

工业与民用建筑专科系列教材

钢筋混凝土结构

(上)

沈蒲生 罗国强 主编



武汉工业大学出版社

工业与民用建筑专科系列教材

钢 筋 混 凝 土 结 构

(上 册)

沈蒲生 罗国强 主 编

武 汉 工 业 大 学 出 版 社

教材

内 容 提 要

本书系根据高等工业院校“工业与民用建筑专业”三年制专科《钢筋混凝土结构》课程要求编写的教材，按我国新修订的《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，上册包括绪论；材料性能；概率极限状态设计法；受弯构件的正截面承载力、斜截面承载力；裂缝和变形的计算；受扭构件的计算及梁板结构等。每章开头有提要、末尾有小结、思考题和习题。

本书除供“工业与民用建筑专业”专科作教材外，还可作为土建类非“工民建专业”本科教材，以及土建工程技术人员在学习和使用新规范时的参考书。

工业与民用建筑专科系列教材
钢筋混凝土结构(上册)
沈蒲生 罗国强 主 编

*

武汉工业大学出版社出版发行
新华书店湖北发行所经销
湖北省国营华严印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16(股印)印张:16.5 字数:390千字

1988年3月第1版 1992年4月第6次印刷

印数:68001—78000

ISBN 7-5629-0016-7/TU·0009 定价:4.50元

“工业与民用建筑”专科系列教材

出版说明

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“工业与民用建筑”专科教材建设上的迫切需要而组织的。考虑到该专业(大专)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(或送审稿)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。

“工业与民用建筑”专科系列教材编审委员会

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

“工业与民用建筑”专科系列教材书目

- | | | |
|----------|-----------------|----------------|
| 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、钢筋混凝土结构(上)(下) | 11、建筑工程经济与企业管理 |
| 4、材料力学 | 8、砌体结构 | |

前 言

本书是根据高等工业院校“工业与民用建筑专业”三年制专科《钢筋混凝土结构》课程要求编写而成。全书分上、下两册。上册包括绪论、钢筋混凝土材料力学性能、概率极限状态设计法、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、钢筋混凝土受弯构件裂缝和变形验算以及梁板结构，下册包括受压构件计算、受拉构件计算、预应力混凝土构件计算、单层厂房结构以及多层房屋框架结构。

本书按照我国新修订的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)报批稿编写。在编写过程中，我们力求贯彻少而精原则，突出重点，注重实用，文字叙述尽可能地简明扼要。同时，每章开头有提要，末尾有小结、思考题和习题。

本书上册包括绪论及第一章至第七章，下册包括第八章至第十二章。参加编写工作的是：武汉工业大学熊丹安（第一、八、十二章）和姜英春（第三、四章），湖南大学沈蒲生（绪论、第二、十章）、罗国强（第六、七、九、十一章）和昌震天（第五章）。本书由沈蒲生教授和罗国强副教授共同主编，湖南大学成文山教授主审。

由于我们水平所限，错误之处，欢迎批评指正。

编 者

一九八七年十二月

目 录

绪 论

- §0—1 钢筋混凝土结构的基本概念..... (1)
- §0—2 钢筋混凝土结构的发展简况..... (4)
- §0—3 本课程的特点和学习方法..... (5)

第一章 钢筋混凝土材料的力学性能

- §1—1 钢筋..... (7)
- §1—2 混凝土..... (11)
- §1—3 钢筋与混凝土的相互作用——粘结力..... (22)
- 小 结..... (24)
- 思考题..... (25)

第二章 概率极限状态设计法

- §2—1 几个基本概念..... (26)
- §2—2 结构的可靠度理论..... (31)
- §2—3 概率极限状态设计法..... (34)
- 小 结..... (40)
- 思考题..... (41)

第三章 受弯构件正截面承载力计算

- §2—1 概述..... (42)
- §3—2 受弯构件试验研究分析..... (43)
- §3—3 受弯构件正截面承载力计算公式..... (47)
- §3—4 钢筋混凝土梁、板正截面承载力计算..... (53)
- §3—5 构造要求..... (71)
- 小 结..... (73)
- 思考题..... (73)
- 习 题..... (77)

