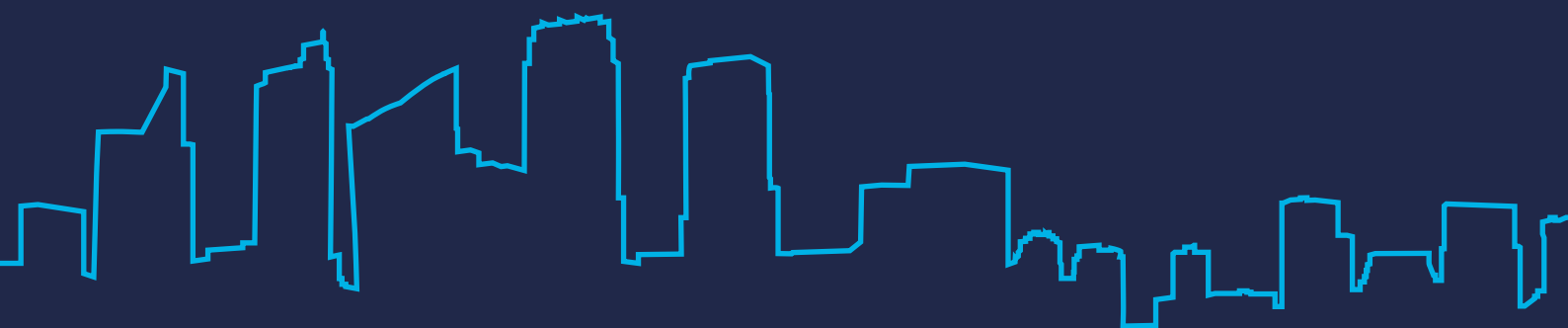


建筑领域煤炭（电力） 消费总量控制研究

住房和城乡建设部科技发展促进中心



中国煤炭消费总量控制方案和政策研究 (中国煤控项目)

中国是世界煤炭生产和消费第一大国。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但同时也对生态环境造成了严重的破坏。尤其是 2012 年以来反复出现的全国性大面积重度雾霾，严重威胁了公众的身体健康。为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染，国际环保机构自然资源保护协会 (Natural Resources Defense Council, NRDC) 作为课题协调单位，与包括政府智库、科研院所和行业协会等 20 多家有影响力的机构合作，于 2013 年 10 月共同启动了“中国煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目（中国煤控项目），为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，促使煤炭消费量在 2020 年前达到峰值，帮助中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标。了解更多详情，请登录 www.nrdc.cn/coalcap。

系列报告

- 《基于煤炭消费总量控制的煤炭行业可持续发展研究》
- 《中国能源转型和煤炭消费总量控制下的金融政策研究》
- 《煤炭消费减量化对公众健康的影响和可避免成本》
- 《煤炭消费总量控制的就业影响》
- 《煤炭消费总量控制的财税政策研究》
- 《水泥行业煤炭消费总量控制方案及政策研究》
- 《电力行业煤炭消费总量控制方案和政策研究》
- 《中国能源统计系统改革的几点建议》
- 《2012 煤炭的真实成本》
- 《中国 2012 年能流图和煤流图编制及能源系统效率研究》
- 《煤炭使用对中国大气污染的贡献》

请前往中国煤控项目网站下载



自然资源保护协会 (NRDC) 是一家国际非营利非政府环保机构，拥有逾 140 万会员及支持者。自 1970 年成立以来，以环境律师、科学家及环保专家为主力的 NRDC 员工们一直为保护自然资源、公共健康及环境而进行不懈努力。NRDC 在美国、中国、加拿大、墨西哥、智利、哥斯达黎加、欧盟、印度等国家及地区开展工作。请登录网站了解更多详情 www.nrdc.cn。

本报告与 WWF 合作完成：



世界自然基金会 (WWF) 是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环保组织之一。拥有全世界将近 500 万支持者和一个在一百多个国家活跃着的网络。WWF 的使命是遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。为此我们致力于：保护世界生物多样性；确保可再生自然资源的可持续利用；推动降低污染和减少浪费性消费的行动。

目 录

1. 引言	4
中国建筑节能工作面临的形势和存在的问题	
民用建筑现状	
民用建筑能耗现状	
小结	
2. 中国民用建筑能耗协整模型	12
民用建筑总能耗的协整模型	
民用建筑领域电力消耗的协整模型	
民用建筑领域天然气消耗的协整模型	
民用建筑领域煤炭消耗的协整模型	
小结	
3. 中国民用建筑能耗情景分析和节能成本曲线	17
情景分析	
建筑节能技术成本曲线	
4. 政策建议	25
实施建筑领域能源消费总量控制	
建筑节能工作的绿色低碳发展战略	
创新建筑节能的体制机制	
扩大宣传培训提高全社会节能意识	



近年来经济的高速发展带动了中国能源消费持续增长，2013 年末，中国能源消费总量达 37.5 亿吨标煤，其中煤炭消费总量 24.75 亿吨，占能源消费总量的 66%，温室气体排放达 60 亿吨。做为能源消费大国，中国的能源结构清洁化、低碳化水平低。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但同时也对生态环境造成了严重的破坏。煤炭产能远远超过科学产能规模，造成地下水污染、生态破坏，化石能源利用带来酸雨、粉尘、烟尘等多种污染，以及雾霾问题。尤其是 2012 年以来反复出现的全国性大面积重度雾霾，严重威胁了公众的身体健康。

在当前经济社会发展日益受到能源和环境制约的大背景下，节能减排、低碳发展已成为全社会关注的焦点和工作的重点。为此，“十二五”规划纲、大气污染防治行动计划、能源发展战略行动计划（2014-2020 年）等均明确提出了能源消费总量控制目标、煤炭消费总量控制目标、碳排放峰值等强制约束指标，这些约束性指标必将分解至工业、建筑、交通三大用能领域，在建筑领域将有效推动了各级政府加快推进节能工作，建筑节能工作将面临全新的发展机遇和发展环境。

中国正处在城镇化的快速发展时期，建筑总量持续增长，2012 年，中国民用建筑面积达 558 亿平方米，其中居住建筑面积约 473 亿平方米，公共建筑面积约 85 亿平方米，民用建筑能耗（商品能）已达 7.5 亿吨标准煤。

在煤炭总量控制情景下，建筑领域的煤炭消耗将在2020年达到峰值，峰值为2.45亿吨标煤

未来，随着城镇化发展、生活水平提高、农村用能商品化等将使建筑规模、建筑能耗持续增加。能耗的持续增长，将在一定程度上加剧了环境污染状况。特别是中国北方采暖地区，冬季采暖期燃煤量大、管理粗放，导致北方地区冬季空气质量下降明显。

通过深入研究中国建筑领域煤炭（电力）消费的历史趋势、影响因素等，构建了民用建筑能耗的协整模型，对不同情景下的中国民用建筑能耗需求进行了预测。在煤炭总量控制情景下，建筑领域的煤炭消耗将在2020年达到峰值，峰值为2.45亿吨标煤。

为实现上述目标，未来中国建筑领域应实施能源消费总量控制，节能政策由建设向运行延伸，确定基于建筑能耗总量控制的长期目标，并制定分阶段的具体控制目标和实施路线；加强国家统筹协调，完善建筑节能法律法规，建立激励扶持机制，创新建筑节能工作机制，完善考核体系。应制定建筑领域新能源和可再生能源行动计划，加快太阳能、沼气能、空气源、地源能和生物能等新能源的开发利用，优化城镇建筑能源供给结构，并将农村作为太阳能应用的重点，发展以生物质、可再生能源为主、辅之以电力的农村能源系统，实现到2020年可再生能源在建筑领域消费比例在15%以上。以绿色、低能耗建筑为核心和导向，推进绿色建筑全面发展，由单体向园区、城区扩展，扩大低能耗建筑试点示范，促进建筑领域的生态文明建设。实施建筑节能技术创新专项行动，以绿色建筑、公共建筑节能、可再生能源建筑应用等为重点领域加快节能关键技术研发。倡导人们行为节能等多种举措，最终实现民用建筑能耗的可持续发展。



引言

中国建筑节能工作面临的形势和存在的问题

面临的形势

(1) 未来国家能源资源环境面临的压力迫使节能工作必须转变工作方式，设定量化控制目标

近年来中国能源消费持续增长，年均增速超过 8%。2013 年末，中国能源消费总量达 37.5 亿吨标煤，其中煤炭消费总量 24.75 亿吨，占能源消费总量的 66%，温室气体排放达 60 亿吨。做为能源消费大国，中国的能源结构清洁化、低碳化水平低。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但同时也对生态环境造成了严重的破坏。煤炭产能远远超过科学产能规模，造成地下水污染、生态破坏，化石能源利用带来酸雨、粉尘、烟尘等多种污染，以及雾霾问题。尤其是 2012 年以来反复出现的全国性大面积重度雾霾，严重威胁了公众的身体健康。

为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染。中国提出了国家能源发展总体规划、大气污染防治行动计划，设定了未来全社会的能源（煤炭）总量目标。为此，建筑领域的能源消费也应设定相应的总量控制目标。

(2) 城镇化快速发展为建筑节能工作提出了更高要求

中国正处在城镇化的快速发展时期，2013 年末，中国城镇化率为 53.7%，未来仍将保持每年 0.8% 的增长趋势。城镇化快速发展使新建建筑规模仍将持续大幅增加。“十二五”期间，全国城镇每年房屋新竣工面积达到 23~25 亿平方米，按“十二五”期间每年新建建筑面积推算，到 2030 年，城镇民用建筑总量将达到 600 亿平方米，城镇化快速发展直接带来对能源、资源的更多需求。2012 年末中国建筑能耗总量（商品能）达到 7.5 亿吨标准煤，“十一五”、“十二五”期间，中国建筑能耗年均增长约 5%，按照这一增加速度推算，到 2030 年，中国建筑能耗总量将达 11~12 亿吨标准煤。建筑能耗的持续增长，将在一定程度上加剧了环境污染状况。特别是中国

城镇化快速发展直接带来对能源、资源的更多需求



北方采暖地区，冬季采暖期燃煤量大、管理粗放，导致北方地区冬季大气污染严重、空气质量下降明显。

(3) 农村建筑用能的现代化、商品化、清洁化需求为建筑节能工作提供了更多的发展空间

农村地区具有建筑节能和绿色建筑发展的广阔空间。“十二五”期间，全国农村每年新竣工房屋建筑面积超过 10 亿平方米，按“十二五”期间每年农村新建建筑面积推算，到 2030 年，中国农村民用建筑总量将达到 220 亿平方米。2012 年末，中国农村地区建筑能耗为 1.6 亿吨标煤。此外，还有大量未纳入统计的的初级生物质能（薪柴、秸秆、沼气等）。目前，农村地区中大量劣质煤炭、初级生物质能被用于建筑终端消费，能效低、污染严重，不利于节能减排，因此农村建筑的用能结构、清洁化、低碳化发展还有巨大的优化空间。

