

李国强 编著



多高层建筑 钢结构设计

DUOGAOCENGJIANZHU
GANGJIEGOUSHEJI

中国建筑工业出版社

多高层建筑钢结构设计

李国强 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

多高层建筑钢结构设计/李国强编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004
ISBN 7-112-06299-3

I. 多… II. 李… III. ①多层建筑-钢结构-结构设计②高层建筑-钢结构-结构设计 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002503 号

本书全面系统地介绍了多高层建筑钢结构设计的理论、方法及具体要求与构造措施, 内容包括: 多高层钢结构的设计步骤、结构体系、构件形式与材料、荷载与作用、结构分析、结构设计基本要求、结构稳定性设计、楼盖设计、节点设计、抗震设计、抗火设计与钢管混凝土结构与钢管混凝土结构设计。本书除考虑详细交待设计原理外, 主要根据设计实用要求编写, 可供从事多高层建筑钢结构的设计、施工、管理及科研与教学人员参考。

* * *

责任编辑: 赵梦梅

责任设计: 崔兰萍

责任设计: 张虹

多高层建筑钢结构设计

李国强 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 31 字数: 750 千字

2004 年 4 月第一版 2004 年 4 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 45.00 元

ISBN 7-112-06299-3

TU·5556 (12313)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

钢结构用于多高层建筑在国外有 100 多年的历史,国内最早在上海于 20 世纪 20~30 年代建有多高层钢结构建筑,如原汇丰银行大楼和国际大饭店。但由于我国长期钢产量较低,钢材紧缺,我国的多高层建筑一直以砌体结构和钢筋混凝土结构为主。近十年,这一状况有了根本性改变。1996 年我国钢产量超过 1 亿吨,今年我国钢产量有望突破 2 亿吨,已成为世界第一产钢大国。相应地,我国政府在建筑用钢政策上作了适应性调整。从 20 世纪 50~60 年代的限制采用钢结构,到 80 年代的合理采用钢结构,再到 90 年代中期的积极采用钢结构,这一政策变化,显示了我国经济的发展轨迹,也预示我国的建筑钢结构迎来了大力发展的春天。

钢结构具有强度高,重量轻,施工速度快,抗震性能好的优点,是一种优良的建筑结构形式。我国由于特定的国情环境,建筑钢结构经历了以下几个发展阶段。第一阶段是钢结构厂房阶段。在新中国建立初期,为发展经济在 20 世纪 50~60 年代建立了一批冶金、机械制造与加工等重型工业厂房,这些厂房高度高、跨度大,且有重型吊车,而必须采用钢结构。因此,我国的建筑钢结构一开始主要是钢结构厂房,我国的钢结构设计规范及钢结构教材也长期主要针对钢结构厂房。第二阶段是空间网格结构阶段。我国从 20 世纪 60 年代开始,特别从 70 年代以后,针对跨度较大的礼堂、剧院、体育馆、厂房等的屋盖大量采用网架、网壳等空间网格结构,这种结构制造、安装较简单,用钢量较少,成本较低。而最近 10 余年在会展中心,机场中较流行采用的空间桁架结构,仍是这一阶段发展的延续。第三阶段是轻型门式钢架房屋结构阶段。这种房屋结构于 20 世纪 80 年代从美国引进,由于有完整的屋面、墙面等配套系统与产品,施工速度快,成本也较低,90 年代后在我国的厂房、仓库建筑中大量采用。第四阶段应是多高层建筑钢结构阶段。我国高层钢结构建筑从 20 世纪 80 年代开始兴建,近年开始快速发展,且向多层建筑延伸,特别是建设部近年在大力推进钢结构住宅的研究与应用,对多高层钢结构的推广有很大的促进作用。可以说我国目前已进入多高层建筑钢结构大力发展的阶段。

我 1985 年作为博士生,师从沈祖炎教授,开始从事多高层建筑钢结构的研究,1988 年毕业后成为同济大学的一名教师,也一直将多高层钢结构设计理论当作自己的主要研究方向,眼见我国多高层建筑钢结构的发展进程,遂萌生了将自己多年在多高层钢结构方面的研究与实践心得及了解的国内外相关最新情况汇编成册,为结构工程师再多提供一本可供选择的的多高层建筑钢结构设计方面的参考资料。

本书按工程上多高层建筑钢结构设计的过程编排,分为十三章。第一章绪论,介绍多高层钢结构的发展历史、优越性与应用范围,另特别介绍了多高层钢结构的设计内容与步骤;第二章介绍多高层钢结构的主要结构体系与布置要求;第三章介绍结构构件的形式及材料参数与要求;第四章、第五章介绍结构应考虑荷载作用与结构分析方法;第六章介绍结构设计的基本要求;第七章、第八章分别介绍竖向结构(柱与支撑)和水平结构(楼

盖)设计;第九章介绍节点设计;第十章、第十一章介绍结构抗震设计与抗火设计;第十二章、第十三章介绍钢骨混凝土结构与钢管混凝土结构设计。其中第二章、第三章为确定结构方案有关内容,第四章、第五章为进行结构分析有关内容,第六章~第十三章为进行结构设计验算有关内容。

本书大纲拟定及全书的统稿与修正由我负责,其中第一章~第八章及第十章由我本人执笔,第九章由陆烨执笔,第十一章由蒋首超执笔,第十二章由蒋东红执笔,第十三章由贺军利执笔,另外谢靖中参与了第五章部分内容的编写,何天森、周宏宇参与了第八章部分内容的编写,陈素文参与了第十章部分内容的编写,我对上述参加本书编写的人员表示感谢。此外,我也要感谢我的下列研究生为本书手稿的编排及插图的绘制所付出的大量精力,他们是:郭士雄、叶康、陆立新、侯和涛、张开莹、张彬、黄珏倩、陈亮。

