

# 既有商品住宅节能改造外部性及其测算研究

刘晓君<sup>1</sup>, 赵琰<sup>1,2</sup>, 赵翠芹<sup>2</sup>

(1 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2 石家庄学院经济管理学院, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 既有商品住宅节能改造具有一定程度的外部性, 阻碍了节能改造的深入开展. 通过分析节能改造外部性的产生原因、外部性表现, 建立外部性测算方法, 为外部性内部化, 构建节能改造外部性偿还机制提供必要依据. 采用经济学理论与方法对既有商品住宅节能改造外部性的产生、表现等进行了分析, 在识别外部性供体与受体的基础上, 提出了节能改造外部性的测算方法. 通过案例分析论证了外部性测算方法的适用性. 结果表明, 应减轻或消除外部性对于节能改造的影响, 采取必要手段将节能改造外部性内部化, 构建统一的节能改造外部性测算方法, 建立节能改造外部性偿还与节能量交易机制.

**关键词:** 既有商品住宅; 节能改造; 外部性; 测算

**中图分类号:** F293.2; TU-023

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2014)01-0137-06

截至 2011 年底, 我国既有民用建筑面积约为 469 亿  $\text{m}^2$ . 其中 85% 以上为高能耗建筑. 围护结构隔热保温与气密性能差、采暖效率低下等问题普遍存在于这些建筑中, 能源浪费现象严重. 根据中国建筑能耗模型的研究结果, 我国总建筑能耗从 1996 年的 2.59 亿吨标准煤增长至 2011 年 6.87 亿吨标准煤. 约占 2011 年社会总能耗的 19.74%. 由于社会经济高速发展与城镇化进程的不断深入, 我国北方城镇建筑面积由 1996 年的 10 亿  $\text{m}^2$  增至 102 亿  $\text{m}^2$ , 同时采暖面积也大幅度增长. 我国采暖地区能耗, 在城镇建筑能源消耗中所占比例较大且单位建筑面积能源消耗水平相对较高. 随着建筑节能工作取得显著成就, 能耗强度有所下降, 从 1996 年平均单位面积采暖能耗 24.3  $\text{kgce}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  到 2011 年降至 14.7  $\text{kgce}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . 然而, 由于非节能建筑存量较大, 且在一定程度上仍在持续开发建设, 总能耗仍然不断攀升<sup>[1]</sup>.

既有商品住宅是我国既有居住建筑的重要组成部分, 对其实施节能改造可有效降低建筑物在运行使用过程的能耗损失, 减少建筑物维保运营费用, 提升区域价值, 提高居民住户的生活品质. 从项目全寿命周期角度, 是有其经济价值的; 从全社会角度来看, 节能改造的实施可降低全社会能源消耗, 减少有害气体、烟尘排放, 同时还能拉动相关产业发展, 促进社会就业, 有利于构建和谐社会, 有利于发挥节能改造市场潜力, 缓解我国日益严峻的能源形势与环境压力, 实施既有商品住宅节能改造已成为社会共识, 是构建“环境友好型、资源节约型”社会的必然要求. 然而, 既有商品住宅节能改造参与主体众多, 权属关系复杂, “筹资难、决策难、协调难”等问题严重制约了节能改造的深入开展. 一方面, 节能改造存在一定程度的外部性, 导致市场部分失灵; 另一方面, 节能改造所形成的效益及外部性量化手段匮乏, 外部性偿还与内部化缺乏必要依据. 系统分析节能改造外部性的产生、表现及测算方法, 是将外部性内部化, 破解节能改造推进难题的根本所在.

## 1 既有商品住宅节能改造的外部性

对既有商品住宅实施节能改造, 可减少整个社会对于能源的高度依赖, 减少空气污染, 提升商品住宅的品质, 还能带动相关产业的发展, 但相关受体并不会因此而向外部性供体支付报酬, 这时节能行为所带来的社会效益大于供体的个体效益. 因此, 节能改造实施主体的节能改造行为具有明显的正外部性.

