



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

建筑结构基础

水利水电工程技术专业

主编 李转学



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

建 筑 结 构 基 础

(水利水电工程技术专业)

主 编 李转学
责任主审 张勇传
审 稿 李廷孝
 何少溪



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是按照中华人民共和国颁布的行业标准：SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》；GBJ3—88《砌体结构设计规范》；SL74—95《水利水电工程钢闸门设计规范》编写的。全书共十章，主要内容为钢筋混凝土结构和砌体结构的基本构件设计计算及其应用，并对预应力混凝土结构和钢结构也作了简要的介绍。

本书是水利水电工程技术专业、农业水利技术专业的国家中等职业学校统编教材，亦可作为水利水电工程人员学习和使用规范的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构基础/李转学主编. —北京：中国水利水电出版社，2002

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5084-1331-8

I. 建… II. 李… III. 水工结构-专业学校-教材 IV. TV3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 097134 号

书 名	中等职业教育国家规划教材
作 者	建筑结构基础 (水利水电工程技术专业)
出版/发 行	主 编 李转学 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电 话 (010) 68320266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 10 印张 237 千字
版 次	2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月第一次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	13.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

本书是根据教育部中等职业教育水利水电专业国家规划教材选题和编审出版规划编写的通用教材,适用于水利水电工程技术和农业水利技术专业。内容主要有钢筋混凝土结构和砌体结构,对预应力混凝土结构和钢结构的基本概念也作了讲述。本书中所加“*”的内容为选学内容,可根据各地的实际情况和需要选学。

本书是按照中华人民共和国颁布的行业标准:SL/T191—96《水工混凝土结构设计规范》;SL74—95《砌体结构设计规范》;GBJ17—88《水利水电工程钢闸门设计规范》编写的。为了贯彻以知识为基础,以能力为本位的主导思想,适应社会发展需要,培养具有技术应用性能力的专门人才。依据新的教学计划和课程教学基本要求,在内容上尽可能做到易学、易懂,由浅入深,循序渐进,突出职业教育的特色。加强学生动手能力的培养,强化学生基本技能的训练,详细介绍了各种构件的构造要求及基本构件的设计步骤,选例力求联系实际,具有较强的代表性。

本书由河南省郑州水利学校李转学担任主编。编写人员:湖北水利水电职业技术学院张建华(绪论、一、二、十章);安徽水利水电职业技术学院毕守一(六、七、九章);山东省水利职业学院李萃青(四、五、八章);河南省郑州水利学校李转学(绪论、三章)。还得到了全国水利水电中专教研会、《建筑结构》课程组及有关学校领导、老师的大力支持,在此一并表示感谢。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定,由华中科技大学张勇传院士担任责任主审,武汉大学教授李延孝、何少溪审稿,中国水利水电出版社另聘河南省水利水电学校王文典主审了全稿,提出了许多宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免出现错误和纰漏,恳请有关兄弟院校在使用过程中及时不吝指正。

编 者

2002年7月

出版说明

前 言

绪论	1
第一章 钢筋混凝土结构的材料	4
第一节 钢筋	4
第二节 混凝土	7
第三节 钢筋与混凝土的粘结	11
本章小结	12
习题	12
第二章 水工混凝土结构计算原理	14
第一节 结构的功能	14
第二节 概率极限状态设计法	15
第三节 水工混凝土结构极限状态设计表达式	17
本章小结	20
习题	20
第三章 钢筋混凝土受弯构件承载力计算	21
第一节 受弯构件的破坏形态	21
第二节 矩形截面受弯构件正截面承载力	24
第三节 T形截面受弯构件正截面承载力	34
第四节 受弯构件斜截面承载力	39
第五节 受弯构件的构造要求	46
第六节 钢筋混凝土受弯构件施工图	49
本章小结	52
习题	52
第四章 钢筋混凝土受压(拉)构件承载力	55
第一节 受压构件的构造要求	55
第二节 轴心受压构件的承载力	57
第三节 偏心受压构件承载力	60
第四节 受拉构件的承载力	68
本章小结	71