借本书出版之机,我还想感谢对我从事多高层建筑钢结构研究有重要影响与帮助的人。1985年7月我硕士毕业(导师李继华教授),分配至深圳华森建筑结构与顾问公司工作,在姜峻嶽高级工程师的指导下,参加了我国第一幢高层钢结构建筑——深圳发展中心大厦的结构设计详图的审核工作,其间还得到了刘其祥高级工程师的帮助,使我在当时国内高层钢结构资料极其缺乏的情况下,对高层钢结构有了具体的工程实践认识;1985年11月我考入同济大学攻读博士学位,我的导师沈祖炎教授指导我开展了多高层钢结构抗震研究,将我引入了多高层钢结构研究领域。另在我攻博期间,还得到了潘士劼教授的诸多帮助。1993年我获英国 Royal Fellowship Award 资助赴英国 Nottingham 大学工作访问以及1998年获香港 Croucher Foundation 资助赴香港理工大学工作访问,分别与 D. A. Nethercot 教授和 S. L. Chan 教授结下了深厚的友谊,他们两位均是多高层钢结构理论研究方面的国际知名专家,其中 D. A. Nethercot 教授现任英国帝国理工大学土木工程系主任和国际 Institute of Structural Engineers 主席,他们对我在多高层钢结构方面的研究给予了很大的帮助与支持。

最后,恳请读者对本书的不当与错误之处批评指正。

李国强
2003年11月

目 录

第一章 绪论	1	§ 3.4 热轧 H 型钢	36
§ 1.1 多高层建筑钢结构的发展		一、热轧 H 型钢的发展概况	36
历史	1	二、热轧 H 型钢的产品系列与规格	
§ 1.2 多高层钢结构的优越性及		标准	38
应用	5	§ 3.5 压型钢板	39
一、多高层钢结构建筑的优越性	5	一、压型钢板的型式和允许偏差	39
二、多高层钢结构的应用	6	二、组合作用楼板对压型钢板的要求	42
§ 1.3 多高层建筑钢结构设计的		第四章 荷载与作用	44
基本过程	7	§ 4.1 多高层钢结构需考虑的各种	
第二章 结构体系	10	作用	44
§ 2.1 结构体系基本概念	10	§ 4.2 楼面活荷载	45
一、多高层建筑钢结构的功能	10	§ 4.3 温度作用	47
二、多高层钢结构的基本体系	11	§ 4.4 风荷载	47
三、选择合适的结构体系的重要性	11	一、风的有关知识	47
§ 2.2 各种结构体系的受力性能	11	二、基本风压	50
一、框架体系	11	三、风荷载的确定	55
二、框架-支撑体系	13	§ 4.5 地震作用	61
三、筒体体系	21	一、地震基本知识	61
四、巨型结构体系	22	二、单质点体系地震作用	72
§ 2.3 结构布置的基本要求	23	三、多质点体系地震作用	79
一、结构平面布置	23	四、重力荷载代表值	92
二、结构竖向布置	24	第五章 结构分析	94
三、抗侧力构件布置	25	§ 5.1 结构分析方法	94
第三章 结构构件与材料	27	§ 5.2 结构分析有限元方法	94
§ 3.1 主要结构构件形式	27	一、有限元方法的基本思想	94
一、梁	27	二、单元的类型与划分	95
二、柱	27	三、梁单元刚度方程	96
三、支撑	28	四、支撑单元刚度方程	109
§ 3.2 结构构件钢材的基本要求	29	五、墙单元	110
一、基本规定	29	六、采用有限元方法对几个问题的处理	116
二、国产常用结构钢的材料参数	30	§ 5.3 结构分析近似手算方法	117
三、常用国外结构钢的品种和牌号	32	一、框架结构	117
§ 3.3 钢板	33	二、框架-支撑结构	119
一、钢板的选用	33	三、钢框架-混凝土芯筒(剪力墙)	
二、厚钢板的层状撕裂与 Z 向性能	34	结构	122

§ 5.4 结构弹塑性地震反应分析	125
一、结构的弹塑性性质	125
二、结构弹塑性地震反应分析的逐步积分法	128
三、结构弹塑性地震反应分析的简化方法	133
§ 5.5 钢-混凝土混合结构的竖向差异变形分析	137
一、减小收缩、徐变的影响	138
二、考虑收缩、徐变影响的简化处理方法	138
三、施工的影响及简化处理方法	138
第六章 结构设计基本要求	140
§ 6.1 结构承载力验算要求	140
一、无地震作用时	140
二、有地震作用时	140
§ 6.2 结构变形验算要求	141
一、重力荷载作用下构件容许挠度	141
二、风载作用下结构的侧移限值	141
三、地震作用下结构的侧移限值	141
§ 6.3 结构舒适度验算要求	142
一、风作用下结构的舒适度	142
二、结构顶点最大加速度计算	143
三、风振加速度限值	143
§ 6.4 荷载效应组合要求	144
一、荷载效应组合原则	144
二、荷载效应组合计算式	145
第七章 结构稳定性设计	147
§ 7.1 轴心受压构件的稳定性	147
一、Euler 临界力	147
二、屈服应力及几何初始缺陷对临界应力的影响	148
三、残余应力影响	150
四、柱子曲线	151
五、计算长度	154
§ 7.2 压弯构件的稳定性	163
一、单向压弯构件平面内的稳定性	163
二、单向压弯构件平面外的稳定性	168
三、双向受弯压弯构件的稳定性验算	170
§ 7.3 轴心受压构件和压弯构件的设计要求	171

