



新世纪土木工程系列教材

混凝土结构习题集 与硕士生入学考题指导

阎奇武 黄远 主编

高等教育出版社

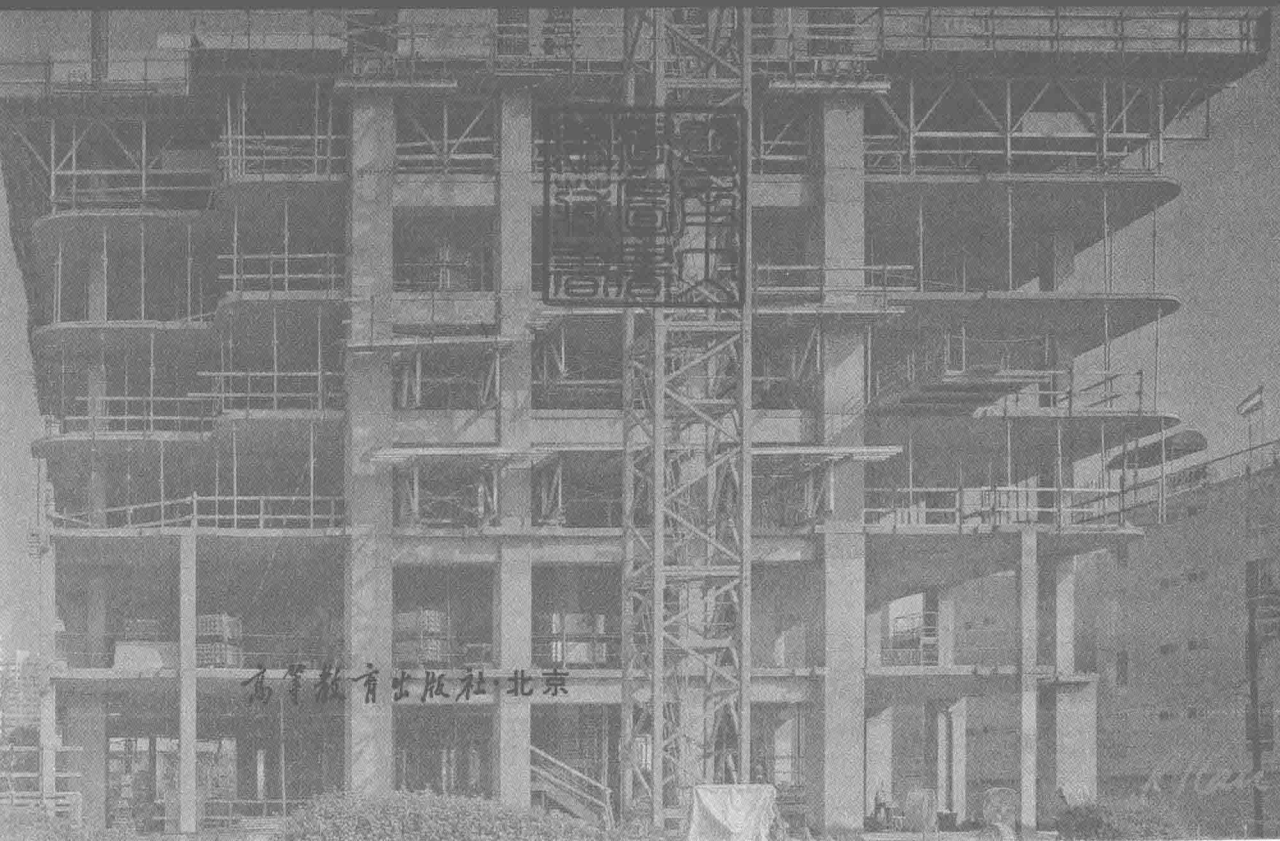


新世纪土木工程系列教材

混凝土结构习题集 与硕士生入学考题指导

HUNNINGTU JIEGOU XITIJI YU SHUOSHISHENG RUXUE KAOTI ZHIDAO

阎奇武 黄远 主编



高等教育出版社 北京

内容简介

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》和我国《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)编写而成。其中的习题与答案部分与沈蒲生教授主编、高等教育出版社出版的《混凝土结构设计原理》教材配套,本书还整理汇编了近几年全国各土木工程专业硕士生招生考试中相关混凝土结构考试的内容,并编写了答案与专业考试指导。全书由中南大学、湖南大学、长沙理工大学、中南林业科技大学共同编写,分10章,内容包括混凝土结构用材料的性能,混凝土结构设计方法,钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土受扭构件承载力计算,钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算,钢筋混凝土构件的变形、裂缝和耐久性,预应力混凝土构件设计各章的习题与参考答案,土木工程专业硕士生招生考试混凝土结构试题、答案与考试指导。

本书可作为高等学校土木工程专业学生学习混凝土结构和准备参加硕士生招生考试者复习的参考用书,也可作为社会学习者及从事混凝土结构设计、施工等工程技术人员的学习用书,还可作为准备参加注册结构工程师考试者的复习用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构习题集与硕士生入学考题指导 / 阎奇武, 黄远主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2015. 8

