

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

2019



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 2019

2019 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. 2019/清华大学建筑节能
研究中心著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 3

ISBN 978-7-112-23374-8

I. ①中… II. ①清… III. ①建筑-节能-研究报告-中国-
2019 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 037869 号

责任编辑: 齐庆梅 张文胜

责任校对: 李欣慰

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 2019

2019 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

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24½ 字数: 423 千字

2019 年 3 月第一版 2019 年 3 月第一次印刷

定价: 70.00 元

ISBN 978-7-112-23374-8

(33684)

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 2019》

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

- 胡姗 (第1章, 2.5, 附录)
张洋 (第1章, 附录)
郭偲悦 (第1章, 3.2, 附录)
夏建军 (第2章, 第5章)
魏庆芑 (2.4, 8.9)
郑雯 (2.1, 2.4)
张亦弛 (2.2, 2.3, 7.6)
尹顺永 (2.4, 2.5)
方豪 (2.4, 第5章)
邓杰文 (2.4, 8.9, 9.6)
陈家杨 (2.4, 2.5, 第6章)
江亿 (第3章)
李叶茂 (第3章, 8.5)
付林 (第4章, 第7章)
郑忠海 (4.1, 9.3)
吴彦廷 (4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 7.2, 7.3, 8.1)
单明 (6.2, 6.4)
李永红 (7.4, 9.1, 9.2, 9.9)
王笑吟 (8.2)
潘文彪 (8.3, 8.7)
杨晓霖 (8.4)
华靖 (8.6)
徐熙 (8.8)
赵玺灵 (8.8)
罗奥 (8.10)
李锋 (9.4)

特邀作者

北京市热力集团有限责任公司

中国建筑科学研究院

赤峰学院

北京清华同衡规划设计研究院有限公司

上海中金能源投资有限公司

哈尔滨工业大学

淄博热力有限公司

中国铁路设计集团有限公司

黑龙江爱科德科技有限公司

统稿

胡 珊

陈鸣镛，刘荣（2.4）

袁闪闪（2.4）

王春林（2.4，9.5）

魏茂林（9.3）

周聪，陈军，陈永平（9.6）

张承虎（9.7）

汪德刚，王荣鑫，孙刚（9.8）

朱建章，刘递多（9.10）

韩兴旺，李丽娜（9.10）

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

按照预先确定的顺序，今年发展报告的主题北方城镇供暖节能。从 2016 年开始，为了改善民生、治理雾霾，也为了调整能源结构，我国开始组织安排了史无前例的“清洁取暖”工程，在 26+2 个试点城市陆续展开，并还将进一步推广到北方各个地区，全面改变我国目前的城乡冬季供暖状况。这可以看成是十八大以来中央提出的能源革命的重要组成部分，将对我国能源的生产和消费方式带来重大变化，也一定能找回蓝天，让百姓重新呼吸到干净空气。

清洁取暖工程包括北方县域以上的城镇供暖，也包括北方农林牧区的农宅供暖。2020 年的研究报告将主要针对后者，所以今年这本报告主要内容是实现北方城镇建筑清洁供暖的路径及技术对策。

为了把这个问题写清楚，今年的报告在第 2 章介绍了目前北方城镇建筑供暖现状后，并没有如同以往各年那样直接讨论理念，而是安排了连续 4 章的前序基础内容：第 3 章我国未来的低碳能源发展路线，从我国未来能源生产侧的革命讨论其对北方城镇供暖热源与供暖方式的影响；第 4 章热电联产辨析，说明我国未来城镇供暖的主导热源应为热电联产余热，同时分析了全面发展热电联产方式必须解决的关键问题，给出解决途径；第 5 章工业余热热源介绍，说明我国北方城镇供暖的另一个主要热源是各类工业生产过程排放的低品位余热；第 6 章供暖与大气雾霾治理，从污染排放数据理清了冬季雾霾与供暖热源方式的关系，以及治理目前冬季高污染地区大气质量的途径。在这样四个方面分析的铺垫下，第 7 章才给出我国北方城镇清洁供暖的基本理念、未来途径，就是建成跨地区的供热管网，以热电联产和工业生产过程低品位余热为热源，通过大联网方式为 80% 的北方城镇提供供暖基础热源，再由设置在末端的天然气作为调峰热源，提高热网的灵活性和可靠性。这样，北方城镇未来 160 亿 m^2 建筑每年仅需要约 1600 亿度电力和 110 亿 Nm^3 天然气即可满足供热需求，平均能耗不到目前的一半。所需要的热电联产和工业余热，并不使这些生产过程由于承担供热任务而增加其对大气的污染物排放，除了输配系统和部分提升热源品位所要求的电力消耗以及少量调峰用天然气以外，冬季供暖再不增加任何对大气的污染物排放。这才是我国未来最合适的清洁取暖方式，是从我国特

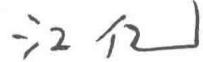
定的资源、环境以及终端用能分布状况，特定的低碳能源结构状况而推导出来的城镇供暖热源结构，也是从大量成功的工程实践案例中提炼总结出来的中国特色的城镇清洁供暖发展路径。这绝不是简单地取缔燃煤，煤改电、煤改气所能解决的问题。

围绕第7章给出的清洁取暖途径，本书的第8章又对其中相关的技术和政策关键问题一一做了分析和介绍；第9章则对应着第8章的技术介绍了一批成功的工程案例。技术与工程案例进一步说明，本书所描述的技术路线可能是目前清洁取暖诸多方案中初投资最省、运行费用最低、污染物排放最少的路径。所规划的技术路线由一批投资几十亿、上百亿的大型工程构成。这些工程看起来规模空前、投资巨大，但由于是彻底解决问题，每个工程的受益面广，折合单位供暖建筑面积的投资却是各类清洁取暖方案中最低的，而运行费用则更是远低于电供暖、气供暖。已完成工程的投资回收期都小于10年。作为基础设施建设投资，应该属于经济效益、社会效益都好的项目。在北方全面建成新型的余热供暖系统，可以彻底解决我国城镇清洁供暖问题，尽管需要的基础设施投资巨大，但其主要是工程费、换热装置、钢材及保温材料费等，通过这些工程拉动投资型内需，解决我国近期经济增长动力不足的问题，又可以实现未来我国北方冬季城镇的清洁、高效、可靠和低成本供暖，这是利国利民造福子孙的大好事！真希望有关部门能够深入研究论证，在本书提出的路线的基础上，做好顶层设计，再利用市场机制，吸收各方面投资和力量，按照统一规划设计好的系统结构分期建设，尽早建成这一世界上最好的、最适合中国现实情况的供热系统。

这本书是由付林教授牵头，完成全书规划设计，并确定主要章节内容。付林教授近十多年来全身心带领团队投入北方城镇清洁取暖事业中。从创新的宏观规划设计到具体的专利技术突破，从典型工程案例的设计实施到关键的新型设备研发试制。付林教授和他的团队呕心沥血，但终于结出了丰硕的果实。这本书在某种意义上讲是这些果实的一个快餐式拼盘，请读者一起分享。当然在这项工作中还凝聚着其他多位老师和同学的心血，尤其是夏建军副教授和他的课题组，他们在工业余热利用上做出了大量工作，支撑了国家在工业余热暖民工程上的重大布局。在中国城镇供热协会、华电集团等单位的大力协助下，夏教授主导了我国北方城镇供热状况的全面调查，这可能也是我国第一次深入细致的全面定量调查，终于得到我国北方地区目前供热状况的现实数据。这些数据成为研究我国今后供热事业发展的基础资料，也是本书提出来的我国未来清洁供热路线的主要依据。

本书的第1章和全书的编辑总成负责人是胡姗博士，她本来作为高级研究员在

巴黎的 IEA 总部做研究工作，出于对本书的责任感，也出于对中国建筑节能工作的使命感，她于 2018 年 9 月就中断在 IEA 的工作，赶回北京继续本书的组织写作和第 1 章具体的撰写。她所负责的中国建筑能耗与碳排放总体模型是一项长期持续、工作量巨大，且十分繁琐的工作。能够自觉地克服各种困难，在这个领域坚持下去，需要的是对这一事业的神圣使命感和献身精神。感谢胡姗博士的贡献，也希望在她这样的一批志愿者的努力下，这本书能持续写下去，写好，并且能够影响我国和世界的建筑节能事业，使这本书所倡导的中国特色的建筑节能路径成为人类生态文明发展史上的重要组成，为新兴国家在发展过程中解决发展与资源、环境矛盾问题提供参考。当然还应该感谢的是本书的编辑齐庆梅和她的同事，在这么短的时间里，再贴上一个春节长假，还是把这本书高质量地出来了，再次向他们致谢。



