

文章编号:1008-1534(2017)04-0270-06

严寒地区居住建筑节能改造优化模型探究

张 姝,张希浩,贾永英,李 栋,吕松炎,宫克勤

(东北石油大学土木建筑工程学院,黑龙江大庆 163318)

摘要:为推进严寒地区建筑节能进程,通过更经济的节能改造策略适应不断提高的建筑节能要求,针对哈尔滨市某9层住宅楼,以提高围护结构保温性能和改设双向通风窗两种策略建立两类节能模型,利用能耗软件模拟分析两类模型较基本模型的节能性和经济性。对比改用双向通风窗前后的能耗变化情况可知:基本模型节能率提高约15%,每年每平方米节约费用1.87元;第一类模型节能率平均提高约13%,每年每平方米平均节约费用1.42元。与提高围护结构保温性能来达到节能效果的方式相比,采用双向通风窗即可在保证空气品质的同时,获得较好的节能效果。研究结果可为严寒地区的居住建筑节能改造提供参考。

关键词:通风与空调工程;严寒地区;居住建筑;双向通风窗;优化模型

中图分类号:TU111.19 文献标志码:A doi: 10.7535/hbgykj.2017yx04007

Study on the optimization model of energy efficiency renovation of residential buildings in severe cold areas

ZHANG Shu, ZHANG Xihao, JIA Yongying, LI Dong, LYU Songyan, GONG Keqin

(School of Civil Engineering and Architecture, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China)

Abstract: In order to promote the building energy saving process and adopt more economical energy-saving transformation strategy to meet the increasing demand for building energy efficiency in cold areas, two kinds of energy saving models are established for a nine-storey residential building with two strategies of improving the thermal insulation performance of the building envelope and changing to install the bidirectional ventilation windows(BVW) in Harbin. Energy consumption software is used to simulate and analyze the energy efficiency and economy of the two models. Compared to the use of the BVW before and after the energy consumption changes, the energy saving rate of the basic model is improved by about 15%, and the saved cost per square meter is 1.87 RMB annually. The energy saving rate of the first energy saving model is increased by about 13%, and the average saved cost per square meter is 1.42 RMB annually. Compared with the way of improving the insulation performance of the envelope to achieve energy saving effect, the use of the BVW can improve air quality and get better energy saving effect. The study result has some reference for energy efficiency renovation of residential buildings in severe cold areas.

Keywords: ventilation and air conditioning engineering; extreme cold areas; residential building; bidirectional ventilation window; optimization model

收稿日期:2017-03-30;修回日期:2017-05-18;责任编辑:陈书欣

基金项目:国家自然科学基金(51306031)

第一作者简介:张 姝(1979—),女,吉林长春人,副教授,博士,主要从事土壤源热泵、建筑节能方面的研究。

通信作者:张希浩。E-mail:dbsyzxh@163.com

张 姝,张希浩,贾永英,等.严寒地区居住建筑节能改造优化模型探究[J].河北工业科技,2017,34(4):270-275.

ZHANG Shu, ZHANG Xihao, JIA Yongying, et al. Study on the optimization model of energy efficiency renovation of residential buildings in severe cold areas[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2017, 34(4): 270-275.

针对居住建筑高能耗、高污染、舒适性差的特点,国家提出建筑节能分步走战略。自北京市实行建筑节能75%的设计标准以来,天津、山东、河北、乌鲁木齐等省市也制定了相应节能设计标准,并开始实施第4阶段75%的节能目标。随着节能进程的推进,关于这方面的研究也在逐步深入。

作为围护结构的重要组成部分,外墙、屋顶、外窗成为研究的重点。外墙研究主要集中在墙体构造/材料和保温材料性能上^[1-2],屋顶除了加设保温材料增加其保温隔热性能外,屋顶绿化也起到了一定的保温、遮阳作用^[3]。窗户作为影响建筑物能耗的重要构件,科研人员对与之相关的传热系数、遮阳系数、窗墙比、朝向等参数进行了研究,分析单一因素、多重因素对某一气候区、多个气候区建筑物能耗的影响^[4-9]。因建筑物能耗的大小是由其周边或内部多种因素共同作用和相互影响有关,所以不同类型的算法(如遗传算法、人工神经网络算法、粒子群优化算法等)、正交试验法、层次分析法等被引入,用以多目标优化建筑围护结构热工性能,实现节能参数的最佳匹配^[10-13]。此外,有关学者就相变墙体对建筑物能耗的影响、通过合理的窗户设计从而减少电气照明能耗、气候变化对建筑物能耗的影响等方面进行了研究^[14-16]。LIN等^[17]建立了一套办公建筑围护结构能效配置模型决策支持系统,用于优化建筑围护结构最小施工预算。

