

稻壳灰混凝土空心砌块热传递模型研究

O. M. Kamiyo

机械工程系 拉多斯大学 拉多斯 尼日利亚 100313

【摘要】：混凝土空心砌块被世界上许多国家广泛使用。近年来，水泥含量部分被掺合物，尤其是农业废弃物取代。有必要对这些改进块的热传递特性进行建模，测试其热性能。这项研究重点是在有限体积计算机的帮助下进行建模代码。具体来说，对于用水泥生产的两腔砌块用稻壳灰替代。结果表明，随着稻壳灰替代率的增加，整个砌块宽度上的热梯度增加，而热流率降低。本文第二部分研究了通过空气间隙的热传递效果，并与将其视为真空的类似研究进行了比较。由于建筑砖的空气间隙热流通过并影响了砖内的热流模式，从而不能被视为真空。这项研究的结果将有助于建筑专业人员在选择建筑砌块和正确估计建筑物的空调负荷。

【关键词】：传热；空心砌块；稻壳灰

Modelling of Heat Transfer Through Hollow Blocks Produced with Rice-husk-ash Blended Cement

O. M. Kamiyo

Department of Mechanical Engineering, University of Lagos Lagos Nigeria 100313

Abstract: Hollow sandcrete blocks are widely used in many countries of the world. In recent years, cement content is being partially substituted by admixtures especially agricultural wastes. Modeling of heat transfer characteristics of these modified blocks is essential in order to predict their thermal performance. This study focuses on this modeling with the aid of a finite-volume based computer code. Specifically, for regular, two-cavity blocks produced with the cement partially substituted with rice husk ash (RHA). The result showed that as the percentage substitution of RHA increased, thermal gradient across the width of the block increased, while the rate of heat flow reduced. The second part of the study examined the effect of heat transfer through the air-gap as compared to a similar study regarding it as vacuum. The heat flow through the air-gaps of the building bricks affected the pattern of heat flow within the bricks, hence, they could not be regarded as a vacuum. The results of this study will be useful to building professionals in the choice of building blocks and proper estimation of air-conditioning load in buildings.

Keywords: Heat transfer; Hollow blocks; Rice-husk-ash

1 引言

含有沙子和水泥混合物的混凝土空心砌块在世界上许多国家广泛使用，特别是撒哈拉以南非洲、加勒比海岛屿和亚洲。在尼日利亚，砂凝块是大多数普通建筑的主要成本组成部分。砂凝块建筑材料成本高且不断上涨，导致城市和农村居民无法获得适足住房，非常需要这些建筑材料的替代品，特别是那些可以在短期内替代水泥的材料。其中生产成本更低的材料引起了人们的极大兴趣和关注（Chandrasekhar 等，2003；Nair 等，2006；Okunade，2008）。

热阻、综合强度、重量、刚度和成本等墙体性能在现代建筑设计中起着重要作用。作为增强这些性能和降低成本的一种方式，引入了外加剂（Rodriguez de Sensale 等，2008；Okunade，2008；Turgut and Yesilata，2008；Nair 等，2006；Oyekan and Kamiyo，2011）。农业废弃物的利用是一种常见的方法（Ganesan 等，2008；Cisse and Laguerbe，2000；Nair 等，2006；Chandrasekhar 等，2003；Kamiyo and Oyekan，2011；Adesanya and Raheem，2009）。建筑物墙壁的热特性在估计建筑物空间的空调负荷中

起着主要作用。最近研究的焦点是增加壁材料的热阻（Cianfrini 等，2017；Idan 和 Feldman，2017；Costa，2014；Al-Tamimi 等，2017；Tang 等，2015；Gijon-Rivera 等，2016；Shibib 等，2013；Balaji 等，2014）。对现有文献的调查表明，大多数胶凝材料的热性能随着外加剂的存在而改变（Cisse 和 Laguerbe，2000；Oyekan 和 Kamiyo，2011）和空心砖/砌块的气隙尺寸（及排列）（Al-Hazmy，2006；Oluleke 等，2012；Idan 和 Feldman，2017；Costa，2014，Li 等，2008；Al-Tamimi 等，2017；Tang 等，2015）。

