

钢 筋 混 凝 土 结 构

上 册

曹 声 远 沈 蒲 生 主 编
徐 凯 怡 主 审

湖 南 大 学 出 版 社

前 言

本书是根据高等工业学校工业与民用建筑专业“钢筋混凝土及砖石结构函授教学大纲(草案)”要求编写的教科书。全书分上、下两册。上册包括绪论、钢筋混凝土材料的物理力学性能、钢筋混凝土结构的计算原则、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算,受弯构件裂缝宽度及变形验算、受扭构件以及梁板结构;下册包括受压构件、受拉构件、预应力混凝土构件、单层厂房结构以及多层房屋框架结构。

本书内容是按照我国新编《混凝土结构设计规范》报批稿编写的。在编写过程中,我们力求做到贯彻少而精和理论联系实际等原则。为了适应函授教学的特点,便于学生自学,在文字叙述上尽可能将问题交待清楚,例题数量尽可能多一些,并且用框图的形式对各章的计算方法进行归纳。除此之外,每章开头有提要,末尾有小结、思考题和习题。本书除作为函授本科教科书外,还可以作为全日制本科、函授专科、电大、夜大以及工程技术人员自学教材。

本书由西安冶金建筑学院函授部、哈尔滨建筑工程学院函授部和湖南大学函授部共同组织编写。参加编写工作的是:哈尔滨建筑工程学院曹声远(绪论、第四、六、十一章)和徐凯怡(第十二章),湖南大学刘健行(第一章)、沈蒲生(第二、三章)和罗国强(第七、九章),西安冶金建筑学院邱登莽(第五、十章)和刘志鸿(第七、八章)。本书上册由曹声远和沈蒲生主编,徐凯怡主审;下册由邱登莽主编,刘健行和曹声远主审。

由于我们水平所限,加之规范尚未最后定稿,错误之处欢迎批评指正。

著

1987年11月

钢筋混凝土结构

上册

曹声远 沈蒲生 主编

徐凯怡 主审



湖南大学出版社出版发行

(长沙岳麓山)

湖南省新华书店经销 湖南印刷二厂印刷



787×1092 1/16开 19.875印张 460千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数:6001—6000册

ISBN 7-314-00315-7/TU 210

定价 6.80元

目 录

绪论.....	(1)
§ 0—1 钢筋混凝土结构的一般概念.....	(1)
§ 0—2 钢筋混凝土结构的主要优缺点.....	(2)
§ 0—3 钢筋混凝土结构的应用及发展简况.....	(3)
§ 0—4 钢筋混凝土结构课程的特点及学习方法.....	(6)
第一章 钢筋混凝土材料的物理力学性能.....	(8)
提要.....	(8)
§ 1—1 钢筋.....	(8)
§ 1—2 混凝土.....	(17)
§ 1—3 钢筋和混凝土的共同工作.....	(34)
小结.....	(38)
思考题.....	(39)
第二章 钢筋混凝土结构的计算原则.....	(41)
提要.....	(41)
§ 2—1 结构上的作用、作用效应和结构可靠度.....	(45)
§ 2—2 结构的可靠度理论.....	(48)
§ 2—3 概率极限状态设计法.....	(54)
小结.....	(55)
思考题与习题.....	(56)
第三章 受弯构件正截面承载力计算.....	(56)
提要.....	(56)
§ 3—1 概述.....	(56)
§ 3—2 受弯构件的受力特性.....	(57)
§ 3—3 单筋矩形截面承载力计算.....	(59)
§ 3—4 双筋矩形截面承载力计算.....	(68)
§ 3—5 T形截面承载力计算.....	(76)
§ 3—6 构造要求.....	(85)
小结.....	(85)
思考题.....	(85)
习题.....	(85)

第四章 受弯构件斜截面承载力计算 (88)

提要 (88)

§ 4—1 概述 (88)

§ 4—2 钢筋混凝土简支梁斜裂缝的形成 (89)

§ 4—3 剪弯区的破坏形态及抗剪模型 (91)

§ 4—4 影响钢筋混凝土梁抗剪承载力的因素 (96)

§ 4—5 斜截面承载力计算的基本原则 (98)

§ 4—6 斜截面抗剪承载力计算 (101)

§ 4—7 保证斜截面抗弯承载力的构造措施 (118)

§ 4—8 箍筋的构造要求 (120)

小结 (121)

思考题 (122)

习题 (125)

第五章 受弯构件裂缝宽度及变形验算 (128)

提要 (128)

§ 5—1 概述 (128)

§ 5—2 受弯构件裂缝宽度的计算 (128)

§ 5—3 受弯构件变形(挠度)的计算 (131)

小结 (151)

思考题 (151)

习题 (152)

第六章 钢筋混凝土受扭构件扭曲截面承载力计算 (153)

提要 (153)

§ 6—1 概述 (153)

§ 6—2 矩形截面纯扭构件的扭曲截面承载力计算 (154)

§ 6—3 矩形截面剪扭构件的扭曲截面承载力计算 (158)

§ 6—4 弯扭及弯剪扭构件的扭曲截面承载力计算 (162)

§ 6—5 T形和工字形截面受扭构件 (165)

