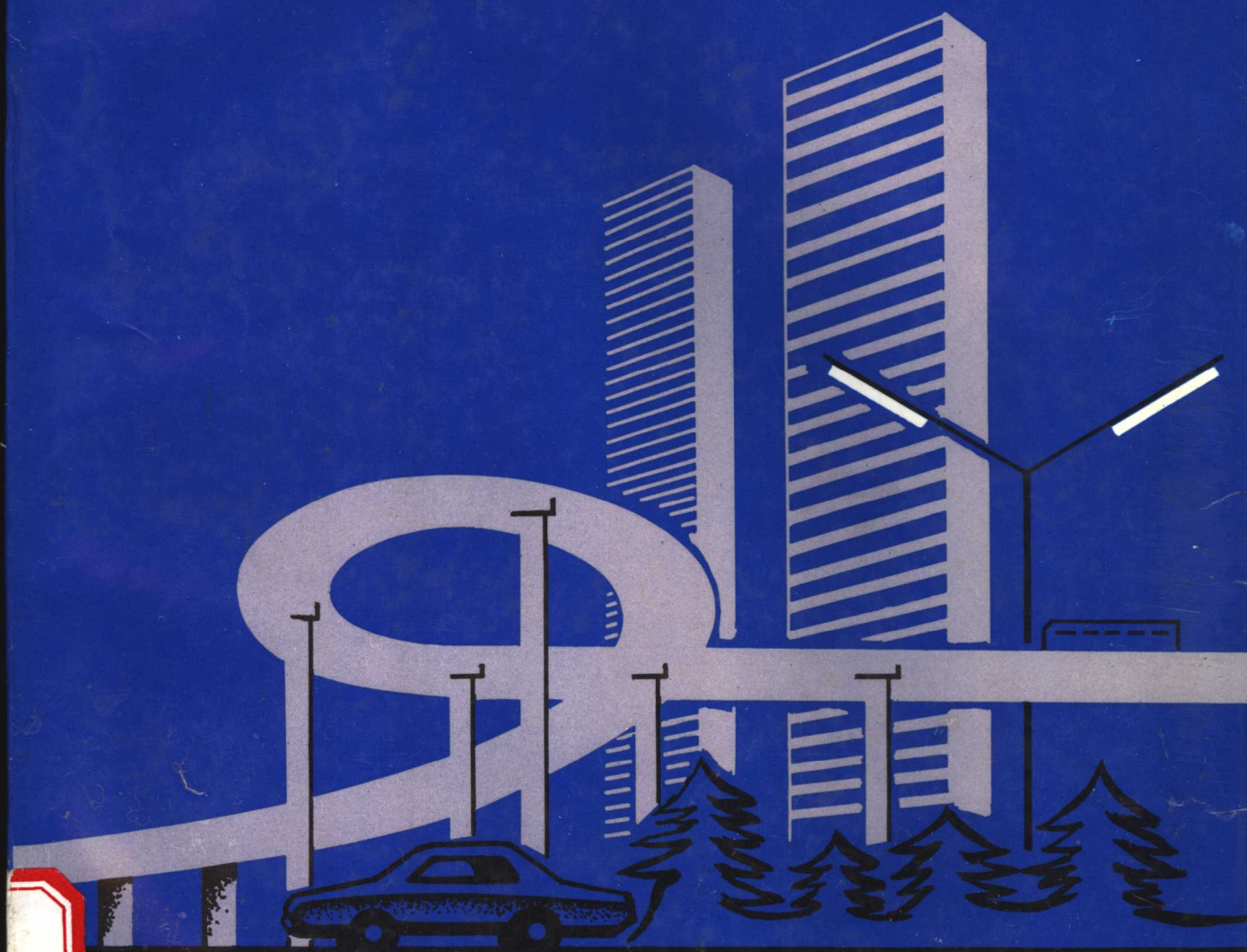


路桥钢筋混凝土结构

龚尚龙 主编



成都科技大学出版社

路桥钢筋混凝土结构

龚 尚 龙 主 编
江 炳 章 主 审

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑 周树琴

封面设计 孟章良

路桥钢筋混凝土结构

龚尚龙 主编

成都科技大学出版社出版发行

四川省新华书店经销

中国科学院光电所印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18.75

1995年12月第一版 1996年5月第一次印刷

印数:1—3000 字数:465千字

ISBN7-5616-3103-0/U·22

定价: 17.00元(软精装,24.50元)

前

言

近年来,通过专业基础课训练学生的微机解题能力,已逐渐成为本专科教学的一项重要任务。此书除了以中华人民共和国交通部标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023 — 85)为主要编制依据外,还编制了一套与该规范相适应的解题软件,供学生和读者在完成既复杂又繁重的作业和课程作业中使用,这一方面可以增强学生的微机能力,另一方面也试图将学生从单调繁复的计算工作中解放出来。

该书为系列教材之一,这套系列教材是:《路桥钢筋混凝土结构》、《路桥砌体结构》、《路桥钢结构》。

本书系统而又扼要地介绍了钢筋混凝土材料力学性能,概率极限状态设计法基本概念,受弯、受压、受拉、受扭构件承载能力设计,构件挠度和裂缝宽度计算,以及预应力混凝土和部分预应力混凝土构件设计。在内容上注重基本概念的阐述和基本技能的培养,突出了路桥钢筋混凝土结构构件的特点。例题尽量取自设计实例而又不囿于实例,大部分章节后附有解题框图和简要的小结,小结点出了该章应掌握的基本概念和基本技能,便于复习。书后附有必要的附表,以便查阅。

