

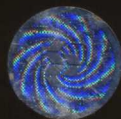
建筑结构设计系列手册

钢结构设计手册 (下册)

GANG JIE GOU SHE JI SHOU CE

(第三版)

■ 《钢结构设计手册》编辑委员会



中国建筑工业出版社

建筑结构设计系列手册

钢结构设计手册(下册)

(第三版)

《钢结构设计手册》编辑委员会

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构设计手册(下册)/《钢结构设计手册》编辑委员会. —3 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004
ISBN 7-112-06563-1
建筑设计系列手册

I. 钢... II. 钢... III. 钢结构-结构设计-技术手册 IV. TU391.04-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 039084 号

本书为钢结构设计手册第三版的下册。内容为多高层钢结构房屋, 全部按照最新颁布的《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001), 以及《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98) 等有关规范、规程、标准编写。主要有设计基本原则、结构布置与结构体系、构件和节点计算、组合楼盖、制作安装与防火, 并附有设计实例、工程实例, 以及焊接坡口、紧固件连接、结构组装与安装允许偏差、国内外 H 型钢等资料。上册除基本规定外, 主要为单层房屋钢结构、轻型门式刚架及网架。本书可供建筑结构设计、施工、教学人员使用和参考。

* * *

责任编辑: 黎 钟
责任设计: 孙 梅
责任校对: 黄 燕

建筑设计系列手册
钢结构设计手册 (下册)
(第三版)

《钢结构设计手册》编辑委员会

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

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 $\frac{3}{4}$ 字数: 563 千字
2004 年 8 月第三版 2004 年 8 月第十六次印刷
印数: 205071—225070 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-112-06563-1
TU·5723 (12517)

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>

《钢结构设计手册》编辑委员会

主 任 汪一骏

副主任 顾泰昌 周廷垣

委 员 郁银泉 邱国桦 张作运 陈远椿

柴 昶 何建平

钢结构设计手册第三版下册编写说明

钢结构设计手册下册，是根据我国钢结构的发展和设计应用需要而在第三版中增加的部分。下册主要包括多、高层钢结构房屋设计与与多高层钢结构设计有关的应用资料。考虑多高层钢结构设计应用的规范和涉及的资料都有不同点，也考虑篇幅关系和便于将来的修订，故将其编入下册出版。

由于电子计算机的普及和在多高层钢结构设计计算中已广泛应用，书中未将多高层钢结构力学分析的计算公式及计算步骤列出，而集中介绍对新规范的理解、多高层钢结构构件设计和节点设计、钢与混凝土组合梁的计算步骤与算例，还附有多种节点计算和一个工程的设计实例、一些工程实例，以及多高层钢结构房屋抗震设计中的若干问题。

本手册上册除钢材与基本构件外，主要包括单层厂房、轻型门式刚架以及钢结构设计计算图表等共4篇。下册为第5篇多高层钢结构房屋，主要有设计基本原则、结构体系和结构布置、荷载与地震作用、内力及位移计算、构件节点计算、组合楼盖、制作安装等共13(章)。

编写人：27(章)	柴 昶				
28(章)	张作运	周廷垣	陈远椿		
29(章)	姜兰潮	汪一骏			
30(章)	张作运	周廷垣	薛彦涛	陈远椿	
31(章)	邱国桦	顾泰昌			
32(章)	邱国桦	顾泰昌			
33(章)	张作运	陈远椿	周廷垣		
34、35(章)	邱国桦	顾泰昌			
36(章)	陈水荣	王雨苗	姜兰潮	汪一骏	
37(章)	汪一骏				
38(章)	张作运	胡纯锡	申 林	刘 钢	何建平
39(章)	汪一骏	姜兰潮			

主审：汪一骏

主要编写单位：

1. 中国建筑标准设计研究院
2. 北京交通大学
3. 中元国际工程设计研究院
机械工业规划研究院
4. 中冶集团建筑研究总院
5. 中广电广播电影电视设计研究院

