

高等职业教育建筑施工专业系列教材

建筑结构

● 中国建设教育协会组织编写

● 中国建筑工业出版社

604

TU13

Z35

高等职业教育建筑施工专业系列教材

建 筑 结 构

中国建设教育协会组织编写

张学宏 主编



A0937515

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构/中国建设教育协会编, 张学宏主编—北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 12
高等职业教育建筑施工专业教材
ISBN 7-112-04232-1

I. 建... II. 中... III. 建筑结构-高等教育:
技术教育-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 55648 号

本书内容包括: 钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本设计原则、计算方法和构造要求, 并介绍了房屋抗震设计的基本知识。本书结合高等职业教育的特点, 力求贯彻少而精和理论联系实际的原则, 对实用内容进行较为详尽的介绍。

本书为高等职业教育“建筑施工”专业教材, 也可作为土建类其他专业的教学用书及工程技术人员的学习参考书。

高等职业教育建筑施工专业系列教材

建筑结构

中国建设教育协会组织编写

张学宏 主编

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 34 插页: 1 字数: 680 千字

2000 年 12 月第一版 2000 年 12 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 46.00 元

ISBN 7-112-04232-1

TU · 3334 (9707)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

我国的高等职业教育起步于1987年。1993年《中国教育改革和发展纲要》发布后,高职教育犹如雨后春笋,在全国各地蓬勃发展。成人高校因具有与企业、行业关系密切的有利条件,在高职教育的队伍中,自然地成了先行者和主力军。

1995年,经国家教委批准,黑龙江省建筑职工大学、四川省建筑职工大学、上海建设职工大学、苏州建筑职工大学等校开始试办采用“3+2”(3门文化课+2门专业课)入学考试形式招生,实行理论与实践并重的培养方案的“建筑施工”高等职业教育班。招生对象主要是中等职业学校土建类毕业生,培养目标是具备建筑施工专科理论知识的,具有建筑工程施工技术和工程项目管理能力的施工现场高级技术与管理人员。

1996年,全国又有一批学校试办该专业,根据形势发展的需要,中国建设教育协会成人高教委员会从1996年10月起组织近20所学校(含普通高校成教院)编写《高等职业教育建筑施工专业培养方案》,于1998年4月印发各校试行,并在此基础上组织编写课程教学大纲和教材。

本书为高等职业教育建筑施工专业的职业基础课教材,学习本课程的目的主要是为学习施工技术等专业课程打下基础,根据高等职业教育理论与实践并重,理论课课时较少的情况,本书内容按“必需、够用”的原则安排;课程重点是结构的基本概念和构造要求而不是计算。故而本书不同于其他的建筑结构教材。本课程建议学时为140。

参加本书编写的有苏州建筑职工大学张学宏(第一、二、五、六、八章)、广州城建职工大学李向真(第三、七、九章)、广州建筑总公司职工大学谢光(第四章)、新疆建筑职工大学刘晓平(第十、十三章)、西北建筑工程学院王冰(第十一章)和湖北省城乡建设职工大学吴建林(第十二章)。

本书由苏州建筑职工大学张学宏主编,无锡城建职工大学安震中主审。

在本书编写过程中,得到了建设部人事教育司和编写者所在单位的大力支持,在此一并致谢。

限于编者的水平,书中定有欠妥之处,请广大读者批评指正。

第一章 绪 论

第一节 建筑结构的一般概念

建筑结构是指建筑物中用来承受各种作用的受力体系。通常,它又被称为建筑物的骨架。组成结构的各个部件称为构件。在房屋建筑中,组成结构的构件有板、梁、屋架、柱、墙、基础等。

结构上的作用是指能使结构产生效应(内力、变形)的各种原因的总称。作用可分为直接作用和间接作用两类。直接作用是指作用在结构上的各种荷载,如土压力、构件自重、楼面和屋面活荷载、风荷载等。它们能直接使结构产生内力和变形效应。间接作用则是指地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等。它们在结构中引起外加变形和约束变形,从而产生内力效应。

结构按所用材料分类,可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构等。由于木材存在着强度低、耐久性差等诸多缺点,现已极少使用木结构,故本书仅介绍前三类结构与设计有关的内容。

建筑结构设计的选择任务是选择适用、经济的结构方案,并通过计算和构造处理,使结构能可靠地承受各种作用。为使设计人员在一般情况下能有章可循,各国均根据自身的科技发展和经济状况不断制订出符合当时国情的各种设计标准和规范。我国现行的建筑结构设计标准和规范有:《建筑结构设计统一标准》(GBJ 68—84)、《建筑结构荷载规范》(GBJ 9—87)、《砌体结构设计规范》(GBJ 3—88)、《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)、《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89)、《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)、《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)等。这些标准和规范是我国建国以来,在建筑结构方面的科研成果和工程实践经验的结晶,是我国目前建筑结构设计的重要依据,也是编写本书的主要依据。

第二节 砌体结构、钢结构和混凝土结构的 概念及优缺点

一、砌体结构的 概念及优缺点

用砂浆把块体连接面成的整体材料称为砌体,以砌体为材料的结构称为砌体结构。因块体有石、砖、和砌块三种,故而砌体结构又可分为石结构、砖结构和

砌块结构。根据需要,有时在砖砌体或砌块砌体中加入少量钢筋,这种砌体称为配筋砌体。

与其他结构相比,砌体结构具有以下几项主要的优点:

- 1) 容易就地取材,造价低廉。
- 2) 耐火性良好,耐久性较好。
- 3) 隔热、保温性能较好。

除上述优点外,砌体结构也存在下述一些缺点:

