

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

2016



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 2016

2016 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. 2016 / 清华大学建筑节能研究中心著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-112-19254-0

I. ①中… II. ①清… III. ①建筑-节能-研究报告-中国-2016 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 053398 号

责任编辑: 齐庆梅 张文胜

责任校对: 陈晶晶 张 颖

中国城市科学研究系列报告

中国城市科学研究会 主编

中国建筑节能年度发展研究报告 2016

2016 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: 16 $\frac{1}{4}$ 字数: 271 千字

2016 年 3 月第一版 2016 年 3 月第一次印刷

定价: 45.00 元

ISBN 978-7-112-19254-0

(28496)

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 2016》

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 (第1章, 第4章)

杨旭东 (第2章, 第4章)

单明 (第2章, 第3章, 第4章, 5.2.2, 5.3.1, 5.3.2, 6.4)

胡姗 (第1章)

倪坤 (3.2)

李佳蓉 (5.1.1, 6.2)

王鹏苏 (5.2.3)

熊帝战 (5.3.4)

马荣江 (6.2)

续宇鹏 (5.3.6)

特邀作者

北京市可持续发展促进会

大连理工大学

甘肃自然能源研究所

中国建筑西南设计研究院有限公司

北京化工大学

大连理工大学

珠海格力电器股份有限公司

西安建筑科技大学

赤峰元易生物质科技有限责任公司

华东建筑集团股份有限公司

叶建东, 章永洁, 蒋建云 (第3章)

陈滨, 张雪研 (5.1.2)

刘叶瑞 (5.1.2)

冯雅, 钟辉智, 南艳丽 (5.1.3, 6.5)

李秀金 (5.3.3)

端木琳, 王宗山, 袁鹏丽, 苏永海 (5.2.1)

王磊, 张鹏娥, 许晨 (5.3.5)

刘加平, 杨柳, 何泉, 宋冰 (6.1)

陈立东, 郝霄楠, 霍明志 (6.3)

杨联萍, 瞿燕, 田炜 (6.6)

统稿

张双奇

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

眼前这本书是第十本《中国建筑节能年度发展研究报告》。十年走来，我国建筑节能事业出现了巨大的发展、变化，我们这本年度报告也随着这一事业的发展和进步，一步步成长起来。去年12月（2015年）我接到了国家能源局发来的获奖通知，这套建筑节能研究报告荣获2014年“软科学研究二等奖”。这是这个研究报告得到的第一次官方认可。感谢有关部门的支持和鼓励，更感谢广大读者从各方面对本书的支持，我们已经走上这条路了，一定坚持把这本书写下去，让她伴随着中国建筑节能事业的发展而发展，成为一部中国全面实现建筑节能目标、为人类做出典范的这一伟大过程的真实记录。

按照既定的计划，今年的主题是农村建筑节能。这是第二本全面讨论农村建筑节能问题的报告（上一本是2012年报告）。当前举国上下的热点问题之一是东部地区的大面积雾霾。进入2015年供暖季以来，华北、华中地区出现严重雾霾的天数比以往有所增加， $\text{PM}_{2.5}$ 浓度出现超过 $1000\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的“爆表”现象，严重雾霾有时导致能见度不及100m。雾霾到底源自何处？一个重要的污染源是华北、东北、华中农村产粮区的大量秸秆燃烧排放。几年来相继报道各地出现的田间烧秸秆现象，各地政府下大力气禁烧，动用了卫星、飞机和地面的各种可能动用的力量，但屡禁不止。农民为什么要烧秸秆？禁止在田间烧秸秆真的可以减缓雾霾吗？本书第3章专门研究分析了各种秸秆处理方式可能造成的污染排放。秋季大田生产产生的秸秆总要设法消纳。作为生活用能通过柴灶直接燃烧，也同样产生大量灰分，同样有 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放，只是把消纳周期拉长，瞬态排放强度降低而已。秸秆作为肥料还田而不经燃烧，有其成立条件。对于北方地区由于冬季严寒，翻到地下的麦根、玉米根在一个冬季不可能腐烂成肥，只会影响来年的耕种，而在地面大量的堆积除造成安全隐患和影响周边环境外，也会形成持续的大气污染。怎样消纳北方农村秋季的大量秸秆，且不使其成为大气污染源，是一个必须正视的问题和深入研究解决的课题。这不是严厉地禁烧就可以解决的。放弃传统的秸秆燃料，北方农村烧什么？自然就转到燃煤。据统计北京市郊区农村由于减少了秸秆用量，目前每年消耗散煤相当于396.3万tce，虽然其总量仅为2014年以前北京四大热电厂年耗煤量550万