宁志海^[18]对西安地区住宅建筑节能75%设计标准的可行性进行技术研究。杨颖等^[19]通过改善外窗绝热性能及降低窗墙比相结合的策略来实现天津市居住建筑75%的节能目标。MA等^[20]分析了不同参数对窗户节能效果的影响,最后提出通过增加玻璃、窗框的层数,改进窗框的材质,合理控制窗墙比,设置遮阳等措施来提高窗户的综合性能。王丽颖等^[21]从建筑朝向、体型系数、耗热量指标、维护结构构造等方面论述了严寒地区居住类建筑节能75%的关键技术。

本文以节能75%为目标,对围护结构进行优化组合,提出第一类节能建筑模型,并同当前建筑进行能耗比较;引入双向通风窗代替前述模型的普通中空玻璃窗提出了第二类节能建筑模型,双向通风窗的引入,解决了仅靠冷风渗透所引起的新风量不足以及在严寒地区加热新风耗热量大的双重问题。与此同时,通过对两种模型的节能性和经济性进行分析,从而为严寒地区居住建筑实现75%的节能目标提供参考。

1 基本建筑模型的建立

模拟的建筑物位于哈尔滨市,共9层、层高3.0 m,2个单元,1梯2户,建筑面积约为4 184.64 m²,体型系数为0.3。利用DeST软件建立模型如图1所示。

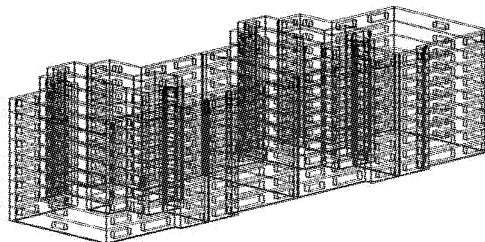


图1 建筑物三维立体图

Fig. 1 Three-dimensional map of buildings

参照相关规范,建筑围护结构各参数设定见表1。屋顶和外墙均采用外保温。

表1 模拟建筑围护结构参数

Tab. 1 Parameters of simulation building envelope

名称	围护结构材料	传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]
外墙	凝土八孔砖墙+挤塑聚苯板	0.339
屋顶	八孔砖+挤塑聚苯板+砂浆	0.281
楼板	八孔砖+挤塑聚苯板+砂浆	1.050
地面	鹅卵石+挤塑聚苯板+砂浆	1.311
外窗	单框三层中空推拉式塑钢窗	2.000
外门	成品保温防盗门	1.500

2 两类节能模型的建立

2.1 第一类节能模型

在基本模型的基础上,依据各围护结构散热的权重比例,增加其保温性能,提出了节能建筑模型I—模型III。供暖期共178天,户内温度设定为18℃,楼梯间温度设定为16℃。房间的换气次数为0.5次/h,外窗遮阳系数均为0.8。地面热阻为1.311(m²·K)/W。表2为节能模型的围护结构参数。

表2 节能模型参数

Tab. 2 Energy saving model parameters

围护结构	模型I	模型II	模型III
外墙和 保温层厚度/mm	120	140	160
屋顶 传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	0.24	0.21	0.19
外窗 传热系数/[W·(m ² ·K) ⁻¹]	1.20	1.00	0.80

表3为模拟计算结果,从表3中数据可以看出,模型I—模型III的节能率均达到75%以上。

表3 节能模型模拟结果

Tab.3 Simulation results of energy saving model

分类	基本模型	模型 I	模型 II	模型 III
总供热量/GJ	1 104.82	780.33	705.61	648.65
平均热负荷/(W·m ⁻²)	17.17	12.13	10.96	10.08
最大热负荷/(W·m ⁻²)	40.58	32.88	30.79	28.93
耗煤量指标/(kg·m ⁻²)	13.99	9.88	8.93	8.21
节能率/%	65.50	75.66	77.99	79.77

