

高等学校专修科试用教材

结构设计原理

(上册)

北方交通大学 许克宾 主编
西南交通大学 庞文焕 主审



中国铁道出版社

1995年·北京

前 言

本书是高等学校铁道工程专业专修技术基础课《结构设计原理》的教材,是根据铁道工程、桥梁、隧道专业教学指导委员会“八五”教材规划的要求编写的。为方便使用,全书分上、下两册出版。上册为钢筋混凝土、预应力混凝土、混凝土与石结构部分,下册为钢结构部分。学时数上册为 72;下册为 40。

本书的编写是从培养铁道工程专业应用性高级人才这一目标出发,力求学生在学习本课程之后获得工程结构设计的基本知识,具有进行结构构件设计的能力。在内容上,既注意理论的系统性,更注重理论的实用性;既能满足本专业的需要,又照顾到对不同专业的适应性。文字叙述力求简明扼要,重点突出,条理明晰,便于自学。为了帮助读者掌握结构设计的基本原理和计算方法,各章均有较多的计算示例,并附有必要的设计计算图表。每章之后编列了复习思考题和计算题,便于读者巩固所学知识和自我检查。

本书是结合我国现行的《铁路桥涵设计规范》(TBJ2—85)、《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)和《钢结构设计规范》(GBJ17—85)进行编写的。

本册为上册,由北方交通大学许克宾主编,西南交通大学庞文焕主审,参加编写的有许克宾(第一、二、三、四、五、六、七、九章),石家庄铁道学院廖元裳(第八章),北方交通大学霍铭煊、季文玉参加了部分书稿的编写和算例计算工作。参加审稿工作的还有兰州铁道学院徐若昌、上海铁道学院王刚等同志。

编 者

1993 年 10 月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书系高等学校铁道工程专业(专修科)技术基础课教材,分上下两册出版。上册为钢筋混凝土、预应力混凝土、混凝土及石结构部分;下册为钢结构部分。本册为上册,主要内容包括钢筋混凝土结构的设计基础,轴心受压构件的计算,用容许应力法计算受弯构件的抗弯强度和抗剪强度,计算偏心受压构件的强度,钢筋混凝土构件裂缝宽度和变形的计算,以及极限状态法,预应力混凝土结构,混凝土及石结构等。为学以致用,书中内容紧密结合我国现行有关设计规范,并编入较多的计算示例和必要的设计计算图表,书后编列了复习思考题和计算题。

本书除作为铁道工程专业各类大专生的教材外,还可供有关专业工程技术人员参考。

高等学校专修科试用教材

结构设计原理(上册)

北方交通大学 许克宾 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 赵敬宇

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12.25 字数:310 千

1995 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—6000 册

ISBN7-113-01869-6/TU·407 定价:7.40 元

目 录

第一章 钢筋混凝土结构设计基础	1
第一节 基本概念及应用.....	1
一、基本概念.....	1
二、优缺点.....	2
三、应 用.....	3
第二节 材料的物理力学性能.....	3
一、钢 筋.....	3
二、混 凝 土.....	6
三、钢筋混凝土.....	12
第三节 设计计算方法.....	14
一、容许应力计算法.....	14
二、破坏阶段计算法.....	15
三、极限状态计算法.....	16
复习思考题.....	16
第二章 钢筋混凝土轴心受压构件的计算	17
第一节 一般构造.....	17
一、截面形式.....	17
二、纵 筋.....	17
三、箍 筋.....	18
第二节 截面应力分布和破坏特征.....	18
一、箍筋短柱.....	18
二、箍筋长柱.....	20
三、螺旋筋柱.....	21
第三节 强度及稳定性计算.....	21
一、箍筋柱的计算.....	21
二、螺旋筋柱的计算.....	23
复习思考题.....	25
计算题.....	25
第三章 受弯构件抗弯强度的计算	26
第一节 受弯构件的一般构造.....	26
一、截面形式.....	26
二、钢筋布置.....	26
第二节 受弯构件的应力阶段和破坏状态.....	28
一、应力阶段.....	28
二、破坏状态.....	28
第三节 抗弯强度计算的原理和方法.....	29
一、基本假定和计算应力图形.....	29

二、换算截面	30
三、单筋矩形截面梁	31
四、双筋矩形截面梁	42
五、T形截面梁	45
复习思考题	48
计算题	49
第四章 受弯构件抗剪强度的计算	50
第一节 剪应力和主拉应力的计算	50
一、剪应力的计算	50
二、主拉应力的计算	51
三、主拉应力图和剪应力图	52
第二节 腹筋的设计	53
一、腹筋设计的一般规定	53
二、箍筋设计	54
三、斜筋设计	55
四、抵抗弯矩的检查	56
第三节 T形截面梁中翼板与梁梗连接处的剪应力计算	59
一、受压区剪应力计算	60
二、受拉区剪应力计算	60
复习思考题	61
计算题	62
第五章 偏心受压构件强度的计算	63
第一节 一般构造	63
一、截面形式	63
二、钢筋布置	63
第二节 截面的应力状态和两种偏心受压情况的判别	64
一、截面应力状态	64
二、大小偏心受压的判别	65
第三节 纵向弯曲影响偏心距增大系数的计算	66
一、偏心距增大系数	66
二、刚度修正系数 α	67
第四节 小偏心受压构件的计算	67
一、截面应力复核	67
二、截面设计	70
第五节 大偏心受压构件的计算	71
一、截面应力复核	71
二、截面设计	78
第六节 偏心受压构件主拉应力的计算	79
一、小偏心受压构件	79
二、大偏心受压构件	79

