

建筑结构教学丛书

# 混凝土结构与 砌体结构

(按新规范)

HUNNINGTU JIEGOU YU QITI JIEGOU

● 郭继武 主编  
郭继武 张述勇 冯小川 编

高等教育出版社

TU375  
0721

921542

建筑结构教学丛书

# 混凝土结构与砌体结构

(按新规范)

郭继武 主 编

郭继武 张述勇 冯小川 编

高等教育出版社

建筑结构教学丛书是分别根据建筑结构设计新规范(已出版)有关内容编写的,共四本,包括《建筑地基基础》、《混凝土结构与砌体结构》、《钢结构》和《建筑抗震设计》。

本书是《建筑结构教学丛书》之一。内容包括两大部分:混凝土结构和砌体结构。

混凝土结构部分,结合新的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89),较系统地介绍了钢筋混凝土材料的力学性能,概率极限状态设计法,受弯、受压、受拉及受扭构件承载力计算,构件变形和裂缝宽度计算,以及预应力混凝土构件计算。同时,对整体式钢筋混凝土楼盖设计也作了较详细的叙述。

砌体结构部分是参照新的《砌体结构设计规范》(GBJ3-89)编写的。其中包括:砌体材料及其力学性能,砌体结构构件承载力计算,以及混合结构房屋设计。

书中全部采用国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》。为了便于读者掌握书中所介绍的基本理论和计算方法,本书附有一定数量的典型例题和计算图表,供读者参考。

本书既可作为工科土建类专业试用教材,也可供工程设计、施工技术人员学习新规范参考。

建筑结构教学丛书

## 混凝土结构与砌体结构

(按新规范)

郭继武 主编

郭继武 张述勇 冯小川 编

\*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

北京第二新华印刷厂印装

\*

开本787×1092 1/16 印张 25 字数 580 000

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

印数 0001—11 010

ISBN 7-04-002970-7/TB·166

定价 5.30 元

## 前 言

我国新修订的各“建筑结构设计规范”已于1990年1月1日起施行。新修订的规范无论在内容上和技术水平上,都较原规范有了较大的充实、提高和发展,并全部采用了国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》。

由于这次对规范修订的内容较多,许多部分对教师和工程技术人员来说不都是熟悉的。为了帮助这些同志尽快熟悉和掌握新规范的内容。我们编写了这套《建筑结构教学丛书》,供学习参考。

这套丛书共分四册,即:《建筑地基基础》、《混凝土结构与砌体结构》、《钢结构》和《建筑抗震设计》。

这套丛书是根据新修订的各结构设计规范编写的。考虑到教学的系统性和设计的实用性,本丛书均按一般教材体系编写,并全面体现了新规范的主要内容。

《混凝土结构与砌体结构》是本丛书之一。内容包括两部分:混凝土结构和砌体结构。

混凝土结构部分,结合新的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)较系统地介绍了钢筋混凝土材料的力学性能,概率极限状态设计法,受弯、受压、受拉和受扭构件承载力计算,构件变形和裂缝宽度计算,以及预应力混凝土构件计算。同时,对整体式钢筋混凝土楼盖设计也作了较详细的叙述。

砌体结构部分是参照新的《砌体结构设计规范》(GBJ3-89)编写的。其中包括:砌体材料及其力学性能,砌体结构构件承载力计算,以及混合结构房屋设计。

在编写本书时,编者力求做到内容由浅入深,循序渐进,少而精和理论联系实际的原则。为了便于广大读者掌握新规范的内容,本书附有一定数量的典型例题、习题和计算图表,供读者参考。

本书由郭继武主编,郭继武、张述勇、冯小川编写。

本书原稿经北京建筑工程学院王世慧教授审查。审者对原稿提出了许多宝贵意见,编者在此谨致谢意。

限于编者的水平,书中可能存在缺点和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

一九九〇年一月于北京

# 一、混凝土结构主要符号

## 材料性能

- $E_c$  —— 混凝土弹性模量;
- $G_c$  —— 混凝土剪变模量;
- $\gamma_c$  —— 混凝土泊松比;
- $E_s$  —— 钢筋弹性模量;
- C20 —— 表示立方体强度标准值为  $20\text{N/mm}^2$  的混凝土强度等级;
- $f_{cu}$  —— 边长为  $150\text{mm}$  的混凝土立方体抗压强度;
- $f'_{cu}$  —— 边长为  $150\text{mm}$  的施工阶段混凝土立方体抗压强度;
- $f_{cu,k}$  —— 边长为  $150\text{mm}$  的混凝土立方体抗压强度标准值;
- $f_{ck}$ 、 $f_c$  —— 混凝土轴心抗压强度标准值、设计值;
- $f_{cmk}$ 、 $f_{cm}$  —— 混凝土弯曲抗压强度标准值、设计值;
- $f_{tk}$ 、 $f_t$  —— 混凝土轴心抗拉强度标准值、设计值;
- $f'_{tk}$ 、 $f'_{tk}$  —— 施工阶段的混凝土轴心抗压、抗拉强度标准值;
- $f_{yk}$ 、 $f_{pyk}$  —— 普通钢筋、预应力钢筋强度标准值;
- $f_y$ 、 $f'_y$  —— 普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值;
- $f_{py}$ 、 $f'_{py}$  —— 预应力钢筋抗拉、抗压的强度设计值;

