

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

高层建筑结构设计

张世海 张力滨 卢书楠 主 编
毛继泽 许开成 副主编
郭院成 主 审



科学出版社

内 容 简 介

高层建筑设计是土木工程专业的一门理论与实际联系密切、需要融合利用多门课程知识来综合解决实际工程关键设计问题的专业课。本书内容包括绪论、结构选型和布置、荷载作用与设计规定、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、楼盖与转换层结构、钢结构、钢-混凝土组合结构、地基基础、分析软件简介。本书内容按新规范编写,体现了高层结构的系统观、整体观与大工程观;较好实现了10个方面内容的结合:设计理论与规范、结构选型与结构布置、整体结构分析与具体构件设计、概念设计与构造措施、上部结构与地基基础、混凝土结构与钢结构及其组合结构、传统结构与新型结构及典型案例、竖向抗侧力结构与楼盖及转换层结构、内力分析方法与设计软件、课内学习内容与课外自学内容等。本书具有与当前工程实际结合紧密、图文并茂、通俗易懂、系统实用等特点。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供相关专业的工程设计、施工和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑设计/张世海,张力滨,卢书楠主编. —北京:科学出版社, 2013

(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-036265-0

I. ①高… II. ①张…②张…③卢… III. ①高层建筑-结构设计-教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第308628号

责任编辑:任加林 / 责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:25 1/2

字数:527 400

定价:46.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

加快城市化进程是我国一项长期社会发展战略。随着我国经济社会的持续快速发展,我国的城市化水平已由 1949 年的 10.6%、1980 年的 19.4%、2000 年的 36.2% 迅速增至 2011 年的 51.3%,预计到 2030 年将达到 60% 左右。城市化水平的持续提高,使城市人口增多、地价上涨,为充分利用城市土地资源,提高城市吸纳能力与综合效益,缓解城市膨胀及房屋的供需矛盾,改善城市环境,高层建筑的数量与建设速度将持续增长,且其功能、方案与形状日益复杂,高度、规模、荷载、埋深、施工难度与投资日益增大,高层结构的高新技术含量与可供选择的结构形式增多;高层结构设计需考虑的因素复杂,需要的知识与经验信息增多,难度与风险增大,设计不当后果严重,高层建筑与城市社会发展的关系日益密切。系统全面地了解和掌握高层建筑结构设计的内容、过程、理论方法,是丰富完善高等学校土木工程专业学生知识结构、提升其综合解决实际工程问题能力的重要需求。

与多层建筑相比,高层结构设计往往不只是由竖向荷载控制,而水平方向的风荷载与地震作用往往也起着重要控制作用;高层结构设计内容涉及结构选型与布置、荷载计算、内力分析、构件设计、构造要求等方面,其中高层建筑抗侧结构的选型与布置成为结构设计的关键,它对整个结构综合性能具有决定性影响;而结构形式与结构布置方案确定、荷载计算、内力分析、构件设计与构造措施等,均需要融合利用多门前置课程知识来综合解决,要使学生在短时间内转变传统多层建筑结构设计思维模式,实现从多层到高层、从结构的竖向荷载为主到水平与竖向荷载同时存在、从单一课程理论与方法到综合利用多门课程理论与方法、从简单构件到复杂结构体系、从具体的确定性设计到概念设计等设计观念与方法的转变,掌握并达到综合利用多门课程知识来解决高层结构设计所遇到的有关问题能力,对学生来说是比较困难的,但对工程技术人员来说是必须具备的最基本工程素养,这也是本课程学习与编写的难点。为此,根据全国高等学校土木工程专业指导委员会关于该课程教学大纲的要求,紧密结合我国现行最新的相关规范规程及编者的高层结构设计经验与有关教学和科研成果,编写了本教材。本书采用循序渐进,与现行新规范及工程设计实际紧密结合,注重运用知识解决工程问题的创新能力和工程素养培养,能适当反映高层结构工程实践的新发展,系统实用,图文并茂,突出和加强建筑结构选型与结构布置设计原则与方法等内容的编写思路安排内容,即首先从宏观上介绍了高层建筑结构的产生发展与展望、结构系统的分类构成与特征、结构设计特点及内容与过程;然后,按照结构设计的过程与内容分别进行专题分析,包括结构选型与布置、结构上的作用、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、楼盖与转换层、高层钢结构、钢-混凝土组合结构、基础设计等;最后,简要介绍了结构设计分析软件。本书还列举了有关典型的工程实例和实用图表,可供读者及设计人员参考,较好实现了设计理论与设计实践及规范、整

