

何培玲 何卫忠 主编  
陈忠汉 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

应用型本科院校土木工程专业规划教材

# 混凝土设计原理

中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

知识产权出版社

[www.cnipr.com](http://www.cnipr.com)



何培玲 何卫忠 主编  
陈忠汉 主审

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

**应用型本科院校土木工程专业规划教材**

# 混凝土设计原理

[ 中国水利水电出版社   
www.waterpub.com.cn  
知识产权出版社   
www.cnipr.com ]

## 内容提要

本书系“应用型本科院校土木工程专业规划教材”之一,“混凝土设计原理”是土木工程专业的主要专业课程,本书结合应用型本科院校学生的培养目标和基本要求,加强针对性,突出应用性和实用性,力求理论部分概念清晰,简明扼要。

本书共 11 章,主要内容包括:绪论、钢筋和混凝土的力学性能、钢筋混凝土结构的极限状态设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件受扭承载力计算、钢筋混凝土构件裂缝和变形计算、预应力混凝土构件以及混凝土结构按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)的设计原理等。为便于教学,方便学生自学、自检和自测,除各章均编有本章要点、思考题外,第二至十一章还编有简明实用的工程设计实例和供学生巩固提高的习题。

本书可作为土木工程专业及相关专业的教学用书,并可供土木建筑工程技术人员阅读参考。

责任编辑:阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z\_baolin@263.net

文字编辑:张 冰

## 图书在版编目(CIP)数据

混凝土设计原理/何培玲,何卫忠主编. —北京:中国水利水电出版社:知识产权出版社,2009  
应用型本科院校土木工程专业规划教材  
ISBN 978-7-5084-6236-3

I. 混… II. ①何…②何… III. 混凝土-高等学校-教材 IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007078 号

应用型本科院校土木工程专业规划教材

## 混凝土设计原理

何培玲 何卫忠 主编 陈忠汉 主审

中国水利水电出版社 北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68367658  
知识产权出版社 北京市海淀区马甸南村 1 号; 电话: 010-82000893

北京科水图书销售中心零售 (电话: 010-88383994、63202643)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

184mm×260mm 16 开本 20.75 印张 492 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 38.00 元

## 版权所有·侵权必究

如有印装质量问题,可由中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会组织编写

## 应用型本科院校土木工程专业规划教材

### 编 写 委 员 会

主任委员 李爱群

副主任委员 吴胜兴 刘伟庆

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 包 华 | 崔清洋 | 何培玲 | 何卫忠 | 孔宪宾 |
| 李庆录 | 李仁平 | 李文虎 | 刘爱华 | 刘训良 |
| 余跃心 | 施凤英 | 田安国 | 童 忻 | 王振波 |
| 徐汉清 | 宣卫红 | 荀 勇 | 殷惠光 | 张三柱 |
| 朱正利 | 宗 兰 |     |     |     |

### 审 定 委 员 会

顾 问 蒋永生 周 氏 宰金珉 何若全

委 员 (按姓氏拼音字母排序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 艾 军 | 曹平周 | 陈国兴 | 陈忠汉 | 丰景春 |
| 顾 强 | 郭正兴 | 黄安永 | 金钦华 | 李爱群 |
| 刘伟庆 | 陆惠民 | 邱宏兴 | 沈 杰 | 孙伟民 |
| 吴胜兴 | 徐道远 | 岳建平 | 赵和生 | 周国庆 |

---

# 总 序

---

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会成立于2002年5月，现由江苏省设有土木工程专业的近40所高校组成，是中国土木工程学会教育工作委员会的第一个省级分会。分会的宗旨是加强江苏省各高校土木工程专业的交流与合作，提高土木工程专业的人才培养质量，服务于江苏乃至全国的建设事业和社会发展。

人才培养是高校的首要任务，现代社会既需要研究型人才，也需要大量在生产领域解决实际问题的应用型人才。目前，除少部分知名大学定位在研究型大学外，大多数工科大学均将办学层次定位在应用技术型高校这个平台上。作为知识传承、能力培养和课程建设载体的教材在应用型高校的教学活动中起着至关重要的作用，但目前出版的教材大多偏重于按照研究型人才培养的模式进行编写，“应用型”教材的建设和发展却远远滞后于应用型人才培养的步伐。为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育重大转移阶段中社会对高校应用型人才培的各类要求，探索和建立我国高校应用型本科人才培养体系，中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会与中国水利水电出版社、知识产权出版社联合，组织江苏省有关院校的教师，编写出版了适应应用型人才培养需要的应用型本科院校土木工程专业规划教材。其培养目标是既掌握土木工程学科的基本知识和基本技能，同时也包括在技术应用中不可缺少的非技术知识，又具有较强的技术思维能力，擅长技术的应用，能够解决生产实际中的具体技术问题。