一、轴心受压构件的设计要求	171
二、压弯构件的设计要求	172
第八章 楼盖设计	174
§ 8.1 楼盖形式与布置	174
一、楼板的型式	174
二、柱网布置	175
三、主、次梁的布置	176
§ 8.2 楼板设计	177
一、压型钢板在施工阶段的验算	177
二、压型钢板组合楼板在使用阶段的承载力验算	178
三、组合楼板的挠度、裂缝及自振频率验算	183
四、组合楼板的构造要求	184
§ 8.3 组合梁设计	187
一、组合梁的型式、特点和计算	187
二、组合梁在施工阶段的验算	192
三、简支组合梁在使用阶段的验算	194
四、连续组合梁在使用阶段的验算	202
五、组合梁构造要求	205
§ 8.4 带孔钢梁的设计	206
一、钢梁腹板开孔的处理	206
二、蜂窝型钢梁	208
第九章 节点设计	214
§ 9.1 概述	214
§ 9.2 连接方式	214
一、焊接	215
二、高强度螺栓连接	223
§ 9.3 梁与柱的连接	225
一、刚性连接	225
二、铰接连接	236
§ 9.4 柱与柱的连接	238
一、柱拼接接头一般要求	238
二、柱拼接接头的计算	242
§ 9.5 梁与梁的连接	245
一、主梁与主梁的拼接	245
二、次梁与主梁的连接	246
三、主梁的侧向隅撑和角撑	247
§ 9.6 柱脚的设计	248
一、埋入式刚接柱脚	249
二、外包式刚接柱脚	251
三、露出式刚接柱脚	254

四、铰接柱脚	258	三、抗火设计时耐火极限要求的 确定过程	313
§ 9.7 支撑与框架的连接	259	§ 11.3 建筑室内火灾设计升温 曲线	313
§ 9.8 钢梁与混凝土结构的连接	260	一、标准火灾升温曲线	313
第十章 抗震设计	265	二、参数化的室内火灾升温曲线	314
§ 10.1 典型震害	265	三、抗火设计时室内空气升温曲线的 确定	315
一、节点连接破坏	265	§ 11.4 火灾下钢结构构件的升温 计算方法	315
二、构件破坏	267	一、钢构件升温计算模型	315
三、结构倒塌	268	二、无保护层钢构件	316
§ 10.2 抗震设计的设防与计算 要求	269	三、有轻质保护层钢构件	317
一、抗震设防要求	269	四、有非轻质保护层钢构件	321
二、抗震计算要求	270	五、保护层内含水量对钢构件升温的 影响	322
三、地震作用内力的调整要求	272	六、抗火设计时标准升温条件下钢构件 升温的计算过程	322
四、考虑扭转效应、偶然偏心与双向 水平地震的影响	273	§ 11.5 高温下结构钢的热工特性	323
§ 10.3 抗震概念设计要求	274	一、钢材的热工参数	323
一、优先采用延性好的结构方案	274	二、高温下钢材的屈服强度与弹性模量	324
二、多道结构防线要求	274	§ 11.6 钢构件抗火验算	325
三、强节点弱构件要求	274	一、荷载效应组合	325
四、强柱弱梁要求	276	二、钢构件抗火承载力验算	326
五、偏心支撑框架弱消能梁段要求	277	三、钢构件抗火临界温度验算	330
六、其他抗震特殊要求	278	§ 11.7 钢结构防火保护	332
§ 10.4 抗震构造要求	280	一、提高钢结构抗火性能的主要措施	332
一、纯框架结构抗震构造措施	280	二、钢结构防火涂料类型及其性能	334
二、中心支撑框架抗震构造措施	284	三、钢结构防火涂料的选用与施工	336
三、偏心支撑框架抗震构造措施	285	四、防火板的性能与施工	339
§ 10.5 隔震与减震设计	287	第十二章 钢筋混凝土结构设计	343
一、隔震技术	288	§ 12.1 钢筋混凝土结构的基本 概念	343
二、耗能减震技术	292	一、钢筋混凝土结构的构件组成和分类	343
三、吸震减震技术	299	二、钢筋混凝土结构特点	343
第十一章 钢结构抗火设计	305	三、在国内外的研究应用现状	345
§ 11.1 概述	305	四、钢筋混凝土结构的基本计算方法	345
一、前言	305	§ 12.2 钢筋混凝土梁的计算	346
二、结构抗火承载力极限状态及耐火 时间	305	一、钢筋混凝土梁受弯破坏过程与特征	346
三、结构抗火设计要求	305	二、钢筋混凝土梁正截面承载力计算	348
四、钢结构抗火设计的方法	306	三、钢筋混凝土梁斜截面抗弯承载力 计算	352
§ 11.2 建筑物耐火等级与结构 构件耐火极限要求	307		
一、建筑物耐火等级	307		
二、建筑结构构件耐火极限要求	310		