- 1) 承载能力低。由于砌体的组成材料-块体和砂浆的强度都不高,导致砌体结构的承载能力较低,特别是拉、弯、剪承载能力很低。
- 2) 自重大。由于砌体的强度较低,构件所需的截面一般较大,导致自重较大。
- 3) 抗震性能差。由于结构的拉、弯、剪承载力很低,在房屋遭受地震时,结构容易开裂和破坏。

二、钢结构的概念及优缺点

钢结构是用钢材制作而成的结构。与其他结构相比,它具有以下优点:

- 1) 承载能力高。由于钢材的抗拉和抗压强度都很高,故钢结构的受拉、受压等承载力都很高。
- 2) 自重小。由于钢材的强度高,构件所需的截面一般较小,故自重较小。
- 3) 抗震性能好。由于钢材的抗拉强度高,并有较好的塑性和韧性,故能很好地承受动力荷载;另外,由于钢结构的自重较小,地震作用也就较小,因而钢结构的抗震性能很好。
- 4) 施工速度快,工期短。钢结构构件可在工厂预制,在现场拼装成结构,施工速度快。

钢结构存在以上优点的同时,也存在着以下缺点:

- 1) 需要大量钢材,造价高。
- 2) 耐久性和耐火性均较差。一般钢材在湿度大和有侵蚀性介质的环境中容易锈蚀,故需经常油漆维护,费用较大。当温度超过 250°C 时,其材质变化较大,当温度达到 500°C 以上时,结构会完全丧失承载能力,故钢结构的耐火性较差。

三、混凝土结构的概念及优缺点

仅仅或者主要以混凝土为材料的结构称为混凝土结构。混凝土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三种。

素混凝土是不放钢筋的混凝土。尽管它的抗压强度比砌体高,但其抗拉强度仍然很低。素混凝土构件只适用于受压构件,且破坏比较突然,故在工程中极少采用。

在混凝土构件的适当部位,放入钢筋,便得到钢筋混凝土构件。与素混凝土

构件相比,钢筋混凝土构件的受力性能大为改善。图 1-1 (a)、(b) 分别表示两根截面尺寸、跨度、混凝土强度完全相同的简支梁,前者是素混凝土的,后者在梁的下部受拉区边缘配有适量的钢筋。试验表明,两者的承载能力和破坏性质有很大的差别。素混凝土梁,由于混凝土抗拉性能很差,当荷载较小时其受拉区边缘混凝土的抗拉应变就达到混凝土的极限拉应变,随之出现裂缝,导致梁脆性断裂而破坏,但此时梁受压区的混凝土压应力还远小于混凝土的抗压强度。钢筋混凝土梁则完全不同,当其受拉边混凝土开裂后尚不会断裂,而可继续增加荷载。此时开裂截面的拉力将由钢筋承担,直至钢筋拉应力达到屈服强度,裂缝迅速向上延伸,受压区面积迅速减小,受压区混凝土应力迅速增大,最终导致混凝土压应力达到抗压强度,混凝土受压区边缘应变达到其极限压应变而被压碎,梁才告破坏。因此,钢筋混凝土梁能充分发挥钢筋的抗拉性能和混凝土的抗压性能,大大提高梁的承载能力。

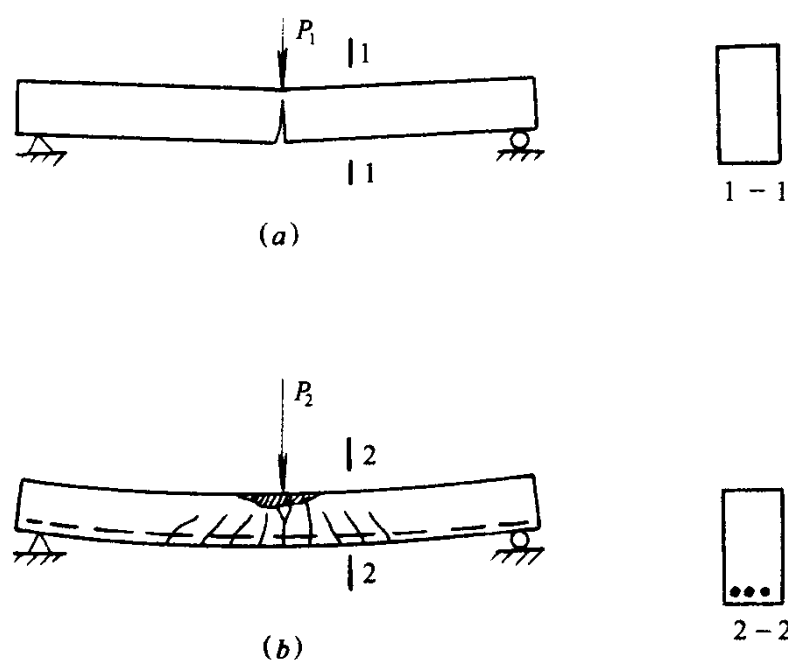


图 1-1

(a) 素混凝土梁的破坏; (b) 钢筋混凝土梁的破坏

在受压为主的构件中,通常也配置一定数量的钢筋来协助混凝土分担一部分压力以减小构件的截面尺寸,此外钢筋还可改善构件受压破坏的脆性性质。

钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所以能结合在一起共同工作的原因是:

1) 硬化后的混凝土与钢筋的接触面上会产生良好的粘结力,使两者可靠地结合在一起,从而保证构件受力后,钢筋和其周围混凝土能共同变形。

2) 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数接近(钢筋为 1.2×10^{-5} , 混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$),当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结力。

