

隔热耐火砖的节能选材与能源优化

朱卫国, 王国强, 施利新, 严海龙, 姚惠杰*

浙江长兴绿色动力能源科技有限公司 浙江湖州

【摘要】从生产陶瓷到金属热处理, 隔热耐火砖均是窑炉工程师解决各类高温问题的关键所在。现如今, 全球各地能源高度开发和利用使得能源消耗过于严重, 因此提高能源的使用效率尤为重要, 因此在进行隔热耐火砖时采用合理的手段降低能量损失十分关键。基于此, 本文首先叙述了隔热耐火砖的生产工艺以及选择方式, 其次进行了隔热耐火砖节能选材与能源优化实验, 最后阐述了隔热耐火砖选择的其他影响因素。

【关键词】隔热耐火砖; 节能选材; 能源优化

【收稿日期】2023 年 1 月 25 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.ijms.20230005

Energy saving material selection and energy optimization of thermal insulation firebrick

Weiguo Zhu, Guoqiang Wang, Lixin Shi, Hailong Yan, Huijie Yao*

Zhejiang Changxing Green Power Energy Technology Co., LTD. Huzhou, Zhejiang

【Abstract】 From the production of ceramics to metal heat treatment, thermal insulation refractory brick is the key to solve all kinds of high temperature problems. Today, energy consumption is so high due to the high development and utilization of energy around the world that it is particularly important to improve the efficiency of energy use, therefore, it is very important to use reasonable means to reduce the energy loss of insulating refractory bricks. Based on this, this paper first describes the production process and selection method of heat-insulating refractory brick, and then carries out energy-saving material selection and energy optimization experiment of heat-insulating refractory brick, finally, the other influencing factors on the selection of heat-insulating refractory bricks are discussed.

【Keywords】 Heat-insulating firebrick; Energy saving material selection; Energy optimization

前言

隔热耐火砖的生产方式有很多种, 例如: 浇注、投射、挤压、发泡、压制等, 不同方式所生产出的隔热耐火砖其导热性能和微观结构也有所不同, 本文通过实验室手段测量在隔热耐火砖烧制过程中的能量损失, 以探究出更好的节能选材和能源优化方式。

1 隔热耐火砖概述

1.1 隔热砖生产工艺

现如今, 大多数隔热砖在生产过程中所使用的方式为挤压成型以及烧成工艺, 这两种生产工艺会使隔热耐火砖出现大量气孔, 进而保证其密度以及导热性。使用烧成工艺, 能够对隔热耐火砖气孔大

小进行严格的控制, 使其导热性能可以得到有效保证。对于隔热耐火砖材料上的选择, 其中最好的为硬木锯末, 其在遇水后不会膨胀系数相对较少, 能够对气孔的尺寸更好的掌握, 但是硬木锯末比较稀少, 这也使该材料的应用成本有所提升。

当黏土和可燃材料混合时, 当这种可燃材料为锯末材质时, 其能够在结构中吸收大量水分, 随后锯末会在黏土和水中膨胀, 整个过程大约在 7 天-30 天之间。再将这些原材料混合在一起后利用压缩的方式使其成为砖状。此时砖中还含有大量的水分, 因此还需进行很长一段时间的空气干燥^[1]。在干燥完成后, 会将砖放入干燥窑, 窑内温度通常为 100℃。已经成型的砖需放入到窑车内, 在这个过程中需要

*通讯作者: 姚惠杰

注意在每块砖的附近留出充足的缝隙, 以保证空气能很好的流通以及锯末在氧气中可以燃烧。此外, 还需要严格控制加热时长, 防止出现温度变化过大或者是锯末没有充分燃烧的情况。构件上不可以有碳痕迹。