tce 的 73%，但其排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 却是四大热电厂排放量的 6 倍，排放的硫化物是四大热电厂的 2.5 倍。农业生产的秸秆产量不减，所造成的灰分排放总量不会减少，大量燃烧散煤，又形成新的污染源。因此，解决雾霾必须关注农村问题，必须同时关注和解决农村的秸秆处置问题和能源问题。

全面解决秸秆的清洁利用，不仅可以有效解决农村能源问题，还可以减少秸秆造成的污染物排放，消除散煤造成的污染物排放，减缓农民用能的经济负担，显著改善农村环境和农民的生活条件，一点突破、功在四方！所以秸秆薪柴的清洁高效利用，既关乎亿万农户农民生活，又对治理雾霾有重大作用，还可以大幅度减少温室气体排放，对缓解气候变化做出实质性贡献。针对这一聚集了农村能源与环境诸多问题的关键，本书着重介绍了两项成熟技术和实践：村级秸秆固体燃料压缩及清洁燃烧的成套技术；大规模秸秆制备高纯度燃气的成套技术。前者通过秸秆压缩成颗粒，并配置新型的燃烧器技术，实现了生物质长期储存、高效燃烧和清洁排放。同样重量的秸秆燃烧所排放的 $\text{PM}_{2.5}$ 仅为柴灶直接燃烧的 1/10，而热效率又比直接燃烧提高了 4 倍。这样，产生同样的热量，使用压缩颗粒和新型燃烧器所排放到大气中的 $\text{PM}_{2.5}$ 仅为直接燃烧秸秆时的 1/40！这是多么显著的技术进步，是还农村以青山秀水的重要措施。另一项是在生物质富集的农区大规模用秸秆制备高纯度燃气，不仅使周边农村实现燃气化，还输出大量商品燃气支持了附近城镇。所产生的沼渣沼液全部加工成上等的绿色有机肥，这就使秸秆全部清洁地变废为宝，彻底消除了秸秆燃烧和散煤燃烧的排放。两个案例的实施，都涉及一系列的政策机制问题，需根据实际情况设计出全套解决方案。利用市场机制，使农民自愿、积极地支持这项工作，使农民从中获得实利，增加收入，改善生活条件，这是这两项技术能够成功示范的基本保障。在我国，每年有折合 2 亿 tce 的秸秆和 1 亿 tce 的薪柴。充分利用好这些秸秆薪柴，不使其成为产生 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染物，而让其转换为造福农民的宝贵资源，从而实现无煤村，也为清除城里的雾霾出力。这就是解决农村能源问题的关键所在，也是农村能源问题的重要性所在。

本书的写作主要是由杨旭东教授所领导的研究组完成，由单明博士完成了大部分写作。四年来他们跑遍祖国大地，深入调查，悉心研发，与农民促心交流，在各地热心者的支持下积极实践。与 2012 年的研究报告相比，可以看出他们的长足进步。对他们的成绩表示由衷的祝贺，也盼望着他们在这一关系到 6 亿多农民生活和三分之一祖国大地雾霾的重要领域做出贡献，让无煤村遍布中国大地。也感谢杨旭东教授团队的其他成员张双奇、李佳蓉、马荣江、续宇鹏、付宇等在这一领域的工作，感谢他们为本书所作的努力和取得的硕果。还要感谢参加相关工作的各地合作