§ 6—6 适用条件与构造要求 (167)

§ 6—7 弯剪扭构件的计算方法和步骤 (169)

小结 (176)

思考题 (177)

习题 (178)

第七章 钢筋混凝土梁板结构 (179)

提要 (179)

§ 7—1 概述 (179)

§ 7—2	现浇单向板肋形楼盖	(182)
§ 7—3	现浇双向板肋形楼盖	(224)
§ 7—4	现浇双重井式楼盖	(244)
§ 7—5	现浇钢筋混凝土无梁楼盖	(252)
§ 7—6	装配式钢筋混凝土楼盖	(268)
§ 7—7	楼梯、雨蓬计算与构造	(272)
小结		(286)
思考题		(287)
习题		(287)
参考文献		(290)
附录		(291)

绪 论

§ 0—1 钢筋混凝土结构的一般概念

由建筑材料课程可知,利用水泥掺以级配合理的粗、细骨料,加水拌合并浇筑在模型之中,经硬化后就可以得到人们所需要的各种形状的人工石材—混凝土。它的抗压能力较强,抗拉能力较弱。

当一根混凝土梁承受荷载时,中和轴以上受压,以下受拉(图 0-1 a)。当荷载 P_1 较小时,例如 $P_1 < P_{cc}$ (P_{cc} 为开裂荷载),梁的受拉区边缘的拉应力 σ_{ct} 未达到混凝土的抗拉强度,梁尚能承受此荷载。当荷载 P_1 增至 P_{cc} 时,梁的受拉区边缘的混凝土拉

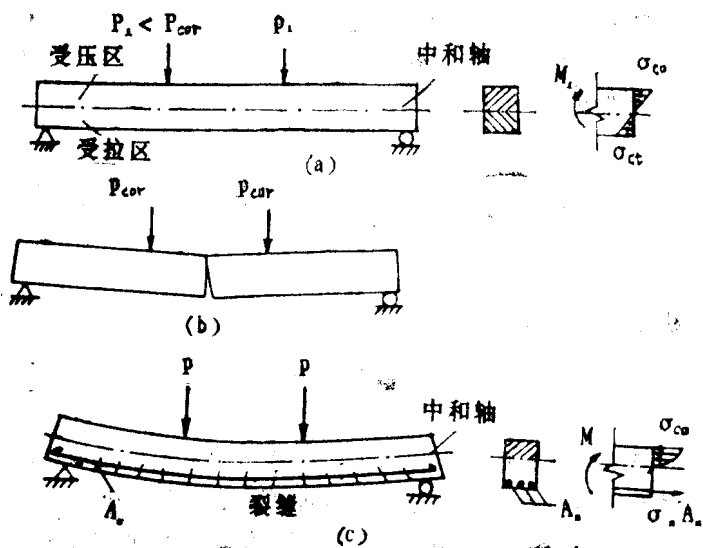


图 0—1

应力达到其抗拉强度,尽管这时受压区混凝土的相应压应力还远小于其抗压强度,但在梁的受拉区边缘就出现裂缝,并迅速向上伸展,梁瞬即破坏(图 0-1 b)。由此可知,混凝土梁开裂即破坏。开裂荷载与破坏荷载十分接近,甚至完全相等。破坏突然发生,属于脆性破坏。另外,更主要的是梁的承载能力是由其抗拉强度决定的,而其抗压强度未被充分利用,混凝土抗压强度高的特性未能得到充分发挥。

这样,远在十九世纪中期,人们就自然地想到利用抗拉强度很高的钢筋来弥补纯混凝土梁的缺陷。例如,在混凝土梁的受拉区配置适当数量的纵向受拉钢筋,形成钢筋混凝土梁(图 0-1 c)。钢筋混凝土梁的试验表明,在荷载作用下,当受拉区混凝土开裂后(其开裂荷载 P_c 虽比相同截面尺寸和相同强度纯混凝土梁的开裂荷载 P_{cc} 略大,但一般增加不多),在裂缝处的截面上,受拉区混凝土退出工作,全部拉力转由钢筋来承受。

因此,在受拉区出现裂缝时钢筋混凝土梁不会象纯混凝土梁那样立即折断,它还能继续承受相当大的荷载(与配置的纵向受拉钢筋数量有关),直到受拉钢筋应力达到屈服强度,在荷载略有增加的情况下,裂缝急剧开展,并向受压区延伸,使受压区面积不断缩小,最后导致混凝土压应力达到其抗压强度而被压碎,梁最终破坏。不难看出,配置在受拉区的钢筋显著地增强了受拉区的抗拉能力,从而大大地提高了梁的承载能力。在这里钢筋和混凝土这两种材料扬长避短,共同工作,直到破坏,使它们的强度都得到了充分利用,做到了物尽其用。另外梁在破坏之前,裂缝显著开展,挠度明显增加,预示着梁即将破坏。这说明钢筋混凝土梁破坏之前是有预兆的,属于塑性破坏。另外,为了减小构件截面尺寸和提高构件承载能力,有时在构件受压区或受压构件中也配置受压钢筋。