目 录

第5篇 多高层钢结构房屋

27 设计基本原则与结构选材	2
27.1 概述	2
27.2 高层钢结构的特点	4
27.3 高层钢结构的设计总则	8
27.4 高层钢结构的钢材选用	10
28 结构布置及结构体系	17
28.1 结构类型及结构体系分类	17
28.2 结构体系的组成	23
28.3 多高层钢结构设计的基本规定和结构布置	54
29 荷载与地震作用	70
29.1 竖向荷载	70
29.2 风荷载	70
29.3 地震作用	71
30 结构内力及位移计算	79
30.1 计算的一般原则和基本假定	79
30.2 结构内力分析的基本内容	85
30.3 内力与位移的计算方法	92
30.4 地震作用下的时程分析法	99
30.5 温度影响	106
30.6 结构整体稳定和重力二阶效应	108
30.7 位移限值和舒适度验算	110
31 钢构件设计	114
31.1 一般规定	114
31.2 梁	114
31.3 轴心受压柱	116
31.4 框架柱	117
31.5 中心支撑	120
31.6 偏心支撑	122
31.7 钢板剪力墙	124
32 节点设计与构造	126

32.1	一般规定	126
32.2	梁与柱的连接	128
32.3	柱与柱的连接	135
32.4	梁与梁的连接	138
32.5	钢柱脚设计	141
32.6	中心支撑与框架的连接	146
32.7	偏心支撑与框架的连接	147
32.8	抗震剪力墙板与框架的连接	148
32.9	钢梁与混凝土剪力墙的连接	149
33	组合楼盖	152
33.1	组合楼板与非组合楼板	152
33.2	钢与混凝土组合梁设计	172
34	多高层钢结构制作和安装	215
34.1	一般规定	215
34.2	钢材	215
34.3	焊接	216
34.4	构件验收	218
34.5	安装前的准备工作	220
34.6	安装顺序	222
34.7	测量和校正	222
34.8	高强度螺栓施工	223
34.9	安装验收	223
35	多高层钢结构防火	226
35.1	建筑构件的耐火极限	226
35.2	防火保护材料	227
35.3	防火保护层构造	228
36	设计实例	231
36.1	节点设计	231
36.2	工程设计	246
37	多高层钢结构房屋抗震设计中的若干问题	263
37.1	强柱弱梁	263
37.2	强剪弱弯	263
37.3	强节点弱构件	265
37.4	关于连接的极限承载力验算	267
37.5	节点域腹板的屈服承载力	268
37.6	节点域腹板的抗剪强度	269
37.7	结语	269
38	工程实例	271
38.1	财富中心二期公寓楼	271

38.2	北大医院病房楼	276
38.3	北京经开国际汽车广场	282
38.4	北京京广中心	285
38.5	上海新锦江饭店	287
38.6	大连世界贸易大厦	289
38.7	中关村金融中心塔楼	294
39	焊接坡口、结构组装、安装偏差以及 H 型钢	299
39.1	焊接坡口的形状和尺寸	299
39.2	紧固件连接	319
39.3	多层和高层钢结构的组装允许偏差	319
39.4	多层和高层钢结构的安装允许偏差	322
39.5	国内 H 型钢 (含高频焊接) 规格及截面特性	324
39.6	国内焊接 H 型钢	332
39.7	国外 H 型钢	337
	参考文献	354

第5篇 多高层钢结构房屋

- 27 设计基本原则与结构选材
- 28 结构布置及结构体系
- 29 荷载与地震作用
- 30 结构内力及位移计算
- 31 钢构件设计
- 32 节点设计与构造
- 33 组合楼盖
- 34 多高层钢结构制作和安装
- 35 多高层钢结构防火
- 36 设计实例
- 37 多高层钢结构房屋抗震设计中的若干问题
- 38 工程实例
- 39 焊接坡口、结构组装、安装偏差以及 H 型钢

