

烧结保温砖的成孔剂研究进展

徐海涛¹ 张长森² 吴其胜² 荀和生³ 成金高⁴ 张少明¹

(1南京工业大学, 江苏 南京 223001; 2盐城工学院, 江苏 盐城 224051;

3江苏省墙体改革办公室, 江苏 南京 210008; 4盐城市建筑节能与墙体改革办公室, 江苏 盐城 224001)

摘要: 制备烧结砖时, 在砖坯中添加成孔剂, 使烧结后在砖体内留下孔隙, 降低砖体的密度, 从而降低砖体的导热系数, 达到保温的效果。为此分析了不同成孔剂以及成孔剂颗粒大小、掺入量等对烧结砖的密度、抗压强度、吸水性、导热系数等性能的影响, 以及烧结保温砖的存在问题及研究方向。

关键词: 成孔剂; 导热系数; 抗压强度; 吸水性

中图分类号: TU522.04 文献标识码: A 文章编号: 1001-6945(2008)04-0017-04

Research on pore-former for insulating fired brick

XU Hai-tao ZHANG Chang-shen WU Qi-sheng XUN He-sheng CHENG Qin-gao ZHANG Shao-ming

Abstract: This paper introduces some pore-formers, and describes the influence of their particles sizes and the additives amounts, etc on the properties of brick, such as the density, compressive strength, water absorption, thermal conductivity, and so on. In the end, analyzes the existing problems of insulating fired bricks and research trends.

Key Words: pore-former; thermal conductivity; compressive strength; water absorption

1 前言

随着世界能源的紧缺以及环境保护的日益重视, 节能与废物利用成为未来发展的主导, 开发新型的保温墙体材料, 完全符合这一发展趋势。传统的实心粘土砖由于质重、大量消耗资源、保温性差, 将逐步被新型的墙体保温材料所取代。新型保温砖具有质轻、导热系数低, 有效降低能耗, 充分利用工业和农业的废弃物, 降低运输成本等优点, 完全符合可持续发展的战略目标。

烧结保温砖机理是在砖坯中加入成孔剂, 通过烧结使砖体内产生大量孔隙(包括开孔和闭孔), 由于气体导热系数很低, 仅为固体材料的十分之一, 当气孔率很高的烧结轻质砖内充满气体时, 可以有效地降低其导热系数, 使烧结砖具有良好的保温性能。增加砖体内的孔隙途径有: 一是通过在粘土质原料中添加易燃物质, 在烧结过程中, 由于燃烧后留下的空隙, 增强保温砖的绝热性能; 二是通过添加多孔材料, 利用材料本身的多孔性微观结构, 制备烧结保温砖。

2 成孔剂的类型及评价

2.1 成孔剂的类型

目前, 成孔剂的种类繁多, 如何选择适当的成孔剂成为研究的重点。常用的烧结保温砖的成孔剂主要分两大类: 一是有机类成孔剂, 常用的有机成孔材料有锯屑、聚苯乙烯、秸秆、纸浆、煤和焦炭等。二是无机类成孔剂, 常用的无机成孔材料有珍珠岩、硅藻土、方解石、浮石和蛭石等。一般有机成孔材料比无机成孔材料便宜, 并且在焙烧过程中完全释放出热量, 起到内燃料的作用, 可以节约能源。但是, 有机物的燃烧过程中, 会大量释放出 CO_2 , 污染环境, 这也是有机物作为成孔材料的主要缺陷。而无机物作为成孔材料会大大降低粘土的塑性, 导致成型水量的增加, 从而降低湿坯的强度, 给干燥过程带来困难, 并且增加了干燥过程的能耗。

2.2 成孔剂的评价标准

烧结保温砖的成孔剂的评价标准有三点: 成孔剂对孔结构的影响, 在烧结砖中使用不同的成孔剂, 其所形

成的孔的种类、形状、大小以及孔的排布不同。对砖的强度的影响,由于成孔剂的加入,在砖体内产生空隙,降低了砖的密度,同时强度下降。所以成孔剂的种类以及掺入成孔剂的量要严格控制。砖体的导热性,成孔剂的选择要考虑获得较小的导热系数,保温性能好。

