



高等学校经典教材配套辅导丛书

# 混凝土结构

东南大学 天津大学 同济大学 清华大学 统编

## 同步辅导及习题精解

第三版

邬建华 袁小军 龚华栋 戴银所 编著

- ★ 主要概念原理归纳
- ★ 重点难点内容精讲
- ★ 教材习题详细解答
- ★ 全真试题精选精练



陕西师范大学出版社  
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY PRESS



高等学校经典教材配套辅导丛书

# 混凝土结构

## 同步辅导及习题精解

邬建华 袁小军 编著  
龚华栋 戴银所



本书适用于：

建工出版社·四校统编·《混凝土结构》第三版



陕西师范大学出版社  
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书代号:JF6N0938

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构同步辅导及习题精解/邬建华主编. —西安:陕西师范大学出版社,2006.9  
(高等学校经典教材配套辅导丛书)

ISBN 7-5613-3733-7/T·21

I. 混… II. 邬… III. 混凝土结构—高等学校—教学参考资料 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 114176 号

本书是针对东南大学、天津大学、同济大学合编,清华大学主审的面向 21 世纪课程教材、普通高等教育“十五”国家级规划教材《混凝土结构》而编著的一本学习辅导用书。全书共 10 章,内容包括:绪论、混凝土结构材料的物理、力学性能、按概率理论的极限状态设计法、受弯构件正截面受弯承载力、斜截面承载力、受压构件截面承载力、受拉构件截面承载力、受扭构件的扭曲截面承载力、钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性、预应力混凝土构件等章节。

本书不仅可作为高等院校土木类专业本科生和专科生的教学辅导用书;也可作为相关专业考研学生复习备考的辅导用书;还可作为报考注册结构工程师的人员复习专业知识的参考用书。

---

责任编辑 陈光明 彭青

装帧设计 王静婧

出版发行 陕西师范大学出版社

社址 西安市陕西师大 120# (邮政编码:710062)

网址 <http://www.snuph.com>

经销 新华书店

印刷 南京金阳彩色印刷有限公司

开本 787×960 1/16

印张 13

字数 254 千

版次 2006 年 9 月第 1 版

印次 2006 年 9 月第 1 次印刷

定价 16.80 元

---

开户行:光大银行西安电子城支行 账号:0303080—00304001602

读者购书、书店添货或发现印装问题,请与本社营销中心联系、调换。

电话:(029)85307864 85233753 85251046(传真)

E-mail:if-centre@snuph.com

# 前 言

混凝土结构的课程和教材具有基本概念多、计算公式多、构造要求多等特点,学生在学习中普遍感到概念抽象难以理解、内容太多难以记忆。为了帮助学生学好门课程,我们针对课程学习要求编写了这本辅导用书。

本书主要是以东南大学、天津大学、同济大学合编,清华大学主审的面向 21 世纪课程教材、普通高等教育“十五”国家级规划教材《混凝土结构》这本教材为蓝本,根据课程的教学要求而编写。在本书中,作者首先概括并讲解了每个章节的重点和难点内容;其次以提出问题、解答问题的方式,对课程内容中的重要概念、重要原理进行了讲解,以加强学生对这些知识的理解;另外,本书介绍了各种类型的试题并进行了分析解答,旨在进一步强化学生对基本理论的学习和巩固。

全书的例题和习题均选自于近几年相关专业的教材、部分院校课程考试试题、注册结构工程师复习参考题以及考研试题。编者尽可能给出了各种计算类型的解题要点,较全面地覆盖了课程学习的主要知识点,对于理解重点知识、掌握知识难点具有重要的指导作用。

本书作者在编写过程中广泛参阅了国内相关专业的教材、规范及辅导用书,主要有:东南大学、天津大学、同济大学合编的教材《混凝土结构》(上册,第三版)、以及《混凝土结构设计规范(GB50010—2002)》、《建筑结构荷载规范(GB50009—2001)》、《建筑结构可靠度统一标准(GB50068—2001)》等,其他参阅资料限于篇幅,不再一一注明,在此一并致谢。

本书由解放军理工大学工程兵工程学院邬建华担任主编。参与编写的有:袁小军、龚华栋、戴银所。限于作者水平,错误和疏漏之处在所难免,望读者不吝赐教。

编 者

2006 年 8 月于南京

# 目 录

第 1 章 绪论	( 1 )
本章学习重点	( 1 )
主要学习内容	( 1 )
第 2 章 混凝土结构材料的物理力学性能	( 4 )
本章学习重点	( 4 )
主要学习内容	( 4 )
§ 2.1 混凝土	( 4 )
§ 2.2 钢筋	( 12 )
§ 2.3 钢筋与混凝土之间的粘结力	( 15 )
§ 2.4 练习题	( 17 )
第 3 章 按近似概率理论的极限状态设计法	( 19 )
本章学习重点	( 19 )
主要学习内容	( 19 )
§ 3.1 极限状态	( 19 )
§ 3.2 按近似概率的极限状态设计法	( 22 )
§ 3.3 实用设计表达式	( 23 )
§ 3.4 练习题	( 26 )
第 4 章 受弯构件的正截面受弯承载力	( 28 )
本章学习重点	( 28 )
主要学习内容	( 28 )
§ 4.1 梁、板的一般构造	( 28 )
§ 4.2 受弯构件正截面受弯的受力全过程	( 30 )
§ 4.3 正截面受弯承载力计算原理	( 34 )
§ 4.4 单筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	( 36 )
§ 4.5 双筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	( 39 )
§ 4.6 T 截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	( 42 )
§ 4.7 练习题	( 47 )