按使用寿命为30年计算,各模型耗煤量如图2所示。模型I、模型II和模型III随着围护结构保温性能的逐步提高,节能率依次提高2.33%和1.78%,可见增加幅度逐步减小。随着外墙保温层的加厚,建筑用地和材料耗费不断增加,同时外窗传热性能的提高,也将大幅度增加初投资。经调研可知,目前,哈尔滨地区用于外墙保温的挤塑板为300~360元/m³,普通中空三玻窗250元/m²。采用充氩气或Low-e低辐射玻璃可以提高保温隔热性能,整窗传热系数可达到0.8W/(m²·K)以下,但由于品牌、技术、窗框、隔热条、五金件等等多方面因素导致节能窗价格区间跨度很大,为500~5000元/m²,投资无法准确估算。因此,实际中应依据具体需求进行技术经济比较,选用合适的围护结构。

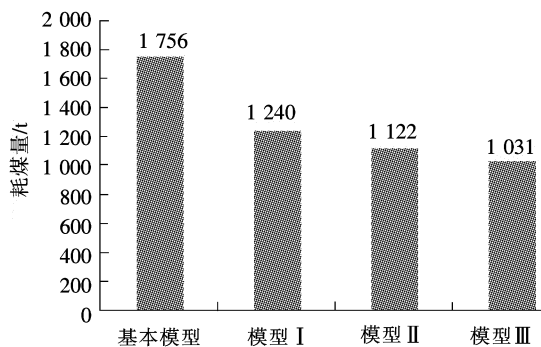


图2 节能模型耗煤量的比较

Fig.2 Comparison of coal consumption in energy saving model

由此可见,通过增加墙体及屋面的保温层厚度,并采用保温隔热性能更好的新型节能窗可以显著降低建筑的冬季耗热量,提高建筑节能率。但当挤塑板(XPS)保温层达到140mm以上或者节能窗传热系数小于1.0W/(m²·K)时,保温性能提高减缓并且投资费用将显著增加。严寒地区在常规住宅设计中为达到75%的节能目标,可采用模型I和模

型II的围护结构类型,但因设计地点和建筑具体参数结构的差异,需要进一步进行权衡计算来验证其节能指标是否满足要求。

2.2 第二类节能模型

随着节能门窗保温隔热性能的不不断提高,建筑的气密性也逐步加强,尽管这在很大程度上减少了建筑冷风渗透耗热,但同时也容易造成室内新风量无法满足要求的境况,双向通风窗就是在减少建筑物能耗和提高室内空气品质的双重背景下提出的。

第二类节能模型正是在基本模型和第一类节能模型的基础上,采用了双向通风窗。依据文献研究结果可知,哈尔滨80m²中间层住宅,采用双向通风窗时冬季能耗与采用普通中空三玻窗时能耗相比,节能率达到51.4%^[22]。经模拟分析得出,在围护结构条件均相同的情况下,采用通风窗的节能效果相当于外窗热回收效率为70%的情况。由双向通风窗的工作原理可知,其为显热回收装置,为方便模拟计算,在0.5次/h换气次数的情况下,将通风窗70%热回收效率折合成减少的换气次数为0.325次/h,即采用通风窗后,模拟能耗时其他参数不变,换气次数为0.175次/h。

模拟住户,共有4个房间均设通风窗,考虑到同时有人的情况几乎没有,所以模拟中按照2个房间有人,通风窗一直通风换气。然而,在实际应用时,房间有人才开启通风,故工作日白天大部分时间是全关闭的。

目前,中国平均煤电发电效率是36.7%,电网效率是94.5%,因此,煤电效率按34.7%计算。集中供热锅炉热效率和供热管网热效率都按90%计算,则集中供热的热效率为81%。风机耗能计入到总耗能中。带双向通风窗的基本模型和节能模型分别叫做新基本模型和新模型,其模拟结果如表4所示。对比使用双向通风窗改造前后的耗能情况,基本模型的节能率从65.5%提高到80.4%,提高了约15%,第一类节能模型节能率平均提高了约13%。改造前后节能率较大提高的原因是因为双向通风窗中,送风气流可以吸收排风气流的温度,同时吸收太阳辐射热,使送风温度升高,减少了新风能耗^[22]。

图3为通风窗对供热量的影响。通风窗前后的总供热量对比可以看出,增加通风窗后各模型供热量均有大幅度减少,且随着保温性能的提高,有通风窗时建筑总供热量比无通风窗时供热量减少幅度逐步增加,这是由于随着围护结构保温性能的提高,冷风渗透耗热量占总耗热量比例逐步增大,因此,采用能够热回收的通风窗时节能效果才更加显著。

