



世纪高等教育土木工程系列规划教材

混凝土结构基本原理 学习指导

马芹永 主编



21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

混凝土结构基本原理 学习指导

主 编 马芹永

副主编 吴金荣

参 编 吴 庆 李玉荣 崔朋勃



机械工业出版社

前 言

根据高等学校土木工程专业指导委员会制定的土木工程专业培养方案,“混凝土结构基本原理”为该专业的一门专业基础课。本书是机械工业出版社出版的《混凝土结构基本原理》的配套教材,是根据 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》和 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》编写的,主要章节包括绪论、混凝土结构材料的物理力学性能、混凝土结构设计的基本原则、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件扭曲截面受扭承载力计算、钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构耐久性、预应力混凝土构件设计、混凝土结构按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的设计原理。主要内容包括学习要点、概念解析、典型例题及分析、练习题、练习题参考答案。最后两章分别为综合试题与研究生入学模拟试题,并给出了相应参考答案。

本书由安徽理工大学马芹永担任主编,吴金荣担任副主编、吴庆、李玉荣和崔朋勃参加编写。具体分工为马芹永编写第1章绪论、第4章受弯构件正截面承载力计算、综合试题、研究生入学模拟试题;吴金荣编写第5章受弯构件斜截面承载力计算、第11章混凝土结构按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的设计原理及附录的有关规定;吴庆编写第8章受扭构件扭曲截面受扭承载力计算、第9章钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构耐久性、第10章预应力混凝土构件设计;李玉荣编写第2章混凝土结构材料的物理力学性能、第6章受压构件截面承载力计算、第7章受拉构件截面承载力计算,崔朋勃编写第3章混凝土结构设计的基本原则。全书由马芹永、吴金荣统稿。崔朋勃、韩博对全书的计算题进行了核算。

本书编写过程中参考和引用了国内近年来出版的有关混凝土结构的规范、教材、习题指导及解答等书籍，在此向相关作者表示感谢。安徽理工大学的“混凝土结构基本原理”课程 2006 年被评为安徽省精品课程，本书的出版得到了安徽省教育厅、安徽理工大学、机械工业出版社的大力支持，在此一并表示衷心地感谢。限于水平，书中存在的不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论	1
一、学习要点	1
二、概念解析	2
三、练习题	3
四、练习题参考答案	4

第2章 混凝土结构材料的物理

力学性能

一、学习要点	5
二、概念解析	12
三、典型例题及分析	14
四、练习题	15
五、练习题参考答案	19

第3章 混凝土结构设计的基本

原则

一、学习要点	20
二、概念解析	24
三、典型例题及分析	25
四、练习题	27
五、练习题参考答案	29

第4章 受弯构件正截面承载力

计算

一、学习要点	31
二、概念解析	44
三、典型例题及分析	47
四、练习题	51
五、练习题参考答案	55

第5章 受弯构件斜截面承载力

计算

一、学习要点	61
二、概念解析	67
三、典型例题及分析	67
四、练习题	72
五、练习题参考答案	75

第6章 受压构件截面承载力

计算

一、学习要点	81
二、概念解析	93
三、典型例题及分析	95
四、练习题	111
五、练习题参考答案	116

第7章 受拉构件截面承载力

计算

一、学习要点	129
二、典型例题及分析	130
三、练习题	133
四、练习题参考答案	134

第8章 受扭构件扭曲截面受扭

承载力计算

一、学习要点	136
二、概念解析	142
三、典型例题及分析	143
四、练习题	149
五、练习题参考答案	151

第9章 钢筋混凝土构件的变形、

裂缝及混凝土结构

耐久性

一、学习要点	154
--------	-----

二、概念解析	159	二、概念解析	199
三、典型例题及分析	160	三、典型例题及分析	202
四、练习题	163	四、练习题	207
五、练习题参考答案	165	五、练习题参考答案	209
第 10 章 预应力混凝土构件		第 12 章 综合试题	212
设计	168	第 13 章 研究生入学模拟	
一、学习要点	168	试题	226
二、概念解析	176	附录	252
三、典型例题及分析	177	附录 1 GB 50010—2010《混凝土结构	
四、练习题	180	设计规范》的有关规定 ...	252
五、练习题参考答案	182	附录 2 JTG D62—2004《公路钢筋混凝	
第 11 章 混凝土结构按《公路钢		土及预应力混凝土桥涵设计	
筋混凝土及预应力混凝		规范》的有关规定	259
土桥涵设计规范》的设		附录 3 主要符号	263
计原理	185	参考文献	270
一、学习要点	185		

