

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

中国建筑节能 年度发展研究报告

2015



清华大学建筑节能研究中心 著

中国建筑工业出版社

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

中国建筑节能年度发展研究报告 2015

2015 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

图书在版编目 (CIP) 数据

中国建筑节能年度发展研究报告 2015/清华大学建筑节能研究中心著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.3

ISBN 978-7-112-17869-9

I. ①中… II. ①清… III. ①建筑热工-节能-研究报告-中国-2015 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 042418 号

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 姜小莲 赵 颖

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

中国建筑节能年度发展研究报告 2015

2015 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

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21¼ 字数: 415 千字

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-17869-8

(27111)

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 2015》

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

清华大学建筑节能研究中心

- 江 亿 5.4
付 林 第3章, 2.2, 2.3, 2.4, 4.1
夏建军 第2章, 第5章, 4.5, 4.7, 6.4, 6.6, 6.7
胡 珊 第1章, 2.1, 附录
孙 健 2.4, 4.1, 6.1, 6.2, 6.8, 6.9
李文涛 2.4, 4.1, 6.1, 6.2
赵玺灵 2.4, 4.2, 4.3
介鹏飞 2.4, 4.8, 4.15, 6.3
王静怡 2.5
郑忠海 3.3
张世钢 4.1, 4.9
方 豪 4.5, 4.6, 4.11, 6.4, 6.6
张立鹏 4.7
谢晓云 4.10, 4.14
毛晓晨 4.13
吴延延 4.4
华 靖 4.12
王 萌 5.1, 5.2
李 峰 6.5
林立身 附录

特邀作者

中国建筑科学研究院 刘月莉 (2.2, 4.15)

统稿

胡 珊 郭偲悦

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

按照既定的计划，本书今年的主题是北方城镇建筑供暖的节能减排，而这正是当前全社会的热点话题之一。日益加重的雾霾严重影响了我三分之一人口的正常生活、健康和社会活动，尽快治理雾霾，还百姓以蓝天已经成为从中央到地方各界人民的企盼。治理雾霾必须从排放源抓起，而大量的实测数据表明，北方城镇供暖造成的硫化物、氮氧化物等的排放是形成雾霾的主要污染源之一。为了治理雾霾，北方供暖开始了声势浩大的“煤改气”运动，用燃气锅炉、燃气热电联产替代燃煤锅炉和燃煤热电联产，以实现减煤的目标。随着“煤改气”的铺开，天然气不断发出“气荒”信号，停气就意味着冬天的停暖，而冬季保障建筑的正常供暖是北方城市民生保障的主要任务之一。不同于发达国家，中国目前的天然气仅承担全国总能源消耗的不到6%，而且其中还包括大约1/3的进口天然气。按照热值换算，我国目前天然气供暖的市场价格是燃煤价格的5~6倍，“煤改气”造成供暖热源成本大幅度增加。然而为了维持城市的社会稳定和居民的正常生活，供暖价格却被严格控制，有些城市供暖价格十年不变。面对成本的大幅度上涨和售价的不变，作为供暖主体经营者的热力公司陷入重重困境：燃煤不能再烧，燃气供不应求，被燃气逼高的热源成本，长期不变的供热价格，再加上从保民生出发要求的供暖质量，飞速增长的城镇建筑形成的对供暖规模增长的要求和控制城市大气环境而严格限制的供暖新热源的建设。既要保民生，又要经营下去，还要改善环境，热力公司的出路在哪里？怎样杀出重围，找到一条可持续发展的路？

现在看来，唯一的走出困境的办法就是改革与创新：靠科技创新，走出一条新的城镇供暖技术方式；靠体制创新，彻底改革供暖企业的经营模式；靠政策创新，由新的计价、计量模式去支持新的技术模式。本书从这三方面的改革与创新出发，总结了近年来北方城镇供暖领域的积极探索和实践，提出区域大联网，用低品位工业余热和热电联产余热作为基础热源，用分布式天然气锅炉作为末端调峰热源的方案，实现最少的污染排放、最低的天然气消耗、可接受的初投资成本和更安全的供暖方案。这个方案并非来自于畅想，而是来自于多年的工程实践。这个方案目前不是仅停留在纸上和计算机中，而是已经开始在一些地区开工建设，并已经区域性地

