

聚氯化铝渣烧结砖的制备及性能

黑福前¹, 许飞¹, 招国栋², 陆丹¹, 刘清¹

(1. 南华大学土木工程学院, 高性能特种混凝土湖南省重点实验室, 湖南 衡阳 421000; 2. 南华大学资源环境与安全工程学院, 湖南 衡阳 421000)

摘要:为了解决化工行业聚氯化铝渣的堆存及资源浪费问题, 论文以聚氯化铝渣为原料, 在高温下制备聚氯化铝渣烧结砖, 研究不同成型条件和烧结条件对该砖的影响, 并利用X射线衍射(XRD)和扫描电镜(SEM)表征聚氯化铝渣烧结砖在烧结过程中的物相组成, 分析其演变过程。结果表明, 聚氯化铝渣烧结砖的较优成型压力为27.5 MPa、成型水分为17.5%、升温方式为直接烧结、升温速率为8 °C/min及烧结温度为1 100 °C; 该条件下烧结砖的抗压强度为33.5 MPa、吸水率为18.63%、体积密度为1.73 g/cm³、线收缩率为6.6%, 满足国家标准《烧结普通砖》(GB/T 5101—2017)中MU30等级要求; 聚氯化铝渣烧结砖1 100 °C时的主要物相是石英和硅酸铝, 石英和其他助熔物形成液相填充到孔隙中, 使结构更加致密。上述结果为聚氯化铝渣制备成烧结砖提供借鉴意义。

关键词:陶瓷及复合材料; 聚氯化铝渣; 烧结砖; 资源化利用; 制备工艺; 性能研究

doi:10.12476/kczhly.202210220668

中图分类号: TD989 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)03-0065-08

引用格式:黑福前, 许飞, 招国栋, 等. 聚氯化铝渣烧结砖的制备及性能[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(3): 65-72.

HEI Fuqian, XU Fei, ZHAO Guodong, et al. Preparation and properties of sintered brick with polyaluminum chloride slags[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(3): 65-72.

聚氯化铝是应用于水处理、造纸和食品添加剂等领域的高效混凝剂, 在生产过程中会产生15%的聚氯化铝渣^[1-2]。聚氯化铝渣具有弱酸性^[3], 含有的氯盐也会给处置过程带来一定难度。目前, 聚氯化铝渣常用的处理方式是填埋、堆弃和资源化利用等。填埋和堆弃不仅污染环境, 而且占用土地资源。资源化利用是解决聚氯化铝渣问题较为环保的方式。

由于土地资源和环保的要求, 国家已经禁止生产和使用黏土烧结砖, 因此提倡使用固废如粉煤灰、尾矿、污泥等替代黏土制备烧结砖, 并且取得一定的成果。Maryam Achik等^[4]将30%磁黄铁矿灰取代黏土制备出符合要求的烧结砖; 李国旺等^[5]将污泥和粉煤灰取代部分黏土制备烧结

砖, 抗压强度达到14.7 MPa; Yassine Taha等^[6]将炉甘石加工废料替代黏土不仅能生产出符合工程和环境性能的砖, 对材料中含有的铅、锌、砷等重金属也有一定的固化作用。聚氯化铝渣的主要化学成分是SiO₂和Al₂O₃, 与黏土的化学成分相似, 也可以代替黏土制备烧结砖。如李娜等^[7]将20%聚氯化铝渣、黏土和粉煤灰制备成烧结砖, 其符合普通烧结砖的要求。但是利用100%聚氯化铝渣制备烧结砖鲜有研究。

本研究对聚氯化铝渣的化学成分、物相组成、粒径分布等进行分析, 确定其可直接制备烧结砖, 探究成型条件和烧结条件对烧结砖性能的影响, 研究成果为聚氯化铝渣制备成烧结砖的系统研究提供参考。

收稿日期: 2022-10-22

基金项目: 湖南省教育厅重点项目(21A0286); 湖南省高校创新平台开发基金项目(20K111); 湖南省大学生创新创业训练计划项目(S202110555147)