在干燥以及烧成结束后, 隔热耐火砖的体积会变成原来的大小的 70%左右。砖坯需要利用机械加工的方式使其成为六面体形状, 此时需对砖的形状进行精准把控。此外, 隔热耐火砖在真正成型时其气孔形状也会发生变化。人们主观上会认为这些气孔的形状为圆形孔, 但实际情况并非如此。在大部分情况下, 在对隔热耐火砖导热率是通过标准砖 (2.3cm×1.4cm×0.76cm) 中 1.4cm 这一侧进行检测的, 假如使用 0.76cm 一侧进行检测, 其导热率会增加 20%-22%左右, 主要原因是气孔形状出现了变化^[2]。

当前, 用诸如氢氧化铝或氢氧化钠等化学药剂的发泡法也可以形成砖块孔隙, 将其加入到黏土原料中, 使其具有保温作用, 所以采用这种工艺, 将黏土料倒入发泡模具中, 模具可以是砖状或较大的板型。隔热耐火砖成形之后, 取出来烘干, 烧成, 然后用机器加工或者切割成不同的形状。该工艺具有以下特点: 高产; 没有塑性指标的限制, 可以制造出最小密度的隔热耐火砖。其不足之处在于: 难以对孔径及孔隙的分配进行有效调控。同时, 因其密度低, 其抗剥离性能也相应下降。若可以利用发泡工艺, 运用物理工艺制备泡沫, 则可以获得更好的成品, 但其孔径及分布的控制将更加困难。

1.2 正确选择隔热砖

可以将隔热耐火砖分为以下三种类型, 第一种和第二种砖含铝量相差 2%, 密度一样, 第一种砖导热性能相对较差, 其 PLC 为+0.98%, 第三种砖含有较多的氧化铝成分, 较少的铁成分, 其密度较小。在增加添加剂后, 隔热耐火砖内的气孔会越发密集, 在高温的作用下就会构成大量的液相, 进而使得导热性能持续降低。假如第一种隔热耐火砖在圆拱或支撑结构中应用, 就会由于压力过大的原因导致其就会出现蠕变, 其更加适用于低于 1300℃的隔热砖^[3]。判断隔热耐火砖具体适用于何种建筑、结构, 还需对其性能以及各项参数进行深入分析。

1.3 隔热耐火砖导热系数

使用不同方式建造出的隔热耐火砖其结构以及化学成分均有所不同, 进而其性能也完全不同。隔热耐火砖最关键的作用就是其具有良好的隔热能力, 在某种情况下其密度也可以作为评估隔热耐火砖能力的一项指标, 但是运用不恰当反而会出现误导性作用。

在对各种隔热耐火砖的导热性能进行分析可知, 隔热耐火砖的导热性能与其密度无明显关系。例如, 具有最大密度产品 (投射) 的热传导率处于中间, 而在所述的这一种中, 具有最大热传导率的隔热耐火砖 (胶结) 事实上是密度最小的。所以, 要尽量提高隔热耐火砖的绝热性能, 就不应该以密度指数来确定其产品种类。已出版的导热性能资料在可靠性和精确性上存在差异, 甚至有的还没有给出具体的计量标准, 以致于消费者在进行对比与选购时, 往往会被这些数据所迷惑。

2 隔热耐火砖节能选材与能源优化实验

2.1 实验过程

现选择同一家供货商制造的两台电加热马弗炉, 二者的外观、容量以及额定功率完全一致。其中, 一台采用浇注耐火砖进行砌筑, 而另一台则采用胶结耐火砖。选择这两种方式的主要原因在于其导热性能测量值相距较大, 且分别是四种方式中导热系数的最高值和最低值。两台电加热马弗炉中均在安装了功率表, 用于测量加热测试期间的能源用量^[4]。实验分两次进行: 第一次以 3℃/分钟的速度将炉内温度持续加热到 800℃后保温 15 小时, 随后自然冷却。第二次以 3℃/分钟的速度将炉内温度持续加热到 1000℃后保温 15 小时, 随后自然冷却。

2.2 实验结果

利用红外照相机在测试期间监测马弗炉, 可以测出其表面温度。通过本次实验可以看出, 有大量热能通过导热系数较高的隔热耐火砖所砌筑的炉体而损失掉, 使炉体表面温度升得很高。这种情况不仅增加了能源成本, 还使工作环境变得危险, 可能造成卫生和安全问题。

