



普通高等教育土建类规划教材

混凝土结构 设计原理

● 主编 杨 虹

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配套教师课件

普通高等教育土建类规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 杨 虹

副主编 周孝军 姚红梅

参 编 陈会银 郭浩翔 郑洪勇 卢 驰



机械工业出版社

本书参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015版)、《预应力混凝土结构设计规范》(JGJ 369—2016)、《装配式建筑评价标准》(GB/T 51129—2017)等现行国家规范和标准,依据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的规定,对混凝土结构设计原理的内容进行了梳理、充实和编排,主要介绍了混凝土基本构件的设计原理和构造。

本书共10章,主要内容包括绪论,钢筋和混凝土的物理力学性能,受弯构件正截面承载力、斜截面承载力,受压构件截面承载力,受拉构件截面承载力,受扭构件截面承载力,钢筋混凝土构件的裂缝、变形及耐久性设计,预应力混凝土构件,装配式混凝土构件设计。本书对重要基础知识、重要构造、所引规范中的强制性条文、重要公式的公式号用黑体字突出显示;同时,对例题的易错知识点都做了点评,在章末设置了题型丰富的练习,并在附录提供了参考答案,有利于读者抓住重点,掌握混凝土结构的基本理论知识,便于读者自学和提高。

本书可作为高校土木工程专业的专业基础课教材,也可供从事混凝土结构设计、制作、施工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/杨虹主编. —北京:机械工业出版社,2018.9
普通高等教育土建类规划教材
ISBN 978-7-111-60847-9

I. ①混… II. ①杨… III. ①混凝土结构-结构设计-高等学校-教材
IV. ①TU370.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第208009号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 责任校对:刘志文
封面设计:张静 责任印制:李昂
河北鹏盛贤印刷有限公司印刷
2018年10月第1版第1次印刷
184mm×260mm·20.75印张·505千字
标准书号:ISBN 978-7-111-60847-9
定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

混凝土结构设计（基本）原理课程属于土木工程专业的专业基础课，以《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）（2015版）、《预应力混凝土结构设计规范》（JGJ 369—2016）、《装配式建筑评价标准》（GB/T 51129—2017）为基础，介绍《高等学校土木工程本科指导性专业规范》规定的本课程核心知识点，同时反映当前我国钢筋混凝土材料试验研究成果及设计水准。通过本课程的学习，读者应在掌握钢筋混凝土在各种受力状态下的力学性能及变形性能的基础上，熟练掌握受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件的承载力计算及构造要求；变形与裂缝验算；预应力混凝土构件；了解混凝土结构的耐久性设计、装配式混凝土构件的特点与受力性能。

本书的重点内容是受弯构件正截面受弯承载力、矩形截面大偏心受压构件的正截面承载力计算等；难点内容是保证受弯构件斜截面受弯承载力的构造措施、矩形截面小偏心受压构件的正截面承载力计算、纯扭构件的变角度空间桁架模型等。本书对重要基础知识、重要构造、所引规范中的强制性条文、重要公式的公式号用黑体字突出显示；同时，对例题的易错知识点都做了点评，在章末设置了题型丰富的练习题，并在附录提供了参考答案，有利于读者抓住重点，掌握混凝土结构的基本理论知识，便于读者自学和提高。

本书由西华大学土木建筑与环境学院杨虹任主编，西华大学土木建筑与环境学院周孝军、西南交通大学希望学院姚红梅任副主编，四川科信建筑工程质量检测鉴定有限公司的陈会银、泸州职业技术学院的郭浩翔、湖北中勤建设发展有限公司的郑洪勇、四川建筑职业技术学院的卢驰参与编写，具体编写分工如下：杨虹、郑洪勇编写第1、8章，杨虹编写第5、7、9章，周孝军编写第2、3章，姚红梅编写第4、6章，杨虹、卢驰编写第10章，陈会银、郭浩翔编写各章的章节练习和附录。全书由杨虹定稿。

