

清华大学土木工程系列教材

Concrete Structures

混凝土结构 (第2版 上册)

叶列平 编著

Ye Lieping



清华大学出版社

清华大学土木工程系列教材

Concrete Structures

混凝土结构 (第2版 上册)

叶列平 编著
Ye Lieping

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《混凝土结构(第2版 上册)》系作者根据国家颁发的《混凝土结构设计规范(GB 50010—2002)》、《建筑结构荷载规范(GB 50009—2001)》在第1版的基础上修订而成的。

本书内容包括:钢筋和混凝土的材料性能;钢筋混凝土构件的基本受力性能;结构设计方法;受弯、受压、受拉、受扭构件的承载力计算;正常使用阶段变形和裂缝的验算;预应力混凝土构件的原理、受力性能分析和设计等。

本书注重概念叙述,重点突出,基本理论和方法讲解深入,每章都列举了适量的例题,帮助读者掌握概念和计算方法;每章末尾都有一定数量的思考题和习题,全书的最后还附有清华大学混凝土结构课程的水平考试题集,以方便读者通过这些题目进行自测,检查学习效果。此外,本书配备有教学光盘,便于高校师生参考。

本书既可作为高等院校土建类、专业的本科生教材,也可作为广大土建科研人员、技术人员的参考图书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构. 上册/叶列平编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2005.8
(清华大学土木工程系列教材)

ISBN 7-302-11141-3

I. 混… II. 叶… III. 混凝土结构—高等学校—教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 056110 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客户服务: 010-62776969

责任编辑: 汪亚丁

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 三河市兴旺装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 203×253 印张: 22.25 字数: 606 千字

版 次: 2005 年 8 月第 2 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11141-3/TU·265

印 数: 1~4000

定 价: 39.80 元

前言

本书是根据教育部土木工程专业的培养要求,结合作者多年来的教学实践经验编写的,可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供从事土木工程的技术人员学习参考。

混凝土结构是土木工程专业的主干专业基础课程,其教学指导思想是:注重建立工程概念,注重培养综合能力,注重提炼科学问题,注重激发创新意识;从理论转向实际,从简单转向综合;理论分析与工程应用相结合,科学方法与工程创新相结合;培养土木工程师的基本素质。

根据作者多年的教学经验,本书编写时不仅注意教学和学习规律,使教学内容的安排尽可能符合认识规律,同时也及时反映了一些学科的最新发展和作者的科研及参加规范制订工作的成果,如高强混凝土结构构件、受剪桁架模型、非荷载裂缝、耐久性等。考虑到土木工程结构类型多,设计计算方法不统一的情况,编写中注重基本概念、基本原理和分析方法的讲述,使学生能正确理解和掌握混凝土结构构件各种受力形式的设计计算方法以及综合知识的运用能力。由于混凝土结构是一门理论性强,同时又是实际应用的学科,为避免初学者混淆不同类型工程结构设计规范的方法,在设计计算部分主要按《混凝土结构设计规范 GB 50010—2002》编写。

本书编写时力求语言通俗易懂、深入浅出。每章均有例题,每章末尾有一定数量的习题和思考题。本书还附有电子教案,可供教师教学和学生课后学习参考。

本书分为上、下两册,上册由叶列平编著,下册由叶列平、赵作周编著,樊建生博士也参与了本书下册部分内容的编写工作,博士生冯鹏、经杰、黄盛楠、汪训流等对本书中的一些例题进行了计算。在本书上册第1版的使用中,我的学生也提出过许多宝贵意见,并帮助整理了符号表。本书上册第1版编写时,庄崖屏教授进行了细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。由于编者的经验和水平限制,本书一定还存在不少缺点甚至错误,请读者提出批评和指正,以便及时改进。

叶列平

2005年3月于清华园

主要符号表

A

A 构件截面面积

- A_0 ——构件换算截面面积
- A_b ——局部受压强度的计算底面积
- A_c ——混凝土截面面积
- A_{cor} ——螺旋筋或箍筋内的混凝土核心面积
- A_l ——混凝土局部受压面积
- A_{ln} ——扣除孔道面积的混凝土局部受压净面积
- A_n ——构件净截面面积
- A_p ——受拉区纵向预应力钢筋的截面面积
- A'_p ——受压区纵向预应力钢筋的截面面积
- A_{pb} ——同一弯起平面内预应力弯起钢筋截面面积
- A_s ——受拉区纵向非预应力钢筋的截面面积
- A'_s ——受压区纵向非预应力钢筋的截面面积
- A_{sb} ——同一截面内弯起钢筋的截面面积
- A_{ss0} ——螺旋箍筋换算面积
- A_{ss1} ——螺旋箍筋截面面积
- A_{stl} ——受扭计算中取用的全部受扭纵向钢筋的截面面积
- A_{stl} ——受扭计算中单肢箍筋的截面面积
- A_{sv} ——同一截面内各肢竖向箍筋的全部截面面积
- A_{sv1} ——受剪计算中单肢箍筋的截面面积
- A_{te} ——有效受拉混凝土截面面积
- a ——全部纵向受拉钢筋合力点至截面底面的距离;集中荷载到支座的剪跨长度;张拉端锚具变形和钢筋内缩值
- a' ——全部纵向受压钢筋合力点至截面顶面的距离
- a_p ——受拉区纵向预应力钢筋合力点至截面底面的距离
- a'_p ——受压区纵向预应力钢筋合力点至截面顶面的距离
- a_s ——纵向非预应力受拉钢筋合力点至截面底面的距离
- a'_s ——纵向非预应力受压钢筋合力点至截面顶面的距离