<b>第 5 章 受弯构件的斜截面承载力</b> .....	( 50 )
本章学习重点.....	( 50 )
主要学习内容.....	( 50 )
§ 5.1 概述 .....	( 50 )
§ 5.2 无腹筋梁的抗剪性能 .....	( 52 )
§ 5.3 有腹筋梁的抗剪性能 .....	( 54 )
§ 5.4 构造要求 .....	( 60 )
§ 5.5 练习题 .....	( 69 )
<b>第 6 章 受压构件的截面承载力</b> .....	( 72 )
本章学习重点.....	( 72 )
主要学习内容.....	( 72 )
§ 6.1 受压构件一般构造要求 .....	( 72 )
§ 6.2 轴心受压构件承载力计算 .....	( 75 )
§ 6.3 偏心受压构件承载力计算 .....	( 82 )
§ 6.4 练习题 .....	( 93 )
<b>第 7 章 受拉构件的截面承载力</b> .....	( 96 )
本章学习重点.....	( 96 )
主要学习内容.....	( 96 )
§ 7.1 受拉构件的截面承载力 .....	( 96 )
§ 7.2 练习题 .....	( 99 )
<b>第 8 章 受扭构件的扭曲截面承载力</b> .....	( 100 )
本章学习重点.....	( 100 )
主要学习内容.....	( 100 )
§ 8.1 受扭构件的扭曲截面承载力 .....	( 100 )
§ 8.2 练习题 .....	( 107 )
<b>第 9 章 钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性</b> .....	( 109 )
本章学习重点.....	( 109 )
主要学习内容.....	( 109 )
§ 9.1 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算 .....	( 109 )
§ 9.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算 .....	( 112 )

## 目 录

§ 9.3 混凝土构件的截面延性 .....	(116)
§ 9.4 混凝土结构的耐久性 .....	(117)
§ 9.5 练习题 .....	(119)
<b>第 10 章 预应力混凝土构件 .....</b>	<b>(122)</b>
本章学习重点 .....	(122)
主要学习内容 .....	(122)
§ 10.1 概述 .....	(122)
§ 10.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算 .....	(134)
§ 10.3 预应力混凝土受弯构件的计算 .....	(139)
§ 10.4 预应力混凝土构件的构造要求 .....	(143)
§ 10.5 练习题 .....	(145)
<b>参考答案 .....</b>	<b>(148)</b>
<b>附录 .....</b>	<b>(193)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(202)</b>

# 第1章 绪论

## 本章学习重点

1. 掌握钢筋混凝土结构两种材料共同工作的原理；
2. 掌握钢筋混凝土结构的主要优缺点。

## 主要学习内容

### 1. 什么是混凝土结构？什么是素混凝土结构？什么是钢筋混凝土结构？

凡是以混凝土为主要材料的结构都称为混凝土结构。它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构三种类型。

未配置钢筋和其他钢材，只是用混凝土一种材料制作而成的结构称为素混凝土结构。

配置了钢筋但并未对结构施加预应力的混凝土结构称为钢筋混凝土结构。

### 2. 在素混凝土构件中配置一定形式和数量的钢材以后，结构性能将发生什么样的变化？

图1-1a为一根为未配置钢筋的素混凝土简支梁，截面尺寸为 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，跨长为 $4\text{m}$ ，混凝土强度等级为C20，梁的跨中作用一个集中荷载 $F$ ，对其进行破坏性试验。结果表明，当荷载较小时，截面上的应力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力达到混凝土抗拉极限强度时，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

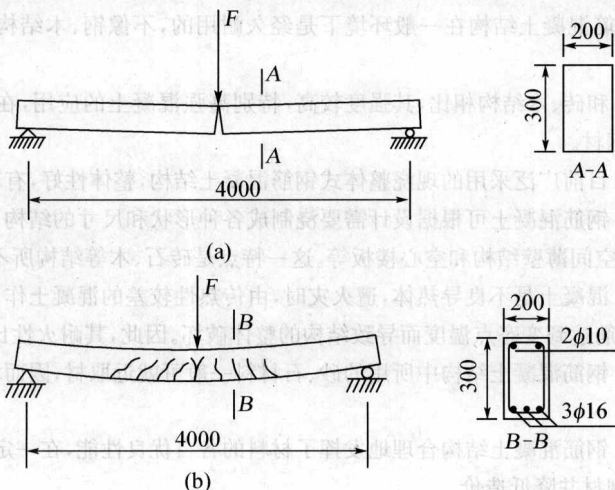


图1-1 素混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力



破坏。这种破坏是突然发生的,没有明显的预兆。尽管混凝土的抗压强度比其抗拉强度高几倍或十几倍,但不能得到充分利用,因为试件的破坏由混凝土的抗拉强度控制,破坏荷载值很小,只有 8kN 左右。

