

清华大学土木工程系  
按新规范编写专业用书

# 钢筋混凝土基本构件设计

(第二版)

庄崖屏 江见鲸 编著  
荆树英 叶知满

主 审：陈肇元

责任编辑：崔京浩

地 震 出 版 社

1 9 9 3

清华大学土木工程系  
按新规范编写专业用书

# 钢筋混凝土基本构件设计

(第二版)

庄崖屏 江见鲸 编著  
荆树英 叶知满

主 审：陈肇元

责任编辑：崔京浩

地 震 出 版 社

1 9 9 3

**(京)新登字 095 号**

**内 容 提 要**

本书是清华大学土木工程系《按新规范编写专业用书》中的一册。内容包括：钢筋混凝土材料的物理力学性能，钢筋混凝土结构的设计方法，受弯构件、受压构件、受拉构件和受扭构件的受力分析与强度计算，变形和裂缝计算，钢筋混凝土梁板结构以及预应力混凝土构件。

本书可作为工业与民用建筑工程专业、建筑结构专业的教学参考书，也可作为广大土木设计和施工人员学习新颁布的《混凝土结构设计规范 (GBJ10-89)》的辅导材料。

**钢筋混凝土基本构件设计**

(第二版)

庄崖屏 江见鲸 编著  
荆树英 叶知满

责任编辑：蒋乃芳

\*

**地 震 出 版 社 出 版**

北京民族学院南路9号

北京丰台区丰华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 16.75印张 418千字

1990年11月第一版 1993年2月第二版

1993年2月第一次印刷

印数 00001—10000

ISBN 7-5028-0717-9/TU·63

(1110) 定价：12.00元

清华大学土木工程系按新规范编写专业用书

## 编 委 会

主 编 王国周 龙驭球 沈聚敏 陈肇元  
崔京浩

编 委 (以姓氏笔画为序)

支秉琛 邝守仁 刘元鹤 江见鲸  
杨德骈 郑金床 裘宗濂

## 编 委 的 话

新规范已陆续颁布执行，工民建专业在教学、设计方面迫切需要这方面的专业参考书。为此，清华大学土木工程系组织教师编写了这套《按新规范编写专业用书》。主要读者对象是：大专院校、广播电视大学、职工工业余大学、继续进修学院工民建专业的师生，土建专业工程设计、施工技术人员以及准备高等教育自学考试青年。

根据我们多年的教学经验，编写中遵循“内容充实，取材新颖，注重实用，便于自学”的原则，努力做到不仅包括学科的基本内容，而且反映科学技术的最新成果，既重视理论概念的阐述，也注意实际专题和工程实例的讲解。此外，为了减少自学的困难，对于个别内容较深的章节和习题标以注解和提示，绝大多数习题列有答案。以上是我们的主观意愿，问题和缺点一定不少，希望得到同行和读者指教。

在内容编排上，除了参照清华大学土木工程系有关教学大纲之外，还参考了全国高等教育自学考试土建类自学大纲（草案），以及电视大学、建设部职工高等专科学校等单位所制订的工民建专业的部分教学大纲，使这套专业用书具有较广泛的适用范围，便于有关部门选为教材或教学参考书。

这套书的出版，得到了地震出版社的大力支持，在此谨致谢意。

清华大学土木工程系  
按新规范编写专业用书编委会  
1990年1月

## 第一版前言

本书是在清华大学土木工程系编写的《钢筋混凝土基本构件》的基础上，考虑到大专院校学生和广大土建技术人员学习新规范的需要而改写的教学参考书。全书共分九章。第一章为钢筋混凝土材料的基本性能及其相互作用。第二章为钢筋混凝土结构的设计方法，特别介绍了基于可靠度理论的设计方法。第三章到第七章分别对钢筋混凝土受弯、受压、受拉和受扭等基本构件的受力特性、破坏形态、计算方法与构造要求作了讨论。第八章为变形和裂缝的计算。第九章为钢筋混凝土梁板结构，这一章可以看作是以前各章的系统总结和综合应用，而有些内容则有所扩展和深入，并且还通过两个综合例题，详细地说明了普通钢筋混凝土楼盖结构的设计方法和步骤。本书原计划包括预应力混凝土构件，限于篇幅，这次未能编入，将另行编写出版。

为了便于大专院校学生和广大土建技术人员学习的需要，本书编写时力求内容充实，语言通俗，例题完备，注重实用。为加深对新规范条文本质的理解，在一些基本概念和基本理论方面力求讲得透彻，而不满足于套用公式，为便于应用，在设计步骤和计算例题方面又比一般大学本科教材要丰富、详细。为了帮助读者能掌握本书的基本内容，每章末均附有思考题和习题，对计算题还给出了参考答案。

本书承陈肇元教授审阅，并承崔京浩副教授任责任编委，他们为本书提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。

