



国家科学技术学术著作出版基金资助出版



住宅节能

江 亿 林波荣 曾剑龙 朱颖心 等著

Energy Efficiency

in Residential

Buildings

中国建筑工业出版社





国家科学技术学术著作出版基金资助出版

住宅节能

江 亿 林波荣 曾剑龙 朱颖心等著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

住宅节能/江亿等著. —北京: 中国建筑工业出版社,
2006

(国家科学技术学术著作出版基金资助出版)

ISBN 7-112-08038-X

I. 住... II. 江... III. 住宅—节能—建筑设计

IV. TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 008869 号

本书首先概述了我国住宅发展状况和节能的意义, 分析了住宅建筑能耗构成和节能途径, 然后以当前国际流行的节能设计理念和技术方法, 介绍了包含小区规划节能、住宅能耗分析与优化、围护结构节能、通风节能、采光、太阳能合理利用、采暖空调系统等与住宅节能密切相关的技术内容和相关措施。

本书可供从事建筑及相关专业设计的工程师参考, 也可供大专院校的师生参考。

* * *

责任编辑: 齐庆梅

责任设计: 赵 力

责任校对: 张树梅 关 健

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
住宅节能

江 亿 林波荣 曾剑龙 朱颖心等著

*

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

北京嘉泰利德公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 21½ 字数: 430 千字

2006 年 3 月第一版 2006 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3,000 册 定价: 39.00 元

ISBN 7-112-08038-X

(13991)

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.cabp.com.cn>

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

序

目前我国正处在经济建设高速发展的过程中。随着我国城市化程度的不断提高,第三产业占 GDP 比例的加大以及制造业结构的调整,建筑运行能耗将不断提高,对我国能源供应和环境保护造成巨大压力。目前我国城镇建筑消耗采暖用能 1.5 亿吨标煤/年,相当于我国非发电用煤的 16%~18%,建筑运行过程用电量 4000~4500 亿度/年,为我国发电总量的 22%~24%。按照目前规划,到 2020 年我国城镇建筑还将新增 100~150 亿平方米,增加量为目前城市建成建筑面积的 65%~90%。这将导致建筑用能的不断增长,造成对我国能源供应系统的巨大压力,同时也成为减少我国二氧化碳排放量的重要障碍之一。

然而目前我国现有住宅建筑中能够达到采暖建筑节能设计标准的只有 1.8 亿平方米,仅占全部城乡建筑面积的 0.6%,占城市房屋建筑面积的 2.3%。约 210 亿平方米的既有住宅建筑存在着保温隔热性和气密性差、供热系统热效率低下等问题。同时,在我国每年新建的城镇住宅中,完全按照建筑节能要求设计的不足 6%。即便执行了节能标准的住宅,其能耗与相同气候条件的西欧或北美国家相比,单位建筑面积要多消耗 50%~100% 的采暖能量,而且舒适性较差。

住宅作为目前最昂贵的商品,消费者在穷其半生积蓄购买时不可能不考虑它的节能性能。需要注意的是,在当前市场机制作用下的房地产市场,伴随着日趋激烈的市场竞争,住宅能耗作为一项重要指标,已得到购房者

和开发商的共同关注，并逐渐成为开发商的自觉行为。因为不节能的住宅不仅将在使用过程中不断地消耗居住者的金钱（据统计已在居民年收入的10%以上），同时还会影响人们的生活质量和身体健康。时不待我，当前正是新建住宅狠抓节能的关键。因此，本书将从技术角度出发，在总结国内外住宅节能设计经验的基础上，着重介绍清华大学及其合作单位多年来在节能住宅、生态住宅的设计、实践过程中积累下来的成熟技术与方法，并期望给房地产开发商、工程设计人员以指导和帮助。

