

高等学校试用教材

# 给水排水工程结构

刘健行 郭先瑚 苏景春 编

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

# 给水排水工程结构

刘健行 郭先瑚 苏景春 编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本书为高等学校给水排水工程专业试用教材,是根据《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)、《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)、《砌体结构设计规范》(GBJ3—88)和《给水排水工程结构设计规范》(GB69—84)编写的。

本书共十一章,内容包括钢筋和混凝土的力学性能,钢筋混凝土结构的基本计算原则,受弯、受压和受拉构件承载力的计算,裂缝与变形计算,梁板结构及水池的设计,钢筋混凝土柱下基础设计,砌体结构,中小型地面泵房结构设计及附录等。

本书也可供给水排水专业和土建类工程技术人员参考。

高等学校试用教材

给水排水工程结构

刘健行 郭先瑚 苏景春 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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 29<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 插页: 2 字数: 718 千字

1994年6月第一版 1994年6月第一次印刷

印数: 1—16,100册 定价: 13.60元

ISBN7—112—02182—0/TU·1674

(7202)

# 目 录

绪论 .....	1
第一章 钢筋和混凝土的力学性能 .....	6
第一节 钢筋 .....	6
第二节 混凝土 .....	13
第三节 钢筋和混凝土的共同工作 .....	25
第二章 钢筋混凝土结构的基本计算原则 .....	30
第一节 结构的功能要求和极限状态 .....	30
第二节 结构上的作用、作用效应及结构抗力和功能函数 .....	31
第三节 结构的可靠度和可靠指标 .....	34
第四节 荷载代表值和材料性能标准值 .....	37
第五节 极限状态设计表达式 .....	39
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算 .....	44
第一节 单筋矩形梁正截面承载力计算 .....	44
第二节 双筋矩形梁正截面承载力计算 .....	58
第三节 单筋T形梁正截面承载力计算 .....	64
第四节 截面构造规定 .....	71
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算 .....	74
第一节 斜截面的受剪破坏形态及受力特点 .....	75
第二节 斜截面受剪承载力计算 .....	77
第三节 斜截面受弯承载力 .....	89
第四节 箍筋及弯起钢筋的其它构造要求 .....	93
第五章 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度和挠度验算 .....	96
第一节 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度验算 .....	96
第二节 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算 .....	103
第六章 钢筋混凝土受压构件及柱下基础 .....	111
第一节 轴心受压构件 .....	111
第二节 偏心受压构件 .....	116
第三节 钢筋混凝土柱基础设计 .....	148
第七章 钢筋混凝土受拉构件 .....	158
第一节 轴心受拉构件 .....	158
第二节 偏心受拉构件 .....	163
第八章 钢筋混凝土梁板结构设计 .....	176
第一节 整体式单向板肋形梁板结构 .....	177
第二节 整体式双向板肋形梁板结构 .....	208
第三节 圆形平板 .....	217

第四节	整体式无梁板结构 .....	226
第五节	装配式梁板结构 .....	239
第六节	板上开洞的构造处理 .....	244
第九章	钢筋混凝土水池设计 .....	246
第一节	水池的结构型式 .....	246
第二节	水池的荷载 .....	248
第三节	地基承载力及抗浮稳定性验算 .....	253
第四节	钢筋混凝土圆形水池设计 .....	255
第五节	钢筋混凝土矩形水池设计 .....	295
第六节	预应力混凝土圆形水池设计 .....	345
第十章	砌体结构 .....	367
第一节	砌体的力学性能 .....	367
第二节	无筋砌体构件的承载力计算 .....	372
第十一章	中小型地面泵房结构设计 .....	387
第一节	泵房的结构组成及作用 .....	388
第二节	墙、柱设计 .....	388
第三节	基础设计 .....	397
第四节	门窗过梁和圈梁 .....	400
附录	.....	404

## 绪 论

给水排水工程的生产流水线总是由各种功能的构筑物如泵站、水池等用管、渠联系并配置以管理和辅助建筑组成的。这些构筑物和建筑物的功用、生产能力及相互配合，由工艺设计来确定，但是，任何一项工程设计，只有工艺设计还不足以付诸实施，还必须进行建筑和结构设计。

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一部分建设投资，而结构设计的质量又直接关系到给水排水工程的安全性、适用性和耐久性。结构设计的任务，就是要根据技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的原则，合理地选择材料和结构型式，进行结构布置，确定结构构件的截面和构造等。学习“给水排水工程结构”这门课程的目的，就是使学生掌握结构设计的基本知识。

### (一)

给水排水工程结构作为结构工程中的一个专门领域，在我国是解放后才形成的。出于国家大规模基本建设的需要，国内在50年代成立了一批专门从事市政工程或给水排水工程设计与科研的设计院和研究所，促使给水排水工程结构的设计与研究走向专业化。

