

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

混凝土结构 与砌体结构



段春花 主 编
段贵明 赵俊鸿 副主编

Concrete Structure and
Masonry Structure



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIYIWU
GUIHUA JIAOCAI

混凝土结构 与砌体结构

主 编 段春花
副主编 段贵明 赵俊鸿
编 写 李生虎 申海洋 秦焕朝
主 审 杨太生



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分十章，主要内容包括混凝土结构材料的力学性能、建筑结构的基本设计原则、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土受扭构件、钢筋混凝土受压构件、钢筋混凝土梁板结构、预应力混凝土构件基本知识、单层厂房结构、钢筋混凝土多层与高层结构、砌体结构基本知识以及附录等。本教材以培养技术应用能力为主线，紧扣专业培养目标，编写以“少而精”为原则。教材内容做到通俗易懂、切合工程实际，课程内容强化应用性、针对性和可操作性，同时注重职业能力的培养，突出了高职高专教育以应用为主的特色。

本书可作为高职高专建筑类相关专业的教材，也可作为工程技术人员及相关人员学习的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构与砌体结构/段春花主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

普通高等教育“十一五”规划教材·高职高专教育

ISBN 978-7-5083-6532-9

I. 混… II. 段… III. ①混凝土结构—高等学校: 技术学校—教材②砌块结构—高等学校: 技术学校—教材
IV. TU37 TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 205989 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张 421 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规则强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

本书根据高职高专“建筑工程技术专业”人才培养目标及主干课程教学基本要求，并按照国家颁布的《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）、《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）、《砌体结构设计规范》（GB 50003—2001）、《建筑结构制图标准》（GB/T 50105—2001）、《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2002）等最新规范和标准编写。

本书以培养技术应用能力为主线，紧扣专业培养目标，教材编写以“少而精”为原则，内容力求做到通俗易懂、切合工程实际。课程内容强化应用性、针对性和可操作性，注重职业能力的培养，突出了高职高专教育以应用为主的特色。在基础理论方面以“必需”、“够用”和“能用”为原则，阐明基本概念、基本原理和基本计算方法，取消或弱化部分理论公式的推导。全书以钢筋混凝土结构与砌体结构的基本概念和构造措施为重点，注重结构构件的受力特点及设计原理的分析，注重基本理论在工程实践中的应用，侧重于解决常见结构施工图以及与施工有关的结构问题，强调结构设计中应贯彻的规范强制性条文及构造措施。

本书由段春花担任主编，段贵明、赵俊鸿任副主编。参加本书编写工作的有段春花（绪论、第3章3.1~3.3、第9章、附录）、李生虎（第1、8章）、赵俊鸿（第2、4、7章）、申海洋（第3章3.4、3.5、第5章）、秦焕朝（第6章）、段贵明（第10章）。全书由段春花最后统稿并定稿，由杨太生副教授担任主审。

在本书的编写过程中，得到了山西建筑职业技术学院的大力支持，并参阅了一些公开出版和发表的文献，在此一并致谢。

限于作者的理论水平和实践经验，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和同行批评指正。

编 者

2007年11月

目 录

前言	
绪论	1
0.1 建筑结构的一般概念	1
0.2 混凝土结构的特点及应用	1
0.3 砌体结构的特点及应用	3
0.4 学习本课程需要注意的问题	4
第1章 混凝土结构用材料的力学性能	6
1.1 钢筋	6
1.2 混凝土	9
1.3 钢筋与混凝土的粘结	13
本章小结	16
思考题	17
第2章 建筑结构的基本设计原则	18
2.1 结构上的荷载与荷载效应	18
2.2 结构抗力和材料强度	20
2.3 结构设计的要求	21
2.4 概率极限状态设计法	23
2.5 极限状态实用设计表达式	24
2.6 建筑结构抗震基本知识简介	26
本章小结	28
思考题	29
第3章 钢筋混凝土受弯构件	30
3.1 概述	30
3.2 梁、板的一般构造要求	31
3.3 受弯构件正截面承载力计算	36
3.4 受弯构件斜截面承载力计算	59
3.5 受弯构件的变形及裂缝宽度验算(*)	73
本章小结	80
思考题	82
习题	84
第4章 钢筋混凝土受扭构件	86
4.1 概述	86
4.2 受扭构件的受力特点及配筋构造	86
4.3 受扭构件承载力计算要点	88

