



热计量
改造*

北方采暖地区既有居住建筑 供热计量及节能改造工作 现状及未来工作重点

住房和城乡建设部建筑节能与科学技术司 武涌[☆]

天津大学 丁研[△]

中国建筑设计研究院 中国建筑设计咨询公司 孙金颖

摘要 对“十一五”期间我国在北方采暖地区开展的既有居住建筑供热计量及节能改造工作进行了总结,分析了改造工作中存在的问题,阐述了改造工作中获得的经验,并提出了未来的改造工作思路,为“十二五”期间改造工作的继续推进提供参考。

关键词 供热计量 节能改造 改善民生 节能减排

Current situation and future targets of heat metering and energy efficiency retrofit for existing residential buildings in China's northern heating region

By Wu Yong[★], Ding Yan and Sun Jinying

Abstract Summarizes the current situation of the heat metering and energy efficiency retrofit project during the 11th five-year plan. Analyses the problems encountered and experiences obtained in the past four years and puts forward a future retrofit scheme that will be helpful in the energy efficiency retrofit project of the 12th five-year plan.

Keywords heat metering, energy efficiency retrofit, improvement of civil life, energy saving and emission reduction

★ Department of Building Energy Efficiency and Science & Technology of Ministry of Housing and Urban-Rural Developments of P. R. China, Beijing, China

①

0 引言

根据 2007 年《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》(国发[2007]15 号)提出的“十一五”期间推动北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造 1.5 亿 m² 的工作任务,我国对北方采暖地区既有居住建筑进行了具有针对性的节能改造工作。改造的主要内容包括建筑室内采暖系统热计量及温度调控改造、热源及管网热平衡改

造、建筑围护结构节能改造三项。根据财政部的实地核查结果,截至 2009 年采暖季前,北方 15 个省、区、市已经完成及正在实施的改造面积共计 10 907 万 m²,占“十一五”改造计划任务 1.5 亿 m² 的比例为 73%,2010 年北方各地既有居住建筑节能改造

①☆ 武涌,男,1954 年 7 月生,大学,巡视员
△ 300072 天津大学环境科学与工程学院
(0) 13811342700

E-mail: jensxing@126.com

收稿日期:2010-08-11

* 鉴于相关研究课题背景,本栏目稿件中暂且采用“采暖”的说法。——编者注

已下达任务 5 000 万 m^2 , 预计“十一五”1.5 亿 m^2 的改造任务目标将于 2010 年年底顺利完成。

我国北方采暖地区非节能的既有居住建筑面积共约 41.25 亿 m^2 , 尽管“十一五”期间 1.5 亿 m^2 的计划任务仅占可改造量的 3.6%, 但探索了改造的相关模式, 形成了相关的技术及标准体系, 积累了经验与教训, 为“十二五”期间更大规模、更有效地进行北方既有居住建筑供热计量及节能改造打下了坚实的基础。

1 北方采暖地区普遍存在的问题

1.1 热源不足与供热过剩并存

北方采暖地区既有建筑总面积在“十一五”期间的前 4 年内从 62.9 亿 m^2 猛增到 80.4 亿 m^2 (见图 1), 年平均增长 5.8 亿 m^2 。我国北方城镇采暖

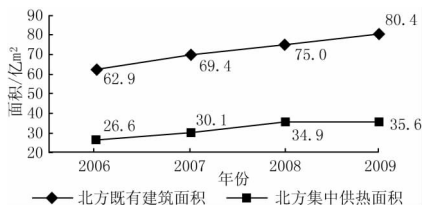


图 1 “十一五”期间北方采暖地区既有建筑面积和集中供热面积

主要采用集中供热的方式, 约 70% 以上的民用建筑以集中供热方式采暖, 其中约一半的热源为热电联产的低品位余热, 另一半热源为不同规模的锅炉, 采用分散方式采暖的民用建筑比例小于 30%^[1]。“十一五”期间, 北方采暖地区集中供热的面积由 26.6 亿 m^2 增加到 35.6 亿 m^2 , 年平均增长仅为 3 亿 m^2 , 热源供应能力明显跟不上城镇化步伐。为满足居民的基本采暖需求, 多数地区正在积极筹划加大热源建设的力度。