钢筋混凝土受弯或受拉构件的受力性能虽说比素混凝土构件大为改善,但是存在着一个明显的缺点:当荷载不大时,构件受拉区便会出现裂缝。为使裂缝不致过大而影响正常使用,钢筋混凝土构件中只能采用强度不高的钢筋,并采用较大的截面来承受不太大的荷载。

预应力混凝土构件一般是指在上述构件使用前,预先对其使用时的受拉区混凝土施加一定的压应力而得到的构件。与钢筋混凝土构件相比,它的抗裂性能大大提高,构件受荷后裂缝很小或不裂,构件的刚度较大,在同样的跨度和荷载作用下,截面尺寸可以较小,且可采用高强度钢筋。

与其他结构相比,混凝土结构有以下主要优点:

- 1) 承载力比砌体结构高。
- 2) 比钢结构节约钢材。
- 3) 耐久性能和耐火性均比钢结构好。
- 4) 抗震性能比砌体结构好。

混凝土结构虽有较多的优点,但也有以下缺点:

- 1) 比钢结构自重大。
- 2) 比砌体结构造价高。

第三节 建筑结构的发展简况

石结构、砖结构和钢结构已有悠久的历史,并且我国是世界上最早应用这三种结构的国家。

早在五千年前,我国就建造了石砌祭坛和石砌围墙(先于埃及金字塔)。我国隋代在公元595~605年由李春建造的河北赵县安济桥是世界上最早的空腹式单孔圆弧石拱桥。该桥净跨37.37m,拱高7.2m,宽9m;外形美观,受力合理,建造水平较高。

我国生产和使用烧结砖也有三千年以上的历史。早在西周时期(公元前1134年~前771年)已有烧制的砖瓦。在战国时期(公元前403~前221年)便有烧制的大尺寸空心砖。至秦朝和汉朝,砖瓦已广泛应用于房屋结构。

我国早在汉明帝(公元60年前后)时使用铁索建桥(比欧洲早70多年)。用铁造房的历史也比较悠久。例如现存的湖北荆州玉泉寺的13层铁塔便是建于宋代,已有1500年历史。

与前而三种结构相比,砌块结构出现较迟。其中应用较早的混凝土砌块问世于1882年,也仅百余年历史。而利用工业废料的炉渣混凝土砌块和蒸压粉煤灰砌块在我国仅有30年左右的历史。

混凝土结构最早应用于欧洲,仅有170多年的历史。

1824年,英国泥瓦工约瑟夫·阿斯普丁(Joseph·Aspadin)发明了波特兰水

泥(因硬化后的水泥石的性能和颜色与波特兰岛生产的石灰石相似而得名)。以后,混凝土便开始在英国等地使用。1850年,法国人郎波特(Lambot)用加钢筋的方法制造了一条水泥船,开始有了钢筋混凝土制品。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的专利。以后,钢筋混凝土日益广泛应用于欧洲的各种建筑工程。及至1928年,法国人弗列新涅提出了混凝土收缩和徐变理论,采用了高强钢丝,并发明了预应力锚具后,预应力混凝土开始应用于工程。预应力混凝土的出现,是混凝土技术发展的一次飞跃。它使混凝土结构的性能得以改善,应用范围大大扩展。由于预应力混凝土结构的抗裂性能好,并可采用高强度钢筋,故可应用于大跨度、重荷载建筑和高压容器等。

1955年,我国有了第一批建筑设计规范。至80年代末,结构规范已修订了三次,现正在进行第四次修订。

改革开放以来,我国的建设事业蓬勃发展,建筑结构在我国也得到迅速发展。高楼大厦如雨后春笋般涌现。我国已建成的高层建筑有15000多幢,其中超过100m的有200多幢。我国香港特别行政区的中环大厦建成于1992年,73层,301m高(不计塔尖),目前是世界上最高的钢筋混凝土结构建筑。上海浦东的金茂大厦(图1-2)建成于1998年,93层,370m高(不计塔尖),钢和混凝土混合结构,是我国第一、世界第三高度的高层建筑。1999年我国已建成跨度为1385m,列为中国第一、世界第四跨度的钢筋混凝土桥塔和钢悬索组成的特大桥梁—江阴长江大桥(图1-3)。在材料方面,高强混凝土(不低于C60)在我国已得到较普遍的应用。