如果在该梁的受拉区布置三根直径为 16mm 的 I 级钢筋,并在受压区布置两根直径为 10mm 的架立钢筋和适量的箍筋,再进行同样的荷载试验(图 1-1b),则可以看到,当加荷到一定阶段使截面受拉区边缘纤维拉应力达到混凝土抗拉极限强度时,混凝土虽被拉裂,但裂缝不会沿截面的高度迅速开展,试件也不会随即发生断裂破坏。混凝土开裂后,裂缝截面的混凝土拉应力由纵向受拉钢筋来承受,故荷载还可以进一步增加。此时变形将相应发展,裂缝的数量和宽度也将增大,直到受拉钢筋抗拉强度和受压区混凝土抗压强度被充分利用时,试件才发生破坏。破坏前,试件的变形和裂缝都发展得很充分,呈现出明显的破坏预兆。虽然试件中纵向受力钢筋的截面面积只占整个截面面积的 1% 左右,但破坏荷载却可以提高到 36kN 左右。因此,在混凝土结构中配置一定型式和数量的钢筋以后,可以收到下列的效果:

- (1) 结构的承载力有很大的提高;
- (2) 结构的受力特性得到显著的改善。

一般来说,在钢筋混凝土结构中,混凝土主要承担压力,钢筋主要承担拉力,必要时也可承担压力。因此,在钢筋混凝土结构中,两种材料的力学性能都能得到充分利用。

### 3. 钢筋和混凝土为什么能共同工作?

钢筋和混凝土这两种材料的物理力学性能很不相同,但能结合在一起共同工作,其主要原因是:

- (1) 由于钢筋和混凝土之间有良好的粘结力,能牢固地粘结成整体。当构件承受外荷载时,钢筋与相邻混凝土能够协调变形而共同工作,两者不致产生相对滑动。
- (2) 钢筋与混凝土的线膨胀系数相近,一般钢材的线膨胀系数为  $1.2 \times 10^{-5}$ ,混凝土为  $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ ,当温度变化时,这两种材料不致产生相对的温度变形而破坏它们之间的结合。

### 4. 钢筋混凝土结构有哪些优、缺点?如何克服这些缺点?

钢筋混凝土结构具有以下优点:

- (1) 耐久性好 在钢筋混凝土结构中,钢筋因受到混凝土保护而不易锈蚀,且混凝土的强度随时间有所增长,因此,钢筋混凝土结构在一般环境下是经久耐用的,不像钢、木结构那样需要经常的保养和维修。
- (2) 强度较高 和砖、木结构相比,其强度较高,特别高强混凝土的应用,在某些情况下可以代替钢结构,因而能节约钢材。
- (3) 整体性好 目前广泛采用的现浇整体式钢筋混凝土结构,整体性好,有利于抗震及抗爆。
- (4) 可模性好 钢筋混凝土可根据设计需要浇制成各种形状和尺寸的结构,尤其适合于建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构和空心楼板等。这一特点是砖石、木等结构所不能代替的。
- (5) 耐火性好 混凝土是不良导热体,遭火灾时,由传热性较差的混凝土作为钢筋的保护层,在普通的火灾下不致使钢筋达到变态点温度而导致结构的整体破坏。因此,其耐火性比钢、木结构好。
- (6) 就地取材 钢筋混凝土结构中所用的砂、石材料一般可就近取材,因而材料运输费用少,可以显著降低工程造价。
- (7) 节约钢材 钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的各自优良性能,在一定范围内可以代替钢结构,从而可节约大量钢材并降低造价。

但是,事物总是一分为二的,钢筋混凝土结构同样存在一些缺点,主要有:

- (1) 自重大 这对于建造大跨度结构及高层抗震结构是不利的,但随着轻质、高强混凝土、预应力

混凝土和钢—混凝土组合结构的应用,这一矛盾得到缓解。

(2) 施工比较复杂,工序多,施工时间较长 但随着泵送混凝土和大模板的应用,施工时间已大大缩短。冬季和雨天施工比较困难,必须采用相应的施工措施才能保证质量。但当采用预制装配式构件时可加快施工进度,施工不受季节气候的影响,从而缓解这一矛盾。

(3) 耗费木料较多 浇筑混凝土要用模板,木材耗费量较大,但随着钢模板的应用,木材的耗费量已减少。另外,采用预制装配式构件也可节约模板。

(4) 抗裂性差 普通钢筋混凝土结构在正常使用时往往带裂缝工作,这对要求不出现裂缝的结构很不利,如水池、贮油罐等。因为,裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力,并会导致钢筋锈蚀,影响结构的耐久性。采用预应力混凝土结构可控制裂缝,从而克服或改善裂缝状况。