在考虑“开源”的同时, 既有建筑供热计量及节能改造的“节流”作用却没有得到重视。根据测算, 每进行 2 m^2 的节能改造可以使原有热源增加 1 m^2 的供热面积, 改造工作不仅可以有效缓解当前北方城市普遍存在的供热能力紧张状况, 还可以减少新建热源及配套市政基础设施投入, 而盲目增加基础设施建设则会造成能源和资源上的浪费。

1.2 “干烧不热”与“高烧不退”并存

目前北方地区城镇既有建筑中节能建筑与非节能建筑的比例约为 1 : 3。节能建筑与非节能建筑混杂, 存在共用热源和管网的情况。非节能建筑保温性能差、热损失大, 即使供热企业通过

大量增加供热成本来提高供热能力, 非节能建筑仍然达不到理想的采暖效果。2009 年冬季, 我国北方地区遭遇冷冬侵袭, 中央气象台连续发布寒潮橙色预警。在极端天气条件下, 节能建筑室内平均温度在 20 $^{\circ}\text{C}$ 左右, 而非节能建筑室内温度则普遍低于 16 $^{\circ}\text{C}$, 达不到国家规定的基本室内采暖温度^[2]。吉林省长春市在冷冬侵袭下, 集中供热达标率由 98% 下降到 94%, 非节能建筑用户的室温仅为 12~13 $^{\circ}\text{C}$ 左右, 由此导致供热投诉或上访由上年的 13 461 件增加到 20 500 件, 同比计算投诉量增加近 1 倍。长春市某供热企业负责的采暖区域建筑正常年份采暖季耗煤 36 kg/m^2 , 而 2010 年 2 月统计该采暖季煤耗已超过 45 kg/m^2 , 整个采暖季将消耗燃煤 30 万 t, 比正常年份增加 40% 以上, 仅此一项就增加成本 5 000 万元。

非节能建筑的热损失大, 为保证室内温度达标就需要加大热源的热量, 从而使节能建筑的实际供热量大于采暖需热量。我国当前的供热计量改革滞后, 节能建筑普遍缺乏室温调控手段, 室内温度过高, 有的室温可高达 25 $^{\circ}\text{C}$ 以上^[1], 开窗散热现象普遍。因过度供热造成的热损失使节能建筑失去了节能优势, 同样造成能源的大量浪费。

1.3 “跑冒滴漏”与调节失衡并存

北方地区的 15 个省、市、自治区集中供热管网总长为 6.6 万 km, 运行 15 年以上的老旧管网长度为 1.7 万 km, 占 26%。超期服役的老旧管网故障率高, 部分老旧管网保温层破损、管道锈蚀现象严重, 造成“跑冒滴漏”, 热损失最高可达 30% 以上。

供热系统的热惯性随系统规模的增加而增大, 由于缺乏气候补偿器、变频装置等调节设施, 热源端的调节反应到末端用户存在不同程度的延迟和滞后, 供热量与实际建筑采暖能耗需求不匹配, 造成系统过量供热。热网水力平衡性差, 同样缺乏必要的调控手段, 造成严重的水力失调, 致使用户端冷热不均, 能源浪费现象严重。

1.4 福利型供热与商品型供热并存

长期的计划经济形成了福利型的供热体制, 这种体制下按面积测算的计费方式和费用由企业负担的收费方式已经成为当前建筑节能工作的障碍。

建筑采暖能耗下不来,居民热费支出下不来,政府对供热企业的补贴下不来的“三个下不来”的尴尬局面是福利型供热形成的主要弊端。

推行用热商品化是提高居民节能积极性和提高供热效率的保障,也是建筑节能发展的必然趋势。然而目前供热计量的节能机制并没有完全形成,还存在缺乏供热计量装置或计量收费办法的情况,亟需深化供热体制改革,进一步落实供热计量和计量收费。

1.5 结论

制约北方采暖地区建筑节能和供热工作的突出矛盾主要体现在以下四个方面:一是既有建筑围护结构保温性能差,采暖能耗高;二是供热管网调控能力差,设施老化严重;三是供热热源结构不合理,能源利用效率低;四是供热计量改革工作滞后。做好北方采暖地区建筑节能和供热工作的关键是破解以上四个方面的制约矛盾,最终实现降低建筑能耗、节省群众热费支出、提高室内热舒适度的目标。