本章小结	91
思考题	91
习题	91
第 5 章 钢筋混凝土受压构件	92
5.1 概述	92
5.2 受压构件的构造要求	92
5.3 轴心受压构件承载力计算	94
5.4 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	97
5.5 矩形截面偏心受压构件斜截面承载力计算	105
本章小结	106
思考题	106
习题	107
第 6 章 钢筋混凝土梁板结构	108
6.1 概述	108
6.2 整体式单向板肋梁楼盖	109
6.3 整体式双向板肋梁楼盖	133
6.4 井式楼盖	139
6.5 钢筋混凝土楼梯	140
6.6 钢筋混凝土雨篷	144
本章小结	145
思考题	146
习题	146
第 7 章 预应力混凝土构件基本知识	148
7.1 预应力混凝土的基本概念	148
7.2 预应力混凝土构件的一般规定	150
7.3 预应力损失	151
7.4 预应力混凝土轴心受拉构件计算	153
7.5 预应力混凝土构件的主要构造要求	154
本章小结	155
思考题	156
第 8 章 单层厂房结构	157
8.1 单层厂房结构的组成和布置	157
8.2 单层厂房排架结构的内力计算要点	163
8.3 单层厂房排架柱	172
本章小结	178
思考题	179
第 9 章 钢筋混凝土多层与高层结构	180
9.1 多层与高层房屋结构体系	180
9.2 框架结构	185

9.3 剪力墙结构	202
9.4 框架-剪力墙结构	212
本章小结	213
思考题	214
第 10 章 砌体结构基本知识	215
10.1 砌体材料及其力学性能	215
10.2 砌体结构构件的承载力计算	220
10.3 砌体结构房屋墙体设计	230
10.4 砌体结构中的过梁及悬挑构件	239
10.5 多层砌体结构的构造措施（非抗震设防要求）	242
10.6 多层砌体结构抗震构造措施	246
本章小结	250
思考题	251
习题	251
附录 1 混凝土材料力学指标	252
附录 2 钢筋材料力学指标	253
附录 3 内力系数表	255
附录 4 砌体材料力学指标	265
参考文献	268

绪 论

0.1 建筑结构的—般概念

0.1.1 建筑结构的组成

建筑结构是指建筑物中由若干个基本构件按照一定组成规则,通过正确的连接方式所组成的能够承受并传递各种作用的空间受力体系(又称骨架)。

房屋结构的基本构件主要有板、梁、墙、柱、基础等。板为房屋建筑提供活动面,直接承受作用在其上的全部荷载(含自重和板上人群、家具、设备等),并将这些荷载传递到梁或墙等支撑构件上,板的主要内力是弯矩和剪力,是受弯构件。梁是板的支撑构件,承受板传来的荷载并将其传递到墙、柱上。其主要内力是弯矩和剪力,有时也承担扭矩,属受弯构件。墙和柱是竖向受力构件,用以支承楼面体系(梁、板),其主要内力是轴向压力、弯矩和剪力等,属受压构件。基础则是将上部结构的所有荷载传递扩散到地基(土层或岩石层)中的埋在地面以下的承重构件。

0.1.2 建筑结构的分类

建筑结构有多种分类方法,各种结构有其一定的适用范围,应根据具体情况合理选用。

1. 按承重结构所用材料分类

按承重结构所用材料的不同,建筑结构可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢骨混凝土结构、纤维混凝土结构及其他各种形式的加筋混凝土结构,实际工程中应用较多的是钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。砌体结构包括砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构。也可在同一体系中将不同的结构材料混合使用,形成混合结构,如屋盖和楼盖采用混凝土结构,墙体采用砌体结构,基础采用砌体结构或钢筋混凝土结构,就形成了砖混结构。

2. 按承重结构类型分类

按照结构承重体系的不同,建筑结构的类型可分为框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、排架结构、网架结构、悬索结构、壳体结构等。实际工程中应用较多的是框架结构、剪力墙结构和框架-剪力墙结构。

此外,还可按外形特点分为单层结构、多层结构、大跨度结构、高耸结构;按施工方法分为现浇结构、装配式结构、装配整体式结构、预应力混凝土结构等。

0.2 混凝土结构的特点及应用

0.2.1 钢筋与混凝土的特点

以混凝土材料为主,并根据需要配置合适的钢筋,作为主要承重材料的结构,均称为钢筋混凝土结构。混凝土硬化后如同石料,抗压强度较高,但抗拉强度很低;而钢筋的抗拉和抗压强度均很高,但其抗火能力差、易锈蚀,将两种材料有机结合在一起,可以取长补短,

成为性能优良的结构材料。

钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料，之所以能够结合在一起共同工作，主要原因有如下几方面：

(1) 混凝土硬化后，钢筋和混凝土之间有良好的粘结力，在荷载作用下，可以保证两种材料协调变形、共同受力。这是钢筋和混凝土共同工作的基础。

(2) 钢筋和混凝土具有基本相同的温度线膨胀系数 [钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$]。当温度变化时，两者不会因产生过大的变形而导致破坏。

