

文章编号: 1671-6612 (2020) 02-215-09

寒冷地区某既有办公建筑围护结构优化改造研究

黄帅帅 李 炎 崔景东 韩福成

(兰州交通大学环境与市政工程学院 兰州 730070)

【摘 要】 既有公共建筑能耗中, 围护结构节能潜力巨大。以兰州某既有办公建筑为例, 采用 DeST-C 软件模拟围护结构不同材料厚度、窗型, 得出系列负荷, 通过对数据分析、比较, 得出如下结论: 外墙外保温适宜材料为 50mm 的挤塑板, 最大热负荷节能率为 45.66%; 屋面适宜保温材料为 65mm 的挤塑板, 最大热负荷节能率为 4.25%; 外窗各个朝向全部更换玻璃, 推荐选用内张膜中空玻璃 (双膜), 最大热负荷节能率为 7.36%; 单独更换南向外窗材料, 推荐选用真空镀膜复合中空玻璃, 最大热负荷节能率为 1.78%。

【关键词】 寒冷地区; 既有办公建筑; 围护结构; 节能改造; DeST-C
中图分类号 TU111.19+5 文献标识码 A

Research on the Optimization and Transformation of the Envelope of an Existing Office Building in Cold Area

Huang Shuaishuai Li Yan Cui Jingdong Han Fucheng

(School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, 730070)

【Abstract】 Among the energy consumption of existing public buildings, the envelope has great potential for energy conservation. Taking an existing office building in Lanzhou as an example, DeST-C software was used to simulate different material thickness and window type of envelope structure to obtain a series of loads. Through data analysis and comparison, the following conclusions were drawn: the suitable material for external insulation of external wall was extruded panel with 50mm, and the maximum energy saving rate of thermal load was 45.66%. Roof suitable insulation material is 65mm extruded board, the maximum heat load energy saving rate is 4.25%; All the faces of the exterior Windows should be replaced with glass. Inner tensioned insulating glass (double membrane) is recommended. The maximum energy saving rate of thermal load is 7.36%. It is recommended to use vacuum coated composite insulating glass. The maximum energy saving rate of thermal load is 1.78%.

【Keywords】 Cold areas; Existing office buildings; Envelope structure; Energy saving reconstruction; DeST-C

0 引言

随着社会进步, 生活水平提高, 建筑能耗巨增, 其中公共建筑能耗迅速增加。据统计, 在大型公共建筑中, 空调采暖用电能耗约占总建筑能耗的 60% 左右, 其中围护结构所引起的能耗约占 40%~50% 左右^[1], 所以做好围护结构的节能非常有必要。我国既有公共建筑占比增加, 以及用能需求的增长等

因素导致了公共建筑能耗总量的大幅增长, 对既有办公建筑改造迫在眉睫^[2]。采用 DeST-C 软件, 以兰州某既有办公建筑为例, 模拟围护结构外墙、屋面及外窗的建筑能耗, 计算模拟前后的节能率, 得出兰州地区既有办公建筑节能改造的相关节能措施, 为兰州地区甚至整个寒冷地区既有办公建筑围护结构节能改造提供一定的思路与参考。

1 兰州地区地理及气候条件

兰州地处西北内陆,属于温带大陆性气候,北纬 36°03'、东经 103°40',建筑热工设计分区为寒冷 A 区,应当满足冬季保温要求,部分地区兼顾夏季防热。最热月平均温度为 22.45℃,最冷月平均温度为-5.53℃,年平均温度为 10.3℃,空调室外计算干球温度为 19.1℃。兰州地区气候干燥,春夏界限不分明,夏季短促,气温高,秋季降温快,冬季寒冷漫长,每年供暖季节时间为 11 月 1 日至次年 3 月 31 日^[3]。

2 建筑概况

本次模拟的公共建筑是兰州市某栋办公建筑,建于 1994 年,2005 年对围护结构进行改造。该建筑为钢筋混凝土结构,总建筑面积 7153m²,地上十二层,局部十三层,主要为办公室、会议室;地下一层,为单位食堂、仓库等;建筑主体高度 45.0m,建筑综合窗墙比 0.27^[4],各个朝向窗墙比见表 1,体形系数 0.306,为二类高层公共建筑。该办公建筑各部分围护结构构造、尺寸及传热系数见表 2。

表 1 各个朝向窗墙面积比

Table 1 Area ratio of each facing window wall

水平外围护			立面外围护			
楼地/m ²	屋顶/m ²	天窗/m ²	朝向	外窗/m ²	外墙/m ²	窗墙比
1201.36	805.06	83.38	东	153.15	681.40	0.182
			南	719.41	953.63	0.430
			西	138.00	688.42	0.165
			北	333.00	1350.47	0.202
综合窗墙比			0.27			