表 4 第二类节能模型模拟结果

Tab. 4 Second type of energy saving model simulation results

分类	新基本模型	模型 I	模型 II	模型 III
总供热量/GJ	565.81	326.09	264.73	212.22
平均热负荷/(W·m ⁻²)	8.79	5.07	4.11	3.03
最大热负荷/(W·m ⁻²)	25.64	18.18	16.08	14.15
通风窗耗电/(W·m ⁻²)	0.43	0.43	0.43	0.43
供热耗煤量/(kg·m ⁻²)	7.17	4.13	3.35	2.69
用电耗煤量/(kg·m ⁻²)	0.80	0.80	0.80	0.80
总耗煤量/(kg·m ⁻²)	7.97	4.93	4.15	4.39
节能率/%	80.38	87.85	89.77	91.40

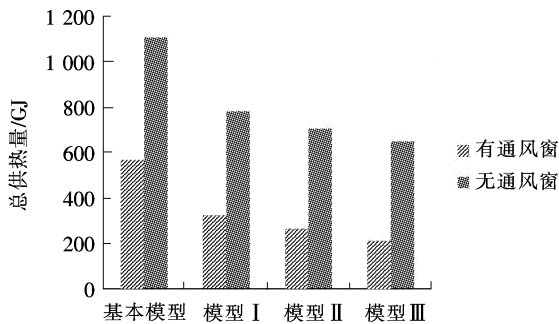


图 3 通风窗对供热量的影响

Fig. 3 Effect of ventilation window on heating capacity

图 4 为通风窗对节能率的影响。以 20 世纪 80 年代建筑及供热标准为基础,比较有无通风窗时的节能情况。由图 4 可知,增加通风窗后,各模型建筑的节能率均有大幅度提高。其中基本模型变化幅度最大,约升高 15%。新基本模型和新模型 III 节能率分别达到 80.1% 和 91.4%。远远超过 75% 的第 4 阶段节能目标。

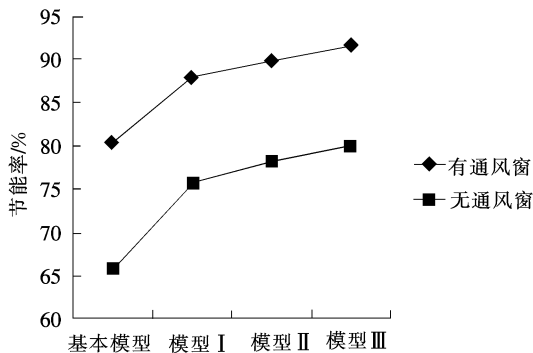


图 4 通风窗对节能率的影响

Fig. 4 Effect of ventilation window on energy saving

图 5 是以无通风窗为基准,相应模型加设通风窗前后的节能率比较,通过对比可以看出,增加通风窗后,各模型节能幅度随保温性能提高而增大,也说

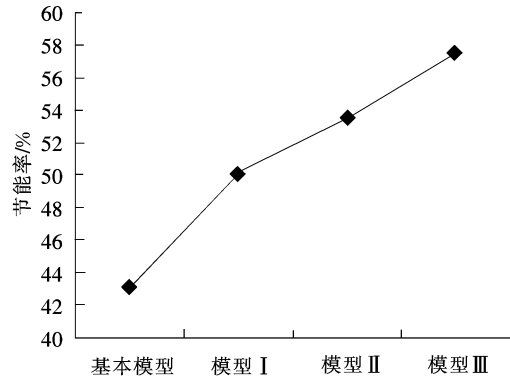


图 5 不同措施下节能率的比较

Fig. 5 Comparison of energy efficiency under different measures

明了当建筑围护结构达到一定的保温程度时,再继续提高围护结构,保温性能不如采用热回收措施取得的节能效果显著。

图 6 为基本模型有无通风窗时各层采暖季平均热负荷比较。可以看到,增加通风窗后一层、中间层和顶层的热负荷依次减少了 45.6%, 51.6% 和 37.9%。中间层热负荷减少幅度最大,这与冷风渗透耗热量占总耗电量的比例有关,比例越大,减少幅度越大。