(3) 混凝土包裹钢筋，对钢筋有良好的保护作用，可防止钢筋锈蚀，提高钢筋的抗火能力和耐久性。

0.2.2 钢筋混凝土结构的主要优缺点

1. 钢筋混凝土结构的主要优点

钢筋混凝土结构在工程结构中得以广泛应用，除上述能够充分利用两种材料的强度优势外，还具有以下优点：

(1) 整体性好。现浇混凝土结构的整体性好，且通过合适的配筋，可获得较好的延性，有利于结构的抗震、抗爆。

(2) 耐久性好。在正常环境条件下，混凝土材料本身具有很好的化学稳定性，其强度随时间的增加而有所提高。同时钢筋由于混凝土的保护而不易锈蚀。

(3) 耐火性好。混凝土本身的热传导性能较差，发生火灾时，由于混凝土对钢筋的包裹，延缓了钢筋的升温过程，使钢筋不至于很快达到软化温度而导致结构破坏。

(4) 可模性好。混凝土拌和物具有可塑性，可根据需要浇筑成各种形状和尺寸的结构。

(5) 易于就地取材。混凝土所用的大量砂、石，产地广泛，易于就地取材，经济方便。另外，也可以利用工业废料来制作人工骨料，以改善混凝土的性能，且有利于环境保护。

2. 钢筋混凝土结构的主要缺点

(1) 自重较大。钢筋和混凝土材料的容重较大，与钢结构相比，结构的自重较大，不适用于建造高层、大跨结构。

(2) 抗裂性差。由于混凝土材料的抗拉性能很差，容易出现裂缝，所以普通混凝土结构在正常使用阶段往往是带裂缝工作的。在工作条件较差的环境，会影响结构的耐久性。

(3) 施工环节多、工期长。现浇钢筋混凝土工序多（支模、绑钢筋、浇筑、养护、拆模），工期长，施工质量和进度等受季节、气候影响较大。

0.2.3 混凝土结构的应用与发展

1. 混凝土结构的应用

混凝土结构是一种出现较晚的结构形式，但它的发展速度是其他结构形式无法相比的，其应用范围涉及到土木工程的各个领域，混凝土结构在各类工程结构中占有主导地位。

在房屋建筑工程中，厂房、住宅、办公楼等多、高层建筑广泛采用混凝土结构。在7层以下的多层房屋中，虽然墙体大多采用砌体结构，但房屋的楼板几乎全部采用钢筋混凝土现浇板或预制板。采用混凝土结构的高层和超高层建筑已十分普遍，一般采用钢筋混凝土框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框架-筒体结构和筒体结构等，有时与钢结构混合采用，形成组合结构体系。

在大跨度建筑方面，预应力混凝土屋架、薄腹梁、V形折板、钢筋混凝土拱、薄壳等已

得到广泛应用。

2. 混凝土结构发展概况

(1) 材料方面。混凝土材料的主要发展方向是轻质、高强、高性能、耐久、复合、抗裂和易于成型。目前我国普遍应用的混凝土强度等级一般在 C20~C60, 部分工程已经应用到 C80; 新型外加剂的研制与应用将不断改善混凝土的力学性能, 以适应不同环境、不同要求的混凝土结构。

钢筋的主要发展方向是高强、防腐、有较好延性和高粘结锚固性能。试验表明, 中强度和高强螺旋肋钢丝不仅强度高、延性好, 而且与混凝土的粘结锚固性能也优于其他钢筋。为提高钢筋的防腐性能, 带有环氧树脂涂层的热轧钢筋已开始在某些有特殊防腐要求的工程中应用。

(2) 结构方面。组合结构已成为近年来结构发展的方向之一。配筋材料作为混凝土结构的关键组成部分, 除了传统钢筋材料本身力学性能将不断改善外, 新型配筋材料和配筋形式也将不断发展, 从而形成许多新的混凝土结构形式, 大大地拓宽了混凝土结构的应用范围。如在混凝土中掺入钢纤维等短纤维, 形成纤维混凝土结构。其可有效提高混凝土的抗拉、抗剪强度, 改善混凝土抗裂、抗疲劳、抗冲击等性能。把型钢与混凝土结构组合, 形成钢-混凝土组合结构、钢骨混凝土结构和钢管混凝土结构, 可以减少混凝土结构的截面尺寸, 提高结构的承载力, 改善结构的延性等。

(3) 施工技术方面。预应力技术的发明使混凝土结构的跨度大大增加; 滑模施工法的发明使高耸结构和贮仓、水池等特种结构的施工进度大大加快; 泵送混凝土技术的出现使高层建筑、大跨桥梁可以方便地整体浇筑; 蒸汽养护法使预制构件成品出厂时间大为缩短。