第四章 受弯构件斜截面承载力计算

- §4—1 概述..... (81)
- §4—2 受弯构件斜截面破坏的主要形态及影响因素..... (83)
- §4—3 无腹筋梁斜截面承载力计算公式..... (86)
- §4—4 有腹筋梁斜截面承载力计算公式..... (87)
- §4—5 连续梁、约束梁斜截面承载力计算..... (96)
- §4—6 构造要求..... (102)
- §4—7 钢筋混凝土伸臂梁设计实例..... (109)
- 小 结..... (113)
- 思考题..... (115)
- 习 题..... (115)

第五章 受扭构件承载力计算

- §5—1 纯扭构件的受力性能和承载力计算方法..... (119)

§ 5—2 矩形截面剪扭构件和弯扭构件承载力计算方法·····	(125)
§ 5—3 受扭构件承载力计算适用条件和构造要求·····	(129)
§ 5—4 弯剪扭构件一般计算步骤·····	(131)
小 结·····	(134)
思考题·····	(135)
习 题·····	(136)
第六章 钢筋混凝土受弯构件裂缝和变形验算	
§ 6—1 概述·····	(137)
§ 6—2 受弯构件裂缝宽度验算·····	(140)
§ 6—3 受弯构件挠度计算·····	(146)
小 结·····	(153)
思考题·····	(154)
习 题·····	(154)
第七章 钢筋混凝土梁板结构	
§ 7—1 概述·····	(155)
§ 7—2 现浇单向板肋形楼盖·····	(158)
§ 7—3 现浇双向板肋形楼盖·····	(195)
§ 7—4 装配式钢筋混凝土楼盖·····	(214)
§ 7—5 楼梯、雨蓬计算与构造·····	(217)
小 结·····	(231)
思考题·····	(232)
习 题·····	(232)
附 录·····	(235)

绪 论

§0—1 钢筋混凝土结构的基本概念

由钢筋和混凝土按照一定的方式结合而成的结构，称为钢筋混凝土结构。

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—1_a为钢筋混凝土简支梁的配筋情况，图0—1_b为钢筋混凝土简支平板的配筋情况，图0—1_c为装配式钢筋混凝土单层工业厂房边柱的配筋情况，图0—1_d为钢筋混凝土杯形基础的配筋情况，图0—1_e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，在混凝土结构和构件的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_a为一根未配置钢筋的纯混凝土简支梁，跨度4m，截面尺寸 $b \times h = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，混凝土强度等级为C20，梁的跨中作用一个集中荷载 P 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3号钢筋（记作3 ϕ 16），并在受压区布置两根直径为10mm的架立钢筋和适当的箍筋，再进行同样的荷载试验（图0—2_b），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，形成明显的破坏预兆。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百分之一左右，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：

