

钢结构新型节能整体式墙板的 开发与研究

戚 豹 著

Steel structure of new energy-saving monolithic wallboard
development and research

STEEL
STRUCTURE

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

钢结构新型节能整体式墙板的 开发与研究

戚 豹 著

Steel structure of new energy-saving monolithic wallboard
development and research

STEEL
STRUCTURE

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

钢结构新型节能整体式墙板的开发与研究 / 戚豹著
—镇江: 江苏大学出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-5684-0662-8

I. ①钢… II. ①戚… III. ①钢结构—墙板—研究
IV. ①TU33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 285404 号

钢结构新型节能整体式墙板的开发与研究

Gang Jiegou Xinxing Jieneng Zhengtishi Qiangban De Kaifa Yu Yanjiu

著 者/戚 豹

责任编辑/张小琴

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press.ujs.edu.cn

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/15.5

字 数/290 千字

版 次/2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0662-8

定 价/45.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话: 0511-84440882)



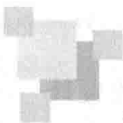
前言

钢结构建筑体系应用于民用建筑具有独特的优势,与其他建筑通用体系相比,其主要特点是自重轻,可减轻建筑物的重量约 30%,可以建设在地质承载力低的地方和地震烈度较高的地区;布置灵活、开间大,使房型丰富,一般的结构使用面积只有建筑面积的 70%左右,而钢结构建筑可达到 80%~85%,有效地增加了使用面积与可利用空间;可以工厂化生产,提高劳动生产率;施工周期大大缩短,钢结构建筑施工周期比混凝土建筑施工周期可缩短一半,减少湿作业量,且其节能指标可达 65%以上。而钢结构建筑产业化是目前建筑行业发展的重点,也是我国钢结构产业发展的必经之路,它将成为推动我国经济发展的新的增长点。目前,钢结构体系易于实现工业化生产、标准化制作,而与之相配套的能够成熟应用、性能优越、适应工业化生产和标准化制作的墙体非常少,因此研究和开发一种适应钢结构建筑体系且节能环保的新型预制标准化墙体对于钢结构建筑在我国的推广将起到重要的推动作用。改革开放特别是进入 21 世纪以来,我国建筑钢结构产业化得到了长足发展,但与发达国家相比,仍存在诸多问题,其中标准化、部品化和装配化层次较低,日益影响到行业的可持续发展。

我国当前还没有系统的、完善的围护墙板的设计及施工方法,也没有成熟的构造技术可供参考,本书归纳总结现有钢结构建筑墙体中主要存在的一些构造问题,借鉴国内外先进的经验,开发了技术成熟的钢结构建筑新型节能整体式外挂墙板,且从构造技术上解决与结构主体的连接、密封等构造与施工技术问题,改善钢结构建筑的室内环境,提高节能效果,并提出相应的围护墙板构造做法和技术,以供钢结构设计人员和施工人员参考。

本书开发的钢结构建筑新型节能整体式外挂墙板及构造技术,不仅可以改善墙板的使用性能,而且符合我国节能标准和防火的要求,对于促进钢结构建筑在我国的应用,以及推动我国钢结构建筑产业化的进程具有重大意义。

本书在编写过程中参阅了大量的国内外文献,在此向各位作者和对本书的出版提供帮助的江苏建筑职业技术学院张晓丹和孙韬副教授表示诚挚的谢意!由于作者水平有限,书中难免存在一定的与不足之处,恳请读者批评指正,作者将在今后的研究中不断改进与完善。