农村建筑的用能结构、清洁化、低碳化发展还有巨大的优化空间

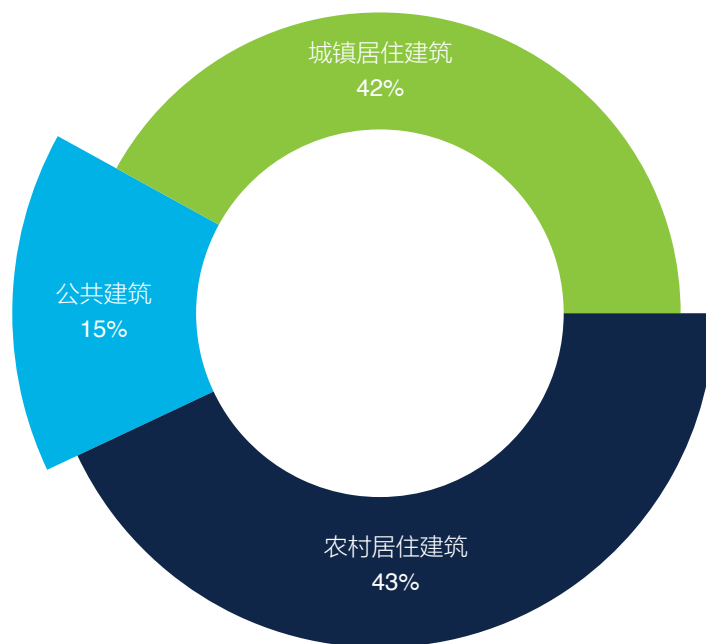
存在的问题

三十年来，中国建筑节能工作紧紧围绕新建建筑节能、既有居住建筑节能改造、大型公建节能监管与改造、可再生能源利用、绿色建筑推进等方面做了大量、深入而细致的工作，但仍存在一些问题。一是建筑用能总量控制目标缺失。总量控制目标缺失，导致在建筑节能的具体工作中仍具有一定的盲目性，无法实现量化考核制度。二是建筑领域的节能量数据无法反映真实情况。三是节能工作以政府主导为主，市场机制缺失，资金渠道单一。四是节能的管理与控制主要针对城镇新建建筑，尚未实现对建筑运行阶段能耗的有效监管，尚未将农村新建建筑纳入监管。

民用建筑现状

近年来，经济的快速发展和城镇化进程的加快，人民生活水平的不断提高，特别是城乡居民住房条件大幅改善，使得对房屋建筑的需求急剧增加，极大地带动了建筑业的快速发展。2012年中国建筑总量已经达到了558亿 m^2 ，其中城镇居住建筑234.3亿 m^2 ，农村居住建筑面积238.2亿 m^2 ，城乡公共建筑面积85.6亿 m^2 ，分别占全国民用建筑总量的42%、43%和15%（图1-1）。需要特别指出的是，公共建筑面积增长快速，由2012年的34.7亿 m^2 迅速增长到2012年的85.6亿，年均增长9%。同时，高耗能的大型公共建筑（建筑面积在2万 m^2 以上）占公共建筑面积的比例持续上升，由2006年的4.7%增加到了2012年的11.8%。¹

图 1-1 2012 年末中国各类民用建筑比例



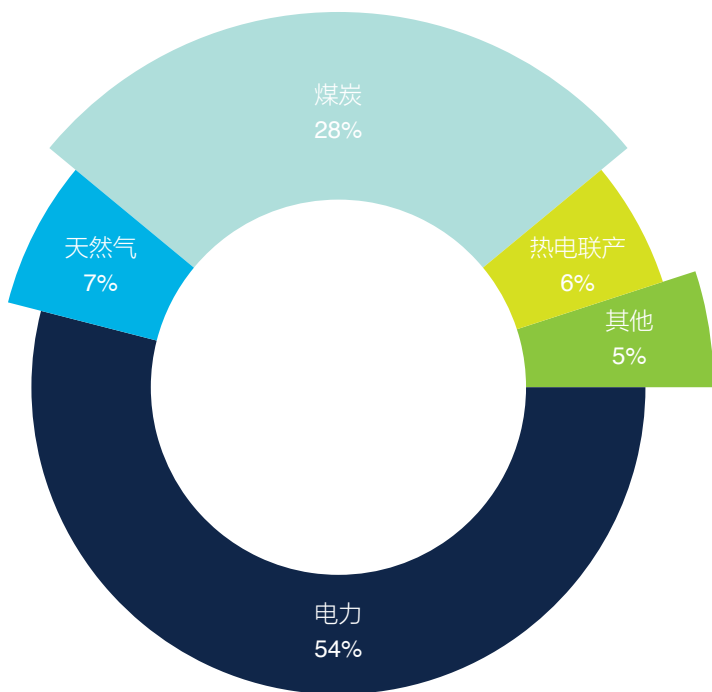
1. 大型公共建筑面积住房和城乡建设部从2006年开始统计



民用建筑能耗现状

2012 年民用建筑能耗达到 7.5 亿吨标准煤（商品能，不含传统生物质能及农村地区未纳入统计的散煤），约占全社会终端总能耗的 21%。建筑用能几乎涉及到全部的能源品种，如电、煤炭、热力、煤气、燃气、油品等，其中电力、煤炭和天然气三种能源是民用建筑能源消费的最主要品种，民用建筑电力消费为 11910 亿 kWh（折合标准煤 4 亿吨），煤炭消费 2.6 亿吨标准煤（含热电联产），天然气消费 5530 万吨标煤，三者之和占民用建筑能耗总量的 95% 以上。

图 1-2 2012 年民用建筑能耗消费能源结构



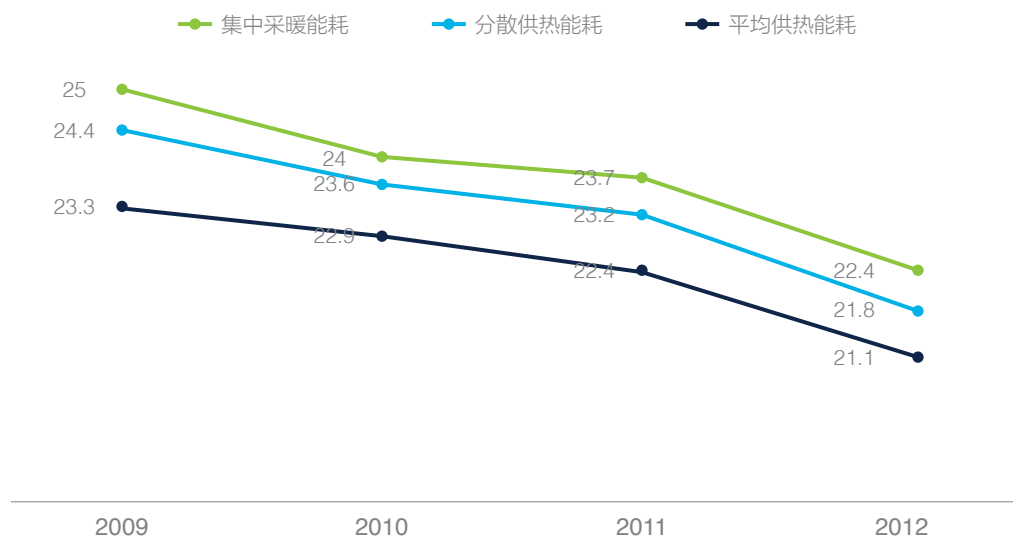
从 2009-2012 年民用建筑各类能源消耗情况来看，电力消费持续增长，由 2009 年的 8816 亿 kWh 增长到 2012 年的 11910 亿 kWh，占比由 50% 提高至 54%；煤炭消耗量基本保持在 2.6 亿吨标煤（含热电联产供热），占比有所下降，由 2009 年的 39% 降低到 2012 年的 34%。

民用建筑能耗还可按照城乡、用途、建筑类型等进行了细分。2012 年末，中国城镇采暖能耗（集中、分散）2.3 亿吨标煤，城镇居住建筑除采暖能耗 1.7 亿吨标煤，公共建筑除采暖能耗 1.9 亿吨标煤，农村建筑能耗 1.6 亿吨标煤，分别占民用建筑能耗总量的 30.7%、22.7%、25.3% 和 21.3%。

城镇采暖能耗

中国的严寒、寒冷地区，冬季气候高寒、昼夜温差大、低温天气持续时间长，建筑物必须设置供热设施，供热方式可以分为集中（热电联产、区域锅炉房等）和分散。2012 年末，严寒、寒冷地区城镇民用建筑面积 100 亿平方米，其中集中供热面积 60 亿平方米。城镇集中式供热能耗和分散式供热能耗均逐年下降，平均供热能耗由 2009 年的 24.4kgce/m² 下降至 2012 年的 21.8kgce/m²，这从一个侧面充分体现了中国建筑节能的成效。

图 1-3 北方地区城镇单位面积平均供热能耗





中国的煤炭资源主要分布在北方地区，且价格低廉，这形成了该地区以燃煤供热为主的情况，冬季燃煤给北方地区的大气环境造成了严重污染。随着人们对于生态环境给予了更多的关注，北方城市不断致力于改变目前的现状，供热能源结构正在发生变化，高效的热电联产、区域集中供热逐步取代了小型、分散燃煤锅，以气、电为能源的供热面积逐年增加，供热能源结构渐趋合理。

对相关统计数据的结果分析可以得出，热电联产占城镇采暖能耗比重从 2009 年的 12.2% 上升到 2012 年的 18.2%；燃气锅炉、壁挂炉等以燃气为能源的供热方式比例也在增长，占采暖能耗比重由 2009 年的 13.4% 增长到 17.2%；而燃煤供热占比不断较小，占采暖能耗比重由 2009 年的 71% 下降到 2012 年的 60.2%。

燃煤供热占比不断较小，占采暖能耗比重由 2009 年的 71% 下降到 2012 年的 60.2%

城镇居住建筑除采暖能耗

2009-2012 年居住建筑能耗由 1.44 亿吨标煤增长到 1.64 亿吨标煤，年均增长 4.4%。城镇居住建筑单位建筑面积能耗略有降低，由 2009 年的 7.15kgce/m² 下降到 2012 年的 7kgce/m²。电力、天然气是城镇居住建筑中最主要的能源形式，二者之和占城镇居住建筑能源消耗总量 90% 以上，而煤炭消耗量仅占 0.2%。

城镇公共建筑除采暖能耗

2009-2012 年公共建筑能耗由 1.37 亿吨标煤增长到 1.88 亿吨标煤，年均增长 11.1%，单位建筑面积能耗由 2009 年的 26.73kgce/m² 降到 2012 年的 22.86kgce/m²，但近两年几乎没有变化。

公共建筑能源消耗中以电力为主，2012 年公共建筑能耗中电力占比达 94.2%，而煤炭消耗仅占到 0.1%。

农村建筑能耗

2009-2012 年农村建筑能耗（商品能）由 1.27 亿吨标煤增长到 1.6 亿吨标煤，年均增长 10%。农村建筑用能结构与城镇建筑明显不同，虽然电

力和其他能源的比例逐年增长，但农村建筑用能中仍以煤炭为主，2012年农村建筑能耗中电力、煤炭在总量中所占的比例分别为41%和44%。对于农村建筑来说，大量煤炭被用于终端消费，能效低、污染严重，不利于节能减排，因此农村建筑的用能结构还有很大的优化空间。

小结

未来民用建筑能耗的巨大需求将会对中国的能源供应、资源环境形成巨大压力

虽然中国民用建筑能耗总量巨大，但人均民用建筑能耗却相当低。2012年中国人均民用建筑能耗仅为0.35吨标准油，是美国人均能耗的1/5，OECD国家平均人均能耗的1/3，甚至低于世界平均水平0.42吨标准油。这些数字表明，在中国，人们的居住条件、居住环境、公共设施、公共服务一直处于较低水平，这种低水平是以人们牺牲了生活的便利、舒适为代价的。未来，随着中国经济社会的发展，人们对生活质量的要求将不断提高，目前这种民用建筑能耗的状态必然发生改变。未来民用建筑能耗的巨大需求将会对中国的能源供应、资源环境形成巨大压力，对全社会的节能减排工作至关重要，意义重大，甚至可以说，关系到未来中国节能减排工作的成败。

