

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

2017



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 2017

2017 Annual Report on China Building Energy Efficiency



THUBERC

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 2017 / 清华大学建筑节能
研究中心著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-112-20573-8

I. ①中… II. ①清… III. ①建筑-节能-研究报告-中国-
2017 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 046209 号

责任编辑: 齐庆梅

责任校对: 姜小莲 关 健

中国城市科学研究系列报告

中国城市科学研究会 主编

中国建筑节能年度发展研究报告 2017

2017 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 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18½ 字数: 341 千字

2017 年 3 月第一版 2017 年 3 月第一次印刷

定价: 50.00 元

ISBN 978-7-112-20573-8

(30212)

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 2017》

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

(按章节顺序排)

胡姗 (第1章, 第2章, 3.1, 3.5, 3.6)

张洋 (第2章, 5.5, 附录)

郭偲悦 (2.5, 第6章)

祝泮瑜 (3.2, 4.2, 4.3, 5.4)

江亿 (3.3)

纪文静 (3.3)

杨旭东 (3.4)

李晓锋 (4.1)

燕达 (4.2, 4.5, 5.3)

安晶晶 (4.2)

晋远 (4.2)

钱明杨 (4.5, 5.3)

魏庆芑 (4.6)

石文星 (5.2)

特邀作者

(按章节顺序排)

东南大学建筑学院

周欣 (3.5)

住建部科技发展促进中心

彭琛 (4.4, 5.1)

北京工业大学

谢静超 (4.7)

中国标准化研究院

陈海红, 李鹏程, 林翎, 夏玉娟 (5.2)

国际欧亚科学院中国科学中心 汪光焘 (第6章)

统稿: 胡姗、张洋、陈昭文

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，在国家能源局、住房城乡建设部、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

当前世界处于极为复杂的国际形势。2015年12月通过了全球缓解气候变化的巴黎协定，经过近一年的努力，至2016年11月4日，由于总量达到全球总排放量55%以上的55个缔约国递交了批准书，巴黎协议正式生效。这意味着减少温室气体排放以控制未来地球平均温升不超过2K已经成为世界各国的共同行动目标。为了低碳的目的，改变能源供给结构和能源消费模式将带来能源生产、转化和终端消费领域的巨大变化。然而，新年伊始，世界上又出现巨大变化，在减少碳排放、缓解气候变化这一关系到人类未来发展的大事上，到底向何处走？似乎又出现迷茫。中国是碳排放大国，中国政府已经明确在气候变化上要担当大国责任，要走在前面。坚持低碳的方向，在消费侧，从实现生态文明的目标出发，节约能源；在供给侧，调整能源结构，大力发展可再生能源，逐步减少燃煤消耗量。通过低碳行动，解决我国社会和经济发展中面临的能源与环境的瓶颈，从而实现可持续发展，同时也通过这样的行动增加中国在国际事务中的影响力。这对中国是难得的机遇和挑战。这里有另一种选择，放弃低碳战略，为了应对雾霾，通过扩大石油与天然气用量替代燃煤。这实质是在迎合石油大鳄们的企盼。特朗普总统上台一个月以来，国际油价的持续上涨是对此的一个清晰证实。缺油少气是中国的基本现实，跳过油气时代，直接进入以可再生能源和核能为主的低碳能源，应该是中国能源供给侧革命的主要内容，也是在目前错综复杂的国际形势面前，通过主导全球气候变化行动，实现中国在国际事务中主导地位的机遇。建筑节能是实现低碳能源战略的重要组成部分，是能源消费领域革命的主要内容。从事建筑节能领域的同仁：我们肩上的担子更重啦！

低碳能源结构的要点就是大幅度提高可再生能源的比例。作为居住建筑，其终端能源需求的主要形式是电力、热量。怎样依靠可再生能源满足终端需求，并实现清洁化？新疆吐鲁番一个新建的80万平方米居住社区的示范案例交出了一个出色的答卷。这个社区通过太阳能光电、光热装置和微电网技术，通过终端的电动水源热泵和电动公交车方式，使太阳能提供了全社区50%以上终端能源的需求（扣除不合理的集中供冷用电之后）。如果认为从外界补充的电力供应来源于