2.3 孔结构对保温性能的影响

加入成孔剂以后,所形成的孔对保温砖的性能影响主要有以下几个方面:孔一般可以分为:开口和封闭两种,开口孔能改善砖的绝热性能,并有一定吸声效果,而封闭的孔由于与外界缺少热量交换,更能改善砖的绝热性能,降低砖的吸水性。孔隙率,孔隙率越高,砖的密度越低,导热系数越低。但是砖的密度也不能过小,随着砖的密度越来越小,砖体内的孔隙出现互相连通,增大了对流换热的强度,导致材料导热系数反而增加。孔的尺寸,一般保温砖内的孔呈微米级,当孔隙率不变时,随着孔径尺寸变小,砖的保温性能越好。这是由于气孔尺寸变小,降低了空气的对流幅度,使对流传热的效率降低,而且气孔数量增多,导致内部气孔壁表面积增加,增加了固体反射面,使辐射传热的效率降低。

3 有机成孔剂

3.1 塑料类

废旧聚苯乙烯。废旧聚苯乙烯作为成孔剂的一种,在国外已经被广泛应用。由于聚苯乙烯的颗粒在高温热解过程中不留下任何残渣,释放出 CO_2 和水蒸气,在砖体内留下孔隙,改善了砖的绝热性能^[1]。Sohrab Veisheh and Ali A. Yousefi^[2]等人对聚苯乙烯作为成孔剂进行了深入的研究,掺泡沫聚苯乙烯的保温砖见图1,将原料经过发泡预处理,通过对原料的颗粒大小,掺入成孔剂的量以及烧结温度的对砖体的密度、吸水性、抗压强度等影响的研究,发现随着成孔剂的增加,抗压强度和密度下降,吸水性下降。掺入1.5%(wt%)聚苯乙烯砖体,其导热系数为 $0.24 \text{ W/m}\cdot\text{K}$,只有普通砖的 $1/4$,可以满足建筑节能的需求。通过研究发现,聚苯乙烯掺入量为2%时,仍能满足承重墙体材料的要求(见图2)。德国以粘土和塑料为原料,生产轻质保温砖。通过在粘土中掺入6%~20%破碎成颗粒的废旧塑料,通过压制成型后焙烧,塑料在焙烧过程中化成灰,在砖体内留下大量的孔隙,其保温性能比普通砖高一倍^[3]。

3.2 可燃农业废弃物类

目前,农业废弃物主要用作动物的饲料,肥料和燃料等,很少用于建筑材料的生产中。随着传统建筑材料的大量消耗,有必要开展寻找替代材料的研究。常用成孔剂农业废弃物有粉碎的稻草、秸秆、稻壳等。经过