2

中国民用建筑
能耗协整模型

通过研究中国建筑领域煤炭（电力）消费的历史趋势、影响因素等，构建基于协整理论的民用建筑能耗（煤炭、电力）的预测模型和误差修正模型，定量分析民用建筑能耗（煤炭、电力）与国内生产总值、第三产业增加值、城乡居民家庭年生活消费支出、民用建筑总量、万元国内生产总值能耗和城镇化率等影响因素间的长期动态均衡和短期波动关系。

民用建筑总能耗的 协整模型

根据计量经济学的研究方法，将民用建筑能耗作为因变量（或被解释变量），各影响因素作为自变量（或解释变量）建立协整模型。经分析，民用建筑能耗（LBEC）的最优解释变量为国内生产总值（LGDP）、城乡居民家庭年生活消费支出（LEX）、年末实有民用建筑总量（LTBS）、万元国内生产总值能耗（LPGE），具体方程如下，该方程反映了民用建筑能耗与各解释变量间弹性（年变化速度）关系：

$$LBEC = 0.1455LGDP + 0.4806LEX + 0.3852LTBS + 0.8994LPGE + 1.2498 + \hat{\mu}_t$$

上式表明了民用建筑能耗（LBEC）与国内生产总值（LGDP）、城乡居民家庭年生活消费支出（LEX）、年末实有民用建筑总量（LTBS）、万元国内生产总值能耗（LPGE）间的长期均衡关系。式中所有变量的系数均具有经济意义。协整模型中对民用建筑能耗（LBEC）影响最为显著的变量是万元 GDP 能耗，它每变化 1%，会引起民用建筑能耗总量同向变化约 0.9%；其次是城乡居民家庭年生活消费支出（LPEX）和年末实有民用建筑总量（LTBS），它们每变化 1%，则分别会引起民用建筑能耗总量同向变化 0.48% 和 0.39%；国内生产总值（LGDP）的贡献率相对较小，它每变化 1%，会引起民用建筑能耗总量变化 0.15%。



民用建筑领域电力消耗的协整模型

经分析，民用建筑电力消耗（LP）的最优解释变量为万元国内生产总值能耗（LPGE）、第三产业增加值（LTI）、城乡居民家庭年生活消费性支出（LEX）、年末实有民用建筑总量（LTBS），具体方程如下，该方程反映了民用建筑能耗与各解释变量间弹性（年变化速度）关系：

$$LP = 0.3430LPGE + 0.8411LTBS + 0.4925LTI + 0.2393LEX - 4.9373 + \hat{\mu}_t$$

上式表明民用建筑电力消费（LP）与万元国内生产总值能耗（LPGE）、第三产业增加值（LTI）、居民年生活消费支出（LEX）、年末实有民用建筑总量（LTBS）间的长期均衡关系。式中所有变量的系数均具有经济意义。协整模型中对民用建筑电力消费（LP）影响最为显著的变量是年末实有民用建筑总量（LTBS），它每变化 1%，则会引起电力消费量同向变化约 0.84%；其次是第三产业增加值，它每变化 1%，会引起电力消费量同向变化约 0.49%；再次是万元 GDP 能耗（LPGE），它每变化 1%，则会引起电力消费量同向变化约 0.34%；居民年生活消费支出（LEX）贡献率较小，它每变化 1%，会引起电力消费量变化 0.24%。

民用建筑领域天然气消耗的协整模型

经分析，民用建筑天然气消耗（LNG）的最优解释变量为 LGDP（国内生产总值）、LTBS（年末实有民用建筑总量）。具体方程如下，该方程

反映了民用建筑天然气消费与各解释变量间弹性（年变化速度）关系：

$$LNG = 0.8617LGDP + 0.6751LTBS - 6.1585 + \hat{\mu}_t$$

上式表明民用建筑天然气消费（LNG）与国内生产总值（LGDP）、年末实有民用建筑总量（LTBS）间的长期均衡关系。式中所有变量的系数均具有经济意义。协整模型中对民用建筑电力消费（LNG）影响最为显著的变量是国内生产总值（LGDP），它每变化1%，则会引起民用建筑能耗总量同向变化约0.86%；其次是年末实有民用建筑总量（LTBS），它每变化1%，会引起天然气消费量同向变化约0.68%。

民用建筑领域煤炭消耗的协整模型

经分析，民用建筑煤炭消耗（LCO）的最优解释变量为国内生产总值（LGDP）、万元国内生产总值能耗（LPGE）、年末实有民用建筑总量（LTBS）。具体方程如下，该方程反映了民用建筑煤炭消费与各解释变量间弹性（年变化速度）关系：

$$LCO = 0.0366LGDP + 0.1700LPGE + 0.3097LTBS + 8.3843 + \hat{\mu}_t$$

上式表明民用建筑煤炭消费（LCO）与国内生产总值（LGDP）、万元国内生产总值能耗（LPGE）、年末实有民用建筑总量（LTBS）间的长期均衡关系。式中所有变量的系数均具有经济意义。协整模型中对民用建筑煤炭消费（LCO）影响最为显著的变量是年末实有民用建筑总量（LTBS），它每变化1%，则会引起煤炭消费量同向变化约0.31%；其次是万元GDP能耗（LPGE），它每变化1%，会引起煤炭消费量同向变化约0.17%；国内生产总值（LGDP）贡献率较小，它每变化1%，会引起电力消费量变化0.04%，几乎可以忽略。



小结

通过构建中国民用建筑能耗的预测模型可以得出，随着中国经济社会的高速发展、城乡居民生活消费支出的不断增加、城乡居民居住条件的进一步改善、民用建筑总量的持续增长对民用建筑能耗的增长影响巨大。按照中国政府提出的未来国民经济和社会发展目标，中国的民用建筑能耗在未来的一段时期内仍将保持一定的增长速度。

3

中国民用建筑能耗情景
分析和节能成本曲线



通过对上章中的协整模型中各解释变量的变化趋势进行分析，设定不同增长速度，可形成三种发展情景，基准情景、政策情景、煤控情景，在三种发展情景下研究未来中国民用建筑能耗的需求。基于情景分析的结果，综合考虑中国建筑节能三十年来的工作成果，研究提出实现政策、煤控情景的建筑节能发展目标及可能实现的节煤、节电量。

情景分析

基准情景

根据中国目前的社会经济情况、发展速度，技术水平，设定了一个基准情景，即设定预测模型中各变量（GDP、民用建筑总量、居民年消费支出、城镇化、万元 GDP 能耗）的基准发展速度。基准情景（BAU）反映了未来的可能变化趋势。

表 3-1 基准情景下 2020-2050 年中国建筑能耗需求预测
(万吨标煤)

能耗需求预测	2020	2030	2040	2050
电力	53952.85	68226.14	71337.18	72675.25
天然气	8212.56	14946.18	22707.17	29493.73
煤炭	26733.94	27674.9	28131.02	28096.42
民用建筑能耗总计	88899.35	110847.22	122175.37	130265.4

政策情景

政策情景是指未来中国建筑领域将采取更为积极的规划政策、财政政策、技术措施，控制民用建筑总量的增速，控制民用建筑能耗增速。

表 3-2 政策情景下 2020-2050 年中国建筑领域能耗需求预测
(万吨标煤)

能耗需求预测	2020	2030	2040	2050
电力	52574.36	67126.17	68391.33	67304.95
天然气	7625.45	12880.98	18057.85	21703.62
煤炭	26102.42	26171.66	25624.65	24823.84
民用建筑能耗总计	86302.23	106178.81	112073.83	113832.41

煤控情景

当前，中国煤炭的消费引起了严重的环境和生态问题，公众健康受到损害。为此，我们以政策情景为基础，提出了对煤炭消费严格控制的煤控情景。煤控情景是指在未来污染物总量目标约束下，建筑领域最大可能达到的煤炭消费量情景，即建筑领域的煤炭消费应在 2020 年达到峰值，之后逐年下降。

表 3-3 煤控情景下 2020-2050 年中国建筑领域能耗需求预测
(万吨标煤)

能耗需求预测	2020	2030	2040	2050
电力	52574.36	67126.17	68391.33	67304.95
天然气	9227.87	15552.64	23682.5	31527.46
煤炭	24500	23500	20000	15000
民用建筑能耗总计	86302.23	106178.81	112073.83	113832.41

建筑节能技术成本曲线

中国建筑节能三十年取得了巨大成就，特别是“十二五”期间，建筑节能工作迅猛发展，积累了丰富的经验。本研究与中国建筑节能领域的权威研究人员、节能服务公司、建筑企业开展合作，通过对中国建筑节能工作中的成功案例、技术经济资料进行收集整理，选取其中应用广泛、技术成熟的节能技术进行了成本效益研究，研究估算每种技术的最大节能潜力，并绘制了每项建筑节能技术的成本曲线。研究的最终目的是向政策制定者和节能企业提供一份的量化分析报告，帮助决策者找出可行的建筑节能技术方案。

表 3-4 基准、煤控情景下的主要技术

建筑类型	基准情景	煤控情景
北方采暖地区新建居住建筑	65% 节能标准，小范围示范的可再生能源应用、节能照明(节能灯)	75% 节能标准，被动式低能耗房屋，一定面积比例的可再生能源(热泵、光热、光伏)供热系统控制、高效照明(LED)
其他地区新建居住建筑	50%、65% 节能设计标准	全面执行 65% 节能标准且达到二星级绿色建筑，有条件的地区执行更高标准(75%)
北方采暖地区既有居住建筑节能改造	按照 50% 节能标准节能改造	按照 65% 节能标准节能改造
新建公共建筑	50% 节能标准	按照 65% 节能标准且达到二星级绿色建筑，高效光源(LED)、高效空调机组、可再生能源(热泵、光伏、光热)、智能控制
既有公共建筑节能改造		高于 20% 节能率，高效光源(LED)、高效空调机组、可再生能源(热泵、光伏、光热)、智能控制

中国建筑总能耗可以控制在约 10.6 亿吨标煤，其中煤炭消费控制约 2.35 亿吨标煤以内

两种情景下的主要节能技术

节能技术成本分析中，考虑到当前环境问题更为突出，因此我们选取了两个情景进行研究。两个情景分别是：基准情景和煤控情景。

研究表明，按照目前的经济社会发展速度（基准情景），到 2030 年中国建筑能耗将达到 11.1 亿吨标准煤，如果采取强有力的节能减排政策措施（煤控情景），中国建筑总能耗可以控制在约 10.6 亿吨标煤，其中煤炭消费控制约 2.35 亿吨标煤以内。在基准情景和煤控情景下的主要技术见表 2。

节能技术成本曲线

通过调研收集的大量建筑节能案例，对案例的技术方案进行了汇总分析，估算了各项技术的单位面积增量成本、单位面积最大节能潜力。本文中的节能技术成本是指技术单位面积增量成本与单位面积节能量的比值。即节能成本 = 技术增量成本 / 节能量，记为

$$\text{节能成本 } CCE = \frac{\Delta C}{\Delta E} \quad [1]-[3]$$

单位面积增量成本中包括投资、运营、围护费用，不包括节能产生的费用节约、税费以及补贴等。此外，我们代入折现率来反映投资时间成本，折现率采用环保项目的社会平均折现率 4.5%。

成本和节能量都应按下式折算至年，

$$A = P \left(\frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \right)$$

其中 A 是初始投资年付款，P 是总初始投资，i 是社会平均折现率，n 是节能技术的寿命。本研究中用增量成本代替绝对成本。各种节能技术的单位成本及单位节能量汇总见下表 3-1、2。

我们按成本最低到最高对节能技术进行排序，并绘制了建筑节能技术成本曲线（图 3-1、2）。节能成本曲线反映出各项技术的节能潜力上限以及实施这些技术的真实要素成本。

对建筑节能节能成本进行分析可以发现，就目前的建筑节能技术而言，高性能外围护结构技术、高效照明、运行管理节能是低成本高效率的节能手段，而更高性能的外围护结构技术、可再生能源建筑应用（如光伏、地源热泵、空气源热泵等）则成本相对较高。从世界范围来看，建筑节能技