B

B 受弯构件的截面抗弯刚度

- B_{min} ——最小截面抗弯刚度

B_s ——截面短期抗弯刚度

B_t ——考虑部分荷载长期作用影响的截面抗弯刚度

b ——矩形截面宽度、T型或工型截面的腹板宽度

b_{cor} ——箍筋内核心截面宽度

b_t ——T型或工型截面受拉区的翼缘宽度

b'_t ——T型或工型截面受压区的翼缘宽度

b_h ——箱形截面宽度

b_w ——箱形截面孔洞宽度

C

C ——受压区混凝土压应力合力荷载效应系数

C_{cu} ——混凝土受压应力-应变曲线下面积

C_G ——恒荷载效应系数

C_Q ——活荷载效应系数

c ——混凝土保护层厚度

D

d ——钢筋直径;预应力钢丝、钢绞线的公称直径

d_{cor} ——螺旋箍筋内径

E

E ——弹性模量

E_c ——混凝土弹性模量、原点切线模量

E'_c ——混凝土割线模量

E''_c ——混凝土切线模量

E_p ——预应力钢筋弹性模量

E_s ——钢筋弹性模量

e ——轴向力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离

e' ——轴向力作用点至纵向受压钢筋合力点的距离

e_0 ——轴向力对截面重心的偏心距;跨中预应力钢筋偏心距;消压拉力的偏心距

e_{ob} ——界限偏心距

e_s ——附加偏心距

e_i ——初始偏心距

e_p ——预应力钢筋形心至截面形心的偏心距;消压轴力作用点至预应力钢筋面积形心的距离

e_{pn} ——预应力钢筋形心至净截面形心的偏心距

e_{po} ——受拉区预应力钢筋形心至截面形心的偏心距

F

F_k ——构件顶面集中荷载标准值

F_l ——局部受压面上作用的局部荷载设计值

f ——挠度

f_1 ——预应力混凝土受弯构件由使用荷载产生的挠度

f_2 ——预应力混凝土受弯构件由预应力产生的反拱

$[f]$ ——挠度变形限值

f_l ——长期挠度

f_s ——短期挠度

$f_c, f_{ck}, f_{c,m}$ ——混凝土轴心抗压强度设计值、标准值、平均值

$f'_c, f'_{c,m}$ ——混凝土圆柱体抗压强度设计值、平均值

f_{cl} ——混凝土局部受压强度

$f_{cu}, f_{cu,k}, f_{cu,m}$ ——混凝土立方体抗压强度、标准值、平均值

f_{pk} ——预应力钢绞线和钢丝强度标准值

f_{py} ——预应力钢筋抗拉强度

f'_{py} ——预应力钢筋抗压强度

$f_{sp}, f_{sp,m}$ ——混凝土劈裂抗拉强度、平均值

$f_t, f_{tk}, f_{t,m}$ ——混凝土轴心抗拉强度设计值、标准值、平均值

$f_y, f_{yk}, f_{y,m}$ ——普通钢筋受拉强度设计值、标准值、平均值

f'_y ——普通钢筋受压强度设计值

f_{yv} ——箍筋屈服强度设计值

G

G, G_k, G_m ——恒荷载设计值、标准值、平均值

g, g_k ——均布恒荷载设计值、标准值

H

h ——截面高度

h_0 ——截面有效高度

h_{cor} ——箍筋内核心截面高度

h_f ——T型或工型截面受拉区的翼缘高度

h'_f ——T型或工型截面受压区的翼缘高度

h_w ——截面腹板高度;箱形截面孔洞高度

I

I ——截面惯性矩

I_0 ——换算截面惯性矩

I_n ——净截面惯性矩

K

K ——安全系数

k_1 ——混凝土轴心抗压强度与立方体抗压强度核算系数

k_2 ——脆性折减系数

k_c ——混凝土材料强度分项系数

k_s ——钢筋材料强度分项系数

L

l ——梁板的跨度;钢筋锚固长度;预应力钢筋张拉端与锚固端距离

l_0 ——梁板的计算跨度;柱的计算长度