2 推进北方既有居住建筑供热计量及节能改造是破解北方采暖地区四大矛盾的有效方法

北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造具有节能减排、引导投资、改善民生、带动产业和增加就业等效果,是利国利民的重要工程,而继续推进改造工作也是解决当前北方采暖地区四大矛盾的根本方法。

2.1 实现了节能减排的目标

改造工作在环保方面的效益明显,不仅降低了北方地区的采暖能耗,而且减少了 CO_2 、 SO_2 等气体的排放,有效地改善了环境质量。吉林省通化县采取“四个一点”的融资模式,通过国家奖励、地方配套、企业筹集和居民自筹的方式筹集改造资金,对全县的 449 栋既有建筑进行了节能改造。在 2009 年寒冬的低温天气条件下,全县单位用煤量降低 22%,综合节能率达 42% 以上,整个采暖期节约原煤 2.4 万 t,价值 1 200 万元,同时减少 CO_2 排放 1.1 万 t,减少 SO_2 排放 340 t。内蒙古包头市对包钢小区 20 万 m^2 住宅进行了改造,一个采暖季节省标准煤 3 000 t,减少 CO_2 排放 2 000 t,减少 SO_2 排放 60 t。

2.2 改造工作按预期计划有序完成

截至 2009 年采暖季前,北方 15 省市已经完成

节能改造面积共计 10 907 万 m^2 ,其中 2009 年完成改造面积 6 942 万 m^2 ,超额完成了国务院确定的 6 000 万 m^2 的年度改造任务。根据国务院的安排部署,2010 年还将完成 5 000 万 m^2 的改造任务,从而确保完成“十一五”期间 1.5 亿 m^2 的总体任务目标。据测算,已经完成的节能改造项目每年可节约 74 万 t 标准煤,减排 CO_2 192 万 t。改造任务完成情况见表 1。

表 1 改造任务完成情况

年度	改造面积/ 万 m^2	节约标准煤/ 万 t	减少 CO_2 排放/ 万 t
2008	3 965	27	70
2009	6 942	47	122
2010	5 000	34	88

由于改造带来的民生效果十分明显,群众的改造热情高涨,改造需求被有效激发,各地、市纷纷向省提出新的改造要求。这项工程已经成为政府认可、百姓欢迎、企业积极参与、社会广泛关注的焦点工程。

2.3 极大地提高了供热的效率

对既有居住建筑进行节能改造可以提高供热能力,使现有热源覆盖更大面积的建筑,从而减少市政基础设施的投入。吉林省长春一汽热力集团对供热系统进行了包括高低温分区、增设平衡阀和混水泵以及无补偿直埋敷设等技术改造,获得了明显的社会效益和经济效益。一方面,随着热网改造工程的推进,居民投诉率从 2000 年的 20% 降低至 2003 年的 2% 左右。另一方面,在不增加热源的前提下,供热面积从原先的 500 万 m^2 增加到 900 万 m^2 ,对缓解城市供热能力不足的矛盾具有重大的现实意义。

2.4 有效地改善了北方采暖的民生问题

改造工作所覆盖之处,民生效益显著。一方面,通过节能改造,室内热舒适度有了明显的提高。采暖住户普遍反映节能改造使室内采暖温度提高了 3~6 $^{\circ}\text{C}$,有的提高了 10 $^{\circ}\text{C}$ 以上,原先达不到采暖温度要求的住宅室内热环境质量得到明显提高,是实实在在的“暖房子”工程。另一方面,居住品质有了显著的提升。由于对建筑墙体及门窗进行了保温处理,室内长期存在的发霉、长毛、渗水现象得以消除,气密性和隔声效果得到加强,室内噪声明显降低,小区环境同步得到整治,居民生活质量得到明显改善。唐山市对河北 1 号小区的 20 栋建筑

进行了围护结构和采暖系统供热计量改造,室内平均温度由 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 提高到了 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$,墙体霉变等现象基本消除,灰尘、噪声等污染相对减少,冬季采暖能耗减少 30% 以上。

2.5 促进了产业结构的调整和就业机会的增加

既有居住建筑供热计量及节能改造成本约 $200\sim 250\text{ 元/m}^2$ 左右,中央财政资金补贴 50 元/m^2 ,可带动 3~4 倍的社会资金直接投入改造,更可带动建材生产、仪表制造、建筑施工、工程咨询等相关产业的投入。内蒙古安排专项资金与中央奖励资金 1:1 匹配,对地方政府、企业、个人的投资需求的拉动效应明显,产生了近 4 倍的带动作用,为将近 5.3 万人提供了就业机会,并拉动了节能材料(产品)生产销售企业的发展。