术进步和成本降低预期比较明确,在今后十年间,还有较大的成本下降空间,随着这些技术更为成熟且在建筑领域的大规模使用,其单位成本有可能达到与高性能围护结构技术、高效照明等成本持平的水平。

到 2030 年,通过实施各项节能工程可实现节煤约 1.3 亿吨,节电约 3000 亿 kwh。要实现减排情景中的巨大节能潜力需要相当可观的新增投资。我们估算实现全部节能潜力共需增量投资约 3.6 万亿元。

表 3-5 建筑节能节煤技术措施及成本

建筑类型	具体技术措施	新增建筑面积 (亿 m ²)	节能目标	完成面积 (亿 m ²)	单位面积节能量 kgce/m ² a	节能率	单位面积增量成本 元/m ²	项目寿命期	年投资额(元)	节能成本 (元/kgce)	到 2030 年节能量(万吨 tce)
北方城镇节能 75% 以上的新建居住建筑	更高性能外围护结构	16.35	75% 节能标准	16.35	5	10%	150	40	¥8.15	¥1.63	817.5
城镇新建居住建筑	高性能围护结构、可再生能源	164.81	绿色建筑(二星级)	135.87	5	15%	70	40	¥3.80	¥0.76	6793.5
城镇新建公共建筑	高性能围护结构	49	绿色建筑(二星级)	36.75	2.5	15%	136	40	¥7.39	¥2.96	918.75
北方既有居住建筑节能改造	外围护结构,室内热平衡	—	节能 50%	30	15	20%	150	30	¥9.21	¥0.61	4500
既有公共建筑节能改造	采暖-空气源热泵	—	—	10	1.8	3.40%	21.0	10	¥2.65	¥1.47	180

注:表格中绿色建筑(二星级)的成本数据、节能量数据来自文献资料[4][5][6],既有居住建筑节能改造成本、节能量来自住建部既有居住建筑节能改造管理办公室,公共建筑节能改造成本、节能量来自上海碳素能源服务有限公司、中通服节能技术服务公司的实际改造案例。

表 3-6 建筑节能节电技术措施及成本

建筑类型	具体技术措施	新增建筑面积（亿 m ² ）	节能目标	完成面积（亿 m ² ）	单位面积节能量 kwh/m ² a	节能率	单位面积面积增量成本 /m ²	项目寿命期	年投资额（元）	CCE（元/kwh）	到 2030 年节能量（亿 kwh）
北方城镇新建居住建筑	公共区域高效照明、太阳能热水	—	绿色建筑（二星级）	49.05	15	10%	70	40	¥3.80	¥0.25	735.8
其他地区新建居住建筑	公共区域高效光源、太阳能热水、可再生能源	115.76	绿色建筑（二星级）	86.82	15	10%	70	40	¥3.80	¥0.25	1302.3
城镇新建公共建筑	公共区域高效光源、高效空调机组、太阳能热水、可再生能源、智能控制	49	绿色建筑（二星级）	36.75	15	10%	136	40	¥7.39	¥0.49	551.3
既有公共建筑节能改造	新能源-光伏发电	—	高于 20% 节能率	10	3.6	2.13%	35.0	20	¥2.69	¥0.74	36.3
	电梯变频控制	—		10	2.6	1.54%	3.5	30	¥0.21	¥0.08	26.2
	制冷系统-智能群控系统	—		10	5.2	3.03%	7.0	30	¥0.43	¥0.08	51.5
	高效照明	—		10	20.5	12.05%	14.0	5	¥3.19	¥0.16	205.0
	管理措施及其它	—		10	2.6	1.50%	7.0	30	¥0.43	¥0.17	25.5

注：数据来源同上表。

图 3-1 建筑领域节煤成本曲线

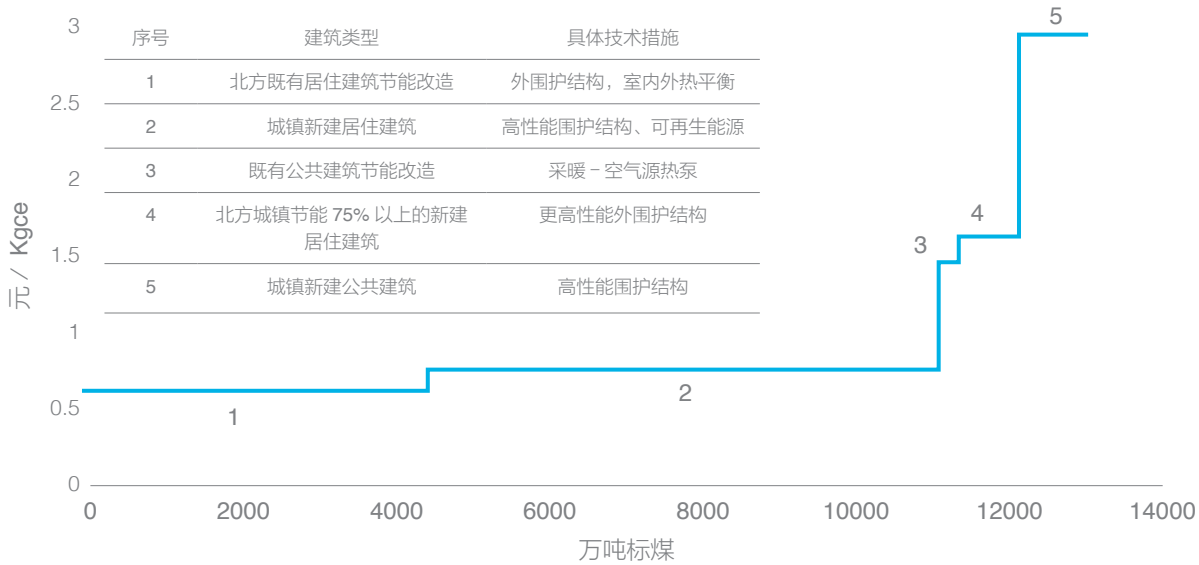
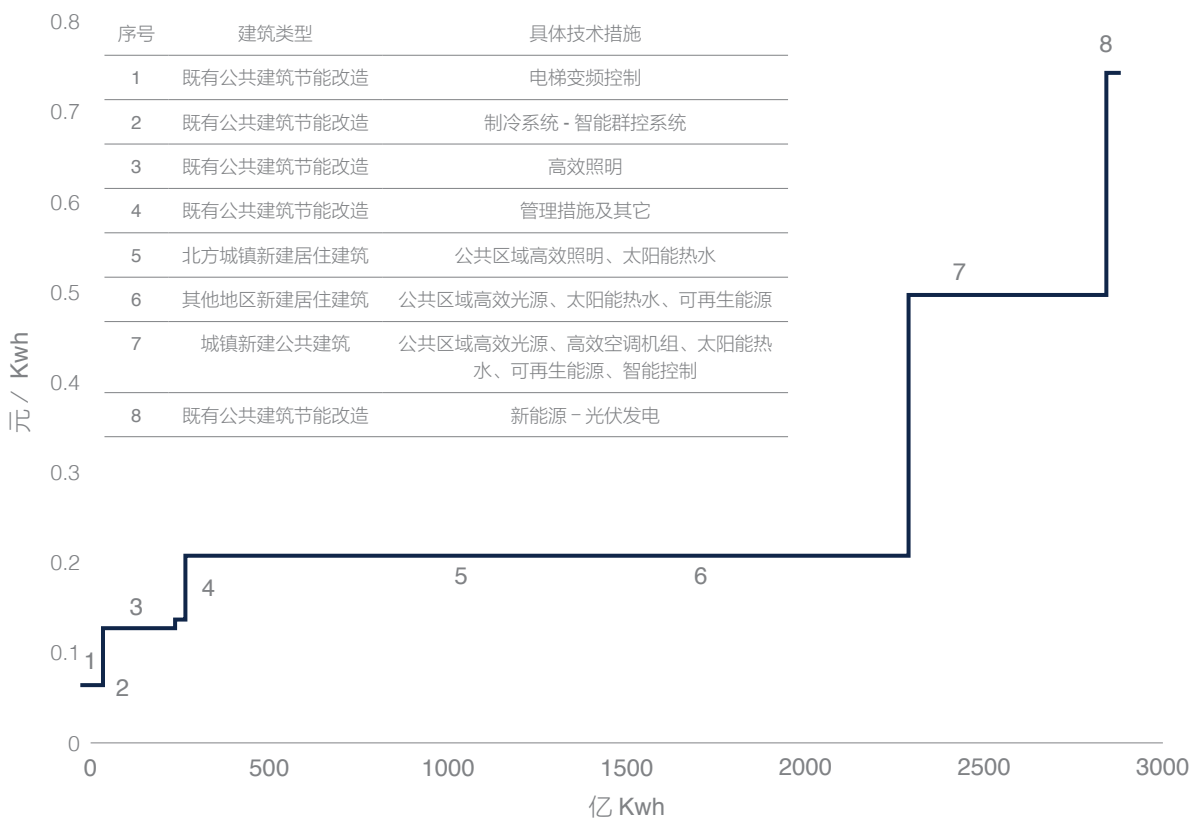


图 3-2 建筑领域节电成本曲线



4

政策建议



实施建筑领域能源消费 总量控制

合理规划促进城镇化健康发展

过去的 30 年是中国的城镇化迅猛发展的时期，2012 年底，中国的城镇化率为 52.57%，城镇化水平已经达到中等收入国家水平，略低于世界平均水平。从数字上看，中国城镇化发展取得了巨大成就，但是数量并不能代表质量，中国城镇化高速发展的同时，暴露出一系列资源、环境等将难以承载的问题，如土地利用效率低，能源利用规划缺乏、用能效率低，水资源再生利用率差，生态环境保障能力不足等。过去 30 年全国城镇化水平每提高 1% 需新增城市建设用地 1004 平方米，新增能耗 6000 万吨标煤，新增城市用水 17 亿立方米，生态环境质量综合指数下降 0.0073。这种粗放式、低效率的城乡建设模式，城镇化发展模式，使中国城镇化进程成为资源环境极度消耗的过程，如果未来得不到根本转变将严重制约中国经济社会的可持续发展。

城镇化率每增长 1%，将引起民用建筑增长 0.9%，相应地将带动民用建筑能耗增长近 0.5%

从民用建筑总量预测结果来看，城镇化率每增长 1%，将引起民用建筑增长 0.9%，相应地将带动民用建筑能耗增长近 0.5%。城镇化进程的加快使得每年新增大量建筑，也将导致民用建筑能耗的增长，可见未来民用建筑能耗增长速度相当可观。为此，“十二五”规划纲要中特别针对城镇化发展提出了具体要求：“优化格局，促进区域协调发展和城镇化健康发展。”目前，中国许多城市正在规划和建设新区，进行新农村建设，应以此为契机引导城镇化发展向低碳、绿色转型，从城镇的总体规划和空间布局、产业结构入手，控制民用建筑总量增长速度。

节能优先与能效提升并重战略

(1) 合理设定建筑能耗总量目标，节能政策由建设向运行延伸

在继续严控新建建筑执行节能标准的基础上，加强建筑物运行阶段能耗管理，真正实现节能建筑的能源节约，实现控制总量控制目标及抑制建筑能耗的快速增长。

（2）实施差别化的区域建筑节能政策

按照差别化原则，结合气候区和区域经济、能源、资源特点，分区控制建筑能源消费总量。在能源资源较丰富、经济欠发达的中西部地区，以提高能效、技术先进、满足舒适度为前提，合理确定建筑能耗总量控制目标，促进经济发展和人民生活水平提高。在经济发达，人口密集、能源资源相对匮乏的东部地区，以低能耗、技术先进、满足舒适度为前提，严格控制建筑能源消费总量，煤炭消费总量，推动以新能源、可再生能源替代常规能源的方式消化建筑能耗需求的增长。