根据本次加热结果可以发现在不同类型隔热耐火砖砌筑的炉窑, 所需要的热量会有很大差异。在实验中, 当温度达到 1000℃时, 与胶结隔热耐火砖相比, 浇注隔热耐火砖的能耗降低 37%。这种能量使用上的差异是因为它们导热系数差异引起的, 是

因为生产过程其微观构造和空隙程度导致的, 在本研究所中所采用的浇注和胶结隔热耐火砖在电子显微镜下的微观组织。结果显示: 浇注隔热耐火砖的显微组织要优于胶结砖。胶结隔热耐火砖的构造中存在着许多大小为 $700\mu\text{m}$ - $1300\mu\text{m}$ 的空隙。这种大的空隙是因为在使用混凝土的浇注时添加了易燃物, 在可燃材料燃烧时被烧掉而产生的。通常情况下, 生产企业采用约 1mm 直径的聚合物膨胀球 EPS, 以便在烧制中形成更多的空隙。这种方法可以减少密度, 降低耐火砖的重量, 但是不利于隔热耐火砖发挥其的保温隔热效果。

浇注和胶结隔热耐火砖的空隙大小相近, 均为 $50\mu\text{m}$ 左右, 均为中度范畴。这主要也是因为使用了燃烧助剂而引起的。然而, 在浇注隔热耐火砖中, 直径不超过 $10\mu\text{m}$ 的空隙占很大比重。通过对水银孔隙度的测定, 发现在浇注隔热耐火砖过程中会出现许多较小的空隙。由于孔隙极为细小, 再配以不存在大尺寸孔径, 所以其导热性能比胶结隔热耐火砖低。隔热耐火砖一般在 1000°C 或更高时使用, 主要是由于与其它绝热物质相比较, 隔热耐火砖在这种环境下的性价比最高。其构造特征还表明在高温条件下具有良好的耐磨损性能和耐化学性, 可以抵抗某些特殊的气体。当工作温度高于 HKKTC 时, 最关键的传热机理变为了辐射, 不再依赖于低温时的传热和对流换热。在红外线波长的辐射下, 胶结隔热耐火砖中大直径的空隙不利于能量传递^[5]。结果表明, 该隔热耐火砖比浇注耐火砖具有更好的导热性能。相比之下, 浇注隔热耐火砖由于其空隙度极小, 可以很好地阻隔红外光波的传递, 因此其导热性能很低。这也是为什么浇注隔热耐火砖的显微组织优于胶结耐火砖的原因。

根据实验室测试结果可以看出, 在炉衬中应用适合的隔热耐火砖能够在最大程度上减少能源使用量。为能够对实际操作中的工业炉窑有更深层次的了解, 现针对和本次实验相同的浇注和胶结隔热耐火砖进行传热计算, 这样可以有效计算出陶瓷器具供应商使用辊道窑的成本。按照市面上 26 系列隔热耐火砖的数据构建了窑衬结构热面模型 (第一层), 随后按照市面上生物可溶性纤维板数据构建了加固隔热板模型 (第三层)。然而为可以更准确计算出窑衬结构中使用不同种类的隔热耐火砖所消耗的能

量, 可以将第二层看做成测试层, 使用不同种类的隔热耐火砖数据。在进行传热计算过程中可以看出为使窑内温度始终维持在 1200°C , 第二层应用浇注隔热耐火砖的窑衬结构需要比使用胶结隔热耐火砖的窑衬结构少消耗 152 瓦 / 平方米的能量。因此如果加热面积在 150 平方米的情况下, 二者能量消耗则相差 22.8 千瓦。也就是说应用浇注隔热耐火砖每年可以节省 230000 千瓦时能量。假如天然气的售价为 4 元 / 立方米, 则应用浇注隔热耐火砖每年可以减少支出 92000 人民币, 根据相关经验可知窑衬使用寿命通常在 10 年左右, 按照 10 年时间计算总成本支出可以节省 920000 左右。 150 平方米的辊道窑一般需要 8300 块标准尺寸的隔热耐火砖^[6]。尽管在够买时浇注隔热耐火砖的单价更高, 但是其购买支出差价 6 个月左右就能够收回。在使用半年时间后, 其余 9.5 年的使用寿命期间均可以因能源消耗减少而使得成本更低。

