

中国城市科学研究系列报告
中国城市科学研究会 主编

中国工程院咨询项目
世界自然基金会资助

中国建筑节能 年度发展研究报告

2009



清华大学建筑节能研究中心 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国建筑节能年度发展研究报告 2009/清华大学建筑节能研究中心著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2009
中国城市科学研究系列报告
ISBN 978-7-112-10760-5

I. 中… II. 清… III. 建筑节能-研究报告-中国-2009 IV. TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 021154 号

责任编辑: 齐庆梅

责任设计: 郑秋菊

责任校对: 兰曼利 梁珊珊

中国城市科学研究系列报告 中国工程院咨询项目
中国城市科学研究会 主编 世界自然基金会资助

中国建筑节能年度发展研究报告 2009

2009 Annual Report on China Building Energy Efficiency

清华大学建筑节能研究中心 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23 $\frac{1}{4}$ 字数: 520 千字

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-10760-5

(18006)

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)

《中国建筑节能年度发展研究报告 2009》

顾问委员会

主任：仇保兴

委员：（以拼音排序）

陈宜明 韩爱兴 何建坤 胡静林

赖 明 倪维斗 王庆一 吴德绳

武 涌 徐锭明 寻寰中 赵家荣

周大地

本书作者

江 亿 (1.2, 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, 3.8, 4.1)

张声远 (1.1, 1.3, 1.7, 2.1, 附录一)

杨 秀 (1.1, 1.6, 附录二)

魏庆芃 (1.4, 2.1, 3.4)

刘晓华 (4.1, 4.4)

杨旭东 (1.5, 4.8)

谢晓云 (4.5)

赵 辉 (1.7)

李晓锋 (4.6)

朱颖心 (2.3, 3.2, 3.3, 3.6)

王 鑫 (4.7, 附录七)

刘 烨 (2.4, 附录四)

张寅平 (4.9)

林波荣 (3.1, 3.5)

王 馨 (4.9)

付 林 (3.7, 4.3)

欧阳沁 (附录五)

石文星 (3.8)

曹 彬 (附录五)

李先庭 (3.8)

周 翔 (附录六)

玉宝龙 (3.8, 4.1)

刘兰斌 (4.2)

总 序

建设资源节约型社会，是中央根据我国的社会、经济发展状况，在对国内外政治经济和社会发展历史进行深入研究之后做出的战略决策，是为中国今后的社会发展模式提出的科学规划。节约能源是资源节约型社会的重要组成部分，建筑的运行能耗大约为全社会商品用能的三分之一，并且是节能潜力最大的用能领域，因此应将其作为节能工作的重点。

不同于“嫦娥探月”或三峡工程这样的单项重大工程，建筑节能是一项涉及全社会方方面面，与工程技术、文化理念、生活方式、社会公平等多方面问题密切相关的全社会行动。其对全社会介入的程度很类似于一场新的人民战争。而这场战争的胜利，首先要“知己知彼”，对我国和国外的建筑能源消耗状况有清晰的了解和认识；要“运筹帷幄”，对建筑节能的各个渠道、各项任务做出科学的规划。在此基础上才能得到合理的政策策略去推动各项具体任务的实现，也才能充分利用全社会当前对建筑节能事业的高度热情，使其转换成为建筑节能工作的真正成果。

从上述认识出发，我们发现目前我国建筑节能工作尚处在多少有些“情况不明，任务不清”的状态。这将影响我国建筑节能工作的顺利进行。出于这一认识，我们开展了一些相关研究，并陆续发表了一些研究成果，受到有关部门的重视。随着研究的不断深入，我们逐渐意识到这种建筑节能状况的国情研究不是一个课题通过一项研究工作就可以完成的，而应该是一项长期的不间断的工作，需要时刻研究最新的状况，不断对变化了的情况做出新的分析和判断，进而修订和确定新的战略目标。这真像一场持久的人民战争。基于这一认识，在国家能源办、建设部、发改委的有关领导和学术界许多专家的倡议和支持下，我们准备与社会各界合作，持久进行这样的国情研究。作为中国工程院“建筑节能战略研究”咨询项目的部分内容，从2007年起，把每年在建筑节能领域国情研究的最新成果编撰成书，作为《中国建筑节能年度发展研究报告》，以这种形式向社会及时汇报。