者，在这样一个领域，不谋名、不图利、写不出太多的 SCI，但为了农民、为了全社会、为了探讨人类可持续发展的途径，谋一件大事。现在有越来越多的志愿者进入这一领域，真心希望大家为了这一共同的目标，把这件大事做成！这里还要感谢的是赤峰富龙集团的诸位同事，他们在祖国北疆的阿旗实现了第一个大型秸秆制取高纯度燃气的示范，从为农民代管农田，实现了种田机械化，到收取全部秸秆加工，实现了农村燃气化。几年的艰辛付出终于得到了欣慰的回报。他们探索出一条建无煤村实现新农村建设的新路。中国需要更多的这种来自第一线的实践。新农村的建成依靠这种基于坚定不移的信念的基层实践。

今年本书的第 1 章仍然由胡姗博士生主持完成。她倾注了大量心血，仔细核实了每一个数字，使我们能够了解这一领域最新的发展和变化，感谢她为此付出的辛勤工作。十八届五中全会提出“能源节约要实行总量和强度双控”，建筑节能领域正在从措施约束逐渐转向总量与强度双控。在这样的新形势下，实际的建筑总量数据，能源消耗数据将变得格外重要。当全行业都关注实际数据时，我们会有更多的数据来源，大数据技术就有可能得到更真实可靠的实际建筑用能情况。盼望这一天的尽快到来。

本书由齐庆梅、张文胜负责编辑出版。感谢她们一如既往的支持，正是她和她的同事们春节期间的持续工作才使得这本书得以按时出版。

这是第十本建筑节能年度报告，真心感谢广大读者的支持和鼓励。我们将把明年的第 11 本报告当做第一本，从头做起，把它写得更好，更切中建筑节能工作的问题。从今年起我们还计划开始出版英译本，把中国在建筑节能领域的实践和理念传播到世界去，为全球的可持续发展做贡献。希望广大读者一如既往地支持我们，咱们一起继续干下去吧！



2016 年 1 月 30 日于清华节能楼

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	7
1.3 总量和强度双控的中国建筑节能路径	15

第 2 篇 农村建筑节能专题

第 2 章 农村建筑用能状况分析	28
2.1 农村相关概念界定	28
2.2 农村住宅建筑能源消耗总量及结构	28
2.3 农村住宅分项用能情况分析	36
2.4 总结	43
第 3 章 农村建筑用能对环境的影响分析	45
3.1 农村常用固体燃料和炉灶的性能	45
3.2 农村生活用能对室内空气质量的影响	51
3.3 农村固体燃料燃烧产生的空气污染物排放量估算	55
3.4 农村生活用能对区域室外空气质量的影响	58

3.5 总结	63
第4章 农村建筑用能可持续发展理念探究	64
4.1 农村建筑用能的现状和问题	64
4.2 发展目标和对策	67
4.3 生物质的合理利用模式和技术路线	76
4.4 太阳能的合理利用	87
4.5 农村小水电、风能、空气能（空气源热泵）的合理利用	91
4.6 政策支持和保障措施	94
第5章 农村建筑节能适宜性技术	100
5.1 建筑本体节能技术	100
5.2 传统用能设备改进技术	124
5.3 新能源利用技术	144
第6章 农村建筑节能最佳实践案例	181
6.1 宁夏银川碱富桥村低能耗草砖住宅示范项目	181
6.2 河北丰宁满族自治县云雾山村生物质压块供暖示范村	190
6.3 内蒙古阿鲁科尔沁旗特大型生物天然气与有机肥循环化综合利用项目	198
6.4 四川省北川羌族自治县石椅村基于生物质清洁燃烧技术的生态示范村	205
6.5 四川省凉山彝族自治州摩梭家园洼夸村传统民居试点工程	214
6.6 广西南宁市大林新村示范项目	221
附录 《民用建筑能耗标准》（报批稿）摘录	233

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。2014 年,我国城镇人口达到 7.5 亿,城镇居民户数从 1.55 亿户增长到 2.64 亿户;农村人口 6.2 亿,农村居民户数从 1.93 亿户降低到 1.60 亿户,城镇化率从 2001 年的 37.7%增长到 2014 年的 55%,如图 1-1 所示。