体结构选型与单体结构及构件设计、结构分析与概念设计及构造、上部结构与下部结构及地基基础、混凝土结构与钢结构及其组合结构、传统结构与新型结构及典型案例介绍、竖向抗侧力结构与楼盖及转换层结构、课内学习与课外自学及设计软件等的结合,可作为高等学校土木工程等专业教科书,还可供有关工程设计及科研人员参考。

由南阳理工学院张世海、张世忠编写第1、2章,哈尔滨理工大学卢书楠编写第3章,东北林业大学张力滨和哈尔滨理工大学卢书楠编写第4章,张力滨编写第5章,哈尔滨工程大学毛继泽编写第6、7章、山西大同大学高峰编写第8章、哈尔滨工程大学侯钢领编写第9章、华东交通大学许开成编写第10章,哈尔滨工业大学王绍君编写第11章,南阳理工学院张扬编写第12章。张世海和张力滨负责制定编写大纲,张世海进行了统稿。郑州大学郭院成教授审阅了全部书稿,并提出了很多宝贵的建议和具体的修改意见,作者在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促及编者水平所限,书中难免会有疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年3月16日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 高层建筑结构的产生发展与展望	1
1.1.1 高层建筑结构的产生与发展	1
1.1.2 高层建筑发展的趋势与展望	7
1.1.3 高层结构的发展与展望	8
1.2 高层建筑结构体系的组成与分类	9
1.2.1 高层建筑分类	9
1.2.2 高层结构系统的组成与分类	10
1.3 高层竖向抗侧力结构系统及特征	13
1.3.1 框架结构	13
1.3.2 剪力墙结构	14
1.3.3 框架-剪力墙结构	16
1.3.4 筒体结构	18
1.3.5 框架-筒体结构 (包括单筒结构)	18
1.3.6 筒体结构 (筒中筒)	19
1.3.7 巨型框架结构	20
1.3.8 巨形桁架结构 (或桁架筒结构)	20
1.3.9 具有刚性水平构件的结构	22
1.4 高层建筑结构设计的主要特点	22
1.4.1 水平荷载是结构设计的主要因素	22
1.4.2 侧移是结构设计的主要控制目标	23
1.4.3 轴向变形和剪切变形的影响不容忽视	24
1.4.4 建筑结构形式设计是结构设计的关键	25
1.4.5 概念设计与理论分析计算同等重要	25
1.4.6 结构延性是重要的设计指标	25
1.4.7 减轻建筑结构自重更必要	25
1.5 高层建筑结构设计的内容与过程	26
1.5.1 建筑工程设计内容与阶段	26
1.5.2 结构设计的过程与内容	27
思考题	28
第 2 章 高层建筑结构选型和结构布置	29
2.1 概述	29
2.2 建筑与结构选型的关系	29

2.2.1 建筑体型与建筑方案优选	29
2.2.2 结构形式与结构方案优选	30
2.2.3 建筑选型与结构选型设计的关系	30
2.3 建筑选型设计的影响因素	31
2.4 高层建筑选型设计原则	32
2.5 高层结构选型影响因素	37
2.6 高层结构选型设计原则	39
2.7 结构布置原则	44
2.7.1 结构平面布置原则	45
2.7.2 结构竖向布置原则	47
2.7.3 复杂高层建筑结构布置原则	48
2.8 高层建筑结构概念设计原则	51
2.8.1 选择有利地段原则	52
2.8.2 减少地震能量输入与结构地震作用原则	53
2.8.3 恰当确定抗震设防参数和结构抗震等级原则	53
2.8.4 选择有利于抗风和抗震的建筑体型原则	57
2.8.5 选择优化的结构体系型式原则	59
2.8.6 合理的结构布置原则	59
2.8.7 设置多道抗震防线原则	59
2.8.8 恰当确定结构分析模型原则	60
2.8.9 精心进行结构构件设计原则	60
2.8.10 加强结构构造设计原则	61
小结	61
思考题	61
第3章 高层建筑结构荷载作用与结构计算基本规定	62
3.1 概述	62
3.2 竖向荷载	62
3.2.1 恒载	62
3.2.2 楼面活荷载	63
3.2.3 屋面活荷载	64
3.2.4 雪荷载	64
3.3 风荷载	65
3.3.1 风荷载的特点	65
3.3.2 风荷载标准值	66
3.3.3 基本风压	67
3.3.4 风压高度变化系数	67
3.3.5 风荷载体型系数	68

