

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

结构设计原理

JIEGOU SHEJI YUANLI

邹花兰 主编



黄河水利出版社

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材

结构设计原理

主 编 邹花兰

副主编 邓 超

主 审 陈晓明

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书以原公路专业《结构设计原理》为基础,根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)及《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)等规范作了修订。全书共16章,主要介绍了钢筋混凝土、预应力混凝土、圬工结构的材料力学性质、设计原理和构造要求,包括如何合理选择构件的截面尺寸及配筋,验算构件的承载力、稳定度、刚度和裂缝,各类结构的构造等。

本书可作为高等职业技术学院路桥、监理、检测、高等级公路养护等专业教材,亦可供中专学校师生使用,并可作为从事公路与桥梁工程设计、施工、监理工作人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/邹花兰主编. —郑州:黄河水利出版社,
2008.8

道路与桥梁专业“十一五”高职高专应用型规划教材
· ISBN 978 - 7 - 80734 - 425 - 4

I. 结… II. 邹… III. ①建筑结构—结构设计—高等学校:
技术学校—教材 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064158 号

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940

传真:0371 - 66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15.5

字数:360千字

印数:1—4 100

版次:2008年8月第1版

印次:2008年8月第1次印刷

定价:29.00元

前言

随着我国 2004 年 10 月 1 日《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)及 2005 年《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)的正式实施,各校急需根据新规范编写教材。本教材正是在这种背景下编写出版的。

在编写过程中,编者着力贯彻以实践能力为本位,注重技能培养,注重结构基本概念、基本原理、基本方法和结构基本构造的介绍;在教材内容的取舍上,注重针对性和实用性,坚持以必需和够用为原则,并努力做到理论联系实际。全书在讲清基本概念和基本原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法,列举了较多的计算实例,并结合了我国的工程实际和研究成果,力求文字简练、深入浅出及理论联系实际。为了便于教学,各章前均编写了学习目标,且课后有思考与习题。

本课程建议按 72 个学时讲授,各章课时分配如下。

学时建议分配表

章 名	计划课时
绪论	1
第一章 钢筋的物理力学性能	3
第二章 混凝土的力学性能	4
第三章 钢筋与混凝土结构	2
第四章 极限状态法设计的原则	2
第五章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力	14
第六章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力	8
第七章 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	6
第八章 钢筋混凝土轴心受压构件承载力	4
第九章 钢筋混凝土偏心受压构件承载力	4
第十章 预应力混凝土结构的基本概念及其材料	2
第十一章 预应力混凝土受弯构件的计算	12
第十二章 其他预应力混凝土结构简介	2
第十三章 圬工结构的基本概念与材料	2
第十四章 圬工结构的承载力计算	4
第十五章 钢材	1
第十六章 钢管混凝土及钢-混凝土组合梁	1
合 计	72

本教材依据我国现行公路桥涵设计规范——《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)及 2005 年《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)编写。

参加本书编写工作的有:江西交通职业技术学院邹花兰编写绪论、第四章、第六章和

第七章,邓超编写第五章、第八章和第九章,熊墨圣编写第十章和第十二章;黄河水利职业技术学院胡海彦编写第一章、第二章、第三章和第十六章;河南交通职业技术学院贾悦编写第十一章;甘肃建筑职业技术学院任国志编写第十三章、第十四章和第十五章。全书由邹花兰统稿。

全书由邹花兰任主编,由邓超任副主编,由江西交通职业技术学院陈晓明主审。陈老师对全书进行了十分认真的审阅,并提出了不少建设性的意见,对保证本书的质量起了重要作用,谨此表示衷心感谢!

本书在编写过程中参考了有关文献,在此对这些文献的作者表示衷心的感谢!

由于对新规定理解不深,加之水平有限,书中疏漏不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2008年2月

章 节	编 者
第一章	胡海彦
第二章	胡海彦
第三章	胡海彦
第四章	熊墨圣
第五章	邓超
第六章	邓超
第七章	邓超
第八章	邓超
第九章	邓超
第十章	熊墨圣
第十一章	贾悦
第十二章	熊墨圣
第十三章	任国志
第十四章	任国志
第十五章	任国志
第十六章	胡海彦
附录	邹花兰
参考文献	邹花兰
索引	邹花兰