## 作用和作用效应

- $N$  —— 轴向力设计值;
- $N_s$ 、 $N_l$  —— 按荷载的短期效应组合、长期效应组合计算的轴向力值;
- $N_p$  —— 后张法构件预应力钢筋及非预应力钢筋的合力;
- $N_{p0}$  —— 混凝土法向预应力等于零时预应力钢筋及非预应力钢筋的合力;
- $N_{s0}$  —— 构件的截面轴心受压或轴心受拉承载力设计值;
- $N_{sx}$ 、 $N_{sy}$  —— 轴向力作用于  $x$  轴、 $y$  轴的偏心受压或偏心受拉承载力设计值;
- $M$  —— 弯矩设计值;

- $M$ 、 $M_l$  —— 按荷载的短期效应组合、长期效应组合计算的弯矩值;
- $M_0$  —— 构件的正截面受弯承载力设计值;
- $M_{cr}$  —— 受弯构件正截面开裂弯矩值;
- $T$  —— 扭矩设计值;
- $V$  —— 剪力设计值;
- $V_{cs}$  —— 构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值;
- $F_1$  —— 局部荷载设计值或集中反力设计值;
- $\sigma_s$ 、 $\sigma_{lc}$  —— 荷载的短期效应组合、长期效应组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力;
- $\sigma_{pe}$  —— 由预加应力产生的混凝土法向应力;
- $\sigma_{lp}$ 、 $\sigma_{cp}$  —— 混凝土中的主拉应力、主压应力;
- $\sigma_s$ 、 $\sigma_p$  —— 正截面承载力计算中纵向普通钢筋、预应力钢筋的应力;
- $\sigma_{ss}$  —— 按荷载的短期效应组合计算的纵向受拉钢筋应力或等效应力;
- $\sigma_{con}$  —— 预应力钢筋张拉控制应力;
- $\sigma_{p0}$  —— 预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力;
- $\sigma_{pe}$  —— 预应力钢筋的有效预应力;
- $\sigma_1$ 、 $\sigma'_1$  —— 受拉区、受压区预应力钢筋在相应阶段的预应力损失值;
- $\tau$  —— 混凝土的剪应力;
- $w_{max}$  —— 考虑裂缝宽度分布的不均匀性和荷载长期效应组合影响的最大裂缝宽度;
- $B$  —— 受弯构件的截面刚度;

## 几何参数

- $a$ 、 $a'$  —— 纵向受拉钢筋合力点，纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离;
- $a_s$ 、 $a'_s$  —— 纵向非预应力受拉钢筋合力点，受压钢筋合力点至截面近边的距离;
- $a_p$ 、 $a'_p$  —— 受拉区纵向预应力钢筋合力点、受压区纵向预应力钢筋合力点至截面近边的距离;

$b$  ——矩形截面宽度，T形、工形截面的腹板宽度；  
 $b_r, b'_r$  ——T形或工形截面受拉区、受压区的翼缘宽度；  
 $d$  ——圆截面的直径或钢筋直径；  
 $e$  ——混凝土保护层及厚度；  
 $e, e'$  ——轴向力作用点至纵向受拉钢筋合力点、纵向受压钢筋合力点的距离；  
 $e_0$  ——轴向力对截面形心的偏心距；  
 $e_a$  ——附加偏心距；  
 $e_i$  ——初始偏心距；  
 $h$  ——截面高度；  
 $h_0$  ——截面有效高度；  
 $h_r, h'_r$  ——T形或I形截面受拉区、受压区的翼缘高度；  
 $i$  ——回转半径；  
 $r_c$  ——曲率半径；  
 $l_a$  ——纵向受拉钢筋的锚固长度；  
 $l_0$  ——计算跨度或计算长度；  
 $s$  ——沿构件轴线方向上横向钢筋的间距，或螺旋筋的间距，或箍筋的间距；  
 $x$  ——混凝土受压区高度；  
 $y_0, y_n$  ——换算截面形心，净截面形心至所计算层的距离；  
 $z$  ——纵向受拉钢筋合力点至混凝土受压区合力点之间的距离；  
 $A$  ——构件截面面积；  
 $A_0$  ——构件换算截面面积；  
 $A_n$  ——构件净截面面积；  
 $A_s, A'_s$  ——受拉区、受压区纵向非预应力钢筋的截面面积；  
 $A_p, A'_p$  ——受拉区、受压区纵向预应力钢筋的截面面积；  
 $A_{sv}, A_{sw}$  ——在受剪、受扭计算中单肢箍筋的截面

面积；

$A_{sv}, A_{sh}$  ——同一截面内各肢竖向、水平箍筋的全部截面面积；  
 $A_{sv}, A_{sh}$  ——同一弯起平面内非预应力、预应力弯起钢筋的截面面积；  
 $A_l$  ——混凝土局部受压面积；  
 $A_{cor}$  ——钢筋网、螺旋配筋或箍筋范围内的混凝土核心面积；  
 $W$  ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩；  
 $W_0$  ——换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩；  
 $W_n$  ——净截面受拉边缘的弹性抵抗矩；  
 $I$  ——截面惯性矩；  
 $I_0$  ——换算截面惯性矩；  
 $I_n$  ——净截面惯性矩；

### 计算系数及其它

$\alpha_{ct}$  ——混凝土拉应力限制系数；  
 $\alpha_E$  ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；  
 $\beta$  ——混凝土局部受压时的强度提高系数；  
 $\gamma$  ——受拉区混凝土塑性影响系数；  
 $\eta$  ——偏心受压构件考虑挠曲影响的轴向力偏心距增大系数；  
 $\lambda$  ——计算截面的剪跨比；  
 $\mu$  ——摩擦系数；  
 $\rho$  ——纵向受拉钢筋配筋率；  
 $\rho_s, \rho_{sh}$  ——竖向箍筋、水平箍筋或竖向分布钢筋、水平分布钢筋的配筋率；  
 $\rho_v$  ——间接钢筋或箍筋的体积配筋率；  
 $\varphi$  ——轴心受压构件的稳定系数；  
 $\theta$  ——考虑荷载长期效应组合对挠度增大的影响系数；  
 $\psi$  ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数；  
 $\xi_b$  ——相对界限受压区高度；