(5) 修补和加固工作比较困难 但随着碳纤维加固、钢板加固等技术的发展和环氧树脂堵缝剂的应用,这一困难已减少。

#### 5. 本课程主要包括哪些内容?学习本课程要注意哪些问题?

混凝土结构课程通常按内容的性质可分为“混凝土结构基本原理”和“混凝土结构设计”两部分。前者主要对混凝土构件的受力性能、设计计算方法和配筋构造进行讨论(如受弯构件正截面和斜截面承载力计算,受扭构件承载力计算,受压和受拉构件承载力计算,受弯构件变形和裂缝宽度验算以及预应力混凝土构件的计算等。),属于专业基础课内容(本书主要讲述基本原理部分),对土木工程专业,后者主要论述梁板结构、单层厂房、多层和高层房屋等。本课程有着较强的实践性,一方面要经过课堂学习,通过习题、作业来掌握结构设计所必需的理论,通过课程设计和毕业设计等实践性教学环节使学习者达到初步具有运用这些理论知识正确进行设计和解决工程中的实际技术问题的能力。

混凝土结构是建筑工程中应用最广泛的一种结构。不论是从事设计、科研或施工,还是从事工程管理都要经常接触它。因此,它被列为建筑工程专业的主要课程之一。

“混凝土结构基本原理”部分在性质上与材料力学有相似之处,又有不同之处。材料力学主要研究单一、匀质、连续和弹性的材料组成的构件,而“钢筋混凝土基本构件”研究的是由钢筋和混凝土组成的复合材料构件。虽然,材料力学中利用几何、物理和平衡关系建立基本方程的解决思路对于钢筋混凝土也适用,但是,由于钢筋和混凝土这两种材料的力学性质差别很大,混凝土又是非匀质、非连续、非弹性的,加之影响钢筋混凝土构件性能的因素很多,所以,在具体设计计算方法上要考虑钢筋混凝土性能上的特点。由于混凝土结构的设计理论和计算方法是建立在结构性能试验和工程实践的基础上的,所以有其适用范围和条件,一些场合常采用半理论半经验的处理手法,这些方面和材料力学是有区别的。

还有,材料力学等着重于构件的内力和变形分析,解答通常是惟一的。而钢筋混凝土结构课程除了要满足承载能力和变形计算外,还要解决综合性的“设计”问题。它不仅包括决定方案、截面型式、截面尺寸、材料选择和配筋构造等,而且还要考虑安全、适用、经济和施工等方面的合理性、可行性等。因此,同一个构件在给定荷载作用下,可以有不同的截面型式、尺寸和配筋,答案也不是惟一的。所以,设计中对多种因素的影响要有综合分析和归纳的能力,通过综合分析比较才能合理选择方案。

混凝土结构课的特点是实践性强。因此,学习中要特别重视加强实践。另外,国家各部(委)颁布的一系列具有技术法规性质的设计规范和规程是必须遵守的准则。规范和规程反映了混凝土结构相关的科学技术水平、理论计算方法和工程实践经验,学习时要注意熟悉和正确地运用这些规范和规程。与本课程有关的主要设计规范和设计规程有《建筑结构荷载规范》(GB50009—2001)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2002)等。

## 第 2 章 混凝土结构材料的物理力学性能

### 本章学习重点

1. 掌握钢筋的种类；
2. 掌握钢筋的力学性能：① 不同类型钢筋的应力—应变曲线及其区别；② 钢筋的强度、变形和弹性模量；③ 钢筋的冷加工方法及冷拉、冷拔钢筋的性能；④ 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求；
3. 掌握混凝土的强度：① 抗压强度—立方体抗压强度、棱柱体（轴心）抗压强度；② 抗拉强度；③ 复合应力下的强度；
4. 掌握混凝土的变形：① 受力变形；② 体积变形；③ 混凝土的弹性模量和变形模量；
5. 掌握粘结力的组成及作用。

### 主要学习内容

#### § 2.1 混凝土

##### 1. 混凝土强度的基本指标是什么？它是如何确定的？

立方体试件的强度比较稳定，所以我国把立方体抗压强度作为混凝土强度的基本指标，并把它作为评定混凝土强度等级的标准。

我国《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002) 规定：用边长为 150mm 的立方体标准试件，在标准养护室（温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度不小于 90%）养护 28 天，按标准试验方法（试件的承压面不涂润滑剂，加荷速度每秒  $0.15 \sim 0.3 \text{N/mm}^2$ ）测得的抗压强度（以  $\text{N/mm}^2$  计）作为混凝土的立方体抗压强度（用  $f_{cu,k}$  表示）。上述标准试验方法测得的具有 95% 保证率的立方体抗压强度作为混凝土的强度等级，规范规定的混凝土强度等级有 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80，共 14 个等级。C50 以上称为高强混凝土。

