



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

建 筑 结 构

(第2版)

彭 明 王建伟 主编
李平先 毕守一 主审



黄河水利出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国水利水电高职教研会推荐教材

建 筑 结 构

(第2版)

主 编	彭 明	王建伟	
副主编	张建华	王文龙	佟 颖
	刘 洁	李萃青	宋春发
主 审	李平先	毕守一	

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是按照国家对高职高专人才培养的规格要求及高职高专教学特点编写完成的。本书依据我国现行的《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写。全书共 12 章,主要内容为水工钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构的设计方法及其应用。每章有例题、习题、思考题和工程设计实例,并附有完成作业和课程设计所需的常用图表。

本书可作为高职高专和职大水利水电类专业的教材,亦可作为水利水电工程技术人员的继续教育教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构/彭明,王建伟主编.—郑州:黄河水利出版社,2009.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-80734-615-9

I. 建… II. ①彭…②王… III. 建筑结构-高等学校-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 148484 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:20.75

字数:490 千字

印数:25 101—29 200

版次:2004 年 1 月第 1 版

印次:2009 年 9 月第 7 次印刷

2009 年 9 月第 2 版

定价:32.00 元

再版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《国务院关于大力发展职业教育的决定》、教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》等文件精神,以及教育部对普通高等教育“十一五”国家级规划教材建设的具体要求组织编写的。

本书是依据我国高等职业技术教育水利水电类建筑结构课程教学大纲编写的,全书共分12章,分为钢筋混凝土结构、砌体结构及钢结构三部分,采用的计算公式、符号及基本数据,主要依据《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)、《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写。

本书在编写过程中,针对高等职业技术教育的特点,从实际出发,对教学内容进行重组和调整,注重实践能力的培养。精简了烦琐理论推导和试验过程的描述,不苛求学科的系统性和完整性,努力避免贪多和高度浓缩现象,充分体现高职教育的特色。在阐述方法上力求做到由浅入深,循序渐进,文字简练。为了便于教学和强化基本技能的训练,书中包含了类型丰富的例题、习题、思考题和工程设计实例,并附有完成作业和课程设计所需的常用图表。

本书编写人员及编写分工如下:黄河水利职业技术学院彭明(绪论、第十章),安徽水利水电职业技术学院宋春发(第一章),浙江同济科技职业学院胡玉珊(第二章),山西水利职业技术学院王文龙(第三章),杨凌职业技术学院刘洁(第四章),黄河水利职业技术学院郭遂安(第五章)、郭旭东(第六章)、胡涛(第七章),山东水利职业学院李萃青(第八章),黄河水利职业技术学院王建伟、白宏洁(第九章),沈阳农业大学高等职业技术学院佟颖(第十一章),湖北水利水电职业技术学院张建华(第十二章)。全书由彭明、王建伟担任主编,彭明负责全书统稿;由张建华、王文龙、佟颖、刘洁、李萃青、宋春发担任副主编;由郑州大学李平先教授、安徽水利水电职业技术学院毕守一担任主审。

本书在编写过程中参考与引用了国内同行的著作、教材及有关资料,为此,谨对所有文献的作者深表谢意。由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

再版前言

绪 论	(1)
第一章 钢筋混凝土结构的材料	(6)
第一节 钢 筋	(6)
第二节 混凝土	(10)
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结力	(15)
思考题	(18)
第二章 钢筋混凝土结构设计原理	(19)
第一节 结构的功能要求和极限状态	(19)
第二节 作用与抗力	(20)
第三节 结构的可靠度	(23)
第四节 水工混凝土结构极限状态设计表达式	(24)
思考题	(26)
习 题	(26)
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面受弯承载力计算	(27)
第一节 受弯构件的构造规定	(27)
第二节 梁的正截面试验分析	(30)
第三节 单筋矩形截面的受弯承载力计算	(33)
第四节 双筋矩形截面的承载力计算	(40)
第五节 T形截面的受弯承载力计算	(46)
思考题	(54)
习 题	(55)
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(57)
第一节 斜截面受剪破坏分析	(57)
第二节 斜截面受剪承载力计算	(59)
第三节 钢筋混凝土梁的斜截面受弯承载力	(68)
第四节 钢筋骨架的构造规定	(72)
第五节 钢筋混凝土结构施工图	(75)
第六节 钢筋混凝土外伸梁设计实例	(77)
思考题	(83)
习 题	(83)
第五章 钢筋混凝土受压构件承载力计算	(85)
第一节 受压构件的构造规定	(86)