钢筋和混凝土这两种性质不同的材料合理地结合在一起,就形成钢筋混凝土。这两种材料之所以能够有效地共同工作直到破坏。主要是由于混凝土硬化以后,钢筋与混凝土之间产生了良好的粘结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证在荷载的作用下,钢筋与周围混凝土能协调变形共同工作。其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数的数值十分接近(钢为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),因此,当温度变化时,不致产生过大的温度应力而破坏两者之间的粘结。另外,钢筋被包裹在混凝土中,可以防止锈蚀,保证构件的耐久性。

§0—2 钢筋混凝土结构的主要优缺点

一、钢筋混凝土结构的优点

钢筋混凝土除了如上所述能合理地利用两种材料的性能外,还有下列主要优点:

1. 可以就地取材

砂石在钢筋混凝土的体积中所占比重大,一般可以就地就近取材,因而可以减少材料的运输费用,降低建筑造价。在工业废料(如矿渣、粉煤灰等)比较多的地区,可将工业废料制成人造骨料用于混凝土中,这不但可以解决废料处理问题,改善环境污染,而且还可以减轻结构自重,我国水泥产地的分布亦较广,大部分地区可以作到就地取材。

2. 耐久性好

钢筋混凝土结构中,混凝土抗大气侵蚀的性能很好,且钢筋又为混凝土所包裹而不致锈蚀,所以,钢筋混凝土的耐久性很好,不象钢结构那样需要经常保养和维修。对处于侵蚀性介质条件下,如海水浸泡的钢筋混凝土结构,可采用火山灰硅酸盐水泥制作的混凝土;对于受酸性侵蚀的结构,可采用耐酸混凝土等,以满足不同条件下结构对耐久性的要求。

3. 耐火性好

由于混凝土导热性较差,钢筋为其所包裹且有足够的保护层厚度,在火灾中将不致很快降低其强度而造成结构整体破坏;在正常消防条件下,火灾造成的损伤一般限于表

面。所以与钢结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性能较好。对经常承受高温作用的结构,还可以根据所受温度,采用不同的耐热混凝土。

4. 整体性强

钢筋混凝土特别是现浇的钢筋混凝土结构具有较好的整体性,故抗振动性能较好,这对于受地震、冲击波和暴风浪作用的建筑物,均有重要意义。

钢筋混凝土结构由于整体性强,所以刚度较大,在使用荷载作用下,仅产生较小的变形,故被有效地应用于对变形要求较严的各种建筑物。

5. 可模性好

钢筋混凝土可根据设计要求,浇筑成各种形状和尺寸的结构,特别适用于建造外型复杂新颖的大体积结构和空间薄壳结构等。这一特点是钢、木结构所没有的。

二、钢筋混凝土结构的缺点

钢筋混凝土结构也有缺点。

1. 自重大

钢筋混凝土结构的截面尺寸较相应的钢结构大,因此自重较大,这对于大跨结构、高层结构以及抗震结构都是不利的。采用轻质高强混凝土可以有效地克服这一缺点。所以发展和应用高强混凝土和轻质混凝土就成为现代钢筋混凝土结构发展方向之一。

2. 抗裂性差

混凝土容易开裂。配置钢筋后虽可大大提高构件的承载能力,但抗裂荷载提高甚微,故钢筋混凝土结构在使用荷载下一般带裂缝工作。采用预应力混凝土,既可提高构件的抗裂性,又可有效地利用高强钢材。所以,推广预应力混凝土结构也是现代钢筋混凝土结构发展方向之一。

3. 施工费工且受季节性影响

现浇钢筋混凝土结构工程费工较多,浇筑后必须养护,工期较长,而且施工受到季节气候条件的限制。采用预制装配式钢筋混凝土结构,可实现构件生产工厂化,施工机械化,有利于克服这一缺点。所以研究和发展装配式钢筋混凝土结构也是发展方向之一。

4. 耗费木料多

现浇钢筋混凝土结构要耗费大量的模板用木材。发展预制装配式结构,采用工具式模板有利于克服这一缺点。

此外,钢筋混凝土结构的补强加固及改建比较困难。混凝土的保温隔热和隔声性能也较差。

§ 0—3 钢筋混凝土的应用及发展简况

由于钢筋混凝土具有这么多优点,加之其缺点又可以在工程实践中不断地得到克服,因之自从1867年法国人莫尼埃(Manier)第一次获得生产配有钢筋的混凝土构件专

利以来,其应用范围日益广泛。到今天它已发展成为现代主要的人造工程材料。据1980年的统计,全世界混凝土年用量达70亿吨,按当时45亿人计,每人平均用量达1.6吨。我国的混凝土产量,据1959年到1979年二十年间的统计,年浇筑量已超过一亿立方米(约合2.5亿吨)。近年来,混凝土产量增加更快。从目前世界各国的情况来看。钢筋混凝土结构已发展成为建筑结构中最主要的结构体系,而且还将在更大的深度和广度上代替钢、木结构。几乎在所有的基本建设工程领域中,都可成功地应用它。