3.3.6 风振系数	70
3.3.7 总风荷载	72
3.3.8 局部风荷载	73
3.3.9 横风向风振	73
3.4 地震作用	74
3.4.1 地震的基本知识	74
3.4.2 抗震设防目标及基本方法	74
3.4.3 抗震计算方法	76
3.4.4 水平地震作用计算	77
3.4.5 竖向地震作用计算	81
3.5 高层建筑结构计算的基本规定	82
3.5.1 结构计算的一般规定	82
3.5.2 荷载效应和地震作用效应组合	84
3.5.3 构件承载力计算	86
3.5.4 重力二阶效应和结构稳定	87
3.5.5 水平位移限值及舒适度要求	90
小结	96
思考题	97
第4章 框架结构设计	98
4.1 概述	98
4.1.1 框架的受力变形特点	98
4.1.2 框架结构的分类	98
4.1.3 框架结构的布置	99
4.1.4 梁柱截面尺寸估定及刚度取值	100
4.2 竖向荷载作用下的内力近似计算	105
4.3 水平荷载作用下的内力近似计算	106
4.3.1 反弯点法	106
4.3.2 D值法	109
4.4 水平荷载作用下侧移的近似计算	118
4.5 框架结构的内力组合	121
4.5.1 控制截面的选取	121
4.5.2 竖向活荷载的最不利布置	122
4.5.3 梁端弯矩的调整	124
4.6 框架梁的设计	125
4.6.1 框架梁的破坏形态	125
4.6.2 框架梁的承载力计算	126
4.6.3 框架梁的构造要求	128

4.7 框架柱设计	129
4.7.1 框架柱的破坏形态	129
4.7.2 影响框架柱延性的因素	130
4.7.3 框架柱的承载力计算	131
4.7.4 框架柱的构造要求	134
4.8 框架节点设计	137
小结	141
思考题	141
第5章 剪力墙结构设计	142
5.1 概述	142
5.2 剪力墙结构计算的基本假定	143
5.3 剪力墙结构的分类与计算方法	144
5.3.1 剪力墙的分类	144
5.3.2 剪力墙的计算方法	145
5.4 整截面剪力墙的内力和位移计算	146
5.4.1 内力计算	146
5.4.2 位移计算	146
5.5 整体小开口剪力墙的内力和位移计算	148
5.6 双肢剪力墙的内力和位移计算	149
5.7 壁式框架的内力和位移计算	161
5.7.1 壁式框架计算简图	161
5.7.2 壁式框架内力计算	162
5.7.3 壁式框架位移计算	165
5.8 短肢剪力墙的设计要求	165
5.8.1 应用范围	165
5.8.2 加强措施	166
5.8.3 截面高度与厚度之比小于5的短肢剪力墙	166
5.9 剪力墙分类的实用判别方法	167
5.10 剪力墙的截面设计	168
5.10.1 墙肢正截面承载力设计	168
5.10.2 墙肢斜截面承载力计算	171
5.10.3 连梁承载力计算	173
5.11 剪力墙的构造要求	175
5.11.1 一般规定	175
5.11.2 约束边缘构件和构造边缘构件	176
5.11.3 连梁及开洞的构造要求	179
小结	180

思考题	180
第 6 章 钢筋混凝土框架-剪力墙结构	182
6.1 框架-剪力墙结构概述	182
6.1.1 结构特点	182
6.1.2 结构形式及高度限值	183
6.1.3 结构布置	183
6.2 框架-剪力墙结构的内力计算	186
6.2.1 基本假定及计算简图	186
6.2.2 基本计算参数	188
6.2.3 结构按铰接体系计算	191
6.2.4 结构按刚接体系计算	199
6.2.5 各剪力墙、框架梁柱和连梁的内力计算	203
6.3 框架-剪力墙结构协同工作性能	205
6.3.1 侧向位移特征	205
6.3.2 荷载与剪力的分布特征	205
6.3.3 连梁刚接对侧移和内力的影响	207
6.4 框架-剪力墙结构截面设计与构造要求	207
6.4.1 带边框剪力墙的构造要求	207
6.4.2 板柱-剪力墙结构截面设计与构造要求	208
6.4.3 剪力墙的竖向和水平分布钢筋	210
6.5 框架-剪力墙结构设计实例	210
6.5.1 基本计算参数	210
6.5.2 水平地震作用	214
6.5.3 水平位移验算	217
6.5.4 水平地震作用下总剪力墙、总框架和总连梁的内力计算	218
6.5.5 连梁刚接时构件内力计算	220
6.6 框架、剪力墙及框架-剪力墙结构考虑扭转效应的近似计算	224
6.6.1 结构侧向刚度与刚度中心	224
6.6.2 水平荷载的分配	225
小结	227
思考题	228
第 7 章 筒体结构设计	229
7.1 筒体结构概述	229
7.1.1 结构类型	229
7.1.2 受力特点	231
7.1.3 结构布置	235
7.2 筒体结构的计算方法	238