于清华大学节能楼

2019 年 1 月 29 日

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 中国建筑运行能耗及碳排放现状	7
1.3 中国清洁取暖政策新进展	17

第 2 篇 北方城镇供暖节能专题

第 2 章 北方城镇用暖需求现状和清洁供暖工程的进展	28
2.1 北方地区供热现状	28
2.2 供热耗热量现状	33
2.3 集中供热热网现状	44
2.4 供热热源现状	51
2.5 供热的能源消耗及环境影响	74
第 3 章 我国未来能源的低碳发展和城镇供暖热源的相应变化	76
3.1 我国城市面临的能源与环境问题	76
3.2 我国能源结构的转型	77
3.3 我国北方供暖低碳发展路线	87

3.4 小结	89
第4章 热电联产辨析	91
4.1 不同的热电联产评价方法	91
4.2 热电联产供热方式的评价	95
4.3 北方地区燃煤火电的供热潜力	99
4.4 电力供需的匹配	102
4.5 热电联产为电网调峰	105
第5章 低品位工业余热	111
5.1 工业余热供暖技术	111
5.2 工业余热供暖的评价方法	113
5.3 我国北方冬季低品位工业余热资源规模	114
5.4 五大类高耗能工业部门单位产品余热热量	115
5.5 低品位工业余热热量变化趋势	122
第6章 北方冬季供热对大气环境的影响	128
6.1 供热对大气污染的影响	128
6.2 不同热源方式的污染物排放强度	130
6.3 “2+26”城市群的相关性分析	143
6.4 各区域冬季供热的直接排放量	147
6.5 清洁供热相关对策	149
第7章 北方城镇供暖发展模式思辨	151
7.1 对北方城镇供暖现状和目标的思考	151
7.2 北方城镇供热的技术路线	154
7.3 多热源联网协同供热与供热参数整合	173
7.4 电供暖问题分析	176
7.5 天然气的合理利用	182

7.6	小城镇供热的技术路线	186
7.7	热网供回水温度的讨论	192
第8章	北方城镇清洁供暖技术讨论	196
8.1	热电联产乏汽余热利用技术	196
8.2	热电协同的集中供热技术	213
8.3	核能供热技术	222
8.4	核小堆供热技术	230
8.5	城市热网大温差改造技术	236
8.6	长距离输送	244
8.7	海水淡化与水热同输技术	270
8.8	烟气余热回收技术	280
8.9	中深层地热源热泵供热技术	287
8.10	供热计量收费技术路线调整	296
第9章	北方城镇供暖最佳实践案例	303
9.1	太原清洁供热规划	303
9.2	太原(太古)大温差长输供热示范项目	309
9.3	济南燃煤烟气余热回收	319
9.4	未来城燃气电厂余热回收	325
9.5	迁西工业余热	335
9.6	中深层地热源热泵供热技术实践案例	343
9.7	大连市第七人民医院原生污水源热泵项目分析	352
9.8	淄博市工业余热利用	358
9.9	吉林热力公司低回水温度直供热网	363
9.10	CO ₂ 复叠式超低温空气源热泵应用案例	369
附录	建筑业与民用建筑建造能耗及碳排放核算方法	375

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。2017 年，我国城镇人口达到 8.13 亿人，城镇居民户数从 2001 年的 1.55 亿户增长到约 2.92 亿户；农村人口 5.69 亿，农村居民户数从 2001 年的 1.92 亿户降低到约 1.50 亿户，城镇化率从 2001 年的 37.7% 增长到 2017 年的 58.5%，如图 1-1 所示。

