

普通高校土木工程专业系列精品规划教材
PUTONGGAOXIAOTUMUGONGCHENGZHUANYEXILIEJINGPINGUIHUAJIAOCAI



混凝土结构设计原理

HUNNINGTUJIEGOUSHEJIYUANLI
HUNNINGTUJIEGOUSHEJIYUANLI

◎ 祝明桥 黄海林 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

混凝土结构设计原理

主 编 祝明桥 黄海林
副主编 石卫华 汪建群
主 审 余志武



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/祝明桥,黄海林主编.

—长沙:中南大学出版社,2015.6

ISBN 978-7-5487-1553-5

I. 混... II. ①祝...②黄... III. 混凝土结构-结构设计
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 131755 号

混凝土结构设计原理

祝明桥 黄海林 主编

责任编辑 刘颖维

责任印制 易红卫

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

印 装 湖南地图制印有限责任公司

开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 466 千字

版 次 2015 年 10 月第 1 版 印次 2015 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-1553-5

定 价 45.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

普通高校土木工程专业系列精品规划教材

编审委员会

主 任 余志武

常务副主任 雷晓燕

副主任(按姓氏笔画排序)

王卫东 王有凯 龙志林 刘哲锋 祁 皓 杨 斌

吴国雄 陈振富 陈 淮 胡习兵 祝明桥 徐长节

崔 杰 彭立敏

委 员(按姓氏笔画排序)

刁心宏 于向东 马飞虎 王 英 王星华 王晓光

王 薇 方 焘 甘元初 石钰锋 白明洲 乔建东

刘小明 刘 坚 刘根强 刘 靖 宇德明 孙 晓

孙翠羽 杨伟军 杨仲轩 杨建军 杨春霞 李长春

李东平 肖 潇 张 健 张维锦 张鹏飞 张燕茹

陈友兰 陈长坤 陈汉利 陈锐林 罗小勇 周小林

周书葵 周凌宇 周智辉 周德泉 郑明新 赵小平

赵国宇 胡文韬 胡晓波 耿大新 徐林荣 郭文华

黄海林 蒋丽忠 傅 纯 戴公连

总 序

土木工程是促进我国国民经济发展的重要支柱产业。近30年来,我国公路、铁路、城市轨道交通等基础设施以及城市建筑进入了高速发展阶段,以高速、重载和超高层为特征的建设工程的安全性、经济性和耐久性等高标准要求向传统的土木工程设计、施工技术提出了严峻挑战。面对新挑战,国内外土木工程行业的设计、施工、养护技术人员和科研工作者在工程实践和科学研究工作中,不断提出创新理念,积极开展基础理论和技术创新,研发了大量的新技术、新材料和新设备,形成了成套设计、施工和养护的新规范和技术手册,并在工程实践中大范围应用。

土木工程行业日新月异的发展,对现代土木工程专业人才培养提出了迫切要求。教材建设和教学内容是人才培养的重要环节。为面向普通高校本科生全面、系统和深入阐述公路、铁路、城市轨道交通以及建筑结构等土木工程领域的基础理论和工程技术成果,由中南大学出版社、中南大学土木工程学院组织国内土木工程领域一批专家、学者组成“普通高校土木工程专业系列精品规划教材”编审委员会,共同编写这套系列教材。通过多次研讨,确定了这套土木工程专业系列教材的编写原则:

1. 系统性

本系列教材以《土木工程指导性专业规范》为指导,教材内容满足城乡建筑、公路、铁路以及城市轨道交通等领域的建筑工程、桥梁工程、道路工程、铁道工程、隧道与地下工程和土木工程管理等方向的需求。

2. 先进性

本系列教材与21世纪土木工程专业人才培养模式的研究成果密切结合,既突出土木工程专业理论知识的传承,又尽可能全面反映土木工程领域的新理论、新技术和新方法,注重各门内容的充实与更新。

3. 实用性

本系列教材针对90后学生的知识与素质特点,以应用性人才培养为目标,注重理论知识与案例分析相结合,传统教学方式与基于现代信息技术的教学手段相结合,重点培养学生的工程实践能力,提高学生的创新素质。这套教材不仅是面向普通高校土木工程专业本科生的课程教材,还可作为其他层次学历教育和短期培训的教材和广大土木工程