目 录

(87)	.....
(88)	.....
(89)	.....
(83)	.....
(42)	.....
前 言	.....
绪 论	.....	(1)
(103)	.....
(103)	第一篇 钢筋混凝土结构	
(103)	.....
第一章 钢筋的物理力学性能	.....	(4)
(70)	第一节 钢筋的分类	(4)
(11)	第二节 钢筋的强度与变形	(6)
(14)	第三节 钢筋的接头、弯钩和弯折	(11)
(6)	第四节 钢筋的腐蚀	(15)
(18)	复习思考题	(18)
第二章 混凝土的力学性能	.....	(19)
(22)	第一节 混凝土的单轴受力强度	(19)
(23)	第二节 混凝土的多轴强度	(22)
(26)	第三节 混凝土的变形	(24)
(128)	复习思考题	(28)
第三章 钢筋与混凝土结构	.....	(29)
(32)	第一节 钢筋混凝土结构的基本概念	(29)
(34)	第二节 钢筋与混凝土之间的黏结	(31)
(40)	复习思考题	(34)
第四章 极限状态法设计的原则	.....	(35)
	第一节 作用及作用代表值	(35)
	第二节 极限状态法计算原则	(37)
(17)	第三节 作用效应组合	(40)
(42)	复习思考题	(42)
第五章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力	.....	(43)
(46)	第一节 受弯构件的截面形式与构造	(43)
(82)	第二节 受弯构件正截面受力全过程和破坏特征	(49)
(92)	第三节 受弯构件正截面承载力计算的基本原则	(53)
(99)	第四节 单筋矩形截面受弯构件计算	(56)
(10)	第五节 双筋矩形截面受弯构件计算	(67)
(80)	第六节 T形截面受弯构件计算	(71)

复习思考题	(78)
第六章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力	(80)
第一节 受弯构件斜截面的受力全过程和破坏形态	(80)
第二节 影响受弯构件斜截面抗剪承载力的主要因素	(83)
第三节 受弯构件斜截面抗剪承载力计算	(84)
第四节 全梁承载力校核与构造要求	(90)
(1) 复习思考题	(102)
第七章 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	(103)
第一节 概 述	(103)
(1) 第二节 换算截面	(103)
(2) 第三节 受弯构件施工阶段应力计算	(107)
(3) 第四节 受弯构件变形(挠度)验算	(111)
(4) 第五节 受弯构件裂缝宽度验算	(114)
(5) 复习思考题	(116)
第八章 钢筋混凝土轴心受压构件承载力	(118)
(1) 第一节 构造要求	(118)
(2) 第二节 普通箍筋柱计算	(122)
(3) 第三节 螺旋箍筋柱计算	(123)
(4) 复习思考题	(126)
第九章 钢筋混凝土偏心受压构件承载力	(128)
(1) 第一节 偏心受压构件正截面受力特征及破坏形态	(128)
(2) 第二节 偏心受压构件的纵向弯曲	(132)
(3) 第三节 矩形截面偏心受压构件计算	(134)
(4) 第四节 圆形截面偏心受压构件计算简介	(140)
(5) 复习思考题	(145)
(2)	
(3)	
(4)	
(5)	
(6)	
(7)	
(8)	
(9)	
(10)	
(11)	
(12)	
(13)	
(14)	
(15)	
(16)	
(17)	
(18)	
(19)	
(20)	
(21)	
(22)	
(23)	
(24)	
(25)	
(26)	
(27)	
(28)	
(29)	
(30)	
(31)	
(32)	
(33)	
(34)	
(35)	
(36)	
(37)	
(38)	
(39)	
(40)	
(41)	
(42)	
(43)	
(44)	
(45)	
(46)	
(47)	
(48)	
(49)	
(50)	
(51)	
(52)	
(53)	
(54)	
(55)	
(56)	
(57)	
(58)	
(59)	
(60)	
(61)	
(62)	
(63)	
(64)	
(65)	
(66)	
(67)	
(68)	
(69)	
(70)	
(71)	
(72)	
(73)	
(74)	
(75)	
(76)	
(77)	
(78)	
(79)	
(80)	
(81)	
(82)	
(83)	
(84)	
(85)	
(86)	
(87)	
(88)	
(89)	
(90)	
(91)	
(92)	
(93)	
(94)	
(95)	
(96)	
(97)	
(98)	
(99)	
(100)	

第二篇 预应力混凝土结构

第十章 预应力混凝土结构的基本概念及其材料	(147)
(1) 第一节 概 述	(147)
(2) 第二节 预加应力的方法与设备	(150)
(3) 第三节 预应力混凝土结构的材料	(156)
(4) 复习思考题	(158)
第十一章 预应力混凝土受弯构件的计算	(159)
(1) 第一节 概 述	(159)
(2) 第二节 预加力的计算与预应力损失的估算	(161)
(3) 第三节 预应力混凝土受弯构件的应力计算	(168)