习题	71
* 第五章 钢筋混凝土受扭构件承载力计算	73
第一节 受扭构件的构造要求	73
第二节 矩形截面弯、剪、扭构件承载力	75
本章小结	81
习题	81
第六章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	83
第一节 抗裂验算	83
第二节 裂缝开展宽度的验算	85
第三节 变形验算	87
本章小结	90
习题	90
第七章 肋形结构及刚架结构	91
第一节 肋形结构的组成和分类	91
第二节 整体式单向板肋形结构计算	91
* 第三节 刚架结构	105
本章小结	108
习题	108
* 第八章 预应力混凝土结构	110
第一节 预应力混凝土的基本知识	110
第二节 张拉控制应力与预应力损失	114
第三节 预应力混凝土构件验算方法	116
本章小结	116
习题	117
第九章 砌体结构	118
第一节 砌体的力学性能	118
第二节 砌体受压构件的承载力	120
第三节 砌体高厚比验算	124
本章小结	126
习题	126
第十章 钢结构简介	128
第一节 钢结构的材料与计算方法	128
第二节 钢结构的连接	131
第三节 平面钢闸门	133
本章小结	138
习题	139
附录	140
附录一 材料强度的标准值、设计值及材料弹性模量	140

附录二	钢筋的计算截面面积及公称质量表	143
附录三	一般常用基本规定	144
附录四	均布荷载作用下等跨连续梁（板）的内力系数表	146
参考文献		149

绪 论

一、建筑结构

人类在认识自然改造自然的过程中，修建了各种各样的建筑物。在水利方面，人们为了控制和利用水资源，达到兴利除害的目的，兴建大量的水工建筑物，例如拦河坝、溢洪道、水电站厂房、调压塔、压力水管、水闸、船闸、泵房、渡槽、涵管、隧洞衬砌等。

无论是简单的建筑物，还是复杂的建筑物，能否建成关键在于有没有相应的结构把它支承起来，构成具有足够抵抗能力的空间骨架，抵御自然界可能发生的各种作用（力），为人类需要服务。

图 0-1 为某水电站厂房上部结构示意图。厂房上部结构由钢筋混凝土整体楼盖、排架柱、吊车梁、砌体组成。

楼盖由现浇板与纵横交错的梁（梁格）组成。板的自重及屋面构造层的重量、雪荷载等通过板传递给梁。梁将板传来的荷载及自身自重传给排架柱。板、梁以弯曲变形为主均为受弯构件，产生内力有弯矩和剪力；吊车梁支撑桥式吊车，承受的荷载有吊车梁自重、吊车竖向荷载、吊车横向刹车力，产生的内力有弯矩、剪力、扭矩，属于弯剪扭构件；排架柱支撑楼盖、支承吊车梁传来的荷载，属偏心受压构件；周围的砌体是厂房的围护构件。

上述结构构件构成建筑物的传力体系，是建筑物的骨架。

在建筑物中，由若干构件（梁、板、墙、柱和基础）连接而构成的，能够承受直接作用（荷载作用）和间接作用（如温度变化、地基不均匀沉降、地震等）的体系，称建筑结构。建筑结构是建筑物的骨架和基本组成部分，是建筑物赖以存在的基础。