首先, 既有商品住宅节能改造过程中产生了无形的产品或者服务, 为社会或其他个体带来福利, 具有正外部性的特点, 其次, 由于节能改造所产生的外部性具有无形性、交叉性、多样性等特点, 并且由此产生的经济效果、社会效果、环境效果并没有建立完善的交易市场, 因此其价值难以在现有的市场体系中通过外部性供体与受体的直接交换方式实现其价值, 这种外部性是技术外部性. 外部性即使主要以正外部性的形式出现, 也会造成资源配置失衡等现象的发生<sup>[2]</sup>.

假定节能改造实施主体因节能改造获得的个体效益为  $MR$ , 个体成本  $MC$ , 而节能改造行为所产生的社会效益  $MSR$ , 节能改造具有明显的正外部性, 因此, 节能改造的边际社会效益  $MSR$  大于用户的边际私

人效益  $MR$ , 其差值  $MER$  即是边际外在效益<sup>[3]</sup>. 企业及其他经济主体是逐利而存在的, 从节能改造实施主体个体效益最大化角度来看, 边际效益曲线  $MR$  与边际成本曲线  $MC$  的交点决定了节能改造实施主体愿意提供节能改造服务或产品的数量  $Q_1$ ; 从全社会角度来看, 社会对于既有商品住宅节能改造的均衡量为  $Q_2$ , 它是由边际社会效益曲线  $MSR$  与边际成本曲线  $MC$  的交点所决定的. 因此, 在自发市场机制下, 节能改造实施主体所愿意提供的节能改造服务量  $Q_1$  小于社会最优均衡量  $Q_2$ , 由此可看出, 个体行为的水平低于社会要求的最优水平, 帕累托最优状态无法实现, 从而产生了既有商品住宅节能改造的外部性<sup>[4]</sup>. 根据上述阐述与论证, 可对既有商品住宅节能改造外部性做出定义: 在各方参与实施的节能改造的过程中, 除作为节能改造实施主体获取个体效益以外的额外效益, 外部性受体并没有因获取这部分效益而向改造实施者支付费用, 这部分额外效益被称为节能改造的外部性.

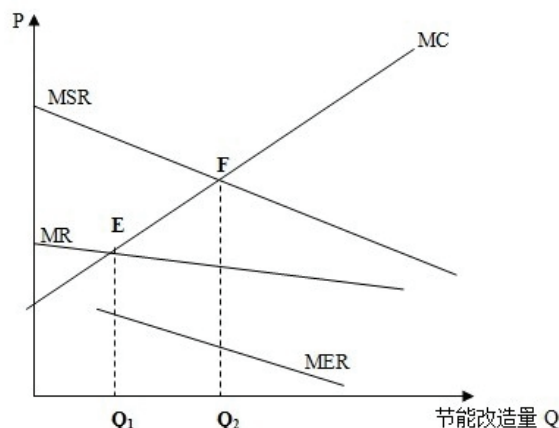


图1 既有商品住宅节能的外部性

Fig.1 Externality of Existing Commercial Residential Buildings Energy Saving Retrofit

## 2 不同节能改造模式下的外部性表现

节能改造外部性与节能改造模式息息相关, 只有确立了节能改造的实施主体, 才能明确节能改造的外部性表现. 节能改造模式是指解决既有商品住宅节能改造相关问题的方法论, 包括从改造决策、到改造实施, 直至项目运营全过程中相关问题的解决方式与策略<sup>[5]</sup>. 就节能改造外部性这一具体问题而言, 辨别节能改造实施主体及受益主体是确定节能改造模式的首要问题. 目前, 我国北方采暖区既有建筑节能改造主要存在以下几种模式: 第一, 政府主导、居民参与模式, 即政府机构提供一定资金支持, 同时居民个人出资参与节能改造; 第二, 供热企业投资改造模式; 第三, 房地产企业或物业企业投资改造模式; 此外, 还包括政府机构委托节能服务公司实施节能改造的模式, 以及上述模式的不同组合等.

### 2.1 政府主导、居民参与模式下的外部性表现

在做好既有建筑节能改造规划的前提下, 政府为具有改造价值的社区提供一定比例的资金支持, 社区居民个人投资参与节能改造. 此种模式在既有建筑围护结构、室内采暖系统及社区二次网节能改造中较为常见. 政府与居民是节能改造的出资主体, 同时也是该模式下的外部性供体, 政府作为社会公共利益的代言人, 享有节能改造带来的相应效益, 主要包括: 节约能源、减少有害气体排放、提升区域形象、拉动就业、提升居民环保意识、拉动相应产业发展等. 在实施热计量、温控装置改造的前提下, 有可能为居民带来实实在在的效益, 主要包括: 减少采暖费用、提升热舒适度、增加建筑面积等. 以上效益主要受益主体为节能改造的实施主体, 可被识别为内部效益, 在此基础上, 可明确此种模式下的外部性表现, 如图2.