第四节	预应力混凝土受弯构件的承载力计算	(174)
第五节	端部锚固区计算	(180)
第六节	预应力混凝土构件的构造要求	(183)
第七节	预应力混凝土简支梁计算示例	(187)
	复习思考题	(195)
第十二章	其他预应力混凝土结构简介	(196)
第一节	部分预应力混凝土受弯结构	(196)
第二节	无黏结预应力混凝土受弯结构	(199)
	复习思考题	(201)

第三篇 砖、石及混凝土结构

第十三章	圬工结构的基本概念与材料	(202)
第一节	概 述	(202)
第二节	材料种类	(203)
第三节	砌体的强度与变形	(206)
	复习思考题	(212)
第十四章	圬工结构的承载力计算	(213)
第一节	设计原则	(213)
第二节	圬工轴心受压构件正截面承载力计算	(213)
第三节	偏心受压构件正截面强度计算	(214)
第四节	受弯、直接受剪构件的承载力计算	(220)
	复习思考题	(221)

第四篇 钢结构

第十五章	钢 材	(222)
第一节	钢材的主要机械性能	(222)
第二节	影响钢材性能的主要因素	(224)
第三节	钢材的种类及其选用	(227)
	复习思考题	(229)
第十六章	钢管混凝土及钢-混凝土组合梁	(230)
第一节	钢管混凝土	(230)
第二节	钢-混凝土组合梁	(232)
	复习思考题	(237)
参考文献		(238)

绪 论

《结构设计原理》主要讨论各种工程结构基本构件的受力性能、计算方法和构造设计原理,它是学习和掌握桥梁工程及其他道路人工构造物设计的基础。

桥梁、涵洞、隧道、挡土墙等都是公路工程中的构造物,它们都必须承担各种外荷载的作用,其中的承重部分称为结构。例如,桥梁承重结构的基本构件有桥面板、主梁、横梁、墩台、拱、索等。

构造物的结构都是由若干基本构件连接而成的。按受力情况不同,可将基本构件分为受弯、受压、受拉、受扭等典型的基本构件。

按建造结构的主要材料不同,可将结构分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构、钢结构等。

本书将介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构和钢结构的材料特性及基本构件受力性能、设计计算方法和构造。

一、各种工程结构的特点及使用范围

(一) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构由钢筋和混凝土两种力学性质不同的材料组成,具有可就地取材、耐久性好、刚度大、可模性好、整体性好等优点。但是,钢筋混凝土结构也有自重较大、抗裂性较差、修补困难等缺点。

在公路与城市道路工程和桥梁工程中,钢筋混凝土结构主要用于中小跨径桥、涵洞、挡土墙,以及形状复杂的中小型构件等。

(二) 预应力混凝土结构

预应力混凝土结构是为了解决钢筋混凝土结构在使用阶段容易开裂的问题而发展起来的结构。它采用的是高强度钢筋和高强度混凝土材料,并采用相应张拉钢筋的施工工艺建立预加应力的结构。

预应力混凝土结构由于采用了高强度材料和预应力工艺,节省了材料,减小了构件截面尺寸,进而减轻了自重,增大了跨越能力。

预应力技术可作为装配的一种可靠手段,能很好地将部件装配成整体结构,形成悬臂浇筑和悬臂拼装等不采用支架、不影响通航的施工方法,在大跨径桥梁施工中获得广泛应用。

尽管预应力混凝土结构有上述优点,但由于高强度材料的单价高、施工工序多、要求有经验及熟练的技术工人施工,因此预应力混凝土结构仅用于建造大跨径桥梁。

(三) 砌体结构

砌体结构是用天然石料或混凝土预制块等材料按一定规则砌筑成整体的结构。其特点是材料易于就地取材、耐久性好、工艺简单。但是,砌体结构的自重一般较大,施工中机

械化程度低。

在公路与城市道路工程和桥梁工程中,砌体结构多用于中小跨径的拱桥、桥墩(台)、挡土墙、涵洞、道路护坡等工程中。

(四) 钢结构

钢结构一般是由轧制的型钢或钢板通过焊接或螺栓等连接组成的结构。钢结构的可靠性高,其基本构件可在工厂加工制作,故施工效率高,周期短。但相对于混凝土结构而言,造价高,而且养护费用也高。

钢结构的应用范围很广,例如,大跨径的钢桥及钢支架、钢模板、钢围堰、钢挂篮等临时结构中。

二、结构设计的基本要求

公路桥梁应根据所在公路的使用任务、性质和将来的发展需要,遵循适用、经济、安全、美观和利于环保的原则进行设计。设计的目的是要使所设计的结构,在规定的时间内具有足够的可靠性,即要求它们在承受各种作用后仍具有足够的承载能力、刚度、稳定性和耐久性。承载能力要求是指在设计使用年限内,结构及各个构件(包括联结件)具有足够的安全储备;刚度要求是指在计算荷载作用下,结构及各个构件的变形必须控制在容许范围之内;稳定性要求是指结构整体及其各个组成构件在计算荷载作用下都处于稳定的平衡状态;耐久性是指结构和构件在设计使用年限内,不发生破坏或产生过大的裂缝而影响正常使用。结构构件除应满足使用期间的承载力、刚度、稳定性要求外,还应该满足制造、运输和安装过程中的承载力、刚度和稳定性要求。