技术人员的专业参考书。

4. 严谨性

本系列教材的编写出版要求严格按国家相关规范和标准执行,认真把好编写人员遴选关、教材大纲评审关、教材内容主审关和教材编辑出版关,尽最大努力提高教材编写质量,力求出精品教材。

根据本套系列教材的编写原则,我们邀请了一批长期从事土木工程专业教学的一线教师负责本系列教材的编写工作。但是,由于我们的水平和经验所限,这套教材的编写肯定有不尽人意的地方,敬请读者朋友们不吝赐教。编委会将根据读者意见、土木工程发展趋势和教学手段的提升,对教材进行认真修订,以期保持这套教材的时代性和实用性。

最后,衷心感谢全套教材的参编同仁,由于他们的辛勤劳动,编撰工作才能顺利完成。真诚感谢中南大学学校领导、中南大学出版社领导和编辑们,由于他们的大力支持和辛勤工作,本套教材才能够如期与读者见面。



2014年7月

前 言

为了适应培养 21 世纪复合型、应用型创新人才的需要,按照新版《高等学校土木工程本科指导性专业规范》要求,综合了国内外《混凝土结构设计原理》教材优点,以“厚基础、宽口径、强能力”作为学生培养目标,在理论阐述上以“必需、够用”为原则,在分析中以科学试验为基础辅助试验视频,在例题、习题设计上以工程实际为背景,严格按照“公式、数据、答案”三步式解题,使学生在全面掌握《混凝土结构设计原理》的基础上得到设计工程师基本训练。

本书全面系统地介绍了混凝土结构构件设计基本原理相关知识,并且在结构上体现理论与实践的有机融合。全书分为 10 章,前 3 章包括绪论、混凝土结构用材料的性能及混凝土结构设计方法,是学习后续各章内容的基础;第 4~8 章为受弯构件正截面承载力计算,混凝土受弯构件斜截面承载力计算,混凝土受压构件承载力计算,混凝土受拉构件承载力计算,混凝土受扭构件承载力计算,属于混凝土结构基本构件承载力计算核心内容;第 9 章混凝土构件的裂缝、变形和耐久性是属于混凝土结构适用性和耐久性问题;最后第 10 章介绍预应力混凝土构件。本书只讨论混凝土结构在荷载作用的设计计算,有关地震作用的设计计算,将在其他课程中介绍。

本书由祝明桥和黄海林主编。参加编写的有:祝明桥(第 1 章、第 2 章、第 3 章);黄海林(第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章);石卫华(第 9 章);汪建群(第 10 章)。全书由祝明桥教授负责定稿,由中南大学余志武教授负责主审。本书的写作得到了王功勋、李永贵博士等帮助,在此深表谢意。

本书在编写过程中引用了大量的参考文献,包括著作、论文、标准规范及新闻、网页图片等,在此向各位作者表示衷心的感谢。如参考有遗漏或引用不当之处,恳请作者批评指正。

本书主要作为普通高等学校土木工程专业的教科书,也可用作从事土木工程设计、施工和科学研究的技术人员、大专院校师生、短训班学员的参考书。

由于编者水平有限,书中差错或不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 2 月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 混凝土结构基本概念	(1)
1.2 混凝土结构的发展与应用概况	(5)
1.3 本课程主要内容及学习应注意的问题	(11)
重点与难点	(11)
思考与练习	(12)
第2章 混凝土结构用材料的性能	(13)
2.1 钢筋	(13)
2.2 混凝土	(19)
2.3 钢筋与混凝土的黏结	(31)
重点与难点	(40)
思考与练习	(41)
第3章 混凝土结构设计方法	(42)
3.1 结构设计方法发展历程	(42)
3.2 结构可靠度的基本概念	(44)
3.3 结构极限状态设计法	(51)
3.4 结构极限状态设计表达式	(55)
重点与难点	(62)
思考与练习	(62)
第4章 混凝土受弯构件正截面承载力计算	(63)
4.1 受弯构件正截面的受力性能	(64)
4.2 受弯构件正截面承载力计算原理	(71)
4.3 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(77)
4.4 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(86)
4.5 “T”形截面受弯构件正截面承载力计算	(91)
4.6 构造规定	(100)
重点与难点	(103)
思考与练习	(103)