本书一定有不少缺点甚至错误，恳请读者批评指正。

编 者  
1989 年 12 月

# 目 录

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 绪论 .....                          | ( 1 )   |
| 第一章 钢筋和混凝土材料的物理力学性能及其相互作用 .....   | ( 4 )   |
| § 1-1 钢筋 .....                    | ( 4 )   |
| § 1-2 混凝土 .....                   | ( 7 )   |
| § 1-3 钢筋与混凝土的相互作用——粘结 .....       | ( 17 )  |
| § 1-4 轴心受力构件的应力分析 .....           | ( 21 )  |
| 第二章 钢筋混凝土结构的设计方法 .....            | ( 26 )  |
| § 2-1 极限状态设计法的基本概念 .....          | ( 26 )  |
| § 2-2 可靠度的基本概念 .....              | ( 27 )  |
| § 2-3 极限状态设计的实用表达式 .....          | ( 33 )  |
| 第三章 受弯构件正截面强度计算 .....             | ( 40 )  |
| § 3-1 试验研究 .....                  | ( 40 )  |
| § 3-2 正截面强度计算的一般原理 .....          | ( 44 )  |
| § 3-3 单筋矩形截面 .....                | ( 48 )  |
| § 3-4 双筋矩形截面 .....                | ( 53 )  |
| § 3-5 T 形截面 .....                 | ( 58 )  |
| 第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面强度计算 .....        | ( 67 )  |
| § 4-1 斜裂缝的形成 .....                | ( 67 )  |
| § 4-2 无腹筋梁的抗剪性能 .....             | ( 68 )  |
| § 4-3 有腹筋梁斜截面抗剪强度计算 .....         | ( 72 )  |
| § 4-4 受弯构件中纵向受力钢筋的布置(弯起和切断) ..... | ( 82 )  |
| § 4-5 钢筋的构造要求 .....               | ( 86 )  |
| § 4-6 钢筋混凝土伸臂梁设计例题 .....          | ( 90 )  |
| 第五章 受扭构件强度计算 .....                | ( 96 )  |
| § 5-1 概述 .....                    | ( 96 )  |
| § 5-2 矩形截面构件的开裂扭矩 .....           | ( 96 )  |
| § 5-3 纯扭构件的配筋计算 .....             | ( 98 )  |
| § 5-4 弯剪扭构件的配筋计算 .....            | ( 104 ) |
| 第六章 受压构件强度计算 .....                | ( 110 ) |
| § 6-1 轴心受压构件 .....                | ( 110 ) |
| § 6-2 偏心受压构件 .....                | ( 116 ) |
| 第七章 受拉构件强度计算 .....                | ( 139 ) |
| § 7-1 轴心受拉构件 .....                | ( 139 ) |
| § 7-2 偏心受拉构件 .....                | ( 139 ) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第八章 钢筋混凝土构件的变形和裂缝计算</b> | (145) |
| § 8-1 概述                   | (145) |
| § 8-2 受弯构件的变形计算            | (145) |
| § 8-3 裂缝宽度的计算              | (152) |
| <b>第九章 钢筋混凝土梁板结构</b>       | (157) |
| § 9-1 概述                   | (157) |
| § 9-2 钢筋混凝土肋形楼盖的受力体系       | (158) |
| § 9-3 单向板肋形楼盖的设计步骤         | (159) |
| § 9-4 钢筋混凝土连续梁(板)的内力计算方法   | (160) |
| § 9-5 单向板的计算和配筋            | (167) |
| § 9-6 次梁的计算和配筋             | (170) |
| § 9-7 主梁的计算和配筋             | (172) |
| § 9-8 单向板肋形楼盖设计例题          | (174) |
| § 9-9 双向板肋形楼盖的计算和配筋        | (186) |
| <b>第十章 预应力混凝土构件</b>        | (200) |
| § 10-1 预应力混凝土的概念及基本原理      | (200) |
| § 10-2 预加应力的方法             | (200) |
| § 10-3 预应力混凝土的材料           | (201) |
| § 10-4 张拉控制应力和预应力损失        | (202) |
| § 10-5 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析   | (207) |
| § 10-6 预应力混凝土轴心受拉构件的计算     | (211) |
| § 10-7 锚具                  | (215) |
| § 10-8 预应力混凝土受弯构件的计算       | (222) |
| <b>附表</b>                  | (241) |
| <b>参考文献</b>                | (259) |



# 绪 论

## 一、钢筋混凝土的特点

钢筋混凝土由钢筋和混凝土两种物理力学性能不同的材料所组成。钢材的抗拉和抗压能力都很强，混凝土的抗压能力较强而抗拉能力很差，因此混凝土受拉力时很容易开裂。这使得单纯混凝土结构的应用受到很大的限制。例如，有两根简支梁，中间有一个集中力  $P$ ，它们的截面尺寸、跨度都相同，混凝土强度都是 C20，但一根为素混凝土梁，另一根为钢筋混凝土梁，配有两根  $\phi 16$  II 级钢筋，如图 0-1 所示。在荷载作用下，在梁的中和轴以下产生拉应力。素混凝土梁因混凝土抗拉强度很低，很快便被拉裂，从而导致整个梁的破坏，破坏荷载仅约 10.1kN。在钢筋混凝土梁中，当受拉区混凝土开裂以后，拉力可转由钢筋承担，因而可以继续加载，直到钢筋达到屈服强度以后，梁才破坏，破坏荷载约可达 55.7kN。可见，在混凝土中配置钢筋可以大大提高构件的承载力。一般说来，在钢筋混凝土结构中，混凝土主要承担压力，钢筋主要承担拉力，必要时也可承担压力。因此在钢筋混凝土结构中，两种材料的强度都能得到充分的利用。