新世纪土木工程系列教材

ISBN 978-7-04-043192-6

I. ①混… II. ①阎… ②黄… III. ①混凝土结构 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 140184 号

策划编辑 单 蕾	责任编辑 单 蕾	封面设计 李小璐	版式设计 马敬茹
插图绘制 杜晓丹	责任校对 胡美萍	责任印制 刘思涵	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13
字 数 310千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015年8月第1版
印 次 2015年8月第1次印刷
定 价 20.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 43192-00

前 言

混凝土结构基本理论是土木工程专业各方向的必修基础知识,混凝土结构房屋设计是建筑工程方向的主干专业知识。我国土木工程事业的发展有目共睹,混凝土结构在土木工程中使用最广泛,其材料、设计理论、计算、构造措施发展日新月异,为及时总结混凝土结构最新成果,我国混凝土结构规范每10年左右就要更新,现行《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)于2010年8月发布,并于2011年7月开始实行。

新世纪土木工程系列教材是根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求而成套推出的系列教材。各门课程教材紧密结合人才培养模式改革,力求与本学科发展水平相适应,以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容。

按照21世纪土木工程专业人才培养方案和《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,依据我国《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010),本书编写了混凝土结构习题与答案,并与沈蒲生教授主编、高等教育出版社出版的《混凝土结构设计原理》教材配套,本书还整理汇编了近几年全国各土木工程专业硕士生招生综合考试中相关混凝土结构考试的内容,并编写了答案与专业考试指导。全书分10章,内容包括混凝土结构用材料的性能,混凝土结构设计方法,钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土受扭构件承载力计算,钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算,钢筋混凝土构件的变形、裂缝和耐久性,预应力混凝土构件设计各章的习题与参考答案,土木工程专业硕士生招生综合考试混凝土结构试题、答案与考试指导。

本书第4、5、9章由中南大学阎奇武编写,第2、7章由湖南大学黄远编写,第3、6章由长沙理工大学刘哲锋编写,第1、8章由中南林业科技大学陈伯望编写,第10章由湖南大学黄远、中南大学阎奇武合写。全书由阎奇武、黄远主编,中南大学卫军教授主审。

湖南大学沈蒲生教授详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

编写本科教材习题集与硕士生入学考题指导是我们初次尝试,也因作者水平所限,敬请广大读者对书中不妥之处提出批评和指正。

编者

2014年7月

目 录

1	混凝土结构用材料的性能	1
1.1	思考题	1
1.2	简答题	1
1.3	参考答案	2
1.3.1	思考题	2
1.3.2	简答题	6
2	混凝土结构设计方法	12
2.1	思考题	12
2.2	简答题	12
2.3	计算题	12
2.4	参考答案	13
2.4.1	思考题	13
2.4.2	简答题	14
2.4.3	计算题	16
3	钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力计算	18
3.1	思考题	18
3.2	简答题	18
3.3	计算题	19
3.4	参考答案	20
3.4.1	思考题	20
3.4.2	简答题	21
3.4.3	计算题	22
4	钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	28
4.1	思考题	28
4.2	简答题	29
4.3	计算题	30
4.4	参考答案	35
4.4.1	思考题	35
4.4.2	简答题	40
4.4.3	计算题	43
5	钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	62
5.1	思考题	62

5.2	简答题	63
5.3	计算题	63
5.4	参考答案	66
5.4.1	思考题	66
5.4.2	简答题	73
5.4.3	计算题	77
6	钢筋混凝土受扭构件承载力计算	95
6.1	思考题	95
6.2	简答题	95
6.3	计算题	96
6.4	参考答案	97
6.4.1	思考题	97
6.4.2	简答题	99
6.4.3	计算题	100
7	钢筋混凝土偏心受力构件承载力计算	116
7.1	思考题	116
7.2	简答题	116
7.3	计算题	117
7.4	参考答案	118
7.4.1	思考题	118
7.4.2	简答题	121
7.4.3	计算题	123
8	钢筋混凝土构件的变形、裂缝和耐久性	134
8.1	思考题	134
8.2	简答题	134
8.3	计算题	134
8.4	参考答案	135
8.4.1	思考题	135
8.4.2	简答题	135
8.4.3	计算题	136
9	预应力混凝土构件设计	138
9.1	思考题	138
9.2	简答题	139
9.3	计算题	139
9.4	参考答案	141
9.4.1	思考题	141
9.4.2	简答题	145
9.4.3	计算题	148

10 土木工程专业硕士生招生综合考试混凝土结构试题与指导	157
10.1 试题	157
10.1.1 清华大学试题	157
10.1.2 同济大学试题	158
10.1.3 哈尔滨工业大学试题	161
10.1.4 天津大学试题	163
10.1.5 华南理工大学试题	166
10.1.6 湖南大学试题	173
10.1.7 中南大学试题	174
10.2 解题指导与参考答案	176
10.2.1 清华大学试题解题指导与答案	176
10.2.2 同济大学试题解题指导与答案	180
10.2.3 哈尔滨工业大学试题解题指导与答案	180
10.2.4 天津大学试题解题指导与答案	183
10.2.5 华南理工大学试题解题指导与答案	184
10.2.6 湖南大学试题解题指导与答案	187
10.2.7 中南大学试题解题指导与答案	191
参考文献	196

