



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

高层建筑结构设计

(第二版)

钱稼茹 赵作周 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

高层建筑设计

(第二版)

钱稼茹 赵作周 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑结构设计/钱稼茹等编著. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012.7

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 北京
市高等教育精品教材立项项目. 高校土木工程专业指导委
员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-14527-0

I. ①高... II. ①钱... III. ①高层建筑-结构设计
IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 166820 号

**普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
高层建筑结构设计
(第二版)**

钱稼茹 赵作周 叶列平 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京中科印刷有限公司印刷

》

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 25 字数: 485 千字
2012 年 8 月第二版 2012 年 8 月第二十一一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-14527-0

(22601)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是在第一版基础上，根据新颁布的《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3 - 2010 以及《建筑抗震设计规范》GB 50011 - 2010 等，对全书内容进行修订。本书主要内容包括：概述，结构体系，高层建筑结构荷载，设计要求，框架、剪力墙、框架-剪力墙结构的近似计算方法，钢筋混凝土框架构件设计，钢筋混凝土剪力墙设计，结构程序计算及筒体结构设计要点，民用建筑钢结构设计，高层建筑混合结构设计简介，消能减震结构设计简介等。

本书除可作高校土木工程专业教材外，还适合建筑工程专业工程技术人员及其他人员自学使用。

责任编辑：王 跃 吉万旺

责任设计：李志立

责任校对：王誉欣 关 健

第 二 版 前 言

本教材是在 2003 年中国工业出版社出版的“高层建筑结构设计”基础上编著的。近 10 年来,高层建筑在全国各大中小城市遍地开花,复杂高层建筑层出不穷,建筑高度突破 600m,主结构高度接近 600m。当前,我国是全球在建高层建筑(仅写字楼和酒店)最多的国家,其总量与美国现有高层建筑相当。高层建筑的高速发展成为我国经济高速发展的重要支柱之一,同时,也极大地推动了我国高层建筑结构设计、施工及科研水平的提高。2010 年及以后,我国有关建筑结构设计的规范、规程陆续颁布实施,新标准吸收了工程实践、科学研究的成果以及地震震害的经验教训,增加了大量新内容。

本教材保留了原教材的特点,除了按现行国家标准编写外,调整了以下几方面的内容:(1)比较系统地介绍了高层建筑的发展历史以及当前我国高层建筑的特点;(2)扩充了结构体系的内容;(3)将与各类结构(钢结构,钢筋混凝土结构,混合结构)有关的设计要求,集中在第 4 章介绍;(4)增加了程序计算的内容;(5)扩充了民用建筑钢结构设计、高层建筑混合结构设计的内容;(6)增加了消能减震结构设计实例。

本教材共 11 章,其中,第 1、2、4、6、7、9 章及 10.3 为钱稼茹编写,第 3、5、8 章为赵作周编写,10.1、10.2、10.4 及第 11 章为叶列平编写,由钱稼茹统稿。感谢中国建筑科学研究院建研建筑设计研究院孙建超教授级高工,为本教材 8.4、8.5 做了大量计算工作;感谢清华大学潘鹏副教授,为本教材第 11 章提供了算例。

本书可作为高等学校本科生的教材,也可作为建筑结构工程技术人员及有关人员的参考书。

编者对列入本教材参考文献的作者,以及没有列入参考文献但本教材采用了其成果的作者,表示感谢。

限于水平,本教材难免有不足,欢迎读者指正。

编者

于清华园 2012 年 7 月

第一版前言

1999~2002年,我国建筑结构的有关规范及规程完成了新一轮的修改,内容有较多更新。近年来,我国高层建筑设计及施工技术又有很大发展,高强混凝土技术已经成熟,钢筋混凝土结构仍然是高层建筑结构的主体,而高层建筑钢结构及混合结构也得到了较多应用;高层建筑的高度突破400m,高层建筑的体型和功能更加多样化,结构的复杂程度增加。凡此种种,编写新的高层建筑结构教材的任务势在必行。