给水排水工程结构无论从使用要求、结构型式、作用荷载及施工方法等方面来说，都有其特殊性。给、排水构筑物大多是形状比较复杂的空间薄壁结构，对抗裂抗渗漏、防冻保温及防腐等有较严格的要求；在荷载方面，一般工程结构除可能遇到重力荷载、风、雪荷载及水压力、土压力外，给、排水构筑物还常须对温度作用、混凝土收缩及地基不均匀沉降等引起的外加变形或约束变形进行较慎密的考虑。针对给水排水工程结构的特殊性，四十年来，我国以各专业设计院、科研单位和部分高等院校为骨干，对给水排水工程结构的设计计算理论和方法，进行了系统的研究和经验积累。特别是在结构及构件的合理型式、荷载取值、内力计算方法、钢筋混凝土的抗裂及裂缝宽度计算、防止和限制裂缝的构造措施、预应力混凝土水池的设计计算方法、软弱地基的处理等方面，取得了丰富的研究成果和实践经验，使我国在给水排水工程结构设计方面形成了具有自己特色的较完整的体系。在长期研究和实践的基础上，我国于1984年完成了第一本作为国家标准的《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84的编制，并于1985年颁布施行。这本规范可以认为是我国给水排水工程结构设计专业化、标准化的里程碑。同时，1984年还出版了由国内七家具有权威性的市政工程设计院和给水排水设计院合编的《给水排水工程结构设计手册》。这是一部内容浩繁、篇幅巨大的工具书，在一定程度上反映了国内的主要专业设计院近30年的宝贵设计经验。

近十年来随着国家实行改革开放政策，经济建设进入了一个新的高速发展阶段，科学技术突飞猛进，国际交流频繁，也大大促进了结构工程技术的进步。特别是电子计算机的普遍应用，使结构设计的可靠度理论、计算力学、结构受力工作的全过程分析、计算机模

拟试验及计算机辅助设计(CAD)等方面都取得了前所未有的成就,并进入了工程应用中,使设计工作面貌为之一新。目前在给水排水工程设计和研究领域,应用有限单元法或其它较精确的计算力学方法对复杂结构进行分析及应用计算机辅助设计已相当普及,在很大程度上提高了设计的质量和效率。

我国于1984年颁布了《建筑结构设计统一标准》GBJ68—84,对建筑结构设计的基本原则,主要是结构可靠度和极限状态设计原则作出了统一规定。根据国内外的研究成果,统一标准规定结构可靠度应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法进行分析,并对建筑结构的等级、结构构件设计时应采用的可靠指标及极限状态设计表达式等,都作了统一规定。随后,对涉及建筑结构的各种规范,如建筑结构荷载规范、混凝土结构、砌体结构、钢结构、木结构、地基基础等设计规范,都按照统一标准进行了重新修订。当然,这些规范的修订还反映了自70年代中期以来对各种结构构件性能的深化研究所取得的新成果。到1991年止,这些新修订的规范已全部颁布施行。由于上述发展,《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84已不能适应当前设计工作的要求。特别是GBJ69—84所采用的结构计算基本方法仍然是半经验半统计的单一安全系数极限状态设计法,因此与新的混凝土结构设计规范、砌体结构设计规范、钢结构设计规范、地基基础设计规范等已不相协调,因此,GBJ69—84也将进行重新修订。

总的说来,我们正处于一个科技迅猛发展的时代,《给水排水工程结构》作为一门应用科学课程,我们在学习时必须随时注意本学科及相关学科的最新发展。

## (二)

我国的给水排水工程构筑物主要采用混凝土结构。所谓混凝土结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构,但主要是钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。不配置钢筋的素混凝土结构由于抗拉能力很差,通常只用于以受压为主的基础、支墩及必须依靠自身的重量来保持稳定性的重力式支挡结构(如挡土墙、挡水墙)等。在农村的小型给水排水工程构筑物中,也有采用砌体结构的。所谓砌体结构,就是用烧粘粘土砖、石块(毛石或料石)等块体材料,用砂浆砌筑而成的结构。给水排水工程中的建筑物,大多采用屋盖和楼盖为钢筋混凝土结构、墙和柱以及基础则为砌体结构的混合结构。对于设有起重吨位较大的桥式吊车的大型泵房,则可采用全部由钢筋混凝土和预应力混凝土预制构件组成的排架结构。

钢筋混凝土结构和砌体结构之所以能在给水排水工程中得到广泛的应用,是由它们本身的特点所决定的。

钢筋混凝土是将混凝土和钢筋这两种性能不同的材料结合起来共同工作,互相取长补短的很理想的现代结构材料。混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度很低的脆性材料,但具有很好的耐久性,而且制作混凝土的原料(水泥、石子和砂子)来源广泛,价格低廉。钢材是一种抗拉和抗压强度都很高的延性材料,但价格较贵,且易于锈蚀。如果在混凝土中适当配置钢筋,让压力主要由混凝土来承担,拉力主要由钢筋来承担,混凝土又可以保护钢筋免遭锈蚀,则可以达到降低造价、节约钢材、获得性能良好结构的目的。

对图1所示的两根梁进行对比,可以说明钢筋混凝土结构的基本概念。图1a是一根未配置钢筋的素混凝土梁,如果在梁上施加逐步增大的荷载,则随着荷载的加大,梁截面中

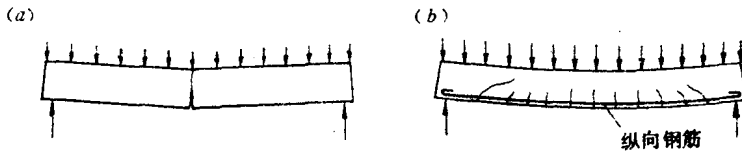


图 1

由于弯矩引起的拉、压应力也将逐渐增大。由于混凝土的抗拉强度远低于其抗压强度，故当梁的荷载尚小时，最大弯矩所在截面中受拉边缘的拉应力就将达到混凝土的抗拉强度而导致开裂，使梁立即折断。这种梁不仅承载能力低，混凝土的抗压强度未能被充分利用，而且其破坏是一种很危险的、突然发生的脆性断裂，因此，素混凝土梁在工程中没有什么实用价值。