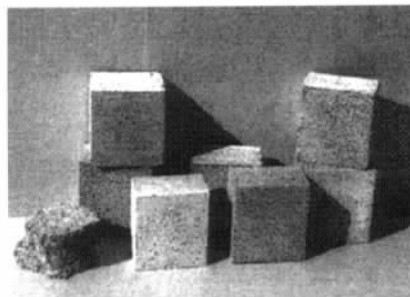


图1 掺泡沫的保温砖

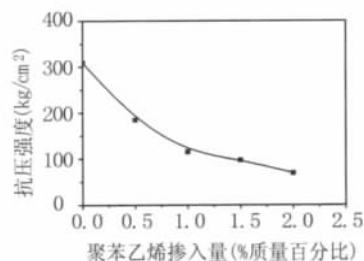


图2 抗压强度随聚苯乙烯掺入量的变化

粉碎的农业废弃物在原材料中起着纤维性的填充料和加强材料结构的作用,有利于坯体强度的提高,加快湿坯的干燥过程,而在焙烧期间又是一种燃料,可以节约能源。通常农业废弃物要粉碎到3 mm以下才能使用。这类材料的挥发分很大,灰分很小,能在砖体内留下孔隙,是一种很好的气孔形成剂。一般认为^[4],掺入有机成孔剂以后,由于纤维素吸收水分,导致需要加入更多的水来保持塑性。有机物废渣加入粘土后,能够比较均匀的分布在砖坯中,在混合和挤出成型的过程中都不存在问题。干燥过程是生产烧结砖过程中的重要一步,任何细小的裂缝在烧结过程中都会变大。有机物废渣的增加导致干燥收缩率的增加,干燥收缩率变大主要是由于有机物的加入,导致原料的塑性降低,需要加入的成型水分量变大。虽然随着有机物的添加导致所需水的增加,但有机纤维本身孔洞性和吸收性在一定程度上还是对收缩起到了缓冲的作用。还有随着有机物的加入量的增加,烧结保温砖的吸水率会增大,影响的砖的耐久性能^[5]。所以,必须严格控制有机物的加入量,保证烧结砖的机械性能。

3.3 含有机物的工业、生活废渣

这类成孔剂包括:污水处理厂污泥、下水道淤泥、造纸工业的废泥、纺织工业的废料、制革工业废料等。但这类废料作为成孔剂必须经过严格的实验以及烧结过程和产品的污染物检测,以确定是否可行。因为这类材料含有重金属如Pb、Zn、Cr、Cu等;此外,有的废料在焙烧过程中释放出大量有害气体。这类工业废弃物掺入,不但可以节约能源,而且保护环境。皮革工业中的废渣含有重金属Cr,如果不加以处理会危害环境。B.OBITLISLI and E.

KARACAKI⁶利用制革工业中的固体废弃物经过粉碎后掺入到粘土中。研究了掺入重量为 1%、3%、5%和 10%的固体废弃物,随着掺入量的增加,砖的密度、导热系数和抗压强度下降明显。通过实验,确定最佳的固体掺入量为 5%。Demir⁷等人研究了利用造纸工业的残渣掺入到粘土中制砖。首先将纸浆废渣溶解于水中,然后加入粘土中,掺入废渣量分别为 0%(A)、2.5%(B)、5%(C)、10%(D),在 900 °C 高温下进行焙烧,通过对烧结制品机械性能的测定(如表 1),随着废渣掺量的增加,烧结砖的表观气孔率和吸水率增加,而密度和抗压强度下降。这是由于随着废渣的增加,砖坯内有机物的含量增加,经过高温焙烧以后,有机物转化为 CO₂ 和水蒸气,只留下少量的灰分,在砖体内留下孔隙所致。根据土耳其的国家标准以及掺量对性能的影响,确定适宜掺入量为 2.5%~5%,研究发现,掺入造纸废渣以后,由于长纤维的吸水能力,加大了砖坯成型的含水量。另外,随着有机废渣的加入,增强了砖坯的抗弯强度和干燥强度,使之不容易开裂,提高产品质量。经观察发现硫酸盐浆的残渣在砖坯内分布均匀,是一种非常有效的成孔剂,并且砖的机械性能达到使用标准。

表 1 掺入废渣后砖的机械性能

机械性能	样品			
	A	B	C	D
表观气孔率/%	30	35	41	52
容重/g/cm ³	1.82	1.49	1.43	1.40
表观密度/g/cm ³	2.42	1.96	1.85	1.80
吸水率/%	14.46	23.47	28.66	37.14
抗压强度/kg/cm ²	155	128	112	95

4 无机成孔剂

4.1 矿物类成孔剂

矿物类成孔剂主要有珍珠岩、蛭石、硅藻土、浮石等。珍珠岩是一种酸性火山玻璃岩,主要有玻璃质组成。蛭石是一种层状结构的含镁的水铝硅酸盐次生变质矿物,原矿外似云母,通常由黑(金)云母经热液蚀变作用或风化而成,因其受热失水膨胀时呈挠曲状,形态酷似水蛭,故称蛭石。珍珠岩和蛭石经破碎、筛分、预热焙烧后,体积迅速膨胀,成为多孔粒状物料,比重低,具有很强的保温隔热功能,被广泛运用于保温墙体材料。Ilker Bekir Topcu 和 Burak Isikdag⁸将珍珠岩掺入到粘土中,制备轻质保温砖。珍珠岩在高温下急速膨胀,内部产生大量孔隙,可以大大降低导热系数。通过对不同掺量的珍珠岩保温砖的容重、烧结收缩率、抗压强度和导热系数的比较,确定最佳掺入量为 24%~30%,当掺