二、建筑结构按材料分类

建筑结构按所用材料不同，可分为钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构。

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力结构。

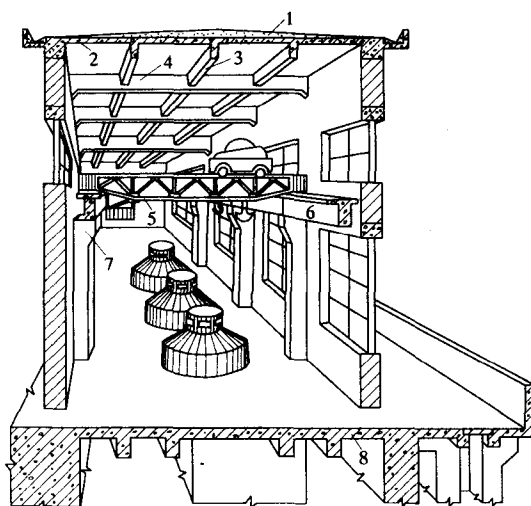


图 0-1 水电站厂房上部结构

1—屋面构造层；2—屋面板；3—纵梁；4—屋面大梁；
5—吊车；6—吊车梁；7—柱；8—发电机层楼盖

混凝土是由水泥、砂、石子、水按一定的配合比拌和，浇捣形成的人工石材，具有较高的抗压强度，但抗拉强度很低。而钢筋的抗拉、抗压强度都很高。为了充分利用混凝土和钢筋的力学性能，在混凝土构件的受拉区配置钢筋，由钢筋承担拉力，弥补混凝土抗拉能力低的弱点。

钢筋和混凝土两种性能不同的材料，通过有效的组合，使混凝土主要承担压力，钢筋主要承担拉力，从而提高了混凝土结构的承载力（与纯混凝土构件相比），改善了结构的受力性能。二者能结合在一起共同受力，协调工作主要有以下原因：①钢筋与混凝土之间有良好的粘结力。从而使两者协调变形，相互作用，共同受力；②钢筋与混凝土有相近的线膨胀系数。当外界温度变化时，不会产生相对的变形而破坏；③钢筋受混凝土的握裹，不易锈蚀。因而钢筋混凝土构件具有较好的耐久性。

钢筋混凝土结构具有整体性好（混凝土构件可整体浇注，提高了刚度，有利于抗震及防爆）、可模性好（可根据设计体型的要求，浇注成各种形状和尺寸的结构）、就地取材（钢筋混凝土结构中砂、石用量最大，一般都可就地或就近取用，减少了运输费用，降低了工程造价）、节约钢材（在某些情况下，可代替钢结构，节约钢材，降低成本）、耐久性好、耐火性好（混凝土的导热性能差，不致因受火灾使钢筋达到软化导致结构破坏）等优点，目前是土木工程中应用最广泛的结构之一。

但是钢筋混凝土结构还存在着一些缺点：如自重大，不利于建造大跨度结构，抗裂性差，施工工序多，建造期较长等。随着科学技术的发展，钢筋混凝土结构的这些缺点正在逐步地得到克服和改善。例如采用轻质高强度混凝土可以减轻自重；采用预应力混凝土（在构件使用之前预先在混凝土受拉区施加压应力，形成预应力混凝土结构）可提高构件的抗裂性；改进施工技术，进行现代化施工，可加快施工速度，缩减工期。

2. 砌体结构

砌体结构是由块材和砂浆砌筑而成的结构，包括砖砌体、石砌体、砌块砌体三类。

砌体结构具有就地取材（砖、石、砌块、砂一般都可就近找到），成本低，施工简易，耐火性、耐久性好的优点，但砌体结构自重大，强度低，抗震性能差，砌筑费工。

在水利水电工程中，砌体结构用来修建小型拦河坝、挡土墙、拱桥、桥墩、涵洞等。房屋建筑中的墙、柱、基础都可采用砌体结构。

3. 钢结构

钢结构是以钢材为主制作的结构，比如水工钢闸门、钢塔等。

钢结构的材质均匀，强度高；构件截面小，自重轻；可焊性好，制作简单。钢结构的缺点是容易锈蚀，需要经常维护，耐火性较差。

三、《建筑结构》课程的任务及特点

建筑结构是土木类专业（包括水利水电工程类专业、农业水利类专业）的主干课程之一。学习本课程的主要目的是：了解混凝土结构、砌体结构、钢结构的基本理论；理解基本构件的受力特点和计算方法及主要构造要求；掌握规范中有关结构构造的一般规定；能识读结构施工图，能理解设计意图，正确指导施工。