本套教材旨在充分反映应用型本科的特色，吸收国内外优秀教材的成功

经验，并遵循以下编写原则：

- 突出基本概念、思路和方法的阐述以及工程应用实例；
- 充分利用工程语言，形象、直观地表达教学内容，力争在体例上有所创新并图文并茂；
- 密切跟踪行业发展动态，充分体现新技术、新方法，启发学生的创新思维。

本套教材虽然经过编审者和编辑出版人员的尽心努力，但由于是对应用型本科院校土木工程专业规划教材的首次尝试，故仍会存在不少缺点和不足之处。我们真诚欢迎选用本套教材的师生多提宝贵意见和建议，以便我们不断修改和完善，共同为我国土木工程教育事业的发展作出贡献。

**中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会**

2006年4月

# 前 言

本书系“应用型本科院校土木工程专业规划教材”之一。编写本书的指导思想是为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展的需要，满足我国高等教育从精英教育向大众化教育转移过程中社会对高等学校应用型人才培养的需求，采用理论、实践和应用相结合的教材编写理念，重视学生应用能力和创造性思维能力的培养。

本书是根据2002年高等学校土木工程专业指导委员会为土木工程专业教学制定的“高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲”对该门课程的教学基本要求以及《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)[以下简称《公路桥规》(JTG D62—2004)]进行编写的。注重以教学为主，内容少而精；突出重点、讲清难点；在阐述基本原理和概念的基础上，结合规范和工程实际，体现国内外先进的科学技术成果。

本书按72学时的教学内容编写，建议各章分配学时如下：第一章，2学时；第二章，4学时；第三章，2学时；第四章，10学时；第五章，10学时；第六章，10学时；第七章，2学时；第八章，4学时；第九章，6学时；第十章，10学时；第十一章，12学时。

本书由南京工程学院何培玲、淮阴工学院何卫忠担任主编，全书由何培玲统稿；由苏州科技学院陈忠汉教授担任主审。全书共分为十一章，其中第一、六、七章由何培玲编写，第二章由金陵科技学院宣卫红编写，第三章由盐城工学院吴发红编写，第四章由金陵科技学院王瑶编写，第五、十章由何卫忠编写，第八章由淮海工学院闫肖武编写，第九、十一章由南京工程学院

