

住宅节能设计

蔡君馥 等合著

国家自然科学基金会与建设部资助

中国建筑工业出版社

前 言

能源问题是当前世界各国普遍重视的问题，也是我国经济工作的战略重点。70年代以来，我国的能源事业有很大发展，但限于资源条件等各种原因，新能源的开发在短期内难以缓解能源供应的紧张形势，节能工作已经成为我国经济建设的长期任务。和世界各国一样，建筑能耗在我国的全部能耗中也占有重要位置，而在我国解放以来历年的建设总量中，住宅建筑又始终占很大比重，住宅建筑的节能理当成为建筑节能工作的重点。

80年代以后，我国的住宅节能工作有了若干进展，但与发达国家相比还有相当大的差距，这不仅表现在我国采暖地区住宅单位面积能耗还很高，也表现在对于建筑环境质量和设计中的节能问题缺乏系统的研究。1987年，我们在国家自然科学基金委员会和建设部支持下，开始了一项科研工作，旨在通过对住宅采暖、照明等耗能环节的分析研究，探索系统的住宅节能设计理论与方法，以求在降低住宅耗能量的同时，相应地改善住宅室内热环境与光环境质量。这项工作已于1990年底完成并通过鉴定。本书是此项科研成果，仅按有关领导和专家们的建议以及出版要求作了适当的整理与修改。书中各章的重点是从不同方面论述住宅建筑节能设计的理论与方法，章与章之间既有联系又有相对的独立性，所包括的内容有调查研究、理论分析、模拟计算、现场实测及对住宅节能设计的具体建议。此外还以图表形式反映节能计算的结果并附有不同气候区的节能住宅示范设计，可供建筑设计、科研、教学、管理等人员参考。

本书由蔡君馥主编，各章编者是：蔡君馥（第一、二、六章）、詹庆璇（第三章）、张家璋（第四章）、叶歆（第五章）、张慧（第七章）。另外还有孙明、易中、张华、周红、马沙、王联群、徐腾芳、郑宝安、常志刚等同志协助做了大量工作，谨此致谢。

限于我们的水平，缺点和错误是难免的，恳切希望读者提出批评。

编者

1991年3月

(京)新登字 035 号

能源问题是当前世界各国普遍重视的问题,也是我国经济工作的战略重点之一。本书通过对住宅采暖、照明等耗能环节的分析研究,论述了住宅建筑节能设计的理论与方法。章与章之间既有联系又有相对的独立性,其内容包括调查研究、理论分析、模拟计算、现场实测及对住宅节能设计的具体建议。此外还以图表形式反映节能计算的结果,并附有不同气候区的节能住宅示范设计,可供建筑设计、科研、教学、管理等人员参考。

住宅节能设计

蔡 君 馥 等合著

*

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

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14¹/₂ 字数: 344 千字

1991 年 10 月第一版 1991 年 10 月第一次印刷

印数: 1—4,080 册 定价: 9.00 元

ISBN7-112-01426-3/TU·1052

(6462)

目 录

第一章	居住建筑节能综述	1
第一节	建筑节能的背景和意义	1
第二节	国外建筑节能的实施和研究概况	3
第三节	我国能源消费现状和居住建筑节能的潜力	8
第四节	研究建筑节能理论和方法的基本观点	10
第二章	住宅热环境质量与节能	12
第一节	住宅建筑热环境质量	12
第二节	住宅建筑节能与热环境质量	18
第三节	人体容忍度与热环境质量	20
第四节	室内空气质量与人体舒适度	23
第三章	居室光环境质量与节能	26
第一节	居室光环境质量要求	26
第二节	平均天空下的居室采光	30
第三节	居室窗子的节能设计	34
第四节	居住建筑照明的节能	44
第四章	小区规划中建筑组团与太阳能利用	56
第一节	节能住宅的体型朝向	56
第二节	典型住宅组团住宅间距、密度和南墙辐射面积关系分析	68
第三节	用垂直面太阳辐射量确定住宅间距的方法及其计算机程序	82
第五章	住宅建筑方案设计的节能分析	90
第一节	住宅建筑体量与节能	90
第二节	住宅建筑体型与节能	99
第三节	平面布局	116
第四节	外墙保温的合理设置	118
第六章	窗、封闭阳台、墙体的节能设计与计算分析	123
第一节	能耗分析的模拟计算方法	123
第二节	窗的设计与节能分析	127
第三节	墙体、屋顶保温的节能分析	134
第四节	封闭阳台的调查、实测与节能分析	136
第五节	围护结构保温与室内热环境	147
第六节	经济分析方法	149
第七章	现有居住建筑节能分析	155
第一节	计算内容与计算方法简介	155