复习思考题	84
计算题	84
第六章 构件的裂缝宽度和变形的计算	85
第一节 裂缝宽度的计算	85
一、概 述	85
二、裂缝间距与裂缝宽度	86
三、裂缝宽度的计算公式	88
四、改善裂缝的措施	89
第二节 受弯构件挠度的计算	90
一、受弯构件的刚度特征	90
二、受弯构件挠度的计算	91
复习思考题	92
计算题	92
第七章 极限状态法设计	93
第一节 概 述	93
一、结构的功能及其极限状态	93
二、结构可靠度的基本概念	94
三、承载力极限状态计算的一般公式	99
第二节 受弯构件正截面强度的计算	100
一、一般原理	100
二、单筋矩形截面梁	103
三、双筋矩形截面梁	106
四、T形截面梁	108
第三节 受弯构件斜截面强度的计算	111
一、斜裂缝出现前后的应力状态	112
二、受弯构件沿斜截面的破坏形态	112
三、斜截面抗剪强度的计算	113
四、腹筋设计	115
五、纵向受力钢筋的弯起、截断和锚固	117
第四节 偏心受压构件强度的计算	121
一、偏心受压构件的破坏形式	121
二、轴向力的初始偏心距与偏心距的增大系数	121
三、大偏心受压构件	122
四、小偏心受压构件	125
第五节 轴心受压构件强度的计算	129
一、普通箍筋柱	129
二、螺旋箍筋柱	130
复习思考题	131
计算题	131
第八章 预应力混凝土结构	134

第一节 基本知识	134
一、预应力混凝土结构的基本原理	134
二、预应力混凝土结构的优缺点及使用范围	137
三、预应力混凝土结构对材料的要求	137
四、预应力混凝土预施应力的工艺	140
第二节 预应力的损失及有效预应力	148
一、力筋预应力损失的计算	148
二、钢筋的有效预应力	157
第三节 预应力混凝土受弯构件的计算	157
一、正截面计算	158
二、斜截面计算	165
三、计算示例	169
复习思考题	178
计算题	178
第九章 混凝土与石结构	180
第一节 概 述	180
一、混 凝 土	180
二、石 料	180
三、砂 浆	180
第二节 按容许应力法进行混凝土及石结构的计算	181
一、受压构件强度的计算	181
二、截面合力偏心距的检算	183
三、受压构件稳定性的检算	184
四、混凝土受弯构件强度的计算	185
五、混凝土局部承压强度的计算	185
第三节 按极限状态法进行混凝土结构的计算	185
一、受压构件承载力的计算	185
二、偏心受压构件的抗裂性检算	186
三、受弯构件承载力的计算	186
四、局部受压承载力的计算	187
复习思考题	187
计算题	187
参考文献	188

第一章 钢筋混凝土结构设计基础

第一节 基本概念及应用

一、基本概念

(一) 材料的组合及性能

钢筋混凝土在土木工程中是一种应用极为广泛的建筑材料。它是由力学性能完全不同的钢筋和混凝土组合而成。两者取长补短,共同发挥作用。混凝土结硬后如同天然石材,抗压强度很高,而抗拉强度极低,在破坏时表现出脆性。钢材的抗压及抗拉强度都很高,但它的价格昂贵,且容易生锈需定期油漆,维修费用很高。另外,在许多情况下,钢构件的截面尺寸由刚度控制,强度得不到充分发挥。将两种材料有机的结合在一起,利用它们各自的优点,共同承受荷载,形成一种性能优越的组材料——钢筋混凝土。

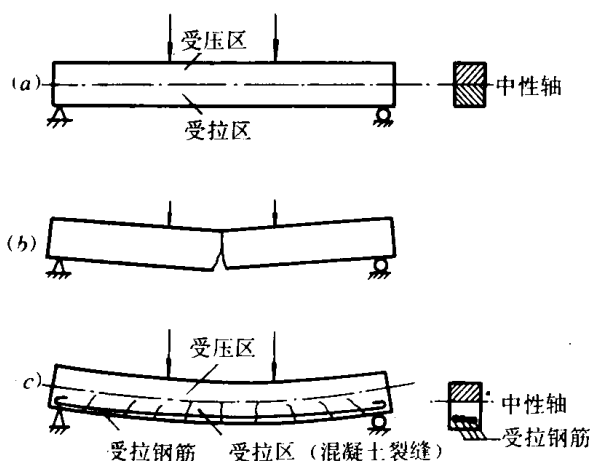


图 1—1 简支梁受力状态

力远未被充分利用。若在梁的受拉区布置适量的钢筋,则当梁受弯混凝土开裂后,中性轴以下部分的拉力可由钢筋承受,如图 1—1(c)所示。于是,梁上的荷载可继续增加。一般情况下,受拉钢筋设置得越多,梁能承受的荷载越大。梁在破坏之前,首先是钢筋屈服,随着荷载的增加,上部受压区混凝土也被压碎,梁即破坏。这样,混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力,在梁破坏时都得到充分发挥。

钢筋混凝土不仅用于受弯构件,在受压构件中如图 1—2 所示,采用钢筋混凝土,同样可改善受力性能,并使承载能力大为提高。钢筋混凝土用于受扭构件和受拉构件的也较多。

(二) 组合的基础

钢筋混凝土构件,通过在混凝土中合理地布置适量的钢筋,使构件的承载力大大提高,如图 1—1 所示的简支梁。对于不设钢筋的素混凝土梁,在较小荷载作用下,受拉边缘混凝土的应变即可达到极限拉应变。尽管这时受压区的应力还远小于混凝土的极限抗压强度,但由于受拉边缘开裂,梁的有效面积减小,裂缝随即急速上升,导致梁骤然脆断,如图 1—1(b)所示。