清华大学建筑节能研究中心

前 言

今年这本建筑节能年度发展研究报告终于交稿了，我的感觉还是像一个小学生一样战战兢兢地向老师呈上考卷。面对日益深入人心的建筑节能大好形势，我们向全社会交出了这一年来最新的认识和思考。真切地盼望着在建筑节能第一线工作的同志们、各级组织和管理建筑节能工作的政府工作人员们，还有一切关心建筑节能事业的社会各界朋友们能够看到我们的思考，反馈回您的想法，共同规划设计好我国建筑节能大计，实现我国节能减排和可持续发展大业。

这是继 2007 年开始的第三本年度报告。前两本出版后，我们得到全社会的热烈反响和热情支持。这些反响与支持激励我们必须把这本书写下去，写好它。这就逼着我们更深入地考察中国和全世界建筑能源消耗的现状与特点，并进一步剖析其背后的原因。认识事物的现象和本质是找到解决其问题方法的最有效途径。尤其是通过横向的大量比较，剖析各类中外建筑能耗的差异，追究导致各种差异的深层次原因，我们越发觉得建筑节能工作不仅仅是研究和推广某些技术产品与措施，其后面更有深刻的文化背景。只有从工程学与社会学两个角度对其进行综合考察，才能更深刻地理解其原因，找到其本质，也才能悟出实现建筑节能宏大目标的有效途径。为此我们邀请了社会学领域的专家一起开展研究，并开始一些相关的社会学调查与分析。本年度的这本建筑节能研究报告尝试着给出我们在这方面的初步认识和思考。

与前两本报告不同，本年度报告扩充为四章和一组附录。第 1 章全面介绍我国建筑能耗状况。尽管其编排很类似于 2008 年版，但其内容要更深入和充实。第 2 章是我们从中外能耗对比及其历史演变过程的分析出发，对建筑节能的思考和认识。这是我们结合工程学与社会学研究的初步结果，是第一次向全社会展示。请求读者能抽出一些时间通读这一章，对我们的这些考虑和认识提出您的看法。目前建筑节能领域在以不同形式推广许多技术和产品，很多情况下由于超出了其适用范围而使这些技术与产品不仅不能起到节能效果，有时还增加了实际的运行能耗。为此专门辟出第 3 章对当前广泛流行的一些产品、技术和理念进行评价。其中的多数观

点可能与当前社会上流行的认识有所不同。我们希望这些不同认识能够引起社会各界的关注,也希望就不同观点展开讨论。各种认识的碰撞与交锋可有助于找到真理,纠正偏差,更好地搞好建筑节能工作。第4章是对一些建筑节能新技术、新措施的介绍,希望这些技术措施能及时地帮助解决各地建筑节能工作中面临的一些关键技术问题。

感谢社会各界对本书的关注、帮助、扶植、批评和建议。本书作为中国工程院咨询项目,得到经济和道义上的持续支持,这是本书能坚持到第三本的重要原因。除此之外,还要特别感谢为本书的编写提供资金支持的世界自然基金会(WWF)。作为一个国际环保组织,WWF认同建筑节能会对中国节能减排做出巨大贡献,并愿同清华大学一道共同推动社会各界对建筑节能的认识。除前页列出的主要作者外,还要感谢秦蓉、单明、肖贺、常晟、赵玺灵、韩林俊、李岩、戴自祝等人对本书作出的贡献,包括提供的观点、文稿、数据和建议。我们希望大家的支持下,把这本报告持续地写下去,使其为我国的建筑节能事业作出更大的贡献。