第二节 计算结果分析 159

第三节 有待完善的工作 168

附件 193

住宅建筑节能示范设计(一)(北京地区纬度 40 ° N)..... 193

住宅建筑节能示范设计(二)(纬度 35 ° N 地区) 213

第一章 居住建筑节能综述

第一节 建筑节能的背景和意义

70 年代初石油危机出现以后，能源问题倍受世界各国重视，纷纷进行研究，采取对策，但并未根本解决。70 年代末，能源问题被列为人类面临的四大问题之一（其他为粮食、人口、环境三大问题）。十多年来经过各国多方探索，能源问题的严峻形势逐渐清楚起来。

世界能源形势的特点首先是消费的飞速增长。20 世纪是世界人口增长较多的世纪。据联合国统计，从本世纪初到 70 年代中期世界人口增长约为 1.5 倍，但同期能源消耗却增加了 10 倍。能源消费还存在严重的贫富悬殊。占世界人口 1/4 的工业化国家的能源消耗要占世界能源消耗总量的 3/4 以上，其中石油、天然气、核能等优质能源更要占到 4/5。如果按人均能源消费计算，发达国家要超过发展中国家 10 倍或更多。占世界人口 3/4 的发展中国家的工业化和人民生活水平亟待提高，世界能源总消耗量的变化趋势仍将有增无减（参见表 1-1a、表 1-1b）。

表 1-1a

	美国	加拿大	西欧	东欧	苏联	日本	澳洲	拉美	中东	非洲	中国	东南亚	总计
人口 (百万人)	214	23	367	106	255	111	21	324	109	292	839	1306	3967
%	5.4	0.6	9.3	2.7	6.4	2.8	0.5	8.2	2.7	7.4	21.1	32.9	100
能源产量 (百万吨油当量)	1365	180	446	320	1106	25	78	281	1002	306	399	223	5730
%	23.8	3.1	7.8	5.6	19.3	0.4	1.4	4.9	17.5	5.3	7.0	3.9	100
能源消费量 (百万吨油当量)	1727	195	1201	401	1022	340	73	299	97	120	388	259	6123
%	28.2	3.2	19.6	6.5	16.7	5.6	1.2	4.9	1.6	2.0	6.3	4.2	100
人均消费量 (吨/人)	8.1	8.5	3.3	3.8	4.0	3.1	3.5	0.9	0.9	0.4	0.5	0.2	1.5

根据 1975 年联合国关于世界能源生产、消费与人口关系的统计资料综合。

1985 年人均能耗

表 1-1b

	美国	加拿大	英国	法国	匈牙利	苏联	日本	巴西	墨西哥	埃及	阿尔及利亚	中国	印度
人均能耗量 (吨油当量 / 人)	7.28	8.59	3.06	3.59	3.04	4.75	3.08	1.11	1.24	0.61	1.06	0.56	0.27

能源生产的形势同样不容乐观。世界能源组织在 70 年代末及以后对全世界能源资源储量的估计是：煤可以开采 200 年，石油 30 年，天然气 50 年，铀 40 年。也就是说常规能源的资源已经面临枯竭。

消费有增无减，资源紧缺加上分布不平衡，严峻的形势促使人们意识到能源问题的严重性和长期性。

70 年代以来节约和开发新能源的工作在全世界有比较大的进展。新的非常规能源的开发由于种种原因在短期内难于缓解当前的能源问题。许多国家都把注意力集中在常规能源的节约上，也取得比较明显的效果。“节能”已经被称为煤炭、石油、天然气、核能之外的第五大能源。

在全世界日益增长的能源消耗中，无论是工业发达国家还是发展中国家，建筑能耗都是国家总能耗中比较重大的一项。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）的是建筑日常运转能耗（主要为采暖、空调、热水、照明、电器等用能）也即住宅和公共建筑中的日常能耗或称“民生耗能”。近年来国内外发表的统计资料表明，发达国家的建筑能耗占国家总能耗约为 40~48%。70 年代中期联合国统计欧美 12 国“民生耗能”约占总能耗的 1/3。70 年代后期日本的建筑能耗占全国总能耗为 30%，其中民生能耗为 20%。70 年代初丹麦建筑日常能耗占全国总能耗为 20~30%。苏联某建筑师介绍 80 年代末苏联建筑耗能占全国总能耗为 25%，并估计全世界建筑能耗占总能耗的比重为 37%。我国尚缺这方面的精确统计，有关部门估计为 25%。

以上数字大致可以说明建筑能耗在整个能源问题中的地位。它同时也表明了建筑能耗的比重与国家工业化，国民生活水平之间的关系。随着各国工业化和人民生活水平的提高，住宅、民用建筑的发展，建筑耗能的比重将越来越大。因此许多国家都把建筑节能尤其是节约建筑日常运转耗能作为节能工作的重点。

