

钢筋混凝土结构

刘孝平 陈光生 编

人民交通出版社

钢 筋 混 凝 土 结 构

刘孝平 陈光生 编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书由浅入深地系统介绍了普通钢筋混凝土结构设计的基本原理和计算方法, 主要内容包括: 钢筋混凝土材料的物理和力学性能, 钢筋混凝土构件计算的基本原理, 受弯构件强度和稳定性计算, 轴心受压及轴心受拉构件的计算, 偏心受压及偏心受拉构件计算, 受扭及弯-扭构件计算; 此外, 书后还附有常用的计算资料。

本书可作为桥梁设计人员培训教材, 并且也是有关院校师生的重要参考书, 亦可供从事一般结构设计的技术人员参考。

钢筋混凝土结构

刘孝平 陈光生 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 印张: 9.5 字数: 216 千

1981年8月 第1版

1981年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—16,500册 定价: 1.45 元

前 言

本书是为培训交通运输工程科技人员而编写的一本参考书。为了便于学习而又能较深入地掌握钢筋混凝土结构设计的基本原理,在论述每一类基本构件的设计方法之前,对这一类基本构件的理论基础作了详尽(但又不同于力学教材)的介绍,即:在介绍受弯构件正截面强度和斜截面强度计算、轴心受压构件以及偏心受压构件计算之前,相应地先介绍了匀质梁正应力计算公式的来由、剪应力与主应力的概念、临界应力总图以及压弯杆的内力计算。

本书在适当的地方以少量的篇幅介绍了一些有关极限状态设计的基本概念,使读者对近代钢筋混凝土结构设计原理有所了解,对公路桥涵设计从容许应力向极限状态设计过渡有所准备。

本书是在编者多年教学中使用的讲义的基础上经增删而成的,因此也可作为公路桥梁专业在校学生的参考书。

本书有关钢筋混凝土结构的计算和构造部分是根据1974年颁发的《公路桥涵设计规范》编写的。

在本书编写过程中,湖南大学土木系公路工程教研室桥梁小组程翔云、周义武和钟圣斌等同志对本书初稿提供了宝贵意见,对定稿起了很有益的作用,在此表示感谢。限于编者的水平,书中一定会存在不少缺点和错误,希望读者,尤其是从事这方面实际工作的同志给予批评指正。

编 者

1979年9月

目 录

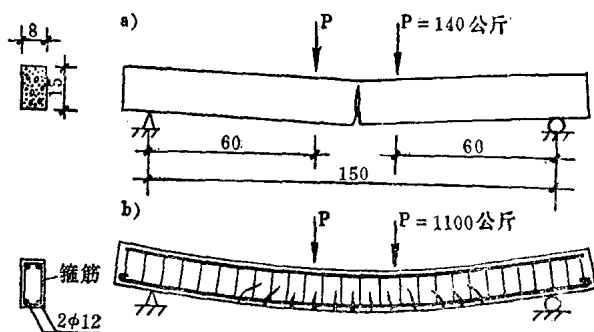
绪 论	1
第一章 钢筋混凝土材料的主要物理和力学性能	5
第一节 钢筋	5
第二节 混凝土	12
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	27
第二章 钢筋混凝土构件计算的基本原理	31
第一节 计算理论及其发展情况	31
第二节 安全系数和容许应力	34
第三章 受弯构件正截面的强度计算	39
第一节 概述	39
第二节 匀质梁内正应力的计算	40
第三节 钢筋混凝土梁的实验及其计算原则	46
第四节 换算截面的概念	49
第五节 钢筋混凝土梁正截面强度计算的基本公式	50
第六节 钢筋混凝土梁(板)的构造要求	55
第七节 单筋矩形截面的计算	61
第八节 双筋矩形截面的计算	93
第九节 T形截面的计算	101
第四章 受弯构件斜截面的强度计算	107
第一节 概述	107
第二节 匀质梁内的剪应力和主应力	108
第三节 钢筋混凝土梁内的剪应力及主应力	115

