

2005年度国家精品课程

清华大学土木工程系列教材

Concrete Structures

混凝土结构 (第2版 下册)

叶列平 赵作周 编著
Ye Lieping Zhao Zuozhou



清华大学出版社

2005年度国家精品课程

清华大学土木工程系列教材

Concrete Structures

混凝土结构 (第2版 下册)

叶列平 赵作周 编著

Ye Lieping Zhao Zuozhou



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者根据清华大学土木工程系专业技术基础课《混凝土结构》的教学大纲编写,全书内容以混凝土结构设计方法和钢-混凝土组合结构为主,主要包括:工程结构设计概论;荷载与作用计算;梁板结构;框架结构;钢-混凝土组合梁板结构;钢筋混凝土结构和钢管混凝土柱。

本书注重基本概念,讲解深入,并介绍了许多本学科的最新进展。每章还列举了适量的例题,同时提供了一定数量的思考题和习题,帮助读者掌握有关概念和设计计算方法。此外,本书配备有教学光盘,便于高校师生学习参考。

本书可作为高等院校土木工程专业的教学参考书,也可作为广大从事土建工程的设计和施工技术人员学习混凝土结构的参考资料。

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. 下册/叶列平,赵作周编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2006.2
(清华大学土木工程系列教材)

ISBN 7-302-12057-9

I. 混… II. ①叶… ②赵… 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 126855 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 汪亚丁

印 刷 者: 北京市人民文学印刷厂

装 订 者: 三河市金元印装有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 203×253 印张: 18.75 字数: 508 千字

版 次: 2006 年 2 月第 2 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-12057-9/TU·274

印 数: 1~3000

定 价: 35.00 元(含光盘)

前言

本书为《混凝土结构(下册)》,以混凝土结构设计方法和钢-混凝土组合结构为主,主要介绍了如下内容:工程结构设计概念、结构类型和体系;各种荷载计算、地震作用计算和其他作用,以及结构抵御意外事件的鲁棒性设计概念;连续梁和双向板考虑塑性内力重分布的概念及设计计算方法,双向板的条带法,以及井式楼盖和无梁楼盖的设计方法;框架结构体系、分析方法、内力组合和设计方法,并随内容安排,附有一框架结构设计计算的例题。为适应现代混凝土结构的发展,书中还介绍了钢-混凝土组合梁板结构、钢管混凝土结构和钢管混凝土柱的设计计算理论和方法。

本书的有关设计计算方法主要依据《混凝土结构设计规范(GB 50010—2002)》、《建筑结构荷载规范(GB 50009—2001)》、《建筑抗震设计规范 GB 20011—2001》、《钢结构设计规范 GB 50017—2003》、《钢管混凝土结构设计规程 YB 9082—2005》编写。

本书在编写过程中,注重工程概念和理论分析方法的讲解,力求语言通俗易懂,内容深入浅出、图文并茂。同时,本书的有关内容还反映了本学科的最新进展,如结构的鲁棒性和钢-混凝土组合结构等;在梁板结构中,还增加了双向板的条带法。本书每章均有例题,每章末有一定数量的思考题和习题。本书同时配有电子教案和工程图片资料,可供教师教学和学生课后学习参考。

本书第 15、17、19、20、21 章和第 16 章部分由叶列平编写,第 18 章和第 16 章部分章节由赵作周编写,全书最后由叶列平定稿。樊建生博士参与了第 18 章框架结构例题的编写工作,博士生黄盛楠和汪训流等对本书中的一些例题进行了计算,博士生马千里为本书的主要符号表和电子教案编辑也做了很多工作,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,请读者批评指正,以便及时改进。

叶列平

2005 年 3 月于清华园

主要符号表

A

- A ——截面面积
 A' ——钢梁受压区截面面积
 A_n ——单根锚栓的净截面面积或钢管的截面面积
 A_c ——柱截面面积; (核心区)混凝土或混凝土翼板截面面积
 A_p ——压型钢板一个波距内的截面面积
 A_{pc} ——塑性中和轴以上一个波距内压型钢板的截面面积
 A_s ——受拉区纵向钢筋截面面积; 栓钉杆的截面面积
 A'_s ——受压区纵向钢筋截面面积
 A_s^t, A_s^b ——梁端上部和下部钢筋截面面积
 A_{sb} ——附加吊筋截面面积
 A_{sbu} ——与 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积
 A_{st} ——钢骨受拉翼缘的面积
 A_{ss} ——钢骨截面面积
 $A_{s, tr}$ ——沿组合梁单位长度上横向钢筋的面积
 A_{sv} ——同一截面内各肢箍筋的全部截面面积
 A_{svj} ——核心区有效验算宽度范围内同一截面验算方向箍筋各肢的全部截面面积
 A_{svu} ——与 45° 冲切破坏锥体斜截面相交的全部箍筋的截面面积
 A_{sv1} ——单肢箍筋的截面面积
 A_{sx} ——沿短向单位板宽内的纵向配筋截面面积
 A_{sy} ——沿长向单位板宽内的纵向配筋截面面积
 a ——受拉区全部纵向钢筋合力点至截面受拉边缘的距离; 剪跨长度
 a' ——受压区全部纵向钢筋合力点至截面受压边缘的距离