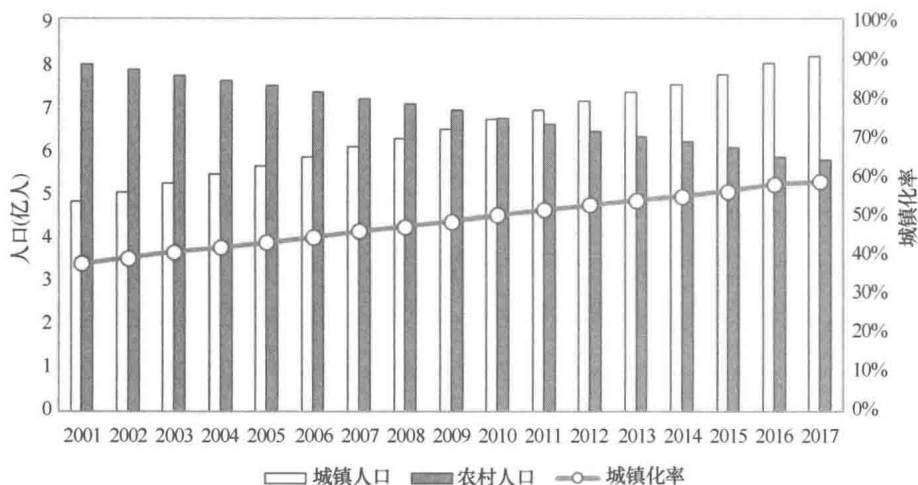
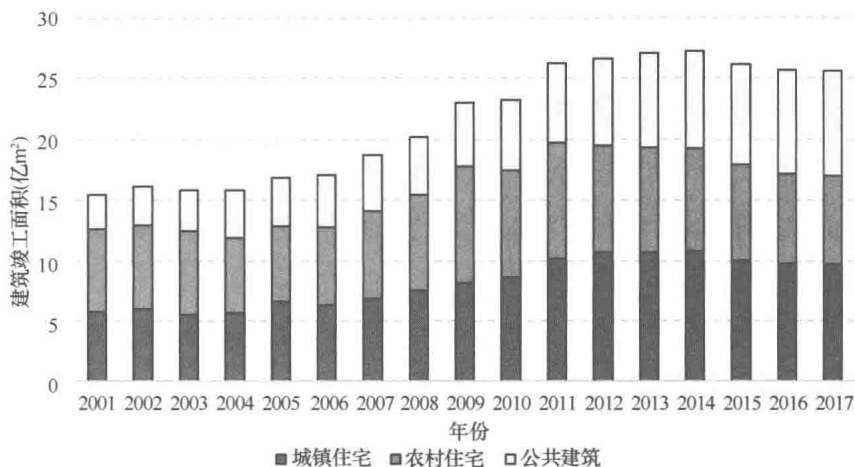
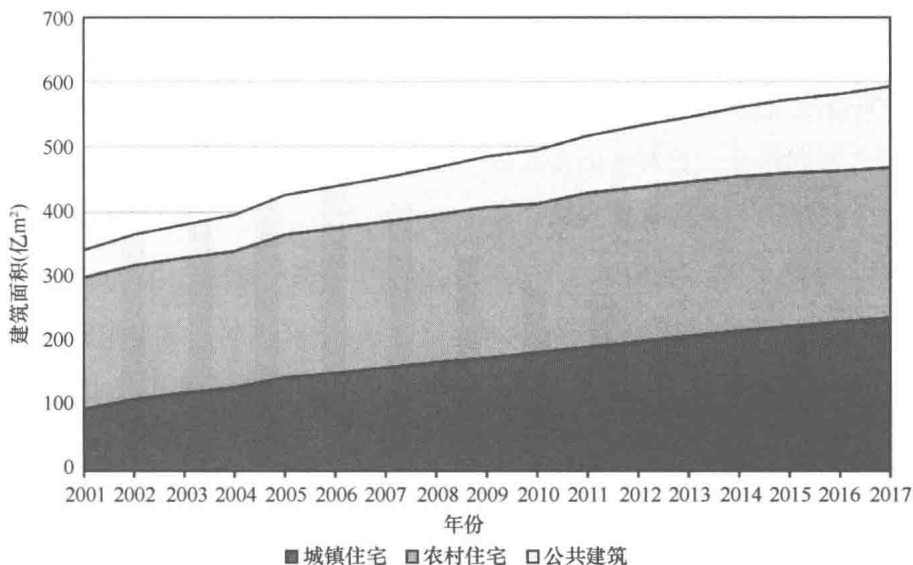


图 1-1 中国逐年人口发展 (2001~2017 年)