这本教材是在1992年出版的“多层及高层建筑结构设计”(地震出版社)基础上修订的,原教材受到了广大师生的欢迎。本教材保留了原教材的重视概念、理论与实际相结合的风格,各章都有例题及思考题,内容适合于高等教育本科教学的要求。同时,增加和加强了下列各部分内容:(1)加强了结构体系介绍;(2)通过计算对比,阐述了空间结构及复杂结构设计的一些重要概念,例如框架-核心筒、框筒、伸臂、转换层等;(3)增加了程序计算部分的比重,减弱了手算方法公式的推导,但保留了手算方法及通过手算方法阐述结构受力变形规律和概念的内容;(4)以钢筋混凝土高层建筑结构为主,增加了钢结构及混合结构方案和设计基本方法的介绍,包括钢构件、钢骨混凝土构件及钢管混凝土构件的基本设计方法;(5)对消能减震结构做了简介。

本书是全国高等学校土木工程专业指导委员会的规划推荐教材,本书也适合建筑结构专业工程技术人员及其他人员自学。在学习本书时,读者应具备结构力学及钢筋混凝土基本构件的知识。

本书共分11章,其中1、3、4、5、8章由方鄂华教授编写,2、6、7、9章及10.3节由钱稼茹教授编写,10.1、10.2、10.4节及11章由叶列平教授编写。感谢中国建筑科学研究院建筑设计研究院的孙建超工程师,他在第8章的许多计算对比内容中做了大量计算工作。

如有不当之处,欢迎读者指教。

编者

于清华园 2003年7月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 国外的高层建筑	1
1.2 我国的高层建筑	8
1.3 高层建筑结构设计的特点	15
1.4 结构材料	16
第 2 章 结构体系	19
2.1 框架结构	19
2.2 剪力墙结构	24
2.3 框架-剪力墙结构	27
2.4 板柱-剪力墙结构	30
2.5 钢框架-支撑(延性墙板)结构	30
2.6 筒体结构	34
2.7 框架-核心筒结构	38
2.8 巨型结构	42
2.9 带转换层的结构	46
2.10 房屋建筑适用的最大高度及适用的高宽比	50
2.11 变形缝设置	53
2.12 基础形式	56
思考题	58
第 3 章 高层建筑结构荷载	59
3.1 风荷载	59
3.2 地震作用	70
思考题	87
第 4 章 设计要求	90
4.1 建筑形体及结构布置的规则性	90
4.2 楼层最小地震剪力系数及楼层地震剪力调整	99
4.3 截面承载力验算	102
4.4 变形验算	103
4.5 荷载效应组合及最不利内力	104
4.6 抗震设防类别	108
4.7 抗震等级	110

4.8 延性与耗能	113
4.9 舒适度	118
4.10 重力二阶效应及结构稳定	119
4.11 钢筋混凝土框架梁弯矩塑性调幅	121
思考题	125
第5章 框架、剪力墙、框架-剪力墙结构的近似计算方法	127
5.1 计算基本假定	127
5.2 框架结构的近似计算方法	128
5.3 剪力墙结构的近似计算方法	142
5.4 框架-剪力墙结构的近似计算方法	157
5.5 扭转近似计算	172
思考题	180
第6章 钢筋混凝土框架构件设计	183
6.1 延性框架的抗震设计概念	183
6.2 框架梁设计	186
6.3 框架柱设计	192
6.4 梁柱节点核心区抗震设计	203
6.5 钢筋的连接和锚固	206
思考题	214
第7章 钢筋混凝土剪力墙设计	216
7.1 延性剪力墙的抗震设计概念	216
7.2 墙肢设计	218
7.3 连梁设计	232
思考题	240
第8章 结构程序计算及筒体结构设计要点	242
8.1 建筑结构有限元计算方法及计算假定	242
8.2 框架结构计算模型的影响	252
8.3 剪力墙计算模型	259
8.4 筒体结构的受力特点及设计要点	267
8.5 框架-核心筒结构的受力特点及设计要点	275
思考题	285
第9章 民用建筑钢结构设计	287
9.1 一般规定	287
9.2 钢框架构件验算	290
9.3 中心支撑斜杆受压承载力验算	294
9.4 偏心支撑框架杆件承载力验算	295