本书由龚尚龙教授主编,江炳章教授主审,编写者依次为:龚尚龙(前言、绪论、第二、五章撰写以及第十、十一章的修改和全书的统稿工作)、肖光宏(第十、十一章初稿)、周志祥(第十二章)、陈思甜(第三章及全书程序审校)、杨丽梅(第七、八章)、赵灿晖(第四章、附录、程序调试和编制)、刘小渝(第一章)、曾凡祥(第六章)、涂凌(第九章),硕士研究生商从晋、曹烈仿、乐云祥协助完成了部分绘图和打字工作。

限于编者水平,敬请广大读者指出书中缺陷和错误,以便再版时更正。

编 者

一九九六年三月

内 容 提 要

本书以我国交通部标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计》(JTJ 023 — 85)为编制的主要依据,同时也介绍了有关规范。

本书内容包括钢筋混凝土受弯、受压、受拉、受扭构件及预应力混凝土构件的设计和计算,内容简明扼要,每章后附有小结,便于自学。

为了提高学生和读者的微机能力,有关章节后附有解题程序框图,全书另编有钢筋混凝土结构解题程序一套(软盘一张),可供学生上机时使用。

该教材可以作为道路与桥梁工程专业本科或专科(专科应适当取舍)教材,也可供交通土建类设计、施工技术人员参考。

编写组: 龚尚龙 江炳章 肖光宏 周志祥 陈思甜
杨丽梅 赵灿晖 刘小渝 曾凡祥 涂 凌

目

录

绪论	(1)
第一章 钢筋混凝土结构的材料	(5)
1—1 钢筋的品种和力学性能	(5)
1—2 混凝土的物理力学性能	(9)
1—3 钢筋与混凝土的粘结	(21)
小 结	(24)
第二章 钢筋混凝土结构计算原理	(26)
2—1 结构的功能与极限状态	(26)
2—2 近似概率极限状态法基础理论简介	(27)
2—3 我国现行规范的极限状态设计方法	(33)
小 结	(38)
第三章 钢筋混凝土结构受弯构件正截面强度计算	(39)
3—1 正截面试验研究与分析	(39)
3—2 梁板截面形式与构造	(50)
3—3 单筋矩形截面梁强度计算	(53)
3—4 双筋矩形截面梁强度计算	(61)
3—5 T形截面梁强度计算	(69)
小 结	(77)
第四章 受弯构件斜截面抗剪强度	(79)
4—1 概述	(79)
4—2 无腹筋梁的抗剪性能	(83)
4—3 有腹筋梁的抗剪性能	(86)
4—4 钢筋混凝土梁斜截面强度计算	(88)
4—5 受弯构件的钢筋布置与构造	(98)
小 结	(108)
第五章 受弯构件的裂缝及变形计算	(109)
5—1 裂缝开展宽度的验算	(109)
5—2 受弯构件变形验算	(118)
小 结	(127)
第六章 受扭构件的强度计算	(128)
6—1 概述	(128)
6—2 纯扭构件的强度构件	(128)
6—3 弯扭剪构件计算	(133)
小 结	(138)
第七章 轴心受压构件的强度计算	(140)

7—1	普通箍筋柱的强度计算	(140)
7—2	螺旋箍筋柱的强度计算	(146)
7—3	桥梁结构中的轴心受压构件	(151)
7—4	局部承压验算	(153)
	小 结	(156)
第八章	偏心受压构件的强度计算	(157)
8—1	理论分析与试验研究	(157)
8—2	矩形截面偏心受压构件	(163)
8—3	形截面偏心受压构件	(185)
8—4	圆形截面偏心受压构件强度计算	(188)
8—5	桥梁结构中的偏心受压构件	(194)
	小 结	(197)
第九章	受拉构件的强度计算	(198)
9—1	轴心受拉构件的强度计算	(198)
9—2	偏心受拉构件的强度计算	(198)
第十章	预应力混凝土的基本概念和施工方法	(203)
10—1	基本概念	(203)
10—2	施加预应力的方法	(205)
10—3	锚具和材料	(207)
10—4	张拉控制应力和预应力损失	(213)
	小 结	(226)
第十一章	预应力构件设计计算	(227)
11—1	预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析	(227)
11—2	预应力混凝土受弯构件应力分析	(234)
11—3	受弯构件的强度计算	(236)
11—4	预应力混凝土受弯构件在施工和使用阶段的应力计算	(244)
11—5	变形计算	(252)
11—6	后张预应力混凝土的局部承压验算	(255)
11—7	构件的构造要求	(256)
11—8	预应力梁全梁设计内容及步骤	(257)
	小 结	(259)
第十二章	高效预应力混凝土结构	(261)
12—1	部分预应力混凝土的基本概念	(261)
12—2	部分预应力混凝土受弯构件的设计	(265)
12—3	无粘结部分预应力混凝土的基本概念	(276)
12—4	预弯预应力钢筋混凝土梁的基本概念	(281)
附 表		(287)
主要参考文献		(292)

绪 论

一. 钢筋混凝土的基本概念

我们把由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力的结构称为钢筋混凝土结构。

混凝土的抗压强度很高,而它的抗拉强度却很低。如果用纯混凝土制成一根梁,在跨中作用一个集中力,当受拉区下部最大拉应力达到混凝土抗拉强度,梁就会因开裂而发生突然性的破坏,这时梁上缘的混凝土还远未发挥出抗压强度的优势,破坏时荷载的值很小,这就使混凝土的应用受到很大局限。在一根混凝土梁的受拉区中加入适量的钢筋,情况就会大为改观,梁的受拉区混凝土开裂后,梁并未破坏,抗拉强度很高的钢筋将承担受拉区的绝大部分拉力,承载力 P 还可大幅度增加,如图 1 可从 $P_1 = 1.37 \text{ t}$ 增加到 $P_2 = 8.4 \text{ t}$; 一般说来,荷载要增加到使受拉钢筋屈服,梁才开始破坏,这样,不仅破坏时荷载的值大大增加,而且破坏过程也不像纯混凝土梁那样突然(图 1)。