由于混凝土的抗拉强度极低,所以梁的承载能力很小,而破坏时梁上部混凝土的抗压能力

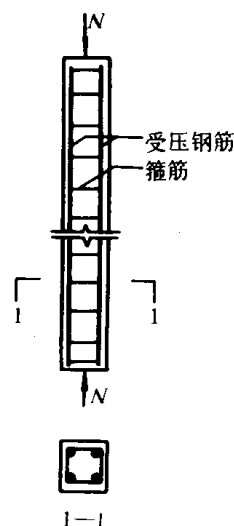


图 1—2 轴心受压构件

钢筋和混凝土这两种物理力学性能差异很大的材料,所以能有机地结合并共同工作,一般是建立在以下三点基础之上:

1. 钢筋与混凝土之间存在粘结力 粘结力能阻止钢筋与混凝土间的相对滑移,承受沿接触面上作用的剪应力,保证钢筋与相邻混凝土变形一致,共同承受荷载作用。为了使钢筋强度能充分发挥,在钢筋端部常做成弯钩,以提高粘着作用。

2. 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数大致相同 混凝土的线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.4) \times 10^{-5}$,而钢为 1.2×10^{-5} 。因此,当温度变化时,钢筋与混凝土将大致同样伸缩,不致在接触面上产生较大的滑移和剪应力,破坏构件的整体性。

3. 混凝土对钢筋的保护作用 混凝土对钢筋不存在腐蚀作用。并且,混凝土包住钢筋后,钢筋因有良好的保护层而不致锈蚀,所以钢筋混凝土具有良好的耐久性。

二、优缺点

(一)优点

钢筋混凝土结构,除了能合理地利用这两种材料的力学性能外,还有下列一些优点:

1. 材料经济 一般情况下,钢筋混凝土结构可代替钢结构,从而节约钢材、降低造价。此外,在钢筋混凝土的材料组成中,钢材和水泥只占较小的比例,用量较大的砂、石常可就地取材。

2. 耐久性好 混凝土强度是随龄期而增长的。钢筋被混凝土保护着不致于生锈,与钢木结构相比,钢筋混凝土结构的耐久性好,而且养护维修费用极小。对于露置野外的桥涵工程,这一点很重要。

3. 耐火性好 混凝土是热的不良导体,遭受火灾时,混凝土起隔热作用,使钢筋不致达到或不致很快达到使其强度降低的温度。所以,钢筋混凝土结构能经受几小时的烈火烧灼而仍有承载能力,事后只需进行表层修补即可。比起容易燃烧的木结构和导热快且抗高温性能不十分强的钢结构,它的耐火性是好的。

4. 可模性好 混凝土可按照不同模板尺寸和式样,浇筑成设计所需要的形状和大小的构件。

此外,钢筋混凝土结构的刚度大、整体性好,宜用于变形要求小的建筑,也适用于抗震结构。

(二)缺点

钢筋混凝土结构存在以下缺点,采用时应予注意。

1. 自重大 承受同样荷载的情况下,钢筋混凝土结构的截面尺寸要比钢结构大得多,因此自重较大。这对于大跨度结构、高层建筑及抗震都是不利的。采用高标号混凝土和高强度钢材,这一缺点将会得到改善。

2. 抗裂性能差 钢筋混凝土结构在使用荷载作用下,往往带裂缝工作,影响外观,降低刚度。采用预应力混凝土,就可以有效地提高构件的抗裂性。

3. 费工多、现场施工期长 采用就地浇筑式钢筋混凝土结构,工序较多,还需要养护,工期较长,并且还可能受季节的影响。采用预制装配式结构,可在较大程度上改善这一缺点。

此外,钢筋混凝土结构加固和拆除是比较困难的。

三、应 用

(一) 广泛应用于建筑工程

现今,钢筋混凝土已成为主要的建筑材料,广泛应用于工业与民用建筑、水利、公路、铁路、港口结构工程中。桥梁、墩台基础、轨枕、隧道衬砌、电杆,各种工厂房屋、公共建筑、水池、水塔、电视发射塔等,均可用钢筋混凝土建造。随着高强混凝土的发展,钢筋混凝土越来越在更大的范围内取代钢结构。近年来,我国土建工程飞速发展,辉煌瞩目的高层、高耸、大跨、重型和特种钢筋混凝土结构,已星罗棋布于祖国大地上。

(二) 施工建造方式

钢筋混凝土结构,按照施工建造方式的不同,一般可分现浇式、装配式和装配-整体式三种类型。在工地现场搭脚手架、竖立模板、绑扎钢筋、就地浇筑混凝土的称为现浇式。在预制厂(场)预制构件,然后运送到工地,安装到设计位置上,通过适当拼接而成的,称为装配式。装配式结构,构件在工厂成批制造,质量容易得到保证,到工地只进行安装,工期短、速度快,但需要构件的运输和起吊安装设备。在装配式结构的基础上,如果将各构件连结节点现浇成连续整体,或者将构件的一部分做成预制的,运吊就位后再浇筑连结混凝土,使整个结构成为一个整体;或者将各预制构件上加筑钢筋混凝土现浇层结成整体等,均可称为装配-整体式。