l_a ——纵向受拉钢筋的锚固长度;基本锚固长度

l_{as} ——简支支座处锚固长度

l_d ——延伸长度

l_f ——反向摩擦影响长度

l_m ——平均裂缝间距

l_{tr} ——传递长度

M

M ——弯矩设计值

M_0 ——消压弯矩

M_b ——受弯构件界限弯矩

M_{cr} ——受弯构件的正截面开裂弯矩值

M_g ——均布荷载下的弯矩;构件自重和施工阶段荷载的标准组合产生的弯矩

M_k ——按荷载效应的标准组合计算的弯矩值、短期弯矩使用弯矩

M_q ——按荷载效应的准永久组合计算的弯矩值、长期弯矩

M_u ——构件的正截面受弯承载力设计值

$M_{u,max}$ ——适筋梁极限弯矩上限、界限受弯承载力

M_y ——受弯构件屈服弯矩

N

N ——轴向力设计值

N_0 ——消压轴力

N_b ——界限轴力

N_{cr} ——构件开裂轴向荷载

N_k ——按荷载效应的标准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

$N_{p,con}$ ——张拉设备控制的总张拉力

N_u ——构件极限轴向荷载

N_{ux} ——轴向力作用于 x 轴的偏心受压或偏心受拉承载力设计值

N_{uy} ——轴向力作用于 y 轴的偏心受压或偏心受拉承载力设计值

N_u^l ——长柱轴心受压承载力

N_u^s ——短柱轴心受压承载力

N_{u0} ——构件的截面轴心受压或轴心受拉承载力设计值

n ——同一截面内箍筋肢数

P

P ——集中荷载

P_{cr} ——开裂荷载

P_u ——破坏荷载、极限荷载

P_y ——屈服荷载

P_f ——结构失效概率

Q

Q, Q_k, Q_m ——活荷载设计值、标准值、平均值

q ——均布活荷载设计值

q_k ——均布活荷载标准值

R

R ——结构抗力

R_k ——结构抗力标准值

r, r_c ——曲线预应力钢筋曲率半径

S

S, S_k ——结构作用效应设计值、标准值

S_0 ——换算截面计算纤维处对换算截面形心的面积矩

s ——箍筋间距;钢筋与混凝土相对滑移

s_{max} ——箍筋最大间距

T

T ——扭矩设计值;受拉区拉力合力

T_c ——梁受拉区混凝土拉应力合力;无腹筋剪扭构件受扭承载力

T_{cr} ——开裂扭矩

$T_{cr,e}$ ——弹性开裂扭矩

$T_{cr,p}$ ——塑性开裂扭矩

T_f ——受拉翼缘扭矩设计值

T'_f ——受压翼缘扭矩设计值

T_s ——受拉钢筋拉力;箍筋受扭承载力

T_u ——极限扭矩

T_w ——腹板所承受扭矩设计值

T_y ——钢筋屈服时总拉力

t_w ——箱形截面壁厚

t_0 ——混凝土加载龄期

U

u ——钢筋周长

u_{cor} ——受扭构件截面核心部分周长

V

V ——剪力设计值

V_s ——骨料咬合作用

V_c ——混凝土受剪承载力;无腹筋剪扭构件受剪承载力

V_{cs} ——构件斜截面上混凝土和箍筋的受剪承载力设计值

V_d ——销栓作用

V_p ——预应力提高的构件受剪承载力

V_s ——箍筋受剪承载力

V_u ——受剪承载力

W

W ——截面受拉边缘的弹性抵抗矩

W_0 ——验算边缘的换算截面弹性抵抗矩

W_{ob} ——换算截面对受拉边缘的弹性抵抗矩

W_t ——截面受扭塑性抵抗矩

W_{te} ——截面受扭弹性抵抗矩

W_{tf} ——带翼缘截面翼缘部分受拉抵抗矩

W'_{tf} ——带翼缘截面翼缘部分受压抵抗矩

W_{lw} ——带翼缘截面腹板部分抵抗矩

w ——裂缝宽度;单位长度上预应力钢筋对混凝土产生的径向压力

$[w]$ ——最大裂缝宽度限值

VI 混凝土结构(第2版 上册)