江亿
于清华大学节能楼

目 录

第 1 章 中国建筑能耗现状

1.1 中国建筑能耗总体状况	1
1.1.1 中国建筑能耗特点与分类	1
1.1.2 2006 年我国建筑能源消耗情况	4
1.1.3 近年来我国建筑能耗发展变化情况	6
1.2 城镇建筑采暖用能	8
1.2.1 北方城镇采暖用能状况	9
1.2.2 南方建筑采暖状况	20
1.3 城镇住宅除采暖外能耗状况	24
1.3.1 城镇住宅除采暖外的能耗状况	24
1.3.2 典型城市居民其他能耗调研结果	25
1.3.3 城镇住宅除采暖外能耗的发展趋势	29
1.4 公共建筑能耗	30
1.4.1 公共建筑除采暖之外能耗的构成	31
1.4.2 办公建筑能耗现状和特点	32
1.4.3 办公建筑空调系统能耗现状和特点	36
1.4.4 其他类型公共建筑能耗现状和特点	47
1.4.5 特定功能能耗：信息中心耗电和厨房餐厅能耗	52
1.4.6 我国公共建筑能耗的总体现状	53
1.4.7 我国目前公共建筑发展中的严峻问题和节能任务	55
1.5 农村能耗现状	56
1.5.1 农村建筑能源消费状况	56
1.5.2 农村建筑能源消费存在的问题	62
1.5.3 农村能源发展战略及农村建筑节能策略	63
1.6 2030 年我国建筑能耗情景分析	65

1.6.1 情景分析方法和基本假设	65
1.6.2 情景预测结果及分析	68
1.7 中国生态足迹	72
1.7.1 生态足迹和生态承载力的概念	72
1.7.2 中国生态足迹和生态承载力的发展	73

第2章 建筑节能理念思辨

2.1 中外城镇建筑能耗比较	77
2.1.1 中外建筑宏观能耗比较	77
2.1.2 中美校园办公建筑能耗比较分析	81
2.1.3 中外住宅建筑能耗比较分析	95
2.2 应该怎样控制建筑内的物理环境	100
2.3 什么样的室内环境是舒适、健康的环境	107
2.3.1 热舒适的基本概念	107
2.3.2 室内热环境与热舒适的关系	109
2.3.3 室内热环境与人体健康的关系	119
2.3.4 热环境与工作效率的关系	121
2.3.5 小结	125
2.4 什么是建筑节能	126
2.4.1 查对技术清单的方法	126
2.4.2 考核可再生能源比例的方法	127
2.4.3 比较能源利用效率的方法	130
2.4.4 从实际能耗数据出发的方法	131
2.5 关于零能耗建筑	135
2.5.1 什么是零能耗建筑	136
2.5.2 实现零能耗建筑的条件与适应性	137
2.5.3 大城市倡导零能耗建筑的不良后果	139
2.5.4 对发展“零能耗建筑”的态度	140
2.6 坚持科学发展观,实现中国特色的建筑节能	141

第3章 某些建筑节能技术与措施的适用性分析

3.1 绿色建筑评估标准	146
3.1.1 国际绿色建筑评估标准体系比较	146

3.1.2 LEED体系的科学性评价	148
3.1.3 LEED适合中国吗	151
3.2 关于变风量空调系统的讨论	153
3.3 太阳能光伏板在建筑上应用的问题	159
3.3.1 光伏发电系统的生产耗能	160
3.3.2 光伏发电系统应用的收益	161
3.3.3 光伏发电系统的能耗回收期	162
3.3.4 不同类型建筑采用太阳能光伏发电系统的效果如何	163
3.3.5 如何才能提高太阳能光伏系统的收益	165
3.3.6 关于“零能耗建筑”和太阳能光伏系统	166
3.3.7 到底在建筑里应该怎样利用太阳能才算是合理的	167
3.4 吸收式制冷机	168
3.4.1 基本原理	168
3.4.2 运行使用分析	168
3.4.3 适用场合	172
3.4.4 小结	172
3.5 双层皮玻璃幕墙	173
3.5.1 双层皮幕墙的起源、性能特点与在国际上的应用现状	173
3.5.2 双层皮幕墙的适用范围与局限性	175
3.5.3 案例分析	177
3.6 区域供冷	179
3.6.1 引言	179
3.6.2 两个典型的日本区域供冷供热系统	182
3.6.3 分散供冷系统的能源利用效率	183
3.6.4 导致区域供冷(供热)系统多耗能的原因何在	184
3.6.5 为什么发达国家要建设区域供冷(供热)系统	185
3.6.6 为什么区域供热系统很成功,而区域供冷系统却有各种问题	185
3.6.7 区域供冷小结	186
3.7 建筑热电冷联供系统技术适用性分析	187
3.7.1 比较基准	187
3.7.2 从能源利用率角度分析系统适用性	188
3.7.3 案例及应用情况	190
3.7.4 热电冷联供系统实施存在问题	194