## 二、砌体结构主要符号

### 作用和作用效应

- $N$ ——轴向力设计值；  
 $N_k$ ——轴向力标准值；  
 $N_l$ ——局部受压面积上轴向力设计值，梁端支承压力；  
 $N_0$ ——上部轴向力设计值；  
 $N_t$ ——轴向拉力设计值；  
 $M$ ——弯矩设计值；  
 $V$ ——剪力设计值；  
 $F$ 、 $P$ ——集中力设计值；  
 $\sigma_0$ ——上部平均压应力设计值；  
 $\sigma_k$ ——恒荷载标准值产生的平均压应力。

### 计算指标

- $MU$ ——块体(砖石、砌块)强度等级；  
 $M$ ——砂浆强度等级；  
 $f_1$ ——块体抗压强度平均值；  
 $f_2$ ——砂浆抗压强度平均值；  
 $f$ ——砌体抗压强度设计值；  
 $f_k$ ——砌体抗压强度标准值；  
 $f_t$ ——砌体轴心抗拉强度设计值；  
 $f_{tk}$ ——砌体轴心抗拉强度标准值；  
 $f_{tm}$ ——砌体弯曲抗拉强度设计值；  
 $f_{m,k}$ ——砌体弯曲抗拉强度标准值；  
 $f_v$ ——砌体抗剪强度设计值；  
 $f_{v,k}$ ——砌体抗剪强度标准值；  
 $f_y$ ——受抗钢筋强度设计值；  
 $E$ ——砌体弹性模量；  
 $G$ ——砌体剪变模量；

### 几何参数

- $A$ ——截面积；  
 $A_l$ ——局部受压面积；  
 $A_0$ ——影响局部抗压强度计算面积；

- $A_0$ ——垫块面积；  
 $A'$ ——砌体受压部分面积；  
 $V$ ——体积；  
 $s$ ——相邻横墙、窗间墙之间或壁柱间的距离；  
 $b_0$ ——在相邻横墙、窗间墙之间或壁柱间的距离范围内的门窗洞口宽度；  
 $b$ ——截面宽度、边长；  
 $b_r$ ——带壁柱墙的计算截面翼缘宽度、翼墙计算宽度；  
 $h$ ——墙的厚度或矩形截面的纵向力偏心方向的边长、梁的高度；  
 $h_0$ ——砌块高度；  
 $h_e$ ——截面有效高度；  
 $h_T$ ——T形截面的折算厚度；  
 $h_w$ ——墙体高度、墙体计算高度；  
 $a$ ——边长、梁端实际支承长度；  
 $a_0$ ——梁端有效支承长度；  
 $c$ 、 $d$ ——距离；  
 $e$ ——偏心距；  
 $H$ ——墙体总高、构件高度；  
 $H_i$ ——层高；  
 $H_0$ ——构件计算高度；  
 $H_u$ ——变截面柱上段高度；  
 $H_l$ ——变截面柱下段高度；  
 $l_0$ ——梁的计算跨度；  
 $l_n$ ——梁的净跨度；  
 $I$ ——截面惯性矩；  
 $i$ ——截面回转半径；  
 $S$ ——截面面积矩；  
 $u$ ——截面周长、水平位移；  
 $u_{max}$ ——最大水平位移；  
 $W$ ——截面抵抗矩；  
 $y$ ——截面重心到轴向力所在方向截面边缘的距离；  
 $z$ ——内力臂。