表 2 围护结构具体构造、尺寸及传热系数

Table 2 Concrete structure, size and heat transfer coefficient of envelope

围护结构	具体构造	结构尺寸/mm	传热系数 K/[W/(m ² ·K)]
外墙	地上:水泥砂浆+聚苯乙烯泡沫塑料+重砂浆黏土+石灰砂浆	20+50+240+20	0.5942
	地下:水泥砂浆+油毛毡+钢筋混凝土+石灰砂浆	20+50+300+20	1.484
外窗	普通中空玻璃	12	2.9
屋面	水泥砂浆+聚苯乙烯泡沫塑料+油毛毡+钢筋混凝土+水泥砂浆	20+80+5+200+20	0.448

按现行《公共建筑节能设计标准》GB 50189-2015 要求,寒冷地区甲类公共建筑体形系数为 0.306 时,围护结构热工性能限值见表 3^[8]。

表 3 围护结构热工性能限值

Table 3 Thermal performance limits of envelope

围护结构部位	0.3<体形系数≤0.50	
	传热系数 K/[W/(m ² ·K)]	太阳得热系数 SHGC (东南西/北向)
外墙(包括非透光幕墙)	≤0.45	—
屋面	≤0.40	—
窗墙面积比≤0.20	≤2.8	—
单一立面外窗 (包括透光幕墙)	0.20<窗墙面积比≤0.30	≤2.5
	0.30<窗墙面积比≤0.40	≤2.2
	0.40<窗墙面积比≤0.50	≤1.9
	0.50<窗墙面积比≤0.60	≤1.7
	0.60<窗墙面积比≤0.70	≤1.7

表 2 与表 3 比较后表明: 既有办公建筑外围护结构的外墙、屋面、外窗的传热系数均超过目前现行公共建筑节能标准限值, 对既有办公建筑的外墙、屋面、外窗进行节能改造。

3 围护节能改造计算及节能潜力分析

表 4 不同类型房间室内空调参数

Table 4 Indoor air-conditioning parameters of different types of rooms

房间类型	夏季			冬季		
	温度上(下)限 / °C	相对湿度	风速 / (m/s)	温度上(下)限 / °C	相对湿度	风速 / (m/s)
一般办公室	28 (26)	<65%	≤0.30	20 (18)	—	≤0.20
会议室(休息室)	27 (25)	<65%	≤0.30	18 (16)	—	≤0.20
走廊	28 (25)	<60%	—	18 (16)	—	—
一般商店	29 (27)	55~65%	—	18 (15)	30~40%	—
大堂门厅	24 (24)	≤65%	≤0.30	23 (23)	≥30%	≤0.30

表 5 不同类型房间室内热扰参数

Table 5 Indoor heat disturbance parameters of different types of rooms

房间类型	人员热扰 / (W/m ²)	灯光热扰 / (W/m ²)	设备热扰 / (W/m ²)
办公室	0.25	18	20
会议室(休息室)	0.40	11	5
走廊	0.02	5	0
一般商店	0.40	35	13
大堂门厅	0.05	15	5

3.2 外墙节能改造设计计算及节能潜力分析

既有建筑外墙的节能改造主要有外墙外保温和外墙内保温两种方式。内保温较易产生热桥, 增大墙体热损失, 造成局部墙体表面温度降低, 存在结露现象, 同时内保温还会占用室内使用面积, 影响用户生活。外保温改善室内热环境, 有效阻断外墙混凝土梁、构造柱的热桥, 提高外墙保温的有效性和整体性, 防止外墙内表面冬季出现结露, 明显提高外墙内表面的温度, 室内温度稳定性较好^[3]。所以, 对于既有建筑节能改造选用外墙外保温方式较多。

外墙外保温具体改造方法是刮去外墙的饰面层, 在建筑外墙上贴附保温材料, 从而起到阻隔室内外热量交换的作用^[7]。采用外墙外保温方式, 保持屋顶及外窗等外围护结构不变, 改变保温材料种类和厚度, 计算不同材料、不同厚度的建筑能耗, 得出适宜于外墙节能改造的保温材料及厚度。

3.1 计算模型基本参数设置

兰州地区气象参数采用 DeST 软件中提供的气象参数数据库, 内外围护结构材料和实测建筑物相同, 见表 2。模型参数设置包括地点设置、内外围护结构参数设置、房间类型设置、室内热扰、空调温度上下限值和通风参数等^[5], 如表 4 和表 5 所示。