3 北方既有居住建筑供热计量及节能改造的主要做法

根据我国建筑特点和建筑节能发展现状,建筑节能工作划分为新建建筑节能、北方采暖地区供热计量及节能改造、国家机关办公建筑和大型公共建筑节能运行管理与改造、可再生能源建筑应用、绿色照明五大领域。其中,作为关系国计民生、公益性较强的居住建筑节能改造工作,提出的工作目标是“十一五”期间推动北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造 1.5 亿 m^2 ,并确定了“建筑围护结构节能改造、室内供热系统计量及温度调控改造、热源及供热管网热平衡改造”三项作为改造内容。

3.1 调查研究,合理确定既有建筑节能的工作重点

既有居住建筑节能改造工作重点的确定经历了逐步深入的一个过程:2005 年国家发展改革委员会公布的《节能中长期专项规划》中提出“大城市完成既有建筑节能改造的面积要占既有建筑总面积的 25%,中等城市要完成 15%,小城市要完成 10%”;而后通过对我国各省区既有建筑节能现状的调查分析发现,有些地区的平均建筑能耗远低于强制性节能标准规定的 100 W/m^2 ,例如在夏热冬冷地区的长沙市,平均建筑能耗仅为 25 W/m^2 ,因此对夏热冬冷地区和夏热冬暖地区的居住建筑进行节能改造意义不大。为此,经过反复论证,2007 年《国务院关于印发节能减排综合性工作方案的通知》明确提出了“十一

五”期间推动北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造 1.5 亿 m^2 的工作任务,并最终确定率先在我国北方采暖地区进行既有居住建筑节能改造。

3.2 自上而下,因地制宜,分解落实目标与任务

在中央政府确定改造北方采暖地区 1.5 亿 m^2 既有居住建筑的任务后,住房和城乡建设部根据北方采暖地区各省市的集中供热面积、人均 GDP 和当地经济发展水平,将 1.5 亿 m^2 的任务分解到各省市:北京 $2\,500\text{ 万 m}^2$ (含中央国家机关在京单位既有居住建筑)、天津 $1\,300\text{ 万 m}^2$ 、辽宁 $2\,400\text{ 万 m}^2$ (其中大连 500 万 m^2)、山东 $1\,900\text{ 万 m}^2$ (其中青岛 300 万 m^2)、黑龙江 $1\,500\text{ 万 m}^2$ 、吉林 $1\,100\text{ 万 m}^2$ 、河北 $1\,300\text{ 万 m}^2$ 、河南 360 万 m^2 、山西 460 万 m^2 、陕西 200 万 m^2 、甘肃 350 万 m^2 、内蒙古 600 万 m^2 、新疆 700 万 m^2 、宁夏 200 万 m^2 、青海 30 万 m^2 、新疆生产建设兵团 100 万 m^2 。

各省市再根据实际情况进行二次分解,例如吉林省首先从县城开展节能改造,再逐步推广到省内其他城市,这样既可保证改造的进度,又可提升县城的整体环境质量,取得了良好的效果;内蒙古自治区则是首先在大城市开展节能改造,选择了经济条件较好、产权集中、容易管理的集中产权单位如包钢宿舍区先进行改造,而后再逐步向其他城市与区县推广,也取得了良好的效果。

3.3 通过立法,形成制度,依法推进

2008 年 10 月 1 日开始实施的《民用建筑节能条例》(国务院令 第 530 号)明确了建立“既有居住建筑节能改造制度”和“节能改造的费用分担制度”。两项制度要求,在开展既有居住建筑节能改造之初,应结合所在市县既有居住建筑的建设年代、结构形式、用能系统、能源消耗和寿命周期制定既有建筑节能改造规划,严格按照规划开展围护结构、供热系统和供热计量节能改造,改造费用由政府、所有权人共同负担,国家鼓励社会资金投入到既有居住建筑节能改造中。从而从法律角度规定了既有居住建筑节能改造的目标、内容、程序、技术、标准、资金来源、费用分担、运行管理等内容,使既有居住建筑节能改造按照法律规定的程序逐步推进。既有居住建筑节能改造制度示意图见图 2。

