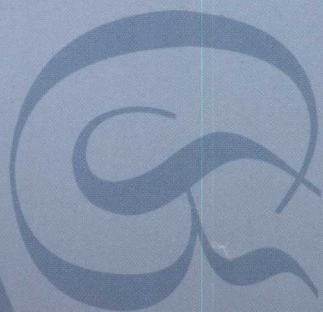


■ 刘晓 王兵 著

我国钢结构住宅 可行性研究



GANGJIEGOU

辽宁大学出版社

我国钢结构住宅可行性研究

刘 晓 王 兵 著

辽宁大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

我国钢结构住宅可行性研究/刘晓, 王兵著. —沈阳:
辽宁大学出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-5610-5791-9

I. 我… II. ①刘…②王… III. 钢结构—住宅—可行性
研究—中国 IV. TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 069890 号

出 版 者: 辽宁大学出版社
(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)
印 刷 者: 朝阳铁路印务有限公司
发 行 者: 辽宁大学出版社
幅面尺寸: 170mm×240mm
印 张: 9
字 数: 200 千字
出版时间: 2009 年 5 月第 1 版
印刷时间: 2009 年 5 月第 1 次印刷
责任编辑: 刘东杰
封面设计: 邹本忠 徐澄玥
责任校对: 兰 天

书 号: ISBN 978-7-5610-5791-9
定 价: 16.00 元

联系电话: 024-86864613
邮购热线: 024-86830665
网 址: <http://press.lnu.edu.cn>
电子邮件: lnupress@vip.163.com

前 言

随着我国钢产量的不断增长，钢材规格和质量的不断完善以及钢结构技术的不断成熟，我国开始在住宅产业方面应用钢结构，它的发展与应用对建筑业成为国民经济的支柱产业，成为拉动冶金等相关产业发展的先导产业起着重要作用。

钢结构住宅与其他传统住宅在质量上相比具有显著优势。首先，钢结构住宅易保证质量，它可以在工厂中进行构件制作与加工，用规格标准来制约，不管在何处建造均可以依据品牌标准进行衡量，且可在工厂中通过科学技术手段来提高构件的技术含量；其次，由于钢材强度高，使房屋建筑材料自重减轻，从而可建造开间、进深大的房屋，居住空间大小可以随意布置、空间组合创造的余地不受限制，也使房型更丰富、美观、实用，可以最大化地满足客户对住宅功能和设备的高品位追求；第三，钢结构住宅属于绿色环保型住宅，可以拆卸并循环使用，高科技含量的墙体和楼板，可有效解决开裂、渗水等问题，并具有较好的保温、隔声等功能，给人们创造舒适的居住环境。

此外，钢结构住宅还具有自重轻，其主体自重是混凝土结构的 $1/7$ ，这可以有效降低结构的基础造价；施工速度快，其结构构件组装之后，各层可进行交叉作业，可有效减低总体的人工费用，加快资金周转；由于结构构件的减小，增加了房屋的使用面积。这些特点均使钢结构住宅成为现代住宅产业化的必然发展趋势，对它的可行性研究具有重要的现实意义。

虽然现在北京、上海、天津等地都有了钢结构住宅试点工程，但是还没有形成系统、标准化的生产模式，各地各部门的设计、施工、安装也都各有一套，杂乱无章。为此，本书对目前国内和国外的钢结构住宅进行了系统的研究，其中包括住宅发展历史、结构体系和构件、国产化程度等，都分别进行了详细的阐述和分析。同时，对我国钢结构住宅发展过程中亟待解决的问题进行了深入的研究。

针对钢结构住宅非常“昂贵”的误区，本书进行了不同结构具体工程的经济效益比较说明，分别就北方地区建造的钢结构、钢筋混凝土结构、砌体结构的具体工程进行经济指标的计算，通过数字从开发商和居民两个方面的各自利益来反映钢结构住宅的综合经济效益。

本书在大量资料研究的基础上，提出了一套适合于钢结构住宅产业化发展方向的结构体系——钢框架支撑体结构，并通过该结构的初步计算，说明了它的可行性和经济性。

从住宅的发展方向和国外的发展现状来看，钢结构住宅是住宅产业发展的必然趋势，它将带领我国住宅的产业革命，废弃“秦砖汉瓦”，使我国的住宅逐渐达到现代化、标准化、工业化。