是仅停留在纸上和计算机中，而是已经开始在一些地区开工建设，并已经区域性地展示出其效果。然而，真正全面实现这样一种全新的供暖方式，需要科学、全面、细致的整体规划；需要从建筑、到小区、到大管网的全面改造；需要电厂、各个工业余热热源厂的全面配合与工程实施；还需要全新的、科学的、系统的运行管理与调节。要做到这些，只有依靠相应的政策配套、融资途径、管理机制以及收益分配模式。这些都是目前国内外没有的，都需要创新发展。然而我们本来就在做这样前人没有做过的大事，中国的城镇化本来就是一件人类发展史上前所未有的新事。我们不改革，不创新，又怎么可能成功呢？

本书试图尽可能多地给出一些工程案例和工程数据。我们觉得只有实际的运行数据和实际的工程案例才能说明真正的问题，才能进一步揭示出事物的本质，从而做出正确的判断。遗憾的是“书到用时方恨少”，平时以为掌握了大量的实测数据，但真的整理起来却是残缺不全，漏洞百出。由于数据的不配套、不全面，有些问题可能判断不准，甚至结论也有偏差。这催促我们还要做更深入的研究，还需要更多的现场调研。同时也希望有供热界更多的同事能够和我们一道，从实际数据出发，搜集案例，剖析案例，在更多的数据和案例的基础上对我国北方城镇供暖问题给出更清晰的认识，做出更科学的判断。然而，根据目前的大量工程实践分析，本书提出的我国北方城镇供热事业的发展方向应该不会变化。这就是以热电联产和工业余热为基础，配之以燃气调峰，形成大区域协调的新型供热网络，热、电、气协同，实现高效率、低污染、高可靠性、低成本的供热模式。

在此要感谢很多热忱于供热事业的同行、朋友这些年来的大力支持，为我们提供的大量信息，为我们的调查研究提供的各种方便，更为供热事业创新发展做出的巨大贡献。中国电机工程学会热电专业委员会的王振铭先生，是我见到过的热心于热电事业的第一人。耄耋之年，还奔波在热电第一线做调查研究，还在为科学地发展热电事业大声疾呼。本书中许多数据、资料都是由王先生提供，为此深表感谢。再一个必须提及的是赤峰富龙热力集团。本书很多数据和案例都是在赤峰开展的调研和实验中获得。不仅为了富龙热力自己的主业，更是为了发展我国的供热事业，富龙热力集团做了大量的“第一个吃螃蟹”的工作，对诸多新技术、新思路进行尝试、实践。衷心感谢富龙热力集团为我国供热事业创新发展的无私奉献。第三要感谢的是现任太原市市长耿彦波。正是他打破常规、勇于创新，才使得大同的第一个“吸收式换热”的示范工程得以实施。也正是他的全力支持，才使得太原实现了余热供热的全面规划并开始实施。如果在全国有更多的耿市长、富龙集团和王秘书长，我们供热事业的创新发展就有希望了。

今年这本年度报告主要由付林教授、夏建军副教授组织、策划，并由他们二位领导的科研小组的工程师和研究生共同完成。书中许多内容汇集了他们多年来在供热领域的研究成果。北方城镇建筑供热占我国建筑总能耗约 1/4，是目前可以看到的具有最大节能潜力的建筑耗能部分，应是我国建筑节能工作的第一重点。正是如此，这二位主持者和他们的研究小组在这个方向上兢兢业业付出巨大的投入，可以说是呕心沥血。本书的完成还要感谢负责全书协调和统稿工作的胡姗，没有她付出的努力，本书的完成也无法设想。最后，感谢本书的编辑齐庆梅，正是她一如既往地支持，克服诸多难以想象的困难，使本书一次次得以按时高质量的出版。

这是第 9 本建筑节能年度发展研究报告了。九年来得到了广大读者的热心支持。这种支持是最大的动力，使我们能够把这本书持续地写下去。衷心感谢各位的支持，我们希望能够不负众望，把这部书一直写下去，写好。

江 亿

2015 年 2 月 6 日于清华大学节能楼

目 录

第 1 篇 中国建筑能耗现状分析

第 1 章 中国建筑能耗基本现状	2
1.1 中国建筑能耗基本现状	2
1.2 中国建筑节能工作新进展	10
1.3 由措施控制转为总量控制	15
本章参考文献	38

