

# 空心砌块传热路径分析与砌块型式设计

周 琴, 陈 沈, 张东旭, 刘抚英

(东北大学 江河建筑学院, 辽宁省城市与建筑数字化技术重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**我国混凝土空心砌块的使用量巨大, 如何有效利用 EPS 绝热材料, 进一步提高其热工性能, 扩大墙体自保温与隔热的能力以达到节能目标, 对推动绿色建筑发展意义重大. 本文分析了混凝土空心砌块内部热流渗透方式和路径, 提出按传热方式不同区分传热路径, 通过提高不同传热路径的热阻来提高砌块的整体热工性能. 以此为基础, 总结了几项改进空心砌块型式设计思路, 同时设计了两组空心砌块并分析其热工性能. 希望能抛砖引玉, 以探索和设计出更为合理完善的砌块标准型式.

**关键词:**空心砌块; 热工性能; 传热; 热流路径

中图分类号: TU111.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2021)05-0700-06

## Heat transfer path analysis of hollow block and block type design

ZHOU Qin, CHEN Shen, ZHANG Dongxu, LIU Fuying

(JiangHo Architecture College, Liaoning Province Key Laboratory of Urban and Architectural Digital Technology, Northeastern University, Shengyang 110819, China)

**Abstract:** In view of the huge use of concrete hollow blocks in China, how to effectively use EPS heat-insulating materials to further improve its thermal performance and expand the self-insulation and thermal insulation capabilities of walls to achieve energy-saving goals is of great significance to the development of green buildings. In this paper, the method and path of heat flux infiltration in concrete hollow block are analyzed. It is proposed to distinguish heat transfer paths according to different heat transfer modes, and improve the overall thermal performance of the block by increasing the thermal resistance of different heat transfer paths. On this basis, several improved hollow block design ideas are summarized, and two groups of hollow blocks are designed and their thermal performance is analyzed.

**Key words:** hollow block; thermal performance; heat transfer; heat flux path

目前, 我国建筑能耗约占能源消耗总量的 24%, 而采暖空调能耗高达建筑能耗的 50%<sup>[1]</sup>, 其中外墙能耗占建筑围护结构能耗比例在 40% 以上. 改善建筑围护结构的热工性能, 可以使能量更好地蓄存利用, 降低建筑暖通设备运行费用, 是建筑节能的重要手段<sup>[2]</sup>. 混凝土空心砌块相较于实心砌块因自重轻、用料省、热工性能相对好且力学指标能够满足要求而被广泛用于砌筑建筑内外墙体<sup>[3]</sup>, 近年来研究人员在节能与结构一体化结构体系的墙体方面研究较多, 自保温砌块是新型墙体的研究热点<sup>[4]</sup>.

空心砌块热工性能好表现在其自身的保温和隔热能力比实心砌块要提高很多, 主要是空心部分起的作用. 而目前一些常用砌块, 并未将空心部分的作用发挥到其最佳水平. 从空心砌块的传

热特点入手, 探讨如何通过设计合理型式和只在关键部位放置 EPS 隔热块来进一步提高其自保温能力, 充分挖掘空心砌块的热工潜能, 在满足建筑节能要求下减少 EPS 块的使用. EPS 材料虽然具有良好的保温隔热性能, 常用于建筑外墙保温<sup>[5]</sup>, 但其价格较高, 在荷载、气候和其他环节作用下的耐久性仍值得研究<sup>[6]</sup>, 大规模使用不利于实现绿色建筑发展的总体目标, 因此, 减少其使用可以带来良好的经济、环境和社会效益.

## 1 空心砌块传热特点及减小传热量的方法及设计思路

### 1.1 减少空心砌块传热量方法的探究

提高混凝土空心砌块热工性能之一是减少单位时间通过砌块的热量. 关于这个问题, 很多学

收稿日期: 2020-12-01 修改稿日期: 2021-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278311)

