

灰缝厚度对蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能的影响研究

Study on the Influence of Ash Seam Thickness on Thermal Performance of Autoclaved Aerated Concrete Block Wall

庄 炜¹, 曹权宇², 李 永³, 郝文辉⁴, 李效禹⁵

(1. 青县住房和城乡建设局, 河北 沧州 062650; 2. 河北融舟科技发展有限公司, 河北 石家庄 050000;
3. 河北省建筑科学研究院有限公司, 河北 石家庄 050227; 4. 河北科技大学 建筑工程学院,
河北 石家庄 050018; 5. 中国建筑科学研究院有限公司, 北京 100013)

摘 要: 为探究蒸压加气混凝土砌块在建筑节能方面存在的问题, 利用 AIRPAK 软件对蒸压加气混凝土砌块墙体的热工性能进行研究。通过对 300 mm 厚的 B04 级蒸压加气混凝土砌块墙体进行不同厚度砌筑灰缝进行建模研究, 探讨不同灰缝厚度情况下蒸压加气混凝土砌块墙体传热系数变化情况以及在墙体外侧粘贴分别 25 mm 和 50 mm 石墨聚苯板保温时灰缝对墙体传热系数的影响。结果表明: 当砌筑灰缝厚度为 8~15 mm 时, 墙体传热系数与不考虑灰缝时的传热系数增加比例为 15.152%~31.313%, 在建筑热工计算时不能忽视灰缝对墙体传热造成的影响; 随着保温层厚度的增加, 灰缝对传热系数的影响逐渐减小, 但不可忽略; 当保温层厚度为 25 mm 和 50 mm 时, 传热系数增加比例分别为 6.584%~15.265% 和 4.231%~21.154%。

关键词: 灰缝; 砌筑砂浆; 传热系数; 蒸压加气混凝土砌块

中图分类号: TU37 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249(2024)04-0154-04

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.028

ZHUANG Wei¹, CAO quanyu², LI Yong³, HAO Wenhui⁴, LI Xiaoyu⁵

(1. Qingxian Housing and Urban-Rural Development Bureau, Cangzhou 062650, China;

2. Hebei Rongzhou Technology Development Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China;

3. Hebei Academy of Building Science Co., Ltd., Shijiazhuang 050227, China;

4. College of Civil Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China;

5. China Academy of Building Research Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to explore the problems existing in building energy saving of autoclaved aerated concrete block, the thermal performance of autoclaved aerated concrete block wall is studied by AIRPAK software in this paper. Through modeling research on the ash joint of B04 autoclaved aerated concrete block wall with different thickness of 300 mm, the change of heat transfer coefficient of autoclaved aerated concrete block wall with different ash joint thickness and the influence of ash joint on heat transfer coefficient of wall with 25 mm and 50 mm graphite polystyrene board pasted on the outside of wall are discussed. The results show that when the thickness of the ash joint is 8~15 mm, the increase ratio of the heat transfer coefficient of the wall is 15.152%~31.313%, and the influence of the ash joint on the heat transfer of the wall cannot be ignored in the calculation of building thermal engineering.; With the increase of the thickness of the insulation layer, the influence of the ash joint on the

作者简介: 庄 炜 (1988—), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 建筑节能管理。

通信作者: 李 永 (1981—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向: 建筑热工。

收稿日期: 2024-02-27

heat transfer coefficient decreases gradually, but it can not be ignored; When the thickness of insulation layer is 25 mm and 50 mm, the increase ratio of heat transfer coefficient is 6.584%~15.265% and 4.231%~21.154%.

Keywords: thickness of ash seam; thermal performance; heat transfer coefficient; autoclaved aerated concrete block