作者简介: 黑福前(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为固体废物资源化利用。

通信作者: 刘清(1979-), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为固体废物资源化利用。

1 材料和方法

1.1 聚氯化铝渣

聚氯化铝渣取自湖南建衡实业有限公司的铝矾土、铝酸钙粉酸溶两步法产生的压滤渣，含水率为 35%。将聚氯化铝渣在电热恒温干燥箱 105 °C 烘干至恒重之后，经小型颞式破碎仪 (ST-E200) 破碎，过筛。

1.2 烧结砖制备方法

称取一定量聚氯化铝渣，按水固质量比加入蒸馏水，将混合物在水泥砂浆搅拌机搅拌 3 min 后，手动搅拌 2 min，密封陈化 24 h，采用微机控制电液伺服万能试验机 (WAW-EY1000C) 将湿渣用定制的模具压制成 Φ50 mm×50 mm 的圆柱体，成型压力下保压 60 s 脱模。将湿砖坯放入电热恒温干燥箱中 105 °C 烘干 (12±2) h，然后放入马弗炉 (HR-B1600) 以不同温度烧制 2 h，最终得到聚氯化铝渣烧结砖，自然冷却后对聚氯化铝渣烧结砖进行性能测试。

1.3 分析检测和表征方法

采用 X 射线荧光光谱分析仪 (XRF, zetium) 对聚氯化铝渣的化学成分进行分析。采用 X 射线粉末衍射仪 (XRD, Bruker D8) 对聚氯化铝渣和

聚氯化铝渣烧结砖的矿物组成进行表征。采用扫描电子显微镜 (SEM, QUANTA FEG 450) 对烧结砖的微观形貌进行表征。采用 LS-609 激光粒度分析仪器对氯化铝渣的粒径进行分析。采用同步热分析仪 (TG-DSC, SDT Q600) 对聚氯化铝渣在煅烧过程中的物理化学变化进行表征。抗压强度 (水泥压力试验机, TYE-600)、吸水率、线收缩率和体积密度参照《砌墙砖实验方法》(GB/T 2542—2012) 测试。

2 结果与分析

2.1 聚氯化铝渣的理化性能分析

2.1.1 化学组成分析

聚氯化铝渣的化学组成见表 1。由表 1 可知，聚氯化铝渣的主要化学成分是 SiO₂ 和 Al₂O₃，共占 79%，同时含有部分助熔剂如 CaO、MgO、Na₂O 和 K₂O 等，其化学成分均在普通烧结砖的组成范围之内^[8-9]，符合制备烧结砖的条件。但是聚氯化铝渣含 2.59%Cl⁻，对烧结砖性能产生一定的影响。除氯常用的方法为水洗法和煅烧法，而烧结砖在 900~1 100 °C 下烧制，对氯离子能够有效处理。

表 1 聚氯化铝渣的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of polyaluminum chloride slags

名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Cl ⁻	TiO ₂	其他
聚氯化铝渣	51.10	27.93	3.78	3.56	0.61	3.66	0.17	2.59	5.74	0.86
推荐值 ^[7]	35~80	8~30	0.5~18	0~5	0.14~4.5	2~10	0.1~1.5	-	-	-

2.1.2 物相分析

对聚氯化铝渣的矿物组成进行分析，XRD 见图 1。由图 1 可知，聚氯化铝渣主要矿物成分是石英、尖晶石、三水铝石、钙钛矿和高岭石等，和黏土的物相成分相似。

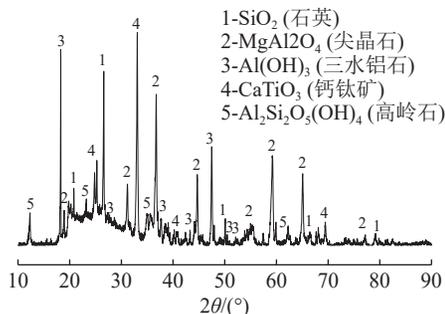


图 1 聚氯化铝渣的 XRD

Fig.1 XRD pattern of polyaluminum chloride slags

2.1.3 粒径分析

聚氯化铝渣的颗粒特征粒径见表 2。由表 2 可知，聚氯化铝渣颗粒整体较细。粒径特征参数：D50 为 29.69 μm，D97 为 195.73 μm，不均匀系数为 12。在压实过程中细颗粒能填充到孔隙中，提高烧结砖的性能。粒度分布符合制备烧结砖的要求。

