

北方供暖地区既有居住建筑节能改造技术支撑

中国建筑科学研究院 周 辉[☆] 林海燕

摘要 从当前国家建筑节能形势出发,简单阐述了北方供暖地区既有居住建筑节能改造的必要性。分析比较了近年来国内外既有居住建筑改造实例,探讨了我国北方既有居住建筑节能改造的若干技术问题。分析了节能改造各环节技术路线的基本要求,介绍了节能改造的评估与诊断方法,具体分析了节能改造的技术方案。

关键词 供暖地区 既有居住建筑 节能改造 技术路线 评估与诊断 技术方案

Technology support for energy efficiency retrofit of existing residential buildings in heating areas in North China

By Zhou Hui[★] and Lin Haiyan

Abstract According to the status of building energy efficiency, elaborates the importance of energy efficient retrofit for existing residential buildings in north heating areas. Compares and analyses some recent examples at home and abroad, and discusses some technical problems for energy efficiency retrofit of existing residential buildings. Analyses the basic requirements of technical route on each link of the energy efficiency retrofit, presents the methods of appraisal and diagnosis, and concretely analyses the technical schemes.

Keywords heating area, existing residential building, energy efficiency retrofit, technical route, appraisal and diagnosis, technical scheme

★ China Academy of Building Research, Beijing, China

①

0 引言

目前我国人民对生活质量的要求快速提高,能源消费量增长极快,建筑能耗迅速增长。特别是我国北方供暖地区既有居住建筑量大、面广,其中绝大多数属于非节能高能耗建筑,而且冬季供暖地区正迅速南扩。建筑物寿命一般为 30~50 a,在整个建筑使用寿命中运行能耗非常可观。因此选择适当时机进行既有居住建筑节能改造是非常必要的。从大量调查情况来看,北方既有居住建筑能耗有如下特点:

- 1) 供热能耗高,环境污染严重。
- 2) 一些非节能建筑围护结构保温隔热性能很

差,容易产生冷桥、冷(热)风渗透,热舒适性差,供热费用相对较高,使节能率大打折扣。

3) 室外热网不平衡,水力失调度大,设备及管网运行效率低,导致热量浪费。

4) 目前城市集中供热缺乏计量设施和调节手段。绝大多数既有居住建筑是非节能建筑,没有供

①☆ 周辉,男,1974 年 2 月生,工学博士,工程师
100044 北京市西城区车公庄大街 19 号中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院 219 房间
(010) 88366046 (0) 13552396887
E-mail: cabrmyzh@163.com
收稿日期:2007-07-25
修回日期:2007-08-13

热计量设施,热用户无法进行自主调节;相当一部分新建居住建筑也未安装供热计量设施。

5) 北方既有居住建筑节能改造涉及热源、热网、用户等各方面因素,目前我国住宅产权已大部分私有化,改造时需要使众多业主达成共识,除了技术问题,还有社会问题。这使得节能改造实施难度相对较大。

我国广大北方寒冷地区的建筑节能不仅需要依靠墙体保温等措施,而且需要通过既有建筑改造的各种技术集成来解决。开展北方地区既有居住建筑节能改造,对减少能源消耗,提高能源使用效率,保护环境有重要作用;同时也是推进城镇供热体制改革,完善供热计量制度的重要途径^[1-3]。

目前,国务院《建筑节能管理条例》中已把既有居住建筑节能管理与改造作为重要内容,并提出要加强建筑运行节能管理,稳步推进既有居住建筑的节能改造。本文拟就如何加强既有居住建筑节能改造管理,如何设立既有居住建筑节能改造的原则和步骤,提出针对北方寒冷地区建筑物节能改造的技术方案,从而真正实现该地区既有居住建筑节能改造的节能效益等问题进行论述。

1 国内外既有居住建筑节能改造

1.1 德国既有居住建筑节能改造

在德国,住宅个人私有率很低,多数房子属于住宅建设公司,居民则是通过租房来解决居住问题。这与中国目前城镇住宅私有率超过 80% 的现状大为不同。1990 年 10 月,前东、西德统一后,德国对既有住宅进行改造在很大程度上针对的是原东德地区的板式建筑。