于旭、臧华、何培玲编写。

由于我们水平所限，对有关政策和新规范中的内容学习领会仍需不断加深，加之时间仓促，书中缺点乃至错误在所难免，欢迎老师、学生及各界人士批评指正。

**编者**

2008年12月

# 目 录

## 总序

## 前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一章 绪论                    | 1  |
| 第一节 混凝土结构的一般概念            | 1  |
| 第二节 钢筋和混凝土共同工作的条件         | 3  |
| 第三节 钢筋混凝土结构的分类            | 4  |
| 第四节 钢筋混凝土结构的特点            | 6  |
| 第五节 混凝土结构发展简况             | 7  |
| 第六节 本课程内容及其学习方法           | 13 |
| 思考题                       | 14 |
| 第二章 钢筋和混凝土的力学性能           | 15 |
| 第一节 钢筋                    | 15 |
| 第二节 混凝土                   | 22 |
| 第三节 钢筋与混凝土的黏结             | 32 |
| 思考题                       | 35 |
| 习题                        | 36 |
| 第三章 钢筋混凝土结构的极限状态设计方法      | 37 |
| 第一节 结构设计的基本要求             | 37 |
| 第二节 结构上的作用、作用效应和结构抗力及相互关系 | 39 |
| 第三节 概率极限状态设计法             | 43 |
| 第四节 极限状态实用设计表达式           | 45 |
| 第五节 耐久性的规定                | 48 |
| 思考题                       | 49 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 习题 .....                      | 50  |
| <b>第四章 受弯构件正截面承载力计算</b> ..... | 51  |
| 第一节 概述 .....                  | 51  |
| 第二节 梁和板的基本构造要求 .....          | 52  |
| 第三节 受弯正截面性能的试验分析 .....        | 56  |
| 第四节 单筋矩形截面的正截面承载力计算 .....     | 61  |
| 第五节 双筋矩形截面的正截面承载力计算 .....     | 70  |
| 第六节 T形截面的正截面承载力计算 .....       | 76  |
| 思考题 .....                     | 82  |
| 习题 .....                      | 83  |
| <b>第五章 受弯构件斜截面承载力计算</b> ..... | 86  |
| 第一节 无腹筋梁的受剪性能 .....           | 86  |
| 第二节 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算 .....      | 91  |
| 第三节 保证斜截面受弯承载力的构造措施 .....     | 104 |
| 思考题 .....                     | 111 |
| 习题 .....                      | 111 |
| <b>第六章 受压构件截面承载力计算</b> .....  | 113 |
| 第一节 概述 .....                  | 113 |
| 第二节 受压构件的一般应用和基本构造要求 .....    | 114 |
| 第三节 轴心受压构件正截面承载力计算 .....      | 117 |
| 第四节 偏心受压构件正截面承载力计算 .....      | 128 |
| 第五节 偏心受压构件斜截面承载力计算 .....      | 164 |
| 思考题 .....                     | 165 |
| 习题 .....                      | 167 |
| <b>第七章 受拉构件截面承载力计算</b> .....  | 169 |
| 第一节 概述 .....                  | 169 |
| 第二节 轴心受拉构件正截面受拉承载力 .....      | 170 |
| 第三节 偏心受拉构件正截面受拉承载力 .....      | 171 |
| 第四节 偏心受拉构件斜截面承载力 .....        | 175 |
| 思考题 .....                     | 175 |
| 习题 .....                      | 176 |
| <b>第八章 受扭构件受扭承载力计算</b> .....  | 177 |
| 第一节 概述 .....                  | 177 |
| 第二节 扭转的分类与设计 .....            | 178 |
| 第三节 受扭构件的试验研究分析 .....         | 179 |
| 第四节 纯扭构件的受扭承载力计算 .....        | 180 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 第五节 复合受扭构件的受扭承载力计算 .....                          | 186 |
| 第六节 构造要求 .....                                    | 189 |
| 第七节 设计实例 .....                                    | 190 |
| 思考题 .....                                         | 193 |
| 习题 .....                                          | 194 |
| <b>第九章 钢筋混凝土构件裂缝和变形计算</b> .....                   | 195 |
| 第一节 概述 .....                                      | 195 |
| 第二节 受弯构件的刚度与挠度计算 .....                            | 196 |
| 第三节 钢筋混凝土构件的裂缝宽度计算 .....                          | 204 |
| 思考题 .....                                         | 210 |
| 习题 .....                                          | 210 |
| <b>第十章 预应力混凝土构件</b> .....                         | 212 |
| 第一节 预应力混凝土的基本知识 .....                             | 212 |
| 第二节 预应力混凝土轴心受拉构件 .....                            | 228 |
| 第三节 预应力混凝土受弯构件 .....                              | 238 |
| 第四节 预应力混凝土构件的构造要求 .....                           | 248 |
| 第五节 部分预应力混凝土和无黏结预应力混凝土 .....                      | 250 |
| 思考题 .....                                         | 251 |
| 习题 .....                                          | 251 |
| <b>第十一章 混凝土结构按《公路桥规》(JTG D62—2004)的设计原理</b> ..... | 253 |
| 第一节 半概率极限状态设计法及其在《公路桥规》(JTG D62—2004)中的应用 .....   | 253 |
| 第二节 《公路桥规》(JTG D62—2004)中的主要术语和符号 .....           | 257 |
| 第三节 受弯构件正截面与斜截面承载力计算 .....                        | 260 |
| 第四节 受扭构件承载力计算 .....                               | 277 |
| 第五节 受压构件承载力计算 .....                               | 283 |
| 第六节 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝宽度和挠度验算 .....                  | 289 |
| 第七节 公路桥预应力混凝土受弯构件的设计与计算 .....                     | 293 |
| 思考题 .....                                         | 308 |
| 习题 .....                                          | 309 |
| <b>附录 混凝土设计用表</b> .....                           | 312 |
| 附表1 纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 .....                       | 312 |
| 附表2 钢筋混凝土矩形和T形截面受弯构件计算表 .....                     | 312 |
| 附表3 钢筋的计算截面面积及理论重量 .....                          | 313 |
| 附表4 每米板宽的钢筋截面面积 .....                             | 314 |
| 附表5 《公路桥规》(JTG D62—2004)混凝土的强度标准值和强度设计值 .....     | 315 |
| 附表6 混凝土的弹性模量 .....                                | 315 |
| 附表7 普通钢筋抗拉强度标准值 .....                             | 315 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 附表 8 预应力钢筋抗拉强度标准值 .....     | 316 |
| 附表 9 普通钢筋抗拉、抗压强度设计值 .....   | 316 |
| 附表 10 预应力钢筋抗拉、抗压强度设计值 ..... | 316 |
| 参考文献 .....                  | 317 |