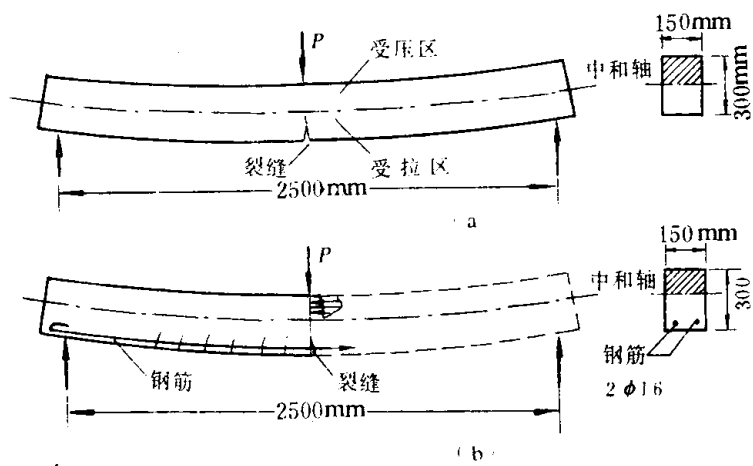


图 0-1

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同，但能共同工作，其原因是：①钢筋和混凝土之间有粘结力，在荷载作用下两者能协调变形，共同工作；②钢筋与混凝土的温度线膨胀系数很接近，钢为  $1.2 \times 10^{-5}$ ，混凝土为  $(1.0—1.5) \times 10^{-5}$ ，当温度变化时，两者间不会产生很大的相对变形而破坏它们之间的结合。

钢筋混凝土结构有很多优点，主要有：

- (1) 强度较高。和砖、木结构相比，其强度较高，在某些情况下可以代替钢结构，因而能节约钢材。
- (2) 耐久性好。在一般环境下，钢筋受混凝土保护而不易生锈，而混凝土的强度随着时间的增长还有所提高，所以其耐久性好，几乎不需要经常的维修和保养。
- (3) 耐火性好。混凝土是不良导热体，遭火灾时，钢筋因有混凝土包裹而不致于很快

升温到失去承载力的程度，因而比钢木结构的耐火性好。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构，因此适用于形状复杂的结构，如空心楼板、空间薄壳等。

(5) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好，有利于抗震、抗爆。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的原材料中占很大比例的石子和砂子，产地普遍，便于就地取材。

但是，钢筋混凝土结构也存在一些缺点，主要有：

(1) 自重大。这对于建造大跨结构和高层抗震结构是不利的。

(2) 施工比较复杂，工序多，施工时间长；冬季施工和雨天施工困难，需采取必要的措施以保证工程质量。

(3) 现浇钢筋混凝土要用模板，木材耗费量大。

(4) 抗裂性差。在正常使用时，普通钢筋混凝土结构往往带裂缝工作，这对要求不开裂的结构是很不利的。

上述这些缺点，通过发展轻质高强混凝土，推广应用预制装配式钢筋混凝土结构，采用预应力钢筋混凝土结构等措施，在一定程度上得到了克服。

由于钢筋混凝土结构具有很多优点，因而在房屋建筑、地下结构、水工、港口、桥梁和道路等土木工程中得到了广泛的应用。在工程结构中，钢筋混凝土结构的形式是多种多样的，难以一一列举。但从其受力特性分析，可以把常用的钢筋混凝土结构归纳为以下四种基本构件及其组合：

(1) 受弯构件，截面内力以弯矩、剪力为主。如梁、板和楼盖等。

(2) 受压构件，截面内力以压力为主，或兼有弯矩作用。如房屋柱子、屋架上弦等。

(3) 受拉构件，截面内力以拉力为主，或兼有弯矩作用。如圆形水池的池壁、屋架中的拉杆等。

(4) 受扭构件，截面中的内力有扭矩，或兼有弯矩和剪力。如框架边梁、雨篷梁等。

本书将讨论这些构件的受力性能、强度和变形计算及其设计方法。

## 二、钢筋混凝土的发展简况

钢筋混凝土结构自 19 世纪中叶开始应用，和砖石结构、钢木结构相比，历史并不长，但它的发展很快，现在已成为现代工程建设中应用最广泛的结构之一。目前世界上最高的钢筋混凝土房屋已高达 300m 左右；最高的预应力混凝土电视塔高达 549m；预应力高强混凝土桥梁的跨度已超过 400m。钢筋混凝土的材料制造、施工方法和计算理论都有了很大的进步，目前还在继续发展。以下简要叙述钢筋混凝土的发展现状。

材料方面：主要是向轻质、高强度方向发展，并研制具有某种特殊性能的混凝土。为减轻结构自重，各种高强混凝土、轻质混凝土（如加气混凝土、陶粒混凝土、浮石混凝土等）正得到迅速发展。此外，纤维混凝土、聚合物浸渍混凝土以及能满足各种不同需要的各种外加剂正在不断地研制出来，有的已在实际工程中应用。

结构和施工方面：为进一步加快施工速度、降低造价和保证质量，在一般的工业与民用建筑中已广泛采用定型化、标准化的装配式结构和预应力混凝土构件。目前又从一般的标准设计发展到工业化建筑体系，趋向于只用少数几种类型的构件（如梁板合一构件，墙柱合一构件，单元房间组合件等）就能建造各类房屋。大跨度建筑屋盖结构的整体吊装、

高层建筑中的升板结构和大模板施工以及泵送混凝土等技术将得到更广泛的应用。

设计理论方面：目前在建筑结构中已开始应用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论，使钢筋混凝土的极限状态设计方法更趋完善。考虑混凝土非线性变形的计算理论已经有了很大的进展，并在梁板、框架结构及大型工程结构的分析中得到了应用。随着对混凝土性能的深入研究和电子计算机的应用，目前已能对各种构件从加载到最后破坏进行全过程分析。由于将电子计算机、有限元方法和现代化的测试技术引入到钢筋混凝土的理论和试验研究中来，使得钢筋混凝土的计算理论和设计方法正日趋完善，并向更高阶段发展。