在德国,对既有居住建筑进行改造,所有项目都要完成住宅的室内环境和室内管网、节能与节水及建筑物小区周边环境三方面的改造。改造的水平 and 效果也有所差别。为了体现出与众不同的特点,一些项目还会采用太阳能热水、太阳能供暖甚至光伏电池、新风系统和热回收装置等^[4]。

因为德国《建筑节能法》中规定去除和更换外层抹灰时也应满足保温要求,在改造既有建筑构件时如采用传热系数大于 $0.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 的外层抹灰,就必须进行保温改造处理。这样在进行更新改造时,要求安装 8~10 cm 厚的附加保温层。

关于安装分户热计量装置收取热费,德国已颁布了相关规定,但没有规定强制性技术。特别对原

东德地区 1995 年前建成的多层住宅安装热计量装置,将原室内供暖单管垂直顺序式系统改为垂直单管跨越式系统,系统改造投资计入供热成本,通过热价补偿,偿还年限不超过 5 a。热计量主要采用按楼计量、按户分配热量的方法,按户分配的热费由住户实际消耗的热量费用和固定费用两部分构成。

对于住宅建设公司来说,尽管改造需要投资,但改造后租金可以增加 $1.0 \sim 1.5 \text{ 欧元}/(\text{m}^2 \cdot \text{月})$,而且出租率提高。改造投资可以在 10~15 a 得到回收。由于上网电价较高,如果采用了太阳能光伏电池发电,那么大约 8 a 就可以收回投资;对于住户来说,尽管改造后租金提高了,但运行费用(水、电、气、供暖等)可以节约 20%~30%。

1.2 国内(天津、唐山)既有居住建筑供热改革和节能改造

近几年既有居住建筑节能改造在沈阳、唐山、天津等地进行过一些试点,这些试点为我国北方地区进行大规模节能改造提供了很好的参考依据。

1) 天津改造模式

天津对辖区内部分板楼进行了改造更新,外墙增加外保温,外窗更换为塑钢窗,屋面也进行了很好的保温处理。经改造的住宅满足建筑节能 50% 的要求,使用面积增大,使用功能得到进一步完善。

提出了热价改革和新的计量收费办法:采用计量热价和容量热价相结合的收费方式,同时热价降低 17%。由热力公司自筹资金,对既有系统进行分户改造。促使供热企业节能降耗,下决心采用自控节能设备,形成变流量运行系统。在取消福利供热的同时,采取四个“一点”的方式进行热费改革:供热企业降一点 ($3.1 \text{ 元}/\text{m}^2$),职工单位补一点 ($8.13 \text{ 元}/\text{m}^2$),政府贴一点 ($5.93 \text{ 元}/\text{m}^2$),职工个人交一点 ($1.33 \text{ 元}/\text{m}^2$)^[2]。

2) 唐山改造模式

2004 年进行了中德既有建筑节能改造项目唐山示范工程。唐山改造学习德国改造经验,引入节能综合改造的理念,结合国内实际情况进行方案优化。通过开展建筑基础数据检测和民意调查,初步摸清了示范工程节能改造的基础环节,这也成为进行节能改造效果对比分析的重要依据。

示范项目选择了小区中 3 栋居民楼作为改造对象(每栋楼建筑面积约 2000 m^2)。改造技术方

案包括外墙外保温系统、屋顶、窗、阳台、供暖系统的改造。3 栋楼外墙均采用 EPS 薄抹灰系统,锚栓固定;屋顶均铲除原有保温层,增加 14 cm PU (或 XPS)保温;在窗的处理上,更换空腹钢窗为双玻中空塑钢平开窗(少部分加装单层 Low-e 玻璃);阳台改造方面,在保持面积不变的前提下,进行了结构加固,更换栏板;3 栋楼的供暖系统分别采用垂直双管系统、垂直双管水平成环系统、垂直单管加跨越管系统,室内更换了钢制柱型散热器,装上了恒温阀和热计量装置,系统可调可计量;安装太阳能楼道灯。经过实际测试,节能改造示范项目的节能效果见表 1。

表 1 改造前后 3 栋示范楼节能改造的节能量对比

		509 楼	515 楼	514 楼 (参考楼)
改造前 (2005 2006 年)	负荷/(kWh/(m ² ·a))	107	108	103
	供热能耗(考虑管网和 设备损失)/(kWh/ (m ² ·a))	235	236	226
改造后 (2006— 2007 年)	负荷/(kWh/(m ² ·a))	68	71	104
	供热能耗(考虑管网和 设备损失)/(kWh/ (m ² ·a))	148	155	228
	节能率(未作气候和温度修正)/%	37	35	100
	CO ₂ 减排量/(t/a)	78	74	0