B

- B ——建筑物的宽度; 组合梁的折减刚度; 钢骨混凝土截面抗弯刚度
 B_{rc} ——钢筋混凝土截面抗弯刚度

- B_s ——短期抗弯刚度
 B_{ss} ——钢骨截面抗弯刚度
 b ——板、梁、柱截面宽度; 压型钢板的波距
 b' ——抗剪切滑移的有效宽度
 b_0 ——钢梁上翼缘或板托顶部宽度
 b_1, b_2 ——密肋梁截面上、下肋宽; 梁外侧和内侧翼缘板的有效计算宽度
 b_b ——柱钢骨埋入部分的宽度
 b_b ——梁截面宽度
 b_c ——柱截面宽度
 b_e ——翼缘板有效计算宽度
 b_j ——框架节点核心区截面的宽度
 b_w ——压型钢板平均肋宽

C

- C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值
 c ——钢筋的保护层厚度; 圆形柱帽直径或矩形柱帽边长

D

- D ——抗侧移刚度; 钢管混凝土柱外直径
 D_{ij} ——第 i 层第 j 根柱的侧移刚度
 d ——钢筋直径或栓钉杆身直径; 组合梁钢梁截面形心至混凝土翼板上边缘距离
 d_{eq} ——受拉钢筋和钢骨受拉翼缘的折算直径
 d_r ——钢筋混凝土部分压力合力点至拉力合力点的距离

E

- E ——弹性模量
 E_c ——混凝土弹性模量
 E_s ——钢筋弹性模量
 E_{ss} ——钢骨弹性模量
 EI ——截面抗弯刚度
 $E_c A_c, E_c I_c$ ——钢筋混凝土部分的轴向和抗弯刚度
 $E_s I_0$ ——短期荷载下组合梁换算截面抗弯刚度
 $E_s I_{10}$ ——长期荷载下组合梁换算截面抗弯刚度

$E_s I_s$ ——钢筋截面抗弯刚度
 $E_{ss} A_{ss}、E_{ss} I_{ss}$ ——钢筋部分的轴向和抗弯刚度
 e_0 ——计算偏心距
 e_n ——附加偏心距
 e_i ——初始偏心距

F

F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值
 F_{Evk} ——结构总竖向地震作用标准值
 F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值
 F_{ji} —— j 振型 i 质点的水平地震作用标准值
 F_t ——冲切荷载设计值
 F_{tu} ——楼板受冲切承载力设计值
 F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值
 f ——挠度; 钢材的抗拉强度设计值
 $[f]$ ——挠度变形限值
 f_1 ——施工阶段钢梁的挠度
 f_2 ——使用阶段组合梁承担的长期荷载产生的挠度
 f_3 ——使用阶段组合梁承担的短期荷载产生的挠度
 f_{av} ——锚栓钢材的抗剪强度设计值
 f_{ay} ——锚栓或钢管钢材的强度设计值
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值
 f_v ——塑性设计时钢梁钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值
 f_{sv} ——钢骨的抗剪强度设计值
 f_{sy} ——钢材的抗拉(压)强度设计值
 f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值
 f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值
 f_u ——栓钉杆身的极限抗拉强度
 f_{vp} ——钢材抗剪强度塑性设计值
 f_y ——钢筋抗拉强度设计值
 f'_y ——钢筋抗压强度设计值
 f_{yk} ——钢筋抗拉强度标准值
 f_{yv} ——箍筋的抗拉强度设计值

G

G_{eq} ——结构等效总重力荷载
 G_k ——永久荷载标准值
 G_i ——集中于质点 i 的重力荷载代表值; 第 i 层的重力荷载代表值
 $G_c A_c$ ——钢筋混凝土部分的抗剪刚度
 $G_{ss} A_{ss}$ ——钢筋部分抗剪刚度

g ——重力加速度; 均布恒荷载设计值
 g' ——折算恒荷载

H

H ——房屋总高度
 H_c ——节点上柱和下柱反弯之间的距离
 H_i ——质点 i 的计算高度
 H_n ——柱的净高
 h ——板厚; 梁或组合梁截面高度; 计算楼层层高
 h_0 ——截面有效高度
 h_{0x} ——板短跨方向截面有效高度
 h_{0y} ——板长跨方向截面有效高度
 h_b ——梁截面高度
 h_{b0} ——梁截面有效高度
 $h_{B,max}$ ——钢筋最大埋深
 h_c ——柱截面高度; 混凝土翼缘板的计算厚度; 压型钢板顶面以上的混凝土厚度
 h_f ——翼缘板厚
 h_i ——第 i 层的层高
 h_j ——框架节点核心区截面验算高度
 h_s ——栓钉焊接后的高度
 h_w ——腹板高度; 压型钢板平均肋高