w_m ——平均裂缝宽度

w_{max} ——按荷载效应的标准组合并考虑长期作用影响计算的最大裂缝宽度

X

x ——等效矩形受压区高度

x_n ——中和轴高度、受压区高度

x_{nh} ——界限中和轴高度、界限受压区高度

Y

y ——截面任一点到形心轴距离

y_c ——受压区混凝土压应力合力到中和轴距离

y_{pn} ——受拉区预应力钢筋合力至净截面形心距离

y'_{pn} ——受压区预应力钢筋合力至净截面形心距离

y_p ——受拉区预应力钢筋合力至截面形心距离

y'_p ——受压区预应力钢筋合力至截面形心距离

y_s ——受拉钢筋到中和轴距离

Z

Z ——结构功能函数

z ——纵向受拉钢筋合力至混凝土受压区合力点之间的距离

α

α ——等效矩形应力系数;弯起钢筋与构件轴线夹角;锚固钢筋外形系数;形状系数;预应力钢筋外形系数

α_c ——剪跨比影响系数

α_{cr} ——构件受力特征系数

α_E ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值

α_{Ep} ——预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比

α_{Es} ——非预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比

α_s ——截面弹塑性抵抗矩系数

$\alpha_{s, max}$ ——界限截面弹塑性抵抗矩系数

β

β ——结构可靠指标

β_1 ——等效矩形高度系数

β_c ——混凝土强度影响系数

β_{cor} ——间接配筋的局部受压承载力提高系数

β_h ——截面尺寸影响系数

β_l ——局部受压时的混凝土强度提高系数

β_t ——剪扭构件混凝土受扭承载力降低系数

β_v ——剪扭构件混凝土受剪承载力降低系数

β_p ——纵筋配筋率影响系数

γ

γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数

γ_m ——截面抵抗矩塑性影响系数基本值

γ_R ——结构抗力分项系数

γ_c ——混凝土材料分项系数

γ_s ——钢筋材料分项系数;内力臂系数

γ_s ——作用效应分项系数

γ_G ——恒荷载分项系数

γ_Q ——活荷载分项系数

γ_0 ——重要性系数

γ'_t ——受压翼缘加强系数

δ

δ ——变异系数

δ_{gt} ——钢筋均匀延伸率

ϵ

ϵ ——应变

ϵ_c ——混凝土应变

ϵ_0 ——混凝土受压峰值应变

$\bar{\epsilon}_c$ ——受压边缘混凝土平均应变

ϵ_{ci} ——混凝土初始压应变

ϵ_{cr} ——混凝土徐变

ϵ_{cu} ——混凝土极限压应变

ϵ_e ——混凝土弹性应变

ϵ_p ——混凝土塑性应变

$\epsilon_{sh}, \epsilon_{sh, \infty}$ ——混凝土收缩应变、终极值

ϵ_{tu} ——混凝土极限拉应变

ϵ_{t0} ——混凝土峰值拉应变

ϵ_u ——混凝土极限压应变

ϵ_s ——受拉钢筋应变

$\bar{\epsilon}_s$ ——梁纯弯段内钢筋平均应变

ϵ'_s ——受压钢筋应变

ϵ_y ——钢筋屈服应变

ζ

ζ ——受扭构件纵筋和箍筋的配筋强度比;受压区边缘混凝土平均应变综合系数

ζ_1, ζ_2 ——考虑初始偏心距影响的折减系数;考虑长细

比影响的折减系数

 ζ_ψ ——受拉钢筋搭接接头面积百分率系数 η η ——偏心受压构件考虑二阶弯矩影响的轴向力偏心距增大系数;内力臂系数 θ θ ——扭率;张拉端与计算截面曲线部分的切线夹角;考虑荷载长期作用对挠度增大的影响系数 λ λ ——计算截面的剪跨比 μ μ ——延性系数 ν ν ——混凝土弹性系数 ξ ξ ——相对受压区高度 ξ_b ——界限相对受压区高度 ξ_n ——相对中和轴高度 ρ ρ ——纵向受力钢筋的配筋率;曲率半径 ρ_b ——界限配筋率 $\rho_{\max}$ ——最大配筋率 $\rho_{\min}$ ——最小配筋率 $\rho_{st, \min}$ ——剪扭箍筋最小配筋率 $\rho_{tl, \min}$ ——受扭纵筋最小配筋率 ρ_{tc} ——有效受拉截面面积计算的配筋率 $\rho_{sh, \lim}$ ——收缩影响下混凝土最大配筋率 ρ' ——受压钢筋配筋率 $\rho'_{\min}$ ——受压钢筋最小配筋率 ρ_{sv} ——竖向箍筋的配筋率 ρ_{st} ——受扭箍筋配筋率 ρ_{tl} ——受扭纵筋配筋率 