（3）实施建筑能效领跑者计划

完善各类建筑物的建筑能效测评标识制度，定期向社会公布“能效标杆”建筑，鼓励建筑物业主采用先进技术、管理手段等进行节能运行和节能改造。实施建筑领域能效“领跑者”制度（能耗标杆建筑），对建筑物能耗达到更高标准的业主给予补贴、奖励，促使建筑能效达到国际先进水平。对新建建筑以节能标准为依据、绿色建筑标准为参照，各类建筑电气产品能效标准为补充，开展新建建筑设计阶段能效标识制度。对既有建筑以运行环境为依据，建筑物实际能耗为考核，实施既有建筑的建筑能效领跑者制度。

建筑节能工作的绿色低碳 发展战略

进一步提高新建建筑能效

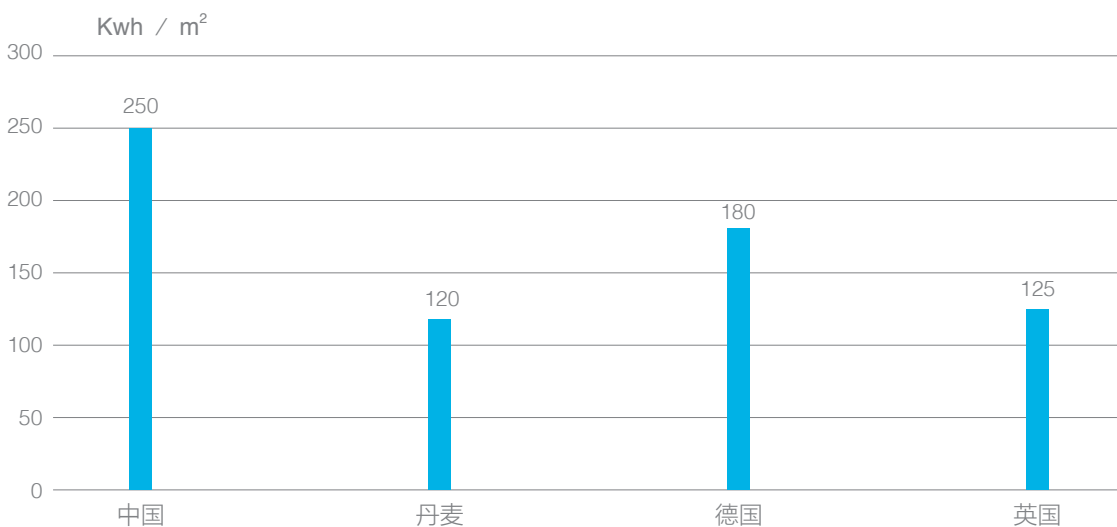
（1）中外建筑节能标准对比

丹麦是世界范围内最早提出建筑节能这一概念的国家，1961年颁布了《建筑规范》（第一版），对建筑节能相关要求进行了具体规定，由于地处北欧，《规范》所指的建筑能耗主要包括建筑物冬季供暖能耗和家用生活热

水能耗。伴随着《规范》50多年来不断提升，其建筑能耗从标准颁布前的200-300Kwh/m²降低到目前的30-50 Kwh/m²。^[7]

中国自1986年起共发布和修订了9部民用建筑节能设计标准，其中居住建筑7部，公共建筑2部。在1986年发布的《民用建筑节能设计标准》(JGJ26-86)是中国第一部民用建筑节能设计标准，该标准适用于严寒寒冷地区的采暖居住建筑，提出了节能30%的节能目标。标准颁布时，中国北方采暖建筑冬季供热标准能耗约为250Kwh/m²。同期，与中国北方地区采暖度日数相近的发达国家其建筑冬季供暖能耗已经降低至120-180 Kwh/m²，中国的供热标准能耗约为发达国家的1.5-2倍。

图 4-1 中国标准起步时期 -- 中外建筑节能标准对比



注：图中能耗指居住建筑冬季供暖标准能耗。数据来自参考文献 [7]。

1995年发布了该标准的修订版《民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》(JGJ26-95)，并将节能目标提高到50%。2010年在此标准的基础上再次修订，并更名为《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ26-2010)，本标准将节能目标提高到65%。针对南方建筑节能的发展状况，中国在2001年发布了《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134-2001)，该标准对夏热冬冷地区居住建筑的建筑热工采暖空调，提出了节

能 50% 的目标。2010 年中国又发布了该标准的修订版《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134-2010)，节能目标仍保持 50%。2003 年中国发布了《夏热冬暖地区居住建筑节能设计标准》(JGJ75-2003)。至此，中国已建立了比较完整的居住建筑节能设计标准体系，为居住建筑设计过程建筑节能技术的应用提供了标准依据。对公共建筑节能领域，公布的设计标准有两部，一是 2005 年 7 月 1 日施行的《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2005)；二是 2004 年 6 月发布，2004 年 12 月 1 日施行的《建筑照明设计标准》(GB50034-2004)。《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2005) 提出了 50% 的节能目标。

20 世纪 70 年代的石油危机促进了建筑节能标准在世界各国的普及发展，发达国家，随着工业能耗逐步降低，建筑能耗为最大社会终端能耗，因此美国、英国、日本等国家不断提升建筑节能标准，其最新版本都于 2013 年颁布。通过标准提升，各国的居住建筑和公共建筑标准能耗都大幅降低。美国中高层居住建筑和公共建筑的标准能耗为 1980 年的 36%，日本居住建筑标准能耗为 1980 年的 40%，公共建筑标准能耗为 1980 年的 75%，丹麦等国家居住建筑供暖和生活热水标准能耗为 1980 年的 50%。德国于 2002 年颁布了新的《建筑节能条例》，目前其外窗传热系数要求为 1.5-1.9 W/ m²K，远高于中国寒冷地区的 1.8-3.1W/ m²K^[7]。

与发达国家比较而言，中国的建筑节能标准起步较晚，修订间隔长，修订次数少。但随着中国建筑节能标准的不断提升，与发达国家的差距正在逐步缩小（图 4-2）。

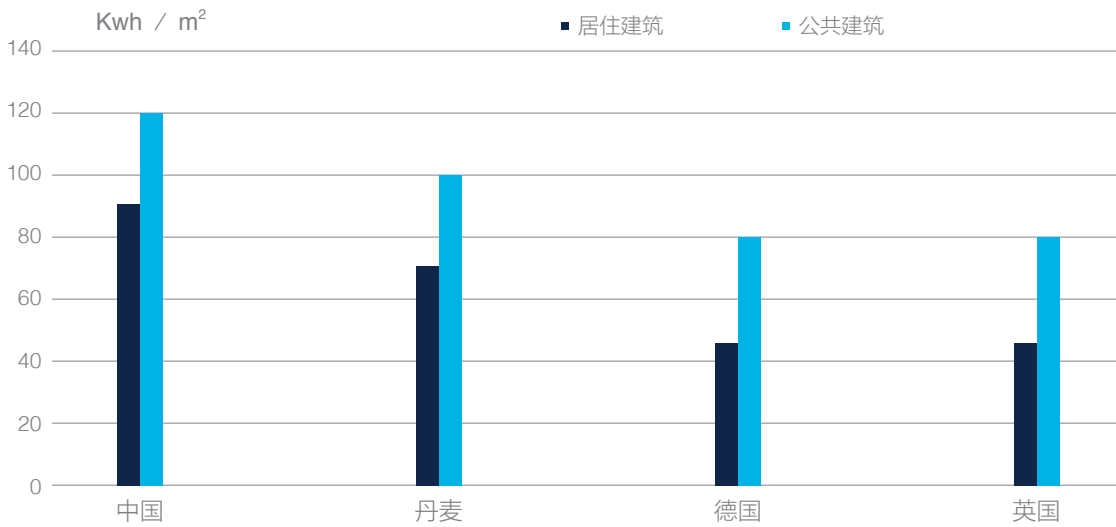
表 4-1 中外建筑节能标准发展历史比对

	中国	丹麦	英国	美国	德国
起始年度	1986 年	1961 年	1965 年	1975 年	1977 年
修订间隔	5-10 年	2 年以上	3 年	3 年	2-10 年
修订次数	1-3 次	7 次	8 次	8 次	8 次

(数据来源：参考文献 [7])



图 4-2 现阶段 -- 中外建筑节能标准能耗比对



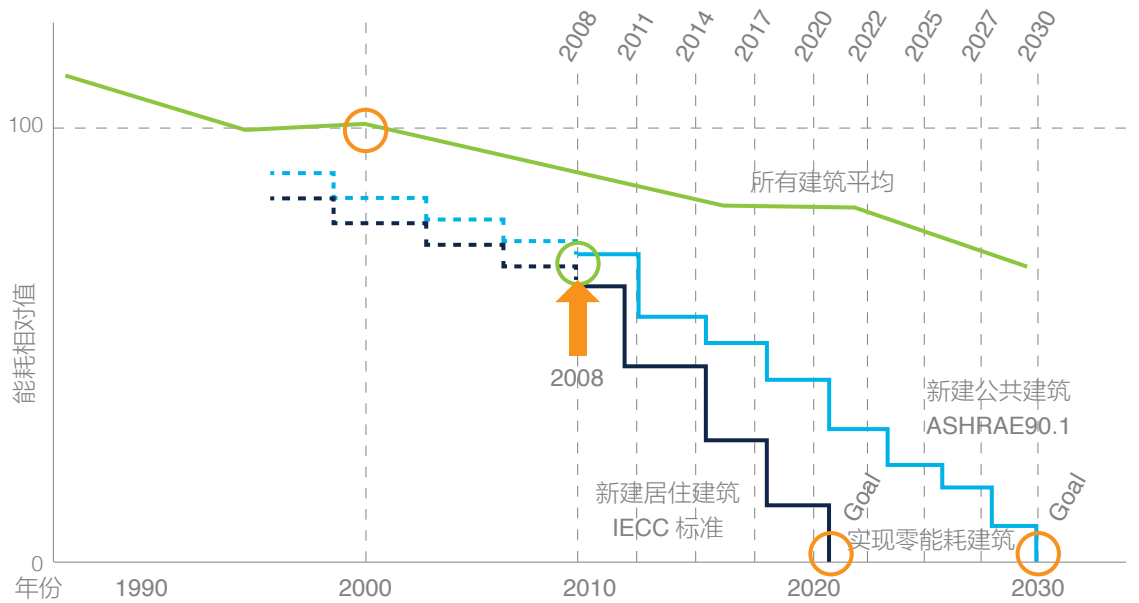
注: 居住建筑节能标准能耗主要指北方居住建筑冬季供暖能耗; 公共建筑节能标准能耗为建筑物全年供冷、供热能耗, 公共建筑节能为综合考虑了建筑类型和不同气候区的加权平均。

(数据来源: 参考文献 [7])

(2) 中国建筑节能标准的未来发展目标

美国能源部提出的建筑节能标准发展路线图中指出, 到 2020-2030 年使“零能耗建筑”在技术经济上可行, 建筑节能标准都需要按照此计划进行逐步修订, 居住建筑标准、公共建筑标准分别计划 2020、2030 年达到零能耗。