在此，我要深深地感谢中国工程院院士沈祖炎教授对本书内容的指导与帮助。同时，也衷心感谢建筑设计、施工等相关部门给予的支持。在经济指标的分析中，经济学博士赵义参与了部分内容的编写，在这里也一并表示感谢。正是由于他们以及本书责任编辑的鼓励和支持，本书才得以与各位读者见面。

著 者

2008 年 12 月

目 录

第一章 国外钢结构住宅的发展情况	1
第一节 国外钢结构住宅的发展历史	1
第二节 国外钢结构住宅的结构体系分析	3
第二章 钢结构住宅在我国发展的可行性分析	16
第一节 我国钢结构住宅的发展原因	16
第二节 我国钢结构住宅的发展现状	19
第三节 我国钢结构住宅的结构体系及技术分析	27
第四节 结构构件及其连接	43
第五节 基础形式	62
第三章 钢结构在住宅中所显示的综合效益	66
第一节 钢结构在住宅中的经济优势	66
第二节 钢结构在住宅中的结构优势	69
第三节 钢结构住宅具有良好的社会效益	72
第四章 钢结构住宅与传统结构的综合经济指标比较分析	76
第一节 多层钢结构住宅工程造价指标的分析	76
第二节 开发商在钢结构住宅中的收益	80
第三节 居民在钢结构住宅中的收益	82
第五章 我国钢结构住宅发展过程中亟待解决的问题	87
第一节 设计体系中的问题	87
第二节 钢材中亟待解决的问题	91
第三节 其他	93

第六章 钢结构住宅体系研究	98
第一节 钢结构住宅体系	98
第二节 结构的初步计算	101
第三节 用钢量的初步计算	119
第七章 钢结构住宅的发展趋势	123
第一节 钢结构住宅向生态型、节能型方向发展	123
第二节 钢结构住宅向中、高档次发展	125
第三节 我国钢结构住宅应走体系化发展道路	126
第四节 钢结构住宅向轻型方向发展	126
第五节 钢结构住宅向可持续建筑发展	127

第一章 国外钢结构住宅的发展情况

住宅是与人们最密不可分建筑类型，其建造体系的发展自然也与人们对住宅的功能和质量的要求分不开。随着当今社会技术的不断发展，现代化程度的不断提高，与之相适应的住宅也有了新的变化。虽然不同国家由于文化和地理特性的不同，对住宅结构体系的要求不同，但是钢结构住宅已成为住宅建筑业发展的共识。

钢结构以其绝对的优势被许多国家所接受，如：在欧洲，住宅设计越来越多地采用钢结构体系代替传统的砖结构；在北美，钢结构与传统的木结构相比更加耐久而更具吸引力；在北欧，钢结构的随意拼接能力可以设计出多变的建筑外形，同时与轻质保温材料合用可以使住宅更加保温、舒适；在日本，人们更喜欢钢结构住宅可提供的抗震保证；在发展中国家，钢结构住宅的工业化生产可以快速而经济地给人们带来舒适的居住空间。

第一节 各国钢结构住宅的发展历史

虽然钢结构住宅已经被许多国家所接受，但是由于各个国家的社会背景和技术水平不同，其发展的时间，完善的程度以及发展的方向都有所不同。

一、欧洲

欧洲由于受到“二战”的严重创伤，在 20 世纪五六十年代对住宅的需求量非常大，为此，采用了工业化的装配式生产，建造了大批住宅，并逐渐形成了一批完整的、标准化、系列化的建筑住宅体系。这均为钢结构住宅的发展奠定了良好的基础，钢材因为精度高、易成型是最适合于工业化生产的一种建筑材料。可以说，工业化生产促进钢结构住宅的发展，而钢结构住宅的发展有利于住宅科技的产业化。也正是由于欧洲特定的社会背景，使其在发展钢结构住宅方面领先了一步。例如：法国是世界上推行建筑工业化最早的国家，1977 年成立构件建筑协会（ACC），80 年代统一编制了《构件逻辑系统》，90 年代又编制了住宅通用构件 C₅ 软件系统，并建立了许多专用体系；丹麦是世界上

第一个将模数法制化的国家,大批居民住宅采用装配式大板体系^[1];瑞典是世界上住宅工业化最发达的国家,也是当今世界上最大的轻钢结构制造国,其轻钢结构住宅预制构件达 95%,欧洲各国都到瑞典去订制住宅预制构件。可见,欧洲工业化体系的完善带动了钢结构住宅的发展。