1. 结构的承载力有很大的提高；
2. 结构的受力特性得到显著的改善。

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：

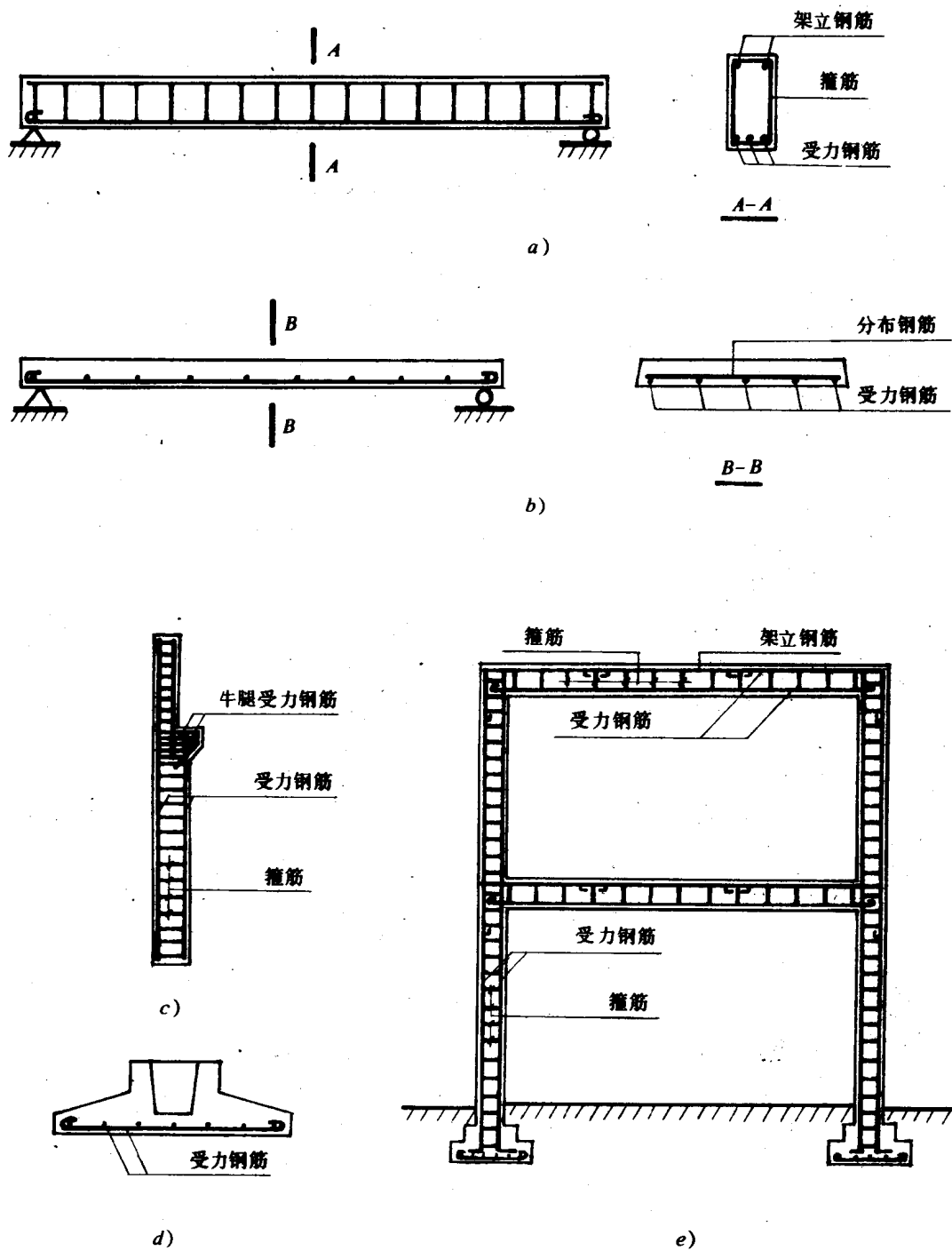


图0-1 常见钢筋混凝土结构和构件配筋实例

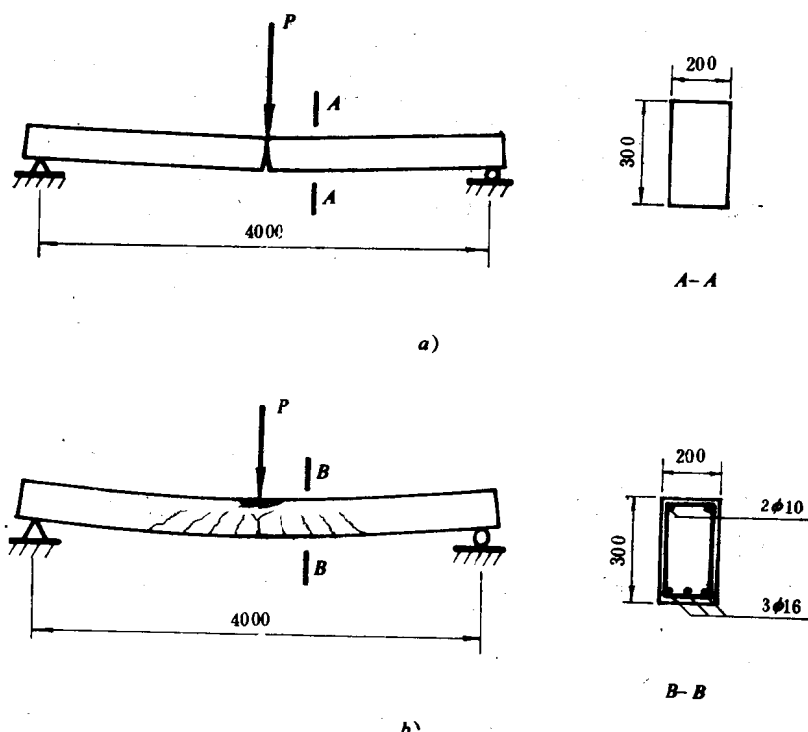


图0—2 纯混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

1. 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。

2. 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。因此，当温度变化时，钢筋与混凝土之间的粘结力不会由于存在较大的相对变形和温度应力而破坏。

钢筋混凝土结构除了比纯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：

1. 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。

2. 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。

3. 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。

4. 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇捣成任何形状。

5. 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：

1. 自重。钢筋混凝土的重力密度约为 25 kN/m^3 ，比砌体和木材的重度都大。它虽然

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。

2. 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的受拉区经常带裂缝工作。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。

§0—2 钢筋混凝土结构的发展简况

十九世纪中期,在硅酸盐水泥研制成后不久,钢筋混凝土结构在法、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,所以钢筋混凝土主要用于梁、板、柱等简单构件和结构中。

