

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

混凝土结构

(第二版)

(上册)

沈蒲生 罗国强 主编



武汉工业大学出版社

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

混凝土结构

(第二版)

(上册)

沈蒲生 罗国强 主编



武汉工业大学出版社

1993.3 武汉

鄂新登字 13 号

内 容 提 要

本书系根据高等专科“工业与民用建筑专业”《混凝土结构》课程要求编写的教材，按我国新颁行的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)编写，系该专业系列教材之七。全书分上、下两册，上册内容包括绪论；材料性能；概率极限状态设计法；轴心受力构件承载力计算；受弯构件的正截面承载力；斜截面承载力；受扭构件承载力计算；偏心受力构件承载力计算及裂缝和变形的计算。每章开头有提要、末尾有小结、思考题和习题。

本书第二版系根据我国有关混凝土结构的规范和标准的最新版本，在第一版的基础上修订的，全书内容都有进一步的完善和提高。

本书除供高等专科“工业与民用建筑专业”作教材外，还可作为土建类非“工民建专业”的本科教材，以及土建工程技术人员的参考书。

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

混凝土结构(上册)

(第二版)

◎ 沈蒲生 罗国强 主编

责任编辑 刘声扬

责任校对 崔庆喜

*

武汉工业大学出版社出版

新华书店湖北发行所发行 各地新华书店经销

湖北省国营华严彩印厂印刷

*

开本:787×1092mm 1/16 印张:13.75 字数:310千字

1993年1月第二版 1995年10月第12次印刷

印数:143001—163000

ISBN 7-5629-0739-0/TU·37

定价:12.40元

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材

初版说明

本系列教材的出版,是为了适应四化建设多层次培养人才,以及当前高等专科“工业与民用建筑专业”教材建设上的迫切需要而组织的。考虑到该专业(高等专科)国家还无统一的教学计划和课程教学大纲,故本系列教材编写前曾征集部分院校意见并进行归纳整理,制定了系列教材“编写总纲”,其主要编写要求是:

贯彻“少而精”的原则,加强基本理论、基本技能和基本知识的训练。各本教材字数按教学时数控制在每学时4000字左右。编写时要做到内容精练、叙理清楚、体系完整、特色鲜明。文字力求通俗流畅,插图力求形神兼备。对涉及到国家标准和规范的内容,均以现行国标(部标)和规范为准。对即将颁行的新规范,则以新规范的报批稿为准。对教材中符号、计量单位和术语,则尽量采用《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》GBJ83-85的规定。

本系列教材的编写人员主要是武汉工业大学、湖南大学、华中理工大学、武汉冶金建筑专科学校和湖南城市建设专科学校等有丰富教学经验的教师。主审人员为全国部分高等院校和科研院的教授和专家。

本系列教材的出版在我国还是初次,且由于组稿仓促,缺点和不当之处一定很多,希读者指正,不胜感谢。

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材编审委员会

1988年3月

编 审 委 员 会

顾 问 袁润章 成文山 王龙甫

主 任 沈大荣

副主任 沈蒲生

委 员 (以姓氏笔划序)

刘声扬 刘鉴屏 吴代华 沙钟瑞 胡 逾 施楚贤

高琼英 黄仕诚 彭少民 彭图让 蔡伯钧 魏 璋

秘书长(总责任编辑) 刘声扬

高等专科“工业与民用建筑专业”系列教材书目

- | | | |
|-----------|----------------|-----------------|
| 1. 建筑材料 | 5. 结构力学 | 9. 土力学地基与基础 |
| 2. 建筑工程测量 | 6. 钢结构 | 10. 建筑施工 |
| 3. 理论力学 | 7. 混凝土结构(上)(下) | 11. 建筑工程经济与企业管理 |
| 4. 材料力学 | 8. 砌体结构 | |

第 二 版 序

本教材自1988年3月问世以来,在不到三年的时间内曾4次印刷,总数达6.4万册。

本教材初版是根据《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)报批稿编写而成的。现在该规范已正式颁行,本教材第二版按该正式版本进行了修订。本教材第二版名称根据中华人民共和国国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》(GBJ132-90)规定,改名为《混凝土结构》,仍分上、下两册,但在章节次序安排上作了适当调整。上册包括绪论、混凝土结构的材料性能、概率极限状态设计法、轴心受力构件承载力计算、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、偏心受力构件承载力计算和钢筋混凝土构件的裂缝和变形验算。下册包括预应力混凝土构件计算、梁板结构设计、单层工业厂房结构设计以及多层框架房屋结构设计等内容。考虑到钢筋混凝土结构构件抗震设计编有专门教材,许多院校都已单独设课,因此本教材中未列入该部份内容。