二、美国

美国住宅建筑市场发育完善,住宅用构件的标准化、系列化,及专业化、商品化、社会化程度很高,几乎达到 100%。由于它没有受到“二战”的影响,而没有走欧洲的大规模预制装配化道路。其住宅的特点是注重于住宅的个性化、多样化,与之相配套的结构体系也不拘一格,用户可按照自己满意的方案设计房屋,再按照住宅产品目录到市场上采购所需的材料、构件、部品,委托承包商建造,在现场进行机械化施工。美国住宅的个性化发展,促使钢结构住宅的建筑体系,以经济适用为原则向多样化发展,给钢结构住宅的发展带来了生机。

三、日本

日本早在 20 世纪 60 年代初期就对住宅的产业化进行了研究,也是为了解决战后的房荒问题,因当时的建筑技术人员和熟练工人明显不足,为了提高效率和质量,日本对住宅实行部品化、批量化生产。同时,为了与住宅的发展相协调制定了许多政策和制度,在 70 年代设立了产业化住宅性能认证制度,80 年代中期设立了优良住宅部品认证制度,90 年代又开始采用产业化方式形成住宅通用部件,这都为钢结构住宅的正规化发展奠定了基础。近几年,日本的钢结构住宅发展非常快,年竣工量占住宅建筑总面积的 25%,约为 5 千万平方米。而且每年用于住宅建筑的钢材数量还在不断增加。目前,日本年产钢近 1 亿吨,用于建筑的钢材约 2500 万吨,其中用于钢结构住宅的有 700 万吨~800 万吨,占建筑用钢的 1/3 左右。另外,由于日本住宅产业化发展很早,很成熟,这促使了钢结构住宅工业化程度的提高。现在,日本每天都有一二百幢钢结构住宅从工厂的流水线上制造出来,大大地提高了住宅的生产效率。

从各国钢结构住宅的发展历史可以看出,大部分国家是以工业化为前提,来带动钢结构住宅的发展。而钢结构住宅的发展又促使各国工业化程度的进一步提高,但是,从美国的住宅发展来看,要使钢结构住宅长久地发展下去,要切忌盲目工业化所导致的无个性化发展。

第二节 国外钢结构住宅的结构体系分析

各国之间由于历史背景、地理环境和文化的差异，所侧重的结构体系不同。但从目前欧、美、日等发达国家和地区建成的钢结构住宅体系来看，按照层数的不同大致可分为以下几种类型：

一、低层住宅

低层住宅大部分应用于单体结构中，用于一家一户的别墅建筑。由于它层数低，由规范规定的建筑耐火等级和结构抗震、防风等荷载要求都较低。这就给建筑的平面布置，结构的构造设计带来很大的灵活性。钢结构在低层住宅中很早就开始应用，但初期的结构体系与混凝土结构基本相似，之后随着钢结构技术的日渐完善，相应的体系更加丰富，更加突出了钢结构住宅速度快，周期短，抗震性好，综合效益高等方面的优势。下面主要介绍几种国外已建的较为普遍的钢结构住宅结构体系。

（一）框架结构

这种体系在低层钢结构住宅中得到较早的应用，它构造简单，施工速度快，技术难度小，同时由于低层住宅对水平荷载的要求不高，避开了框架结构弹性刚度差的缺点。梁与柱之间的连接采用刚接，各部分刚度分布均匀。

较早的框架结构钢结构住宅是在瑞典首都斯德哥尔摩，于 20 世纪 60 年代初建造的朗茨克鲁纳单户房屋^[2]，结构体系纵剖面如图 1.1。这个早期钢结构住宅主要承重结构的特点是，柱和托梁均采用槽钢，而在托梁之间采用 $5 \times 23\text{cm}$ 的木梁，墙体与钢骨架的连接也采用木构件。风荷载产生的内力，在纵向由钢架承受，横向则由嵌固在混凝土独立基础内的柱承受。主要结构特点与木结构相似，在整体的建筑设计中采用钢和木的混合结构，承载能力不高，所以该建筑仅为单层单户住宅。但它却将钢结构住宅带到人们的面前，使人们开始了解钢结构在住宅中的应用。