但是，如果在混凝土梁的受拉区配置一定数量的纵向钢筋，梁的承载能力和工作性能就会得到明显的提高和改善。如图 1b 所示，梁在达到比素混凝土梁的破坏荷载稍大的荷载时，受拉区也会由于混凝土应力超过抗拉强度而出现裂缝，但梁不会破坏而能继续加大荷载。钢筋混凝土梁开裂以后，裂缝截面的受拉区混凝土退出工作，荷载引起的拉应力将全部由钢筋承担。由于钢筋具有很高的强度和弹性模量，在钢筋应力没有达到屈服点以前，它能有效地限制混凝土裂缝的开展，使梁能继续承受增大的荷载，只有当荷载增大到使钢筋应力达到屈服点以后，受压区混凝土被压坏时，梁的承载能力才告耗竭。可以说明，由于配置了钢筋，混凝土的抗压强度能够得到充分利用，构件的承载能力显著提高，构件破坏以前将发生较大的变形而具有预兆，即破坏不再是脆性的。

对受力不同的其他各类结构构件，同样可以通过在适当部位配置钢筋来改善构件的受力工作性能，提高构件的承载能力，这包括在构件内配置受压钢筋。因此，各种不同的受力构件都可以采用钢筋混凝土。

总的说来，钢筋混凝土是一种较优越的结构材料，主要具有以下优点：

- (1) 便于就地取材。与钢结构比较，能节约钢材，降低造价；
- (2) 便于造型。混凝土可以浇注成各种形状的结构和构件。给水排水工程构筑物常具有造型复杂的特点，采用钢筋混凝土结构尤为适宜；
- (3) 耐久性好；
- (4) 耐火性好；
- (5) 整体性好，抗震能力强。

当然，钢筋混凝土结构也存在一些缺点，主要是自重大、抗裂性较差、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等。此外，现浇钢筋混凝土结构模板木材消耗量大，施工周期也较长。近年来已经采取了不少措施来克服上述缺点，并取得了显著成效。例如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，加快施工速度。采用预应力混凝土可以改善构件的抗裂性，有效地利用高强钢材以降低钢材消耗，减小截面尺寸，减轻构件自重。所谓预应力混凝土，是在承受外荷载以前已建立有内应力的混凝土。通常是使外荷载可能引起拉应力的区域建立预压应力，这样就可以推迟因外荷载而引起的开裂，因为外荷载必须先抵消混凝土的预压应力，才能使混凝土进入受拉状态。在钢筋混凝土结构中，预应力一般是用张拉高强钢筋并将其锚固于混凝土，利



用被张拉钢筋的回弹使混凝土受压而建立起来的。我国在大型圆形水池中采用预应力混凝土池壁已积累了丰富的实践经验，建立了较完善的设计方法和施工工艺。在大型矩形水池中采用预应力混凝土也取得了一定的成绩。

砌体结构是一种历史悠远的传统结构，其优点是材料来源广泛，施工方法简易，造价低廉，节约钢材、木材及水泥等，但也具有明显的缺点，如手工操作劳动量大，结构本身体积大，抗裂和抗渗漏能力差，抗震能力差。特别是烧制粘土砖对农田破坏严重，因此尽管当前砖砌体结构仍被广泛采用，但国家的政策是提倡墙体材料改革，逐渐淘汰粘土砖以保护农田。对于给水排水工程构筑物来说，砌体并不是一种理想材料，通常只有当钢材、水泥等材料来源有困难时才采用。随着国民经济和科技的发展，用砌体结构建造给水排水构筑物的情况已愈来愈少。

钢结构由于钢材消耗量大，价格昂贵，且容易腐蚀，经常性的维护工作量大和费用高，在给水排水工程中应用较少，一般只用作某些特殊用途的水柜及支架、栈桥、爬梯、操作平台等。本书对钢结构不作专门介绍。

### (三)

本书的内容大体上可以划分为三大部分：第一部分为第一章至第七章，为钢筋混凝土基本理论部分，包括材料的物理力学性能、钢筋混凝土结构的基本计算原则和各类基本构件的计算方法和构造要求。这部分内容是以我国现行《建筑结构设计统一标准》GBJ68—84和《混凝土结构设计规范》GBJ10—89为主要依据进行编写的。第二部分为第八和第九两章，为钢筋混凝土结构设计部分，介绍了钢筋混凝土梁、板结构及水池结构设计。第八章虽然具体讨论的是梁、板结构，但这一章的内容实际上是设计各类现浇混凝土结构的通用基本知识。由于给排水构筑物种类繁多，不可能在本书中一一加以介绍，故在第九章中仅以应用最多的具有一定典型性的构筑物——水池为例，对构筑物结构设计的全过程作了比较全面的介绍，以便使学生对这类构筑物的设计方法、计算步骤和构造原则获得一个比较完整的概念。本书的第三部分为第十章和第十一章，这一部分内容简明扼要地介绍了砌体的力学性能，砌体构件的计算理论和一般单层混合结构房屋的设计要点。这部分内容是以现行《砌体结构设计规范》GBJ3—88为主要依据而编写的。