第 5 章 混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(106)
5.1 斜裂缝、剪跨比及斜截面受剪破坏形态	(107)
5.2 简支梁斜截面受剪机理	(110)
5.3 斜截面受剪承载力	(112)
5.4 斜截面受弯承载力	(124)
5.5 斜截面构造规定	(131)
重点与难点	(139)
思考与练习	(139)
第 6 章 混凝土受压构件承载力计算	(142)
6.1 轴心受压构件正截面受压承载力	(142)
6.2 偏心受压构件的破坏特征	(150)
6.3 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力的基本计算公式	(158)
6.4 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	(163)
6.5 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	(172)
6.6 “I”形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	(175)
6.7 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(181)
6.8 构造规定	(182)
重点与难点	(184)
思考与练习	(184)
第 7 章 混凝土受拉构件承载力计算	(186)
7.1 轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	(186)
7.2 偏心受拉构件正截面受拉承载力计算	(188)
7.3 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	(192)
重点与难点	(193)
思考与练习	(193)
第 8 章 混凝土受扭构件承载力计算	(195)
8.1 纯扭构件的试验研究	(196)
8.2 纯扭构件的扭曲截面承载力	(199)
8.3 弯剪扭构件的扭曲截面承载力	(208)
8.4 拉、压弯剪扭矩形截面框架柱受扭承载力计算	(214)
8.5 受扭构件计算公式的适用条件及构造要求	(215)
重点与难点	(220)
思考与练习	(221)

第9章 混凝土构件的裂缝、变形及耐久性	(223)
9.1 裂缝宽度验算	(224)
9.2 受弯构件变形验算	(231)
9.3 混凝土结构的耐久性	(236)
重点与难点	(238)
思考与练习	(238)
第10章 预应力混凝土构件	(240)
10.1 预应力混凝土结构的基本概念及其应用	(240)
10.2 预加应力的材料、张拉方法及其设备	(243)
10.3 预应力损失	(249)
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的设计	(257)
10.5 预应力混凝土受弯构件的设计	(269)
10.6 部分预应力混凝土、无黏结预应力混凝土及缓黏结预应力混凝土	(284)
10.7 预应力混凝土构件的构造要求	(286)
重点与难点	(289)
思考与练习	(290)
附 录	(292)
附录1 混凝土强度标准值、设计值和弹性模量	(292)
附录2 钢筋强度标准值、设计值和弹性模量	(293)
附录3 混凝土保护层	(296)
附录4 民用建筑楼面均布活荷载的标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数	(297)
附录5 截面抵抗矩塑性影响系数基本值	(299)
附录6 纵向受力钢筋的最小配筋百分率	(300)
附录7 钢筋的公称截面面积、计算截面面积及理论质量	(301)
附录8 混凝土构件变形及裂缝限值和工作环境类别	(304)
参考文献	(306)

第 1 章

绪 论

1.1 混凝土结构基本概念

结构广义的概念是指各类工程的实体,狭义的概念是指各类工程实体的承重骨架。结构有多种分类方法,一般按其主要建筑材料划分为木结构、砌体结构(原砖石结构)、混凝土结构和钢结构,俗称为“四大结构”。

1.1.1 混凝土结构的一般概念

以混凝土为主,并根据需要配置钢筋、预应力筋、钢骨、钢管等形成的承力构件所组成的土木工程结构,均称为混凝土结构(concrete structure),如素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢骨混凝土结构和钢管混凝土结构等,其中钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构在实际工程中应用最多。混凝土抗压强度高,抗拉强度低(混凝土的抗拉强度一般仅为抗压强度的 1/10 左右),钢筋的抗压和抗拉能力都很强。将钢筋和混凝土两种材料结合在一起共同工作,利用混凝土抗压,利用钢筋抗拉,则能使两种材料各尽其能、相得益彰,组成性能良好的结构构件。常见混凝土结构构件形式如图 1-1 所示。

