

高等学校新体系土木工程系列教材

混凝土结构设计

朱彦鹏 主 编

杨 政 张贵文 王春青 副主编

高等教育出版社

014057326

TU370.4-43
47

高等学校新体系土木工程系列教材

混凝土结构设计

Hunningtu Jiegou Sheji

朱彦鹏 主 编
杨 政 张贵文 王春青 副主编



TU370.4-43

47

高等教育出版社·北京



北航

C1742819

38872010

内容提要

本书是高等学校新体系土木工程系列教材之一,根据高等学校土木工程学科专业指导委员会 2011 年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》并结合新颁布的相关专业规范编写而成。

本书共分 4 章,内容包括混凝土结构设计的原则和方法、钢筋混凝土楼盖结构设计、单层工业厂房结构设计和多层框架结构设计。为了便于实践环节教学,特别是课程设计需要,本书在楼盖设计、单厂设计和框架结构设计中均编写了工程设计实例。另外,在每章最后还编写了思考题和习题。

本书可作为高等学校土木工程专业教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计 / 朱彦鹏主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2014. 8

高等学校新体系土木工程系列教材

ISBN 978 - 7 - 04 - 040651 - 1

I. ①混… II. ①朱… 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 (2014) 第 161997 号

策划编辑 水 渊 责任编辑 水 渊 封面设计 李卫青 版式设计 童 丹
插图绘制 郝 林 责任校对 刘娟娟 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市文林印刷有限公司
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 19
字 数 460 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2014 年 8 月第 1 版
印 次 2014 年 8 月第 1 次印刷
定 价 29.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 40651 - 00

序

随着高等学校土木工程学科专业指导委员会 2011 年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的实施，同时，为及时将各高校精品课程建设与教学改革成果吸收固化到教材中去，向高校土木工程专业人才培养提供优质教学资源，高等教育出版社于 2012 年 8 月在桂林组织召开了“新体系土木工程系列教材组稿会”，邀请到西安建筑科技大学、西安交通大学、兰州理工大学、沈阳建筑大学、长沙理工大学、石家庄铁道大学等近 20 所高校的专家和教师参加了会议。

会上交流研讨了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的实施经验和新体系土木工程专业系列教材的编写原则与特色：以行业企业需求为导向，以工程实际为背景，以工程技术为主线，着力提升学生的工程素养，培养学生的工程实践能力、工程设计能力和工程创新能力。对系列教材的出版达成一致意见，希望通过各高校与我社的共同努力，出版一套符合新的专业规范，新体系的偏向“大土木”的系列化教材，更好地满足高校土木工程专业课程教学需求，对土木工程专业教材建设、资源建设起到积极的推动作用。

本系列教材的编写经过了编委会的审阅，以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处，恳请读者批评指正！

高等教育出版社
建筑与力学分社
2013 年 9 月

前 言

“混凝土结构设计”是“混凝土结构基本原理”的后续课程。本书参照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》建筑工程方向知识模块要求，并结合我国新颁布的相关专业规范编写，以适应土木工程专业的发展和教材更新的需要。本书在编写过程中力求做到理论阐述清楚，实践性强，每一章都给出了工程设计实例，目的是尽量地做到使学生通过本教材的学习不但能懂得梁板结构设计和楼梯设计、单层工业厂房设计和框架结构设计方法，而且能够实际设计这些结构。

本书主要针对的是混凝土建筑结构设计。内容涉及钢筋混凝土楼盖和楼梯结构设计、单层工业厂房结构设计和多层框架结构设计等。

编者在教学过程中发现有些本科院校，在土木工程专业建筑工程方向教学计划中的楼盖设计中开设了无梁楼盖，但大多数学校未开设，故本书 2.4 节无梁楼盖可作为选修内容。另外，由于大多数学校同时开设了“混凝土结构设计”和“高层建筑结构设计”课程，所以在本教材的编写中未列入高层框架-剪力墙结构设计内容，在钢筋混凝土框架结构的设计中增加了抗震设计内容。

全书共分 4 章，编写分工如下：第 1 章由兰州理工大学朱彦鹏编写，第 2 章由兰州理工大学王春青编写，第 3 章由兰州理工大学张贵文编写，第 4 章正文部分由西安交通大学杨政编写、4.7 节设计实例由朱彦鹏编写，附录由朱彦鹏整理，全书由主编朱彦鹏教授负责全面修改审定。研究生朱胜祥、马孝瑞、马金莲和陈琰娇等完成了本书部分工程实例的计算和绘图工作，在此对他们的辛勤劳动表示感谢。

湖南大学沈蒲生教授审阅了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，对此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 3 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第1章 混凝土结构设计的原则和方法 ··· 1