第二节	轴心受压构件正截面承载力计算	(89)
第三节	偏心受压构件的破坏特征	(93)
第四节	矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算	(95)
第五节	对称配筋的矩形截面偏心受压构件	(104)
第六节	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(107)
思考题	.....	(107)
习 题	.....	(108)
第六章	钢筋混凝土受拉构件承载力计算	(110)
第一节	轴心受拉构件的正截面受拉承载力计算	(111)
第二节	偏心受拉构件	(112)
思考题	.....	(118)
习 题	.....	(118)
第七章	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	(119)
第一节	矩形截面纯扭构件的承载力计算	(119)
第二节	矩形截面弯剪扭构件的承载力计算	(122)
思考题	.....	(126)
习 题	.....	(126)
第八章	钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	(127)
第一节	抗裂验算	(127)
第二节	裂缝宽度验算	(132)
第三节	变形验算	(138)
思考题	.....	(140)
习 题	.....	(141)
第九章	肋形结构及刚架结构	(142)
第一节	整体式单向板肋形结构	(143)
第二节	单向板肋形结构设计实例	(155)
第三节	整体式双向板肋形结构	(178)
第四节	刚架结构	(185)
第五节	钢筋混凝土牛腿设计	(190)
思考题	.....	(193)
习 题	.....	(193)
第十章	预应力混凝土结构	(195)
第一节	预应力混凝土的基本知识	(195)
第二节	预应力钢筋张拉控制应力及预应力损失	(201)
第三节	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(208)
第四节	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(215)
思考题	.....	(217)
习 题	.....	(217)

第十一章 砌体结构	(218)
第一节 砌体材料	(218)
第二节 砌体的种类及力学性能	(222)
第三节 无筋砌体构件的承载力计算	(228)
思考题	(243)
习 题	(243)
第十二章 水工钢结构	(245)
第一节 钢结构的材料和计算方法	(245)
第二节 钢结构的连接	(251)
第三节 平面钢闸门	(272)
思考题	(278)
习 题	(279)
附 录	(280)
附录一 结构环境类别和承载力安全系数	(280)
附录二 材料强度标准值、设计值及材料的弹性模量	(281)
附录三 钢筋的截面面积及公称质量	(284)
附录四 钢筋混凝土常用构造规定	(286)
附录五 均布荷载和集中荷载作用下等跨连续梁的内力系数表	(290)
附录六 承受均布荷载的等跨连续梁各截面最大及最小弯矩(弯矩包络图) 计算系数表	(299)
附录七 移动的集中荷载作用下等跨连续梁各截面的弯矩系数及支座截面 剪力系数表	(301)
附录八 按弹性理论计算在均布荷载作用下矩形双向板的弯矩系数表	(304)
附录九 砌体结构	(307)
附录十 钢材和连接的强度设计值和容许应力	(313)
附录十一 等边角钢表	(319)
附录十二 普通螺栓的标准直径及螺纹处的有效截面面积表	(323)
参考文献	(324)

绪 论

一、建筑结构的基本概念

在水利工程建筑中,由建筑材料制作的若干构件连接而组成的承重骨架称为建筑结构。按所用材料的不同,可分为钢筋混凝土结构、砌体结构、钢结构等类型。

(一) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力的结构。钢筋的抗拉强度和抗压强度都很高,具有良好的塑性。混凝土的抗压强度高而抗拉强度低,具有良好的耐久性能。为了充分利用这两种材料的性能,把混凝土和钢筋结合在一起,使混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力,充分发挥它们的材料特性,以满足工程结构的使用要求。

图 0-1 所示为两根截面尺寸、跨度和混凝土强度完全相同的简支梁。图 0-1(a) 所示为素混凝土梁。当跨中截面承受约 13.5 kN 的集中力时,混凝土就会因受拉而断裂。图 0-1(b) 所示的梁,在受拉区配置了 2 根直径 20 mm 的 HRB335 级钢筋,用钢筋来代替混凝土承受拉力,则梁承受的集中力可增加到 72.3 kN。由此说明,钢筋混凝土梁比素混凝土梁的承载能力提高很多,这正是充分利用了钢筋和混凝土两种材料的力学性能。此外,配置钢筋还可以增强构件的延性,防止混凝土出现突然的脆性破坏。

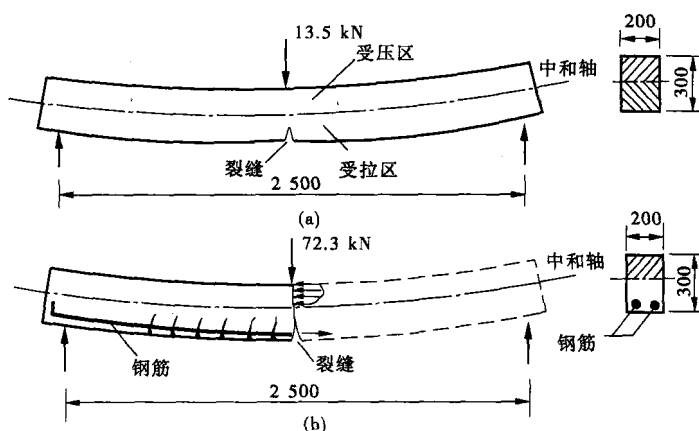


图 0-1 混凝土梁与钢筋混凝土梁的承载力对比示意图 (单位:mm)