第一作者: 周琴(1990—), 女, 硕士生, 实验师, 主要从事建筑物理热工方面的研究与教学工作. E-mail: zhouqincai@126.com

通讯作者: 陈沈(1963—), 男, 硕士, 副教授, 现主要从事建筑热工节能方面的研究工作. E-mail: chenshen024@163.com

者从实验、计算机模拟和理论推导等不同的角度进行了研究. Del Coz Diaz J J 等<sup>[7]</sup>认为:孔洞交错排列、且左右边缘穿通的砌块的单位质量热工性能最好. HUI SAM C M<sup>[8]</sup>和 A NIACHOU 等<sup>[9]</sup>通过软件模拟分析认为:空心层数多对提高砌块的保温和隔热性能均有利. 李红兰等<sup>[10]</sup>认为空心砌块的固体部分传热是造成热量损失的主要原因,并且认为孔洞的厚度不宜过大,以防止空心层内对流换热量的增大. 朱文运等<sup>[11]</sup>对空心砌块按内部传热量大小进行排列为:固体部分>孔洞辐射>孔洞对流,且辐射和对流在同一数量级上. 李建成等<sup>[12]</sup>认为矩形孔洞是提高砌块热阻的较好形式,且孔洞的适宜厚度为20~30 mm. 梁淑红<sup>[13]</sup>认为矩形孔洞传热量最小,且长路热对流性能在传热量上优于短路传热量,即这种构造的砌块可以最小的重量达到最大的热阻值. 在基础上,以K<sub>1</sub>砌块[390 mm×190 mm×190 mm]为例分析其传热过程和减小传热量的方法. 依据空心砌块各组成部分传热方式差异和热流渗透特性,可以将空心砌块内部的传热路径分为两条(如图1):一是固体部分传热,二是空气层传热. 经这两条路径传递的热量会在空心砌块内部交织在一起,且相互影响,形成各自的边界条件,具体的传热情况较为复杂. 但简化内部的一些换热过程会使问题的研究更具针对性,且能满足改进空心砌块型式设计的实际需要. 固体部分按导热形式传热.

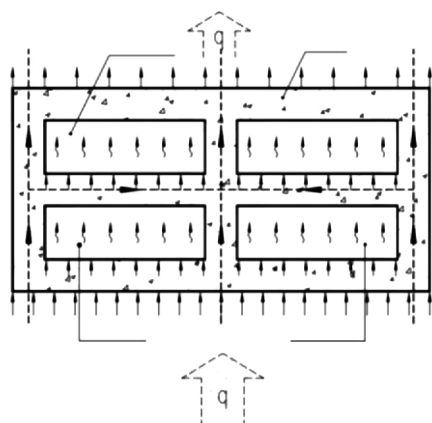


图1 砌块内部传热路径

Fig. 1 Heat transfer path inside block

混凝土空心砌块固体部分的导热系数远远大于空气层,所以仅从导热角度分析热量传递,空气层可看作是绝热层,即由导热形式造成的热量流失大部分集中在固体材料中,减少这部分单位时间热量的渗透量也即提高其热阻,可采用三个办法:一是尽量延长热流路径的长度,也即相当于增加砌块的当量厚度,图1中最短的导热流线长

度为190 mm,而图2中最短的导热流线长度为近300 mm,比砌块厚度多110 mm;二是在热流线的恰当位置设置导热系数小的材料,如EPS块( $\lambda = 0.038 [W/(m^2 \cdot K)]$ ),即在固体导热路径上增加一层隔热层,如图3. 值得一提的是,EPS块位置应选择不破坏整个砌块的整体性与力学性能,同时要在热流线流经的关键节点处,并尽量靠近热量流入侧,目的是尽可能减小固体内部的热流密度,以降低单位时间的热量流失;三是在满足砌块力学要求的前提下,尽量减少固体导热部分向内传热的热流通道数量和通道宽度,从源头上限制热量渗透. 经计算,同样尺寸的“口”字型和“日”字型单排孔砌块,后者由于传热通道数的增加,平均热阻降低了12%. 对于多排孔砌块,如图4,由导热形式向砌块内部传热的热流通道有四条,可考虑通过孔洞的重新排布缩减到三条甚至两条. 经上述处理后,砌块固体部分经导热而流失的热量将有所减少,同时为空气层的传热量减少创造有利的边界条件.