在工业建筑中,特别是中小型厂房的屋架、托架、屋面大梁、屋面板、吊车梁,以及柱和基础等结构构件中都可以采用钢筋混凝土构件。在我国大规模的工业建设中,钢筋混凝土结构得到了广泛应用。已成功地制成跨度达60m的块体拼装式预应力拱形屋架。还建造了跨度为12m、起重量为2000KN的桥式吊车预应力混凝土鱼腹式吊车梁。与工业建筑有关的特种结构,如烟囪、水池、水塔、冷却塔、筒仓、栈桥及贮罐等,也普遍采用钢筋混凝土结构。

在民用建筑中,不论单层、多层或高层民用房屋结构,都可以采用钢筋混凝土结构。作为工程实例,如50层约160m高的深圳国贸中心大厦;37层108.5m高的南京金陵饭店等。特种民用建筑,如火车站候车厅、运动场看台、大跨度会堂和影剧院等公共建筑中,也都可以成功地采用钢筋混凝土结构。如北京火车站中央大厅的 35×35 m的双曲扁壳、同济大学大礼堂的跨度为40m的联方网架、北京体育学院田径房的跨度为46.7m的落地拱等,都属于在大跨公共建筑中采用钢筋混凝土结构的成功之例。

在城建及交通事业中,如港口、码头、船坞、道路、桥梁、电杆、输电线塔、给排水管网、隧道、涵洞、轨枕及挡土墙等,也大多采用钢筋混凝土来建造。如著名的南京长江大桥引桥、跨长260m的天津永和公路斜拉桥、跨长120m的福建洪塘公路下承式桁架桥等,皆属成功之例。

在水利水电工程中,如挡水坝、发电站、灌溉工程等,也多采用钢筋混凝土结构,解放后兴建了很多水利工程,其中已建成的高度为60m以上的混凝土坝就有23座。甘肃刘家峡水电站的重力坝高达147m,正在兴建的青海龙羊峡水电站拱形重力坝高达172m,以及具有防洪、发电、航运、灌溉等综合效益的三峡水利枢纽工程中的第一座坝—葛洲坝等都是应用钢筋混凝土建造的宏伟工程实例。

在国防工程中,如各种防御工事、防空设施、防放射线结构物及卫星、火箭发射场等,也都需要采用钢筋混凝土结构。

在海洋工程中,如海上采油平台和水下贮油罐等工程,钢筋混凝土也是比较满意的结构材料。

总之,钢筋混凝土结构,特别是预应力混凝土结构出现以来,已经发展成为国民经济所有领域的工程建设中均不可缺少的结构形式。现在,预应力混凝土结构已不仅在某些范围内用来代替钢结构和普通钢筋混凝土结构,而且在一些方面,例如原子能发电站的高温高压的大压力容器,目前只有采用预应力混凝土结构修建才能有效地防止辐射,确保安全。

以下就材料、结构和设计理论三个方面来简述钢筋混凝土的发展现状和趋势。

材料方面,高强、轻质是混凝土材料发展的方向,这对发展高层建筑、高耸结构、

大跨结构有重要意义。这类结构的自重是结构所受荷载的主要组成部分。采用轻质、高强度混凝土可以减轻结构自重,减小截面尺寸,因而可获得较大的经济效益。目前常用混凝土强度为C20~C40级。当前国内外正向高强混凝土方向发展。如在美国,60年代混凝土平均强度为C28级,70年代提高到C42级,而预应力混凝土为C70级。苏联1977年规划中也明确提出要求在工业建筑中广泛采用C60~C80级混凝土。目前国际上已制成强度很高的混凝土,如罗马尼亚已制成C170级的混凝土。美国已制成C200级混凝土。我国已制成C100级的混凝土。ACI(美国混凝土学会)2000年委员会预计,本世界末,常用混凝土的抗压强度可达 130N/mm^2 ,特制的混凝土抗压强度可达 4000N/mm^2 ,这相当于现在所用的Ⅲ级钢筋的屈服强度。而且有可能使混凝土性能得到较大改善,如抗拉强度与抗压强度之比,将由目前的1/10提高到1/2。另外向轻质方向发展也是当前混凝土发展动向之一。国外从20世纪60年代以来,轻质高强混凝土是建造高层、大跨结构的主要材料。如法国利用预应力轻骨料混凝土建造一座飞机库屋盖,其跨度达90m。国外用于工程结构的轻骨料混凝土强度一般为C30~C60,容重一般为 $10\sim 14\text{kN/m}^3$ 。目前我国轻骨料混凝土强度级别为C7.5~C30,容重为 $12\sim 18\text{kN/m}^3$ 。