目 录

1 绪论	001
1.1 钢结构建筑的发展现状	001
1.1.1 概述	001
1.1.2 国外钢结构建筑的发展	006
1.1.3 国内钢结构建筑的发展	009
1.2 研究现状与前景	014
1.2.1 国内外钢结构建筑墙板发展与应用现状	014
1.2.2 应用前景	018
1.3 研究内容及方法	020
1.3.1 研究内容	020
1.3.2 研究意义	021
1.3.3 研究特色与创新	021
1.3.4 研究技术路线	022
2 钢结构新型节能整体式外挂墙板的选型设计	023
2.1 钢结构新型节能整体式外挂墙板的性能要求	024
2.2 钢结构建筑的模数系统	025
2.2.1 钢构件的影响	025
2.2.2 常见户型对钢结构的不利条件	025
2.2.3 针对常见户型需要做出模数化修改	026
2.3 钢结构新型节能整体式外挂墙板的模数系统	029
2.3.1 钢结构建筑层高、开间模数数列	030
2.3.2 墙板水平、竖向模数数列	030
2.4 钢结构新型节能整体式外挂墙板的热工、防火要求与构造	031

2.4.1	墙板的材料选择	031
2.4.2	钢结构新型节能整体式外挂墙板的防火要求	034
2.4.3	钢结构新型节能整体式外挂墙板的热工要求与节能 参数	038
3	无洞口钢结构新型节能整体式外挂墙板的设计	040
3.1	无洞口钢结构新型节能整体式外挂墙板的构造设计	040
3.1.1	无洞口整体式墙板板型	040
3.1.2	无洞口整体式外挂墙板的连接构造	041
3.1.3	钢结构新型节能整体式内隔墙板的构造	042
3.2	钢结构新型节能整体式外挂墙板的承重结构设计	043
3.2.1	木塑板材料力学性能试验	043
3.2.2	墙板的承重结构设计	047
3.2.3	木塑外墙板连接件设计	053
3.3	技术经济对比	058
3.3.1	螺栓连接经济性	058
3.3.2	焊接连接经济性	058
3.3.3	经济性分析	058
3.4	无洞口墙板连接件最终方案	058
4	有洞口钢结构新型节能整体式外挂墙板的设计	060
4.1	有洞口钢结构新型节能整体式外挂墙板的构造设计	060
4.1.1	有洞口整体式墙板板型	060
4.1.2	有洞口整体式墙板传力路径	062
4.2	竖向荷载和水平荷载作用下横向龙骨验算	062
4.2.1	竖向荷载作用下横向龙骨验算	063
4.2.2	水平荷载作用下横向龙骨验算	063
4.2.3	焊缝验算	064
4.2.4	横向龙骨最终方案	066
4.3	不同尺寸的洞口的连接件设计	068
4.4	有洞口墙板的连接件最终方案	068
5	钢结构新型节能整体式外挂墙板节能分析与试验研究	070
5.1	钢结构建筑及节能外挂墙板参数	070

5.2	节能外挂墙板节能效果分析	099
5.2.1	建模与参数选取	099
5.2.2	寒冷地区	100
5.2.3	夏热冬冷地区	119
5.2.4	夏热冬暖地区	139
5.2.5	节能分析结论	157
5.3	节能外挂墙板吊挂力试验及吊挂节点设计	157
5.3.1	吊挂力试验	157
5.3.2	试验结果	159
5.3.3	吊挂节点设计	160
6	钢结构新型节能整体式外挂墙板图集	161
6.1	节能整体式外挂墙板应用说明	161
6.1.1	总体说明	161
6.1.2	墙板板型与连接件	163
6.1.3	连接件防火性能说明	180
6.2	节能整体式外挂墙板节点图集	180
7	钢结构新型节能整体式外挂墙板施工技术研究	187
7.1	钢结构新型节能整体式外挂墙板的施工技术	187
7.1.1	施工准备	187
7.1.2	安装工艺	187
7.1.3	施工验收标准	189
7.1.4	施工注意事项	190
7.2	钢结构新型节能整体式外挂墙板涂料施工工艺	190
7.2.1	饰面型防火涂料包装及贮存	190
7.2.2	饰面型防火涂料注意事项	190
7.2.3	饰面型防火涂料施工工艺	190
8	钢结构建筑全寿命周期成本分析	192
8.1	全寿命周期成本的含义及构成	192
8.1.1	全寿命周期成本的含义	192
8.1.2	全寿命周期成本的含义、分解及编码	194
8.1.3	全寿命周期成本模型	197