本教材第二版由武汉工业大学熊丹安(第一、五、七章)、姜英春(第三、九、十二章)和湖南大学沈蒲生(绪论、第二、四、六章)、罗国强(第八、十、十一章)编写。熊丹安同志还参加了第九章和第十二章的编写工作。本教材由沈蒲生教授和罗国强副教授主编,湖南大学成文山教授主审。

由于我们水平所限,不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

编 者

1992年10月

目 录

绪论	(1)
第一节 混凝土结构的基本概念	(1)
第二节 混凝土结构的发展概况	(4)
第三节 混凝土结构课程的特点和学习方法	(4)
第一章 混凝土结构用材料的力学性能	(7)
第一节 钢筋	(7)
第二节 混凝土	(11)
第三节 钢筋与混凝土的相互作用——粘结力	(21)
小 结	(24)
思考题	(24)
第二章 概率极限状态设计法	(26)
第一节 极限状态的定义与分类	(26)
第二节 承载力极限状态计算方法	(28)
第三节 正常使用极限状态验算方法	(36)
小 结	(38)
思考题与习题	(38)
第三章 钢筋混凝土轴心受力构件承载力计算	(40)
第一节 概述	(40)
第二节 轴心受拉构件承载力	(41)
第三节 轴心受压构件承载力	(43)
小 结	(49)
思考题	(49)
习 题	(49)
第四章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	(50)
第一节 概述	(50)
第二节 受弯构件的受力特性	(51)
第三节 单筋矩形截面承载力计算	(53)
第四节 双筋矩形截面承载力计算	(64)
第五节 T形截面承载力计算	(70)
第六节 构造要求	(76)
小 结	(78)
思考题	(78)
习 题	(80)
第五章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 无腹筋梁的抗剪性能	(86)

第三节	无腹筋梁斜截面承载力	(89)
第四节	有腹筋梁的抗剪性能	(90)
第五节	有腹筋梁的斜截面受剪承载力计算	(92)
第六节	构造要求	(99)
第七节	伸臂梁设计实例	(105)
小 结		(110)
思考题		(111)
习 题		(112)
第六章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	(114)
第一节	概述	(114)
第二节	矩形截面纯扭构件承载力计算	(115)
第三节	矩形截面剪扭构件承载力计算	(121)
第四节	矩形截面弯扭和弯剪扭构件承载力计算	(123)
第五节	T形和I形截面弯剪扭构件承载力计算	(125)
第六节	构造要求	(126)
小 结		(132)
思考题		(133)
习 题		(134)
第七章	钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算	(136)
第一节	概述	(136)
第二节	偏心受压构件的构造要求	(137)
第三节	偏心受压构件的受力性能	(139)
第四节	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(146)
第五节	对称配筋I形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算	(164)
第六节	偏心受拉构件正截面承载力计算	(169)
第七节	斜截面承载力计算	(172)
小 结		(174)
思考题		(174)
习 题		(175)
第八章	钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形验算	(178)
第一节	概述	(178)
第二节	裂缝宽度验算	(181)
第三节	受弯构件挠度计算	(190)
小 结		(199)
思考题		(199)
习 题		(202)
附录		(203)
附表1	钢筋的强度指标	(203)
附表2	钢丝的强度指标	(204)

附表 3	钢筋弹性模量	(204)
附表 4	混凝土强度标准值	(204)
附表 5	混凝土强度设计值	(205)
附表 6	混凝土弹性模量	(205)
附表 7	受弯构件的允许挠度	(205)
附表 8	裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数及最大裂缝宽度允许值	(206)
附表 9	钢筋混凝土受弯构件配筋计算用的 ξ 表	(207)
附表 10	钢筋混凝土受弯构件配筋计算用的 γ_s 表	(208)
附表 11	钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率	(209)
附表 12	纵向受拉钢筋的最小锚固长度 l_a	(209)
附表 13	单跨梁板的计算跨度 l_0	(209)

绪 论

第一节 混凝土结构的基本概念

以混凝土为主制作的结构称为混凝土结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是指不配置钢筋的混凝土结构。钢筋混凝土结构是指配置非预应力钢筋的混凝土结构。预应力混凝土结构是指在混凝土或钢筋混凝土结构制作时,在其特定部位上,人为地施加预应力的混凝土结构。本书重点讲述钢筋混凝土和预应力混凝土结构的材料性能、设计原则、计算方法和构造措施等内容。