周边风力发电的话,整个社区,包括公交系统就成为全部由可再生能源供应的零碳社区。这在我国、在世界上都是一个创举。按照巴黎协定,我国在 2050 年要把二氧化碳排放总量从目前的每年百亿吨降低到每年 30 亿~35 亿吨。为实现这一目标,零碳的可再生能源与核能必须提供 50% 以上的终端用能。怎样才能实现这一革命性目标?在能源界还在研究探讨与争论的时候,吐鲁番能源示范社区已经给出了实际的示范和回答,而且所做出的实践结果还优于这一目标。这就是未来中国建筑节能与低碳之路。这一案例表明,我国未来城市的节能与低碳目标一定能够实现。

今年本报告的重点是居住建筑。围绕对目前居住建筑能源与环境的现实与热点问题,本书着重在如下方面进行了深入讨论:

(1) 雾霾造成的室内空气的污染与防治途径。这成为千家万户高度关注的大事。本书第 3 章讨论了居住建筑通风和排除污染原理,并围绕是安装机械新风机向室内送过滤的清洁新风还是坚持开窗通风,同时采用自循环空气净化器方式进行了比较分析。无论是排除污染、节约能源,还是室内洁净,分析结果都倾向于开窗通风。开窗通风换气是自古以来人类总结和传授下来的宝贵经验,也是中国目前居住建筑能耗显著低于发达国家的主要原因之一。决不能由于对应对雾霾现象的曲解,丢掉了这一传世之宝。

(2) 被动房技术是否应作为我国居住建筑实现进一步节能的主要发展途径?本书的调查分析研究表明,对于采暖能耗为最主要用能的我国北方地区¹,通过被动房技术进一步降低对冬季供暖热量的需求,应该大力提倡。然而,我国大部分地区夏热冬冷或夏热冬暖,一年内气候变化幅度大,被动房技术不能改善夏季排热降温,应用不当还会增加夏季空调能耗,必须慎重使用。被动房技术的措施之一是使建筑不透风,通过机械新风系统满足新风要求。这样就违背于我们坚持自然通风的基本原则。因此希望各地千万不可盲目跟风,一定要因地制宜,从实际出发,由效果导向。

(3) 住区的太阳能热水器系统则是希望引起大家关注的另一个问题。居住建筑由太阳能提供生活热水,是可再生能源的最成熟、最有效的一种利用方式。经过 20 多年太阳能热利用行业的持续努力,已使中国的太阳能热水器在技术和推广规模上都处在世界领先水平。然而,近年来太阳能热利用出现明显滑坡,大量新建的集中式太阳能生活热水系统实际消耗的电力或燃气居然高于常规的电热水器或燃气热水器!这里的问题在哪里?本书通过调查分析说明:问题出在相关的扶持政策上!不合理的扶植政策有时候可以产生与意愿完全相反的结果。“市场应该在资源

配置中起主导作用”，在太阳能热水器发展这件事上，真显出了它的至关重要性。“结果导向”还是“做法导向”将导致完全不同的结果。真希望尽快把政策理顺，让我国的太阳能热利用事业重振雄威。

(4) 再一个持续热议的话题就是长江流域居住建筑的水源地源热泵方式供暖与空调。本书用了较大的篇幅给出对多个典型工程案例的实际测试、调查与分析结果。结果表明，在这一地区的居住建筑，无论供暖还是空调，如果实行某种分户计量方式按照实际用能量收费，使用者就会按照“部分时间、部分空间”的运行模式启停其末端风机盘管。其结果是实际能耗与目前广泛使用的分体空调热泵差不多，室内的冷热状况也十分接近于分体空调热泵。而如果按照面积收费或者终端不可调，实际用能量就会几倍于分体空调热泵。甚至于在前述的吐鲁番示范社区，由于夏季采用了水源热泵集中供冷方式，单位建筑面积供冷耗电量也达到 26kWh/m^2 ，是这一地区采用分体空调方式的居住建筑用电量的 6 倍！这是吐鲁番项目需要进一步改进之处。包括夏季制冷用电，吐鲁番项目的太阳能就只能提供约 40% 的社区用能，而在夏季如果全部改为分体空调或按照运行时间收费以实现“部分时间、部分空间”的运行模式，太阳能电力就可以为社区提供几乎 60% 的用能！分散还是集中？这真是建筑能源系统中必须解决的大问题。