##### 2. 影响混凝土强度的主要因素有哪些？

混凝土强度等级与试件尺寸、原材料（水泥、石）品质、配合比（水灰比、骨灰比）、养护条件（湿度、温度）、龄期和试验方法等因素有关：

##### (1) 试件尺寸

目前实际采用的尺寸还有还有 200mm 和 100mm 边长的立方体试块。试验表明：由于试验块两端摩擦的影响和尺寸效应，立方体边长越小，测得的抗压强度越高。当边长不是 150mm 时，可通过尺寸效应换算系数换算成标准试块的强度。规范规定其换算关系为：

$$f_{cu,k}(150) = 0.95f_{cu,k}(100)$$

$$f_{cu,k}(150) = 1.05f_{cu,k}(200)$$

### (2) 原材料品质

水泥强度越高,颗粒越细,则生成水泥石的强度和粘结力越强,混凝土的强度也就越高。所以在选择水泥强度等级时,一般应使水泥的抗压强度等级不低于要求的混凝土强度等级的1.5~2倍。一般承重结构应采用抗压强度检验指标不低于40N/mm<sup>2</sup>的水泥。

在集料中,石子的品质对混凝土强度的影响较显著。不但集料本身的强度及级配会直接影响混凝土的质量,集料(特别是石子)的颗粒形状对混凝土强度也有显著影响,这种影响与水灰比的影响互相关联。当水灰比较低时,用具有棱角且表面粗糙的碎石拌制的混凝土,强度高于砾石混凝土。因此对于主要是承受拉力的结构、有严格抗裂性要求的结构或承受多次重复荷载的结构,最好是采用碎石混凝土。当水灰比在0.65以上时,碎石混凝土和砾石混凝土的强度基本上没有区别。集料的最大粒径对混凝土的强度也有影响。较大的集料颗粒会增大混凝土内部组织的非匀质性和非连续性,可能使混凝土的强度降低。因此,集料的最大粒径一般不宜大于25~40mm,且不宜大于构件最小尺寸的1/4,也不应大于钢筋的最小间隔。

### (3) 配合比

水灰比愈大,多余水分愈多,留下孔隙也愈多,混凝土强度也就愈低。反之则混凝土强度愈高。但须指出,此规律只适用于混凝土拌合物能被充分振捣密实的情况。若水灰比过小,水泥浆过于干稠,混凝土拌合物和易性太差,混凝土不能被振捣密实,反将导致混凝土强度严重下降。通常混凝土水灰比在0.3~0.6之间。

骨灰比(骨料重量与水泥重量之比)对C35以上的混凝土强度影响较大。在相同水灰比和塌落度下,混凝土强度随骨灰比的增大而提高,其原因可能是由于骨料增多后表面积增大,吸水量也增加,从而降低了有效水灰比,使混凝土强度提高。另外因水泥砂浆相对含量减少,致使混凝土内总孔隙体积减少,也有利于混凝土强度提高。

### (4) 养护条件

浇筑后的混凝土环境湿度相宜,水泥水化反应顺利进行,使混凝土强度得以充分发展。若环境湿度较低,水泥不能正常进行水化作用,甚至停止水化,这将严重降低混凝土的强度。

温度对混凝土强度的发展有明显影响。在夏季气温为30~35℃时,10d强度可达正常条件下28d强度的80%以上;但在冬期气温为5~10℃的条件下,28d强度只能达正常条件下28d强度的80%左右,甚至更低。

### (5) 龄期

由于混凝土中水泥胶块的硬化过程需要若干年才能完成,所以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。

### (6) 试验方法

试验方法对混凝土的立方体抗压强度有较大影响。如图2-1所示,试件在试验机上单向受压时,竖向缩短,横向扩张,由于混凝土与压力机垫板弹性模量与横向变形系数不同,在不涂润滑剂的情况下,垫板通过接触面上的摩擦力约束混凝土试块的横向变形,就像在试件上下端各加了一个套箍,致使混凝土破坏时形成两个对顶的角锥形破坏面(图2-2),抗压强度比没有约束的情况要高。如果在试件的上下表面涂润滑剂,这时试件与压力板之间的摩擦力将大大减小,其横向变形几乎不受约束,试件将沿着平行于力的作用方向产生几条裂缝而破坏。我国《规范》规定的标准实验方法是不涂润滑剂。



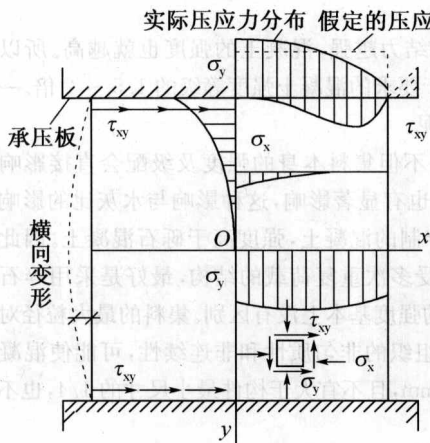


图 2-1 立方体试件的受力状态

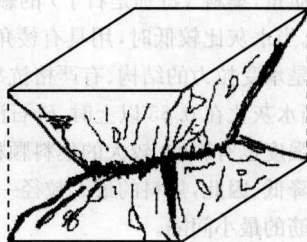


图 2-2 破坏形态

加载速度对立方体强度也有影响,加荷速度越快,测得的强度越高。通常试验采用的加荷速度约为每秒  $0.15 \sim 0.3 \text{ N/mm}^2$ ,当加荷速度提高为每秒  $10 \text{ N/mm}^2$  时,强度提高约 10%。在快速加荷的冲击荷载下,如每秒  $10^5 \text{ N/mm}^2$ ,混凝土强度的提高可达 60%。相反,如加荷速度减缓,强度将降低。