### 三、学习本课程需要注意的几个问题

(1) 本课程着重讨论钢筋混凝土构件的受力性能，这在本质上相当于钢筋混凝土的“材料力学”。它与材料力学有不少相似之处，又有许多不同的地方。两者都要通过几何、物理和平衡关系来建立基本方程，这是相同的。但材料力学主要研究单一、匀质、连续、弹性（或理想弹塑性）材料的构件；而本课程研究的是由钢筋和混凝土两种材料所组成的构件，而且混凝土是非均匀、非连续、非弹性材料。由于钢筋混凝土是由两种力学性能很不相同的材料所组成，如果两种材料在强度搭配和数量比值上的变化超过一定范围或界限，会引起构件受力性能的改变，这也是钢筋混凝土构件所具有的特点，学习时应注意。

(2) 钢筋混凝土构件的计算方法与其它学科一样，是建立在科学实验的基础上的。但由于混凝土材料的物理力学性能的复杂性，目前还没有建立起完善的强度理论，因此对实验的依赖性就更强。因此，学习过程中要重视构件的实验研究，了解试验中的规律性现象，理解建立公式时所采用的基本假定的实验依据，应用公式时要注意适用范围和限制条件。

(3) 本课程不仅要解决构件强度和变形的计算问题，而且要进一步解决构件的设计问题，包括结构方案、构件选型、材料选择和配筋构造等。这是一个综合性的问题。对同一问题，往往有多种可能的解决办法，这就要综合考虑使用要求、材料供应、施工条件和经济效益等各种因素，从中选出较优的方案。要注意培养对多种因素进行综合分析的能力。

(4) 构造处理是长期科学实验和工程实践经验的总结，是对计算必不可少的补充。在设计结构和构件时，计算和构造是同样重要的。因此，要充分重视对构造要求的学习，并注意弄清其中的道理。

(5) 本课程还要学习有关规范。为了贯彻国家的技术经济政策，保证设计质量，加快施工进度，国家颁布了各种结构设计规范。新修订的《混凝土结构设计规范（GBJ10-89）》（以下简称《规范》）反映了我国 30 多年来钢筋混凝土的科技水平和丰富的工程经验，并且吸收了国际上的一些先进成果。在学习过程中要理解它、熟悉它和应用它。

(6) 本课程的实践性很强，有些内容，如现浇楼盖中的梁、板、柱和节点中的钢筋布置和模板构造，预应力的张拉方法及各种锚夹具等，若不进行现场参观是很难掌握的。因此，在学习过程中要有计划地到施工现场、预制构件厂去参观，留心观察已有建筑物的结构布置、受力体系和构造细节，积累实际的感性知识，这对于学好本课程将大有益处。

### 思 考 题

1. 钢筋混凝土结构有哪些优点？哪些缺点？
2. 钢筋混凝土结构是由两种物理力学性质不同的材料组成的，为什么能共同工作？
3. 学习钢筋混凝土结构要注意哪些问题？

# 第一章 钢筋和混凝土材料的物理力学性能及其相互作用

结构构件的强度和变形性能，主要取决于材料的强度和变形性能。因此，了解钢筋和混凝土材料的物理力学性能及其相互作用是掌握钢筋混凝土构件受力性能、计算理论、设计方法的前提和基础。

本章重点讨论不同受荷方式下的材料强度和变形性能，以及两种材料间的相互作用。

## § 1-1 钢 筋

### 一、钢筋的强度和变形

用于建筑结构的钢筋，一般可分为两类：有明显流幅的钢筋和没有明显流幅的钢筋。这两类钢筋拉伸试验的典型应力应变曲线见图 1-1 及图 1-2。

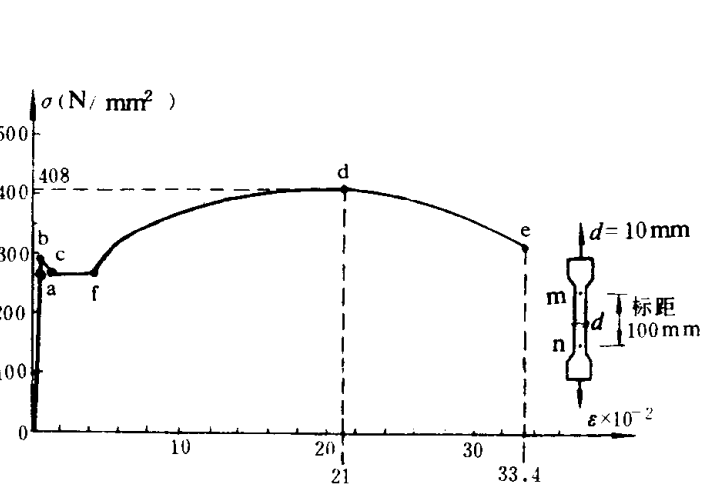


图 1-1 有明显流幅钢筋的应力应变曲线

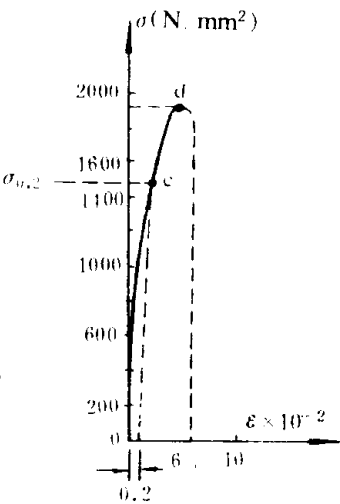


图 1-2 没有明显流幅钢筋的应力应变曲线

图 1-1 中，a 点以前应力应变成直线关系，a 点以后应变比应力增加得要快，但不稳定，abc 为一小段曲线，a 点称比例极限，b 点为屈服上限，c 点为屈服下限。c 点以后钢筋开始流动，应力不变应变增加很快，而且稳定，曲线为一水平段。因 ac 比较接近，通常以 c 点应力作为屈服强度，cf 为屈服台阶或流幅。过 f 点以后应力再次随应变的增加而增加，二者关系为一上升的曲线，但应力的增长率要低于屈服之前。fd 为强化阶段，f 为强化段起点，d 点的应力称为抗拉强度或极限强度。过 d 点后，钢筋某一截面面积迅速减小（颈缩），荷载下降，但应变仍能继续增长，曲线呈下降趋势，直到 e 点钢筋被拉断为止。de 为下降段，e 点为钢筋的拉断点。实用上，图 1-1 曲线可分为四个阶段：弹性阶段 oc、屈服阶段 cf、强化阶段 fd、破坏（颈缩）阶段 de。