结构方面:在一般的工业与民用建筑中,已广泛采用定型化、标准化的钢筋混凝土和预应力混凝土构件,它促进了钢筋混凝土结构设计的标准化、制造的工厂化和安装施工的机械化。随着建筑工业化的发展,结构设计正在走向工业化的建筑体系,为进一步加强建设速度、降低造价和保证施工质量创造了条件。近年来,值得注意的另一个发展动向,是向大跨和高空发展。例如日本滨名大桥,采用预应力混凝土箱形截面,跨度达239m。1930年在奥林匹克完工的一座薄壳结构,跨度达250m。我国1938年6月通车的广东九江公路桥,为跨度达320m的独塔斜拉桥。ACI2000年委员会预计,在本世纪末有可能建成500m到600m的大跨桥梁。向高空发展的房屋的典型实例是美国芝加哥水塔广场大楼,全部采用钢筋混凝土结构,76层,高达262m。苏联和加拿大分别建成533m和549m高的预应力混凝土电视塔。ACI2000年委员会预计,本世纪末有可能建成600~900m高的钢筋混凝土和预应力混凝土建筑物。另外,钢筋混凝土结构再一个令人瞩目的发展动向,就是向地下发展,向海上和海底发展。ACI2000年委员会预计,本世纪末有可能建成地下城市、海底城市和海上浮动城市。其中钢筋混凝土和预应力混凝土必将起到重要的作用,这是可想而知的。

设计理论方面:目前在建筑结构中已开始应用可靠度的概率分析方法,使极限状态设计方法向着更为完善、更为科学的方向发展。考虑混凝土非弹性变形的钢筋混凝土结构计算理论已有了很大的发展,在板、连续梁及框架的设计中已得到了应用。随着对混凝土变形性能的深入研究和电子计算机的应用,钢筋混凝土构件的计算已开始使用将强度、变形、延性贯串起来的全过程分析方法,并从个别构件分别计算发展为对整个结构的整体工作的分析方法。总之,由于将电子计算机、有限元理论、结构优化理论和近代测试技术引用到钢筋混凝土的理论和试验中来,使得钢筋混凝土的计算理论和设计方法正日趋完善,向着更高阶段发展。目前国内外对混凝土在复杂受力状态下的强度及断裂理论、混凝土的徐变理论、钢筋混凝土的非线性有限元理论,在重复或反复荷载下的分析等,尚在继续进行广泛深入的研究。

§ 0—4 钢筋混凝土结构课程的特点及学习方法

钢筋混凝土结构是我国目前工业与民用建筑中应用最为广泛的一种结构。它是所有工业与民用建筑工作者，不论是从事设计、科研或施工工作，还是从事工程管理部门的工作，都经常接触的。因此，它是工业与民用建筑专业的主干课程之一。

钢筋混凝土结构课程，按其内容的性质可分为“钢筋混凝土基本构件”和“钢筋混凝土房屋结构”两大部分。前者主要讨论钢筋混凝土构件的受力性能、设计计算方法和配筋构造等，它是钢筋混凝土结构的基本理论；后者主要讨论钢筋混凝土房屋结构的选型、内力分析方法和构造处理等问题，它包括钢筋混凝土梁板结构、单层厂房结构和多层房屋结构。通过对这些内容的学习，要求学生能基本掌握这种结构设计所必需的理论知识，然后再通过课程设计和毕业设计等实践性教学环节初步学会如何运用这些理论知识来正确进行设计和解决工程中的实际技术问题。

“钢筋混凝土基本构件”，在性质上相当于钢筋混凝土的“材料力学”，它与材料力学有很多相似之处，但也有很多不同之处。在学习本课程时，要着重从它与材料力学不同的方面来掌握它的特点。例如，材料力学主要是研究单一、匀质、连续和弹性材料的构件，而“钢筋混凝土基本构件”研究的则是由钢筋和混凝土两种力学性质很不同的材料组成的构件，其中混凝土又是非匀质、非连续、非弹性的材料。这样，一方面材料力学解决问题的方法，如通过几何、物理和平衡关系建立基本方程的途径，对于钢筋混凝土也是适用的；但另一方面，在每一种关系的具体内容上则需要考虑钢筋混凝土性能上的特点。再如，钢筋混凝土既然是两种材料组成的，那么这两种材料在强度和用量上就存在一个配比问题。如果材料强度的搭配或配筋的比率超过了一定的范围和界限，就会引起构件力学性质上的重大变化。这些都是材料力学研究对象——匀质弹性材料所没有的。而学习钢筋混凝土结构就必须注意这些特点。

材料力学、结构力学等课程侧重于构件的应力、内力和变形分析，其解答往往是唯一的。钢筋混凝土课程所要解决的，不仅仅是强度和变形计算问题，主要的还是构件或结构设计，以构件设计来说，它包括方案、截面型式、截面尺寸及材料选择、配筋构造等，是一个综合性问题，需要考虑安全、适用、经济和施工等方面的合理性、可行性等各方面的因素。同一构件在给定荷载作用下，可以有不同的截面型式、尺寸、配筋数量等，这就往往需要进行适用性、材料用量、造价、施工等各项指标的综合分析比较，才能做出合理的选择。在房屋结构设计中，这类综合性更加明显。所以在学习钢筋混凝土结构课程时，要注意掌握对多种因素进行综合分析的设计方法，注意培养自己对问题的综合分析和归纳能力。

另外，这门课程还具有实践性较强的特点。这是因为，一方面设计理论和计算方法是建立在结构性能试验和前人工程实践经验基础上的，因此，钢筋混凝土结构的计算公式很多是根据试验研究得出的半理论半经验公式，所以，在学习和运用这些公式时，要特别注意它的适用范围和条件；另一方面，一个人在设计过程中除去理论知识外，还有