清华大学自20世纪80年代以来，便开始从事住宅（建筑）节能和绿色建筑的研究和实践工作，积累了丰富的经验。包括，80年代初开始的太阳能住宅设计（北京、河北、西藏）；90年代开展的生态农宅设计（张家港生态农宅，1998，英国建筑与社会基金项目），中国生态住宅项目（1998年，国际可持续发展基金（AGS）项目，合作单位：美国MIT大学、日本东京大学、瑞士苏黎士高等技术学院、同济大学等），住区微气候的热物理问题研究（1999~2004，国家自然科学基金重点项目），中国生态住宅技术评估手册（2001~2003），绿色奥运建筑评估体系及奥运园区能源系统综合评价研究（北京市科委项目，2002~2003），奥运绿色建筑标准研究（科技部奥运十大科技专项之一，2002~2004），新建建筑能耗评估体系与超低能耗示范建筑（北京市科委，2002~2004），降低建筑物能耗的综合关键技术研究（科技部“十五”科技攻关项目，2004~2006）。此外还与万科、天鸿、金地、招商、万达、当代集团等大型房地产集团进行过紧密的设计、咨询和评估实践工作。本书即为上述成果的总结与提炼。书中的许多节能措施、设计方法和理念已经或正在北京、上海、南京、深圳、广州、成都、西安等地20余个住宅小区的设计、建造中得以实现。

本书首先概述了我国住宅发展状况和节能的意义，分析了住宅建筑能耗构成和节能途径，然后以当前国际流行的节能设计理念和技术方法，介绍了包含小区规划节能、住宅能耗分析与优化、围护结构节能、通风节能、采光、太阳能合理利用、采暖空调系统等与住宅节能密切相关的技术内容

和相关措施。

本书除了介绍清华大学对住宅节能整体优化设计的新理念，同时还强调不同专业之间尤其是工程技术人员与建筑师之间的紧密配合及交流。此外，还努力通过一些经验性成果的总结、罗列来直接指导工程设计。

本书各章作者如下：

第1章：江 亿、林波荣

第2章：江 亿、林波荣

第3章：林波荣、顾道金、朱颖心

第4章：曾剑龙、林波荣

第5章：曾剑龙、孟庆林、袁 圆、朱颖心

第6章：林波荣、欧阳沁、朱颖心

第7章：林波荣、唐振中、朱颖心

第8章：林波荣、夏春海、陈海波

第9章：江 亿、林波荣

全书由林波荣统稿。

本书的出版要归功于清华大学建筑技术科学系师生们的集体智慧，以及中国建筑工业出版社的支持和鼓励，更得益于相关政府部门、科研单位和房地产开发商的大力支持与合作；特别地，得到了华南理工大学孟庆林教授的积极支持和热情参与。在此，对他们表示深深的谢意。

本书获国家科学技术学术著作出版基金资助，特此致谢！

由于书中所述多为新思路、新技术的探索，同时作者水平有限，文字表述也可能存在疏漏，恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 住宅节能综述	1
1.1 我国住宅发展状况	1
1.2 我国建筑能耗状况和住宅节能潜力	3
1.3 与住宅节能工作相关的主体及其利益分析	8
1.4 住宅节能的经济效益和社会效益	11
参考文献	14
第 2 章 住宅建筑能耗构成和节能途径	15
2.1 住宅建筑能源消耗的构成	15
2.2 住宅节能设计与热工分区	16
2.3 不同热工分区下的住宅热环境状况及设计策略	18
2.3.1 严寒和寒冷地区	18
2.3.2 夏热冬冷地区	21
2.3.3 夏热冬暖地区	25
2.3.4 温和地区	29
2.4 住宅节能集成化设计	29
2.4.1 小区规划	30
2.4.2 新型围护结构产品的利用和住宅热工性能 整体优化设计	31
2.4.3 自然通风与有组织通风	33
2.4.4 合理的采暖空调方式与系统	34
2.5 建立我国的住宅能耗评估体系	37
2.5.1 住宅建筑能耗标识体系的结构	38
2.5.2 住宅建筑能耗标识体系的具体实施方法	39
参考文献	41