第 2 篇 北方城镇供暖节能专题

第 2 章 北方城镇建筑供暖用能现状分析	42
2.1 北方地区供暖现状	42
2.2 供暖耗热量现状	47
2.3 集中供热热网现状	64
2.4 集中供热热源现状	73
2.5 供热对环境的影响	101
本章参考文献	106
第 3 章 北方城镇供暖节能理念与发展模式思辨	107
3.1 供热与环境	107

3.2 我国北方城市供热的模式创新	117
3.3 供热模式创新的应用与实践	132

第4章 北方城镇供暖节能技术讨论 148

4.1 燃煤热电联产乏汽余热利用技术	148
4.2 燃气热电联产烟气余热利用技术	165
4.3 燃气锅炉烟气余热深度利用技术	169
4.4 热电协同供热技术	174
4.5 低品位工业余热利用技术	178
4.6 渣水取热技术	182
4.7 楼宇式换热站应用技术	187
4.8 降低回水温度的串联换热技术	193
4.9 热力站吸收式末端	197
4.10 实现楼宇式热力站的立式吸收式换热器技术.....	200
4.11 降低回水温度的末端电热泵技术.....	208
4.12 长距离输送技术.....	211
4.13 空气源热泵供暖技术.....	214
4.14 太阳能加吸收式热泵供暖技术.....	220
4.15 被动房技术.....	222
本章参考文献.....	229

第5章 北方城镇供暖管理体制变革 231

5.1 北欧集中供热管理体制	231
5.2 热力站承包制改革	241
5.3 分栋计量与分户分摊	247
5.4 热费计价机制改革	250
本章参考文献.....	254

第 6 章 北方城镇供暖节能最佳实践案例	255
6.1 云冈热电厂余热回收项目	255
6.2 十里泉电厂高背压改造项目	261
6.3 集中供暖系统二次网低温回水项目	267
6.4 赤峰金剑铜厂低品位工业余热集中供暖示范项目	271
6.5 燃气锅炉余热回收项目	282
6.6 降低二次网循环泵电耗示范项目	294
6.7 赤峰楼宇混水技术供热项目	304
6.8 沈阳阳光 100 污水源项目	310
6.9 北京密云司马台新村冬季采暖项目	317
附录 中国建筑面积计算方法的说明	324

第 1 篇 中国建筑能耗现状分析

第 1 章 中国建筑能耗基本现状

1.1 中国建筑能耗基本现状

1.1.1 中国建筑能耗基本现状

本书讨论的建筑能耗，指的是民用建筑的运行能耗，即在住宅、办公建筑、学校、商场、宾馆、交通枢纽、文体娱乐设施等非工业建筑内，为居住者或使用者提供采暖、通风、空调、照明、炊事、生活热水，以及其他为了实现建筑的各项服务功能所使用的能源。

考虑到我国南北地区冬季采暖方式的差别、城乡建筑形式和生活方式的差别，以及居住建筑和公共建筑人员活动及用能设备的差别，将我国的建筑用能分为北方城镇供暖用能、城镇住宅用能（不包括北方地区的供暖）、公共建筑用能（不包括北方地区的供暖），以及农村住宅用能四类。

（1）北方城镇供暖用能

指的是采取集中供暖方式的省、自治区和直辖市的冬季供暖能耗，包括各种形式的集中供暖和分散采暖。地域涵盖北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆的全部城镇地区，以及四川的一部分。西藏、川西、贵州部分地区等，冬季寒冷，也需要供暖，但由于当地的能源状况与北方地区完全不同，其问题和特点也很不相同，需要单独论述。将北方城镇供暖部分用能单独考虑的原因是，北方城镇地区的供暖多为集中供暖，包括大量的城市级别热网与小区级别热网。与其他建筑用能以楼栋或者以户为单位不同，这部分供暖用能在很大程度上与供暖系统的结构形式和运行方式有关，并且其实际用能数值也是按照供暖系统来统计核算的，所以把这部分建筑用能作为单独一类，与其他建筑用能区别对待。目前的供暖系统按热源系统形式及规模分类，可分