1.1 绪论 ·····	1
1.1.1 混凝土结构的发展历史 ·····	1
1.1.2 混凝土在我国国民经济中的地位 ···	3
1.1.3 现代混凝土结构的应用现状 ·····	3
1.1.4 混凝土结构的发展趋势 ·····	4
1.2 混凝土结构体系 ·····	7
1.2.1 结构的主要用途 ·····	7
1.2.2 建筑结构的类型 ·····	7
1.2.3 建筑结构的性能 ·····	7
1.3 结构布置原则 ·····	8
1.3.1 结构选型原则 ·····	8
1.3.2 结构布置原则 ·····	8
1.4 混凝土结构的设计方法 ·····	9
1.4.1 结构设计准备工作 ·····	9
1.4.2 确定结构方案 ·····	10
1.4.3 结构布置和结构计算简图 的确定 ·····	11
1.4.4 结构分析与设计计算 ·····	12
1.4.5 结构设计的成果 ·····	14
1.5 学习本课程应注意的问题 ·····	15
1.6 本书的主要内容 ·····	15
1.7 本书的学习重点 ·····	16
思考题 ·····	16

第2章 钢筋混凝土楼盖结构设计 ····· 17

2.1 楼盖结构分类及布置 ·····	17
2.1.1 楼盖分类 ·····	17
2.1.2 楼盖结构布置 ·····	19
2.1.3 楼盖设计中的注意事项 ·····	20
2.2 单向板肋梁楼盖 ·····	21