学习本课程需注意以下几点：

（1）建筑结构是各种建筑材料的材料力学，但所用材料非单一的均质弹性材料与材料

力学中的均质弹性材料不同，力学性能复杂，学习时必须注意材料的特殊性。

(2) 不论是钢筋混凝土结构，还是砌体结构、钢结构，其计算公式是在大量实验基础上建立起来的，计算公式应用时应注意公式的适用范围和条件，不能生搬硬套。在计算中不易考虑的因素用构造要求来保证，因而构造措施很重要。

(3) 本课程涉及到多科（课）的知识，影响因素多，综合性强，应注意培养学生的综合分析和归纳能力，抓住核心实质，正确处理好安全可靠与经济合理间的关系。本课程实践性强，注意吸取感性知识，联系工程实际。

(4) 在工程实践中，工程质量的控制非常严谨，一定要遵守技术法规，按规范办事。规范是实践经验的总结，建筑工程、水利水电工程等各个行业都有各行业技术标准和设计规范。通过学习本课程，进一步树立技术经济法规的概念，熟悉规范，正确运用规范，增强法制观念。

第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成的。在《建筑材料》课程中对这两种材料的成分、性质、质量检验方法已系统介绍过，本章侧重介绍两种材料的力学性能指标和两者之间存在的粘结力。

第一节 钢 筋

一、钢筋的种类

对于混凝土结构中的钢筋，要求具有一定的强度、足够的塑性和良好的可焊性，并能很好地与混凝土粘结在一起。

钢筋按生产工艺不同可分为四大类：

(1) 热轧钢筋。钢材在高温状态下轧制而成，按其强度由低到高分为四级：Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级。

(2) 冷拉钢筋。由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成。冷拉钢筋分为：冷拉Ⅰ级、冷拉Ⅱ级、冷拉Ⅲ级、冷拉Ⅳ级。

(3) 冷轧带肋钢筋。由热轧钢筋圆盘条经多道冷轧和冷拔减小直径，并在钢筋表面冷轧成斜肋。

(4) 热处理钢筋。由强度较高的热轧钢筋经过淬火和回火处理而成。

钢筋按化学成分不同分为碳素钢和普通低合金钢两大类。

碳素钢的力学性能与含碳量多少密切相关。碳素钢分为三种：低碳钢（含碳量低于0.25%）、中碳钢（含碳量为0.25%~0.6%）、高碳钢（含碳量为0.6%~1.4%），生产制作钢筋的碳素钢主要是低碳钢和中碳钢。

炼钢过程中，在碳素钢中加入少量硅、锰、钒、钛等合金元素，就形成普通低合金钢。普通低合金钢强度高、塑性好、可焊性好。

下面分别介绍各种钢筋的性能：

(一) Ⅰ级钢筋

由低碳钢（牌号为Q235）热轧而成，表面光圆。直径为8~20mm。Ⅰ级钢筋塑性好，可焊性好，强度稍低。主要用于板的受力钢筋，梁、柱的箍筋和构造钢筋。

(二) Ⅱ级钢筋

由低合金钢20MnSi和20MnNb(b)热轧而成变形钢筋，直径一般为8~40mm。Ⅱ级钢筋强度比较高，塑性、可焊性都比较好。由于强度比较高，为增加钢筋与混凝土之间的粘结力，钢筋表面轧成月牙肋，如图1-1(a)所示。Ⅱ级钢筋主要用作构件的受力钢筋，特别适用于承受多次重复荷载、地震作用和冲击荷载的结构构件。

(三) III级钢筋和IV级钢筋

III级钢筋由低合金钢 20MnSiV、20MnTi、K20MnSi 热轧而成，钢筋表面轧成月牙肋，直径一般为 8~40mm。

IV级钢筋由 40Si2MnV、45SiMnV 和 45Si2MnTi 热轧而成，钢筋表面轧成等高肋（螺旋纹），如图 1-1 (b)，直径一般为 10~32mm。