一个必不可少的方面，这就是在方案选择、细部处理手法等方面的经验，而这些经验只有经过大量的工程实践才能积累起来。这就是说在学习本门课程时要注意加强实践。

还应指出的是，为了贯彻国家的**技术经济政策、控制设计质量、加快设计速度**、达到设计方法上的必要的统一化和标准化，国家或各主管部委专门颁布了一系列的具有**技术法律效力的设计规范（或规程）**，作为设计人员在从事设计工作时的**共同依据和共同遵守的准则**。本教材所涉及的具体内容是与我国1984年颁布的《**建筑结构设计统一标准**》和1986年颁布的《**工业与民用建筑荷载规范**》，以及即将颁布的《**钢筋混凝土结构设计规范**》的送审稿相协调的。所以要求在学习本门课程时，要学会运用设计规范。一个合格的设计者，必须正确理解《规范》条文的概念和实质，才能准确地应用规范，而避免盲目照搬，以充分发挥设计者的主动性，进而获得最佳设计效果。此外，还应该看到，钢筋混凝土的科学技术水平和生产实践经验是在不断发展的，规范也必须不断地进行相应的修订和提高，才能适用指导设计工作的需要。因此，要用发展的观点来对待规范，在学习本课程时，注意力不应局限于具体的计算公式，而要重视对构件各阶段受力性能及其变化规律的掌握，以便适应规范的发展，不断提高设计工作的水平。

第一章 钢筋混凝土材料的物力学性能

提 要

学习本章时，主要应弄清下面几方面问题：

1. 钢筋的品种，软钢和硬钢两大类钢筋的强度和变形特性，钢筋的冷加工及钢筋选用原则。
2. 混凝土的强度、变形性能。
3. 钢筋和混凝土共同工作的基本概念及保证钢筋和混凝土共同工作的两项主要条件——钢筋和混凝土之间的粘结及混凝土对钢筋的保护作用。

§ 1 — 1 钢 筋

一、概述

在钢筋混凝土结构中，钢筋主要用来承受拉力。但为了减少受压混凝土面积和改善受压构件的工作性能，在受压构件中及必要时在受弯构件的受压区混凝土中也配置受压钢筋。除了在计算时考虑参与受力的受力钢筋以外，通常在构件中还必须配置必要的构造钢筋。

上面所用“钢筋”一词是一种泛称。实际上在钢筋混凝土和预应力混凝土中采用的钢筋，按其直径可以分为两大类，即钢筋和钢丝。两者在形式上的区别是，钢筋的直径 $d \geq 6\text{mm}$ ，钢丝的直径 $d < 6\text{mm}$ ；按其力学性能还可以分成软钢和硬钢。软钢的力学特点是具有明显的屈服点和明显的流幅（屈从台阶），与硬钢比较，其强度较低，伸长率则大得多（图1—2），硬钢的力学特点是没有明显的屈服点，不存在流幅，其强度较高而伸长率很小（图1—9）。

根据生产加工的方法不同，钢筋有热轧钢筋、冷拉钢筋和热处理钢筋三种。其中，冷拉钢筋和热处理钢筋都是以热轧钢筋作为母材经再加工而成的。钢丝则是用直径 $6.5 \sim 8\text{mm}$ 的热轧线材经冷拔而成的。根据母材材质的不同，钢丝有优质碳素钢丝和冷拔低碳钢丝两种。碳素钢丝又可再加工成刻痕钢丝和钢绞线。热轧钢筋和冷拉钢筋属于软钢，热处理钢筋和钢丝则属于硬钢。

对钢筋的质量要求，可以概括为三个方面，即强度高，塑性好，可焊性好。一般地，强度高的钢筋塑性和可焊性就差一些。

软钢钢筋的强度主要用屈服点来控制，但对极限抗拉强度也有一定的要求。钢丝的强度用极限抗拉强度来控制。

衡量钢筋塑性的指标，是伸长率和冷弯试验。钢筋的塑性不但对构件的受力工作性能有明显的影 响，而且对钢筋的加工成形性能也有明显的影 响。因此，不但在钢筋混凝土结构计算理论中要考虑钢筋塑性不同的影 响，在钢筋的施工过程中，对不同塑性的钢筋的弯钩、弯转等加工也有不同的要求。

钢筋可焊性的好坏，主要由三个方面来衡量，即：（1）焊接接头的强度应不低于被焊钢筋的强度；（2）焊接接头及其附近应不出现焊接裂纹；（3）焊接接头的塑性不比被焊钢筋未焊前差。对可焊性不同的钢筋，应选用适宜的焊接工艺或不采用焊接连接来区别对待。

二、热轧钢筋

（一）热轧钢筋的品种、级别和形式

热轧钢筋是用普通低碳钢（含碳量小于0.25%）和普通低合金钢经热轧而成的。根据屈服点和极限抗拉强度（以国家标准规定值，即出厂检验的废品限值为 准）的不同，规范将热轧钢筋分为四级，即Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、和Ⅳ级。各级钢筋的强度指标和所用的钢号见表1—1。