3.3 外墙数据分析

既有办公建筑建筑外墙材料为: 水泥砂浆(20mm)+聚苯乙烯泡沫塑料(50mm)+重砂浆黏土(240mm)+石灰砂浆(20mm), 外墙平均传热系数为 0.5942W/(m²·K), 要求限值为 ≤0.45W/(m²·K), 需要对外墙进行节能改造。

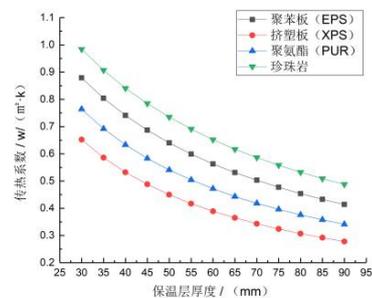


图 1 不同材料、不同保温层厚度外墙传热系数

Fig.1 Heat transfer coefficient of exterior wall with different materials and different insulation thickness

通过调研选取聚苯板 (EPS)、挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR)、珍珠岩四种保温材料模拟建筑的累计冷热负荷, 保温材料厚度从 30 到 90mm, 每隔 5mm 厚度递增为一个研究点^[4]。添加保温层后, 不同材料、不同保温层厚度的外墙传热系数见图 1。

对图 1 数据分析可知:

(1) 达到外墙传热系数限值, 聚苯板厚度需 80mm, 挤塑板厚度需 50mm, 聚氨酯厚度需 65mm, 珍珠岩厚度需 95mm;

(2) 在相同厚度条件下, 4 种保温材料的传热系数由小到大是: 挤塑板 (XPS) < 聚氨酯 (PUR) < 聚苯板 (EPS) < 珍珠岩;

(3) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 传热系数下降 0.85%/mm, 由 80mm 增加至 90mm, 传热系数下降 0.4%/mm; 挤塑板的厚度由 30mm 增加至 50mm 时, 传热系数下降 1.01%, 由 50mm 增加至 90mm 时, 传热系数下降 0.43%/mm; 聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 传热系数下降 0.92%/mm, 由 65mm 增加至 90mm 时, 传热系数下降 0.41%/mm。由此可见, 四种保温材料的传热系数随着保温层厚度的增加都呈现出降低的趋势, 且降低的变化率在逐渐减缓。

由 DeST-C 计算, 四种不同保温材料、不同厚度情况下, 建筑物的全年累计冷热负荷, 计算结果如图 2 和图 3 所示。

对图 2 和图 3 数据分析可知:

(1) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 累计热负荷下降 0.32%/mm, 由 80mm 增加至 90mm, 累计热负荷下降 0.18%/mm; 挤塑板的厚度由 30mm 增加至 50mm 时, 累计热负荷下降 0.42%/mm, 由 50mm 增加至 90mm 时, 累计热负荷下降 0.19%/mm; 聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 累计热负荷下降 0.36%/mm, 由 65mm 增加至 90mm 时, 累计热负荷下降 0.19%/mm; 珍珠岩的厚度由 30mm 增加至 60mm 时, 累计热负荷下降 0.40%/mm, 由 60mm 增加至 90mm, 累计热负荷下降 0.23%/mm; 由此可见, 随着外墙保温材料厚度的增加, 建筑全年累计热负荷逐渐降低, 且降低的变化率逐渐减缓;

(2) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 累计冷负荷增加 0.06%/mm, 由 80mm 增加至 90mm, 累计冷负荷增加 0.03%/mm; 挤塑板的厚

度由 30mm 增加至 50mm 时, 累计冷负荷增加 0.08%/mm, 由 50mm 增加至 90mm 时, 累计冷负荷增加 0.04%/mm; 聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 累计冷负荷增加 0.07%/mm, 由 65mm 增加至 90mm 时, 累计冷负荷增加 0.03%/mm; 珍珠岩的厚度由 30mm 增加至 60mm 时, 累计冷负荷增加 0.08%/mm, 由 60mm 增加至 90mm, 累计冷负荷增加 0.04%/mm; 由此可见, 建筑全年累计冷负荷逐渐增加, 增加的速率也在逐渐变缓。

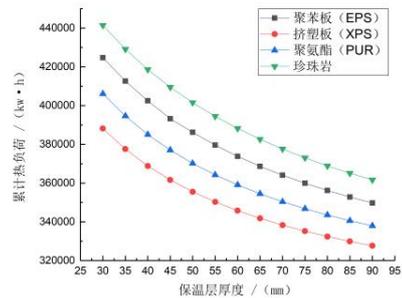


图 2 不同厚度、外墙材料的建筑累计热负荷
Fig.2 Accumulated thermal load of buildings with different thickness and external wall materials