ρ_{tc} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率 ρ_v ——箍筋的体积配筋率 σ σ_b ——钢筋最大拉伸应力、钢筋极限抗拉强度 σ_c ——混凝土应力 σ_{cc} ——混凝土法向压应力 σ_{ci} ——混凝土初始压应力 σ_{ek} ——荷载效应的标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力 σ_{cp} ——混凝土中的主压应力 σ_{eq} ——荷载效应的准永久组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力 σ_{ct} ——混凝土法向拉应力 $\sigma_{c, 0}$ ——徐变影响下混凝土初始压应力 $\sigma_{c, t}$ ——徐变影响下混凝土残余拉应力 $\sigma_{c, t}$ ——徐变影响下混凝土 t 时间后应力 σ_{pc} ——由预加力产生的混凝土法向应力 σ_{pci} ——先张或后张时受拉区预应力钢筋合力点处混凝土预压应力 σ'_{pci} ——先张或后张时受压区预应力钢筋合力点处混凝土预压应力 σ_{tp} ——混凝土中的主拉应力 σ_x ——由预应力和使用弯矩产生的截面混凝土法向正应力 σ_y ——由构件顶面集中荷载标准值产生的混凝土竖向压应力 σ_t ——受拉区预应力钢筋在相应阶段的预应力损失 σ_{l1} ——预应力钢筋锚固回缩损失 σ_{l2} ——预应力钢筋摩擦损失 σ_{l3} ——预应力钢筋温差损失 σ_{l4} ——预应力钢筋应力松弛损失 σ_{l5} ——受拉区预应力钢筋收缩徐变损失 σ'_{l5} ——受压区预应力钢筋收缩徐变损失 σ_{l6} ——预应力钢筋应力松弛损失 σ_{lc} ——混凝土弹性压缩引起的损失 σ_{l1} ——混凝土预压前完成的预应力损失 σ_{lII} ——混凝土预压后完成的预应力损失 σ_p ——正截面承载力计算中纵向预应力钢筋的应力 σ_{con} ——预应力钢筋张拉控制应力 σ_{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;扣除全部预应力损失后预应力弯起钢筋的有效预应力 σ_{pe} ——预应力钢筋的有效预应力

σ_t ——受拉边缘预应力钢筋拉应力
 σ_s ——纵向受拉钢筋应力
 σ'_s ——受压钢筋应力
 σ_{sk} ——按荷载效应的标准组合计算的纵向受拉钢筋应力
 $\sigma_{s,0}$ ——徐变影响下钢筋初始压应力
 $\sigma_{s,r}$ ——徐变影响下钢筋残余压应力
 $\sigma_{s,t}$ ——徐变影响下钢筋 t 时间后应力

τ

τ ——混凝土的剪应力;粘结应力;裂缝扩大系数
 τ_{max} ——最大剪应力
 τ_l ——长期荷载下裂缝扩大系数
 τ_m ——平均粘结应力
 τ_u ——粘结强度

ν

ν ——钢筋相对粘结特性系数

ϕ

ϕ ——截面曲率
 $\bar{\phi}$ ——截面平均曲率
 ϕ_b ——界限截面曲率
 ϕ_u ——极限截面曲率
 ϕ_y ——屈服截面曲率

φ

φ ——混凝土徐变系数;轴心受压构件的稳定系数
 $\varphi_{s, \infty}$ ——混凝土徐变系数终极值

ψ

ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数;超张拉系数
 ψ_c ——混凝土应变不均匀系数
 ψ_{Qi} ——荷载组合系数
 ψ_q ——活荷载准永久值系数

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的一般概念	1
1.2 混凝土结构的优缺点	3
1.3 混凝土结构的发展简况及其应用	4
1.4 学习中应注意的问题	5
第 2 章 钢筋和混凝土的材料性能	8
2.1 钢筋	8
2.2 混凝土	12
思考题	30
第 3 章 钢筋混凝土构件的基本受力性能	32
3.1 轴心受拉构件的受力性能	32
3.2 轴心受压构件的受力性能	35
3.3 收缩和徐变的影响	37
3.4 梁的受弯性能	40
3.5 承载力和延性	47
思考题	48
习题	49
第 4 章 结构设计方法	51
4.1 结构的功能	51
4.2 极限状态	52
4.3 作用效应和结构抗力	53
4.4 结构设计中的不确定性	54
4.5 结构设计方法	54
4.6 结构上的作用及其代表值、作用效应组合	57
4.7 结构抗力和材料强度代表值	58
4.8 实用设计表达式	58
思考题	60