图 4-3 美国建筑节能标准未来目标



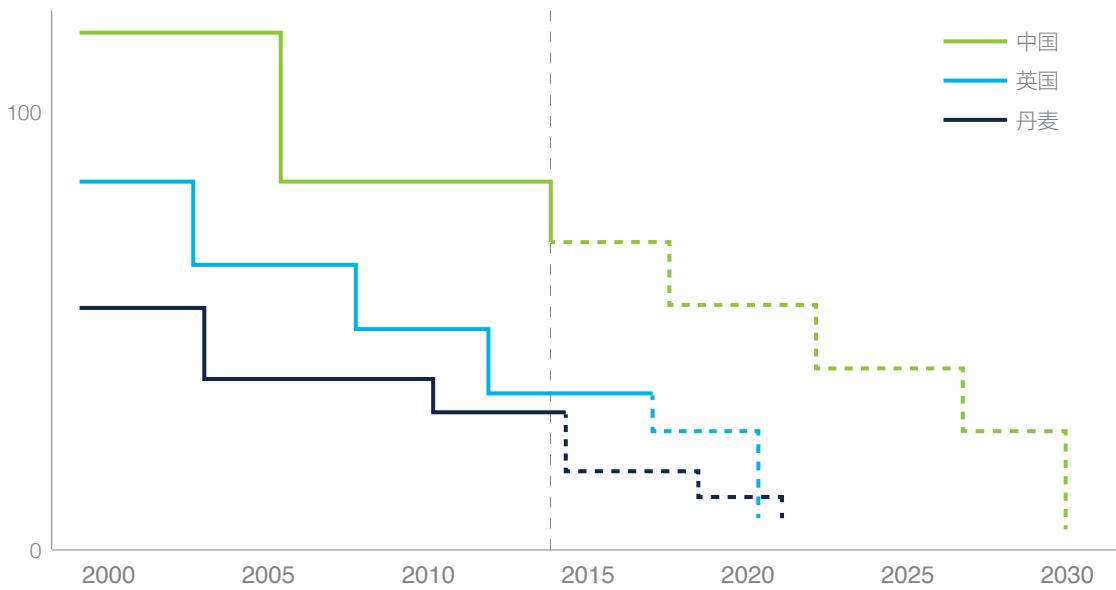
(图摘自参考文献 [7])

丹麦《建筑条例》要求 2015 版比 2010 版再节能 25%，到 2020 年，建筑标准能耗比 2005 年降低 75%，达到“近零能耗建筑”；英国政府要求通过标准提升到 2016 年实现所有新建居住建筑零碳排放，到 2019 年实现所有新建公共建筑零碳排放，达到“近零能耗建筑”。2009 年德国通过《可再生能源供暖法》，在欧盟《建筑能效指令》的要求下，德国提出到 2020 年达到建筑物无需化石后即可运营的未来发展目标。

借鉴国外建筑节能标准发展趋势、考虑国内节能减排目标、建筑节能产业发展等因素，中国的建筑节能标准未来修订目标应为 5 年一次，每次提升节能率 5%，使新建居住建筑在 2030 年前达到近零能耗标准。根据大气污染防治计划，适当加快提高北方严寒寒冷地区和夏热冬冷地区的建筑节能标准。



图 4-4 中外建筑节能标准发展趋势



注：英国、丹麦标准未来发展为政府颁布，中国标准发展趋势为科研机构预测。
 (图中数据来自参考文献 [7])

案例：不同节能标准居住建筑的能耗特点—以上海为例

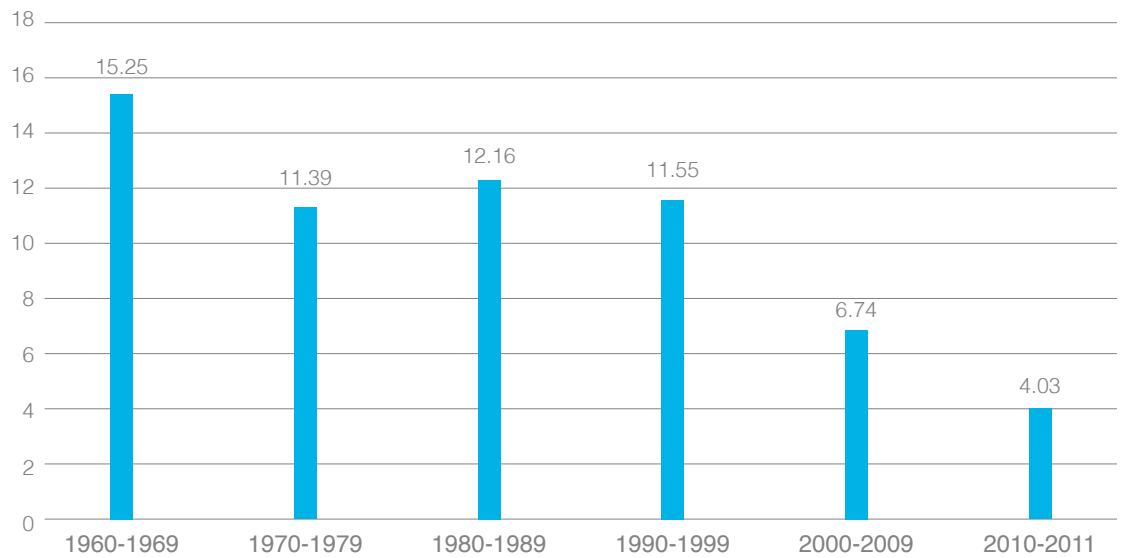
上海市的居住建筑有效样本共 2783 栋，约 1141 万平方米，约占上海城镇居住建筑总面积的 1.6%。样本覆盖上海市各区、各时期的住宅建筑，且包含低、多、高层建筑物。

2000 年以后建成的居住建筑基本可以达到 50% 节能设计标准。2000-2011 年间竣工的居住建筑其单位面积能耗远低于 2000 年以前竣工的居住建筑，约为不节能建筑或 30% 节能建筑的一半，其中 2010-2011 年的居住建筑已达到 65% 节能设计标准，这些建筑的能耗水平可能更低。

表 4-2 上海地区居住建筑样本总体情况

竣工年度	建筑数量（栋）	层数平均值（层）	单位面积能耗平均值 (kgce/m ²)
1960-1969	2	4.50	15.25
1970-1979	43	5.51	11.39
1980-1989	329	6.50	12.16
1990-1999	575	10.88	11.55
2000-2009	1776	13.05	6.74
2010-2011	58	17.12	4.03
总计 / 平均	2783	11.79	8.39

图 4-5 上海市不同时期居住建筑的平均单位面积能耗





大力发展绿色建筑、被动式低能耗房屋

(1) 全面推动绿色建筑发展

以绿色、低能耗建筑为核心和导向，推进绿色建筑全面发展，由单体向园区、城区扩展，扩大低能耗建筑试点示范，促进建筑领域的生态文明建设。到 2020 年，城镇新建建筑执行绿色建筑标准的比例要超过 50%，成为新型城镇化的重要指标，标志着绿色建筑发展进入了新的阶段。

(2) 有条件的地区推广被动式低能耗房屋

现阶段，中国的被动式低能耗房屋建设仍处于试点示范阶段。与发达国家相比，中国在被动式低能耗建筑的制度标准体系、人才资源储备、技术创新等方面还有较大的差距，被动式低能耗房屋建筑技术标准体系在中国的发展还需要有较长的发展时期，同时由于经济水平的差异，对于室内环境的需求还远远达不到被动式低能耗房屋标准的相关要求，这可能决定了未来的一段时期被动式低能耗房屋应在中国有条件的地区进行推广示范。

案例：秦皇岛“在水一方”C15#楼工程实践

“在水一方”住宅区位于秦皇岛市海港区大汤河畔，规划占地 840 亩，建筑面积 150 万平米。其中中德被动式低能耗建筑示范工程项目位于 C 区，共有 9 栋示范楼，总建筑面积 80344 平方米。2012 年首次开工 4 栋楼，开工面积 28050 平方米。C15# 楼为 18 层住宅楼（地上 18 层，地下 1 层）建筑面积 6718 平方米。采用的主要节能技术和措施有：高效符合外墙保温系统、高效的被动房节能门窗、无热桥构造、提高建筑气密性的构造、分户式热回收新风系统、分户式空气源热泵提高辅助采暖制冷、分户式太阳能生活热水（见表 5-2）。

表 4-3 秦皇岛“在水一方”15# 楼节能措施

	围护结构	传热系数
外墙	石墨 EPS 板, B1 级, 导热系数为 0.039W/(m·K), 250mm 厚; 每层环绕性岩棉防火隔离带, 密度 ≥100	K=0.13W/(m ² ·K)
屋面	EPS 板, 导热系数为 0.039W/(m·K), 300mm 厚	K=0.10W/(m ² ·K)
地下室顶板 / 首层地面	石墨 EPS 板, B1 导热系数为 0.033W/(m·K) 的 150mm 厚 XPS 板, 导热系数为 0.033W/(m·K) 的 100mm 厚	K=0.12W/(m ² ·K)
楼板	XPS 板, B2 级, 导热系数为 0.029W/(m·K), 60mm 厚	K=0.38W/(m ² ·K)
外窗	外窗玻璃为双 Low-E 中空充氩气的三层玻璃, 传热系数为 0.65~0.88W/(m ² K); g=0.5; 外窗框采用多腔塑料型材, 传热系数 1.5W/(m ² K)	整窗传热系数 K=1.00W/(m ² ·K)
外门	保温、隔音、防火	K=1.00W/(m ² ·K)
分户墙保温	两侧各酚醛板厚 30mm, 导热系数为 0.018W/(m·K)	K=1.00W/(m ² ·K)
不采暖楼梯间与室内隔墙	外为 120mm 厚酚醛板, 内为 30mm 厚酚醛板, 导热系数为 0.018W/(m·K)	K=0.27W/(m ² ·K)
电梯井侧壁	60mm 岩棉 无热桥构造、气密性和隔音措施	
门窗洞口, 填充墙	全面抹灰, 采用专用密封胶带封堵	
穿墙各种管线	绝热套管, 止水密封胶带和密封胶封堵	
楼板隔音	5mm 隔音板	
户内下水管道隔音	排水管外包隔音毡	
外挑阳台	与主体结构断开, 中间填充保温材料	
外墙附着的金属支架	支架与主体结构之间安装隔热垫层	
	采暖、制冷及新风	
带新风、热回收的空气源热泵一体机	室内温度控制供暖和制冷, 二氧化碳浓度控制新风输送	新风系统热回收率达 75% 以上, 新风温度 ≥ 16℃, 过滤器效率等级 G4 级, 能效比 2.8
	生活热水	
分户式太阳能生活热水		
其他绿色技术	中水利用、雨水收集、地下车库导光照明等	



该项目自 2010 年起开始设计，历经三年的设计施工，于 2013 年 10 月完成了被动房的质量验收，成为中国首例成功的被动房示范项目。经过 2012~2013 年的第一个采暖期和夏季的测试，项目的能耗指标和室内环境指标达到中德被动式示范项目的要求，实测数据和见表 5-3 和表 5-4。

表 4-4 秦皇岛“在水一方”C15 楼二层东、西室
能耗测试数据

一次能源消耗项目	被动房标准	中国建筑节能 65% 标准	实测结果	
			二层东室	二层西室
采暖（含新风）kWh/(m ² a)	60	58.35（仅采暖）	35.62	48.00
制冷（含新风）kWh/(m ² a)	—	—	3.48	6.30
照明 kWh/(m ² a)	—	—	11.19	4.42
家电、炊事、热水 kWh/(m ² a)	—	—	38.71	46.17
总一次能源消耗 kWh/(m ² a)	120	—	89.00	104.89

表 4-5 秦皇岛“在水一方”C15 楼二层东、西室
能耗测试数据

测试项目	德国标准	实测结果
室内条件	室内设定的最低温度 20-21℃	室内设定的最低温度 18℃，二 人生活
气密性	N50 ≤ 0.6	0.34
室内温度	20-26℃	平均温度：19.0℃
室内相对湿度	40-65%	40.3-65.0%
室内 CO ₂ 含量	≤ 1000ppm	198-1032 ppm 室内 CO ₂ 含量小于 1000ppm 比 例：99.2%
室内噪音	≤ 25dB	≤ 30dB