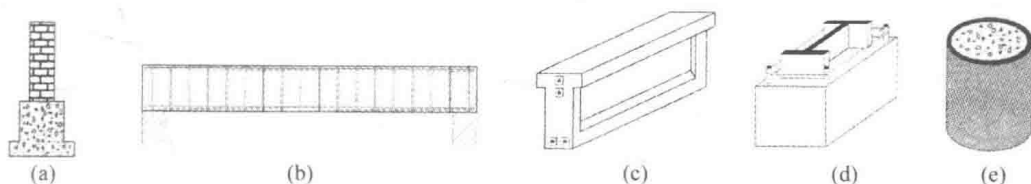


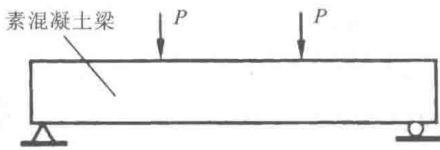
图 1-1 常见混凝土结构构件形式

(a) 素混凝土基础; (b) 钢筋混凝土筒支梁; (c) 预应力混凝土吊车梁; (d) 钢骨混凝土; (e) 钢管混凝土

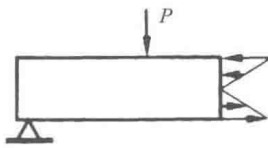
以梁为例,图 1-2 为一根未配置钢筋的素混凝土筒支梁,跨度 1.5 m,截面尺寸 $b \times h = 120 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$,混凝土强度等级为 C20,梁跨 1/3 处作用两个对称集中荷载 P 。对其进行破坏性试验,结果表明:当荷载较小时,截面上的应变如同弹性材料的梁一样,沿截面高度呈直线分布;当荷载增大使截面受拉区边缘纤维受拉达到混凝土抗拉极限应

变时,该处的混凝土被拉裂,裂缝沿截面高度方向迅速开展,试件随即发生破坏。这种破坏是突然发生的,破坏前变形很小,没有预兆,属于脆性破坏类型,是工程中要避免的。尽管混凝土的抗压强度是其抗拉强度的10倍左右,但得不到充分利用,因为该试件的破坏是由混凝土的抗拉强度控制,破坏荷载值很小,只有4.4 kN。

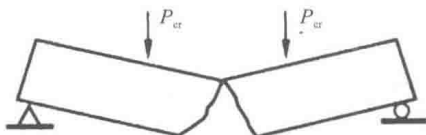
为了改变这种情况,在该梁的受拉区布置2根直径为14 mm的HRB335级钢筋(记作 $2\Phi 14$),并在受压区布置2根直径为8 mm的架立钢筋和适量的箍筋。再进行同样的荷载试验(图1-3),则可以看到,当加载到一定阶段使截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土极限拉应变时,混凝土虽然被拉裂,但裂缝不会沿截面的高度迅速开展,试件也不会随即发生断裂破坏。混凝土开裂后,裂缝截面的混凝土拉应力由纵向受拉钢筋承受,故荷载还可以进一步增加。此时,变形将相应发展,裂缝数量增多、宽度加大,直到受拉钢筋抗拉强度和受压区混凝土抗压强度被充分利用,荷载达到62.5 kN时,试件才发生破坏。试件破坏前,变形和裂缝都发展得很充分,呈现出明显的破坏预兆,属于延性破坏类型,是工程中所希望和要求的。可见,在素混凝土梁内合理配置一定形式和数量的受力钢筋构成钢筋混凝土梁后,不仅改变了破坏类型,而且梁的承载能力和变形能力都有很大提高,钢筋与混凝土两种材料的强度也得到了充分利用。因此在英语中称钢筋混凝土结构为被加强了混凝土结构(reinforced concrete structure)。