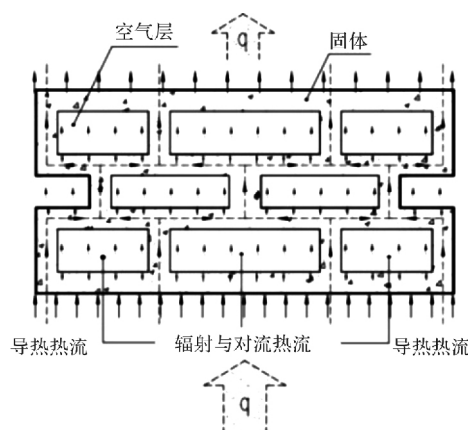


图2 改进的固体传热路径

Fig. 2 Improved solid heat transfer path

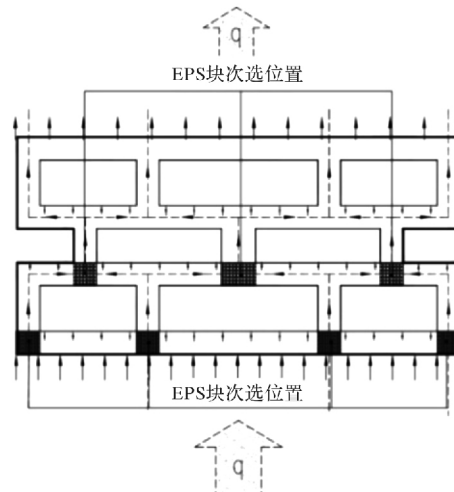


图3 隔热块位置选择

Fig. 3 Location selection of heat insulation block

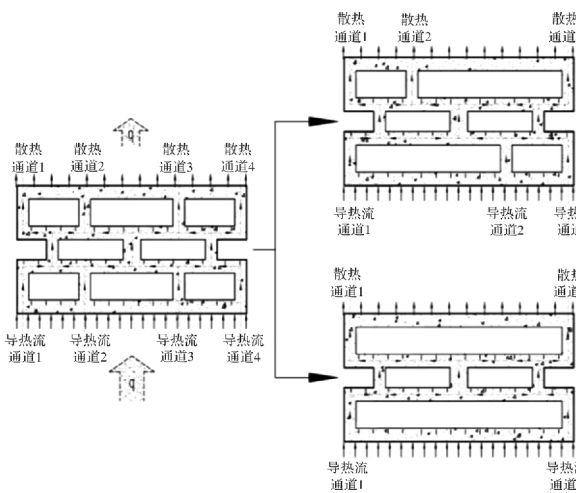


图 4 导热热流通道

Fig. 4 Thermally conductive channel

### 1.2 提高空心砌块及墙体热工性能的砌块型式设计

为提高空心砌块和墙体的热工性能,本文提出以下三个基本思路用于指导砌块型式设计.

(1)对空心砌块的固体部分,应通过合理的孔洞设计,尽量延长其热流线长度,减少热流通道数量,并在热流通道的关键节点处通过设置 EPS 块降低其热流密度;

(2)充分挖掘空心层的绝热能力. 可通过涂贴高性能的材料提高热反射效率和减少热辐射量;孔的厚度以 20~30 mm 为宜,防止空心层内对流换热量的增加;应通过增加空心层数来提高整个砌块的热阻;

(3)砌块型式设计应充分考虑墙体中的 L 型节点和 T 型节点等部位因热流方向改变和吸、散热面积不同而导致的传热异常,同时要消除或降低砂浆灰缝引起的“热桥”效应做出应对措施,以提高整个墙体的热工性能.

## 2 空心砌块的设计与性能

### 2.1 型式设计

以外墙用非承重型混凝土空心砌块为例(孔洞率控制在 25%~35%之间),空心砌块的型式设计包括两方面内容,一是孔型选择及其排布;二是砌块的整体外形设计. 砌块的孔型选择应简洁和便于制作,孔型排布在满足基本力学要求的前提下,要保证砌块本身有良好的热工性能;砌块的整体外形设计要便于施工与运输,节点构造简单且完善,同时要保证墙体的整体性、稳定性和提高整个墙体的热工性能.

依据以上原则,本文设计两种应用于墙体不同位置的空心砌块,平面简图 5、图 6 所示.