第5章 受弯构件正截面承载力计算	62
5.1 受弯构件的形式及基本要求	62
5.2 正截面承载力计算的基本规定	64
5.3 单筋矩形截面	68
5.4 双筋矩形截面	72
5.5 T形截面	79
思考题	83
习题	84
第6章 受弯构件斜截面承载力计算	86
6.1 斜裂缝的形成	86
6.2 无腹筋梁的斜截面受剪性能	88
6.3 有腹筋梁的斜截面受剪性能	94
6.4 斜截面受剪承载力计算	100
思考题	104
习题	105
第7章 粘结、锚固及钢筋布置	106
7.1 概述	106
7.2 钢筋与混凝土的粘结	107
7.3 钢筋的锚固和搭接	115
7.4 受弯构件的钢筋布置	119
7.5 设计例题	124
思考题	130
习题	131
第8章 受压构件	133
8.1 轴心受压构件的承载力计算	133
8.2 压力和弯矩共同作用下的正截面受力性能	138
8.3 附加偏心距和偏心距增大系数	144
8.4 矩形截面	149
8.5 T形和工形截面	161
8.6 双向偏心受压构件*	165
8.7 受压构件的斜截面受剪承载力	169
8.8 受压构件的延性*	172
8.9 受压构件的配筋构造要求	174

思考题	176
习题	177
第 9 章 受拉构件	179
9.1 轴心受拉构件	179
9.2 偏心受拉构件	179
9.3 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力	184
思考题	184
习题	185
第 10 章 受扭构件	186
10.1 概述	186
10.2 开裂扭矩	187
10.3 纯扭构件的承载力计算	189
10.4 弯-剪-扭构件的承载力计算	196
10.5 压-弯-剪-扭构件的承载力计算	205
思考题	206
习题	207
第 11 章 正常使用阶段的验算	208
11.1 概述	208
11.2 受弯构件的变形验算	209
11.3 正截面裂缝宽度计算	217
11.4 非荷载裂缝及其控制措施	225
11.5 混凝土结构的耐久性	235
思考题	242
习题	242
第 12 章 预应力混凝土的原理及计算规定	244
12.1 预应力混凝土的概念	244
12.2 施加预应力的方法	248
12.3 开裂前预应力混凝土截面的基本分析	250
12.4 预应力混凝土的材料及锚夹具	252
12.5 张拉控制应力和预应力损失	257
思考题	268
习题	268

第 13 章 预应力混凝土构件的受力性能分析	270
13.1 预应力混凝土轴心受拉构件的分析	270
13.2 预应力混凝土受弯构件的分析	276
13.3 一般预应力混凝土受弯构件的计算	282
思考题	284
习题	285
第 14 章 预应力混凝土受弯构件的设计	286
14.1 预应力混凝土的分类	286
14.2 截面形状与跨高比	288
14.3 预应力钢筋数量的确定	289
14.4 承载力计算	290
14.5 正常使用阶段验算	292
14.6 预应力混凝土连续梁	295
14.7 施工阶段验算	297
14.8 预应力混凝土构件的构造要求	301
思考题	311
习题	311
附录 A 钢筋混凝土结构构件及其性能参数	313
附录 B 《混凝土结构(上册)》水平题集	320
索引	335
参考文献	339

第 1 章

绪 论

1.1 混凝土结构的一般概念

以混凝土材料为主,并根据需要配置钢筋、预应力钢筋、钢管、钢筋等,作为主要承重材料的结构,均可称为**混凝土结构**(concrete structures),如素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢管混凝土结构、纤维混凝土结构等(见图 1-1),其中以钢筋混凝土和预应力混凝土结构在工程中应用最多。

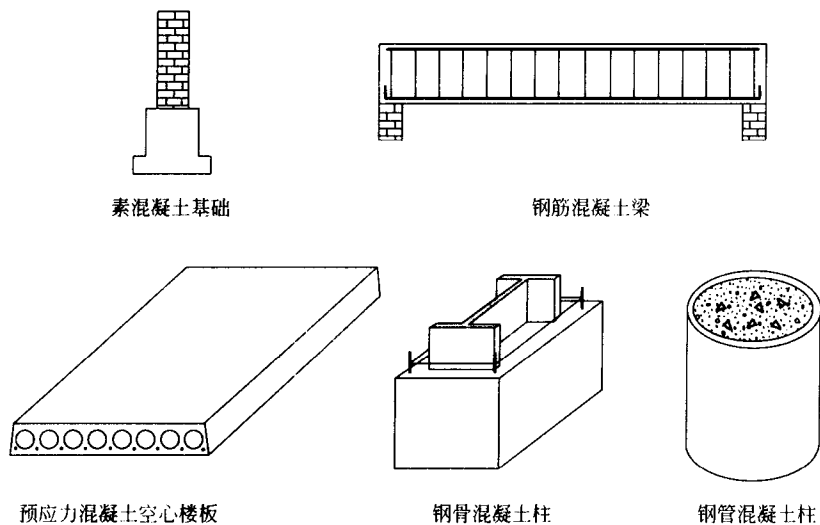


图 1-1 常见混凝土结构构件形式

混凝土结构中的主要材料——混凝土,其抗压强度高,而抗拉强度却很低,一般只有抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$,同时混凝土破坏时具有明显的脆性性质。因此,素混凝土构件在实际工程中的应用很有限,主要用于以受压为主的基础、柱墩和一些非承重结构。