以上成就表明,我国在建筑结构的实践和科学研究方面均已达到世界先进水平。

由于砌体结构具有经济和保温隔热性能好等优点,现仍广泛应用于多层民用建筑,特别是多层住宅。



图1-2 上海金茂大厦

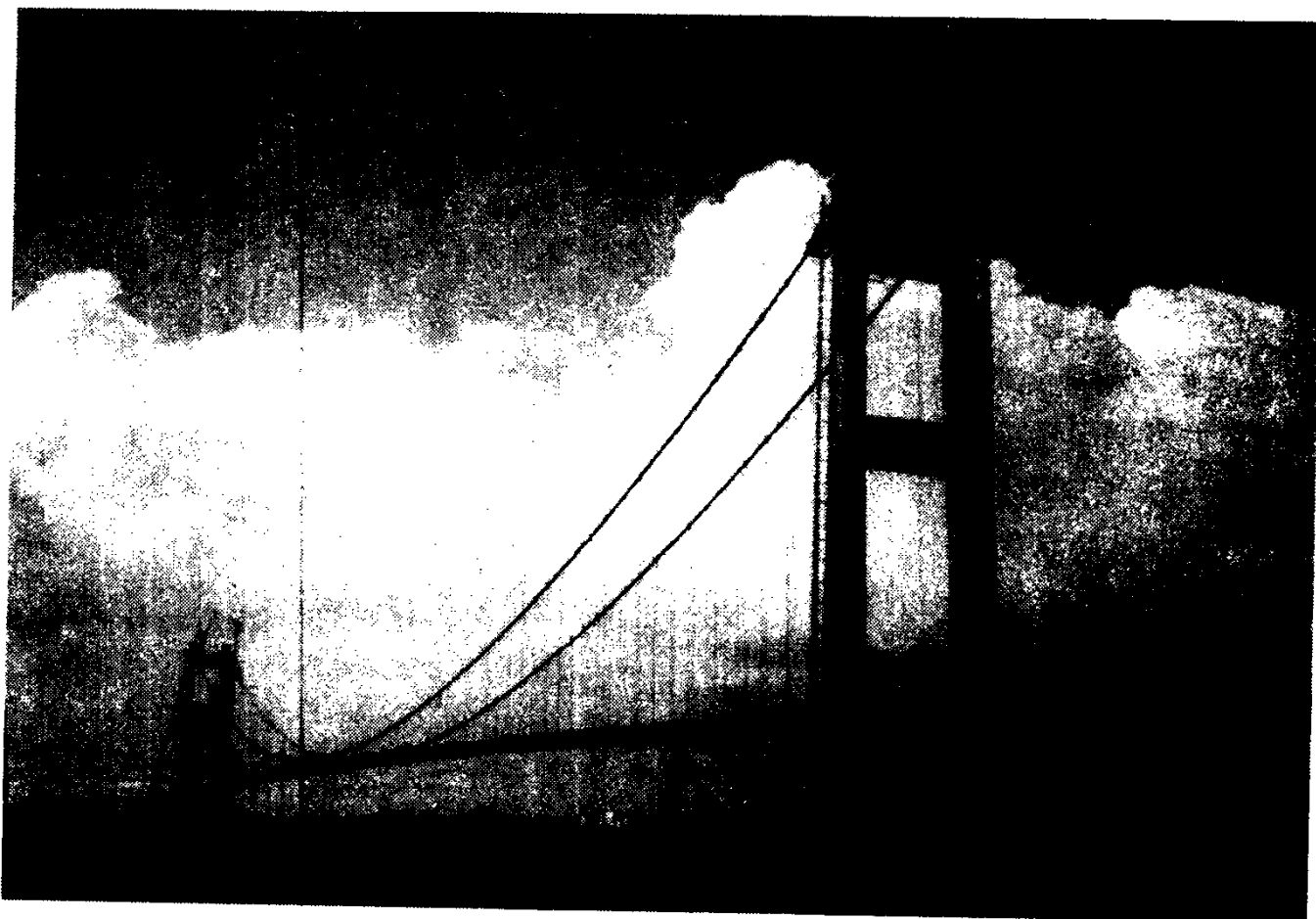


图 1-3 江阴长江大桥

思考题

1. 什么叫建筑结构?
2. 什么叫结构上的作用? 哪些是直接作用? 哪些是间接作用?
3. 建筑结构设计任务是什么?
4. 什么叫砌体结构? 它有哪些优缺点?
5. 什么叫钢结构? 它有哪些优缺点?
6. 什么叫混凝土结构? 混凝土结构包括哪三种?
7. 钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料为什么能结合在一起共同工作?
8. 混凝土结构有哪些优缺点?
9. 为什么说预应力混凝土的出现是混凝土技术发展的一次飞跃?
10. 举例说明我国在建筑结构的实践和研究方面取得的巨大成就。

第二章 钢筋和混凝土的力学性能

第一节 钢筋的力学性能

一、钢筋的分类

钢筋可按化学成分、外形、加工方法和供货形式进行分类。

钢筋按化学成分的不同可分为碳素钢筋和合金钢筋，碳元素和合金元素的含量还有低、中、高之分。

钢筋按外形的不同分为光圆钢筋、带肋钢筋、刻痕钢筋和钢绞线（图 2-1）。带肋是指表面带有凸纹。目前，带肋钢筋的凸纹一般为月牙纹^❶。刻痕是将表面刻出椭圆形的浅坑。钢绞线则由多股高强度光圆钢筋^❷绞合而成。

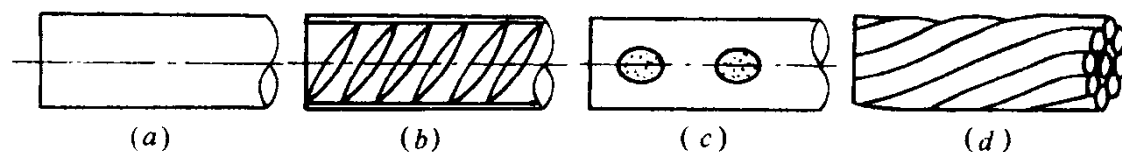


图 2-1 钢筋按外形分类

(a) 光圆钢筋；(b) 带肋钢筋；(c) 刻痕钢筋；(d) 钢绞线

钢筋按加工方法的不同可分为热轧钢筋、冷拉钢筋、冷轧钢筋和热处理钢筋等。

热轧钢筋是用低碳钢或低合金钢在高温下轧制而成。根据其强度的不同，热轧钢筋又分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个级别。级别越高，钢筋的强度也越高，但塑性越差。Ⅰ级钢筋用普通低碳钢（含碳不大于 0.25%）制成，表面光圆，最小直径为 6mm。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋用低、中碳的低合金钢（含碳不大于 0.6%，其他合金总量不大于 5%）制成，表面有肋纹，最小直径一般为 10mm。各种级别热轧钢筋的符号和所用钢材的钢号列于表 2-1。