在能源危机出现之前，不论是发达国家还是发展中国家由于对能源问题的严重性认识不足，在建筑上都存在不同程度的能源浪费。发达国家有雄厚的经济力量和高度的工业技术常因之产生建筑用能标准偏高偏疏。发展中国家由于技术和管理上的落后使得能源利用效率低下、建筑单位面积能耗指标高。长期以来建筑上浪费的能源数量是巨大的。十几年的调查研究首要的成果是使人们认识到建筑节能已经刻不容缓，同时也向人们展示了建筑节能的巨大潜力。

第二节 国外建筑节能的实施和研究概况

一、建筑节能政策、规定

世界能源危机以来，在建筑节能实践和科学研究的基础上，许多国家已经先后对建筑节能工作制订了不同程度的政策、规定。这些政策、规定主要从两方面入手。一方面是对建筑设计、建造在能耗上加以限制，另一方面是对节能建筑的鼓励、支持包括财政上的资助、优惠等等。这些政策、规定在一定程度上能够反映这些国家建筑节能工作的进展。许多政策、法令已经取得显著的社会和经济效益，产生了广泛的影响。以下举一些例子：

法国在第一次石油危机的翌年就颁布法规，对新建筑的能耗加以限制，使新建住宅的采暖能耗减少了 25%。1982 年颁布的第二次法规又作了更为严格的规定从而再次获得 20% 的经济效益。同时自 1980 年开始就着手第三次法规的准备。1989 年开始实施第三次法规，按照新法规的要求将在基本上不增加投资的情况下再节约 25% 的采暖、热水能耗。立法者也为建筑工作者提供种种方便条件，并且配合开展节能宣传。在此同时在政府主持下先后共完成了 40 座中等城市的旧房节能改造。总的情况是：自 1974 年以来法国住宅面积增加了约 14%，而建筑能耗几乎没有增长，在建筑节能政策上是比较成功的。

美国是一个大国，他们除了全国性、统一的建筑节能规定之外，政府也鼓励各州因地制宜，制订各自的具体节能规定。其中占全国人口 1/10 的加利福尼亚州是一个较有代表性的实例。

加州地处美国西南部临太平洋东岸，南北长达 965 公里，东西向狭窄。西部有漫长的海岸线，州内包括了沿海平原、山地、内陆谷地和沙漠等各种地形，海拔自海平面直到 4400m 以上。因此该州将本州划分为 16 个气候区，并分别规定其各自的采暖（包括制冷）能耗限制。加州自 1975 年即开始试行节能规定，1977 年正式实行后建筑能耗降低了 25%。1983 年又作了新的规定，新规定的住宅能耗将只有 1977 年以前所建房屋的 60%。规定中对住宅和办公、医院、旅馆、工厂等非居住建筑是区别对待的。他们的方法是先建一批限定热耗的“高能效住宅”，分别试测“高能效住宅”和旧建筑的能耗、进行比较分析，然后才据以确定住宅的能耗标准。规定也是比较灵活的，它允许设计者采取各种类型的构造，并且提供如何达到符合规定能耗的计算方法。设计者对此当然是欢迎的。

一些发达国家过去采暖标准偏高，为了节能已经降低了采暖温度（由 25℃ 降到 20~22℃）。根据日本的经验，住宅采暖温度每降低 1℃ 可以节约燃料 10%，仅此一项就可以得到可观的效益。另有一些国家除了对建筑物围护结构作出规定之外，对建筑物的内外管道也加以限制。例如英国 1985 年的建筑规范在第三节中规定，必须对热水箱保温，要求水箱表面热损失不超过 $90\text{W}/\text{m}^2$ ，并且为此提供了各种型号的专用保温设备。在另一项中又规定，凡管道通过非采暖房间有热损失时也必须加以保温，规定保温材料的导热系数不大于 $0.045\text{W}/\text{mK}$ （厚度等于管道外径，最大厚度 40mm）。规范还向设计、建造者指出，在对房屋墙体进行节能改造时可能出现的问题，如某些部位可能产生的结露等，并提出处理的原则。

日本是工业发达国家，但居住条件与欧美国家相比还有相当差距，民生耗能量比重也不大。因此，日本建筑节能政策的特点是以较少的能耗取得比较舒适的居住条件，即兼顾

节能与人民生活水平的提高而不采取单纯限制的作法。这是符合他们国情的。

许多国家在开始推行节能建筑时都给予资助或政策上的优惠。如美国在 1978 年就开始对实行住宅隔热措施的工程给予补助或无息贷款。70 年代后期，美国新英格兰地区决定对装置太阳能或风能系统的房屋免征十年财产税，而美国的财产税额是相当高的。另外一些国家的政府或企业已经投资建成了不少实验性或示范性的节能建筑和住宅。有的国家在建筑节能宣传工作中还包括对居民进行居住行为的建筑节能教育，是很有远见的作法，值得重视。