结构及各个构件在满足可靠性的同时,还应具有经济性。构件的可靠性与材料性质、几何形状、截面尺寸、受力特点、工作条件、构造特点以及施工质量等因素有关。可靠性和经济性是相互矛盾的。当其他条件已确定时,如果构件的尺寸过小,则结构有可能会因为产生过大的变形而不能正常使用,或者因为承载能力不够而导致结构物的崩塌。反之,如果截面尺寸过大,则构件的承载能力又将过分富裕,从而造成人力、物力的过大耗费。结构设计所要解决的根本问题,就是要在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡,使所建造的结构既经济合理,又安全可靠。

三、学习本课程应注意的问题

《结构设计原理》课程的任务,是按照桥梁工程专业的要求介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、砌体结构和钢结构的基本构件设计计算原理、方法以及构造。通过本课程的学习,要求学生具备工程结构的基本知识,掌握各种基本构件的受力性能及其强度、变形的规律,并能根据有关设计规范和资料进行构件的设计。

《结构设计原理》课程是一门重要的专业技术基础课,其主要先修课有材料力学、结构力学和建筑材料,它是学习《桥梁工程》的基础。

学习本课程应注意以下几个方面的问题。

(一) 公式的使用条件和适用范围

《材料力学》主要研究单一、均质、连续、弹性材料的构件。而《结构设计原理》研究的

是工程结构的构件,工程结构的某些材料(如混凝土)不一定是均质、连续和弹性的,工程结构的一些材料的强度和变形规律,在很大程度上是依靠大量的试验资料分析给出的经验关系。这样在《结构设计原理》中,构件的某些计算公式是根据试验研究及理论分析得到的半经验半理论公式。在学习和运用这些公式时,要正确理解公式的本质,特别注意公式的使用条件及适用范围。

(二) 设计方案的多样性

结构设计应遵循适用、经济、安全、美观和注重环保的原则。它涉及到方案比较、材料选择、构件选型及合理布置等多方面的内容,是一个多因素的综合性问题。对于构件设计,不仅是构件承载力和变形的计算,还包括截面形式和钢筋布置等。同一构件在给定的材料和同样的荷载作用下,即使截面形式相同,设计结果的截面尺寸和钢筋布置也不是唯一的。设计结果是否满足要求主要看其是否符合设计规范要求,并且是否满足经济性和施工可行性等。

(三) 学会应用设计规范

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。它是贯彻国家技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一和标准依据;也是校核工程结构设计的依据。

我国交通部颁布的公路桥涵设计规范有:《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)、《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86)。本课程中关于基本构件的设计原则、计算公式、计算方法及构造要求均以上述规范为依据。为了表述方便,在本书中将上述设计规范统称为《公路桥规》。

熟悉并学会应用有关规范是学习本课程的重要任务之一,因此应自觉结合课程内容学习,以达到逐步熟悉并正确应用的目的。

(四) 重视各种构造措施

现行结构实用计算方法一般只考虑了荷载作用,对于其他影响,如混凝土收缩、温度影响以及地基不均匀沉降等,难以用计算公式表达。规范根据长期实践经验,总结出了一些构造措施来考虑这些因素的影响。所谓构造措施,就是对结构计算中未能详细考虑或难于定量计算的因素,在满足施工简便、经济合理的前提下所采取的技术措施,它与结构的计算和设计是相辅相成的两个方面。因此,学习时不但要重视各种计算,还要重视构造措施,设计时必须满足各项要求。但对于构造规定,不能死记硬背,而应注重理解。

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 钢筋的物理力学性能

学习目标

1. 重点掌握钢筋的物理力学性能及钢筋的接头、弯钩和弯折的构造要求。
2. 掌握钢筋的分类及表示符号。
3. 了解钢筋的电化学腐蚀机理。

第一节 钢筋的分类

一、按化学成分分类

钢筋混凝土结构所采用的钢筋按其化学成分,可分为碳素钢及普通低合金钢两大类。

(一) 碳素钢

碳素钢除了含铁、碳两种基本元素外,还含有少量硅、锰、硫、磷等元素。根据含碳量的多少,碳素钢又可分为低碳钢(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%)。随着含碳量的增加,钢材的强度提高,塑性降低,可焊性变差。低碳钢俗称软钢;中、高碳钢俗称硬钢。