四、钢筋混凝土梁的抗剪承载力及其影响因素	353	计算	405
五、钢筋混凝土梁的开裂与变形计算	359	§ 13.4 钢管混凝土结构的抗震性能	407
§ 12.3 钢筋混凝土柱的计算	363	一、压弯构件的恢复力模型	407
一、钢筋混凝土柱的分类及其基本力学性质	363	二、高层建筑中钢管混凝土柱的轴压比限值	409
二、钢筋混凝土柱正截面承载力计算	365	§ 13.5 钢管混凝土结构的节点设计	411
三、钢筋混凝土柱斜截面承载力计算	371	一、刚接节点的构造和特点	411
四、钢筋混凝土柱开裂荷载计算	374	二、铰接节点的构造和特点	414
五、钢筋混凝土柱抗震性能及轴压比限值的确定	376	§ 13.6 钢管混凝土结构设计的构造要求	415
§ 12.4 钢筋混凝土梁柱节点	380	一、关于材料方面的规定	415
一、钢筋混凝土节点的基本形式	381	二、关于圆形钢管混凝土构件截面的规定	415
二、钢筋混凝土节点的基本性能	381	三、关于方、矩形钢管混凝土构件截面的规定	415
三、节点受剪机理与承载力计算	383	附录	417
§ 12.5 钢筋混凝土剪力墙的计算	385	附录一 国外结构钢的材料参数	417
一、钢筋混凝土剪力墙的类型与受力特性	385	附录二 各国热轧 H 型钢的截面规格	428
二、钢筋混凝土剪力墙的抗剪承载力	386	附录三 各种材料的重度	454
三、钢筋混凝土剪力墙的正截面承载力	387	附录四 全国主要城市 10 年、50 年、100 年一遇的风压值	459
§ 12.6 钢管混凝土结构的构造要求	389	附录五 风荷载体型系数	463
一、梁、柱构造要求	389	附录六 轴心受压构件的稳定系数	466
二、梁柱节点的构造要求	390	附录七 焊条、焊丝、焊剂的选用	470
三、梁柱的钢筋及钢筋的构造要求	392	附录八 我国主要城镇的抗震设防烈度与地震分组	473
四、柱脚	393	附录九 ISO 834 标准火灾升温条件下钢构件的温度	475
第十三章 钢管混凝土结构设计	395	附录十 第十二章所用变量、符号意义	483
§ 13.1 钢管混凝土的研究与应用	395		
一、钢管混凝土的基本特点	395		
二、钢管混凝土的应用发展概况	396		
三、钢管混凝土的研究发展概况	397		
§ 13.2 圆钢管混凝土柱的承载力计算	398		
一、单肢柱承载力计算	398		
二、格构柱承载力计算	402		
§ 13.3 方钢管混凝土柱的承载力			

第一章 绪 论

§ 1.1 多高层建筑钢结构的发展历史

在人类建筑的发展史上，土、石、木等天然材料最早被人类用作建筑材料。随着人类社会科学技术的进步，铁和钢得以大规模生产，给建筑带来了一种强度高、性能好的材料，使建筑可以造得更高，且更安全。

世界上钢铁工业在欧洲发展得最早，因而钢铁建筑在欧洲也应用最早。1720 年欧洲就开始大规模生产生铁，1784 年已生产熟铁，这一时期欧洲就开始用铁造桥，18 世纪末英国棉纺厂开始用铁柱、铁梁代替原来的木柱、木梁，以获得更大的生产开间和楼面承载力，世界上第一个铁柱建筑（1772 年）、第一个铁柱多高层建筑（1793 年）及第一个完整的铁框架结构建筑（1797 年）均建在英国。

欧洲 1854 年开始大规模生产更便利用于建筑的工字形熟铁型材，1864 年开始生产性能更好的低碳钢，使得钢铁建筑得以更广泛的应用。1872 年建于巴黎附近的一个叫 Menier 的巧克力厂（图 1-1）被认为是第一个欧洲大陆上的多层钢框架建筑。该建筑纯粹由钢骨架承重，梁与柱刚接，采用支撑承受风载，这一结构体系在现代多高层钢结构建筑中仍普遍采用。

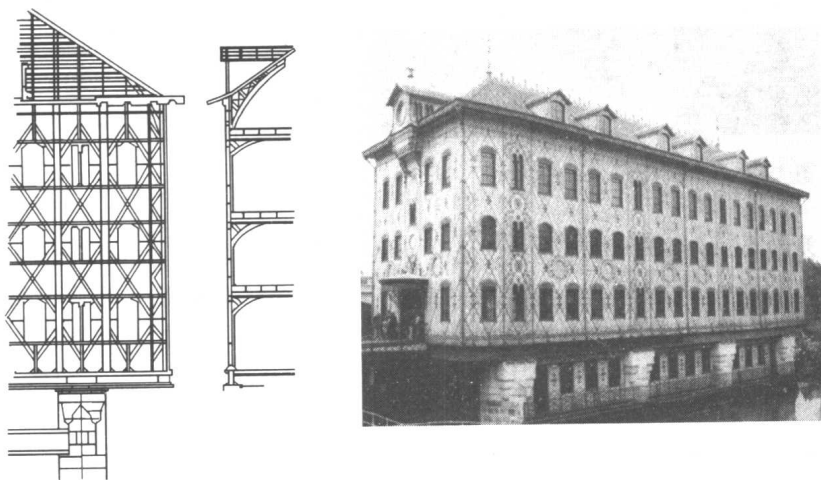


图 1-1 Menier 巧克力厂

铁柱结构 19 世纪初引入美国，到 19 世纪末，随着美国都市化进程的加快，多高层钢铁建筑在美国得以迅速发展。1885 年在美国芝加哥建成了被认为是世界上的第一座高层钢结构建筑——10 层 55m 高的 Home Insurance 大楼（图 1-2）。该大楼采用钢梁铁柱框架

结构，外砖墙仍为承重墙。而 1889 年在芝加哥建成的 9 层 37m 高的 Rand MaNally 大楼，采用了全钢框架，取消了承重墙，实际上为世界上第一座真正的高层钢框架结构建筑。

进入 20 世纪，随着钢结构设计方法的改进，钢结构建筑在美国最早进入了“摩天大楼”时代。1900 年前后在纽约建成的 36 层钢结构 Park Row 大楼，是当时世界上最高的建筑。1907 年在纽约建成的 Singer 大楼，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 年纽约又建成了 60 层 242m 高的当时世界上最高建筑 Woolworth 大楼。而 1931 年在纽约落成的 102 层 381m 高的帝国大厦（图 1-3），是世界高层建筑的一个里程碑，此建筑保持世界最高建筑记录达 40 年之久。