值得注意的是，随着建筑材料中的热传递，近来人们对已经在使用的外加剂的关注有所增加。该项研究分为两部分：（1）确定用稻壳灰部分替代水泥对砂凝块热流的影响；（2）重新研究 Oluleke 等（2012）通过施加实际条件以确定其实际热性能。

2 材料和方法

2.1 计算公式

假设平行路径热流，即热量从热表面垂直均匀地直接流向

冷表面表示一维热传递情况（图1）。之所以使用这种方法，是因为热量横向流过缸体表面壳体，从而形成横向等温平面（ASHRAE，2017）。根据 Lacarrière 等人（2003）的报告，孔内的对流热传递可以忽略不计，因此不予考虑。

假定块体暴露在太阳辐射和热的外部空气中，外部空气将块体的外表面加热到温度 T_H ，同时假定块体的内表面通过空气冷却保持在温度 $T_C < T_H$ 。对于通过恒定面积的不稳定热流，非均匀材料的一般热传导方程由下式给出

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

其中 T 为温度， ρ 为密度， c 为比热， k_x, y, z 分别为 x, y, z 方向的热导率。然而，对于没有内部生热的均质材料中的一维不稳定热传导，方程简化为

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2)$$

所采用的边界条件是， $t=0, y=0, T_H=32^\circ\text{C}, \frac{\partial T}{\partial x}=0, y=225\text{mm}, T_C=22^\circ\text{C}$ 对流传热系数， $h=15 \text{ W/m}^2\text{K}$ 。

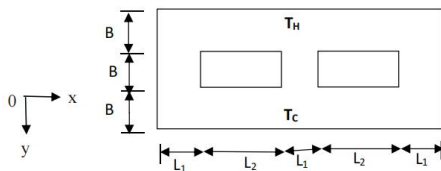


图1 计算几何

材料成分、它们的混合、外加剂的存在和生产工艺是决定砂混凝土块性能的重要因素。在这项研究中，采用了标准 1:6 水泥-砂混合比生产的砌块。稻壳灰替代水泥和水泥与砂的配料是按体积比进行的。使用具有 0%（对照）、5%、10%和 15%RHA 替代的块。砌块尺寸为 $450\text{mm} \times 225\text{mm} \times 225\text{mm}$ （有三分之一的体积空隙），因此 $B=75\text{mm}$ 毫米； $l_1=75\text{mm}$ ； $L_2=112.5\text{mm}$ 。Oyekan 和 Kamiyo（2011）报告了区块的物质含量、产量和热性质的更多详情。

3 结果和讨论

3.1 稻壳灰块模拟

在确定电网独立性的数值实验之后，本研究还进行了一组模拟来确定达到稳态的时间。图2显示了在上侧（外部）环境温度为 32°C ，下侧（内部）空气冷却温度为 22°C 时，15%稻壳灰砌块的温度随时间而变化。

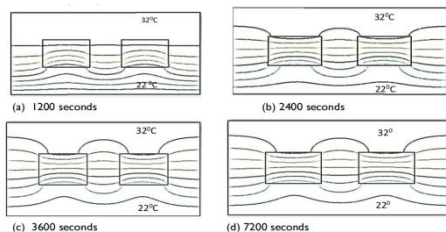


图2 15%稻壳灰区块等温线的演变

可以观察到，在 1200 秒获得的温度分布（图 2a）与在 2400 秒获得的温度分布（图 2b）非常不同，而在 7200 秒获得的温度分布（图 2d）与在 3600 秒获得的温度分布（图 2c）相同。因此，可以得出结论，在 3600 秒达到稳定状态。此外，在 $y=180\text{mm}$ 处监测温度随时间的变化。结果如图 3 所示。