表 4-6 与节能 65% 房屋相比被动式房屋单位面积增量成本（元）

项目	增量成本（元）
外保温系统	125
门	40
外窗	200
水暖电	65
热回收系统	300
冷热桥特殊等细部做法	10

推进城市建筑和供热系统节能改造

（1）实施居住建筑节能改造

未来仍应继续推进北方采暖地区既有居住建筑节能改造，到 2030 年基本完成对具有改造价值的既有居住建筑的节能改造。探索既有居住建筑节能改造模式，充分利用市场机制，完成向“政府引导、市场推动”的转变。全面推进夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造，总结“十二五”经验，形成针对夏热冬冷地区节能改造的综合性高性价比技术解决方案，探索、制定有效的激励政策，形成规范的既有建筑改造机制。

案例：北方既有居住建筑节能改造

1) 工程概况

该小区位于乌市北京南路 32 号，共四栋住宅楼，建筑面积 11679m²，建造年代 1985 - 2002 年，砖混结构。各栋建筑物改造前的情况见下表。

表 4-7 改造前的情况

名称	建筑面积	结构形式	外墙	外窗	屋面	地下室	外门	采暖系统	热力入口	热源
1 # 住宅楼	1985.15	砖混 5 层	涂料饰面	双层空腹钢窗部分塑钢窗	炉渣保温	非采暖	电子门	水平串联	一处	集中供热
2 # 住宅楼	2403.9	砖混 6 层	涂料饰面	双层钢窗部分塑钢窗	炉渣保温	非采暖	电子门	水平串联	一处	集中供热
3 # 住宅楼	3474.7	砖混 6 层	涂料饰面	大部分塑钢窗	炉渣保温	非采暖	电子门	水平串联	一处	集中供热
4 # 住宅楼	3814.16	砖混 6 层	涂料饰面	塑钢窗	炉渣保温	非采暖	电子门	水平串联	一处	集中供热

2) 改造技术方案

(1) 外围护结构

居住建筑外围护结构采用 EPS 薄抹面保温体系, 同时为了防止一层墙体保温层被遭受外力碰撞损坏采用 EPS 单面钢网贴面砖保温体系; 外窗更换成 60 型材平开塑钢窗; 屋面根据结构复核的结果分别采用采用硬泡聚氨酯保温防水一体化技术和 EPS (聚苯乙烯泡沫塑料板) 保温和 SBS 防水; 考虑到原住宅楼单元外门为近年来新换的电子对讲四防门, 质量比较好, 经业主要求, 予以保留。改造技术方案见下表。

表 4-8 改造技术方案

工程名称	外墙	外窗	屋面	地下室顶	外门
1 # 住宅楼	EPS 薄抹灰乳胶漆, 一层窗台以下 EPS 贴面砖	60 型材平开塑钢窗	硬泡聚氨酯薄抹灰	EPS 薄抹面	保留
2 # 住宅楼	EPS 薄抹灰乳胶漆, 一层窗台以下 EPS 贴面砖	60 型材平开塑钢窗	硬泡聚氨酯薄抹灰	EPS 薄抹面	保留
3 # 住宅楼	EPS 薄抹灰乳胶漆, 一层窗台以下 EPS 贴面砖	60 型材平开塑钢窗	EPS 保温 SBS 防水	EPS 薄抹面	保留
4 # 住宅楼	EPS 薄抹灰乳胶漆, 一层窗台以下 EPS 贴面砖	60 型材平开塑钢窗	EPS 保温 SBS 防水	EPS 薄抹面	保留

（2）室内采暖温控与计量

九中 1#、2# 与 3# 住宅楼每组（或多组）散热器的供回水管间增加跨越管，散热器供水支管上安装了高阻力手动三通调节阀，每个环路上加设静态平衡阀，由此构成新的水平串联单管跨越式系统，从而达到分户（或分区）控制和可调节室温实现行为节能的目的。九中 4# 住宅楼采暖系统为一户一环路，每个环路上安装了手动温控调节阀和平衡阀，实现室内分户温度可调控的目的。

对于旧的集中供暖建筑，最经济简单的计量方式就是采用楼栋总表计耗热量的方法，然后按照建筑面积各户分摊热费。九中 1#、2#、3#、4# 住宅楼室内均没足够的位置安装热表及其相应的阀门配件，只能将超声波热表安装在室外管道井的楼栋热力入口处，考虑到管道井内湿度非常大，热量表加装了保护箱保护热量表的积分仪，同时，为了方便业主读取数据，数据信号及热表读数显示器引至和安置一层楼梯间内。

（3）改造后运行情况

既有建筑经过围护结构节能改造以后，当供暖初期和末期到来时，气温比较高，供水温度不是太高，温度调节的余度基本上不大，室内温控阀及平衡阀处在全开状态。

当天气变冷，供热公司全负荷运行时，二次网供水温度达到 50℃ 左右，九中 1#、2#、3# 与 4# 住宅楼室内温度基本上在 22℃ 以上，而供暖系统通常将房间温度设计为 18±2℃ 这时，为充分考虑自由热问题，首先，通过楼栋热力入口处的平衡阀调节整栋楼的供热量；其次，住户调节每个房间的散热器上调节阀，达到适当的房间温度，通过行为节能降低整栋楼的耗热量。

根据乌发改工价【2008】298 号文件，从 2008 年 10 月 15 日起，乌市供热计量暂行销售价格为 35 元/GJ，第九中学 1#、2#、3# 与 4# 住宅楼经过既有建筑节能改造以后，热计量采暖费执行基本热价和计量热价相结合的两部制方式。

（4）节能改造项目造价及节能减排分析

社会和经济效益分析：

①通过综合节能改造，既有建筑节能率可达到 50%，耗煤量由原改造前标准煤 37kg/m² 降低到 17kg/m² 以下。该项目每年可节约标准煤 400 吨左右，每年烟尘排放量减少 14 吨，SO₂ 排放量减少 9.7 吨，环境效益明显。

②通过节能改造，普遍提高了住宅的居住舒适度，消除了结露发霉等现象，使老百姓切实地体验到了建筑节能带来的好处，感受到政府民心工程的温暖。

③根据乌发改工价【2008】298 号文件，按照两部制热价收费，初步估计经过既有建筑节能改造的项目，比按建筑面积收费每平方米节约 6-8 元，使百姓切实感受到节能带来的效益。

表 4-9 既有建筑节能改造项目造价及节能减排分析表

名称	建筑面积m ²	围护结构	温控	计量	围护结构 元/m ²	温控计 量 元/m ²	节能 (tce)	减排(t)	
		结算价(元)	结算价(元)	结算价(元)				烟尘排 量	SO ₂ 排 量
1号楼	1985.15	857614.44	23730	15478	195	19.8	39.7	1.4	1
2号楼	2403.9		28476	15478		18.3	48.1	1.7	1.2
3号楼	3474.7	624602.22	28476	19305	180	13.8	69.5	2.4	1.7
4号楼	3814.86	605780.74	14256		159	8.8	76.3	2.7	1.8

5) 项目综合效益分析

以 3 号住宅楼为例

①财务净现值

三号楼建于 1998 年，2008 年开展节能改造，以 2008 年计算项建设期设为 1 年，运行期 39 年，项目全寿命期为 40 年，可以将所有的建设成本看作第一年的支出成本净现值，如表 4-15 所示，即 =-706002.38 (元)。

表 4-10 项目建设成本

序号	项目名称	合价(元)
1	直接费(或成本价)	672383.22
2	措施费	
3	规费	
4	企业管理成本(一-三)×5%	33619.16
5	合计:(一至四)	706002.38

由于规划设计由投资方自身完成，可以忽略或计入管理成本，拆除费用很小亦可以忽略不计，所得税、营业税金及附加取费忽略不计，根据项目实际情况，维护人员工资及福利费（1人编制兼职）、设施维护维修费每年2万元。能源价格按每吨400元计算。由于目前没有权威的既有改造行业基准收益率，选定2011年30年国债利率4.5%作为基准收益率。

则第2-40年的现金流 = 节能量能源价格 - 工资及福利费 - 运营维护费

现金流 = 69.5400 - 20000 = 7800（元），则该项目的财务净现值为：

$$FNPV = \sum_{t=0}^n \frac{CI_t - CO_t}{(1+r_t)^t} = -262 + FNPV = \sum_{t=1}^{25} \frac{CI_t - CO_t}{(1+4.5\%)^t}$$

$$= -706002.38 + 142191.3 = -563811.08 \text{（元）}$$

②外部综合净现值

项目每年可实现的节能减排效益见表4-16。

表 4-11 项目年减排效益

节约标准煤	减排 CO ₂	减排 SO ₂	减排 NO _x	减排粉尘
69.5 吨	192.49 吨	2.27 吨	0.83 吨	52.52 吨

第2-40年间，每年项目的环境价值约为2.6万元，如表4-17所示。

表 4-12 项目的年环境价值

	减排量（吨）	单位环境价值 （元/kg）	环境价值（元）
减排 CO ₂	192.49	0.023	4427.27
减排 SO ₂	1.7	5.04	8568
减排 NO ₂	0.83	8	6640
减排粉尘	52.52	0.12	6302.4
合计			25937.67



该项目每年的健康收益约为 0.40 万欧元 [156]，根据目前的汇率，年健康收益为 0.48.2=3.28 (万元)，如表 4-18 所示。

表 4-13 项目的年健康收益

	减排量 (吨)	单位健康成本 (€/kg _{poll})	健康收益 (万 €)
减排 CO ₂	192.49	2	0.40
减排 SO ₂	2.7	可忽略	可忽略
减排 NO ₂	0.83	可忽略	可忽略
合计			0.40

注：按照参考文献 [8] 的方法进行计算。

选取外部折现率为 4.5% (原理与基准收益率同)，则外部综合折现值

$$OPNV = \sum_{t=1}^{39} \frac{2.6+3.28}{(1+4.5\%)^t} = 107.19 \text{ (万元)}$$

可见，该既有建筑节能改造项目综合效益为

$$TNPV = -56.38 + 107.19 = 50.81 \text{ (万元)}$$

从综合效益来看，项目具有盈利能力，该项目是可取的。这里计算是在没有考虑中央财政补贴，如果考虑后其综合效益将进一步增加。

(2) 实施公共建筑节能改造和节能运行监管

中国公共建筑具有很大的节能潜力，特别是大型公共建筑和政府机关办公建筑的运行能耗。“十二五”期间，中国对国家机关办公建筑和大型公共建筑进行了运行能耗统计、能源审计和动态监测工作。运行能耗监测结果显示，政府办公建筑和大型公共建筑平均能耗为每年 101.8 千瓦时 / 平方米，其中政府办公建筑为每年 71.7 千瓦时 / 平方米，其他办公建筑及写字楼建筑为每年 104 千瓦时 / 平方米，商场建筑为每年 142.9 千瓦时 / 平方米，宾馆饭店建筑为每年 134.7 千瓦时 / 平方米，医院建筑为每年 130.2 千瓦时 / 平方米。与中国城镇住宅单位建筑面积平均电耗 17.4 千瓦时 / 平方米相比，国家机关办公建筑和大型公共建筑的年电耗值是其 5~10 倍，具有巨大的节能潜力。