为大中规模的热电联产、小规模热电联产、区域燃煤锅炉、区域燃气锅炉、小区燃煤锅炉、小区燃气锅炉、热泵集中供暖等集中供暖方式，以及户式燃气炉、户式燃煤炉、空调分散采暖和直接电加热等分散采暖方式。使用的能源种类主要包括燃煤、燃气和电力。本章考察各类供暖系统的一次能耗，包括了热源和热力站损失、管网的热损失和输配能耗，以及最终建筑的耗热量。

(2) 城镇住宅用能（不包括北方地区的供暖）

指的是除了北方地区的供暖能耗外，城镇住宅所消耗的能源。在终端用能途径上，包括家用电器、空调、照明、炊事、生活热水，以及夏热冬冷地区的省、自治区和直辖市的冬季供暖能耗。城镇住宅使用的主要商品能源种类是电力、燃煤、天然气、液化石油气和城市煤气等。夏热冬冷地区的冬季供暖绝大部分为分散形式，热源方式包括空气源热泵、直接电加热等针对建筑空间的供暖方式，以及炭火盆、电热毯、电手炉等各种形式的局部加热方式，这些能耗都归入此类。

(3) 商业及公共建筑用能（不包括北方地区的供暖）

这里的商业及公共建筑指人们进行各种公共活动的建筑。包含办公建筑、商业建筑、旅游建筑、科教文卫建筑、通信建筑以及交通运输类建筑，既包括城镇地区的公共建筑，也包含农村地区的公共建筑^①。除了北方地区的供暖能耗外，建筑内由于各种活动而产生的能耗，包括空调、照明、插座、电梯、炊事、各种服务设施，以及夏热冬冷地区城镇公共建筑的冬季供暖能耗。公共建筑使用的商品能源种类是电力、燃气、燃油和燃煤等。

(4) 农村住宅用能

指农村家庭生活所消耗的能源，包括炊事、供暖、降温、照明、热水、家电等。农村住宅使用的主要能源种类是电力、燃煤和生物质能（秸秆、薪柴）。其中的生物质能部分能耗不纳入国家能源宏观统计，本书将其单独列出。

本章的建筑能耗数据来源于清华大学建筑节能研究中心建立的中国建筑能耗模型（China Building Energy Model，简称 CBEM）的研究结果，分析我国建筑能耗现状和从 2001~2013 年的变化情况。从 2001~2013 年，建筑能耗总量及其中电力

^① 2015 年以前出版的《中国建筑节能年度发展研究报告》中的公共建筑未考虑农村公共建筑，从本书起对此概念进行修正，具体可见附录。

消耗量均大幅增长（图 1-1）。如表 1-1 所示，2013 年建筑总商品能耗为 7.56 亿 tce^①，约占全国能源消费总量的 19.5%，建筑商品能耗和生物质能共计 8.62 亿 tce（生物质能耗 1.06 亿 tce）。

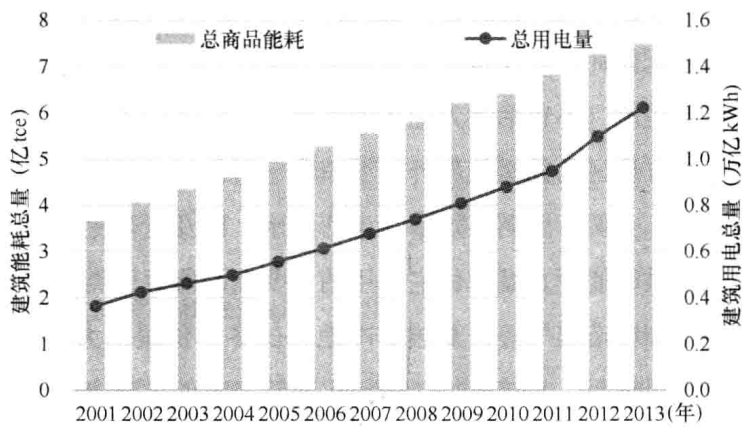


图 1-1 建筑商品能耗总量及用电量

中国 2013 年建筑能耗表 1-1

用能分类	宏观参数 (面积/户数)	电 (亿 kWh)	总商品能耗 (亿 tce)	能耗强度
北方城镇供暖	120 亿 m ²	92	1.81	15.1 kgce/m ²
城镇住宅（不含北方地区供暖）	2.57 亿户	5302	1.85	723 kgce/户
公共建筑（不含北方地区供暖）	99 亿 m ²	6324	2.11	21.3kgce/m ²
农村住宅	1.62 亿户	1614	1.79	1102 kgce/户
合计	13.6 亿人 约 545 亿 m ²	13332	7.50	551kgce/人