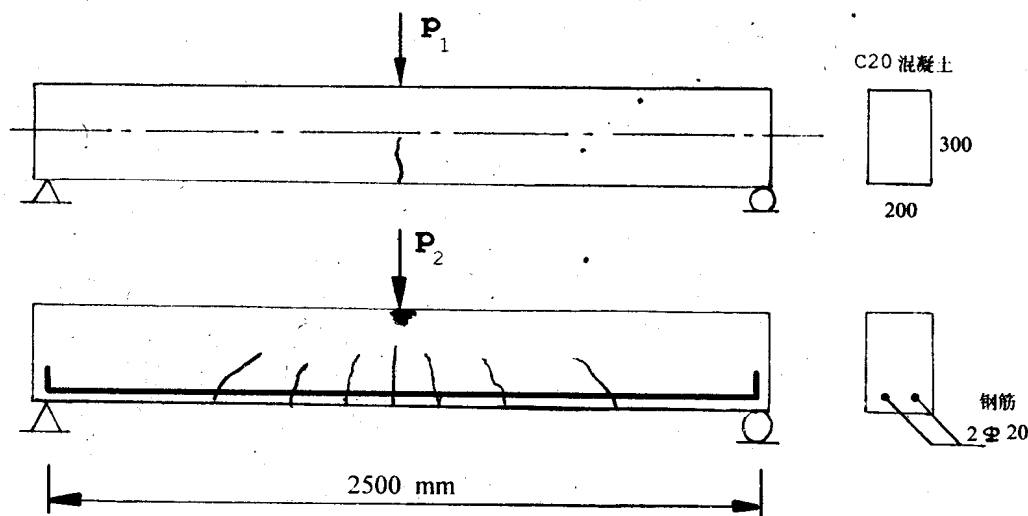


图 1 纯混凝土梁和钢筋混凝土梁的破坏

钢筋混凝土在英文中称作 Reinforced Concrete,也可译为增强混凝土,即只要在混凝土中加入抗拉能力较强的相应材料,均可达到增强效果。

为使加入混凝土的增强材料能够与混凝土共同受力,增强材料必须满足下述条件:

1. 能与混凝土实现牢固的联接,即有可靠的粘结或锚固;
2. 具有与混凝土相近的线膨胀系数,不因温度变化而破坏粘结或锚固;
3. 在结构正常寿命期内不与混凝土产生有害的化学反应。

正因为钢筋满足以上几点要求,所以被广泛地用作增强混凝土的材料。

在混凝土中加入钢筋,可以充分发挥混凝土的抗压强度和钢筋的抗拉强度,使原来只宜作为简单受压结构的混凝土,可以冲天而起,形成高楼大厦,也可横江而过,建成各式桥梁。所以,人们把钢筋混凝土的出现称为建筑材料上的一次技术革命。

钢筋混凝土还具有以下优点:

(1) 可塑性好 钢筋混凝土可按设计需要浇注成各种尺寸和形状,比如空间薄壳结构、造型复杂的大体积结构,特别值得指出的是,钢筋混凝土还可在工地现场实现整体浇注,形成整体性能良好的结构,这是钢、木结构等无法比拟的。

(2) 耐久性好 钢筋在混凝土中受到保护,混凝土抗腐蚀的能力比钢、木结构要好,也不需要经常维修,使用寿命长。

(3) 耐火性好 混凝土的导热性很差,本身不会燃烧,并可保护混凝土内钢筋在高温下不发生软化,因而在火灾或高温下比钢、木结构优越。

(4) 材源广泛 钢筋混凝土中用得最多的材料是砂、石,这几乎是取之不竭、用之不尽、随处可得的材料,使钢筋混凝土具有雄厚的物质基础,可以在各地大量生产。

(5) 成本合理 由于可以就地取材,材料运费就低,由于耐久性好,维修费用就少,与钢结构相比,可节约大量昂贵的钢材,因而在许多情况下,采用钢筋混凝土可以带来明显的经济效益。

鉴于钢筋混凝土的上述优点,许多设计者在面临几种材料选择(钢、木、砖石和钢筋混凝土),大多优先考虑采用钢筋混凝土结构。

任何事物都是一分为二的,钢筋混凝土结构有下述缺点:

(1) 自重太 钢筋混凝土的自重比钢结构大,不利于建造大跨高层建筑。

(2) 工序多 钢筋混凝土的工序一般包括模板、钢筋制作及混凝土的浇捣和养护,施工较复杂,工期长,工程进度受季节和气候的影响。

(3) 易开裂 钢筋虽然增强了混凝土,但对混凝土抗裂性能的改善却十分有限,大多数钢筋混凝土构件都是带裂缝工作的,这将削弱结构的刚度。

(4) 耗模板 浇注混凝土一般需要木模或钢模,要耗费一定数量的木材或钢材。

钢筋混凝土的上述缺点,在研究者们的努力下,正在逐步加以克服,下面我们将扼要介绍这些改进与发展。

二. 钢筋混凝土的发展应用

1867年,法国花匠 Joseph Monier 把金属框作为水泥花盆的骨架,获得专利,人们普遍认为这就是钢筋混凝土的开始。

1872年,美国人用钢筋混凝土建造了一幢房屋,1894年首次建成了第一座钢筋混凝土拱桥,1896年又建造了当时跨度较大的梁桥。从钢筋混凝土的出现到二十世纪三十年代的一半世纪中,钢筋混凝土桥梁在跨度上没有出现重大突破,当时梁式钢筋混凝土桥的最大跨度仅 38.5m, (巴西 Peix 河桥)。预应力混凝土的出现在钢筋混凝土桥梁发展史上起到非常重要