二、以改进外围护结构为中心的建筑节能工作

由于采暖、空调能耗在建筑日常运转能耗以至整个建筑能耗中占的比重很大，外围护结构热工性能的改进就自然成为许多国家建筑节能工作的重点。改进外围护结构热工性能通常是利用新的保温材料并已经取得了明显的效果。目前对外围护结构热工性能的要求已经反映在许多国家的政策、规定上，其中丹麦是一个较明显的例子。

丹麦地处北欧，冬季平均气温 2.9℃，全年供热，采暖温度 18~20℃。丹麦在 1977 年和 1982 年两次修改规范限定建筑物各部位的热损失值。1982 年规范（BR-82）还对建筑各部位的材料、构件作了具体规定。规范的特点是强调热损失的综合效果，即在各部位热损失总值不超过规范规定计算所得总和的条件下，允许各部位采取不同的措施。规范已经促进了高效保温材料和各种复合墙体、墙板的利用及对旧建筑的保温改造，国家的能耗大大降低，取得了显著的经济效益。

外围护结构的改进包括窗的改进。国外对窗的节能主要从两方面着手。其一是从窗的构造（二层或三层窗），密闭性能和玻璃或其他透过材料上研究改进。另一方面是从窗和墙、地板面积比例上研究窗的合理面积。不少国家对窗的构造、面积已有规定。如苏联规定只准在某些地区使用单层窗，而有些地区(设计温度为-31℃或更低)则应使用三层窗。限定住宅起居室、厨房窗面积为墙面积的 15%。丹麦、瑞典限制窗面积为地板面积的 15%。英国限制公共建筑窗面积为地板面积的 25%，工业建筑为 15%等等。表 1-2，1-3a，1-3b 是英国和其他一些国家对建筑各部位的热工要求和对窗面积的规定，可供比较。

1985 年英国建筑节能规范对外围护结构保温的规定 表 1-2

最大传热系数 U 值(W / m²K)		
	住宅	其他建筑
外 墙	0.45	0.45
毗邻于室外的楼板	0.45	0.45
底 层 地 面	0.45	0.45
屋 顶	0.25	0.45
毗邻非采暖房间的墙与楼板	0.6	0.6

表 1-3a

单玻窗与单玻顶窗的最大面积		
建 筑 类 型	窗	顶 窗
住 宅	窗与顶窗总面积之和为总使用面积的 15%	
其他居住建筑(包括旅馆等)	外墙面积的 25%	屋顶面积的 20%
办公室、商店等公共建筑	外墙面积的 35%	屋顶面积的 20%
工业建筑及仓库	外墙面积的 15%	屋顶面积的 20%

此外，规定使用双层窗可将最大允许面积加大一倍，使用三层窗或附加低发射膜（发射率小于 0.2）的双层窗可将窗面积加两倍。

在减少窗透过材料的热损失、增加吸收太阳短波辐射和可控性的研究上也已经有了不少进展。出现了透明热反射膜和光致变色、热致变色等新的透过材料。美国能源部新开发的窗户涂层能通过光线而截留热量，使窗的保温性能提高一倍。预计到 2000 年仅此一项就可以节约燃料费 30 亿美元。对于窗的合理面积的研究已经在一些国家的建筑规范上有所体现，另外还进一步从外围护结构与整个建筑物的关系研究中提出了体形系数等指标，建筑节能意识逐渐进入到建筑设计方案之中。

目前国外已经建成了不少性能优良的“保温建筑”。北美地区已经建成了两万多幢“超保温建筑”，大大降低了采暖能耗。事实证明通过外围护结构的改进，包括新建筑的改进与旧建筑的改造存在巨大的节能潜力。在目前和今后相当长的时期内都将如此。

三、以太阳能为主的新能源开发、利用

在这方面进展较快的是被动式太阳房。美国受石油危机冲击很大，同时又具备丰富的太阳能资源和优越的技术条件，因此在这方面开始得比较早并且始终保持领先的地位。美国从 70 年代初以后即大量投资设立专职银行来资助推进这方面的科学研究。1975 年一年内美国新安装太阳能系统的建筑就超过了过去历年的总和。自 1976 年到 1986 年的十年间，他们共建成了被动式太阳能采暖住宅 20 万幢，其他办公、商业等太阳能采暖公共建筑约 1.5 万幢。在总结经验的基础上编制了太阳房设计手册，为建筑师提供利用太阳能的设计手段等，已经形成了比较完整的太阳能建筑设计、建造程序。

欧洲，尤其是主要工业国家所在的中、西欧太阳能资源并不丰富，但也积极从事太阳能的开发利用，其中法国是较有代表性的国家。

前文曾经提到法国在 1974 年颁布了第一次热工法规。法规规定了每套住宅热损耗的上限，用系数 G 表示：

$$G = \frac{\text{热消耗总量}}{\text{住宅有效体积}} (\text{W} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