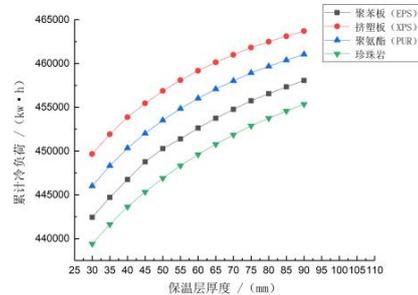


图 3 不同厚度、外墙材料的建筑累计冷负荷
Fig.3 Building accumulative cooling load of different thickness and wall material

(3) 在相同保温材料厚度下, 4 种保温材料的累计热负荷由小到大依次为: 挤塑板 (XPS) < 聚氨酯 (PUR) < 聚苯板 (EPS) < 珍珠岩; 4 种保温材料材料的累计冷负荷从大到小依次为: 挤塑板 (XPS) > 聚氨酯 (PUR) > 聚苯板 (EPS) > 珍珠岩。

以外墙不加保温层为基准, 通过计算得出既有办公建筑的累计冷热负荷, 即不加外墙保温材料时, 累计热负荷为 603027kWh, 累计冷负荷为 415637.32kWh, 由此可以分析、计算出不同保温材料、保温层厚度的节能率, 如图 4 和图 5 所示。

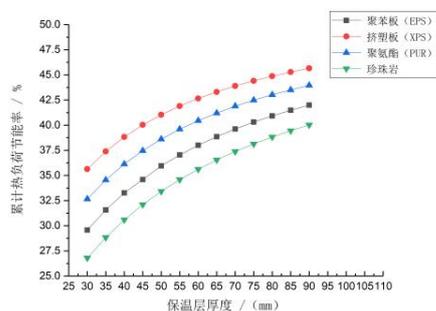


图 4 不同厚度、外墙保温材料累计热负荷节能率

Fig.4 Energy saving rate of accumulated thermal load of different thickness and external wall insulation materials

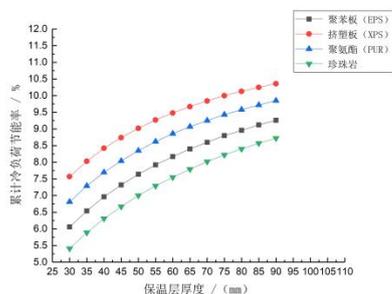


图 5 不同厚度、外墙保温材料累计冷负荷节能率

Fig.5 Energy saving rate of accumulated thermal load of different thickness and external wall insulation materials

对图 4 和图 5 数据分析可知:

(1) 对于累计热负荷, 挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR)、聚苯板 (EPS)、珍珠岩四种保温材料的最大节能率分别为 45.66%、43.96%、42.00%、40.03%; 对于累计冷负荷, 挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR)、聚苯板 (EPS)、珍珠岩四种保温材料的最大节能率分别为 10.36%、9.85%、9.26%、8.72%。

(2) 相同保温层厚度下, 四种保温材料的节能比由大到小依次为: 挤塑板 (XPS) > 聚氨酯 (PUR) > 聚苯板 (EPS) > 珍珠岩。

3.4 屋面节能改造设计计算及节能潜力分析

既有建筑的屋面节能改造就是为建筑屋面增设某些构造, 以使整个屋面的热工性能能够达到国家相关规范的要求, 同时有效地避免屋面构造层内部的冷凝和冻结。屋面保温效果的优劣, 对建筑能耗的影响很大。所以, 加强屋面的保温隔热性能, 对于建筑节能具有很大帮助。

在选择屋面保温材料时, 一般选择和外墙保温相类似的材料。目前, 既有建筑屋顶的节能改造措

施有: 保温平屋面, 保温平屋顶又可以分为正置式屋顶和倒置式屋顶, 其中正置式屋顶保温层处于防水层之下, 倒置式屋顶保温层在防水层之上^[3]。本文中的既有建筑的屋面属于倒置式屋顶, 保持外墙及外窗等外围护结构不变, 改变屋面保温材料种类和厚度, 计算不同材料、不同厚度的建筑能耗, 得出适宜于屋面节能改造的保温材料及厚度。