本世纪以来,特别是最近三十年来,钢筋混凝土材料的研制和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 $20\text{N}/\text{mm}^2$)。现在已发展到采用中等强度($20\text{N}/\text{mm}^2 \sim 50\text{N}/\text{mm}^2$)和高强度混凝土($50\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)。目前已经研制成强度为 $200\text{N}/\text{mm}^2$ 的混凝土。重力密度为 $14\text{kN}/\text{m}^3 \sim 18\text{kN}/\text{m}^3$ 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钢筋混凝土结构之中。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楼,76层,高262m。我国目前最高的钢筋混凝土建筑是深圳的国贸大厦,53层,高160m。钢筋混凝土结构由现浇式朝装配式、装配整体式发展,由非预应力结构向预应力结构发展。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,钢筋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,钢筋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,钢筋混凝土结构在各个

建筑部门中所占的比重必将更大。

§0—3 本课程的特点和学习方法

本课程将对工业与民用建筑中钢筋混凝土基本构件和结构的受力性能、计算方法与构造要求等问题进行介绍。全书分上、下两册。上册首先讨论钢筋混凝土材料的力学性能和概率极限状态设计方法。它们是学习往后各章的基础知识。然后讨论钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算与斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算以及受弯构件裂缝和变形的验算。最后,结合梁板结构介绍设计计算方法,并对受弯构件计算及其在工程中的应用等问题进行总结。下册首先讨论受压构件计算、受拉构件计算和预应力混凝土构件计算,然后介绍单层厂房和多层框架结构的设计方法。

在学习本课程时,应该注意以下几点:

(一) 钢筋混凝土是由钢筋和混凝土结合而成的一种材料,它与理论力学中的刚性材料以及材料力学和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。为了对钢筋混凝土结构的受力性能与破坏特性有较好的了解,首先要求对钢筋和混凝土的力学性能要较好地掌握。

(二) 钢筋混凝土结构在裂缝出现前的抗力行为,与理想弹性结构的相似。但是,在裂缝出现以后,特别是临近破坏之前,它的受力和变形状态与理想弹性材料的有显著不同。例如,在钢筋混凝土简支梁中,裂缝截面混凝土的拉应力全部由钢筋承受,即发生应力重分布。又如在钢筋混凝土连续梁中,如果某一截面开裂,则除了该截面上将出现应力重分布以外,各个截面上的内力也要作相应的调整,即发生内力重分布。因此,不能将以弹性材料为对象的材料力学和结构力学的分析方法完全照搬到钢筋混凝土结构中来,而是应该根据钢筋混凝土材料和结构的特点建立一套特有的分析方法。