法国多雨但也有相当数量的日照，法规对此缺乏考虑，偏于简单。建筑师多开窗或开窗稍大就会违反法规而受罚，因此出现了一批小窗户建筑。1982 年颁布第二次热工法规就考虑了利用太阳能降低采暖能耗的因素。新规定增加了热损耗上限系数 B ：

$$B = G (1 - F) (\text{W} / \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

表 1-3b

国家	规范号及年代	建筑外围护结构总热阻规定 (m ² ·℃ / W)									
		外墙	屋顶及 覆盖结构	楼 板			窗	最大窗面积 %	门	折算总热阻	
				地面上	顶棚上	地窖上					
苏联	СНИП П-3-7-9 1986	0.54-2.9	0.85-3.9	-	0.3-1.7	0.5-2.8	0.18-0.55	-	0.32-1.74	-	
丹麦	BB77 1979	2.5-3.3	5.0	3.3	3.3	2.5	0.34	15	1.05	-	
瑞典	SBN 1980	3.3-4	5-5.9	3.3	3.3	2	0.5	15	1.0	-	
芬兰	C3 1985	3.57	2.2-4.55	2.2-2.78	2.2-4.53	-	0.32-0.48	15	1.43	1.67	
英国	BS81 1985	1.42-1.67	1.67-2.86	-	1.42-1.67	-	-	12,15	-	-	
荷兰	NEN1068 1981	1.28	1.28	0.52	0.52	0.52	0.36	-	-	0.5-1.1 level b	
										0.71-1.2 level c	
										0.83-1.67 level d	
瑞士	SIA180 1980	1.67	2	1.25	1.67	1.25	0.3	-	-	1.33-1.67	
西德	DIN4108 with Supplements 1987	1.25-2	-	1.1	2.2	1.25	0.28	-	-	0.54	
挪威	NS 1980	1.25-3.3	1.67-5	3.3	3.3	3.7	0.41	15	0.5	-	
加拿大	NRC 1978	2.5-3.7	2.5-7.14	2.5-4.76	2.5-4.76	2.5-4.76	0.35-0.45	15	1.43	-	
美国	Standard 90 (90.1P.90.2P) 1985	1.08-2.5	3.57-7.14	-	-	-	0.49	-	-	-	
东德	TGL 35424 1981	0.75-1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	
波兰	PN-82 / B 1982	0.71-1.33	0.83-2.5	1.1-1.67	1	-	0.17-0.5	-	-	0.81-1.63	
捷克	CSN 73054 1979	0.95-1.1	1.8-2.15	0.75-1.1	0.86-1.05	0.65-0.99	0.27	-	0.21	-	

注: level 指不同经济条件。

式中 F 为无偿阳光采暖系数。也就是说建筑师可以利用各种被动式太阳能采暖方法处理建筑的构件、配件增加 F 值来满足法规的要求,从而得到设计上较大的灵活性。新法规比旧法规更为全面和严格,但由于它鼓励了建筑师的创造性,使之在 1974 年的基础上又降低了 20% 的能耗。这一效益在很大的程度上反映了他们在建筑中利用太阳能的成就。

法国政府也在 70 年代末投资一亿多美元从事太阳能的研究,同时制订计划,准备到 2000 年使太阳能的利用达到全国总需要能量的 5%。日本政府的计划是到 2000 年利用太阳能和地热提供全国总需能量的 10%。目前在一些西方国家“Passive Solar”这个词汇已经成为建筑师、工程师和建设者的常用词汇和共同语言。这个词的涵义包括了被动式太阳能采暖、自然降温和天然采光。这很能说明太阳能的利用在他们那里的普及程度。除此之外在西欧、北欧和非洲也有一些国家已经开始太阳能的利用,包括在建筑中的利用。

四、建筑节能的科学研究

世界各国的建筑节能工作从开始到发展,从投资到获得效益,始终贯穿着科学研究工作的引导、指导和参与。太阳房和其他新能源在建筑中的利用是建筑师、工程师和科学家密切协作的结果。建筑外围护结构热工性能的改善在很大程度上有赖于新材料、新构造的研究。建筑节能政策法规则是建筑实践与科学研究的体现。许多的国家政府已经认识到这一点并且花更多的人力、财力从事建筑节能的科研工作,有的国家更能长期坚持,不因能源市场一时丰匮而稍弛废,是完全正确的。

当前建筑节能科学研究在技术方面的发展之一是不断提出更为先进的目标。举例来说,美国建筑中窗所耗费的能量约占美国国家总能耗的 5%,约为 3.5QUADS (1QUAD=80 亿加仑汽油能量),占建筑能耗为 25%。窗对能耗的重大影响在各种类型建筑和所有的气候条件下概不例外。针对这一问题,美国加州的伯克利·劳伦斯试验室 (LBL) 在 1988 年开始了一项关于窗的节能研究。他们计划采取措施,增加窗在冬季的太阳得热和减少 80% 的热损耗,减少夏季 80% 的太阳得热,提高天然采光达到所需照明的 50%,最终将使窗在任何建筑中都由耗能构件转变为获得能量的构件。研究的长远目标是:从当前到 2010 年使窗子的净能耗从 3.5QUADS 减少到零,从 2010 年到 2030 年窗子将为建筑提供 1~5QUADS 的能量。研究计划的规模和先进程度引人注目。