3.5 屋面数据分析

既有办公建筑建筑屋顶材料为: 水泥砂浆 (20mm) + 聚苯乙烯泡沫塑料 (80mm) + 油毛毡 (5mm) + 钢筋混凝土 (200mm) + 水泥砂浆 (20mm), 倒置式屋面, 屋面平均传热系数为 $0.448 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 要求限值为 $\leq 0.40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, 需要对屋面进行节能改造。

通过调研选取聚苯板 (EPS)、挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR) 三种保温材料模拟建筑的累计冷热负荷, 保温材料厚度从 30 到 100mm, 每隔 5mm 厚度递增为一个研究点^[5], 添加保温层后, 不同材料、不同保温层厚度的屋面传热系数如图 6 所示。

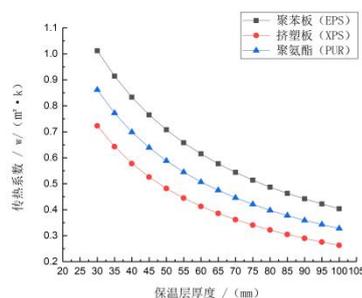


图 6 不同材料、不同保温层厚度屋面传热系数

Fig.6 Heat transfer coefficient of roofing with different materials and different insulation thickness

对图 6 数据分析可知:

(1) 达到屋面传热系数限值, 聚苯板厚度需 100mm, 挤塑板厚度需 65mm, 聚氨酯厚度需 80mm;

(2) 相同厚度的情况下, 3 种保温材料的传热系数由小到大为: 挤塑板 (XPS) < 聚氨酯 (PUR) < 聚苯板 (EPS);

(3) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 传热系数下降 1.23%/mm, 由 65mm 增加至 100mm, 传热系数下降 0.86%/mm; 挤塑板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 传热系数下降 1.33%/mm, 由 65mm 增加至 100mm 时, 传热系数下降 0.91%/mm;

聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 传热系数下降 1.08%/mm, 由 80mm 增加至 100mm 时, 传热系数下降 0.88%/mm。由此可见, 三种保温材料的传热系数随着保温层厚度的增加都呈现出降低的趋势, 且降低的变化率在逐渐减缓。

由 DeST-C 计算, 不同保温材料、不同厚度情况下, 建筑物的全年累计冷热负荷, 计算结果如图 7 和图 8 所示。

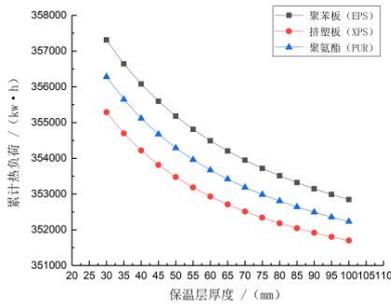


图 7 不同厚度、屋面材料的建筑累计热负荷

Fig.7 Building thermal load with different thickness and roofing material

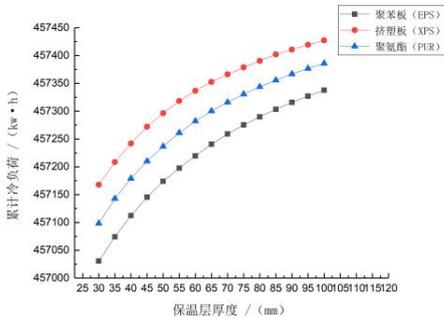


图 8 不同厚度、屋面材料的建筑累计冷负荷

Fig.8 The cumulative cooling load of buildings with different thickness and roofing materials

对图 7 和图 8 数据分析可知:

(1) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 累计热负荷下降 0.02%/mm, 由 65mm 增加至 100mm, 累计热负荷下降 0.01%/mm; 挤塑板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 累计热负荷下降 0.02%/mm, 由 65mm 增加至 100mm 时, 累计热负荷下降 0.008%/mm; 聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 累计热负荷下降 0.02%/mm, 由 80mm 增加至 100mm 时, 累计热负荷下降 0.008%/mm; 由此可见, 随着外墙保温材料厚度的增加, 建筑全年累计热负荷逐渐降低, 且降低的变化率逐渐变缓;

(2) 聚苯板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时,

累计冷负荷增加 0.001%/mm, 由 65mm 增加至 100mm, 累计冷负荷增加 0.0006%/mm; 挤塑板的厚度由 30mm 增加至 65mm 时, 累计冷负荷增加 0.001%/mm, 由 65mm 增加至 100mm 时, 累计冷负荷增加 0.0005%/mm; 聚氨酯的厚度由 30mm 增加至 80mm 时, 累计冷负荷增加 0.001%/mm, 由 80mm 增加至 100mm 时, 累计冷负荷增加 0.0005%/mm; 由此可见, 建筑全年累计冷负荷逐渐增加, 且增加的趋势逐渐变缓;