## 计算系数

$\gamma_r$ ——结构构件材料性能分项系数；

$\gamma_s$ ——结构重要性系数；

$\gamma_a$ ——调整系数；

$\gamma$ ——局部抗压强度提高系数、内力臂系数；

$\alpha$ ——系数；

$\beta$ ——构件的高厚比；

$[\beta]$ ——墙、柱允许高厚比；

$\eta$ ——空间性能影响系数、系数；

$\varphi$ ——轴向力影响系数；

$\mu_1$ ——非承重墙允许高厚比的修正系数；

$\mu_2$ ——有门窗洞口墙允许高厚比的修正系数；

$\psi$ ——折减系数；

$\xi$ ——系数；

$\xi$ ——系数。



# 目 录

## 一、混凝土结构主要符号 二、砌体结构主要符号

### 第一篇 混凝土结构

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第一章 钢筋和混凝土材料的力学性能             | 1   |
| § 1-1 混凝土的力学性能                | 1   |
| § 1-2 钢筋的种类及其力学性能             | 7   |
| § 1-3 钢筋与混凝土的粘结、锚固长度          | 13  |
| 第二章 钢筋混凝土结构概率极限状态设计法          | 16  |
| § 2-1 结构的功能及其极限状态             | 17  |
| § 2-2 结构可靠度应用概率论的基本知识         | 17  |
| § 2-3 极限状态设计法                 | 23  |
| 第三章 受弯构件承载力计算                 | 46  |
| § 3-1 概述                      | 46  |
| § 3-2 梁、板的一般构造                | 47  |
| § 3-3 受弯构件正截面承载力的试验研究         | 51  |
| § 3-4 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算的基本理论 | 54  |
| § 3-5 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力的计算     | 63  |
| § 3-6 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算      | 69  |
| § 3-7 T形截面受弯构件正截面承载力计算        | 74  |
| § 3-8 受弯构件斜截面承载力计算            | 81  |
| § 3-9 纵向受力钢筋的切断与弯起            | 94  |
| § 3-10 受弯构件内钢筋构造要求的补充         | 97  |
| 第四章 受压构件承载力计算                 | 103 |
| § 4-1 概述                      | 103 |
| § 4-2 轴心受压构件                  | 104 |
| § 4-3 偏心受压构件                  | 109 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| § 4-4 双向偏心受压的计算                | 133 |
| 第五章 受拉构件承载力计算                  | 143 |
| § 5-1 概述                       | 143 |
| § 5-2 轴心受拉构件正截面受拉承载力计算         | 143 |
| § 5-3 偏心受拉构件承载力计算              | 144 |
| 第六章 受扭构件承载力计算                  | 151 |
| § 6-1 概述                       | 151 |
| § 6-2 纯扭构件承载力计算                | 151 |
| § 6-3 剪扭和弯扭构件承载力计算             | 157 |
| § 6-4 钢筋混凝土弯剪扭构件承载力计算          | 160 |
| 第七章 钢筋混凝土构件的变形和裂缝计算            | 166 |
| § 7-1 受弯构件变形的计算                | 166 |
| § 7-2 钢筋混凝土构件裂缝宽度的计算           | 176 |
| 第八章 预应力混凝土构件的计算                | 183 |
| § 8-1 预应力混凝土的基本原理              | 183 |
| § 8-2 预加应力的方法                  | 184 |
| § 8-3 预应力混凝土的材料                | 185 |
| § 8-4 张拉控制应力                   | 186 |
| § 8-5 预应力损失及其组合                | 187 |
| § 8-6 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析        | 194 |
| § 8-7 预应力混凝土轴心受拉构件使用阶段的验算      | 202 |
| § 8-8 预应力混凝土轴心受拉构件施工阶段的验算      | 204 |
| § 8-9 预应力混凝土受弯构件的应力分析          | 211 |
| § 8-10 预应力混凝土受弯构件使用阶段承载力计算     | 215 |
| § 8-11 预应力混凝土受弯构件使用阶段抗裂与裂缝宽度验算 | 220 |
| § 8-12 预应力混凝土受弯构件变形的验算         | 224 |

|                                |     |                                |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| § 8-13 预应力混凝土受弯构件施工阶段的验算 ..... | 226 | 达式 .....                       | 295 |
| § 8-14 预应力混凝土构件构造要求 .....      | 228 | § 1-5 砌体轴心抗拉、弯曲抗拉及抗剪强度 .....   | 299 |
| <b>第九章 整体式钢筋混凝土楼盖设计</b> .....  | 239 | § 1-6 砌体的弹性模量 .....            | 300 |
| § 9-1 概述 .....                 | 239 | § 1-7 块材及砂浆的选择 .....           | 302 |
| § 9-2 肋形楼盖的受力体系 .....          | 240 | <b>第二章 砌体结构构件承载力计算</b> .....   | 304 |
| § 9-3 单向板肋形楼盖的计算简图 .....       | 241 | § 2-1 受压构件承载力计算 .....          | 304 |
| § 9-4 钢筋混凝土连续梁的内力计算 .....      | 242 | § 2-2 轴心受拉、受弯、受剪构件的承载力计算 ..... | 316 |
| § 9-5 单向板的计算与构造 .....          | 250 | § 2-3 砌体局部受压承载力计算 .....        | 319 |
| § 9-6 次梁的计算与构造 .....           | 253 | <b>第三章 混合结构房屋的墙、柱设计</b> .....  | 327 |
| § 9-7 主梁的计算与构造 .....           | 255 | § 3-1 墙体承重体系 .....             | 327 |
| § 9-8 单向板楼盖计算例题 .....          | 257 | § 3-2 房屋静力计算方案及其计算简图 .....     | 329 |
| § 9-9 双向板的计算与构造 .....          | 268 | § 3-3 墙、柱高厚比的验算 .....          | 333 |
| § 9-10 现浇钢筋混凝土楼梯 .....         | 280 | § 3-4 多层刚性方案房屋墙、柱承载力的验算 .....  | 338 |
|                                |     | § 3-5 单层房屋墙、柱承载力的验算 .....      | 346 |
|                                |     | § 3-6 一般构造要求 .....             | 361 |
|                                |     | § 3-7 过梁与圈梁的设计 .....           | 362 |
|                                |     | <b>附录</b>                      |     |
|                                |     | <b>参考文献</b>                    |     |
| <b>第二篇 砌体结构</b>                |     |                                |     |
| <b>第一章 砌体材料及其力学性能</b> .....    | 289 |                                |     |
| § 1-1 块材 .....                 | 289 |                                |     |
| § 1-2 砂浆 .....                 | 291 |                                |     |
| § 1-3 砌体抗压强度 .....             | 292 |                                |     |
| § 1-4 砌体结构按承载力计算基本表            |     |                                |     |

# 第一篇 混凝土结构<sup>①</sup>

## 第一章 钢筋和混凝土材料的力学性能

混凝土结构是由钢筋、混凝土两种受力性能不同的材料组成的。为了掌握混凝土结构的受力特征和计算原理,必须了解钢筋和混凝土的力学性能。

### §1-1 混凝土的力学性能

#### 一、混凝土强度

##### (一) 立方体抗压强度 $f_{cu}$

按照标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试块(图 1-1a),在 28 d<sup>②</sup>龄期,用标准试验方法测得的抗压强度,叫做立方体抗压强度,用符号  $f_{cu}$  表示。