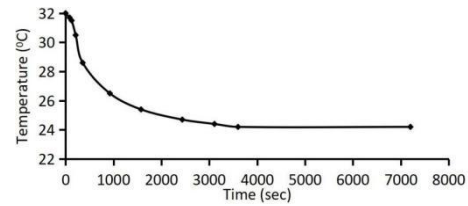


图3 $y=180\text{mm}$ 处温度随时间的变化达到稳定状态

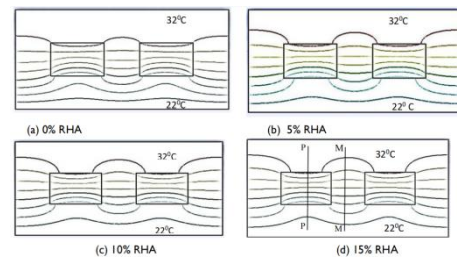


图4 各种%替代的稳态温度分布

图4（a-d）显示了 RHA 替代率为 0%（对照块）、5%、10%和 15%的块中稳态温度分布的结果。对于控制块，图4（a），热表面的温度保持不变。孔内的热分层以某种方式影响固体零件内的温度模式。在内部，热梯度增加，显示孔和块体内部之间的三条等温线。对于 5%稻壳灰砌块，图4（b），整个砌块的温度模式略有变化。第一条等温线现在已经延伸到更靠近外表面。在块的较冷部分，0%稻壳灰块中明显的热分层已经减少到孔和冷表面之间只有一条等温线。等温线以两个小峰的形式稍微向洞倾斜。对于 10%稻壳灰区块，图4（c），最后一条等温线的峰变得明显。在 15%稻壳灰替代时，图4（d），峰变得更加明显。这意味着，随着 RHA 替代物的增加，较冷部分的温度变得更加均匀，并趋向于块的冷表面的温度。

对于所有的块，孔内的热传递是高度分层的。在每种情况下，孔内的热梯度看起来相同，有五条等温线。温度模式表明从砌块外部到砌块内部的热传导减少。两个边缘之间热流的减少表明，正如预期的那样，砌块空腔内的空气有助于降低热量传递到建筑物中的速率。增加块中用水泥替代稻壳灰的百分比似乎在块的外边缘和孔之间引入热分层，同时进一步降低孔和内边缘之间的热梯度，导致热阻增加。图5进一步证实了所有块沿剖面 P-P 的温度变化（图4d 为例）。

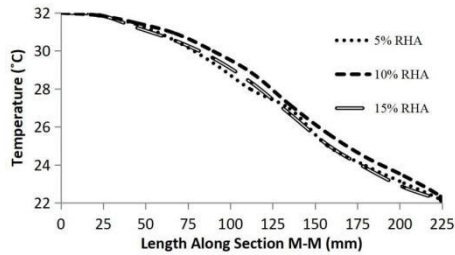


图5 沿 M-M 截面不同稻壳灰百分比的温度与长度的关系

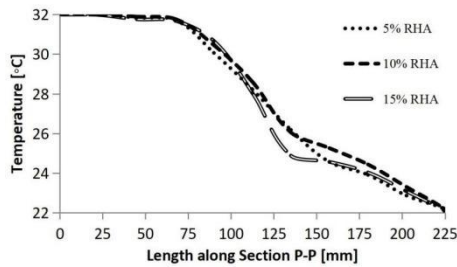


图6 沿剖面 P-P 不同稻壳灰百分比的温度与长度的关系

图5显示了图4(d)中块体实心中间部分(M-M截面)的温度分布,作为其他部分的示例。可以看出,热梯度随着RHA替代的增加而增加。从固体材料热传导的傅立叶方程可知,对于相同的传热量面积和传热量, k 与热梯度成反比。这意味着 k 应该随着热梯度的增加而减小。因此,可以得出结论,增加水泥对RHA的替代会降低砌块的导热系数。在图6的P-P截面中,可以观察到类似的温度分布图。

众所周知,在 $0.1-5.0 \text{ W/mK}$ 范围内的水泥材料(混凝土、块、砖等)的导热率高于空气的导热率(0.022 W/mK)。在砌块或砖上开孔的目的是降低热量从建筑外部传递到内部冷空间的速度。在他们对具有规则和交错孔的传统和互锁建筑砖块中的热传导建模的工作中,Oluleke等人。(2012)假设没有热量通过孔传递,从而使空腔成为真空。然而,这种假设不仅抑制了对流,而且消除了热传导。事实上,情况并非如此。因此,这项研究通过放宽真空假设,重新考虑了他们对传统的、规则的具有两个空腔的空心砖的研究。

