

给水排水工程实践教学指南丛书



土建工程基础

张飘 编 闫波 主审



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

给水排水工程实践教学指南丛书

土 建 工 程 基 础

张 飘 编
闫 波 主审



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

土建工程基础/张飘编. —北京: 化学工业出版社,
2004. 4

(给水排水工程实践教学指南丛书)

ISBN 7-5025-5429-7

I. 土… II. 张… III. ①给水工程: 土木工程-高等学校-教学参考资料②排水工程: 土木工程-高等学校-教学参考资料 IV. TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 038431 号

给水排水工程实践教学指南丛书

土 建 工 程 基 础

张 飘 编

闫 波 主审

责任编辑: 董 琳 管德存

文字编辑: 丁建华

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 26 字数 645 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5429-7/X·434

定 价: 56.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

给水排水工程专业培养适应我国社会主义现代化建设需要,德智体全面发展,基础扎实、知识面宽、素质高、有创新意识,能在水的开采、加工、运输、回收和可持续利用这一社会循环中,从事水工艺与工程的规划、设计、管理、教育和科研开发等方面工作的高级工程技术人员。

给水排水工程专业学生在比较系统地学习必需的数学、物理和化学等自然科学知识的基础上,通过本专业基本训练,掌握水资源利用与维护、水处理工程学、给水排水管道工程等专业理论;水的开采、加工、输送、回收与再用等工程规划与设计方法;获得水工程的项目管理、施工组织、设备运输等方面的基本能力,具有初步的科学实验、研究与开发能力。

随着我国经济建设的高速发展,城市化水平的逐步提高,给水排水事业作为城市重要的公用设施之一,发展迅速,从而对给水排水工程建设提出了新的要求,对工程设计、施工等提出了许多新的课题。因此,实践教学环节在给水排水工程专业教学中占有十分重要的地位,涉及大部分课程的实验教学、课程设计、测量实习、认识实习、生产实习和毕业实习,以及毕业设计等。

“给水排水工程实践教学指南丛书”就是针对指导实践教学活动的开展而组织编写的。本套丛书具有下列特点。

(1) 系统性 紧密结合专业教学大纲,系统介绍各个实践教学环节的理论基础和实践过程。

(2) 模拟性 紧密结合课堂理论教学,取材于整个教学活动的工程实习、工程设计和实验操作。

(3) 实用性 突出工程实践经验与工程实例,力求做到操作步骤清晰、明确,理论与实践相结合。

(4) 前瞻性 在工程设计、工程实习和实验操作中,力求引用最新生产工艺、生产设备和先进的管理模式。

(5) 权威性与指导性 丛书编审人员都是各自实践教学环节的主讲专家,具有丰富的实践教学经验和工程设计经验。因此,本丛书对于给水排水专业的师生具有较高的参考价值,对其他相关专业也具有指导作用,同时可以供从事给水排水工程专业设计、施工和运行管理方面的工程技术人员参考。

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
2004. 3

前 言

给水排水工程通常都是由各类构筑物和建筑物所组成的。常用的构筑物有水池、水塔、取水井、沟渠、管道、检查井等，而建筑物则包括泵房以及其他生产、管理用的房屋。《土建工程基础》这门课程所讨论的就是这些构筑物和建筑物的结构设计问题。

在给水排水工程中，构筑物和建筑物的结构部分往往占用相当大一部分基本建设投资，而结构设计的质量又直接关系到给水排水工程的坚固性、适用性和经济性。因此，结构设计是给水排水工程设计中的一个相当重要的组成部分。

给水排水工程结构设计工作一般是由工艺、结构、建筑等工种相互配合，共同完成的。结构设计是给水排水工程设计中的一个有机组成部分，它和工艺设计以及建筑设计之间存在着既相互联系又相互制约的辩证关系。

结构设计的任务是根据工程任务中所提出的各项条件和要求（如工程地点，供水水源情况或所处理的废水性质，设计规模、投资及占地面积等），结合当地的工程基础，与工艺和建筑设计相配合，选择结构方案和结构形式，再根据各个构筑物或建筑物的受力特点和地质条件，确定其计算简图，选定钢筋品种和混凝土强度等级，然后根据内力分析结果计算截面尺寸和配筋数量，并采取必要的构造措施，最后完成结构施工图。

