

# 高层钢结构建筑和新型 轻钢结构建筑在我国的发展

徐伟良 龙莉萍

(重庆建筑大学建筑工程学院 400045)

TU393.2  
[2-407.938

**摘 要** 介绍了近年来高层钢结构建筑和新型轻钢结构建筑在我国建筑业的应用与发展, 分析论述了它们的技术特点和综合经济效益。

**关键词** 钢结构, 技术特点, 综合经济效益, 发展 高层建筑, 中国  
中图法分类号 TU393.2

## 1 高层钢结构建筑的应用与发展

### 1.1 概 述

随着建筑钢材和建筑技术的进步, 我国现代高层钢结构建筑也得到了很大的发展。八十年代中期以来, 已建成和正在建设的高层钢结构建筑约有 26 栋(见表 1), 地面以上的层数为 14~88 层, 总建筑面积约为 280.28 万平方米, 主要分布在上海、北京和深圳。目前正在设计中的高层钢结构建筑约 10 栋, 预计在 3~4 年之后, 在我国将矗立起近 40 栋高层钢结构建筑(见表 2), 其中高度超过 200 米以上的有 10 栋。八十年代兴建的京广中心在当时为最高的建筑, 现正施工的上海金茂大厦和环球金融中心(高 460 米, 94 层)将使我国的高层建筑进入世界前列。

### 1.2 我国高层钢结构建筑的结构体系

在我国已建和在建的高层钢结构建筑中采用的结构体系主要有以下五种:

#### 1.2.1 纯钢框架结构

北京长富宫中心工程是我国最早的高层钢结构建筑, 采用纯钢框架结构形式。纯钢框架结构的优点是整体刚度均匀, 制作安装简便, 但侧向刚度较小, 宜用于 20 层以下的高层建筑。

#### 1.2.2 框架—支撑(带边框剪力墙)结构

上海瑞金大厦 9 层以上是钢结构, 一个方向采用带边框剪力墙, 另一方向采用钢支撑以组成框剪结构体系。这种结构的特点是框架与支撑体系协同工作承担水平荷载。设计时可根据建筑物高度及水平力作用情况来调整支撑的数量、刚度和形式。

收稿日期: 1997-08-29

徐伟良, 男, 1952 年生, 副教授

表 1

工程名称	地点	高度 (m)	层数		建筑面积 (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	总用钢量 (t)	结 构 形 式	工程阶段
			地下	地上				
金茂大厦	上海	420	3	88	19.8	14 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢管混凝土柱及钢柱	结构完工
地王大厦	深圳	383.95	3	81	14.97	24 500	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	结构完工
赛格广场	深圳	278.6	4	70	15.8	10 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢管混凝土结构	基础施工
浦东国际 金融大厦	上海	230	3	53	12.0	11 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	基础施工
国际航运 大厦	上海	210	3	48	10	9 500	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	基础施工
京广中心	北京	208	3	57	13.7	19 000	钢框架,带边框钢筋混凝土剪力墙	使用
森茂大厦	上海	198	3	48	11.0	8 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢管混凝土结构	结构施工
京城大厦	北京	182	4	52	11.0	12 000	钢框架-钢支撑(外包钢筋混凝土)	使用
世界金融 大厦	上海	166.5	3	43	8.3	3 300	钢筋混凝土核心筒,外框钢管混凝土柱	结构完工
深圳发展 中心	深圳	165	2	48	5.6	9 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	使用
期货大厦	上海	157.7	3	43	8.5	6 500	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	结构完工
新金桥 大厦	上海	157	2	38	4.0	7 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	结构完工
北京国贸 中心	北京	155.2	2	39	8.6	12 000	内、外钢框架-钢支撑筒体	使用
中国保险 大厦	上海	154	3	39	6.6	1 200	钢筋混凝土筒体,钢桁架梁	结构施工
上海锦江 饭店	上海	153	1	46	4.8	7 500	钢框架-钢支撑及钢板剪力墙	使用
世界广场	上海	150	2	38	10	11 000	钢框架-钢支撑	结构完工
上海希尔 顿饭店	上海	144	1	43	5.2	4 000	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	使用
上海国贸 中心	上海	142	2	37	9.0	10 740	钢框架-钢支撑	使用
上海证券 大厦	上海	120.9	2	27	9.8	9 000	钢筋混凝土核心筒,巨型钢框架-钢支撑	结构完工
上海瑞金 大厦	上海	107	1	27	3.2	3 700	钢筋混凝土核心筒,外框钢结构	使用
大连森茂 大厦	大连	109	2	24	4.6	3 530	钢管混凝土-钢支撑	使用
长富官 饭店	北京	90.9	3	26	5.05	5 300	纯钢框架	使用
九州大厦	厦门	90	2	25	6.26	5 400	钢框架-钢支撑	结构施工
香格里拉 饭店	北京	82.7	2	24	5.6	5 300	钢筋混凝土核心筒,钢管混凝土框架	使用
中国工商 银行总行	北京	48.3	3	10	6.8	4 000	钢框架-钢偏心支撑	结构施工
上海金沙 江饭店	上海	41.4	1	14	1.6	1 100	钢框架-钢支撑	使用