第二节 材料的物理力学性能

一、钢 筋

(一) 钢筋的类型

钢筋分柔性和劲性两类。后者是以角钢、槽钢及工字钢作为混凝土构件内的配筋。此外,钢管混凝土(即用钢管箍束混凝土同时兼作纵向钢筋)的钢管,也属于劲性钢筋。劲性钢筋目前我国尚少采用。一般所称的钢筋均系指柔性钢筋。如图 1—3 分别示出了采用柔性和劲性钢筋的钢筋混凝土柱。

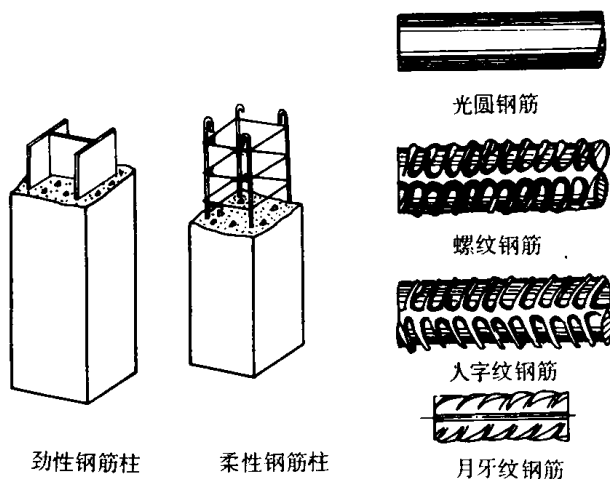


图 1—3 钢筋的型式

柔性钢筋的直径在 6~50mm 范围内。直径在 5mm 以下的称为钢丝。钢丝可以是单根的或成束的使用,也可以制成钢绞线。

1. 按外形,钢筋有光面钢筋和变形钢筋两种。目前,我国使用的变形钢筋,主要有螺纹钢、人字纹钢筋和月牙纹钢筋等,如图 1—3 所示。此外,竹节形、叉字形钢筋也有采用的。变形钢筋的直径是“标称直径”或称“当量直径”,其计算面积按此“当量直径”确定。各种

直径的钢筋计算截面积及理论重量如表 1—1 所示。

钢筋截面积(mm²)及重量(kg/m) 表 1 1

直径 (mm)	螺纹钢 筋外径 (mm)	根 数									钢筋重量
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2.5		4.9	9.8	14.7	19.6	24.5	29.4	34.3	39.2	44.1	
3.0		7.1	14.1	21.2	28.3	35.3	42.4	49.5	56.5	63.6	
4.0		12.6	25.1	37.7	50.2	62.8	75.4	87.9	100.5	113.0	
5.0		19.6	39	59	78	98	118	137	157	177	
6.0	6.75	28.3	57	85	113	142	170	198	226	255	0.222
8.0	9.00	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	0.395
10.0	11.30	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	0.617
12.0	13.50	113	226	339	452	565	679	792	905	1017	0.888
14.0	15.50	154	308	462	616	770	924	1078	1232	1386	1.208
16.0	18.00	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1809	1.578
18.0	20.00	254	509	763	1017	1272	1526	1780	2035	2290	1.998
20.0	22.00	314	628	942	1256	1570	1884	2199	2513	2827	2.466
22.0	24.00	380	760	1141	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2.984
25.0	27.00	491	982	1473	1964	2454	2945	3436	3927	4418	3.853
28.0	30.50	616	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	4.834
30.0		707	1414	2121	2828	3534	4241	4948	5655	6362	5.549
32.0	34.50	804	1609	2413	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6.313
34.0		908	1816	2724	3632	4540	5448	6356	7264	8172	7.127
36.0	39.5	1018	2036	3054	4072	5090	6108	7126	8144	9162	7.990
40.0	43.5	1256	2512	3768	5024	6280	7536	8792	10048	11304	9.865

2 . 钢筋按化学成份可分为:碳素钢和低合金钢两类。碳素钢中除含铁元素外,还含有少量碳、硅、锰、硫等元素。含碳量少于 0.25% 的称为低碳钢或软钢;含碳量在 0.6~1.4% 的称为高碳钢或硬钢。硬钢强度高,质地较脆。普通低合金钢中,除含有碳素钢的元素外,还加入少量的合金元素。目前主要有:锰系,如 16Mn,25MnSi 等;锰硅钒系,如 45MnSiV,65MnSiV 等及硅钒系、硅钛系等。各类钢筋符号前的数字,表示含碳的万分量。低合金钢由于加入了合金元素,虽然含碳量高,强度高,但其质地仍较软,属于软钢。

3 . 按加工方式钢筋有热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋和冷拔钢丝四种。热轧钢筋为在冶金厂冶炼热轧制成。冷拉钢筋和冷拔钢丝,都是对热轧钢筋进行冷加工所制成。冷加工后,钢筋强度有明显提高,具有一定的经济效益,但其塑性和伸长率却随之降低和减小。热处理钢筋也称调质钢筋,即利用轧制钢筋的余热进行淬火,然后再中温回火消除内应力,使钢筋的强度大为提高。

4 . 钢筋按强度高低分为五个等级,如表 1—2 所示。

钢筋等级及机械性能 表 1 -2

钢 筋 种 类	符号	屈服强度 (N/mm ²)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率%		冷弯试验	
				δ ₅	δ ₁₀	d	D
I 级钢筋(3 号钢)	Φ	235	375	25	21	180°	1d
II 级钢筋(20 锰硅、20 锰钒半) d≤25 d=28~40	⌈	385 315	510	16	/	180°	3d
III 级钢筋(25 锰硅)	⌋	375	590	14	/	90°	3d
IV 级钢筋(40 硅 2 锰钒,45 硅 2 锰钒 45 锰硅钒)	⌋⌋	540	885	10	8	90°	5d
V 级钢筋(40 硅 2 锰 d=6,48 硅 2 锰 d=8.2,45 硅 2 铬 d=40)	⌋⌋⌋	1470	1570	/	5	/	/