根据混凝土立方体抗压强度标准值<sup>③</sup>的数值,我国《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)(以下简称《规范》)规定,混凝土强度等级分为 12 级,C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55 和 C60。其中符号 C 表示混凝土。C 后面的数字表示立方体抗压强度标准值,单位为 N/mm<sup>2</sup>。

钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C15;当采用 II 级钢筋时(钢筋种类参见 § 1-2),混凝土强度等级不宜低于 C20;当采用 III 级钢筋以及对承受重复荷载的构件,混凝土强度等级不得低于 C20。

预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C30;当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时,混凝土强度等级不宜低于 C40。

试块放在压力机上、下垫板之间加压时,试块纵向受压缩短,而其横向将扩展。由于压力机垫板与试块上、下表面之间的摩擦力影响,垫板好象起了“箍”的作用一样,将试块上下端箍住(图 1-1b),阻碍了试块上下端的变形,而试块中间部分箍的影响减小,混凝土比较容易发生横向变形。随着荷载的增加,试块中间部分的混凝土首先鼓出而剥落,形成对顶的两个角锥体,其破坏形态如图 1-1c 所示。

① 混凝土结构包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构。

② d 为 day 的简写,表示时间单位:天。

③ 强度标准值是指在正常情况下,可能出现的最小材料强度值。确定方法参见 § 2-3。

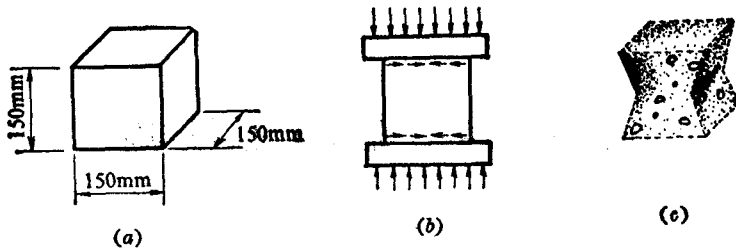


图 1-1

试块的尺寸不同, 试验时试块上下表面的摩擦力产生箍的作用亦将不同。根据大量试验结果的统计规律, 对于边长为非标准的立方体试块, 其抗压强度应乘以下列换算系数, 以换算成标准立方体强度。

200 × 200 × 200mm 的立方体试块——1.05;

100 × 100 × 100mm 的立方体试块——0.95。

(二) 轴心抗压强度  $f_c$ 。

在工程中, 钢筋混凝土轴心受压构件, 如柱、屋架受压弦杆等, 它的长度比其横截面尺寸大得多。因此, 钢筋混凝土轴心受压构件中混凝土的强度, 与混凝土棱柱体轴心抗压强度接近。所以, 在计算这类构件时, 混凝土强度应采用棱柱体轴心抗压强度, 简称轴心抗压强度。

混凝土轴心抗压强度, 是按照标准方法制作养护的截面为 150 × 150mm、高 600mm<sup>①</sup>的棱柱体(图 1-2), 经 28d 龄期, 用标准试验方法测得的强度, 用符号  $f_c$  表示。

我国近年来所作的 394 组棱柱体抗压试验部分结果如图 1-3 所示。由图可以看出, 轴心抗压强度  $f_c$  的平均值  $\mu_{fc}$  与立方体抗压强度  $f_{cu}$  的平均值  $\mu_{fcu}$  的关系成线性关系。其关系式可

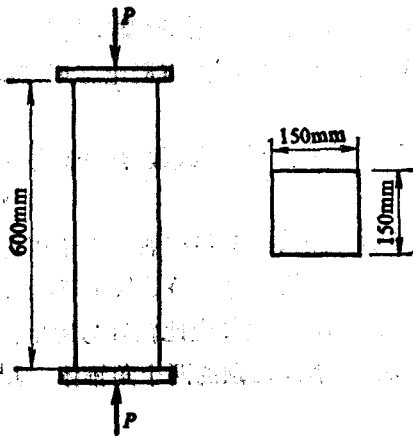


图 1-2

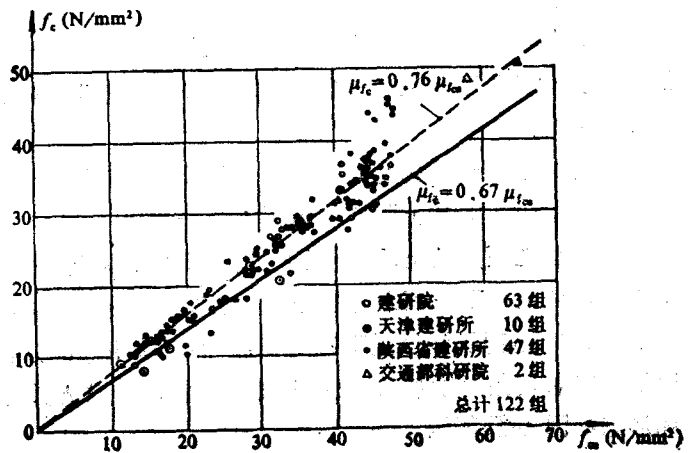


图 1-3

① 棱柱体也有采用 100 × 100 × 300mm 或其它尺寸的。

写成:

$$\mu_{f_c} = 0.76\mu_{f_{cu}} \quad (1-1)$$

考虑到结构中混凝土强度与试件之间的差异,根据以往的经验,并结合试验数据分析,为安全计,对试件强度乘以修正系数 0.88,于是,结构中混凝土轴心抗压强度平均值取成:

$$\mu_{f_c} = 0.88 \times 0.76\mu_{f_{cu}} = 0.67\mu_{f_{cu}} \quad (1-2)$$

由于强度等级 C50、C55 和 C60 的混凝土在受压破坏时,有明显的脆性性质,故按式(1-2)计算它们的轴心抗压强度平均值后,应再分别乘以强度降低系数 0.95,0.93 和 0.90。