钢筋和混凝土这两种不同性能的材料能有效地结合在一起共同工作,主要的原因是:

(1) 钢筋与混凝土之间存在着良好的黏结力,混凝土硬化后可与钢筋牢固地黏结成整体,保证在荷载作用下钢筋和混凝土能够协调变形,相互传递应力。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数相近,当温度变化时,两者之间不会产生较大的相对滑移而使黏结力破坏。

(3) 钢筋表面的混凝土保护层防止钢筋锈蚀, 保证结构的耐久性。

钢筋混凝土结构除合理利用了钢筋和混凝土两种材料的特性外, 和其他材料的结构相比, 还具有下列优点:

(1) 强度较高。同砌体结构相比强度较高。

(2) 耐久性好。混凝土耐受自然侵蚀的能力较强, 其强度也随着时间的增长有所提高, 钢筋因混凝土的保护而不易锈蚀, 不需要经常维护和保养。

(3) 耐火性好。由传热性差的混凝土作为钢筋的保护层, 在普通火灾情况下不致使钢筋达到软化温度而导致结构的整体破坏。

(4) 整体性好。现浇的整体式钢筋混凝土结构具有较好的整体刚度, 有利于抗震和防爆。

(5) 可模性好。可根据使用需要浇筑制成各种形状和尺寸的结构, 尤其适合建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构。

(6) 取材方便。钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料, 一般可就地采取, 减少运输费用, 降低工程造价。

钢筋混凝土结构也存在着下列主要缺点:

(1) 自重较大。钢筋混凝土结构的截面尺寸较大, 重度也大, 因而自重远远超过相应的钢结构重量, 不利于建造大跨度结构。

(2) 抗裂性较差。混凝土抗拉强度低, 容易出现裂缝, 影响结构的使用性能和耐久性。

(3) 施工较复杂, 宜受气候和季节的影响, 建造期一般较长。

(4) 修补和加固比较困难。

在水利水电工程中, 钢筋混凝土用来建造水电站厂房、水闸、船闸、渡槽、涵洞、倒虹吸管等。随着科学技术的发展、施工水平的提高以及高强轻质材料研究的不断突破, 钢筋混凝土的缺点正在逐步地被克服和改善。如采用轻质高强混凝土可以减轻结构的自重; 采用预应力混凝土结构可以提高构件的抗裂性能; 采用预制装配式构件可以节约模板和支撑, 加快施工进度, 减少季节变化对施工的影响等, 从而大大拓宽了钢筋混凝土结构的应用范围。

(二) 砌体结构

砌体结构是指以砖、石材或砌块等块材作为结构的主要材料, 通过砂浆铺缝砌筑, 黏结成整体共同承受外力的结构。砌体结构是最传统、最古老的结构, 作为一种面广量大的结构形式应用极为广泛, 现在仍在不断发展和完善。

砌体结构具有下列优点:

(1) 因地制宜、就地取材。黏土、砂和石是天然材料, 来源广泛, 价格低廉; 砌块种类多种多样, 有的可以利用工业废料制作。

(2) 耐火性和耐久性好。砌体结构可承受 $400 \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温, 具有良好的耐火性。在一般环境下, 不需要像钢结构那样经常维护和保养, 能保证在预计的耐久期限内使用, 并具有良好的保温和隔热性能。

(3) 施工简便。砌筑工艺简单方便, 不需要特殊的施工设备, 施工受季节影响较小, 能进行连续施工操作。

砌体结构的主要缺点有:

(1)强度低,材料用量大。与混凝土结构和钢结构相比,截面尺寸大、材料用量多、自重重大,运输量也随之增加。

(2)劳动量大。砌筑施工基本上是手工方式,费工时,生产效率低。

(3)抗渗性、抗冻性和抗震性差。砌体材料脆性显著,使其应用受到限制。

(4)占用耕地。烧制黏土砖需要占用大量农田,消耗有限的能源和土地资源,不利于生态平衡和可持续发展。

砌体结构所用块材一般属于脆性材料,砌体结构的抗压强度高,抗剪和抗拉强度却很低,适用于受压的建筑物。在水工建筑中除用来修建小型拦河坝外,普遍用于修筑挡土墙、渡槽、拱桥、溢洪道、涵洞、渠道护面、水电站厂房等。

(三) 钢结构

钢结构是用钢材制成的结构。钢结构具有以下优点:

(1)强度高,重量轻。钢材的重度比其他建筑材料大,但钢材的强度很高,在相同的荷载条件下,钢结构的自重较小。适用于跨度大、建筑物高、荷载大以及要求装拆和移动的结构。

(2)钢材内部组织比较均匀,塑性、韧性好。与混凝土和其他材料相比,钢材的内部组织比较均匀,各方向的物理力学性能基本相同,接近匀质各向同性体,具有良好的塑性和韧性。所以,钢结构的实际受力情况与结构分析计算结果最接近,在使用中最为安全可靠。