## 1.2.3 巨型框架结构

表 2 国内高层钢结构现状统计表

建造时期	数量 (栋)	200 m 以上 (栋)	建筑面积 ( $10^4\text{m}^2$ )	总用钢量 ( $10^4\text{t}$ )	国内 钢材 (栋)	国内 加工 (栋)	国内 安装 (栋)	国内 承包 (栋)	国内 设计 (栋)	合作 设计 (栋)
80年代	11	1	73.35	8.96	1	4	7	4	1	2
建造中	15	5	141.53	12.87	3	15	15	8	3	
设计中	11	4	125	10	未定	未定	未定	未定	2	
共 计	37	10	334.88	31.83	4	19	22	12	5	1

目前正在施工的上海证券大厦,设计成巨型框架—支撑(外露)体系。该结构是在相距63米的两个塔楼的第19~26层之间用横向巨型桁架体系相连,9层以下由裙房连接,构成了巨型框架体系。巨型框架是在近年发展起来的超高层建筑结构体系,具有整体刚度大,平面布置灵活和节省钢材的优点,深受结构工程师和建筑师的欢迎。其中外露的巨型支撑体系丰富了建筑立面,已成为目前建筑上一种时髦的处理手法,在超高层建筑结构体系中有很大的优势。

## 1.2.4 筒体结构

筒体结构是超高层建筑中受力性能较好的结构体系,内外筒均可形成较强的抗弯刚度。如北京国贸中心是39层的筒中筒结构,外框设计成密柱网以构成空间作用,内筒是带支撑的钢框架结构,使整个结构具有较均匀和足够的刚度,并有较好的延性。

## 1.2.5 钢框架—钢筋混凝土核心筒混合结构

这种结构形式在自重轻和施工速度快方面优于混凝土结构,而在造价方面又优于纯钢结构,因此近年来在高层钢结构建筑中被大量采用。钢框架—钢筋混凝土核心筒混合结构的侧向刚度主要取决于核心筒的高宽比,从抗震和抗风角度考虑其值不宜超过10,高宽比大的结构很难满足我国设计规范对结构水平位移的限值。

## 1.3 高层钢结构建筑的技术经济综合分析

与高层钢筋混凝土建筑相比,钢结构建筑有着较明显的技术经济综合优势,现结合其结构特点进行分析评述。

## 1.3.1 减轻结构自重、降低工程造价

表3为上海静安—希尔顿酒店三种结构方案的自重对比。大量的统计资料表明,与钢筋混凝土结构相比,钢结构的自重可减轻约1/3~1/2。

结构重量的减轻,不仅节约了运输和吊装费用,更重要的是在 seismic 区的高层建筑,当其

表 3 上海静安—希尔顿酒店三种结构方案自重对比

结构方案	总重量 t	单位面积重量 $\text{t} \cdot \text{m}^{-2}$	百分比 %	基底单位面积荷载 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
钢结构	54 626	1.05	100	450
钢—钢筋混凝土混合结构	66 434	1.28	122	550
钢筋混凝土结构	94 111	1.8	171	770

自重减轻时,可较大幅度地降低地震作用的影响,从而使梁柱尤其是抗侧力结构的截面尺寸减小,其工程造价相应可降低3%~5%,经济效益十分可观。此外,由于上部结构重量大大减轻,降低了高层建筑的基础造价和地基处理费用,这在软土地基地区显得尤为重要。

### 1.3.2 增加有效使用面积,提高建筑使用效果

利用钢结构材料强度高、延性好等优点,在选择合理的结构体系后,可以充分发挥钢材的特点,提高结构的承载能力和抗震性能。

由于钢材轻质高强的特点,便于扩大柱距和开间,占用较小的结构面积和空间,便于灵活地布置内部平面,更好地满足建筑的使用功能要求。由表4可见,与钢筋混凝土结构相比,钢结构可增加有效使用面积3%~6%,若以一栋建筑面积为5万平方米的饭店建筑测算,则可多出1500~3000平方米的使用面积,相当于增加14套客房,这样的经济效益是十分可观的。