3 隔热耐火砖选择的其他影响因素

除节约能源以外, 采用导热性能较小的隔热耐火砖其还能有效降低二氧化碳排放量。采用浇注隔热耐火砖代替胶结隔热耐火砖, 可以减少因窑炉操作带来的环保问题。在此研究中, 辊道窑采用浇注隔热耐火砖, 一年节约 23000 千瓦左右, 而采用天然气作为能源, 则一年可以节约 22000 立方米的燃气。因为每立方米 37.8 焦耳, 这就意味着一年可以节约 83000 焦耳。 1 立方米的天然气会释放 1 立方米的二氧化碳, 所以一年可以降低 220000 立方米的二氧化碳。 1 立方米的二氧化碳重量 1.96kg , 相当于减少了 43 吨二氧化碳的排放, 而窑衬的整个使用寿命期间则可减排 430 吨。由于炉窑外表温度较低, 因此采用导热性能低的浇注隔热耐火砖与胶结隔热耐火砖相比, 具有更大的优越性。

通过对本次研究的计算, 第二层在采用浇注隔热耐火砖的情况下窑身的表面温度可达到 79°C , 而在采用胶结隔热耐火砖的情况下, 窑身的表面温度则为 88°C 。与采用高导热性能的胶结隔热耐火砖相比, 采用浇注隔热耐火砖的窑身表面温度较低, 可以减少工人在高温工作的不适感, 同时避免工人在高温下碰到窑壁时被灼伤的风险^[7]。选用不同隔热耐火砖也会对其它应用于炉窑的产品产生一定影响。选用浇注耐火砖而不是胶结耐火砖更有利于提

高炉窑受热和降温速率,这是由于低密度的浇注耐火砖具有更低的热容量。根据本次实验结果可以看出在 800℃和 1000℃加热测试中,浇注耐火砖都比胶结砖更快达到设定的温度水平。

4 结束语

综上所述,首先,在相同的控制条件下,不同的制造方法所建造的隔热耐火砖之间的能源差值有所不同,在为炉衬选择隔热耐材产品时,应当重点关注隔热耐火砖产品的导热系数报告指标。其次,在对隔热耐火砖的性能进行衡量时,不能将密度看作为隔热性能的衡量标准,避免出现选择不当的情况。最后,使用浇注方式生产出的隔热耐火砖是现如今在使用温度下导热性能最低的类型其节能效果显著。

参考文献

- [1] 赵海山.低导热耐火砖及纳米隔热材料在水泥生产中的应用[J].水泥技术,2022(005):000-001.
- [2] 李艳,葛国锋,毛恩亮.一种纳米介孔隔热材料与耐火砖复

合的窑衬结构[J].水泥,2020(9):3-4.

- [3] 占华生,聂连山,李佳东,等.回转窑危废焚烧炉耐火材料的应用现状及设计选材优化[J].耐火材料,2021,055(002):151-154.
- [4] 刘登山,王奎,喻玉玺.硅质隔热耐火砖制作工艺及质量控制程序和方法[J].工业炉,2022(002):044-045.
- [5] 宋成辉洪志全.关于现代建筑节能保温设计及施工选材探寻[J].中国房地产业,2020,000(008):147-148.
- [6] 任以立,任燕明,张清,等.隔热耐火砖的节能选材与能源优化[C]//新常态下耐火材料行业技术与发展研讨会.2020(1):1-2.
- [7] 杨建华.麦尔兹窑内衬选材和修补方法的优化与改进[J].耐火与石灰,2022(003):047-048.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS