

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

2012



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 2012

2012 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 2012/清华大学建筑节能研究中心 著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 2

(中国城市科学研究系列报告)

ISBN 978-7-112-14063-3

I. ①中… II. ①清… III. ①建筑-节能-研究报告-中国-2012 IV. ①TU111.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 026789 号

责任编辑: 齐庆梅

责任设计: 赵明霞

责任校对: 党 蕾 刘 钰

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 2012

2012 Annual Report on China Building Energy Efficiency

清华大学建筑节能研究中心 著

*

中国建筑工程工业出版社出版、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

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 295 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

定价: 46.00 元

ISBN 978-7-112-14063-3

(22111)

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 2012》

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 寻震中 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2章, 第3章)

杨旭东 (第2章, 第3章)

杨 秀 (第1章)

张声远 (第1章)

魏庆芃 (1.4.2)

肖 贺 (1.4.2)

单 明 (第2章, 3.1, 3.5, 3.6, 4.1.1, 4.2.3, 5.1, 5.11)

杨 铭 (3.3, 4.1.1, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.2, 5.9)

王鹏苏 (3.2, 3.3, 4.3.4)

李沁笛 (3.4, 5.7)

续宇鹏 (5.3)

杨彩青 (2.3)

特邀作者

大连理工大学

陈 滨, 张雪研, 朱佳音, 索 健 (4.1.2, 4.2.2, 5.10)

华南理工大学

赵立华, 金 玲, 高云飞, 贾佳一 (4.1.3, 5.8)

中国建筑西南设计研究院

冯 雅 (4.1.3)

北京化工大学

刘广青, 陈晓夫, 张伟豪 (4.2.1, 4.3.5)

北京市可持续发展促进会

章永杰, 叶建东 (4.3.1, 4.3.3)

清华大学

李定凯 (4.3.4, 4.3.5)

南京林业大学

张齐生, 周建斌 (4.3.6)

农业部沼气科学研究所

马诗淳, 李 强 (4.3.7)

中国农业大学

李里特, 肖若福 (4.3.8)

哈尔滨工业大学

金 虹 (5.2)

西安建筑科技大学

刘加平, 杨 柳, 刘艳峰, 成 辉 (5.4, 5.5, 5.6)

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、住房和城乡建设部、国家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 2010 年确定的计划，今年的建筑节能年度发展研究报告的主题是农村住宅节能。

一个月前（2011 年 12 月 28 日）中央农村工作会议在京召开，温家宝总理针对目前新农村建设工作中的问题指出：社会主义新农村建设是贯穿我国现代化建设全过程的一项重大任务。目前我国最大的发展差距仍然是城乡差距，最大的结构性问题仍然是城乡二元结构。城镇化的快速发展，为解决好“三农”问题创造了有利条件，但并不会自然带来农村面貌的较快改变。要全面推进农村各项建设，建设好农民幸福生活的美好家园。农村建设应保持农村的特点，有利于农民生产生活，保持田园风光和良好生态环境。不能把城镇的居民小区照搬到农村去，赶农民上楼。要长期坚持把国家基础设施建设的重点放到农村。建设部门要加强对村庄规划和农村建房的指导，提高农村民居设计和建设水平。

这段讲话是我们开展新农村建设的指导思想，也是农村住宅节能工作的总纲。“社会主义新农村建设是贯穿我国现代化建设全过程的一项重大任务”，这就是新农村建设的重大意义。尽管改革开放是三十年前以小岗村的土地承包制为标志而开始，但是这些年在高速城镇化进程和飞速经济发展中，我们是不是有些把农村的问题遗忘了呢？“我国最大的发展差距仍然是城乡差距，最大的结构性问题仍然是城乡二元结构”。只有全面解决农村文明建设、文化生活、经济发展问题，才能真正实现几代人向往的中华民族的现代化。然而农村各项建设和发展的基础是村落、房屋和基础设施的建设。“建设好农民幸福生活的美好家园”是实现农村现代化的基础。然而，按照什么样的蓝图建设新农村呢？近年来，随着新农村建设的兴起，也随着城镇房地产业发展对土地的渴求，不少地方开始“农村城镇化”，农民住进住宅小区，坐公交车去农田干活；家庭养殖、手工业加工等依赖于农副产品的生产活动也都“集中化”、“公司化”。随之而来的就是生活用能的大幅度增长和传统的生物质能源迅速被燃煤、燃气等商品能源所替代。居住方式的改变将带来生产、生活和文化活动的全面改变。而这应该是我们所期待的未来中国农村的景色吗？“农村