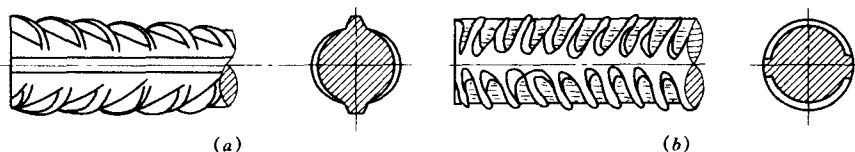


图 1-1 变形钢筋形状
(a) 月牙肋钢筋；(b) 螺旋钢筋

III级和IV级钢筋都为变形钢筋，由于含碳量较高，塑性和可焊性不及II级钢筋，一般经冷拉后用于预应力混凝土结构。

(四) 冷拉钢筋

在常温下，对热轧钢筋进行张拉，使钢筋强度提高，形成冷拉钢筋。冷拉I级钢筋可用于普通钢筋混凝土构件，冷拉II级、冷拉III级、冷拉IV级常用于预应力混凝土结构。

(五) 冷轧带肋钢筋

冷轧带肋钢筋是由热轧圆盘条（母材）经冷轧后形成带肋的钢筋，如图 1-2 所示，直径一般为 4~12mm。与冷轧前相比，冷轧带肋钢筋强度有较大提高。冷轧带肋钢筋有三种牌号：LL550、LL650、LL800。LL 是冷字与肋字汉语拼音第一个字母，数字代表钢筋抗拉强度标准值 (N/mm^2)。LL550 冷轧带肋钢筋可用于普通钢筋混凝土结构，LL650、LL880 冷轧带肋钢筋用于中小型预应力混凝土构件。

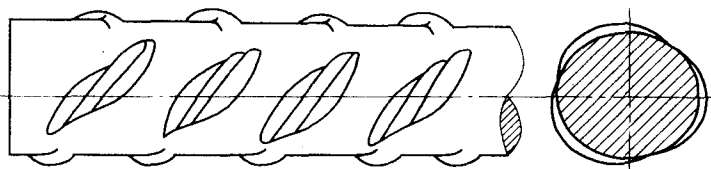


图 1-2 冷轧带肋钢筋的外形与截面形状（三面肋）

(六) 热处理钢筋

由强度大致相当于IV级的钢筋经过淬火和回火处理制成，表面为螺旋纹。热处理钢筋主要牌号有 40Si2Mn、48Si2Mn 和 45Si2Cr。跟母材相比，强度显著提高，塑性降低不多。热处理钢筋用于预应力混凝土结构。