7.2.1 等效槽形截面近似估算方法	238
7.2.2 等效平面框架法-翼缘展开法	239
7.2.3 空间杆系-薄壁柱矩阵位移法	241
7.3 筒体结构截面设计与构造要求	241
小结	243
思考题	244
第8章 高层建筑楼盖与转换层结构设计	245
8.1 高层建筑楼盖与转换层结构概述	245
8.1.1 高层建筑楼盖与转换层设计中的几个基本概念	245
8.1.2 高层建筑楼盖的常见形式	246
8.1.3 转换层的常见形式	247
8.2 楼盖与转换层结构布置	248
8.2.1 高层建筑楼盖与转换层结构方案选择	248
8.2.2 高层建筑楼盖布置	250
8.2.3 转换层的结构布置	252
8.3 高层建筑钢筋混凝土楼盖设计	255
8.3.1 梁板式楼盖	255
8.3.2 井字楼盖	269
8.3.3 密肋楼盖	273
8.3.4 无梁楼盖	276
8.4 高层建筑钢筋混凝土转换层结构设计要点	280
8.4.1 厚板式转换层	280
8.4.2 梁式转换层	282
8.4.3 箱形转换层	284
8.4.4 桁架转换层	286
8.4.5 有转换层的结构设计案例	289
小结	293
思考题	294
第9章 高层建筑钢结构设计	295
9.1 高层建筑钢结构体系选型与结构布置概述	295
9.1.1 高层建筑钢结构体系的分类与特点	295
9.1.2 高层建筑钢结构钢材的选用	296
9.1.3 高层建筑钢结构体系的选型	298
9.1.4 高层建筑钢结构的布置	299
9.2 高层建筑钢结构分析	300
9.2.1 钢结构计算分析的要点和计算模型	300
9.2.2 高层钢结构风荷载作用分析	301
9.2.3 高层钢结构地震作用分析	303

9.3 高层钢结构构件和节点设计	304
9.3.1 钢柱和钢梁的强度与稳定验算	304
9.3.2 节点设计	305
9.4 支撑体系的设计	307
9.4.1 中心支撑承载力验算	308
9.4.2 偏心支撑的设计	308
9.4.3 偏心支撑框架柱和框架梁的设计	311
9.5 钢框架与钢框架-支撑结构抗震构造措施	311
9.5.1 钢框架结构的抗震构造措施	311
9.5.2 钢框架-中心支撑结构的抗震构造措施	314
9.5.3 钢框架-偏心支撑结构的抗震构造措施	314
小结	316
思考题	316
第10章 高层建筑钢-混凝土组合结构设计	317
10.1 高层建筑钢-混凝土组合结构分类概述	317
10.1.1 引言	317
10.1.2 组合结构构件的类型	318
10.1.3 组合结构体系的分类	320
10.1.4 钢-混凝土组合结构设计要点	321
10.2 钢骨混凝土构件设计	324
10.2.1 一般规定和要求	324
10.2.2 钢骨混凝土构件的力学性能	325
10.2.3 钢骨混凝土梁柱构件设计	326
10.2.4 钢骨混凝土梁柱节点设计	329
10.2.5 钢骨混凝土柱脚设计要点	332
10.2.6 钢骨混凝土剪力墙设计要点	333
10.3 钢管混凝土构件设计	335
10.3.1 一般要求	336
10.3.2 钢管混凝土构件承载力计算与构造要求	338
10.3.3 钢管混凝土节点形式	342
10.3.4 钢管混凝土构件抗火设计	346
10.4 钢-混凝土组合梁板设计	346
10.4.1 钢-混凝土组合梁板的基本概念	346
10.4.2 钢-混凝土组合梁的形式	347
10.4.3 钢-混凝土组合梁板的设计要点	347
小结	351
思考题	351

第 11 章 高层建筑地基基础设计	352
11.1 高层建筑地基基础分类与选型概述	352
11.1.1 高层建筑常用基础形式及特点	352
11.1.2 高层建筑基础的埋置深度	353
11.1.3 高层与裙房部分基础的连接方式	354
11.1.4 常见高层建筑基础选型	355
11.2 高层建筑地基基础布置	356
11.2.1 筏形基础的结构布置	356
11.2.2 箱形基础的结构布置	356
11.2.3 桩基础的布置及原则	357
11.3 高层建筑地基基础设计简介	358
11.3.1 高层建筑地基基础承载力特征值确定	358
11.3.2 高层建筑地基变形与稳定性计算	360
11.3.3 筏板尺寸的确定与构造要求	361
11.3.4 箱形基础截面计算与构造要求	363
11.3.5 桩及桩基承台基本构造	366
小结	369
思考题	370
第 12 章 高层建筑结构分析与设计软件简介	371
12.1 概述	371
12.2 高层建筑上部结构常用分析与设计软件	371
12.2.1 PKPM 软件简介	371
12.2.2 TBSA 软件简介	379
12.2.3 ETABS 软件简介	380
12.2.4 MIDAS 软件简介	382
12.2.5 广厦结构软件简介	384
12.2.6 SAP 软件简介	386
12.2.7 ANSYS 软件简介	389
12.3 高层建筑地基基础结构常用分析与设计软件	391
12.3.1 JCCAD 软件简介	391
12.3.2 BOX 软件简介	391
12.3.3 TBSA-F 软件简介	392
12.3.4 SAFE 软件简介	392
12.3.5 MIDAS/SDS 软件简介	393
小结	394
思考题	394
主要参考文献	395