冷拉钢筋是在常温下，把热轧钢筋拉伸至强化阶段所得到的钢筋。热轧钢筋经冷拉后屈服强度有较大提高，经时效处理后抗拉极限强度也有所提高，但钢筋的塑性则有所下降。冷拉钢筋也为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个级别，符号分别为 ϕ^I 、 Φ^I 、

❶ 曾经用过螺旋纹和人字纹的等高肋，现仅用于Ⅳ级钢筋。

❷ 有时也把直径小于 6mm 的钢筋称为钢丝。

Φ' 、 Φ' 。

各种级别热轧钢筋的符号和钢号

表 2-1

热轧钢筋级别	符 号	钢 号
I	ϕ	Q235
II	Φ	20MnSi、20MnNb (b)
III	Φ	20MnSiV、20MnTi、K20MnSi
IV	Φ	40Si2MnV、45SiMnV、45SiMnTi

注：III级 K20MnSi 钢筋系余热处理钢筋。

冷拔钢筋^①是在常温下，使热轧光圆钢筋通过硬质合金拔丝模上比钢筋直径稍小的锥形孔，强行拉拔而成（图 2-2）。拉拔次数越多，直径就越小，强度就越高。冷拔低碳钢筋用 I 级热轧钢筋冷拔而成，分为甲、乙两级；甲级强度较高，但必须逐盘检验，并根据检验所得的抗拉强度分为 I、II 两组，其直径有 4mm 和 5mm 两种；乙级强度较低，仅要求分批检验，直径为 3~5 mm。冷拔低碳钢筋的符号为 ϕ^b 。冷拔钢筋强度虽高，但表面光滑，与混凝土之间的粘结力较差，现已很少采用。

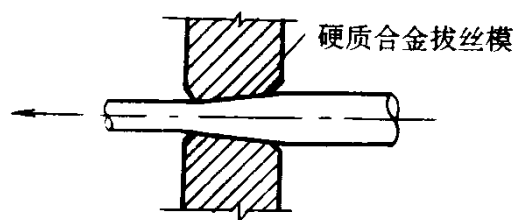


图 2-2 钢筋冷拔

冷轧钢筋是在常温下，将光圆的普通低碳或低合金钢筋（Q215、Q235、20MnSi、24MnTi）经过轧制，使其减小直径，并且表面带肋（一般为三面带有月牙纹肋）的钢筋。目前使用的冷轧带肋钢筋按其极限抗拉强度分为 LL550、LL650 和 LL800 三个级别。其中，LL550 一般用 Q215 圆钢冷轧而成，LL650 用 Q235 圆钢冷轧而成，LL800 则是用 20MnSi 或 24MnTi 圆钢冷轧而成。LL550 钢筋的直径为 4~12mm，LL650 钢筋的直径 4~6mm，LL800 钢筋的直径目前只有 5mm 一种。

冷轧钢筋强度较高，且表面带肋，可用来取代小直径的 I 级光圆钢筋或冷拔低碳钢丝。目前，LL550 钢筋一般用来取代 I 级光圆钢筋，用于现浇板或梁柱箍筋；而 LL650 和 LL800 钢筋则一般用来取代甲级冷拔低碳钢丝，用于中小型预应力构件（如预应力多孔板、预应力檩条等）。

热处理钢筋是将强度与 IV 级热轧钢筋大致相同的某些特定品种的热轧钢筋（如 40Si2Mn、48Si2Mn、45Si2Cr）经过加热、淬火和回火等调质处理后得到的钢筋，其强度比 IV 级钢筋高得多，而塑性却降低不多。热处理钢筋用于大型预应力混凝土构件。该种钢筋的符号为 Φ' 。

大型预应力混凝土构件除采用热处理钢筋外，还常用碳素钢丝、刻痕钢丝和

① 直径通常小于 6mm，又称冷拔钢丝。

钢绞线。它们的强度均很高。

碳素钢丝采用高碳圆钢（含碳量 0.7%~1.4%），经过加热、淬火、冷拔和回火等工艺制成，其符号为 ϕ^s 。

刻痕钢丝是用碳素钢丝进行表面刻痕处理制成。其符号为 ϕ^K 。

钢绞线是将多根碳素钢丝（一般为 7 根）用绞盘绞制而成。其标志直径为截面外接圆的直径，其符号为 ϕ^j 。

钢筋按供货形式可分为直条钢筋和盘圆钢筋两种。直径为 10~40mm 的钢筋用直条供应，长度通常为 6~12m；直径小于 10mm 的钢筋通常用盘圆供应。

二、钢筋的强度和变形

钢筋的强度和变形方面的性能主要用钢筋拉伸试验所得的应力-应变曲线来表示。钢筋的种类、级别不同，其应力-应变曲线也不同。热轧和冷拉钢筋的应力-应变曲线具有明显的流幅，该类钢筋又被称为软钢；冷拔、冷轧、热处理钢筋、高强钢丝和钢绞线的应力-应变曲线则无明显流幅，该类钢筋又被称为硬钢。