表1—1 热 扎 钢 筋 的 级 别

钢 筋 级 别	符 号	采 用 钢 号	屈服点/极限抗拉强度 (N/mm ²)
Ⅰ 级	Φ	3 号钢	235/370
Ⅱ 级	Φ	20 锰硅, 20 锰铝半	335/510
Ⅲ 级	Φ	25 锰硅	370/555
Ⅳ 级	Φ	40 硅 2 锰钒; 45 硅钒; 45 硅 2 锰钒	540/835

钢筋的表面形状的选择取决于粘结强度要求。强度越高的钢筋要求粘结强度越大。提高粘结强度的办法是将钢筋表面轧成有规律的凸出花纹，称为变形钢筋。Ⅰ级钢筋为光圆钢筋（图1—1a），其余级别的钢筋均为变形钢筋。变形钢筋的表面形状，我国以往长期采用螺旋纹和人字纹两种（图1—1b、c），表面花纹由两条纵肋和螺旋形横肋或人字形横肋组成。鉴于这种形式的横肋较密，消耗于肋纹的钢材较多，且纵肋和横肋相交，容易造成应力集中，对钢筋的动力性能不利，故近年来我国已将变形钢筋的肋纹改为月牙纹（图1—1d）。月牙纹钢筋的特点是横肋呈月牙形，与纵肋不相交，且横肋的间距比老式变形钢筋大，故可克服老式钢筋的缺点，而粘结强度则降低不多。

Ⅰ级钢筋的最小直径为6mm（实际多为6.5mm，但计算时均按6mm考虑），Ⅱ~Ⅳ级钢筋的最小直径一般为10mm；最大直径可达50mm，但一般为40mm。国家标准《钢筋混凝土用钢筋》（GB1499--84）推荐的直径为 8、

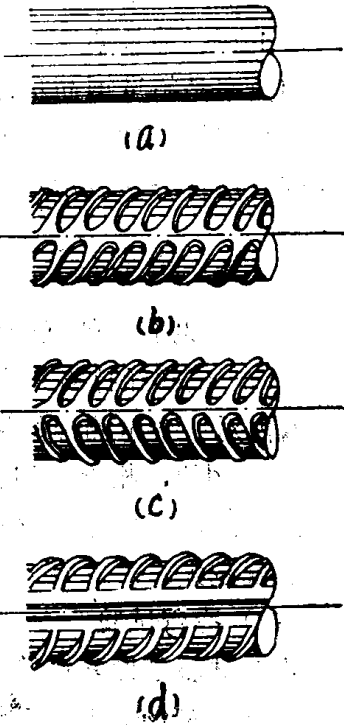


图 1 — 1 钢筋的形式

10、12、16、20、25、32、40mm。

(二) 热轧钢筋的力学性能

1. 应力应变曲线的一般特征

热轧钢筋具有软钢的典型应力应变曲线(图1—2)。根据热轧钢筋应力应变曲线的基本特征,在建立钢筋混凝土构件截面承载力计算理论时,作了如下两点简化:

(1) 忽略从比例极限到屈服点之间钢筋微小的塑性应变,即假设钢筋应力不大于屈服点时应力应变关系一直服从虎克定律,处于理想弹性阶段;

(2) 不利用应力强化阶段,假设钢筋混凝土构件截面达到破坏时,钢筋拉应力保持为屈服点应力,应变则处于流幅以内。

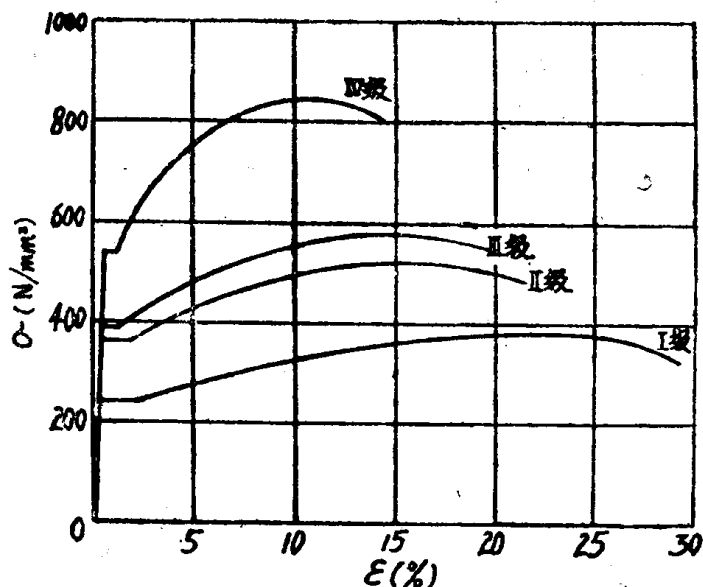


图1—2 热轧钢筋的应力应变曲线

经上述简化后,实际应用的热轧钢筋应力应变曲线如图1—3所示。这种应力应变曲线与理想弹塑性材料的应力应变曲线是类似的,不同的是钢筋的塑性流动不能无限制地发展下去。对于流幅较短的钢筋,或抗震结构设计中要求“裂而不倒”的结构,要求进行比较精确的塑性分析时,可考虑利用钢筋的强化阶段。