模板方面。将向多功能方向发展, 薄片、美观、廉价又能与混凝土牢固结合的永久性模板, 将使模板作为结构的一部分参与受力, 还可省去装修工序。透水模板的使用, 可以滤去混凝土中多余的水分, 大大提高混凝土的密实性和耐久性。

钢筋的绑扎成型方面。正在大力发展各种钢筋成型机械及绑扎机具, 以减少大量的手工操作。

(4) 计算理论方面。在设计计算理论方面, 从 1955 年我国有了第一批建筑结构设计规范, 至今已修订了四次。钢筋混凝土结构的计算方法已有了很大改进, 由原来的简单近似计算到以概率理论为基础的极限状态设计方法, 从对结构仅进行线性分析发展到非线性分析, 从对结构侧重安全发展到全面侧重结构的性能。目前, 已采用了以概率理论为基础的可靠理论, 使极限状态设计方法更趋完善。

0.3 砌体结构的特点及应用

0.3.1 砌体结构的特点

由块体(砖、石材、砌块)和砂浆砌筑而成墙、柱作为建筑物主要受力构件的结构称为砌体结构, 包括砖砌体结构、石砌体结构和砌块砌体结构。

1. 砌体结构的优点

(1) 取材方便, 造价低廉。砌体结构的原材料(粘土、砂、石)为天然材料, 分布广, 易于就地取材, 比钢筋混凝土结构更经济, 并能节约水泥和钢材。此外, 工业废料如煤矸

石、粉煤灰、页岩等都是制作块材的原料，既可降低造价，又有利于环境保护。

(2) 耐火性和耐久性良好。砖具有较好的抗高温能力，砖墙的热导性能较差，在火灾中能起到防火墙的作用。砖石等材料还具有良好的化学稳定性及大气稳定性，抗腐蚀性强，耐久性较好。

(3) 具有良好的保温、隔热、隔声性能，节能效果好。

(4) 施工简单。施工时不需支模和养护，可连续施工，且施工工具简单，工艺易于操作。

2. 砌体结构的缺点

(1) 强度低、自重大。由于砌体强度较低，因此砌体结构构件截面尺寸较大，材料用量较多，因而结构的自重大。

(2) 整体性差。砌筑砂浆和块材之间的粘结力较弱，因此无筋砌体的抗拉、抗弯和抗剪强度很低，砌体的整体性、抗震及抗裂性能较差。需要采用配筋砌体或构造柱改善结构的抗震性能。

(3) 砌筑工作量大。因采用手工砌筑方式，劳动强度高，生产效率低。

另外值得一提的是，粘土是制造粘土砖的主要原材料，烧制粘土砖需要占用农田，势必影响农业生产，也对生态环境平衡不利。

0.3.2 砌体结构的应用与发展

1. 砌体结构的应用

砌体结构主要用于承受压力的构件，房屋的基础、内外墙、柱等都可采用砌体结构建造，无筋砌体房屋一般可建5~7层。此外，过梁、屋盖、地沟等构件也可用砌体结构建造。

在工业厂房建筑中，砌体往往用来砌筑围护墙和填充墙，工业企业中的烟囱、料斗、管道支架，对渗水性要求不高的水池、小型的仓库以及加工厂房等也可用砌体建造。

2. 砌体结构的发展

(1) 发展新材料。砌体材料的主要发展方向是轻质、高强的块材和高粘结强度的砂浆的研究与应用，以提高砖和砌块的强度，提高砌体结构房屋的整体性和抗裂性。积极发展粘土砖的替代产品，推广应用空心粘土砖、蒸压灰砂砖、蒸压粉煤灰砖、轻集料混凝土砌块及混凝土小型空心砌块等，以节省耕地，保护环境。

(2) 推广应用配筋砌体结构。采用配筋砌体、组合砌体等结构形式，可克服砌体材料性能的不足，提高结构的抗震和抗裂性能，扩大砌体结构的应用范围。

0.4 学习本课程需要注意的问题

本课程是建筑工程技术等专业的主干专业课之一，包括混凝土结构和砌体结构两大类结构体系，主要研究一般房屋建筑结构的结构构件布置原则、结构构件的受力特点、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图和相关标准图集的识读等内容。

通过本课程的学习，应了解建筑结构的基本设计原理，掌握钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能，以及由其组成的钢筋混凝土结构、砌体结构和各种基本构件的受力特点，掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，正确领会国家建筑结构设计

规范中的有关规定,能正确识读建筑结构施工图,并能处理建筑结构施工中的一般结构问题,逐步培养和提高学生理论联系实际的综合应用能力,为从事房屋建筑工程设计、施工及管理工作打下基础。