在学习本课程时，希望学生能注意到以下特点：

(1) 由于材料物理力学性能的复杂性，混凝土结构和砌体结构的基本计算理论都是以实验为基础的。在钢筋混凝土和砌体结构的基本构件计算公式中有相当一部分是根据实验研究获得的半理论半经验公式，对这些公式，应特别注意其实验基础、简化的物理力学模型、适用条件和应用方法。

(2) 结构设计是一种富有创造性的劳动，如果将一项设计任务看成一个命题，则其解答不是唯一的。任何一项设计都有多种方案可供选择。在结构设计的全过程中，材料和结构类型的选择及结构布置等决策性步骤，对结构的安全适用、经济合理往往比个别截面的设计计算具有更大的影响，因此，尽管本书对这些方面的论述所占篇幅较少，但应充分认识其重要性，并注意培养自己在结构设计工作中的决策能力。

(3) 构造设计是结构设计的重要内容之一。结构计算只是结构设计的手段之一，并不是所有的问题都能够通过计算来解决。构造设计的基本原则大体上可以归纳为：保证结

构的实际工作尽可能与计算假定相符合；采用构造措施来保证结构足以抵抗计算中忽略了而实际上可能存在的内力；采用构造措施来避免发生不希望发生的破坏状态，例如增加结构的延性；采用构造措施来保证结构在灾害或偶然事故发生时的稳定性，避免因结构的局部被损而造成连锁倒塌；采用构造措施来增强结构的抗裂性、抗渗漏性和耐久性等。构造设计的大部分工作是在绘制施工图的过程中完成的，构造设计更多地依赖于经验。本书所介绍的构造知识，部分为规范所规定，部分为行之有效的常规作法。学生在学习构造知识时往往感到繁琐枯燥，故常有所偏废，这种现象应该克服。在工程事故中，由于构造不当而酿成灾害屡见不鲜，因此，对构造问题不能掉以轻心。在学习构造知识时，应注重对构造原则的理解和掌握，对所采取的构造措施，应明确认识其目的，对一些基本的构造规定，应加强记忆。

# 第一章 钢筋和混凝土的力学性能

钢筋和混凝土这两种材料的力学性能以及它们的共同工作特性，是学习钢筋混凝土结构理论所必须具备的基础知识。这是因为钢筋混凝土结构的计算理论、计算方法和构造措施都是以这两种材料所具有的特定力学性能为依据的；另一方面，只有全面了解这两种材料的品种、性能和生产供应情况，才能在设计中根据每个工程的具体条件正确选择材料。

## 第一节 钢 筋

钢筋所用的原材主要是碳素钢和普通低合金钢。其主要性能与含碳量的多少有密切关系：含碳量增加，钢材强度随之提高，但塑性性能则随之降低；反之，含碳量减少，则钢材强度随之降低，而其塑性性能却随之得到改善。含碳量少于0.25%的碳素钢称为“低碳钢”；含碳量约0.25%~0.5%时称为“中碳钢”，含碳量约0.6%以上时称为“高碳钢”。

在钢的冶炼过程中有目的地加入一定量的一种或几种合金元素（如锰、硅、钒、钛、铜或铌等），以便改善钢材的某些性能（如强度、塑性、抗腐蚀性、可焊性、抗冲击韧性等），所获钢材称为“合金钢”。若所加合金元素总含量在3~5%以下，则称“低合金钢”。

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中所用的钢筋，按其生产工艺、力学性能和加工方式的不同，可分为：热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋和钢丝四大类，现分述如下：

### 一、热轧钢筋

#### （一）热轧钢筋的强度等级和品种

热轧钢筋（简称“钢筋”）是用低碳钢或普通低合金钢热轧而成的。按其强度由低到高依次分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级和Ⅳ级四个强度等级，每一级又有一种或数种化学成份不同的品种。表1—1中列出了各级热轧钢筋的代表符号、品种和检验必须达到的主要力学性能指标。除Ⅰ级钢筋所采用的钢种3号钢属低碳钢外，其余各级钢筋所采用的钢种都属于普通低合金钢。对于普通钢筋混凝土结构，Ⅰ级和Ⅱ级钢筋具有较合适的强度和较好的延性，货源也较充足，故应用最为普遍。钢筋的强度高过一定的限度后，由于受到构件裂缝和变形限制的控制，其强度往往不能得到充分利用。因此，Ⅲ级钢筋只宜用于普通钢筋混凝土的受弯构件、受压构件和大偏心受拉构件。如果将Ⅲ级钢筋用于轴心受拉构件和小偏心受拉构件，则其强度只能取等于Ⅱ级钢筋的强度，显然，这是不经济的。Ⅳ级钢筋的强度比Ⅲ级钢筋更高，已不宜用于普通钢筋混凝土结构，主要是冷拉后作为预应力钢筋使用，通常由少数厂家按订货计划专门生产。

热轧钢筋的表面形状有光面圆钢筋和变形圆钢筋两大类。所谓“变形钢筋”，是在钢筋表面轧成各种有规律的肋纹（图1-1），其目的在于增加钢筋和混凝土之间的粘结强度。钢筋的强度越高，则粘结强度也应越高，才能保证钢筋和混凝土共同工作。根据这一原