3. 什么叫混凝土的轴心抗压强度?它与混凝土立方体抗压强度有什么关系?

混凝土的轴心抗压强度(棱柱体抗压强度)是按标准方法制作养护 28 天的截面为  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 、高  $300 \text{ mm}$  的棱柱体,用标准试验方法测得的抗压强度,符号为  $f_{ck}$ 。

当试件截面尺寸相同时,国内外试验都指出,  $f_{ck}$  与  $f_{cu,k}$  大致成线性关系,我国《混凝土结构设计规范》取轴心抗压强度标准值与立方体抗压强度标准值的关系为:

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{e1}\alpha_{e2}f_{cu,k} \quad (2.1)$$

式中:  $\alpha_{e1}$ —棱柱体强度与立方体强度之比,对 C50 及以下的混凝土,取  $\alpha_{e1} = 0.76$ ;对 C80 混凝土,取  $\alpha_{e1} = 0.82$ ,中间按线性插值取值。

$\alpha_{e2}$ —考虑 C40 以上混凝土的脆性的折减系数,对 C40 取  $\alpha_{e2} = 1.00$ ;对 C80 混凝土,取  $\alpha_{e2} = 0.87$ ,中间按线性插值取值。

0.88—考虑实际构件与试件混凝土之间的差异而取的修正系数。

4. 混凝土抗拉强度是如何确定的?它与混凝土立方体抗压强度有什么关系?

混凝土的抗拉强度比抗压强度小得多,仅为抗压强度的  $1/9 \sim 1/18$  左右,而且不与立方体强度成正比,立方体强度  $f_{cu}$  越大,轴心抗拉强度  $f_t$  与立方体强度  $f_{cu}$  的比值越小。混凝土轴心抗拉强度  $f_t$  可采用两种试验来测定。

(1) 直接测试法—轴心抗拉强度试验

直接测试法即采用两端分别埋有一段肋纹钢筋的棱柱体试件(如图 2-3),用试验机夹头夹住伸出的钢筋,对试件施加轴向拉力,破坏时试件中部产生横向裂缝,其平均应力即为混凝土的轴心抗拉强度标准值  $f_{tk}$ 。

(2) 间接测试法—劈拉强度试验

由于轴心受拉试验对中比较困难,且离散性大,故国内外多采用立方体或圆柱体试件的劈拉强度试验(图 2-4)来测定混凝土的抗拉强度。劈拉强度  $f_{ts}$  可按下式计算:

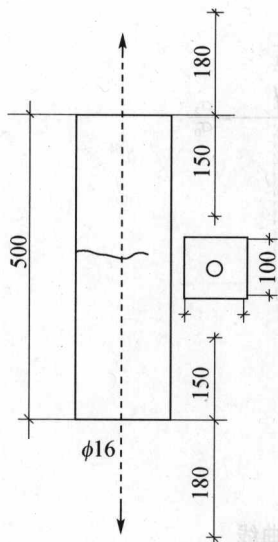


图 2-3 轴心抗拉强度试验

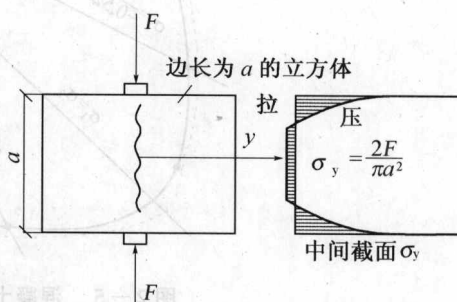


图 2-4 劈拉强度试验

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi dl} \quad (2.2)$$

式中:  $F$ —破坏荷载;

$d$ —圆柱体直径或立方体边长;