图 0-1 为常见钢筋混凝土结构和构件的配筋实例。其中,图 0-1a 为钢筋混凝土简支梁的配筋情况,图 0-1b 为钢筋混凝土简支平板的配筋情况,图 0-1c 为装配式钢筋混凝土单层工业厂房边柱的配筋情况,图 0-1d 为钢筋混凝土杯形基础的配筋情况,图 0-1e 为两层单跨钢筋混凝土框架的配筋情况。由图 0-1 可见,在不同的结构和构件中,钢筋的位置及型式各不相同,即使是同属于受弯构件的梁和板,其配筋的位置及型式也不完全相同。因此,在钢筋混凝土结构和构件中,钢筋和混凝土不是任意结合的,而是根据结构和构件的型式和受力特点,在适当部位布置一定型式和数量的钢筋。

将钢筋和混凝土结合在一起做成钢筋混凝土结构和构件,其原因可通过下面的试验看出。图 0-2 为一根未配置钢筋的素混凝土简支梁,跨度 4m,截面尺寸 $b \times h = 200 \times 300\text{mm}$,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,截面上的应力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力达到混凝土抗拉极限强度时,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,但不能得到充分利用,因为试件的破坏由混凝土的抗拉强度控制,破坏荷载值很小,只有 8kN。

如果在该梁的受拉区布置三根直径为 16mm 的 I 级钢筋(记作 3 ϕ 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 0-2b),则可以看到,当加荷到一定阶段使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,故荷载还可以进一步增加。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。破坏前,试件的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。因此,在混凝土结构中配置一定型式和数量的钢筋以后,可以收到下列的效果:

- 一、结构的承载力有很大的提高;
- 二、结构的受力特性得到显著的改善。

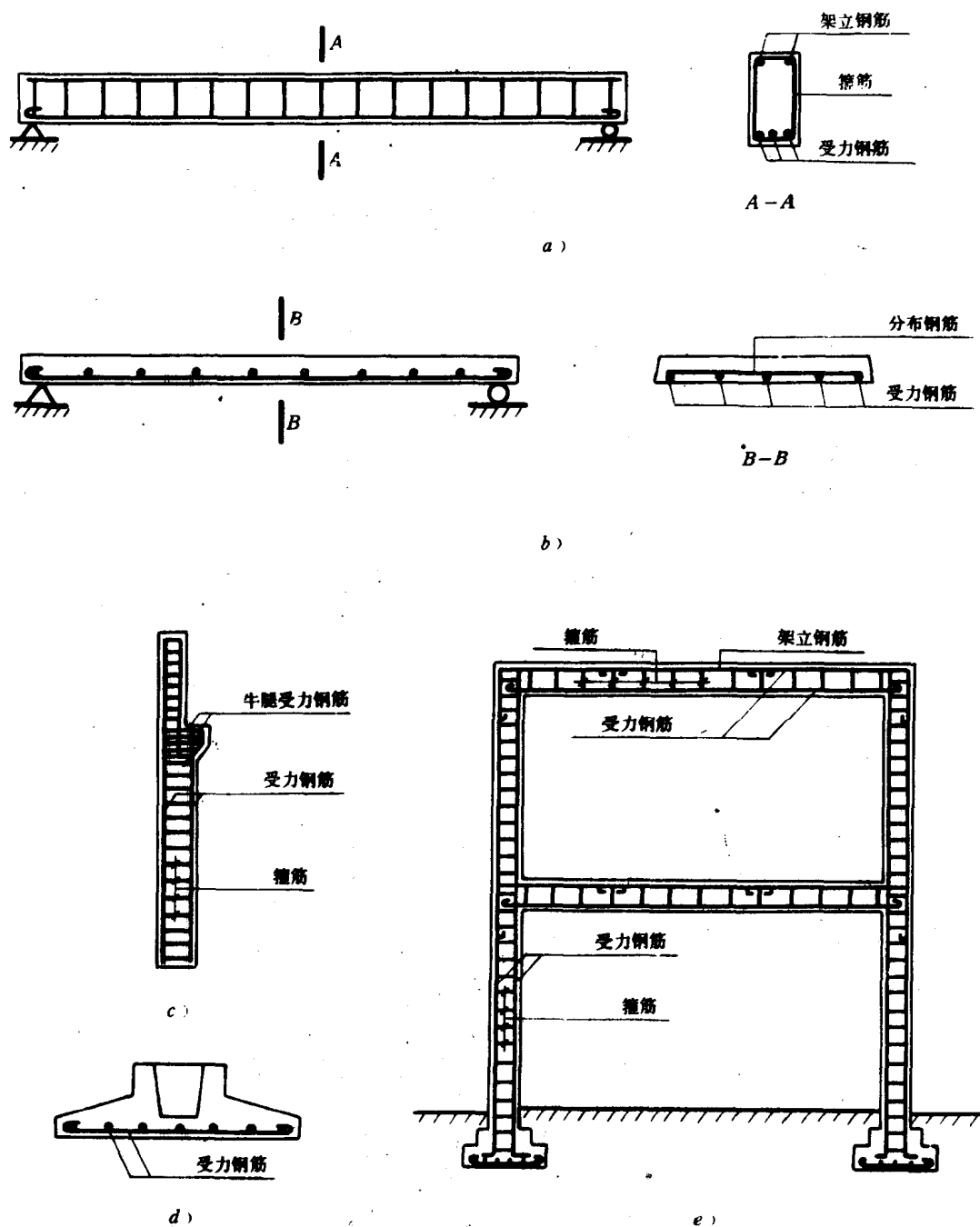


图 0-1 常见钢筋混凝土结构和构件配筋实例

钢筋和混凝土是两种物理、力学性能很不相同的材料，它们可以相互结合共同工作的主要原因是：

一、混凝土结硬后，能与钢筋牢固地粘结在一起，相互传递应力。粘结力是这两种性质不同的材料能够共同工作的基础。

二、钢筋的线膨胀系数为 1.2×10^{-5} ，混凝土的为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ，二者数值相近。

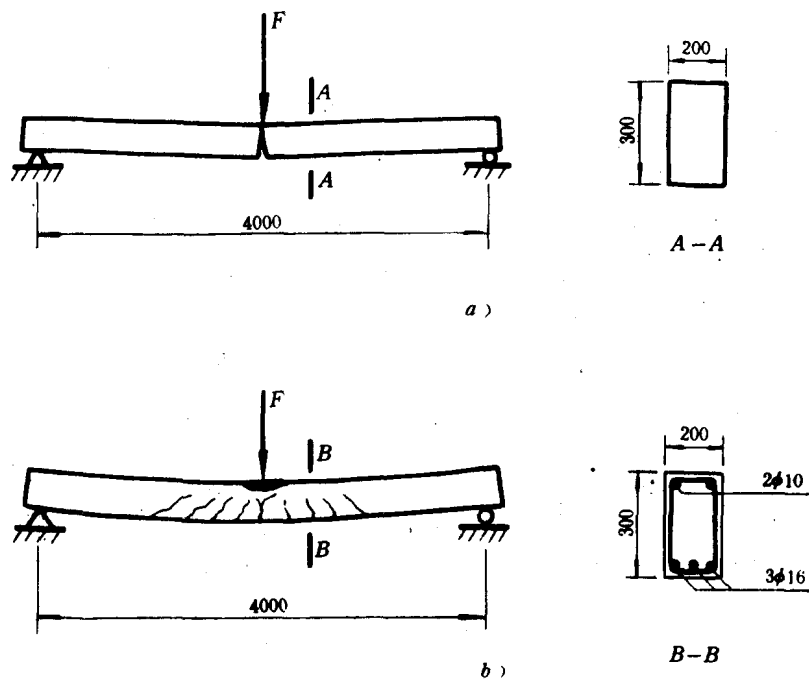


图 0-2 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

因此,当温度变化时,钢筋与混凝土之间不会存在较大的相对变形和温度应力而使粘结破坏。

钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有较高的承载力和较好的受力性能以外,与其它结构相比还具有下列优点:

一、就地取材。钢筋混凝土结构中,砂和石料所占比例很大,水泥和钢筋所占比例较小,砂和石料一般都可以由建筑工地附近供应。

二、节约钢材。钢筋混凝土结构的承载力较高,大多数情况下可用来代替钢结构,因而节约钢材。

三、耐久、耐火。钢筋埋放在混凝土中,经混凝土保护不易发生锈蚀,因而提高了结构的耐久性。当火灾发生时,钢筋混凝土结构不会象木结构那样被燃烧,也不会象钢结构那样很快达到软化温度而破坏。

四、可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇捣成任何形状。

五、现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构的整体性好,刚度大。

钢筋混凝土结构也具有下述主要缺点:

一、自重。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。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跨度或高度的钢结构的重量。

二、抗裂性差。如前所述,混凝土的抗拉强度非常低,因此,普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作。尽管裂缝的存在并不一定意味着结构发生破坏,但是它影响结构的耐久性和美观。当裂缝数量较多和开展较宽时,还将给人造成一种不安全感。