8.2	钢结构建筑生命周期模型费用估算	199
8.2.1	数据的收集处理	199
8.2.2	参数的选择	199
8.2.3	未来成本的预测	201
8.2.4	初始投资估算	201
8.2.5	运营维护费用估算	208
8.2.6	拆除废弃费用估算	214
8.2.7	环境费用估算	215
8.2.8	循环经济费用估算	216
8.3	钢结构建筑全寿命周期成本计算	216
8.3.1	钢结构建筑全寿命周期成本分析原理	216
8.3.2	投资决策阶段	217
8.3.3	设计阶段	218
8.3.4	建设施工阶段	218
8.3.5	运营维护阶段	220
8.3.6	拆除废弃阶段	221
8.4	实证分析	222
8.4.1	项目概况	222
8.4.2	钢结构建筑节能效益分析	223
8.4.3	全寿命周期成本估算	230
9	结论与展望	234
9.1	结论	234
9.2	项目工程应用预期效果	235
9.3	展望	235
	参考文献	237



1 绪 论

1.1 钢结构建筑的发展现状

1.1.1 概述

随着国民经济的高速发展和人民生活水平的提高,人们对建筑物的数量、质量和功能提出了更高的要求。从建筑物建设和社会可持续发展的要求出发,传统的建筑结构与生产方式已不能满足当代建筑的发展需求。着力发展钢结构建筑、实现钢结构建筑产业化,不但可以从根本上改变现有建筑经营方式,还有利于我国建筑水平与世界接轨。我国钢产量年年攀升、稳步增长,也可为钢结构建筑产业化推进提供强有力的保证。钢结构建筑作为一种高效、低碳、环保的绿色建筑,势必将成为新时代人们工作、娱乐和生活的最佳居所。

1. 钢结构建筑的优点

目前,广泛的研究和实验分析表明,钢结构建筑体系应用于民用建筑具有独特的优势,与其他建筑通用体系相比,其主要特点有:①自重轻,可减轻建筑物的重量约30%,可以建设在地质承载力低的地方和地震烈度较高的地区;②布置灵活、开间大,房型丰富,一般的结构使用面积仅有建筑面积的70%左右,而钢结构建筑可达到80%~85%,有效地增加了使用面积与可利用空间;③可以工厂化生产、提高劳动生产率;④施工周期大大缩短,据研究,钢结构建筑施工周期比混凝土建筑施工周期可缩短一半,减少湿作业量,且其节能指标可达65%以上。

1) 钢结构材料自重轻,可显著降低基础工程造价

根据比较,6层轻钢结构建筑的重量仅相当于4层砖混结构建筑的重量。对于框剪结构,当外墙采用玻璃幕墙、内墙采用轻质隔墙时,包括楼面活载在内对于钢筋混凝土结构的上部结构全部重力荷载为 $15\sim 17\text{ kN/m}^2$,其中梁、板、柱及剪力墙等自重为 $10\sim 12\text{ kN/m}^2$ 。但是对于钢结构全部重力荷载为 $10\sim$

12 kN/m²,其中,钢结构和混凝土楼板自重为 5~6 kN/m²。由此可知,两类结构自重比例约为 2:1,全部重力荷载的比例约为 1.5:1,所以这两类结构传至基础的荷载差别是十分惊人的。

2) 钢结构的抗震性能优于钢筋混凝土结构

由于钢材属于金属晶体具有各向同性的性质,有很高的抗拉、抗压和抗剪强度,更重要的是钢材具有良好的延性。在地震的作用下,钢结构因其延性能减弱地震反应。而且钢材属于较理想的弹塑性结构,可以通过结构的塑性变形吸收和消耗地震输入能量,有效抵抗强烈的地震。

3) 质量容易保证、施工速度快、周期短

钢结构施工的最大特点就是钢构件在工厂制作,因此钢结构的质量容易保证。钢结构一般为现场安装,作业比重大,而且基本不受气候影响。混凝土楼板的施工可与钢结构安装交叉进行。在上部安装柱、梁、板的同时,下部可以进行内部装饰、装修工程。因此钢结构的施工速度常比钢筋混凝土结构快 20%~30%,可使工程提早投入使用、投资人在经济效益上提早获得回报。如纽约帝国大厦,高 381 m、共 102 层,建设周期仅为 1 年多;湖南高 200 多米的“小天城”,仅用 19 天即完成建造过程。