表4 不同结构形式的结构占有面积比较

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		2.5
	钢-钢筋混凝土混合结构	43	3.3
	钢筋混凝土结构		9

### 1.3.3 加快施工速度,增加投资效益

采用钢结构可为施工提供较大空间和较多作业面,其施工速度是其它类型结构无法相比的,表5是钢和钢筋混凝土两种结构的施工速度对比。在当前贷款利率高的金融形势下,早投产、早赢

表5 施工速度对比

	RC结构	钢结构	相差
较快的施工速度	5天/层	3.3天/层	1.5天/层
一般的施工速度	7天/层	4.5天/层	2.5天/层
地上40层结构	平均250工作日	平均160工作日	约3-4个月

注:RC—钢筋混凝土结构。

利、早回收投资,这对于降低工程总造价,增加投资效益幅度是十分重要的。

### 1.3.4 高层钢结构建筑的综合经济效益初析

对高层钢结构建筑的经济效益应结合上述三点进行动态的综合的分析,即应充分考虑由于采用钢结构而增加有效使用面积,提高建筑使用效果,加快施工速度,缩短贷款期,减少贷款利息及提前收益等动态影响,并计入因减轻结构自重而降低基础和地基处理费用以及抗震费用的有利影响。其次,随着科学技术的进步,钢结构设计理论和计算技术的发展,钢材性能的提高,结构体系的改进,近年来设计的高层钢结构建筑的用钢量有了较大幅度的降低,为建造较经济的高层钢结构建筑提供了极大的可能性。此外,在现代公共建筑中,装修和设备部分投资费用的比例越来越大,上部结构造价比例越来越小,因此,采用钢结构后使总投资额的增加并不很明显。据国外一些高层建筑项目采用钢结构与钢筋混凝土结构的综

合经济效益的统计分析资料,采用钢结构的平均效益可提高 7%~8%。对我国某些高层建筑的分析表明,50 层左右的工程采用钢结构与钢筋混凝土结构的综合经济效益持平,层数越高,钢结构的综合经济效益越明显。

## 2 新型轻钢结构建筑的应用与发展

### 2.1 概述

据不完全统计,我国近十年来共建成新型轻钢结构建筑约 320 万平方米(包括引进部分),主要应用于冶金、能源、汽车、航空、石化、交通、轻纺等部门的工业建筑和旅游、开放城市的民用建筑。如上海宝钢、一汽轻型发动机厂;北京、上海、天津、广州等地的体育馆、展览厅、会议厅以及全国各旅游胜地的别墅、饭店。

新型轻钢结构建筑是以轻型高效能钢材和高效能隔热材料以及少量轻质内装饰材料组装而成的,美观,居住舒适,洁净而适用性很强的轻型全装配钢结构建筑。其采用的主要材料是:

- (1) 承重结构:薄钢板、冷弯薄壁型钢、热轧 H 型钢及压型钢板;
- (2) 楼层板:压型钢板组合楼板及其它楼板;
- (3) 围护结构:彩色压型钢板、压型铝板或压型钢板复合板;
- (4) 连接材料:各种装配式连接件、零配件及密封、嵌缝材料;
- (5) 隔热材料:聚苯乙烯、聚氨酯泡沫塑料、岩棉、矿棉等。

### 2.2 新型轻钢结构建筑的优点

新型轻钢结构建筑的突出优点是:

(1) 可全部采用薄壁轻质材料,其建筑构件的自重约为普通钢结构配件自重的  $1/3 \sim 1/5$ ,仅是普通钢筋混凝土结构的  $1/10 \sim 1/15$ ,因而降低了运输,安装费用和基础造价,也可节约抗震费用。

(2) 构件轻巧,安装省工,施工工期短,保证了项目提前投产创造效益。例如长春百氏可乐 10 000 平方米的厂房仅用三个半月就安装完成。

(3) 造型多样化,平面布置灵活,屋面和外墙面可采用彩色压型钢板或压型铝板,色彩丰富,无须外装饰,并可创造洁净、恒温的工艺条件和优美舒适的生活环境。

(4) 由于新型轻钢结构自重轻,用钢量少,节省基础造价,安装省工,施工工期短,故其综合经济效益较好,应用范围很广。

### 2.3 轻型钢屋盖 - 空间网架结构在工业厂房中的应用

在我国,网架结构首先被应用于大空间、大跨度、大柱网的体育场馆和影剧院建筑,充分发挥了其空间受力的优越性,取得了较好的综合经济效益,得到了国内工木工程界的公认和大力推广。进入七十年代之后,创国际先例被逐步推广应用到一般工业厂房的屋盖系统中,又充分显露出其安全可靠、布置灵活、节约材料和投资、设计施工简便等优点。近年来,我国网架结构在包括机械、冶金、电力、煤炭、石化、纺织等行业的大面积、大跨度、大柱网、大吨位吊车工业厂房中的应用得到了迅猛的发展,无论在网架结构设计上,加工制作以及安装技术上都取得了巨大的进步。据不完全统计,已建成网架结构约近千万平方米,网架结构重量超