I

I ——截面惯性矩; 组合梁正弯矩区截面惯性矩
 I' ——组合梁负弯矩区截面惯性矩; 纵向钢筋与钢梁组合截面惯性矩
 I_b ——梁截面惯性矩
 I_c ——开裂截面惯性矩
 I_{cl} ——混凝土翼板截面惯性矩
 $I_0、I_{eq}$ ——换算截面惯性矩
 I_r ——框架梁按矩形截面计算得到的截面惯性矩
 I_s ——钢梁截面惯性矩
 I_{ss} ——钢筋截面惯性矩
 I_u ——未开裂截面惯性矩
 i_b ——梁的线刚度
 $i'_b、i''_b$ ——节点左、右两根梁的线刚度
 i_c ——柱的线刚度
 i_{cj} ——第 i 层第 j 根柱子的线刚度

K

k ——梁柱的线刚度比; 连接件抗剪刚度

k_1 ——SRC 柱的稳定系数

L

L ——井式梁跨度或柱的实际长度

L_0 ——柱子计算长度

L_e ——柱子等效计算长度

L_p ——塑性铰转动区域的长度

L_y ——跨中附近超过屈服弯矩区域的长度

l ——梁、板或组合梁的跨度

l' ——负弯矩区的长度

l_0 ——计算跨度或净跨

l_{01} ——板的短跨计算跨度

l_{02} ——板的长跨计算跨度

l_a ——非抗震设计时纵向受拉钢筋的锚固长度

l_{aE} ——抗震设计时纵向受拉钢筋的锚固长度

l_{cr} ——柱的临界长度

l_n ——净跨

l_x ——板短跨方向跨度

l_y ——板长跨方向跨度

M

M ——弯矩设计值

M^{ss} ——钢筋部分所承受的弯矩

M_0 ——按简支梁计算的跨中弯矩

M_b ——支座边缘截面的弯矩设计值；梁端控制截面弯矩设计值

M_b^l, M_b^r ——节点或梁端左、右两根梁的梁端弯矩

M_{b0} ——内力分析得到的柱轴线处梁端弯矩

M_{bu} ——梁的抗弯承载力

M_{bu}^c, M_{bu}^s ——钢筋混凝土部分和钢筋部分的受弯承载力

M_{bua}^l, M_{bua}^r ——节点或梁左、右端截面逆时针或顺时针方向实配的正截面抗震受弯承载力

M_c ——柱端控制截面弯矩；混凝土截面的开裂弯矩

M_{cr} ——开裂弯矩

M_{cu} ——柱子抗弯承载力

M_c^a, M_c^d ——节点上、下两根柱的柱端弯矩

M_c^l, M_c^r ——框架柱上、下端弯矩设计值

M_{cu}^l, M_{cu}^r ——框架柱上、下端按实配钢筋截面面积和材料强度标准值，且考虑承载力抗震调整系数计算的正截面抗震受弯承载力

M_{ij}^b, M_{ij}^t ——第 i 层第 j 根柱子的底端、顶端弯矩

M_k ——正常使用阶段截面弯矩

M_k^c, M_k^s ——正常使用阶段钢筋截面和钢筋混凝土截面所分担的弯矩

M_p ——钢梁截面塑性受弯承载力

M_{pu} ——部分组合梁截面抗弯承载力

M_q ——按荷载效应准永久组合计算的弯矩

M_{sk}' ——使用荷载下支座截面负弯矩

M_{su} ——钢梁截面抗弯承载力

M_u ——完全组合梁截面塑性抗弯承载力或钢筋混凝土柱受弯承载力

M_u' ——支座截面塑性受弯承载力

M_u^c ——钢筋混凝土部分的受弯承载力

M_x ——板短跨方向跨中总极限弯矩

M_x', M_x'' ——板短跨方向支座处总极限弯矩

$M_{x, \max}$ ——板短跨方向跨中最大弯矩

M_y ——板长跨方向跨中总极限弯矩

M_y', M_y'' ——板长跨方向支座处总极限弯矩

M_y^{ss} ——钢筋部分的受弯承载力

M_{y0}^{ss} ——钢筋截面的受纯弯承载力

$M_{y, \max}$ ——板长跨方向跨中最大弯矩

m ——质量矩阵

m ——体系质点质量；附加箍筋个数；单位板宽弯矩

m_x ——板短跨方向跨中单位板宽弯矩

m_x', m_x'' ——板短跨方向支座处单位板宽弯矩

m_{x0} ——板短跨方向支座处单位板宽弯矩

m_{x1} ——板短跨方向跨中单位板宽最大弯矩

m_y ——板长跨方向跨中单位板宽弯矩

m_y', m_y'' ——板长跨方向支座处单位板宽弯矩

m_{y0} ——板长跨方向支座处单位板宽弯矩

m_{y1} ——板长跨方向跨中单位板宽最大弯矩

N

N ——房屋地面以上部分的层数；轴压力设计值

N^c ——钢筋混凝土截面所受轴力

N^{ss} ——钢筋截面所受轴力

N_0 ——柱轴心受压承载力；轴压短柱的极限承载能力

N_0^{ss} ——钢筋截面的轴心受压承载力

N_b ——钢筋柱脚底板截面的轴压力设计值

N_b ——界限破坏时的轴压力

N_G ——长期轴压力

N_0 ——柱轴压承载力

N_u^c ——钢筋混凝土部分承担的轴压力