0 引言

我国是能源消耗大国，建筑能耗占社会能源总消耗量的 1/4 以上，且随着建筑不断兴建，这一比例还在逐年升高。在建筑能耗中，建筑物总能耗的 57%~77% 是由建筑物外围护结构的传热损失造成的^[1]。蒸压加气混凝土砌块集围护和保温功能为一体，在工程中得到广泛应用。但在实际工程中，因蒸压加气混凝土砌块与砌筑砂浆导热系数差距过大而在灰缝等处产生“热桥”，灰缝引起的能耗可高达 24.5%^[2-3]。从节能角度看，厚灰缝不利于墙体节能，使用薄灰缝砌筑的加气混凝土砌块墙体可以有效减少能量损失。此外，薄灰缝砌体还能显著改善墙体的强度和减轻自身重量等问题。GB 50411—2019《建筑节能工程施工质量验收标准》^[4]第 4.2.11 条规定，保温砌块砌筑的墙体应采用配套砂浆砌筑，砂浆的强度等级及导热系数应符合设计要求，并且要核查其试验报告。笔者参与了河北省多个地市的建筑节能检查工作，建设单位提供的设计文件和施工单位提供的验收资料中，未发现配套砌筑砂浆的导热系数要求及试验报告。由此可知，设计、施工和验收均未重视此问题。因此，利用 AIRPAK 对 300 mm 厚的 B04 级蒸压加气混凝土砌块墙体进行不同厚度砌筑灰缝进行建模研究，探讨不同灰缝厚度情况下蒸压加气混凝土砌块墙体传热系数变化情况以及在墙体外侧粘贴不同厚度石墨聚苯板保温时灰缝对墙体传热系数的影响。以期能够引起相关从业人员的重视。

1 数值模型

1.1 基本情况

蒸压加气混凝土砌块墙体主要是由外抹面砂浆、蒸压加气混凝土砌块、普通砌筑砂浆及墙体内抹灰四部分构成。本次计算墙体采用 B04 级的蒸压加气混凝土自保温砌块，在平衡含水率情况下其导热系数为 0.12 W/(m·K)，砌块尺寸为 600 mm × 250 mm × 300 mm，砌筑砂浆为薄层砌筑砂浆，灰缝

厚度为 8~15 mm；抹面砂浆为普通抹面砂浆。蒸压加气混凝土砌块墙体建模如图 1 所示。

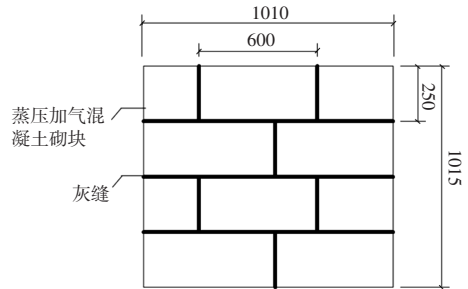


图 1 蒸压加气混凝土砌块建模示意图

Fig. 1 Schematic diagram of autoclaved aerated concrete block modeling

1.2 模拟参数

利用流体力学软件 AIRPAK 对墙体稳态传热进行数值模拟，通过计算得出墙体热流密度推导墙体的平均传热系数，模型参数设置如下：

- (1) 物理模型选用室内零方程模型，墙体内外表面的热边界条件按第三类边界条件设置^[5]；
- (2) 模拟采用冬季工况，外表面换热阻为 0.04 m²·K/W，内表面换热阻为 0.11 m²·K/W，室外温度为 -20℃，室内温度为 20℃；
- (3) 不考虑灰缝时的墙体面积为 1 m²；
- (4) 砌块尺寸：长 × 高 × 宽 = 600 mm × 250 mm × 300 mm。

1.3 墙体参数

根据 JGJ/T 17—2020《蒸压加气混凝土制品应用技术标准》^[6]给出的构造细节参数对模型材料性能进行设置，其中根据严寒和寒冷地区平均相对湿度 ≤ 55%，B04 级蒸压加气混凝土砌块修正系数取值为 1.10。详细参数见表 1。

表 1 墙体材料性能参数

Table 1 Performance parameters of wall materials

构造层	材料类型	导热系数 /[W/(m·K)]	修正系数	厚度 /mm
基层墙体	B04 级蒸压加气 混凝土砌块	0.12	1.10	300
保温层	石墨聚苯板	0.03	1.10	25、50
灰缝	普通砌筑砂浆	0.93	1.0	8~15
墙体内抹灰	聚合物砂浆	0.93	1.0	20
外抹面砂浆	无机保温砂浆	0.14	1.0	30