软钢典型的拉伸应力-应变曲线如图 2-3 所示。在 a 点之前，材料处于弹性阶段，应力与应变成正比，其比值即为钢筋的弹性模量 E_s 。对应于 a 点的应力称为比例极限。 a 点以后，应变增加变快，图形变曲，钢筋开始表现出塑性性质。当到达 b 点时，应力不再增加而应变却继续增加，钢筋开始塑性流动，直至 c 点。这种现象称为钢筋的“屈服”，对应于 b 点的应力称为屈服强度， bc 水平段称为流幅或屈服台阶。 c 点以后，钢筋又恢复部分弹性，应力沿曲线上升至最高点 d ，对应于 d 点的应力称为极限强度， cd 段称为强化阶段。 d 点以后，钢筋在薄弱处发生局部颈缩现象，塑性变形迅速增加，而应力却随之下落，到达 e 点时试件断裂。断裂后的残余应变称为伸长率，用 δ 表示。

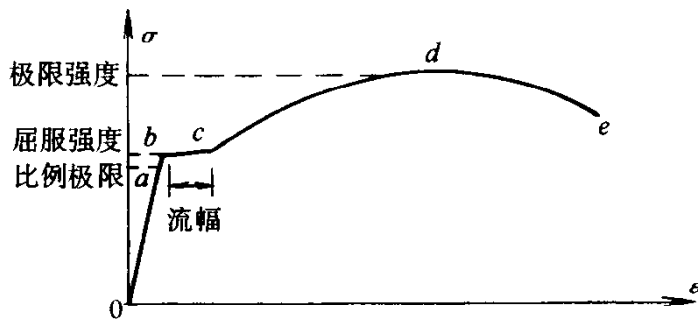


图 2-3 软钢典型的拉伸应力-应变曲线

强度级别不同的软钢，其应力-应变曲线也有所不同。I~IV 级热轧钢筋的应力-应变曲线如图 2-4 所示，由图可知，随着级别的提高，钢筋的强度增加，但伸长率降低。

硬钢典型的拉伸应力-应变曲线如图 2-5 所示，由图可知，这类钢筋无明显的流幅和屈服强度。与软钢相比，这类钢筋的极限强度较高而伸长率较小。

钢筋的变形性能除伸长率之外，还有冷弯性能。它是指钢筋在常温下承受弯曲的能力，采用冷弯试验测定。冷弯试验的合格标准为：在规定的弯心直径 D 和冷弯角度 α 下弯曲后，在弯曲处钢筋应无裂纹、鳞落或断裂现象。按钢筋技术标准，不同种类钢筋的 D 和 α 的取值不同，例如 I 级月牙纹钢筋的 $\alpha=180^\circ$ ，当直径不大

于 25mm 时, 弯心直径 $D=3d$, 当直径 d 大于 25mm 时, 弯心直径 $D=4d$ 。

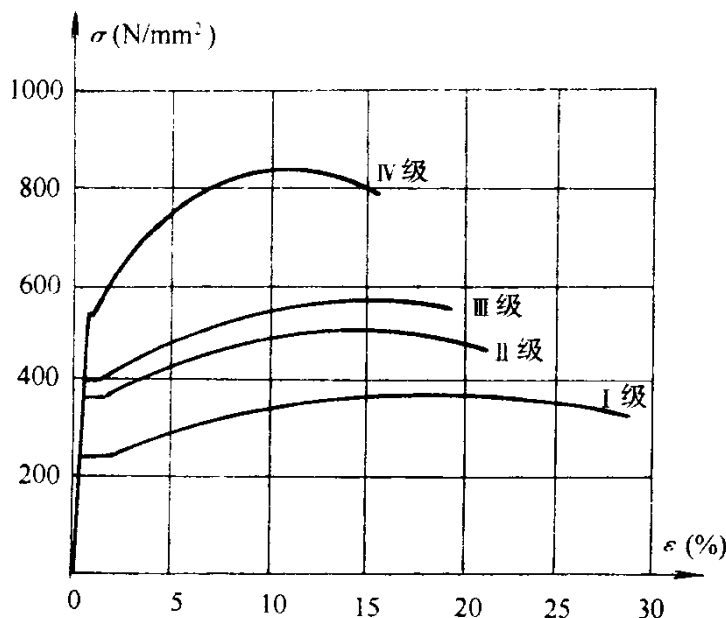


图 2-4 各级热轧钢筋的应力

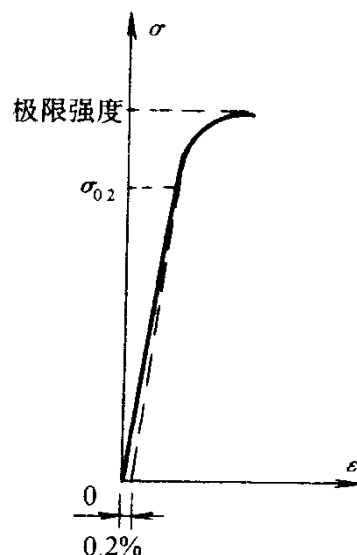


图 2-5 硬钢的应力-应变曲线

钢筋在弹性阶段的应力与应变之比称为弹性模量, 用 E_s 表示, 各种钢筋的 E_s 数值见附表 5 和附表 6。

钢筋混凝土结构计算时, 软钢和硬钢设计强度的取值依据不同。软钢取屈服强度作为设计强度的依据, 这是因为该种钢筋屈服后有较大的塑性变形, 这时即使荷载基本不增加, 构件也会产生很大的裂缝和变形, 以致不能使用。硬钢无明显的屈服点, 但为防止构件突然破坏并防止构件裂缝和变形太大, 设计强度也不能取为抗拉极限强度, 而是取其残余应变为 0.2% 时相应的强度 $\sigma_{0.2}$ (称为条件屈服强度) 作为设计强度的依据, 如图 2-5 所示。该应力一般为极限强度的 0.8~0.9 倍, 规范统一取为极限强度的 0.8 倍。