热轧钢筋强度等级、品种及主要力学性能

表 1-1

强度等级	代表符号	钢材品种	公称直径 (mm)	屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> ) ≥	极限抗拉强度 (N/mm <sup>2</sup> ) ≥	伸长率 δ <sub>s</sub> (%)	冷弯试验指标		适宜焊接方法
							冷弯角度	弯心直径	
I	Φ	3号钢	8~25	235	370	25	180°	1d	闪光对焊、电弧焊
			25~50					2d	
II	Φ	20锰硅、20锰硅半	8~25	335	510	16	180°	3d	闪光对焊、电弧焊
			25~50	315	490			4d	
III	Φ	25锰硅	8~40	370	555	14	90°	3d	闪光对焊、电弧焊
IV	Φ	40硅、锰钒、45硅锰钒	10~25	540	835	10	90°	5d	闪光对焊
			28~32					6d	

注：d为冷弯试件钢筋直径。

则，I级钢筋强度较低，其表面形状轧成光圆；II、III、IV级钢筋则都是变形钢筋。国产变形钢筋的表面肋纹有人字纹、螺纹和月牙纹三种。IV级钢筋表面为螺纹。II、III级钢筋以往均采用人字纹，从80年代初开始，II级钢筋逐渐采用月牙纹，现在人字纹II级钢筋已很少见。月牙纹钢筋的粘结强度稍低于螺纹和人字纹钢筋，但与螺纹和人字纹钢筋相比，消耗于肋纹的钢材较少，且钢筋的动力性能（如疲劳强度）亦有所改善。

(二) 热轧钢筋的应力应变曲线、强度和弹性模量

所有热轧钢筋的拉伸应力应变曲线具有相同的形式（图1-2）。从图中可看出，热轧钢筋的应力应变过程具有下列特点：

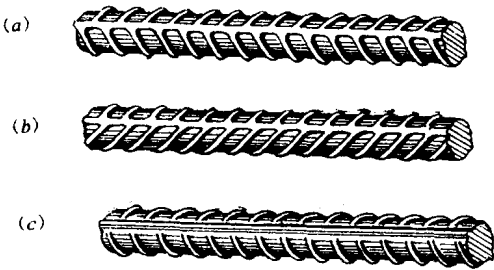


图 1-1 变形钢筋

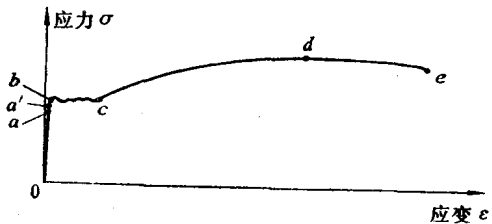


图 1-2 热轧钢筋的应力应变曲线

(a)人字纹钢筋；(b)螺纹钢筋；(c)月牙纹钢筋

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，因此我们将对应于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。当应力达到屈服极限（对应于b点的应力值）后，钢筋会在应力不增加的情况下产生相当大的塑性伸长应变，直到应力应变曲线上的c点为止，这种现象称为“屈服”。b、c两点间的应变值称为“屈服台阶”或“流幅”。屈服极限又称“屈服强度”。
- 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c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，这个阶段称为钢筋的“强化阶段”。当应力增大到一定数值后，在试件的某个较薄弱部位应变急剧增

加，直径迅速变细，即产生“颈缩”现象，最后试件在颈缩处拉断。产生颈缩后，材料本身的实际应力仍在不断提高，但由于试件直径缩小，因此按原截面计算的应力反而不断下降，从而使应力应变曲线出现下降段 $de$ 。

应力应变曲线上对应于 $d$ 点的应力值即为钢筋的“极限抗拉强度”。

热轧钢筋受压时的应力应变在屈服强度之前与拉伸时的应力应变基本相同。

通常将具有图1-2所示的应力应变曲线，即具有明显的屈服极限和屈服台阶的钢材称为“软钢”。图1-3a中绘出了I~IV级钢筋的应力应变曲线，可看出：各级热轧钢筋均有明显的屈服极限和屈服台阶，故热轧钢筋属于软钢，但随着强度等级的提高，钢筋的屈服极限和极限抗拉强度提高，屈服台阶缩短，伸长率下降。

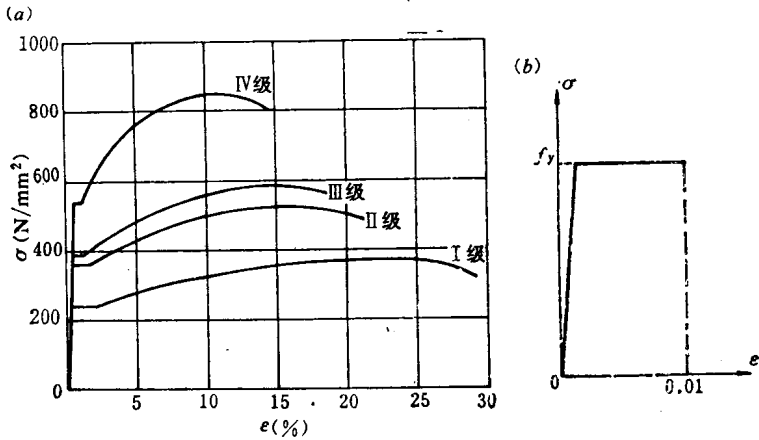


图 1-3

屈服强度和极限抗拉强度是热轧钢筋强度的两项主要指标。在按极限状态理论计算钢筋混凝土构件承载力时，原则上都是以屈服强度作为钢筋强度设计值的取值依据。因为当构件某一截面中的钢筋应力达到屈服强度后，其塑性变形将持续增长，从而导致该截面进入破坏阶段。一般构件达到最终破坏时，钢筋的应变也不会超出屈服台阶，故在建立钢筋混凝土构件计算理论时，通常将钢筋的应力应变曲线简化成图1-3b所示的双折线图形，即假定钢筋在屈服以前具有理想弹性性质，而在屈服以后则具有理想塑性性质，并取受拉极限应变为0.01。