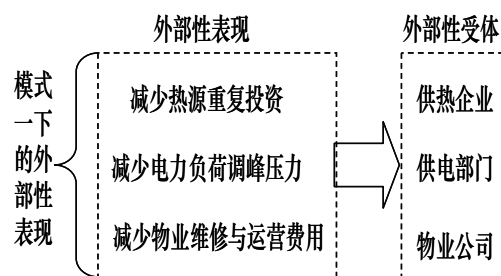


图2 模式一下的外部性表现

Fig.2 Externality Characteristics under Mode 1

### 2.2 供热企业投资改造模式下的外部性表现

在城市热源与一次网节能改造过程中, 常采用供热企业投资改造的模式. 一方面热源与一次网一般属于供热企业, 产权较为明晰; 另一方面, 实施节能改造对于供热企业具有显著的效益, 例如: 提升管网使用效率, 减少管网运营成本、减少热源重复投资等. 与此同时, 也带来了一定的额外效益, 而这部分效益的受益者并未向供热企业支付相应费用, 从而在一定程度上产生了外部效应. 在此模式条件下, 节能改造的外部性表现主要包括: 房屋热舒适度提升、节能减排、提升区域形象、增加就业人数、带动相关产业发展、减轻电力负荷带来的调峰压力、减少物业维修与运营费用等, 具体详见图3.

### 2.3 房地产或物业企业改造模式下的外部性表现

在既有商品住宅节能改造实践过程中,存在着物业公司投资的节能改造模式.在这种模式下,物业公司通过合同能源管理方式为社区居民提供节能改造相关服务,并通过分享改造项目完成后的节能效益回收投资,获取利润.节能改造完成后,物业公司分享的节能效益主要以减少物业维修与运营费用的形式呈现.

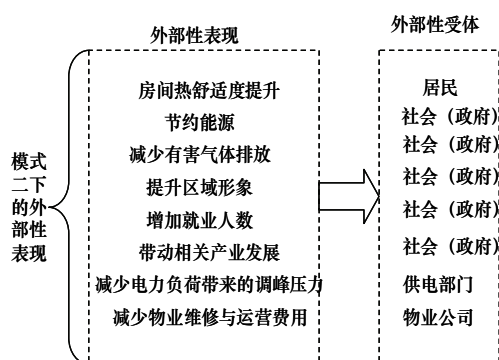


图3 模式二下的外部性表现

Fig.3 Externality Characteristics under Mode 2

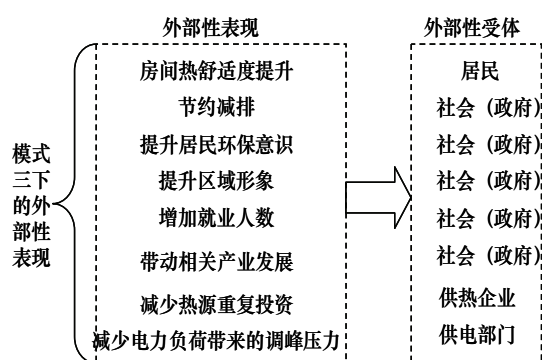


图4 模式三下的外部性表现

Fig.4 Externality Characteristics under Mode 4

与其他模式相比,此种模式具有以下优点:①物业公司作为社区日常运营管理的责任主体,熟知社区建筑构件、设备以及居民等情况,相关技术资料充分;②可有效避免短视行为,在节能改造过程中,物业公司出于自身利益考虑,不但会考虑实施改造的初始成本,还会从全寿命周期角度考虑节能改造完成后维保运营成本,从而提升节能改造的可持续性;③物业公司拥有完备的专业技术人员,在节能改造方面具有一定的专业优势<sup>[6]</sup>.