### (三) 轴心抗拉强度 $f_t$

在计算钢筋混凝土和预应力混凝土构件的抗裂和裂缝宽度时,要应用轴心抗拉强度。

轴心抗拉强度试验可采用如图 1-4 所示标准试件进行。试件是用一定尺寸的钢模浇注而成的。两端顶埋直径为 20mm 的螺纹钢筋,钢筋轴线应与试件轴线重合。试验时,试验机夹具夹紧两端钢筋,使试件均匀受拉。当试件破坏时,试件横截面上的平均拉应力就是混凝土轴心抗拉强度,用符号  $f_t$  表示。

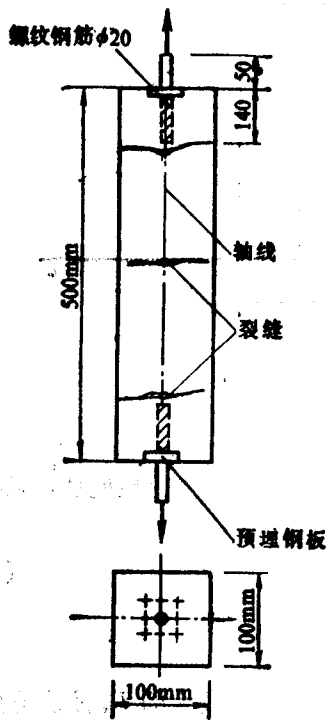


图 1-4

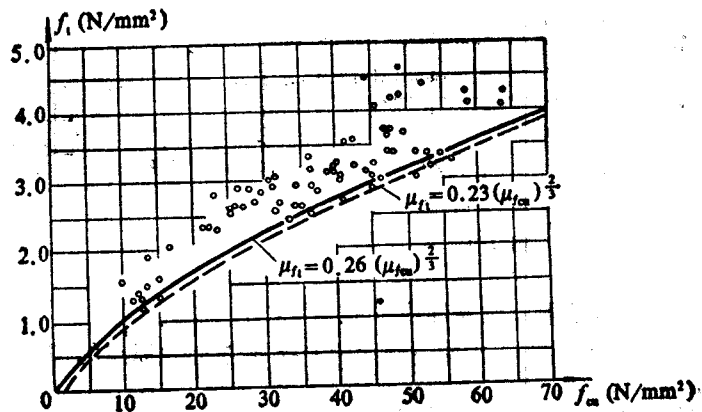


图 1-5

我国近年来进行的 72 组轴心抗拉强度试验结果如图 1-5 所示。由图可以看出,混凝土轴心抗拉强度平均值  $\mu_{f_t}$  与其立方体抗压强度平均值  $\mu_{f_{cu}}$  之间呈曲线关系,其表达式可写成:

$$\mu_{f_t} = 0.26(\mu_{f_{cu}})^{2/3} \quad (1-3)$$

考虑到与轴心抗压强度相同的原因,按式(1-3)求得的混凝土轴心抗拉强度平均值也应乘以强度修正系数 0.88,于是,

$$\mu_{f_t} = 0.88 \times 0.26(\mu_{f_{c,u}})^{2/3} = 0.23(\mu_{f_{c,u}})^{2/3} \quad (1-4)$$

同样,对于强度等级高的 C50、C55 和 C 60 的混凝土,考虑其破坏时的脆性性质,按式(1-4)求得结果亦应分别乘以强度降低系数 0.95、0.93 和 0.90。

## 二、混凝土弹性模量和变形模量

在计算钢筋混凝土构件的变形和预应力混凝土构件截面的预压应力时,需要应用混凝土的弹性模量。但是,在一般情况下,混凝土的应力和应变关系呈曲线变化(参见图 1-6),因此,混凝土弹性模量不是常数。这样,我们会提出,怎样定义弹性模量,以及如何取值的问题。

在工程中,我们要确定两种模量,

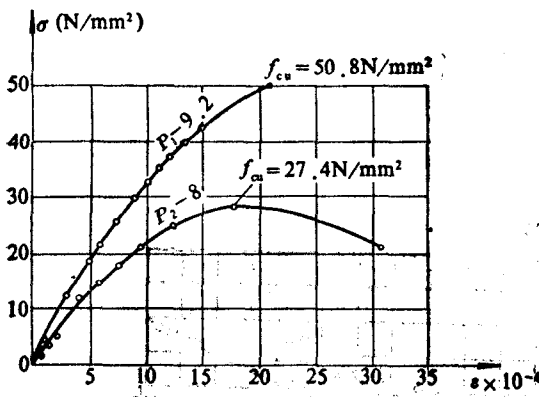


图 1-6

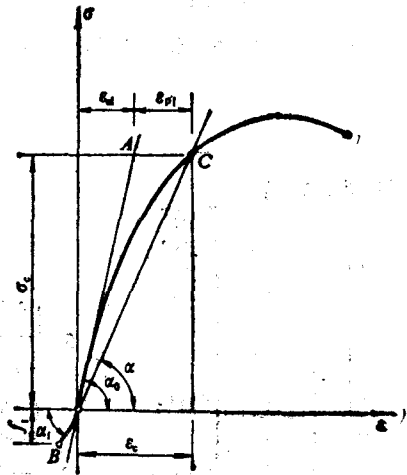


图 1-7

### (一) 混凝土原点弹性模量

通过一次加载的混凝土棱柱体  $\sigma$ - $\epsilon$  关系曲线原点的切线斜率,称为原点弹性模量,以符号  $E_0$  表示。由图 1-7 可以看出:

$$E_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (1-5)$$

式中  $E_0$ ——原点弹性模量,简称弹性模量;