本书在编写过程中参考了大量国内外参考文献，引用了一些学者的资料，在本书的参考文献中已一一列出。限于编者水平，本书不当之处，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
本章提要	1
1.1 钢筋混凝土结构概述	1
1.2 钢筋混凝土结构的发展及应用	3
1.3 近似概率理论的极限状态设计方法	7
1.4 本课程主要内容及学习方法	11
小结	13
思考题	13
章节练习	13
第 2 章 钢筋和混凝土的物理力学性能	15
本章提要	15
2.1 钢筋的物理力学性能	15
2.2 混凝土的物理力学性能	19
2.3 钢筋与混凝土的黏结力	28
小结	36
思考题	36
章节练习	37
第 3 章 受弯构件正截面承载力	39
本章提要	39
3.1 概述	39
3.2 梁、板一般构造	40
3.3 受弯构件正截面的受弯性能及破坏形态	45
3.4 正截面受弯承载力计算原理	49
3.5 单筋矩形截面受弯构件的承载力计算	54
3.6 双筋矩形截面受弯构件的承载力计算	59
3.7 T 形截面受弯构件的承载力计算	64
小结	71

思考题..... 72
 章节练习..... 73

第 4 章 受弯构件斜截面承载力 76

本章提要..... 76
 4.1 概述 76
 4.2 斜截面的受剪机理 77
 4.3 斜截面破坏的主要形态 79
 4.4 影响斜裂缝受力性能的主要因素 81
 4.5 斜截面受剪承载力的计算 83
 4.6 斜截面受剪承载力的计算方法 89
 4.7 斜截面受弯承载力的构造要求 93
 小结..... 98
 思考题..... 99
 章节练习..... 99

第 5 章 受压构件截面承载力 101

本章提要 101
 5.1 受压构件的一般构造..... 102
 5.2 轴心受压构件正截面承载力..... 104
 5.3 偏心受压构件正截面受力性能分析..... 111
 5.4 非对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算..... 117
 5.5 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算..... 130
 5.6 对称配筋 I 形截面偏心受压构件正截面承载力计算 133
 5.7 双向偏心受压构件正截面承载力计算..... 140
 5.8 适用装配式受压构件的正截面承载力计算..... 141
 5.9 矩形截面对称配筋的 N_u-M_u 相关曲线 144
 5.10 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算 146
 小结 148
 思考题 149
 章节练习 150

第 6 章 受拉构件截面承载力 153

本章提要 153
 6.1 概述..... 153
 6.2 轴心受拉构件正截面承载力计算..... 154
 6.3 偏心受拉构件正截面承载力计算..... 155
 6.4 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算..... 159
 小结 159
 思考题 160
 章节练习 160

第 7 章 受扭构件截面承载力 162

本章提要	162
7.1 矩形截面纯扭构件承载力计算	163
7.2 矩形截面复合受扭构件承载力计算	170
7.3 T形、I形或箱形截面受扭构件承载力计算	181
小结	189
思考题	190
章节练习	190
第8章 钢筋混凝土构件的裂缝、变形及耐久性设计	192
本章提要	192
8.1 概述	192
8.2 裂缝宽度验算	193
8.3 变形验算	202
8.4 混凝土结构耐久性设计	211
小结	214
思考题	215
章节练习	215
第9章 预应力混凝土构件	218
本章提要	218
9.1 概述	218
9.2 预应力混凝土构件设计的一般规定	224
9.3 预应力损失	227
9.4 预应力混凝土轴心受拉构件各阶段应力分析	238
9.5 预应力轴心受拉构件计算	244
9.6 预应力混凝土受弯构件各阶段应力分析	250
9.7 预应力混凝土受弯构件计算	254
9.8 先张法构件预应力筋的传递长度和锚固长度	278
9.9 后张法构件端部锚固区的局部承压验算	279
9.10 预应力混凝土构件的构造要求	283
小结	285
思考题	287
章节练习	287
第10章 装配式混凝土结构设计	291
本章提要	291
10.1 概述	291
10.2 装配式混凝土结构设计的基本原理	297
10.3 构件及连接设计	298
10.4 结构拆分设计	301
10.5 预埋件设计	302
小结	305

思考题	305
附录	306
附录 1 《混凝土结构设计规范》规定的材料力学指标	306
附录 2 钢筋、钢绞线、钢丝的公称直径、公称截面面积及理论质量	308
附录 3 《混凝土结构设计规范》的有关规定	310
附录 4 章节练习参考答案	312
参考文献	321

本章提要

1. 熟悉钢筋混凝土结构的一般概念，钢筋和混凝土协同工作的原因，以及钢筋混凝土结构的优缺点。
2. 了解钢筋混凝土结构在房屋建筑工程、桥梁工程、隧道及地下工程、水利工程及特种结构中的应用和发展。
3. 掌握近似概率理论的极限状态设计方法。
4. 了解混凝土结构课程的主要内容和学习方法。