9.5 构件长细比和板件宽厚比限值	297
9.6 连接设计	299
思考题	307
第10章 高层建筑混合结构设计简介	309
10.1 概述	309
10.2 钢筋混凝土构件设计	318
10.3 圆钢管混凝土柱设计	344
10.4 钢-混凝土组合梁板设计	358
思考题	362
第11章 消能减震结构设计简介	364
11.1 概述	364
11.2 阻尼器	367
11.3 消能减震结构设计要点	372
11.4 消能减震结构设计实例	376
11.5 其他减振(震)方法	386
思考题	387
参考文献	388

第 1 章 概 述

房屋建筑是随着人类活动的需要和社会生产的发展而发展起来的。根据层数和高度,房屋建筑可以分为低层建筑、多层建筑、高层建筑和超高层建筑。习惯上,1~3 层为低层建筑,10 层及 10 层以上的住宅建筑、高度超过 24m 的公共建筑为高层建筑,层数介于低层和高层之间的为多层建筑,高度超过 100m 的建筑也可称为超高层建筑。本教材介绍高层建筑(包括超高层建筑)结构设计,但结构设计原理和设计方法,同样适用于低层和多层建筑。

1.1 国外的高层建筑

国外最古老的高层建筑是埃及金字塔,最高的一座达 463 英尺即 141m,直到 4500 年后即 1880 年,德国建成哥特式的科隆大教堂,金字塔的高度才被突破。

1.1.1 现代高层建筑的形成期

现代高层建筑是商业化、城市化和工业化的产物,而现代高层建筑的发展离不开新材料、新结构和新技术的发展,一定程度上反映了一个国家以及一个地区的社会 and 经济发展水平。

现代高层建筑的历史始于 18 世纪末的工业革命。18 世纪后半叶,英、法的冶金工业成功地生产出熟铁。1789 年的法国大革命,使法国建筑的发展甚至工业革命受阻,而英国则继续向前发展,生产出铸铁,并将其用于工业建筑和商业建筑。19 世纪 40 年代,铁被官方认可、进入官方称为“建筑”(architecture)的领域。1848 年,伦敦西郊国立植物园的温室完全用熟铁建造。英法最早建造铁框架房屋建筑,但停留在低层建筑。

现代高层建筑起源于美国,其中心是纽约和芝加哥。19 世纪后半叶,纽约成为美国东岸的主要商业中心,芝加哥有水上运输和铁路运输的便利。很自然,纽约、芝加哥成为商业轴心,商贾云集,对办公、仓库、旅馆的需求,促成了现代高层建筑的出现。1856 年, Elisha Graves Otis 的第一部商用电梯安装在纽约曼哈顿的一幢 5 层商场;1859 年,第一部 Tuft 电梯安装在百老汇的第五大道旅馆,成为发展高层旅馆的起点。电梯为建造高层建筑创造了条件。19 世纪 60 年代后期和 70 年代初,一批在欧洲受过良好教育的建筑师和工程师回到美国,将静力分析的方法、材料技术、用概念和系统解决问题的方法以及铁结构建造房屋

的原理和方法等带到芝加哥。1871年，芝加哥的一场大火几乎将城市全部烧毁，大火推动了新建筑结构体系的开发，大火还说明，不燃的铁不能保证房屋建筑防火。其结果，促进了建筑幕墙的开发。上述种种因素，使美国成为现代高层建筑的发源地。

芝加哥的 William Jenney 设计了 1885 年建成的家庭保险大楼（Home Insurance Building）（图 1-1），家庭保险大楼达到了 11 层，被认为是第一幢高层建筑。家庭保险大楼采用熟铁梁—铸铁柱框架结构，局部有幕墙。Jenney 的另一个贡献是设计建造芝加哥的曼哈顿大楼（图 1-2），1890 年竣工。这是世界上第一幢 16 层的住宅建筑。