第 1 章

绪 论

一、学习要点

1. 混凝土结构的概念与分类

混凝土结构是指以混凝土为主制成的结构。分类：素混凝土结构，指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构；钢筋混凝土结构，指配置受力的普通钢筋的混凝土结构；预应力混凝土结构，指配置受力的预应力钢筋，通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土结构。

2. 钢筋和混凝土共同工作的原因

1) 混凝土结硬后，能与钢筋牢固地粘结在一起，相互传递内力。粘结力是这两种性质不同的材料能够共同工作的基础。

2) 由于钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数十分接近 [钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$]，当温度变化时钢筋与混凝土之间不会产生由温度引起的较大相对变形所造成的粘结破坏。

3) 钢筋埋置于混凝土中，混凝土对钢筋起到了保护和固定作用，使钢筋不容易发生锈蚀，且使其受压时不易失稳，在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。因此，在混凝土结构中，钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土作保护层，这是保持两者共同工作的必要措施。

3. 混凝土结构的发展

第一阶段 (1850 ~ 1920 年)：钢筋和混凝土的强度都很低，仅能建造一些小型的梁、板、柱、基础等构件，钢筋混凝土本身的计算理论尚未建立，按弹性理论进行结构设计。

第二阶段 (1920 ~ 1950 年)：已建成各种空间结构，发明了预应力混凝土并应用于实际工程，按破损阶段进行构件截面设计。

第三阶段 (1950 ~ 1980 年)：材料强度提高，混凝土的应用范围进一步扩

大,同时广泛采用预制构件,结构构件设计已过渡到按极限状态的设计方法。

第四阶段(1980年至今):出现装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产技术。高强混凝土和高强钢筋的发展、计算机的采用和先进施工机械设备的发明,建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型工程,成为现代土木工程的标志。在设计计算理论方面,已发展到以概率理论为基础的极限状态设计法,非线性有限元分析方法的广泛应用,推动了混凝土强度理论和本构关系的深入研究。

4. 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构的主要优点:

- 1) 取材容易。混凝土所用的砂、石一般易于就地取材。
- 2) 合理用材。钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能。
- 3) 耐久性。密实的混凝土有较高的强度,同时由于钢筋被混凝土包裹,不易锈蚀,维修费用也很少,所以钢筋混凝土结构的耐久性比较好。
- 4) 耐火性。混凝土包裹在钢筋外面,火灾时钢筋不会很快达到软化温度而导致结构整体破坏,与裸露的木结构、钢结构相比,其耐火性要好。
- 5) 可模性。根据需要,可以较容易地浇筑成各种形状和尺寸的钢筋混凝土结构。
- 6) 整体性。整浇整体式钢筋混凝土结构有很好的整体性,有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

钢筋混凝土结构的主要缺点:

- 1) 自重。钢筋混凝土的重度约为 25kN/m^3 ;比砌体和木材的重度都大。尽管比钢材的重度小,但结构的截面尺寸比钢结构大,因而其自重远远超过相同跨度或高度的钢结构。
- 2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度非常低,因此,普通钢筋混凝土结构经常带裂缝工作。裂缝的存在并不一定意味着结构发生破坏,但是它影响结构的耐久性和美观,当裂缝数量较多和开展较宽时,还将给人造成不安全感。对一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制的结构,要满足这些要求就需要提高工程造价。
- 3) 隔热隔声性能较差。

二、概念解析

在素混凝土结构中配置一定形式和数量的钢筋后,结构性能发生了怎样的变化?