4) 符合建筑产业化和可持续发展的要求

钢结构建筑现场作业量小、无噪声、不污染周围环境,改建和拆迁容易,材料的回收和再生利用率高。其环保节能的特点主要体现在两个方面:

(1) 该类型建筑一般采用全封闭式保温隔热防潮系统,温度变化小、热损失低。不论冬夏都具有舒适的居住环境。当室外温度为 0℃时,室内温度仍可以保持在 17℃以上;室外温度达到 30℃的情况下,室内温度仅为 21℃左右。

(2) 与砖混结构建筑相比,同样楼层净高条件下钢结构围护墙体面积小,冬季空调设备可节约耗电 30%以上。另外,钢结构的废旧利用率为 100%。

5) 钢结构适宜工厂大批量生产,工业化、商品化程度高

它能将节能、防水、隔热、门窗等先进的产品集合在一起,实现综合成套应用。将设计、生产、施工、安装一体化,有效地提高建筑的产业化水平。

2. 不同钢结构体系的技术经济指标比较

表 1.1 和表 1.2 对不同结构体系的技术经济指标进行了比较,其中的混合结构体系包括钢框架—内嵌剪力墙结构体系和钢框架—混凝土核心筒结构体系等。

表 1.1 不同结构体系的技术经济比较(1)

结构体系		钢框架	钢框架—支撑	混合结构
结构组成		柱采用高频焊接矩形钢管砼柱； 梁采用高频焊接 H 型钢梁	柱采用高频焊接矩形钢管砼柱； 梁采用高频焊接 H 型钢梁； 支撑采用高频焊接 H 型钢或高频焊接矩形钢管	柱采用高频焊接矩形钢管砼柱； 梁采用高频焊接 H 型钢梁； 钢筋混凝土剪力墙
		楼板采用钢筋桁架混凝土楼板； 内墙均采用轻质隔墙； 基础可采用独基、桩基	楼板采用钢筋桁架混凝土楼板； 内墙均采用轻质隔墙； 基础可采用独基、桩基、箱基	楼板采用现浇楼板； 内墙均采用轻质隔墙； 基础采用独基、条基、桩基、箱基
适用范围		低层、多层、小高层	多层、小高层、高层	多层、小高层、高层
建筑功能	得房率较砼结构高	5%~8%	4%~7%	4%~7%
	外部造型及内部空间布置	宜简单、规则，内部布置灵活	宜简单、规则，需考虑支撑影响	宜简单、规则，需考虑剪力墙影响
	防火性能	需专门处理	需专门处理	需专门处理，相对较好
	隔音、保温	楼电梯间内隔音稍差，保温较好	楼电梯间内隔音稍差，保温较好	楼电梯间内隔音较好，保温较好
	可改造性	好	一般	一般
	内装布线	容易	容易	较容易，但穿墙处孔洞需要预留
结构性能	结构自重	基数 1.0	1.0	1.22
	自振周期	基数 1.0	0.7	0.5
	结构侧移	较大	一般	较小
结构性能	抗震			
	多遇	好	好	好
	罕遇	好	好	一般
	抗风	较差	一般	较好
	柱构件截面积	较大	居中	较小
社会指标	材料回收	25%~30%	25%~30%	20%~25%
	科技贡献	35%	35%	30%
	产业化程度	90%以上	90%以上	80%以上