图 1-2 Home Insurance 大楼



图 1-3 纽约帝国大厦

1965 年美国 SOM (Skidmore、Owings and Merrill) 建筑设计事务所的著名结构工程师 Fazlur Rahman Khan 博士，首次提出筒体结构概念，依据这一崭新的结构概念和 20 世纪 60 年代迅速发展起来的计算结构力学，美国设计建造了几幢超高层筒体钢结构大楼（表 1-1），包括知名的世界贸易中心大楼（图 1-4）和 Sears 大楼（图 1-5）。

美国早期建造的超高层筒体钢结构大楼 表 1-1

建筑物名称	建设地点	高度 (m)	层 数	结构体系	用钢量 (kg/m ²)	建成时间
Sears 大楼	芝加哥	443	110	成束框架筒	161	1974 年
世界贸易中心大楼	纽约	412	110	外框架筒	186	1973 年
标准石油大楼	芝加哥	346	80	外框架筒	161	1973 年
Jhon Hancock 大楼	芝加哥	344	100	外斜撑框架筒	146	1970 年

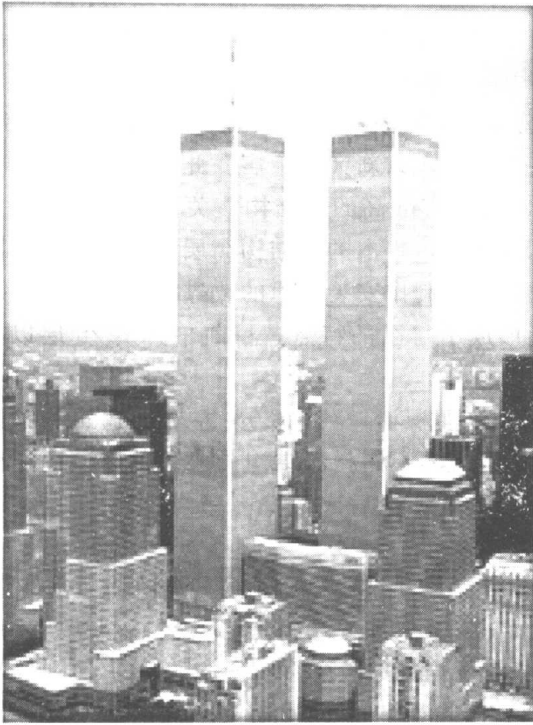


图 1-4 世贸中心

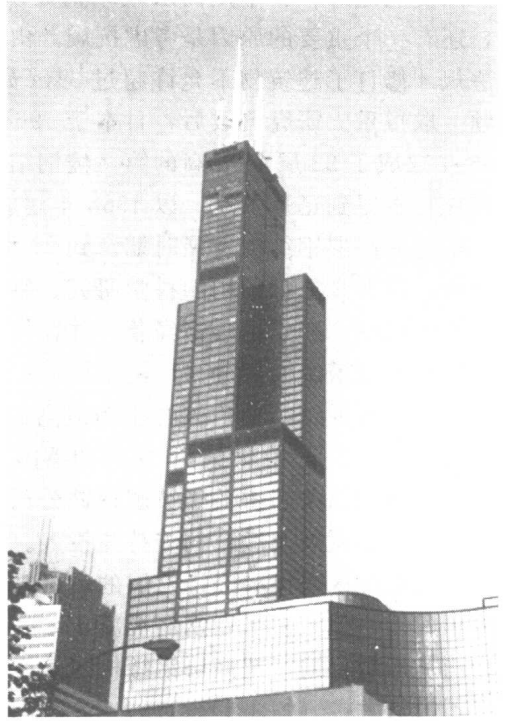


图 1-5 Sears 大楼

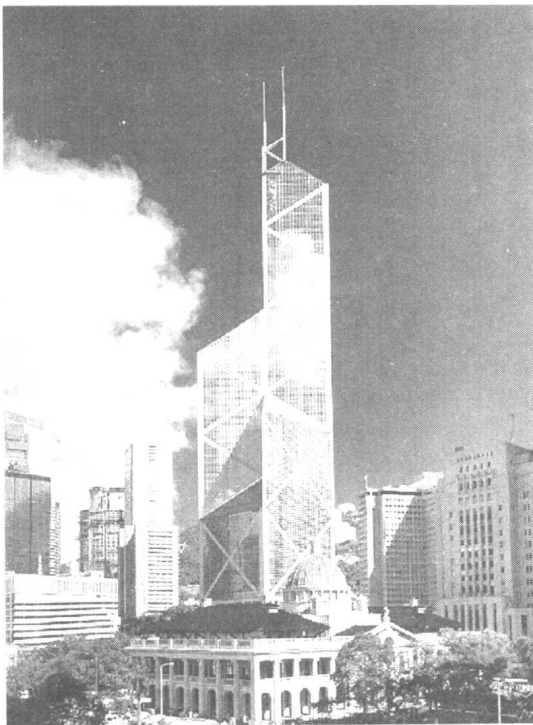


图 1-6 香港中银大楼

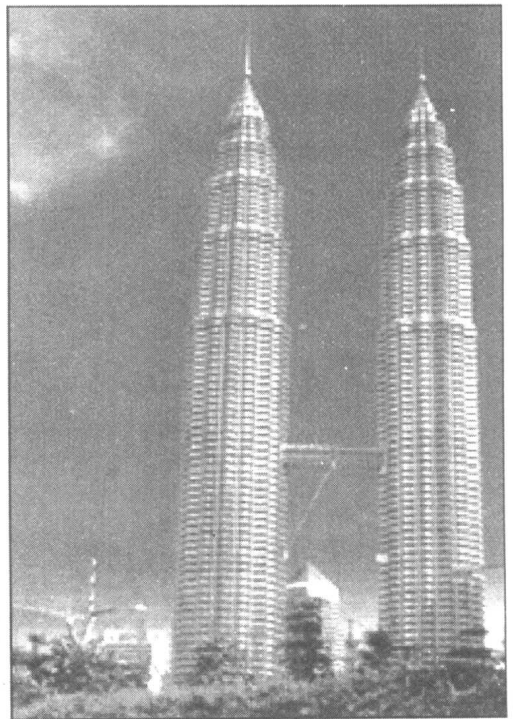


图 1-7 马来西亚“双塔”