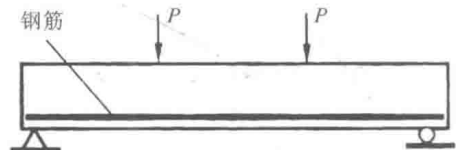
(a) 素混凝土梁



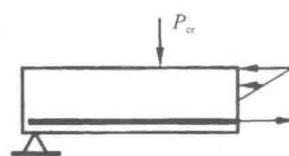
(b) 素混凝土梁正截面的应力



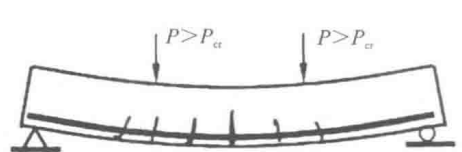
(c) 素混凝土梁的断裂



(a) 钢筋混凝土梁



(b) 钢筋混凝土梁正截面的受力情况



(c) 钢筋混凝土梁的开裂情况

图 1-2 素混凝土梁的受力性能

图 1-3 钢筋混凝土梁的受力性能

预应力混凝土结构是指配置受力的预应力筋，通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。如在梁的钢筋位置预留孔道，待混凝土结硬达一定的强度后在孔道中穿入高强钢筋，拉伸钢筋并在梁的端部将拉伸后的高强钢筋锚固，如图 1-4(a) 所示。拉伸的钢筋(称为预应力钢筋)会在梁底部的混凝土中产生压应力，在梁上部的混凝土中产生拉应力，如图 1-4(b) 所示。预应力钢筋在梁底部产生的预压应力会抵消外部荷载 P 产生的拉应力[图 1-4(c)]，使得梁底部不产生拉应力或仅产生很小的拉应力[图 1-4(d)]，提高梁的抗裂性能。图 1-4(a) 所示的梁称作预应力混凝土梁。同理，还可以先张拉钢筋，再浇捣混凝土，待混凝土达一定强度后放松钢筋，通过钢筋与混凝土之间的黏结力在混凝土中建立预压应力。

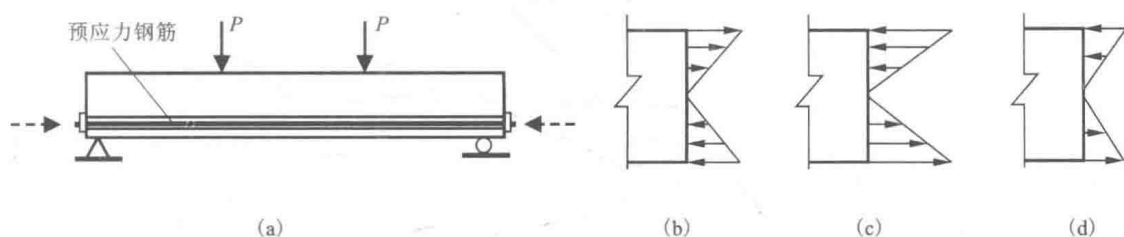


图 1-4 预应力混凝土梁及其跨中正截面的应力

素混凝土结构由于承载力低、性质脆，所以很少用来做建筑工程的承力结构。我国目前的混凝土结构以钢筋混凝土结构为主。对于一些对变形、裂缝控制要求较高的结构，可采用预应力混凝土结构。

混凝土结构是由不同的混凝土结构构件组合而成的结构体系。这些结构构件主要包括板、梁、柱、墙和基础等。以混凝土结构的多层房屋为例(图 1-5)，其中的主要结构构件有：

- (1) 混凝土楼板，主要承担楼板面的荷载和楼板的自重。
- (2) 混凝土楼梯，主要承担楼梯面的荷载和楼梯段的自重。
- (3) 混凝土梁，主要承担楼板传来的荷载及梁的自重。
- (4) 混凝土柱，主要承担梁传来的荷载及柱的自重。
- (5) 混凝土墙，主要承担楼板、梁、楼梯传来的荷载，墙体的自重及土的侧向压力。
- (6) 混凝土墙下基础，主要承担墙传下的荷载并将其传给地基。
- (7) 混凝土柱下基础，主要承担柱传来的荷载并将其传给地基。

1.1.2 钢筋和混凝土共同工作的原因

钢筋混凝土结构中钢筋和混凝土是两种物理性能、力学性能很不相同的材料，它们可以相互结合、共同工作的主要原因是：

(1) 混凝土结硬后，能与钢筋牢固地黏结在一起，相互传递内力。黏结力是两种性质不同的材料能够共同工作的基础。

(2) 钢筋的线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，混凝土的线膨胀系数为 $(1.0 \times 10^{-5} \sim$