【答】素混凝土简支梁破坏性试验的结果表明,当荷载较小时,截面上的

应变如同弹性材料的梁一样,沿截面高度呈直线分布;当荷载增大使截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土抗拉极限应变时,该处的混凝土被拉裂,裂缝沿截面高度方向迅速开展,试件随即发生断裂破坏。这种破坏是突然发生的。尽管混凝土的抗压强度比其抗拉强度高几倍或十几倍,但得不到充分利用,因为该试件的破坏是由混凝土的抗拉强度控制的,破坏荷载值很小。所以对素混凝土梁,由于混凝土的抗拉性能很差,在荷载作用下,梁的跨中附近截面边缘的混凝土一开裂,梁就突然断裂,破坏前变形很小,没有预兆,属于脆性破坏类型。钢筋混凝土简支梁破坏性试验的结果表明,钢筋主要承受梁中和轴以下受拉区的拉力,混凝土主要承受中和轴以上受压区的压力。由于钢筋的抗拉能力和混凝土的抗压能力都很大,即使受拉区的混凝土开裂,梁还能继续承受相当大的荷载,直到受拉钢筋达到屈服强度,以后,荷载再略有增加,受压区混凝土被压碎,梁才破坏。试件破坏前,变形和裂缝都发展得很充分,呈现出明显的破坏预兆,属于延性破坏。因此,在混凝土结构中适当的位置配置适量的钢筋,就能使结构的承载能力和变形能力有很大的提高,同时钢筋与混凝土两种材料的强度也都能得到较充分的利用并节约了材料。

三、练习题

选择题

1. 与素混凝土梁相比,适量配筋的钢筋混凝土梁的承载力和抵抗开裂的能力()。
A. 均提高很多
B. 承载力提高很多,抗裂提高不多
C. 抗裂提高很多,承载力提高不多
D. 均提高不多
2. 钢筋混凝土梁在正常使用荷载下()。
A. 通常是带裂缝工作的
B. 一旦出现裂缝,沿全长混凝土与钢筋间的粘结力丧尽
C. 一旦出现裂缝,裂缝贯通全截面
D. 通常是不带裂缝工作的
3. 钢筋和混凝土共同工作的基础是()。
A. 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数十分接近
B. 混凝土包裹在钢筋外围
C. 混凝土能够承受压力,钢筋能够承受拉力
D. 钢筋和混凝土之间的粘结力
4. 钢筋混凝土结构的主要优点有()。
A. 耐久性好、耐火性好、质量轻
B. 整体性好、可模性强、耐久性好

- C. 抗裂性好、维修难、施工简单 D. 节约钢材、抗裂性好
5. 钢筋混凝土结构的主要缺点有 ()。
- A. 自重大、耐火性差 B. 维修难、整体性差
- C. 自重大、抗裂性差、施工周期长 D. 自重大、造价高、维修难

四、练习题参考答案

选择题

1. B 2. A 3. D 4. B 5. C

第 2 章

混凝土结构材料的物理力学性能

一、学习要点

1. 钢筋

(1) 钢筋品种

混凝土结构中使用的钢筋有柔性钢筋和劲性钢筋两类。一般所称的钢筋即为柔性钢筋，劲性钢筋是指用于混凝土中的型钢（角钢、槽钢、工字钢等）。按化学成分可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（含碳量为 0.6% ~ 1.4%），含碳量越高，钢筋的强度越高，但塑性和焊接性能越低。《混凝土结构设计规范》规定，用于钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中的钢筋品种主要有热轧钢筋、中强度预应力钢丝、钢绞线、消除应力钢丝和预应力螺纹钢筋。

1) 热轧钢筋。由低碳钢、普通低合金钢或细晶粒钢在高温状态下轧制而成。分为 HPB300, HRB335、HRBF335, HRB400、HRBF400、RRB400, HRB500、HRBF500 四个等级，分别用符号 ϕ , Φ , Φ^F , Φ , Φ^F , Φ^R , Φ , Φ^R 表示，直径为 6 ~ 50mm。HPB300 为光面钢筋，其余为变形钢筋。

2) 钢丝。中强度预应力钢丝的抗拉强度为 800 ~ 1270MPa，外形有光面（ ϕ^{PM} ）和螺旋肋（ ϕ^{HM} ）两种；消除应力钢丝的抗拉强度为 1470 ~ 1860MPa，分为光面钢丝、螺旋肋钢丝和刻痕钢丝。光面钢丝（ ϕ^P ）是将钢筋拉拔后，校直，经中温回火消除应力并稳定化处理而成。螺旋肋（ ϕ^H ）钢丝是以普通低碳钢或低合金钢热轧的圆盘条为母材，经冷轧减径后在其表面冷轧成两面或三面有月牙肋的钢筋。刻痕钢丝（ ϕ^I ）是在光面钢丝的表面上进行机械刻痕处理而成。消除应力钢丝的直径为 5 ~ 9mm。