2.2.1 连续梁、板按弹性理论计算 ·····	21
--------------------------	----

2.2.2 连续梁、板考虑塑性内力 重分布的计算 ·····	27
-----------------------------------	----

2.2.3 单向肋板梁楼盖的截面设计 与配筋构造 ·····	32
-----------------------------------	----

2.2.4 单向板肋梁楼盖设计实例 ·····	37
-------------------------	----

2.3 双向板楼盖 ·····	51
-----------------	----

2.3.1 双向板的受力特点与试验结果 ·····	51
---------------------------	----

2.3.2 按弹性理论计算双向板内力 ·····	52
--------------------------	----

2.3.3 双向板支承梁的设计 ·····	54
-----------------------	----

2.3.4 双向板楼盖的截面设计与构造 ·····	55
---------------------------	----

2.3.5 双向板楼盖设计实例 ·····	57
-----------------------	----

2.4 无梁楼盖 ·····	61
----------------	----

2.4.1 无梁楼盖的受力特点和 试验结果 ·····	61
--------------------------------	----

2.4.2 无梁楼盖的内力计算 ·····	63
-----------------------	----

2.4.3 柱帽设计 ·····	65
------------------	----

2.4.4 无梁楼盖的截面设计与构造 ·····	68
--------------------------	----

2.4.5 无梁楼盖实例 ·····	69
--------------------	----

2.5 楼梯设计 ·····	76
----------------	----

2.5.1 现浇板式楼梯的设计与构造 ·····	76
--------------------------	----

2.5.2 现浇梁式楼梯的设计与构造 ·····	78
--------------------------	----

2.5.3 折线形楼梯的设计与构造 ·····	79
-------------------------	----

2.5.4 楼梯设计实例 ·····	80
--------------------	----

思考题 ·····	83
-----------	----

习题 ·····	84
----------	----

第3章 单层工业厂房结构设计 ····· 86

3.1 单层厂房结构的特点和体系 ·····	86
------------------------	----

3.1.1 单层厂房结构的特点 ·····	86
-----------------------	----

3.1.2 单层厂房结构体系 ·····	86
----------------------	----

3.2 单层厂房的结构组成和结构布置	88	3.6.5 基础梁的内力计算	154
3.2.1 单层厂房结构的组成	88	3.7 单层厂房排架设计实例	155
3.2.2 单层厂房结构布置	88	3.7.1 设计资料	155
3.2.3 单层厂房主要结构构件选型	97	3.7.2 结构方案及主要承重构件	155
3.3 排架的荷载计算及内力分析	102	3.7.3 计算简图及柱截面尺寸确定	156
3.3.1 排架结构单层厂房的荷载种类和传力路径	102	3.7.4 荷载的计算	156
3.3.2 排架结构的基本假定和计算简图	103	3.7.5 排架内力计算	159
3.3.3 排架结构的荷载计算	105	3.7.6 内力组合	165
3.3.4 排架结构的内力计算	113	3.7.7 柱的截面设计	165
3.3.5 排架结构的内力组合	118	3.7.8 基础设计	172
3.3.6 厂房排架内力分析中的整体空间作用问题	121	思考题	180
3.3.7 排架横向变形验算	124	习题	180
3.3.8 纵向柱距不等时的内力分析	125	第4章 多层框架结构设计	182
3.4 单层厂房柱的设计	126	4.1 框架结构的分类及结构受力特点	182
3.4.1 柱截面几何尺寸的拟定	126	4.2 结构布置和梁、柱尺寸及计算简图	183
3.4.2 矩形及工字形截面柱的配筋计算	129	4.2.1 框架体系的结构布置	183
3.4.3 矩形和工字形截面柱的构造	129	4.2.2 梁、柱截面尺寸及计算简图	187
3.4.4 柱牛腿设计	130	4.2.3 框架上的荷载	189
3.4.5 柱连接和预埋件设计	134	4.3 框架内力分析	192
3.4.6 抗风柱的设计	136	4.3.1 在竖向荷载作用下的近似计算——分层计算法	192
3.4.7 柱的运输与吊装验算	137	4.3.2 在水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	193
3.5 单层厂房屋盖结构及吊车梁的设计	138	4.3.3 在水平荷载作用下的近似计算——D值法	195
3.5.1 屋面板和檩条	138	4.4 在水平荷载作用下框架侧移计算	197
3.5.2 屋面梁和屋架	138	4.5 框架内力组合	200
3.5.3 托架	143	4.5.1 控制截面	200
3.5.4 天窗架	143	4.5.2 荷载效应组合	201
3.5.5 吊车梁设计	143	4.5.3 最不利内力组合	201
3.6 柱下独立基础及基础梁的设计	147	4.5.4 荷载布置与活荷载最不利位置	202
3.6.1 基础底面积的确定	147	4.5.5 梁端弯矩调幅	203
3.6.2 基础高度的确定	149	4.6 框架梁、柱截面设计	204
3.6.3 基础配筋计算	151	4.6.1 框架抗震设计的一般概念	204
3.6.4 基础的构造要求	152	4.6.2 框架梁的抗震设计	209
		4.6.3 框架柱的抗震设计	211

4.6.4 框架节点的设计	215	附录 1 等截面等跨连续梁在常用荷载	
4.7 框架结构设计实例	220	作用下的内力系数表	267
4.7.1 设计基本资料	220	附录 2 均布荷载作用下双向板	
4.7.2 框架计算简图及梁、		计算系数表	273
柱截面尺寸	220	附录 3 风荷载系数及排架柱顶	
4.7.3 框架内力计算	226	反力系数表	278
4.7.4 框架内力组合计算	247	附录 4 D 值法计算系数表	281
4.7.5 框架梁、柱截面设计	257	参考文献	290
思考题	265		
习题	265		

第1章 混凝土结构设计的原则和方法

结构是建筑物和构筑物的基本部分，它承担着建筑物和构筑物在施工和使用过程中可能出现的各种作用。为了安全、经济、适用地设计一个建筑物或构筑物中的结构，必须首先弄清它的功能和影响其功能的主要因素。从应用领域分，结构可分为建筑结构、桥梁结构、水电结构和其他特种结构。从材料种类分，可分为混凝土结构、钢结构、木结构、砌体结构以及组合结构等。建筑结构是建筑物的基本受力骨架。无论古代人为自己或家庭建造简单的掩蔽物，还是现代人建造可以容纳成百上千人生产、生活、贸易、娱乐的大空间，都必须用一定的材料，建造成具有足够抵抗能力的空间骨架，以抵御可能发生的各种作用力，这种骨架就是建筑结构，而混凝土结构是建筑结构中最主要的一种。

混凝土结构设计是研究混凝土结构的承载力、适用性和耐久性的一门应用科学，是土木工程专业(建筑工程方向)的一门专业课。本书将从混凝土楼盖、单层工业厂房和钢筋混凝土框架结构的结构分析和设计方法入手，为土木工程专业学生掌握本专业的专业知识奠定基础。