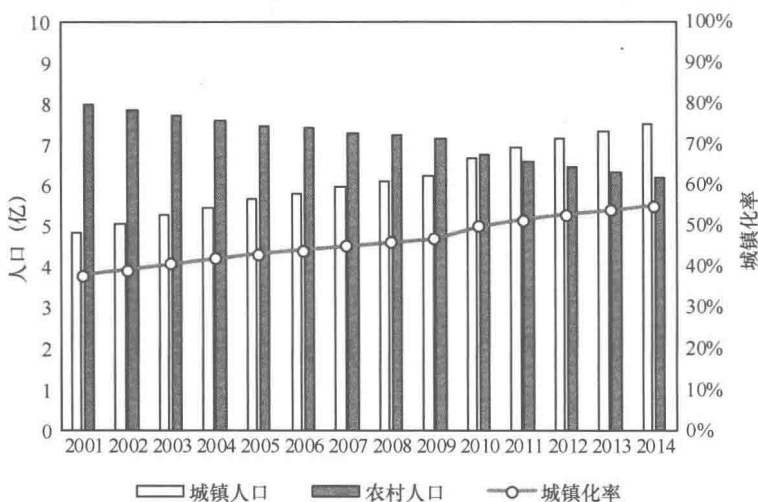


图 1-1 中国逐年人口发展 (2001~2014 年)^①

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 2014 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 ,2014 年新建建筑竣工面积达到 28.9 亿 m^2 ,如图 1-2 所示。新建建筑中,

^① 数据来源:中国统计年鉴 2015。

住宅建筑的比例约为 75%，公共建筑占 25%。在新建公共建筑中，办公建筑所占比例最大，约为 34%，教育类建筑占 19%，其余类型公共建筑约为 47%。

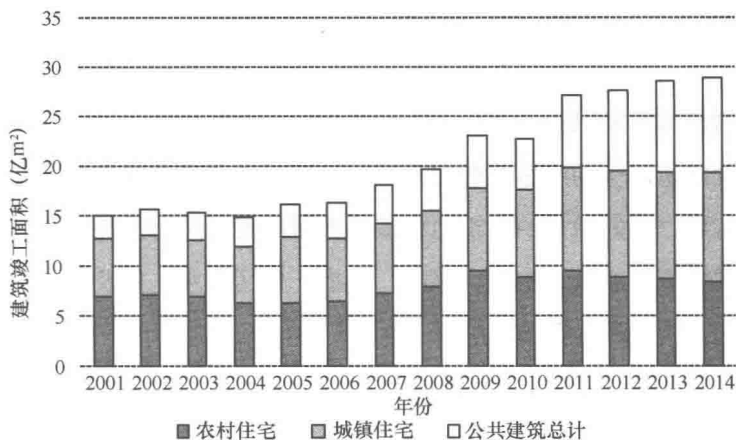


图 1-2 中国各类民用建筑竣工面积 (2001~2014 年)①

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，2014 年我国建筑面积总量约 561 亿 m^2 ，如图 1-3 所示。其中：城镇住宅建筑面积达到 213 亿 m^2 ，

