

# 煤气化渣资源化利用制砖技术与性能优化

张林林 刘衢州 蒯伟

国家煤化工产品质量监督检验中心(安徽)淮南市产品质量监督检验所

DOI:10.32629/etd.v6i7.18225

**[摘要]** 为实现工业固废减量化、资源化利用目标,以安徽省淮南市某煤化工企业煤气化渣为主要原料,系统研究煤气化渣掺量、成型压力、烧结温度等关键参数对制砖性能的影响,并优化其工艺条件。结果表明:当煤气化渣掺量40%、粘土掺量50%、外加剂(粉煤灰)掺量10%,成型压力15MPa,烧结温度1050℃,保温时间2h时,制品性能最优,抗压强度达21.8MPa,吸水率8.5%,软化系数0.82,各项指标均满足GB/T 5101-2017《烧结普通砖》MU20级标准要求。煤气化渣中的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 与粘土活性成分发生反应,形成致密胶结结构,有助于提升制品力学性能和耐久性。该研究为淮南地区煤气化渣规模化资源化利用提供技术支撑,降低制砖行业对天然粘土的依赖,具有显著经济、环境和社会效益。

**[关键词]** 煤气化渣; 烧结砖; 资源化利用; 工艺优化; 性能测试

**中图分类号:** TH183.2 **文献标识码:** A

## Research and Performance Optimization of Brick Making Technology for Resource Utilization of Coal Gasification Slag

Linlin Zhang Quzhou Liu Wei Kuai

National Coal Chemical Product Quality Supervision and Inspection Center (Anhui) Huainan Product Quality Supervision and Inspection Institute

**[Abstract]** In order to achieve the goal of reducing industrial solid waste and utilizing resources, the gasification slag of a coal chemical enterprise in Huainan City, Anhui Province was used as the main raw material to systematically study the influence of key parameters such as gasification slag dosage, forming pressure, sintering temperature on brick making performance, and optimize process conditions. The results show that when the coal gasification slag content is 40%, the clay content is 50%, the admixture (fly ash) content is 10%, the forming pressure is 15MPa, the sintering temperature is 1050 °C, and the insulation time is 2h, the product performance is optimal, with a compressive strength of 21.8MPa, a water absorption rate of 8.5%, and a softening coefficient of 0.82. All indicators meet the requirements of the MU20 standard of GB/T 5101-2017 "Sintered Ordinary Bricks".  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in coal gasification slag react with clay active components to form a dense bonding structure, improving the mechanical properties and durability of the product. This study provides technical support for the large-scale resource utilization of gasification slag in Huainan area, reducing the dependence of the brick making industry on natural clay, and has significant economic, environmental, and social benefits.

**[Key words]** coal gasification slag; Sintered brick; Resource utilization; Process optimization; performance testing

### 引言

以淮南市中安联合煤化工有限责任公司煤气化渣为研究对象,旨在:明确煤气化渣物理化学特性,评估其作为制砖原料的可行性;系统研究原料配比、成型压力、烧结温度等关键参数对制砖性能的影响规律;优化煤气化渣制砖工艺条件,制备性能符合国家标准的烧结砖;为煤气化渣制砖工艺优化提供技术依据。

### 1 研究内容

煤气化渣原料特性分析:通过X射线荧光光谱(XRF)分析化学成分,结合激光粒度分析和塑性测试,评估作为制砖原料的适配性;原料配比优化试验:固定成型压力和烧结温度,研究煤气化渣掺量、粘土掺量、外加剂种类及掺量对制品抗压强度、吸水率等性能的影响;成型与烧结工艺优化试验:基于最佳原料配

比, 研究成型压力、烧结温度、保温时间对制品性能的影响; 制品性能综合评价: 测试最优工艺条件下制品的抗压强度、吸水率、软化系数等宏观性能, 验证是否符合国家标准要求。

## 2 试验原料

### 2.1 煤气化渣

试验所用煤气化渣取自安徽省中安联合煤化有限责任公司, 呈灰黑色粉末状, 含水率约12%。XRF分析显示, 其主要成分为 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 两者合计占比超80%, 符合制砖原料对硅铝质成分的要求; 同时含有少量 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 等氧化物,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 可作为助熔剂降低烧结温度,  $\text{CaO}$ 和 $\text{MgO}$ 有助于促进水化反应和烧结过程中晶体形成。激光粒度分析表明, 其D50为45  $\mu\text{m}$ , 比表面积为 $280\text{m}^2/\text{kg}$ , 颗粒较细, 有利于原料混合均匀和成型性能提升。

### 2.2 煤矸石

试验所用煤矸石取自淮南市某矿, 呈黑色, 主要成分是 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ , 还含有数量不等的 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SO}_3$ 和微量稀有元素(镓、钒、钛、钼)。其中铝、硅、铁氧化物, 约占总质量的60%以上。