27 设计基本原则与结构选材

27.1 概 述

27.1.1 高层建筑钢结构的应用概况

国内外的建设经验表明,高层建筑钢结构的应用与发展既是一个国家经济实力壮大的标志,也是其科技水平提高、材料工艺与建筑技术进入高科技阶段的体现。我国在借鉴国外经验的基础上及经济建设发展的促进下,于上世纪90年代初期与末期分别形成了两个高层钢结构建设的高峰期,至今已建成(或在建)的高层钢结构(或钢-混体系结构)超过70幢,总面积约600万 m^2 。其中金茂大厦88层、总高度421m,居世界最高建筑的第4位,而正在上海浦东兴建的上海环球贸易中心,将以492m总高度超过马来西亚双塔建筑,暂居世界第一高度。此外已建成的深圳赛格大厦已以70层及278.6m的总高度,成为世界上最高的钢管混凝土超高层建筑。这一切均表明我国在高层钢结构的建造技术方面已进入世界的前列。在钢材材料、设计研究、加工安装、规范、标准等方面基本上达到了与国际先进水平接轨的程度。目前已有《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99可供设计施工依循,同时按《高层建筑用钢板》(YB 41042000)供货的国产高性能优质钢板、厚板已基本上可满足高层钢结构的用材要求。

27.1.2 高层建筑钢结构的综合特性

1. 1995年10月“世界高层建筑与城市住宅委员会(CTBUH)”发布了世界上超过200m的100幢超高层建筑排名榜,统计分析表明以下各点:

(1) 随着技术、经济的发展,世界上超高层建筑持续增加,尤以20世纪70年代以后更为显著;

(2) 100栋中,高度300~450m的为20栋,200~300m的为80栋,由此可知,这一高度范围是综合使用功能、技术经济特征等更为适合的区间;

(3) 结构用材料及结构体系向多样化及优化方面发展。按所用材料分析,钢筋混凝土结构占20%(18栋),钢-混凝土组合体系结构约为27.6%(24栋),钢结构为52.4%(45栋)。

2. 值得注意的是,近年来在高层建筑中,钢-混凝土混合结构体系应用的迅速增加,它包括钢框-钢筋混凝土墙(筒)等组合的结构体系,也包括型钢混凝土、钢管混凝土、组合楼盖等组合构件。在我国近年所建的超高层钢与钢-混结构中,后者的比重多达80%以上,现居世界第4高度的上海金茂大厦也采用了钢框(巨柱)-钢筋混凝土核心筒体系。

3. 从上述分析,超高层建筑中,钢结构体系(包括组合结构体系)约占达80%,这表明了钢结构体系在超高层建筑中已占有绝对的主导地位,在地震设防区及非地震区的超高层建筑宜分别首选钢结构体系及混合结构体系,已被认可为普遍的设计原则。这当然还

是由此类体系的优良综合特性所决定的。几种不同材料结构体系的综合特性比较如表 27-1。

不同结构材料的结构体系综合特性比较 表 27-1

特 性		结 构 类 别		
		钢结构	钢筋混凝土结构	钢-钢筋混凝土混合结构
建筑功能	体现现代建筑风格	较好	一般	稍好
	利于建筑特色构造与造型	较好	一般	稍好
	提供较大建筑空间	较好	一般	稍好
结构性能	承载强度	高	较高	较高
	抗震性能	好	一般	较好
	高强轻质特性	好	较差	稍好
	截面尺寸	较小	较大	稍大
	防火性能	较差	较好	较好
施工特点	施工技术难度	较大	一般	较大
	现场施工方便程度	较方便	一般	稍大
	建造速度	较快	一般	较快
技术经济特性	重量及荷载	轻	一般	较轻
	用钢量	较高	较低	稍高
	建造费用	稍高	稍低	稍低
	对软弱地基的适应性	较好	一般	稍好

27.1.3 高层钢结构的综合经济分析

在高层钢结构的应用发展过程中，其工程造价与经济性，一直是备受关注的课题之一。根据国内外的建设经验，可以作以下简要的归纳与分析。

1. 对工程造价的评估分析必须是按动态的和综合的进行分析。

传统的造价分析方法是只比较建设期间结构本体一次投资的直接费用，这显然是很不合理的。高层结构经济性的影响因素很多，其合理的评估方法还应充分考虑由于采用钢结构加快进度、缩短贷款期，减少贷款利息及提前使用收益等动态影响，以及因减轻结构自重而导致基础和地基处理费用和抗震设防费用降低的影响，还有增加使用面积与车位数等的影响，这样的评估分析结论才是合理与客观的。尽管这样进行一个较准确的评估分析是一件繁复的工作，但动态的、综合的经济评估概念已逐渐为人们所共识。这是一个重要的进步。