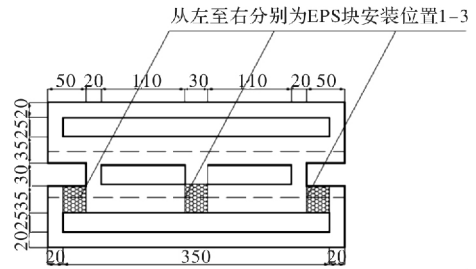


图 5 A 型空心砌块平面简化图

Fig. 5 Simplified floor plan of type A hollow block

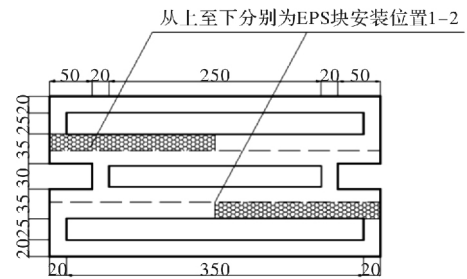


图 6 B 型空心砌块平面简化图

Fig. 6 Simplified floor plan of type B hollow block

### 2.2 数值模拟

Fluent 是用于计算复杂几何条件下流动和传热问题的 CFD 软件程序,在对流体传热模拟上有较高的准确性<sup>[14]</sup>,利用 Fluent 模拟软件对不同形式空心砌块的热工性能进行有限元模拟,先对模型进行合理的假设:(1)将通过砌块的热流只沿厚度方向传递,在软件模拟中可以简化为二维模型进行分析;(2)所有材料各项同性且均匀分布;(3)不考虑砌体间的传热效应,只分析单个砌块的传热性能,在模拟中设定砌块水平方向为绝热条件;(4)辐射模型采用 DO 模型<sup>[15]</sup>;(5)砌块冷面温度条件为 323 K,热面温度条件为 293 K,外表面传热系数 23 W/(m<sup>2</sup>·K),内表面传热系数为 8.7 W/(m<sup>2</sup>·K);(6)砌块空气层和固体层接触面为耦合边界面.

根据 EPS 隔热块放置位置的不同设计工况,如表 1 所示.

表 1 不同砌块工况

Tab. 1 Different block conditions

序号	工况
1 <sup>#</sup>	A 系列 1 号位置安装 EPS 块
2 <sup>#</sup>	A 系列 2 号位置安装 EPS 块
3 <sup>#</sup>	A 系列 1 号、2 号位置安装 EPS 块
4 <sup>#</sup>	A 系列 1 号、3 号位置安装 EPS 块
5 <sup>#</sup>	A 系列 1 号、2 号、3 位置安装 EPS 块
6 <sup>#</sup>	B 系列 1 号位置安装 EPS 块
7 <sup>#</sup>	B 系列 2 号位置安装 EPS 块
8 <sup>#</sup>	B 系列 1 号、2 号位置安装 EPS 块
9 <sup>#</sup>	A 系列不安装 EPS 块
10 <sup>#</sup>	B 系列不安装 EPS 块

砌块所用材料物理性能依据 GB50176-2016《民用建筑热工设计规范》<sup>[16]</sup>和《建筑材料热物理性能与数据手册》<sup>[17]</sup>选取, EPS 块选取建筑施工中常用的规格型号<sup>[18]</sup>, 空气层考虑严寒地区以保温为设计主, 选用冬季情况空气层热阻, 换算为当量导热系数, 如表 2 所示。

表 2 材料的物理性能

Tab. 2 Physical properties of materials

材料	干密度 /kg · m <sup>-2</sup>	导热系数 /W · (m · K) <sup>-1</sup>	比热容 /kJ · (kg · K) <sup>-1</sup>	热阻 /(m <sup>2</sup> · K) · W <sup>-1</sup>
混凝土	2 400	1.74	0.92	-
EPS 板	20	0.038	1.5	-
25 mm 空气层	1.225	0.151	1.006	0.165