从 2001～2013 年，我国城镇化高速发展，城乡建筑面积大幅增加。大量的人口从农村进入城市，城镇化率从 37.7%增长到 53.7%^②，城镇居民户数从 1.55 亿户增长到 2.57 亿户，城乡居民平均每户人数逐年减少，家庭规模小型化（图 1-2）。

① 本书中尽可能单独统计核算电力消耗和其他类型的终端能源消耗，当必须把二者合并时，2015 年以前出版的《中国建筑节能年度发展研究报告》中采用发电煤耗法对终端电耗进行换算，从本书采用供电煤耗法对终端电耗进行换算，即按照每年的全国平均火力供电煤耗把电力换算为标煤。因本书定稿时国家统计局尚未公布 2013 年的全国火电供电煤耗值，故选用 2012 年该数值，为 325 gce/kWh。

② 中国国家统计局. 中国统计年鉴 2014. 中国统计出版社.

同时,城乡住宅建筑与公共建筑每年的竣工面积也逐年增长^①(图 1-3)。

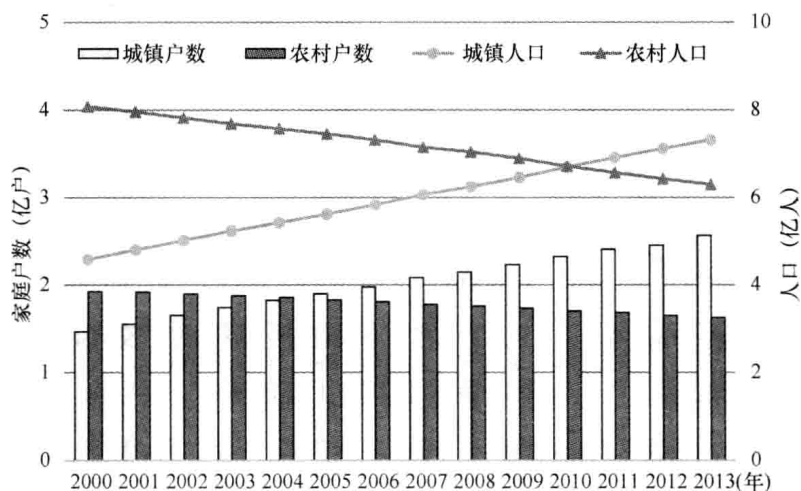


图 1-2 2001~2013 年城乡户数和人口的变化

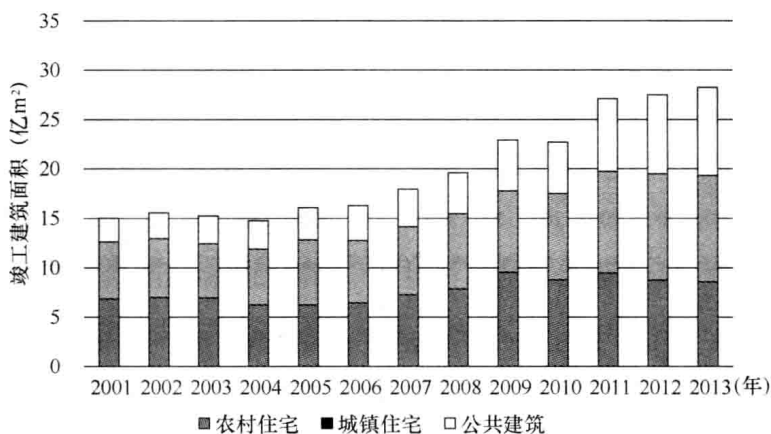


图 1-3 2001~2013 年各类民用建筑竣工面积

1.1.2 四个用能分类的能耗状况

从用能总量来看,呈四分天下的局势,四类用能各占建筑能耗的 1/4 左右(图 1-4)。从面积来看,2013 年农村住宅建筑面积为 238 亿 m^2 , 占全国建筑总面积的 44%; 城镇建筑中,住宅面积为 208 亿 m^2 , 公共建筑面积为 99 亿 m^2 。随着公共

① 中国国家统计局. 中国建筑业统计年鉴 2012. 中国统计出版社.