图 1-1 家庭保险大楼



图 1-2 曼哈顿大楼

随着冶金工业的发展，钢柱逐渐代替了铸铁柱，芝加哥的 Raliance 大楼是一幢最早的全钢框架结构（图 1-3），15 层，1895 年建成。这一时期的代表性建筑还有纽约的 Gillender 大楼（图 1-4），1897 年竣工，20 层。



图 1-3 Raliance 大楼



图 1-4 Gillender 大楼

1.1.2 现代高层建筑的发展期

20 世纪的前 60 年，是国外高层建筑的发展期，其中心是美国，主要是钢结构，钢筋混凝土结构不多。

1900 年前后，纽约建成了当时世界上最高的建筑，36 层钢结构 Park Row 大楼。1904 年，纽约 Darlington Building 接近完工时突然倒塌，从此，禁止建筑结构使用铸铁。1908 年，纽约建成 Singer 大楼（图 1-5），47 层，187m 高，是世界上第一幢比埃及金字塔高的现代高层建筑。1918 年，纽约建成 Woolworth 大楼，60 层，242m 高，是当时世界上最高的建筑。

1931 年，纽约帝国大厦（Empire State Building）建成（图 1-6），102 层，381m 高，钢框架结构，梁柱用铆钉连接，外包炉碴混凝土，使结构的实际刚度为钢结构刚度的 4.8 倍，对抗风有利。在当时建造这样高的建筑，不能不说是一个奇迹。帝国大厦保持世界最高建筑的记录达 40 年之久，是高层建筑发展史上的一个里程碑。

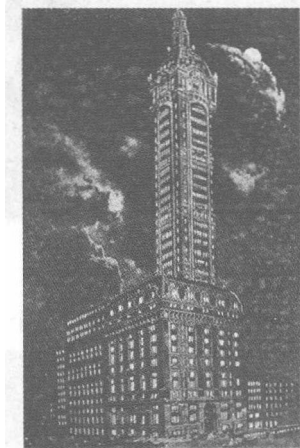


图 1-5 Singer 大楼



图 1-6 帝国大厦

1.1.3 现代高层建筑的繁荣期

20 世纪 60 年代至 90 年代初，是国外高层建筑发展的繁荣期。这一时期的主要特点为：发明筒体结构并用于工程，使建筑的高度更高，且在经济上可行；高强混凝土用于高层建筑；由钢筋混凝土构件和钢构件，发展为钢-混凝土组合构件，包括钢管混凝土柱；消能减震装置开始用于高层建筑；美国仍然是高层建筑发展的中心，日本、加拿大、东南亚国家、澳大利亚的高层建筑发展迅速。

1. 美国的高层建筑

(1) 发明筒体结构

20 世纪 60 年代初，美国城市化进程加快，城市人口剧增，地价暴涨，迫使

建筑向高空发展；同时，由于造价增加的速度快于高度增加的速度，房地产商要求降低造价。社会要求高层建筑在结构体系方面有所突破，更有效地利用建筑材料，从而使建筑更高，同时降低造价。

美国杰出的营造大师，Skidmore Owings and Merrill 设计公司的原结构总工程师 Fazlur R. Khan 博士发明了筒体结构这种新的高层建筑结构体系，包括框筒、桁架筒、筒中筒和束筒结构。他进行了大量的计算分析，研究筒体结构的可行性，提出了筒体结构的设计方法。

第一幢高层建筑钢结构框筒是在“9·11”事件中塌毁的纽约世界贸易中心大厦双塔（图 1-7），110 层，高 417m，平面尺寸为 63.5m×63.5m，柱距 1.02m，