表 2 聚氯化铝渣的特征粒径

Table 2 Characteristic particle size of polyaluminum chloride slags

特征粒径/μm				不均匀系数
d10	d50	d60	d97	Cu
1.52	29.69	44.62	195.73	12

2.1.4 热分析

为明确聚氯化铝渣在煅烧过程中的物理化学

变化，对聚氯化铝渣进行了热重（TG）和差热（DSC）分析，结果见图2。由图2可知，聚氯化铝渣在加热过程中，整体呈失重状态，总体失重约13.93%。在56℃附近处的失重是由于残余的自由水和吸附水排出；在270℃附近是由于结晶水的排出；在490℃附近是由于结构水的排出；500℃之后重量变化相对较小；当温度高于900℃时，原料重量的持续下降可能是由于氯离子的挥发或其他物质反应被释放而导致。由DSC曲线可知，吸热峰和DTG曲线对应，在整个煅烧过程中排出气体量较均匀。

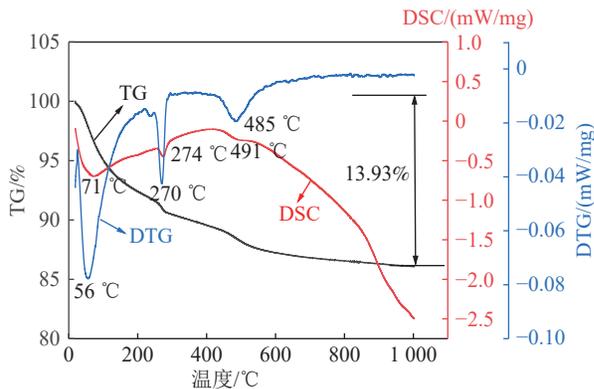


图2 聚氯化铝渣的TG-DSC
Fig.2 TG-DSC pattern of polyaluminum chloride slags

通过对聚氯化铝渣理化性质的分析进行初步判断，聚氯化铝渣具备直接制备烧结砖的条件。

2.2 成型条件实验

2.2.1 成型压力对烧结砖性能的影响

成型压力过小使砖坯松散不能成型，过大颗粒间则会发生拱桥效应影响烧结砖性能，因此制备烧结砖要选择合适的成型压力^[8]。初始实验条件为成型水分17.5%、4℃/min的升温速率升至400℃保温2h后再以相同的升温速率烧成温度1000℃，保温2h，探讨成型压力在15.0~27.5 MPa。

抗压强度是评价烧结砖工程质量最重要的参数。吸水率决定烧结砖的耐水侵蚀的能力。根据国家标准《烧结普通砖》（GB/T 5101—2017）^[10]度要大于10 MPa，吸水率要低于19%。成型压力对烧结砖抗压强度和吸水率的影响见图3。由图3抗压强度随成型压力增大呈上升的趋势。当成型压力为27.5 MPa时，抗压强度达到极大值18.72 MPa。吸水率随成型压力增大呈下降的趋势，当成型压力为27.5 MPa时，吸水率降低为21.9%。这是由于随着成型压力增大，砖坯内部相

互挤压，使得孔隙率降低，结构密实化，从而抗压强度增加，吸水率降低^[11]。

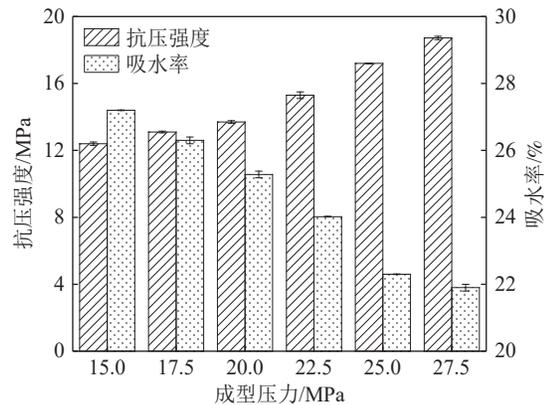


图3 成型压力对烧结砖抗压强度和吸水率的影响
Fig.3 Effect of molding pressure on compressive strength and water absorption of sintered bricks