3.8 水-水热泵系统	196
3.8.1 基本原理	196
3.8.2 地下水源热泵能耗分析	197
3.8.3 海水源热泵能耗分析	200
3.8.4 城市污水水源热泵能耗分析	200
3.8.5 地下埋管式地源热泵能耗分析	201
3.8.6 实际系统的运行能耗	201
3.8.7 水-水源热泵的适应性评价	203

第4章 建筑节能新技术与措施

4.1 建筑节能新技术综述	205
4.1.1 奥运场馆中应用的节能新技术	205
4.1.2 新型新风处理和排风热回收装置	207
4.1.3 低温空气源热泵	208
4.1.4 生活热水热泵和余热回收	209
4.1.5 集中供热系统的节能途径	210
4.1.6 中央空调中的变频技术	211
4.2 基于分栋热计量的末端通断调节与热分摊技术	212
4.2.1 原理与特点	212
4.2.2 实际应用效果	213
4.2.3 社会可接受性调查分析	217
4.3 基于吸收式循环的热电联产集中供热新方法	220
4.3.1 应用背景	220
4.3.2 创新解决之道——吸收式循环技术	222
4.3.3 案例分析——赤峰吸收式循环技术示范工程	226
4.3.4 小结	227
4.4 溶液除湿技术	227
4.5 间接蒸发冷却	234
4.5.1 从干空气中获取冷量的原理——干空气能	234
4.5.2 间接蒸发冷却制备冷水技术及其系统	235
4.5.3 同时制备冷水和冷风的间接蒸发制冷机组	239
4.5.4 间接蒸发冷却式机组应用状况	242
4.6 自然通风风口介绍及其应用	242

4.6.1 引言	242
4.6.2 自然通风风口的分类	243
4.6.3 自动控制通风风口的应用前景	246
4.7 大型公建能耗分项计量	247
4.7.1 分项计量系统的目的和必需的性质	247
4.7.2 统一能耗数据模型的必要性	249
4.7.3 一种规范化的能耗数据模型	250
4.8 生态节能型农宅村落综合改善技术典型案例分析	251
4.8.1 改善理念和原则	252
4.8.2 改善技术和方法	253
4.8.3 改善效果	256
4.9 零能耗建筑在国内外发展	258
4.9.1 零能耗建筑概念简介	258
4.9.2 各国零能耗建筑实例简介和问题分析	262

附录一 建筑能耗相关数据汇总

1.1 全国数据	267
1.1.1 人口与 GDP 相关数据	267
1.1.2 能源消费相关数据	270
1.1.3 建筑使用产品消费相关数据	277
1.1.4 建筑相关数据	280
1.2 地方数据	282
1.2.1 人口与 GDP 相关数据	282
1.2.2 建筑相关数据	284
1.3 国际数据	288
1.3.1 人口与 GDP 相关数据	288
1.3.2 能源消费相关数据	288
1.3.3 建筑相关数据	290
1.4 能源计量单位换算	291

附录二 中国建筑能耗模型

2.1 我国建筑能耗研究概况	292
2.2 中国建筑能耗模型	293

2.2.1 模型结构	293
2.2.2 计算公式	295
2.2.3 参数确定	296
2.2.4 建筑能耗逐年发展趋势	301
2.2.5 结果验证	304
2.3 总结	307

附录三 民用建筑节能条例

第一章 总则	309
第二章 新建建筑节能	310
第三章 既有建筑节能	312
第四章 建筑用能系统运行节能	313
第五章 法律责任	314
第六章 附则	316