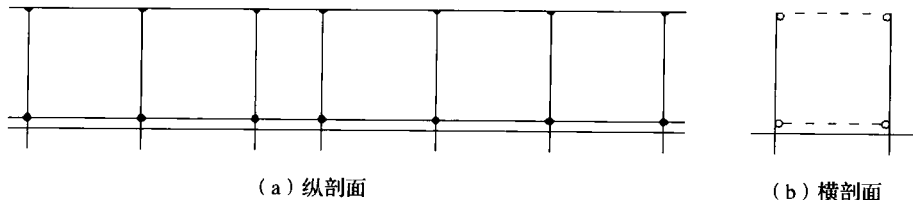


图 1.1 瑞典朗茨克鲁纳单户房屋

在此之后，英国伦敦建造了一座三层的钢结构住宅^[3]，其建筑形式和结构

构造至今仍在沿用。结构体系如图 1.2。主要承重构件梁和柱都是工字钢，柱网为 $3.3 \times 6.0\text{m}$ ，截面尺寸为 $152 \times 152\text{mm}$ ，钢梁截面为 $254 \times 101\text{mm}$ ，楼板采用 13cm 厚钢筋混凝土板在横向同钢梁共同工作，风荷载产生的内力在纵横两向均由钢骨架承受。墙体是由耐大气腐蚀的薄钢板和聚氨基甲酸酯复合而成。整个过程施工速度快，机械化程度高，突出了钢结构建造住宅的优势，为钢结构住宅框架体系的发展奠定了基础。

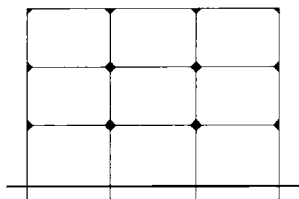


图 1.2 伦敦单户房屋结构体系

(二) 框架支撑体结构

这种体系是框架结构的延伸，为了增强结构的侧向刚度，减小层间位移，在框架的基础上增加支撑，从而提高了结构的整体刚度，增强了抵抗水平风荷载和地震作用的能力。它的应用范围很广泛，低、多、高层中均可采用，在国外很早就已开始应用。

比较典型的是瑞典在 20 世纪 60 年代末期，建造的斯多—塔纳住宅^[4]（如图 1.3）是框架支撑体结构，其框架尺寸是 $7.35 \times 3.0\text{m}$ ，梁、柱都采用 HE200A，它们之间的连接横向支撑方向是铰接，纵向是刚接。风荷载在纵向由刚性外框架承受，横向由布置在隔墙内的角钢抗风支撑承受。楼板由厚 20cm 的配筋轻混凝土板组成，楼地面由两层木质纤维板和塑料板组成。

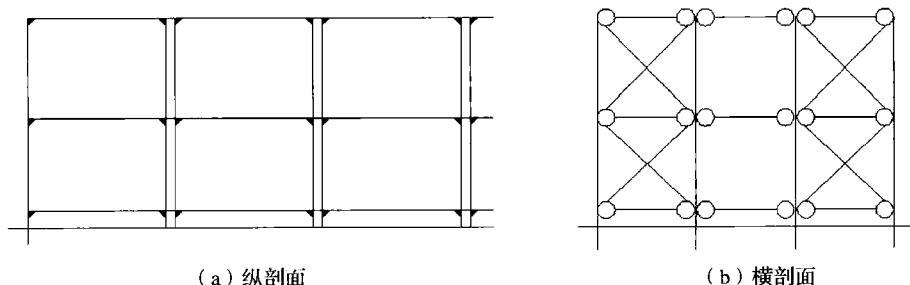


图 1.3 斯多—塔纳住宅

这是早期比较典型的钢结构支撑体住宅，在此以后，这种体系得到进一步的推广和应用，形式灵活多样更加符合功能的需要，主要形式有中心支撑和偏心支撑，中心支撑有 X 型、人字型、倒人字型、单斜杆型、W 型、倒 W 型（见图 1.4），偏心支撑有 D 型、K 型和 V 型（见图 1.5），可以满足不同房间