另外,如真空隔热玻璃的研究目标已经要求在保证 50% 光透过率的条件下使传热系数降低到 $0.6\text{W}/\text{Km}^2$,如果获得成功,在外围护结构散热中对于窗的观念将会改变,对设计将产生不小的影响。

技术方面的另一发展是对大规模成片建筑节能问题的实验研究。例如英国 Milton Keynes 的 Pennylands 节能实验住宅小区,节能措施贯彻了 177 幢住宅规划设计的各个过程。建成后又作了全面检测,为节能科研积累了资料。建成后的采暖费用成倍甚至成十倍地降低,居民非常满意。对于扩大影响,增强人民节能意识起了很好的作用。

建筑节能科学研究的另一个也许更为重要的发展趋势是建筑节能的各个环节正在由分散趋向综合并且在理论上、技术上形成更为有机的结合。一些过去不被注意的课题例如关于建筑热环境质量和热舒适度的研究开始受到重视,并且在室内空气质量的研究方面取得了进展。与此相应,建筑节能的专职科研机构在许多国家先后建立,国际间的协作交流日益频繁密切,建筑节能正在逐渐形成完整的学科。

第三节 我国能源消费现状和居住建筑节能的潜力

我国是一个有 11 亿人口的发展中国家，社会主义工业化远未完成，我们还面临农业现代化和改善交通运输事业的巨大任务。要保持经济的持续增长和人民生活稳步提高，能源需求势将大幅度增长，能源产业必须有较大的发展。

70 年代后期以来，我国的能源事业进展很大。1979 年召开了全国第一次能源座谈会。1980 年邓小平同志提出：“能源是经济的首要问题”。1982 年党的十二大又确定把能源作为社会主义经济建设的战略重点。能源与现代化的密切关系以及我国的能源形势已经被逐渐认识。

和世界能源形势相比，我国同样面临长期的能源问题。我国能源资源丰富但人均能源资源很少（约为世界平均数的 1/2）。资源分布不均，勘探程度低，优质能源少，短期内难以有大的发展。从能源结构上看，我国是世界上少数几个以煤为主的国家之一。我国煤产量素居世界前列，1989 年突破十亿大关，达到年产 10.5 亿吨。煤在我国一次能源总产量中所占比重在 70%以上。由于煤的比重过大，造成对交通运输和环境的巨大压力，同时也是能源利用效率低下的重要原因（见表 1-4）。

1986 年世界主要国一次能源消费构成(%) 表 1-4

	中国	美国	苏联	日本	联邦德国	法国	英国	意大利	世界
石油	17.1	43.2	34.3	55.8	42.5	43.0	36.2	60.9	38.0
天然气	2.3	22.4	37.4	10.2	15.5	12.5	23.5	21.7	20.0
煤	76.0	23.3	24.8	18.8	30.1	10.0	32.4	9.8	30.0
核电	/	6.1	3.5	10.3	10.9	32.8	7.5	1.8	5.0
水电及其他	4.6	5.0		4.9	1.0	1.7	0.4	5.8	7.0
消费量 (亿吨标准煤)	8.08	26.59	19.36	5.66	3.78	2.81	2.93	1.90	108.4

根据英、美、日及共同体 1987 年资料整理

从消费方面看，我国是居世界第三位的能源消费大国。我国能源消费的特点是，一方面供应紧张另一方面又浪费严重。我国人均能源消费量仅为世界平均水平的 1/3。我们的电力供应长期紧张，人均占有电量仅为发达国家的 1/20，城镇居民人均生活用电约为美国的 1/100，而我们直到 1989 年以前全国还有 32 个无电县。我国能源利用效率很低，据世界资源部门 1989 年统计，我国生产每美元国民生产总值的能耗在世界主要国家中居首位，约为日本、法国、美国等工业国家的五至七倍，也大大超过了印度。(参见表 1-5)

1985 年部分国家和地区人均能耗和单位产值能耗

表 1-5

	人均能耗 (公斤油当量/人·年)	单位产值能耗 (吨油当量/百万美 元国民生产总值)		人均能耗 (公斤油当量/人·年)	单位产值能耗 (吨油当量/百万美 元国民生产总值)
中 国	561	2216	加 拿 大	8589	633
中国台湾省	1798	521	美 国	7280	436
南 朝 鲜	1212	531	日 本	3079	279
新 加 坡	5792	871	联邦德国	4477	434
印 度	267	1083	法 国	3595	389
埃 及	609	871	英 国	3659	462
阿尔及利亚	1056	405	挪 威	8289	600
科 威 特	6667	333	苏 联	4750	
巴 西	1108	692	民主德国	6157	
墨 西 哥	1243	509	匈 牙 利	3046	