第四节	剪应力总和、主拉应力总和（主拉力）及主拉应力图的分配	118
第五节	箍筋的计算	123
第六节	斜钢筋的计算	124
第七节	实例	127
第八节	T形梁梁肋与翼缘相接处的剪应力验算	135
第九节	变高度梁的剪应力	137
第十节	粘着力验算	139
第五章	钢筋混凝土构件裂缝宽度的计算	142
第一节	概述	142
第二节	轴心受拉构件裂缝开展宽度的计算	143
第三节	受弯构件裂缝开展宽度的计算	150
第六章	受弯构件的变形计算	153
第一节	匀质弹性体梁的挠曲线近似微分方程式	153
第二节	钢筋混凝土受弯构件的挠度计算	157
第七章	轴心受压及轴心受拉构件	170
第一节	关于压杆稳定的概念	170
第二节	临界荷载	173
第三节	临界应力和临界应力总图	179
第四节	轴心受压构件计算的一般公式	184
第五节	钢筋混凝土箍筋柱的计算	185
第六节	钢筋混凝土旋筋柱的计算	190
第七节	轴心受拉构件	196
第八章	偏心受压及偏心受拉构件	197
第一节	偏心受压构件的内力及强度校核	198
第二节	钢筋混凝土偏心受压柱的计算	208
第三节	偏心受拉构件的计算	251
第九章	受扭及弯—扭构件	254

第一节	概述及试验研究结果.....	254
第二节	矩形截面受扭及弯扭构件的计算.....	255
第三节	T形截面受扭构件的计算.....	264
附录 1	钢筋截面面积表.....	266
附录 2	钢筋锚固和搭接长度.....	270
附录 3	钢筋与混凝土的容许应力.....	271
附录 4	混凝土的抗压或抗拉弹性模量及钢筋的 弹性模量.....	272
附录 5	钢筋混凝土偏心受压构件计算用表.....	272

绪 论

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成的。混凝土构件内放置钢筋的主要目的是加强构件受拉区的抗拉能力。因为混凝土是一种人工石料，它的抗压能力很强，抗拉能力却很弱。用纯混凝土制作的构件，往往在混凝土抗压强度尚未充分发挥以前，就由于某些拉应力区的抗拉强度耗竭而破坏。如图0-1a所示的纯混凝土梁，混凝土标号为200号，加荷到 $P = 140$ 公斤时，便由于受拉区混凝土被拉裂而突然折断。可见用纯混凝土来作承重结构具有很大的局限性。但是，如果在上述梁的受拉区配置两根直径为12毫米的3号钢筋，并适当配置抗剪箍筋(图0-1b)，则梁的承载能力显著提高， $P = 200$ 公斤左右时才开始在梁的受拉区出现裂缝，并



尺寸单位：厘米

钢筋尺寸单位：毫米

图 0-1

且没有立即破坏而仍可继续加荷，最大的 P 值可达1,100公斤，当到达最大荷载后，还要经过一般类似塑性流动的过程才致最终破坏。显然，这是由于钢筋良好的抗拉能力弥补了受拉区混凝土抗拉强度的不足，使受压区混凝土的抗压能力得以充分利用，乃致梁的极限承载能力提高了将近八倍，而且由于钢筋的塑性使梁的破坏特征发生了质的变化——由危险的脆性折断转化成有预兆的塑性破坏。这就显示了两种材料结合使用的巨大优越性。这个例子，使我们对钢筋和混凝土有了一个初步的认识。

钢筋和混凝土这两种性质殊异的材料之所以能够结成一体共同承担外力，是因为具有下述三个基本条件：

(1)混凝土结硬后能和钢筋牢固地粘结在一起，受力时变形一致，不会产生相对滑移。这是钢筋和混凝土共同工作的最主要条件；

(2)钢筋和混凝土有几乎相同的温度膨胀系数（钢筋 $\alpha_t = 1.2 \times 10^{-5}$ ；混凝土 $\alpha_t = 1.0 \times 10^{-5} \sim 1.4 \times 10^{-5}$ ），温度变化不致破坏钢筋混凝土的整体性；

(3)混凝土包住钢筋，使钢筋免遭锈蚀。

这些条件，一方面是混凝土和钢筋本身的性质所造成的，另一方面也是人们在认识客观事物的基础上发挥主观能动作用的结果。特别是对混凝土和钢筋之间的粘结力，及混凝土对钢筋的保护作用，人为条件往往有显著的影响。因此，在设计和施工中都应注意，必须采取措施使之得到保证和加强。

钢筋混凝土除了能充分利用钢筋和混凝土两种材料的性能外，还有许多优点，主要表现在以下几个方面：

(1)便于就地取材。钢筋混凝土构件除了钢筋和水泥外，组成构件的绝大部分材料是较易就地取材的砂和石子。

因而大大降低了运输费用，提高了建设速度；

(2) 耐火性好。由于混凝土的导热性较差，因而可以保护其内部的钢筋不致因为燃烧而很快到达钢的危险温度；

(3) 耐久性好。根据实际的观察，建成以后并经长期正常使用的钢筋混凝土构件中的钢筋，仍能保持不锈，并且混凝土本身的强度，随着时间的增长而有所增加。所以钢筋混凝土的耐久性是很好的。暴露在大气变化中的钢筋混凝土室外结构，遭受侵蚀性气体或浸在海水中的钢筋混凝土结构，如能选择恰当的水泥和骨料，并精心设计它们的配合比与水灰比，严格控制其裂缝的开展，则它的耐久性也是很好的

