

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-166-06

# 武汉某医院围护结构与照明节能改造方案分析

梁辰吉昱 胡平放 冼丽珊 宋 一

(华中科技大学环境科学与工程学院 武汉 430074)

**【摘要】** 以武汉市某医院某住院楼(以下简称 C 楼)为例,根据建筑能耗情况对比分析其节能潜力,然后提出了使用节能外窗、自然采光和外墙外贴聚苯板三个可行节能改造方案,利用 DeST-C 判断方案的适用性,并与国内其他研究者的结论相比较,提出合理的节能建议。

**【关键词】** 既有医院;能源诊断;节能改造;DeST

中图分类号 TU111 文献标识码 A

## Analysis of the Energy-saving Methods of the Enclosure Structure and Lighting of an Hospital in Wuhan

Liang Chenjiyu Hu Pingfang Xian Lishan Song Yi

(School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074)

**【Abstract】** This article takes an inpatient building of a hospital in Wuhan (hereinafter referred to as Building C) as an example to compare and analyze the energy-saving potential of building energy consumption, and then proposes several feasible energy-saving methods, such as using exterior windows, natural daylighting, and external affixed polystyrene board. Using DeST-C to judge the applicability of those methods, we compare them with the conclusions of other domestic researchers to propose reasonable energy-saving suggestions.

**【Keywords】** Existing Hospital; Energy Diagnosis; Energy Saving; DeST

## 0 引言

我国目前能耗总量较大,仅次于美国,且建筑能耗占总能耗的比值超过 20%<sup>[1]</sup>,其中大型公共建筑的能耗所占比例较大,为普通住宅的 10~20 倍<sup>[2]</sup>,因此推进建筑节能改造势在必行,也对我国节能发展,建设“环境友好型”、“节约型”社会有重要意义。

本文选取武汉某医院的 B 楼和 C 楼为对象进行能源诊断判断其节能潜力,并以 C 楼为对象进行能耗模拟。该医院始建于 1951 年,主要建筑有 B 楼、C 楼、门诊楼、行政办公楼和后勤楼等,其中 C 楼为住院楼,共 13 层。

## 1 能源诊断

### 1.1 基准能耗

以 B 楼和 C 楼两栋住院楼的空调系统、生活热水系统、照明系统和电梯系统的能耗作为年基准能耗,如表 1 所示。

### 1.2 与国内类似建筑的能耗比较

B 楼和 C 楼的建筑面积为: B 楼 11000m<sup>2</sup>、C 楼 25187.2m<sup>2</sup>,它们的基准能耗折算如表 2 所示。因此 B 楼、C 楼的建筑能耗指标为 211.3kWh/(m<sup>2</sup>·a),其中建筑单位面积电耗为 85.06kWh/(m<sup>2</sup>·a),单位面积耗燃气量为 17.01Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)。

表 1 B 楼、C 楼基准能耗表

Table 1 Baseline energy consumption of Building B and Building C

名称	空调	生活热水	照明	电梯	总耗电量
电 (万 kWh)	179.06	3.87	32.45	92.42	307.8
电占百分比 (%)	58.2	1.2	10.6	30	100
水 (万 t)			4.69		
燃气 (万 m <sup>3</sup> )	61.54 (空调用气 38.02 万 m <sup>3</sup> , 锅炉用气 23.51 万 m <sup>3</sup> )				
燃气占百分比 (%)	空调用气占 61.8%, 生活热水用气占 34.6%, 消毒用气占 3.6%				

表 2 B 楼、C 楼基准能耗折算表

Table 2 Energy consumption's conversion of Building B and Building C

耗电量 (万 kWh)	耗气量 (万 m <sup>3</sup> )	生活耗水量 (万 t)	折标准煤 (tce)	折等效电 (万 kWh)
307.8	61.54	4.69	1125.57	746.64

国内其他研究者确定了不同地区的医院能耗水平: 杜然确定了武汉医院建筑平均能耗指标为 156.26 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[3]</sup>; 杨延锋等人确定了中南大学湘雅三医院的建筑能耗指标为 245.93kWh/(m<sup>2</sup>·a), 建筑单位电耗为 103.19kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[4]</sup>; 李海承确定了武汉医院建筑能耗指标处于 103.87 ~ 288.80kWh/(m<sup>2</sup>·a), 平均值为 163.27kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[5]</sup>; 原兆亮确定了西安某医院的建筑单位面积电耗为 63kWh/(m<sup>2</sup>·a), 单位面积耗气量为 6.2Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[6]</sup>; 林爱麟确定了长沙 2007 年医院建筑平均能耗指标为 195.04kWh/(m<sup>2</sup>·a), 重庆医院的平均能耗指标为 130.43kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>[7]</sup>。