1 混凝土结构用材料的性能

1.1 思考题

1. 什么是混凝土结构？
2. 在素混凝土梁中配置一定形式和适当数量钢筋后梁的力学性能发生怎样变化？材料强度都得到充分利用了吗？
3. 我国建筑工程混凝土结构用钢筋的品种和级别有哪些？如何合理选用其钢筋？
4. 有明显屈服点钢材与无明显屈服点钢材的区别是什么？设计时分别采用什么强度指标作为依据？
5. 什么是钢筋的强屈比？它反映了什么问题？
6. 混凝土构造特点是什么？
7. 影响混凝土单轴抗压强度的因素主要有哪些？
8. 测定混凝土立方体强度的标准试块的尺寸为多少？工程上还有哪两种尺寸？如何进行换算的？
9. 混凝土的强度等级是如何确定的？
10. 为什么采用混凝土立方体抗压强度作为划分混凝土强度的主要标准？
11. 混凝土的弹性模量是怎样测定的？
12. 为什么混凝土长期抗压强度小于短期抗压强度？
13. 约束混凝土与非约束混凝土的应力 - 应变关系有何差别？
14. 什么叫混凝土结构的延性？对结构有何影响？影响混凝土结构延性的因素有哪些？工程上是如何考虑的？
15. 钢筋与混凝土是两种性质不同的材料，为什么能共同工作？

1.2 简答题

1. 钢筋混凝土有哪些主要优缺点？
2. 从混凝土的组成和构造特点分析，混凝土变形由哪些组成？
3. 简述单轴受压混凝土棱柱体一次加载的应力 - 应变曲线的特点。并说明应力 - 应变曲线应满足哪些条件？
4. 简述混凝土单轴受拉应力 - 应变曲线的特点。混凝土极限拉应变是多少？

5. 简述混凝土在双轴受压下的强度规律。
6. 简述混凝土在常规三轴受压下的强度规律。
7. 什么是混凝土弹性系数？其取值范围是多少？随应变增加的变化情况怎样？
8. 何谓混凝土收缩、膨胀？对结构有什么影响？有哪些措施可避免或降低影响程度？混凝土收缩应变的终极值是多少？
9. 什么叫混凝土的徐变？产生的原因？有哪些因素影响？对结构的影响如何？
10. 什么是混凝土徐变系数？其终极值一般是多少？
11. 混凝土结构对钢筋性能的要求有哪些？各项性能要求指标能达到什么目的？
12. 什么叫钢筋最大力下的总伸长率？它反映钢材哪方面的性能？如何表示？
13. 为什么要对钢筋进行冷弯试验？它反映钢材哪方面的性能？
14. 钢筋与混凝土之间的粘结力是如何组成的？
15. 保证钢筋与混凝土之间粘结力的措施有哪些？
16. 为什么伸入支座的受力钢筋要有一定的锚固长度？是否越长越好？钢筋在绑扎搭接时，为什么要有足够的搭接长度？

1.3 参考答案

1.3.1 思考题

1. 以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土等结构。

2. 如图 1-1a，由于混凝土材料的抗拉强度远远低于其抗压强度，当素混凝土梁达到开裂荷载时，梁中和轴下部拉应力达到混凝土材料极限抗拉强度，梁立即发生脆性破坏，受压区混凝土抗压强度未被充分利用。在混凝土梁的受拉区配置适当数量纵向受拉钢筋形成钢筋混凝土梁如图 1-1b，混凝土开裂后，裂缝截面的混凝土拉应力由纵向钢筋承受，荷载还可进一步增加，裂缝宽度扩展，变形发展，直到受拉钢筋和受压区混凝土抗压强度都被充分利用，试件才发生延性破坏。在素混凝土梁中配置适当数量钢筋后，可以收到下列效果：

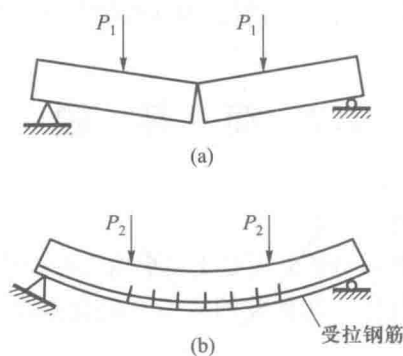


图 1-1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁对比

(1) 梁的承载力显著提高;