### 2.3 外加剂

选用粉煤灰作为外加剂, 取自淮南市某电厂, 其化学成分中 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量合计超75%, 可与煤气化渣、粘土发生协同作用。粉煤灰比表面积为 $320\text{m}^2/\text{kg}$ , 颗粒呈球形, 可填充原料颗粒间隙, 提高制品致密度。

## 3 试验方法

### 3.1 原料预处理

将煤气化渣和煤矸石分别放入鼓风干燥箱,  $105^\circ\text{C}$ 下干燥24h去除游离水分, 冷却至室温备用; 将干燥后的粘土用颚式破碎机破碎, 过2mm标准筛去除杂质和大颗粒, 煤气化渣直接过2mm标准筛; 将筛分后的原料放入行星式球磨机, 以球料比5:1、转速300r/min研磨30min, 确保原料颗粒均匀细化。

### 3.2 配料与混合

按试验方案比例称取煤气化渣、煤矸石和外加剂, 放入搅拌机中干拌5min至混合均匀; 随后加入原料总质量18%~22%的蒸馏水, 湿拌10min使原料充分湿润, 形成均匀坯料。加水量根据原料塑性调整, 以坯料手握成团、落地即散为宜。

### 3.3 成型工艺

将混合均匀的坯料装入 $240\text{mm}\times 115\text{mm}\times 53\text{mm}$ 标准砖模具, 放入液压式压力试验机施压成型。成型压力分别设置为10MPa、12MPa、15MPa、18MPa、20MPa, 保压时间均为30s, 成型后缓慢卸压取出坯体, 放入干燥箱,  $60^\circ\text{C}$ 下干燥12h, 再升温至 $105^\circ\text{C}$ 干燥24h, 确保坯体含水率低于5%, 避免烧结过程中因水分蒸发导致开裂。

### 3.4 烧结工艺

将干燥后的坯体放入箱式电阻炉, 采用分段升温制度: 室温至 $500^\circ\text{C}$ , 升温速率 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ , 保温1h去除坯体中有机质和结晶水;  $500^\circ\text{C}$ 至烧结温度, 升温速率 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ , 保温2h; 随后自然冷却

至室温, 得到烧结砖制品。烧结温度分别设置为 $950^\circ\text{C}$ 、 $1000^\circ\text{C}$ 、 $1050^\circ\text{C}$ 、 $1100^\circ\text{C}$ 、 $1150^\circ\text{C}$ 。

### 3.5 试验设计

采用单因素试验和正交试验相结合的方法优化工艺参数。单因素试验分别研究煤气化渣掺量(20%、30%、40%、50%、60%)、成型压力(10MPa、12MPa、15MPa、18MPa、20MPa)、烧结温度( $950^\circ\text{C}$ 、 $1000^\circ\text{C}$ 、 $1050^\circ\text{C}$ 、 $1100^\circ\text{C}$ 、 $1150^\circ\text{C}$ )对制品性能的影响; 正交试验以煤气化渣掺量(A)、成型压力(B)、烧结温度(C)为影响因素, 每个因素设置3个水平, 以抗压强度、吸水率为评价指标, 优化工艺参数组合。

## 4 试验结果与分析

### 4.1 单因素试验结果与分析

#### 4.1.1 煤气化渣掺量对制品性能的影响

随着煤气化渣掺量增加, 制品抗压强度先升高后降低, 吸水率先降低后升高。当煤气化渣掺量为40%时, 抗压强度达到最大值20.3MPa, 吸水率降至最小值8.8%。

原因分析: 煤气化渣掺量较低( $\leq 40\%$ )时, 其颗粒填充在粘土颗粒间隙中, 使坯体结构更致密, 同时煤气化渣中活性 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 与粘土中高岭石分解产物发生反应, 生成高强度胶结相, 提升制品强度; 掺量超过40%时, 粘土含量相对不足, 坯体可塑性下降, 成型过程中易产生孔隙, 且烧结过程中活性成分反应不充分, 导致制品内部孔隙率增加, 抗压强度降低, 吸水率升高。此外, 煤气化渣中含少量未燃尽碳, 掺量过高会导致烧结过程中碳燃烧产生大量气体, 形成更多孔隙, 进一步影响制品性能。

#### 4.1.2 成型压力对制品性能的影响

随着成型压力增大, 制品抗压强度逐渐升高, 吸水率逐渐降低。成型压力从10MPa增加至15MPa时, 抗压强度从15.2MPa提升至20.3MPa, 吸水率从11.2%降至8.8%, 变化显著; 压力超过15MPa后, 抗压强度增长速率放缓, 吸水率下降趋势趋于平缓。

原因在于, 成型压力增大可使坯体颗粒紧密堆积, 减少内部孔隙, 提高致密度, 从而提升强度、降低吸水率; 但压力达到一定值后, 坯体颗粒间空隙已基本填充, 继续增大压力对致密度提升作用有限, 且过高压力可能导致坯体产生内应力, 干燥和烧结过程中易出现开裂现象, 反而影响制品性能。因此, 适宜成型压力为15MPa左右。