(3)可焊性好。焊接连接简单方便,可满足制造各种复杂结构形状的需要。

(4)制造简便,施工方便,装配性好。钢结构由各种型钢和板材组成,加工制作简便,生产效率高。制成的构件在现场拼接,安装常用螺栓连接或焊接,施工方便,便于拆卸、加固或改建。

(5)密封性好。钢材具有不渗漏性,适于制作要求密闭的板壳结构、容器管道、闸门等。

钢结构的主要缺点如下:

(1)耐热但不耐高温。随着温度的升高,强度和弹性模量都将降低,而伸长率和线膨胀系数增大。当环境温度在 150℃ 以上时,需要采取防护措施。

(2)耐腐蚀性差。钢结构在湿度大、有侵蚀介质的环境中容易腐蚀,为了防止锈蚀,除了在初建时需要采取除锈、油漆、镀锌等防锈措施,而且建成后需要定期维护。在水工钢闸门上可采用电化学效应的阴极保护法。

(3)在低温和其他条件下容易发生脆性断裂。

钢材是国民经济各部门不可缺少的材料,建筑施工中必须最大限度地节约钢材。因此,在建筑结构中应当按照合理使用、充分发挥其优点的原则来选择钢结构。钢结构常用于大跨度、超高度、重荷载、强动力作用的各种工程结构,如水利水电工程中的钢闸门、输电线路塔架等;也常用于可拆装搬迁的结构,如钢栈桥、钢模板等。

二、建筑结构的应用

(一) 钢筋混凝土结构应用

钢筋混凝土结构从 19 世纪中叶开始采用以来,发展极为迅速。它已成为现代工程建

设中应用非常广泛的建筑结构。随着预应力混凝土结构的使用,其抗裂性能好,充分利用了高强度材料,可以用来建造大跨度承重结构,使得应用范围更加广泛。目前,钢筋混凝土结构的跨度和高度都在不断地增大。世界上最高的混凝土重力坝高达 285 m;最高的混凝土连拱坝高达 214 m;最高的钢筋混凝土楼房已达 450 m;最高的预应力混凝土电视塔高达 553 m;预应力钢筋混凝土斜拉桥主跨已达 602 m。

钢筋混凝土结构在我国水利水电工程中的应用更是令人瞩目,如在水电建设中发挥较大作用的葛洲坝水利枢纽、乌江渡水电站、龙羊峡水电站等,都是规模宏伟的混凝土工程。即将完工的具有防洪、发电、航运等综合利用效益的长江三峡水利枢纽工程,大坝为混凝土重力坝,大坝坝轴线全长 2 309.5 m,最大坝高 181 m,总库容 393 亿 m^3 ,主体建筑土石方挖填量约 1.343 亿 m^3 ,混凝土浇筑量 2 794 万 m^3 ,钢筋 46.30 万 t。总装机容量 2 250 万 kW。三峡水电站是当今世界最大的水电站,是世界水利工程建筑史上的壮举。

钢筋混凝土结构的计算理论,已从把材料作为弹性体的容许应力古典理论发展为考虑材料塑性的极限强度理论,并迅速发展成较为完整的按极限状态设计的计算体系。新颁布实施的《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)(以下简称《规范》),采用极限状态设计法,在规定的材料强度和荷载取值条件下,在多系数分析基础上以安全系数表达的方式进行设计。随着计算机技术的推广应用,钢筋混凝土的计算理论与设计方法正向更高的阶段发展,并日趋完善。

(二) 砌体结构应用

砌体结构在我国有着悠久的历史。大量的考古发掘资料表明,西周时期(公元前 1046 ~ 前 771 年)已有烧制的瓦,战国时期(公元前 403 ~ 前 221 年)有了烧制的砖,人们广泛地使用砖瓦、石料修建房屋、桥梁、水利工程等。驰名中外的万里长城、都江堰、赵洲桥等著名建筑,不仅造型艺术美观,在材料使用和结构受力方面也达到了极高的成就,是我国古代劳动人民勤劳、智慧的结晶。

新中国成立以来,砌体结构有了较快的发展,应用范围不断扩大。不但大量应用于一般工业与民用建筑,而且在桥梁、小型渡槽、水塔、水池、挡土墙、涵洞、墩台等方面也得到了广泛应用。如福建的石砌体陈岱渡槽全长超过 4 400 m,高 20 m,渡槽支墩共计 258 座,工程规模宏大;1998 年在浙江临安建成长 187 m、高 47 m 的青山殿浆砌块石重力坝;著名的河南红旗渠也大量采用了砌体结构。

根据多年的科研成果和国内外工程经验,参考国际规范,结合我国工程建设发展的需要,制定了《砌体结构设计规范》(GB 50003—2001)(以下简称《砌体规范》)。它的实施促进我国砌体结构设计水平的进一步提高,标志着古老的砖石结构已经逐步走向现代砌体结构。