(2) 梁的破坏由脆性破坏变为延性破坏。

3. 目前我国常用的钢筋品种有热轧钢筋、热处理钢筋、中强预应力钢丝、预应力螺纹钢筋、消除应力钢丝、钢绞线,按用途可分为普通钢筋和预应力钢筋。普通钢筋级别有 HPB300 (Φ)、HRB335 (Φ)、HRBF335 (Φ^F)、HRB400 (Φ)、HRBF400 (Φ^F)、RRB400 (Φ^R)、HRB500 (Φ)、HRBF500 (Φ^F) 8 个。预应力钢筋常采用钢绞线和钢丝,也可采用预应力螺纹钢筋。钢丝和钢绞线的抗拉极限强度标准值可达 800 MPa ~ 1 960 MPa, 钢丝直径 5 mm、7 mm、9 mm, 外形有光面、螺旋肋 2 种, 符号 Φ^M 、 Φ^H (中强预应力钢丝) 及 Φ^P 、 Φ^H (消除应力钢丝); 另有 3 股和 7 股钢绞线, 符号 Φ^S , 外接圆直径 8.6 mm ~ 21.6 mm。预应力螺纹钢筋的级别有 PSB785、PSB930、PSB1080, 外形为螺纹, 直径有 18 mm、25 mm、32 mm、40 mm、50 mm, 符号 Φ^T 。

混凝土结构的钢筋应按下列规定选用:

(1) 纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋, 也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400 钢筋;

(2) 梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋;

(3) 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋, 也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋;

(4) 预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

4. 有明显屈服点的钢筋, 有时被称为软钢, 如热轧钢筋; 无明显屈服点的钢筋, 有时被称为硬钢, 如钢丝、钢绞线及热处理钢筋。

软钢有两个强度力学性能指标: 一是屈服强度, 这是钢筋混凝土构件设计时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, 这将使构件变形和裂缝宽度大大增加以致无法使用, 所以在设计中采用屈服强度 (标准值或设计值) f_{yk} 或 f_y 作为钢筋的强度极限。另一个强度指标是钢筋极限强度 (标准值或设计值) f_{stk} 或 f_{st} , 一般用作钢筋的实际破坏强度。

设计中硬钢极限抗拉强度不能作为钢筋强度取值的依据, 一般取残余应变为 0.2% 所对应的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为无明显流幅钢筋的强度限值, 通常称为条件屈服强度。对于高强钢丝, 条件屈服强度相当于极限抗拉强度的 0.85 倍。对于热处理钢筋, 则为 0.9 倍。为了简化运算, 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010, 以下简称《规范》) 统一取 $\sigma_{0.2} = 0.85\sigma_b$, 其中 σ_b 为无明显流幅钢筋的极限抗拉强度。

5. 钢筋极限强度与屈服强度的比值称为强屈比, 反映了钢筋的强度储备。对于有延性要求的抗震结构, 规定钢筋的抗拉强度实测值与屈服 (条件屈服) 强度实测值的比值不应小于 1.25, 目的是使结构某部位出现较大塑性变形或塑性铰后, 钢筋在大变形条件下具有必要的强度潜力, 保证构件的基本抗震承载力。

6. 普通混凝土由水泥、砂、石和水 (可含外加剂和掺和料) 组成。水泥与水形成水泥浆, 包裹在骨料表面并填充其空隙。水泥浆硬化后将骨料胶结成一个坚实的整体。混凝土在构造上具有以下特点:

(1) 水泥水化后所需要的水, 远小于混凝土施工时和易性所要求的水。拌和在混凝土中的水在混凝土硬化后, 一部分参与水化反应, 一部分残留在混凝土内, 一部分挥发于空气中,

使混凝土形成许多微细的空隙。混凝土是一种多空、不均匀的物体。

(2) 水泥水化过程可能要延续几个月或几年,混凝土的硬结过程也很长,混凝土的许多物理和力学性能需要延续一段较长的时间才能趋于稳定。

(3) 混凝土在空气中硬结时,水泥石产生收缩,而骨料收缩较小,在骨料与水泥石粘界面以及水泥石内部有可能产生许多细微的微裂缝。

7. 影响混凝土单轴抗压强度的因素有水泥强度,水灰比,骨料品种,混凝土配合比,养护时的温度、湿度,施工方法,龄期,试验方法和试件尺寸等。

8. 混凝土立方体强度标准试块尺寸为:边长为 150 mm 的立方体,工程上还有用边长为 100 mm 或边长为 200 mm 的立方体试块。

由于试件的尺寸效应,需将非标准试块实测值乘以换算系数转换成标准试件的立方体抗压强度标准值,其换算关系为

$$f_{cu,k}(150) = 0.95f_{cu,k}(100) \quad (1-1)$$

$$f_{cu,k}(150) = 1.05f_{cu,k}(200) \quad (1-2)$$

9. 我国《规范》规定:采用边长为 150 mm 的立方体试块,在温度为 17 ~ 23℃,相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28 d,按照标准试验方法加压到破坏,所测得的具有 95% 保证率的抗压极限强度值,作为混凝土的立方体标准强度,用 $f_{cu,k}$ 表示,混凝土的强度等级即由立方体抗压标准强度来确定,它是混凝土各种力学指标的基本代表值,《规范》列出的混凝土强度等级有 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75 和 C80 共 14 个等级。

10. 采用混凝土立方体抗压强度作为划分混凝土强度的主要标准是由于:

(1) 混凝土是一种很好的抗压材料,在混凝土结构中主要用于承受压力,以混凝土立方体抗压强度作为划分混凝土的主要标准,可以较好地反映混凝土的主要受力特征。

(2) 混凝土的其他力学性能,如轴心抗压强度和轴心抗拉强度等,都与混凝土立方体抗压强度有一定的关系。

(3) 立方体抗压试验最简单,结果最稳定。

11. 原点切线模量,即混凝土弹性模量一般不易从试验中测出,目前各国对弹性模量的试验方法没有统一的标准,因此,有的部门采用割线模量,认为当应力不大时,应力 - 应变关系接近于直线,弹性模量可以用应力 σ_e 除以其相应的应变 ε_e 来表示,即混凝土弹性模量 $E_e = \sigma_e / \varepsilon_e$ (图 1-2)。在此,应力 σ_e 一般取为 $0.3f_c$ 。

也有利用多次重复加载卸载后应力 - 应变关系趋于直线的性质来求弹性模量的,即加载至 $0.4f_c$,然后卸载至零,重复加载卸载 5 次,应力 - 应变曲线渐趋稳定并接近于一直线,该直线的正切即为混凝土的弹性模量。

中国建筑科学研究院进行了 387 个试件的弹性模量测定试验,经统计分析求得混凝土弹性模量与立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ (即混凝土强度等级) 之间的关系为

$$E_e = 10^5 / (2.2 + 34.7/f_{cu,k}) \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1-3)$$

试验表明,混凝土的受拉弹性模量与受压弹性模量大体相等,其比值为 0.82 ~ 1.12,平均为 0.995。计算中,受拉和受压的弹性模量可取为同一值。

12. 混凝土在长期持续荷载作用下,应力不变,变形也会随时间而增长而产生混凝土的徐

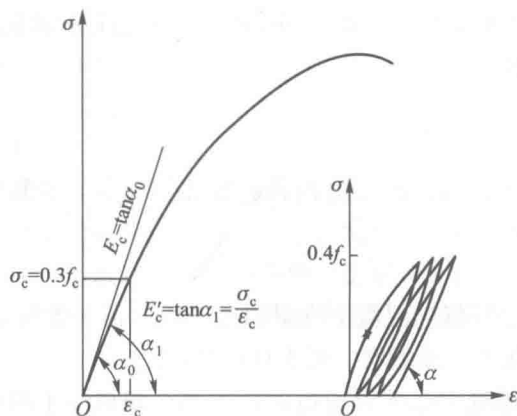


图 1-2 应力 - 应变关系趋于直线求弹性模量

变。徐变对结构的影响，主要是使变形增大，使预应力混凝土的预应力产生损失，使结构或构件产生内力重分布或截面应力重分布，并引起应力松弛。徐变对结构的影响，在多数情况下是不利的，但徐变引起的内力或应力重分布及应力松弛有时候对结构有利。例如，对钢筋混凝土轴心受压柱，混凝土徐变引起的混凝土和受压钢筋之间的应力重分布，使钢筋和混凝土的应力有可能同时达到各自的强度，有利于材料强度的充分利用；对存在温度应力的结构，混凝土徐变可能使温度应力降低。在正常使用阶段，构件混凝土经常处于不变的高压应力状态是很不安全的，在实际工程中，取 $\sigma_c = 0.8f_c$ 作为混凝土的长期抗压强度，它小于短期抗压强度 f_c 。

13. 在应力达到非约束混凝土试件的临界应力以前，钢筋约束作用并不明显，应力 - 应变曲线基本重合，当应力超过临界应力 ($\sigma = 0.8f_c$) 以后，随约束作用增强，约束混凝土应力 - 应变曲线的峰值应力有所提高，峰值应变的增长较为明显，而下降段的变化最为显著。约束混凝土的约束作用对约束混凝土的应力 - 应变曲线的下降段有明显的影。

14. 混凝土结构延性泛指材料、截面、构件或结构在弹性范围以外，破坏前承载力无显著变化情况下承受变形的能力。

对结构的影响：延性好，可以防止构件脆性破坏，对结构抗震以及承受冲击作用有利。

影响因素：

(1) 强度等级

低强度等级混凝土受压时的延性要比高强度等级混凝土的好些。

(2) 加荷速度

同强度等级的混凝土随加荷速度的降低，延性有所增加。

(3) 横向钢筋（螺旋筋）的约束作用

使混凝土应力 - 应变曲线的峰值应力和应变均有提高，而以极限应变的提高最为明显。因此，工程上，受地震作用的梁、柱和节点区，采用间距较密的箍筋约束混凝土，不仅可使混凝土强度有所提高，而且可以有效地提高构件的延性。

15. 钢筋和混凝土之间存在粘结力，能使两者协调变形、相互作用、共同受力；

钢筋与混凝土之间的线膨胀系数接近，当所处环境温度变化时，它们之间不会产生相对变形使粘结力遭到破坏；

置于混凝土内的钢筋不易生锈，也不致因受火灾使钢筋达到软化温度导致结构破坏，因而钢筋混凝土结构具有耐久性。

1.3.2 简答题

1. 钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有较高的承载力和较好的受力性能以外，与其他结构相比还具有下列特点。

主要优点有：

(1) 取材容易，经济、环保。混凝土所用的大量砂、石一般易于就地取材，经济。另外，还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料，利于环境保护。