1.1 绪 论

1.1.1 混凝土结构的发展历史

自从1824年波特兰水泥问世，19世纪80年代美国人杰克逊应用预应力混凝土制作建筑配件，后又制作楼板，初步奠定钢筋混凝土在建筑工程中的应用基础。随着生产的需要，促进了人们对钢筋混凝土性能的试验、开展计算理论的探讨和施工方法的改进。进入20世纪以后，混凝土结构有了较快的发展，许多国家陆续建造了一些建筑、桥梁、码头和堤坝。1903年，美国在辛辛那提建成了世界第一幢混凝土结构高层建筑——英格尔大楼(Ingalls Building)，第一次世界大战(1914—1918)期间，混凝土结构多用在多层建筑基础和楼板中。20世纪30年代，混凝土开始应用于空间结构，如薄壳、折板，期间预应力混凝土结构也得到了广泛的应用。第二次世界大战(1939—1945)以后，城市建设的任务十分繁重，混凝土结构才得到了大规模的发展，于是加快了钢筋混凝土结构工业化施工方法的发展，工厂生产的预制构件也得到了较广泛的应用。由于混凝土和钢筋材料强度不断提高，钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的应用范围也在不断向大跨和高层发展，20世纪50年代混凝土建筑最高修建到20层，1958年即修建到38层，1962年达到50层，1968年又达到70层(美国芝加哥的湖岬大厦)，随之混凝土结构进入快速发展时期，混凝土结构在土木工程的各个领域开始大量使用，大量的混凝土多高层建筑、各式混凝土结构桥梁隧道、大坝出现在世界各地。随着社会经济的不断发展，大型复杂工程不断建设，高强度一直是混凝土材料发展的一个重要方向。这里需要指出的是混凝土的高强化只是指其抗压强度的高强化。作为主要的结构材料，抗压强度一直是混凝土

的主要性能指标；混凝土抗压强度取决于密实性，后者与耐久性密切相关，因此高抗压强度一直是优质混凝土的特征。近几十年来，混凝土的高强化取得了飞速进展。20 世纪 70 年代以前，混凝土抗压强度多在 30 MPa 以下，40 MPa 以上即为高强混凝土；20 世纪 70 年代以后，50 ~ 100 MPa 甚至更高强度的混凝土已用于高层建筑与桥梁工程。1972 年，62 MPa 的混凝土即用于芝加哥 74 层的水塔大厦 (Water - Tower Place)。目前，钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构已应用到土木工程的各个领域，成了一种主要的土木工程结构。

我国从 1889 年才开始有了水泥工业，1908 年在上海建造的电话公司大楼是中国最早的钢筋混凝土框架结构，从 20 世纪初到新中国成立前，我国的混凝土结构发展速度慢，使用量少。1949 年新中国成立后，混凝土结构才在建筑工程和土木工程中得到广泛应用，特别是从 20 世纪 80 年代以后，混凝土结构进入黄金发展期。到目前，我国成为世界上水泥产量、混凝土用量最多的国家，在我国出现了世界上数量最多的钢筋混凝土高层建筑、数量最多长度最长的混凝土桥梁、数量极大的混凝土码头、隧道和大坝。由于混凝土结构使用量的快速增加，也促进了混凝土结构计算理论、试验技术和施工技术的快速发展。近 20 年来高强混凝土在我国发展迅速，20 世纪 90 年代开始在超高建筑中使用 60 MPa 以上强度的混凝土，到目前我国已在很多工程中使用超过 100 MPa 的混凝土。可以预见，随着大跨、超高层等建筑的不断出现，150 MPa 以上的超高强混凝土将逐渐扩大其应用。20 世纪 80 年代起，混凝土耐久性问题的全球广泛关注，因为不少混凝土建筑退出服役不是由于强度不足而是由于混凝土材质劣化、耐久性降低造成的。要解决这些问题，就必须加速混凝土高性能化研究，大力提高混凝土的耐久性。这些研究工作都为混凝土结构在土木工程中的广泛使用奠定了基础。

混凝土结构在 19 世纪初期开始得到应用，它与石、砖、木、钢结构相比是相当年轻的，但是在这短短的 100 多年中，作为一种土木工程材料，在土木工程各个领域取得了飞速的发展和广泛的应用。到 1910 年，德国混凝土委员会、奥地利混凝土委员会、美国混凝土学会、英国混凝土学会等相继建立，从而促进了混凝土理论和应用的明显进步。从计算理论上讲，最初混凝土结构的内力计算和截面承载力设计都是按照弹性方法进行的。到了 20 世纪 30 年代，截面设计方法由弹性算法改进为按破损阶段算法。20 世纪 50 年代，随着对钢筋混凝土的进一步研究和生产经验的积累，以及将数理统计方法用于结构设计中，于是出现了极限状态设计法。

我国在 20 世纪 50 年代初期，钢筋混凝土的计算理论由按弹性方法的允许应力算法过渡到考虑材料塑性的按破损阶段设计法。随着科学研究的深入和经验的积累，于 1966 年颁布了按多系数极限状态计算的设计规范《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—66)。1970 年起又提出了单一安全系数极限状态设计法，并于 1974 年正式颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)，1991 年我国又颁布了近似全概率的可靠度极限状态设计法国家规范《混凝土结构设计规范》(GBJ 11—89)，2001 年颁布了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2001)，2008 年汶川地震后，混凝土结构经受了强烈地震的考验，大量按照国家不断修改的最新规范设计的混凝土结构在超过设计地震作用的情况下没有倒塌，甚至破坏轻微；说明我国混凝土结构设计理论和设计方法是基本正确可行的。但是，在地震中也发现了一些设计方法和构造设计不合理的地方。另外，随着技术与经济的发展，混凝土材料强度、钢筋质量和强度都有了很大的发展和提高，人们对混凝土结构设计的可靠度提出了更高的要求。因此，2010 年又颁布了《混凝土结构