物业公司实施节能改造可提升居民对其的认可度,并降低物业日常维修与运营费用,具有显著的内部效益.同时,还会引致相应的外部效益,而这部分受益主体并没有向物业公司支付相应的报酬.在此模式下,节能改造的外部性表现如图4.

### 3 既有商品住宅节能改造外部性测算方法

#### 3.1 既有商品住宅节能改造外部性一般测算方法

从既有商品住宅节能改造外部性的概念入手,在各参与主体参与实施的节能改造的过程中,各外部性受体获得了额外效益,而这些效益并没有向外部性供体支付费用.可以认为既有商品住宅节能改造所产生全部效益价值与外部性供体获取效益的差值即为节能改造的外部性价值,在实际计算过程中,还应注意资本时间价值对于外部性量化的影响,应采用现值计算,将各效益值折算到节能改造项目开始时,即前期准备期第一年年年初.节能改造外部性量化可用下式表示:

$$E_{\text{总}} = B_{\text{总}} - B_{\text{供}} \quad (1)$$

其中,  $E_{\text{总}}$  为节能改造的外部性价值;  $B_{\text{总}}$  为节能改造所引致的总效益价值;  $B_{\text{供}}$  为节能改造外部性供体所获取的效益值.

根据具体内容,可以将节能改造的总体效益分类为:功能效益、环境效益、社会效益与经济效益.相应地,在节能改造具体模式确定的条件下,未向节能改造主体支付相应费用的额外效应便可认定为功能外部性、环境外部性、社会外部性与经济外部性.即可得到:

$$E_{\text{总}} = E_{\text{功}} + E_{\text{环}} + E_{\text{社}} + E_{\text{经}} \quad (2)$$

其中,  $E_{\text{功}}$  为节能改造的功能外部性;  $E_{\text{环}}$  为节能改造的环境外部性;  $E_{\text{社}}$  为节能改造的社会外部性;  $E_{\text{经}}$  为节能改造的经济外部性.

#### 3.2 考虑节能改造具体模式的外部性测算方法

以房地产或物业企业投资改造模式为例,阐述在该种模式下的节能改造外部性测算方法.在该种节能改造模式中,房地产或物业公司是外部性的主要供体.外部性受体主要包括:政府(社会)、社区居民、供

热企业、供电部门等. 则该模式下外部性量化模型可表示为:

$$E_{\text{总}} = B_{\text{总}} - B_{\text{物}} = E_{\text{功}} + E_{\text{环}} + E_{\text{社}} + E_{\text{经}} \quad (3)$$

其中,  $E_{\text{总}}$  为此种模式下节能改造的外部性价值;  $B_{\text{物}}$  为节能改造为房地产或物业企业带来的效益价值.

功能外部性主要表现为被改造住房热舒适度水平的提升, 根据经济学中的替代原则, 如果不实施节能改造, 也可使用其他设备达到此种效用, 例如居民常用的空调. 则就可认为使用空调达到此种效果所消耗的电费, 是热舒适度提升效益的价值量<sup>[7]</sup>. 可采用如下公式表示:

$$E_{\text{功}} = \frac{P_{\text{热}} - P_{\text{热}}(1-f)^{n_{\text{冬}}}}{1000} \cdot H \cdot Z_{\text{暖}} \cdot X \cdot P_{\text{电}} \quad (4)$$

其中:  $n_{\text{冬}}$  为节能改造后冬季采暖期可提高温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $P_{\text{热}}$  为家庭常用空调制热输入功率 (W);  $f$  为每提高或降低  $1^{\circ}\text{C}$  降低功耗 (%);  $Z_{\text{暖}}$  为当地冬季采暖天数 (d);  $H$  为居民采暖期每天平均使用空调时间 (h);  $X$  为拟改造社区居民户数;  $P_{\text{电}}$  为当地居民电价 (元/kW·h). 环境外部性表现形式为采暖能耗水平的降低, 测算公式如下:

$$E_{\text{环}} = \frac{24 \times Z_{\text{暖}} \times \Delta Q_H}{H_C \times \eta_1 \times \eta_2} \times A_0 \times P_{\text{煤}} \quad (5)$$