(七) 钢丝、钢绞线

钢丝分碳素钢丝和刻痕钢丝。钢绞线是由多股平行的碳素钢丝按一个方向绞制而成。钢丝及钢绞线都具有很高的抗拉强度，用于预应力混凝土结构。

二、钢筋的力学性能

热轧I级、II级、III级、IV级钢筋和冷拉钢筋，受力后有明显的流幅，称之为软钢。

冷轧带肋钢筋、热处理钢筋及高强钢丝，受力后无明显的流幅，称之为硬钢。软钢与硬钢力学性能有明显差异。

(一) 软钢的力学性能

取 I 级钢筋标准试件作拉伸试验，应力应变曲线如图 1-3 所示。从开始加载到钢筋被拉断划分为四个阶段：弹性阶段、屈服阶段、强化阶段、破坏阶段。

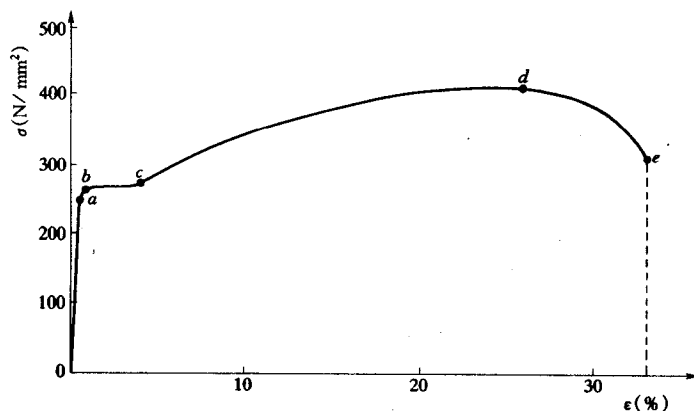


图 1-3 I 级钢筋的应力—应变曲线

自开始加载到应力达到 a 点，应力应变曲线是直线， oa 段为弹性阶段。 a 点对应的应力称为比例极限。 bc 段为屈服阶段，应力不增长，应变继续增长，产生很大的塑性变形，应力应变曲线近似水平线段。 bc 段应力最低点称屈服极限。 cd 段应力应变曲线重新表现为上升的曲线，称强化阶段。曲线最高点 d 对应的应力称为极限抗拉强度。 de 段应力应变曲线为下降曲线，试件产生颈缩现象，到 e 点钢筋被拉断， de 段称为破坏阶段。

钢筋应力有三个特征值：比例极限、屈服极限、极限抗拉强度。屈服极限是软钢的主要强度指标。在钢筋混凝土中，钢筋应力达到屈服极限后，作用在构件上的荷载不增加，钢筋的应变会继续增大，使混凝土裂缝开展过宽，构件变形过大，结构不能正常使用。因此，软钢以屈服极限作为钢筋强度限值。

钢筋屈服强度与极限抗拉强度的比值称屈强比，它反映结构可靠性能潜力大小，屈强比越小，结构的可靠储备越大。

e 点对应的应变称伸长率，伸长率大小反映钢筋的塑性，伸长率越大，钢筋塑性越好。钢筋的塑性还可以用冷弯试验检验。

对软钢进行质量检验，主要测定钢筋的屈服极限、极限抗拉强度、伸长率和冷弯性能。

不同级别的软钢分别做拉伸试验，其应力应变曲线如图 1-4 所示。钢筋级别越高，屈服极限、抗拉强度越高，伸长率越小，流幅也相应缩短，塑性越差。

(二) 硬钢的力学性能

硬钢强度高，塑性差，脆性大，没有屈服阶段。应变曲线如图 1-5 所示。

结构计算以“协定流限”作为强度标准，协定流限指经过加载及卸载后尚存有 0.2% 永久残余变形时的应力，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。由于协定流限不容易测定，这类钢筋通常以极限抗

拉强度 σ_b 作为主要强度指标, 取 $\sigma_{0.2}=0.8\sigma_b$ 。

对硬钢进行质量检验, 主要测定极限抗拉强度、伸长率、冷弯性能。

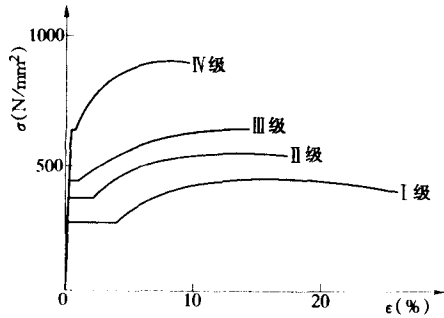


图 1-4 不同级别钢筋的应力—应变曲线

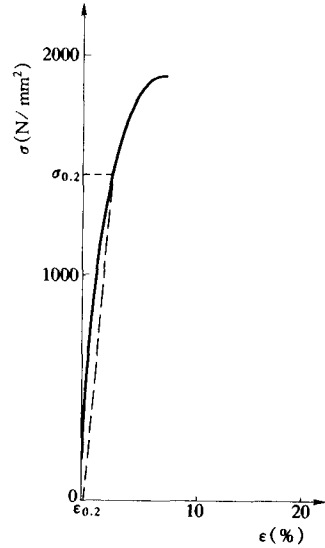


图 1-5 硬钢的应力—应变曲

(三) 冷拉钢筋的力学性能

冷拉是将钢筋拉伸超过它的屈服极限, 然后卸掉荷载, 经过一段时间后, 钢筋的屈服极限比冷拉前提高 19%~34%, 如图 1-6 所示。

钢筋冷拉后, 屈服强度提高了, 但流幅缩短了, 伸长率也减少了, 性质变脆, 这对承受冲击荷载与重复荷载是不利的。钢筋冷拉后, 抗拉强度提高了, 抗压强度并没有提高。