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。2001 年起，我国建筑建造速度维持高位，年竣工面积均超过 15 亿 m^2 ，2014 年达到 28.9 亿 m^2 。2015 年起，随着宏观经济形势的变化，年竣工面积开始呈现下降的趋势。2017 年，我国建筑竣工面积为 25.6 亿 m^2 ，其中住宅建筑约占 2/3，公共建筑约占 1/3，如图 1-2 所示。

图 1-2 中国各类民用建筑竣工面积 (2001~2017 年)^①

保持高位的竣工面积使得我国建筑存量不断增长。2017 年，我国建筑面积总量约 591 亿 m^2 ，其中：城镇住宅建筑面积 238 亿 m^2 ，农村住宅建筑面积 231 亿 m^2 ，公共建筑面积 124 亿 m^2 ，如图 1-3 所示。

图 1-3 中国建筑面积 (2001~2017 年)^②

① 2017 年全社会住宅竣工面积根据建筑业企业竣工面积相对于 2016 年的变化推算得到。

② 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》。

建筑规模的持续增长主要从两方面驱动了能源消耗和碳排放增长：一方面，不断增长的建筑面积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供暖、通风、空调、照明、炊事、生活热水，以及其他各项服务功能；另一方面，大规模建设活动的开展使用大量建材，建材的生产导致了大量能源消耗和碳排放的产生。因此，我国建筑以及基础设施的大规模建设是我国能源消耗和碳排放持续增长的一个重要原因。

建筑业包括民用建筑建造、生产性建筑建造和基础设施如公路、铁路、大坝等的建设。新建建筑以及基础设施的建造带来的建筑业能耗可以从建材的生产、运输到现场施工全过程进行核算分析。清华大学建筑节能研究中心对建筑业的建造能耗和碳排放进行了估算，计算方法详见本书附录。根据估算结果，2004~2017年，中国建筑业建造能耗从接近4亿tce增长到13亿tce，2017年建筑业建造能耗占全社会一次能源消耗的百分比高达30%，如图1-4所示。建材生产的能耗是建筑业建造能耗的最主要组成部分，其中钢铁和水泥的生产能耗占到建筑业建造总能耗的80%以上。

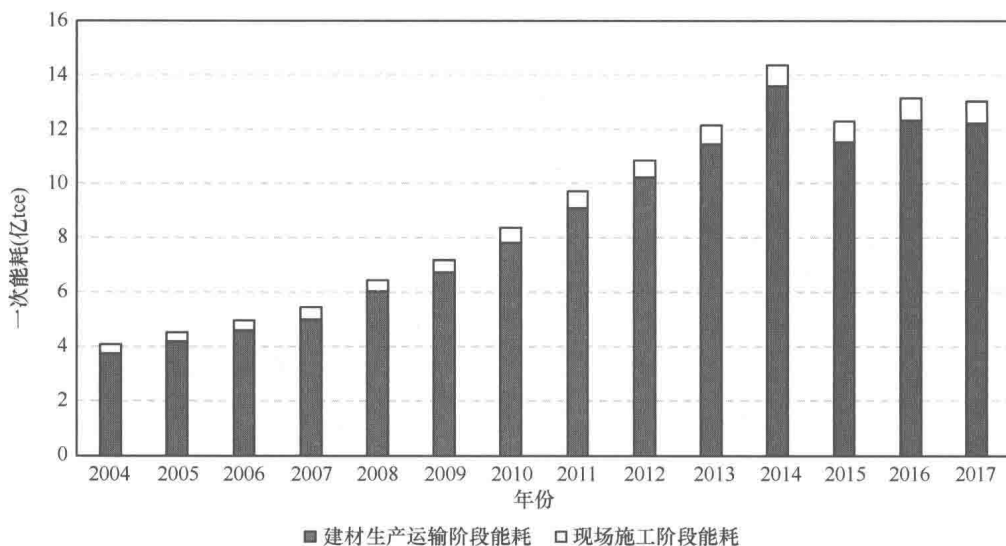


图 1-4 建筑业建造能耗（2004~2017年）

大量建材的生产不仅消耗大量的能源，同时也会产生大量的二氧化碳排放。根据估算，2017年我国建筑业建造相关的碳排放总量高达43.8亿tCO₂，接近我国碳排放总量的1/2。