的作用,它使简支梁桥的跨度达到 76 m (奥地利 ALM 桥),T 构桥跨度突破 200 m (如德国 Bendorf 桥为 208 m,巴拉圭桥为 270 m),现在,钢筋混凝土拱桥跨度已达到 390 m (南斯拉夫 KRK 2 号桥,正在修建中的我国万县长江大桥最大跨度 420 m),斜拉桥跨度达 530 m (挪威 Skarnsudet 桥),悬索桥的跨度在 80 年代就达到 1410 m (英国 Humber 桥)。

公路路面采用混凝土是从本世纪初开始的,我国的沥青资源缺乏,预计“九五”期间及今后较长的一段时间内,高等级公路的路面将以混凝土路面为主。

在现代建筑中,钢筋混凝土结构和预应力钢筋混凝土结构的应用已经扩展到每个角落:交通土木建筑中的公路、桥梁、涵洞、机场、码头、车站、轨枕,工业民用建筑中的厂房、矿区、楼堂馆所、给排水工程,水工建筑中的水坝、电站、船闸,能源工业中的海上采油平台、输油管线、原子能反应堆防护壳,通讯工程中的电视塔、卫星地面接收站,军事工程中的兵站、防线、核基地、导弹发射井等等,根据近年的统计资料,全世界年产混凝土量约为 20 亿立方米,发达国家年产量人均大于 1 立方米,可以说,混凝土材料已经成为现代物质文明的基础。

当然,钢筋混凝土结构在应用上的发展与其在理论方面的发展是分不开的,在二十世纪五十年代以前,主要采用容许应力法进行设计。这种方法把钢筋混凝土假想为弹性材料,然后用材料力学的方法求解混凝土和钢筋的应力,并使这些应力不大于材料容许应力。该法没有考虑材料的塑性性质,因而计算结果与实际情况差异较大,在大多数情况下偏于保守。后来又采用过破坏阶段法,该法是使计算的最大荷载效应不超过结构的破坏荷载效应与安全系数的比值,安全系数也由单一安全系数演变为考虑了多种因数的综合安全系数,这种方法考虑了材料的塑性,比容许应力法前进了一大步,但该法在荷载及材料强度取值标准上仍然缺乏科学依据,安全系数的取值也只是根据传统的经验。

当前普遍应用的极限状态法,引用了概率统计理论分析方法,在大量试验调研的基础上,较为科学地确定了荷载、材料强度取值标准,可以对结构或构件进行可靠度分析,从而计算出结构的可靠度,纠正了工程界认为安全系数就是安全储备的传统观念。理论方面的发展进步,使钢筋混凝土结构的设计更为科学,更为安全可靠,同时也更为经济。

针对钢筋混凝土的缺点,研究者们从实际需要出发,对其进行了全面的改进,形成了许多研究方向和发展方向,带来了百花齐放、硕果累累的局面。例如,轻质混凝土、预应力混凝土、高强混凝土的研究和应用,大大减轻了结构自重,预应力混凝土的抗裂性能比普通钢筋混凝土好得多,构件预制工厂化也减轻了自然条件的影响,使这类结构正向更大的跨度和高度发展;部分预应力混凝土结构兼有普通钢筋混凝土和预应力混凝土结构的优点,依靠预应力度度的变化,填平了普通钢筋混凝土与预应力混凝土结构之间的鸿沟,为设计者带来更广泛的选择;钢纤维混凝土和聚合物混凝土不仅使混凝土抗拉强度差的缺陷得以弥补,还增强了混凝土的变形性能;通过加入各种各样的外加剂,可以获得早强快硬、流动性好、防腐耐磨耐冻、抗渗性优越的混凝土,这些研究和应用使混凝土的应用前景更为广阔。

三. 课程特点

钢筋混凝土结构课程是一门专业基础课。具有工程力学、建筑材料等课程知识,也就

具备了学习该课程的基础,学好了这门课程,既掌握了钢筋混凝土结构设计的基本理论和技能,又为继续学习专业课程打好了基础。工程力学中的材料力学课程,与钢筋混凝土结构课关系较大,有人把钢筋混凝土结构学称为研究钢筋混凝土的材料力学,是有一定道理的,但应该认识到,钢筋混凝土自身的特点和研究的方法,和材料力学之间存在许多不同,以下是主要几点不同之处:

1. 研究对象 材料力学主要研究本构关系为线性关系的弹性、匀质、连续材料,而钢筋混凝土是两种材料组成的非匀质材料,混凝土在未开裂之前的一个受力较小时期间内才呈现线弹性,受力较大时,混凝土会呈现明显的塑性,开裂之后,钢筋混凝土成为不连续的材料,也是传统的材料力学理论无法准确研究的材料。

2. 研究方法 由于钢筋混凝土结构是由两种材料组成的,开裂后问题变得十分复杂,传统的力学理论无法准确回答这种既不连续、又非均质和线弹性的问题;因而,钢筋混凝土结构的研究方法,目前主要以大量试验为基础,根据试验数据进行统计回归分析,从而得出经验公式;计算机和非线性有限元分析的应用无疑为钢筋混凝土结构的研究开辟了一条新途径,但由于钢筋混凝土结构的复杂性,这种方法目前仍然需要实际的试验数据进行验证,还不能完全取代试验研究方法。