(二) 普通低合金钢

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Mn(锰)、Si(硅)、V(钒)、Ti(钛)、B(硼)等,使钢筋的强度得到提高,但塑性性能影响不大。

二、按外形特征分类

钢筋按其外形特征的不同,可分为光面钢筋和变形钢筋两类。变形钢筋包括螺纹钢、人字纹钢筋和月牙纹钢筋等,如图1-1所示。带肋钢筋增强了混凝土与钢筋的黏结力,提高了钢筋混凝土结构的整体性,所以被广泛应用。

三、按生产工艺、机械性能和加工条件分类

钢筋按其生产工艺、机械性能和加工条件,可分为热轧钢筋、余热处理钢筋、冷轧带肋

钢筋、精轧螺纹钢和钢丝。

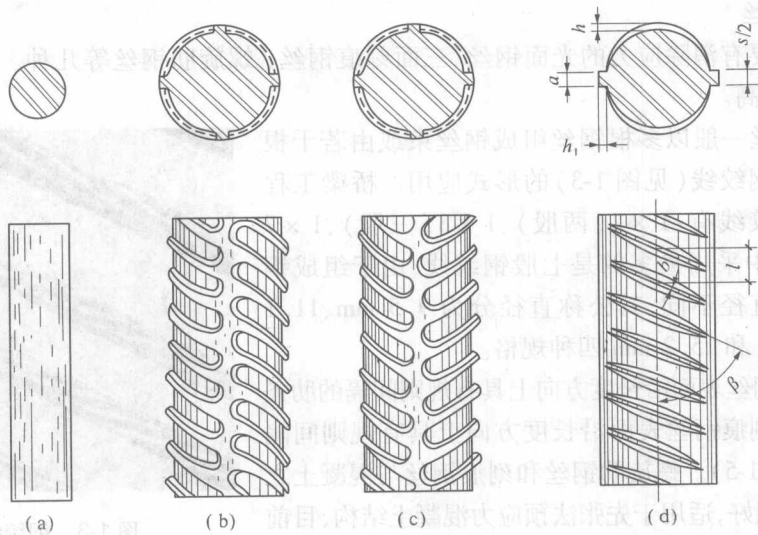


图 1-1 各种钢筋的外形

(一) 热轧钢筋

热轧钢筋是将钢材在高于再结晶温度状态下,用机械方法轧制而成的钢筋。按其强度由低到高分为 R235、HRB335、HRB400、HRB500 几个等级。

R235 钢筋横截面为圆形且表面光滑,又称热轧光圆钢筋。R235 钢筋相当于原标准的 I 级钢筋,厂家生产的公称直径范围为 8~20 mm。

HRB335、HRB400、HRB500 钢筋横截面为圆形且表面通常带有两条纵肋和沿长度方向均匀分布的横肋,又称热轧带肋钢筋。HRB335 钢筋相当于原标准的 II 级钢筋,厂家生产的公称直径范围为 6~50 mm,推荐采用直径一般不超过 32 mm。HRB400 钢筋(余热处理钢筋)相当于原标准的 III 级钢筋,HRB400 钢筋厂家生产的公称直径范围为 6~50 mm。

(二) 余热处理钢筋

余热处理钢筋,即在钢筋经过热轧后立即穿水,进行表面冷却,然后利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋。余热处理钢筋目前只有 KL400,相当于原标准 III 级钢筋,KL400 钢筋厂家生产的公称直径范围为 8~40 mm。

(三) 冷轧带肋钢筋

冷轧带肋钢筋是由热轧圆盘条经冷拉后,在其表面冷轧成带有斜肋的钢筋,其屈服强度明显提高,按其强度由低到高分分为 CRB550、CRB650、CRB800、CRB970、CRB1170 五个级别。