(4) 便于造型。钢筋混凝土可以浇成各种形状和尺寸的构件。桥梁结构型式一般比较复杂，采用钢筋混凝土结构尤为适宜。

(5) 整体性好。抗震能力强。这一点对于振动较大的工业建筑与地震区的建筑物有着特殊重要的意义。

(6) 维修费用小，不需要特殊的维护。

但是，钢筋混凝土结构也存在如下所述的一些缺点：

(1) 模板木料消耗大；(2) 自重大；(3) 施工受季节性影响，在低温下必须采用特殊施工方法，这就增加了施工上的困难，并且也提高了施工费用。在雨季施工，也必须采取一定措施，才能保证施工质量；(4) 加固和改建比较困难；(5) 隔热和隔声性能较差。

但这些缺点并非是不可克服的，事实上随着实践经验的积累和科学技术的不断发展，这些问题已在逐步获得改进。例如，使结构标准化，统一化，并采用装配式结构，即可大大减少木材的消耗。采用统一化，标准化的装配式结构还可以使构件生产工厂化，大大减少现场工作量，有利于冬季和雨季施工。目前在公路工程中广泛采用预应力装配式结构，

这类结构可以有效的节省钢材和减轻结构自重。对于一些较难采用装配式的结构物，则采用工具式模板，如金属滑动模板，以节省木材和劳动力。

由于钢筋混凝土具有以上所述的一些优点，因此它的应用范围非常广泛，各种类型的土建工程，如工业厂房，城市建设，交通运输工程，水工建筑，军事工程等等都需要用到它。在桥梁上部结构方面已经建造了大量的各种类型的钢筋混凝土桥，如普通钢筋混凝土梁桥、大跨度的预应力混凝土悬臂梁桥、预应力连续梁桥、板桥、刚架桥、拱桥及斜张桥等等。在桥梁下部结构方面，钢筋混凝土的桩基与沉井等也累见不鲜。此外，如涵洞、隧道、挡土墙、轨枕等结构物与构件也常采用钢筋混凝土来建造。

总之，钢筋混凝土已经在土建工程的各个部门里得到了广泛的应用。由于技术方面的革新（如采用预应力），以及材料、工艺和施工方面的改进，使得钢筋混凝土的应用范围还在不断地扩大。

第一章 钢筋混凝土材料的主要物理和力学性能

第一节 钢 筋

一、热轧钢筋的品种及型式

钢是含碳量在1.7%以下的铁碳合金。按化学成分的不同分为碳素钢和合金钢两大类。碳素钢除主要组成元素铁(Fe)、碳(C)以外,还含有在冶炼中难以除去的所谓常存杂质:锰(Mn)、硅(Si)、硫(S)、磷(P)、氧(O)和氮(N)等。在冶炼中,如果为了改善钢材性能,有意识地加入定量的锰(Mn)、硅(Si)、钒(V)、钛(Ti)、铜(Cu)、磷(P)等元素,则所得的钢称为合金钢。碳素钢和合金钢又根据成分控制的宽严和质量的差别分为优质碳素钢、普通碳素钢;合金钢、普通低合金钢等类别。

钢筋混凝土结构中所用的钢筋,用普通低碳钢(含碳量 $<0.25\%$)和普通低合金钢经热轧制成。普通低碳钢和普通低合金钢都属软钢。软钢的应力-应变曲线如图1-1所示。在应力到达 A' 点以前,应力与应变间的关系呈直线变化,过 A' 点以后不再继续保持直线关系,这一应力值称为比例极

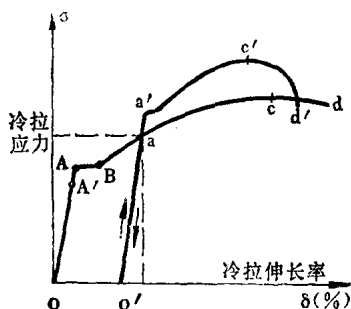


图1-1 钢筋冷拉前后的应力-应变曲线

限。应力继续增加，此时应变的增长比较迅速，至A点以后，几乎可以不增加应力而应变将继续增长，这一现象称之为屈服。点A即所谓屈服极限，线段AB叫做屈服台阶。

材料屈服后，内部结构因晶体排列的位置调整，产生了更好的抵抗外力作用的性质，因此要使变形继续增长，就必须增加外力，故在B点以后，图中曲线继续上升，到达应力的最大值（强度极限）c点。