$\alpha_0$ ——混凝土  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线在原点处的切线与横坐标轴的夹角。

但是,  $E_0$  的准确值不易从一次加载的  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线上求得。我国《规范》规定的  $E_0$  数值是在重复加载的  $\sigma$ - $\epsilon$  曲线上求到的,试验采用棱柱体试件,选用应力  $\sigma = 0.5f_c$ ,反复加载 5~10 次。由于混凝土为弹塑性材料,每次卸载至零时,变形不能完全恢复,尚存有塑性变形,随着荷载重复次数的增加,每次卸载的塑性变形将逐渐减小。试验表明,在重复加载次数达 5~10 次后,塑性变形已基本稳定。 $\sigma$ - $\epsilon$  关系基本上接近直线(图 1-8),并平行于相应于原始弹性模量的切线。因此,我们可以取重复加载 5~10 次后( $\sigma \approx 0.5f_c$  时)的  $\sigma$ - $\epsilon$  直线的斜率作为混凝土弹性模量  $E_0$  的

取值依据。

我国《规范》对不同强度等级的混凝土所作的试验结果，如图 1-9 所示，并给出了弹性模量计算公式：

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu}}} \quad (1-6)$$

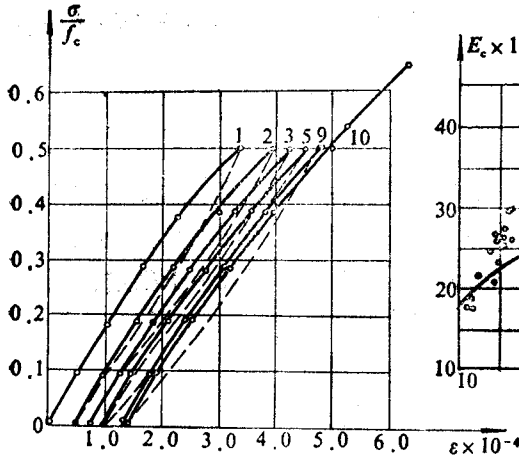


图 1-8

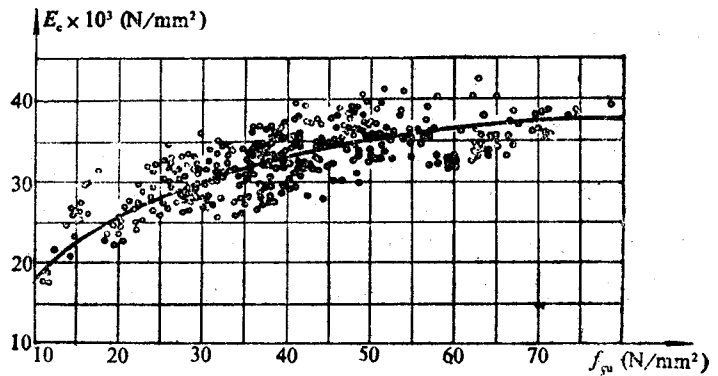


图 1-9

式中  $E_c$ ——混凝土弹性模量(N/mm<sup>2</sup>)；

$f_{cu}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(N/mm<sup>2</sup>)。

根据式(1-6)求得的不同强度等级的混凝土弹性模量，参见附录表 3。

同时，混凝土的剪切模量  $G_c$  可以取为

$$G_c = 0.4E_c \quad (1-7)$$

### (二) 混凝土的变形模量

当应力  $\sigma$  较大，超过  $0.5f_c$  时，弹性模量  $E_c$  已不能反映这时的  $\sigma$  和  $e$  之间的关系。为此，我们给出变形模量的概念。 $\sigma$ - $e$  曲线上任一点  $C$  的应变  $e_c$  由两部分组成(参见图 1-7)：

$$e_c = e_{e1} + e_{p1} \quad (1-8)$$

式中  $e_{e1}$ ——混凝土的弹性应变；

$e_{p1}$ ——混凝土的塑性应变。

原点  $O$  与  $\sigma$ - $e$  曲线上任一点  $C$  连线的斜率，称为混凝土的变形模量，即

$$E'_c = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_c}{e_c} \quad (1-9)$$

设

$$\nu = \frac{e_{e1}}{e_c} \quad (1-10)$$

将式(1-10)代入式(1-9)，得

$$E_c' = \nu E_c$$

(1-11)

式中  $E_c'$ ——混凝土变形模量；

$E_c$ ——混凝土弹性模量；

$\nu$ ——混凝土受压时弹性特征系数，一般取：

当  $\sigma \leq 0.3f_c$  时， $\nu = 1.0$ ；

当  $\sigma = 0.5f_c$  时， $\nu = 0.85$ ；

当  $\sigma = 0.8f_c$  时， $\nu = 0.4 \sim 0.7$ 。

《规范》规定，受拉时的弹性模量取与受压时弹性模量相同的数值。当混凝土受拉达到极限应变时，取弹性特征系数  $\nu = 0.5$ 。

### 三、混凝土的收缩与徐变

#### (一) 混凝土的收缩

混凝土在空气中结硬过程中体积减小的现象称为收缩。我国铁道科学研究院对混凝土的自由收缩进行了试验，试验结果参见图 1-10。由图中可以看出，收缩随时间而增长。初期收缩发展较快，一个月约完成全部收缩量的 50%，三个月后增长减慢，一般两年后就趋于稳定。由图还可以看出，采用蒸汽养护时，混凝土的收缩量要小于常温下的数值。