$l$ —圆柱体长度或立方体边长。

我国试验给出的轴心抗拉强度  $f_t$  与立方体抗压强度  $f_{cu}$  的关系为:

$$f_t = 0.26f_{cu}^{2/3} \quad (2.3)$$

考虑到构件与试件的差别,规范取用关系为:

$$f_t = 0.23f_{cu}^{2/3} \quad (2.4)$$

### 5. 在复合应力条件下混凝土的强度有什么样的变化?

在复合应力状态下,混凝土的强度与单向受力状态下相比,有明显的变化,不同的复合应力状态下,混凝土的强度也有所不同。

#### (1) 混凝土的双向受力强度

① 在双向拉应力作用下(图 2-5 第一象限),两向应力相互影响不大,混凝土的双向受拉强度接近于单向强度。

② 在双向压应力作用下(图 2-5 第三象限),一向的强度随另一向压应力的增加而增加,双向受压下的混凝土强度比单向受压强度提高约 16%。

③ 在拉压组合情况下(图 2-5 第二、四象限),无论是拉压强度还是抗拉强度都要降低。

④ 在单轴向压应力及剪应力共同作用下(图 2-6),压应力低时,抗剪强度随压应力增大而增大;当压应力增大到一定程度时,抗剪强度随压应力增大而减小。

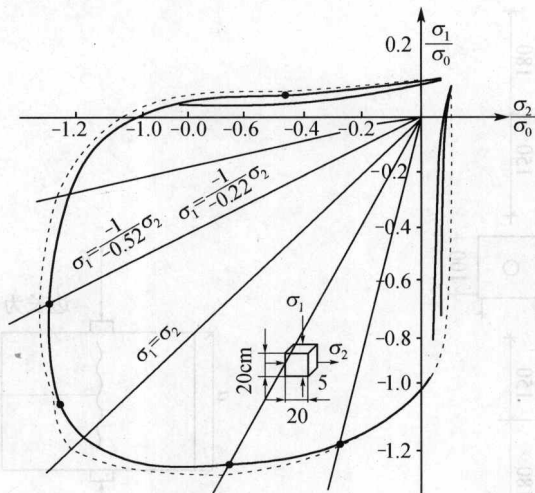


图 2-5 混凝土双向应力下的强度曲线

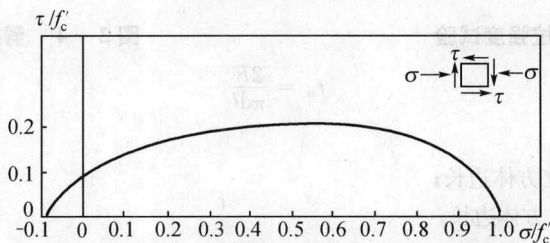


图 2-6 混凝土单向压应力和剪应力组合作用下的强度曲线

(2) 混凝土的三向受压强度

在三向压力作用下,可以提高混凝土的抗压强度,也可以提高其延性。其最大主应力的抗压强度取决于侧向压应力的约束程度。从图 2-7 仍中可以看出,随着侧向压力的增加,试件的强度和延性都有显著提高。工程上通过设置密排螺旋筋或箍筋来约束混凝土,可使混凝土的抗压强度大大提高。(如图 2-8)。

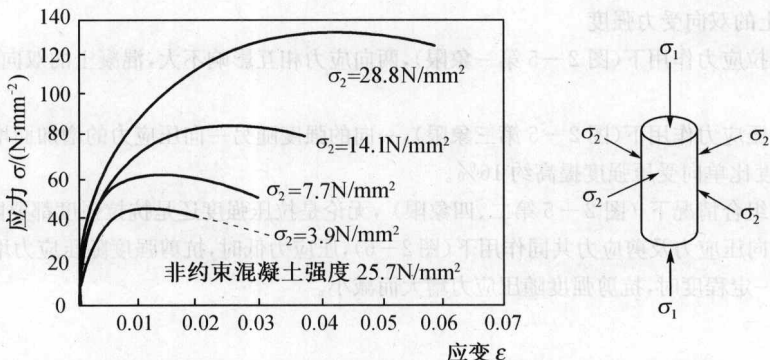


图 2-7 混凝土圆柱体三向受压试验时的轴向应力—应变曲线

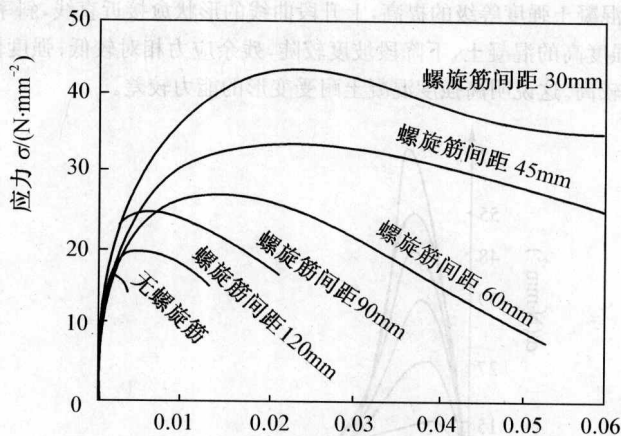


图 2-8 用螺旋筋约束的混凝土圆柱体的应力—应变曲线

6. 单向受力时混凝土应力—应变关系曲线有何特点? 裂缝是怎样发展的? 不同强度等级的混凝土应力—应变关系曲线有何变化?