第 1 章 绪 论

提示:

本章将系统介绍高层建筑结构的产生、发展与展望；主要介绍高层建筑结构系统的组成及其竖向承重结构、楼（屋）盖结构、转换与加强层结构、地基基础结构和结构构件等的分类；重点介绍典型高层结构（包括框架结构、混凝土剪力墙结构、框架-剪力墙结构、框架-筒体结构、筒体结构、巨型框架结构、巨型桁架结构等）的组成与特征；简要给出高层结构设计的 8 个主要特点及高层结构设计的主要内容与过程。

1.1 高层建筑结构的产生发展与展望

1.1.1 高层建筑结构的产生与发展

人类的建筑历史，是一部不断追求新的建筑高度的历史。高大建筑物一直普遍受到人们的关注，它不仅是人类财富和技术实力的表现，是社会物质文明的象征，而且还代表着人类精神的追求和创造的愿望，正是这种欲望导致了古代各类寺塔的建造，古代寺塔的建造实践孕育和推动了高层建筑的产生和发展。从古代人类建造的各类寺塔到今天的现代高层建筑，人们对高层建（构）筑物的探索与实践一直没有停止。通常，可将高层建筑的产生和发展历程概括为以下四个阶段：孕育、萌芽与产生、发展与繁荣阶段。

1. 孕育期（古代，19 世纪中叶以前）

早在远古时代，人类在建筑方面就有向高空发展的愿望和需要。在我国古代也建造了很多的寺塔。例如，公元 523 年（北魏），在河南登封县，用砖砌筒体和木楼板建造的嵩岳寺塔，共 10 层，高约 40m（图 1.1）；公元 704 年（唐代）在西安建造的大雁塔，为砖砌塔身，木楼板，共 7 层，总高 64m（图 1.2）；公元 1001~1055 年（北宋咸平年间），在河北省定县开元寺建造的用于临视敌情的瞭敌塔，平面为正八边形，底部长为 9.8m，采取砖砌双层筒体系，外筒壁厚 3m，共 11 层，总高 83.7m（图 1.3），这也是现存最高的砖塔；公元 1056 年（辽代清宁二年），在山西省应县佛宫寺内建造的释迦塔，该塔是一座正八边形的木结构塔楼，共 9 层，高达 67.3m（图 1.4），该塔也是现存世界最高的木结构建筑。

在西方也建造了不少的寺塔，如上古时期七大建筑奇迹中两座是高层建筑：一座是公元前 338 年巴比伦王为取悦皇后在巴比伦城建造的巴贝尔塔（tower of Babel），塔高 90m；另一座是公元前 80 年（古罗马时代），建造的埃及亚历山大港灯塔，塔高

117m。始建于公元前 3000 多年以前的埃及金字塔群中，最大的一座胡夫金字塔高 146.5m（约建于公元前 2560 年）。中世纪时，欧洲的城市中，建造了很多塔楼超过 100m 的哥特式教堂：建于 12~15 世纪的法国斯特拉斯堡教堂（Strassburg）塔楼高 142m。建于 13 世纪的英国索尔兹伯里教堂（Salisbury）的塔楼高 124m。始建于 1337 年德国乌尔姆教堂（Ulm, 14~16 世纪）塔楼高 161m，该塔超过了埃及胡夫金字塔的高度，而成为当时世界第一高塔。建于 12 世纪的印度新德里的库特普塔（Qutb Minar），塔高 72.5m。埃及开罗的苏丹哈桑礼拜寺（Madrasso Sulten Hassan）的光塔高达 81.6m。意大利威尼斯圣马可广场上的钟塔（Piazza San Marco Bell Tower）高 98m。法国沙特尔教堂（Chartre, 12 世纪）的塔楼高 107m。英国索尔兹伯里教堂（Salisbury, 12 世纪）的主塔楼高 124m。意大利的安东内列纳塔（The Mole Antonelliana, 始建于 1863 年）以 164m 的高度，打破了乌尔姆教堂保持了 200 多年的高度纪录，而成为迄今为止最高的砖石结构建筑。超过 100m 的砖石结构建筑，已将材料特性和当时的建造技术推向了极致。