建设应保持农村的特点,有利于农民生产生活,保持田园风光和良好生态环境。不能把城镇的居民小区照搬到农村去,赶农民上楼”。温总理作了清晰的表态。我国的人口、土地、资源和地理条件的特点决定了我国农村未来的发展模式。我们决不能套用城镇建设的发展模式来建设新农村,同样,也不能套用城市建筑节能的方法来解决农村住宅节能问题,必须根据农村的土地、资源、环境特点和由农民生产与生活方式决定的居住模式之特点,来规划、发展相适应的农村生活用能系统,来实现农村的建筑节能。我们在近三十年的城市发展建设过程中走过了太多的弯路,得到了太多的经验与教训,现在来谈城市的“低碳、生态、绿色”改造都有数不清的困难、障碍。相比之下农村还几乎是一张白纸,一片待开发的处女地。农村的生产、生活模式和由此决定的居住模式,农村的各类资源状况,可能更适合于实现“低碳、生态、绿色”。我们为何不能利用这难得的时机,从一开始建设起就将其作为主要目标,“保持田园风光和良好生态环境”,而避免先“城镇化”进楼,然后面对诸多的困难再去改造、去“低碳”?

但就能源问题而言,我们发现目前农村住宅用商品能源(主要是燃煤、电力、燃气)总量已达到城镇建筑用商品能源的三分之一,而且正在以每年超过10%的速度增长,同时,农村过去长期广泛使用的生物质能正在逐年减少。如果农宅的室内环境和用能模式都达到城市住宅标准,则农村住宅用能甚至有可能超过目前的城市建筑用能总量。这将使我国出现严重的能源紧缺问题。反之,目前倡导的各种解决能源问题的途径:发展太阳能等可再生能源,深度开发和利用生物质能源,强化建筑的节能改造等,在城市建筑中实施都有各种各样的困难,而在农村却往往有着得天独厚的条件!从单位资金投入可以期待获得的节能减排量来看,目前农村住宅和能源系统的改造可以获得2~3倍于城市的节能减排收益。那么我们为什么不能加强对农村住宅节能的关注,把建筑节能的战场拓展到农村,至少把农村的建筑节能看成与城市的建筑节能工作同样重要呢?这是我们通过近年来研究所得到的新认识。

深入认识一个事物是对其开展深入研究并得到有益成果的基础。农村住宅节能的研究也只能建立在全面深入调查的基础上。为此,近年来清华大学在农业部和其他有关部门的支持下,组织了几百名学生利用假期对全国各地农村开展了全面的调查,同时也组织队伍对一些典型案例进行测试和专题研究。本书的第2章就是这些调查研究的汇总。本书的所有研究和结论也都是建立在这些调查数据基础之上的。

本书的第3章是我们对中国农村的能源系统和农村居住建筑节能的认识及未来

发展模式的思辨。从农村资源、环境特点、生产与生活方式特点的分析出发,我们提出在北方农村应发展“无煤村”、在南方农村应发展“生态村”,并具体给出实施这一目标的技术、政策及机制。这应该是完全可行的方案。相比目前在城市建设开发和能源领域的开发中动辄几千亿的资金投入,实现“无煤村”、“生态村”不仅在投入/节能减排中占有很大优势,而且还可以显著改善农村的生态环境,大幅度提高农民的实际生活水平,大幅度缩小目前的城乡差别。这不正是我们这一代人现在的追求和梦想所在吗?