续表

结构体系		钢框架	钢框架—支撑	混合结构
经济 指标	施工对比	工期较混凝土结构缩短1/2; 湿作业较少; 工种少,用工少; 施工用地少; 现场水电用量少; 防火处理工作量大; 现场噪声较小; 现场运输量少; 劳动条件好,强度小; 主体结构质量稳定	工期较混凝土结构缩短2/5; 湿作业较少; 工种少,用工少; 施工用地少; 现场水电用量少; 防火处理工作量大; 现场噪声较少; 现场运输量少; 劳动条件好,强度小; 主体结构质量稳定	工期较混凝土结构缩短1/3; 湿作业相对较多; 工种、用工相对稍多; 施工用地相对稍多; 现场水电用量多; 防火处理工作量较少; 现场噪声相对较大; 现场运输量稍多; 劳动条件好,但强度稍大; 可能存在施工误差
	型钢用量	基数 1.0	0.85~1.15	0.7~0.9
	钢筋用量	基数 1.0	1.0	1.3~1.75
	砼用量	基数 1.0	1.0	1.4~1.7
	防火费用	基数 1.0	1.0	0.6~0.8
	利息成本收益	基数 1.0	1.0	0.6~0.7
	使用面积增加收益	基数 1.0	1.0	0.8~0.9
	基础比砼结构节约	30%左右	30%左右	25%左右
	工程直接造价与砼结构相比	偏高	偏高	10层以下偏高、 10~18层持平

表 1.2 不同结构体系的技术经济比较(2)

类别	项目	单位	钢结构	钢筋混凝土结构	砖混结构	备注
社会 环境 指标	拆除时的垃圾生产量	吨/m ²	0.3~0.4	1.0~1.3	1.2~1.3	
	材料回收再生率	%	20~30	≤10	≤5	
	科技对经济增长贡献率	%	可达 35	可达 20	≤10	
	产业化可发展程度	%	可达 90	可达 70	≤20	
	相关行业带动	拉动投资/ 建设投入	(0.10~ 0.12)/1	(0.05~ 0.8)/1	0.03/1	每百万元

续表

类别	项目		单位	钢结构	钢筋混凝土结构	砖混结构	备注
社会环境指标	烧砖毁田					3.0	
	材料生产有害排放		SO ₂	减少 50 万吨			钢结构新型墙体材料每增加 1%
	使用节能			节煤 50 万吨			
经济指标	劳动生产率		工日/m ²	0.8~2.5	6~7	8~9	每平方米建成用工量
	当前造价水平(按建筑面积)	多层	钢结构 1.0	1.0	1.0	0.8	
		高层	钢结构 1.0	1.0	0.95		
	当前造价水平(按使用面积)	多层	钢结构 1.0	1.0	1.03	0.90~0.95	
		高层	钢结构 1.0	1.0	0.98		
	工业化生产条件下造价水平(按建筑面积)	多层	钢结构 1.0	1.0	1.13~1.23	1.10	
		高层	钢结构 1.0	1.0	1.08		
	物料费/人工费		现场物料/现场人工	0.9/0.1	0.85/0.15	0.82/0.18	
	工期		砖混结构 1.0	0.4~0.6	0.6~0.8	1.0	
	型钢用量		kg/m ²	25~50			
	钢筋用量		kg/m ²	12~32	13~50	12~15	
	水泥用量		kg/m ²	30~50	140~220	40~70	
	砂石用量		kg/m ²	150~200	800~1 300	250~350	
	木材用量		m ³ /m ²	0.000 2	0.05~0.1	0.01~0.03	不含木门窗
性能指标	寿命		基准期(年)	70	70	70	钢结构采取防腐措施
	抗震性能			好	中	差	钢材延性好
	面积利用率		%	93~95	88~92	80~85	
	平面改造性			>85%	框架 80%		拆除非承重墙
	使用能耗		砖混结构基数 1.0	0.3~0.5	0.4~0.6	1.0	按节能做法

续表

类别	项目	单位	钢结构	钢筋混凝土结构	砖混结构	备注
施工指标	建筑重量	砖混结构 1.0	0.3~0.5	0.8~0.9	1.0	上部结构
	物料总运输量	t/m ²	0.3~0.6	1.0~1.2	0.3~1.5	每平方米用量
	工业化预制速度	现场/工厂	(0.3~0.2)/ (0.7~0.8)	(0.7~0.6)/ (0.3~0.4)	(0.7~0.6)/ (0.3~0.4)	
	施工占地	砖混结构 1.0	0.3~0.4	0.8~1.0	1.0	
	现场水电量	砖混结构 1.0	0.5~0.6	1.2~1.5	1.0	
	现场临建		0.5~0.6	0.8~1.0	1.0	
	现场噪声		0.5	1.5	1.0	
	施工渣土量		0.2~0.3	0.7~0.8	1.0	
	工人劳动条件		好	中	差	
	精装修程度		易	中	难	
	工期	砖混结构 1.0	0.4~0.6	0.6~0.8	1.0	