资料来源：英国经济学家情报组织《1986/87 能源年鉴》

人均能耗低和单产能耗高决定了我国将面临长期的能源问题。有关部门预测，2000 年我国能源总产量可能达到 12~14 亿吨标准煤，而需用能源约为 24 亿吨标准煤，这也为能源问题的长期性作了佐证。这就说明要在本世纪末实现工农业总产值翻两番的目标，一半的能源消耗要靠节约，节能是我国经济建设长期的战略任务。

我国建筑能耗在总能耗中所占比重不高（约 1/4）但也是能耗的一个大项。我国建筑用能的特点首先是效率低。据统计，北京地区的住宅，一个冬季（4 个月）每平方米采暖能耗为 18~20kg 标准煤，而欧美国家全年采暖及空调耗能仅 23.8kg。我国非采暖住宅，每户每年做饭耗煤 400kg 以上。而北美及西欧国家每户每年厨房耗煤仅 240kg。有关部门估计，我国现有房屋单位面积平均能耗指标比发达国家约高一倍。

我国建筑耗能的另一特点是增长快。近几年我国建筑用能年增长率都在 15%以上，大大超过了全国总消费的年增长率。按前面所说，如果到世纪末我国能源总产量为 14 亿吨标准煤，建筑用能比重提高按 35%计算为 5 亿吨标准煤，年增长率也应该在 7.3%以内，说明节约的迫切性。

建筑能耗增长原因之一是近年来民用建筑主要是住宅建筑的迅速增长。统计表明：建国初的 30 年（49~78 年）我国共建成城市住宅 4.67 亿平方米（平均 1557 万平方米/年），而 80 年代初的 7 年（81~87 年）中建成城市住宅面积为 11 亿平方米（平均 1.5 亿平方米/年），同期建成农村住宅 50 亿平方米，（见表 1-6）可见增长速度之大。城市住宅增长有改善居住条件，提高水平的因素，也有城市人口增长的因素。（1990 年人口普查我国城镇人口已由 1982 年的 2.07 亿增加到 2.97 亿人，增长 43.5%）我国是发展中的社

会主义国家，城市人口和住宅建设宜按计划有所控制，但总的增长趋势是必然的。

1981-1987 年新建住宅面积(百万平方米) 表 1-6

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
城市住宅	116.61	138.30	140.90	147.18	187.80	193.02	193.13
农村住宅	577.83	576.29	724.50	611.02	721.83	983.65	883.84

我国民用建筑中较多的是居住建筑，(1985 年底统计，城镇住宅占各类建筑总面积为 49%)，而住宅的电器设备标准比较低，因此我国全部建筑日常运转能耗（民生能耗）中住宅采暖所占的比重很大。由于经济上、技术上的原因，迄今为止我们所建的住宅大多数仍以直接燃煤的分散锅炉房和小火炉为采暖热源，集中供暖尚占少数。这部分能耗存在着巨大的节约潜力。

另一方面从全国居住建筑分析，我们的采暖标准比发达国家低。我们的住宅采暖温度是 18℃。欧美国家有的高达 25℃（为了节能经过降低也达 20~22℃）。我国还有大量的非采暖住宅（包括采暖区和非采暖区内的），冬季的室温大大低于采暖温度。另外据 80 年代中期的统计，占我国人口 80% 的农村生产生活能耗只占全国总能耗的 42%。广大农村生活用能（建筑日常能耗）还有 75% 依靠柴薪秸秆等生物质能。当我国人民生活由温饱到小康再向富裕过渡的时候，这些问题也就是低水平、低能耗住宅目前和将来的节能问题如何对待。这是我们的国情所提出的特殊而重大的问题，必须及时制定对策才能在保证人民生活稳步提高的同时避免能源的浪费。

我国建设部已经编制了“民用建筑节能设计标准”，要求 1990 年节约建筑采暖能耗 30%，在此基础上到 2000 年再节能 30%。由于我国地广人众、各地区情况差别很大，加上技术上管理上的差距，任务是艰巨的，须要全国上下通力协作才能完成。建筑工作者当从本专业的各个环节深入挖掘潜力，为完成这一任务尽自己的力量。