学习本课程时,应注意以下几点:

1. 正确理解和使用计算公式

本课程中的计算公式与力学中的公式有所不同。力学中的材料都是理想的弹性或塑性材料,而钢筋混凝土结构和砌体结构材料是非匀质、非弹性材料,计算公式建立在科学实验和工程经验基础上。因此,要理解公式建立时的基本假定,在应用计算公式时,要特别注意公式的适用范围和限制条件。

2. 结构设计 with 计算答案的不唯一性

建筑结构设计的任务是选择适用、经济的结构方案,并通过承载力计算、变形验算及其配筋构造等,确定结构的设计方案。在相同荷载作用下,有多种可行的截面形式、尺寸和不同的材料选择及其不同的配筋方式与数量,即其答案具有多样性。在多种答案中,需综合考虑结构的安全性、经济性、施工方便等因素确定最合理的答案。

3. 重视与基础课程的联系

混凝土结构课程与许多课程密切相关,混凝土结构是在建筑力学、建筑构造和建筑材料等课程基础上研究结构及构件的设计,学习时应与其相关课程相联系,逐步加深理解。通过本课程的学习,可为建筑施工技术、建筑工程预算等其他课程的学习提供理论依据。

4. 重视构造措施

应重视对本课程涉及的众多构造要求的学习,必要的工程构造措施是对计算必不可少的补充,是保证结构安全可靠的必要条件,构造与计算同等重要。学习时要防止重理论轻实践、重计算轻构造的思想,要充分重视对构造规定和要求的理解,并搞清其中的道理。

5. 重视实践和规范的应用

本课程是一门实践性很强的课程,除课堂学习外,还应完成必要的习题和课程设计等实践教学环节,并绘制必要的配筋图和施工图。要注重联系实际,有目的地到施工现场参观、实习,积累感性知识,增加工程经验,加强对基础理论知识的理解。

设计规范是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件,其目的是使工程结构在符合国家经济政策的条件下,保证设计的质量和工程项目的安全可靠。在本课程的学习中,有关基本理论的应用最终都要落实到规范的具体规定中。通过本课程的学习,应进一步熟悉、掌握和正确应用有关现行结构设计规范和标准。

第1章 混凝土结构用材料的力学性能

1.1 钢 筋

1.1.1 混凝土结构用钢筋的种类

混凝土结构用钢筋按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢。根据含碳量的不同,碳素钢分为低碳钢(含碳量 $<0.25\%$)、中碳钢(含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$)、高碳钢(含碳量 $>0.6\%$)。含碳量越高,强度越高,但塑性和可焊性下降。工程中常用低碳钢。普通低合金钢是在碳素钢的基础上,再加入微量的合金元素,如硅、锰、钒、钛、铌等,目的是提高钢材的强度,改善钢材的塑性性能。

钢筋按生产加工工艺和力学性能的不同分为热轧钢筋、热处理钢筋和钢丝。热轧钢筋为低碳钢,普通低合金钢在高温状态下轧制而成,如HPB235、HRB335、HRB400和RRB400级。热处理钢筋是将强度大致相当于HRB400级钢筋的某些特定钢号的钢筋经淬火

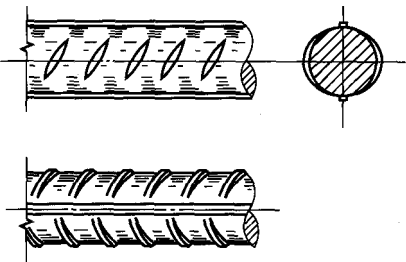


图 1-1 月牙纹钢筋

和回火处理后制成,其强度可大幅度提高,而塑性降低不多。钢丝由高碳钢筋经多次冷拔而成,包括光面钢丝、刻痕钢丝、钢绞线(用光面钢丝绞织而成),钢筋直径越细,强度越高。

钢筋按其外形不同,分为光面钢筋和带肋钢筋。带肋钢筋有螺旋钢筋、人字纹钢筋和月牙纹钢筋,目前常用的是月牙纹钢筋,如图 1-1 所示。通常变形钢筋直径不小于 10mm,光面钢筋直径不小于 6mm。

1.1.2 钢筋的主要力学性能

钢筋按力学性能的不同,分为有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋。有明显屈服点钢筋一般称作软钢,包括热轧钢筋和冷轧钢筋;无明显屈服点钢筋又称为硬钢,包括钢丝、钢绞线和热处理钢筋。