研究与应用

1.4 计算公式

工程上经常涉及的传热现象是流体与它所在温度不同的壁面上流动时,两者产生热量交换^[7],蒸压加气混凝土砌块墙体传热系数和因灰缝造成的传热系数增加比例可按式(1)计算:

$$\begin{cases} \eta = (K - K_w) / K_w \\ K = Q / A(T_n - T_w) \\ K_w = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{a_e}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: η 为因灰缝造成的传热系数增加比例,%; T_w 为室外空气温度, $^{\circ}\text{C}$; T_n 为室内空气温度, $^{\circ}\text{C}$; K 为考虑灰缝修正的墙体传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Q 为通过墙体的热流量,模拟计算得出, W ; A 为墙体面积, m^2 ; K_w 为未考虑灰缝修正时墙体的传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; a_i 为墙体内表面换热系数, $9.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; a_e 为墙体外表面的换热系数, $25.0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; δ_i 为围护结构各层材料厚度, mm ; λ_i 为围护结构各层材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

$$\lambda_{ac} = \delta / R_{ac} \quad (2)$$

$$R_{ac} = R_z - R_f - R_e - R_m \quad (3)$$

式中: λ_{ac} 为蒸压加气混凝土砌块当量导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; δ 为蒸压加气混凝土砌块材料的厚度, mm ; R_{ac} 为蒸压加气混凝土砌块考虑灰缝的导热热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; R_z 为围护结构考虑灰缝时的总热阻, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; R_f 为墙体内表面换热阻, $0.11 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; R_e 为墙体外表面换热阻, $0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; R_m 为围护结构内外抹灰热阻和, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

2 蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能分析

2.1 灰缝对蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能的影响

蒸压加气混凝土砌块墙体厚度为 300 mm ,不考虑灰缝时墙体的传热系数为 $0.396 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,灰缝厚度在 $8 \sim 15 \text{ mm}$ 范围内的传热系数和当量导热系数,计算结果见表2。

由表2可知,灰缝对于墙体传热系数有较大影响,随着灰缝厚度的增加,考虑灰缝时墙体的当量导热系数及相对误差均增大。灰缝厚度为 $8 \sim 15 \text{ mm}$ 时, 300 mm 厚B04级蒸压加气混凝土砌块墙体传热系数与

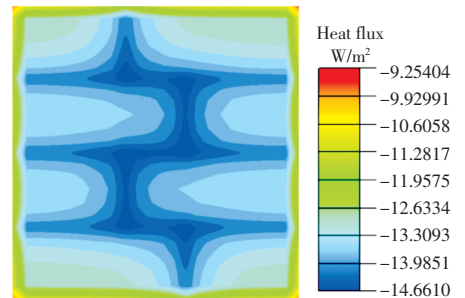
不考虑灰缝时传热系数增加比例为 $15.152\% \sim 31.313\%$ 。

表2 灰缝厚度为 $8 \sim 15 \text{ mm}$ 的传热系数和当量导热系数计算结果
Table 2 Calculation results of heat transfer coefficient and equivalent thermal conductivity of ash joint with thickness from 8 to 15 mm

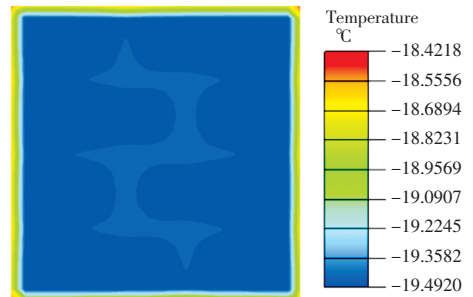
灰缝厚度 /mm	考虑灰缝时 墙体的K值 / $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	K值增加比例 /%	考虑灰缝的当量导热系数 / $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
8	0.456	15.152	0.166
9	0.466	17.677	0.170
10	0.474	19.697	0.174
11	0.484	22.222	0.177
12	0.492	24.242	0.181
13	0.502	26.768	0.185
14	0.510	28.788	0.189
15	0.520	31.313	0.194

2.2 不同厚度保温层对蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能的影响

为进一步分析保温层存在对蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能的影响,对外侧粘贴 25 mm 和 50 mm 石墨聚苯板的工况进行模拟分析。以灰缝厚度为 8 mm 为例,其外表面热工性能如图2和图3所示。当砌筑灰缝厚度 8 mm 时,通过 25 mm 和 50 mm 厚石墨聚苯板保温的墙体外表面热流量分别为 -13.7 、 -10.8 W ,墙体外表面温度极小值分别为 -19.49 、 $-19.59 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