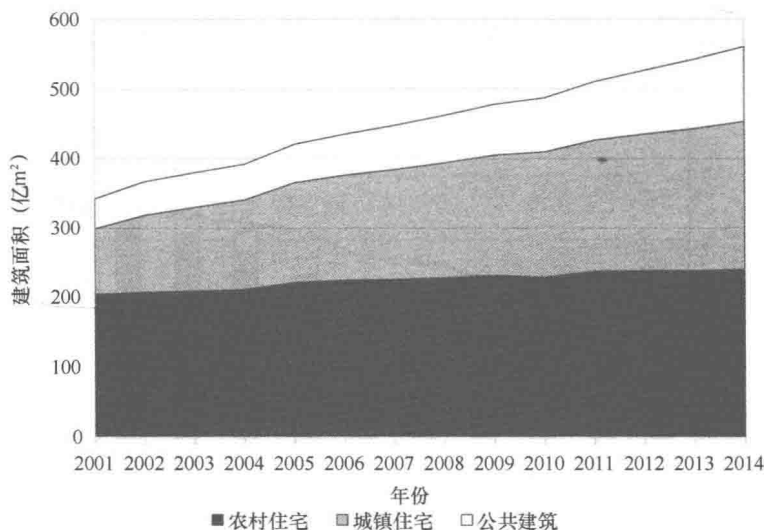


图 1-3 中国建筑面积 (2001~2014 年)②

① 数据来源：中国统计年鉴 2015。

② 数据来源：清华大学建筑节能研究中心估算结果，推算方法详见本章参考文献 [1]。

农村住宅建筑面积 241 亿 m^2 ，公共建筑面积 107 亿 m^2 ，北方集中供热城镇建筑面积 126 亿 m^2 。与此同时，2015 年已开工未竣工的建筑面积约为 120 亿 m^2 ，照此估计在 2020 年之前形成的建筑规模将达到 700 亿 m^2 左右。

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：一方面建设规模的持续增长都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也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带来大量的建筑运行能耗，即在民用建筑中为使用者提供供暖、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。

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。建筑业建造能耗不仅包括民用建筑的建造能耗，还包括各类型的建筑项目和交通运输、环保水利、能源动力等基础设施项目，房屋、公路、铁路、大坝的建设均涵盖在建筑业的范围内。清华大学建筑节能研究中心对建筑业建造能耗进行了估算^①，根据初步估算，2004~2013 年的 10 年间，建筑业建造能耗从 4 亿 tce 翻了一番多，2013 年已超过 10 亿 tce，占全社会一次能源消耗的比例高达 24.5%，如图 1-4 所示。建筑业建造能耗中 93%

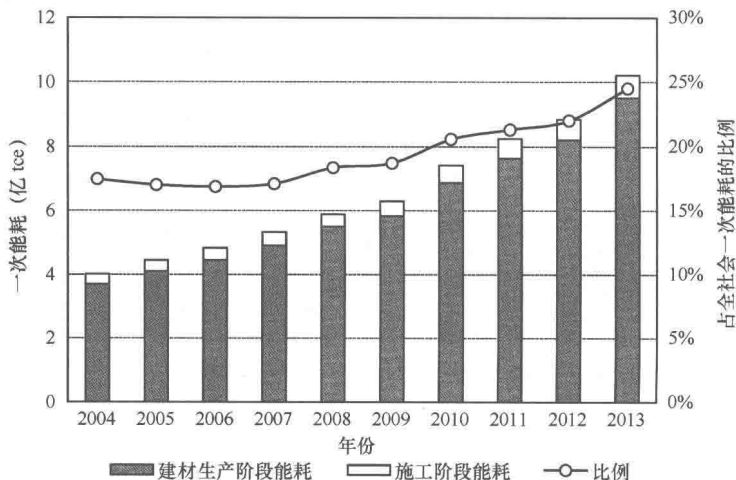


图 1-4 建筑业建造能耗（2004~2013 年）

① 估算方法详见本章参考文献 [2]。

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，同时也会消耗巨大的水资源。

建筑业建造能耗中建筑的建造能耗是主要的部分，约占总量的 63%，而基础设施的建造能耗为 37%，说明目前我国的城镇化进行中建筑建造过程的能耗超过了基础设施的建造能耗（图 1-5）。2013 年，新建建筑的建造能耗约占全社会总一次能源消耗的 16%。