3.2 砖块模拟

在这项研究中,砖块承受 40°C 的外部温度。砖内侧的对流传热系数为 $15 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$,当固体部分的导热系数为 $0.72 \text{ W/m }^\circ\text{C}$,孔为真空时,发现内部温度为 26.22°C 。所报告的温度分布(图7)显示了砖的外部(下部)的高热分层。孔中的真空假设倾向于抑制热量流过,从而将传递到内(上)侧的热量限制为仅通过孔周围的实心部分。因此,这会影响到内侧的温度分布。图8揭示了不同的温度分布。

参考文献:

[1] Adesanya, DA. and Raheem, AA. 2009. Development of corncob ash blended cement. Construction and Building Materials, 23:

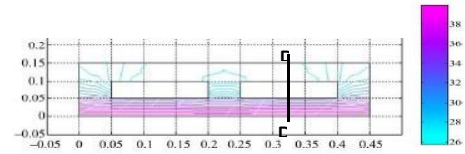


图7

具有两个空气腔的常规空心砖内的温度分布,从下侧加热,孔为真空(Oluleke等人,2012)。

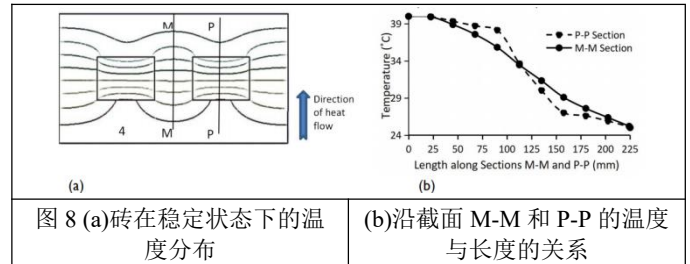


图8 (a)砖在稳定状态下的温度分布

(b)沿截面 M-M 和 P-P 的温度与长度的关系

图8显示了砖在稳定状态下的温度分布(图8a),以及沿截面M-M和P-P的温度与长度的关系(图8b)。对于砖的实心中间部分(截面M-M)的温度变化,砖的外(下)边缘的较高温度在一定程度上保持在砖中。由于孔内空气的导热率较低,对孔内热流的阻力在整个区域产生了高的热梯度。这减少了流入内部(上部)的热量。发现内部温度为 24.2°C ,低于Oluleke等人(2012)报告的 26.22°C 。在P-P截面上,温度几乎保持不变,直到到达洞口。由于空气的热阻较高,整个钻孔显示出较高的热梯度。此后温度逐渐变化,直到内边缘温度达到 24.2°C 。穿过Oluleke等人(2012)的砖孔的截面P-P的温度变化的类似曲线。

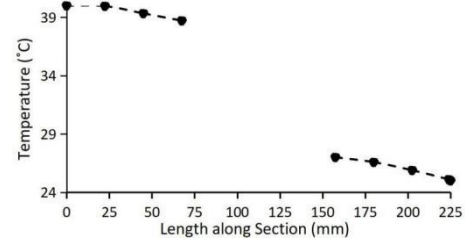


图9 图6中沿P-P截面的温度与长度的关系

4 小结

该研究建立了对流空心砌块的传热模型,分析了砌块内的热流模式。建模的第一部分检查了用稻壳灰替代水泥对砂凝块内温度分布的影响。结果表明,随着稻壳灰替代率增加,整个砌块宽度上的热梯度增加,而热流率降低。这意味着在砌块中加入稻壳灰会增加砌块的热阻,使其成为最大限度降低建筑物空调负荷的合适墙体材料。由于建筑砖的空气间隙热流通过并影响了砖内的热流模式,从而不能被视为真空。该研究可为建筑专业人员选择建筑砌块和正确估算建筑物空调负荷提供帮助。

347-352.