第四节 研究建筑节能理论和方法的基本观点

根据全世界和我国能源问题的形势和各国节能工作的经验，我们认为，在探讨建立我们的建筑节能理论和提出方法的时候应该坚持以下一些基本观点：

一、能源问题是人类面临的重大而长远的问题。我们可以也应该结合我国国情制订阶段的、局部的建筑节能目标和计划。但重要的是必须建立和坚持长远的能源意识。

二、我国是发展中的社会主义国家，节能工作应该兼顾能源节约和人民生活水平的逐步提高。建筑节能必须保证建筑环境质量。要反对和防止不利于人民身心健康的片面节约。

三、我国是一个幅员辽阔的大国。建筑节能要区别对待各地区的不同气候条件。要充分利用太阳、风、气温、水力、地形等各种自然能和有利因素。要注意保持和改善环境质量。

四、建筑规划阶段中建筑物的朝向、间距、建筑体形的选择、绿化布置，建筑设计中

建筑物本身的体型、材料、构造, 建筑物内部采暖、通风、采光照明、电气等各个耗能环节都直接间接影响到建筑能耗。因此应该在建筑的各个阶段贯彻始终如一的能源意识, 要密切各阶段各工种的协作配合, 使之有机地结合以求获得综合的最大的节能效果。

参考文献

- (1) Bourdeau, Luc. Energy Conservation in French Buildings—The 1989 Standards. Se'minaire CIB-W67. Energy conservation by improving building envelopes and HVAC equipment in buildings. Technical, economical and environmental considerations. Vienne 3-4 October 1988
- (2) Selkowitz, S. Overviews of Daylighting Research Activities. Proceeding of China-North America Daylighting Conference. Nov. 1988
- (3) Morgan, M.S.. California State Requirements for Energy Conservation in New Buildings. Symposium on Energy Management. Beijing. 1985
- (4) Dorozdov, V.A. and Matrosov, Y.A.. The Main Trends in Energy Saving in Buildings—Theory and Practice in the U.S.S.R. Energy and Buildings. 14 (1989)
- (5) Rubinstein, M.. 法国建筑热工技术规范. 中法建筑节能技术交流会. 1988年9月. 北京
- (6) 林志群. Housing Development over The Last years. International Symposium on Asian Cities and Architecture in Transition. Beijing. China Nov. 1989
- (7) 王庆一. 中国面临长期的能源问题. 科学技术导报. 1 / 1988
- (8) 李晓明. 丹麦建筑节能标准简介. 建筑节能. 1989年1-2合刊
- (9) 郭建琴. 从能源形势谈建筑节能问题. 世界建筑. 1981年第4期

第二章 住宅热环境质量与节能

1986 年城乡建设环境保护部颁布《民用建筑节能设计标准》以后，住宅建筑节能问题日益受到重视，但与住宅建筑密切相关的住宅热环境问题，尚未得到足够的注意。建筑消耗能源是为了保证建筑的使用功能，从环境的角度来说也就是保证建筑环境的质量，其中也包括热环境质量。热环境质量与人体热舒适问题在国外尤其是北美与西欧已经做过很多试验研究工作，而国内还较少讨论。本章仅就热环境质量与我国当前住宅建筑节能关系较密切的几个问题进行探讨。

第一节 住宅建筑热环境质量

一、评价室内热环境质量的指标

(一) 热舒适指标

评价室内热环境质量是研究人们对室内热环境的满意程度，它反映人体与环境相互之间的热交换关系。本世纪二十年代初期，美国就开始了室内热环境与人体热舒适方面的试验研究，在实验室内通过受试者人体热感觉的试验，将干球温度、相对湿度、气流速度对人体热感觉的影响合成一个指标，称之为“有效温度”。西欧也相继提出了一些指标。第二次世界大战以后，空调建筑日益增多，有关人体热舒适的研究也随之深入。这些试验研究除考虑室内热环境的物理因素外还包括了人体的生理和心理因素。丹麦工业大学的微气候实验室和美国堪萨斯州立大学环境实验室在这方面做了大量的试验工作。70 年代先后提出的评价人体热舒适指标有新有效温度 (ET)，预测平均热感觉指标 (PMV)，预测不满意百分率 (PPD) 和标准有效温度 (SET) 等。由于我国目前尚未制订出统一的评价热舒适的指标与方法，本文选用 PMV 指标做为分析人对室内环境的热感觉指标。

PMV 指标与评价方法包括预测平均热感觉与预测不满意百分率两方面内容。这个指标是由 P.O.Fanger 提出，经在丹麦与美国的实验与验证，于 80 年代初得到国际标准化组织 ISO 承认，是一个比较全面的指标。此指标以 Fanger 热舒适方程为基础，导出 PMV 值与影响人体热舒适的六个要素即室内空气温度、相对湿度、气流速度、平均辐射温度、人体活动量与人体衣着热阻的关系式。可以定量地计算出人体不同活动量不同衣着在某一室内热环境条件下的 PMV 值。PMV 值与人体平均热感觉的关系是通过大量受试者主观热感觉的试验得出的。人体的热感觉按七级制划分，其关系如下：

PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
人体热感觉	热	暖	稍暖	中性(舒适)	稍凉	凉	冷

因此在已知室内气温、平均辐射温度、气流速度、相对湿度及人体活动量与衣着条件下，可以通过计算 PMV 值预测出多数人对某一热环境的舒适程度的反映，并可以用来