湖北当阳玉泉寺的 13 层铁塔。中国古代在钢铁结构方面虽然有所创建,但在封建制度下,生产力发展极其缓慢,在新中国成立前的半殖民地半封建的百年历史中,中国也曾建造过一些钢桥和钢结构高层建筑,但绝大多数是外国人设计的。

新中国成立以后,随着经济建设的发展,钢结构在重型厂房、大跨度公共建筑、铁路桥梁以及塔桅结构中得到一定程度的发展。例如我国几个大型钢铁联合企业如鞍山、武汉、包头等钢厂的炼钢、轧钢、连铸车间等都采用钢结构;在公共建筑方面 1975 年建成跨度达 110m 的三向网架上海体育馆、1962 年建成直径为 94m 的圆形双层辐射式悬索结构北京工人体育馆、1967 年建成的双曲抛物面正交索网的悬索结构浙江体育馆;桥梁方面,1957 年建成的武汉长江大桥和 1968 年建成的南京长江大桥都采用了铁路公路两用双



层钢桁架桥；在塔桅结构方面，广州、上海等地都建造了高度超过 200m 的多边形空间桁架钢电视塔。1977 年北京建成的环境气象塔是一高达 325m 的 5 层纤绳三角形杆身的钢桅杆结构。

改革开放以后，我国经济建设有了突飞猛进的发展，钢结构也有了前所未有的发展，应用的领域有了较大的扩展。高层和超高层房屋、多层房屋、单层轻型房屋、体育场馆、大跨度会展中心、大型客机检修库、自动化高架仓库、城市桥梁和大跨度公路桥梁、粮仓以及海上采油平台等都已采用钢结构。目前已建和在建的高层和超高层钢结构已有 30 余幢，其中地上 88 层、地下 3 层、高 36.5m 的上海金茂大厦的建成，标志着我国的超高层钢结构已进入世界前列。在大跨度建筑和单层工业厂房中，网架、网壳等结构的广泛应用，已受到世界各国的瞩目，其中上海体育馆马鞍型环形大悬挑空间钢结构屋盖和上海浦东国际机场航站楼张弦梁屋盖的建成，更标志着我国的大跨度空间钢结构已进入世界先进行列。桥梁方面，九江长江大桥、上海市杨浦大桥、江阴长江大桥等桥梁的建成标志着我国已有能力建造任何现代化的桥梁。

2005 年我国钢产量达到 3.45 亿 t，已连续多年高居世界各国钢铁年产量榜首。钢材质量及钢材规格也已能满足建筑钢结构的要求。市场经济的发展与不断成熟更为钢结构的发展创造了条件。因此，我国钢结构正处于迅速发展的前期。

可以预期，今后我国钢结构的发展方向主要在以下几个方面。

1. 发展高强度低合金钢材

逐步发展高强度低合金钢材，除 Q235 钢、Q345 钢外，Q390 钢和 Q420 钢在钢结构中的应用尚有待进一步的研究。

2. 钢结构设计方法的改进

概率极限状态设计方法还有待发展，因为它计算的可靠度还只是构件或某一截面的可靠度，而不是结构体系的可靠度，同时也不适用于疲劳计算的反复荷载作用下的结构。

另外，结构设计上考虑优化理论的应用与计算机辅助设计及绘图都得到很大的发展，今后还应继续研究和改进。

3. 结构形式的革新

结构形式的革新也是今后值得研究的课题，如悬索结构、网架结构、超高层结构等近年来得到了很大的发展和应用。钢-混凝土组合结构的应用也日益推广，但结构的革新仍有待进一步发展。

三、砌体结构的发展简况

砌体结构的历史悠久，天然石是最原始的建筑材料之一。古代大量具有纪念性的建筑物用砖、石建造。如用加工的巨大石块建成的金字塔一直保存到现代。其中在尼罗河三角洲的吉萨建造的三座大金字塔（公元前 2723～前 2563 年），是精确的正方锥体，其中最大的胡夫金字塔，塔高 146.6m，底边长 230.60m，约用 230 万块重 2.5t 的石块建成。

1949 年中华人民共和国成立后，砌体结构得到很大发展和广泛应用，住宅建筑、多层民用建筑大量采用砖墙承重。中小型单层工业建筑和多层轻工业建筑也常采用砖墙承重。中国传统的空心砖墙，经过改进已经用作 2～4 层建筑的承重墙。20 世纪 50 年代末开始，采用振动砖墙板建造五层住宅，承重墙厚度仅为 12cm。在地震区，采取在承重砖



墙转角和内外纵横墙交接处设置钢筋混凝土抗震柱也称构造柱,及在空心砖或空心砌块孔内配置纵向钢筋和浇灌混凝土等措施,提高砌体结构的抗震性能。

砌体结构发展的主要趋向是要求砖及砌块材料具有轻质高强的性能,砂浆具有高强度,特别是高黏结强度,尤其是采用高强度空心砖或空心砌块砌体时。在墙体内适当配置纵向钢筋,对克服砌体结构的缺点,减小构件截面尺寸,减轻自重和加快建造速度,具有重要意义。相应地研究设计理论,改进构件强度计算方法,提高施工机械化程度等,也是进一步发展砌体结构的重要课题。

任务三 本课程的任务和特点

目 标: 掌握课程的任务和特点。

提交成果: 课程任务及特点课程报告。

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、钢结构及砌体结构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几点。

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的半理论半经验公式。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。