对比发现, B 楼、C 楼的建筑能耗指标和同样位于夏热冬冷地区的其他医院相比较高; 且单位面积电耗、耗燃气量远高于处于寒冷地区的西安某医院。其中空调系统的电耗和耗燃气量分别占总量的 58.2% 和 61.8%, 而李海承确定的武汉采暖空调能耗占总能耗的比值处于 18.32%~58.64%, 平均值为 43.62%<sup>[5]</sup>, 因此 B 楼、C 楼空调能耗占总能耗比值较大, 具有较大节能潜力。

## 2 模型建立

### 2.1 建筑围护结构模型

根据 C 楼的建筑施工图, 利用 DeST-C 对 C

楼建模, 对功能相近且相邻的房间进行合并, 例如, 将男、女洗手间及前室合并为一个房间进行处理。但由于病房数量较多, 占地面积较大, 若合并处理将造成模拟结果不精确, 因为尽管房间功能相同, 房间位置对室温<sup>[8]</sup>、负荷及采光等影响较大, 因此每个病房分开进行模拟。建筑模型如图 1 所示。

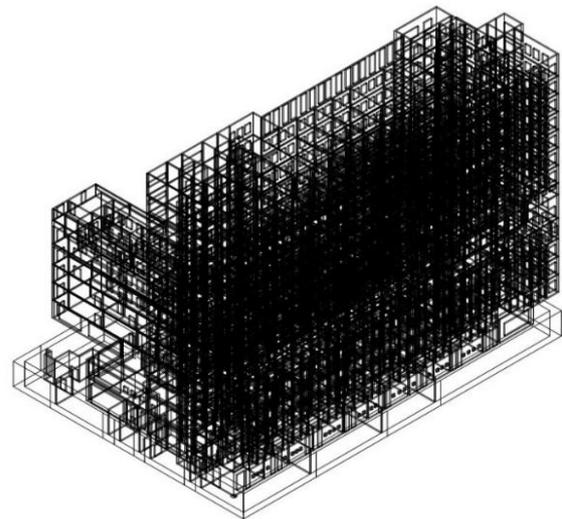


图 1 C 楼的 DeST-C 模型

Fig.1 the Dest-C model of Building C

### 2.2 建筑围护结构参数设置

根据 C 楼的建筑施工图设置门、窗、墙体、楼地、楼板和屋顶的参数。设置结果如表 3 所示。

表 3 围护结构参数设置

**Table 3 Settings of the enclosure structure parameters**

围护结构	建筑施工图		DeST-C 模型	
	名称	名称	数量	总面积 (m <sup>2</sup> )
门	防火玻璃外门	双层阳台金属外门	27	68.8800
	6 厚钢化白玻拉丝不锈钢框外门	商场玻璃外门	22	127.7650
	铝合金半玻内门	单层阳台金属外门	994	2797.4170
窗	灰色断热铝合金低辐射中空玻璃	中透低辐射玻璃	687	2215.9869
	12 厚夹层白玻	普通中空玻璃 (中空 12mm)	342	2069.3193
外墙	250 宽加气混凝土砌块	混凝土墙_气_250	837	7021.4614
内墙	200 宽加气混凝土砌块	200 混凝土隔墙	2473	29899.9183
楼地	—	40mm 混凝土楼地	94	3893.3957
楼板	—	钢筋混凝土楼板 200	1604	23410.0046
屋顶	—	加气混凝土保温屋面	100	3179.7719

2.3 房间功能及作息、内扰和通风设置

根据建筑施工图设置房间类型。其中，房间作息设置为 DeST-C 的默认值；因 C 楼病房大多数为 3 人间，因此病房的人员热扰中的最大人数设置为 3，其余房间的内扰设为默认值；建筑通风设置为“房间与外界之间的通风”。

模拟结果显示，DeST-C 对 C 楼的模拟负荷接近实际负荷，可用来对诚信楼进行后续节能改造方案的分析。

3 节能方案分析

模拟结果显示，C 楼 21 天模拟周期（7 月 14 日至 8 月 3 日）内最大冷负荷为：2623.09kW；累

计冷负荷为：640338.99kWh。现使用 DeST-C 验证以下方案的节能潜力。

3.1 使用节能外窗

提出以下三种可行的外窗改造方案：

- (1) 所有 12 厚夹层白玻替换为灰色断热铝合金低辐射中空玻璃；
- (2) 所有 12 厚夹层白玻替换为镀 Low-E 膜中空（低透型）玻璃；
- (3) 所有窗户替换为内张 Low-E 膜中空玻璃（双层膜）。