2. 根据上述动态的，综合的分析原则，以及当前钢结构应用技术的发展与进步情况，可以认为在良好的设计、施工及管理条件下，钢结构（含组合结构）的综合造价也可能是经济的，表 27-2、表 27-3 分别列出了某工程实例的经济比较分析，可供参考。

国内某工程实例结构造价、经济分析比较 表 27-2

项 目		某钢结构高层商务大厦		某钢筋混凝土高层写字楼	
建筑概况		23 层、高 98.8m、建筑面积 23700m ² 钢框-钢筋混凝土核心筒体系		20 层、高 73.0m、建筑面积 17900m ² 钢筋混凝土框剪结构体系	
结构 造价	地下结构	总计 362	单方 153	总计 384	单方 215
	上部结构	(万元) 1755	(元/m ²) 740	(万元) 956	(元/m ²) 534
	总造价	2117	893	1340	749

续表

项 目		某钢结构高层商务大厦	某钢筋混凝土高层写字楼
由工期加	利息 (万万)	- 129	—
快的效益	租金 (万元)	- 215	—
有效面积增加收益 (万元)		- 118	—
综合分析后成本 (万元)		1655 万元 (单方 698 元/m ²)	1340 万元 (单方 749 元/m ²)

国外工程结构造价经济分析比较

表 27-3

工程名称和概况	总造价	钢结构造价	RC 结构造价	采用钢结构 缩短总工期	采用钢结构 降低工程总造价
芝加哥 Madisen 广场办公楼, 45 层全钢结构	1 亿美元	2000 万美元	1900 万美元	5 个月	7.7% 775 万美元
新加坡某办公 楼, 18 层, 全钢 结构	1300 万美元	290 万美元	270 万美元	5 个月	8.4% 110 万美元
悉尼 Huter 大街 办公楼, 17 层, 钢框架 + RC 井筒	—	112 美元/m ²	110 美元/m ²	13 个星期	40.5 万美元 + 提 前租金收入 85 万美 元
伦敦某办公楼, 10 层, 建筑面积 3.1 万 m ²	6231 万英镑	1522.5 万英镑	1485.9 万英镑	26 个星期	7.4% (461.9 万 英镑)

27.2 高层钢结构的特点

27.2.1 结构技术经济性能的特点

1. 钢结构材料轻质高强、承载力高而自重轻。

钢结构材料与钢筋混凝土相比, 具有显著的轻质高强特点, 其强度重量比指数是钢筋混凝土的 5 倍以上。目前随着钢铁材料的发展, 实际工程已可应用屈服强度为 440N/mm² (实际常用为 345N/mm²) 的高性能优质钢, 强重比性能更为优异。轻质高强混凝土结构带来多方面的优化效果, 首先是显著减轻结构的自重。统计分析表明, 高层钢结构的自重 (包括钢结构骨架与混凝土楼板) 约为 6 ~ 8kN/m², 仅为钢筋混凝土高层结构自重 12 ~ 14kN/m² 的一半及 60% 左右, 这相当于 70 ~ 75 层的高层钢结构其上部结构重力荷载, 可等同于 50 层高的高层钢筋混凝土结构。这也说明, 为什么在一定高度以上的超高层结构中, 钢筋混凝土结构已不可行, 而钢结构却成为主导的体系。关于不同方案的结构自重比较示例可见下表 27-4。

上海静安-希尔顿酒店三种结构方案自重对比

表 27-4

结构方案	总重量 (t)	单位面积重量 (t/m ²)	百分比 (%)	基底单位面积荷载 (kN/m ²)
钢结构	54626	1.05	100	450 (58%)
钢-钢筋混凝土混合结构	66434	1.28	122	550 (71%)
钢筋混凝土结构	94111	1.8	171	770 (100%)

2. 高层钢结构的自重减轻可显著减小基础的负荷和地震作用, 从而降低基础及结构工程的造价。

以总面积 8 万 m^2 的 50 层高层结构为例, 其荷载减轻的估算如下:

- (1) 总重减少约 40000t;
- (2) 每根底柱上的竖向荷载约可减少 5000 ~ 6000kN;
- (3) 地基上单位面积的负荷约可减少 25% 以上;
- (4) 地震作用约可减小 20% ~ 30% (综合考虑阻尼比, 质点质量, 刚度与周期等影响), 由表 27-4 知地基上负荷可减少约 40%, 当为软土地基或人工地基的条件时, 这种降低工程造价的影响将更为显著。

3. 钢结构钢材在具有高强度的同时还具有高延性、高韧性。

优质结构钢的强屈比均可保证大于 1.2。按抗震设计规定弹性计算阶段的高层结构层间位移限值, 对钢筋混凝土结构规定为 $h/800$, 而对钢结构则可放宽到 $h/300$, 二者相差 2.6 倍。可见在地震作用下, 由于钢结构有良好延性的优势特征, 不仅因吸能而减弱地震作用, 而且属较理想的弹塑性结构, 具有良好的适应强震变形能力。

4. 减小结构尺寸增加使用面积。

由于钢材轻质高强, 其梁柱截面尺寸相对较小因而占用的建筑面积也小, 相当于增加了使用面积。如长富宫 25 层建在 8 度设防区, 采用全钢框体系, 其钢箱形柱截面仅 $450mm \times 450mm$ (底层板厚 70mm)。而同样条件的钢筋混凝土柱至少需边宽为 800 ~ 900mm 的截面。由表 27-5 可知, 这种截面减小使用面积的增加率平均可达 4% 以上, 对一个 $50000m^2$ 的高层建筑则相当于可增加 $2000m^2$ 以上的使用面积。

不同结构形式的结构占有面积比较

表 27-5

建筑名称	结构形式	建筑楼层数	结构占用面积 (%)
上海新锦江饭店	全钢结构	44	3.2
天津第一饭店	钢筋混凝土框剪结构	20	7.0
汕头国际信托中心	钢筋混凝土框筒结构	26	6.0
香港政府大厦	钢筋混凝土框筒混合结构	54	7.1
上海静安-希尔顿酒店	钢结构	43	2.5
	钢-钢筋混凝土混合结构		3.3
	钢筋混凝土结构		9

5. 施工速度快、周期短。

钢结构构件均在工厂制作加工, 现场安装, 干作业比重大, 基本不受气候的影响。配套的组合楼盖或型钢混凝土构件等均可同步多工序作业, 由表 27-6 可知, 30 ~ 50 层的高层钢结构可较混凝土高层结构减少工期 20% ~ 30% (约 6 ~ 12 个月)。

我国几幢高层建筑施工工期比较

表 27-6

工程名称	层数 (地上/地下)	总建筑面积 (m^2)	结构形式	施工周期 (日历月)
上海瑞金大厦	29/1	36167	S	20
北京香格里拉饭店	26/2	56710	SRC	24
上海静安-希尔顿酒店	43/1	52000	S	30
北京长富宫中心	25/3	50516	S	30
北京国际饭店	27/3	97000	RC	43
北京国际大厦	29/3	47700	RC	36
南京金陵饭店	33/1		RC	37

注: S—钢结构, SRC—型钢混凝土结构, RC—钢筋混凝土结构。

6. 便于大柱网大开间的建筑布置或转换层设备层、共享空间等建筑特殊平面与空间布置。还便于设备管线的穿越设置。

经验表明,当考虑经济性及构件截面尺寸、净空尺寸、结构重量、车库停车数等综合因素时,高层钢结构的合理柱距可用到8~10m,能更好地满足建筑对大开间布置的要求,也可满足地下车库柱间可停3辆车的要求,这是对同样条件下混凝土结构难以做到的。此外集中荷载很大的转换层或设备层均可通过设置钢结构层间桁架来妥善解决,而这种桁架还可兼作腰带(腰桁架)、帽带(帽桁架)完善与加强整个结构体系。

7. 防锈、防火性能差,需特别处理防护。

钢结构耐腐蚀能力及耐火能力差(其自身耐火时限仅为15min)是主要缺陷,这是其材料自身特性所决定的。在应用中,应按设防标准采取防锈涂料及防火涂料(或外包板材)防护。目前已有相应的防护规范、配套材料可应用,也可采用耐候钢、耐火钢或钢管(型钢)混凝土构件,提高结构的耐火性能。由于采用防护措施也会增加钢结构的造价。