由图4可知成型压力对烧结砖线收缩率和体积密度的影响，成型压力从15 MPa升高到27.5 MPa时，体积密度从1.47 g/cm³升高到1.62 g/cm³，普通烧结砖的密度一般在1.6~1.9 g/cm³^[12]；线收缩从3.92%增长到4.50%，均满足线收缩率小于8%的要求^[6]。体积密度和线收缩率的升高是由于在相同的烧制条件下烧结砖的质量一定，成型压力增大，孔隙减少，降低了砖坯的相对体积，从而增大了体积密度和线收缩率。

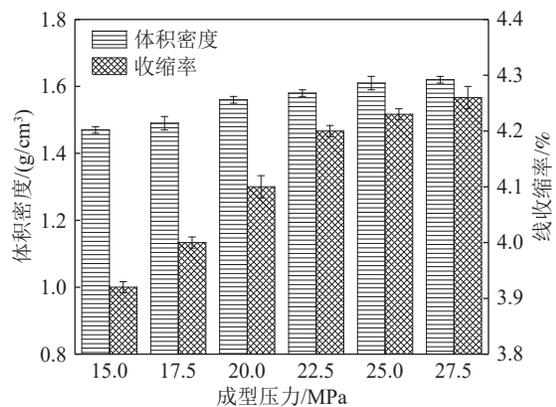


图4 成型压力对烧结砖体积密度和收缩率的影响
Fig.4 Effect of molding pressure on bulk density and shrinkage of sintered bricks

综合不同成型压力下烧结砖的性能，将成型压力确定为27.5 MPa作进一步研究。

2.2.2 成型水分对烧结砖性的影响

成型水分过低粉质松散不能成型，过高烧制会产生裂缝。为了保证烧结砖的质量，要选择适宜的成型水分^[13]。设置成型压力为27.5 MPa，

其他初始实验条件不变，研究成型水分在 10%~20% 时对烧结砖性能的影响。

成型水分对烧结砖抗压强度和吸水率的影响见图 5。由图 5 可知，成型水分在 10.0%~17.5% 时，抗压强度随着成型水分的增加而增大。这是由于成型水分越大，坯料颗粒间的黏结力就越强，砖坯结构更为紧密，从而烧结砖的抗压强度越大。成型水分为 17.5% 时抗压强度达到较大值 18.72 MPa。当成型水分为 20% 时抗压强度降低，这是由于砖坯在烧结过程中形成的裂缝影响了烧结质量，使抗压强度降低到 16.82 MPa。吸水率随成型水分的增大而降低。当成型水分为 20.0% 时，吸水率降为 21.03%。

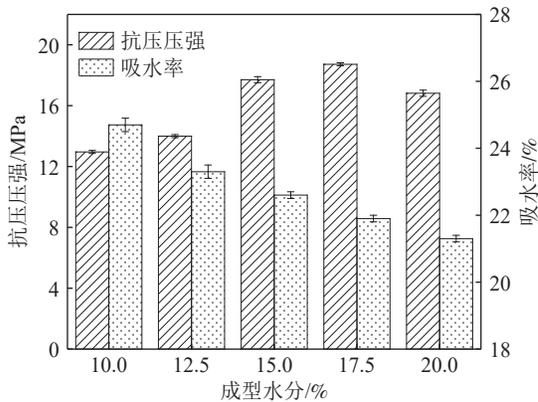
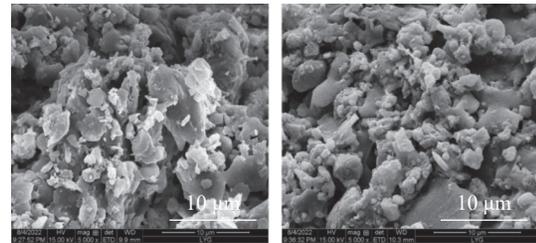


图 5 成型水分对烧结砖抗压强度和吸水率的影响
Fig.5 Effect of molding water on compressive strength and water absorption of sintered bricks