I — IV 级为热轧钢筋, V 级为调质钢筋。I 级钢为低碳素钢,光圆钢筋,强度较低。II — IV 级钢为低合金钢,变形钢筋。

在铁路上,普通钢筋混凝土桥梁中,采用 A3(Φ)、A5(⌈)和 T20MnSi(⌋)三种类型的钢筋。

(二) 钢筋的强度与变形

钢筋混凝土结构所用钢筋,按其应力应变曲线分为两类:一类是有明显流幅的钢筋,另一类是没有明显流幅的钢筋,如图 1—4 所示。

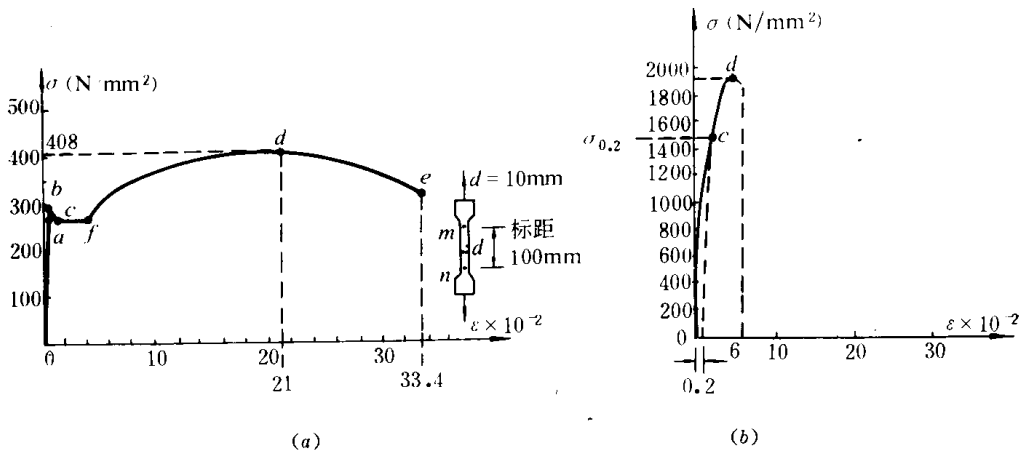


图 1—4 钢筋的应力应变曲线

(a) 有明显流幅的钢筋

(b) 没有明显流幅的钢筋

图 1—4(a)中 0a 段为一斜直线,其应力与应变之比为常数,应变在卸载后能完全消失,称为弹性阶段。与 a 点相应的应力称为比例极限。弹性极限略高于比例极限。两者相距极近,难以辨认。abc 段为一小段不稳定的曲线。b、c 点应力分别为屈服上下限。c 点处钢筋开始屈服,荷载不增加,应变却继续发展增加很多,出现水平段 cf。但过 d 点后,曲线呈下降趋势,直到 e 点钢筋被拉断为止。fd 段称为强化阶段,de 段称为破坏阶段。

这类钢筋一般以屈服应力作为强度指标,称为屈服强度。它是设计计算中钢筋强度限值。因为钢筋屈服后的流幅,会使构件产生过大的变形和裂缝,且不可恢复,以致无法使用。d 点作为钢筋的极限强度,用来计算材料实际的破坏强度。

钢筋的弹性模量采用 $E_s = 210 \text{ GPa}$

钢筋的伸长率和冷弯性能作为材料的塑性指标,已在工程材料中作过介绍,兹不重述。

图 1—4(b)为没有明显流幅钢筋的应力应变曲线。一般高强度碳素钢丝具有这种性质。这类钢筋强度很高,但伸长率小,塑性较差,破坏时呈脆性。通常取相应于残余应变为 0.2% 时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为这类钢筋的假定屈服点(或称条件流限),其值约为 0.8 倍的钢筋抗拉极限强度。

(三) 钢筋的冷加工

对低、中碳钢筋进行冷加工,可以使钢材内部的组织结构发生变化,从而提高钢筋的强度,达到节约钢材的目的。经常采用的方法有以下两种。

1. 冷拉 是把钢筋拉伸到使应力超过屈服点某个值(如图 1—5 中 k 点),然后放松;则钢筋因已产生了较大的塑性变形,应变不能回复到原点,而有残余应变 $0l$ 。此时,若立即重新加载,应力应变曲线将沿 lkd 发展。屈服点将由 a 点提高到 k 点。试验得知,如果卸载后不立即重新加载,而是经过相当长的时间,则应力—应变曲线将沿 $lk'd'$ 进行,即屈服点进一步提高到 k' 点。这种屈服点随时间提高的现象,称为“冷拉时效”。