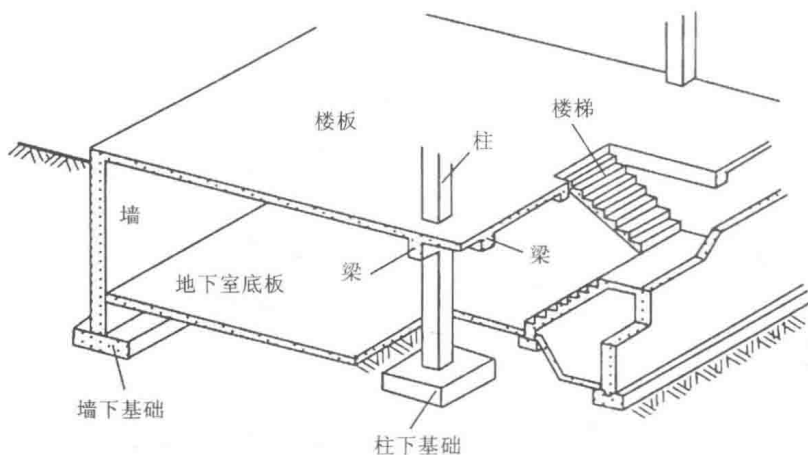


图 1-5 混凝土结构房屋中的结构构件

$1.5 \times 10^{-5}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 二者数值相近。因此, 当温度发生变化时, 钢筋与混凝土之间不会出现较大的相对变形和温度应力引起的黏结破坏, 为满足两种材料共同受力的要求创造了前提条件。

(3) 混凝土 pH 一般在 12 以上, 呈碱性, 且包裹在钢筋的外部, 可防止钢筋腐蚀或高温软化, 为两种材料共同工作提供了保障。

1.1.3 混凝土结构的特点

1. 混凝土结构的优点

(1) 可就地取材。混凝土结构中用量最多的砂、石等材料可就地取材。还可以将工业废料(如矿渣、粉煤灰等)制成人工掺和料用于混凝土结构中, 实现变废为宝。

(2) 节约钢材。和钢结构相比, 混凝土结构中用混凝土代替钢筋受压, 合理发挥了材料的性能, 节约了钢材。

(3) 良好的可模性。混凝土结构可根据需要浇筑成各种不同的形状, 如曲线形的梁和拱、曲面塔体、空间薄壳等。

(4) 良好的整体性。现场整浇的混凝土结构各结构构件之间连接牢固, 具有良好的整体工作性能, 能很好地抵御动力荷载(如风、地震、爆炸、冲撞等)的作用。

(5) 良好的耐久性。混凝土结构中混凝土的强度随着时间的增长而增长。当钢筋外的混凝土保护层厚度足够大时, 混凝土能保护钢筋免于锈蚀, 不需要经常的保养和维修。在恶劣环境中(如处于侵蚀性气体或受海水浸泡等), 经过合理的设计并采取特殊的构造措施, 一般能满足工程需要。

(6) 良好的耐火性。不采取特殊的技术措施, 混凝土结构房屋一般具有 1~3 h 的耐火时间, 不致因火灾导致钢材很快软化而造成结构整体破坏。混凝土结构的耐火性能优于钢结构和木结构。

2. 混凝土结构的缺点

(1) 自重大。素混凝土的容重一般为 $22 \sim 24 \text{ kN/m}^3$, 钢筋混凝土的容重一般为

24 ~ 25 kN/m³, 对大跨度结构、高层建筑结构抗震不利。

(2) 抗裂性差。混凝土易开裂, 一般混凝土结构使用时往往带裂缝工作, 对裂缝有严格要求的结构构件(如混凝土水池、地下混凝土结构、核电站的混凝土安全壳等)需采取特殊的措施。