除美国之外，日本是高层钢结构建筑较多的国家，究其原因，除了发达的钢铁工业外，还有一个重要的原因是考虑抗震。由于日本是一个多地震国家，直到1963年日本建筑法规才修订了建筑物不允许超过31m高的规定。在抗震、防火、抗风等一系列科学技术问题上取得重大研究突破后，日本于1964年公布新的建筑法令，取消对建筑高度的限制，1965年建成了22层78m高的第一幢钢结构高层建筑东京新大谷饭店。此后，高层钢结构建筑在日本得到迅速发展，以1968年建成的36层147m高的钢结构霞关大厦为标志，日本真正进入高层钢结构发展时期。到20世纪80年代，日本的钢结构高层建筑总栋数仅次于美国，且在高层钢结构的科学研究、钢材的发展、制作安装技术的改进等方面，都已取得了巨大成绩，积累了丰富的经验，并在技术上形成了自己的特点。目前，日本20层以上的新建高层建筑绝大部分采用钢结构。

英国是欧洲钢结构建筑的比例最高的国家，按面积计，英国50%左右的建筑均采用钢结构，表1-2是20世纪80年代初英国多高层建筑的不同材料结构构成。英国多高层建筑普遍采用钢结构，得益于英国钢铁公司（British Steel，后成为Corus）长期对钢结构理论研究、技术发展及教育的支持与投入。

东南亚地区是世界经济发展的后起之秀，20世纪70年代以后高层建筑在这一地区开始大量建造，但大多采用钢筋混凝土结构。然而进入20世纪90年代以后，高层建筑采用钢结构越来越普遍，超高层钢结构建筑逐年增多，如1988年在香港建造的71层369m高的中国银行大楼（图1-6）、1997年在马来西亚吉隆坡建成的88层450m高的双塔楼（图1-7）以及在台北建成的101层508m高的台北金融中心大楼（图1-8）都是有代表性的超高层钢结构建筑。



图 1-8 台北金融中心大楼（效果图）

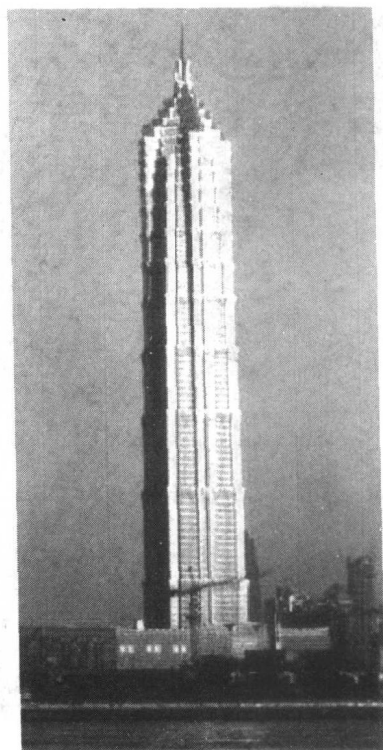


图 1-9 金茂大厦

我国国内由于技术和经济的原因,自 20 年代 80 年代中期始建高层钢结构建筑,此后随着我国的改革开放与经济发展,在上海、北京、深圳、广州、大连、厦门、沈阳、天津等地相继建造数十幢高层钢结构建筑,特别是在上海浦东新区的开发与建设中,很多高层建筑采用钢结构,1998 年建成的 88 层 421m 高的金茂大厦(图 1-9)是目前中国内地最高建筑,列世界第三,标志着我国的高层建筑已进入世界先进行列。

§ 1.2 多高层钢结构的优越性及应用

钢材比混凝土贵是显然的,如仅考虑造价,纯钢结构约是混凝土结构的 2 倍,钢-混凝土组合或混合结构约是混凝土结构造价的 1.5 倍,故一般的概念是:与混凝土结构相比,钢结构不经济,这仅是从结构最初造价方面分析所得出的结论,具有片面性。要真正评判一个结构系统的优越性,需全面系统地考虑问题,考查其综合效益。

一、多高层钢结构建筑的优越性

1. 钢结构经济性能的优越性

高层建筑采用钢结构与采用混凝土结构相比,在经济性能方面具有下列优越性:

1) 钢结构自重轻。高层钢结构自重一般为高层混凝土结构自重的 $1/2 \sim 3/5$ 。结构自重的降低,可减小地震作用力,进而减小结构设计内力。此外,结构自重的减轻,还可以使基础的造价降低,这个优势在南方软土地区更为明显。

2) 钢结构材料强度高。与混凝土结构相比,钢结构柱截面面积小,从而可增加建筑有效使用面积。一般高层钢结构柱的截面面积占建筑面积的 3% 左右,而高层混凝土结构柱的截面面积占建筑面积的 7%~9%。