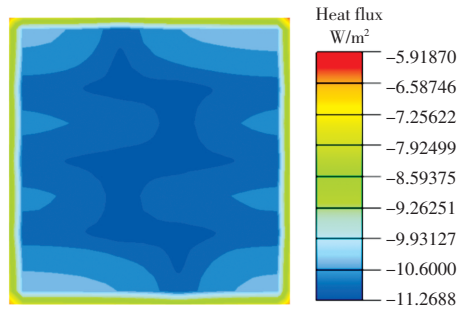
(a) 墙体外表面热流密度分布云图



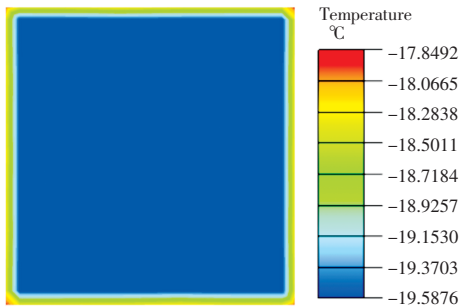
(b) 墙体外表面温度分布云图

图2 25 mm 石墨聚苯板的墙体外表面模拟云图

Fig. 2 Simulated cloud image of wall surface of 25 mm graphite polystyrene board



(a) 墙体外表面热流密度分布云图



(b) 墙体外表面温度分布云图

图3 50 mm 石墨聚苯板的墙体外表面模拟云图

Fig. 3 Simulated cloud image of the outer surface of the wall of 50 mm graphite polystyrene board

由式(1)可计算出是否考虑灰缝时不同保温层厚度的墙体传热系数相对误差。不考虑灰缝,保温材料厚度为25mm和50mm时的墙体传热系数分别为 $0.321 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 和 $0.260 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;考虑灰缝的结果见表3。随着保温层厚度的增加,灰缝对传热系数造成的影响在逐渐减小。外墙粘贴25 mm厚保温层时,灰缝对墙体造成的相对误差在6.584%~15.265%;粘贴50 mm厚保温层时,灰缝对墙体造成的相对误差在4.231%~21.154%。

3 结论与建议

(1) 蒸压加气混凝土砌块墙体中,砌筑灰缝是产生热桥的重要因素,灰缝厚度为8~15 mm时,采用普通砌筑砂浆300 mm厚B04级蒸压加气混凝土砌块,墙体传热系数与不考虑灰缝时的传热系数增加比例为15.152%~31.313%,建筑热工计算时不能忽视灰缝对墙体传热造成的影响。

表3 有保温层时,灰缝厚度为8~15 mm时的传热系数计算结果
Table 3 Calculation results of heat transfer coefficient when there is insulation layer and the thickness of ash joint is 8 mm~15 mm

石墨聚苯板 厚度/mm	灰缝厚度 /mm	考虑灰缝时 墙体的K值 / $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	相对误差 /%
25	8	0.343	6.854
	9	0.346	7.788
	10	0.350	9.034
	11	0.354	10.280
	12	0.358	11.526
	13	0.361	12.461
	14	0.365	13.707
50	15	0.370	15.265
	8	0.271	4.231
	9	0.274	5.385
	10	0.277	6.538
	11	0.300	15.385
	12	0.304	16.923
	13	0.309	18.846
	14	0.312	20.000
	15	0.315	21.154

(2) 随着保温层厚度的增加,灰缝对传热系数造成的影响在逐渐减小,但仍不可忽略。蒸压加气混凝土砌块墙体外侧采用厚度为25 mm和50 mm的石墨聚苯板进行保温时,传热系数增加比例范围分别为6.584%~15.265%和4.231%~21.154%。

参 考 文 献

- [1] 肖力光,邢纹浩.灰缝厚度对蒸压加气混凝土砌块墙体热工性能的影响[J].混凝土与水泥制品,2020(10):72-74,79.
- [2] 梁世英,苏宇峰.砌筑灰缝对蒸压加气混凝土砌块墙体热阻的影响[J].墙材革新与建筑节能,2019(2):40-43.
- [3] 沈建飞.蒸压加气混凝土砌块薄层抹灰技术浅析[J].墙材革新与建筑节能,2019(10):38-41.
- [4] 建筑节能工程施工质量验收标准:GB50411—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [5] 崔志玉.烧结煤矸石页岩多孔保温砌块热工性能数值模拟[J].南昌大学学报(工科版),2022,44(1):31-35.
- [6] 蒸压加气混凝土制品应用技术标准:GJ/T17—2020[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [7] 章熙民,任泽霁,梅飞鸣.传热学[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.