按照已经确定的架构,本书第4章介绍建立农村的新能源系统和实现农村的建筑节能相关的关键技术,第5章介绍一些成功的和有特色的工程案例。我们发现这是一件很困难的工作。与城市建筑节能的技术成果和实施案例相比,适合农村的技术,在农村得到成功示范的工程项目都要少得多,信息收集起来也困难得多。这也从一个侧面反映出我国目前在城乡建筑节能方面研究、推进和发展中的不平衡。需要更多的人关注农村建筑节能问题,需要更多的社会资源投入到农村建筑节能中,需要听到更多的关于农村建筑节能的声音。这两章的内容中很多是由长年坚持在农村建筑节能工作第一线的研究者所提供和编写。对他们为了中国新农村建设长期艰苦卓绝和富有创新的工作深表钦佩,也感谢他们对本书热情和无私的支持。尽管如此,由于我们的研究工作和资料搜集工作有限,这里所给出的节能技术和工程案例只能说是具有代表性的和有典型意义的,但不能说是最好的。一定还有许多非常好的技术没有被编入第4章中,也一定有很多出色的成功工程案例没有写入第5章。然而,从编入本书的技术和工程案例也已经能够说明,北方农村“无煤村”、南方农村“生态村”的目标在技术、经济上都是可行的,是可操作、可实现的,让我们一起努力吧。

本书是由清华大学建筑节能研究中心的杨旭东教授主持完成。他设计了全书的框架,撰写了第3章的主要内容,并对全书做了多次全面修订,倾注了大量心血。杨旭东教授1999年在美国MIT获得博士学位,并作为终身副教授应邀在美国迈阿密大学开创建筑环境与建筑技术课程与研究方向。2005年作为清华大学百人计划的学者和教育部“长江学者”特聘教授应邀回国工作。面对众多经费充裕、前景诱人的科研项目,他毅然选择了农村建筑节能。从那时候起,他搭起研究队伍,投入了自己一半以上的时间,跑遍北京郊区、东北农村、四川抗震前线、闽西山区、云贵高原,开展了全面普查,建立了农村建筑节能实验基地,在深入的科学研究和工程实践的基础上,对我国农村建筑节能和新能源系统的建设开始产生新的认识和构

想。真希望有更多的研究志愿者能投入到这一可以大有作为的广阔天地中。

杨秀博士仍然继续她对中国建筑能耗模型的研究，并如同往年一样完成了本书第1章的撰写。对她的高质量工作特别表示感谢。全书的总体编辑和整理是由胡姗同学完成。这是她第一次参加这项工作，半年来投入巨大的精力，终于圆满地完成了任务，为此也向她表示祝贺和感谢。

最后，感谢美国能源基金会对本书最佳实践案例研究与调查测试工作的大力支持。当然，还要感谢中国建筑工业出版社齐庆梅编辑对本书一如既往的支持。她在很短的时间内高质量地完成了本书的编辑出版工作，保证了本书如期与读者见面。

江亿

2012年1月31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 中国建筑节能现状	2
1.1 能耗现状分析	2
1.2 建筑能耗的特点与节能途径	11
1.3 “十一五”建筑节能工作进展	19
1.4 建筑用能出现的新变化	35

第 2 篇 农村住宅节能专题

第 2 章 农村住宅用能状况分析	50
2.1 农村相关概念界定	50
2.2 农村住宅能源消费总量及结构	52
2.3 农村住宅室内环境状况	59
2.4 北方采暖用能	67
2.5 南方采暖用能	77
2.6 炊事用能	81
2.7 照明用能	84
2.8 其他家电用能	86
2.9 小结	87

第3章 农村住宅用能可持续理念及发展模式探究	89
3.1 我国农村的特点	89
3.2 农宅建筑形式的传承发展和可再生能源利用原则	93
3.3 发展目标和对策	110
3.4 农村住宅对国家建筑节能及低碳发展的影响	119
3.5 财政支持与政策保障	125
3.6 总结和展望	131
第4章 农村住宅节能技术讨论	136
4.1 建筑本体节能技术	136
4.2 典型农村采暖用能设备	147
4.3 新能源利用技术	161
第5章 农村住宅节能最佳实践案例	192
5.1 北京市农宅节能改造示范	192
5.2 黑龙江省生态草板房	199
5.3 秦皇岛市低能耗村落示范	205
5.4 西部新型窑居示范项目	210
5.5 青海省太阳能采暖示范工程	218
5.6 四川地震灾后重建生态民居示范项目	226
5.7 福建土楼建筑群	232
5.8 潮汕爬狮农村住宅演变	239
5.9 太阳能空气采暖系统在北方农宅中的应用	247
5.10 辽宁省“四位一体”生态模式实践案例简介	253
5.11 四川省低碳生态示范村项目	257