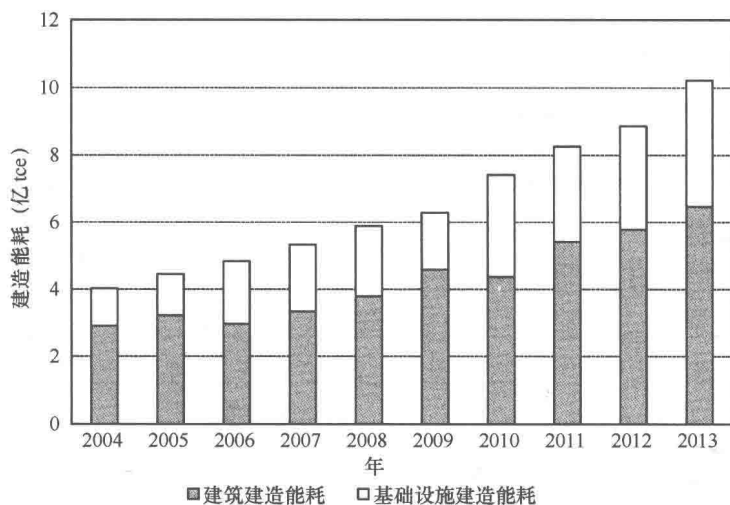


图 1-5 建筑建造能耗和基础设施建造能耗（2004~2013 年）

大规模的新建建筑一方面驱动建筑材料的生产，消耗了大量能源、水资源，对环境造成影响，同时也会占用大量的土地资源，建设用地和耕地高邻接度的空间格局以及城市在空间上的摊饼式发展，对耕地保护形成了巨大冲击，导致耕地日益萎缩^[3,4]。2012 年，国家批准建设用地 61.52 万 hm^2 ，其中转为建设用地的农用地 42.91 万 hm^2 ，耕地 25.94 万 hm^2 ^[5]。

当前新建建筑面积逐年攀升，与依靠房地产拉动 GDP 的经济增长模式密切相关。地方政府为刺激经济发展，为房屋建设创造了有利条件；而开发商为获取商业利益，更期望扩大房地产市场；投资者将房产作为投资和资产保值手段，更促进了房屋的建设，刺激房价升高。2013 年，全国商品房平均售价 6237 元/ m^2 ，对 GDP 贡献达 12.6 万亿元，接近我国 GDP 总量 15%；如果按照平均造价和装修价约 3000 元/ m^2 估算，共计形成建筑业和建材业产值约 6.1 万亿元，地产增值约为 6.5

万亿元。

这样的发展模式会导致房价持续上涨,1999~2013年的15年间全国平均楼价增长了约2倍,如图1-6所示。但将住房作为投资渠道,导致城市中大量房屋资源空置,根据西南财经大学于2012年的调研^[6],全国城镇地区约有5000万套住宅空置,可供1.5亿人居住,这无疑是对社会资源的巨大浪费。除了居住建筑外,一些企业、地产商所建的超面积的办公用房、大量“广场”“中心”,实质并非从实际使用的角度来进行规模合理地设计和建造,而是能多建则多建,但实际上建筑并未完全使用,大量面积空置,商业运营的“广场”“中心”在目前的出租率下并不能收益,主要是因为这些业主将建筑作为保值和升值的手段。在这样的发展模式下,全国甚至出现了大量的“鬼城”,整片区域的住宅和商业建筑全部空置,无人居住。

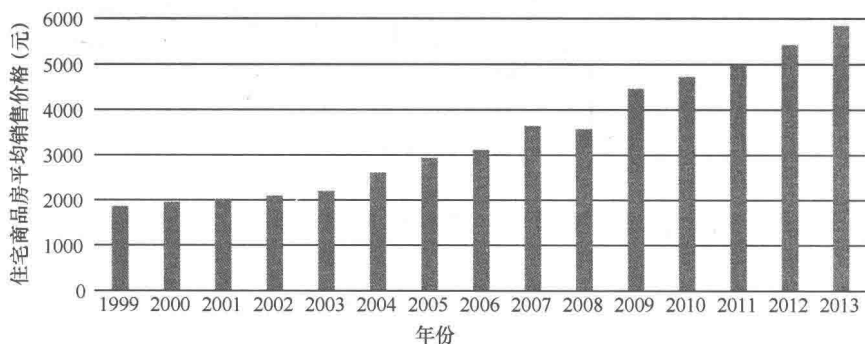


图 1-6 全国房价增长情况^①

从宏观经济社会发展的角度,将投资房产作为收益最大的投资渠道,会扰乱金融秩序,影响经济的健康发展。投资住房2008~2013年的平均收益率高达15%,而2015年投资国债五年年化收益仅为5.32%,投资股市的平均收益仅为7%^[7]。高额的房产投资收益率使得资金大量流入房地产建筑业,从而导致创新企业和中小企业融资困难。另一方面,随着经济的发展,居民收入持续增长,但除房屋之外的支出并没有增长,也就是说增长的收入都被用来凑首付、还房贷,而除房屋外的消费需求受到抑制,严重影响了教育、文化和其他服务业的发展。

① 数据来源:《中国统计年鉴》。