3) 钢绞线（ ϕ^S ）。由多根高强钢丝扭结而成，抗拉强度为 1570 ~ 1960MPa。按其股数可分为 3 股、7 股两类。

4) 预应力螺纹钢筋 (ϕ^T)。又称精轧螺纹粗钢筋, 抗拉强度为 980 ~ 1230MPa, 是用于预应力混凝土结构的大直径高强钢筋。

(2) 钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线

1) 有明显屈服点钢筋。钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线有明显的流幅或屈服平台, 如图 2-1 所示。图中 A' 点称为比例极限, A 点称为弹性极限, B' 点称为屈服上限, B 点称为屈服下限, D 点称为极限抗拉强度。以屈服强度作为设计强度, 屈服强度是以屈服下限为依据。这种钢筋多用于钢筋混凝土结构。

2) 无明显屈服点钢筋。钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线无明显的流幅或屈服平台, 如图 2-2 所示, 《混凝土结构设计规范》规定, 在构件承载力设计时, 取极限抗拉强度 σ_b 的 85% 作为条件屈服点。

(3) 钢筋的塑性性能

1) 钢筋的断后伸长率 (习惯上称为伸长率)。钢筋拉断后的伸长值与原长的比称为钢筋的断后伸长率按下式计算

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 l_0 ——试件拉伸前的标距长度, 一般可取 $l_0 = 5d$ 或 $l_0 = 10d$ (d 为钢筋直径), 相应的断后伸长率表示为 δ_5 或 δ_{10} ; 对预应力钢丝也有取 $l_0 = 100\text{mm}$ 的, 断后伸长率表示为 δ_{100} ;

l ——钢筋包含颈缩区的量测标距拉断后的长度。

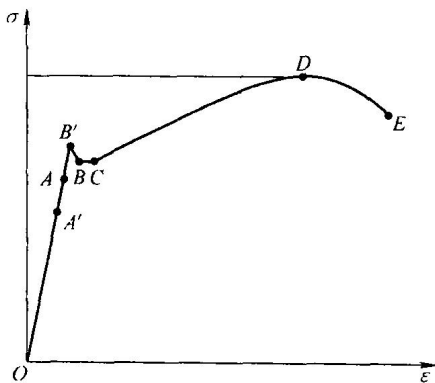


图 2-1 有明显屈服点钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线

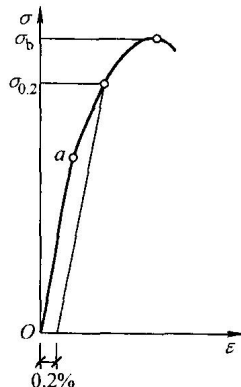


图 2-2 无明显屈服点钢筋的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线

断后伸长率只能反映钢筋残余变形的大小, 其中还包含断口颈缩区域的局部变形。

2) 钢筋最大力下的总伸长率 (均匀伸长率)

钢筋在达到最大应力 σ_b 时的变形包括塑性残余变形 ε_r 和弹性变形 ε_e 两部分, 最大力下的总伸长率 δ_{gt} 为:

$$\delta_{gt} = \left(\frac{l - l_0}{l_0} + \frac{\sigma_b}{E_s} \right) \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 l_0 ——试验前的原始标距（不包含颈缩区）；
 l ——试验后量测标记之间的距离；
 σ_b ——钢筋的最大拉应力（即极限抗拉强度）；
 E_s ——钢筋的弹性模量。

钢筋最大力下的总伸长率 δ_{gt} 既能反映钢筋的残余变形，又能反映钢筋的弹性变形，量测结果受原始标距 l_0 的影响较小，也不易产生人为误差，因此《混凝土结构设计规范》采用 δ_{gt} 来统一评定钢筋的塑性性能。 δ_{gt} 不应小于表 2-1 规定的数值。

表 2-1 普通钢筋及预应力筋在最大力下的总伸长率限值

钢筋品种	普通钢筋			预应力筋
	HPB300	HRB335、HRBF335、HRB400、HRBF400、 HRB500、HRBF500	RRB400	
δ_{gt} (%)	10.0	7.5	5.0	3.5

3) 冷弯性能。冷弯是将直径为 d 的钢筋绕直径为 D 的弯芯弯曲到规定的角度后（90°或 180°）无裂纹、断裂和起层现象，则表示合格。弯芯的直径 D 越小，弯转角 α 越大，表明钢筋的塑性性能越好。