(三) 钢筋混凝土结构的受力性能不是钢筋和混凝土两种材料受力性能的简单迭加。它除了与钢筋和混凝土的力学性能有关之外,还取决于结构的受力状态、配筋方式和配筋数量等因素。以钢筋混凝土简支梁为例,随着纵向受拉钢筋配筋率的变化,它的破坏可以是受拉钢筋先屈服,也可以是受压区混凝土先压碎。

鉴于钢筋混凝土结构抗力行为的复杂性,暂时还难以用一种简单的数学模型和力学模型来概括。因此,目前主要以钢筋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。它们虽然不象数学或力学公式那样严谨,然而却已能够较好地反映结构的真实受力情况。

(四) 钢筋混凝土结构设计中,要求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。为此除了要求综合应用数学、力学、建筑材料、建筑设计和建筑施工等知识以外,还要求具有较强的经济观点和技术政策观念,结合具体情况确定最佳结构方案以获取良好的技术经济效益。

(五) 进行钢筋混凝土结构设计时离不开计算。但是,现行实用计算方法一般只考虑了荷载作用,其他有些因素,如混凝土的收缩、地基的不均匀沉陷等,难于用计算方式考虑。我国新修订的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)(本书以下简称《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影响。因此,设计钢筋混凝土结构时,除了计算以外,还必须满足构造上的要求。若只重计算而忽视构造,往往有损工程质量,严重的

甚至造成工程事故。

(六) 为了指导钢筋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，它们是各国一定时期理论研究成果和实践经验的总结。学习钢筋混凝土结构时，应树立技术法规观念，很好地熟悉、掌握和运用《规范》。但是，由于钢筋混凝土结构是一门比较年轻和迅速发展着的学科，许多规律性的东西还有待进一步研究和总结。因此，我们在很好地学习和掌握钢筋混凝土结构的理论与设计方法的同时，要善于观察和分析，并不断地进行探索与创新。

第一章 钢筋混凝土材料的力学性能

提 要

钢筋和混凝土材料的力学性能，是钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件计算的基础。应当掌握：

1. 不同类型钢筋应力—应变曲线的区别，钢筋的强度、弹性模量，钢筋的品种和级别；
2. 钢筋的冷加工方法；
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、强度指标，影响混凝土强度和变形的因素，混凝土的变形模量，混凝土的选用原则；
5. 保证钢筋和混凝土的粘结力的构造措施。

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

§ 1—1 钢 筋

一、钢筋的强度和变形

(一) 钢筋的应力—应变曲线

普通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：有明显流幅的钢筋和无明显流幅的钢筋（习惯上也分别称它们为软钢和硬钢）。

有明显流幅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

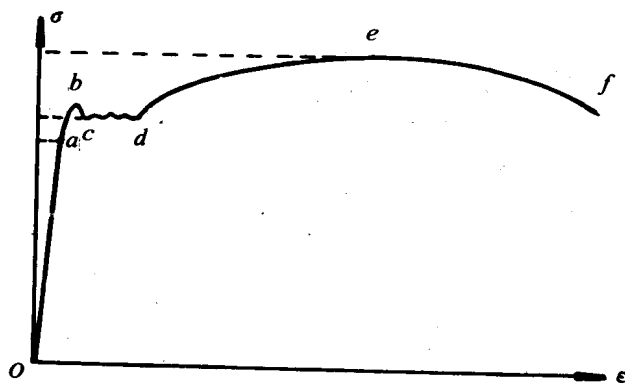


图 1—1 钢筋的应力—应变曲线



图 1—2 钢筋受拉时的颈缩现象

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，图形接近水平线。此时应变急剧增加，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。对于一般有明显流幅的钢筋来说， 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，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抗拉强度。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。