对钢筋的极限抗拉强度提出要求则是为了使极限抗拉强度与屈服强度之间具有足够大的差值，以保证钢筋混凝土构件在其受力钢筋达到屈服强度后，不致因钢筋很快达到极限抗拉强度被拉断而造成结构倒塌，即保证结构“坏而不倒”。表1-1中所列各级热轧钢筋的屈服强度和极限抗拉强度是检验用的废品限值。

钢筋的弹性模量是一个相当稳定的物理常数，不同等级和品种钢筋的弹性模量变化不大，其具体值见附录2-2。

### (三) 热轧钢筋的塑性性能

检验钢筋质量除屈服强度和极限抗拉强度不能低于表1-1的规定值外，还有两项衡量钢筋塑性性能的指标，即伸长率和冷弯试验指标。它们对保证钢筋混凝土构件具有足够的延性及钢筋在加工和使用过程中不致于存在不允许的脆化倾向是极为必要的。

#### 1. 伸长率（延伸率）

一定标距长度的钢筋试件在拉断后所残留的塑性应变称为钢筋的“伸长率”或“延伸率”，通常用百分率表示。若取钢筋试件拉伸前的应变测量标距为 $l_1$ ，拉断后这个标距增大为 $l_2$ （图1-4），则伸长率 $\delta$ 即为：

$$\delta = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

同一试件如果基本标距 $l_1$ 的取值不同，则按上述方法确定的伸长率将存在差异。这是因为在量测范围内残留应变的分布并不是均匀的，残留伸长的大部分集中在颈缩区内，颈缩区以外则较小，而按式（1-1）计算的是平均值，标距 $l_1$ 愈大，则得到的伸长率将愈小。因此，为了使试验结果具有可比性，应规定统一的标距长度。通常规定 $l_1$ 为试件直径的5或10倍，计算的伸长率分别以 $\delta_5$ 或 $\delta_{10}$ 表示。各级热轧钢筋质量检验时的伸长率控制值见表1-1。

要求钢筋有足够的伸长率是为了使钢筋混凝土结构中的受力钢筋在达到屈服强度之后，结构或构件完全破坏之前能经历一较长的塑性变形过程，即使结构或构件具有较大塑性变形能力。这除了能提高结构或构件的延性，使其在破坏之前产生明显的征兆外，还能使钢筋混凝土超静定结构产生塑性内力重分布，从而使其内力分布趋于均匀，材料强度得到更充分的利用。

### 2. 冷弯性能

冷弯是将钢筋在常温下围绕一个规定直径为 $D$ 的辊轴（弯心）弯转（图1-5），要求在达到规定的冷弯角度时，钢筋外侧不发生裂纹、鳞落或断裂。各类热轧钢筋的弯心直径 $D$ 和所应满足的冷弯角度详见表1-1。

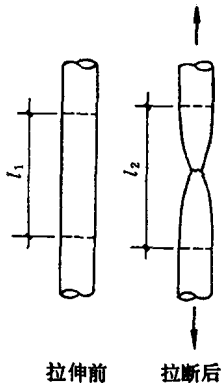


图 1-4

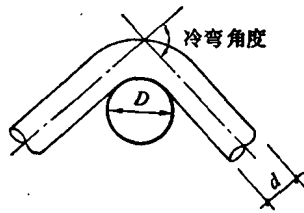


图 1-5

冷弯试验比拉伸试验能更好地反映钢筋对材料内部组织的不均匀性、内应力以及残存杂质等不利影响的敏感程度和冷加工脆化倾向，故冷弯试验是比伸长率试验更为严格的检验。

### （四）热轧钢筋的焊接性能

一般地说，热轧钢筋都是可焊的，但可焊性的好坏与被焊钢材中碳、锰、硅等元素的含量有关，这些元素的含量愈高，则可焊性愈差。因此，热轧钢筋的可焊性随着强度等级的提高而变差。可焊性的好坏用接头的强度和变形性能是否容易达到母材同样的水准，是否易于避免焊缝及其周围热影响区范围内钢材脆化及出现焊接裂纹等来衡量。根据可焊性的好坏选择合适的焊接方法和焊接工艺十分重要，表1-1中列出了各级钢筋适用的焊接方法。

## 二、冷拉钢筋

所谓“冷拉”，是在常温下将钢筋张拉到其应力超过屈服强度而进入强化阶段某一应力值，然后卸荷。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。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”。