钢筋的冷弯性能是检验钢筋韧性内部质量和加工可适性的有效方法。

(4) 钢筋的弹性模量 在混凝土结构设计中，经常要使用钢筋的弹性模量指标。热轧钢筋、中高强钢丝和钢绞线的弹性模量可按附表 1-5 取用。

(5) 混凝土结构对钢筋的要求

1) 钢筋的强度。所谓钢筋强度是指钢筋的屈服强度及极限抗拉强度。钢筋的屈服强度是设计计算时的主要依据（对无明显流幅的钢筋，取它的条件屈服点）。采用高强度钢筋可以节约钢材，取得较好的经济效益。改变钢材的化学成分，生产新的钢种可以提高钢筋的强度。

2) 钢筋的塑性。要求钢材有一定的塑性是为了使钢筋在断裂前有足够的变形，在钢筋混凝土结构中，能给出构件将要破坏的预告信号，同时要保证钢筋冷弯的要求，通过试验检验钢材承受弯曲变形的能力以间接反映钢筋的塑性性能。钢筋的伸长率和冷弯性能是施工单位验收钢筋是否合格的主要指标。

3) 钢筋的可焊接性。可焊接性是评定钢筋焊接后的接头性能的指标。焊接性好，即要求在一定的工艺条件下，钢筋焊接后不产生裂纹及过大的变形。

4) 钢筋的耐火性。热轧钢筋的耐火性能最好，冷轧钢筋其次，预应力钢筋

最差。结构设计时应注意混凝土保护层厚度满足对构件耐火极限的要求。

5) 钢筋与混凝土的粘结力。为了保证钢筋与混凝土共同工作,要求钢筋与混凝土之间必须有足够的粘结力。钢筋表面的形状是影响粘结力的重要因素。

2. 混凝土

(1) 混凝土的强度

1) 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 。采用边长为150mm的立方体试件,按标准方法制作养护,在28d或设计规定龄期用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值,确定为混凝土的立方体抗压强度标准值。

对边长为200mm或100mm的立方体试件,将测得的立方体强度乘以换算系数1.05或0.95即可得到标准试件强度。

2) 轴心抗压强度 f_{ck} 。又称棱柱体抗压强度,它能更好地反映混凝土结构的实际抗压能力。 f_{ck} 是采用150mm×150mm×300mm的棱柱体试件测定,测试方法与立方体抗压强度的测试相同。

轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 的关系为

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2} \times f_{cu,k} \quad (2-3)$$

式中 0.88——考虑结构中混凝土的实体强度与立方体试件混凝土强度之间的差异而取的修正系数;

α_{c1} ——棱柱体强度与立方体强度的比值,对强度等级为C50及以下的普通混凝土取 $\alpha_{c1} = 0.76$,对高强度C80的混凝土取 $\alpha_{c1} = 0.82$,对于中间等级混凝土按线性内插法取值。

α_{c2} ——混凝土的脆性折减系数,对于C40及以下的混凝土,取 $\alpha_{c2} = 1.0$,对于C80高强混凝土,取 $\alpha_{c2} = 0.87$,对于中间等级混凝土, α_{c2} 按线性内插法取值。

3) 轴心抗拉强度 f_{tk} 。抗拉强度可以间接地衡量混凝土的冲切强度等其他力学性能。混凝土的抗拉强度一般只为立方体抗压强度的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{10}$,通常可以采用直接拉伸试验或间接劈裂试验测定。

轴心抗拉强度标准值和立方体抗压强度标准值的关系为

$$f_{tk} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta)^{0.45} \times \alpha_{c2} \quad (2-4)$$

式中 δ ——变异系数;

0.395, 0.55——轴心抗拉强度与立方体抗压强度的折算关系。

4) 复合应力状态下的强度。如图2-3所示,在第一象限($\sigma_1 < 0, \sigma_2 < 0$)双向受拉相互影响不大,接近单轴受拉强度;在第二、四象限($\sigma_1 \sigma_2 < 0$)拉-压状态下强度低于单轴受拉或受压时的强度;在第三象限($\sigma_1 > 0, \sigma_2 > 0$)双向受压强度较单向受压时强度提高,且最多提高29%。

三向受压时混凝土侧向变形受到约束, 纵向抗压强度提高, 同时延性增大, 此时混凝土纵向抗压强度按下式计算

$$\sigma_1 = f'_c + k\sigma_2 \quad (2-5)$$

式中 f'_c ——无侧向压力约束试件的轴心抗压强度;