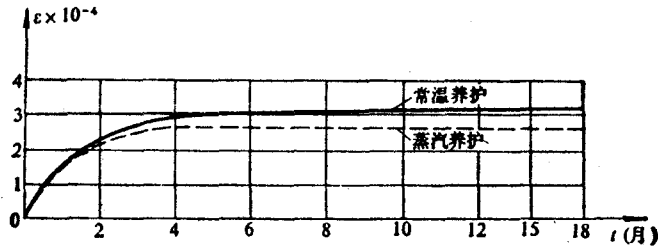


图1-10

一般认为，产生收缩的主要原因是由于混凝土硬化过程中化学反应产生的凝结收缩和混凝土内的自由水蒸发产生的收缩。

混凝土的收缩对钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件会产生十分有害的影响。例如，混凝土构件受到约束时，混凝土的收缩就要使构件中产生收缩应力，收缩应力过大，就会使构件产生裂缝，以致影响结构的正常使用；在预应力混凝土构件中混凝土的收缩将引起钢筋预应力值的损失，等等。因此，应当设法减小混凝土的收缩，避免对结构产生有害的影响。

试验表明，混凝土的收缩与下列因素有关：

1. 水泥用量愈多，水灰比愈大，收缩愈大；
2. 高标号水泥制成的混凝土构件收缩大；
3. 骨料的弹性模量大，收缩小；
4. 在结硬过程中，养护条件好，收缩小；
5. 混凝土振捣密实，收缩小；
6. 使用环境湿度大，收缩小。



## (二) 混凝土的徐变

混凝土在长期不变荷载作用下,应变随时间继续增长的现象,叫做混凝土的徐变。徐变特性主要与时间有关。图 1-11 表示当棱柱体应力 $\sigma = 0.5 f_c$ 时的徐变与时间的关系曲线。由图中可见,当加荷载产生的应力 $\sigma$ 达到 $0.5 f_c$ 时,其加荷瞬间产生的应变为瞬时应变 $e_e$ 。当荷载保持不变时,随着荷载作用的时间增加,应变也继续增长,这就是徐变应变 $e_{sh}$ 。徐变开始时增长较快,以后逐渐减慢,经过较长时间趋于稳定。

产生徐变的原因,目前研究得尚不够充分。一般认为,产生的原因有两个:一个是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,混凝土棱柱体在不变荷载作用下,这种粘性流动还要继续发展;另一个是混凝土内部微裂缝在荷载长期作用下将继续发展和增加,从而引起应变的增加。

混凝土的徐变对结构构件产生十分不利的影响,如增大混凝土结构的变形,在预应力混凝土构件中引起预应力损失等。

试验表明,徐变与下列一些因素有关:

1. 水泥用量愈多,水灰比愈大,徐变愈大,当水灰比在 $0.4 \sim 0.6$ 范围变化时,单位应力作用下的徐变与水灰比成正比;

2. 增加混凝土的骨料的含量,徐变将减小。当骨料的含量由 $60\%$ 增大到 $75\%$ 时,徐变将减小 $50\%$ ;

3. 养护条件好,水泥水化作用充分,徐变就小;

4. 构件加载前混凝土强度愈高,徐变就愈小;

5. 构件截面的应力愈大,徐变愈大。

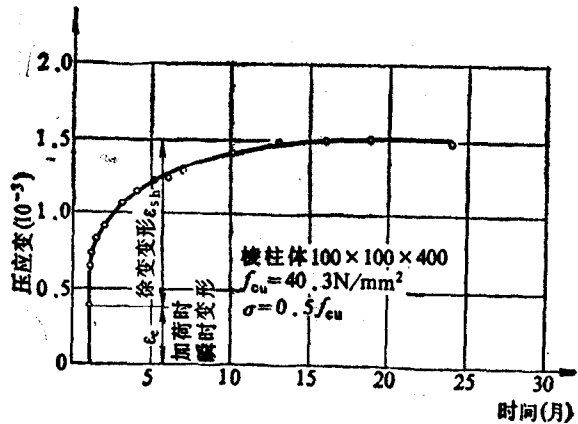


图 1-11

## §1-2 钢筋的种类及其力学性能

### 一、钢筋的种类及化学成分

建筑用的钢筋,要求具有较高的强度,良好的塑性,便于加工和焊接。为了使钢筋具有这种性能,就要掌握钢筋的化学成分、生产工艺和加工条件。

#### (一) 钢筋的种类

建筑工程所用的钢筋,按其加工工艺不同分为:热轧钢筋、冷拉钢筋、热处理钢筋、碳素钢丝、刻痕钢丝、冷拔低碳钢丝及钢绞线。对于热轧钢筋和冷拉钢筋,按其强度又分为 I 级、II 级、III 级和 IV 级。

考虑到各种类型钢筋的使用条件和便于从外观上加以区别,我国冶金部规定, I 级钢筋外形轧成光面,俗称光圆钢筋。II 级、III 级钢筋轧成人字纹(图 1-12 a)或月牙形(图 1-12 b), IV 级钢筋轧成螺旋纹(图 1-12 c)。人字纹、螺旋纹和月牙形钢筋,统称为变形钢筋。

#### (二) 钢筋的化学成分