给水排水工程的结构设计应全面符合坚固适用、经济合理、技术先进的设计原则。设计人员通常需要通过深入的调查研究，全面掌握与工程项目设计有关的第一手资料。在此基础上，根据结构本身的特定规律，对各种影响因素进行综合分析对比，正确处理可能出现的各种矛盾。例如，在设计中常需要对能够满足工艺要求的各种构筑物的布置方案或结构方案，进行技术经济指标的综合分析对比，以确定最佳方案。又如，在确定结构的受力体系和计算简图时，由于给水排水构筑物的受力情况和结构体系往往比较复杂，设计人员常需根据具体情况对结构体系进行某种简化，以便用比较简单的计算方法求解内力。这时，关键的是简化后的计算简图应尽可能正确地反映结构的实际受力情况。如若不然，即使计算再精确，其结果也必然是不可靠的。

本书编写目的是使学生通过本课程的学习，掌握必要的钢筋混凝土的基本理论以及结构设计的基本计算方法，以便在进行工艺设计时能够主动地考虑构筑物和建筑物结构设计的可能性、合理性和经济性。而在必要时也能独立进行一般结构构件和简易构筑物的设计，或运用本书中所介绍的基本知识，正确处理施工中的结构问题。

书中第一章至第七章分别介绍钢筋混凝土结构设计的基本原理和各类基本构件的设计方法及构造要求，这几章是结构设计的基础理论部分。考虑到专业对本课程的要求，各章在内容安排上侧重于阐明物理概念和公式、图表的应用，而不在试验结果分析和公式推导上花费过多篇幅。

第八章中介绍了一般钢筋混凝土梁板的设计要点。这部分内容是设计各类现浇钢筋混凝土结构的通用基础知识。由于给水排水构筑物，特别是大、中型构筑物的结构体系通常都比较复杂，设计工作多是由专业结构设计人员完成的。根据专业对本课程的要求，在本书中不可能对各类复杂构筑物的设计理论逐一进行介绍。故在第九章中仅以比较简单的，有代表性

的构筑物，即圆形水池和矩形水池为例，对构筑物结构设计的全过程做了比较全面的介绍，以便使学生对这类构筑物的设计方法和计算步骤获得一个比较完整的概念。

本书内容安排在原则上参考了1983年全国高等院校给水排水专业教学大纲会议制定的四年制本科用《给水排水工程结构》课程教学大纲，及2003年出台的高等学校土建学科教学委员会给水排水工程专业指导委员会编制的《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求》制定的《土建工程基础》课程的基本要求，但目前各高等院校对这一课程的讲授学时并不统一，大体上在48~64学时的范围内变化。故在编写本书时，考虑到了适应各学时安排的内容选择问题。书中标有“*”号的章节可作为不在课堂讲授的参考内容，其他章节也可根据具体情况在讲授时做适当的删减。

本书由张飘编写，哈尔滨工业大学市政环境学院闫波主审。

本书编写过程中始终得到河北建筑工程学院以及该院城市建设系领导的大力支持和帮助，得到化学工业出版社环境科学与工程出版中心的鼓励与支持。同时在编写本书的过程中，参考了大量文献资料，引用了其中部分内容，在此，谨向这些文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004. 1

内 容 提 要

本书是依据我国最新颁发的《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2001)及《给水排水工程构筑物结构设计规范》(GB 50069-2002)的要求而编写的。

全书共分九章,第一章至第七章为钢筋混凝土结构基本构件理论计算方法,较系统地介绍了钢筋混凝土材料的力学性能、概率极限状态设计法以及受弯、受压和受拉构件的承载力计算;第八章和第九章为给水排水工程结构基本构筑物的理论计算和设计方法,包括钢筋混凝土梁板结构及水池设计。在每章后附有复习思考题和习题。

本书力求内容由浅入深,循序渐进,贯彻少而精的原则,突出重点,突出实际工程的要求,文字简明扼要,适用于从事水工结构的工程技术人员及普通工科院校给水排水工程专业师生参考。

目 录

第一章 钢筋和混凝土材料的力学性能	1
第一节 钢筋	3
第二节 混凝土	7
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	19
思考题	21
第二章 钢筋混凝土结构基本计算原则	22
第一节 基本概念	22
第二节 结构的可靠度理论	26
第三节 荷载代表值和材料性能标准值	28
第四节 概率极限状态设计法	30
思考题	35
第三章 钢筋混凝土结构受弯构件正截面承载力计算	36
第一节 受弯构件试验结果分析	37
第二节 受弯构件正截面承载力计算公式	40
第三节 钢筋混凝土梁、板正截面承载力计算	44
第四节 构造要求	58
思考题	60
习题	61
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	63
第一节 受弯构件斜截面破坏的主要形态及影响因素	64
第二节 斜截面受剪承载力计算	68
第三节 构造要求	76
思考题	80
习题	80
第五章 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度和变形验算	82
第一节 裂缝宽度验算	82
第二节 挠度验算	88
思考题	95
习题	95
第六章 钢筋混凝土受压构件	96