3. 经验公式 与工程力学不同的另一点是本课程中将出现较多的经验公式,由于本科教学内容的限制,我们对这些经验公式的产生不进行详细介绍,但应该认识到,这些公式是在大量试验的基础上,经过统计回归分析得到的,它们虽然不能由传统的数学力学方法直接推导得出,但对钢筋混凝土结构而言,却比用数学力学方法推导的公式更为准确可靠。我们不主张死记硬背这些公式,但应通过学习,掌握公式中函数与变量间的基本关系以及公式的应用。

4. 规范 规范的应用也是本课程的特点之一。我国现行建筑规范是国家及国家所属部门组织的规范制(修)订委员会编制的,反映了当代建筑科学技术水平,一旦经过国家有关部门批准颁布,就具有法律效力,成为必须认真遵守的行业法规。随着科学技术的发展,规范也在不断修改之中,因而,我们在认真执行规范的同时,也要以发展的观点对待规范,在有充分论证的情况下,得到有关技术主管部门的认可,也可应用与规范条文有别的最新研究成果进行设计。

本教材编制的依据是我国交通部 1985 年颁布的部颁标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-85)——以后简称为《公桥规》。目前,该规范也正在修订之中,但这并不意味着教材的所有内容将失去意义,正如一个软件的新版本产生之前,现有的版本仍然管用一样,我们只要掌握了现有的版本,对新版本也就迎刃而解。

第一章 钢筋混凝土结构的材料

1—1 钢筋的品种和力学性能

1. 钢筋的品种

我国常用的钢筋(直径 $d \geq 6\text{mm}$ 的常称为钢筋)有热轧钢筋、冷加工钢筋及热处理钢筋三种。热轧钢筋是钢材在高温状态下轧制成的。根据其力学指标的高低,分为 I、II、III、IV 四个级别。冷拉钢筋是由热轧钢筋在常温下用机械拉伸而成。冷拔钢筋是用强力把钢筋拉过硬质合金模得到的。冷拉钢筋也分为冷拉 I、冷拉 II、冷拉 III、冷拉 IV 四个级别。热处理钢筋是将热轧 IV 级钢筋再通过加热、淬火和回火等调质工艺处理后得到的 V 级钢筋,热处理后的钢筋强度大大提高。

直径 < 6 毫米的称为钢丝,有碳素钢丝、钢绞线和冷拔低碳钢丝等几种。

上述几种钢筋及钢丝按化学成分的不同,分为碳素钢和普通低合金钢两大类。其中 I 级热轧钢筋和钢丝属于碳素钢; II、III、IV 级热轧钢筋及 V 级热处理钢筋属于普通低合金钢。

碳素钢的机械性能与含碳量多少有关。含碳量增加,能使钢材强度提高,性质变硬,但也将使钢材的塑性和韧性降低,焊接性能也会变差。碳素钢中含碳量低于 0.25% 的称为低碳钢。

如果在碳素钢的基础上加入少量合金元素,就成为普通低合金钢。普通低合金钢具有强度高、塑性韧性好的特点。目前我国生产的低合金钢钢筋主要有 20 锰硅、25 锰硅、40 硅 2 锰钒、45 硅 2 锰钒等钢种。

锰、硅、钒等元素能改善钢材的性能,磷、硫、氧、氮则是有害杂质。磷和氮使钢材在低温时变脆,硫和氧使钢材在高温时变脆,它们都对钢的焊接性能产生不利的影响。

建筑用钢材要求具有一定的强度(屈服极限和抗拉极限强度)、足够的塑性(伸长率和冷弯性能)以及良好的焊接性能。

下面分别把各种钢筋作一介绍:

I 级钢筋 I 级钢筋又称为 24/28 级钢(即它的屈服极限最低为 240 Mpa,抗拉极限强度最低为 380 MPa)。目前生产的只有 3 号钢一种,直径为 6 ~ 40 mm。3 号钢是一种低碳钢,质量稳定,塑性及焊接性能很好,但强度稍低。它是热轧的光面圆钢,在公路和桥梁工程中应用较多。

II 级钢筋 II 级钢筋又称为 34/52 级钢。目前生产的为 20 锰硅钢,直径为 8 ~ 40 mm。其强度、塑性及可焊性都比较好。由于强度比较高,为增加钢筋与混凝土之间的粘结力,保证两者共同工作,钢筋表面轧制成人字纹,最近还开始生产月牙钢筋。II 级钢筋在工程中应用很广泛。

III 级钢筋 III 级钢筋又称为 38/58 级钢,也是热轧人字纹钢筋。钢种主要是 25 锰硅,直径为 8 ~ 40 mm。III 级钢筋强度高,如果用于普通钢筋混凝土结构中,又要它充分发挥强度作用,则会使混凝土裂缝开展得很大。因此,III 级钢筋常经过冷拉作为预应

力钢筋用。

IV 级钢筋 IV 级钢筋又称为 55/85 级钢。为螺旋纹钢筋，直径为 10 ~ 28 mm。主要钢种有 45 锰硅钒、40 锰 2 硅钒、45 硅 2 锰钛等。IV 级钢筋不用于普通钢筋混凝土结构，一般均经冷拉后用于预应力混凝土结构中。IV 级钢筋的焊接质量较难控制，在承受重复荷载的结构中，如没有专门的焊接工艺，不宜采用有焊接接头的 IV 级钢筋，但可用套筒式钢筋连接器连接。在低于 -30℃ 的低温条件，也不宜采用 IV 级钢筋。