# 第一章

## 绪 论

### 【本章要点】

- 了解混凝土结构的一般概念。
- 充分理解钢筋和混凝土能够结合在一起共同工作的可能性和有效性。
- 掌握混凝土结构的特点。
- 了解混凝土结构在土木工程中的应用及发展前景。
- 了解混凝土结构课程的内容及学习方法。

### 第一节 混凝土结构的一般概念

混凝土结构 (concrete structure) 是以混凝土为主制成的结构, 包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

素混凝土结构 (plain concrete structure) 是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构, 常用于路面和一些非承重结构。

钢筋混凝土结构 (reinforced concrete structure) 是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构, 像钢筋混凝土梁或板, 分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

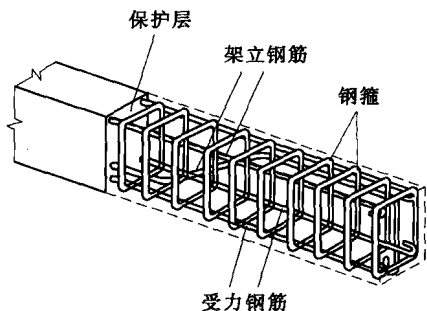


图 1-1 钢筋混凝土梁

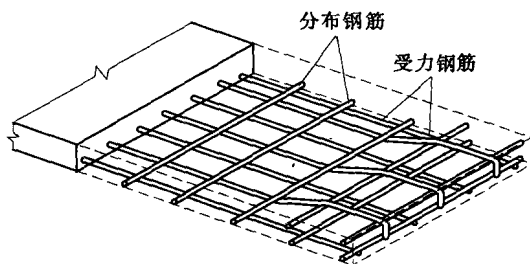


图 1-2 钢筋混凝土板

预应力混凝土结构（prestressed concrete structure）是由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。其克服了钢筋混凝土结构抗裂性能低的缺点，使高强度钢材得到充分利用。

在多数情况下，混凝土结构是钢筋混凝土结构。钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料，钢筋的抗拉强度和抗压强度都很高，但混凝土的抗压强度较高而抗拉强度却很低。为了充分发挥两种材料性能的优势，将钢筋和混凝土按照合理的组合方式有机地结合在一起共同工作，使钢筋主要承受拉力，混凝土主要承受压力，以满足工程结构的使用要求（见图 1-3）。