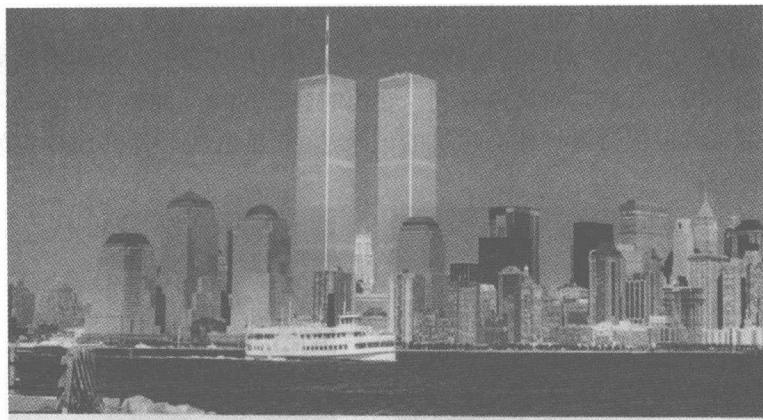


图 1-7 世界贸易中心大厦双塔

梁高 1.32 m，标准层的层高为 3.66m。每幢大楼安装了 1 万个黏弹性阻尼器，减小风振的影响。世贸中心大厦 1973 年建成，用钢量仅 $186\text{kg}/\text{m}^2$ ，其高度超过帝国大厦，成为当时世界上最高的建筑。

最著名的、也是第一幢钢桁架筒结构，是 Fazlur R. Khan 设计的芝加哥汉考克（John Hancock）中心大厦（图 1-8）。

对高层建筑发展特别是对休斯敦高层建筑的发展起到里程碑作用的是休斯敦第一贝壳广场大厦（One Shell Plaza）（图 1-9），50 层，217.6m 高，筒中筒结构，外框筒的柱距 1.8m，内筒由墙组成，1969 年建成。休斯敦的土质很差，基岩很深，经常遭到飓风袭击，一度认为不可能建造 50 层高的建筑。One Shell Plaza 采用轻骨



图 1-8 汉考克中心大厦

料混凝土，减轻结构重量，第一贝壳广场大厦至今仍然是世界上最高的轻骨料混凝土建筑。

第一个束筒结构是芝加哥的西尔斯（Sears）大厦（图 1-10），110 层，443m，1973 年竣工，用钢量 161kg/m^2 ，1998 年前一直是世界最高的建筑，至今仍然是世界最高的钢结构建筑。



图 1-9 第一贝壳广场大厦

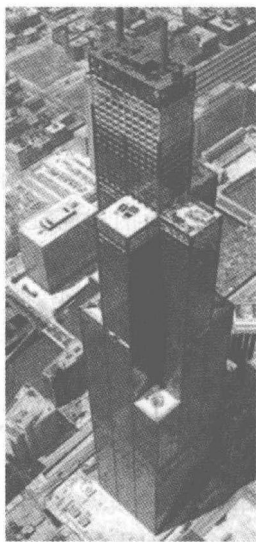


图 1-10 西尔斯大厦

筒体结构是高层建筑发展史上的里程碑，它能充分发挥建筑材料的作用，它的创新是多方面的，它使现代高层建筑在技术上、经济上可行，也使高层建筑的发展出现了繁荣期。

(2) 发明组合结构

现代高层建筑发展史上的另一个里程碑式的创新是钢和混凝土两者结合在一起的组合结构。组合结构几乎结合了钢结构和混凝土结构的所有优势，避免了两种结构的主要短处。

最早的组合结构是休斯敦的 20 层 Control Data 大楼：首先施工钢框架，然后在钢梁、钢柱外浇筑混凝土。

(3) 应用高强混凝土

高强混凝土是近 60 年来建筑材料方面最重要的发明创造。高强混凝土用于高层建筑有许多优点：减小柱的截面，增大可用空间；降低层高；减轻结构自重，降低基础造价等。

1967 年，芝加哥建成世界最早的高强混凝土高层建筑。Lake Point Tower，

70层, 197m高, 底层混凝土强度等级相当于C65。1971年, 芝加哥建成水塔广场大厦 (Water Tower Plaza), 79层, 262m高, 25层以下柱的混凝土强度等级相当于C75, 是当时世界上最高的钢筋混凝土建筑。1990年, 芝加哥建成311 South Wacker Drive大楼, 70层, 294.5m高, 底部楼层柱的混凝土强度等级相当于C95, 成为当时世界上最高的钢筋混凝土建筑。