第3章 住区规划节能技术	43
3.1 建筑选址与布局	43
3.2 住区风环境优化设计	44
3.2.1 优化住区风环境设计的常规做法	48
3.2.2 实验辅助优化建筑风环境设计	57
3.2.3 利用计算机数值模拟指导建筑小区规划设计的方法	63
3.3 改善室外热环境	66
3.3.1 住宅小区夏季室外热环境的特点	66
3.3.2 规划设计中改善夏季室外热环境的方法	68
3.3.3 利用绿化改善室外热环境	69
3.3.4 室外热环境的模拟及预测	72
3.4 日照	79
3.5 建筑朝向及其他	86
参考文献	86
第4章 住宅建筑能耗分析	89
4.1 建筑体形对能耗的影响	89
4.2 建筑朝向对能耗的影响	92
4.3 窗墙比对能耗的影响	94
4.4 热惯性对能耗的影响	96
4.5 用于建筑能耗分析的软件工具	101
4.5.1 能耗模拟软件简介	101
4.5.2 实例分析	102
4.6 不同模拟评价方法对住宅节能发展的影响	106
4.6.1 住宅建筑热性能评价方法概述	106
4.6.2 两种不同的热性能评价方法简介	108
4.6.3 计算模型	110
4.6.4 计算结果分析	110
4.6.5 总结	114
参考文献	115
第5章 围护结构的节能技术	117
5.1 外墙外保温技术	117
5.1.1 粘贴聚苯板外保温方式	118

5.1.2	现抹聚苯颗粒外保温方式	119
5.1.3	大模内置聚苯板外保温方式	120
5.1.4	预制外挂保温板	120
5.1.5	新型外墙外保温方式	121
5.2	屋顶保温与隔热技术	122
5.2.1	外保温屋顶	122
5.2.2	倒置式屋面	123
5.2.3	通风屋面	123
5.2.4	阁楼屋面	124
5.2.5	种植屋面	125
5.3	节能外窗技术	127
5.3.1	节能玻璃种类与特点	130
5.3.2	节能窗框技术	139
5.4	遮阳技术	143
5.4.1	内遮阳	143
5.4.2	外遮阳	144
5.4.3	绿化遮阳	148
5.4.4	住宅遮阳设计与安装	149
5.5	双层皮幕墙技术	152
5.5.1	双层皮幕墙的构造	152
5.5.2	双层皮幕墙的种类	152
5.5.3	双层皮幕墙的特点	156
5.5.4	双层皮幕墙在住宅中的应用	161
5.6	相变材料在住宅节能中的应用	162
5.6.1	相变蓄能材料介绍	162
5.6.2	相变材料在建筑中的应用形式	163
5.6.3	定型相变材料的应用	169
	参考文献	172

第6章 住宅通风节能设计 175

6.1	自然通风的原理及主要形式	175
6.1.1	利用风压实现通风	176
6.1.2	利用热压实现自然通风	177
6.1.3	风压与热压相结合实现自然通风	177
6.1.4	住宅通风设计	178

6.2	被动式通风	180
6.3	改善住宅自然通风的方法	183
6.3.1	住宅开口优化设计	184
6.3.2	构造导风	187
6.3.3	室内空间设计与自然通风	189
6.4	住宅自然通风的计算机模拟设计方法	194
6.4.1	基于设计的住宅自然通风模拟方法	194
6.4.2	自然通风与住宅热环境的联合模拟方法	200
6.5	可控通风与住宅节能	203
6.5.1	可控通风	203
6.5.2	住宅新风热回收	205
6.6	现代住宅自然通风设计分析	206
6.6.1	TOWNHOUSE 自然通风设计	206
6.6.2	南向封闭阳台热压通风设计	207
	参考文献	209
第7章	采光节能技术	211
7.1	概述	211
7.2	住宅采光设计	211
7.2.1	采光设计标准	211
7.2.2	采光设计计算	213
7.3	住宅采光技术	220
7.3.1	窗户类型与采光效果	220
7.3.2	采光的调节与控制	229
7.4	自然采光模拟评价工具	236
7.4.1	模拟软件介绍	236
7.4.2	实例分析	238
7.5	照明节能与节能灯具	245
7.5.1	照明节能	245
7.5.2	节能灯具	245
	参考文献	248
第8章	太阳能利用与设计	249
8.1	太阳能资源分布	249
8.2	太阳能在建筑中的应用	251