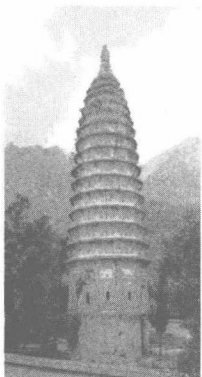


图 1.1 嵩岳寺塔

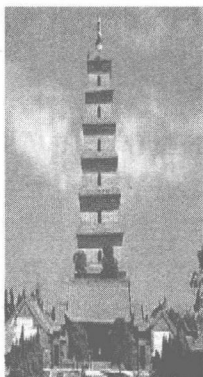


图 1.2 大雁塔

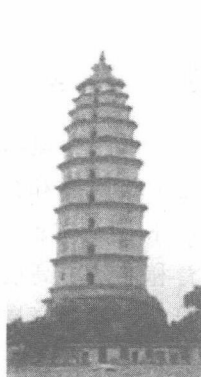


图 1.3 瞭敌塔

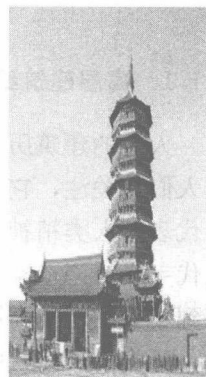


图 1.4 释迦塔

这一时期的高层构筑物主要是与王权和宗教有关的纪念性或功能性建筑，其中一部分经受住了上千年风吹雨打，甚至经受了强烈地震而保留至今，足见其结构合理、工艺精良。但它们所采用的材料主要是天然的木、石及烧制的黏土砖等，材料强度低，承重构件尺度较大，使用空间小，耐久性差，高度受到限制，虽然这一时期以寺塔等为主的建筑缺乏理论指导，主要是由能工巧匠根据经验进行建造，一般不具有居住、生活等实用性功能，但正是这一时期人们对高层寺塔的建设探索与实践，积累了高层构筑物的建设经验，孕育和推动了以后高层建筑的产生与发展。

2. 萌芽与产生期（近代，19 世纪）

19 世纪，伴随着工业革命的迅猛发展和资本经济的形成，一种新的建筑类型的出现又从另一个角度再次拉开了人类建筑高度竞争的序幕，这种新的建筑类型就是“高层建筑”（high-rise building）。众所周知，高层建筑的出现主要得益于钢铁、混凝土等建筑材料的进步和电梯的发明。至此，人类建筑高度的竞赛热点便也很快由非实用性

的高塔转向实用性的高层建筑。不过,在19世纪初,由于主要建筑材料依旧是砖、石和木材,因而当时建造的大多数高层建筑仍摆脱不开古老的承重墙体系。例如,1819年美国芝加哥市建造的一幢16层蒙纳德诺克大楼(Monadnock),就是采用砖承重墙体系,底部8层砖墙的厚度达1.8m。

工业革命促使建筑技术有了飞跃性的发展,新材料、新结构、新设备和新的施工方法,使建筑物可以被建造得更高。在设计理论方面,欧拉于1774年建立了柱的压屈理论,纳维于1825年建立了结构设计的容许应力法,里特尔于19世纪末建立了极限平衡概念,麦克韦尔于1854年提出了优化的思想并用于结构设计,19世纪后期惠普尔和克拉贝龙先后提出了桁架计算理论和连系梁计算方法,以后麦克斯韦于1864年提出了超静定结构的力法方程,1874~1885年莫尔发展了利用虚位移原理求位移的理论。在材料与结构技术方面,硅酸盐水泥(1824年)、钢筋混凝土产生(1861年),转炉炼钢新方法出现(1859年),钢铁产量开始增加,电梯出现(1857年)并在工程中开始应用(1880年)。上述设计理论与建筑技术的进步,使19世纪开始产生采用钢铁材料制作的框架承重结构体系。例如,1801年在英国曼彻斯特建成的一座7层棉纺厂房,该厂房内部采用铸铁框架承重,而且框架梁第一次采用工字形截面;1854年在美国长岛黑港采用熟铁框架建造了一座灯塔。19世纪后期,在美国芝加哥相继建成不少高楼,如建于1884~1886年的保险公司大楼(Home Life Insurance Company Building, 11层, 55m),是采用由生铁柱和熟铁梁所构成的框架,来承担全部荷载,外围砖墙仅是自承重墙,是世界首座高层钢框架结构,也被认为是世界第一栋高层建筑,建筑史称它为“钢铁结构进化中决定性的一步”,该建筑开创了高层建筑结构新的技术途径,也标志着现代高层建筑的产生和出现。1889年建造的9层Second Rand Menally大楼,则是世界上第一幢采用全钢框架承重的高层建筑。另外还有1882年建成的卡比托大楼(The Capital, 22层, 91.5m), 1894年建设的公园街大楼(Park Row, 30层, 118m)。显然,该时期是高层建筑的产生或萌芽期,这一时期受材料性能、设计理论及电梯速度等的限制,高层建筑的层数一般不多。