1.1 钢筋混凝土结构概述

1.1.1 钢筋混凝土结构的基本概念

钢筋和混凝土是土木工程中重要的建筑材料。钢筋的抗拉、抗压能力都很强；混凝土的抗压能力较强而抗拉能力很弱。为了充分发挥两种材料的物理力学性能，把钢筋和混凝土按照合理方式配置在一起共同受力，使混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，就构成了钢筋混凝土结构构件。

图 1.1a 为一素混凝土简支梁。由试验可知，由于混凝土抗拉强度很低，在较小的外荷载作用下，梁下部受拉区边缘的混凝土即出现裂缝，一旦受拉区混凝土开裂，裂缝迅速发展，梁瞬时断裂或因变形过大不能继续承载而发生破坏；此时受压区混凝土的抗压强度远没有充分利用，梁的承载力很低，这类构件的破坏称为脆性破坏，即破坏时无明显预兆，是很危险的，工程不允许发生。

图 1.1b 为一钢筋混凝土简支梁，即在素混凝土简支梁的受拉区配置钢筋。由试验可知，在较小的外荷载作用下，梁的受拉区由钢筋与混凝土共同承受拉力，梁的受压区由混凝土承受压力。当荷载继续增加，受拉区的混凝土开裂，此时受拉区的混凝土退出工作，全部由钢筋承担拉力。因钢筋的抗拉能力强，如果配筋适当，梁需承受较大的外荷载才会破坏，破坏时受拉钢筋达到屈服强度，受压区混凝土的抗压强度也能得到充分利用。裂缝充分发展，梁的变形较大，有明显预兆。这类构件的破坏称为延性破坏，是工程希望发生的。

图 1.1c 为钢筋混凝土轴心受压柱。在混凝土中配置纵向受压钢筋和箍筋，与素混凝土柱相比，纵筋与混凝土共同承受压力，提高柱的承载力和变形性能，同时还可以减小柱截面尺寸，承担由于偶然作用引起的附加弯矩和拉应力，从而改善受压柱的受力性能。

因此混凝土内配置受力钢筋要满足两个条件：其一，变形一致，共同受力；其二，钢筋位置和数量正确。其主要目的是提高结构构件的承载能力和变形能力。

钢筋和混凝土是两种物理力学性能很不相同的材料，它们能够协同工作的主要原因是：

1) 钢筋与混凝土之间存在黏结力。混凝土结硬后，能与钢筋牢固地黏结^①在一起，相互传递内力。黏结力是这两种性质不同的材料能够共同工作的基础。

2) 两者的温度线膨胀系数很接近。钢材为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；混凝土为 $(1.0 \sim 1.4) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度变化时，钢筋与混凝土之间不会产生较大的相对变形而破坏黏结。

3) 钢筋埋置于混凝土中，混凝土对钢筋起到了保护和固定作用，使钢筋不容易发生锈蚀，且使其受压时不易失稳，在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。因此，在混凝土结构中，钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土保护层，这是保证二者共同工作的必要措施。

1.1.2 钢筋混凝土结构的特点

1. 钢筋混凝土结构的主要优点

1) 耐久性好。处于正常环境下，混凝土结构中钢筋受到保护不易锈蚀，所以混凝土结构具有良好的耐久性。

2) 耐火性好。混凝土为不良导热体，发生火灾时埋置在混凝土中的钢筋受高温的影响比裸露的木结构、钢结构要小得多，钢筋不会很快软化导致结构整体倒塌。

3) 整体性好。整浇或装配整体式钢筋混凝土结构具有很好的整体性，有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

4) 可模性。新拌混凝土是可塑的，可根据需要浇筑成各种形状和尺寸的钢筋混凝土结构。

5) 就地取材。砂、石是混凝土的主要成分，均可就地取材。在工业废料（如矿渣、粉煤灰）较多的地方，可利用工业废料制成人造骨料用于混凝土结构中。

2. 钢筋混凝土结构的主要缺点

1) 自重大。与钢结构相比，混凝土自身重力较大，它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构都是不利的。另外，自重大会使结构地震作用增大，对结构抗震不利。

2) 抗裂性差。如前所述，混凝土的抗拉强度非常低，因此，普通钢筋混凝土结构通常带裂缝工作。尽管裂缝的存在并不一定意味着结构发生破坏，但是它影响结构的耐久性和美观。当裂缝数量较多和开展较宽时，还将给人带来不安全感。对一些不允许出现裂缝或对裂

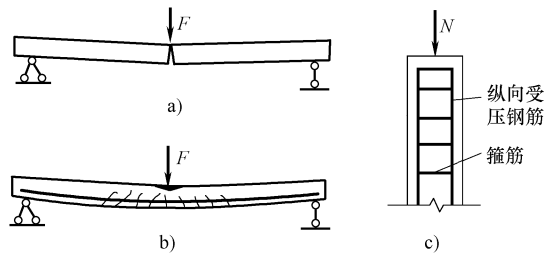


图 1.1 简支梁和轴心受压柱受力示意

a) 素混凝土梁 b) 钢筋混凝土梁

c) 钢筋混凝土轴心受压柱

^① 《混凝土结构设计规范》用“粘结”，但根据《新华字典》第7版，应使用“黏结”，本书统一用后者。

缝宽度有严格限制的结构，要满足这些要求就需要提高工程造价。

3) 混凝土结构施工工序复杂，周期较长，且受季节气候影响；对于现役混凝土结构，如遇损伤修复困难。

随着科学技术不断发展，混凝土结构也得到了改进和发展。如采用轻质、高强混凝土及预应力混凝土，可减小结构自重并提高其抗裂性；采用植筋或黏钢技术可对局部损坏的混凝土结构或构件进行有效的修复等。

1.2 钢筋混凝土结构的发展及应用

1.2.1 设计理论及规范发展史

混凝土结构计算理论发展，大体上可分为四个阶段。第一阶段是从钢筋混凝土发明至20世纪初。这一阶段，钢筋和混凝土的强度较低，主要用于建造中小楼板、梁、拱和基础等构件，按弹性理论进行计算。第二阶段从20世纪初到40年代。钢筋和混凝土强度有所提高，预应力混凝土开始出现，考虑材料塑性性能，并按破损阶段进行构件设计。第三阶段20世纪40年代到80年代。随着高强钢筋和高强混凝土的出现，各种现代化施工方法普及，混凝土的应用范围进一步扩大，如超高层建筑、大跨度桥梁、跨海隧道、高耸结构等；结构构件设计已过渡到按极限状态的设计方法。大致从20世纪80年代，混凝土结构发展进入第四阶段。尤其是近年来，大模板现浇的工业化、高层建筑新结构和空间结构的发展、计算机仿真技术的应用，以及非线性有限元分析方法的广泛应用，结构构件设计进入以概率理论为基础的极限状态设计方法。

我国混凝土结构设计规范发展也经历了四个阶段。第一阶段是从1949~1970年，为根据苏联规范，制定了《钢筋混凝土结构设计暂行规范》（结规6—1955）和《钢筋混凝土结构设计规范》（GBJ 21—1966）。第二阶段是从1971至20世纪80年代，为自主制定规范的起步阶段，也称“脱胎未换骨”阶段，制定了《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ 10—1974）和《建筑结构设计统一标准》（GBJ 68—1984），这一阶段因缺乏自己试验研究的成果，难以用数据说话，同时增加了预应力混凝土结构设计内容。第三阶段是1990~2002年，为跨越式发展阶段，制定了《混凝土结构设计规范》（GBJ 10—1989），这阶段主要特点是：以剪跨比区分的破坏形态修订斜截面承载力计算；修订受扭构件的设计方法，由纯扭构件的设计方法引入弯、剪、扭共同作用设计方法，剪-扭共同作用时，其相关性服从1/4圆曲线规律，提出了纵向钢筋与箍筋共同抗扭合理关系；提出了变角桁架计算模型以解释破坏现象和试验结果。第四阶段是从2002年至今，为全面与国际接轨阶段，制定了《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002），《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）。2015年在GB 50010—2010基础上进行局部修订，现行《混凝土结构设计规范》为（GB 50010—2010）（2015版）^①。这阶段主要特点是：

1) 材料方面，淘汰低强度材料，采用高强、高性能材料，提高资源利用率，落实“四节一环保”。以HRB400、500MPa级热轧钢筋为主，以高强钢丝、钢绞线为预应力筋的主导

^① 本书后文如未做特殊说明，《混凝土结构规范》均指此版规范。

品种；以 300MPa 级光圆钢筋取代了 235MPa 级钢筋，增加 C70、C80 混凝土强度等级，取消 C7.5、C10 两个混凝土强度等级。

2) 适当增加结构的安全储备及抗灾性能，注重结构的整体稳定性。

3) 补充了复合受力构件设计的相关规定，修改了受剪、受冲切承载力计算公式，由混凝土抗拉强度代替混凝土抗压强度作为基本参数，同时考虑高度影响系数和混凝土强度影响系数。

4) 调整了钢筋的保护层厚度、钢筋锚固长度和纵向受力钢筋最小配筋率的有关规定。

5) 补充、修改了正常使用极限状态验算、混凝土的耐久性设计、预应力混凝土构件的相关要求。

6) 进一步与国际接轨，实现与相关标准及土木工程其他专业规范的合理分工、协调。

1.2.2 工程应用

房屋建筑中的住宅和公共建筑，尤其是高层建筑，广泛采用钢筋混凝土结构。2014 年建成的上海中心（图 1.2），地上 127 层，总高度 632m。2017 年建成的深圳平安金融中心（图 1.3），地上 118 层，总高度 599m，外筒由 8 根型钢混凝土巨柱和 7 道巨型斜撑框架构成。2010 年阿联酋迪拜建成的哈利法塔（图 1.4），高达 828m，其中 600m 以下为钢筋混凝土结构，以上为钢结构。



图 1.2 上海中心



图 1.3 深圳平安金融中心



图 1.4 哈利法塔

特种工程中的烟囱、水塔、筒仓、储水池、电视塔、核电站反应堆安全壳、近海采油平台等很多也采用混凝土结构。目前世界上最高的电视塔是加拿大多伦多电视塔（图 1.5），塔高 533.3m，为预应力混凝土结构。上海东方明珠电视塔（图 1.6）由三个钢筋混凝土筒体组成，高 456m，居世界第三位。

桥梁工程中，中小跨度桥梁中有很大部分采用钢筋混凝土建造，结构形式有梁、拱、桁架等类型。大跨度桥常采用悬索结构、斜拉结构与混凝土组合。如港珠澳大桥，世界上最长的跨海大桥；杨泗港大桥，以 1700m 的跨度，刷新中国悬索桥新的纪录，建成后将是世界上跨度最大的双层公路悬索桥；丹昆特大桥，世界第一长桥，164.85km。

隧道及地下工程多采用混凝土结构建造。如成昆铁路有隧道 427 座，总长 341km，占全线长 31%。港珠澳大桥设计了一段 6.7km 的世界最长海底沉管隧道，隧道被埋设在海平



图 1.5 多伦多电视塔

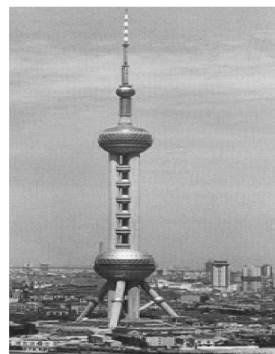


图 1.6 东方明珠

面以下，最深处超过 40m。

水利工程中的水电站、拦洪坝、引水渡槽、污水排灌管等均采用钢筋混凝土结构。目前世界上最高的重力坝为瑞士的大狄桑坝，高 285m。我国的三峡水利枢纽，水电站主坝高 185m，设计总装机容量 1820 万 kW，发电量居世界第一。

1.2.3 发展

随着技术发展，混凝土在材料、结构的试验和理论研究、结构形式方面都得到进一步发展。出现了高性能混凝土、纤维增强混凝土结构、钢与混凝土组合结构等。

1. 材料方面

(1) 高性能混凝土结构 具有高强度、高耐久性、高流动性及高抗渗透等优点，是今后混凝土材料发展的重要方向。《混凝土结构设计规范》将混凝土强度等级大于 C50 的混凝土划分为高强混凝土，能适应现代工程结构向大跨、重载、高耸发展和承受恶劣环境条件的需要。但因其具有较少的塑性和更大的脆性，与普通强度混凝土在结构计算和构造措施上有一定差别。