而部分学者^[14-15]认为成型水分越高，烧结过程中水分蒸发形成的孔隙越大，吸水率就越高。为进一步研究不同成型水分对聚氯化铝渣烧结砖吸水率的影响，对成型水分为 10.0% 和 20.0% 的聚氯化铝渣烧结砖进行扫描电镜分析，结果见图 6。由图 6 (a) 可知，当成型水分为 10% 时，颗粒表面还存在未完全反应的片状结构，和原渣颗粒结构相似，在进行吸水率实验时，烧结砖不仅在孔隙内吸收水分，未反应的部分可能继续吸收水分，造成吸水率较高。由图 6 (b) 可知，当成型水分为 20.0% 时，砖坯烧结得更加充分，结构中形成了部分液相，颗粒间的孔隙被形成的液相填充，降低了烧结砖的孔隙，造成吸水率降低。可见，较高的成型水分聚氯化铝渣烧结砖的吸水率较低。

成型水分对体积密度和线收缩率的影响见图 7。由图 7 可知，成型水分越大，体积密度和线



(a) 成型水分为10% (b) 成型水分为20%

图 6 不同成型水分下聚氯化铝渣烧结砖的 SEM
Fig.6 SEM of polyaluminum chloride slags sintered bricks at different molding moisture

收缩率呈增大的趋势。当成型水分在 10.0%~20.0% 时，体积密度为 1.58~1.65 g/cm³，线收缩率为 3.80%~4.26%。此时体积密度和线收缩率均在合理的范围。

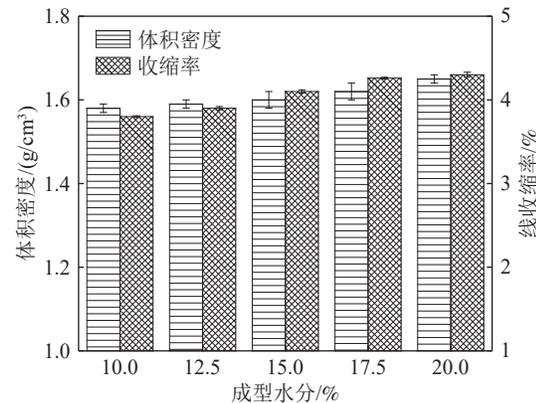


图 7 成型水分对烧结砖体积密度和收缩率的影响
Fig.7 Effect of molding moisture on bulk density and shrinkage of sintered bricks

因此，综合考虑烧结砖的性能，后续实验研究的成型水分选择 17.5%。

2.3 烧结条件实验

2.3.1 升温方式对烧结砖性能的影响

由图 2 已知 400~500 °C 是材料失去结构水重量的阶段，因此在升温速率相同的情况下，考查以 4 °C/min 的升温速率在 400 °C 和 500 °C 保温 2 h 和在 400 °C 不保温直接烧成三种情况下的烧结情况。升温方式对烧结砖性能的影响见表 3。

表 3 升温方式对烧结砖性能的影响
Table 3 Effect of heating mode on properties of sintered bricks

升温方式	抗压强度/MPa	体积密度/(g/cm ³)	收缩率/%	吸水率/%
400 °C 保温 2 h	18.72	1.62	4.26	21.90
不保温	21.20	1.61	4.70	22.49
500 °C 保温 2 h	20.57	1.60	4.86	23.20

由表3可知，三种升温方式中，以4℃/min的升温速率直接升到1000℃烧结过程不保温时抗压强度较大，可达21.20 MPa，可能是由于在400℃和500℃的保温过程中，烧结程度更高，造成烧结质量降低，使抗压强度降低。整体看来，升温方式对烧结砖的性能影响不大。这个结果与TG曲线的失重情况相对应，聚氯化铝渣的煅烧过程中，排出气体量较均匀，不会由于瞬间大量气体产生造成砖坯开裂。因此在烧制过程中不必保温，可以快速烧结。