N_c^* ——栓钉抗剪承载力设计值
 N_y^* ——钢骨部分轴压承载力
 n ——板长跨与短跨长度比;轴压比;完全组合梁所需的最少连接件数量
 n_p ——部分组合梁的连接件数量
 n_r ——一排连接件的个数
 n_s ——抗剪连接件在一根梁上的列数

P

P ——集中荷载
 P_u ——极限荷载或极限承载力

Q

Q_c ——可变荷载的组合值
 Q_f ——可变荷载的频遇值
 Q_k ——可变荷载标准值
 Q_q ——可变荷载的准永久值
 q ——均布活荷载设计值
 q' ——折算活荷载

R

R ——结构构件抗力设计值
 r ——剪力连接程度;柱截面回转半径
 r_c ——核心混凝土的半径

S

S_j —— j 振型水平地震作用标准值的效应
 S ——荷载效应组合设计值
 S_0 ——相邻梁板托的净距
 S_1 ——翼缘板实际外伸宽度
 S_a ——地震引起体系质点的最大绝对加速度
 S_{Ek} ——水平地震作用标准值的效应
 S_{GE} ——重力荷载代表值的效应
 S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应
 S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应
 S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值
 S_{Qk} ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值
 S_{wk} ——风荷载标准值的效应
 s ——沿构件长度方向的箍筋间距;连接件的纵向间距
 s_0 ——基本雪压
 s_k ——雪荷载标准值

T

T, T_1 ——结构自振周期、基本自振周期
 T_g ——结构物所在场地的特征周期
 t ——翼缘厚度或钢管壁厚
 t_t ——上翼缘厚度
 t_w ——腹板厚度

U

U ——内功
 u ——受剪面周长
 u_i ——第 i 层假想水平位移
 u_m ——冲切破坏锥体临界截面周长
 u_{st} ——钢骨受拉翼缘周长
 u_T ——计算结构基本自振周期用的顶点假想位移

V

V ——剪力设计值;钢梁与混凝土叠合界面上的纵向剪力
 V^{ss} ——钢骨部分所受剪力
 V_0 ——按简支梁计算的支座中心处的剪力设计值;框架底部总剪力
 V_B ——钢骨柱脚底板截面剪力设计值
 V_b ——梁端控制截面剪力设计值
 V_{b0} ——内力分析得到的柱轴线处梁端剪力设计值
 V_c ——柱子剪力设计值
 V_{Gb} ——梁在重力荷载代表值作用下,按简支梁计算的梁端截面剪力设计值
 V_{Hi} ——第 i 层以上结构所承担的所有水平力
 V_i ——第 i 层的层间剪力
 V_{ij} ——第 i 层第 j 根柱子所承受的水平剪力
 V_j ——节点剪力设计值
 V_l ——混凝土翼缘板纵向受剪承载力
 V_{sv} ——钢梁截面受剪承载力
 V_{sc}^c ——钢筋混凝土部分的受剪承载力
 V_y^{ss} ——钢骨部分的受剪承载力
 v ——位移向量
 $\ddot{v}$ ——加速度向量
 $\hat{v}$ ——振动体系的形状

W

W ——外功

W_{ss} ——— 钢筋截面弹性抵抗矩

w_0 ——— 基本风压

w_k ——— 风荷载标准值

w_{max} ——— 最大裂缝宽度

X

X_j ——— j 振型 i 质点的水平相对位移

x ——— 混凝土受压区高度; 塑性中和轴至混凝土翼板顶面距离

$|\ddot{x}_g|_{max}$ ——— 地震动峰值加速度

Y

y ——— 反弯点高度

y_1 ——— 上、下梁线刚度变化时对反弯点高度比的修正值; 钢梁受拉区截面应力合力点至混凝土翼板截面应力合力点间的距离; 压型钢板受拉区截面应力合力点至受压区混凝土翼板截面压应力合力距离

y_2 ——— 上、下层层高变化时对反弯点高度比的修正值; 钢梁受拉区截面应力合力点至钢梁受压区截面应力合力点间的距离; 压型钢板受拉区截面应力合力点至压型钢板截面压应力合力的距离

y_3 ——— 上、下层层高变化时对反弯点高度比的修正值

y_c ——— 中和轴高度

y_n ——— 标准反弯点高度比

y_s ——— 纵向钢筋与钢梁组合截面形心到纵向钢筋的距离

y_{s0} ——— 截面塑性中和轴到钢梁截面形心的距离

α

α ——— 地面粗糙度指数; 地震影响系数; 考虑塑性内力重分布的弯矩系数; 吊筋与梁轴线夹角; 板长跨跨中单位板宽极限弯矩之比; 弯起钢筋与板底面的夹角; 柱刚度修正系数; 偏心距影响系数