第一节 受压构件的分类及构造要求	96
第二节 配有普通箍筋的轴心受压构件	98
第三节 偏心受压构件	102
第四节 钢筋混凝土柱基础设计	129
思考题	139
习题	139
第七章 钢筋混凝土受拉构件	141
第一节 轴心受拉构件	142
第二节 偏心受拉构件	146
思考题	155
习题	155
第八章 钢筋混凝土梁板结构	156
第一节 基本分类	156
第二节 整体式单向板肋形梁板结构	157
第三节 整体式双向板肋形梁板结构	189
第四节 圆形平板	198
第五节 整体式无梁板结构	207
第六节 装配式梁板结构	222
第七节 板上开洞的构造处理	226
思考题	228
第九章 钢筋混凝土水池设计	229
第一节 水池的结构形式	229
第二节 水池的荷载	231
第三节 地基承载力及抗浮稳定性验算	235
第四节 钢筋混凝土圆形水池设计	236
第五节 钢筋混凝土矩形水池设计	271
第六节 预应力混凝土圆形水池设计	320
思考题	341
附录	342
参考文献	403

第一章

钢筋和混凝土材料的力学性能

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。我国当前的大、中型给水排水构筑物一般采用的均是钢筋混凝土结构，其中大型圆水池多采用预应力混凝土结构；给水排水工程中的房屋建筑则大多采用混合结构，其中某些大型泵房也可以全部采用钢筋混凝土结构。

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度相当低的材料；而钢筋的抗拉和抗压强度都相当高，但是在工程中，钢筋的强度能达到的情况下，其柔性大，挠度又满足不了工程的要求。如果将这两种材料采取一定的方式结合起来，应用到工程中，发现钢筋和混凝土这两种材料可以发挥各自的优点，且能摒弃各自所存在的缺点，从而做到了经济合理，物尽其用。

我们取图 1-1 所示的两根梁进行比较。图 1-1 (a) 所示为一根未配置钢筋的纯混凝土简支梁，跨度为 4m，截面尺寸为 $bh=200\text{mm}\times 300\text{mm}$ ，混凝土强度等级为 C20，梁的跨中作用一集中荷载 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制成的梁一样，沿着高度呈直线分布；当荷载增大到使梁内最大弯矩截面处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。此时的破坏荷载值 P 只有 8kN。这种梁不仅破坏时受压区混凝土的抗压强度远未充分利用，而且破坏发生得很突然，事先没有明显的预兆。因此纯混凝土在工程中没有什么实用价值。

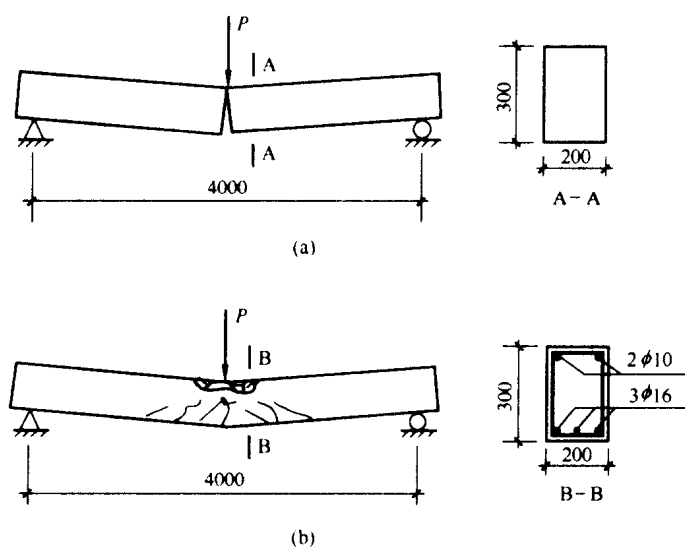


图 1-1 纯混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

如果在该梁的受拉区配置三根直径为 16mm 的 HPB235 级钢筋 (记作 3 ϕ 16), 并在受压区配置两根直径为 10mm 的架立钢筋和适当的箍筋, 再进行同样的荷载试验 [见图 1-1 (b)]。当加荷到一定数值使截面受拉区边缘纤维应力达到混凝土抗拉极限强度时, 混凝土被拉裂。在裂缝处原来由混凝土和钢筋共同承担的拉力转由钢筋单独承担, 而受压区压力仍由混凝土承担, 故可以继续加荷。此时梁的变形将相应发展, 裂缝的数量和宽度也相应地增大增多, 直到受拉钢筋抗拉强度和受压混凝土抗压强度均被充分利用时, 试件才发生破坏, 此时的破坏荷载为 36kN。这种钢筋混凝土梁, 破坏前其裂缝及变形都发展得很充分, 形成明显的破坏预兆。