注:考虑管网损失 30%和设备损失 35%。

1.3 技术问题探讨

通过上述比较,笔者认为国内外在既有居住建筑节能改造方面尚有许多技术问题值得探讨。

1) 国外的先进技术和经验值得我们学习,但我国北方既有居住建筑改造不能照搬国外的技术路线。特别是围护结构保温性能限值和热计量方式等方面,国外的做法与我国现状有很大差距。

2) 进行围护结构外保温改造可以显著提高室内热舒适度,节能效果较好,但改造成本较高。

3) 对室温达不到设计要求的建筑或不具备调节控制功能的供热系统均应予以改造。节能改造后,建筑室温应达到设计要求,供热系统应同时具有室温调节和热量计量的基本功能。

2 节能改造各环节技术路线的基本要求分析

设计节能改造技术实现路线时,首先要把节能改造各环节的技术目标识别清楚,在此基础上分析相关技术路线要求,这是构建节能改造技术实现路线的根本。

2.1 对能耗统计技术路线的基本要求

1) 为满足第一个层面(掌握北方城市居住建筑能耗总量变化趋势)的需求,需要按年、季统计能耗总量。基础是实现全部建筑能源分类计量装置的安装。

2) 为满足第二个层面(掌握典型建筑能耗运行水平情况)的需求,需要对重点建筑各类不同的用电系统能耗和其他能耗进行统计。基础是实现楼栋表热计量和分户电耗计量。

3) 为满足第三个层面(提供不同能效水平的基准判断)的需求,需要实现典型标杆建筑(能效高的建筑)的统计。基础是实现远程实时动态监测,提供给其他业主对比。

2.2 对“三改”技术实现路线的基本要求

1) 对能耗统计中高能耗重点用能建筑的高能耗是否是由运行管理原因造成进行判断,为能效公示和实现低成本和无成本改造提供依据;对能耗统计选取的典型标杆建筑的代表性作出判断,为提供同类型建筑的合理用能水平提供依据。

对建筑物剩余寿命周期较短,改造价值不大或尚未实施热改的既有居住建筑不予进行节能改造。

2) 既有居住建筑围护结构节能改造工程必须确保建筑物的结构安全、抗震、防火和主要使用功能,因地制宜选择投资成本低、节能效果明显的方案。

2.3 对绩效考核的基本要求

1) 以投资回收期 and 节能量作为考核指标,对比典型标杆建筑的合理用能水平得到节能目标。节能改造投资回收期宜为 5~8 a,在保证相同室内热舒适水平的前提下,改造后供热能耗应降低 10%~20%。

2) 由于影响用能变化的因素较多(包括气候、使用功能、经营情况等),实际节能量必须进行对标修正。

3 北方既有居住建筑节能改造的评估与诊断

既有居住建筑改造前应进行节能诊断,了解围护结构的热工性能、供热系统能耗及运行控制情况、室内热环境状况等。通过设计验算和全年能耗分析,对拟改造建筑的能耗状况及节能潜力作出评价并出具报告,作为节能改造的依据。既有居住建筑节能改造的判定方法如下:

1) 建筑物耗热指标、围护结构保温隔热和门窗气密性等不能满足现行标准要求。

2) 供热系统的锅炉年运行效率低于 0.68 或室外管网的输送效率低于 0.9。

3) 既有居住建筑的供暖室内系统不能实现室温控制及按用热量计量收费。

4) 对建筑物剩余寿命周期较短、改造价值不大或改造投入和收益比明显很低且不合理的既有居住建筑不予进行节能改造。

建筑整体性能的评估应以各部分性能的实测值为基础,以建筑物的运行使用能耗作为评价指标,并辅以节能改造的预期投资回收期作为考核指标。建筑物能耗评价指标可以用参照建筑对比法或能耗指标法两种方法得到。

1) 参照建筑对比法的计算要求

① 以节能改造前的既有居住建筑为基准模型,将它的围护结构热工参数和用能设备性能参数等信息作为计算依据,经模拟计算得到改造前的建筑物能耗值,以此作为该建筑的基准能耗。