对该类钢筋有两个强度指标：一是 c 点的屈服强度，它是钢筋混凝土构件计算的强度限值，这是因为钢筋屈服后所出现的屈服台阶（流幅）是不可恢复的塑性变形（其大小随钢种而变），会使构件变形和裂缝大大增加以致无法使用；另一个强度指标是 d 点的钢筋极限强度，一般情况下用作材料的实际破坏强度。

除强度指标外，还有两个塑性指标：①伸长期  $\epsilon$ ， $\epsilon$  为一定标距  $\delta_{10}$  或  $\delta_5$  条件下的单位伸长， $\epsilon = (l_1 - l) / l$  [其中  $l$  为标距，未受荷时 mn 间的距离，用  $\delta_{10}$  或  $\delta_5$  表示，下标 10、5 表示 mn 间的距离为 10 倍、5 倍试件的直径  $d$ ； $l_1$  为断裂时 mn 间的距离]。伸长期随含碳量的高低而变化。含碳量低，屈服台阶长、伸长期大、塑性好，拉断时变形很大，能显示明显的破坏预兆，含碳量高则相反；②冷弯性能，与伸长期对钢筋塑性的标志是一致的。它用钢筋绕一定直径  $D$  的钢辊弯折一定角度  $\alpha$  时，不能有裂纹或断裂来反映塑性。若钢筋所绕钢辊直径  $D$  越小，弯转角度  $\alpha$  越大，则该钢筋的塑性性能就越好。

图 1-2 为高强度碳素钢丝的应力应变曲线，由图可见这类钢筋没有明显的屈服台阶（流幅），其强度很高，但伸长期小，塑性较差，破坏时呈脆性。对该类钢筋通常取相应于残余应变为 0.2% 的应力  $\sigma_{0.2}$  作为假定屈服点（或称条件流限），其值约为 0.8 倍抗拉强度值。

有关钢筋的性能指标详见表 1-1。

表 1-1 钢筋种类及机械性能

| 钢 筋 种 类                                            | 符号     | 屈服强度<br>(N / mm <sup>2</sup> ) | 抗拉强度<br>(N / mm <sup>2</sup> ) | 伸长期(%)     |               | 冷弯试验     |     |
|----------------------------------------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|------------|---------------|----------|-----|
|                                                    |        |                                |                                | $\delta_5$ | $\delta_{10}$ | $\alpha$ | $D$ |
| I 级钢筋(3 号钢)                                        | $\phi$ | 235                            | 375                            | 25         | 21            | 180°     | 1d  |
| II 级钢筋(20 锰硅, 20 锰铌半)<br>$d < 25$<br>$d = 28 - 40$ | $\phi$ | 335                            | 510                            | 16         | /             | 180°     | 3d  |
|                                                    |        | 315                            |                                |            |               |          |     |
| III 级钢筋(25 锰硅)                                     | $\phi$ | 370                            | 590                            | 14         | /             | 90°      | 3d  |
| IV 级钢筋(40 硅 2 锰钒, 45 硅 2 锰钒, 45 硅锰钒)               | $\phi$ | 540                            | 885                            | 10         | 8             | 90°      | 5d  |

二、钢筋的成分、级别、品种

钢筋的化学成分、生产工艺和加工方法不同，其基本力学性能就不相同。

钢筋的化学成分主要是铁元素，还有少量的碳、锰、硅、钒、钛等合金元素以及有害元素磷、硫。铁元素强度低，需在冶炼过程中增加其它元素的含量来提高钢的强度。含碳量的多少对钢材的强度影响很大；含碳量高，钢材强度就高，但塑性性能及可焊性将降低。锰、硅、钒、钛等少量合金元素可使钢材的强度、塑性等综合性能提高。有害元素磷、硫超过约 0.045% 后会使钢材变脆，塑性显著降低，不利于焊接。

目前，用于建筑的钢筋可分为两大类：碳素钢和普通低合金钢。碳素钢按碳的含量多少分为低碳钢（含碳量少于 0.25%）、中碳钢和高碳钢（含碳量超过 0.6%）。低合金钢（合金元素的总含量 < 3.5%）一般按主要合金元素命名。例如：以锰为主要合金元素的锰系钢（20 锰、25 锰硅）；以硅钒为主要合金元素的硅钒系钢（45 硅 2 钒）等。低合金钢钢筋名称中，前面的数字代表平均含碳量（以万分数 0 / 000 计）、合金元素后面的数字表明该元素含量的百分数，小于 1.5% 的不计。表 1-1 为我国生产的钢筋种类及其机械性能，钢筋按强度分为四个等级，表中列有：钢筋种类、符号、强度和塑性指标。