钢筋冷拉后,强度可提高 20~30% 以上,但伸长率显著减小,塑性降低。为了增加强度又能保证钢筋有一定的塑性,应当

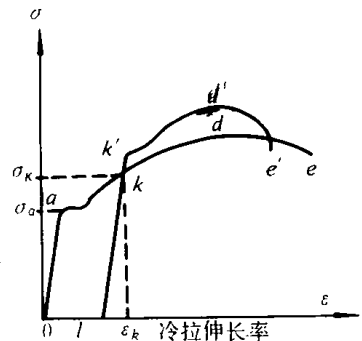


图 1—5 钢筋冷拉 $\sigma-\epsilon$ 图

选择合适的 k 点,并在冷拉时通过同时控制 σ_K 和 ε_K ,即所谓双控,保证冷拉质量。

冷拉除了可以提高强度和使钢筋伸长达到节约钢材的目的外,还可以起到调直钢筋、自动除锈、检查对焊质量的作用。

2. 冷拔 是将 $\phi 6 \sim \phi 8$ 的 I 级热轧钢筋,用强力通过比其直径小的硬质合金拔丝模具,使钢筋截面面积减小,长度增加,如图 1—6 所示。逐级冷拔可得到更细的钢丝。冷拔可使钢筋强度提高,而且冷拔次数愈多,直径变得愈细,强度也就愈高。例如 $\phi 6$ 钢筋通过 3 次冷拔到 $\phi 3$,使极限强度由 260MPa 提高到 750MPa,但伸长率则由 21.9% 降至 3.3%,使塑性降低很多。

这种冷拔低碳钢丝,主要用于工民建的中小型预应力混凝土构件中。

(四) 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

用于钢筋混凝土结构中的钢筋,一般应能满足下列要求:

1. 具有适当的屈强比 构件设计时,虽然是以屈服强度作为钢筋的强度指标,要求钢筋具有较高的屈服强度,但也需要有适当的抗拉极限强度,使构件具有一定的强度储备。屈服强度与抗拉极限强度的比值称为屈强比。屈强比不应太大,也不应太小,否则会使钢筋的强度利用率太低。

2. 有足够的塑性 为了使构件在破坏前有明显的预兆(变形、裂缝),要求钢筋断裂时有足够的变形。另外,从施工要求方面,钢筋也应具有足够的塑性,以适应弯折加工。

3. 可焊性 施工中为了接长钢筋,常常需要进行焊接。钢筋应具有良好的焊接性能,保证焊接强度,焊接后钢筋不产生裂缝和过大的变形。

4. 低温性能 在寒冷地区,要求钢筋具有抗低温性能,以防止钢筋冷脆破坏。

5. 与混凝土有良好的粘结力 粘结力是钢筋与混凝土共同工作的基础。为了提高粘结力,可以采用变形钢筋。钢筋表面沾染油脂、糊盖泥污、长满浮锈,都会损害粘结力。

此外,对于承受重复荷载作用的构件,钢筋应具有一定的疲劳强度。试验研究表明,钢材疲劳强度的主要影响因素是应力变化的情况,即与应力比 $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ 有关。钢材的疲劳强度大约为静力强度的 44~55%。钢筋对焊后,由于存在焊接残余应力,疲劳强度主要与钢筋应力的变幅 ($\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$) 有关。

二、混 凝 土

(一) 混凝土的强度

在混凝土材料、配比、制作方法相同的条件下,试件的形状、尺寸、养护条件及受力性质等,对其强度有一定的影响。因此,必须根据统一的标准进行试验,确定混凝土的各种强度指标。

1. 抗压强度 混凝土有三种情况下的抗压强度:立方强度 R ,棱柱体强度 R_a 和局部承压强度 R_{a-1} 。

混凝土的立方强度,是标准尺寸立方体试件,在标准条件下(温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$,相对湿度在 90% 以上),养护 28d,用标准试验方法,测得的抗压极限强度值。标准立方体尺寸有 200mm 和 150mm 两种。

我国现行铁路桥涵设计规范 TBJ2—85(以下简称《桥规》),采用立方体边长为 200mm,以其抗压极限强度值 (kgf/cm^2) 为混凝土的标号,常以符号 $R \times \times$ 表示,如 R500,即 500 号。国家标准 GBJ10—89,采用立方体边长为 150mm,以其抗压强度标准值 (MPa) 为混凝土强度等级,

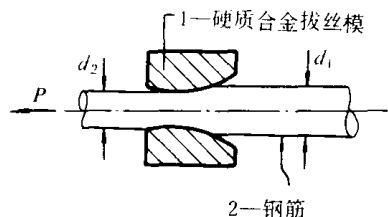


图 1—6 钢筋的冷拔

以符号 C×× 表示。如 C50, 即混凝土抗压强度标准值为 50MPa。

上述混凝土标号与混凝土强度等级的换算关系, 如下表所示。

混凝土标号与强度等级换算表

表 1—3

混凝土标号	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
混凝土强度等级	C13	C18	C23	C28	C33	C38	C43	C48	C53	C58

有些国家(如美国、日本等), 还采用圆柱体标准试件(直径 6inch, 长 12inch)的抗压强度, 作为混凝土强度的基本指标。

在铁路工程中, 常用混凝土的标号为 150、200、250、300、400、500 和 600 号。其中 200 号以下的混凝土, 用于基础、墩台、衬砌和挡墙等大体积结构; 200~400 号混凝土, 用于普通钢筋混凝土结构; 400~600 号混凝土, 则用于预应力混凝土结构。

棱柱体强度, 其棱柱体试件的高度大于它的边长。以棱柱体试件测得的混凝土抗压强度, 比较接近实际构件中混凝土的受力情况。试验表明, 在相同条件下, 棱柱体抗压强度 R_a , 低于同截面的立方强度 R 。但当高宽比(h/b)大于 3 时, 趋于稳定。因为, 这时试件高度中间区, 已不存在环箍效应, 形成了纯压状态。所以, 一般用 $h/b=3\sim4$ 的棱柱体强度, 作为构件混凝土的抗压极限强度。