② 节能改造后,将实测的围护结构热工参数和用能设备性能参数输入原模型,而建筑形状、大小、朝向、内部空间划分和使用功能等信息保持不变,经模拟计算得到改造后的建筑物能耗值。

③ 将改造后的建筑物能耗值与基准能耗进行比较,评估指标应符合相关标准或规程的规定。

④ 改造前、后建筑能耗值的计算应采用同一个稳态计算软件或计算公式,并采用典型气象年的数据进行计算。

2) 能耗指标法的计算要求

① 对节能改造前、后的既有居住建筑能源使用情况进行调查和统计。

② 以建筑物全年运行使用能耗和建筑面积为基础,计算该建筑单位面积能耗指标。

③ 以本地区类似建筑的平均能耗指标作为参照值。

④ 既有居住建筑能耗指标高于本地区参照值的,应进行节能改造。

⑤ 既有居住建筑节能改造后,其能耗指标应达到本地区参照值或更低。

总之,既有居住建筑热计量改造要与建筑围护结构节能改造统筹规划、统一设计。节能改造应以一个集中供热小区为单位进行。热源、管网、围护结构同步改造,分步实施。对技术路线基本要求的实现难度分类,可以清晰地发现三个层次实际上是

节能改造在不同阶段的技术要求,即初级、中级、高级阶段的技术路线。

节能改造工程设计目标是达到现行建筑节能设计标准水平,但由于既有居住建筑的具体条件不可能完全按照现行建筑节能设计标准执行,因此实施改造时可对一些既有居住建筑改造有困难的围护结构的传热系数限值采取放宽的做法,如当外窗、不供暖楼梯间内墙和户门不能满足传热系数限值的规定或窗墙比大于《居住建筑节能设计标准》的规定值时,可采用参照建筑对比法进行供暖节能建筑设计计算。

4 节能改造的技术方案分析

4.1 外窗节能改造

建筑节能是个整体优化的结果,包括外墙、外窗、屋顶等几个组成部分,以北京地区为例,建筑围护结构各部分的传热量所占比例分别是:外墙 41%,外窗 41.7%,屋顶 9.0%,其他 8.3%,考虑到面积的因素,窗户是绝热性能最薄弱的构件,也是影响室内热环境质量和建筑节能的主要因素之一。要减少能耗,改善室内热环境质量和提高节能水平,增强窗户的保温隔热性能是一个十分关键的措施。

如果进行节能改造的建筑建造年代比较久远,其窗户类型都为传统的单玻璃钢窗,这种窗的传热系数大多在 $6.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 以上,保温隔热性能较差。通过使用目前市场上比较普及的铝合金或塑钢窗框双玻窗来替换传统的单玻璃钢窗,可以有效降低窗户的传热系数,增加热阻。针对既有居住建筑的大面积改造,其成本不能太高,否则普通居民承受不起,这样就需要在性能和价格之间达到一个平衡,进行综合考虑。

表 2 给出了目前市场上比较普遍的铝合金窗和 PVC 塑钢窗的传热系数和价格。经过比较,建议采用 PVC 中空玻璃塑钢窗,传热系数为 $2.1 \sim 2.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,价格约为 $380 \text{ 元}/\text{m}^2$ 。

影响窗户保温性能的因素主要有两个:传热性和气密性。除了将单玻窗换为双玻窗外,还要注意窗户的密封性。根据国家住宅设计相关标准规定,外窗按空气渗透性分为五级(见表 3),I 级的渗透量最小,V 级的渗透量最大,渗透性能达到 III 级时,每 m 窗缝空气渗透量将减少 40%,每 m 窗缝可减少渗透能耗 40%,I 级则可达 80%。窗玻璃与

表 2 铝合金窗和 PVC 塑钢窗的传热系数和价格

	铝合金窗				PVC 塑钢窗			
	单玻窗	中空玻璃窗	单玻双层窗	断热中空玻璃窗	单玻窗	中空玻璃窗	Low-e 中空玻璃窗	单玻双层窗
传热系数/(W/(m ² ·K))	6.0~6.7	3.9~4.5	约 1.7	2.8~3.5	5.5~5.9	2.1~2.7	1.4	1.4~1.8
价格/(元/m ²)	约 250	约 350	约 800	约 600	约 300	约 380	>1 000	约 600