通过模拟计算可以得到不同工况混凝土空心砌块的热流量及分布情况, 如图 7 所示, 再经过数据处理, 可得到不同工况下砌块的传热系数。

由表 3 可知, 对于 A 型混凝土空心砌块, 将

EPS 块放置于 1 号或 3 号位置对于砌块的整体热工性能提升要显著大于 2 号位置, 且在 1 号位置和 3 号位置均设置 EPS 块的空心砌块其热阻值是其他工况的 2 倍以上, 而 EPS 块的用量并没有增加, 由此可见工况 4<sup>#</sup> 为 A 类型砌块的最佳设计形式。对于 B 型混凝土空心砌块, 在 1 号或 2 号位置设置 EPS 块两者的热阻只相差 4%, 但在 1 号和 2 号位置同时设置 EPS 块后, 其热阻值相对于不放置 EPS 块提高了 3 倍, 由此可见 8<sup>#</sup> 为 B 类型砌块的最佳设计形式。值得一提的是, 这里的研究是 2 维的, 而且只研究了一个砌块的传热, 两侧厚度方向设定了对称边界条件, 如果研究多个砌块砌成墙体的形式, 结果也许会有不同。

依据以上结论, 设计了 2 组针对于不同墙体位置的混凝土空心砌块, 详见表 4。考虑到文章所设计砌块型式对消除或降低墙体内水平和垂直灰缝的热桥作用有一定帮助, 所以可以预期整个墙体的热工性能将得到很大改善。