8.3	太阳能被动式利用	254
8.3.1	被动式太阳能建筑设计	255
8.3.2	被动式太阳房采暖	255
8.3.3	太阳能被动式通风降温	259
8.3.4	太阳能被动式利用实例	262
8.4	太阳能被动式建筑能耗模拟软件	267
8.4.1	国外软件介绍	267
8.4.2	国内软件	268
8.4.3	太阳能建筑能耗分析软件 DeST-s	270
8.5	太阳能生活热水系统	271
8.5.1	太阳能集热器的选择	272
8.5.2	系统形式的选择	276
8.5.3	技术经济比较	278
8.5.4	太阳能生活热水系统设计	280
8.5.5	太阳能热水系统与建筑一体化设计	284
8.6	太阳能热水系统工程实例	288
	参考文献	291
第9章	采暖空调系统	293
9.1	天然气应用	294
9.1.1	区域燃气炉采暖及楼栋燃气炉	294
9.1.2	分户燃气炉采暖	295
9.1.3	建筑热电冷联供系统 (BCHP)	297
9.1.4	燃气热泵	299
9.2	电驱动采暖空调方式	301
9.2.1	电采暖	301
9.2.2	热泵技术	302
9.3	采暖空调系统设计原则	314
9.3.1	采暖热源的选择	314
9.3.2	集中还是分散	315
9.4	住宅采暖空调新途径	318
9.4.1	改革室内末端装置	318
9.4.2	新型冷热源装置	325
9.5	案例分析	326
9.5.1	锋尚国际公寓	326

9.5.2 空气热泵 + 地板辐射	329
9.6 总结	331
参考文献	332

第 1 章 住宅节能综述

1.1 我国住宅发展状况

目前我国正处于飞速城镇化的进程中。据统计, 2003 年我国城镇化率达到 40.53%。预计到 2020 年将达到 60%。伴随着庞大的基础设施、住房、工作用房和教育、保健、休闲用房需求, 我国房屋建筑正在以飞快的速度发展。按照世界银行的预测, 到 2015 年, 全世界新建筑的一半出现在中国; 而到 2015 年, 中国城市商用和居住建筑中的一半在 2000 年后建造。

住宅发展和人居环境的改善一直得到高度重视, 特别是改革开放以来, 住宅建设进入到快速发展的轨道, 如图 1-1 所示。可以看出, 从 1996 年以来, 住宅年平均竣工面积达到了 4.5 亿 m^2 , 大大超过了“九