在混凝土结构中配置一定数量的钢筋以后, 可以收到如下的效果。

- (1) 结构的承载力有很大的提高。
- (2) 结构的受力特性得到了显著的改善。

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, 与其他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, 降低造价。

(3) 耐久、耐火性强。钢筋埋放在混凝土中, 混凝土具有弱碱性能, 钢筋在混凝土的保护下不易发生锈蚀, 因而提高了结构的耐久性。当发生火灾时, 钢筋混凝土结构不会像木结构那样易被燃烧, 也不会像钢结构那样很快达到软化温度而被破坏。

(4) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇筑成任何形状和尺寸, 而且具有良好的抗渗性和抗冻性, 这些特点都恰是给水排水构筑物所特别需要的。

(5) 整体性、抗震性能较好。钢筋混凝土结构, 特别是现浇钢筋混凝土结构, 具有良好的整体性和抗震性。因此, 处于地震烈度较高地区的给水排水构筑物大多采用钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土结构也具有下述主要缺点。

(1) 自重大。钢筋混凝土的重度约为 25kN/m^3 , 比砌体和木材的重度都大。它虽然比钢材的密度小, 但结构的截面尺寸较大, 因而其自重远远超过相同跨度或承载力的钢结构的质量。

(2) 抗裂性较差。混凝土的抗拉强度很低, 因此, 普通钢筋混凝土结构的受拉区经常带裂缝工作。

(3) 加固和改建比较困难, 以及在低温条件下施工时需要采取专门的保温防冻措施。

(4) 现浇钢筋混凝土结构木模板的消耗量大, 施工周期较长。

近年来已经采取了不少措施来克服上述缺点。其中比较突出的, 如通过推广装配式结构以及在现浇钢筋混凝土结构中采用工具式滑动模板和定型化大模板等来降低木模消耗和施工成本, 加快施工进度; 通过采用预应力混凝土结构来改善构件的抗裂性, 降低材料消耗和减轻自重。特别是在大型圆水池池壁上采用预应力混凝土结构, 其效果更为显著。

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。

第一节 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）。

有明显流幅的钢筋的典型拉伸应力-应变曲线如图 1-2 所示。其特点如下。

(1) 自开始加荷到应力达到比例极限之前（ oa 段），应力与应变成正比。

(2) 超过比例极限后，应力与应变不再成正比，应变的增加速度变得比应力快，但在 a' 点以下，应变在卸荷后可全部恢复，因此将对应于 a' 点的应力称为“弹性极限”。

(3) 应力超过弹性极限，在卸荷后应变已不能全部恢复。当应力应变达到 b 点后进入屈服阶段，钢筋会在应力不增加的情况下产生相当大的塑性变形，直到应力-应变曲线上的 d 点为止，此时应力-应变曲线基本呈水平线 cd 。这种现象称为“屈服”。 c 、 d 两点间的应变值称为“屈服台阶”或“流幅”。对于一般有明显流幅的钢筋来说， b 、 c 两点分别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；达到屈服下限时，应变增长，应力基本不变，比较稳定。相应于屈服下限 c 点的应力称为屈服极限，屈服极限又称“屈服强度”。



图 1-3 钢筋受拉时的颈缩现象

由于弹性极限与屈服极限之间的差距很小，故常忽略弹性极限。

(4) 超过 d 点后，钢筋应力开始重新增长，但伴之以相当明显的塑性变形，这个阶段（ de 段）称为钢筋的“强化阶段”。对应于最高点 e 的应力称为钢筋的极限抗拉强度。

(5) 过 e 点后，在试件的某个较薄弱部位应变急剧增加，应力随之下降，直径迅速变细，即产生“颈缩”现象（见图 1-3），达到 f 点试件在颈缩处被拉断。

无明显流幅的钢筋典型的拉伸应力-应变曲线如图 1-4 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，通常取相当于残余应变为 0.2% 时的应力值 $\sigma_{0.2}$ （即把钢筋拉到该应力值后放松到应力为零，这时的残余应变为 0.2%）作为假想屈服点，称为条件屈服强度（见图 1-4）。