入量为 30%时,烧结砖的导热系数为 0.21 W/(m·K),远远小于普通砖的导热系数 0.46 W/(m·K),有很好的隔热保温效果。田红龙⁹等人利用珍珠岩尾矿烧结保温砖,粘土/尾矿砂为 1.25~1.5:1 为了使配合料的粒度组成粗化,降低干燥收缩率,减少干燥开裂,同时降低能耗,在配料中添加了粒度不超过 3 mm 的以煤矸石为主的添加剂,添加比例为 5%~8%(质量比)。在 900~1000 °C 范围内烧结,对产品的各项性能进行测定,烧结砖强度高、质轻、导热系数在 0.4 W/(m·K) 左右,有较好的绝热保温性能。硅藻土属非金属黏土矿物,其主要化学成分为非晶体二氧化硅(或称无定形二氧化硅),伴有少量蒙脱石、高岭石、石英等黏土杂质和有机质。在显微镜下观察,硅藻土呈现形态迥异的各种藻体形状,单个藻体大小从几微米到几十微米不等,藻体内外表面分布着众多纳米级微孔,这是硅藻土区别于其他非金属黏土矿物的基本物理特性。硅藻土具有显微多孔结构特征,具有堆密度小、比表面积大、吸附性能强、分散悬浮性能好、物化性能稳定、相对不可压缩性、隔音、消光、隔热、绝缘、无毒无味等优异的性能,可以作为保温材料。以硅藻土为主要原料添加一些可燃材料,经混合、成型、烧结等制成的产品。其孔隙率为 50%~80%,导热系数为 0.06 W/(m·K)~0.10 W/(m·K),因此具有很好的保温隔热性能,最高使用温度可达 900 °C。表 2 列出了常用于保温材料的几种矿物的性能。

表 2 常用于保温材料的几种矿物的性能

矿物类成孔剂	膨胀珍珠岩	膨胀蛭石	硅藻土	浮石
导热系数/W/m·K	0.0245~0.048	0.047~0.07	0.029~0.035	0.23~0.46
吸水率/%	360~480	220~350	150~400	50~60
密度/kg/m ³	70~250	80~200	300~800	300~400
孔隙率/%	-	-	80~90	71.8~81

4.2 泡沫玻璃

泡沫玻璃保温砖集保温、隔热、保冷、吸声等功能于一身,密度小,吸水率低,导热系数小,强度高等优点,得到了专家们的高度重视,并获得了社会的承认。由废玻璃粉和发泡剂等经配料、成型烧制而成,气孔率达 80%~95%,气孔直径为 0.1 mm~5 mm,且大量为封闭而独立的小气泡。其表现密度为 130 kg/m³~300 kg/m³,导热系数为 0.052 W/(m·K)~0.07 W/(m·K),抗压强度为 0.8 MPa~15 MPa。邓家平等¹⁰人研制的建筑用泡沫玻璃保温砖的原料由玻璃质材料和助熔剂、发泡剂、稳泡剂组成。废玻璃与珍珠岩尾矿的比例以 1:(1~2)为宜,助熔剂的适宜用量为 5%~9%(整体材料百分比),发泡剂的量为 0.5%~2%,稳泡剂的用量在 1%~3%范围内

表3 泡沫玻璃保温砖技术性能

项目	测试条件	珍珠岩泡沫玻璃		浮石泡沫玻璃		优质泡沫玻璃	
		检验结果	标准指标	检验结果	标准指标	检验结果	标准指标
密度/kg/m ³	GB11970-89	215	250	266	300	180	190
导热系数/W/(m·K)	GB10294-88	0.058	0.075	0.068	0.075	0.05	0.064
抗压强度/MPa	GB5486.2-85	2.4	1.5	3.5	1.8	1.6	0.5
抗折强度/MPa	GB175-85	1.5	1.0	1.7	1.0	1.0	0.7