(3) 在相同保温材料厚度下, 3 种材料屋面的累计热负荷从小到大依次为: 挤塑板 (XPS) < 聚氨酯 (PUR) < 聚苯板 (EPS); 3 种材料的累计冷负荷从大到小依次为: 挤塑板 (XPS) > 聚氨酯 (PUR) > 聚苯板 (EPS)。

以屋面不加保温层为基准, 通过计算得出既有办公建筑的累计冷热负荷, 即不加屋面保温材料时, 累计热负荷为 352846.21kWh, 累计冷负荷为 457337.65kWh, 由此可以分析、计算出不同保温材料、保温层厚度的节能率, 如图 9 和图 10 所示。

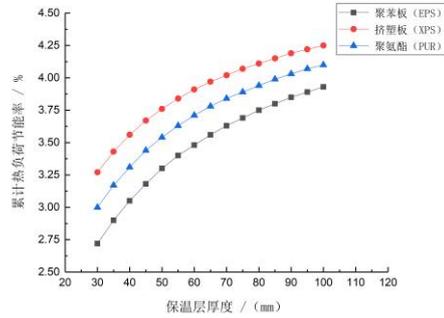


图 9 不同厚度、屋面保温材料累计热负荷节能率

Fig.9 Different thickness, roof insulation material cumulative heat load energy saving rate

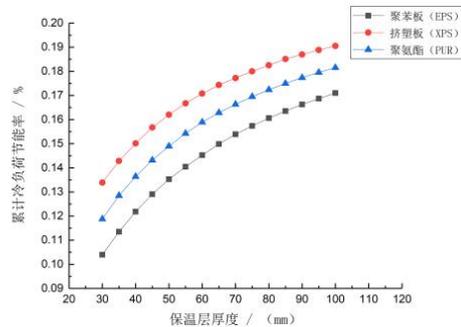


图 10 不同厚度、屋面保温材料累计冷负荷节能率

Fig.10 Different thickness, roof insulation material cumulative cooling load energy saving rate

对图 9 和图 10 数据分析可知:

(1) 由图可知, 随着保温层厚度的增加, 累计冷热负荷的节能率呈现出逐渐增加并趋于平缓的趋势;

(2) 对于累计热负荷, 挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR)、聚苯板 (EPS) 三种保温材料的最大节能率分别为 4.25%、4.10%、3.93%; 对于累计冷负荷, 挤塑板 (XPS)、聚氨酯 (PUR)、聚苯板 (EPS) 三种保温材料的最大节能率分别为 0.19%、0.18%、0.17%;

(3) 相同保温层厚度下, 三种保温材料的节能比由大到小依次为: 挤塑板 (XPS) > 聚氨酯 (PUR) > 聚苯板 (EPS)。

3.6 外窗节能改造

建筑门窗连接着建筑室内外, 作为建筑的外围护结构之一, 窗的能耗在整个建筑能耗中占据很大比重, 据相关研究表明, 外窗造成的热量损失约占建筑采暖能耗的 30%~50%。影响外窗能耗的因素有室内外温度、建筑朝向、窗墙比、窗型的选择、玻璃选择、窗框材料的选择、遮阳方式选择、气密性等, 可以通过控制窗墙比、窗的可开启大小以及

内遮阳等方式来减少建筑能耗^[7], 但是玻璃类型的选择和窗框材料的选择对建筑能耗的影响尤为重要, 故本文对外窗节能改造主要以改造镶嵌材料为主。

既有办公建筑外窗材料为普通中空玻璃 (12mm), 外窗平均传热系数为 2.9W/(m²·K), 各个朝向外窗要求限值见表 6。

表 6 各个朝向外窗传热系数限值
Table 6 Limits of heat transfer coefficient for each facing window

朝向	体形系数	0.306
	窗墙比	传热系数 K/[W/(m ² ·K)]
东	0.182	≤2.8
西	0.165	≤2.8
南	0.430	≤1.9
北	0.202	≤2.5

选取镀 low-e 膜中空 (低透型)、内张膜中空玻璃 (单膜)、真空镀膜复合中空玻璃、内张膜中空玻璃 (双膜) 四种玻璃类型进行建筑负荷模拟计算, 各种玻璃参数见表 7。