和洞口的使用需要。同时由于它自重轻，抗侧向刚度大，还可以在地震多发区和风力较大的地区使用，更加增大了它的使用范围。

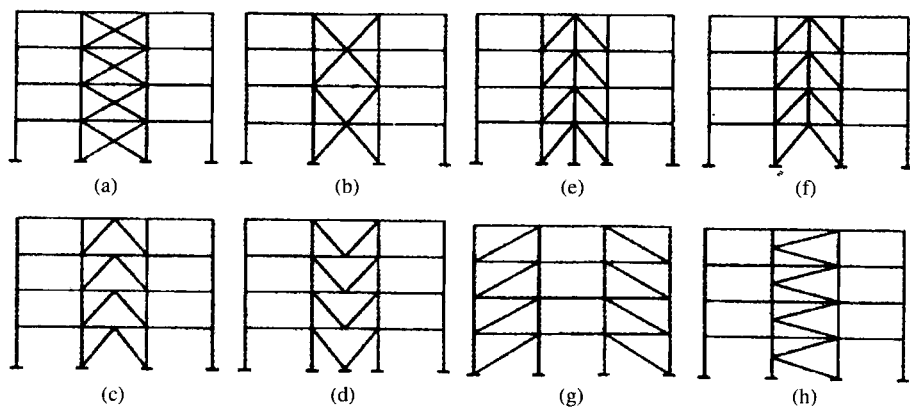


图 1.4 中心支撑

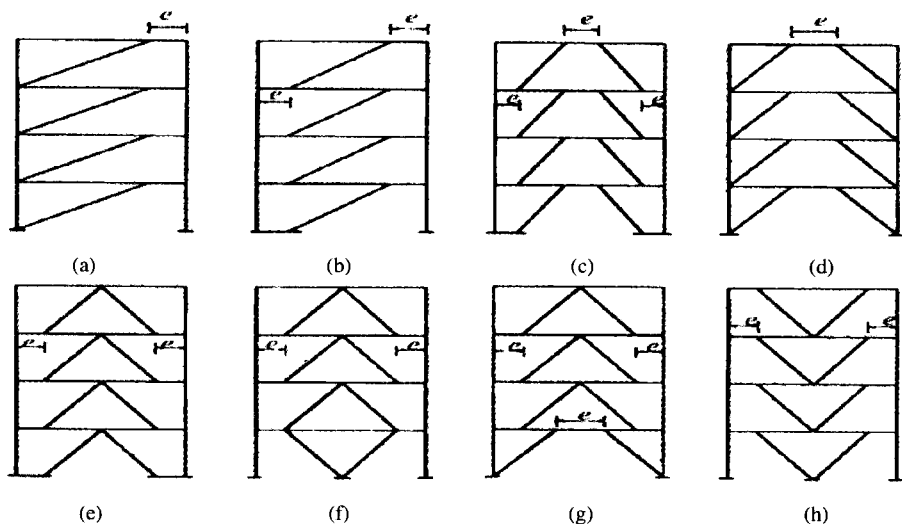


图 1.5 偏心支撑

(a、b) 为 D 型支撑 (c、d) 为 K 型支撑 (e、f、h) 为 V 型支撑 (g) 为混合形式

(三) 轻钢龙骨结构体系

这种体系是随着钢结构技术的不断成熟而产生的，从目前国外已经应用的龙骨结构体系来看它主要分为：冷弯薄壁型钢格构式结构体系和热轧型钢组成龙骨结构体系。

冷弯薄壁型钢格构式结构体系的主承重结构是将工厂预制的冷弯薄壁型钢（C 型或 Z 型）在施工现场用螺栓连接形成结构骨架，再封上墙板、楼板、屋

面板形成整体住宅，主要在低层住宅中应用，它又分 Balloon 式和 Platform 式格构体系。两者的区别是 Balloon 中的墙支柱在楼板连接处不间断，而 Platform 式中的墙支柱在楼板连接处断开，上一层的墙支柱支撑在下一层的楼板上。如图 (1.6a、b) 所示^[5]。