(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，与钢结构相比，可以降低造价。

(3) 耐久性好。密实混凝土有较高强度，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耐久性比较好（混凝土碳化、冻融、氯离子、碱骨料反应、密实性等因素）。

(4) 耐火性好。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（不会像木结构那样燃烧，也不会像钢结构那样很快达到软化温度而破坏）。与裸露的木结构、钢结构相比耐火性要好。

(5) 可模性好。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) 整体性好。整浇或装配整体式钢筋混凝土结构有很好的整体性，刚度大，又具有较好的延性，有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

其主要缺点有：

(1) 自重大（普通钢筋混凝土比重 $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ ）。这对于大跨度结构、高层建筑结构及抗震不利，也给运输和施工吊装带来困难。

(2) 抗裂性较差。混凝土的抗拉强度非常低，因此受拉和受弯等构件在正常使用时往往带裂缝工作，尽管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，还将给人造成一种不安全感。同时对一些不允许出现裂缝或对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) 性质脆。混凝土的脆性随着混凝土强度等级的提高而加大。

(4) 隔热隔声性能也较差。

(5) 施工时工序多、费工、模板用料多、施工周期长，施工还要受到气候的限制。

2. 混凝土承受应力的作用或者环境条件的变化都将发生相应的变形。从混凝土组成和构造的特点分析，混凝土变形由三部分组成：

(1) 粗细骨料的弹性变形

占混凝土体积中绝大部分的粗骨料石子和细骨料砂子的强度和弹性模量高出混凝土很多，在达到混凝土的峰值应力（强度）时变形一般仍在弹性范围内，即变形与应力成正比，卸载后变形可全部恢复，不留残余应变。

(2) 水泥凝胶体的粘性流动

水泥水化作用形成的凝胶体在数十年内还不是一种形态固定的材料，在应力作用下，除了

即时发生的变形外，还将随着时间的延续发生缓慢但逐渐收敛的粘性流动，使混凝土的变形不断增长，构成塑性变形；当应力卸除后，即时恢复的变形有限，随后变形继续恢复，但最终仍存在较大的残余变形。混凝土承受的应力越大，则塑性变形和残余变形增加越多。

(3) 微裂缝形成与扩展

拉应力作用下，在应力垂直方向形成微裂缝，并迅速扩展，使拉应变大大增加。压应力作用下，在大致平行于应力方向形成纵向裂缝，穿过骨料界面和水泥砂浆，减弱了相邻部分的联系；裂缝端部的局部集中应力造成水泥砂浆的损伤，形成薄弱区，使纵向变形增大许多。在峰值应力后，虽然混凝土的应力减小，但变形将继续增大，全部卸载后，这部分变形基本上不能恢复。

对于不同的材料组成的混凝土，在不同的应力阶段，这三部分变形所占的比例有很大变化。一般情况下，当应力水平较低时，骨料的弹性变形占主要成分；随着应力加大，水泥凝胶体的粘性流动变形逐渐增大；接近混凝土极限强度时，裂缝变形才有明显作用，其变形值超过其他两部分的变形，在峰值强度后的下降段成为变形的主体。

3. 受压混凝土棱柱体一次加载的应力 - 应变曲线如图 1-3 第一象限所示。

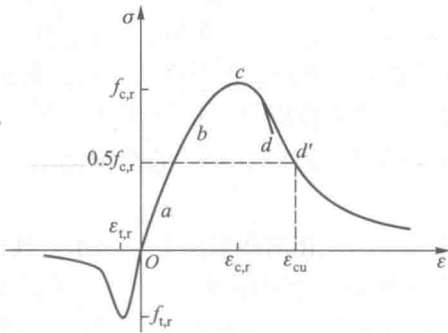


图 1-3 一次加载的应力 - 应变曲线

从试验可得出以下几点：

- (1) 当应力小于其极限强度的 30% ~ 40% 时 (a 点)，应力 - 应变关系接近直线。
- (2) 当应力继续增大，应力 - 应变曲线就逐渐向下弯曲，呈现出塑性性质。当应力增大到接近极限强度的 80% 左右时 (b 点)，应变就增长得更快。
- (3) 当应力接近极限强度 (c 点) 时，试件表面出现与加压方向平行的纵向裂缝，试件开始破坏，这时达到的最大应力 σ_0 称为混凝土棱柱体抗压强度 $f_{c,r}$ ，相应的应变为 $\epsilon_{c,r}$ ， $\epsilon_{c,r}$ 一般为 0.002。
- (4) 试件在普通材料试验机上进行抗压试验时，达到最大应力后试件一般立即崩碎，呈脆性破坏特征，所得应力 - 应变曲线如图 1-3 中的 *oabcd*，下降段曲线 *cd* 无一定规律。这种突然性破坏往往是由于试验机的刚度不足所造成的，因为试验机在加载过程中发生变形（释放能量），试件受到试验机的冲击而急速破坏。

(5) 如果试验机的刚度极大，采用等应变加载，或在普通压力机上用高强弹簧（或油压千斤顶）与试件共同受压，用以吸收试验机内所积蓄的应变能，防止试验机的回弹对试件的冲击造成突然破坏，达到最大应力后，随试件变形的增大，高强弹簧承受的压力所占比例增大，