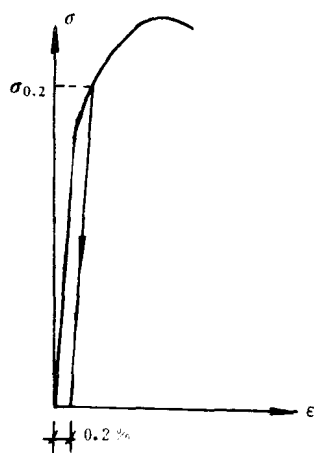


图1—3 无明显流幅钢筋的应力—应变曲线

无明显流幅的钢筋典型拉伸应力—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为0.2%时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为假想屈服点。即条件屈服强度（图1—3）。

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

对于有明显流幅的钢筋，屈服强度是关键 的强度指标。因为当结构构件中某一截面钢筋应力 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。绝大多数构件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，一般结构设计中不考虑钢筋

强化段的工作而取屈服强度作为设计强度的依据。此外，钢筋的屈强比（屈服强度与抗拉强度的比值）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，因而钢筋的抗拉强度是检验钢筋质量的另一强度指标。

由于无明显流幅的钢筋的条件屈服强度不容易测定，因此这类钢筋的质量检验以抗拉强度作为主要强度指标。《规范》规定条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 为抗拉强度 $f_{t.}$ 的0.8倍，即

$$\sigma_{0.2} = 0.8f_{t.} \quad (1-1)$$

各类钢筋的强度指标详见附表1和附表2。

反映钢筋变形性能的基本指标是“伸长率”，它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。具有明显流幅的钢筋有较大的伸长率，而无明显流幅的钢筋伸长率很小。

钢筋还应满足冷弯性能要求。即将钢筋围绕某一规定直径的辊轴（弯心：当钢筋直径 $d \leq 25\text{mm}$ 时，对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级钢筋，直径分别为 $1d$ 、 $2d$ 和 $3d$ ， α 分别为 180° 、 180° 和 90° ）

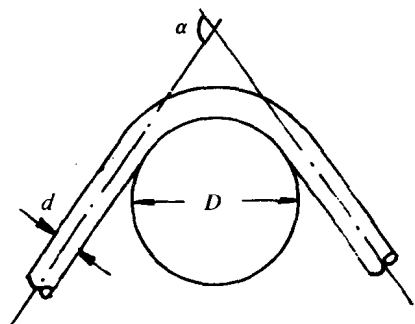


图1—4 钢筋冷弯

进行弯曲（图1—4），要求在达到规定的冷弯角度时钢筋不发生裂纹、起层或断裂。冷弯性能可间接地反映钢筋的塑性和内在质量。

屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯性能是对有明显流幅钢筋进行质量检验的四项主要指标，而对无明显流幅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。

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

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，详见附表1—3。

二、钢筋的化学成分、级别和品种

我国目前常用的钢筋用碳素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，碳素钢可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢（一般低碳钢如3号钢的含碳量不大于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、钼、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钼钒、45硅锰钒等。

按照生产加工工艺和力学性能的不同，用于钢筋混凝土和预应力混凝土结构中的钢筋（直径不小于6mm）和钢丝（直径不大于5mm）可分为热轧钢筋、冷拉钢筋、钢丝、热处理钢筋等四类。其中热轧钢筋和冷拉钢筋属于有明显流幅的钢筋，钢丝和热处理钢筋则属于无明显流幅的钢筋。

热轧钢筋分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级，为冶金厂直接热轧成型。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过淬火和回火处理后制成。经过淬火和回火，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—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，使钢筋的疲劳强度和冷弯性能得到一定改善，还具有在轧制过程中不易卡辊的