2. 塑性性能

(1) 伸长率

伸长率是衡量钢筋塑性性能的一个指标,伸长率越大,塑性越好。伸长率用 δ 表示, δ 为钢筋试样拉断后的残留应变(用百分率表示),即:

$$\delta = \frac{l' - l}{l} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 l ——钢筋拉伸试验试样的应变量测标距;

l' ——试样经拉断并重新拼合后量测得的标距,即产生残留伸长后的标距。

国内对应变量测标距规定取 $l = 5d$ (d 为试样直径),相应的伸长率用 δ_5 表示。过去也有取 $l = 10d$ 的,相应的伸长率用 δ_{10} 表示。通常 $\delta_5 > \delta_{10}$,这是因为残留应变主要集中在颈缩区段内,而颈缩区段的长度与量测标距的大小无关,标距越短,获得的平均残留应变自然就越大。

(2) 冷弯试验

冷弯试验是检验钢筋塑性的另一种方法。伸长率一般不能反映钢材脆化的倾向。为了使钢筋在弯折加工时不致断裂和在使用过程中不致脆断,应进行冷弯试验,并保证满

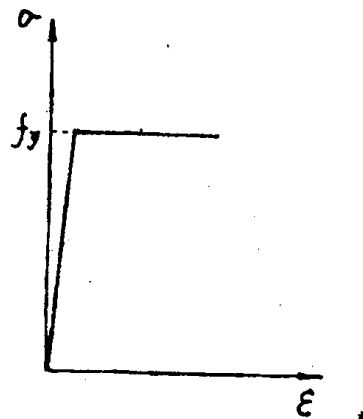


图1—3 热轧钢筋的简化应力应变曲线

足规定的指标,冷弯试验的示意如图1—4,图中D称为弯心直径; α 为冷弯角度。冷弯试验的合格标准为在规定的D和 α 下冷弯后的钢筋应无裂纹、鳞落或断裂现象。在实际应用中,钢筋往往会遇到在弯曲后再回弯的情况。实践表明,对于变形钢筋,经冷弯试验合格,而在反弯时断裂的现象常有发生,因此逐步认识到对钢筋仅规定上述冷弯试验可能是不够的。一些欧洲国家如荷兰、英国、法国、联邦德国等,从60年代以来,先后增加了对钢筋的反弯性能要求。我国近年来也对变形钢筋的反弯性能进行了一些试验研究,有对钢筋增加反弯性能要求的趋势。例如,湖南省标准局于1982年批发了《螺纹钢平面反向弯曲技术条件和试验方法》,作为湖南省企业标准(湘Q/yB528—82)。该标准规定:对于公称直径为12~40毫米有反弯性能要求的热轧螺纹钢,生产厂家应按规定方法进行反弯试验合格方能交货。反弯试验方法为:钢筋在弯心直径 $D=3d$ (d 为钢筋直径)的条件下,正弯 45° 后,进行人工时效处理(将试样浸入100℃沸水中保温30分钟以上,然后在空气中冷却至室温),再反弯不小于 23° ,弯曲部位不得出现肉眼可见的横向裂缝。这种试验标准与英国BS4449—1978的规定相同。湘Q/yB528—82中所述螺纹钢包括月牙纹钢筋在内。

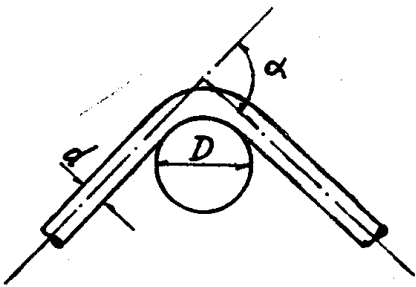


图1—4 钢筋的冷弯试验

(二) 强度及弹性模量

热轧钢筋的设计强度以屈服点应力为依据。这是因为钢筋应力超过屈服点后将产生过大的应变,在钢筋混凝土构件中,由于受到混凝土极限应变的制约,截面达到破坏时,钢筋不大可能进入这样大的应变状态。但是作为一种安全储备,钢筋的极限抗拉强度仍有重要意义。即通常希望构件的某个(或某些)截面已经破坏时,钢筋仍不致被拉断而造成整个结构倒塌。因此,在力学性能方面,要求钢筋的屈服应力不低于规定值,同时也要求其极限抗拉强度不低于规定值,而且“屈服应力/极限抗拉强度”值(通常称为“屈强比”)不宜过大。

表1—2 热 扎 钢 筋 的 机 械 性 能

钢 筋 级 别	牌 号	公 称 直 径 (mm)	屈 服 点 (N/mm ²)	抗 拉 强 度 (N/mm ²)	伸 长 率 δ_5 (%)	冷 弯 D=弯心直径 d=钢筋直径
			不 小 于			
I	A3、Av3	8~25	235	370	25	180° D=d
		28~50				180° D=2d
II	20MnSi	8~25	335	510	16	180° D=3d
	20MnNb6	28~50	315	430		180° D=4d
III	25MnSi	8~40	370	555	14	90° D=3d
IV	40SiMnV	10~25	540	835	10	90° D=5d
	45SiMnV	28~32				90° D=6d
	45SiMnTi					