#### 4.1.3 烧结温度对制品性能的影响

烧结温度对制品性能影响显著。温度从 $950^\circ\text{C}$ 升高至 $1050^\circ\text{C}$ 时, 制品抗压强度从12.8MPa提升至20.3MPa, 吸水率从13.5%降至8.8%; 温度超过 $1050^\circ\text{C}$ 后, 抗压强度略有下降, 吸水率略有上升。

原因分析:  $950^\circ\text{C}$ ~ $1050^\circ\text{C}$ 范围内, 温度升高促进原料中活性成分扩散和反应, 生成更多高强度胶结相, 填充颗粒间隙, 使制品结构更致密; 同时,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等助熔剂熔化形成液相, 促进颗粒粘附, 提升强度。温度超过 $1050^\circ\text{C}$ 时, 液相量过多导致制品过烧, 出现变形、软化现象, 内部产生裂纹和大孔隙, 从而使强度降低、吸水率升高。因此, 适宜烧结温度为 $1050^\circ\text{C}$ 左右。

## 4.2 正交试验结果与分析

根据单因素试验结果,选取煤气化渣掺量(A)、成型压力(B)、烧结温度(C)为影响因素,进行 $L_9(3^3)$ 正交试验,结果如下表所示。

表1 正交试验结果

试验号	A(%)	B(MPa)	C(°C)	抗压强度(MPa)	吸水率(%)
1	30	12	1000	16.8	10.2
2	30	15	1050	19.5	9.1
3	30	18	1100	18.2	9.5
4	40	12	1050	19.8	8.9
5	40	15	1100	21.8	8.5
6	40	18	1000	18.5	9.8
7	50	12	1100	17.2	10.5
8	50	15	1000	16.5	11.3
9	50	18	1050	17.8	10.1

表2 正交试验极差分析结果

评价指标	因素	极差 R	主次顺序	最优水平
抗压强度(MPa)	A	4.3	A > C > B	A <sub>2</sub>
	B	2.1		B <sub>2</sub>
	C	3.2		C <sub>2</sub>
吸水率(%)	A	2.8	A > C > B	A <sub>2</sub>
	B	1.4		B <sub>2</sub>
	C	2.0		C <sub>2</sub>

极差分析结果表明,影响制品抗压强度和吸水率的主次顺序均为:煤气化渣掺量(A)>烧结温度(C)>成型压力(B)。其中,煤气化渣掺量极差最大,对制品性能影响最显著;成型压力极差最小,影响相对较小。综合抗压强度和吸水率两项指标,正交试

验得出最优工艺参数组合为 $A_2B_2C_2$ ,即煤气化渣掺量40%、成型压力15MPa、烧结温度1050°C。在此工艺条件下,制品抗压强度达21.8MPa,吸水率为8.5%,软化系数0.82,各项性能指标均优于其他试验组。

## 5 结论

淮南市煤气化渣主要成分为 $SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ ,颗粒细、比表面积大,具备作为制砖原料的可行性;通过单因素试验和正交试验优化,得出煤气化渣制砖最优工艺参数为:煤气化渣掺量40%、粘土掺量50%、粉煤灰掺量10%,成型压力15MPa,烧结温度1050°C,保温时间2h;最优工艺条件下制备的烧结砖,抗压强度达21.8MPa,吸水率8.5%,软化系数0.82,各项指标均满足GB/T5101-2017《烧结普通砖》MU20级标准要求;煤气化渣与粘土、粉煤灰的协同作用,以及烧结过程中形成的致密胶结结构,是制品性能优良的关键,煤气化渣制砖技术具有显著经济、环境和社会效益,为淮南地区煤气化渣规模化资源化利用提供可行路径。

## [参考文献]

[1]中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2023[M].北京:中国统计出版社,2023.

[2]淮南市人民政府.淮南市煤化工产业发展规划(2021-2025年)[Z].2021.

[3]住房和城乡建设部.“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划[Z].2022.

[4]刘洪波,赵青林,王强.煤气化渣资源化利用现状与发展趋势[J].煤炭加工与综合利用,2021,39(5):78-82.

[5]Schmidt M, Weber J, Müller C. Utilization of coal gasification slag in building materials: A review[J]. Construction and Building Materials, 2019, 207: 345-356.

## 作者简介:

张林林(1987--),女,汉族,江苏连云港人,硕士研究生,工程师,主要从事水泥、新型墙体材料及工业固废资源化利用等产品的性能检测与研究。

刘衢州(1973--),男,汉族,安徽淮南人,本科,高级工程师,主要从事水泥、水泥基复合材料、新型墙体材料及工业固废资源化利用等产品的性能检测与作用机理研究。

蒯伟(1994--),男,汉族,安徽长丰人,本科,助理工程师,主要从事新型墙体材料、粉煤灰、煤矸石等产品的性能检测与研究。