设计规范》(GB 50010—2010),使混凝土结构设计理论和方法又上了一个新的台阶。本书将按照新规范介绍混凝土结构的分析和设计方法。

1.1.2 混凝土在我国国民经济中的地位

当今我国的基本建设已进入高速发展阶段,重大基础工程规模空前,城镇化高速推进。2006年我国混凝土产量近70亿吨,占全球的45%。2011年底我国高速公路总里程达8.5万公里,水电工程建设到2049年要达到24个三峡工程的装机总量。跨越大江、大河、深谷、海峡的大跨与超大跨桥梁工程建设正遍及全国各省。我国在建桥梁总量已达世界的50%。很多桥梁技术指标已达世界先进水平,如长度达36 km的胶州湾大桥(图1.1)。在国防防护工程建设方面,由于近代高科技武器发展迅猛,要求建造的防护工程必须具有超高防护能力,而且在备用期间还必须具有性能经久不衰的特点。这些超大型工程的发展无一不与混凝土材料息息相关,并对混凝土提出了高强度、高韧性、高流动性、高耐久性等新的、更高的要求。目前我国的基本建设工程在整个国民经济中不仅占有很大的比例,而且起着火车头的牵动作用。根据统计,世界上的财富大部分由建筑物及构筑物组成。据报道,美国全部财富的70%由市政设施、楼宇建筑和基建工程组成。在我国基本建设工程也是国家的主要财富。由于混凝土结构是基本建设工程的主体结构形式,因此国家总财富中混凝土占有相当大的部分。怎样把现代混凝土从应用技术提高到科学的境地,从而提高现代混凝土结构安全服役年限,是国家急需解决的重大理论课题,也是实现国家可持续发展的关键和重大工程建设的中中之重。



图 1.1 胶州湾大桥

1.1.3 现代混凝土结构的应用现状

目前钢筋混凝土结构应用已经到了一个较高的水平,从工程实践、理论研究和新材料的应用都有了较快的发展。

钢筋和混凝土均向高强度发展。工程上已大量使用了C80~C100强度等级的混凝土,而试验室配置出的最高强度已达 266 N/mm^2 。国外预应力钢筋趋向于采用高强度、大直径、低松

弛钢材。如热轧钢筋的屈服强度达到 $600 \sim 900 \text{ N/mm}^2$ 。为了减轻自重,各国都在发展各种轻质混凝土,如加气混凝土、陶粒混凝土等,其重力密度一般为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$,强度可达 50 N/mm^2 。为了改善混凝土的工作性能,国内外正在研究和应用在混凝土中加入掺合料以满足各种工程的特定要求,如纤维混凝土、聚合物混凝土等。

在工程实践方面,国外在建筑工业化方面发展较快,已从一般的构件标准设计向工业化建筑体系发展。推广梁板合一、墙柱合一的结构,如盒子结构体系、大型壁板体系等。工程应用上,目前,马来西亚吉隆坡的石油双塔大厦是世界上混凝土最高建筑,88层、总高452 m(图1.2);我国广州中信商业大厦是目前普通混凝土最高建筑,80层(地下2层),总高333 m;休士顿贝壳广场大厦,52层,总高215 m,是轻混凝土世界最高建筑;另外,德国修建的预应力轻骨料混凝土飞机库屋盖结构跨度达90 m;日本滨名大桥,采用预应力混凝土箱形截面,桥梁跨度超过240 m;俄罗斯和加拿大分别建成了533 m及549 m高的预应力混凝土电视塔。所有这些都显示了近代钢筋混凝土结构设计和施工水平日新月异的迅速发展。