冷拉钢筋受到高温时, 它的强度会降低。由于在很高的焊接温度下, 钢筋冷拉强化效应会完全消失, 因此, 焊接冷拉钢筋时, 应控制加热时间。

热轧钢筋、冷拉钢筋、冷轧带肋钢筋、热处理钢筋、钢丝、钢绞线的强度标准值见附录一表 4、表 5。

(四) 钢筋弹性模量

钢筋在弹性阶段应力与应变的比值, 称为弹性模量, 用符号 E_s 表示, 钢筋弹性模量大小根据拉伸试验测定, 同一种钢筋受压弹性模量与受拉弹性模量相同, 其数值见附录一表 8。

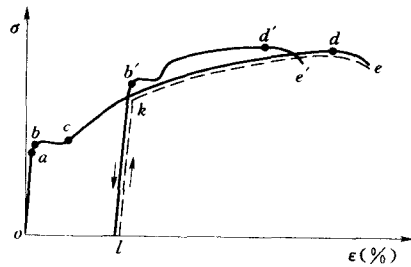


图 1-6 钢筋冷拉后的应力—应变曲线

第二节 混 凝 土

混凝土是由水泥、砂、石、水按一定配合比组成的人工石材。

一、混凝土的强度

混凝土强度与水泥强度、水泥用量、水灰比、配合比、施工方法、养护条件、龄期等因素有关。试件的形状尺寸、试验方法对测试结果也有影响。

混凝土的强度指标主要有立方体抗压强度、轴心抗压强度和轴心抗拉强度。

(一) 立方体抗压强度 f_{cu}

我国混凝土结构设计规范规定以边长为 150mm 的立方体标准试件，在温度为 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度不小于 90% 的条件下养护 28 天，用标准试验方法测得的抗压强度，称为标准立方体抗压强度，用 f_{cu} 表示；测得的具有 95% 保证率的抗压强度称为立方体抗压强度标准值，用 $f_{cu,k}$ 表示。

混凝土强度等级是根据立方体抗压强度标准值来确定。水利水电工程所采用的混凝土强度等级分 11 级：C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60。其中 C 表示混凝土，数字 10~60 表示立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)。

水工钢筋混凝土结构中的混凝土强度等级不宜低于 C15；当采用 II 级钢筋、III 级钢筋、冷轧带肋钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C20；预应力混凝土结构中，混凝土强度不宜低于 C30。

(二) 轴心抗压强度 f_c

实际工程中的混凝土受压构件并非是立方体而是棱柱体，它们的长度比截面尺寸大得多，从而立方体抗压强度并不能反映实际构件的强度。

试验表明，用高宽比为 3~4 的棱柱体测得的抗压强度与以受压为主的混凝土构件中混凝土抗压强度基本一致。

用棱柱体试件 ($150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 300\text{mm}$) 经标准养护后进行抗压试验，得到的抗压强度称轴心抗压强度，又称棱柱体抗压强度，用 f_c 表示。

棱柱体抗压强度与立方体抗压强度的对比试验表明， f_c 与 f_{cu} 大致成线性关系：

$$f_c = 0.67 f_{cu} \quad (1-1)$$

工程中，一般通过测定混凝土立方体抗压强度，再换算出轴心抗压强度。

(三) 轴心抗拉强度 f_t

对构件进行抗裂验算、裂缝宽度验算需要混凝土轴心抗拉强度值。

用棱柱体试件 ($100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$)，两端正中预埋 II 级钢筋如图 1-7 所示，经标准养护后，用试验机夹紧钢筋，使混凝土试件受拉，测得构件破坏时的抗拉强度，称轴心抗拉强度，用 f_t 表示。