三、钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求主要有以下几点:

- 1) 有较高的强度和适宜的屈强比。这里的强度是指屈服强度或条件屈服强度。屈强比是指屈服强度与极限强度之比, 该值可反映结构的可靠程度: 屈强比小, 结构可靠, 但钢材强度的利用率低, 不经济; 屈强比太大, 则结构不可靠。
- 2) 有较好的塑性。这是保证构件破坏前有较明显的预兆 (明显的变形和裂缝), 保证较好塑性的措施是钢筋拉伸率不小于规定值, 并且冷弯试验合格。
- 3) 与混凝土之间有良好的粘结力。这是钢筋与混凝土共同工作的基础。
- 4) 具有较好的可焊性。保证焊接后接头的受力性能良好, 拉伸破坏不发生在接头处。

此外, 在寒冷地区 (例如 -20°C 以下), 对钢筋的低温性能也有一定的要求, 不宜采用冷加工钢筋, 以免发生脆性破坏。

四、钢筋的选用

钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的钢筋，应按下列规定选用：

- 1) 钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋宜采用Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级热轧钢筋和 LL550 级的冷轧带肋钢筋；也可采用冷拉Ⅰ级 ($d \leq 12\text{mm}$) 钢筋；
- 2) 预应力钢筋宜采用碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和热处理钢筋，也可采用冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋；对中小型构件中的预应力钢筋，宜采用 LL650 级或 LL800 级冷轧带肋钢筋。

第二节 混凝土的力学性能

一、混凝土的强度

混凝土是用一定比例的水泥、砂、石和水，经拌合、浇筑、振捣、养护，逐步凝固硬化形成的人造石材。故混凝土的强度不仅与组成材料的质量和比例有关，还与制作方法、养护条件和龄期有关。另外，不同的受力情况、不同的试件形状和尺寸、不同的试验方法所测得的混凝土强度值也不同。混凝土基本的强度指标有立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度三种。其中，立方体抗压强度并不能直接用于设计计算，但因试验方法简单，且与后两种强度之间存在着一定的关系，故被作为混凝土最基本的强度指标，以此为依据确定混凝土的强度等级，并由强度等级查表得到混凝土的轴心抗压强度和轴心抗拉强度用于设计计算。

1. 混凝土立方体抗压强度与混凝土的强度等级

根据国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ 81—85) (以后简称“试验方法”) 的规定，混凝土立方体抗压强度是将混凝土拌合物制成边长为 150mm 的立方体试块，在标准养护条件下养护 28 天，进行抗压强度试验测得的抗压强度值，用 f_{cu} 表示。这里的标准养护条件是：温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度不小于 90%。试验时的加荷速度为每秒 $0.3 \sim 0.8\text{N/mm}^2$ (C30 混凝土为 0.5N/mm^2 ，等级低时取低速，等级高时取高速)。

混凝土立方体抗压强度试验时，试块的标准破坏形态如图 2-6 所示。试块侧面的混凝土出现许多竖向裂缝甚至剥落，中部剥落最严重，而接近上下承压面处则剥落较少。这是因为混凝土纵向受压时会产生横向向外膨胀，其结果会使混凝土试块出现纵向裂缝而破坏。当四侧混凝土向外膨胀时，靠近上、下压机钢板的混凝土受到钢板的约束 (两者之间有摩擦力)，因而不会破坏；而在离钢板较远的

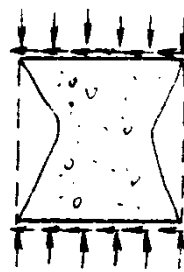


图 2-6 受压立方体试块破坏形态

试块高度中央的四侧混凝土,则因受钢板约束较小而破坏最为严重。压力机钢板对混凝土试块横向变形的约束作用称为“环箍效应”,该效应使混凝土试块不易破坏,因而测定的抗压强度高于混凝土构件的轴心抗压强度,故而该强度不可直接用于设计。

混凝土规范规定,混凝土可按其立方体抗压强度标准值的大小划分为12个强度等级,它们是C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。字母C后面的数值表示以 N/mm^2 为单位的立方体抗压强度标准值。而材料强度标准值则是指具有95%保证率的材料强度。

结构设计时,混凝土强度等级的选用原则如下:钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于C15;当采用Ⅱ钢筋时,混凝土强度等级不宜低于C20;当采用Ⅲ钢筋或承受重复荷载时,则不得低于C20。预应力混凝土强度等级不宜低于C30;当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时,混凝土强度等级不宜低于C40。而C7.5和C10的混凝土只能用于基础垫层及房屋底层的地面。

2. 混凝土轴心抗压强度(棱柱体抗压强度)

按“试验方法”的规定,该强度采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的棱柱体作为标准试件,故又称为棱柱体抗压强度。由于试件高度比立方体试块大得多,在其高度中央的混凝土不再受到上下压机钢板的约束,故该试验所得的混凝土抗压强度低于立方体抗压强度,符合轴心受压短柱的实际情况。大量试验资料表明混凝土轴心抗压强度的标准值($f_{c,k}$)与立方体抗压强度的标准值($f_{cu,k}$)之间的关系约为 $f_{c,k} = (0.7 \sim 0.8) f_{cu,k}$,在结构设计中,考虑到混凝土构件强度与试件强度之间的差异,规范取 $f_{c,k} = 0.67 f_{cu,k}$,对于C45~C60混凝土再考虑乘以折减系数 $0.975 \sim 0.9$ 。有了以上关系式,只要知道混凝土的强度等级,便可求得轴心抗压强度,故在工程中一般不再进行轴心抗压强度的检测试验。