σ_1 ——有侧向压力约束试件的轴心抗压强度;

σ_2 ——侧向约束压应力;

k ——侧向压应力效应系数, 根据试验结果取 $k = 4.5 \sim 7.0$, 平均值为 5.6, 当侧向压应力较低时, 得到的系数值较高。

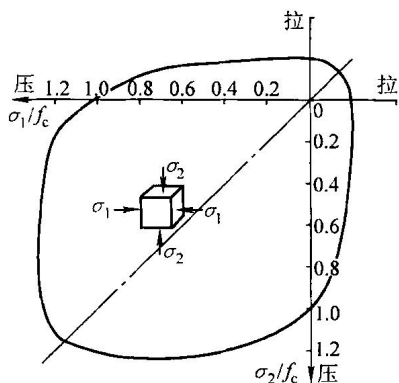


图 2-3 双向正应力状态下混凝土强度曲线

(2) 混凝土的变形

1) 混凝土的应力 - 应变曲线。经过一次短期加载作用下混凝土的应力 - 应变曲线如图 2-4 所示。

《混凝土结构设计规范》中混凝土结构计算所采用的应力 - 应变曲线, 如图 2-5 所示。其方程表达式为:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{上升段} & \sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^n \right] \quad \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \\ \text{水平段} & \sigma_c = f_c \quad \varepsilon_0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{array} \right\} \quad (2-6)$$

式中, $n = 2 - \frac{1}{60} (f_{cu,k} - 50) \leq 2.0$; $\varepsilon_0 = 0.002 + 0.5 (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \geq 0.002$; $\varepsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \leq 0.0033$ 。

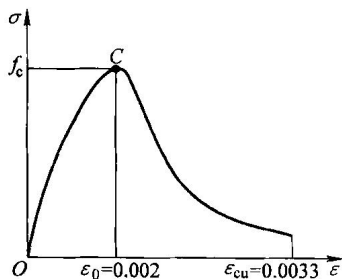


图 2-4 混凝土应力 - 应变曲线

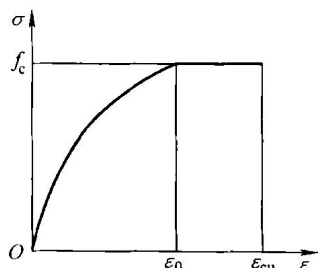


图 2-5 我国《混凝土结构设计规范》采用的混凝土应力 - 应变曲线

随着混凝土强度的提高, 峰值的应力增大, 但与峰值相应的应变大致在 0.002, 下降段越陡, 在应力下降相同值时, 应变越小, 所以延性越差。

2) 混凝土的泊松比、弹性模量。试件一次短期加载时, 横向应变和纵向应

变的比值称为泊松比 ν_c 。当压应力较小时, ν_c 约为 0.15 ~ 0.18; 接近破坏时较大。《混凝土结构设计规范》规定 $\nu_c = 0.2$ 。

根据试验结果,《混凝土结构设计规范》规定,混凝土受压弹性模量按下式计算

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \quad (2-7)$$

式中, E_c 和 $f_{cu,k}$ 的计量单位为 N/mm^2 。

需要注意的是:混凝土不是弹性材料,所以不能用已知的混凝土应变乘以规范中所给的弹性模量值去求混凝土的应力。只有当混凝土应力很低时,它的弹性模量与变形模量值才近似相等。