效果比较好。通过先进的生产工艺,制备出的优质保温砖的导热系数为 0.05 W/(m·K)~0.07 W/(m·K) (见表3),目前,在我国的长春地区已经投入了实际生产,且经济效益可观。Betzische,H.^[11]研究将泡沫玻璃颗粒作为成孔剂加入到粘土中,烧制保温砖。由于玻璃的加入,和粘土形成新的增加强度的相。因此,有可能减弱抗压强度随着多孔性增加而减小的趋势。

4.3 可燃性矿物类废渣成孔剂

这类物质包括有煤渣、煤粉、焦炭、煤矸石、粉煤灰等。这类材料作为成孔剂,效果不是很理想,主要原因就是这类材料在焙烧期间能量的大量释放,对工艺控制有一定影响,另外燃烧后灰分较多,不利于气孔的形成,保温性差。目前,国内利用粉煤灰掺入制砖原料中,烧结砖的保温性能比较差。在这方面,南通地区开发利用70%~75%的淤泥和25%~30%的粉煤灰生产淤泥烧结砖^[12]。烧结粉煤灰砖容重为1300 kg/m³~1400 kg/m³,每块砖平均重为2 kg,比普通砖轻0.5kg,导热系数为0.460 W/(m·K),大大低于普通砖,有质轻、保温的特点。

5 存在问题与研究方向

随着成孔剂的加入,为了达到成型所要求的塑性,必须提高砖坯的成型含水率。由于成孔剂的加入,在砖坯中起到骨料的作用,降低砖坯的致密度,加快干燥过程,降低能耗,并且砖坯不易开裂。经过烧结以后,在砖体内产生孔隙,从而降低砖体密度,导热系数也随之降低,起到保温的效果。

成孔剂在实际应用中存在的主要问题有:成孔剂的合理用量,因成孔剂的加入,导致砖体的密度降低,同时抗压强度也随着降低,吸水率提高,导致砖体的质量下降;成孔剂所含的热量必须考虑到焙烧过程所需热量的总和;成孔剂在焙烧过程中排放的有害气体的控制;成孔剂中重金属含量及产品放射性强度的控制。

目前,研究方向有以下几个:不断开发新型的成孔剂,达到节能利废的目的。由于成孔剂的加入,对烧制品的抗压强度有明显的影。目前的研究重点就是如何在加入的成孔剂以后,减小砖体的抗压强度

变化。由于成孔剂的加入,导致吸水性增强,对产品的耐久性能产生影响,如何提高产品的质量,也是当前的研究重点。

参考文献:

- [1] Junge, K., Additives in the brick and tile industry [J]. Ziegelindustrie International 2007(12).
- [2] Sohrab Veischi, Ali A. Yousefi, The Use of Polystyrene in Lightweight Brick Production [J]. Iranian Polymer Journal, 2003,12(4).
- [3] 静斋,轻质保温砖[J],建材工业信息,1999(01).
- [4] Ismail Demir. An investigation on the production of construction brick with processed waste tea [J]. Building and Environment, 2006, 41(9).
- [5] Ismail Demir, Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks[J].Waste Management, 2008, 28(3).
- [6] B. O. BITLISLI, E. Karacaki, Utilization of leather industry solid wastes in the production of porous clay brick [J].Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists, 2006, 19(1).
- [7] Ismail Demir, M.Serhat Baspinar, Mehmet Orhan, Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production[J]. Building and Environment, 2005(40).
- [8] Ilker Bekir Topcu, Burak Isikdag, Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite[J], Building and Environment, 2007, 42(10).
- [9] 田红龙,丛树民,戴睿.珍珠岩尾矿烧制砖的实验研究[J],房材与应用,1999(06).
- [10] 邓家平,唐晓宇.建筑用泡沫玻璃保温砖的生产及应用[J],新型建筑材料,1995(04).
- [11] Betzische,H. Pore-forming in brickmaking clay by means of expanded glass granules [J], Ziegelindustrie International,2000(5).
- [12] 朱锡华.利用长江淤泥制砖[J],砖瓦,2000(06).

收稿日期:2008-03-05