(三) 钢结构应用

钢结构的应用在我国有着光辉的历史,是由古代生铁结构发展而来的。世界上建造最早的一座铁链桥是我国的兰津桥,它建于公元 58 ~ 75 年,比欧洲最早的铁链桥早 70 多年。四川泸定大渡河铁链桥建于公元 1696 年,比英国 1779 年用铸铁建造的第一座 31 m 拱桥早 83 年,比美洲建造的 21.34 m 跨度的第一座铁索桥早 105 年。泸定桥横跨大渡河,净跨 100 m,桥宽 2.8 m,无论在建筑规模上还是建造技术上,在当时都处于世界领先地位。

近年来,钢结构在我国得到了较大发展,广泛地应用于工业与民用建筑、水利、桥梁等领域。20 世纪 50 年代,开始大量使用钢结构建造厂房,如鞍山钢铁厂、太原重型机械厂等大型厂房。20 世纪 60 年代钢结构大量用于兴建体育馆、电视塔、桥梁等,如北京体育馆的悬索屋架结构、首都体育馆的平板网架结构、广州 200 m 高的电视塔、南京长江大桥等。20 世纪 70 年代以后,随着科学技术的发展和新材料、新技术的出现,桁架、框架、网架和悬索结构等新兴结构形式不断推出,钢结构的跨度从几十米发展到百米、几百米,广泛应用于各个行业。如主桥长达 550 m、全长 3 900 m 世界第一的全焊接钢拱桥卢浦大桥;被誉为天下第一闸——三峡船闸的巨型人字钢闸门,每扇人字门为双叶,单叶最大尺寸为 $38.5\text{ m} \times 20.2\text{ m} \times 3\text{ m}$,闸首人字门重约 860 t,是目前世界上尺寸最大、重量最重的水工闸门。

水工钢结构根据不同用途,设计时必须遵守各类专门的规范。水工钢结构水下部分还不具备采用概率极限状态法计算的条件,仍采用容许应力的设计方法。《水利水电工程钢闸门设计规范》(SL 74—95)(以下简称《钢闸门规范》)适用于水下部分的水工钢结构。现行的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)(以下简称《钢结构规范》)采用以概率论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的设计表达式进行计算。不仅适用于工业与民用建筑钢结构,而且适用于水工建筑物的水上部分的钢结构。

三、本课程的任务及学习方法

建筑结构是水利水电工程专业重要的专业基础课程,又是一门实践性很强的应用型学科。学习本课程的目的:掌握结构的设计理论、设计方法及其构造知识,熟悉和运用相应的结构设计规范,为学习专业课程和从事水工结构的施工与设计打下良好的基础。

学习本课程应注意以下几个方面:

(1) 建筑结构是试验性学科。由于建筑材料的力学性能和强度理论异常复杂,难以用理论推导计算公式,建筑结构的计算公式通常是在大量的试验基础上建立起来的。学习时,既要重视这种通过试验建立的理论方法,理解经验系数的含义,又要注意公式的适用范围和条件,才能在实际工作中正确运用。

(2) 建筑结构的主要研究对象不是理想的弹性材料。钢筋混凝土、砌体材料都是由不同材料构成的组合体,其应力状态随着荷载受力阶段而变化,这与研究弹性体的材料力学和结构力学有着根本的区别,在学习中应注意它们的异同点。

(3) 正确应用构造规定。构造规定是长期科学试验和工程经验的总结,结构设计必须通过一定的构造规定加以规范和完善,因此要充分重视对构造知识的学习,不必死记硬背构造的具体规定,应注意弄懂其中的道理。

(4) 理论联系实际。本课程的实践性较强,许多内容与我国现行的各类结构设计规范和工程实践联系密切。学习时应重视实践,通过作业、课程设计、生产实习等实践教学环节,进一步熟悉和运用规范,逐步培养综合分析的能力,学以致用,为今后的实际工作打下基础。

第一章 钢筋混凝土结构的材料

钢筋混凝土结构是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土组成的。了解混凝土和钢筋的力学性能及其共同工作的原理,是掌握混凝土结构构件的受力性能、结构的计算理论和设计方法的基础。

第一节 钢 筋

一、钢筋的分类

(一) 钢筋的成分

我国建筑工程中所用钢筋按其化学成分的不同,分为碳素钢和普通低合金钢两大类。根据含碳量的多少,碳素钢分为低碳钢(含碳量小于0.25%)、中碳钢(含碳量为0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量大于0.6%)。含碳量越高,强度越高,但塑性和可焊性越差,反之则强度降低,塑性和可焊性越好。在水利工程中,主要使用低碳钢和中碳钢。普通低合金钢是在碳素钢的基础上,加入了少量的合金元素,如锰、硅、矾、钛等,可使钢材的强度、塑性等综合性能提高,从而使低合金钢钢筋具有强度高、塑性及可焊性好的特点。普通低合金钢一般按主要合金元素命名,名称前面的数字代表平均含碳量的万分数,合金元素后的尾标数字表明该元素含量取整的百分数,当其含量小于1.5%时,不加尾标;当其含量为1.5%~2.5%时,取尾标数为2。如40硅2锰钒(40Si2MnV)表示平均含碳量为0.4%,硅元素的平均含量为2%,锰、钒的含量均小于1.5%。