表 7 各种玻璃参数

Table 7 Various glass parameters

编号	玻璃类型名称	结构尺寸	玻 璃 层 数	传 热 系 数	遮 阳 系 数 SC 值	太 阳 得 热 系 数 SHGC	太阳能		可见光	
							透 过 率 %	反 射 率 %	透 过 率 %	反 射 率 %
1	镀 low-e 膜中空 (低透型)	6 (low-e)+9+6	2	2.1	0.490	0.426	33	26	51	23
2	内张膜中空玻璃 (单膜)	6+6air+Pet(low-e)+6air+6	2	1.7	0.6	0.522	40	25	69	20
3	内张膜中空玻璃 (双膜)	6+6air+Pet(low-e)+6air+Pet(low-e)+6air+6	2	1.0	0.49	0.426	35	31	57	26
4	真空镀膜复合中空玻璃	3 (low-e)+0.1+3+9+6	3	1.4	0.570	0.496	36	28	56	24

计算分两种情况进行, 全部更换外窗材料和单独更换南向外窗材料, 模拟分析结果如图 11 和图 12 所示。

对图 11 和图 12 数据分析可知:

(1) 在既有办公建筑的基础上将各个朝向外窗的玻璃全部更换为内张膜中空玻璃 (单膜)、内张膜中空玻璃 (双膜)、真空镀膜复合中空玻璃三

种玻璃, 根据模拟的结果来看, 三种玻璃的累计冷热负荷均小于原有办公建筑的累计冷热负荷; 在既有办公建筑的基础上将南向外窗的玻璃全部更换为内张膜中空玻璃 (双膜)、真空镀膜复合中空玻璃两种玻璃, 根据模拟的结果来看, 两种玻璃的累计冷热负荷均小于原有办公建筑的累计冷热负荷。

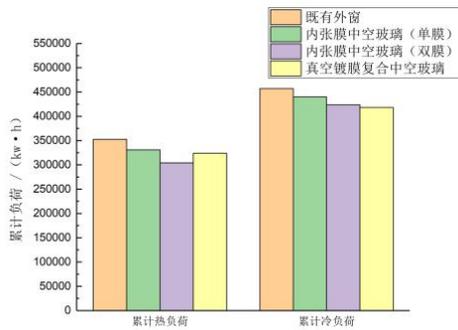


图 11 全部更换外窗材料的建筑累计冷热负荷

Fig.11 The cumulative heat and cold load of the building the replacement of all external window materials

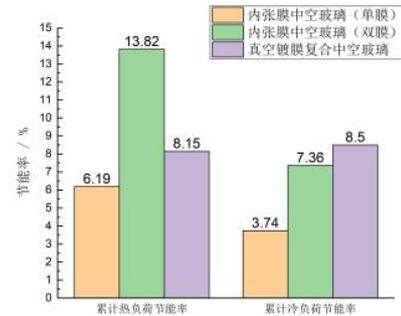


图 13 全部更换外窗材料累计冷热负荷节能率

Fig.13 The accumulative energy saving rate of heat and load of all replacement of external window materials

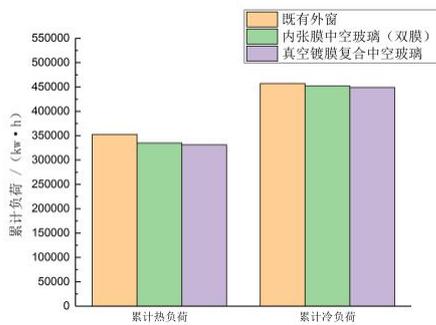


图 12 单独更换南向外窗材料的建筑累计冷热负荷

Fig.12 The building accumulates heat and cold load by replacing with the material of the south-facing exterior window alone

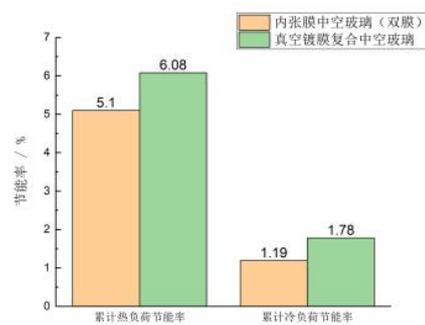


图 14 单独更换南向外窗材料的累计冷热负荷节能率

Fig.14 The cumulative energy saving rate of heat and cold load cold of the south-facing window material is replaced separately

(2) 对于累计热负荷，各个朝向全部更换外窗材料，累计热负荷由大到小依次为：内张膜中空玻璃（单膜）>真空镀膜复合中空玻璃>内张膜中空玻璃（双膜）；单独更换南向外窗材料，累计热负荷由大到小依次为：内张膜中空玻璃（双膜）>真空镀膜复合中空玻璃；