(四) 精轧螺纹钢

高强度精轧螺纹钢(见图 1-2)是在整根钢筋上轧有外螺纹的大直径、高强度、高尺寸精度的直条钢筋。该钢筋在任意截面处都可拧上带有内螺纹的连接器进行连接或拧上带

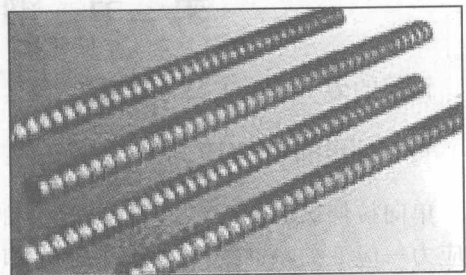


图 1-2 精轧螺纹钢

螺纹的螺帽进行锚固。厂家供货规格有 $d = 18\text{ mm}$ 、 25 mm 、 32 mm 和 40 mm 四种。

(五) 钢丝

钢丝主要有消除应力的光面钢丝、三面刻痕钢丝、螺旋肋钢丝等几种。钢丝直径愈细,其强度愈高。

光面钢丝一般以多根钢丝组成钢丝束或由若干根钢丝绞捻成钢绞线(见图 1-3)的形式应用。桥梁工程中常用的钢绞线有: 1×2 (两股)、 1×3 (三股)、 1×7 (七股)。其中采用最多的是七股钢绞线,由于组成钢绞线的钢丝直径不同,其公称直径分为 9.5 mm 、 11.1 mm 、 12.7 mm 和 15.2 mm 四种规格。

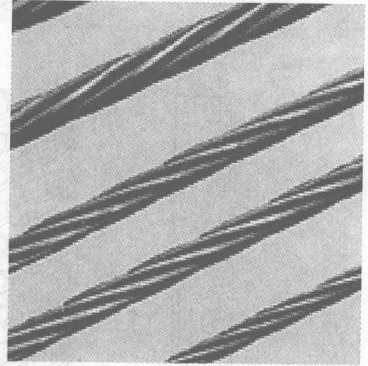


图 1-3 钢绞线

螺旋肋钢丝表面沿长度方向上具有规则间隔的肋条(见图 1-4);刻痕钢丝表面沿长度方向上具有规则间隔的压痕(见图 1-5)。螺旋肋钢丝和刻痕钢丝与混凝土之间的黏结性能好,适用于先张法预应力混凝土结构,目前我国生产的螺旋肋钢丝和刻痕钢丝的规格为 $d = 4 \sim 9\text{ mm}$ 。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)推荐,钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土构件中的普通钢筋宜选用热轧 R235、HRB335、HRB400 及 KL400 钢筋;预应力钢筋混凝土构件中箍筋应选用其中的带肋钢筋;按构造要求配置的钢筋网可采用冷轧带肋钢筋。

预应力钢筋混凝土构件中的预应力钢筋应选用钢绞线、钢丝;中、小型构件或竖、横向预应力钢筋,也可选用精轧螺纹钢。

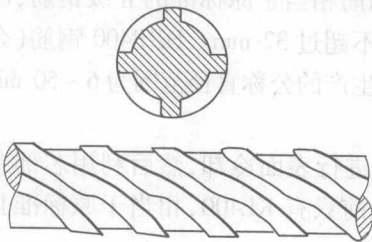


图 1-4 螺旋肋钢丝

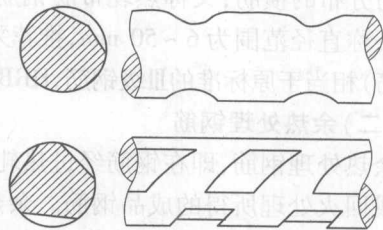


图 1-5 刻痕钢丝

第二节 钢筋的强度与变形

钢筋的力学性能主要有强度和变形(包括弹性变形和塑性变形)等。

一、钢筋的拉伸应力—应变关系曲线

单向拉伸试验是确定钢筋力学性能的主要手段。通过试验可以看到,钢筋的一次拉伸应力—应变关系曲线可分为两大类,即有明显屈服点的(见图 1-6)和没有明显屈服点的(见图 1-7)。

(一)有明显屈服点的钢筋应力—应变曲线

低碳钢(如热轧钢筋)属于有明显屈服点的钢筋,其一次拉伸试验的典型应力—应变曲线如图 1-6 所示。通过单向拉伸试验可以获得钢材的屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 和延伸率 δ 等基本机械性能指标。

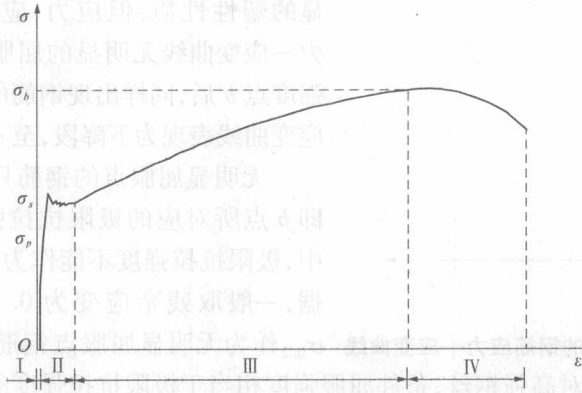


图 1-6 低碳钢的应力—应变曲线

从图 1-6 可以看出低碳钢从加载到拉断,共经历四个阶段。

第 I 阶段:应力—应变呈线性关系,卸载后,试件能够恢复原长,故此阶段称为弹性阶段。弹性阶段最高点所对应的应力称为弹性极限 σ_p 。

第 II 阶段:当应力超过弹性极限后,应变较应力增加的快,应力—应变曲线形成屈服台阶。此时,应变急剧增长,而应力却在很小的范围内波动,这个阶段称为屈服阶段,如将外力卸去,试件的变形不可能完全恢复,不能恢复的那部分变形称为残余变形(或称为塑性变形)。工程上取屈服阶段的最低点作为规定计算强度的依据,称为屈服强度,以 σ_s 表示。