现在举几个例子来说明一下混凝土的广泛用途。马来西亚吉隆坡的石油双塔大厦,曾经是世界最高的摩天大楼,直到2003年10月17日被台北101大楼超越,但仍是目前世界最高的双塔楼,也是世界第四高的大楼,楼高452 m,地上共88层,双塔的外檐为152 ft(46.33 m)直径的混凝土外筒,中心部位是74.8 ft $\times$ 75.4 ft 高强钢筋混凝土内筒,18 in 高轧制钢梁支托的金属板与混凝土复合楼板将内外筒连系在一起。4架钢筋混凝土空腹格梁在第38层内筒四角处与外筒结合。塔楼由一个筏式基础和长达340 ft 但达不到基岩层的4 ft $\times$ 9 ft 截面长方形摩擦桩,或者称为发卡桩承托。位于圆形与正方形重叠交接点位置处的16根混凝土柱子支承上部结构荷载。由此可以看出,混凝土结构的结实和耐用性好、承压力大的优点。我国广州的中信商业大厦是甲级智慧型商厦,大堂层高17.7 m,显得开阔气派,包括1幢80层办公楼、2幢38层附楼、4层商场裙楼及2层地下停车场。主楼高达391 m,是广州市标志性建筑,也是华南地区第一高楼,混凝土结构高333 m,是世界上最高的纯钢筋混凝土结构写字楼。2002年9月,附属中信广场的玻璃墙瀑布水景被命名为新世纪羊城八景之一,称“天河飘绢”,进一步确立了中信广场作为广州市标志性建筑的地位。从这里可以看出,混凝土结构对于建筑工程的巨大贡献。



图 1.2 马来西亚吉隆坡石油双塔大厦

1.1.4 混凝土结构的发展趋势

(1) 混凝土微结构的深入研究

在现代混凝土的组分中,水泥基胶凝材料起着将其他组分固结在一起的重要作用。胶凝材料在水化过程中形成的微结构是现代混凝土的细胞,其分布与组合影响着现代混凝土的各项宏

观性能。因此,探讨现代混凝土复杂的硬化浆体微观结构形成机理并提炼其微结构模型是当前本研究领域中至关重要的课题。同时,针对现代混凝土组分复杂的特点,有必要研究各组分对微结构形成的影响,组分之间的交互作用,水化速率与水化度对微结构的影响,以提炼现代混凝土的微结构模型。

(2) 高韧性、高抗拉强度混凝土的研发

波特兰水泥通常主要由 C_3S 、 C_2S 、 C_4AF 和 C_3A 四大矿物组成,水化后产生 C-S-H 凝胶及其结晶相。其中,C-S-H 和结晶 CH、钙矾石等的多少与形态决定了其胶结能力。由于这些矿物均为水化矿物,它们之间的作用力来源既有离子键、共价键的成分,又有相当一部分分子键力。离子键、共价键几乎没有塑性变形,分子键塑性变形能力也很小,这就从根本上决定了其低韧性和低抗拉强度。为解决现代混凝土脆性大的问题,迫切需要研发新型高韧性、高抗拉强度的现代混凝土。可考虑在此类混凝土的薄弱环节进行增韧。例如在 C-S-H 层间的硅氧键上接上阳性半聚合物,然后由其自行聚合,形成纤维状或胶膜状有机聚合物,填充空隙,提高韧性及抗拉强度。

新材料的应用已从根本上推动了结构设计的发展,首先是混凝土材料本身的不断改进。在混凝土抗压强度有大幅提高的同时,混凝土的抗拉强度也将会有很大的提高。现在,高性能混凝土的研究正方兴未艾,在可持续发展的思想指导下,21 世纪将是高性能混凝土和绿色高性能混凝土兴起和发展的时代。发展绿色高性能混凝土可充分利用各种工业废物,大力发展复合胶凝材料,最大限度地降低硅酸盐水泥的用量,使混凝土工程技术走上可持续发展之路。

各种纤维混凝土的应用能大大提高混凝土的抗拉强度和韧性。

钢筋的强度有新的提高,高强钢筋,首先是 HRB400、HRB500 级钢筋在混凝土结构中得到广泛的应用。另外,纤维增强塑料筋已开始得到应用。由此产生了新的问题,如刚度和裂缝控制等,需要进行新的研究。

混凝土和钢筋强度的不断提高,使预应力混凝土结构成为更合理的结构形式。我国已规划大力推进预应力混凝土的发展,预应力混凝土结构将获得更广泛的应用。

(3) 承载力与耐久性科学统一的服役寿命设计理论

现代混凝土服役过程中既承受荷载(静载、动载)又经受环境的双重和多重作用。大量的混凝土结构的过早失效是环境作用诱发混凝土内部化学演变和结构承载力下降双向作用的结果。其劣化过程包括微结构的演变、裂缝的发展乃至结构的失效,经由材料层面逐渐发展到结构层面。而当前所有的设计规范,往往只考虑结构的承载能力,并以静止的观点看待结构的抗力。近期推出的耐久性设计规范,往往只提出一些构造措施,缺乏科学的理论工具与计算公式,不能满足现实的需求。为此,研究并建立崭新的服役寿命设计理论是混凝土科研人员必须面对的责任。实现环境影响因素向力学效能的转换与探明结构性能的时变规律是建立新的服役寿命设计理论的两个关键问题。前者可提供在设计中考虑环境因素的科学依据,从而把耐久性因素以力或应力的形式引入设计规范;这一工作以多孔介质力学与热动力学为平台,以虚功计算为工具,将混凝土耐久性问题统一到力学的框架下;后者将提供材料与结构性能随时间的变化规律,以动态的观点及多尺度理论为根据,在设计过程中将其劣化过程、维修加固等统一考虑在内,真正实现混凝土结构服役寿命设计。