图 1-3 为各级钢筋和碳素钢丝的应力-应变曲线。很明显，钢筋强度高，则其塑性性能就低。

另一种钢筋叫热处理钢筋。它是用 IV 级钢筋经加热、淬火、回火等调质热处理工艺，以改变其机械性能，从而获得塑性降低不多、强度却大大提高的一种高强度钢筋。因其强度高、变形性能好，很适宜作预应力钢筋。现已在轨枕、电杆、桩等预应力混凝土构件中大量采用。其缺点是局部损伤或应力过大之处易发生应力脆断。

表 1-1 中所列钢筋，按外形特征可分为光圆钢筋和变形钢筋两类。变形钢筋外形有螺旋纹、人字形、竹节形、斜交叉形等（图 1-4c）。目前，我国用得最多的是螺纹钢筋（图 1-4a）和正在推广的适合我国轧制工艺的新月牙纹钢筋（图 1-4b），两者主要区别是：前者纵、横肋相交，而后者则不相交，横肋与钢筋纵轴成一个角度，剖面几何形状呈月牙形。该类钢筋还印有厂名和钢筋级别的标记。

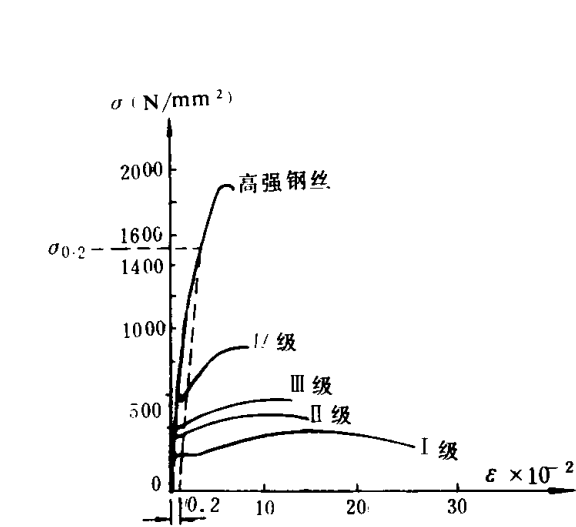


图 1-3 各级钢筋的应力应变曲线

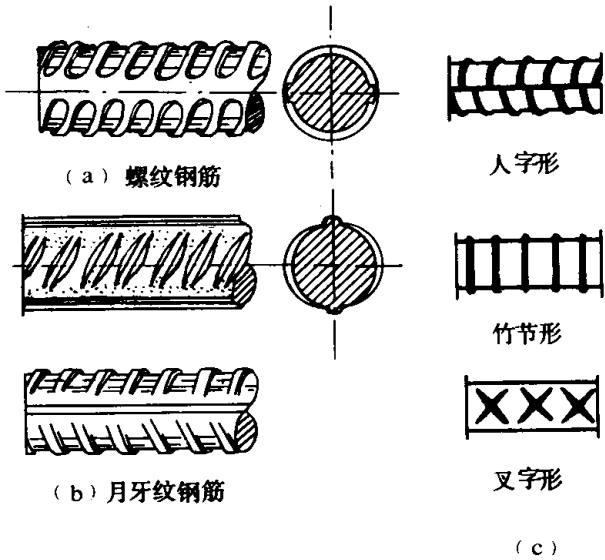


图 1-4

三、钢筋的冷拉和冷拔

冷拉和冷拔是将钢筋在常温下用机械的方法进行再加工，它可使钢筋强度大为提高，但塑性性能要下降。

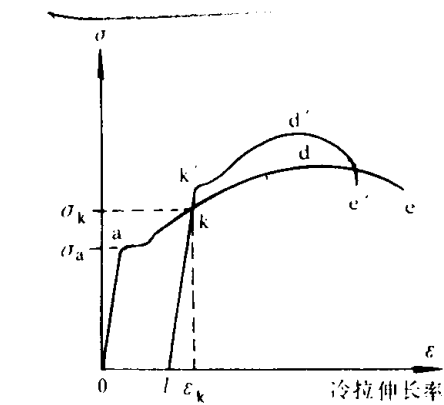


图 1-5 钢筋冷拉后的应力应变曲线

1. 冷拉

冷拉是将钢筋拉 p 到超过屈服强度即强化阶段中的某一应力值，如图 1-5 中的 k 点，然后卸荷。由于 k 点的应力已超过比例极限，故卸荷应力为零时应变并不等于零，其残余应变为 ol。若立即重新加荷，应力应变曲线仍将沿 k d e 变化。此时，屈服点已由 σ<sub>a</sub> 提高到 σ<sub>k</sub>，表明钢筋经冷拉后，屈服强度提高（称冷加工强化），但塑性降低。如果卸荷后，停顿一段时间再重新加荷，则应力应变曲线将沿 k' d' e' 变化。屈服点又由 k 提高到 k'，

$d'$  也比  $d$  点的应力值要高。但  $e'$  点的伸长率比  $e$  点又要减小。这表明经过一段时间后（称冷拉时效）屈服强度还会提高，但伸长率减小，塑性性能降低。为了增加强度又保证钢筋有一定的塑性，应选择合适的  $k$  点，即选择合适的冷拉控制应力  $\sigma_k$  和冷拉伸长率  $\epsilon_k$ 。能同时控制  $\sigma_k$  和  $\epsilon_k$  的称为双控，仅控制  $\epsilon_k$  的称为单控。冷拉后钢筋需进行质量检查，满足《规范》和施工规程要求。具体冷拉参数的确定可参阅有关施工规程。