(二) 钢筋的外形

工程中所用的钢筋,按外形分为光面钢筋和带肋钢筋两类,如图1-1所示。光面钢筋表面是光圆的。带肋钢筋表面有两条纵向凸缘(纵肋),在纵肋凸缘两侧有许多等距离和等高度的斜向凸缘(斜肋),凸缘斜向相同的表面形成螺旋纹,凸缘斜向不同的表面形成人字纹。螺旋纹和人字纹钢筋又称为等高肋钢筋。斜向凸缘和纵向凸缘不相交,剖面几何形状呈月牙形的钢筋称为月牙肋钢筋,与同样公称直径的等高肋钢筋相比,强度稍有提高,凸缘处应力集中也得到改善,但与混凝土之间的黏结强度略低于等高肋钢筋。

(三) 钢筋的品种和级别

按生产加工工艺,钢筋可分为热轧钢筋、钢绞线、钢丝、钢棒、螺纹钢筋。

1. 热轧钢筋

热轧钢筋是碳素钢和普通低合金钢在高温状态下轧制而成的,按照其强度等级高低分为四个级别,由冶金工厂直接热轧成型。

(1) HPB235 级钢筋(Φ):是热轧光圆钢筋,低碳钢,直径为8~20 mm。质量稳定,塑性及焊接性能很好,但强度稍低,而且与混凝土的黏结稍差。因此,HPB235 级钢筋常作

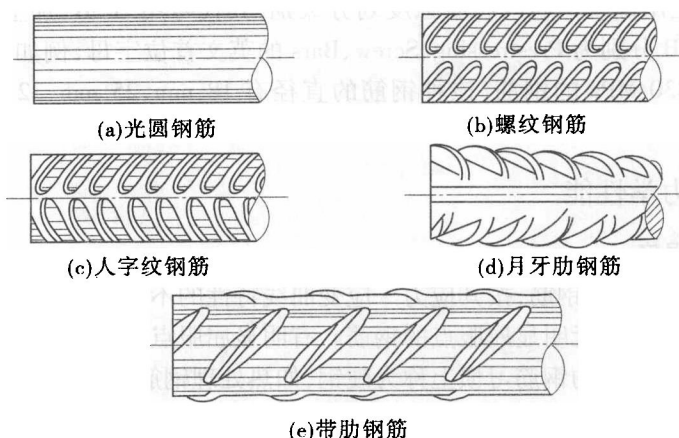


图 1-1 各种钢筋的形式

为厚度不大的板和构件的构造钢筋。

(2)HRB335 级钢筋(Φ):是热轧月牙肋钢筋,低合金钢,直径为 6~50 mm。其强度、塑性及可焊性较好,强度比较高,钢筋表面轧制成月牙肋,可增加钢筋与混凝土之间的黏结力,并保证两者能共同工作。主要作为大中型钢筋混凝土结构中的受力钢筋、预应力混凝土结构中的非预应力钢筋。

(3)HRB400 级钢筋(Φ):是热轧月牙肋钢筋,低合金钢,直径为 6~50 mm。它的强度高,并保持足够的塑性和良好的焊接性能,与混凝土的黏结性能较好,应用十分广泛。主要作为大中型钢筋混凝土结构和高强混凝土结构中的受力钢筋。

(4)RRB400 级钢筋(Φ^R):是热轧等高肋(螺纹形)钢筋,直径为 8~40 mm。钢筋热轧后,让其穿过高压水流管进行冷却,再利用钢筋芯部的余热自行回火处理。其强度大幅度提高,而塑性降低并不多,但焊接时因受热回火,强度会有所降低。

2. 钢绞线

钢绞线是由冷拉光圆钢丝及刻痕钢丝捻制的用于预应力混凝土结构的钢绞线。钢绞线直径 d 是指钢绞线外接圆直径,钢绞线按结构分为五类(见附表 2-6、附表 2-7)。

3. 钢丝

钢丝包括光面、刻痕和螺旋肋的冷拉或消除应力的高强度钢丝。消除应力钢丝直径为 4~9 mm,强度在 1 000 MPa 以上。

4. 钢棒

钢棒是由热轧盘条经冷加工后(或不经冷加工)淬火和回火所得。钢棒按表面形状分为光圆钢棒、螺旋槽钢棒、螺旋肋钢棒、带肋钢棒四种。其中螺旋槽钢棒的代号为 HG(helical grooved bar),螺旋肋钢棒的代号为 HR(helical ribbed bar)。