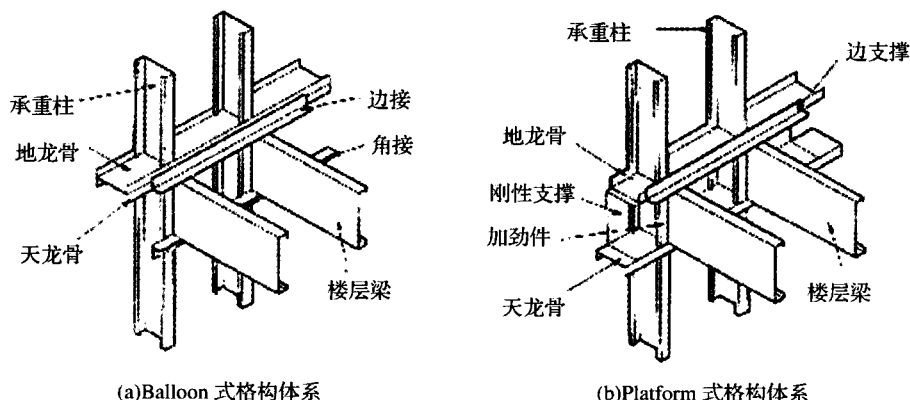


图 1.6

热轧型钢龙骨结构体系是由间距在 1.2~2.0m 的轧制矩形钢管或 H 型钢柱和与柱铰接的 H 型钢梁（如图 1.7）^[5]，并辅以一定数量的支撑所组成。主次梁及承重柱构件在工厂进行预加工，施工现场用高强螺栓或普通螺栓连接成钢骨架，并在外墙梁柱上预留与预制墙板连接的接口，再进行预制保温墙板、整体楼板（或现浇楼板）、整体钢屋架的现场安装，形成整体住宅。冷弯薄壁型钢格构式和热轧型钢组成龙骨结构体系的主要区别是前者的竖向结构为墙元，而后者为单根柱，并且柱从下到上是连续的。轻钢龙骨结构体系在欧洲和北美洲较为成熟并大量应用于低层钢结构住宅，如：英国 Milton Keynes 未来世界样板房别墅^[6]，它采用的是 Platform 格构体系，由于新的建筑技术的应用，使其有了十分现代的使用功能。轻质保温隔热墙体及屋面的应用使该住宅在保温隔热上与传统砖结构相比有很大的进步。由于该住宅选用冷弯薄壁格构式体系，建筑物的使用面积也大大增加，结构面积大大减少。另一方面，由于钢结构材料高强，该住宅的空间分隔可以选用大宽度、大空间，从而使住宅使用者享受到大空间的舒适使用功能。

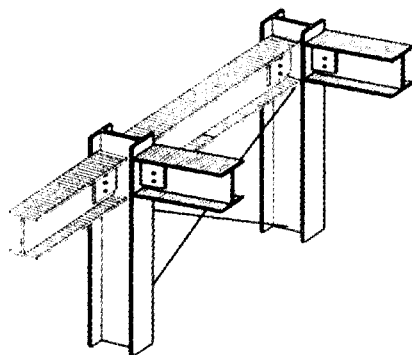


图 1.7 热轧型钢龙骨结构体系

图 1.8 是德国 Koblenz 太阳能生态别墅^[6]，它采用的是 Balloon 格构式骨

架。三角拱形梁柱体系能够充分利用材料的承载能力，不但节省材料而且坚固耐用。较高的承载能力使各个部分构造灵活简便，如屋顶采用全透明的屋盖，让阳光充分照射在屋顶里层铺设的太阳能装置上，从而节省能源的消耗。

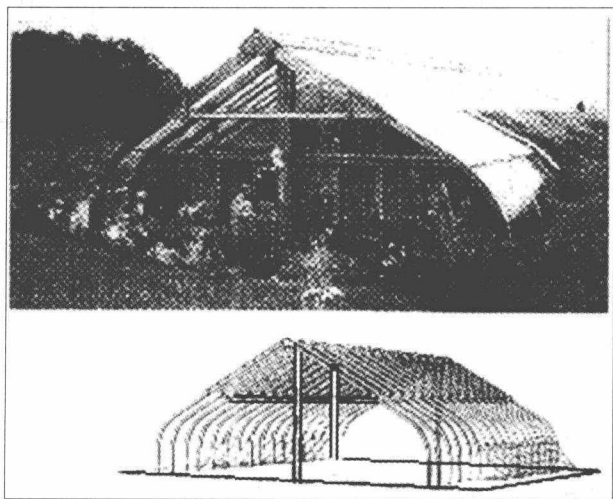


图 1.8 德国 Koblenz 太阳能生态别墅及构造

热轧型钢龙骨结构由于具有良好的抗震性，被许多地震国家应用，如图 1.9 是日本 Osaka 别墅住宅^[6]，它采用的是矩形钢方管柱和 H 形钢梁形成的承重骨架，并在外墙梁柱上预留与预制墙板连接的接口。日本的工业化程度高，钢结构住宅中大量使用工厂预制保温墙板、整体楼板、整体钢屋架，使住宅的施工安装速度快，造价经济。