冷拉可提高屈服强度，使钢筋伸长，起到节省钢材、调直钢筋、自动除锈、检查对焊焊接质量的作用。

2. 冷拔

冷拔是将直径 6—8mm 的 I 级热轧钢筋用强力拔过比其直径要小的硬质合金拔丝模具，使钢筋除了受拉外还受到很大的侧向挤压力，从而使钢筋在长度和直径两个方向都产生塑性变形，截面积减小，长度增加，如图 1-6a 所示，可逐级拔成更细的钢丝。图 1-6b 为 I 级钢筋  $\phi 6$  经三次冷拔到  $\phi^b 3$  钢丝的应力—应变曲线比较。可以看出，冷拔后的钢丝没有明显的屈服点和流幅，强度可由 260 提高到 750N/mm<sup>2</sup>，而伸长率则由 21.9% 降至 3.3%。该种钢筋称为冷拔低碳钢丝，记作  $\phi^b 5$ ， $\phi^b 4$ ， $\phi^b 3$ 。按质量不同，《规范》把冷拔低碳钢丝分为甲乙两级。甲级质量要求较严，强度较高，可作预应力筋用，需逐盘进行抗拉强度、伸长率及弯曲试验；乙级强度低，只作架立筋、焊接网片和骨架等构造钢筋用，产品仅需分批检验。

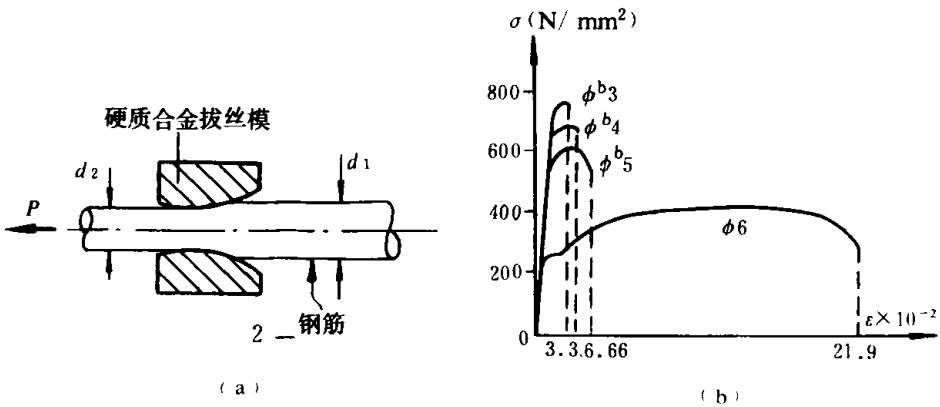


图 1-6

冷拉只能提高钢筋的抗拉强度，不宜作为受压钢筋。冷拔可同时提高抗拉及抗压强度。

§ 1-2 混 凝 土

一、混凝土的组成

混凝土的主要组成材料为水泥、砂子、石子和水，有时还加入减水剂或其它外加剂。混凝土的强度和变形性能随上述组成材料的性质、配比、制作方法和硬化条件等不同而有所不同（详细可参阅建筑材料混凝土部分）。本节侧重于混凝土在不同受荷方式下的强度及变形性能。

二、混凝土的强度

1. 混凝土的抗压强度

若混凝土的材料、配比、施工条件均相同，则影响混凝土强度的主要因素是横向变形的约束条件和加荷速度。实验表明，相同承压面积（ $150 \times 150 \text{mm}^2$ ）但外形尺寸不同的混凝土轴心受压试件，其抗压强度并不相同。图 1-7a, b, c 分别为  $150 \times 150 \times 450 \text{mm}^3$  的棱柱体试件， $150 \times 150 \times 150 \text{mm}^3$  和  $450 \times 450 \times 450 \text{mm}^3$  的立方体试件局部承压试件。根据试验，其抗压强度（破坏荷载除以承压面积）分别为：立方强度  $f_{cu} = 20 \text{MPa}$ ，棱柱强度  $f_c = 15.2 \text{MPa}$ ，而局部承压强度  $f_{cl} = 45.6 \text{MPa}$ 。三个试件的破坏形态也各不相同，这主要是在单向轴心压力的作用下，混凝土产生轴向压缩应变及横向拉伸应变，而横向拉伸应变是造成纵向裂缝的主要原因。在两端承压面处成八字状裂缝则是由纵向力及试验机压板对试件的横向摩阻力造成的。混凝土横向变形受到摩阻力的约束形成套箍作用。立方体试件的高度与宽度之比  $h/b = 1$ ，在很大范围内受到套箍的影响；而柱体  $h/b = 3$ ，套箍的影响只在两端局部范围内，试件中部的横向变形并不受到约束，所以立方体强度比柱体强度高。对局部承压试件，荷载仅作用在部分面积上，其横向变形还受到未受荷载直接作用的外围混凝土的约束，所以其抗压强度最高。

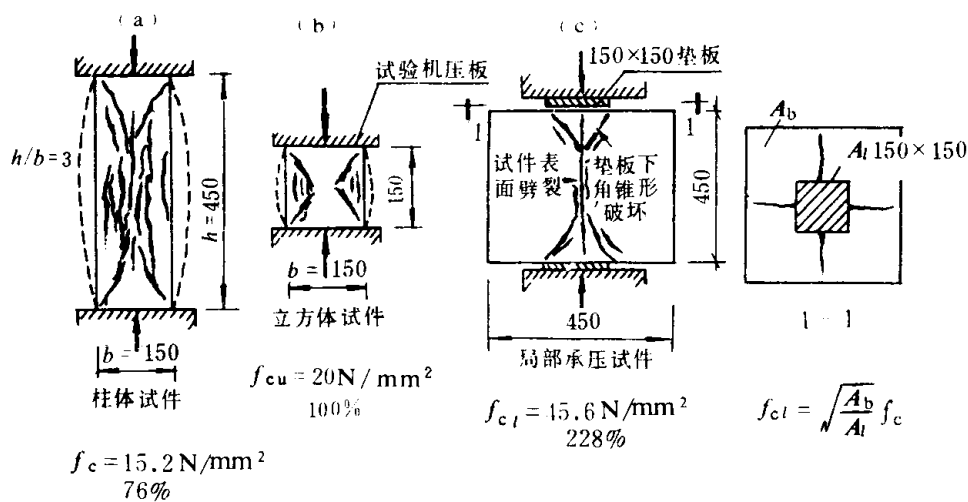


图 1-7 三种外形尺寸的混凝土轴心受压试件 (单位: mm)