α_1 ——— 相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数值; 混凝土等效矩形图形系数

α_E ——— 钢与混凝土的弹性模量比

α_j ——— 相应于 j 振型自振周期的地震影响系数

α_{max} ——— 阻尼比 $\zeta=0.05$ 时水平地震影响系数最大值

α_n ——— 建筑物外围第 n 个表面的法线与风作用方向的夹角

α_{vmax} ——— 竖向地震影响系数最大值

β

β ——— 考虑塑性内力重分布的剪力系数; 板长跨(或短跨)支座处与跨中单位板宽极限弯矩之比

β_1 ——— 矩形应力图受压区高度系数

β_c ——— 混凝土强度影响系数

β_{gz} ——— 高度 z 处的阵风系数

β_h ——— 楼板厚度影响系数

β_s ——— 冲切荷载作用面积为矩形时的长边与短边尺寸的比值

β_z ——— 高度 z 处的风振系数

γ

γ ——— 反应谱曲线下降段衰减指数; 混凝土翼板内纵向钢筋与钢梁的强度比

γ_0 ——— 结构重要性系数

γ_{Eh} ——— 水平地震作用分项系数

γ_{Ev} ——— 竖向地震作用分项系数

γ_G ——— 永久荷载的分项系数

γ_j ——— j 振型的参与系数

γ_{Qi} ——— 第 i 个可变荷载的分项系数

γ_{RE} ——— 承载力抗震调整系数

γ_s ——— 内力臂系数; 钢筋截面的塑性发展系数

γ_w ——— 风荷载分项系数

δ

δ_i ——— 第 i 层层间相对位移

δ_i^M ——— 总体弯曲变形引起的第 i 层层间相对位移;

δ_j ——— 节点形式系数

δ_n ——— 顶部附加地震作用系数

Δ

Δ ——— 组合梁跨中挠度

$[\Delta]$ ——— 变形限值

Δ_f ——— 完全组合梁挠度

Δ_n ——— 框架顶层侧移

Δ_s ——— 钢梁单独工作挠度

Δ_u ——— 极限变形

Δ_y ——— 屈服变形

ΔF_0 ——顶部附加水平地震作用

Δu_c ——风荷载或地震荷载作用下楼层间的相对位移

ε

ε_0 ——混凝土的峰值应变

ε_{sy} ——钢筋屈服应变

ζ

ζ ——阻尼比;刚度折减系数;相同初始偏心距中长柱跨中截面曲率与短柱截面曲率之比

η

η ——偏心距增大系数;栓钉抗剪承载力折减系数

η_1 ——反应谱曲线倾斜段下降斜率调整指数;冲切荷载作用面积形状影响系数

η_2 ——地震影响系数最大值 α_{max} 的调整系数;临界截面周长与板截面有效高度之比的影响系数

θ

θ ——相位角;转角(虚转角);套箍系数

$[\theta]$ ——套箍指标界限值

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值

θ_0 ——塑性铰的极限转动能力

κ

κ ——反映不同地面粗糙度的系数

λ

λ ——剪跨比;相对长细比

λ_v ——配箍特征值

μ

μ ——延性系数

μ_r ——屋面积雪分布系数

μ_s ——风载体型系数

μ_m ——建筑物外围第 n 个表面的风载体型系数

μ_z ——风压高度变化系数

ν

ν ——脉动影响系数

ν_s ——受拉钢筋粘结特征系数

ξ

ξ ——脉动增大系数;相对受压区高度

ξ_b ——界限相对受压区高度

ρ

ρ ——空气密度;含钢率

ρ_{min} ——最小配筋率

ρ_s ——受拉钢筋配筋率

ρ_{sv} ——配箍率

ρ_{te} ——有效配筋率

ρ_v ——箍筋体积配筋率

σ

σ_a ——锚栓的拉应力

σ_{sk} ——混凝土翼板纵向钢筋应力;荷载效应标准组合下受拉钢筋的应力

τ

τ_a ——锚栓在有拉应力时的容许剪应力

ϕ

ϕ ——截面曲率

ϕ_c ——考虑偏心影响的承载力折减系数

ϕ_l ——中长柱跨中截面曲率;考虑长细比影响的承载力折减系数(稳定系数)