第 1 篇 中国建筑能耗现状分析

第1章 中国建筑节能现状

1.1 能耗现状分析

1.1.1 建筑能耗的总体情况

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采暖用能、城镇住宅用能（不包括北方地区的采暖）、公共建筑用能（不包括北方地区的采暖），以及农村住宅用能四类。

（1）北方城镇采暖用能

指的是采取集中供热方式的省、自治区和直辖市的冬季采暖能耗，包括各种形式的集中采暖和分散采暖。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、新疆和西藏的全部城镇地区，以及四川的一部分。

将该部分用能单独考虑的原因是，北方城镇地区的采暖多为集中采暖，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，这部分采暖用能以住宅小区、城市区域等多楼栋多户集体为主，不适宜和其他建筑用能一样，以楼栋或者以户为单位来进行计算与研究。

按热源系统形式的不同、规模大小和能源种类分类，包括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、热泵集中供热等集中采暖方式,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。本章研究集中采暖系统的热电联产系统或锅炉与供热相关的一次煤耗,即包括了热源和热力站损失、管网损失和建筑得热量。

(2) 城镇住宅用能(不包括北方地区的采暖)

指的是除了北方地区的采暖能耗外,城镇住宅所消耗的能源。从终端用能途径上,包括家用电器、空调、照明、炊事、生活热水,以及夏热冬冷地区^①的省、自治区和直辖市的冬季采暖能耗。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采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采暖方式,以及炭火盆^②、电热毯、电手炉等各种形式的局部加热方式。

(3) 公共建筑用能(不包括北方地区的采暖)

指除了北方地区的采暖能耗外,公共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,以及夏热冬冷地区的省、自治区和直辖市公共建筑的冬季采暖能耗。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。从终端用能途径上,包括炊事、采暖、降温、照明、热水、家电。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)。其中的生物质能耗不纳入国家能源宏观统计,本书中将其单独列出。

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^③,分析我国建筑能

① 在本书的计算过程中,夏热冬冷地区包括上海、安徽、江苏、浙江、江西、湖南、湖北、四川、重庆,以及福建等省市。

② 炭火盆能耗为非商品能耗,不纳入国家能源宏观统计,本书中提到的建筑能耗不包括这一部分。

③ 模型构架基于清华大学博士学位论文《基于能耗数据的中国建筑节能问题研究》,杨秀,2009年12月;基础数据基于统计数据进行了更新。其中2008~2010年的建筑面积为估算数据。

耗现状和 1996~2010 年的逐年变化。

如表 1-1 所示, 2010 年建筑总能耗(不含生物质能)为 6.77 亿 tce^①, 占全国总能耗的 20.9%^②; 建筑商品能耗和生物质能共计 8.16 亿 tce。建筑总面积为 453 亿 m², 单位面积的建筑能耗为 14.5kgce/m²。从建筑能耗的变化来看, 1996~2010 年间, 建筑面积迅速增长, 建筑能耗强度缓中有升, 两方面因素造成建筑能耗总量持续增加, 如图 1-1、图 1-2 所示。

中国 2010 年建筑能耗

表 1-1

用能分类	建筑面积	商 品 能 耗				生物质能	总能耗 (含生物质能)
		电	非电 商品能	总商品能耗 (不含生物质能)	单位面积 商品能耗		
单位	亿 m ²	亿 kWh	万 tce	万 tce	kgce/m ²	万 tce	万 tce
北方城镇采暖	98	74	16090	16330	16.6	—	16330
城镇住宅 (除北方采暖)	144	3820	4230	16360	11.4	—	16360
公共建筑 (除北方采暖)	79	4200	4020	17370	22.1	—	17370
农村住宅	230 ^③	1360	13370	17690	7.7	13860	31550
合 计	453	9450	37700	67750	14.5	13860	81610