随着人们对混凝土的深入研究,钢筋混凝土结构在土木工程领域必将得到更广泛的应用。目前,钢管混凝土结构、钢骨混凝土结构和钢-混凝土组合结构的应用更加开拓了混凝土的使用范围。美国混凝土学会设想,在近期使混凝土的性质获得飞跃发展,把混凝土的拉、压强度比从目前的 $1/10$ 提高到 $1/2$,并且具有早强、收缩徐变小的特性。同时还预言,未来将会建造 $600\sim 900\text{ m}$ 的钢筋混凝土建筑,跨度达 $500\sim 600\text{ m}$ 的钢筋混凝土桥梁,以及钢筋混凝土海上浮动城市、海底城市和地下城市等。

(4) 钢筋混凝土结构的非线性和性能设计理论

① 从线性到非线性。过去在设计中,对结构一般仅进行线性分析。随着非线性分析理论和计算机技术的发展,对实际结构进行非线性分析已经进入实用阶段。这在新规范中已得到体现。

② 从侧重于安全到全面的侧重于性能。过去的混凝土结构着重点在于安全,而对于性能则要求较低,从而导致过宽的裂缝和过大的挠度。今后随着业主要求的不断提高,对裂缝和变形的控制将会更严。不但对荷载产生的裂缝要控制,对温度和干缩引起的裂缝也要严格控制。这就提出了新的挑战和研究课题。

③ 从侧重于使用阶段的结构到房屋“生命”的全过程。一幢混凝土结构房屋从施工、建成、使用、逐渐老化而丧失承载能力是一个“生命全过程”。过去的设计主要考虑的是正常使用阶段的情况,而对施工过程中和逐渐老化过程中的混凝土结构则研究较少,但在这两个过程中结构恰恰是最容易出问题的。随着时间的推移,大量的混凝土结构房屋进入老化阶段,从而推动了相关的检测和加固技术的发展。施工中的结构是时变的,要正确的预测其承载力,需要进行相应的检测和分析。这方面的研究已有所进展,其成果将引起设计观念的拓展和更新。

(5) 与多学科交叉和结合

① 房屋与机械的结合

例如,依靠机械装置可以升降、转动或平移的活动楼板;其形式有机械舞台活动台板、在舞台表演区中心部位设置的可以水平旋转的活动台板(转台),体育馆或其他多功能观众厅因比赛或演出的性质和内容不同、比赛场地或舞台需要改变而设置的活动看台。高层建筑旋转楼层,通称为“旋转餐厅”或“旋转观赏厅”,是20世纪60年代高层公共建筑中出现的一种新型楼层。

② 结构与现代控制理论和技术的结合

过去的房屋结构主要是被动地承受荷载,现在已进行了把现代控制理论用于房屋结构的研究,使结构可以根据外荷载的变化,调整自己的承载力特性,从而提高结构承受变化荷载的能力。在地震作用下的结构被动控制、半主动控制和主动控制结构的研究和应用方兴未艾,随着技术的发展,结构控制的研究成果将会更多地房屋结构中得到应用。

③ 结构与计算机技术的结合

计算机科学技术的发展使得其几乎向一切领域渗透。在混凝土房屋结构中也是如此,可以直接在房屋中应用计算机技术,如智能大厦。在房屋结构的设计中,越来越多的重复性、机械性的工作正在逐步被计算机取代,如结构分析、配筋、绘图等。结构设计程序化的程度越来越高,这使得设计者从繁重的重复性和机械性的工作中解脱出来,可以有更多的时间从事创造性的结构选型和优化等工作。

实际上,混凝土建筑结构学科可以与许许多多的学科进行交叉和结合,上述几个方面只是些举例而已。数学、力学、材料学、计算机科学甚至星际航行科学等都为建筑结构的发展带来了空前广阔的发展空间,新一代结构工程师正面临着新的机遇和挑战,他们的面前是一条既曲折又辉煌的道路。

1.2 混凝土结构体系

1.2.1 结构的主要用途

在土木工程中,结构的主要用途可分成四方面。

① 形成人类活动的空间。这个作用可以由板(平板、曲面板)、梁(直梁、曲梁)、桁架、网架等这类水平方向的结构构件和柱、墙、框架等这类竖直方向的结构构件组成的建筑结构来获得。