综上所述不难看出,钢筋混凝土结构的优点远多于缺点。而且,人们已经研究出许多克服其缺点的有效措施。例如,为了克服钢筋混凝土自重大的缺点,已经研究出许多质量轻、强

度高的混凝土和强度很高的钢筋。为了克服普通钢筋混凝土容易开裂的缺点，可以对它施加预应力。

第二节 混凝土结构的发展简况

19 世纪中期，在硅酸盐水泥研制成后不久，混凝土结构在法、英等国便开始出现。但是，在本世纪前，由于材料强度低，试验工作开展有限，人们对这类结构受力性能的认识较少，所以混凝土结构主要为梁、板、柱等简单构件和结构。

本世纪以来，特别是最近 30 年来，钢筋和混凝土材料的研制和混凝土结构计算理论等方面都得到了迅猛发展。

材料方面，过去一般采用低强度混凝土（低于 20N/mm^2 ）。现在已发展到采用中等强度（ $20\sim 50\text{N/mm}^2$ ）和高强度混凝土（ 50N/mm^2 以上）。目前已经研制成强度为 200N/mm^2 左右的混凝土。重力密度为 $14\sim 18\text{kN/m}^3$ 的陶粒混凝土、浮石混凝土、泡沫混凝土、加气混凝土等轻质混凝土在世界各地也得到广泛地应用。各种低合金钢钢筋和高强度钢筋与钢丝也广泛地用于混凝土结构之中。轻质高强材料的采用，为高层建筑和大跨结构的发展提供了有利条件。例如，20 层以内的框架结构，可以用改变混凝土强度和调整钢筋数量的方法，将立柱截面从底层到顶层设计成 $400\times 400\text{mm}$ ，从而收到减轻结构自重、节约材料用量和简化施工操作等效果。

结构方面，已经由过去的简单结构，发展到高层、大跨等复杂结构。目前，世界上用钢筋混凝土材料建成的最高建筑是美国芝加哥的水塔广场大厦，76 层，高 262m。我国目前最高的钢筋混凝土建筑是广州的国际大厦，64 层，地面以上高度为 195m。目前，已经建成的预应力轻骨料混凝土飞机库屋盖结构的最大跨度为 90m。一般的工业与民用建筑中，混凝土结构逐步朝定型化、标准化和体系建筑发展。钢筋混凝土还广泛地用来建造水池、水塔、油罐、烟囱、筒仓、桥梁、电视塔等。

设计理论方面，最早是凭经验估算，稍后，从本世纪初的容许应力方法，经过 40 年代的按破损阶段计算，发展到 50 年代以来的按极限状态设计方法。概率理论更多地应用于结构设计，构造措施逐步合理，设计规范日趋完善，电子计算机已广泛用于结构计算、绘图和辅助设计。

总之，与钢结构、木结构以及砌体结构相比，混凝土结构虽然出现得较晚，但是由于它具有前述的许多优点，所以在各方面的发展都很快。目前，它在许多领域中都已经取代其它结构，成为世界各国占主导地位的结构。随着建设事业的发展，混凝土结构在土木建筑工程中所占的比重必将更大。

第三节 混凝土结构课程的特点和学习方法

混凝土结构课程主要是对工业与民用建筑中的混凝土基本构件与结构的受力性能、计算方法和构造要求等问题进行讨论。全书分上、下两册。上册首先介绍混凝土结构的材料性能 and 设计方法。它们是学习往后各章的基础。然后讨论轴心受力构件承载力计算、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、偏心受力构件承载力

计算,最后讨论混凝土构件的裂缝和变形验算方法。下册首先介绍预应力混凝土构件计算,然后讨论钢筋混凝土梁板结构、单层工业厂房结构以及多层框架结构等工业与民用建筑中三种常见的、有代表性的结构的设计方法。

在学习混凝土结构课程时,应该注意以下几点:

一、混凝土结构通常是由钢筋和混凝土结合而成的一种结构。钢筋混凝土材料与理论力学中的刚性材料以及材料力学、结构力学中的理想弹性材料或理想弹塑性材料有很大的区别。为了对混凝土结构的受力性能与破坏特征有较好的了解,首先要求对钢筋和混凝土的力学性能要较好地掌握。

二、混凝土结构在裂缝出现以前的抗力行为,与理想弹性结构的相近。但是,在裂缝出现以后,特别是临近破坏之前,其受力和变形状态与理想材料的有显著不同。混凝土结构的受力性能还与结构的受力状态、配筋方式和配筋数量等多种因素有关,暂时还难以用一种简单的数学模型和力学模型来描述。因此,目前主要以混凝土结构和构件的试验和工程实践经验为基础进行分析。许多计算公式都带有经验性质。它们虽然不如数学或力学公式那样严谨,然而却能够较好地反映结构的真实受力性能。在学习本课程时,应该注意各计算公式与力学公式的联系与区别。