未来，中国应继续推进公共建筑和政府机关办公建筑运行能耗的分项统计、监测工作，并以此为基础对公共建筑和办公建筑的用能系统进行节能管理和技术更新改造。研究表明，在建筑物用能系统的实际运行过程中，实施节能管理的节能率约为 10~15%，如果再对用能系统进行技术更新或改造还可以再节能 10~15%。对公共建筑的节能改造和用能系统的技术更新应首先从高耗能的政府办公建筑开始，对其进行强制改造，这类政府办公建筑的功能统一、管理主体单一、节能潜力大，其节能改造、技术更新的示范效应更加明显。此外，还应引导和鼓励其他类型高耗能公共建筑利用市场机制，通过合同能源管理、PPP 等模式进行节能改造、技术更新，最大限度的获得节能减排效益。逐步强制新建公共建筑进行能效评估，借鉴国外经验推行“能源证书”制度^{[9][10]}。

（3）实施北方采暖地区的供热系统节能改造

北方 15 省应尽快出台地方供热规划，扩大各地的集中供热面积，扩大天然气锅炉的应用比例，改造城市集中供热老旧管网，提高供热效率，减少采暖煤耗。特别是对大污染污染防治区提出明确的集中供热的最低比例，能集中供热的应尽量先并入集中供热；如果不能集中供热再采取“煤改气”，利用生物质、污水源热泵、地源热泵等新能源，天然气分布式综合能源利用等方式进行改造。

采暖地区的城乡结合部、乡镇供热应根据供热现状、资源条件、规划负荷、建设速度、经济水平等因素，采用可再生能源供热、燃气供热、大型燃煤集中供热、生物质燃料有机结合的方式，有区别、有重点的推动供热设施建设，有条件的地区可按区域能源合作方式引入外阜热电联产热源。

案例 1：提高采暖地区城镇集中供热面积、供热效率

2012 年末，中国城镇的集中供热比例仅为 60%，河北、甘肃、青海的集中供热率较低，采暖能耗偏高，同是寒冷地区的北京、天津、河北、山东等地，单位面积集中能耗也差异较大，2012 年末，北京的单位面积采暖能耗为 16kgce，而天津、河北 20~23kgce，山东则达到 28kgce，这与北京市热电联产、天然气采暖锅炉应用比例较大有关（表 2-13），如果未来，北方 15 省的单位面积耗能均可以达到北京市目前的水平，那么未来北方地区的采暖煤耗可以基本保持在 2012 年的采暖煤耗量。因此，我们建议，北方 15 省应尽快出台地方供热规划（目前只有北京市有这一规划），扩大各地的集中供热面积，扩大天然气锅炉的应用比例，提高供热效率，减少采暖煤耗。



表 4-14 2012 年北京市市供热面积统计表

供热方式	供热面积 (万平方米)	比例
热电联产	20,000	27.1%
城市热网		
区域热网	3,000	
燃煤锅炉房供热	15,000	17.6%
燃气供热	43,000	50.6%
其他清洁能源供热	4,000	4.7%
合计	85,000	100.00%

案例：城市煤改气的资金核算

“煤改气”的成本可分为两部分：即一次性投入和运行成本。一次性投入，主要包括管线铺设、购置锅炉等一次性投入。目前，各城市的煤改气改造一次性投入成本各不相同，其中兰州市改造成本为 30 万元每蒸吨（企业、事业单位改造，不含二次管网），北京市的改造成本为 54 万元每蒸吨（万平方米），乌鲁木齐市的改造成本为 94 万元每蒸吨。

根据住房和城乡建设部供热管理办公室的资料，管网改造费用约为 75 万元/公里，按照全国平均万平米供热面积对应供热管网长度为 444 米/万平米，每蒸吨锅炉供热面积 10000 平方米核算，即管网改造费用约为 30 万元/万平米，这一数字与北京市的煤改气成本接近。因此，本研究按照这一成本进行核算，到 2020 年，燃气供热占比 35%，则北方地区煤改气的费用约为 3800 亿元，可实现削减燃煤 2 亿吨，每年减少二氧化硫 58 万吨，烟粉尘 48 万吨。

此外，采用“煤改气”进行供热，运行成本较高，根据长春市公用局的数据测算，在一个完整的采暖期内，建筑面积每平方米的耗气量是 17 立方米。如果以吉林省居民用天然气的价格 2.8 元/立方米来计算，一个采暖季天然气供热价格是建筑面积每平方米 47.6 元；相比于燃煤供热价格的每平方米 29 元，每平方米燃气供热成本要高出 19 元左右。也就是说，一家 90 平方米的住宅，一采暖季要多支付近 1710 元供热费。长春市目前根据“同城必须同价”的原则，没有让百姓分摊多出的成本，而是用财政进行补贴。但如果长春市优先改造的 1207 万平方米的小锅炉房全部改成“煤改气”，政府就需要财政补贴 2.4 亿元左右。目前，长春市政府表示尚可承担 2.4 亿元，但如果继续扩大“煤改气”范围，政府的财政压力就会比较大。

案例：城乡结合部可再生能源采暖（污水源热泵供暖）

1) 黑龙江宁安市渤海镇渤海集团职工住宅小区可再生能源示范项目

渤海集团是一家以玉米深加工为主的企业，年加工玉米 20 余万吨，日处理污水 1500 吨。渤海集团 2008 年对原有锅炉房进行了改造，将原来的燃煤锅炉改造为利

用工业废水的污水源热泵供热系统，为厂区办公楼、车间和 5000m² 职工宿舍供暖。2009 年宁安市出台了利用可再生能源实施热源改造的项目可享受电价优惠政策，优惠电价平均为 0.429 元，较一般工业电价优惠 0.2 元。当年渤海集团对热泵机组进行扩容，2009 年 11 月底供热能力达到 12 万 m²，供热范围扩展至渤海镇多个居民小区。供热管线的铺设由渤海集团出资，通过收取新入网用户的入网费及供暖费回收投资。

2) 青岛胶北咏春园小区污水源供热项目，这是一个 4 万平方米的小区供暖工程。处于城乡结合部，没有热网，青岛胶州的第一个利用污水源进行供暖的示范项目之一。根据有关可再生能源建筑应用示范项目管理办，应用海水源、污水源或者土壤热泵技术的项目，可以获得每平方米 60 元的补助。

污水源供热初投资和供热运行成本比燃煤锅炉和燃气供热低。在设备初投资阶段，污水源供暖要比热电供暖低 20%，而在供暖阶段运行成本上，又有 30% 的成本差。以青岛地区 1 万平方米为例，冬季燃煤供热耗原煤 200 吨，在锅炉效率 0.65 情况下，实际室内耗热量为 130 吨原煤热值。如此，原煤供热需要 20 万元，天然气供热需要 22.5 万元，直接用电供热需要 42.4-60.4 万元。热泵（用电）10.6-15.1 万元。

图 4-6 利用工业废水的污水源热泵供热系统





推进可再生能源建筑应用发展

(1) 城市规模化发展

在城市继续积极发展可再生能源建筑应用，完善可再生能源建筑应用激励机制，推广政策，优先支持保障性住房、公益性行业及公共机构等领域可再生能源建筑应用，促进可再生能源建筑应用集中连片推广。

(2) 农村

鼓励农户按照地区资源的特点，以沼气、秸秆利用技术为重点实现就地收集，分散处理，就近应用，充分利用各地的生物质能资源，使其在农村的生产、生活用能方面发挥巨大作用。北方农村地区鼓励采用生物质型煤、太阳能、生物质气化炉采暖等多种方式供热，特别是应推广分散式可再生能源技术（一户一井的地源热泵、家庭式秸秆气化炉等）替代目前的燃煤取暖需求。

案例：农村地区分散式可再生能源技术（一户一井的地源热泵）

小朱家村于 2008 年成为全国首家整村推广使用浅层地能综合利用项目的行政村，推广模式是每户一井一机组。每套水源热泵机组价格约为 2.4 万元（不含室内管线铺装费），黑龙江省级财政为项目提供了专项补贴资金，每户补贴 2 万元，县、乡、村三级财政再共为每户补贴 2000 元，农户只需出资 2000 元。农户一个采暖季的取暖费仅为 800 元，减少燃煤约 2t，节约费用近 700 元。

图 4-8 农户后院浅层地能利用的提水井和回灌井



图 4-9 农户家中的热泵机组



创新建筑节能的体制机制

（1）科技创新

实施建筑节能技术创新专项行动，以绿色建筑、公共建筑节能、可再生能源建筑规模化应用为重点领域加快关键技术研发。建立以企业为主体、市场为导向、多种形式的产学研战略联盟，引导社会资金参与节能技术的研发投入。

（2）体制机制创新

进一步完善政策法规体系。修订部分法规、条例，如应将绿色建筑发展的相关内容纳入《民用建筑节能条例》。重点健全总量控制、节能量交易许可、法律责任等方面的制度。



(3) 创新科技创新服务体系

提升服务能力和管理水平，深化培育建筑节能工程技术研发中心、第三方能效测评标识机构。建立建筑碳排放权、节能量交易平台。建立建筑合同能源管理交易平台。到 2020 年，形成涵盖研发、咨询、评价、推广、交易等服务为一体的开放竞争有序的科技创新服务体系。

(4) 创新投融资模式

创新建筑节能的投融资模式，摆脱过去靠政府投资的单一模式。在建筑节能领域全面推广 PPP 模式，支持地方政府与金融机构共同设立基金，用好税收优惠、奖励资金、转移支付等手段，多措并举吸引社会资本参与公共产品和服务项目的投资、运营管理。通过政府、金融机构设立建筑节能的专项基金，通过专业化运作支持节能项目并促进节能服务公司发展，发挥市场机制拓宽资金渠道，积极引导多方投资主体和各类社会资金进入建筑节能领域。

落实“合同能源管理”的财税优惠政策，推进银行等金融机构为合同能源管理项目提供灵活多样的金融服务，建立适合于合同能源管理特点的信贷审批机制，引导和支持各类金融担保机构提供风险分担的服务。

扩大宣传培训提高全社会节能意识

扩大新建筑节能的宣传力度、宣传渠道，充分利用传统媒体、新兴媒体构建全方位的宣传体系，提升全社会的节能意识。完善高等院校、高等专科学校、职业技术学校的专业设置，培养高素质的建筑节能专业人才。建立完善的社会化培训再教育体系，定期开展针对不同人群、不同内容的专业讲座、技术培训、示范推广会等。

参考文献

- [1]Brown, R., Borgeson, S., Koomey, J., Biermayer, P. 2008. "U.S. Building Sector Energy Efficiency Potential." Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley, CA. LBNL-1096-E "美国建筑行业能效提升潜力", 劳伦斯伯克利国家实验室
- [2]Chandler, W., Gwin, H., Chen, S. 2011. "Financing Energy Efficiency in China: 2011 Update." Energy Transition Research Institute. Annapolis, MD. "中国能效融资: 2011年"
- [3] 麦肯锡. 2009. "China's green revolution: prioritizing technologies to achieve energy and environmental sustainability." "中国的绿色革命: 实现能源与环境可持续发展的技术选择"
- [4] 叶祖达, 李宏军, 宋凌. 中国绿色建筑技术经济成本效益分析 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2010.
- [5] 孙大明, 邵文. 当前中国绿色建筑增量成本统计研究 [J]. 动感 (生态城市与绿色建筑), 2010, 04: 43-49.
- [6] 李菊, 孙大明. 住宅建筑绿色生态技术增量成本统计分析 [J]. 住宅科技, 2008, 08: 16-19.
- [7] 徐伟. 国际建筑节能标准研究 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] 殷帅. 我国光伏发电项目规模化发展研究 [D]. 北京交通大学, 2012.
- [9] 卢求. 德国 2006 建筑节能规范及能源证书体系 [J]. 建筑学报, 2007(11): 26-28.
- [10] 侯冰洋, 张颖. 德国建筑 "能源证书" 简介 [J]. 建筑学报, 2008(3): 36-38.