3) 钢结构施工速度快。一般高层钢结构平均每 4 天完成一层。而高层混凝土结构平均每 6 天完成一层,即钢结构的施工速度约为混凝土结构施工速度的 1.5 倍。结构施工周期的缩短,可使整个建筑更早投入使用,缩短贷款建设的还贷时间,从而减少借贷利息。例如,前几年高档办公楼的投资回收期在三年左右,若采用钢结构比采用混凝土可提前半年投入使用,则近似相当于采用钢结构比采用混凝土结构节省投资 18%。

4) 高层建筑管道很多,如采用钢结构,可在梁上开孔用以穿越管道。但如采用混凝土结构,因梁不宜开孔,管道一般从梁下通过,从而要侵占一定的空间。因此在楼层净高相同的情况下,钢结构的楼层高度可比混凝土结构的楼层高度小,从而可减少外围护墙面积,并节约室内空调所需能源,减少建筑维护、使用费。另在建筑总高度确定的条件下,采用钢结构可比采用混凝土结构多造几层,从而增加建筑面积。

2. 钢结构结构性能的优越性

与混凝土结构相比,钢结构的结构性能具有下列优越性:

1) 在梁高相同的情况下,钢结构的开间可比混凝土结构的开间大 50%,从而可使建筑布置更灵活。

2) 钢结构的延性比混凝土结构的延性好得多,从而钢结构的抗震性能比钢筋混凝土结构好。表 1-2 所列的 1985 年墨西哥大地震(8.1 级)中钢框架结构和混凝土框架结构的破坏对比情况,即能说明这一点。

1985 年墨西哥地震震害统计

表 1-2

结 构 类 型	破 坏 程 度	建 造 年 代			
		1957 年前	1957~1976 年	1976 年以后	总 计
钢 框 架	倒 塌	7	3	0	10
	严 重 破 坏	1	1	0	2
混凝土框架	倒 塌	27	51	4	82
	严 重 破 坏	16	23	6	45

3) 由于钢结构比混凝土结构重量轻,更易采用 TMD、TLD 等结构振动控制措施,提高结构的抗风、抗震能力。因 TMD 或 TLD 装置的减振效果,和装置与结构的质量比直接相关。

4) 钢结构由于在工厂加工制作,精度高,质量有保证,与混凝土结构现场施工相比,更易符合结构设计要求。

5) 高层建筑在建造过程中,由于业主要求的变化,变更设计经常发生,采用钢结构则较易配合变更。

3. 钢结构环保性能的优越性

1) 钢结构为干式施工,可避免混凝土湿式施工所造成的环境污染。另外钢结构材料可利用夜间交通流畅期间运送,不影响建在闹市区高层建筑周围地区的日间交通,而高层混凝土结构一般采用商品混凝土,夜间运输施工有噪声问题,而白天运输又可能受到日间交通拥挤的影响。

2) 混凝土结构建筑拆除后,混凝土不能再使用,只能当作废料处理而影响环境。然而钢结构建筑拆除后,钢构件或可以直接利用,或经冶炼后再使用,对环境没有影响,因此,钢材也称为绿色建材。

如果全面考虑上述优越性,很多情况下多高层建筑钢结构的综合经济性能不劣于混凝土结构,有些情况下会优于混凝土结构。

二、多高层钢结构的应用

多高层钢结构适用于下列建筑:

- (1) 工业建筑。如厂房、仓库等。
- (2) 商业建筑。如商场、会议展览中心等。
- (3) 公共建筑。如办公楼、学校、医院等。
- (4) 住宅。

我国改革开放以来,钢铁工业得到了很大的发展,钢产量由 1978 年的 3187 万吨,增加到 2000 年的 12850 万吨,22 年间钢产量几乎增加了一亿吨,占世界钢产量的份额由 4.4% 提高到 15.23%。我国钢产量自 1996 年首次突破 1 亿吨后,一直位居世界第一,我国政府对建筑采用钢结构的政策也从 20 世纪 50~60 年代的限制使用,到 80 年代的合理使用,最后到 90 年代的鼓励使用。预计我国钢结构的发展热点也将从 20 世纪 50~60 年代的重型厂房钢结构,70~80 年代的大跨度网架、网壳结构,90 年代的轻型门式刚架结构,到今后量更大、面更广的多高层建筑钢结构。

§ 1.3 多高层建筑钢结构设计的基本过程

多高层建筑钢结构的设计，一般遵循下列基本过程：

(1) 确定建筑方案。建筑师根据建筑的功能要求，确定建筑的平面布置、立面布置。结构工程师应参与这一阶段建筑方案的确定，以使与之相配的结构方案合理、经济。

(2) 确定结构方案。根据建筑方案，确定结构布置及相应的结构形式，并初步给定结构各构件的材料与尺寸。在确定结构方案时，尚应注意设备及管线布置对结构布置及构件形式及尺寸影响。

(3) 结构分析。根据建筑所处的地域环境及建筑的功能，确定该建筑可能受到各种荷载与作用，如风荷载、雪荷载、地震作用、温度作用、建筑自重，以及建筑的各种使用可变荷载；然后进行结构在各种荷载作用下的内力与变形分析；最后确定结构在各种荷载组合作用下的内力与变形。

(4) 结构验算。进行结构在各种荷载组合作用下的承载力与变形验算。对于多高层建筑钢结构，目前世界各国（包括中国）主要验算结构各构件的承载力及结构在风和地震作用下的水平位移。如果结构验算结果过于富余或不满足，应调整结构构件尺寸或结构布置。

(5) 出结构设计图。结构设计图应表达清楚结构各构件的布置（位置）、各构件的材料、截面形式与尺寸，以及结构各节点的形式（是刚接还是铰接）与所有不同节点的细节（节点详图）。