混凝土轴心抗拉强度与立方体抗压强度的关系：

$$f_t = 0.23 f_{cu}^{2/3} \quad (1-2)$$

不同强度等级混凝土的轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 见附录一表 1。

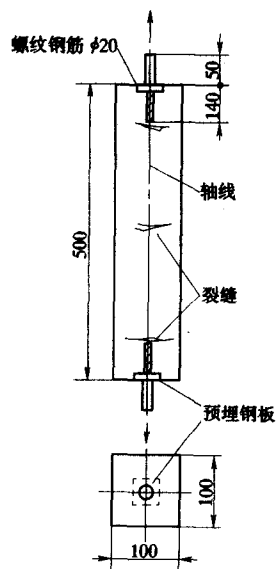


图 1-7 轴心抗拉强度试验

二、混凝土的变形

混凝土的变形有两大类：一类是由外荷载作用产生的变形；一类是由温度、干湿变化引起的体积变形。

(一) 混凝土在一次短期加载时的应力应变曲线

用棱柱体试件作一次短期加载受压试验，其应力应变曲线如图 1-8 所示。

(1) 当应力 $\sigma < 0.3f_c$ ，应力应变曲线 oa 段接近于直线。混凝土表现出弹性变形。

(2) 当 $0.3f_c < \sigma < 0.8f_c$ ，应力应变曲线 ab 段弯曲，混凝土表现出塑性变形。

(3) 当应力达到极限强度 (c 点)，试件表面出现纵向裂缝，开始破坏。 c 点对应的应力即轴心抗压强度 f_c ，对应的应变 ϵ_0 约为 0.002。

(4) 当应力达到 f_c 之后，应力逐渐减少而应变继续增加，应力应变曲线在 d 点出现反弯，混凝土达到极限压应变 ϵ_{cu} 。 ϵ_{cu} 值一般在 0.003~0.004 范围内。

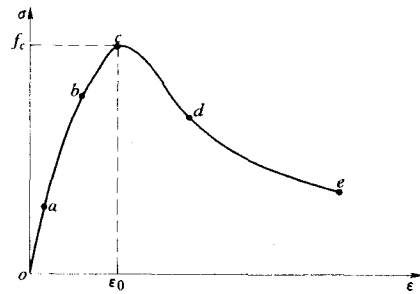


图 1-8 混凝土一次短期加荷时的应力~应变曲线

对于均匀受压的混凝土，由于压应力达到 f_c 时，混凝土构件已不能承担更大的荷载，所以不管有无下降段，极限压应变都按 ϵ_0 考虑。规范规定 ϵ_0 取 0.002。

对于非均匀受压的混凝土，当混凝土最外纤维的应力达到 f_c 时，由于最外纤维可将部分应力传给附近的纤维，构件不会立即破坏，只有当受压区最外纤维的应变达到极限压应变 ϵ_{cu} 时，构件才会破坏。规范规定非均匀受压混凝土的极限应变 ϵ_{cu} 取 0.0033。

混凝土受拉时的应力应变曲线与一次短期受压时应力和应变曲线相似，但应力、应变值小得多，计算时，混凝土受拉极限应变 ϵ_{tu} 取 0.0001。

(二) 混凝土的弹性模量 E_c

混凝土应力应变曲线为一曲线，其弹性模量是一个变量。工程中，采用重复加载卸载，使应力应变曲线渐渐趋稳定并接近直线，该直线的斜率即为混凝土的弹性模量。混凝土弹性模量按下列经验公式计算：

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu}}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

按上式计算的混凝土弹性模量见附录一表 3。混凝土受拉弹性模量与受压弹性模量基本相同，计算时取相同的值。

(三) 混凝土在长期荷载作用下的变形

混凝土在长期荷载作用下，应力不变，应变随时间增长而增长，这种现象称为混凝土的徐变。

混凝土构件加载瞬间就产生瞬时应变 ϵ_0 ，当荷载持续作用，混凝土应变会随时间而增长，增长的部分即徐变。最终徐变值约为瞬时应变的 2~3 倍，徐变开始发展较快，逐渐减慢，通常 6 个月可完成最终徐变量的 70%~80%，一年内可完成最终徐变量的 90%