(4) 采用钢管混凝土柱

高强混凝土具有强度高、弹性模量大等优点, 其主要缺点是脆, 即单轴受压时达到峰值应变后的变形能力小。高强混凝土用于地震区时, 需要解决“脆”的问题。最好的解决方法就是将高强混凝土填充在圆形钢管内, 成为钢管混凝土柱。

20世纪80年代末期, 美国西雅图建造了7幢钢管混凝土高层建筑, 其主要特点是: 竖向构件为钢管混凝土柱, 水平构件为钢梁-压型钢板、现浇混凝土楼板; 管内填充高强混凝土, 减小柱的截面尺寸, 同时利用其高弹性模量增大抗侧刚度, 混凝土圆柱体抗压强度最高达133MPa, 采用泵送技术。全部水平力由大直径钢管混凝土柱、跨越数层的大斜撑和钢梁组成的支撑框架结构承担, 同时设置小直径钢管混凝土柱承担竖向荷载。

20世纪90年代中期及以后, 美国新建的高层建筑已经不多, 高层建筑的发展主要是在环太平洋东岸。

2. 日本的高层建筑

日本是一个多地震的国家, 不但地震发生频繁, 而且经常发生强烈地震。1963年前, 日本建筑法规规定, 建筑物的最大高度为31m。以东京大学武藤清教授为代表的日本学者经过多年的研究, 在建筑结构的抗震设计理论和方法方面取得了重大突破。1964年, 日本取消了建筑高度的限制, 高层建筑走上了快速发展的道路。

1965年, 日本东京建成第一幢钢结构高层建筑: 新大谷饭店, 22层, 78m高。1968年建成霞关大厦, 36层, 147m高。进入20世纪70年代, 日本的高层建筑更多、高度更高, 大都采用钢框筒-预制混凝土墙板结构。墙板的种类包括: 带竖缝墙、带横缝墙和內藏钢板支撑混凝土墙等。代表性的建筑有: 东京新宿三井大厦, 55层, 212m高, 1974年建成; 东京阳光大厦 (图1-11), 60层, 226m高, 1978年建成; 新宿住友大厦, 52层, 200m高, 1974年建成; 新宿中心大厦, 54层, 216m高, 1979年建成。这些建筑的平面都是矩形, 结构布置对称规则。1993年建成的横滨地标大厦 (图1-12), 73层, 296.3m高, 钢结构巨型框架。

日本的高层建筑主要是钢结构。20世纪80年代, 开始建造30层左右的钢筋混凝土结构, 进入21世纪, 钢筋混凝土高层建筑的数量增多, 至2007年, 日本全国约有600栋钢筋混凝土高层建筑。日本的钢筋混凝土高层建筑主要采用内

外筒都是密柱框架的筒中筒结构或框架结构，其中许多建筑采用隔震或消能减震。除了现浇，日本的很多钢筋混凝土高层建筑采用预制梁、柱的装配整体式结构，高度最大的达到 58 层、196m。



图 1-11 东京阳光大厦

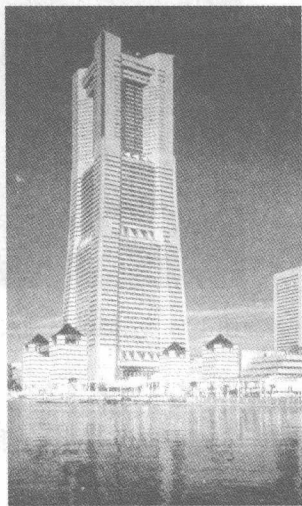


图 1-12 横滨地标大厦

3. 亚洲其他国家的高层建筑

东南亚的新加坡、泰国和马来西亚等国家的高层建筑也迅速发展。早期的高层建筑有：新加坡的国库大厦，1986 年建成，52 层，234.7m 高（图 1-13），其核心为圆形钢筋混凝土筒，直径 48.4m，钢梁从核心筒壁向外悬挑，悬挑长度达 11.6m，成为支承楼面的梁。马来西亚银行大厦，1988 年建成，50 层，243.5m 高，钢筋混凝土结构。泰国曼谷的拜约基大厦 II，1997 年建成，85 层，304m 高。