第 III 阶段:屈服阶段以后,钢筋抵抗外力的能力又得到恢复,应力与应变关系为上升的曲线,这个阶段称为强化阶段。对应于强化阶段最高点的应力就是钢筋的抗拉极限强度,以 σ_b 表示。

第 IV 阶段:钢筋在达到抗拉极限强度 σ_b 以后,在试件薄弱处的截面将开始显著缩小,产生颈缩现象,塑性变形迅速增大,拉应力随之下降,最后在颈缩处断裂,这个阶段称为破坏阶段。

有明显屈服点的钢筋有两个强度指标:一个是屈服强度 σ_s ,另一个是抗拉极限强度 σ_b 。工程上取屈服强度作为钢筋强度取值的依据,因为钢筋屈服后产生了较大的塑性变形,将使构件变形和裂缝宽度大大增加,以致无法正常使用。钢筋的极限强度是钢筋的实际破坏强度,不能作为设计中钢筋强度取值的依据。因此,钢筋计算取屈服强度 σ_s 作为钢筋的强度限值,抗拉极限强度 σ_b 作为钢筋的强度储备。

(二)无明显屈服点的钢筋应力—应变曲线

并非所有的钢筋都具有明显的屈服点和屈服台阶,当含碳量很少(0.1%以下)或含碳量很高(0.3%以上)时都没有屈服台阶出现(如各种类型的钢丝)。无屈服台阶的钢筋一次拉伸试验时的典型应力—应变曲线如图 1-7 所示。

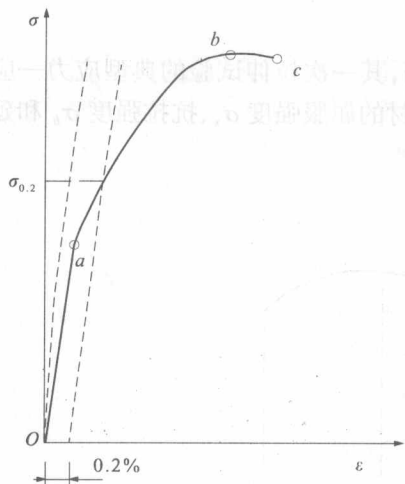


图 1-7 无明显屈服点的钢筋应力—应变曲线 $\sigma_{0.2}$ 作为无明显屈服点钢筋的强度限值,通常称为条件屈服强度。对高强钢丝,条件屈服强度相当于极限抗拉强度的 0.85 倍。为简化计算,《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)取 $\sigma_{0.2} = 0.8 \sigma_b$,其中 σ_b 为无明显屈服点钢筋的抗拉极限强度。

二、钢筋的塑性性能

钢筋除应具有足够的强度外,还应具有一定的塑性变形能力。钢筋的塑性性能通常用延伸率和冷弯性能两个指标来衡量。

钢筋延伸率是指钢筋试件上标距为 $10d$ 或 $5d$ (d 为钢筋试件直径) 范围内的极限伸长率,以试件被拉断时最大绝对伸长值和试件原标距之比的百分数来表示,记为 δ_{10} 或 δ_5 。钢筋的延伸率越大,说明钢筋的塑性越好,越容易加工,对冲击和急变荷载的抵抗能力越强。

冷弯是将直径为 d 的钢筋围绕某个规定直径 D (规定 D 为 $1d, 2d, 3d, 4d, 5d$) 的辊轴弯曲成一定的角度 (90° 或 180°),弯曲后钢筋应无裂纹、鳞落或断裂现象 (图 1-8)。弯芯 (辊轴) 的直径越小,弯转角越大,说明钢筋的塑性越好。

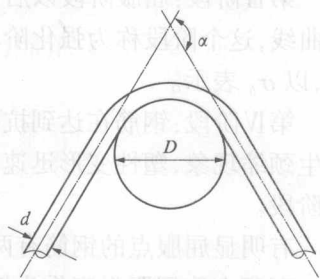


图 1-8 钢筋的冷弯

三、钢筋的松弛

钢筋在持久不变的应力作用下,应变随持续加荷时间延长而继续增加的现象称为蠕变 (又称徐变);钢筋受力后,在维持长度不变的情况下,应力随时间延长而降低的现象称为松弛或应力松弛 (又称为徐舒)。对于预应力混凝土结构,预应力钢筋张拉后长度基本保持不变,将会产生松弛现象,从而引起预应力损失。