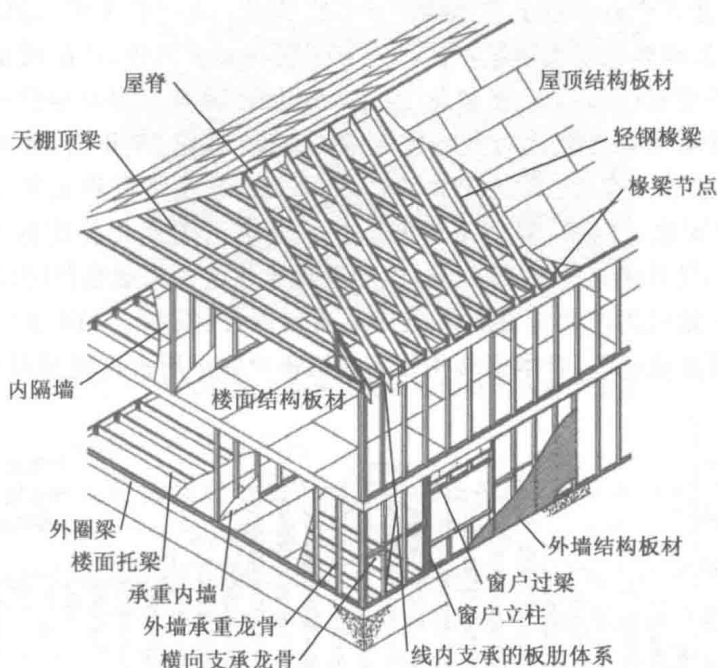
1.1.2 国外钢结构建筑的发展

目前,许多工业发达国家,如美国、日本、英国、澳大利亚等均在积极推动钢结构的中低层建筑,特别是中低层钢结构住宅,芬兰、瑞典、丹麦及法国均已形成相当规模的产业化钢结构建筑体系。

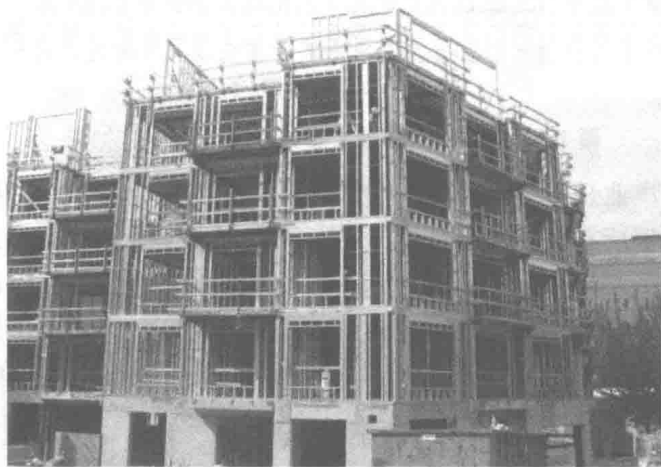
1. 北美轻钢龙骨体系建筑

美国钢结构建筑市场发育完善,住宅用构件和部品的标准化、系列化、专业化、商品化、社会化程度很高,几乎达到100%,各种施工机械、设备、仪器等租赁业非常发达,商品化程度达到40%。由于美国住宅建筑没有受到“二战”的影响,因此没有走欧洲的大规模预制装配道路,而是注重住宅的个性化、多样化。其特点是采用标准化、系列化的构件部品,在现场进行机械化施工。加拿大的情形也类似。鉴于经济性、安全性能及耐久性能的综合考虑,越来越多的房屋开发商转而经营钢结构住宅,钢结构的价值得到普遍认可。1965年钢结构在美国仅占建筑市场的15%,1990年上升到53%,1993年上升到68%,到2000年已经上升到75%。1996年,美国已有20万幢钢框架小型住宅,约占住宅建筑总数的20%,其钢结构住宅如图1.1所示。美国高层和多层建筑也广泛采用钢结构体系,作为住宅主要开发的是采用轻钢体系的2~3层别墅和采用交错桁