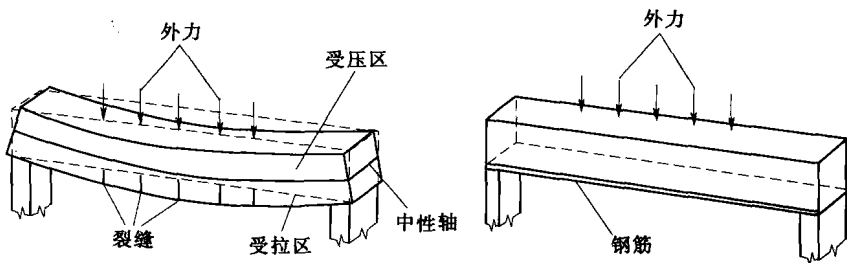


图 1-3 钢筋、混凝土共同受力示意图

如图 1-4 (a) 所示两端搁置在砖墙上的一根梁，在外力作用下产生弯曲变形，上部为受压区，下部为受拉区。当该梁由素混凝土 [见图 1-4 (b)] 制成时，由于混凝土抗拉强度很低，在很小的荷载作用下，梁下部受拉区边缘的混凝土就出现裂缝，而受拉区混凝土一旦开裂，在荷载持续作用下，裂缝迅速向上发展，梁瞬时骤然脆裂断开破坏，而梁上部混凝土的抗压能力却还未能充分利用。素混凝土梁的承载力很低。当此梁在受拉区配置适量的钢筋，构成钢筋混凝土梁 [见图 1.4 (c)] 时，在荷载作用下，梁的受拉区混凝土仍会开裂，但由于钢筋的存在，可以跨过裂缝代替受拉区混凝土承受拉力，裂缝不会迅

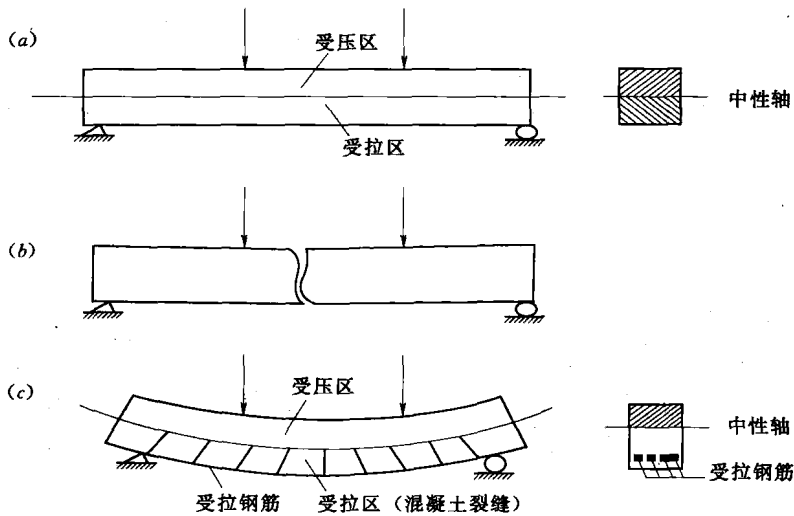


图 1-4 梁受弯破坏模型

速发展,受压区的压应力仍由混凝土承受,因此梁可以承受继续增大的荷载,直到钢筋的应力达到其屈服强度。随后荷载仍可略有增加致使受压区混凝土被压碎,混凝土抗压强度得到充分利用后梁才终告破坏。可见,配制在受拉区的钢筋明显地加强了受拉区的抗拉能力,从而使钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁有很大的提高。这样混凝土的抗压能力和钢筋的抗拉能力都得到了充分利用,而且在破坏前,裂缝充分发展,梁的变形迅速增大,有明显的破坏预兆,结构的受力特性得到了显著改善。图 1-5 为梁受力破坏试验的照片。

对于以承受压力为主的受压构件——柱(见图 1-6),通常也配置钢筋,以协助混凝土承受压力,而达到减小柱的截面尺寸、改善柱的受力性能、提高柱的承载能力、增加柱的延性的目的。

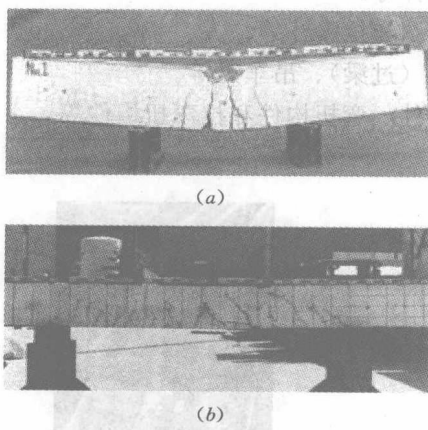


图 1-5 梁受弯破坏试验

(a) 正截面受弯破坏; (b) 斜截面受剪破坏

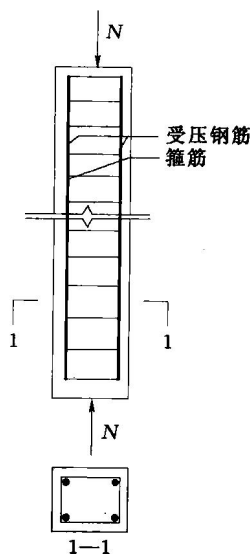


图 1-6 受压构件

## 第二节 钢筋和混凝土共同工作的条件

钢筋和混凝土这两种物理-力学性能不同的材料,之所以能够有机结合在一起共同工作,主要是建立在以下条件基础之上的:

(1) 黏结力。这是使这两种不同性质的材料结合在一起共同工作的基础。由于混凝土中的水泥是胶结材料,在混凝土硬化后,钢筋和混凝土之间存在黏结力促成这两种性能不同的材料能保证钢筋与相邻混凝土变形一致,有效地传递内力,共同承受荷载。

(2) 温度线膨胀系数相近。混凝土的温度线膨胀系数为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , 钢筋的温度线膨胀系数为  $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。因此,当温度变化时,两种材料间不致产生较大的温度应力,不会产生较大的相对变形,也不会破坏结构的整体性,使黏结得以保持,避免在未受荷之前因温度应力在钢筋和混凝土之间的相互作用而产生开裂或破坏。

(3) 防止钢筋锈蚀。暴露在空气介质中的钢材，由于空气中可能形成的酸性介质的影响，很容易锈蚀；而埋在混凝土中的钢筋，受到呈弱碱性的混凝土保护，只要钢筋至构件边缘间的保护层具有足够的密实度和厚度以及控制构件裂缝不致过宽，混凝土就能够起到保护钢筋免遭锈蚀的作用，从而保证结构具有良好的耐久性，使钢筋和混凝土长期可靠的共同工作。

### 第三节 钢筋混凝土结构的分类

#### 一、按结构受力状态和结构外形分类

按结构受力状态和结构外形，钢筋混凝土结构可分为杆件系统和非杆件系统两大类。

如图 1-7 所示，杆件系统按其主要受力特点分为以下五类：

- (1) 受弯构件：如各种单独的梁、板以及基础底板等。
- (2) 受压构件：如柱、屋架的上弦和压腹杆等。
- (3) 受拉构件：如储液池的池壁、屋架下弦和拉腹杆等。
- (4) 受扭构件：如带有悬挑雨篷的雨篷梁（过梁）、吊车梁等。
- (5) 复合受力构件：如压弯构件、拉弯构件、弯扭构件和拉弯扭构件等。