3. 发展期(现代, 19世纪末至20世纪50年代)

20世纪初,随着混凝土与钢结构设计技术的进步,以及高速电梯的出现,高层建筑的建设得到迅速发展,而且层数与高度逐步增加。高层建筑高度增大以后,风荷载成为结构设计的一个重要因素。由于在结构体系方面突破了纯框架抗侧力体系,提出在框架中间设置竖向支撑或剪力墙,来增强结构的抗推刚度和强度的新型结构,从而进一步推动了高层建筑向更多的层数和高度发展。自从1903年在美国辛辛那提市建成世界首座高层钢筋混凝土框架结构建筑(Ingalls, 高16层, 64m)以后,1909年在美国纽约建成了大都会人寿保险公司大楼(Metropolitan Life Tower, 50层, 206m),该楼是世界上第一栋高度超过200m的摩天大楼,也是人类有史以来第一座超过古代埃及金字塔和中世纪乌尔姆教堂塔楼的实用性建筑物;1913年又建成了渥尔华斯大楼

(Woolworth Building, 60 层、241m); 1929 年建造了克莱斯勒大楼 (Charysler Building, 77 层, 319m), 该楼为首栋高度超过 300m 的大楼; 1931 年又建造了著名的帝国大厦 [Empire State Building, 102 层, 381m, 钢结构, 图 1.5 (a)], 该建筑保持世界最高楼房称号达 41 年之久, 成为当时的奇迹, 其高度超过了埃菲尔铁塔 (1889 年, 328m)。

我国高层建筑的起步较晚, 于 20 世纪 20 年代以后才开始兴建高层建筑, 且发展缓慢, 自 1921 年起到 1937 年, 先后在上海和广州等城市陆续建造了一些高层旅馆、住宅和办公楼, 如 1929 年建成的沙逊大厦 (高 77m、13 层), 1937 年建成的中国银行大楼 (高 76m, 17 层) 和广州爱群大厦 (68.4m 高, 14 层) 等, 其中最高的是 1934 年建成的上海国际饭店, 地上 23 层, 地下 2 层, 高 86m, 这些高层建筑标志着我国现代高楼的初步发展。

在这一时期, 本迪克森于 1914 年首先提出了转角位移法, 克罗斯于 1932 年首创了力矩分配法, 戴孙于 1922 年提出了基于破损阶段的强度计算方法, 这些理论的创建为以后建立各类结构设计理论与方法奠定了基础, 也为更高、更复杂高层建筑的出现奠定了基础。但由于结构设计仍未摆脱平面结构理论, 而且建筑材料的强度低、质量大, 以致整个大楼的材料用量较多, 结构自重仍然较大。

4. 繁荣期 (当代, 20 世纪 50 年代末至今)

1945 年第二次世界大战结束以后, 随着世界经济的复苏和建筑材料与技术的不断发展, 高层建筑的建设, 在世界范围内进入了繁荣时期, 并向超高层建筑发展。例如, 1952 年在德国杜塞尔多夫建成的“塞森·阿德姆大楼” (Thyssen Adm Building, 30 层, 160m), 是欧洲第一座高度超过 100m 的现代高层建筑; 而法国于 1973 年建成的“梅因·穆特帕萨斯大楼” (Maine Montparnasse, 64 层, 229m), 则是欧洲第一幢高度突破 200m 的建筑; 日本于 1978 年建成的阳光大厦 (Sunshine60, 60 层, 226.3m) 成为当时亚洲第一高楼, 于 1985 年建于槟城的 Kompleles Tun Abdul Razak 大厦以 245m 的高度, 打破了日本保持 7 年的亚洲第一纪录; 于 1987 年建于新加坡的“海外联合银行中心” (Overseas Union Bank Center, 66 层), 以 280m 的高度再破亚洲纪录。又如美国建于 1969 年的约翰汉寇克中心 [John Hancock Center, 100 层, 343.5m, 总高 457.2m, 图 1.5 (b)]; 1972 年建成的世界贸易中心双塔 [110 层, 高 417m, 钢结构, 在 2001 年“911”事件中被毁, 图 1.5 (c)], 打破了人类建筑的高度纪录, 突破了 400m; 1974 年在美国芝加哥建成的西尔斯大厦 [Sears Tower, 110 层, 高 443m, 钢结构, 图 1.5 (d)]; 1998 年, 吉隆坡建成的石油大厦 [88 层, 452m, 钢与混凝土混合结构, 图 1.5 (e)]; 2010 年, 迪拜建成的哈利法塔 [206 层, 下部钢筋混凝土剪力墙结构高 601m, 上部钢结构高 227m, 总高度 828m, 图 1.5 (f)] 是目前世界上最高的建筑。