图 1.9 日本 Osaka 别墅住宅

轻钢龙骨结构使钢结构住宅的优点更加突出：高强、自重轻、抗震、可随意拼接、耐久、工业化生产、施工安装速度快等，具有较高的综合经济效益，被广泛地应用在现代低层钢结构住宅中。

（四）工厂预制板式结构体系

这种结构体系主要是板作为主要的承重结构，早期的板式结构起源于 20

世纪五六十年代的钢筋混凝土板式结构,当时在日本和欧洲的许多国家都采用这种体系进行工业化建造和现场装配式安装,并延续至今。但由于混凝土结构工业化程度不高,自重大,节点处的构造还需采用现场进行浇固,所以并没有明显的提高施工速度,同时给安装带来困难。而目前国外采用的主要是带钢骨架的墙板、楼板及屋面板,它们自身就可承重。利用工厂工业化安装好预制承重板,可以快速在施工现场拼装出低层住宅。

图 1.10 是荷兰 Den Haag—工厂预制板式结构体系的多住户公寓住宅^[6],该种房屋即可建成 1~3 层的独立小住宅,也可以通过平面组合,建成多层集合型住宅,每户面积 33~500m²,每栋面积可以达到 1500m²,甚至更多。由于这种结构体系工业化程度高,节省人力,可以大大缩短建造商的住宅开发时间,投资回收期也大大缩短,现在被广泛地应用在低层住宅中。

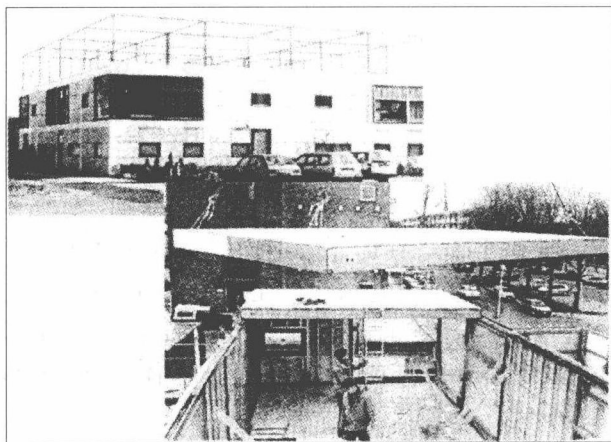


图 1.10 荷兰 Den Haag 公寓住宅及施工过程

由于 1~3 层的低层住宅对抗震、防火等方面的要求相对较低,因而结构形式比较繁多,以上是国外比较常用且技术成熟的四种结构体系,它们在钢材用量,经济造价,施工,安装等方面都具有一定的优势,同时各自还有其相应的特点,满足不同建筑、结构、地理环境的要求。

二、多层住宅

多层住宅一般是指 4~8 层的住宅群体,它是许多发展中国家的首选住宅类型,这是由于结构技术难度和建筑成本都不高,属于经济型住宅。而对其采用钢结构,还可以进一步改善住宅质量,同时加快施工速度,增加资金周转,增强住宅的综合经济效益。

国外的多层钢结构住宅结构体系的类型并不像低层过于繁多,主要采用以下三种类型。

(一) 框架支撑体结构

这种体系在低层住宅中已经提到，它在多层住宅中的分类和形式与其基本相同，它的主要承重构件是梁、柱和钢支撑，梁和柱主要承受竖向荷载，钢支撑主要承受水平荷载，增强结构的侧向刚度。

美国西海岸的西雅图地区办公楼^[7]，某4层办公楼采用的就是框架支撑体结构，其建筑高度为16.2m，最小层高3.96m，支撑形式为中心支撑如图1.11，均为入字型支撑，由宽翼缘柱W14×109，宽翼缘梁W18×65和250mm宽的方钢管斜撑组成，斜撑框架的用钢量为总用钢量的24.34%。