1.1.2 四个用能分类的能耗情况

图 1-3 给出 2010 年四个建筑用能分类的能耗总量、建筑面积和能耗强度。

① 本篇采用发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发电煤耗把电力换算为标煤。其中, 2010 年的系数为 1kWh=0.318kgce。

② 2010 年的中国能耗总量为 32.49 亿 tce, 数据来源于中国统计年鉴 2011 表 7-2。

③ 中国统计年鉴中缺乏农村住宅面积数据, CBEM 中的农村住宅面积由乡村人口数(中国统计年鉴 2011, 表 3-1)与农村人均住房面积(中国统计年鉴 2011, 表 10-36)相乘获得。该方法算得 2010 年农村住宅面积为 230 亿 m², 与《中国城乡建设统计年鉴 2011》中的 2010 年农村住宅面积(242 亿 m²)相比, 误差为 5%。

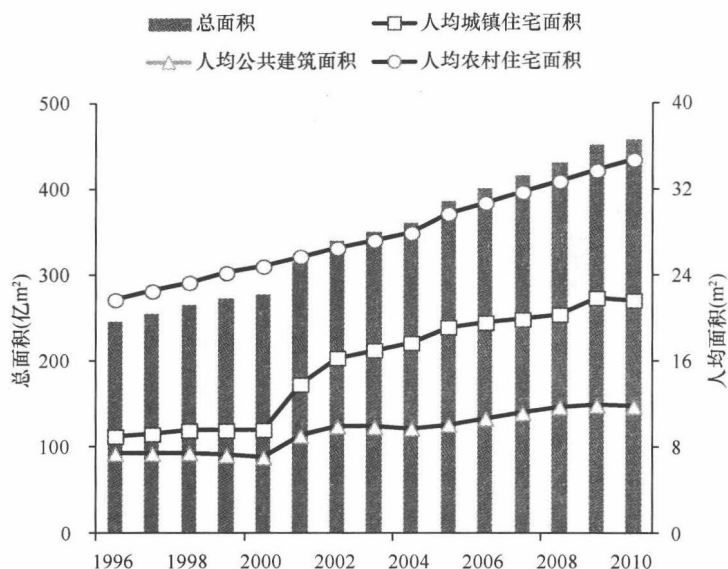


图 1-1 1996~2010 年建筑面积的逐年变化

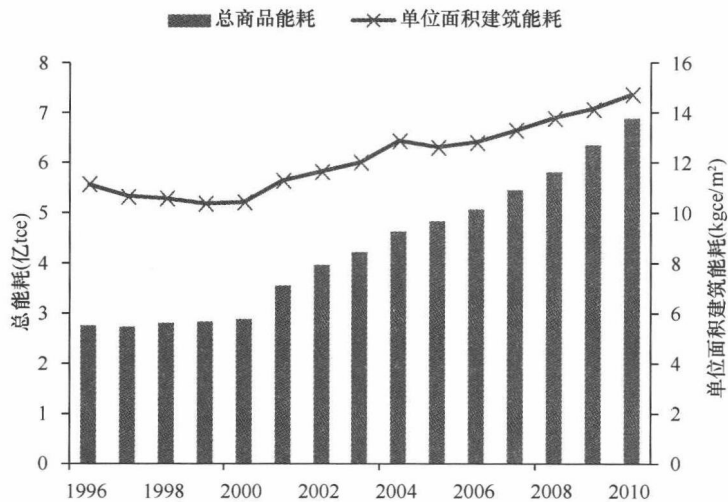


图 1-2 1996~2010 年建筑总能耗和能耗强度的逐年变化

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。

从能耗强度来看，四类用能有显著差别，公共建筑（不含北方采暖）是最高的用能分类，达 22.1kgce/m^2 ，接近城镇住宅（不含北方采暖）的 2 倍，而农村住宅的商品能耗强度最低，仅为 7.7kgce/m^2 （然而，如果将农村地区的生物质能计入的话，其能耗强度可达 13.7kgce/m^2 ）。