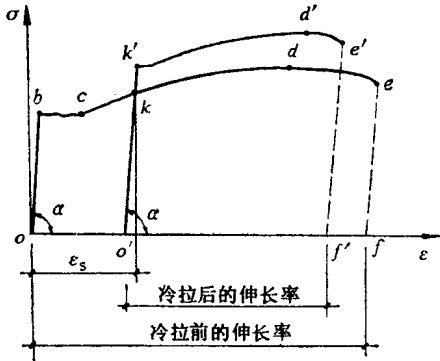


图 1-6

如图 1-6 所示，若钢筋一次拉伸的应力应变曲线为  $obcde$ ，如果第一次将钢筋拉到对应于  $k$  点的应力，然后卸荷，则卸荷应力应变曲线将为直线  $ko'$ ，若立即再次使钢筋受拉，则应力应变曲线将变为  $o'kde$ 。其特点是屈服强度由原来的  $b$  点提高到  $k$  点，在  $k$  点以后仍循第一次拉伸曲线发展，极限抗拉强度仍对应于  $d$  点而未改变，伸长率则由  $of$  减小为  $o'f'$ 。冷拉钢筋就是将热轧钢筋经过冷拉强化后

获得的钢筋，其屈服强度得到提高，可以达到节约钢材的目的。

冷拉钢筋若在常温下放置相当长一段时间后再重新受拉，则其应力应变曲线将变为图 1-6 中的  $o'k'd'e'$  线，此时屈服强度会比立即重新加载更进一步提高，且重新出现屈服台阶，极限抗拉强度也会提高，伸长率则进一步缩短。冷拉钢筋随时间而进一步强化的现象称为“冷拉时效”。在常温条件下自然完成的时效称为“自然时效”。

普通低合金钢的自然时效进程很慢，且强度级别愈高，自然时效愈不明显。如果通过人工加热，使经冷拉的钢筋升温到  $250^{\circ}\text{C}$ ，并恒温半小时，即可达到明显的时效。因此，如果要利用时效所提高的强度，就必须采用人工时效的办法。然而人工时效需要专门的工艺设备，耗电量大，在经济上可能得不偿失，而且人工时效可能使钢筋的塑性降低过多，故国内很少采用。我国的《混凝土结构设计规范》GBJ10—89（以后简称规范）对冷拉钢筋的强度规定是没有考虑人工时效的。

应当注意：第一，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，即冷拉钢筋的抗压强度与未冷拉时相同，故采用冷拉钢筋受压是不经济的；第二，冷拉钢筋受超过  $450^{\circ}\text{C}$  左右的高温作用后，其冷拉后提高的屈服强度将有所降低，当温度达  $700^{\circ}\text{C}$  后，冷拉强化现象将完全消失，其屈服强度降至与原钢材相同，故当冷拉钢筋需要焊接时应先焊接后冷拉。

冷拉钢筋根据所采用热轧钢筋的强度等级分为：冷拉 I 级钢筋、冷拉 II 级钢筋、冷拉 III 级钢筋和冷拉 IV 级钢筋。其中冷拉 II ~ IV 级钢筋主要用作预应力钢筋，冷拉 I 级钢筋只能用于普通钢筋混凝土。由于 I 级钢筋为光面，粘结性能较差，故规范规定，直径大于  $12\text{mm}$  的 I 级钢筋，虽经冷拉，也不能利用冷拉后的强度。因此，在实际工程中除直径  $d \leq 10\text{mm}$  的 I 级钢筋由于供货形式为圆盘，本来就需冷拉矫直外，对其它直径的 I 级钢筋进行冷拉是毫无意义的。

## 三、钢丝

钢丝是用热轧钢筋线材通过冷拔而成的。根据母材的钢种不同，分为冷拔低碳钢丝和碳素钢丝两大类。

“冷拔”是在拔丝机上用强力将圆钢筋拉过硬质合金钢模上比钢筋直径稍小的锥形拔丝孔，迫使钢筋截面缩小，长度增大（图1-7）。由于受轴向拉力和侧向压力的双重作用，其强化效应比冷拉更为明显。钢丝的拉伸应力应变曲线如图1-8所示，无明显屈服点和屈服台阶，其极限抗拉强度比母材大幅度提高，伸长率则大幅度减小。由于一次冷拔的压缩率不能太大，故由母材变成钢丝往往需经几次连续冷拔。钢丝直径越小，冷拔的次数越多，极限抗拉强度也就越大，伸长率则越小。通常将无明显屈服点和屈服台阶的钢材称为“硬钢”。

用普通Ⅰ级钢筋冷拔出来而不经其它处理的钢丝称为“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，一般在工地都可自行拔制，故应用很普遍。但冷拔低碳钢丝由于生产分散，母材来源复杂，品质不一，冷拔工艺水平不齐，质量难以严格控制，因此产品质量差别较大。针对这种情况，规范将冷拔低碳钢丝分为甲、乙两个强度等级，甲级又分为Ⅰ、Ⅱ两组，以利于“量才录用”。甲级冷拔丝需经逐盘检验，其强度取值较高，主要用作中、小型预应力混凝土构件的预应力钢筋；乙级冷拔丝则只需分批检验，其强度取值较低，主要用于普通钢筋混凝土小型构件的构造钢筋、箍筋和焊接网。甲级冷拔丝的直径有4和5mm两种；乙级冷拔丝则有3、4和5mm三种。