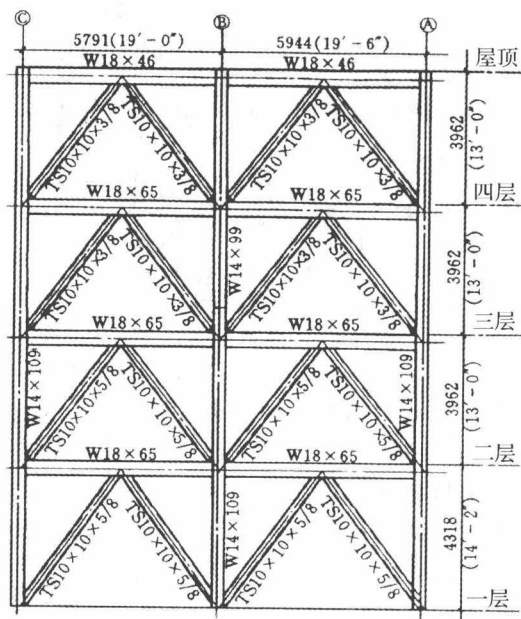


图 1.11 斜撑框架立面

(二) 框架—剪力墙（核心筒）结构体系

这种结构体系是以框架为主要承重骨架，剪力墙或核心筒增强结构的整体刚度，抵抗水平荷载。在这方面的技术国外已经很成熟，这种体系最早是在钢筋混凝土结构中应用，之后由于钢框架在强度和施工速度等方面均优于混凝土结构，因此被人们认识并广泛应用在住宅结构中。

在钢结构住宅中框架采用钢骨架，剪力墙国外多采用组合剪力墙，它是在薄壁钢板剪力墙两侧增加混凝土板，混凝土板防止钢板的平面外屈曲，提高剪力墙的强度和耗能能力。钢筋混凝土剪力墙刚度较大，地震时易产生应力集中，导致墙体产生斜向大裂缝而脆性破坏。同时，为了避免产生脆性破坏，可采用带缝剪力墙，同时剪力墙与钢框架的连接采用铰接，这样就形成两阶段工作剪力墙，增加了结构的延性。

意大利在斯泰尔维山口建造的四层栖居所房屋，由于地理条件和气候的复杂性，决定了房屋采用的是钢框架——核心筒结构^[8]。平面如图 1.12 所示，中央为核心筒结构，四周是框架。这个房屋除装饰工程外，完成主要施工工程所需总时间，仅为三个月。由于风荷载和雪荷载大，钢结构采用刚架的形式，按两个方向上作用有风荷载进行框架计算。

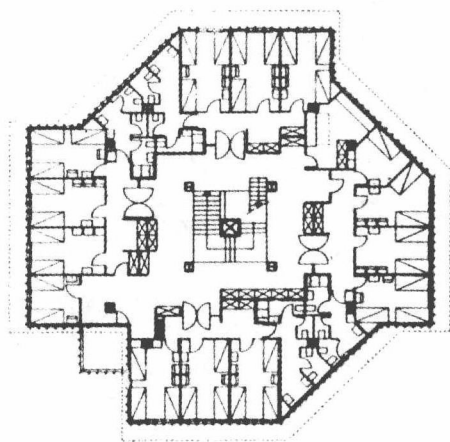


图 1.12 意大利斯泰尔维山口平面图

这个房屋采用钢结构的原因是山口气候多变，施工速度要快；地形复杂，需要建筑材料便于运输和安装；在风口位置，风荷载和雪荷载都大，需要有很强整体刚度和侧向刚度；此外它的建筑体形较复杂梁柱等主要承重结构需要很大的强度。多种因素决定其最好采用钢框架—核心筒结构，这也正是其优于其他结构的特点。

（三）框架支撑体—剪力墙（核心筒）组合结构体系

以上介绍的是在钢框架的基础上为了增强多层住宅的侧向和整体刚度，再增加抗侧力构件——钢支撑或剪力墙，而在多层钢结构住宅中由于体形复杂和功能需要，可将三者钢框架、钢支撑、混凝土核心筒结合起来应用。

意大利于 1968 年在塔兰居住区建造的转角式单元采用的就是框架支撑体—核心筒结构^[9]，平面梁布置和结构体系如图 1.13 所示。钢柱用轧制工字钢 140A~180B，外柱托梁铰接，内柱同梁刚接，次梁同柱铰接，所有连接均用螺栓。风荷载通过楼盖板传给钢筋混凝土核心筒，及转角式单元端墙内的垂直剪力撑。楼板采用钢筋混凝土预制楼板，基础采用柱下独立基础。