27.2.2 高层钢结构荷载的特点

1. 水平荷载是设计控制荷载。与其他高层结构一样,由于建筑高度显著增加,风荷载或地震作用等水平荷载成为设计高层钢结构的控制性荷载,从而对结构材料用量也有着极大的影响。房屋高度增加,受风及地震的作用更大。荷载对用钢量的影响可见图27-1。

2. 风荷载和地震作用虽然都是控制水平荷载,但由于两者性质不同,设计时应特别注意其各自的特性与计算要求,以及有关相互组合的规定,考虑增大系数(转换层等处)的规定等。

(1) 风荷载是直接施加于建筑物表面的风压,其值和建筑物的体型、高度以及地形地貌有关。而地震作用却是地震时的地面运动迫使上部结构发生振动时产生并作用于自身的惯性力,故其作用力与建筑物的质量、自振特性、场地土条件等有关。

(2) 高层钢结构属于柔性建筑,自振周期较长,易与风荷载波动中的短周期成分产生共振,因而风荷载对高层建筑有一定的动力作用。但可在风荷载计算中引入风振系数 β 后,仍按静载处理一样来简化计算。而地震作用的波动对结构的动力反应影响很大,必须用考虑动力效应的方法计算。

(3) 风荷载作用时间长、频率高,因此,在风荷载作用下,要求结构处于弹性阶段,不允许出现较大的变形。而地震作用发生的机率很小,持续时间很短,因此,对抗震设计允许结构有较大的变形,允许某些结构部位进入塑性状态,从而使周期加长,阻尼加大,以吸收能量,达到“小震不损,中震可修,大震不倒”的设防要求。

3. 对风及地震作用的计算应考虑其工况组合,而抗震承载力计算应考虑抗震调整系数等特殊规定。

27.2.3 高层钢结构设计的特点

1. 设计应遵照专门设计规程“高层民用建筑钢结构技术规程”进行。应严格要求合理的结构布置与结构体系的选用(如控制结构的偏心率与高宽比等),以及合理的技术经济性能。

2. 结构的抗震设计应进行两阶段设计,第一阶段设计按多遇地震计算地震作用,第二阶段按罕遇地震计算地震作用,并分别验算其位移限值及层间侧移延性比等限值的要求。

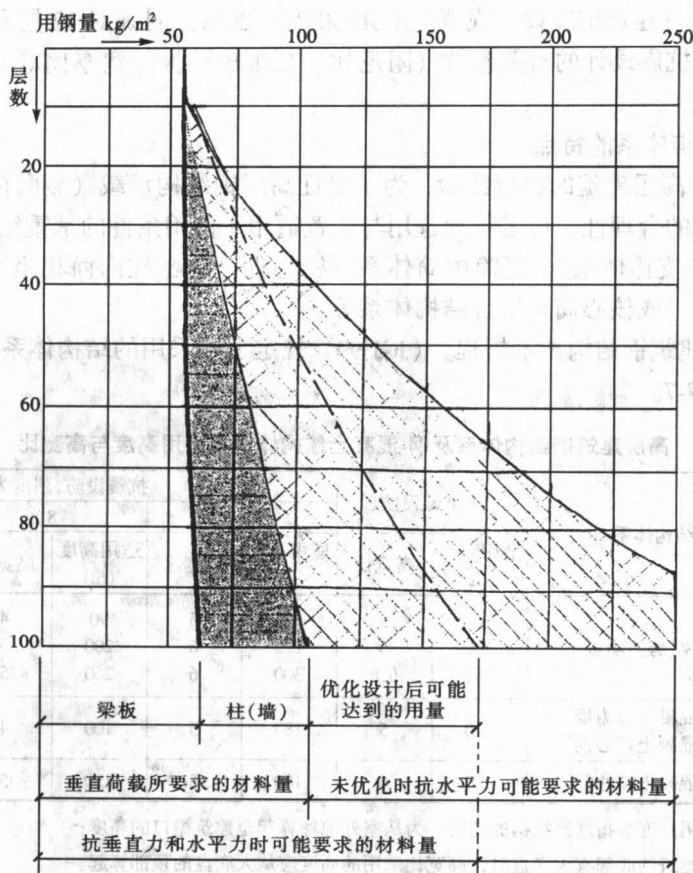


图 27-1 荷载与设计用钢量的关系曲线

3. 严格要求对侧移变形的控制。为了避免过大的 $P-\Delta$ 效应以及舒适度与围护结构不严重损坏等要求，结构设计必需满足规定的顶点位移与层间位移限值要求，致使结构的侧向刚度往往是设计中的控制指标。此外，为参照考虑舒适度的要求及避免横向风振的发生，还应验算风荷载作用下的结构顶点加速度与临界风速等。