以上方案中每种玻璃的结构和热特性参数如表 4 所示。

表 4 玻璃的结构和热特性

**Table 4 Structure and thermal properties of the glass**

玻璃参数	普通中空玻璃 (中空 12mm)	中透低辐射玻璃	镀 Low-E 膜中空玻璃 (低透型)	内张 Low-E 膜中空玻璃 (双层膜)
玻璃结构	6+12air+6	6+12air+6	6(Low-E)+9air+6	6+6air+Low-E+6air+Low-E+6air+6
传热系数 K 值 W/(m <sup>2</sup> ·K)	2.900	1.800	2.100	1.000
遮阳系数 S <sub>c</sub> 值	0.830	0.830	0.490	0.490
太阳能得热系数 SHGC	0.722	0.722	0.426	0.426
太阳能透过率 %	33.000	33.000	33.000	35.000
太阳能反射率 %	26.000	26.000	26.000	31.000
可见光透射率 %	51.000	51.000	51.000	57.000
可见光反射率 %	23.000	0.000	23.000	26.000

三种方案的计算负荷与原负荷的比较结果如

表 5 所示。

表 5 三种外窗改变方案的计算负荷与原模型负荷的比较

Table 5 Comparison of three outer window changing methods between the calculation loads and the original load

外窗改变方案	最大冷负荷/kW	减小比例/%	累计冷负荷/kWh	减小比例/%
原模型	2623.09	—	640338.99	—
方案 1	2604.21	0.72	638570.57	0.28
方案 2	2458.52	6.27	606563.65	5.27
方案 3	2371.87	9.60	588935.36	8.03

结果表明, 改变外窗材料能有效减小冷负荷, 方案 2 和方案 3 总负荷减小比例分别为 5.27% 和 8.03%, 即使用 Low-E 膜的玻璃能有效减小能耗, 主要原因为方案 2 和方案 3 使用的玻璃传热系数  $K$  值和遮阳系数  $S_c$  值均较小, 因此建筑物得热明显减小。方案 1 虽然玻璃传热系数  $K$  值明显减小, 但由于遮阳系数  $S_c$  值无变化, 负荷减小程度不显著; 方案 2 和方案 1 相比, 传热系数  $K$  值增加而遮阳系数  $S_c$  值减小, 负荷明显减小。因此选择玻璃时应首先考虑其遮阳系数  $S_c$  值, 同时也应考虑经济因素, 综合选择最佳方案, 以减小建筑能耗。

### 3.2 自然采光

B 楼和 C 楼两栋住院楼的照明年基准能耗为 32.45 万 kWh, 占总耗电量的 10.6%。因此, 若能在保证照度达到标准时, 采用自然光照明, 将有效减小照明电耗。

调用 DeST-C 的日影计算模块 BShadows 和建筑采光计算模块对 C 楼进行建筑日影和采光计算, 如图 2 所示。

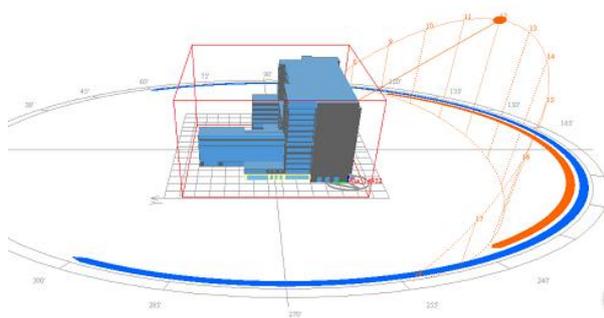


图 2 建筑日影和采光分析

Fig.2 Analysis of the building shadow and lighting

根据《建筑照明设计标准》GB 50034—2013<sup>[9]</sup>, 楼梯间与病房的照明要求较低, 均为 100Lx, 有利于自然采光; 其余房间, 例如手术

室、办公室等, 由于房间照度标准较高, 且要求光源稳定性好, 不利于自然采光。C 楼病房共 174 间, 97.7% 分布在南侧; 西楼梯间窗墙比较大且与西侧外墙相邻; 东楼梯间因不与外墙相邻, 不满足自然采光条件。因此本文计算 7 月 14 日至 8 月 3 日西楼梯间与病房的自然采光平均照度 (每层楼均匀选取十个病房) 随时间的分布, 如图 3 所示。楼梯间与病房自然采光照度规律不同的原因可能为楼梯间和病房的朝向、窗墙比和房间进深的不同<sup>[10]</sup>。