1. 钢筋应力-应变曲线

图 1-2 (a) 为有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线。当钢筋应力 σ_s 达到屈服强度 f_y 后,在应力 σ_s 基本不增长的情况下,表现为应变 ϵ_s 的持续增大($\epsilon_s \gg \epsilon_y$),将产生较大的塑性变形。

图 1-2 (b) 为无明显屈服点的钢筋应力-应变曲线。由图中可看出,钢筋没有明显的流幅,强度虽然较高,但塑性变形很小。通常取相应于残余应变为 0.2% 的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为其假定屈服点,即条件屈服强度。

2. 钢筋的力学性能指标

对于有明显屈服点钢筋,屈服强度 f_y 是最重要

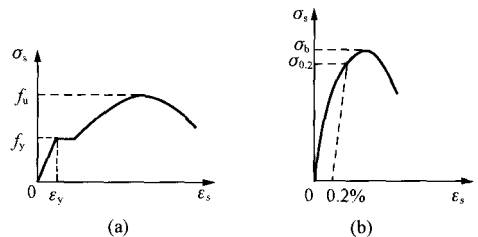


图 1-2 钢筋的应力-应变曲线

(a) 有明显屈服点; (b) 无明显屈服点

的力学指标,在钢筋混凝土结构计算中,取屈服强度 f_y 作为钢筋强度的计算指标。这是因为当钢筋屈服后,钢筋虽然没有断裂,但会产生较大的塑性变形,即使荷载不增加,构件也会产生很大的裂缝和变形,超出正常使用的允许值。

对于无明显屈服点钢筋,为了防止构件的突然破坏并防止构件的裂缝和变形太大,设计强度取其条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 作为钢筋强度的计算指标。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2001)(以下简称《规范》)统一取 $\sigma_{0.2}$ 为极限抗拉强度 σ_b 的 0.85 倍,即 $\sigma_{0.2}=0.85\sigma_b$ 。

在钢筋混凝土结构中,要求钢筋不仅要具有较高的强度,而且还要具有良好的塑性性能。钢筋的塑性性能通常用伸长率和冷弯性能来反映。钢筋的伸长率 δ_5 或 δ_{10} 反映了钢筋拉断前的变形能力,伸长率大的钢筋(如有明显屈服点钢筋)塑性好,拉断前有明显的预兆,属于延性破坏;伸长率小的钢筋(如无明显屈服点钢筋)塑性差,拉断前变形小破坏突然,属于脆性破坏。

钢筋的冷弯性能是指钢筋在常温下承受弯曲的能力,采用冷弯试验测定。冷弯试验合格的标准是:在规定的弯心直径 D 和弯曲 α 角度下。在弯曲处钢筋应无裂纹、鳞落或断裂现象。 D 越小, α 越大,则钢筋的塑性性能就越好。

屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能是有明显屈服点钢筋进行质量检验的四项主要指标。表 1-1 列出了热轧钢筋的强度、伸长率和冷弯性能、弹性模量等各项指标。

表 1-1 钢筋的力学性能指标

钢筋级别	钢号	公称直径 $d(\text{mm})$	屈服强度 (N/mm^2)	抗拉强度 (N/mm^2)	伸长率 δ_5	冷弯性能 α (弯曲角度) D (弯心直径)	弹性模量 (N/mm^2)
HPB235	Q235	8~20	235	370	25	$\alpha=180^\circ, D=d$	2.1×10^5
HRB335	20MnSi	6~25	335	490	16	$\alpha=180^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~50				$\alpha=180^\circ, D=4d$	
HRB400	20MnSiV	6~25	400	570	14	$\alpha=180^\circ, D=4d$	2.0×10^5
	20MnSiNb 20MnTi	28~50				$\alpha=180^\circ, D=5d$	
RRB400	K20MnSi	8~25	400	600	14	$\alpha=90^\circ, D=3d$	2.0×10^5
		28~40				$\alpha=90^\circ, D=4d$	

3. 钢筋的冷加工

对有明显屈服点钢筋进行机械冷加工,可使钢材内部组织结构发生变化,从而提高钢材强度。钢筋的冷加工包括冷拉、冷拔和冷轧等。

冷拉是在常温下将热轧钢筋拉到超过其屈服强度进入强化阶段的某一应力值,然后卸荷至零,利用“冷拉时效”,使钢筋的强度得到提高,但其塑性有所下降。由于冷拉只能提高钢筋的抗拉强度,故不宜作受压钢筋。