4. 结构抗震设计对节点抗震承载力验算及构件长细比、板件宽（高）厚比、焊透要求、支撑要求等抗震构造措施，在新的“抗震规范”中均有严格的、专门的要求。

5. 因设计计算的复杂性与较高难度，要求采用更加准确与完善的计算方法与手段，如以风洞试验确定风荷载体型系数，抗震设计需采用震型分解法、弹塑性分析、时程分析法，以及相应的专用计算机软件等。

6. 对钢材等材料的选用要求更高、更严格。如对厚板、H型钢、枪钉、高强度螺栓等的选用，以及对Z向抗撕裂性能、焊接性能、冲击韧性、延性性能等技术性能的选用等。要求设计人员对所用钢材性能及应用要求有更多的了解。

7. 在设计管理及程序上也有严格的要求。如对超限超限的高层钢结构抗震设计，其方案应经“全国超限高层建筑工程抗震设防审查专家委员会”审查通过，同时高层钢结构的计算分析一般应有校核复算（采用不同程序）。

8. 新修订的《建筑抗震设计规范》(GB 50010—2001)明确对12层及12层以下的多层钢结构规定了抗震设计的有关参数(阻尼比、长细比、板件宽厚比等),需注意区别采用。

27.2.4 结构体系的特点

1. 根据国外高层建筑的建设经验,为了保证高层钢结构承载(竖向荷载与水平荷载)的可靠性与结构的合理性,应妥善地选用与配置适用于使用条件的承重结构体系(如纯框架体系、钢框架-支撑体系)、钢管中筒体系(密柱外筒与密柱内筒相组合)及钢框架-钢筋混凝土剪力墙(或核心筒)组合结构体系等。

《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99)规定了可采用的结构体系及其适用高度与高宽比,见表27-7。

高层建筑钢结构体系及钢-混凝土结构体系的适用高度与高宽比 表 27-7

结构种类	结构体系	非抗震设防		抗震设防,烈度为					
				6,7		8		9	
		适用高度 (m)	高宽比	适用高度 (m)	高宽比	适用高度 (m)	高宽比	适用高度 (m)	高宽比
钢结构	框架	110	5	110	5	90	4	70	3
	框架-支撑(剪力墙板)	260	6	220	6	200	5	140	4
	各类筒体	360	6.5	300	6	260	5	180	5
有混凝土 剪力墙(筒) 的钢结构	钢框架-混凝土剪力墙	220	5	180	5	100	4	70	4
	钢框架-混凝土核心筒								4
	钢框架筒-混凝土核心筒	220	6	180	5	150	5	70	4

注 1. 表中适用高度等指规则结构的高度,为从室外地坪算起至建筑檐口的高度;

2. 当塔形建筑的底部有大底盘时,高宽比采用的高度应从大底盘的顶部算起。

2. 抗震高层钢结构的体系和布置应符合下列要求:

- (1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径;
- (2) 宜有避免因部分结构或构件破坏而导致整个体系丧失抗震能力的多道设防;
- (3) 应具有必要的刚度和承载力,良好的变形能力和耗能能力;
- (4) 宜具有均匀的刚度和承载力分布,避免因局部削弱或突变形成薄弱部位,产生过大的应力集中或塑性变形集中;对可能出现的薄弱部位,应采取加强措施。

3. 当采用钢框架-混凝土筒(墙)混合结构体系时,其抗震设防应考虑双重抗侧力体系,其层间位移的限值应有专门的考虑。

27.3 高层钢结构的设计总则

高层钢结构建筑不仅造价高,而且重要性等级、安全等级及抗震设防类别等也都要求有较高的保证等级,同时其设计、建造的难度也较大,故其设计应严格遵循《钢结构设计规范》、《高层民用建筑钢结构技术规程》等规范、规程的规定与以下主要原则:

1. 妥善地确定设计项目的安全等级及抗震设防类别;
2. 结构计算应充分考虑风、地震等作用的效应及其动力影响,必要时应经专门风洞试验提供风荷载计算的有关参数,或合理地选取供时程分析时需输入的典型地震波类型;

3. 抗震设防的高层钢结构, 应分别计算非地震作用工况组合与地震作用工况组合的两种工况, 对后者的抗震设计应符合表 27-8 的要求。同时高层钢结构的抗震设计必须经“全国超限高层建筑工程抗震设防审查专家委员会”审查通过。

不同抗震设防类别高层钢结构的功能与设计的要求 表 27-8

设计要求类别	使用功能与重要性	地震作用	抗震措施
甲类	重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑	1. 应按高于本地区抗震设防的烈度计算, 其值应按批准的地震安全性评价结果确定; 2. 地震作用应按专门研究确定的地震的参数进行计算	1. 6~8 度时, 抗震措施应提高 1 度设防; 2. 9 度时, 应符合比 9 度设防更高的要求
乙类	地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑	地震作用应符合本地区设防烈度的要求计算	1. 6~8 度时, 抗震措施应提高 1 度设防; 2. 9 度时, 应符合比 9 度设防更高的要求
丙类	属于除甲、乙、丁类以外的一般建筑	1. 地震作用计算应符合本地区设防烈度的要求; 2. 按 6 度设防并位于 I - III 类场地上的丙类建筑可不计算地震作用	抗震措施应符合本地区设防烈度的要求设防

注: 按 6 度设防的建筑可不进行罕遇地震作用下的结构计算。

4. 高层钢结构的设计应作好前期的方案比选及设计优化等工作。应根据工程的条件与特点, 综合考虑建筑的使用功能、荷载性能、制作安装、材料供应等因素, 择优选择抗震和抗风性能良好, 而又经济合理的结构体系和结构型式, 对高烈度设防的高层钢结构, 宜选用钢框-支、钢框-筒或钢筒中筒等钢结构体系。同时应与建筑师充分沟通合作, 共同商定符合抗震、抗风原则的结构平面与立面布置。

5. 当采用钢框架-混凝土筒(墙)混合结构体系时, 应遵守以下主要规定:

(1) 钢结构框架抗震设计应考虑双重抗侧力体系设防原则, 其所承担的地震剪力应不小于相关规范规定的限值。

(2) 混合结构体系的适用最大高度, 当为混凝土剪力墙时不宜超过 180m(7 度设防)或 100m(8 度设防); 当为混凝土核心筒时不宜超过 200m(7 度设防)或 120m(8 度设防)。

(3) 结构总高度 $H \leq 100\text{m}$ 时, 在风荷载及多遇地震作用下的最大层间相对位移(弹性方法计算)不宜超过 $1/800$; 当 $H \geq 200\text{m}$ 时, 不宜超过 $1/500$, 中间限值可按线性插入取值。

6. 结构设计应正确合理地选材, 原则上尽量选用国产钢材。对设防烈度为 8 度或以上的超高层建筑, 其主要承重钢结构(框架梁、柱等)所用钢材级别不宜低于 Q345-C 级钢, 所用的厚板 ($t \geq 40\text{mm}$ 或 50mm) 宜选用按《高层建筑用钢板》YB4104—2000 供货的高性能优质板材。

7. 高层钢结构的设计尚应同时遵循多种相关专门设计规范、规程的规定, 主要如《钢-混凝土组合楼盖设计施工规程》(YD9238—92)《型钢混凝土组合结构技术规程》(JGJ 138—2001)、《钢骨混凝土结构设计规程》(YB 9082—97)、《钢管混凝土结构设计规程》(CECS28: 90)、《钢结构高强度螺栓连接的设计、施工验收规程》(JGJ 82—91)、《建筑钢结构焊接技术规程》(JGJ 81—2002)、《钢结构防火涂料应用技术规程》(CECS24: 90)、