对试件起到卸载作用，使试件承受的压力稳定下降，就可以测出混凝土的应力 - 应变全过程曲线，如图 1-3 中的 $oabcd'$ 。也就是随着缓慢的卸载，试件还能承受一定的荷载，应力逐渐减小而应变却持续增加。曲线中的 oc 段称为上升段， cd' 段称为下降段。相应于曲线末端的应变称为混凝土的极限压应变 ε_{cu} ， ε_{cu} 越大，表示塑性变形能力大，也就是延性（指构件最终破坏之前经受非弹性变形的能力）越好。

根据图 1-3，受压混凝土棱柱体一次加载的应力 - 应变曲线应满足：

- (1) $\varepsilon = 0, \sigma = 0$;
- (2) $\varepsilon = 0, \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_0$;
- (3) $\varepsilon = \varepsilon_{c,r}, \sigma = f_{c,r}$;
- (4) $\varepsilon = \varepsilon_{c,r}, \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = 0$ ，最高点的 E 值 = 0;
- (5) $\varepsilon = \varepsilon_{cu}, \sigma = 0.5f_{c,r}, \varepsilon_{cu} = 0.003 \sim 0.004$ 。

4. 混凝土受拉应力 - 应变关系的上升段与受压情况相似，原点切线模量也与受压时基本一致。当应力达到混凝土的抗拉强度 $f_{t,r}$ 时，弹性系数 $\nu \approx 0.5$ ，即峰值拉应变为

$$\varepsilon_{t,r} = f_{t,r} / E'_c = f_{t,r} / (0.5E_c) = 2f_{t,r} / E_c \tag{1-4}$$

混凝土受拉应力 - 应变关系也有下降段，但下降段很陡，见图 1-3 第三象限。

混凝土的实际断裂不是发生在最大拉应力（抗拉强度 $f_{t,r}$ ），而是达到极限拉应变 ε_m 时才开裂。混凝土极限拉应变 ε_m 在 $(0.5 \sim 2.7) \times 10^{-4}$ 的范围波动，其值与混凝土的强度、配合比、养护条件有很大关系。

5. 双向应力状态下混凝土强度的变化曲线如图 1-4 所示。其强度变化的特点如下：

(1) 当双向受压时（图 1-4 中第一象限曲线 L_2 ），一向的强度随另一向压应力的增加而增加，当横向应力与轴向应力之比为 0.5 时，其强度比单向抗压强度增加达 25% 左右。而在两向压力相等的情况下，其强度增加仅为 16% 左右。

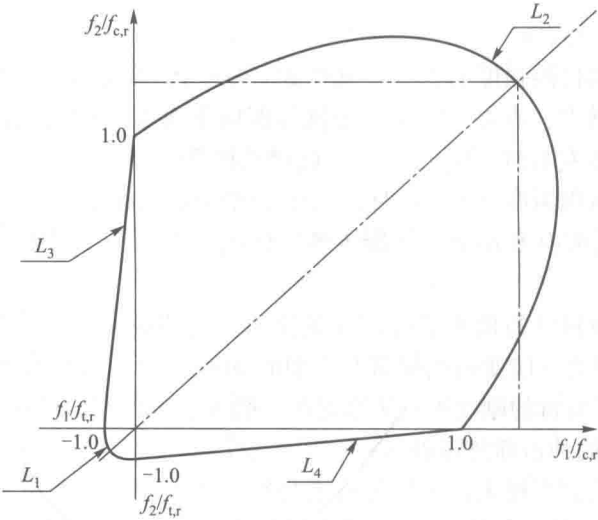


图 1-4 混凝土双向受力强度

(2) 当双向受拉时 (图 1-4 中第三象限曲线 L_1), 一向抗拉强度基本上与另一向拉应力大小无关, 即其抗拉强度几乎和单向抗拉强度一样。

(3) 当一向受拉, 一向受压时 (图 1-4 中第二、四象限曲线 L_3 、 L_4), 混凝土的抗压强度几乎随另一向拉应力的增加而线性地降低。

6. 混凝土常规三向受压时, 混凝土一向抗压强度随另两向压应力的增加而增加, 并且混凝土的极限压应变也大大增加。

混凝土圆柱体常规三向受压的轴向抗压强度 f_1 与等侧压力 σ_2 之间的关系可用下列经验公式表示:

$$f_1 = f_{c,r} + k\sigma_2 \quad (1-5)$$

式中 $f_{c,r}$ ——无侧压时的混凝土轴心圆柱体抗压强度;

k ——侧向应力系数, 侧向压力较低时, 其值较大, 为简化起见, 可取为常数, 较早的试验资料给出 $k=4.1$, 后来的试验资料给出 $k=4.5 \sim 7.0$ 。

7. 混凝土的弹性应变与总应变的比值称为弹性系数, 反映了总应变中弹性应变所占的比例。随着压应力逐渐增大, 弹性系数减小, 当达到峰值应力时近似为 0.5, 弹性系数值在 1~0.5 之间变化。