其中:  $B_{\text{政}}$  为政府所获取的额外效益;  $\Delta Q_H$  为节能改造所产生的能源节约量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ );  $H_C$  为表示标准煤热值, 取  $8.14 \times 10^3 \text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ,  $\eta_1$  为室外管网输送效率, 采取节能措施前后分别取 0.85, 和 0.90;  $\eta_2$  为锅炉运行效率, 采取节能措施前后分别取 0.55 和 0.68.  $A_0$  为实施节能改造的既有商品住宅建筑面积;  $P_{\text{煤}}$  为标准煤单位价格 (元/kg); 社会外部性主要表现为增加就业与拉动相关产业发展, 其测算公式如下:

$$E_{\text{社}} = J \times I \times L + 3.484 \times V_A \quad (6)$$

其中:  $J$  为每亿元新增固定资产投资平均增加就业岗位个数;  $I$  为项目建设期内年投资规模 (亿元);  $L$  为当地年最低生活保障金额 (元);  $V_A$  为年增加值, 根据年投资额与建筑业增加值率相乘估算. 经济外部性主要表现为减少热源重复投资等. 采用如下公式表示:

$$E_{\text{经}} = \frac{\Delta Q_H \times A_0}{Q_H} \times C_{\text{热}} \quad (7)$$

其中,  $\Delta Q_H$  为节能改造所产生的能源节约量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ );  $A_0$  为实施节能改造的既有商品住宅建筑面积;  $\overline{Q_H}$  为当地住宅建筑平均能耗 ( $\text{W}/\text{m}^2$ );  $C_{\text{热}}$  为单位供热面积热源建设费用,

### 3.3 案例分析

所选案例位于河北省石家庄市, 处于寒冷 (B) 区, 计算采暖期 97 d, 采暖期室外平均温度  $0.9^{\circ}\text{C}$ . 该节能改造项目为两栋 6 层砖混结构建筑, 总建筑面积  $9\,561.6 \text{m}^2$ , 建成于 1998 年, 于 2009 年实施节能改造, 采取外保温形式对外墙实施保温改造, 并对室外管网 (二次网)、热交换站及室内采暖系统实施了节能改造. 节能改造前后能源节约量约为  $14.49 \text{W}/\text{m}^2$ , 社区改造后可平均提升温度  $4^{\circ}\text{C}$ , 当地每亿元新增固定资产投资平均增加就业岗位 1 550 个, 节能改造建设实施期为一年, 设计使用年限为 20 年, 项目投资 337.92 万元. 根据《中国统计年鉴 2010》, 河北省建筑业增加值率为 17.6%. 根据上述公式, 可测算节能改造外部效益, 如下:

$$E_{\text{功}} = \frac{2000 - 2000(1 - 5\%)^4}{1000} \times 12 \times 97 \times 102 \times 0.5 = 22023.45 \text{元}$$

$$E_{\text{环}} = \frac{24 \times 97 \times 14.49}{8.14 \times 10^3 \times 0.90 \times 0.88} \times 9561.6 \times 0.6 = 30018.13 \text{元}$$

$$E_{\text{社}} = 1550 \times 0.0338 \times 750 + 3.484 \times 594739.2 = 211.14 \text{万元}$$

$$E_{\text{经}} = \frac{14.49 \times 9561.6}{62.75} \times 150 = 33.12 \text{万元}$$

功能与环境外部性为逐年产生与消费的外部性,需要对其进行折现,测算现值,折现率按照现行社会折现率 8% 计算. 社会与经济外部性为一次性产生与消费的外部性. 按照资本时间价值相关原理可计算得到外部效益现值,即 295.35 万元.

## 4 政策建议

既有商品住宅节能改造具有显著的正外部性,导致市场资源配置无法达到帕累托最优,阻碍节能改造深入开展. 减轻或消除外部性的存在,采取必要手段将节能改造外部性内部化是构建基于市场化的节能改造新模式的关键所在. 将既有商品住宅节能改造外部性内部化,可采取如下政策手段:

(1) 构建统一的节能改造外部性测算方法与报告体系;一方面,建立分层次、分类别的效益与外部性测算体系,将相关信息通过统一适用的测算量化方法显示出来;另一方面,建立统一的节能改造效益与外部性报告机制,在报告中将节能改造效益与外部性信息集中详细地予以披露,从宏观、微观角度全方位、系统地地反映节能改造价值信息.