表 3 外窗空气渗透量等级

	等级				
	I	II	III	IV	V
空气渗透量 qL(压差 10 Pa)/ (m ³ /(m·h))	≤0.5	≤1.5	≤2.5	≤4.0	≤6.0

窗框、窗框与墙体之间存在着一定的空隙,这些空隙是建筑围护结构保温性能的薄弱环节,对于降低建筑能耗而言,增强窗系统密闭性是一关键。设置密封条可达到提高气密性和隔声效果,并要求窗型材改进和生产断面准确,设计时选择质地柔软,具有高弹性、高黏性,适应缝隙变形,压缩比较大的密封条,同时还应选择质量符合国家标准的产品,如门窗框型材、窗用密封条。在建筑物采用气密性好的窗户的情况下,从卫生要求出发,房间应设置可以调节的换气装置或其他可行的换气设施,如设在窗户上的换气小窗、换气扇或自动换气装置等。

4.2 外墙外保温细节处理

细节决定成败,在既有建筑节能改造中同样如此。细节的处理在很大程度上巩固了节能改造的成果,提高了改造的效果^[5]。例如,建筑物的勒脚一般都要突出外墙约 3 cm,如果按照外侧平齐来粘贴苯板,则勒脚部位的保温强度会降低,影响保温效果,可供选择的解决方案是统一保温层厚度,在勒脚边缘交界处安装铝制支架,一方面加强牢固性,同时还能保证交界处的严密,防止进水、产生裂痕;屋面女儿墙顶部的保温层采用锚栓打孔固定。另外,为确保外墙突出部位不会因渗水造成保温层胀裂脱落,保温层上面还添加固定用木块和铝板盖顶。见图 1。

门窗洞口四角的聚苯板应采用整块聚苯板切割成形,聚苯板拼接缝距四角距离应大于 200 mm,且须有锚固措施,并应在洞口处增贴耐碱玻纤网布,见图 2。

4.3 屋面改造

屋面保温节能对建筑造价影响不是很大,但节能效益却很明显。虽然屋面面积比例不大,在高层建筑中所占比例更小,但屋面保温性能对建筑顶层房间具有重要的影响。如果屋面的防水失效,会造

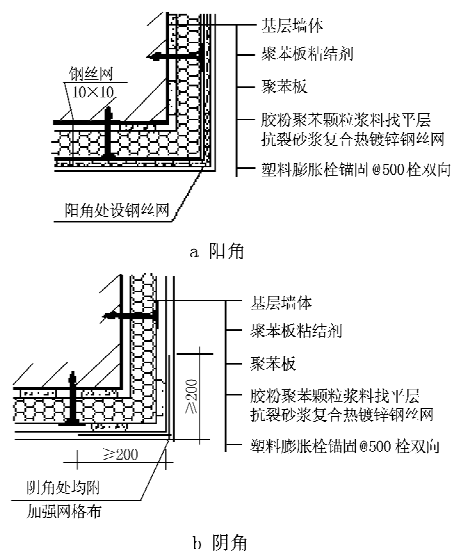


图 1 外墙阴阳角保温做法

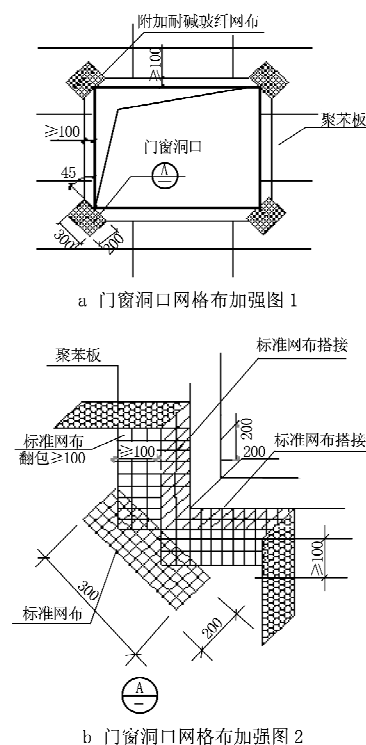


图 2 门窗洞口保温做法

成屋面保温材料的含水量增加,使屋面保温效果下降,屋面坡度不合适,同样也会使屋面保温效果下

降,如寒冷地区在冬季下雪后由于气温较低,太阳辐射量较小,白天融雪时间很短,屋面坡度不大时,雪水不能快速排走,结成冰块状几天甚至十几天不会消失,加上防水不好,保温层受到损害,屋面传热系数达不到规范要求,给顶层房间带来很大影响。因此,严寒地区屋面的保温措施应当结合屋面防水、排水、坡度、保温材料等一并考虑。