ϕ_{rc} ——钢筋混凝土截面平均曲率

ϕ_s ——偏压短柱达到极限承载力时的截面曲率

ϕ_u ——截面极限曲率

ϕ_y ——截面屈服曲率

φ

φ_s ——结构振型系数

ψ

ψ ——受拉钢筋应变不均匀系数

ψ_c ——可变荷载组合值系数

ψ_f ——可变荷载频遇值系数

ψ_0 ——可变荷载准永久值系数

ψ_T ——考虑非承重墙刚度对结构自振周期影响的折减系数

ψ_w ——风荷载组合值系数

目 录

第 15 章 工程结构设计概论	1
15.1 概述	1
15.2 结构设计的内容和要求	2
15.3 结构类型和结构体系	4
15.4 结构分析	7
思考题	10
第 16 章 荷载与作用	11
16.1 定义与分类	11
16.2 荷载代表值	12
16.3 竖向荷载	13
16.4 风荷载	17
16.5 地震作用	27
16.6 荷载作用效应组合	37
16.7 其他作用	40
思考题	49
第 17 章 梁板结构	50
17.1 梁板结构形式	50
17.2 肋梁楼盖的荷载传递与计算简图	52
17.3 钢筋混凝土连续梁板	59
17.4 双向板	75
17.5 井式楼盖和密肋楼盖	92
17.6 无梁楼盖	93
思考题	106
习题	108
第 18 章 框架结构	109
18.1 框架结构体系	109
18.2 框架结构布置	110

18.3 框架梁和柱的设计参数	116
18.4 框架结构分析方法	118
18.5 框架结构设计要求	143
18.6 荷载效应组合	146
18.7 延性框架及框架构件设计	152
思考题	173
第 19 章 钢-混凝土组合梁板结构	175
19.1 钢-混凝土组合梁的基本概念	175
19.2 钢-混凝土组合梁的一般规定	176
19.3 钢-混凝土组合梁	179
19.4 剪力连接件	190
19.5 连续组合梁	194
19.6 压型钢板-混凝土组合板	198
思考题	203
习题	203
第 20 章 钢筋混凝土结构	204
20.1 概述	204
20.2 钢筋与混凝土的共同工作	206
20.3 钢筋混凝土结构的一般规定	208
20.4 钢筋混凝土梁	211
20.5 钢筋混凝土柱	219
20.6 梁柱节点	231
思考题	234
习题	234
第 21 章 钢管混凝土柱	235
21.1 概述	235
21.2 钢管混凝土短柱的基本性能	236
21.3 钢管混凝土柱的承载力计算	240
21.4 钢管混凝土柱与梁的连接节点	248
21.5 钢管混凝土柱脚	251
思考题	251
习题	251

附录 C 部分常用材料和构件的自重表 252

附录 D 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久系数 257

附录 E 连续梁弹性内力计算表 259

附录 F 双向板弹性内力计算表 262

附录 G 井式梁内力计算表 271

索引 281

参考文献 283

15.1 概 述

工程建设是人类为满足自身需求有目的地改造、适应并顺应自然和环境的活动。每一个工程建设项目,都应努力做到“以人为本、天人合一”。所谓“以人为本”是指工程建设总是为人所用,应充分注重和满足人们在使用和生产时的各种需求,如方便残疾人的无障碍通行等;所谓“天人合一”是指任何一个工程都是自然界的一个组成部分,其合理与否将对自然环境造成影响,应尽量使工程建设融入自然环境之中,减少乃至不对环境造成危害。工程设计是体现人对自然界的认识,并合理运用自然规律,对整个工程建设和使用全过程进行合理规划的最重要的工作。

工程建设往往涉及多个领域,如对建筑工程来说,就涉及建筑、交通、防火、材料、结构、水暖电供应和施工建造等。对于工业建筑,还涉及生产工艺流程、生产设备和运输等。因此,工程设计是一项综合性极强的工作,需要各方面设计人员的密切配合。同时,工程建设具有很强的个性,可以说世界上没有两个工程是完全一样的。因此,任何一个工程建设项目都应进行细致认真的设计过程,其中工程结构承载着工程整个生命周期内各种荷载和环境作用的影响,是整个工程之本,对保证整个工程项目的安全正常使用具有决定性的作用。

工程设计是一个在多种约束条件下寻找合理“解”的过程。所谓约束条件,是指工程用途、规模、投资、业主要求、材料供应、安全、环境、地理、施工技术水平,以及维护、维修和未来因各种灾害可能造成的损失及其对环境的影响等,这些条件应尽量满足,尤其是近年来提出工程建设应满足可持续节约型发展的要求。工程建设涉及的领域和专业很多,通常很难在多种约束条件下使得各方面都完全满意。因此,工程设计的结果往往在保证主要功能得到最大满足的前提下,其他要求尽可能达到基本满意。以建筑工程为例,其设计概念如图 15-1 所示。

根据不同工程建设项目,工程结构包括建筑结构、桥梁结构、地下结构、水工结构、特种结构等。结构是由梁、柱、墙、板、杆、壳等基本构件组成的一个承力系统。结构的功能主要是形成构筑物所需要的空间骨架,并能够长期安全可靠地承受工程使用期间可能遭受的各种荷载和变形作用、环境介质长期作用影响,包括可能遭遇的各种意外事件(如火灾、地震和爆炸等)的影响。