(2) 纤维增强混凝土结构 在普通混凝土中掺入适当的各种纤维可形成纤维增强混凝土，其抗拉、抗剪、抗折强度和抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗震、抗爆等性能均有较大提高。研究表明：钢纤维掺入量的体积分数为 1%~2%，混凝土的抗拉强度可提高 40%~80%，塑性变形能力大幅提高，因而获得较大发展和应用。目前应用较多的纤维材料有钢纤维、耐碱玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维混凝土等。钢纤维混凝土是将短的、不连续的钢纤维均匀地掺入普通混凝土制成的，用于机场的飞机跑道、地下人防工程、地下泵房、水工结构、桥梁与隧道工程等，目前我国已推出《钢纤维混凝土》(JG/T 472—2015) 规范。合成纤维（尼龙基纤维、聚丙烯纤维等）作为加筋材料，可以提高混凝土的抗拉、韧性、抗裂性等结构性能，用于各种水泥基板材，如图 1.7 所示。碳纤维具有轻质、高强、耐腐蚀、施工便捷等优点，已广泛用于建筑、桥梁结构的加固补强工程中，如图 1.8 所示。

2. 结构方面

(1) 试验研究 从单一构件到结构体系的受力状态研究；加强足尺试验测试节点构造；加强结构抗灾性能的试验研究，探讨后期超加载引起的大幅度挠曲、倾覆、压溃、断裂破坏



图 1.7 用纤维增强混凝土制作
25mm 厚雨篷



图 1.8 碳纤维加固梁板

形态及结构的解体和倒塌；开展结构原位加载试验的探讨（结构的原位加载试验更符合工程实际情况），编制原位加载试验的标准；提高试验研究的分析水平，提倡先分析后试验，多分析少试验，基本假定应有可靠的依据，机理分析应深入透彻，充分利用已有的试验资料，应用非线性有限元及概率统计等手段，提高试验和分析水平。

(2) 理论研究 开发约束混凝土的潜力。现代混凝土多处于复杂应力状态下，混凝土力学及强度准则探讨三轴应力状态下混凝土的力学行为。

(3) 结构体系 钢与混凝土组合结构出现。用型钢或钢板焊成钢截面，再将其埋置于混凝土中，使混凝土与型钢形成整体共同受力，称为钢与混凝土组合结构，如图 1.9 所示。常有形式：压型钢板与混凝土组合楼板、钢与混凝土组合梁、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构和外包钢混凝土结构等五类。钢与混凝土组合结构除具有钢筋混凝土结构的优点外，还有抗震性能好、施工方便、能充分发挥材料的性能等优点，因而得到广泛应用。如上海环球金融中心大厦的外框筒柱采用组合结构。



图 1.9 组合型钢梁施工

3. 未来十大混凝土智能技术

(1) 电磁屏蔽混凝土 电磁屏蔽混凝土主要用来防止高频电磁场的影响，从而有效地控制电磁波从某一区域向另一区域进行辐射传播。通过掺入金属粉末导电纤维等低电阻导体材料，在提高混凝土结构性能时，能屏蔽和吸收电磁波，降低电磁辐射污染，提高室内电信影像和通信质量。

(2) 净化空气混凝土 在砂浆和混凝土中添加纳米二氧化钛等光催化剂，制成光催化混凝土，分解去除空气中的二氧化硫、氮氧化物等对人体有害的污染气体。另外，还可通过物理吸附、化学吸附、离子交换和稀土激活等空气净化形式，起到有效净化甲醛、苯等室内有毒挥发物，减少二氧化碳浓度等作用。

(3) 温度自监控混凝土 通过掺入适量的碳纤维到水泥基材料中，使混凝土产生热电效应，实现对建筑物内部和周围环境温度变化的实时测量。通过水泥基复合材料的热电效应，也可能利用太阳能和室内外温差为建筑物提供电能。

(4) 调湿混凝土 通过添加关键组分纳米天然沸石粉制成调湿混凝土，可探测室内环

境温度，并根据需要进行调控，满足人的居住或美术馆等建筑对湿度的控制要求，相对于传统的利用温度及湿度传感器控制器和复杂布线系统，使用和维护成本低。

(5) 透水混凝土 具备良好的透水透气性，可增加地表透水、透气面积，调节环境温度、湿度，减少城市热岛效应，维持地下水位和植物生长，如图 1.10 所示。

(6) 生物相容型混凝土 利用混凝土良好的透水透气性，提供植物生长所需营养。陆地上可种植小草，形成植被混凝土，用于河川护堤的绿化美化；淡水海水中可栖息浮游动物和植物，形成淡水生物、海洋生物相容型混凝土，调节生态平衡，如图 1.11 所示。