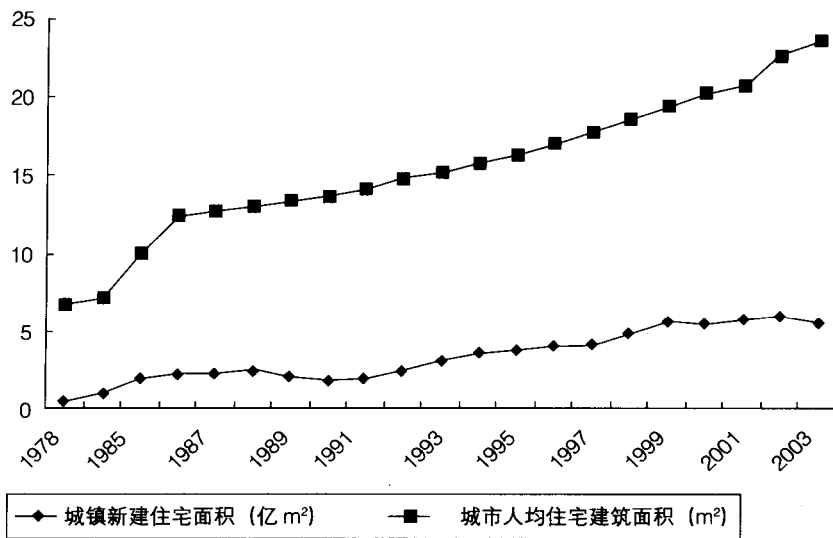


图 1-1 我国城镇新建住宅面积和人均居住面积发展状况

五”计划 2.4 亿 m² 的目标。特别地，2000 年以后，城镇年均新建住宅面积达到了 5.68 亿 m²，增长速度迅猛。

在居住面积增加、生活水平不断提高的同时，与人们生活质量息息相关的电器设备拥有率也迅速提高，如表 1-1 所示。

我国居民家用电器设备拥有率变化情况（/百户）表 1-1

年份 项目	1990	1995	1999	2000	2002	2003
摩托车（辆）	1.9	6.3	15.1	18.8	22.2	24.0
洗衣机（台）	78.4	89.0	91.4	90.5	92.9	94.4
电冰箱（台）	42.3	66.2	77.7	80.1	87.4	88.7
彩色电视机（台）	59.0	89.8	111.6	116.6	126.4	130.5
录像机（台）		18.2	21.7	20.1	18.4	17.9
组合音响（套）		10.5	19.7	22.2	25.2	26.9
照相机（架）	19.2	30.6	38.1	38.4	44.1	45.4
空调器（台）	0.3	8.1	24.5	30.8	51.1	61.8
淋浴热水器（台）		30.1	45.5	49.1	62.4	66.6
排油烟机（台）		34.5	48.6	54.1	60.7	63.6
影碟机（台）			24.7	37.5	52.6	58.7
家用电脑（台）			5.9	9.7	20.6	27.8
摄像机（架）			1.1	1.3	1.9	2.5
微波炉（台）			12.2	17.6	30.9	37.0
健身器材（套）			3.8	3.5	3.7	4.1
移动电话（部）			7.1	19.5	62.9	90.1
家用汽车（辆）			0.3	0.5	0.9	1.4

特别地，我国近年城市家庭中房间空调器拥有量以极快的速度增长。从表 1-2 可以看出，在 2002 ~ 2003 一年间，全国城市每百户家庭的房间空调器净增 10 台。简单测算可以发现，2003 年城市住宅房间空调器装机电力占到了全国发电能力的五分之一左右，对国家电力需求和能源安全提出了

严峻的挑战。

我国部分省市每百户城市家庭房间空调器拥有量 表 1-2

省/市	空调器台数 (2002)	空调器台数 (2003)
广东	125. 54	141. 99
上海	113. 87	135. 80
重庆	106. 89	126. 67
北京	106. 46	119. 31
浙江	81. 64	105. 23
天津	76. 78	90. 87
福建	74. 45	99. 88
湖北	70. 52	77. 75
江苏	67. 40	90. 94
安徽	50. 65	61. 75
河南	—	73. 07
陕西	—	59. 34
四川	—	56. 21
湖南	—	55. 38
山东	—	52. 31
河北	—	55. 91
全国	51. 10	61. 79

注：表中仅列出每百户城市家庭房间空调器拥有量在 50 台以上的省市。

1.2 我国建筑能耗状况和住宅节能潜力

建筑能耗包括建材生产、建筑施工、建筑日常运转及建筑拆除等项目的能耗。其中比重最大（约占 80% 以上）的是建筑使用过程中的能耗，包括建筑物（主要指住宅和公共建筑）采暖、空调、热水供应、炊事、照明及建筑电器耗能。