棱柱体抗压强度 R_a 与立方强度 R 之间的关系, 根据我国近年来所作的 122 组棱柱体抗压试验结果, 可用下式表示

$$R_a = 0.76R \quad (1-1)$$

考虑到实际上结构构件与试件, 在制作和养护条件等方面的差异, 根据以往的经验, 并结合试验数据分析, 对试件强度应乘以降低系数 0.88, 于是

$$R_a = 0.67R \quad (1-1a)$$

《桥规》中取 $R_a = 0.7R$ 。

局部承压强度, 指在工程结构中, 有些混凝土构件只是在部分截面上受力, 这时混凝土的强度称为局部承压强度。

局部承压时, 由于周围混凝土的约束作用, 其强度比均匀受压棱柱体强度有所提高。试验表明, 混凝土局部承压强度可按下式计算

$$R_{a-1} = R_a \cdot \sqrt{\frac{A}{A_0}} \quad (1-2)$$

式中 A_0 ——局部承压面积;

A ——影响局部承压强度的计算底面积, 按图 1—7 所示取值。

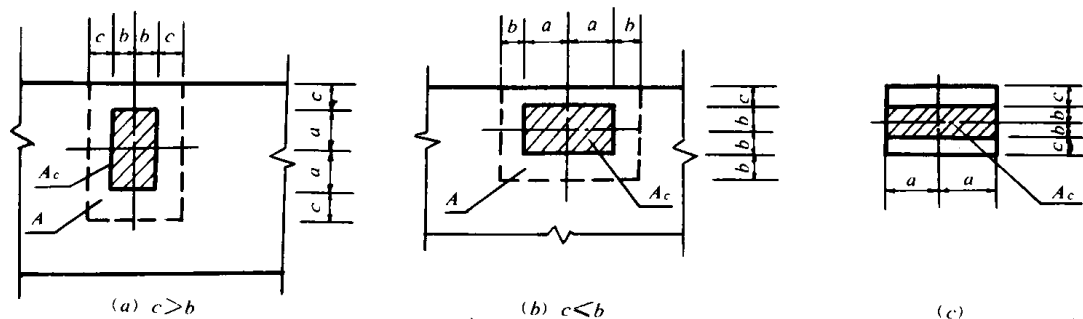


图 1—7 计算底面积取值范围

2. 抗拉强度 混凝土的抗拉强度, 可通过中心受拉试验确定。我国近年来进行的 72 组轴

心抗拉强度试验结果统计的混凝土抗拉强度 R_L 与混凝土标号 R 间的关系如下

$$R_L = 0.26R^{2/3} \text{ (MPa)}$$

(1—3)

式中 R ——混凝土立方强度(MPa)。

实用上,与抗压强度取值时的考虑一样,将上式乘以降低系数 0.88,于是有 $R_L = 0.23R^{2/3}$ 。这表明,混凝土的抗拉强度只有其立方强度的 1/10~1/15 左右。

在中心受拉试验中,荷载与试件中心很难对准,影响了测试结果的精确性。通常采用图 1—8 所示的圆柱体或立方体试件的劈拉试验,来测试混凝土的抗拉强度。

在试件垂直截面上,中间绝大部分为均匀的拉应力。当拉应力达到混凝土抗拉强度时,试件沿中间截面劈裂为两半。根据弹性理论公式,可求得破坏拉应力,即混凝土的抗拉强度

$$R_L = \frac{2P}{\pi dL}$$

(1—4)

式中 P ——劈拉破坏时的荷载;

d ——圆柱体直径或立方体边长;

L ——圆柱体长度或立方体边长。

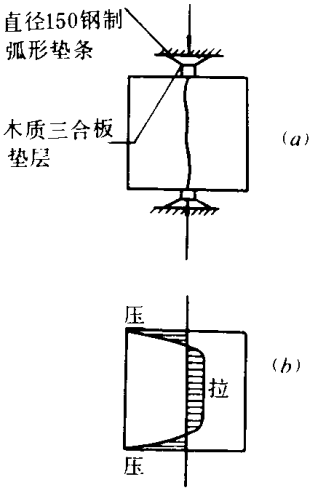


图 1—8 混凝土抗拉强度的劈拉试验

在《桥规》中,对于各种标号混凝土的抗压极限强度 R_a 和抗拉极限强度 R_L 的规定,如表 1—3 所示。

混凝土极限强度(MPa)

表 1—4

强度种类	混凝土标号									
	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150
抗压(棱柱体强度) R_a	42	38.5	35	31.5	28	24.5	21	17.5	14	10.5
抗拉 R_L	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.1	1.9	1.6	1.3

3. 抗剪强度 在工程结构中,很少有混凝土受纯剪的情况,一般都是处在与正应力同时作用的复杂应力状态下。用试验方法精确确定混凝土的抗剪强度是非常困难的。通过研究结果可知,混凝土的弯曲抗剪强度大于 $2R_L$,而直接抗剪强度更大。

4. 复合应力状态下混凝土的强度 实际上,在钢筋混凝土结构中,上述各种单向受力状态是较少的,混凝土都处于双向、三向或兼有剪应力的复合受力状态。

双向受力强度 图 1—9 所示为混凝土试件双向受力的试验结果。在第一象限内为双向受拉应力状态, σ_1 和 σ_2 相互影响不大,实际破坏强度基本上接近单向抗拉强度 R_L 。第三象限为双向受压情况。由于侧向压应力的存在,约束了侧向变形,延迟和限制了沿纵轴方向的内部微裂缝的发生和发展,因而抗压强度和极限压应变均有所提高。从图中可见,当 σ_1/σ_2 为 2 和 0.5 时,强度比单向受压时约提高 27% 左右。在第二、四象限,试件一个方向受压,另一个方向受拉,其相互作用的结果,助长了试件的横向变形,使强度降低。