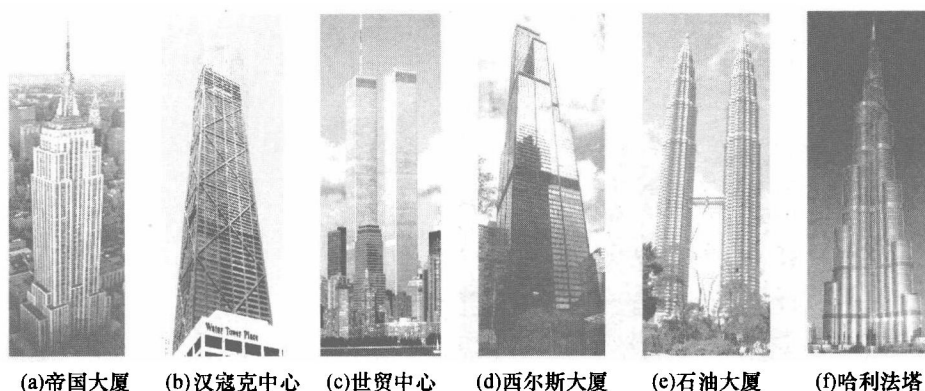


图 1.5 国外典型高层建筑

我国高层建筑虽起步较晚，但在近 30 年中发展迅速。我国 20 世纪 50 年代的高层建筑代表有上海电报大楼（地上 12 层，高 68.35m），北京民族饭店（1959 年，地下 1 层，地上 12 层，高 47.4m），20 世纪 60 年代最高建筑是广州宾馆（1968 年，27 层，高 88.5m），20 世纪 70 年代最高建筑是广州白云宾馆（1976 年建成，高 114.5m，33 层，1976~1985 年最高建筑）。90 年代以后，高层建筑发展较快，如深圳发展中心大厦（1990 建成，43 层，高 165.3m），广州广东国际贸易大厦（1992 年建成，RC 结构，63 层，高 200.18m），深圳鸿昌大厦（1996 年建成，RC 结构，筒中筒，61 层，高 218m），深圳赛格广场（2000 年建成，72 层，建筑物高度 291.6m，总高 353.8m，当时世界最高中国首例钢管混凝土框架-筒体结构），香港汇丰银行大楼（1985 年建成，48 层，179m，钢柱和钢桁架悬挂结构），香港中国银行大厦 [Bank of China, 1989 年建成，72 层，高 364m，为亚洲首次超过 300m 的建筑，图 1.6 (a)]，香港中环广场（1992 年，78 层，总高 374m），深圳地王大厦 [1996 年建成，81 层，总高 383.95m，图 1.6 (b)]，中信广场 [1997 年建成，框架-筒体结构，80 层，总高 391.1m，图 1.6 (c)]，香港国际金融中心 II 期 [2003 年建成，88 层，415.8m，图 1.6 (d)]，上海金茂大厦 [1999 年建成，钢-混凝土混合结构，88 层，420.5m，图 1.6 (e)]，上海环球金融中心 [2008 年建成，101 层，高 492m，在国际高层建筑与城市住宅协会 2008 年所公布的高层建筑排行榜的“最高使用楼层高度”和“最高楼顶高度”两项中位居全球第一，图 1.6 (f)]，台北 101 大厦 [台北市，2004 年建成，101 层，总高 508m，图 1.6 (g)]，高雄 85 大楼 [1997 年建成，85 层，378m，图 1.6 (h)]，南京紫峰大厦 [2009 年建成，主楼共 89 层，屋顶高度 389m，总高 450m，钢结构框架-钢筋混凝土核心筒，图 1.6 (i)]，广州西塔 [国际金融中心，2010 年建成，地面以上共 103 层，楼体高度达到 432m，总高 440.75m，首次采用钢管混凝土巨型斜交网格筒中筒结构体系，世界上第一座自施工阶段开始就进行结构健康监测，图 1.6 (j)]，北京国贸三期工程 [2010 年建成，主楼 74 层，高 330m，图 1.6 (k)]，香港环球贸易广场 [2010 年建成，108 层，总高 484.00m，图 1.6 (l)] 天津津塔 [2011 年建成，75 层，336.9m，图 1.6 (m)] 等。