钢筋的受压性能在达到屈服强度之前，与受拉时的应力-应变规律一样。在达到屈服强度之后，由于试件发生明显的塑性压缩变形，截面面积增大，因而难以给出明确的抗压

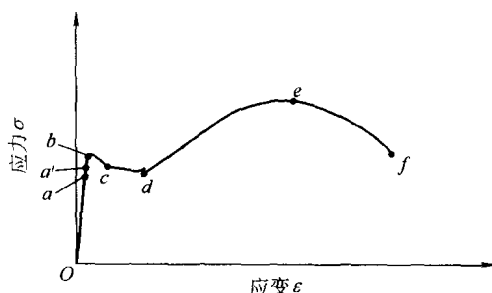


图 1-2 钢筋的应力-应变曲线

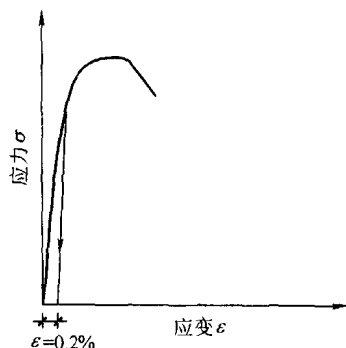


图 1-4 无明显流幅的钢筋典型的拉伸应力-应变曲线

强度。

(二) 钢筋的强度和变形指标

1. 屈服强度和极限抗拉强度

对于有明显流幅的钢筋，屈服强度是关键的强度指标。因为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，而取屈服强度为设计强度的设计依据，此外，钢筋的屈强比（屈服强度与极限抗拉强度的比值）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易测定，因此这类钢筋的检验以抗拉强度作为主要指标。GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》（以下简称《规范》）规定条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 为极限抗拉强度 f_b 的 0.85 倍，即

$$\sigma_{0.2} = 0.85 f_b \quad (1-1)$$

各类钢筋的强度指标详见附录 1-1。

2. 伸长率

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，如图 1-5 所示。

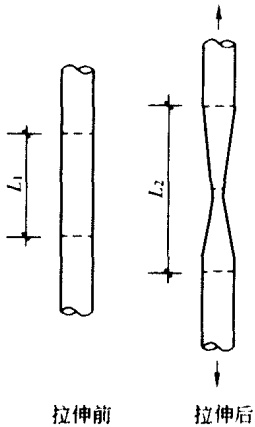


图 1-5 钢筋的伸长率

$$\delta = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

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），mm；

L_2 ——试件拉断后的标距长度，mm。

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，其破坏发生突然，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。

3. 冷弯性能

钢筋的冷弯性能通过冷弯试验来检验。它是衡量钢筋塑性性能的又一项指标。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 HPB235、HRB335、HRB400 级钢筋，直径分别为 $1d$ 、 $2d$ 和 $3d$ ， α 称为冷弯角，分别对应为 180° 、 180° 和 90° ）进行弯曲（见图 1-6），要求在达到规定的冷弯角度时钢筋不发生裂纹、起层和断裂。冷弯性能可间接地反应钢筋的塑性能量和内在质量。

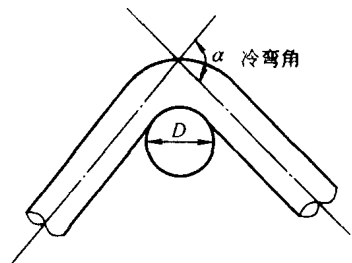


图 1-6 钢筋的冷弯性能

屈服强度、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性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

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。

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

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由钢筋受拉试验测定，同一种钢筋的受拉和受压弹性模量相同，其值详见附录 1-2。

二、钢筋的化学成分、级别和品种

钢材按其化学成分的不同可分为碳素钢和合金钢两类。碳素钢是以 Fe 为主要成分的铁碳合金。同时在冶炼过程中还含有未除掉的少量杂质，如 Mn、Si、S、P、O、N 等。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 HPB235 级钢的含碳量不大于 0.25%，高碳钢的含碳量不小于 0.6%）。随着含碳量的增加，钢筋的强度提高，而其塑性却降低。Mn、Si 元素可以提高钢材的强度和保持一定的塑性。在所含杂质中，S、P 是主要有害元素。磷降低钢材的塑性，使钢材在低温条件下容易发生脆断。含硫量过大使钢材在焊接时容易产生裂纹，而且还将降低钢材的抗腐蚀性能。若在低碳钢中加入少量的 Mn、Si、Nb、V、Ti、Cu 等合金元素，便成为普通低合金钢。如 20 锰硅、25 锰硅、40 硅锰钒、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、钢丝和热处理钢等四类。其中热轧钢筋和冷拉钢筋属于有明显流幅的钢筋，钢丝和热处理钢则属于无明显流幅的钢筋。

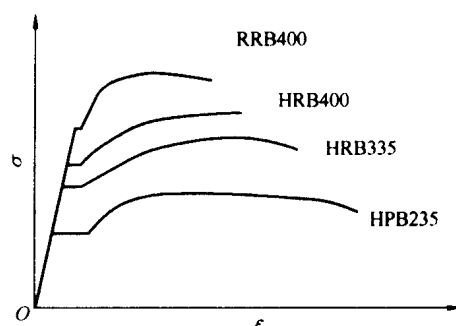
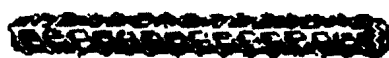


图 1-7 各种热轧钢筋的应力-应变曲线

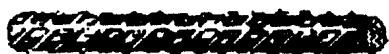
热轧钢筋分为 HPB235、HRB335、HRB400、RRB400 级为冶炼工厂直接热轧成型。随着级别的提高，钢筋的强度提高，塑性性能降低（见图 1-7）。

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的屈服强度，但塑性降低。

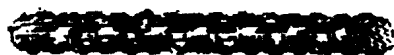
工程中常用钢丝类有两种，即冷拔低碳钢丝（简称冷拔丝）和碳素钢丝。碳素钢丝是建筑中用钢强度最高者，为了加强其与混凝土之间的黏结力，常将碳素钢丝加工成刻痕钢丝和钢绞线。



(a) 人字纹钢筋



(b) 螺纹钢筋



(c) 月牙纹钢筋

图 1-8 带肋钢筋

热处理钢筋是由强度大致相当于 RRB400 级的热轧钢筋的特种钢经淬火和回火处理后制成。这种钢筋属于无明显屈服点和屈服台阶的硬钢，其强度很高，也有一定塑性，适用于作预应力钢筋。此种钢筋对锈蚀很敏感，极易产生锈蚀裂纹，因此，其保管和使用都应遵守专门的规定。

钢筋按其外形特征，可分为光面钢筋和带肋钢筋（见图 1-8）两类。HPB235 级钢筋都是光面钢筋，俗称 3 号钢。HRB335~RRB400 级钢筋一般都是带肋钢筋。目前

广泛使用的带肋钢筋是纵肋与横肋不相交的月牙纹钢筋 [见图 1-8 (c)]。与螺纹钢筋 [见图 1-8 (b)] 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的改善，还具有在轧制过程中不易卡辊的优点。不足的是与螺纹钢筋相比，月牙纹钢筋与混凝土黏结强度略有降低。

三、钢筋的冷拉和冷拔

为了节省钢材常用冷拉和冷拔的方法来提高热轧钢筋的强度。冷拉是在常温下将钢筋拉到超过其屈服强度后的某一应力（见图 1-9 中 k 点），然后卸荷至零。在钢筋第一次超过屈服强度而产生塑性变形的过程中，钢材内部组织中沿滑移面两侧的晶格将发生扭曲或破碎。

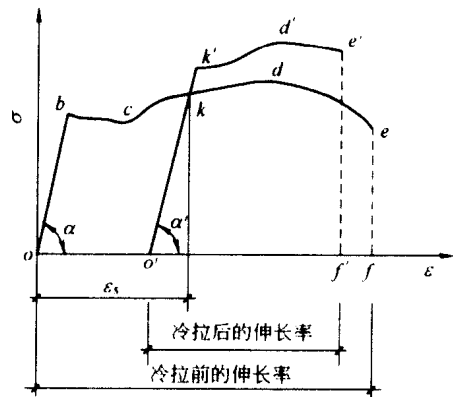


图 1-9 冷拉对钢筋应力-应变曲线的影响

因此，当钢筋再次受拉时，对塑性变形的阻力就会增大，宏观表现就是钢筋的屈服强度提高，而伸长率则减小，这种现象称为“冷拉强化”。若钢筋经冷拉后卸荷，停留一段时间后再行加荷，则应力-应变曲线将沿 $o'k'd'e'$ 进行，屈服点将提高到 k' 点。 kk' 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 k 可使钢筋保持一定的塑性而又能提高强度。这时 k 点的应力称为冷拉控制应力，对应的应变称为冷拉率 ϵ_s 。