(3) 性质较脆。混凝土结构破坏前的预兆较小, 特别是在抗剪切、抗冲切和小偏心受压构件破坏时, 破坏往往是突然发生的。

(4) 现浇混凝土结构需耗费大量的模板, 施工受季节性的影响较大。

(5) 隔热隔声性能较差等。

随着科学技术的不断发展, 这些缺点会逐渐被改进或克服。如为了克服钢筋混凝土自重大的缺点, 已经研究出许多重量轻、强度高的混凝土和高强钢筋; 为了克服普通钢筋混凝土容易开裂的缺点, 可以对它施加预应力; 为了克服其性质较脆的缺点, 可以采取加强配筋或在混凝土中掺入短段纤维等措施。

1.2 混凝土结构的发展与应用概况

1.2.1 混凝土结构的诞生

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业的发展而发展起来的, 至今已有 160 年左右的历史。1824 年英国人 J. Asplin 发明了波特兰水泥, 为混凝土结构的诞生奠定了基础。1855 年, 法国人 L. Lambot 在巴黎国际展览会上展出了他在这一年早期申请专利的一条水泥砂浆铁丝小船, 标志着混凝土结构的诞生。

现代预应力混凝土结构的开拓者是法国学者 E. Freyssinet, 他于 1928 年提出了用高强钢丝作为预应力钢筋, 发明了专用的锚具系统, 并开创性地的一些桥梁和其他结构中应用预应力技术, 使预应力混凝土结构技术从试验室真正走向了工程实际。

混凝土结构与钢、木、砌体结构相比历史最短, 但发展最快, 已经成为当今世界各国的主导结构, 而我国是采用混凝土结构最多的国家, 目前每年混凝土用量占全世界的 60%。

1.2.2 混凝土结构的发展

从 19 世纪 50 年代混凝土结构诞生到 20 世纪 20 年代, 是钢筋混凝土发展的初级阶段。20 世纪 30 年代开始, 从材料性能的改善、结构形式的多样化、施工方法的革新、计算理论和设计方法的完善等多方面开展了大量的研究工作, 工程应用十分普遍, 使钢筋混凝土结构进入了大量运用的阶段。

在混凝土结构材料方面则不断向高强、轻质、高性能方向发展。世界各国使用的混凝土平均强度, 在 20 世纪 30 年代约为 10 MPa, 到 20 世纪 50 年代已提高到 20 MPa, 20 世纪 60 年代约为 25 MPa, 20 世纪 70 年代已提高到 30 MPa。20 世纪 80 年代初, 在发达国家 C50 级混凝土已经普遍采用。高效能减水剂的应用更加促进了混凝土强度的提高。近年来, 国内外采用附加减水剂的方法已制成强度为 200 MPa 以上的混凝土。高强

混凝土的出现更加扩大了混凝土结构的应用范围,为钢筋混凝土在防护工程、压力容器、海洋工程等领域的应用创造了条件。

改善混凝土性能的另一个重要方面是减轻混凝土的自重。从20世纪60年代以来,轻骨料(陶粒、浮石等)混凝土和多孔(主要是加气)混凝土得到迅速发展,其重量一般为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$,用轻骨料混凝土制作墙、板不但可以承重,而且其建筑物理性能也优于普通混凝土。

混凝土结构中钢筋的锈蚀是影响结构寿命的重要因素之一。尽管世界各国的学者多年作出了很大的努力,但钢筋的锈蚀这一问题一直没有得到很好的解决。在北美,冬天需要用盐来解冻,因此,公路桥梁和公共车库中钢材的腐蚀情况尤为严重。据1992年的统计结果显示,修复加拿大当时所有混凝土车库结构的费用在40亿~50亿加元之间;修复美国所有高速公路桥梁的费用约为500亿美元。在欧洲,由于钢材的腐蚀每年约损失达100亿英镑。用FRP筋代替混凝土中的钢筋将是一种有效地解决锈蚀问题的方法。FRP是一种由纤维、树脂母体和一些添加料制成的复合材料。根据纤维的种类,它可分为CFRP(碳纤维增强塑料)、AFRP(芳香酞聚酰胺纤维增强塑料)和GFRP(玻璃纤维增强塑料)三种。FRP具有强度高、质量轻、抗腐蚀、低松弛、易加工等诸多优良的特性,是钢筋的良好替代物,用作预应力筋时它的优势尤其明显。