软钢的特点就是它的应力-应变曲线具有明显的屈服点和屈服台阶，硬钢则没有明显的屈服点和屈服台阶。

热轧钢筋根据屈服极限和极限抗拉强度的高低分为五级。

I级 24/38公斤级（斜线左为屈服极限，斜线右为极限抗拉强度，单位均为公斤/平方毫米，下同）

II级 34/52 公斤级

III级 40/60 公斤级

IV级 60/90 公斤级

V级 145/160 公斤级

在普通钢筋混凝土结构中，只用I、II、III级钢筋。其规格及机械性能见表1-1。

表1-1中的钢号，3号钢为普通低碳钢，代号A₃表示3号碱性平炉钢，AJ₃表示3号侧吹碱性转炉钢，AD₃表示3号顶吹转炉钢。其中以A₃的质量最好，AD₃接近A₃，AJ₃的杂质含量较多，质量较差。表中II、III级钢筋均为普通低合金钢，代号中前面数字表示平均含碳量（‰），后面为主加合金元素的名称，如16Mn表示平均含碳量为16‰，主加合金元素为锰的低合金钢。

热轧钢筋的形状有光面圆钢筋，人字形螺纹钢筋及螺旋

常用热轧钢筋牌号及机械性能

表1-1

钢筋 级别	钢 号		直径 (毫米)	屈服点不 小 于 (公斤/ 毫米 ²)	抗拉强度 不小于 (公斤/ 毫米 ²)	伸长率 不小于		冷弯
	牌号	代 号				$\delta_5\%$	$\delta_{10}\%$	
I 级	8号钢	A ₃ , A ₃ S, AD ₃	6~40	24	38	25	21	180° d
II 级	16锰	16Mn	6~25	34	52	16		180° 3d
			28~40	32	50			
	16硅钛	16SiTi	6~25	34	52	21		180° 3d
			28~40	32	50			
III级	25锰硅	25MnSi	6~40	40	60	14		90° 3d
	25硅钛	25SiTi	10~36	40	60	21		180° 3d

形螺纹钢筋三种，如图1-2所示。后面两种统称为规律变形钢筋或螺纹钢筋。在表1-1的各种牌号中，3号钢只有光圆钢筋；16锰为螺旋形螺纹钢筋；16硅钛、25锰硅及25硅钛均为入字形螺纹钢筋。钢筋的出厂状态，一般直径为10毫米以下的绕

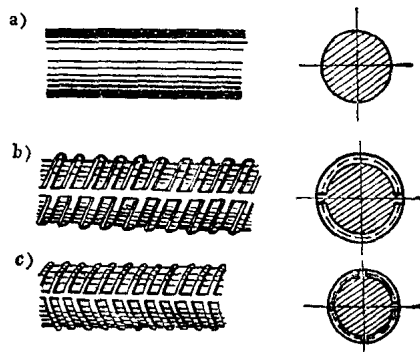


图1-2 钢筋的形状

a) 光面圆钢筋；b) 螺旋形螺纹钢筋；c) 人字形螺纹钢筋

成圆盘供应，称为盘条。直径10毫米以上则以直条形式出厂。

二、钢筋的力学及工艺性能

对钢筋材料性能的基本要求可以概括为三个方面：

1. 强度高。

2. 塑性好。塑性好的钢筋在拉断以前会发生很大的塑性变形，使结构在破坏以前显示出预兆，而不致于发生突然的脆性断裂。钢筋的塑性通常用延伸率来衡量；

3. 工艺性能好。工艺性能包括冷加工性能和可焊性两个方面。钢筋冷加工性能用冷弯试验来衡量，可焊性的评定标准将在后面介绍、

下面分别介绍钢筋的各项性能：

1. 钢筋的应力-应变曲线、强度、延伸率及弹性模量
常用热轧钢筋的应力-应变曲线如图1-3所示。

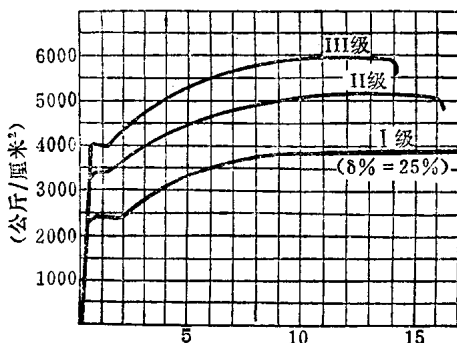


图1-3 钢筋拉伸试验的应力应变曲线

从图1-3中可以看出，三种不同级别的钢筋的应力-应变曲线在形式上是一样的，说明它们具有软钢的共性，只有屈服极限、极限抗拉强度及延伸率等在数量上的不同。各级钢筋的几项指标，我们已经列在表1-1中了。对照着图1-3的曲线及表1-1的具体指标，可以看出，屈服极限及极限抗拉强度愈高，则屈服台阶愈短，延伸率愈小。说明强度高的钢筋，塑性就差些，二者是矛盾的，这是钢材的一个基本特点。