钢材的抗拉和抗压强度都很高,且钢材一般均具有屈服现象,破坏时表现出较好的延性。但细长的钢筋受压时极易压曲失稳,仅适宜作为受拉构件,而其他形式的纯钢构件和钢结构,其承载力也往往取决于构件的稳定承载力,钢材强度一般得不到充分发挥。

另一方面,混凝土是一种经济且易于浇筑成形的材料,十分适合于各种形式的土木工程结构。钢材则相对价格较高,但其抗拉强度很高。将混凝土和钢材这两种材料有机地结合在一起,可以取长补短,充分利用两种材料的性能。下面通过对比实验来说明。

图 1-2(a)所示为一根素混凝土简支梁,在跨中集中荷载 P 作用下,梁跨中截面底部受拉边缘产生的拉应力一旦达到混凝土的抗拉强度 f_t ,梁便很快因开裂而产生脆性断裂破坏,无明显预兆。因此梁的开裂荷载 P_{cr} 即为其破坏荷载 P_u ,即 $P_u \approx P_{cr} = 9.7\text{kN}$,承载力很低,破坏时跨中截面顶部受压边缘的压应力与抗拉强度相近,远未达到混凝土的抗压强度 f_c ,梁的承载力取决于混凝土的抗拉强度,混凝土抗压强度高的特点没有得到充分发挥。因此,素混凝土梁不能在工程中的应用。

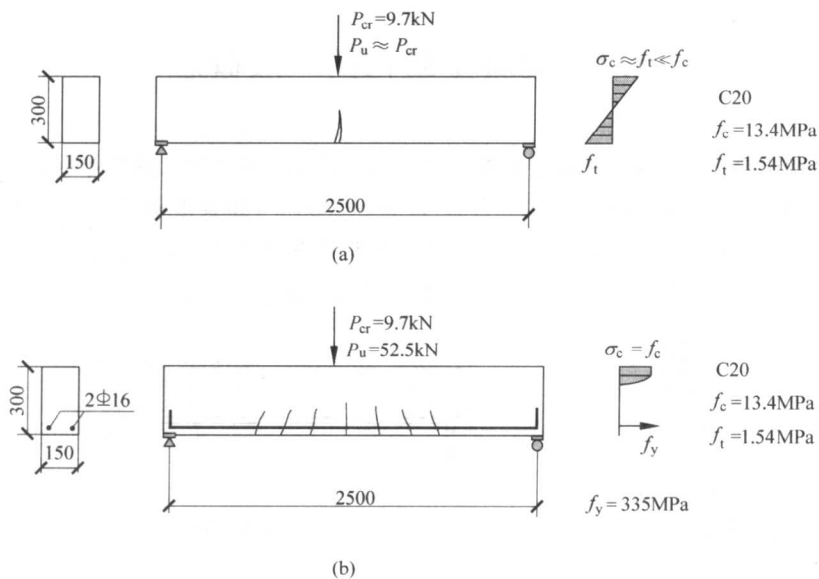


图 1-2 混凝土简支梁的破坏
(a) 素混凝土简支梁; (b) 钢筋混凝土简支梁

图 1-2(b)为另一根截面尺寸、跨度、混凝土材料与图 1-2(a)完全相同的钢筋混凝土简支梁,在梁的受拉区配置了适量的钢筋。虽然当荷载达到约 $P_{cr} = 9.7\text{kN}$ 时,梁的受拉区还会开裂,但开裂后,拉力可转由钢筋承担,荷载可以继续增加,直至钢筋达到受拉屈服强度,此时荷载为 $P_y = 50\text{kN}$ 。由于钢筋屈服后有较长的屈服台阶,梁在屈服荷载后还可以在保持荷载略有增加的情况下,继续一段较长的变形过程,最后因受压区混凝土受压破坏而达到极限荷载 $P_u = 52.5\text{kN}$,破坏时受压区混凝土达到受压强度。由此可见,配置钢筋后,钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁大大提高,钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度均得到充分利用,且破坏过程有明显预兆。但钢筋混凝土梁从开裂荷载 $P_{cr} = 9.7\text{kN}$ 到屈服荷载 $P_y = 50\text{kN}$,在很大的荷载增长过程中是带裂缝工作的,通常情况裂缝宽度很小,不至于影响正常使用。但裂缝问题以及开裂后导致梁刚度的显著降低等不利影响,使得钢筋混凝土梁不能应用于大跨度结构。解决这一问题可采用预加应力的方法,这将在第 12 章中介绍。