V 级钢筋 V 级钢筋的等级为 145/160，是一种热处理钢筋。表面为螺旋纹，直径为 6 ~ 10mm。作为预应力钢筋用。

5 号钢钢筋 5 号钢钢筋是低碳钢的一种，它的屈服极限最低为 280 Mpa。它是热轧人字纹钢筋，直径为 10 ~ 40 mm。

冷拉钢筋 冷拉 I 级可用于普通钢筋混凝土，但一般不用于轴心受拉及小偏心受拉构件；冷拉 II、III、IV 常用作预应力钢筋。钢筋冷拉后变脆，承受冲击荷载或重复荷载的构件及处于负温下的结构，一般不宜采用冷拉钢筋。

钢丝 钢丝的直径越细，强度越高。除冷拔低碳钢丝有时用于非预应力混凝土外，都作为预应力钢筋用。

热轧钢筋的机械性能指标均需符合国家标准《热轧钢筋》的规定；碳素钢丝必须符合冶金工业部标准《预应力混凝土结构用碳素钢丝》的规定；钢绞线必须符合冶金工业部标准《预应力混凝土结构用钢绞线》的规定；热处理钢筋必须符合冶金工业部标准《预应力混凝土结构用热处理钢筋》的规定。工地上所用的钢筋应有出厂检验合格证书方可使用。如遇来历不明的钢材，应按国家有关标准检验合格后才能使用。

关于冷拉钢筋、热处理钢筋和冷拔钢丝将在本书第十章中再介绍。

2. 钢筋的力学性能

上节所述各种钢筋，由于化学成分及制造工艺不同，机械性能有显著差别。按力学的基本性能来分，则有三种类型：

- ① 热轧 I、II、III、IV 级钢筋，强度相对较低，有明显的屈服点，常称之为软钢，
- ② 热处理钢筋及高强钢丝，其力学性质高强而硬，且无明显的屈服点，常称为硬钢；
- ③ 冷加工钢筋（冷拉钢筋或冷拔钢丝）。

1) 软钢的力学性能

软钢从开始加载到拉断，有四个阶段，即弹性阶段、屈服阶段、强化阶段与破坏阶段。下面以 3 号钢钢筋的受拉应力-应变曲线为例来说明软钢的力学特性（图 1-1）。

从开始加载至应力达到 a 点以前，应力应变成线性关系， a 点称为比例极限， oa 段属于弹性工作阶段。应力达到 b 点后，钢筋进入屈服阶段，在应力基本不变的情况下也会产生很大的塑性变形， b 点应力称为屈服极限（流限），在应力-应变曲线中呈现一水平段，称为流幅。超过 c 点后，应力应变关系重新表现为上升的曲线，是为强化阶段。曲线最高点 d 点的应力称为极限强度。此后钢筋试件产生颈缩现象，应力应变关系成为下降曲线（破坏阶段），应变继续增大，到 e 点钢筋被拉断。

e 点所对应的横坐标称为伸长率，它标志钢筋的塑性。伸长率越大，塑性越好。钢筋

的塑性除用伸长率标志为，还用冷弯试验来检验。冷弯就是把钢筋围绕直径为 D 的钢辊弯转 α 角而要求不发生裂纹。钢筋塑性越好，冷弯 α 角就可越大，钢辊直径 D 也可越小。

屈服极限（流限）是软钢的主要强度指标。在混凝土中的钢筋，当应力达到屈服极限后，荷载不增加，应变会继续增大，使得混凝土裂缝开展过宽，构件变形过大，结构不能正常使用。所以设计中软钢的强度取值以屈服极限为准，钢筋的强化阶段只作为一种安全储备考虑。

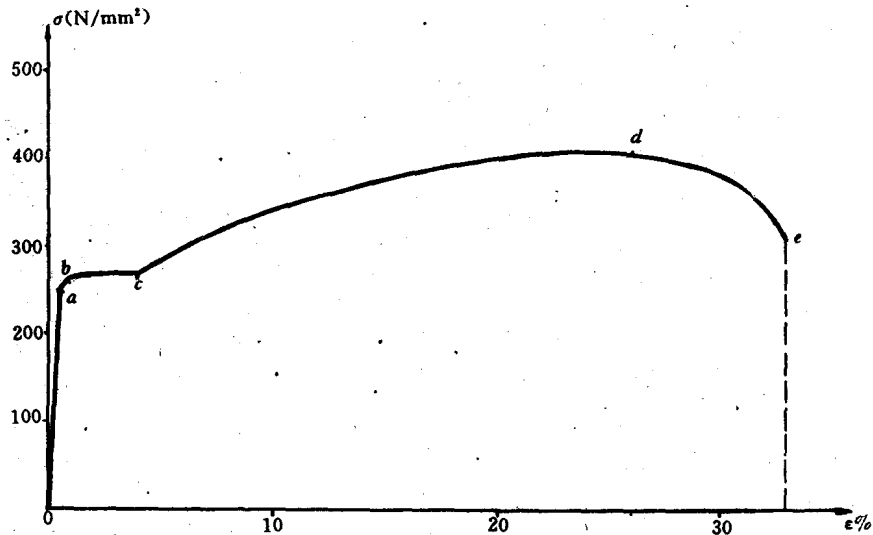


图 1-1

钢材中含碳量越高，屈服极限和抗拉极限强度就越高，伸长率就越小，流幅也相应缩短。图 1-2 表示了不同级别的软钢应力~应变曲线的差异。

2) 硬钢的力学性能

硬钢强度高，但塑性差，脆性大。从加载到拉断，不象软钢那样有明显的阶段，它没有明显的屈服点，所以计算中以“协定流限”作为强度标准，“协定流限”是专家们为设计安全和方便所议定的一个特定应力值，硬钢加载到这一应力值后，卸载到零，其永久残余变形恰好为 0.2%，故此“协定流限”也称为“条件流限”，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 一般相当于抗拉极限强度的 70 ~ 85%。