三、我国的《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)在进行大量的试验、调查与统计的基础上,对建筑结构可能承受的各种荷载大小有着明确的规定。我国的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)*也给出了各种常用钢筋和混凝土的强度、弹性模量等指标。鉴于实际情况的复杂性,建筑结构上的实际荷载和实际材料指标与规范规定的大小会有一定的出入。它们可能高于规范规定的数值,也可能低于规范规定的数值。此外,不同结构重要性也不一样。它们对于结构的安全、适用和耐久的要求各不相同。为了使混凝土结构设计满足技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的要求,将混凝土结构各种分析公式用于设计时,考虑了上述各种因素的影响。学习本课程时,应该注意分析公式与设计公式之间的联系与区别,了解和掌握我国有关混凝土结构设计的技术和经济政策。

四、进行混凝土结构设计时离不开计算。但是,现行的实用计算方法一般只考虑了荷载效应。其它影响因素,如:混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉陷等,难于用计算公式来表达。《规范》根据长期的工程实践经验,总结出一些构造措施来考虑这些因素的影响。因此,在学习本课程时,除了要对各种计算公式了解掌握以外,对于各种构造措施也必须给予足够的重视。在设计混凝土结构时,除了进行各种计算以外,还必须检查各项构造要求是否得到满足。

五、为了指导混凝土结构的设计工作,各国都制订有专门的技术标准和设计规范。它们是各国在一定时期内理论研究成果和实际工程经验的总结,是一些技术性的立法文件。在学习混凝土结构时,应该很好地熟悉、掌握和运用它们。但是也要了解,混凝土结构是一门比较年轻和迅速发展着的学科,许多计算方法和构造措施还不一定尽善尽美。也正因为如此,各国每隔一定时间都要将自己的结构设计标准或规范修订一次,使之更加完善合理。因此,我们在很好地学习和运用规范的过程中,也要善于发现问题,灵活运用,并且不断地进行探索

* 本书以下对《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)简称《规范》。

与创新。

六、高等专科“工业与民用建筑专业”的培养目标是培养适应社会主义建设需要、德智体诸方面全面发展、获得工程师初步训练、主要从事建筑施工的高等工程应用性人才。建筑结构与建筑施工的关系甚为密切。只有掌握一定的混凝土结构和其它工程结构知识以后，才能搞好施工工作。在学习混凝土结构课程时，要经常注意与建筑施工课程内容的关系。

第一章 混凝土结构用材料的力学性能

提 要

钢筋和混凝土的力学性能，是钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件计算的基础。学习本章时应掌握：

1. 不同类型钢筋的应力-应变曲线及其区别，钢筋的强度、变形、弹性模量，钢筋的品种和级别；
2. 钢筋的冷加工方法及冷拉、冷拔钢筋的性能；
3. 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求，钢筋的选用原则；
4. 混凝土的强度等级，影响混凝土强度和变形的因素，混凝土的各类强度指标，混凝土的变形模量；
5. 混凝土的徐变和收缩现象及其对结构的影响；
6. 保证钢筋和混凝土粘结力的构造措施。

混凝土结构通常是由两种不同性质的材料——钢筋和混凝土——所组成的。了解钢筋和混凝土的力学性能，是掌握混凝土结构构件的受力性能、计算理论和设计方法的基础。混凝土结构的计算、构造和设计问题，一般都和材料性能密切相关。

第一节 钢 筋

一、钢筋的强度和变形

(一) 钢筋的应力-应变曲线

钢筋混凝土及预应力混凝土结构中所用的钢筋可分为两类：有明显屈服点的钢筋和无明显屈服点的钢筋（习惯上分别称它们为软钢和硬钢）。

有明显屈服点钢筋的典型拉伸应力-应变曲线如图 1-1 所示。在 a 点以前，应力与应变按比例增加，其关系符合虎克定律， a 点对应的应力称为比例极限；过 a 点后，应变较应力增长为快；到达 b 点后，应变急剧增加，而应力基本不变，此阶段称为屈服阶段，应力-应变曲线呈水平段 cd ，钢筋产生相当大的塑性变形。对于一般有明显屈服点的钢筋， b 、 c 两点称为屈服上限和屈服下限。屈服上限为开始进入屈服阶段时的应力，呈不稳定状态；到达屈服下限时，