钢筋混凝土的英文为 reinforced concrete,直译为“被加强的混凝土”。实际工程中,除在构件的受拉区配置钢筋外,还有许多其他配筋方式(见图 1-3),如可以在构件的受压区配置钢筋协助混凝土承受压力;而在复杂应力区域(如梁在受剪区段、受扭区段、节点区、剪力墙等),可以配置箍筋或纵横交错的钢筋;当构件受力很大时,可以直接配置钢骨(型钢或由钢板焊接拼制而成);此外,还可以利用箍筋约束混凝土来提高混凝土的抗压强度,甚至直接采用钢管形成钢管混凝土;采用各种短纤维(钢纤维、聚丙烯纤维等)与混凝土一起搅拌形成的纤维混凝土,可增强混凝土的抗拉强度提高混凝土的抗冲击韧性。因

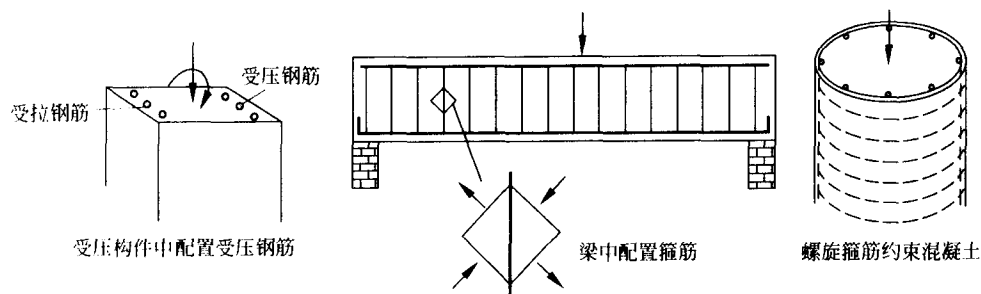


图 1-3 常见配筋方式

此,两种(或两种以上)材料的有机组合,可以充分发挥不同材料的各自长处,创造出多种形式的结构,以适应各种工程结构的要求,取得很好的综合经济效益。实际工程中,以钢筋混凝土和预应力结构应用最为多,本书上册主要介绍钢筋混凝土和预应力混凝土基本构件,及其受力性能、计算理论和设计方法,为今后学习混凝土结构设计和其他形式的混凝土结构打下基础。

钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能很不相同,它们之所以能够结合在一起共同工作,并能有效地承担外荷载,是因为:①钢筋和混凝土之间有良好的粘结力,在荷载作用下,可以保证两种材料协调变形,共同受力;②钢材与混凝土具有基本相同的温度线膨胀系数(钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$),因此当温度变化时,两种材料不会因产生过大的变形差而导致两者间的粘结力被破坏;③钢筋的弹性模量约为混凝土的 6~10 倍,在相同变形下,钢筋能承担更大的应力,有利于钢筋材料强度的发挥。

1.2 混凝土结构的优缺点

混凝土结构在土建工程中的应用十分广泛,主要是因为有以下优点:

(1) 材料利用合理。钢筋和混凝土的材料强度可以得到充分发挥,结构的承载力与其刚度比例合适,基本无局部稳定问题,单位应力造价低,对于一般工程结构,经济指标优于钢结构。

(2) 可模性好。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,适用于各种形状复杂的结构,如空间薄壳、箱形结构等。近年来采用高性能混凝土可浇筑的清水混凝土,具有特殊的建筑效果。

(3) 耐久性和耐火性较好,维护费用低。钢筋与混凝土具有良好的化学相容性,混凝土属碱性性质,会在钢筋表面形成一层氧化膜,钢筋有混凝土的保护层,一般环境下不会产生锈蚀,而且混凝土的强度随时间的推移而增加;混凝土是不良导热体,使钢筋不致因发生火灾时升温过快而丧失强度,一般 30mm 厚混凝土保护层,可耐火约 2.5 小时;同时,在常温至 300℃ 范围,混凝土的抗压强度基本不降低。

(4) 现浇混凝土结构的整体性好,且通过合适的配筋,可获得较大的延性,适用于抗震、抗爆结构;同时防振性能和防辐射性能较好,适用于防护结构。

(5) 刚度大、阻尼大,有利于结构的变形控制。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的大量砂、石,易于就地取材。近年来,利用工业废料来制造人工骨料,或利用粉煤灰作为水泥的外加成分来改善混凝土性能,既可废物利用,又可保护环境。

但是,混凝土结构也有一些缺点,主要有:

(1) 自重。不适用于建造大跨、高层结构,因此需发展和研究轻质混凝土、高强混凝土和预应力混凝土