(3) 对于累计冷负荷，各个朝向全部更换外窗材料，累计冷负荷由大到小依次为：内张膜中空玻璃（单膜）>内张膜中空玻璃（双膜）>真空镀膜复合中空玻璃；单独更换南向外窗材料，累计冷热负荷由大到小依次为：内张膜中空玻璃（双膜）>真空镀膜复合中空玻璃。

以既有办公建筑为基础，计算出的累计冷热负荷为基准，可以计算出两种不同情况外窗的节能率，如图 13 和图 14 所示。

对图 13 和图 14 数据分析可知：

(1) 全部更换外窗材料，内张膜中空玻璃（单膜）夏季节能率为 3.74%，冬季节能率为 6.18%；内张膜中空玻璃（双膜）夏季节能率为 7.36%，冬季节能率为 13.82%；真空镀膜复合中空玻璃夏季节能率为 8.50%，冬季节能率为 8.15%；单独更换南向外窗材料，内张膜中空玻璃（双膜）夏季节能率为 1.19%，冬季节能率为 5.10%；真空镀膜复合中空玻璃夏季节能率为 1.78%，冬季节能率为 6.08%。

仅从节能方面来考虑，兰州地区既要考虑保温也要兼顾一定的隔热，所以进行窗户改造时，推荐选用内张膜中空玻璃（双膜）；单独更换南向外窗，更为方便、快捷，减少造价和工程量，推荐选用真空镀膜复合中空玻璃，但是相比较于全部更换各个朝向的外窗材料，节能率有所降低。

4 结论

本论文对兰州地区既有公共建筑的外墙、屋面、外窗进行节能技术改造,经系列计算,得到如下结论。

(1) 外墙采用外保温,传热系数限值为 $K \leq 0.45\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,为达此限值,挤塑板厚度需50mm,聚氨酯厚度需65mm,聚苯板厚度需80mm,珍珠岩厚度需95mm;对于累计热负荷节能率,四种保温材料的最大节能率分别为45.66%、43.96%、42.00%、40.03%;对于累计冷负荷节能率,四种保温材料的最大节能率分别为10.36%、9.85%、9.26%、8.72%。综合对比,对于兰州地区,推荐选择50mm厚度挤塑板(XPS)即可。

(2) 屋面进行节能改造,屋面传热系数限值为 $K \leq 0.40\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,为达到此限值,挤塑板厚度需65mm,聚氨酯厚度需80mm,聚苯板厚度需100mm;对于累计热负荷节能率,三种保温材料的最大节能率分别为4.25%、4.10%、3.93%;对于累计冷负荷节能率,三种保温材料的最大节能率分别为0.19%、0.18%、0.17%;综合对比,对于兰州地区,屋面推荐选用65mm厚度挤塑板(XPS)即可。

(3) 如果各个朝向的外窗材料全部更换,对于累计热负荷节能率,内张膜中空玻璃(单膜)、内张膜中空玻璃(双膜)、真空镀膜复合中空玻璃节能率为3.74%、7.36%、8.50%;对于累计冷负荷节能率,三种玻璃依次为6.18%、13.82%、8.15%。综合对比,建议选用内张膜中空玻璃(双膜)。如

果单独更换南向外窗材料,对于累计热负荷节能率,内张膜中空玻璃(双膜)、真空镀膜复合中空玻璃节能率为1.19%、1.78%;对于累计冷负荷节能率,两种玻璃依次为5.10%、6.08%;综合对比,建议选用真空镀膜复合中空玻璃。

参考文献:

- [1] 贾绍强,周晋,张国强.建筑节能技术(6)建筑节能诊断和能源管理[J].大众用电,2007,(6):39-42.
- [2] 祁鑫.兰州既有办公建筑节能改造模式研究[D].兰州:兰州理工大学,2017.
- [3] 赵西平,张志彬.寒冷地区高校教学楼围护结构优化改造设计——以兰州交通大学电信综合教学楼为例[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2012,44(5):651-656.
- [4] 罗崇来.兰州地区某办公建筑供暖能耗分析与运行调节研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.
- [5] 张垚,牛建刚,金国辉.严寒区建筑外墙外保温经济厚度优化研究[J].建筑技术,2019,50(1):8-12.
- [6] 王宏伟,蒲增艳,尹翠,等.严寒地区教学楼围护结构节能改造分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2017,33(3):497-505.
- [7] 韩权.唐山市既有居住建筑节能改造研究[D].唐山:华北理工大学,2017.
- [8] GB50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.