冷拉是用卷扬机或其他张拉设备进行的。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钢筋应先焊接而后冷拉。另外，冷拉只能提高钢筋的抗拉屈服强度而不能提高其抗压屈服强度。

冷拔是将钢筋用强力拔过比其直径小的硬质合金拔丝模（见图 1-10）。这时钢筋受到纵向拉力和横向压力的作用，内部结构发生变化，截面变小而长度拔长。经过几次冷拔，钢筋极限抗拉强度比母材大幅度提高，但塑性却明显降低，且没有了明显的流幅（见图 1-11），

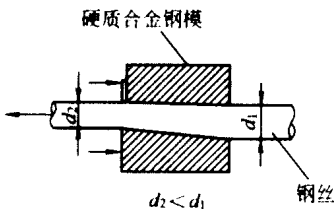


图 1-10 硬质合金拔丝模

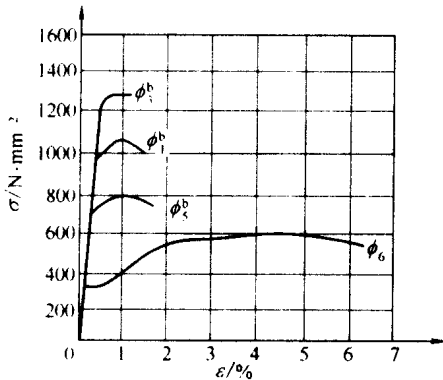


图 1-11 冷拔对钢筋应力-应变曲线的影响
 $\phi_b^h, \phi_s^h, \phi_6$ 母材软钢及冷拔丝符号

由原来的软钢变成了硬钢。随着钢筋冷拔的次数增多，其极限抗拉强度越高，但其塑性越低。冷拔可以同时提高钢筋的抗拉强度和抗压强度。

用 HPB235 级钢筋冷拔出来而不经其他处理的钢丝称为“冷拔低碳钢丝”，简称“冷拔丝”。这种钢丝冷拔工艺简单，成本较低，一般在工地都可以拔制，故应用很普遍。

“碳素钢丝”是用含碳量在 0.7% 以上的高碳钢线材经铅浴淬火后再冷拔和矫直回火而成。这种钢丝需用专门工厂生产，工艺定型质量稳定。其强度是建筑用钢中最高的，塑性也比冷拔低碳钢丝好，是预应力钢筋的主要品种。为了提高碳素钢丝与混凝土之间的黏结强度，可以在钢丝表面机械刻痕，称为“刻痕钢丝”。将多根碳素钢丝用绞盘绞成绳状，就成为钢绞线。目前建筑用钢绞线都用 7 根钢丝绞成，规格有 9mm (7 ϕ 3)、12mm (7 ϕ 4) 和 15mm (7 ϕ 5)。

四、钢筋混凝土结构对混凝土性能的要求

(1) 强度。强度是指钢筋的屈服强度和极限抗拉强度。如前所述，钢筋的屈服强度是钢筋混凝土结构构件计算的主要依据之一（对无明显流幅的钢筋取条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ）。采用较高强度的钢筋可以节省钢材，获得较好的经济效益。

(2) 塑性。要求钢筋在断裂前有足够的变形，能给人们以破坏的预兆。故应保证钢筋的伸长率和冷弯性能合格。

(3) 可焊性。在很多情况下，钢筋的接长和钢筋之间的连接需通过焊接。故要求在一定的工艺条件下钢筋焊接后不产生裂纹和过大的变形，保证焊接后的接头性能良好。

在寒冷地区，对钢筋的低温性能也有一定的要求。

五、钢筋的选用

(1) HPB235 级钢筋和冷拉 I 级钢筋主要用于中、小型构件的受力主筋、箍筋和构造钢筋。HRB335 级钢筋和 HRB400 级钢筋主要用于大、中型结构构件。但 HRB400 级钢筋用于以承受拉力为主的构件时，由于受裂缝宽度的限制，其强度不能充分利用。冷拉 II、III、IV 级钢筋主要用于预应力钢筋。

HPB235、HRB335、HRB400 级热轧钢筋都具有良好的焊接性能，可采用电弧焊接或闪光接触对焊，但 RRB400 级钢筋的焊接性能不好。通常采用效果较好的焊接工艺有“连续闪光焊-焊后通电处理”和“预热闪光焊”两种。

除冷拔低碳钢丝可以用点焊焊成钢筋网以外，其余各类钢丝均不能焊接。

(2) 《规范》按冷拔低碳钢丝质量的高低分为甲、乙两级，甲级冷拔低碳钢丝主要用作中、小型构件的预应力钢筋，乙级冷拔低碳钢丝则只用作中、小型构件的非预应力钢筋和焊接网。