5. 螺纹钢筋

预应力混凝土用螺纹钢筋也称精轧螺纹钢筋,是采用热轧、轧后余热处理或热处理等工艺生产而成的,是一种热轧带有不连续的外螺纹的直条钢筋,该钢筋在任意截面处,均可用带有匹配形状的连接或锚具进行连接或锚固。

预应力混凝土用螺纹钢筋以屈服强度划分级别,其代号用“PSB”加上规定屈服强度最小值表示,P、S、B 分别为 Prestressing、Screw、Bars 的英文首位字母,例如 PSB830 表示屈服强度最小值为 830 MPa 的钢筋,该种钢筋的直径有 18 mm、25 mm、32 mm、40 mm、50 mm 五种。

二、钢筋的力学性能

(一) 钢筋的强度

钢筋混凝土中所用的钢筋,按其应力—应变曲线特性的不同分为两类:一类是有明显屈服点的钢筋,另一类是无明显屈服点的钢筋。有明显屈服点的钢筋习惯上称为软钢,如热轧钢筋;无明显屈服点的钢筋习惯上称为硬钢,如热处理钢筋、钢丝及钢绞线等。

1. 有明显屈服点的钢筋

有明显屈服点的钢筋在单向拉伸时的应力—应变曲线如图 1-2 所示。 a 点以前应力与应变成直线关系,符合虎克定律, a 点对应的应力称为比例极限, oa 段属于弹性阶段; a 点以后应变比应力增加要快,应力与应变不成正比;到达 b 点后,钢筋进入屈服阶段,产生很大的塑性变形,在应力—应变曲线中呈现一水平段 bc ,称为屈服阶段或流幅, b 点的应力称为屈服强度;过 c 点后,应力与应变继续增加,应力—应变曲线为上升的曲线,进入强化阶段,曲线到达最高点 d ,对应于 d 点的应力称为抗拉极限强度。过了 d 点以后,试件内部某一薄弱部位应变急剧增加,应力下降,应力—应变曲线为下降曲线,产生“颈缩”现象,到达 e 点钢筋被拉断,此阶段称为破坏阶段。由图 1-2 可知,有明显屈服点的钢筋的应力—应变曲线可分为四个阶段:弹性阶段、屈服阶段、强化阶段和破坏阶段。

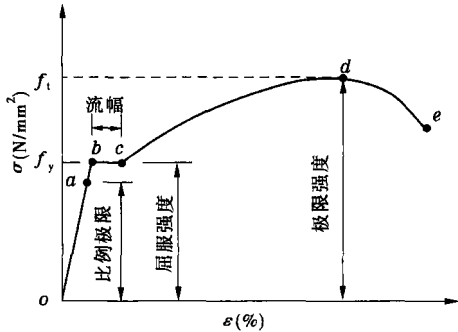


图 1-2 有明显屈服点的钢筋应力—应变曲线

有明显屈服点的钢筋有两个强度指标:一是 b 点的屈服强度,它是钢筋混凝土构件设计时钢筋强度取值的依据。因为钢筋屈服后要产生较大的塑性变形,这将使构件的变形和裂缝宽度大大增加,以致影响构件的正常使用,故设计中采用屈服强度作为钢筋的强度限值。另一个强度指标是 d 点的极限强度,一般用做钢筋的实际破坏强度。钢材中含碳量越高,屈服强度和抗拉强度就越高,延伸率就越小,流幅也相应缩短。

2. 无明显屈服点的钢筋

无明显屈服点的钢筋的应力—应变曲线如图 1-3 所示。由图可看出,从加载到拉断无明显的屈服点,没有屈服阶段,钢筋的抗拉强度较高,但变形很小。通常取相应于残余

应变为 0.2% 的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为假定屈服点,称为条件屈服强度,其值约为 0.85 倍的抗拉极限强度。

无明显屈服点的钢筋塑性差,伸长率小,采用其配筋的钢筋混凝土构件,受拉破坏时,往往突然断裂,不像用软钢的配筋构件在破坏前有明显的预兆。

各种钢筋的强度值见附表 2-4 ~ 附表 2-7。

3. 钢筋的弹性模量

钢筋弹性阶段的应力与应变的比值称为钢筋的弹性模量,用符号 E_s 表示。由于钢筋在弹性阶段的受压性能与受拉性能类同,所以同一种钢筋的受拉和受压弹性模量相同,各类钢筋的弹性模量见附表 2-8。

(二) 钢筋的塑性

钢筋除需要足够的强度外,还应具有一定的塑性变形能力。伸长率和冷弯性能是反映钢筋塑性的基本指标。

伸长率是钢筋拉断后的伸长值与原长的比率,即

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

式中 δ ——伸长率(%);

l_1 ——试件拉伸前的标距长度,短试件 $l_1 = 5d$,长试件 $l_1 = 10d$, d 为试件的直径;

l_2 ——试件拉断后的标距长度。

钢筋伸长率越大的钢筋塑性越好,拉断前有足够的伸长,使构件的破坏有明显预兆;反之,伸长率越小的钢筋塑性越差,其破坏具有突发性,呈脆性特征。

冷弯是在常温下将钢筋绕某一规定直径的辊轴进行弯曲,如图 1-4 所示。在达到规定的冷弯角度时,钢筋不发生裂纹、分层或断裂,则钢筋的冷弯性能符合要求。常用冷弯角度 α 和弯心直径 D 反映冷弯性能。弯心直径越小,冷弯角度越大,钢筋的冷弯性能越好。