冷拔是将热轧钢筋用强力拔过比它本身直径还小的硬质合金拔丝模,钢筋同时受到纵向拉力和横向挤压的作用,产生较大的塑性变形,内部金属晶粒发生形变和位移,形成较细的

钢丝。经过多次冷拔后，钢丝的抗拉强度和抗压强度比原来提高很多，但塑性却大幅度下降。

热轧钢筋经过冷轧，表面轧制成不同的形状，其材料内部组织变得更加密实，钢筋的强度和粘结力有所提高，但塑性性能有所下降。目前常用的冷轧钢筋有冷轧带肋钢筋和冷轧扭钢筋两种。冷轧带肋钢筋是用低碳热轧盘圆钢筋进行冷轧减径，并在其表面轧出横肋（月牙纹）的钢筋，其强度较母材明显提高，塑性好，与混凝土的粘结较好。冷轧扭钢筋是以 HPB235 级盘圆钢筋为原材料，经专用冷轧扭机调直、冷轧并经扭转而成的具连续螺旋状钢筋，其强度比原材料强度提高近一倍，与混凝土的粘结较好，节约钢材，但延性较差。

由于我国目前强度高、塑性好的钢筋货源充足，加之冷加工钢筋强度虽然提高了，但塑性大幅下降，所以《规范》不推荐使用冷加工钢筋（规范未列入）。

1.1.3 混凝土结构对钢筋性能的要求

1. 一般要求

(1) 有较高的强度和适宜的屈强比。强度是指钢筋的屈服强度 f_y 。屈服强度高，可减少结构的含钢量，节约钢材，提高经济效益。屈强比是指屈服强度 f_y 与极限抗拉强度 f_u 之比值 f_y/f_u ，该值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。钢筋的塑性好，则在破坏之前会产生较大的塑性变形（构件有明显的变形和裂缝），可避免突然的脆性破坏带来的危害，所以应保证钢筋的伸长率和冷弯性能合格。

(3) 具有较好的焊接性能。要求钢筋焊接后保证接头的受力性能良好，不产生裂纹和过大的变形。

(4) 与混凝土之间具有良好的粘结。粘结力是保证钢筋和混凝土共同工作的基础，钢筋表面形状对粘结力有着重要影响。为了加强钢筋与混凝土的粘结，除强度较低的 HPB235 级钢筋为光面钢筋外，常用的 HRB335、HRB400 级和 RRB400 级钢筋均为表面带肋钢筋。

2. 抗震要求

对于有抗震要求的混凝土结构用钢筋，除上述一般要求外，还有以下具体要求：

(1) 抗震等级为一、二级的框架结构，其纵向受力钢筋采用普通钢筋时，应满足：

1) 钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值（强屈比）不应小于 1.25，目的是为了保证当构件某个部位出现塑性铰后，塑性铰处有足够的转动能力与耗能能力。

2) 钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于 1.3，目的是为了保证结构设计中强柱弱梁、强剪弱弯的设计要求。

(2) 普通钢筋宜优先采用延性、韧性和可焊性较好的钢筋。纵向受力钢筋宜选用 HRB400 级和 HRB335 级热轧钢筋，箍筋宜选用 HRB335、HRB400 和 HPB235 级热轧钢筋。

钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构用钢筋，《规范》规定如下：普通钢筋宜采用 HRB400 级和 HRB335 级钢筋，也可采用 HPB235 级和 RRB400 级钢筋；预应力钢筋宜采用预应力钢绞线、钢丝，也可采用热处理钢筋。

1.2 混 凝 土

1.2.1 混凝土的强度

混凝土强度的大小不仅与组成材料的质量（如水泥、骨料的品种、级配）和配合比有关，而且还与硬化养护条件、龄期、试件的形状尺寸、试验方法、加载速度等外部因素有关。因此，在确定混凝土的强度指标时必须以统一规定的标准试验方法为依据。

混凝土的强度包括立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度。

1. 立方体抗压强度

立方体抗压强度是衡量混凝土强度高低的的基本指标值，是确定混凝土强度等级的依据。《规范》规定：按照标准方法制作养护边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度标准值，用 $f_{cu,k}$ 表示，单位为 N/mm^2 (MPa)。

《规范》根据混凝土立方体抗压强度标准值，将混凝土划分为 14 个强度等级，分别以 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 表示。一般将 C50 以上的混凝土称为高强度混凝土。

试验表明，混凝土立方体抗压强度与试件的尺寸大小有关。立方体试件尺寸越小，测得的抗压强度越高。实际工程中如采用边长 100mm 或 200mm 的非标准试件时，应将其立方体抗压强度实测值分别乘以换算系数 0.95 和 1.05，换算成标准试件的立方体抗压强度标准值。