② 为人群和车辆提供跨越障碍的通道。同样可以用上述那些构件组成的桥梁结构来实现。

③ 抵御自然界水、土、岩石等侧向压力的作用。此作用可以用水坝、护堤、挡土墙、柔性支挡结构、泥石流拦挡坝、排导槽、防治滑坡的抗滑桩、隧道、地下工程等水工结构、土工结构、钢筋混凝土结构、钢结构和其他组合结构来实现。

④ 构成为其他专门用途服务的空间。可以用排除废气的烟囱、发射信号的电视塔、通讯信号发射塔、储存液体的油罐以及水池、贮料仓等特殊结构来获得。

1.2.2 建筑结构的类型

建筑结构主要是指提供人类生产和生活需要的工程结构,它主要包括工业与民用建筑工程。建筑结构的类型很多,按组成结构材料和结构形式可作如下划分。

① 以组成建筑结构的主要建筑材料划分可分为:钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构、砌体(包括砖、砌块、石等)结构、木结构、塑料结构、充气薄膜结构和膜结构等。

② 以组成建筑结构的主体结构形式划分为:混合结构、排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、拱结构、网架网壳结构、空间薄壁(包括折板)结构、膜结构、索膜结构、舱体结构等。

本课程主要研究混凝土建筑结构,其中包括混合结构中的楼屋盖结构和楼梯、排架结构、框架结构等。

1.2.3 建筑结构的性能

结构的性能首先是使结构骨架形成的空间能良好地服务于人类生活、生产的要求和满足人类对美观的需要。不同的使用和美观需要,要求有不同的建筑空间,以及采用与建筑空间相适应的结构形式;而合理的结构形式又必须与建筑使用和美观需要统一起来。因此,具有良好的工作性能,为使用和美观需要服务是建筑结构的主要功能。

结构另一功能应为能抵御自然界各种作用力,如作用于楼屋盖、墙体以及支撑结构上的重力荷载、设备家具、人类的各种活动荷载、风荷载、地震作用和由于温度变化、地基不均匀沉

降、混凝土收缩在结构中引起的各种作用力等，因而需要有抵抗力的功能。在正确施工和正常使用条件下，要使结构能抵抗各种作用力而不发生破坏，这是结构承载力问题。除承载力问题外，结构还需要其他的一些抵抗功能。例如，结构在各种力作用下不致倾覆，不致失稳，不致产生过大变形，具有耐久性，在偶然事件发生时仍能保持必需的整体稳定等，这是结构的核心功能。

结构的第三个功能应为充分发挥结构所采用材料的作用。材料是结构之所以存在的根本条件。结构问题，从某种意义上说，是结构所使用材料的性能以及怎样合理利用材料性能的问题。合理的利用材料就能使结构在抵御相同作用时所用材料最少或较少，这实质上是一个经济问题。一般说来，如果用最少的钱、最省的劳动力、最短的工期能最大限度地满足前述功能要求的话，当然是人们所期望的。所以，在进行结构设计时，需要对几种不同结构形式的方案比较分析，才能选用较为经济合理的结构形式。

1.3 结构布置原则

1.3.1 结构选型原则

结构一般是由水平承重结构、竖向承重结构和基础结构组成，水平、竖向和基础承重结构都有许多结构形式。水平承重结构包括有梁楼盖体系和无梁楼盖体系，屋盖结构还包括有檩屋架或屋面大梁体系和无檩屋架或屋面大梁体系。竖向承重结构有框架、排架、刚架、剪力墙、框架-剪力墙、筒体等多种体系。基础承重结构有独立基础、条形基础、筏板基础、桩基础、箱形基础、桩筏基础、桩箱基础等许多基础形式，地基有天然地基和人工地基等。

进行结构设计时，首先要选择合理的水平、竖向和基础承重结构的形式。结构选型是否合理，不但关系到是否满足使用要求和结构受力是否可靠，而且也关系到是否经济和是否方便施工等问题。结构选型的基本原则是：

(1) 满足使用功能要求；

(2) 满足建筑美观要求；

(3) 结构受力性能好；

(4) 施工简便；

(5) 经济合理。

1.3.2 结构布置原则

结构形式选定以后，要进行结构布置，即确定板、梁、柱、墙等合理布置问题。结构布置的是否合理，不但影响到使用，而且影响到受力、施工和造价等。结构布置的基本原则是：

(1) 在满足使用要求的前提下，沿结构的平面和竖向应尽可能地简单、规则、均匀、对称，避免发生突变；

(2) 荷载传递路线明确、简捷，结构计算简图简单并易于确定；

(3) 结构的整体性好，受力可靠；

(4) 施工简便；