结构设计需要综合考虑经济与安全之间的均衡。这就要求在结构设计工作中,不仅要考虑结构本身,同时要考虑工程所处的环境条件、可选用的材料和施工方法,以及今后的结构维护和维修,甚至需要考虑可能遭遇各种灾害时所带来的直接和间接经济损失。

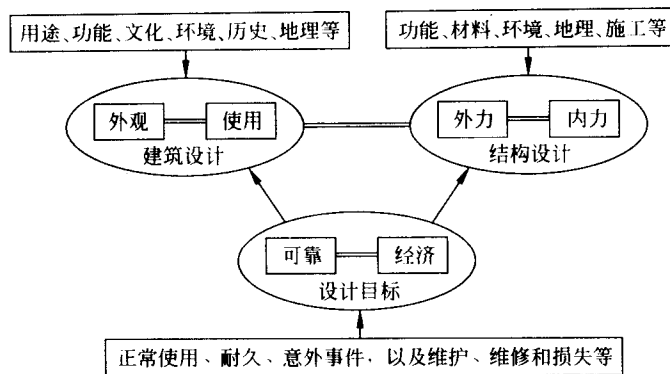


图 15-1 建筑工程的设计概念

许多历史遗留至今的著名工程结构物,无一不是在设计时综合考虑了当时的经济条件和各种影响,使其经历了数百年、甚至上千年而至今依然屹立。

对于建筑工程,结构工程师与建筑师应相互沟通、通力合作,以使得建筑师的创意能够得到最大程度的体现。同时作为建筑师,也应该对工程结构的基本概念和各种结构体系有一个基本了解,掌握结构的基本受力原理和传力途径,避免设计出结构难以实现或不合理的建筑方案。一项优秀的建筑工程是建筑师与结构工程师创造性共同合作完成的作品。

工程结构设计既是一项创造性工作,又是一项全面、具体、细致的综合性工作,结构工程师应认真负责做好各个环节的工作,不得有任何马虎,否则任何疏忽都将造成不可挽回的损失。

15.2 结构设计的内容和要求

15.2.1 工程设计的过程

工程建设包括勘察、设计和施工 3 个环节,同时也应考虑到工程完成后在正常使用阶段的维护和维修,乃至各种灾害、甚至工程最后报废时可能带来的损失等各种问题。为保证整个工程项目建设进展的合理性,应严格遵守先勘察后设计,先设计后施工的程序。实践证明,违反这一程序,往往都会造成浪费或被动,有时甚至导致严重后果。

工程勘察是进行工程设计的前提,主要是采取各种方法,掌握工程建设场地及周边的地质、水文、气象等详细情况和有关数据,为工程设计提供可靠依据,如场地土壤的性质、成因、构造和承载力情况;是否是地震区及地震基本烈度,地震地面运动参数及建设场地的地震危险性;有无滑坡、溶洞等地质现象,以及它们对建设场地稳定性的影响;建设场地的地下工程和管网情况,周边建设工程情况及其是否对拟建工程会产生影响;地下水的深度与变化情况以及对建筑材料有无侵蚀性影响;最高和常年洪水位,地下冰冻线深度;常年气温变化、雨量、积雪深度、风向和风力等。

工程设计分为**方案设计**、**初步设计**和**施工图设计** 3 个阶段,一般工程可将方案设计与初步设计结合。在方案设计和初步设计阶段,应对工程的设计方案、重大技术问题以及与其他专业的配合进行综合技术经济分析,论证技术上的先进性和可行性,使整个工程设计方案经济合理。结构方案对工程结构的

造价和安全具有决定性影响,应给予足够的重视,应采用合理的结构体系,特别是要保证结构的整体性。在工程设计过程中,各个专业之间应相互配合,通力合作。结构设计的指导思想是在满足建设功能要求的前提下做到安全可靠、经济合理,并兼顾工程施工方便,同时便于结构维护和维修,保证工程结构的使用寿命和耐久性。

工程施工是根据设计技术要求和设计施工图,采取各种技术手段和方法将设计成果付诸实施,是整个工程最终实现的环节。应尽可能采取可靠先进的施工技术,并在各施工阶段进行必要的质量验收,确保工程质量达到设计要求。施工过程中,应及时与设计人员保持联系,如图纸会审、技术交底、工程验收,必要时可根据施工过程中遇到的情况,对工程设计提出修改建议,供设计人员修改原设计。

15.2.2 结构设计的内容

结构设计分为概念设计、初步设计和施工图设计,基本内容有:结构方案、结构布置、结构分析与计算、荷载组合、构件及其连接构造的设计、绘制施工图。具体来说主要工作如下:

(1) **概念设计**是根据构筑物所处的环境条件、使用要求和空间需求(有时空间需求也可能纯粹是一种建筑艺术表现),确定合适的结构方案和结构布置,并选择合适的结构材料。对于一般工程,可根据本工程所处的环境与地质条件和材料供应及施工技术水平,参照以往既有同类结构设计经验进行结构方案设计。这一阶段的设计工作对后续结构设计有决定性的影响,对整体结构的安全性也具有重要影响,应给予充分的重视。