3.4 制定标准与验收办法,实现节能量为导向

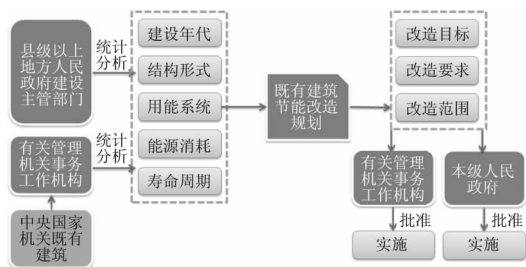


图2 既有居住建筑节能改造制度示意图

为保证北方采暖地区既有居住建筑节能改造的效果,国家先后组织编制了《民用建筑节能设计标准》、《既有采暖居住建筑节能改造技术规程》、《采暖居住建筑节能检验标准》和《供热计量技术规程》等强制性标准,并印发了《北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造技术导则》和《北方采暖地区既有居住建筑供热计量改造工程验收办法》,指导改造工作科学推进,并将改造后实现的节能量作为验收的重要指标,逐步实现以节能量为导向。

3.5 明确经济激励政策,建立考核评价体系

为保证节能改造资金,住房和城乡建设部、财政部制订了《北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造奖励资金管理暂行办法》(财建[2007]957号),中央财政安排专项资金用于奖励北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造。奖励资金将按照所在气候区(严寒地区和寒冷地区)、改造内容、进度系数与改造完成年限综合考虑拨付。由中央财政将奖励资金下拨给地方财政,再由地方财政根据执行情况拨付给具体的项目。为保证专项资金的有效落实,国家层面实施了“双核查”,一是由财政部投资评审中心对项目审批进行控制与监管,二是由测评机构对节能效果进行核查;并将奖励资金的使用情况列入每年的建筑节能大检查的重点内容中。

4 北方既有居住建筑节能改造过程中的主要问题与教训

4.1 对民众的改造意愿认识不足,计划任务不能满足实际需求

由于已完成改造的项目效益显著,各地积极性普遍提高,在完成计划任务的基础上都纷纷提出新的改造需求。天津、河北、吉林、内蒙古等地已经提前完成改造任务。据初步统计,2010 年仅这四个省(区)、市提出增加改造项目的面积就超过 5 000

万 m^2 ,但是国家奖励资金只用于计划内的任务,不支持新增的改造项目,没有安排新任务的余地,限制了地方推进节能改造的积极性。

4.2 基于市场的多渠道融资模式和回报机制尚未形成

既有居住建筑供热计量及节能改造一次性投资较大。多数省份经济欠发达,财政配套改造资金有限,中央奖励资金仍是目前推动改造的关键力量,供热企业、居民、能源服务公司、金融机构等多渠道筹集资金的机制尚未建立,节能改造的回报机制尚未形成,较大的资金缺口制约了既有居住建筑供热计量及节能改造工作的推进。

4.3 基于计量按照实现节能量进行奖励的机制尚未形成

“十一五”期间,北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造的奖励资金是按照不同省市的面积进行划分的,并没有按照最终的节能效果或者节能量进行奖励,这一方面是由我国刚刚开展既有居住建筑节能改造工作决定的,另一方面是由于技术导则中规定按照换热站来进行节能改造,也无从实现对节能效果的评判,虽然目前的激励政策发挥了促进和推动作用,但是从长远来看,并没有充分发挥政策对市场的撬动作用,“十二五”期间的经济激励政策将更多地体现公平与科学,利用市场机制来推动既有居住建筑节能改造。

4.4 缺乏既有居住建筑节能改造的长效机制

从改造面积看,北方既有居住建筑改造规模大、范围广,改造对象千差万别,改造工程繁杂,牵涉成千上万的居民。“十一五”期间的 1.5 亿 m^2 改造面积仅起到了带动和示范作用,未来任务依然艰巨。从推进模式看,北方改造主要依靠中央政府推动,资金保障主要依靠中央财政支撑。而由地方政府主导,供热企业、居民、能源服务公司等不同主体积极参与的改造工程改造模式尚未建立,节能改造的市场自发性尚未形成。如不能建立节能改造的长效机制,必将影响“十二五”期间北方既有居住建筑节能改造的全面推广。北方采暖地区既有居住建筑节能改造是一项系统性工程,只有持之以恒、全面铺开才能体现应有的效果,否则现有状态无法真正实现分户计量和节能减排的初衷,节能效益也无法全部发挥,将影响到节能改造的整体效果。