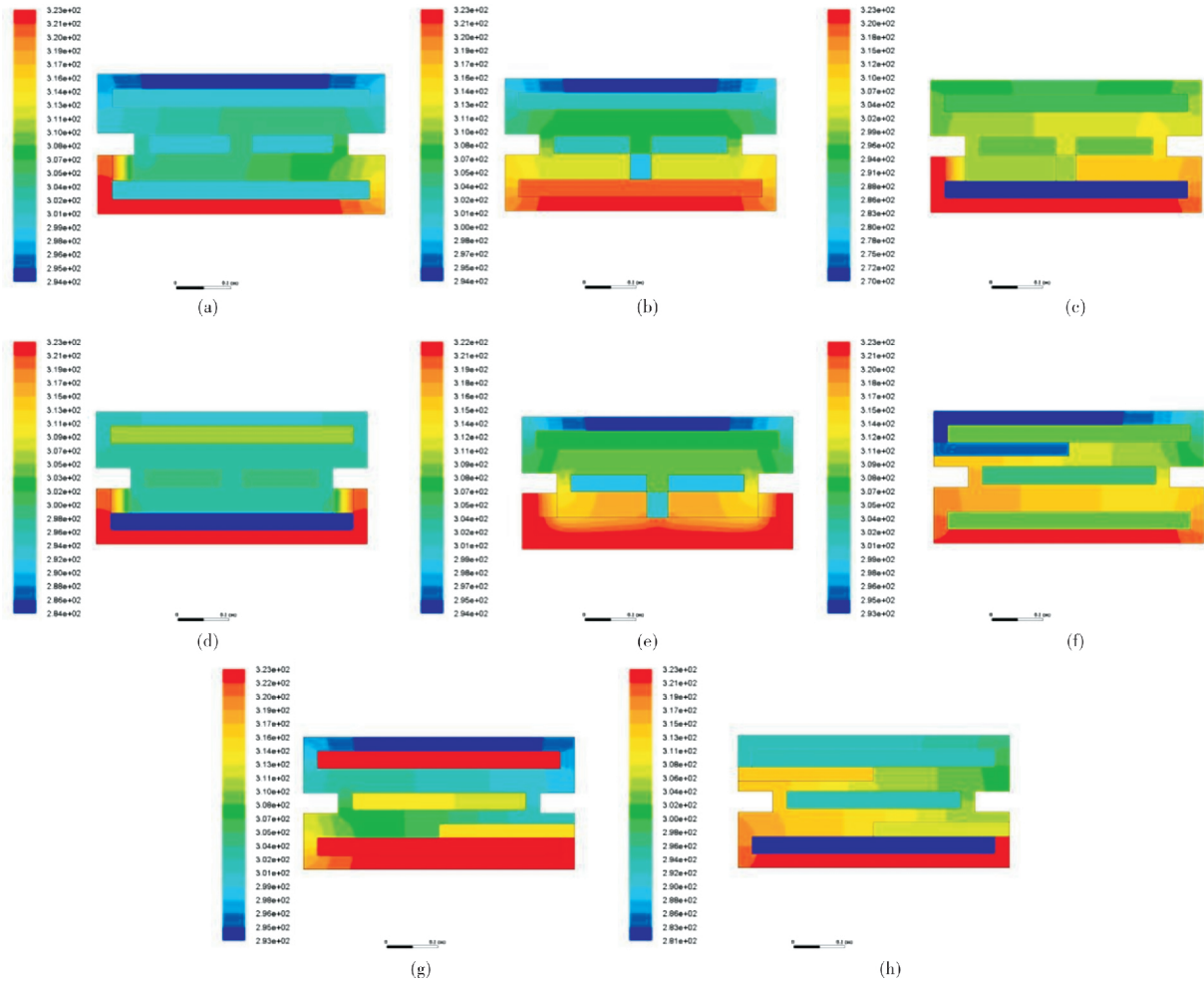


图 7 1#~8#号空心砌块温度分布图

Fig. 7 1#~8# Temperature Distribution Diagram of hollow block

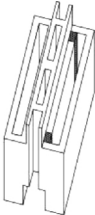
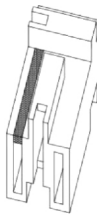
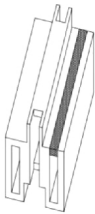

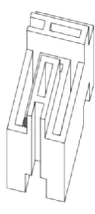

表 3 空心砌块热工性能模拟结果

Tab. 3 Simulation results of thermal performance of hollow block

类型	EPS 块含量/%	热流量/W	砌体热阻/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) $\cdot \text{W}^{-1}$	传热系数/ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$	当量导热系数/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$
1 <sup>#</sup>	1.25	2.96	0.751	1.332	0.519
2 <sup>#</sup>	1.25	4.3	0.517	2.384	0.930
3 <sup>#</sup>	2.49	2.75	0.808	1.237	0.482
4 <sup>#</sup>	2.49	1.075	2.068	0.484	0.189
5 <sup>#</sup>	3.74	4.585	0.485	2.063	0.804
6 <sup>#</sup>	0.87	2.47	0.900	1.111	0.433
7 <sup>#</sup>	0.87	2.58	0.862	1.161	0.453
8 <sup>#</sup>	1.73	1.58	1.407	0.711	0.277
9 <sup>#</sup>	0.00	4.17	0.533	1.876	0.732
10 <sup>#</sup>	0.00	4.575	0.486	2.506	0.977

表 4 A、B 系列空心砌块型式设计

Tab. 4 Type design of A、B series hollow block

类型	规格	390×190×190/mm	类型	规格	390×190×190/mm
A 系列	A 型		B 系列	B 型	
	孔洞率	31.85%		孔洞率	31.17%
	用途	用于正常墙体砌筑		用途	用于正常墙体砌筑
	A <sub>L</sub> 型			B <sub>L</sub> 型	
	孔洞率	31.14%		孔洞率	31.61%
	用途	用于墙体转角处(L 节点)的砌筑		用途	用于墙体转角处(L 节点)的砌筑
	A <sub>T</sub> 型			B <sub>T</sub> 型	
	孔洞率	31.67%		孔洞率	31.97%
		用途 用于内外墙交接(T 节点)的砌筑			用途 用于内外墙交接(T 节点)的砌筑

3 结论

- (1)空心砌块内部传热途径可按传热方式的不同分别加以分析,通过采取合理的孔洞设计和技术措施,提高不同传热方式条件下的各自热阻来综合提高整个砌块的热工性能;
- (2)在保证砌块力学性能的前提下,尽量减少固体部分尤其是迎热面和散热面的热流通道数量和总宽度、充分发挥空心部分的作用是改善砌块

- 热工性能的关键,因此改进孔洞的形状和排布非常重要;
- (3)在砌块型式设计上,不能只满足于砌块本身的热阻提高,而且要考虑到整个墙体的热工性能,因此消除墙体内由砌块设计不合理而遗留下的“热桥”作用和完善节点设计同样重要;
- (4)在不增加或少增加成本的基础上,充分挖掘空心砌块的热工潜能,合理设置 EPS 块的位置,可以使砌块热阻显著提高,在满足建筑节能要求