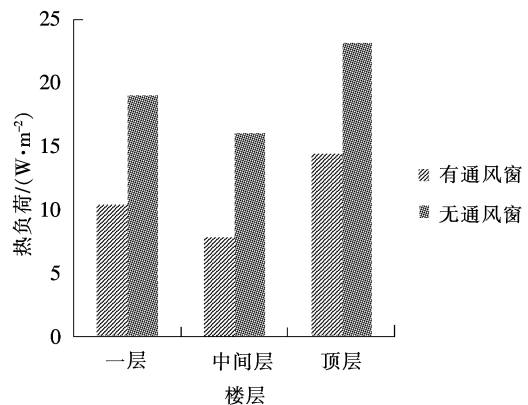


图 6 各层平均热负荷比较

Fig. 6 Comparison of average heat load at each level

3 经济性分析

经过前文的模拟结果可知,采用双向通风窗的第二类建筑模型的节能效果明显高于未采用双向通风窗的第一类建筑模型,双向通风窗与普通中空三玻窗相比,结构上主要相差 2 个风机,分别用于送风和排风,因此也增加了设备投资和运行耗电量。本次模拟建筑共 9 层,每层 4 住户,每住户 3 个卧室和 1 个客厅均需要设置一扇通风窗。风机额定功率为 25 W,采用离心式通风机,单价为 150 元/台,安装

费 80 元/台。标准煤价格逐年变化, 现已接近时价的 500 元/t 为计算基准。以 30 年为建筑使用寿命, 考虑到风机的使用寿命无法达到 30 年, 期间更换一次, 更换风机时, 风机的拆装总费用为 120 元/台, 以第一类节能模型为基准, 对第二类节能模型投资及运行费用等经济性指标进行分析, 结果见表 5。由表 5 可知, 各节能模型采用双向通风窗所增加的风机投资和通风耗电量都相等, 节约的供热费用超过增加的费用。供热费用降低的幅度随着模型保温性能的增加而减小, 新基本模型节约的供热费用最大, 总节约供热费用 37.82 万元, 除去投资和运行费用共节约 23.52 万元, 节约费用 1.87 元/(m²·a)。第一类节能模型平均总节约供热费用 32.13 万元, 除去投资和运行费用, 平均节约 17.83 万元, 节约费用 1.42 元/(m²·a)。

表 5 节能建筑模型经济性指标

Tab. 5 Economic index of energy saving building model

分 类	新基本模型	模型 I	模型 II	模型 III
增加投资/万元	14.30	14.30	14.30	14.30
年增加耗电量/(kW·h)	427.20	427.20	427.20	427.20
年节约供热量/GJ	539.20	454.20	440.90	436.40
30 年总节煤量/t	756.30	621.20	600.00	592.90
30 年总节煤费用/万元	37.82	31.06	30.00	29.65
30 年总节约费用/万元	23.52	16.76	15.70	15.35
年节约费用/万元	0.78	0.56	0.52	0.51

4 结 论

通过对两类模型的模拟计算, 得出如下结论。

1) 以节能 75% 为基本目标, 提出第一类节能模型, 随着墙体和屋顶的保温层厚度增加, 建筑节能率从 75.66% 提高到 79.77%, 此时, 依靠继续提高围护结构的保温性能来实现进一步节能, 投资大并且节能效果不显著。

2) 从技术、经济两方面比较分析, 笔者推荐新建建筑采用带双向通风窗的新基本模型围护结构形式。应用双向通风窗, 不但能够保证室内空气品质, 而且节能效果显著。

3) 随着对建筑节能要求的不断提高, 单单靠提高维护结构的保温性能来满足节能标准, 付出的成本会逐渐增大, 不如转而加大对双向通风窗、热回收式新风机组等新技术和地源热泵、太阳能等新能源的探究和利用。

参考文献/References:

[1] SIM J, SIM J. The effect of external walls on energy perform-

ance of a Korean traditional building[J]. Sustainable Cities and Society, 2016, 24:10-19.

[2] 何宝明, 张宁. 酚醛泡沫塑料在建筑外墙中保温节能效果研究[J]. 塑料工业, 2016, 44(4):97-100.

HE Baoming, ZHANG Ning. Thermal insulation and energy-saving effect research of phenolic foam in building external wall[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(4):97-100.

[3] 肖敏, 张国强. 国内外屋顶的绿化设计[J]. 工业建筑, 2015, 45(1):184-188.

XIAO Min, ZHANG Guoqiang. Development of designing and application of green roofs[J]. Industrial Construction, 2015, 45(1): 184-188.

[4] 王刚, 崔明辉. 某办公楼围护结构节能改造的分析[J]. 河北工业科技, 2009, 26(5):356-358.

WANG Gang, CUI Minghui. Analysis on energy-saving reform of the palisade structure of an office building[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2009, 26(5): 356-358.