钢筋的松弛随时间增长而加大,总的趋势是初期发展较快,第 1 小时内松弛量最大,24 h 内约完成 50% 以上,1~2 个月基本完成,但在持续 5~8 年的试验中,仍可测得松弛影响。

钢筋的松弛还与初始应力大小、温度和钢种等因素有关。初始应力越大则松弛也越大。温度对松弛也有很大影响,应力松弛值随温度的升高而增加,同时这种影响还会长期

存在。因此,对蒸汽养生的预应力混凝土构件应考虑温度对钢筋松弛的影响。不同钢种的钢筋松弛值差异很大。低合金钢热轧钢筋的松弛值相对较小,热处理钢筋次之,高强钢丝和钢绞线的松弛值相对较大。目前我国生产的高强钢丝和钢绞线按其生产工艺不同分为Ⅰ级松弛(普通松弛)和Ⅱ级松弛(低松弛)两种类型。低松弛钢丝和钢绞线的松弛值,约为普通松弛值的1/3。

四、钢筋的冷加工

钢筋经过机械冷加工产生塑性变形后,其屈服强度和极限强度均会提高,但塑性和弹性模量则会下降的现象称为钢筋的冷作硬化(变形硬化或冷加工硬化)。

工程上常用冷加工的方法来提高钢筋的强度。冷加工钢筋的方法主要有冷拉和冷拔两种。

(一)冷拉

冷拉是在常温下用机械方法将具有明显屈服点的钢筋拉到超过屈服强度,即强化阶段中的某一个应力值(如图1-9中K点),然后卸载至零。由于K点的应力已超过弹性极限,因而卸载至应力为零时,应变并不等于零,其残余应变为 OO' 。若卸载后立即重新加载,应力—应变关系将沿着曲线 $O'Kde$ 变化。K点为新的屈服点(但无流幅),这表明钢筋经冷拉后,屈服强度提高,但塑性降低,这种现象称为冷拉硬化。

如果卸去荷载后,在自然条件下放置一段时间或进行人工加热后,再重新进行拉伸,其应力—应变关系将沿着曲线 $O'K'd'e'$ 变化,屈服强度提高到 K' 点,并恢复了屈服台阶,这种现象称为时效(或时效硬化)。时效硬化和温度有很大关系,例如,R235(Q235)钢筋时效硬化在常温时需20d,若温度为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,仅需2h即可完成。但继续提高温度有可能得到相反的效果,例如,加温到 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时强度反而有可能降低,当加温到 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时钢材会恢复到冷拉前的力学性能。因此,为避免出现冷拉钢筋在焊接时由于温度过高而软化,需要焊接的冷拉钢筋都是先焊好后再进行冷拉。

经过冷拉的钢筋,其抗拉屈服强度比原来有所提高,但屈服台阶的长度缩短,材料的塑性能有所降低。冷拉后屈服强度提高和塑性性能降低的程度与冷拉控制应力的有关。冷拉控制应力越高,屈服强度提高的幅度越大,随之而来的塑性性能降低的也越多。因此,进行冷拉操作时,应合理控制冷拉参数,兼顾屈服强度提高和塑性性能降低两个方面的要求,使得既能适当提高屈服强度,又使塑性性能不致降低太多。保证冷拉钢筋质量的参数有两个,即冷拉控制应力 σ_K 和冷拉率 ϵ_K (冷拉控制应力点对应的拉伸率称冷拉率)。工程上若只控制张拉应力或应变称为单控,若同时控制张拉应力和应变称为双控,一般情况下应采用双控。

需要注意的是,冷拉钢筋只能提高其抗拉强度,不能提高其抗压强度。

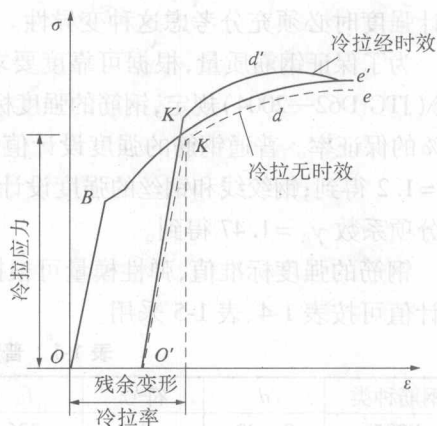


图1-9 钢筋冷拉后的应力—应变曲线