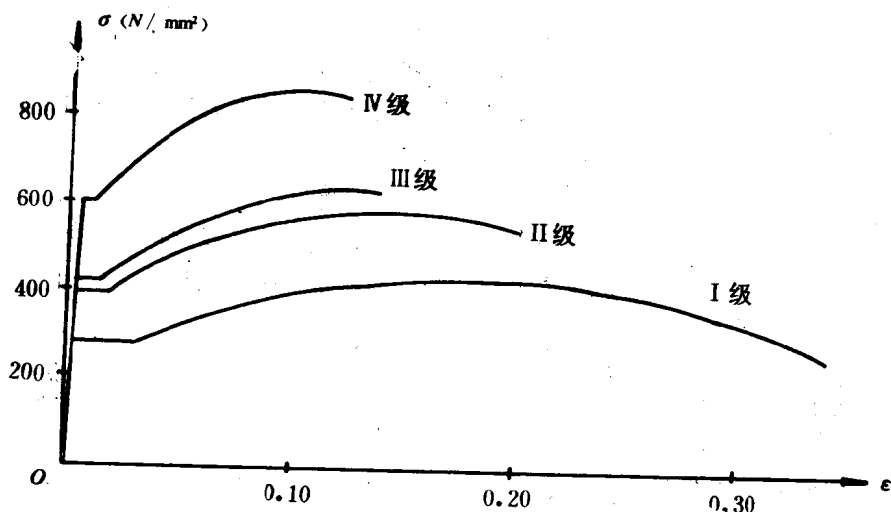
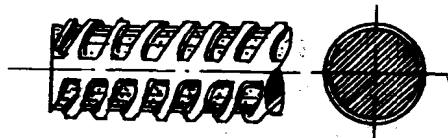
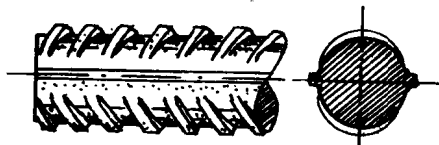


图1-5 各种热轧钢筋的应力—应变曲线



a)



b)

a). 螺纹钢 b). 月牙纹钢筋

图1-6 变形钢筋形状

优点；不足的是与螺纹钢筋相比，月牙纹钢筋与混凝土的粘结强度略有降低。

三、钢筋的冷拉和冷拔

为了节约钢材，常用冷拉或冷拔的方法来提高热轧钢筋的强度。冷拉是将钢筋拉至超过屈服强度的某一应力，如图1-7中的点 a 。然后卸荷至零时将留有残余变形 OO' （卸荷曲线 ao' 平行于弹性阶段的应力—应变曲线 OA ）。如立即重新加荷，应力—应变曲线将沿 $o'a cd$ 进行，屈服点提高至 a ，这种现象称为钢筋的“冷拉强化”。若钢筋经冷拉后卸荷，停留一段时间后再次加荷，则应力—应变曲线将沿 $o'a' c' d'$ 进行，屈服点将提高至 a' 点。 $a a'$ 的变化反映一种时效效应，这一现象称为“时效硬化”或“冷拉时效”。

钢筋经冷拉和时效硬化后，屈服强度有所提高，但塑性（伸长率）相应降低。合理地选择控制点 a 可使钢筋保持一定的塑性而又能提高强度。这时 a 点的应力称为冷拉控制应力，对应的应变称为冷拉率。

冷拉是用卷扬机或其它张拉设备（如千斤顶）进行的。冷拉时若同时控制冷拉应力和伸长率，称为“双控”。若仅控制伸长率则称为“单控”。为了保证冷拉钢筋的质量，宜尽量采用双控。

必须注意的是，焊接时产生的高温会使钢筋软化（强度降低，塑性增加），因此需要焊接的冷拉

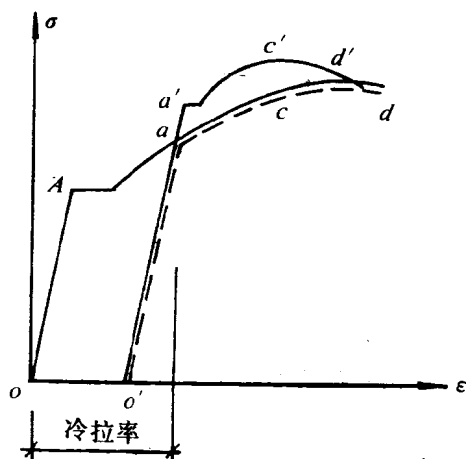


图1-7 钢筋冷拉原理