硬钢塑性差，没有流幅，总伸长率和协定流限后的应变幅度小（但协定流限所对应的应变较大），因此配置硬钢的钢筋混凝土构件，受拉破坏时往往突然断裂，不象配置软钢的构件那样，在破坏前有明显的预兆。

3) 冷加工钢筋的力学性能

建筑工程中，常对钢筋进行冷加工，使钢筋结构内部发生变化，从而提高钢筋的屈服极限。冷加工是节约钢筋的一项有效措施，一般可节约钢材 10 ~ 20%。冷加工有冷拉和冷拔两种。所谓冷拉就是将钢筋在常温下拉伸至强化阶段后再卸载的过程。经过冷拉的钢筋可以获得比原来的屈服极限更高的屈服极限值。如图 1-4 所示，原钢筋从开始受拉到

拉断，其应力~应变曲线为 $oabckde$ 。现拉伸钢筋，使应力达到 k 点，超过其原来的屈服极限，然后卸载，曲线沿 kl 下降到 l 点，并留有残余变形 ol 。若立即重新拉伸钢筋，则它的应力~应变曲线将与 kl 重合，并有一个新的屈服极限 k ，高于原先的屈服极限 b 。

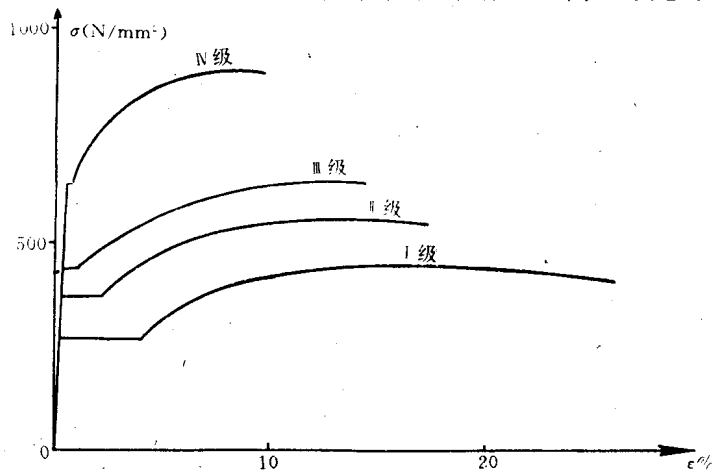


图 1-2

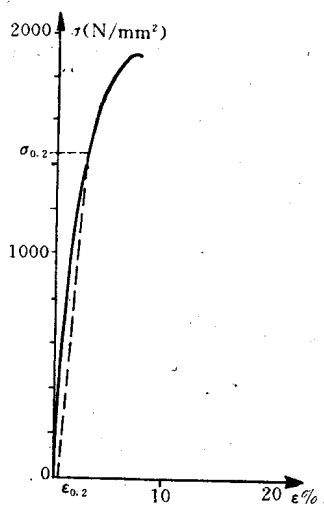


图 1-3

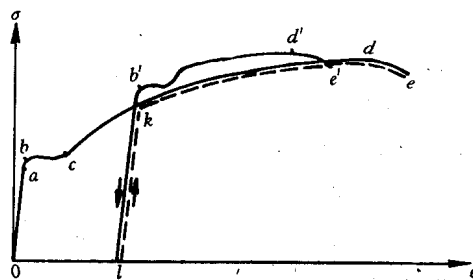


图 1-4

如果钢筋在卸载后，经过一段时间再张拉，则新的屈服极限还会进一步提高至 b' ，这一现象叫做“冷拉时效”。这时应力应变曲线将变成 $lb'd'e$ 。时效在正常温度下需要相当长的一段时间才发展完毕。但在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下，则仅需 2 小时便可基本上发展完毕。在我国一般不利用时效后的强度。

钢筋冷拉后屈服极限提高了，长度也有可观的增加，但流幅缩短，总的伸长率也降低不少，钢材性质变硬变脆了，这对承受冲击荷载与重复荷载都是不利的。为了使冷拉后的钢筋，既能提高强度，还能具有足够的塑性，应选择合理的 k 点（冷拉应力）。钢筋冷拉后，应进行质量检查，其塑性和韧性要符合一定的标准。

钢筋冷拉时，最好同时控制冷拉应力和冷拉伸长率（叫做双控）。特别是低合金钢钢筋在相同应力下的冷拉伸长率变化幅度较大，故不宜仅以冷拉伸长率来进行控制（叫做单

控)。只有对钢筋性能确有把握,有施工实践经验时,才可用单控进行冷拉。

冷拉应力和冷拉伸长率应控制在表 1—1 所列范围内。

钢筋冷拉参数

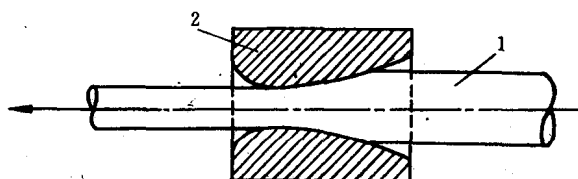
表 1—1

项次	钢筋种类	双 控		单 控
		控制冷拉应力	冷拉伸长率(%)不大于	冷拉伸长率(%)
		MPa		
1	5号钢筋	450	6.0	4.0~6.0
2	II级钢筋	450	5.5	3.5~5.5
3	III级钢筋	530	5.0	3.5~5.0
4	IV级钢筋	750	4.0	2.5~4.0