三、钢筋的冷加工

对热轧钢筋进行机械冷加工后,可提高钢筋的屈服强度,达到节约钢材的目的。常用的冷加工方法有冷拉、冷拔和冷轧。

(一) 钢筋的冷拉

冷拉是指在常温下,用张拉设备(如卷扬机)将钢筋拉伸超过它的屈服强度,然后卸载为零,经过一段时间后再拉伸,钢筋就会获得比原来屈服强度更高的新的屈服强度。冷拉只提高了钢筋的抗拉强度,不能提高其抗压强度,计算时仍取原抗压强度。

(二) 钢筋的冷拔

冷拔是将直径 6 ~ 8 mm 的 HPB235 级热轧钢筋用强力拨过比其直径小的硬质合金拔

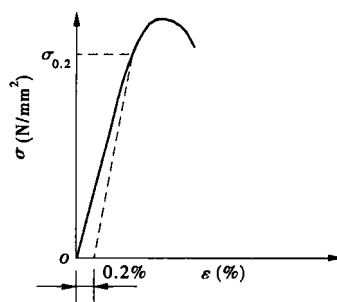


图 1-3 无明显屈服点钢筋的应力—应变曲线

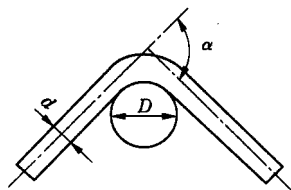


图 1-4 钢筋的冷弯

丝模。在纵向拉力和横向挤压力的共同作用下,钢筋截面变小而长度增加,内部组织结构发生变化,钢筋强度提高,塑性降低。冷拔后,钢筋的抗拉强度和抗压强度都得到提高。

(三) 钢筋的冷轧

冷轧钢筋分为冷轧带肋钢筋和冷轧扭钢筋。冷轧带肋钢筋是由热轧圆盘条在常温下冷轧成带有斜肋的月牙肋变形钢筋,其屈服强度明显提高,黏结锚固性能也得到了改善。直径为 4 ~ 12 mm。冷轧扭钢筋是将 HPB235 级圆盘钢筋冷轧成扁平再扭转而成的钢筋,直径为 6.5 ~ 14 mm。

由于冷加工钢筋的质量不易严格控制,且性质较脆,黏结力较小,延性较差,因此在使用时应符合专门的规程的规定,并逐渐由强度高且性能好的预应力钢筋(钢丝、钢绞线)取代。

四、钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

(1) 钢筋应具有一定的强度(屈服强度和抗拉极限强度)。采用强度较高的钢筋可以节约钢材,获得很好的经济效益。

(2) 钢筋应具有足够的塑性(伸长率和冷弯性能)。要求钢筋在断裂前有足够的变形,能给人以破坏的预兆。

(3) 钢筋与混凝土应具有较大的黏结力。黏结力是保证钢筋和混凝土能够共同工作的基础。钢筋表面形状及表面积对黏结力很重要。

(4) 钢筋应具有良好的焊接性能。要求焊接后钢筋在接头处不产生裂纹及过大变形。

综上所述,钢筋混凝土结构中的受力钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋,宜优先采用 HRB400 级和 HRB335 级的钢筋;也可采用 HPB235 级及 RRB400 级钢筋。预应力混凝土结构中所用预应力钢筋,宜采用高强的钢绞线、钢丝,也可采用螺纹钢筋或钢棒。

第二节 混凝土

混凝土是由水泥、水和集料(细集料砂、粗集料石子)按一定配合比搅拌后,入模振捣、养护硬化形成的人造石材。水泥和水在凝结硬化过程中形成水泥胶块把集料黏结在一起。水泥结晶体和砂石集料组成混凝土的弹性骨架,起着承受外力的主要作用,并使混凝土具有弹性变形的特点。水泥凝胶体则起着调整和扩散混凝土应力的作用,并使混凝土具有塑性变形的性质。由于混凝土的内部结构复杂,因此其力学性能也极为复杂。

一、混凝土的强度

混凝土的强度指标主要有立方体抗压强度标准值、轴心抗压强度标准值和轴心抗拉强度标准值。

(一) 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

混凝土在结构中主要承受压力,抗压强度是混凝土的重要力学指标。由于混凝土受许多因素影响,因此必须有一个标准的强度测定方法和相应的强度评定标准。

《规范》规定:用边长为 150 mm 的立方体试件,在标准条件下(温度为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, 相