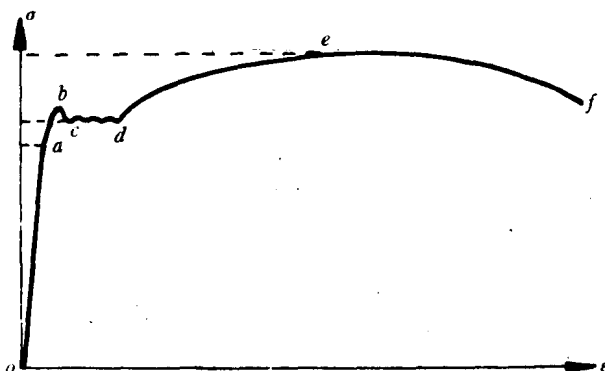


图 1-1 钢筋的应力-应变曲线

应变增长，应力基本不变，比较稳定。相应于屈服下限 c 点的应力称为“屈服强度”。当钢筋屈服塑流到一定程度，即到达图中 d 点后，应力-应变关系又形成上升曲线，其最高点为 e ， de

段称为钢筋的“强化段”，相应于 e 点的应力称为钢筋的极限强度。过 e 点后，钢筋的薄弱断面显著缩小，产生“颈缩”现象(图 1-2)，变形迅速增加，应力随之下降，到达 f 点时断裂。

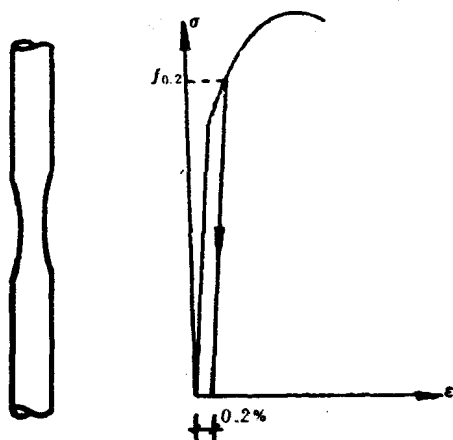


图 1-2 钢筋受拉时的颈缩现象

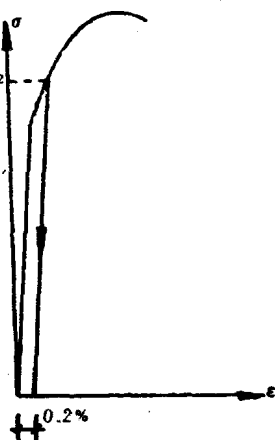


图 1-3 无明显屈服点钢筋的应力-应变曲线

无明显屈服点钢筋的典型拉伸应力-应变曲线如图 1-3 所示。这类钢筋的抗拉强度一般都很高，但变形很小，也没有明显的屈服点，通常取相应于残余应变 $\epsilon=0.2\%$ 时的应力 $f_{0.2}$ 作为名义屈服点，即条件屈服强度。

钢筋的受压性能在到达屈服强度之前，与受拉时的应力应变规律相同，其屈服强度也与受拉时基本一样。在达到屈服强度之后，由于试件发生明显的塑性压缩，截面面积增大，因而难以给出明确的抗压强度。

(二) 钢筋的强度和变形指标

对于有明显屈服点的钢筋，当结构构件中某截面钢筋应力达到屈服强度后，它将在荷载基本不增加的情况下产生持续的塑性变形，构件可能在钢筋尚未进入强化段之前就已破坏或产生过大的变形与裂缝。因此，钢筋的屈服强度是钢筋关键性的强度指标。此外，钢筋的屈强比(屈服强度与极限抗拉强度的比值)表示结构可靠性的潜力。在抗震结构中，考虑受拉钢筋可能进入强化段，要求其屈强比不大于 0.8，因而钢筋的极限强度是检验钢筋质量的另一强度指标。

对于无明显屈服点钢筋，由于其条件屈服点不容易测定，因此这类钢筋的质量检验以极限强度作为主要强度指标。《规范》按国标规定取条件屈服强度 $f_{0.2}$ 为极限强度 f_m 的 0.8 倍，即

$$f_{0.2}=0.8f_m \quad (1-1)$$

反映钢筋塑性性能的基本指标是“伸长率”和“冷弯性能”。伸长率是钢筋试件拉断后的伸长值与原长的比率：

$$\delta=\frac{l_2-l_1}{l_1}\times 100\% \quad (1-2)$$

式中 δ —— 伸长率(%)；

l_1 —— 试件受力前的标距长度(一般取 $10d$ 或 $5d$ ， d 为试件直径)；

l_2 —— 试件拉断后的标距长度。

伸长率大的钢筋塑性好，拉断前有明显的预兆；伸长率小的钢筋塑性差，其破坏突然发生，呈脆性特征。具有明显屈服点的钢筋有较大的伸长率，而无明显屈服点的钢筋伸长率很小。

钢筋还应满足冷弯性能要求。冷弯是将钢筋绕某一规定直径的辊轴进行弯曲(图 1-4)，冷弯的两个参数是弯心直径(即辊轴直径)和冷弯角度。当钢筋直径 $d\leq 25\text{mm}$ 时，对 I、II、III 级钢筋的弯心直径 D 分别为 $1d$ 、 $2d$ 和 $3d$ ，冷弯角度 α 分别为 180° 、 180° 和 90° 。在达到规定的冷弯角度时钢筋应不发生裂纹或断裂。冷弯性能可间接地反映钢筋的塑性性能和内在质量。