我国目前城镇民用建筑（非工业建筑）运行耗电为我国总发电量的

22%~24%，北方地区城镇采暖消耗的燃煤为我国非发电用煤量的15%~18%（建筑消耗的能源为全国商品能源的21%~24%）。这些数值都仅为建筑运行所消耗的能源，不包括建筑材料制造用能及建筑施工过程能耗。目前发达国家的建筑能耗一般在总能耗的三分之一左右。随着我国城市化程度的不断提高，第三产业占GDP比例的加大以及制造业结构的调整，建筑能耗的比例将继续提高，最终接近发达国家目前33%的水平。根据近30年来能源界的研究和实践，目前普遍认为建筑节能是各种节能途径中潜力最大、最为直接有效的方式，是缓解能源紧张、解决社会经济发展与能源供应不足这对矛盾的最有效措施之一。

我国城镇民用建筑能源消耗按其性质可分为如下几类：

（1）北方地区采暖能耗，目前城镇民用建筑采暖能耗平均约为20kg标煤，城镇民用建筑采暖面积约为65亿 m^2 ，此项能耗约占民用建筑总能耗的56%~58%；

（2）除采暖外的住宅能耗（照明、炊事、生活热水、家电、空调），折合用电量为10~30 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^①，目前城镇住宅总面积接近为100亿 m^2 ，约占民用建筑总能耗的18%~20%；

（3）除采暖外的一般性非住宅民用建筑能耗（办公室、中小型商店、学校等），主要是照明、空调和办公室电器等，用电量在20~40 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 之间，约占民用建筑总能耗的14%~16%；

（4）大型公共建筑能耗（高档写字楼、星级酒店、大型购物中心等），此部分建筑总面积不足民用建筑总面积的5%，但单位面积用电量多达100~300 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ，因此用电量占民用建筑总用电量的30%以上，此部分建筑能耗占民用建筑总能耗的12%~14%，是非常值得关注的部分。

上述分析之所以把采暖能耗分出，是因为此部分能耗以直接燃煤和热

① 根据清华大学、同济大学、上海建科院、湖南大学等单位对北京、上海、长沙等地中高档住宅用能调研的结果，这些大城市的住宅月平均用电量已经达到或接近300 kWh 。

电联产之排热为主,而其他部分能耗则以用电为主;之所以把非住宅民用建筑分为一般与大型是因为这两类建筑的单位面积用电量差别巨大。

目前我国正处在城市化高速发展的过程中。为适应城镇人口飞速增加的需求和继续改善人民生活水平的需要,在2020年前我国每年城镇新建建筑的总量将持续保持在10亿 m^2/a 左右,到2020年新增城镇民用建筑面积将为100~150亿 m^2 。由于人民生活水平提高,采暖需求线不断南移,新建建筑中将有70亿 m^2 以上需要采暖,10亿 m^2 左右为大型公建,按照目前建筑能耗水平,则需要增加1.4亿吨标煤/a用于采暖,增加4000~4500亿 kWh/a 用电量。这将对我国能源供应产生巨大压力。

住宅节能是我国建筑节能的重要组成部分。截至2000年底,全国既有房屋建筑面积,城市已至100亿平方米,然而其中能够达到采暖建筑节能设计标准的仅占全部城乡建筑面积的0.6%,占城市房屋建筑面积的2.3%。而约210亿平方米的既有住宅建筑存在着保温隔热性和气密性差、供热系统热效率低下等问题。上海住宅及其住宅节能的发展情况如表1-3所示。

上海住宅发展情况

表 1-3

年份	住宅保有量 (万 m^2)	新建建筑增长量 (万 m^2)	节能建筑增长量 (万 m^2)	节能建筑总量 (万 m^2)
2002	26906	/	107	107
2003	30560	3654	320	427
2004	32560	2000	600	1027

另外,在我国每年新建的城镇住宅中,完全按照建筑节能要求设计的不足6%。即便执行了建筑节能标准的住宅建筑,其住宅能耗与相同气候条件的西欧或北美国家相比,单位建筑面积要多消耗50%~100%的采暖能量,而且舒适性较差。例如,按照2004年新的节能65%的标准建造,北京市住宅采暖能耗大幅降低,但仍比瑞典、丹麦、芬兰等国气候相近地区的采暖能耗高出近50%(表1-4),而国内目前按照65%节能标准进行居住建筑节能