钢筋冷拉后,其抗压强度并没有提高,计算上仍取用原来的抗压强度。

冷拔是把钢筋用强力拉过比它本身直径还小的硬质合金拔丝模,使钢筋长度方向和直径方向均产生塑性变形,拔成较细的钢筋,从而提高其强度(图 1—5)。

经过冷拔,钢筋强度可以提高很多,而且抗拉和抗压强度都得到提高。例如直径 6 毫米的 3 号钢筋,经三次冷拔,拔成直径 3 毫米的冷拔低碳钢丝,其屈服极限可由 260 Mpa 提高到 750 Mpa;但塑性显著降低,其伸长率由 21.9% 降低到 3.3%。



1—钢筋;2—硬质合金拔丝模

1—钢筋;2—硬质合金拔丝模

图 1—5

冷加工钢筋受到高温时,它的强度要降低,因此,应先焊后冷拉。

1—2 混凝土的物理力学性能

混凝土是由水泥、水及骨料按一定配合比组成的人工石料。水泥和水在凝结过程中形成水泥胶块把骨料粘结在一起。混凝土内部有液体和空隙存在,是一种不密实的混合物,主要依靠由骨料和水泥胶块中的结晶体组成的弹性骨架来承受外力。弹性骨架使混凝土具有弹性变形的特点,同时水泥胶块中的凝胶体又使混凝土具有塑性变形的性质。由于混凝土内部结构复杂,因此它的力学性能也极为复杂。

1. 混凝土的强度

1) 立方体抗压强度与标号 R

抗压强度是混凝土的重要力学指标,与水泥标号、水泥用量、水灰比、龄期、施工方法以及养护条件等因素有关。实验方法及试件尺寸也会影响所测得的强度数值。

我国规范规定以 15 厘米的立方体强度值作为混凝土的基本强度指标,因为,这种试件的强度比较稳定。规范中所规定的立方体强度就是混凝土的标号。它以每边边长为 15 厘米的立方体,在 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的温度和相对湿度在 90 % 以上的潮湿空气中养护 28 天,依照标准制作方法和试验方法测得的抗压强度值(以 MPa 计, $1\text{ MPa} = 1\text{ N/mm}^2$),用符号 R 表示。

试验方法对立方体强度有很大影响。试块在压力机上受压,纵向发生压缩而横向发生鼓胀。当试块与压力机垫板直接接触,试块上下表面与垫板之间有摩擦力存在,使试块横向不能自由扩张,就会提高混凝土的抗压能力。此时,靠近试块上下表面的区域内,好象被箍住一样,称为“套箍作用”,试块高度方向的中部由于摩擦力影响较小,混凝土仍可横向扩张。随着压力的增加,试块中部发生纵向裂缝,然后出现通向试块角隅的斜向裂缝。破坏时,中部向外鼓胀的混凝土向四周剥落,使试块只剩下如图 1-6 a 所示的角锥体。

当试块上下表面涂有油脂或填以塑料片,以减少摩擦力时,则所测得的抗压强度就较不涂油脂者为小。破坏时,试块出现垂直裂缝(图 1-6 b)。

为了统一标准,规定在试验中均采用不涂油脂的试件,这与实际结构情况较为相符。

若立方体试件尺寸小于 15 厘米,则试验时两端摩擦的影响相对较大,测得的强度偏高。反之,若立方体试件尺寸大于 15 厘米,测得的强度偏低。用非标准尺寸的试件进行试验,其结果应乘以换算系数,换算成标准立方体强度。边长为 20 厘米的试件,换算系数取 1.05;边长为 10 厘米的试件,换算系数取 0.95。

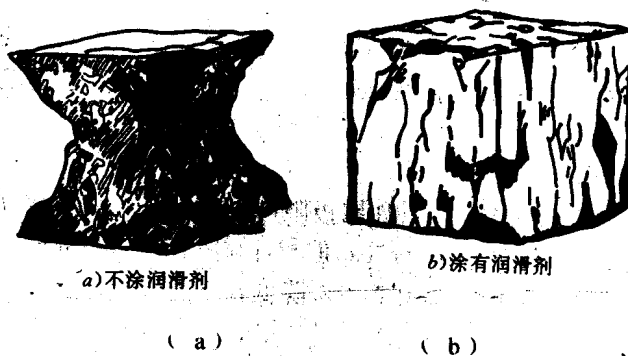


图 1-6

试验时加载的速度对强

度也有影响,加载速度越快则强度越高。通常的加载速度是每秒钟压应力增加 $0.3 \sim 0.5\text{ MPa}$ (对于强度等级低于 C30 的混凝土)或者 $0.5 \sim 0.8\text{ MPa}$ (对于强度等级高于 C30 的混凝土)。

由于混凝土中水泥胶块的硬化过程要若干年才能完成,混凝土的强度也随龄期的增长而增长,开始增长得很快,以后逐渐变慢。试验观察得知,混凝土强度增长可延续到 15 年以上,保持在潮湿环境中的混凝土,强度的增长会延续得更久。

混凝土标号是设计钢筋混凝土结构时选择混凝土材料的主要指标,应根据结构物的用途、尺寸、使用条件以及经济和技术等因素综合考虑。

2) 棱柱体抗压强度(轴心抗压强度) R_a

若试件为棱柱体,则所测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度 R_a ,它低于立方体强度,这是因为当试件高度增加后,两端接触面摩擦力对试件中部的影响逐渐减弱所致。 R_a 随试