- [2] Al-Tamimi, S., Al-Osta, A., Baghabra, S. and Ben- Mansour, R. 2017. Effect of geometry of holes on heat transfer of concrete masonry bricks using numerical analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(9): 3733-3749.
- [3] Al-Hazmy, MM. 2006. Analysis of coupled natural convection conduction effects on the heat transport through hollow building blocks. *Energy and Buildings*, 38 (5): 515-521.
- [4] ASHRAE, 2017. ASHRAE Handbook Fundamentals. ASHRAE Incorporated. <http://www.ashrae.org>.
- [5] Balaji, NC., Mani, M. and Venkatarama, BV. 2014. Discerning heat transfer in building materials. *Energy Procedia*, 54: 654-668.
- [6] Chandrasekhar, S., Satyanarayana, KG., Pramada, PN. and Raghavan P. 2003. Processing, properties and application of reactive silica from rice husk-an overview. *Journal of Materials Science*, 38(15): 3159-3168.
- [7] Cianfrini, M., Vollaro R. and Habib E. 2017. Dynamic thermal features of insulated blocks: actual behaviour and myths. *Energies*, 10(11): 1807.
- [8] Cisse, IK. and Laguerbe, M. 2000, Mechanical characterization of filler sandcrete with rice husk ash additions; study applied to Senegal. *Cement and Concrete Research*, 30(1):13–18.
- [9] Costa, VAF. 2014. Improving the thermal performance of red clay holed bricks. *Energy and Buildings*, 70: 352-364
- [10] Ganesan, K., Rajagopal, K. and Thangavel, K. 2008, Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 22(8): 1675-1683.
- [11] Gijon-Rivera, M., Serrano-Arellano, J., Xaman, J. and Alvarez, G. 2016. Effect of different building materials on conjugate heat and mass transfer. *Ingeniería Mecánica, Tecnología y Desarrollo*, 5(4): 395-404.
- [12] Idan, S. and Feldman Y. 2017. Passive thermal insulation of confined natural convection heat transfer: an application to hollow construction blocks. *Applied Thermal Engineering*, 124: 1328-1342.
- [13] Kamiyo, OM. and Oyekan, GL. 2011. Thermal, hygrothermal and structural properties of sandcrete blocks produced with coconut husk ash blended cement. *Journal of Engineering Research*, 16(3): 80-89.
- [14] Lacarrière, B., Lartigue, B. and Monchoux, F. 2003. Numerical study of heat transfer in a wall of vertically perforated bricks: influence of assembly method. *Energy and Buildings*, 35(3): 229-237.
- [15] Li, LP., Wu, ZG., Li, ZY., He, YL., and Tao, WQ. 2008. Numerical thermal optimization of the configuration of multi- holed clay bricks used for constructing building walls by the finite volume method. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 51: 3669-3682.
- [16] Nair, DG., Jagadish, KS. and Fraaiji, A. 2006. Reactive pozzolanas from rice husk ash: an alternative to cement for rural housing. *Cement and Concrete Research*, 36(6): 1062-1071.
- [17] Okunade, EA. 2008. The effect of wood ash and sawdust admixture on the engineering properties of a burnt laterite-clay brick. *Journal of Applied Science*, 8(6): 1042-1048.
- [18] Oluleke, O., Jacob, J. and Henry, N. 2012. Finite element modeling of low heat conducting building bricks. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11: 800-806.
- [19] Oyekan, GL. and Kamiyo, OM. 2011. A study on the engineering properties of sandcrete blocks produced with rice husk ash blended cement. *Journal of Engineering and Technology Research*, 3:88-98.
- [20] Rodriguez de Sensale, G., Ribeiro, AB. and Goncalves A. 2008. Effects of RHA on autogenous shrinkage of portland cement pastes. *Cement and Concrete Composite*, 30(10): 892-897.
- [21] Shibib, KS., Qatta, HI. and Hamza MS. 2013. Enhancement in thermal and mechanical properties of bricks. *Journal of Thermal Science*, 17(4): 1119-1123.
- [22] Tang, DL., Li, LP., Song, CF., Tao, WQ. and He, YL. 2015. Numerical thermal analysis of applying insulation material to holes in hollow brick walls by the finite volume method. *Numerical Heat Transfer: Part A*, 68 (5): 526-547.
- [23] Turgut, P. and Yesilata, B. 2008. Physio-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks. *Energy and Buildings*, 40(5): 679-688