3) 混凝土的徐变。结构或材料承受的荷载或应力不变,应变或变形随时间增长的现象称为徐变。

混凝土的徐变特性主要与时间参数有关。一般情况下,徐变开始增长较快,以后逐渐减慢,经过较长时间后就逐渐趋于稳定。试验表明,混凝土的徐变与混凝土的应力大小有着密切的关系。应力越大徐变也越大,随着混凝土应力的增加,混凝土徐变将发生不同的情况。当混凝土应力较小时(如小于 $0.5f_c$),徐变与应力成正比,曲线接近等间距分布,这种情况称为线性徐变。在线性徐变的情况下,加载初期徐变增长较快,一般6个月时已完成徐变的大部分,后期徐变增长逐渐减小,一年以后趋于稳定,一般认为3年左右徐变基本终止。当混凝土应力较大时(如大于 $0.5f_c$),徐变变形与应力不成正比,徐变变形比应力增长要快,称为非线性徐变。在非线性徐变范围内,当加载应力过高时,徐变变形急剧增加不再收敛,呈非稳定徐变的现象。由此说明,在高应力的作用下可能造成混凝土的破坏。所以,一般取混凝土应力约等于 $0.75f_c \sim 0.8f_c$ 作为混凝土的长期极限强度。混凝土构件在使用期间,应当避免经常处于不变的高应力状态。试验还表明,加载时混凝土的龄期越早,徐变越大。此外,混凝土的组成成分对徐变也有很大影响。水泥用量越多,徐变越大;水灰比越大,徐变也越大。一般骨料越坚硬,弹性模量越高,混凝土的徐变越小。此外,混凝土的制作方法、养护条件,特别是养护时的温度和湿度对徐变也有重要影响。养护时温度高、湿度大,水泥水化作用充分,徐变越小。而受到荷载作用后所处的环境温度越高、湿度越低,则徐变越大。构件的形状、尺寸也会影响徐变值,大尺寸试件内部失水受到限制,徐变减小。钢筋的存在等对徐变也有影响。

徐变对混凝土结构和构件的工作性能有很大影响。由于混凝土的徐变,会使构件的变形增加,在钢筋混凝土截面中引起应力重分布。在预应力混凝土结构中会造成预应力损失。

4) 混凝土的收缩。混凝土凝结硬化时, 在空气中体积收缩, 称为混凝土的收缩。混凝土收缩随着时间延长而增加, 收缩的速度随着时间的延长而逐渐减缓。一般在1个月内就可完成全部收缩量的50%, 3个月后增长缓慢, 2年后趋于稳定, 最终收缩量约为 $(2 \sim 5) \times 10^{-4}$ 。

混凝土收缩主要是由于干燥失水和碳化作用引起的。混凝土收缩量与混凝土的组成有密切的关系。水泥用量越多, 水灰比越大, 收缩越大; 骨料越坚实(弹性模量越高), 更能限制水泥浆的收缩; 骨料粒径越大, 越能抵抗砂浆的收缩, 而且在同一稠度条件下, 混凝土用水量就越少, 从而减少了混凝土的收缩。

由于干燥失水引起混凝土收缩, 所以养护方法、存放及使用环境的温湿度条件是影响混凝土收缩的重要因素。在高温下湿养时, 水泥水化作用加快, 使可供蒸发的自由水分较少, 从而使收缩减小; 使用环境温度越高, 相对湿度越小, 其收缩越大。

混凝土的收缩对于混凝土结构起着不利的影响。在钢筋混凝土结构中, 混凝土往往由于钢筋或相邻部件的牵制而处于不同程度的约束状态, 使混凝土因收缩产生拉应力, 从而加速裂缝的出现和开展。在预应力混凝土结构中, 混凝土的收缩导致预应力的损失。对跨度变化比较敏感的超静定结构(如拱), 混凝土收缩将产生不利的内力。

3. 钢筋与混凝土之间粘结

钢筋混凝土受力后会沿钢筋和混凝土接触面产生剪应力, 通常把这种剪应力称粘结力。

(1) 组成 光圆钢筋与变形钢筋具有不同的粘结机理。光圆钢筋与混凝土的粘结作用主要由三部分组成:

1) 钢筋与混凝土接触面上的化学吸附作用力(胶结力)。这种吸附作用力来自浇筑时水泥浆体对钢筋表面氧化层的渗透以及水化过程中水泥晶体的生长和硬化。这种吸附作用力一般很小, 仅在受力阶段的局部无滑移区域起作用。当接触面发生相对滑移时, 该力即消失。

2) 混凝土收缩握裹钢筋而产生摩擦力。摩擦力是由于混凝土凝固时收缩, 对钢筋产生垂直于摩擦面的压应力。这种压应力越大, 接触面的粗糙程度越大, 摩擦力就越大。

3) 钢筋表面凹凸不平与混凝土之间产生的机械咬合作用力(咬合力)。对于光圆钢筋, 这种咬合力来自表面的粗糙不平。

变形钢筋与混凝土之间有机机械咬合作用, 改变了钢筋与混凝土间相互作用方式, 显著提高了粘结强度。对于变形钢筋, 咬合力因变形钢筋肋间嵌入混凝土而产生。虽然也存在胶结力和摩擦力, 但变形钢筋的粘结主要来自钢筋表面凸出的肋与混凝土的机械咬合作用。