混凝土单轴受压的应力—应变曲线, 通常用棱柱体试件来测定。典型的受压应力—应变曲线如图 2-9 所示:

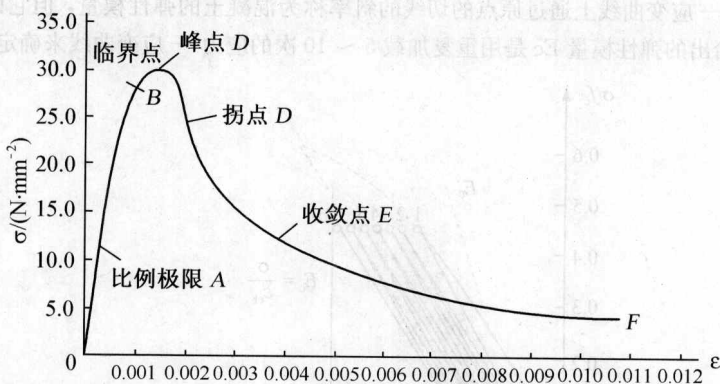


图 2-9 混凝土棱柱体受压应力—应变曲线

可以看出, 这条曲线包括上升段和下降段两部分。

上升段(OC段)又分为三段:

OA段: 混凝土应力  $\sigma \leq 0.3f_c$ , 应力—应变关系接近于直线。混凝土内部已存在微裂缝但没有发展。

AB段:  $\sigma = (0.3 \sim 0.8)f_c$ , 应力—应变曲线逐渐偏离直线。表现出明显的非弹性特征, 混凝土内裂缝不断发展, 但能保持稳定, 即应力不增加, 裂缝也不发展。

BC段:  $\sigma > 0.8f_c$ , 曲线斜率急剧减小。在高应力作用下, 混凝土内部的微裂缝转变为明显的纵向裂缝, 试件开始破坏。

下降段(CE段): 在峰值应力以后, 裂缝迅速发展, 应力逐渐减小, 呈现明显的下降段。一般情况, 开始下降较快, 曲线坡度较陡, 然后曲线坡度开始变缓, 经拐点 D(曲线开始凸向应变轴, 此时试件宏观上已经粉碎) 后更为平缓, 最后趋于—稳定的残余应力。



如图 2-10,随着混凝土强度等级的提高,上升段曲线的形状愈接近直线,斜率愈陡,峰值应变也稍有提高,但增加不多。强度高的混凝土,下降段坡度较陡,残余应力相对较低;强度低的混凝土下降段坡度平缓,残余应力相对较高。这说明高强度混凝土耐受变形的能力较差。

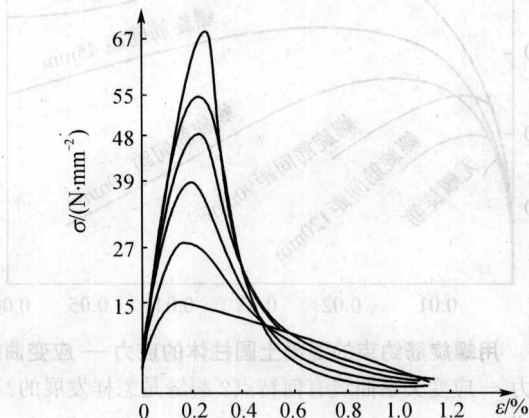


图 2-10 不同强度混凝土的应力—应变曲线

7. 什么是混凝土的弹性模量和变形模量?它们之间有什么关系?

混凝土应力—应变曲线上通过原点的切线的斜率称为混凝土的弹性模量,但它的稳定数值不易测定,《规范》中给出的弹性模量  $E_c$  是用重复加载 5~10 次的应力—应变曲线来确定的(图 2-11)。

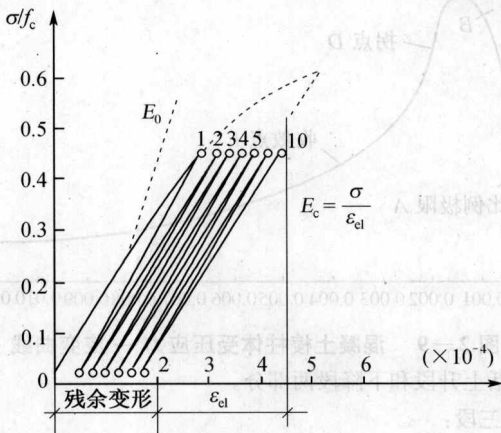


图 2-11 混凝土弹性模量  $E_c$  的测定方法

应力应变曲线上任一点与原点连线的斜率称为混凝土的变形模量  $E_c'$ 。

变形模量  $E_c'$  与弹性模量  $E_c$  的关系为:  $E_c' = \nu E_c$ 。

8. 何谓徐变?徐变对结构有何影响?影响徐变的因素有哪些?

混凝土在荷载的长期作用下,随时间而增长的变形称为徐变。

混凝土的徐变对钢筋混凝土构件的受力性能有重要影响。如受弯构件在荷载长期作用下由于受压区混凝土的徐变,使挠度增大 2~3 倍;长细比较大的偏心受压柱,由于徐变引起的偏心距增大,使构件的承载力降低;在预应力混凝土构件中,由于徐变产生的应力损失,是应力损失的主要部分。