1998 年，马来西亚吉隆坡建成了当时世界最高的建筑：石油双塔（Petronat Twin Tower，图 1-14），88 层，建筑高度 452m，钢筋混凝土框架-核心筒结构，采用高强混凝土，自下而上混凝土强度从 80MPa 变化至 40MPa，采用钢梁、压型钢板和现浇混凝土组合楼盖。

目前世界上最高的建筑是阿拉伯联合酋长国迪拜的哈力法塔（图 1-15），也称迪拜大厦、比斯迪拜塔，160 层，建筑高度 828m，2004 年 9 月 21 日动工，2010 年 1 月 4 日竣工启用。

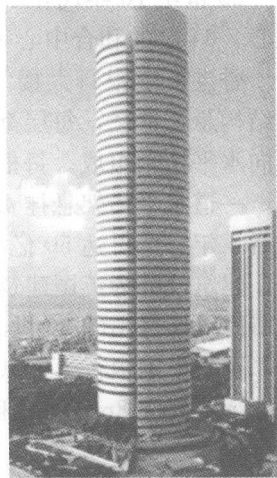


图 1-13 新加坡国库大厦

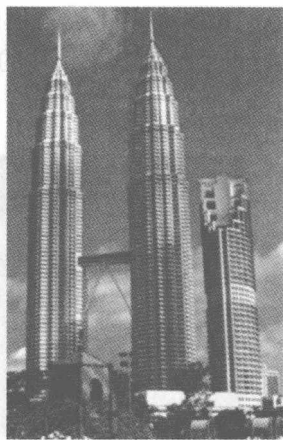


图 1-14 吉隆坡石油双塔

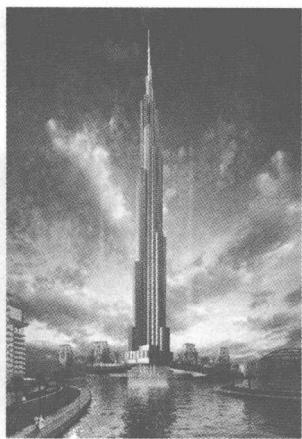


图 1-15 哈利法塔

1.2 我国的高层建筑

我国古代高层建筑主要是宝塔和楼阁，诸如应县木塔、黄鹤楼、滕王阁等，一般为砖结构、木结构或砖木结构。有些宝塔、楼阁经受了数百年的风吹雨打，甚至经受了战乱、地震，至今仍保持完好。

1.2.1 港、台的高层建筑

香港地区的高层建筑起步早、发展快，至今仍不断有新的高层建筑出现。

20 世纪 70 年代和 80 年代初，香港建成了一批高层建筑，包括 50 层的华润中心、64 层的和合中心等。

香港汇丰银行大楼（图 1-16），1985 年建成，43 层，175m 高，矩形平面，钢结构悬挂体系，每层都有很大的开敞空间。悬挂体系由 8 根格构柱和 5 层纵、横向水平桁架组成。每根格构柱由 4 根圆钢管柱和连接钢管柱之间的变截面梁组成。一道水平桁架悬挂 4~7 层楼盖。汇丰银行大楼从拆除旧楼开始到新楼建成，前后 4 年，造价达 50 亿港元。汇丰银行大楼是一幢非常独特的建筑，经方案竞赛，建筑设计为英国建筑师，其设计理念是要能适应 21 世纪发展的需要。在香港市民投票选出的 20 世纪香港十大工程中，汇丰银行大楼为其中之一。

香港中国银行大楼（图 1-17），1989 年建成，70 层，315m 高，屋顶天线的顶端高度为 368m。采用巨型支撑框架结构。部分斜杆外露，整幢大楼宛如光彩夺目的蓝宝石。

香港中环广场大厦，1993 年建成，75 层，屋顶标高 301m，屋顶天线顶端高度为 374m，切角的三角形平面，钢筋混凝土筒中筒结构，4 层以下外框的柱距