保温材料应当采用高效且憎水性好的材料,如憎水珍珠岩、挤塑聚苯板、硬质聚氨酯泡沫塑料板、水泥聚苯板、岩棉板等。岩棉板的保温性能较好,价格低廉,在屋面中使用比较方便,但缺点为强度偏低,施工条件较差,目前生产厂家正在改进;硬质聚氨酯泡沫塑料板导热系数小,约为 $0.027 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,是目前保温性能最好的材料之一,而且密度可以控制,施工方便,可现场喷涂,也可作成预制板材。从既有建筑应用来看,施工十分方便,应用效果好。

4.4 供热计量改造

居住建筑供热计量改造宜在所有建筑物的热力入口设置热量表,并作为热费决算点,也可以对建筑用途相同、建筑类型相同、围护结构相同、户间热费分摊方式一致的若干栋建筑,选取一个决算点安装热表计量决算总费用,管网规模较小时,也可只在换热站/锅炉房设总热量表作为热费决算点。其分户热费应采取户间分摊的方法确定^[6]。

供热计量采用热量表或热分配表,热水计量采用热水表。热量表和热水表出厂时一表一校,使用 5~6 a 后仍需使用一表一校的计量装置进行校准。为了保证热费分摊公平合理,还规定安装计量总表来计量每个同类用户组的消费。供暖费用的分摊分为两个部分:与消费有关的部分和与消费无关的部分。与消费有关的部分(即按表计量的部分)至少应占 50%,与消费无关的部分按住房面积或体积分摊,具体的分摊比例(结算标准)由业主决定。

4.5 热源、热力站节能改造

锅炉房和热力站需增设或完善必要的调节手段,所采用的调节手段应与改造后的室内供暖系统形式相适应。进行改造时采用如下技术措施:

1) 锅炉房和热力站必须安装自动控制的气候补偿装置,其供热量应根据热负荷的实际变化自动调节匹配。

2) 对于室内为垂直或水平单管跨越式的供暖系统,应采用定流量运行方式,锅炉房和热力站宜采用质调节,由气候补偿装置控制系统供水温度。

3) 对于室内为双管的供暖系统,应采用变流量运行方式,锅炉房和热力站宜采用质、量并调,锅炉房直供系统应按热源侧和外网配置两级泵系统,二级循环水泵应设置变频调速装置,一、二级泵供回水管之间应设置连通管。

4) 对热力站供热系统,用户侧供水温度应由气候补偿装置根据室外气温自动调节,其循环泵应采用压差调节的方式变频控制;热源侧流量应由气候补偿装置控制电动调节阀进行调节,且宜设置自力式回水温度限制阀。

5 结论

北方供暖地区既有居住建筑节能改造主要是增强外围护结构(特别是外窗)的保温性能和提高供热系统的效率,从已经开展的试点工程来看,通常改造成本为 $120 \sim 150 \text{ 元}/\text{m}^2$ 。如果严格设计和施工,按此成本改造后的建筑物能耗水平可以降低 50%。改造的成本投入以能耗费用的减少作为回报,一般可在 5~7 a 内收回。

在节能改造资金较紧张的情况下,应优先改造外网和锅炉房。通过增加水泵变频等措施,进行外网热力平衡调节。锅炉房直供系统可采用质量-流量调节方式,由气候补偿装置控制变频水泵或电动调节阀进行调节。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—95 民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1996
- [2] 黄维. 中国建筑供热采暖节能审计实践[C]//建筑能效评估及能效标识国际研讨会会议文集,2006
- [3] 中国建筑科学研究院. JGJ 132—2007 采暖居住建筑节能检验标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2007
- [4] 林常青,吴萍. 德国既有住宅改造模式与经验[J]. 建设科技,2006(7)
- [5] 唐林. 墙体保温节能的构造原理及其在工程中的应用[J]. 住宅科技,2006(12):18-21
- [6] 涂逢祥,徐宗威,汪又兰,等. 波兰丹麦建筑供暖计量收费情况考察报告[J]. 暖通空调,2000,30(1):25-28