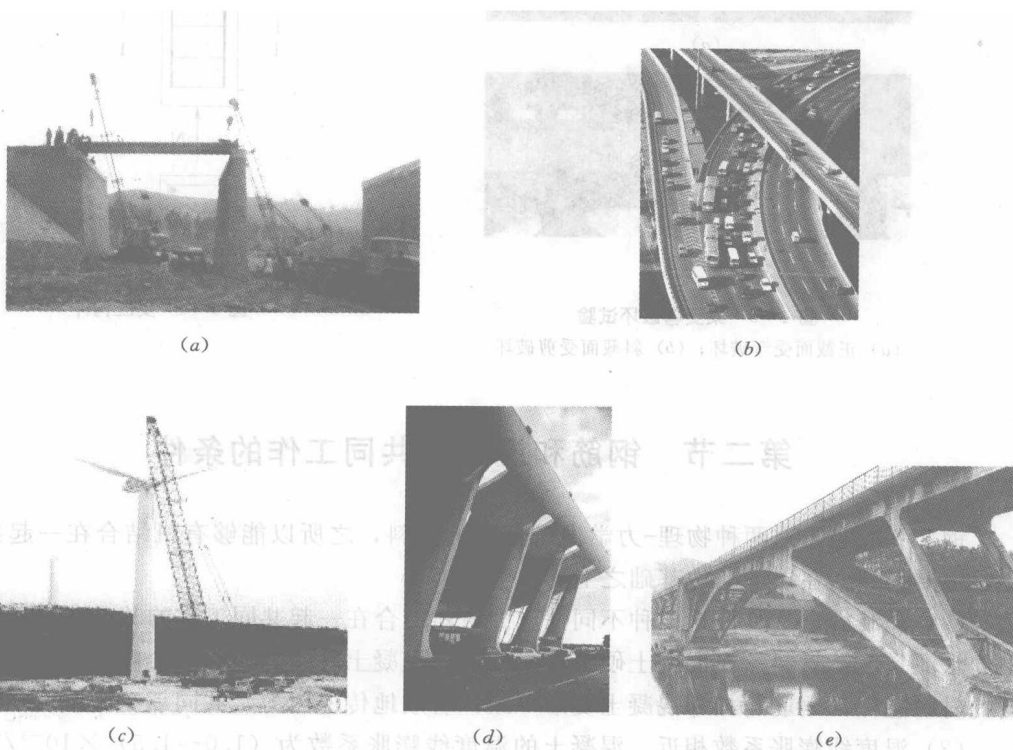


图 1-7 杆件系统

(a) 梁；(b) 板；(c) 柱；(d)、(e) 复合受力构件

如图 1-8 所示非杆件系统可以是空间薄壳结构，也可以是外形复杂的大体积结构。

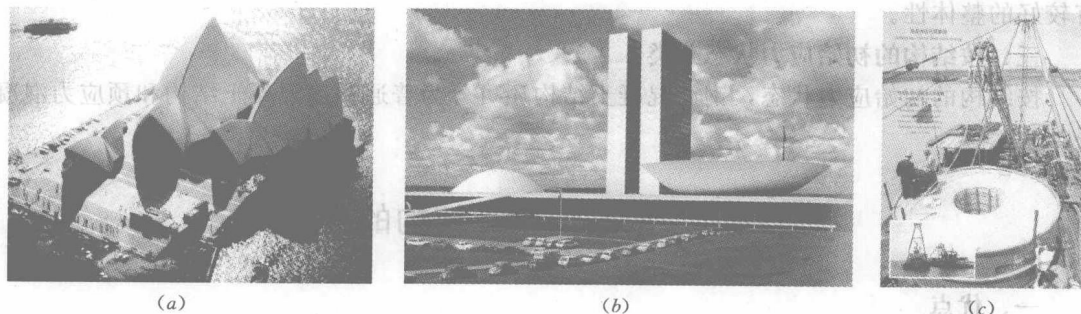


图 1-8 非杆件系统  
(a)、(b) 薄壳结构；(c) 大体积结构

## 二、按建造方式分类

按建造方式的不同，钢筋混凝土结构一般可分为现浇整体式（见图 1-9）、预制装配式和装配整体式（见图 1-10）三类。

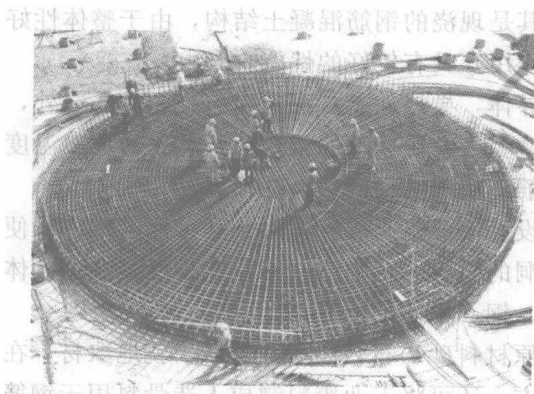


图 1-9 现浇结构



图 1-10 预制结构

现浇整体式结构是在现场先架立模板，绑扎钢筋，然后现场浇捣混凝土而成的结构。它的整体性比较好，刚度也比较大，但生产较难工业化，施工期长，模板用料较多。

预制装配式结构则是在工厂（或预制现场）预先制备各种构件，然后运往工地装配而成。采用预制装配式结构可使建筑事业工业化（设计标准化、制造工业化、安装机械化）；制造不受季节限制，能加快施工进度；利用工厂有利条件，提高构件质量；模板可重复使用，还可免去脚手架，节约木料或钢材。目前，预制装配式结构在建筑工程中已普遍采用，但其接头构造较为复杂，整体性较差，对抗震不利，装配时还需要有一定的起重安装设备。

装配整体式结构是一部分为预制的装配式构件，另一部分为现浇的混凝土。在装配式结构的基础上，如果将各预制构件的连接节点现浇成整体，或者将构件的一部分做成预制的，运吊就位后再现浇其余部分，使整个结构结成一体；或者将各装配式预制构件加筑钢筋混凝土现浇层结成整体，均可称为装配整体式结构。预制装配部分通常可作为现浇部分的模板和支架。装配整体式结构比整体式结构具有较高的工业化程度，又比装配式结构具