过了 35 万吨, 节约钢材近 10 万吨。如仅由北钢院设计先后建成的有攀钢、长城钢厂、广东三水镀锌板厂、珠海兴业大型玻璃厂等(均分别设有重级制吊车和悬挂吊车)厂房近 20 万平方米。特别值得一提的是在宝钢三期工程的第一个重点项目 150 吨电炉管坯连铸主厂房中, 现已建成一个大面积抽空(约抽空 20%)式网架, 开创了国际先例。

网架结构在工业厂房的应用中充分体现了以下特点:

(1) 采用各种类型的网架结构(如多跨双向连续梁式平板网架、抽空或不抽空四角锥式网架、抽杆或不抽杆桁架式网架等)作为屋盖体系, 把传统的工业厂房钢屋架平面二维受力体系改进为空间三维受力体系。由外部荷载作用产生的效应, 可以充分地按网架杆件的刚度进行内力重分布, 并按受力状态改变网架结构的优化造型, 以达到最佳的结构选择。

(2) 利用网架结构空间整体性强、刚度大的突出优点, 能显著增强工业厂房结构的整体刚度和抗震能力, 并提高其可靠性和耐久性。

(3) 网架体系最适应工业厂房对通风和采光的要求。按照现代化生产工艺, 可设置满天星式天窗、点式天窗、纵向天窗、横向天窗, 它们都可成为网架整体受力的一部分, 并能减小网架内力和杆件截面。利用天窗位置的变换, 可使网架杆件内力达到均衡受力的最佳状态。

(4) 由于网架选型的合理性, 结构构件的标准化, 网架几何尺寸和节点连接的统一化, 网架加工制作的工厂化, 安装施工的机械化, 不仅可保证工程质量, 加快施工安装速度, 缩短建设周期(约  $1/3 \sim 1/5$ ), 还可带来一系列的综合社会效益。根据有关资料统计, 在相同使用条件下, 与钢屋架相比, 网架体系的造价可降低约 28%, 钢材可节省 30% ~ 40%。

### 3 结 语

(1) 世界上百年来以及我国近十年高层钢结构建筑的发展充分说明, 在超高层建筑中使用钢结构是必然趋势。全世界最高的 100 栋建筑(至 1991 年)中, 纯钢结构 58 栋, 钢筋混凝土结构 16 栋, 不同形式的钢-混凝土结构 26 栋。到本世纪末, 将在我国建成的高度在 200 米以上的超高层建筑中, 大多数是钢或以钢为主的混合结构或组合结构。可以预计, 将来在 50 层以上的建筑中, 各种形式的钢结构将成为主导的结构体系。

(2) 新型轻钢结构建筑在国内外的迅猛发展是现代建筑发展的新潮流, 预期我国的新型轻钢结构建筑在今后 20 年内更会有突飞猛进的发展。对我国来说, 大力发展新型轻钢结构建筑不但适应国内外现代建筑的需求, 而且对调整我国建筑业“产品”结构, 发展建筑业至关重要。同时, 发展轻钢结构对我国庞大的钢铁企业更新产品结构, 开展钢材深加工, 增加产品附加值, 搞活钢铁企业乃至搞活国民经济都有重大战略意义。

#### 参 考 文 献

- 1 何一民, 史万春. 关于发展新型轻钢结构建筑的建议. 钢结构, 1996(3)
- 2 何家炎. 大面积大柱网大跨度工业厂房网架设计. 钢结构, 1996(3)
- 3 何家炎等. 工业厂房网架结构几种新形式. 空间结构协会 1995 年论文集
- 4 邹 浩, 吴甘棠. 网架结构在冶金建筑中应用的进展. 钢结构, 1996(3)
- 5 李青芳, 李 云. 管坯连铸主厂房大型抽空式网架设计. 中国钢结构协会年会论文集, 1996
- 6 崔鸿超. 高层建筑钢结构在我国的发展. 建筑结构学报, 1997(2)

(下转第 62 页)