架体系的 6~8 层群体住宅建筑。



(a) 低层钢结构建筑



(b) 多层钢结构建筑

图 1.1 北美轻钢龙骨体系建筑

2. 日本工业化轻钢体系建筑

钢结构建筑在日本被称为工业化钢结构建筑。在日本,常用的建筑体系包括:6层以下的低层建筑采用纯钢结构;6~16层采用 SRC 结构;16层以上的

底部采用 SRC 结构,上部采用纯钢结构的较多。

日本的建筑产业化始于 20 世纪 60 年代初期。当时住宅需求急剧增加,而建筑技术人员和熟练工人明显不足。为了使现场施工简化,产品质量和效率提高,日本对住宅实行部品化、批量化生产。20 世纪 70 年代是日本住宅产业的成熟期,大企业联合组建集团进入住宅产业。到 20 世纪 90 年代,采用产业化方式生产的住宅已占竣工住宅总数的 25%~28%。日本是世界上率先在工厂里生产住宅的国家。例如,轻钢结构的工业化住宅占工业化住宅的 80%左右;20 世纪 70 年代形成盒子式、单元式、大型壁板式住宅等工业化住宅形式;20 世纪 90 年代开始采用产业化方式形成住宅通用部件,其中 1 418 类部件已取得“优良住宅部品认证”。日本钢结构住宅在销售户数中所占比例如图 1.2 所示。

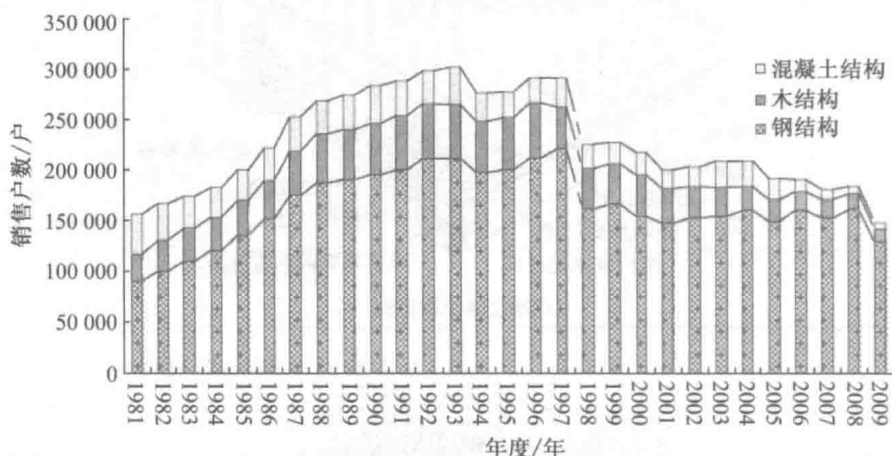


图 1.2 日本钢结构住宅在销售户数中所占比例

日本住宅产业化发展很大程度上得益于住宅产业集团的发展。住宅产业集团是应住宅产业化发展需要而产生出的新型住宅企业组织形式,是以专门生产住宅为最终产品,集住宅投资、产品研究开发、设计、配构件部品制造、施工和售后服务于一体的住宅生产企业,是一种智力、技术、资金密集型、能够承担全部住宅生产任务的大型企业集团。如大和房屋集团作为目前规模居日本第二位的住宅产业集团,其核心企业——大和房屋工业株式会社,在日本设有 1 个本部、2 个分总部、65 个分店、328 个营业所、12 个住宅部件生产工厂、1 个综合研究所和 3 个研修中心。其事业范围已经从单纯的住宅产业向“综合性生活产业”发展,包括住宅事业、建筑事业和其他事业。在其住宅产业化的过程中,钢结构一直充当最重要的角色得到广泛的运用,其结构体系如图 1.3 所示。