由于混凝土的抗压强度是有条件的，因此，设计、施工应按不同受力情况采用不同的抗压强度作为判别标准和设计依据。

(1) 立方强度  $f_{cu}$  (图 1-7b)。我国《规范》以  $150 \times 150 \times 150 \text{mm}^3$  的立方体，在  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  的温度和相对湿度 90% 以上的潮湿空气中养护 28 天，按标准制作和试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度 [计量单位  $\text{N/mm}^2$  (MPa)] 作为混凝土的强度等级。如 C20 表示混凝土的立方体强度为  $20 \text{N/mm}^2$ ，《规范》共分 C7.5—C60 十二个等级。它并不代表实际构件中混凝土的受力情况。但由于它的制作及试验比较简单，可作为在统一试验方法下衡量混凝土强度的相对指标。目前实际采用的尺寸还有 200mm 和 100mm 边长的立方体试块。试验表明，由于尺寸效应，立方体边长越小，抗压强度越高。当边长不是 150mm 时，可通过尺寸效应换算系数换算成 150mm 的立方体试块强度 (强度等级)：

$$\text{强度等级} = 0.95 \times (\text{100mm 边长立方试块强度})$$

$$\text{强度等级} = 1.05 \times (\text{200mm 边长立方试块强度})$$



(2) 棱柱体抗压强度  $f_c$  (图 1-7a)。棱柱体试件的抗压强度比较接近实际构件中混凝土的受力情况。试验证实, 轴心受压混凝土柱中的混凝土强度基本上和棱柱抗压强度  $f_c$  相同。试验还表明,  $f_c$  在  $h/b > 3$  时趋于稳定。所以, 一般规定用  $h/b = 3 \sim 4$  的棱柱体抗压强度来代表混凝土单向均匀受压时的抗压强度。当试件截面尺寸相同时, 可由试验结果找出棱柱体强度  $f_c$  和立方体强度  $f_{cu}$  的关系

$$f_c = 0.76f_{cu} \tag{1-1}$$

因设计需考虑实际结构构件与试件制作和养护条件的差异、尺寸效应及加荷速度等因素的影响, 故《规范》取

$$f_c = 0.67f_{cu} \tag{1-2}$$

(3) 局部承压强度  $f_{cl}$ 。凡是荷载仅作用在构件部分面积上的受力状况都可视为局部承压。例如, 实际工程中屋盖大梁、桁架对柱子的荷载 (图 1-8a), 后张法预应力混凝土构件端部锚头下的挤压力 (图 1-8b), 梁和偏心受压构件的混凝土受压区 (图 1-8c 及图 1-8d, e) 等情况都属局部承压。试验表明, 局部承压强度  $f_{cl}$  与棱柱体均匀受压强度  $f_c$  的关系为

$$f_{cl} = \beta f_c \tag{1-3}$$

式中  $\beta = \sqrt{A_b / A_l}$  ——局部承压强度提高系数, 其中  $A_l$  为局部承压面积;  $A_b$  为影响局部承压强度的计算底面积。对于图 1-8 所示  $A_l$  四面有外围混凝土的情况,  $A_b$  可按同心 (形心重合)、对称、有效面积的原则确定; 对于图 1-8d, e 所示  $A_l$  位于截面边、角的情况, 《规范》从偏于安全考虑, 规定  $A_b = A_l$ , 即  $\beta = 1$ , 不予提高。

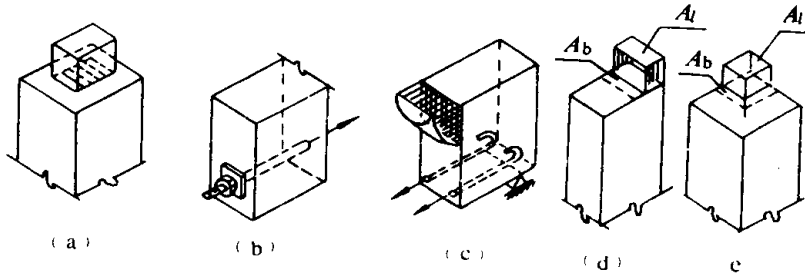


图 1-8 局部承压

如上所述, 横向变形约束条件对混凝土抗压强度影响很大。试验表明, 要使混凝土抗压强度提高, 可以在试件中配置横向钢箍或螺旋形箍筋以限制混凝土的横向变形, 从而形成“约束混凝土”。

(4) 加荷速度对抗压强度的影响。试验证明, 加载速度快, 测得的混凝土强度高, 反之则低, 因此, 前面所述各强度是指在标准加荷速度的情况下测定的 (每秒  $0.15 \sim 0.25 \text{ N/mm}^2$ )。若速度提高到每秒  $10 \text{ N/mm}^2$ , 强度可提高 10% 左右, 在每秒  $10^5 \text{ N/mm}^2$  快速加荷的冲击荷载作用下, 强度可提高约 60%; 如加荷速度减慢, 强