(2) 建立节能改造外部性偿还机制:节能改造外部效益受体应在一定程度上向外部效益供体偿还部分费用. 仍以房地产或物业企业投资改造模式为例,社会是除节能改造实施主体之外最大的受益主体,作为社会代言人的政府应以外部效益测算结果为依据,向节能改造实施主体支付一定费用,一方面,政府可通过贷款贴息、财政补贴、税收减免等财税手段为节能改造实施提供助力;另一方面,政府可制定政策允许和鼓励节能改造实施者利用政策性资金,如:住房公积金、住宅专项维修资金、新型墙体材料专项基金等. 除此之外,居民、供热企业等外部性受体也应该通过向物业企业支付额外物业费、增加采暖费差额等方式向其偿还部分外部效益,从而减轻或消除节能改造领域存在的外部性.

(3) 建立节能改造节能量交易机制;应尽快建立既有商品住宅节能改造节能改造节能量交易机制,使节能改造所形成的节能量在不同区域、不同市场主体间实现流动与交易,构建以市场化为核心的节能改造资金融通与价值发现模式,从而减轻或消除既有商品住宅节能改造领域存在的外部性,发挥市场在配置资源中的主导作用<sup>[8]</sup>.

## 参考文献 References

- [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 (2013) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013: 2-3. Building Energy Research Center of Tsinghua University. Annual Report on the Development of building Energy in China (2013) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013: 2-3.
- [2] 科斯. 社会成本问题.[M]. 上海: 上海人民出版社, 1990. Coase. The Problem of Social Cost. Shanghai: Shanghai people's publishing house, 1990.
- [3] 卢双全. 建筑节能改造的外部性分析与激励政策[J]. 建筑经济, 2007,4:43-46. LU Shuangquan. Externality analysis and incentive policies of Building Energy retrofit[J]. Construction Economy, 2007, (4):43-46.
- [4] Tuominen Pekka, Klobut Krzysztof. Energy savings potential in buildings and overcoming market barriers in member states of the European Union. [J]. Energy and Buildings Volume 51, August 2012, Pages 48 – 55.
- [5] 陈砚祥, 刘晓君. 既有居住建筑节能改造筹资问题探讨[J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版) 2010,6: 841-844.

- CHEN Yanxiang, LIU Xiaojun. Study on the financing for the energy saving reconstruction of residential buildings[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2010, (6):841-844.
- [6] LEE Myung-Kyoon, PARK Hyuna, PAINULY Jongwhan Nohc J P. Promoting energy efficiency financing and ESCOs in developing countries: experiences from Korean ESCO business[J]. Energy Policy, 2003 (11) : 651 — 657.
- [7] 赵军, 马洪亭, 李德英. 既有建筑供能系统节能分析与优化技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.  
ZHAO Jun, MA Hongting, LI Deying. Energy saving analysis and technology optimization for existing building energy supply system[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [8] Steven Sorrell, Jos Sijm. Carbon trading in the policy mix [J]. Oxford Review of Economic Policy, 2003 (19):416-420.

## Study on externality and its calculation method of existing commercial residential buildings energy saving retrofit

LIU Xiaojun<sup>1</sup>, ZHAO Yan<sup>1,2</sup>, ZHAO Cuiqin<sup>2</sup>

(1. School of Management Xi'an University of Arch. & Techn. Xi'an 710055; 2. School of Economics and Management Shijiazhuang University, , Shijiazhuang, 050021)

**Abstract:** Externality exists in the field of existing commercial residential buildings energy-saving retrofit which hinders the implementation of energy-saving in-depth. To build the externality calculation method in order to provide the necessary basis for the internalization of externality and the establishment of energy-saving externality repayment mechanism. To describe the causes and manifestations of energy-saving externality by economic theory and method. To propose the calculation method on the basis of identifying the externality donors and acceptors. To demonstrate the applicability of the calculation method externality through case analysis. The conclusions show that the externality should be reduced or eliminated; the necessary means should be adopted to internalize the externality of energy-saving retrofit by building a unified external energy saving calculation method, establishing energy-saving retrofit externality repayment and energy savings trading mechanism.

**Keywords:** existing commercial residential buildings; energy saving retrofit; externality; calculation

(本文编辑: 吴海西)