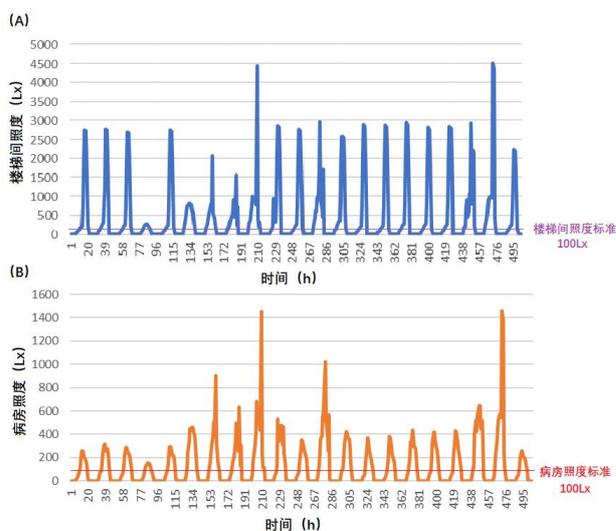


图 3 楼梯间 (A)、病房 (B) 平均自然采光照度随时间分布  
Fig.3 The average natural lighting intensity's distribution over time of stairwells (A) and wards (B)

楼梯间、病房自然采光照度符合标准的小时数分别为 244 小时和 201 小时, 分别占总小时数 504 的 48.41% 和 39.88%, 如图 4 所示。楼梯间自然采光达标时间段约为 9 时至 19 时; 病房自然采光达标时间段约为 10 时至 17 时, 此时医院人员活动较多, 因此若在符合照明标准时关闭人工照明而使用自然采光, 将有利于减少 C 楼的照明能耗。

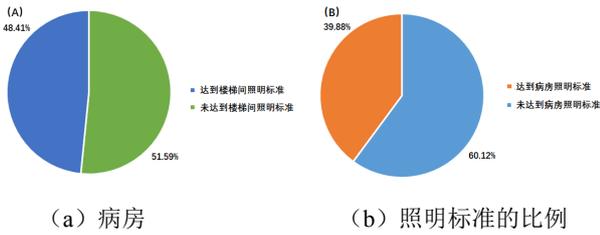


图 4 自然采光符合楼梯间

Fig.4 The Proportion of hours that natural lighting meets lighting standard for stairwells

### 3.3 外墙外贴聚苯板

国内许多研究表明<sup>[11-13]</sup>, 既有外墙外贴聚苯板作为一种墙体改造的方法, 保温效果显著。本文借鉴贾春霞等人在《严寒地区既有住宅墙体节能改造研究》<sup>[11]</sup>中提到的既有墙体外贴 50mm 厚聚苯板保温层的方法, 利用 DeST-C 模拟对比外贴聚苯板前后建筑负荷的变化。

表 6 外墙材料参数

Table 6 Parameters of the exterior wall materials

材料名称	导热系数 (W/m·K)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	定压比热 (J/kg·K)	蓄热系数 (W/m <sup>2</sup> ·K)	蒸汽渗透压力 (g/m·h·mmHg)
石灰砂浆	0.8140	1600.0	837.0	8.9	0.016000
多孔混凝土	0.2090	600.0	837.0	2.8	0.023000
聚苯乙烯泡沫塑料	0.047	100.0	1380.0	0.687	0

设定墙体的材料及厚度后, DeST-C 显示原有外墙的导热热阻为 1.245m<sup>2</sup>·K/W; 传热系数为 0.713W/m<sup>2</sup>·K; 热惰性指标为 3.742; 改造后墙体的导热热阻为 2.328m<sup>2</sup>·K/W; 传热系数为 0.402W/m<sup>2</sup>·K; 热惰性指标为 4.637。计算结果表明, 墙体改造后计算周期内最大冷负荷为 2608.35kW, 减少 0.56%; 累计冷负荷为 635818.29kWh, 减少 0.71%。因此对 C 楼而言, 外贴聚苯板的方法节能潜力不大, 可能原因为: (1) 计算周期为夏季, 室内外温度差不大, 对于武汉这种夏热冬冷地区的气候, 室内外温差较小, 因此墙体热工性能对负荷影响较小; (2) 原有墙体保温性能足够, 接近饱和, 增加聚苯板对保温性能的提升影响不大。