[5] MANGKUTO R A, ROHMAH M, ASRI D A. Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: A case study of buildings in the tropics[J]. Applied Energy, 2016, 164:211-219.

[6] GOIA F. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential[J]. Solar Energy, 2016, 132:467-492.

[7] 何梅, 石颜博. 严寒地区既有居住建筑节能改造窗户节能效果研究——以内蒙古地区为例[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2013, 45(4):554-558.

HE Mei, SHI Yanbo. The effect of energy saving window in cold region existing residential building energy saving reconstruction: Using Inner Mongolia as an example[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2013, 45(4):554-558.

[8] 王焯, 孙鹏宝, 付银安, 等. 不同建筑热工分区办公建筑外围护结构负荷指标影响因素权重[J]. 土木建筑与环境工程, 2017, 39(1):7-12.

WANG Ye, SUN Pengbao, FU Yin'an, et al. Analysis on the weight of the indices of factors affecting the heat and cold load for office buildings in different climate zones[J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2017, 39(1):7-12.

[9] 王刚, 王文跃, 崔明辉. 窗墙比对室内热舒适性指标 PMV 影响的研究[J]. 河北工业科技, 2014, 31(1):87-90.

WANG Gang, WANG Wenyue, CUI Minghui. Study on the influence of the window-wall ratio on indoor heat comfortability index PMV[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(1):87-90.

[10] MAGNIER L, HAGHIGHAT F. Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network[J]. Building and Environment, 2010, 45(3):739-746.

[11] HUANG Yu, NIU Jianlei. Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and

- new potentials[J]. *Energy and Buildings*, 2016, 117: 387-398.
- [12] 金国辉, 赵茜健. 呼包鄂地区住宅建筑围护结构节能潜力的DeST 正交模拟[J]. *土木工程与管理学报*, 2016, 33(6): 63-66.
JIN Guohui, ZHAO Xijian. Orthogonal simulation of the potential energy saving of residential buildings palisade structure in Hubaoe region based on DeST[J]. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2016, 33(6): 63-66.
- [13] 林波荣, 李紫微. 面向设计初期的建筑节能优化方法[J]. *科学通报*, 2016, 61(1): 113-121.
LIN Borong, LI Ziwei. Building energy-saving approach in early design stage[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(1): 113-121.
- [14] ASCIONE F, MASI R F D, ROSSI F D, et al. Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study[J]. *Applied Energy*, 2016, 183: 938-957.
- [15] ACOSTA I, CAMPANO M A, MOLINA J F. Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces[J]. *Applied Energy*, 2016, 168: 493-506.
- [16] HUANG J H, GURNEY K R. The variation of climate change impact on building energy consumption to building type and spatiotemporal scale [J]. *Energy*, 2016, 111: 137-153.
- [17] LIN Yuhao, TSAI K, LIN Minder, et al. Design optimization of office building envelope configurations for energy conservation[J]. *Applied Energy*, 2016, 171: 336-346.
- [18] 宁志海. 西安地区住宅建筑节能75%设计标准的技术可行性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
NING Zhihai. The Technical Feasibility Research of Xi'an Dwelling Building's 75% Energy Saving-design Standard[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.
- [19] 杨颖, 芦岩. 天津居住建筑节能率与节能策略分析[J]. *煤气与热力*, 2011, 31(6): A19-A21.
YANG Ying, LU Yan. Analysis on energy saving rate and strategy for residential building in Tianjin[J]. *Gas & Heat*, 2011, 31(6): A19 -A21.
- [20] MA Honglei, WANG Jianfeng, JI Min. DEST simulation using the window on the building energy consumption[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 282/283: 257-260.
- [21] 王丽颖, 王智宇. 严寒地区居住类建筑节能75%的关键技术研究[J]. *长春工程学院学报(自然科学版)*, 2015, 16(2): 65-67.
WANG Liying, WANG Zhiyu. The research on the key technology of building energy saving of 75% in severe cold regions [J]. *Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Sciences Edition)*, 2015, 16(2): 65-67.
- [22] 魏景姝, 赵加宁, 陈清焰. 双向通风窗的地区适应性研究[J]. *暖通空调*, 2011, 41(4): 69-72.
WEI Jingshu, ZHAO Jianing, CHEN Qingyan. Applicability study of dual-airflow window for different climatic zones[J]. *Heating Ventilating & Air Conditioning*, 2011, 41(4): 69-72.