附录四 大型公共建筑基于用能定额的全过程节能管理体系

4.1 大型公共建筑用能定额	317
4.1.1 大型公共建筑用能定额的定义	317
4.1.2 大型公共建筑用能定额的确定	318
4.2 大型公共建筑基于用能定额的全过程节能管理体系	323
4.3 大型公共建筑基于用能定额的全过程节能管理的试点研究	325
4.3.1 已完成工作	325
4.3.2 预期工作	326
参考文献	326

附录五 空调环境对人体长期健康状况的影响

5.1 江苏、上海地区的调查	327
5.1.1 人群与调查方法	327
5.1.2 结果	328
5.1.3 讨论	332
5.1.4 结论	333
5.2 北京地区的调查	333
5.2.1 实验内容和方法	334

5.2.2 结果与讨论 335

附录六 国内外热舒适的研究进展

6.1 传统的热舒适理论和稳态空调控制策略 337

6.2 动态非空调环境与稳态空调环境下热舒适的差异 338

6.2.1 非空调环境下人体热感觉和 PMV 指标的偏离 338

6.2.2 动态非空调环境下影响热舒适的因素分析 340

6.3 动态人工环境下热舒适的研究进展 344

6.4 表征热舒适和工作效率的生理参数研究 346

参考文献 348

附录七 分项能耗模型

7.1 各分项能耗节点之间的关系示意图 352

7.2 能耗模型的设计原则和特点 354

•

第 1 章 中国建筑能耗现状

1.1 中国建筑能耗总体状况

1.1.1 中国建筑能耗特点与分类

建筑可分为生产用建筑（工业建筑）和非生产用建筑（民用建筑）。由于工业建筑的能耗在很大程度上与生产要求有关，并且一般都统计在生产用能中，本书只讨论民用建筑的能耗。

我国目前处于城市建设高峰期，城市建设的飞速发展促使建材业、建筑业飞速发展，由此造成的能源消耗，包括建筑材料生产用能、建筑材料运输用能、房屋建造、维修和拆毁过程中的用能，已占到我国总的商品能耗的 20%~30%。而人们在使用建筑过程中，比如建筑物照明、采暖、空调和各类建筑内使用电器等，消耗的能源总量更大。这类能耗称为建筑运行能耗，它将一直伴随建筑物的使用过程而发生。总体来看，在建筑 50~70 年的生命周期中，建筑材料和建造过程所消耗的能源一般只占建筑全生命周期能源消耗的 20%左右，大部分能源消耗发生在建筑物运行过程中。而且，建材和建造能耗伴生于工业生产过程，其节能主要依靠技术水平的更新和发展；而建筑运行消耗能源的目的是为居住者或使用者提供服务，由人直接控制和管理，除技术水平和能源使用效率外，人的行为对能源消耗高低具有很大影响。因此，建筑运行能耗应是建筑节能任务中最主要的关注对象，也是我国当前建筑节能的主要任务所在。

本书仅讨论建筑运行能耗，书中提及的建筑能耗均为民用建筑运行能耗。

建筑能耗数据是建筑节能工作的基础，这必然要求开展建筑能耗数据统计工作；而根据建筑能耗特点对建筑进行分类，又是能耗统计工作的基础。发达国家在

进行建筑能耗统计时,往往将民用建筑分为居住建筑与非居住建筑(公共建筑);而对于中国,由于地域辽阔、气候复杂、地区经济水平差异大等原因,有必要根据我国建筑能源实际消耗的特点,对我国建筑进行合理分类。这样有利于清楚地认识中国各类建筑能耗的特点与发展趋势,从而有针对性地开展节能工作。

我国建筑能耗的总体特点为:

(1) 南方和北方地区^①气候差异大,仅北方地区采用全面的冬季采暖,南北采暖能耗差别巨大。

我国处于北半球的中低纬度地区,地域辽阔,从南到北分别跨越严寒、寒冷、夏热冬冷、温和以及夏热冬暖等多个气候带。在夏季,大部分地区最热月份的室外平均温度超过 26°C ,需要空调制冷。而在冬季,各地区气候差异很大:夏热冬暖地区冬季室外平均气温高于 10°C ,室内外温差不大;而严寒地区冬季室内外温差可高达 50°C ,全年5个月需要采暖。