平面法向应力和剪应力的组合强度 混凝土在平面的法向应力和剪应力的共同作用下,其强度曲线如图 1—10 所示。可见,混凝土的抗剪强度随拉应力的增大而减小,随压应力的增大而增大。但当压应力超过 $(0.5 \sim 0.7)R_a$ 时,抗剪强度反而随压应力增大而减小。反之,抗压、抗拉强度都会受剪应力影响而降低。

三向受压强度 混凝土在三向受压时,由于另外两个方向应力的约束,抗压强度有较大的

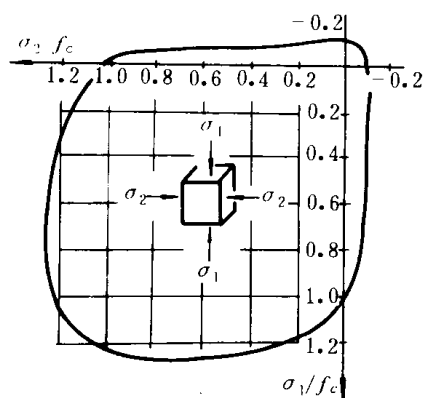
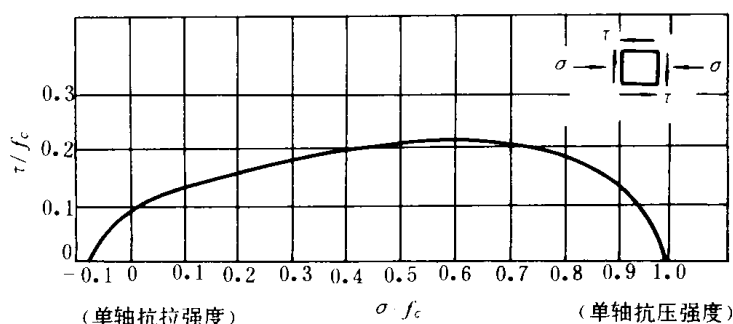


图 1-9 混凝土双向受力强度曲线

图 1-10 混凝土受平面 σ 和 τ 组合的强度曲线

提高。根据圆柱体周围加侧向液压的试验结果,三向受压时混凝土纵向抗压强度 R_a 的经验公式为

$$R_a' = R_a + K\sigma \quad (1-5)$$

式中 σ ——侧向正应力;

K ——侧向压力效应系数,早年试验资料定为 4.1,其后的试验资料取 4.5~7,平均值为 5.6。

5. 混凝土的疲劳强度 混凝土的疲劳破坏,主要是因为混凝土产生的微裂缝、孔隙、弱骨料等内部缺陷而造成。在承受重复荷载之后产生应力集中,导致裂缝发展、贯通,结果引起骨料和砂浆间的破坏。

混凝土的疲劳强度低于静力强度,其降低程度与重复荷载的下限应力水平 $\sigma_{\min}/R_a$ 和循环次数 N 有关。试验确定的混凝土疲劳折减系数 $\sigma_{\max}/R_a$ 的估算公式为

$$\frac{\sigma_{\max}}{R_a} = \frac{\sigma_{\min}}{R_a} + \left(1 - \frac{\sigma_{\min}}{R_a}\right) (1.09 - 0.074 \log N) \quad (1-6)$$

在 200 万次循环次数的情况下,等幅重复应力下的疲劳强度折减系数 $\sigma_{\max}/R_a$ 为

$$\frac{\sigma_{\max}}{R_a} = 0.62 + 0.38 \cdot \frac{\sigma_{\min}}{R_a} \quad (1-7)$$

当重复应力的低限 $\sigma_{\min} = 0$ 时,疲劳折减系数等于 0.62。

(二)混凝土的变形性能

混凝土的变形可分为两类:一类是在荷载作用下的受力变形;另一类是与受力无关的体积变形。

1. 混凝土在短期荷载作用下的变形性能 混凝土试件在短期压力荷载作用下,典型的应力-应变曲线如图 1-11 所示。

整个曲线以峰点 c 为界,分上升段和下降段两部分。强度等级不同的混凝土曲线形状相似,如图 1-12 所示,且峰值应变大致均为 0.002。

在上升段:当应力 $\sigma \leq 0.3R_a$ 时,变形主要取决于混凝土内部骨料和水泥凝胶体的弹性变形,应力-应变呈直线变化。当应力 $\sigma = (0.3 \sim 0.8)R_a$ 时,由于内部水泥凝胶体的粘性流动和微裂缝的稳定发展,使应变增长较应力为快,表现了混凝土的弹塑性性质。当应力 $\sigma > 0.8R_a$ 之后,混凝土内部微裂缝进入非稳态发展,塑性变形急剧增大。当应力到达峰值

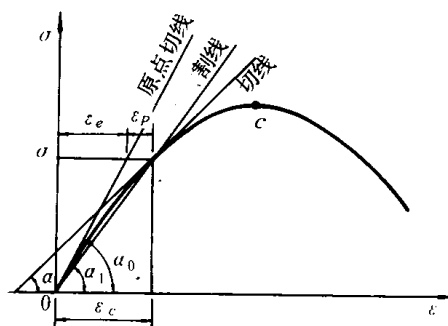


图 1-11 混凝土的应力-应变曲线