本书引用了各界提供的和文献发表的大量工程数据，也给出本书作者们现场实测与调查得到的大量数据。这些来自于现场的真实数据是我们认识问题、理解问题的主要源泉，也是“以结果导向”这一发展建筑节能理念的基本依据。衷心感谢各界为我们提供的这些数据。为了避免引起其他各方面问题，我们尽可能在书中隐去具体的工程名称。这些数据在本书中仅供分析问题，研究规律所用，与对这些工程的各方面评价无关。不应该由于本书对一些数据的引用造成对这些工程的任何影响。

本书得到社会各界的大力支持。尤其是得到住房城乡建设部科技发展促进中心、中国标准化研究院、北京工业大学、北京建筑设计研究院等单位提供大量数据和文字，以及一遍又一遍不辞辛苦不怕麻烦的讨论与修改。这本书是在全社会热衷于建筑节能事业的同仁们共同支持、哺育下产生和持续下来的，没有大家的支持，很难想象能有今天的第十本报告。感谢大家无私的真诚的支持和爱护。我们一定要持续把这个报告写下去，从这样一个视角记录下中国建筑节能事业的发展历程。

负责本书统稿的是胡姗和张洋两位博士研究生。这是需要持续一年的工作。只有出于对建筑节能事业的热爱和高度责任心才有可能这样不辞辛苦，搭上自己所有

的空余时间，完成设计、组织、联络、编辑的全部工作。没有他们这样的付出，很难想象这本书的按时交出。

最后感谢负责这本书出版的齐庆梅编辑。这是她做的第十本报告啦！让我们一起持续做下去吧！

江亿

2017年2月18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 中国建筑领域基本现状	2
1.2 中国建筑运行能耗现状	6
1.3 中国建筑能耗的总量与强度双控	14
参考文献	25

第 2 篇 城镇居住建筑节能专题

第 2 章 城镇居住建筑用能状况	28
2.1 城镇住宅相关概念界定	28
2.2 城镇住宅发展趋势	29
2.3 城镇住宅能耗总量	36
2.4 城镇住宅各用能分项	39
2.5 世界各国住宅能耗对比	70
参考文献	79
第 3 章 城镇住宅用能可持续理念和发展模式探究	81
3.1 城镇住宅用能的基本认识	81

3.2 围护结构的探讨	87
3.3 新风系统的探讨	102
3.4 主动营造与被动接受服务的探讨	118
3.5 城镇住宅服务系统的集中与分散	122
3.6 总量和强度双控体系下的城镇居住建筑节能路径	137
第4章 城镇居住建筑节能技术专题讨论	147
4.1 规划布局对住宅自然通风的影响	147
4.2 住宅建筑通风方式	156
4.3 被动房技术适宜性讨论	162
4.4 居住建筑集中式太阳能生活热水系统	168
4.5 长江流域居住建筑采用地源、水源热泵采暖空调的适宜性	176
4.6 中深层地热源热泵供热系统	195
4.7 家电能耗情况及问题分析	202
第5章 城镇居住建筑相关政策专题讨论	213
5.1 我国太阳能热水的发展推广和相关政策的作用	213
5.2 城镇住宅照明与电器能效政策的效果与进展讨论	221
5.3 长江流域居住建筑供热供冷系统方式的政策	235
5.4 被动房政策	243
5.5 居民阶梯电价	248
第6章 新疆吐鲁番新型能源系统示范区案例	259
6.1 基本情况	259
6.2 气象参数	260
6.3 设计理念与关键技术	261
6.4 实际运行情况	266
6.5 思考与展望	268

附录	271
附录 1 家庭用能案例	271
附录 2 各省市居民阶梯电价实施方案	281
附录 3 地理分区概念的讨论与区分	283

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 中国建筑领域基本现状

近年来，我国城镇化高速发展，大量的人口从农村进入城市。2015 年，我国城镇人口达到 7.71 亿，城镇居民户数从 2001 年的 1.47 亿户增长到约 2.72 亿户；农村人口 6.03 亿，农村居民户数从 2000 年的 1.92 亿户降低到约 1.58 亿户，城镇化率从 2000 年的 37.7% 增长 2014 年的 56%，如图 1-1 所示。