下减少外保温材料消耗,实现建筑的绿色发展。

## 参考文献 References

- [1] 赵东来,胡春雨,柏德胜,等.我国建筑节能技术现状与发展趋势[J].建筑节能,2015,43(3):116-121.  
ZHAO Donglai, HU Chunyu, BAI Desheng, et al. Building energy conservation technology status and development trend in China[J]. Building Energy Efficiency, 2015, 43(3): 116-121.
- [2] LACARRIERE B, LARTIGUE B, MONCHOUX F. Numerical study of heat transfer in a wall of vertically perforated bricks: influence of assembly method[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(3): 229-237.
- [3] GAO Y, ROUX J J, TEODOSIU C, et al. Reduced linear state model of hollow blocks walls, validation using hot box measurements[J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 1107-1115.
- [4] CHUNG D D L. Cement - matrix composites for smart structures[J]. Smart Material and Structures, 2000, 9(3): 389-401.
- [5] 李忠,郭丽.聚苯乙烯泡沫(EPS)综述[J].四川建材, 2010(10):10-11.  
LI Zhong, GUO Li. (EPS) Literature review[J]. Sichuan Building Materials, 2010(10): 10-11.
- [6] 杜骋,杨军.聚苯乙烯泡沫(EPS)的特性及应用分析[J].东南大学学报(自然科学版),2001(5):139-142.  
DO Cheng, YANG Jun, Expanded polystyrene (EPS) Geofoam: An analysis to characteristics and applications[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2001(5): 139-142.
- [7] DEL COZ DIAZ J J, GARCIA Nieto P J, BETEGON Biempica C, et al. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method[J]. Applied thermal engineering, 2007, 27(8/9): 1445-1456.
- [8] HUI SAM C M. Low energy building design in high density urban cities[J]. Renewable Energy, 2001, 24: 627-640.
- [9] NIACHOU A, PAPAKONSTANTIONU K. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance[J]. Journal of Energy Buildings, 2001, 33(7): 19-29.
- [10] 李红兰,魏玲.粉煤灰空心砌块墙体热阻的数值模拟[J].建筑科学,2008(12):67-70.  
LI Honglan, WEI Ling. Numerical simulation of thermal resistance of hollow fly-ash concrete block walls[J]. Building Science, 2008(12): 67-70.
- [11] 朱文运,胡文,房向阳,等.混凝土小型空心砌块的热阻实验测量及数值分析[J].建筑科学,2014(12):49-53.  
ZHU Wenyun, HU Wen, FANG Xiangyang, et al. Experimental measurement and simple numerical analysis on thermal resistances of small concrete hollow block[J]. Building Science, 2014(12): 49-53.
- [12] 张源,何嘉鹏.节能空心砌块选型的正交综合分析[J].建筑技术,2009(4):336-339.  
ZHANG Yuan, HE Jiapeng. Orthogonally synthetic analysis on type selection of energy-saving hollow building block[J]. Architecture Technology, 2009(4): 336-339.
- [13] 梁淑红.节能利废自保温混凝土空心砌块及砌体性能分析[J].节能环保,2014(6):24-26.  
LIANG Shuhong. The performance analysis of the energy saving and waste utilisation self-conserving heat block and brick of the concrete hollow[J]. Energy Conservation Environmental Protection, 2014(6): 24-26.
- [14] 李维孝,张源,葛凤华,等.夏热冬冷地区节能墙体热工性能分析[J].新型建筑材料,2018(9):70-74.  
LI Weixiao, ZHANG Yuan, GE Fenghua, et al. Thermal performance analysis of energy-saving wall in hot summer and cold winter zone[J]. New Building Material, 2018(9): 70-74.
- [15] 王佳妮.自保温空心砌块传热性能研究[D].绵阳:西南科技大学,2016.  
WANG Jiani. Self-insulation hollow block heat transfer performance[D]. Mianyang: Southwest Univ. of Scie. & Tech, 2016.
- [16] 中国建筑科学研究院.民用建筑热工设计规范:GB50176-2016[S].北京:中国建筑工业出版社,2016:附录B.  
China Academy of Building Research. Thermal design code for civil building: GB50176-2016[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016: The appendix B.
- [17] 周辉,钱美丽.建筑材料热物理性能与数据手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.  
ZHOU Hui, QIAN Mei Li. Thermophysical properties and data sheets for building materials[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [18] 吴文生. EPS材料在建筑施工中的应用探析[J].山西建筑,2015(1):121-122.  
WU Wensheng. On analysis of application of EPS material in architectural construction[J]. Shanxi Architecture, 2015(1): 121-122.

(编辑 沈 波)