高强钢丝、钢绞线以及热处理钢筋均用作预应力钢筋。

(3) 钢筋混凝土结构中常用钢筋的直径如下（单位：mm）。

钢丝 4、5。

钢筋 6、8、10、12、14、16、18、20、22、25、28、30、32。

第二节 混 凝 土

混凝土是用水泥、水和骨料（细骨料如砂、粗骨料如石子）等原材料经搅拌后入模浇筑

并通过养护硬化后而做成的人工石材。

混凝土各组成成分的数量比例（如骨料级配、水灰比）对混凝土强度和变形有重要影响。在很大程度上混凝土性能还取决于搅拌程度，浇筑的密实性和对它的养护。

混凝土在凝结硬化过程中，水泥和水形成的水泥胶块（包括水泥结晶体和水泥凝胶体）把骨料粘在一起。水泥结晶体和砂石骨料组成混凝土的弹性骨架，它起着承受外力的主要作用，并使混凝土产生一定的弹性变形。水泥凝胶体则起着调整和扩散混凝土应力的作用，并使混凝土具有相当的塑性变形。

在混凝土凝结初期，由于水泥胶块的收缩以及泌水、骨料下沉等原因，在骨料与水泥胶块的接触面上以及水泥胶块内部将形成微裂缝（见图 1-12）。此微裂缝也称为黏结裂缝。它是混凝土内最薄弱的环节。混凝土受荷前存在的微裂缝在荷载作用下将进行开展，这对混凝土的强度和变形会产生重要影响。

混凝土强度随时间增长。强度增长速度初期较快，尔后慢慢趋于稳定。对使用普通水泥的混凝土，若以龄期 3 天的压缩强度为 1，则 1 周为 2，4 周为 4，3 个月为 4.8，1 年为 5.2 左右。龄期 4 周的强度大致稳定，可作为混凝土早期强度的界限（见图 1-13）。混凝土强度在长期内能随时间而增长的主要原因是水泥凝胶体向结晶体转化有一个长期过程。

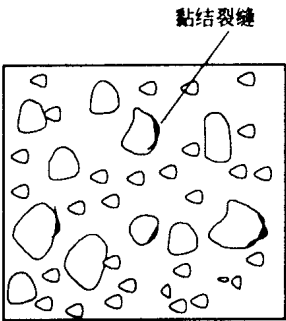


图 1-12 混凝土内微裂缝

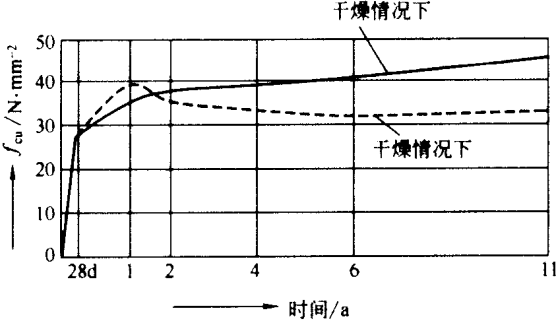


图 1-13 混凝土强度随时间的变化

一、混凝土的强度

（一）混凝土的抗压强度

混凝土在结构中主要承受压力，因此其抗压强度是最重要的强度指标。

影响混凝土抗压强度的因素很多，其中主要有水泥的标号和用量、骨料的级配、水灰比、龄期以及捣制方法和养护温、湿度等，除此以外，试验方法、加荷速度以及试件形状不同时，也会测得不同的强度值。试验表明，在测定混凝土抗压强度时，混凝土试块的尺寸和横向变形的约束条件是影响试验结果的主要因素。图 1-14 是三种同盘混凝土轴心受压试块，承受面均为 150mm×150mm。试验结果表明：高宽比 $\frac{h}{b}=3$ 的棱柱体试块 [见图 1-14 (b)] 比立方体试块 [见图 1-14 (a)] 的抗压强度低 20% 左右，而局部承压试块 [见图 1-14 (c)] 又约为立方体试块抗压强度的三倍，且三试块的破坏形态亦各不相同。

在压力作用下，压力机承压钢板或垫板的横向变形比破坏阶段混凝土试块的横向变形小得多，因此将通过未涂润滑剂的承压钢板于混凝土的接触面产生摩擦阻力对混凝土试块的横向变形形成约束。此横向约束力的大小随离界面的垂直距离的增大而递减。在图 1-14 (a)