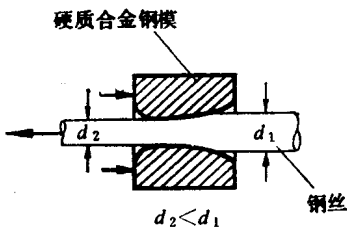


图 1-7

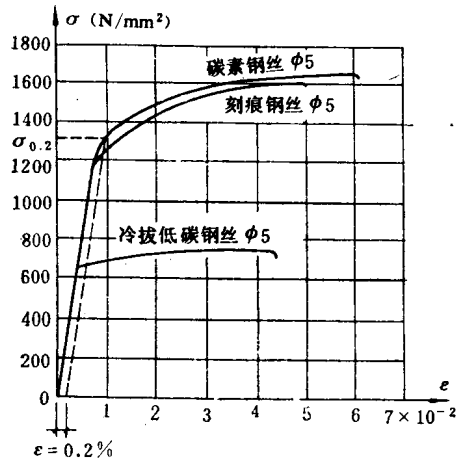


图 1-8

“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。这种钢丝需由专门工厂生产，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。碳素钢丝的直径有4和5mm两种。

为了提高碳素钢丝与混凝土之间的粘结强度，可以在钢丝表面机械刻痕，称为“刻痕钢丝”。国产刻痕钢丝的直径只有5mm一种。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（7φ3）、12mm（7φ4）和15mm（7φ5）三种。

上述各种钢丝与普通热轧钢筋在力学性能方面的主要区别在于：热轧钢筋有明显的屈服点，而钢丝没有明显的屈服点，且伸长率较小。从图1-8可以看出，当应力较低时，钢丝的应力与应变成正比，当应力超过比例极限（约相当于极限抗拉强度的0.65倍）后，即逐渐表现出越来越明显的塑性，直到拉断为止。在设计中一般是取对应于残余应变为0.2%的应力值（即将钢丝拉到该应力值后卸荷到应力为零，这时残余应变应为0.2%）作为钢丝的“条件屈服极限”，以 $\sigma_{0.2}$ 表之，并以它作为预应力混凝土构件承载力计算中钢丝应力的控制上限。由于钢丝没有明显屈服点，故取其极限抗拉强度作为唯一的强度检验指



标。根据试验，条件屈服极限约相当于极限抗拉强度的0.65~0.95倍，规范统一取等于极限抗拉强度的0.8倍。

除冷拔低碳钢丝可用点焊焊成钢筋网外，其它各类钢丝均不能焊接。

碳素钢丝、刻痕钢丝和钢绞线只能用作预应力钢筋。

应当指出：冷拉与冷拔均为钢筋的冷加工方法，但冷拉只能提高钢筋的抗拉屈服强度，而冷拔则可同时提高钢筋的抗拉和抗压屈服强度。

#### 四、热处理钢筋

热处理钢筋系用强度大致相当于IV级热轧钢筋的某些特定品种热轧钢筋经淬火和回火调质而成。这种钢筋也属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，适于作预应力钢筋。这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。

#### 五、钢筋的结构形式

钢筋混凝土结构中的配筋都是以钢筋网或钢筋骨架的形式出现的，一般不允许采用分散的、互无联系的单根钢筋。根据制作方法不同，可以分为用手工绑扎的绑扎钢筋网和绑扎钢筋骨架（图1-9）以及用点焊或电弧焊焊成的焊接网和焊接骨架（图1-10）。

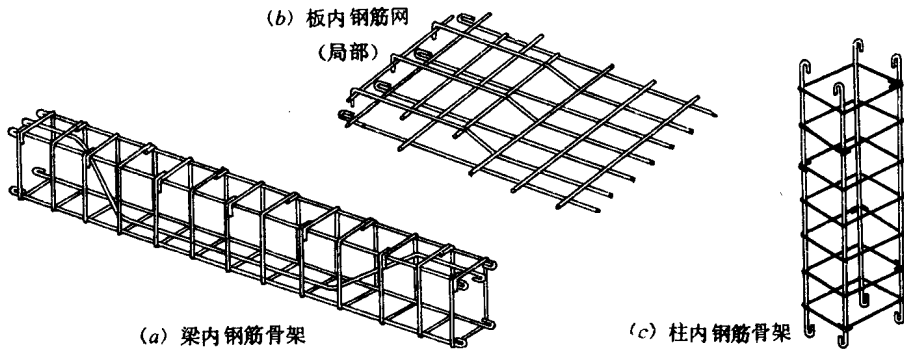


图 1-9 绑扎网和绑扎骨架

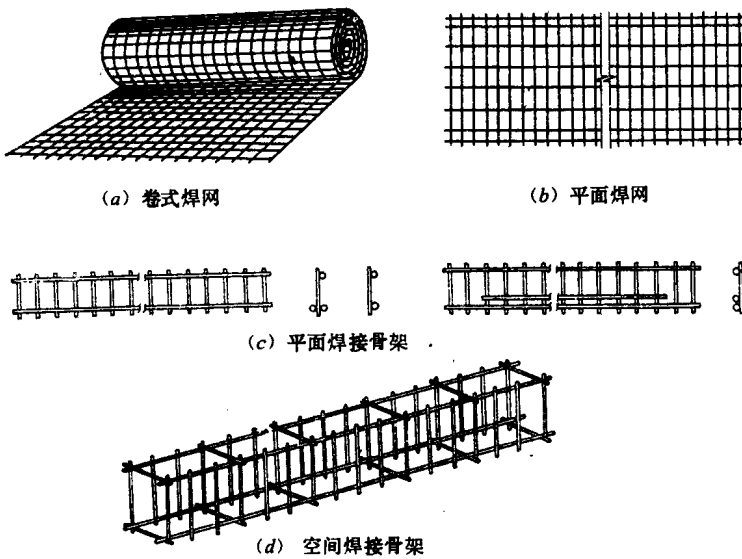


图 1-10 焊接网和焊接骨架