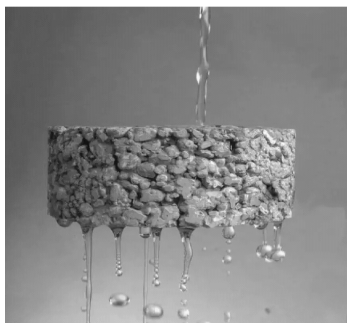


图 1.10 透水混凝土

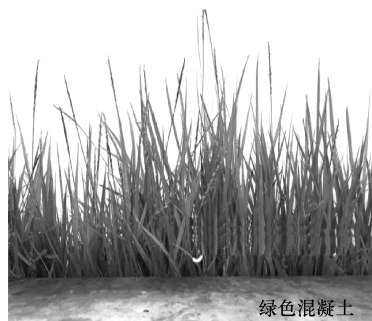


图 1.11 生物相容型混凝土

(7) 抗菌混凝土 在传统混凝土中加入纳米抗菌防霉组分，使混凝土具有抑制霉菌生长和灭菌效果。

(8) 再生混凝土 将废弃混凝土经过处理，部分或全部代替天然骨料而配制的新混凝土，减少城市垃圾，节约资源。

(9) 自修复混凝土 在混凝土混合物中嵌入微型水玻璃胶囊，当裂纹产生时，胶囊破裂并释放一种凝胶状愈合剂，变硬填补空隙，实现自我修复。

(10) CO₂ 建筑 鲍鱼能把海水中的二氧化碳和矿物质转化为碳酸钙来构建它们坚硬如岩石的贝壳。鲍鱼的硬壳启发了研究人员利用鲍鱼用来矿化 CO₂ 的酶来生产碳砖，实现 0.5kg 的 CO₂ 产生出 1kg 的固体碳酸盐。想象能利用 300 亿 t 的二氧化碳生产出多少碳砖！如图 1.12 所示。



图 1.12 CO₂ 建筑

1.3 近似概率理论的极限状态设计方法

1.3.1 概率极限状态设计法

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能（指结构的安全、适用、耐久）要求，此特定状态即为该功能的极限状态。结构能够满足功能要求而良好地工作，则称结构为“可靠”或“有效”。反之，则结构为“不可靠”或“失效”。

“极限状态”即区分结构“可靠”与“失效”的临界工作状态。

极限状态可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

1. 承载能力极限状态

结构或构件达到最大承载力、出现疲劳破坏、发生不适于继续承载的变形或因结构局部破坏而引发的连续倒塌，称为承载能力极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态：

- 1) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载。
- 2) 整个结构或其一部分作为刚体失去平衡。
- 3) 结构转变为机动体系。
- 4) 结构或结构构件丧失稳定。
- 5) 结构因局部破坏而发生连续倒塌。
- 6) 地基丧失承载力而破坏。
- 7) 结构或结构构件的疲劳破坏。

由上述可见，超过承载能力极限状态，结构就不能满足预定的安全功能要求。

2. 正常使用极限状态

结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值或耐久性能的某种规定状态称为正常使用极限状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- 1) 影响正常使用或外观的变形。
- 2) 影响正常使用或耐久性能的局部损坏。
- 3) 影响正常使用的振动。
- 4) 影响正常的其他特定状态。

由上述可见，超过正常使用极限状态，结构就不能满足预定适用性和耐久性的功能要求。

1.3.2 实用设计表达式

1.3.2.1 承载能力极限状态设计表达式

混凝土结构承载能力极限状态的计算内容包括：

- 1) 结构构件应进行承载力（包括失稳）计算。
- 2) 直接承受重复荷载的构件应进行疲劳验算。
- 3) 有抗震设防要求时，应进行抗震承载力计算。
- 4) 必要时尚应进行结构的倾覆、滑移、漂浮验算。
- 5) 对于可能遭受偶然作用，且倒塌可能引起严重后果的重要结构，宜进行防连续倒塌设计。

对持久设计状况、短暂设计状况和地震设计状况，当用内力的形式表达时，结构构件应采用下列承载能力极限状态设计表达式

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，房屋建筑的结构重要性系数不应小于表 1.1 的规定；

S ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值，对持久设计状况、短暂设计状况