3. 混凝土轴心抗拉强度

混凝土是一种脆性材料,且内部存在许多孔缝,因此抗拉强度很低,仅为轴心抗压强度的1/10左右,且该比值随混凝土强度的提高而降低。

按“试验方法”规定,该强度采用劈裂抗拉强度试验来确定。根据大量试验资料的分析,并考虑了构件与试件的差别,设计规范根据轴心抗拉强度的标准值与立方体强度标准值之间的关系,列出了两者数值的对照表。由此,可直接查得某强度等级混凝土的轴心抗拉强度标准值,而无需再进行轴心抗拉强度试验。

混凝土抗拉强度很低,在混凝土结构的承载力计算中通常不考虑混凝土承受拉力。但对某些构件进行抗裂验算时,该强度指标便成为验算的重要指标。

4. 侧向应力对混凝土轴心抗压强度的影响

侧向压应力的存在会使轴心抗压强度提高。通过圆柱体三向受压试验(图2-7)得到的圆柱体纵向抗压强度 f_{cc} 的计算公式如下:

$$f_{cc} = f_c + 4.0\sigma_r$$

式中 f_c ——无侧向压应力时的混凝土轴心抗压强度；
 σ_r ——侧向压应力。

混凝土三向受压时强度提高的原因是：侧向压应力约束了混凝土的横向变形，从而延迟和限制了混凝土内部裂缝的发生和发展，使试件不易破坏。

如在试件纵向受压的同时侧向受到拉应力，则混凝土轴心抗压强度会降低，其原因是拉应力会助长混凝土裂缝的发生和开展。

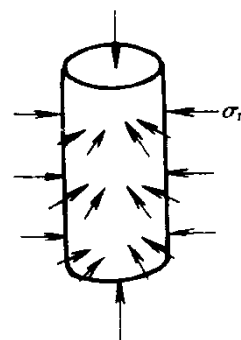


图 2-7 混凝土三向受压

二、混凝土的变形

混凝土变形有两类：一类是荷载作用下的受力变形，包括一次短期加荷时的变形、多次重复加荷时的变形和长期荷载作用下的变形。另一类是体积变形，包括收缩、膨胀和温度变形。

1. 混凝土在一次短期加荷时的变形

(1) 混凝土在一次短期加荷时的应力-应变关系

混凝土在一次短期加荷时的应力-应变关系可通过对混凝土棱柱体的受压或受拉试验测定。混凝土受压时典型的应力-应变曲线如图 2-8 所示，不同强度等级混凝土的应力-应变曲线如图 2-9 所示。

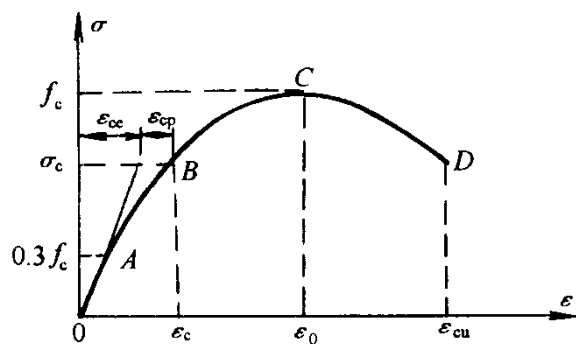


图 2-8 混凝土受压典型应力-应变曲线

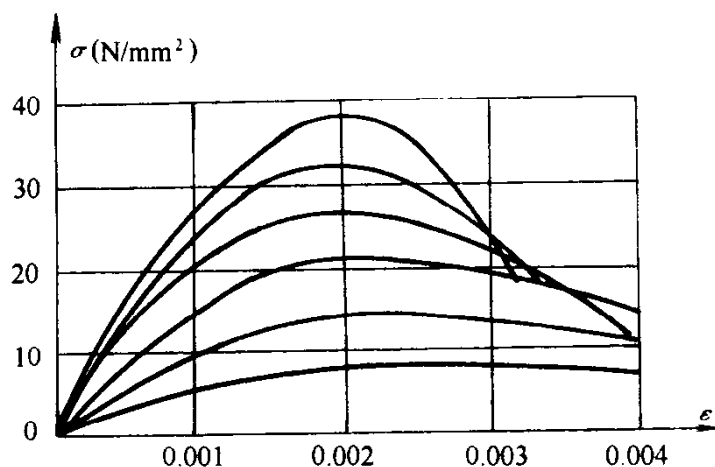


图 2-9 不同强度等级混凝土的应力-应变曲线

图 2-8 所示的应力-应变曲线包括上升段和下降段两部分，对应于顶点 C 的应力为轴心抗压强度 f_c 。在上升阶段中，当应力小于 $0.3f_c$ 时，应力-应变曲线可视为直线，混凝土处于弹性阶段。随着应力的增加，应力-应变曲线逐渐偏离直线，表现出越来越明显的塑性性质；此时，混凝土的应变 ϵ_c 由弹性应变 ϵ_{ce} 和塑性应变 ϵ_{cp} 两部分组成，且后者占的比例越来越大。在下降段，随着应变的增大，应力反而减少，当应变达到极限值 ϵ_{cu} 时，混凝土破坏。值得注意的是：由于曲线存在着下降段，故而最大应力 f_c 所对应的应变并不是极限应变 ϵ_{cu} ，而是应变 ϵ_0 。

由图 2-9 可知：随着混凝土强度等级的提高，与 f_c 对应的应变 ϵ_0 有所提高，但