(2) **初步设计**是根据概念设计提出的几种结构方案和主要荷载情况,进行较为深入的分析,并对分析结果进行综合比较,比如可分别采用不同结构材料、不同结构体系、不同结构布置进行初步计算分析比较,并对有关问题进行专门分析和研究,在此基础上初步确定结构整体和各部分构件尺寸以及所采用的主要技术。

(3) 分析和确定在**工程生命周期内**(包括建造和使用阶段)结构上可能承受的各种荷载与变形作用的形式和量值(包括可能遭遇的意外事故影响),并根据工程所处环境估计环境介质对结构耐久性的影响。

(4) 确定**结构分析计算简图**,对各种荷载和变形作用进行结构分析计算,并考虑它们可能同时造成影响的情况(即荷载组合),获知结构整体受力性能以及各个部位的受力和变形大小。

(5) 根据所选用的结构材料,进行结构构件和构件连接的设计计算,如混凝土构件的配筋计算,并进行适用性验算,考虑耐久性。

(6) 最终设计结果以施工图形式提交,并将整个设计过程中的各项技术工作整理成设计计算书存档。

本书将结合几种主要的混凝土结构形式,详细介绍它们的受力特点、结构建模、分析方法和具体设计计算方法。需要重点说明的是,在结构设计中结构方案是带有全局性的问题,也是整个设计的灵魂,应认真对待。对于建筑工程,确定结构方案时应尽量满足建筑设计要求,并与建筑师沟通,使结构方案在整体受力上合理可行,努力实现建筑与结构的统一。结构方案合理与否直接关系到整个工程的合理性、经济性和可靠性(安全、适用和耐久)。结构方案的确定需要设计人员积累足够的知识与经验,同时要求设计人员有敏锐的直觉和灵感,这需要一个长期的过程,尤其是直觉和灵感,很难在本书中叙述,但本书的知识是确定结构方案的基础。从结构角度来说,理想的结构方案具有受力明确、传力路径简捷,

结构整体刚度大、整体性好,有足够的冗余度和鲁棒性,延性大,轻质、高强、耐久。

15.2.3 结构设计的要求

结构设计的总体要求是保证其具有足够的安全性、适用性和耐久性,并在意外事件发生时具有足够的鲁棒性。

工程建设在国民经济中占有十分重要的地位,尤其是重大工程项目。因此,国家对工程建设颁布各种政策、法规、规范和设计标准及规程,以规范工程建设的设计和施工的各个环节。一般情况下,工程结构的设计工作均应遵照这些规范、标准和规程进行。

为保证结构设计可靠,避免人为错误,结构设计还应进行校核和审核,以检查是否有违背有关设计规范的地方。

需要说明的是,结构工程是不断发展的学科,随着工程建设发展的需要,新材料、新技术和新方法不断出现。而已颁布的技术标准、规范和规程是对以往成熟技术的总结,不能成为限制新技术应用的障碍,否则将极大地阻碍工程结构理论和技术的发展。但对于新理论和新技术的初期应用阶段,应经过必要的试验研究和论证,确保其可靠性。经过一段时间的实践和完善,新理论和新技术的内容可纳入有关技术标准、规范和规程,或编制专门技术规程,以推广使用。

15.3 结构类型和结构体系

15.3.1 结构类型

结构类型可按不同分类方法进行如下分类:

按结构用途分有:建筑结构、桥梁结构、地下结构、水工结构、特种结构等。不同用途的结构,因其使用功能和荷载作用特性的不同,结构形式和结构体系有很大差别。

按结构材料分有:木结构、砌体结构、混凝土结构、钢结构、组合结构和混合结构。不同结构材料的受力特性有很大差异,因此结构形式和结构体系也取决于所采用的结构材料。

结构构件可以由单一材料构成,也可以由不同结构材料组合构成,此时称为**组合构件**,如钢筋混凝土构件、钢管混凝土构件、钢-混凝土组合梁(钢筋混凝土构件和预应力混凝土构件因使用十分广泛,不再作为组合构件)。**混合结构**是指结构中的不同结构构件采用两种或两种以上结构材料构成,这样可以根据结构不同部位的受力特征,发挥不同材料结构构件的特长,使结构材料的使用效率得到更充分的发挥,结构的整体性能更为优越。混合结构类型很多,也是结构创新的重要内容,这里无法一一列举,读者可根据本书后面第19~21章的介绍自我掌握和领会。

按**结构形式**分有:拱结构、墙体结构、排架结构、刚架结构、框架结构、筒体结构、折板结构、网架结构、壳体结构、索结构、膜结构、充气结构等,见图15-2。

此外,一个结构通常将自然地面或 ± 0.0 以上部分称为上部结构, ± 0.0 以下部分称为下部结构。下部结构主要包括地下室和基础。基础可以分为柱下独立基础、墙下和柱下条形基础、筏形基础和桩基础等。