## 4 结论

C 楼原有外窗的传热系数和遮阳系数均不大, 属于节能外窗, 节能潜力不大, 但仍有节能改造的空间, 若使用更节能的外窗, 例如镀 Low-E 膜中

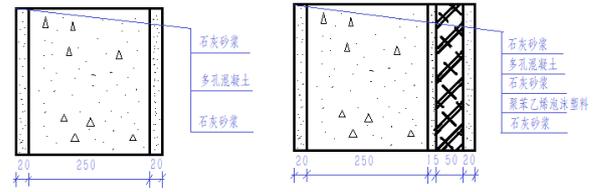


图 5 外墙改造前后墙体结构图

Fig.5 Wall structure before and after transformation of the external wall

如图 5 所示, 原有外墙结构为: 20mm 石灰砂浆层+250mm 多孔混凝土+20mm 石灰砂浆层。墙体改造时将聚苯保温板粘在墙外侧后饰面层仍使用 20mm 石灰砂浆。

DeST-C 中显示上述涉及墙体材料的参数如表 6 所示。

空玻璃(低透型)和内张双层 Low-E 膜中空玻璃, 还能分别使累计冷负荷减小 5.27%和 8.03%。建议在考虑经济因素的前提下, 使用更节能的外窗, 减小能耗。

对于采光要求不高的房间, 自然采光足以满足要求, 建议对这类房间合理利用自然采光, 达到节能效果。

外墙粘贴聚苯板的改造方法对 C 楼而言效果不显著, 且工程量大, 不建议使用。但对于其他公共建筑而言仍是一种有效的方法, 严寒地区室内外温差较大, 对墙体保温性能要求较高, 适合使用。贾春霞等人测得外贴 50mm 聚苯板后墙体节能率为 59%, 且因保温层位于外侧, 能减小热桥效应, 增加墙体热稳定性, 提高墙体内表面温度, 有效地改善室内热环境<sup>[11]</sup>。

国内其他研究者得出类似结论: 林爱麟<sup>[7]</sup>对长沙某医院的门诊楼的围护结构进行节能改造时发现, 方案 1: 外墙加 20mm 厚聚苯乙烯板; 方案 2:

屋面加 30mm 硬泡聚氨酯复合板;方案 3:外窗采用 Low-E 中空玻璃窗,分别减少负荷的 7.4%、2.2% 和 20.8%,与本文得出的更换外窗玻璃节能效果最显著的结论一致。并且林爱麟指出,外墙的传热系数  $K$  值降低到  $1.1\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  时,再减小  $K$  值则节能效果不明显,这可能是本文贴聚苯乙烯板后  $K$  值从  $0.713\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  降低到  $0.402\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$  而后负荷仅减少 0.56% 的原因。

本文以 C 楼为例,提出若干节能改造方案,结论对于其他类似既有公共建筑,仍具有参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 阮方,章伟,钱匡亮,等.基于 DeST 的夏热冬冷地区居住建筑人行为能耗模拟验证[J].建筑节能,2017,45(1):1-6.
- [2] 王伟,董春桥.高校教学楼能耗现状分析和节能措施研究[J].建筑节能,2013,41(8):58-66.
- [3] 杜然.武汉地区三级综合医院能耗定额的研究[D].武汉:武汉科技大学,2011.
- [4] 杨延锋,彭好义,彭福来,等.长沙某大型综合性医院能耗统计与分析[J].建筑节能,2016,44(6):94-97.
- [5] 李海承.既有医院节能潜力与改造效益的研究[D].武汉:武汉科技大学,2011.
- [6] 原兆亮.医院建筑节能潜力分析与节能途径研究[D].西安:长安大学,2012.
- [7] 林爱麟.长沙市医院建筑能耗的实测与分析[D].长沙:湖南大学,2009.
- [8] 崔明辉,邹韦唯,王易军,等.低温地板辐射供暖系统房间位置及户间传热对采暖效果影响研究[J].河北建筑工程学院学报,2017,35(3):4-54.
- [9] GB 50034—2013,建筑照明设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [10] 朱颖心.建筑环境学[M].北京:中国建筑工业出版社,2016:306-307.
- [11] 贾春霞,董重成,吴静怡.严寒地区既有住宅墙体节能改造研究[J].新型建筑材料,2003(10):35-37.
- [12] 高原,张君.加气混凝土自保温与聚苯板外保温墙体保温隔热性能对比[J].新型建筑材料,2010(3):48-52.
- [13] 邹德奎.外贴聚苯板技术在墙体改造中的应用[J].山西建筑,2005,31(7):92-97.