在混凝土结构体系方面,由基本的混凝土结构构件(如梁、板、柱和墙等),根据不同的用途、结构功能,按照一定的规则,可以组成不同的结构体系,起初混凝土结构中的基本受力构件主要为钢筋混凝土结构构件(称为钢筋混凝土结构);随着预应力技术的发展和应用,以预应力混凝土构件为主要受力构件的预应力混凝土结构在大跨度、高抗裂性能等方面显示了明显的优越性;为了适应高变形能力、重载等的需要,近年来在混凝土结构构件中配置型钢或将混凝土构件同钢构件通过一定的连接措施结合在一起组成型钢混凝土组合结构,在钢管中填充混凝土形成钢管混凝土或钢管约束混凝土结构等技术得到了很好的发展与应用;另外,还可以在一种结构中同时使用钢构件、钢-混凝土组合构件和混凝土构件组成钢-混凝土混合结构。

在混凝土结构理论研究方面,20世纪30年代以前,将钢筋混凝土视为理想弹性材料,按材料力学的容许应力法进行设计计算;但从20世纪初便开始了对钢筋混凝土构件考虑材料塑性性能的研究,苏联在1938年颁布了世界上第一个按破损阶段设计钢筋混凝土构件的规范,标志着钢筋混凝土构件承载力计算的实用方法进入了一个新的发展阶段;20世纪30年代以后,在钢筋混凝土超静定结构中考虑塑性内力重分布的计算理论也取得了很大进展,从20世纪50年代开始,该理论已在双向板、连续梁及框架的设计中得到了应用;20世纪50年代,苏联首先采用极限状态方法设计钢筋混凝土结构构件;20世纪60年代以来,随着计算机的普及与计算力学的发展,有限元法被用于钢筋混凝土的理论研究与设计计算,促进了钢筋混凝土理论及设计方法的发展。

在结构的可靠度设计方法方面,20世纪50—60年代,世界各国逐步采用半经验、半概率的极限状态设计法;20世纪80年代以来,以概率论数理统计学为基础的结构可靠度理论有了很大的发展,使结构可靠度的近似概率法进入到了工程设计中。

1.2.3 混凝土结构的应用

混凝土结构可应用于土木工程中的各个领域。在房屋建筑中,混凝土结构占有相当大的比例。在世界上有影响的房屋建筑有:1990年建成的美国芝加哥的 S. Wacker Drivee 大楼,65层,高296 m,为当时建成的世界上最高的混凝土建筑;图1-6所示朝鲜平壤的柳京饭店,地下4层,地上101层,合计105层, ± 0.0 以上总高度为334.2 m(不包括顶部30 m高塔桅),为目前世界最高的钢筋混凝土建筑,从1987年开始建设到2012年竣工投入使用,也是建设周期长、有影响的混凝土结构;图1-7所示的蒙特利尔奥林匹克体育场像一艘扬帆的巨轮静卧在蒙特利尔岛东部,整个斜塔高达175 m,从斜塔底部到塔顶,倾斜的角度也逐渐加大,从 23° 一直增加到 63.4° ,它优美的曲线、精妙的设计、奇特的造型,所有这一切已经使它成为了蒙特利尔城市的象征,是世界最高的倾斜式人工建筑;图1-8所示的悉尼歌剧院是设计耗时长达16年、最有影响的混凝土结构,外形犹如即将乘风出海的白色风帆,外观为三组巨大的壳片,耸立在一南北长186 m、东西最宽处为97 m的现浇钢筋混凝土结构的基座上,与周围景色相映成趣,成为澳大利亚标志性建筑物。目前,世界上最高的型钢混凝土建筑是高450 m马来西亚吉隆坡的双塔大厦,如图1-9所示。



图1-6 朝鲜柳京饭店



图1-7 蒙特利尔奥林匹克体育场

我国是目前采用混凝土结构最多的国家,在高层建筑和多层框架中,大多采用混凝土结构。近年来,尽管钢结构得到很大的发展,但超过100 m高的高层建筑中绝大多数还是混凝土结构或混凝土和钢的组合结构。如88层高的上海金茂大厦(高382 m,88层,1999年竣工),采用的就是钢-混凝土混合结构(图1-10)。