按上述步骤完成结构设计后，应出具设计文件。完整的结构设计文件由三部分组成：

- 1) 结构设计说明；
- 2) 结构设计图；
- 3) 结构计算书。

结构设计说明应注明结构设计依据（结构所处地域环境、需遵守的各种设计规范、设计指标等）、对结构材料及结构制造与安装的有关要求、对结构设计图纸表达的有关说明等。

结构设计图需表达清楚结构的构成，结构图应力求简单明了。一般结构布置图用单线条表示，所有构件需编号，构件截面形状与尺寸等信息通过列表表达，节点特征用符号表示刚接，表示铰接。图 1-10 为一典型结构布置图，图 1-12 为一典型节点详图。

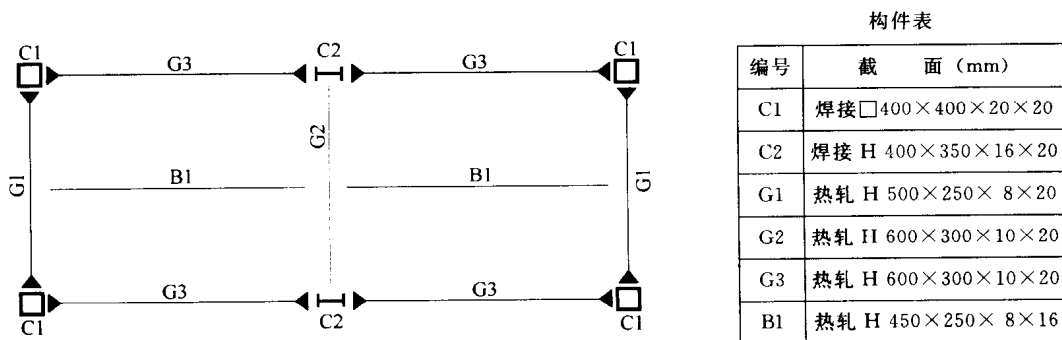


图 1-10 典型结构布置图

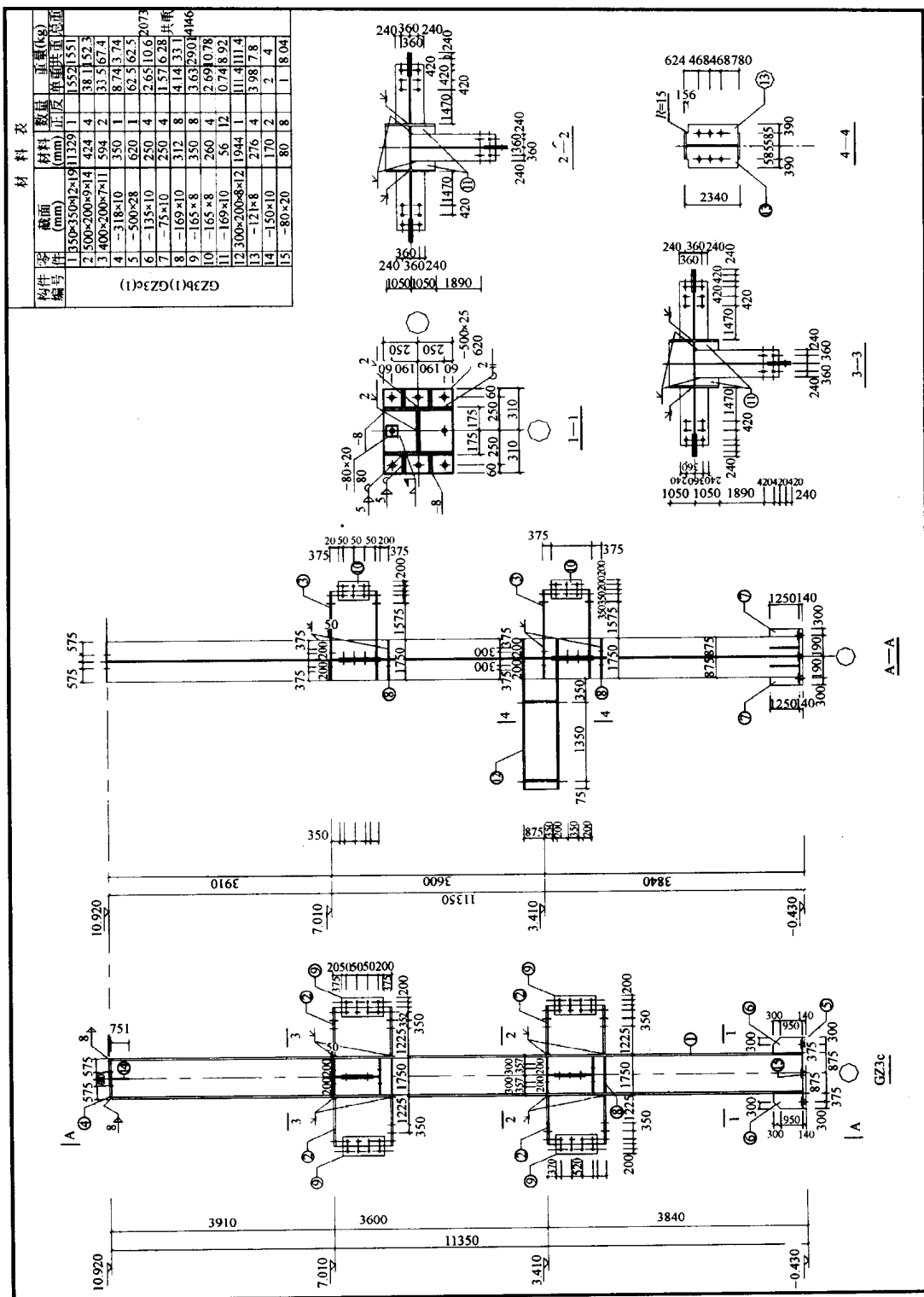


图 1-11 构件制作详图