5 “十二五”北方既有居住建筑节能改造的政策措施

5.1 科学合理识别“十二五”期间北方采暖地区既有居住建筑节能改造目标

改造工作的顺利实施离不开科学的目标。在目标制定过程中,应符合国家承诺的减排目标对既有居住建筑节能改造提出的要求,首先根据国家目标分解既有居住建筑节能改造目标,再自下而上地归集各地方实际能完成的改造目标,对总目标进行修订;进而根据中央财政和国家的实际情况,将改造目标进行公布和下达。改造内容还将根据不同气候区域进行合理调整与规定,其中北方采暖地区将继续推进“建筑围护结构节能改造、室内供热系统计量及温度调控改造、热源及供热管网热平衡改造”三项改造内容;夏热冬冷和夏热冬暖地区将推进遮阳技术、可再生能源应用、节水改造技术、绿色施工与绿色监管等内容。

5.2 建立并完善基于计量的节能量奖励机制

对于北方采暖地区的既有居住建筑节能改造,严格执行按照换热站计量并分摊到各单元、各住户的原则,将中央财政拨付的奖励资金与节能量紧密结合;夏热冬冷和夏热冬暖地区的节能改造项目竣工前,必须由专业的第三方独立的检验检测机构进行节能量和节能效果的测量,逐步实现中央财政拨付的奖励资金与节能量紧密结合。

5.3 建立基于回报,以节能服务为特征,以集中供热企业为主体的多元化改造模式

对于北方采暖地区,以供热企业作为节能改造的主体,不仅易于科学合理组织、节能量计量,并且具有贷款主体明确、回报机制明确、风险低的特点;供热企业作为节能改造主体,将逐步丰富节能服务市场,吸引更多的投资者进入居住建筑节能改造市场,形成多元化的改造模式。

5.4 推行合同能源管理,通过市场机制促进业主进行节能改造

国务院于 2010 年 4 月下发了《国务院办公厅转发发展改革委等部门关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的通知》(国发办[2010]25 号),提出了推行合同能源管理和促进节能服务产业发展的税收扶持政策,财政部会同发改委印发了《合同能源管理项目财政奖励资金管理暂行办法》(国发办[2010]25 号),进一步提出了明确

的财政奖励资金。以合同能源管理的方式推进北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造工作,可以使节能改造步入市场化运作,不仅可以解决“十一五”期间过于依赖财政补贴的融资问题,还可以通过建筑能效交易的机制加快节能改造的步伐。目前,天津市已通过供热计量建立起建筑采暖能耗基线,并率先实行民用建筑能效交易市场,促进了民用建筑的节能改造。该项工作将更好地发挥能源的市场配置作用,引导市场资本流向收益最大的项目,实现节能减排效益最大化,同时带动建筑节能服务企业的发展,促进我国经济向低碳发展模式转型。

5.5 建立并完善北方既有居住建筑节能改造的长效机制

既有居住建筑节能改造一次性投资较大,但北方多数省份经济欠发达,财政配套的改造资金有限,中央奖励资金仍是目前进行改造的最大助力。应基于已发布的《北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造奖励资金管理暂行办法》,研究提出中央财政支持改造的下一步经济政策,继续引导未来的改造工作。此外,充分发挥各级政府和建设主管部门的管理职能,形成针对改造项目的管理体系和措施,加强组织保障,高效率实施改造;继续探索以合同能源管理等方式来筹措资金,建立多渠道的融资模式,为改造工作提供市场保障,逐步形成推进既有居住建筑节能改造的长效机制。

6 结语

北方采暖地区既有居住建筑供热计量和节能改造工作在节能环保、改善民生、经济社会等方面取得了良好效益,已经成为政府积极推进、群众广泛欢迎、企业积极参与的节能工程和民生工程。应抓住我国加快转变经济发展方式的机遇,利用改造工作社会效益明显的优势,克服劣势、回避威胁,加速推进改造并扩大规模,从而解决当前供热工作中存在的问题,为我国建筑节能工作的推进建立良好的基础。

参考文献:

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2009[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009
- [2] 中华人民共和国国家技术监督局. GB/T 18883—2002 室内空气质量标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2002