屈服强度、极限强度、伸长率和冷弯性能是对有明显屈服点钢筋进行质量检验的四项主要指标，而对无明显屈服点的钢筋则只测定后三项。

(三) 钢筋的弹性模量 E_s

钢筋在屈服前(严格地讲是在比例极限之前)，应力-应变为直线关系，其比值即为弹性模量。

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \quad (1-3)$$

式中 σ_s ——屈服前的钢筋应力(N/mm²)；

ϵ_s ——相应的钢筋应变。

各种钢筋的弹性模量根据受拉试验测定，同一种钢筋的受拉和受压弹性模量相同。

二、钢筋的化学成分、钢筋级别和品种

我国目前常用的钢筋用碳素结构钢及普通低合金钢制造。钢筋的化学成分主要是铁元素。除铁元素外，还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。按照含碳量的多少，碳素结构钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢(一般低碳钢如 Q235* 的含碳量不大于 0.22%，高碳钢的含碳量大于 0.6%)。随着含碳量的增加，钢筋的强度提高，塑性降低。硅、锰元素可以提高钢材的强度和保持一定的塑性。磷、硫是钢中的有害元素，使钢筋易于脆断。在低碳钢中加入少量锰、硅、铌、钒、钛、铬等合金元素，便成为普通低合金钢，如 20 锰硅、25 锰硅、40 硅 2 锰钒、45 硅锰钒等。

按照生产加工工艺和力学性能的不同，用于混凝土结构中的钢筋分为热轧钢筋、冷拉钢筋、钢丝(直径不大于 5mm)、热处理钢筋等四类。其中热轧钢筋和冷拉钢筋属于有明显屈服点的钢筋，钢丝和热处理钢筋则属于无明显屈服点的钢筋。

热轧钢筋分 I、II、III、IV 级，由冶金工厂直接热轧成型。随着级别的增大，钢筋的强度提高，塑性降低(图 1-5)。

冷拉钢筋由热轧钢筋经冷加工而成，其屈服强度高于相应等级的热轧钢筋屈服强度，但塑性降低。

钢丝类包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线(用光面钢丝绞在一起)和冷拔低碳钢丝等。

热处理钢筋是由强度大致相当于 IV 级的某些特定钢号钢筋经淬火和回火处理后制成。淬火和回火后，钢筋强度大幅度提高，而塑性降低不多。

钢筋按其外形特征，可分为光面钢筋和变形钢筋两类。I 级钢筋都是光面钢筋，II、III、IV 级钢筋一般都是变形钢筋。目前广泛使用的变形钢筋是纵肋与横肋不相交的月牙纹钢筋(图 1-6b)。与螺纹钢筋(图 1-6a)相比，月牙纹钢筋避免了纵横肋相交处的应力集中现象，使

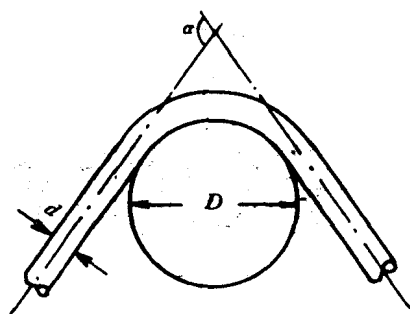


图 1-4 钢筋冷弯

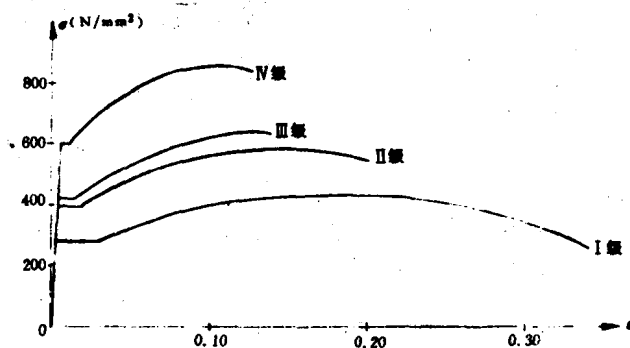


图 1-5 各种热轧钢筋的应力-应变曲线

* Q235 为国家新颁行的《碳素结构钢》(GB700-88)的牌号，相当于《规范》中采用的原 GB700-79 的 3 号钢。