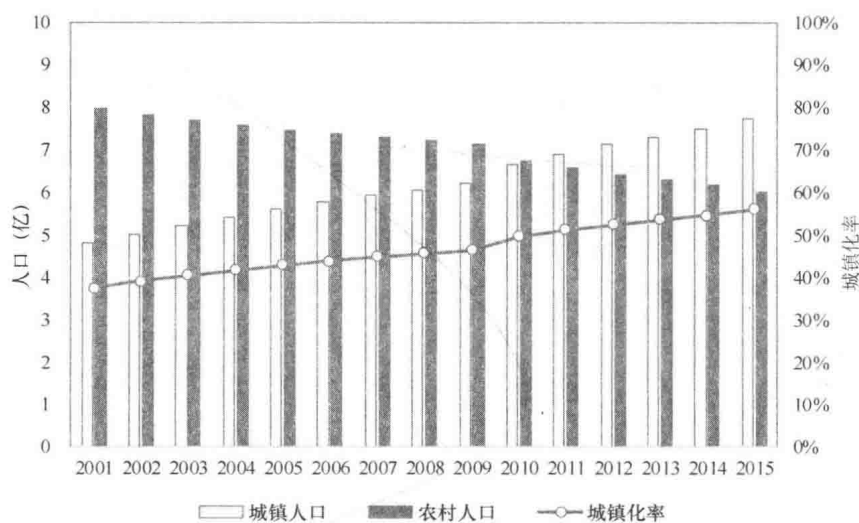


图 1-1 中国逐年人口发展 (2001~2015 年)

快速城镇化带动建筑业持续发展，我国建筑业规模不断扩大。从 2001 年到 2015 年，我国建筑营造速度逐年增长，城乡建筑面积大幅增加，每年的竣工面积均超过 15 亿 m^2 ，2015 年新建建筑的竣工面积达到 27.9 亿 m^2 。竣工面积中住宅建筑约占 64%，公共建筑约占 36%，新增公共建筑中办公建筑所占的比例最大，如图 1-2 所示。

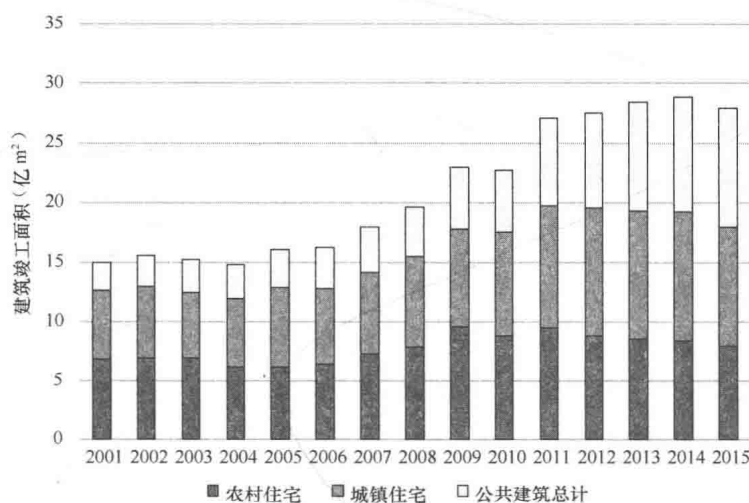
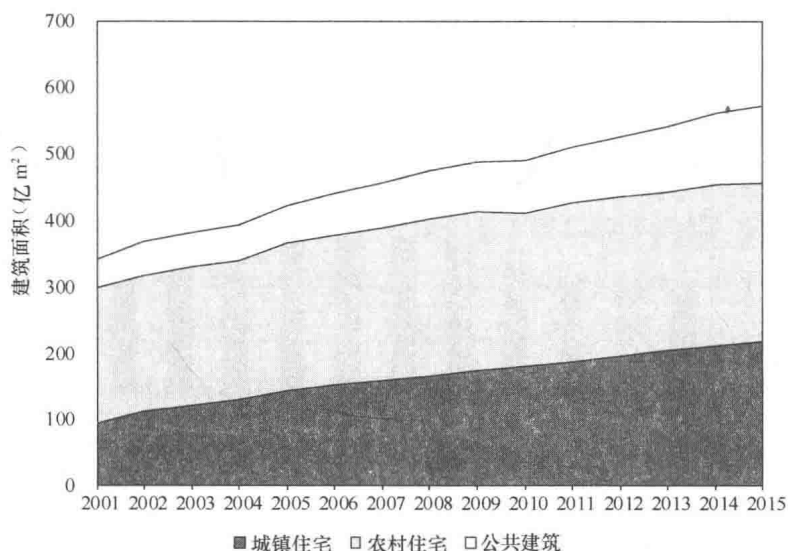


图 1-2 中国各类民用建筑竣工面积 (2001~2015 年)

逐年增长的竣工面积使得我国建筑面积的存量不断高速增长，2015 年我国建筑面积总量约 573 亿 m²，其中：城镇住宅建筑面积达到 219 亿 m²，农村住宅建筑面积 238 亿 m²，公共建筑面积 116 亿 m²，如图 1-3 所示。

图 1-3 中国建筑面积 (2001~2015 年)^①

^① 数据来源：清华大学建筑节能研究中心估算结果，详细推算方法详见《中国建筑节能年度发展研究报告 2015》。

建筑规模的持续调整增长主要从两方面驱动了能源消耗和碳排放增长,一方面建设规模的持续增长需要以大量建材和能源的生产和消耗作为代价,我国大量的新建建筑和基础设施所产生的建造能耗是我国能源消耗和碳排放持续增长的一个重要原因;另一方面,不断增长的建筑面积也给未来带来了大量的建筑运行能耗需求,更多的建筑必然需要更多的能源来满足其采暖、通风、空调、照明、炊事、生活热水,以及其他各项服务功能。

新建建筑和基础设施的建造带来的建筑业建造能耗又分为两大部分,一部分是建材生产的能耗,另一部分是施工阶段的能耗。清华大学建筑节能研究中心对建筑业建造能耗和碳排放进行了估算^①,根据初步估算,2004年至2014年十年间,建筑业建造能耗从4亿 tce(吨标准煤)翻了一番多,2014年已达11.7亿 tce,占全社会一次能源消耗的百分比高达27.5%,如图1-4所示。建筑业建造能耗中93%均为钢材、水泥和铝材等建材的生产能耗,大量建材的生产不仅消耗了大量的能源,同时也会产生大量的二氧化碳排放,根据估算,2014年我国建造相关的碳排放总量已高达38亿 t CO₂,超过我国碳排放总量的三分之一。

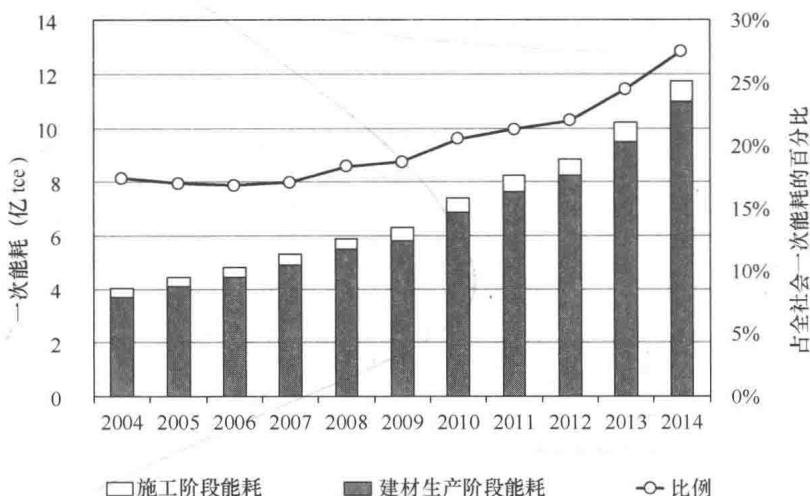


图 1-4 建筑业建造能耗 (2004~2014 年)

建筑业包括建筑建造和基础设施如公路、铁路、大坝等的建设,建筑的建造能

^① 估算方法详见《我国建筑业广义建造能耗及 CO₂ 排放分析》,林立身,江亿,燕达等,中国能源,2015,37(3):5-10.