钢筋的弹性模量是一项很稳定的材料常数。强度级别相差很大的钢筋，弹性模量则很接近，而且强度高的钢筋，弹性模量反而偏低。I级钢筋的弹性模量为 2.1×10^6 公斤/厘米²；II、III级钢筋的弹性模量为 2.0×10^6 公斤/厘米²。这一特点说明，采用高强度钢筋虽然可以减少钢筋用量，但对结构的刚度和抗裂性则是不利的。克服这一矛盾的有效方法是采用预应力混凝土结构。

2. 钢筋的冷弯性能

如表1-1中的冷弯指标，前面的度数表示冷弯不致开裂的最大角度。后面的几倍 d （ d 为冷弯试件直径）表示弯心直径，如图1-4所示。弯心直径愈小，冷弯角度愈大，则表示钢筋冷加工的性能愈好。

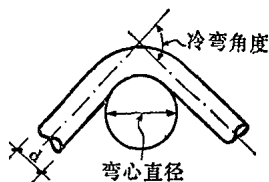


图1-4 钢筋的冷弯

3. 冷作硬化，时效及钢筋的冷加工

经过机械冷加工使钢筋产生塑性变形以后，钢筋的屈服极限和强度极限会提高，但塑性和弹性模量会降低，这种现象称为冷作硬化（变形硬化，或冷加工硬化）。

钢随时间而逐渐硬化的倾向，称为时效。一般情况下时效是一个缓慢的过程。但是在人工加热的条件下，时效可以在很短的时间内完成。在常温下进行的时效称为自然时效，人工加热进行的时效称为人工时效。对于未经冷作硬化的钢筋，时效的作用很不明显，但经过冷作硬化后的钢筋则具有较快的时效倾向，称为冷强时效。普通低碳钢经冷加工后，人工加热到 100°C 经10~20分钟即可完成人工时效。冷加工钢筋经人工时效后，不但强度可以进一步提高，而且弹性模量可以恢复到冷加工以前的数值。

人们掌握了钢筋冷作硬化和时效的规律以后，便利用这些规律来提高钢材的强度以达到节约钢材的目的，这就是冷加工钢筋。

常用冷加工钢筋的方法有冷拉和冷拔两种。冷拉是将热轧钢筋张拉到强化阶段，然后卸荷，如图1-1所示。卸荷时的应力-应变曲线为 ao' ，与 oA 接近平行。如果立即重新加荷，则应力-应变关系循 $o'acd$ 发展，如果经过时效以后再加荷时，则应力-应变关系将循 $o'a'c'd'$ 发展。从图中可以明显地看出钢筋的硬化特征。

在实际应用冷拉时效来提高钢筋强度时， a 点的选择是很关键的。 a 点选择得愈高，固然可以使强度提高愈多，但塑性也就愈差，如果 a 点选得太低，则强度提高有限，又没有实际意义。因此，应当适当地选择 a 点。与 a 点对应的应力称为冷拉应力，应变称为冷拉伸长率。根据以往的实践经验，《钢筋混凝土结构设计规范》对各级钢筋的冷拉参数作了规定（见《TJ10-74》附表4）^①。在冷拉时同时控制这两个指标的，称为双控。只控制冷拉伸长率的称为单控，双控比较严格准确。因此在规范中对双控冷拉钢筋的强度取值比单控的高。

必须注意冷拉钢筋的屈服点虽然有明显升高，但倘使是在相反方向施加压力，则其屈服点较升高后的屈服点有明显降低，这种现象称为“包兴格效应”。因此，经冷拉提高屈服点的钢筋就不能把这提高的屈服点应用于受压钢筋中。

冷拔是使热轧钢筋强行通过小于原材直径的拔丝模，如图1-5所示，使钢筋在纵向拉伸的同时还增加了横向挤压，因而硬化的时效更加显著。直径细的冷拔钢丝要经过四、五次冷拔才成。目前用3号钢 $\phi 6$ 盘条作为母材拔成3~5毫米直径的冷拔钢丝，称为冷拔低碳钢丝，在小型预应力混凝土

① 《钢筋混凝土结构设计规范TJ10-74》，1974年，中国建筑工业出版社出版。