比较我国南、北方建筑的能耗,发现如果去掉冬季采暖,则从北方到南方同类型建筑的能耗水平没有大的差异。因此,在统计我国建筑能耗时,把采暖能耗单独统计,这样其他类型的建筑用能就没有明显的地域特点,可以全国统一分析。

(2) 城乡住宅能耗用量差异大。

一方面,我国城乡住宅使用的能源种类不同:城市以煤、电、燃气等商品能源为主;而在农村,除部分煤、电等商品能源外,秸秆、薪柴等生物质能仍为很多地区农村用户的主要能源。

另一方面,目前我国城乡生活差异较大,城乡居民平均每年消费性支出差异大于3倍,城乡居民各类电器保有量和使用方式也存在较大差异。

因此,在统计我国建筑能耗时,将农村建筑用能分开单独统计。

(3) 公共建筑除采暖外的单位建筑面积能耗,随规模和服务标准不同有很大差别。

民用建筑中的非住宅建筑可称为公共建筑。大量研究表明,与采暖能耗不同,公共建筑除采暖外的单位面积能耗随地域的变化不大,而与公共建筑的体量和

^① 为方便研究,本书中的“北方地区”指采取集中供热方式的省、自治区和直辖市,包括:北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑龙江省、山东省、河南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

规模成正比。当单栋面积超过 2万 m^2 ，并且采用中央空调时，其单位建筑面积能耗是普通规模的不采用中央空调的公共建筑能耗的 $3\sim 8$ 倍，并且其用能的特点和存在的主要问题也与普通规模的公共建筑不同。

因此，本书把公共建筑分为大型公共建筑和一般公共建筑两类。对大型公共建筑单独统计能耗，进而分析其用能特点和节能对策。

依据上述特点，对目前我国民用建筑运行能耗，可按如下分类，具体如图 1-1 所示。

(1) 北方城镇建筑采暖能耗，指我国黄河流域及其以北地区的城镇建筑冬季采暖能耗。在历史上，这一地区属于“法定”的“采暖区域”，基本全部的城镇建筑都采取了各种方式的冬季采暖。目前，我国北方地区约 70% 的城镇建筑面积在冬季采用了集中采暖，剩余约 30% 城镇建筑面积采用各种分散分户式局部采暖。这部分能耗与建筑物的性能（包括保温水平、建筑物气密性等）、供热系统运行状况和采暖用户的采暖方式有关，但与建筑物的功能关系不大。

(2) 夏热冬冷地区城镇建筑采暖能耗，指黄河流域以南地区，主要是长江流域地区的住宅建筑冬季采暖能耗。该地区的最冷月（一月）平均气温为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，室外温度偶尔也会降到 0°C 以下，大部分地区在冬季需要一定的热量来维持合适的室内温度。但由于该地区在历史上不属于法定“采暖区域”，因此目前该地区建筑物中，基本上采用的是与北方地区完全不同的局部采暖方式，主要形式包括热泵、直接电热、煤炉、炭炉等，一部分建筑冬季甚至无采暖，由此导致采暖能耗的特点也与北方地区完全不同。

(3) 北方农村采暖能耗。农村住宅的采暖方式为分散采暖，主要能源为原煤和生物质能。根据气候的不同，进一步划分为北方农村采暖能耗和夏热冬冷地区农村采暖能耗。

(4) 夏热冬冷地区农村采暖能耗。

(5) 农村建筑除采暖外能耗，包括采暖、炊事、照明、家电等生活能耗。农村建筑（基本上全部为住宅建筑）能耗随着地域经济发展水平的不同有着很大的差异。此外，目前农村秸秆、薪柴等非商品能源消耗量很大，但是数量和种类都很难统计清楚，本节主要统计农村建筑的煤炭、电力等商品能源消耗；而本书提及的农村生物质能消费数据是根据大规模的个体调查获得。