2. 轴心抗压强度

在实际工程中，混凝土构件均呈棱柱体状（即构件的长度比其横截面尺寸大得多），所以采用棱柱体试件比立方体试件能更好地反映混凝土的实际抗压能力。

试验表明，试件高宽比增大，抗压强度降低，当高宽比 $h/b=2\sim3$ 时，其强度值趋于稳定。我国采用 150mm×150mm×300mm 的棱柱体作为混凝土轴心抗压强度的标准试件，可测得混凝土的轴心抗压强度标准值，用 $f_{c,k}$ 表示。

大量的试验数据表明，混凝土的轴心抗压强度标准值 $f_{c,k}$ 与立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 之间近似直线关系为

$$f_{c,k} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k} \quad (1-1)$$

式中 α_{c1} ——棱柱体强度与立方体强度之比值，对 $\leq C50$ 混凝土取 $\alpha_{c1}=0.76$ ，对 C80 取 $\alpha_{c1}=0.82$ ，中间按线性规律变化；

α_{c2} ——C40 以上混凝土脆性折减系数，对 C40 取 $\alpha_{c2}=1.0$ ，对 C80 取 $\alpha_{c2}=0.87$ ，中间按线性规律变化；

0.88——考虑实际构件与试件混凝土强度之间的差异而引入的修正系数。

混凝土轴心抗压强度是钢筋混凝土结构构件承载力计算的强度指标。

3. 轴心抗拉强度

混凝土轴心抗拉强度很低，一般只有抗压强度的 1/10~1/8，且该比值随混凝土强度的提高而降低。混凝土轴心抗拉强度标准值可采用轴向拉伸试验或劈裂抗拉试验来确定。

试验表明，混凝土轴心抗拉强度标准值 $f_{t,k}$ 与立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 之间的对应关

系为

$$f_{t,k} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta)^{0.45} \times \alpha_{ct} \quad (1-2)$$

式中 δ ——混凝土强度变异系数。

混凝土轴心抗拉强度是钢筋混凝土构件抗裂度、裂缝宽度和变形验算时的强度指标。

4. 复合应力状态下的混凝土强度

在实际混凝土结构中，混凝土处于单向应力状态的情况很少，往往都处于三向复合压力状态。在复合应力状态下，混凝土的强度和变形性能与单轴应力状态下有明显的不同。

混凝土三向受压时，混凝土一向的抗压强度随另两向压应力的增加而增大，并且混凝土的极限压应变也大大增加。这是由于侧向压力约束了混凝土的横向变形，抑制了混凝土内部裂缝的出现和开展，使得混凝土的强度和延性均有明显提高。

利用三向受压可使混凝土抗压强度得以提高这一特性，在实际工程中可将受压构件做成“约束混凝土”，以提高混凝土的抗压强度和延性。常用的有配置密排侧向箍筋、螺旋箍筋柱及钢管混凝土柱等。

5. 混凝土强度等级的选用

(1) 《规范》对混凝土强度等级的规定。钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15；当采用 HRB335 级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C20；当采用 HRB400 和 RRB400 级钢筋以及承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于 C20。

预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C30；当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40。

(2) 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) (以下简称《抗震规范》)对混凝土强度等级的规定。结构构件在地震作用下既要保证承载力又要保证延性，故在抗震设计时，对混凝土材料有最低和最高强度等级的限制条件。其强度等级应符合下列要求：

1) 框支梁、框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核心区，不应低于 C30；其他各类构件不应低于 C20；

2) 设防烈度为 9 度时，不宜超过 C60；设防烈度为 8 度时，不宜超过 C70。

1.2.2 混凝土的变形

混凝土的变形分为两类：一类是由于荷载作用而产生的受力变形，另一类是由于混凝土的收缩和温湿度变化等产生的体积变形。

1. 混凝土在一次短期加载时的变形性能

(1) 混凝土在一次短期加载下的应力-应变关系。混凝土在一次短期加载下的应力-应变关系是混凝土最基本的力学性能之一，它可较全面地反映混凝土的强度和变形特点，也是确定构件截面上混凝土受压区应力分布图形的主要依据。

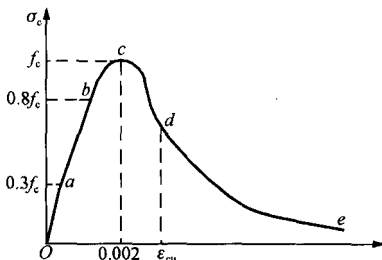


图 1-3 混凝土受压时的应力-应变曲线

图 1-3 所示为混凝土棱柱体试件在受压时的应力-应变曲线，曲线由上升段 Oc 和下降段 ce 两部分组成。

上升段 Oc 大致可分为三段：

1) 曲线 Oa 段 ($\sigma_c \leq 0.3f_c$)。此时混凝土压应力较小，混凝土基本处于弹性阶段工作，应力-应变关系

呈直线，卸载后应变可恢复到零。