8. 混凝土在空气中硬结时会产生体积缩小, 称为收缩; 混凝土在水中硬结时会产生体积膨胀。混凝土的收缩是一种非受力变形, 收缩的量则比膨胀大得多, 发展也较快, 对结构有明显的不利影响, 故必须予以考虑。

对一般构件来说, 收缩会引起初应力, 收缩对结构或构件的主要不利影响是引起宏观的收缩裂缝和使预应力混凝土的预应力产生损失。某些对跨度比较敏感的超静定结构, 收缩也会引起不利的内力。

降低混凝土收缩影响的措施如下:

- (1) 加强混凝土的早期养护;
- (2) 减少水灰比;
- (3) 提高水泥等级, 减少水泥用量;
- (4) 加强混凝土密实振捣;
- (5) 选择弹性模量大的骨料;
- (6) 在构造上设置伸缩缝、设置施工后浇带、配置一定数量的构造筋等。

小尺寸构件 (板、墙等), 混凝土收缩发展较快, 2~3 年的收缩量约为最终收缩值的 80% 左右, 且最终收缩量较大, 收缩应变值一般约为 $(0.4 \sim 0.6) \times 10^{-3}$; 大尺寸构件 (梁、柱等) 混凝土收缩发展要缓慢一些, 2~3 年的收缩量约为最终收缩值的 60% 左右, 且最终收缩量较小, 收缩应变值一般约为 0.2×10^{-3} 。

9. 徐变是指混凝土在长期不变荷载的作用下, 应变随时间持续增长的现象。

徐变产生的原因如下:

(1) 混凝土受荷后产生的水泥胶体粘性流动要持续比较长的时间, 所以混凝土在不变荷载作用下, 这种粘性流动还要继续发展;

(2) 混凝土内部微裂缝在荷载长期作用下将继续发展和增加, 从而引起应变的增长。

影响徐变的因素很多, 可分为内在因素、环境因素和应力条件。

(1) 内在因素

混凝土组成和配合比是影响徐变的内在因素。骨料的弹性模量越大、骨料的体积比越大，徐变就越小。水灰比越小，徐变也越小。

(2) 环境影响

养护及使用条件下的湿度、温度是影响徐变的环境因素。受荷前养护的温度、湿度越高，水泥水化作用越充分，徐变就越小，蒸汽养护可使徐变减少约 20% ~ 25%。试件受荷后所处使用环境的温度越高、湿度越低，徐变就越大。因此高温干燥环境将使徐变显著增大。

(3) 应力条件

施加初应力的水平和加荷时混凝土的龄期，是影响徐变的重要因素。加荷时试件的龄期越长，混凝土中结晶体的比例越大，胶体的粘性流动就越小，徐变也越小。加荷龄期相同时，初应力越大，徐变也越大。

混凝土的徐变对钢筋混凝土构件的受力性能有以下重要影响：

- (1) 构件变形增加，引起超静定结构内力重分布；
- (2) 长细比较大的柱偏心距增大；
- (3) 预应力混凝土构件将会产生较大的预应力损失。

10. 混凝土徐变 ε_{cr} 与其瞬间应变 ε_{ce} 的比值称徐变系数，当初始应力小于 $0.5f_{cr}$ 时，徐变在 2 年以后可趋于稳定，最终徐变系数约为 2 ~ 4。

11. 混凝土结构对钢筋性能的要求：有适当的强度；有足够的塑性；可焊性好；与混凝土粘结锚固良好。在寒冷地区，对钢筋的低温性能有一定的要求。

12. 钢筋最大力下的总伸长率为钢筋试件最大力下总伸长值与原长的比率：

$$\delta_{gt} = \left(\frac{L - L_0}{L_0} + \frac{\sigma_b}{E} \right) \times 100 \quad (1-6)$$

式中 L_0 ——试验前标记间长度，大于 100 mm，一般取 200 mm；

L ——断裂后的距离；

σ_b ——抗拉极限强度，MPa；

E ——弹性模量，可取 2×10^5 MPa。

伸长率是衡量钢筋塑性性能的一个指标，伸长率越大，塑性越好。塑性好的钢筋，拉断前有明显的预兆，反之，则呈脆性特征。

13. 冷弯试验是检验钢筋塑性的一种方法，能反映钢材是否有脆化倾向。冷弯试验的合格标准为在规定的 D (弯心直径) 和 α (冷弯角度) 下冷弯后的钢筋应无裂纹、鳞落或断裂现象。

14. 试验表明，钢筋和混凝土之间的粘结力或抗滑移力，由四部分组成：

(1) 化学胶结力

混凝土中的水泥凝胶体在钢筋表面产生的化学粘着力或吸附力，来源于浇注时水泥浆体向钢筋表面氧化层的渗透和养护过程中水泥晶体的生长和硬化，取决于水泥的性质和钢筋表面的粗糙程度。当钢筋受力后变形，发生局部滑移后，粘着力就丧失了。

(2) 摩擦力

混凝土收缩后，将钢筋紧紧地握裹住而产生的力，当钢筋和混凝土产生相对滑移时，在钢