2.3.2 升温速率对烧结砖性能的影响

在烧结过程中，升温速率过快会导致砖坯受热温差过大而膨胀不均，使变形不平衡导致砖坯发生开裂，同时由于原料中矿物分解产生气体也会导致砖坯内裂，对烧结砖的抗压强度和吸水率等性能产生影响，烧成时应控制适当的升温速率^[13]。升温速率对烧结砖性能的影响见表4。

升温速率/ (℃/min)	抗压强度/ MPa	体积密度/ (g/cm ³)	线收缩率/ %	吸水率/ %
4	21.20	1.61	4.70	22.49
6	22.40	1.59	5.00	23.10
8	24.50	1.60	5.06	23.23
10	23.70	1.62	5.19	22.85

由表4可知，升温速率从4℃/min提高到8℃/min时，抗压强度随着升温速率的增加而增加，在升温速率为8℃/min时抗压强度达到较大值24.5 MPa。当升温速率达到10℃/min时，抗压强度反而降低。这是由于升温较快，砖坯因受热不均匀产生裂纹，导致抗压强度降低。但体积密度、线收缩率、吸水率变化幅度不大。

因此，综合考虑烧结砖的性能，升温速率以8℃/min较佳。

2.3.3 烧结温度对烧结砖性能的影响

烧结温度是决定烧结砖质量的关键因素^[13]。在高温烧结时，原材料经过一系列化学和物理变化，形成新的结构和结晶相，从而影响烧结砖的性能^[16]。

烧结温度对烧结砖抗压强度和吸水率的影响见图8。由图8可知，烧结砖的抗压强度随着温度的升高急剧提升，在1050℃时达到较大值33.9 MPa。这是由于烧结砖内部矿物分解形成的液

相和玻璃相填充到孔隙中，使得孔隙降低，结构更加密实。从而导致抗压强度提高，吸水率降低^[17]。而当温度达到1100℃时抗压强度略有降低，可能是烧结砖开始达到“过烧”的阶段。

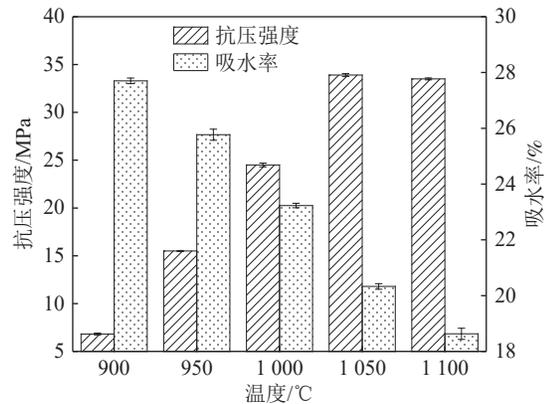


图8 温度对烧结砖抗压强度和吸水率的影响
Fig.8 Effect of temperature on compressive strength and water absorption of sintered bricks

由图9可知，烧结温度对烧结砖体积密度和线收缩率的影响。体积密度和线收缩率随温度升高逐渐增大。这是由于温度越高，烧结程度越大。体积密度和收缩率在1100℃时达到较大值1.73 g/cm³和6.6%，均在烧结砖的允许范围之内。

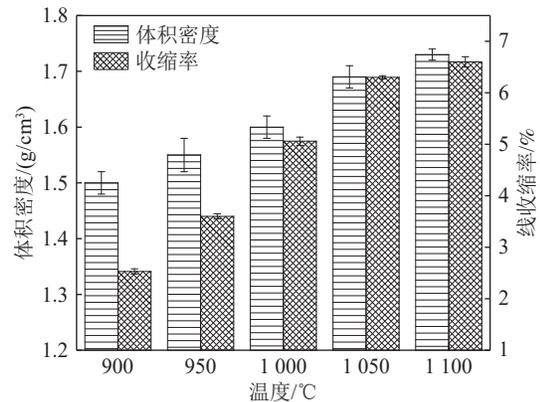


图9 温度对烧结砖体积密度和收缩率的影响
Fig.9 Effect of temperature on bulk density and shrinkage of sintered bricks

2.3.4 聚氯化铝渣烧结砖的烧结演变规律

为了解聚氯化铝渣烧结砖在烧结过程中的物相变化及微观形貌，对不同温度烧结砖（未烧结（105℃干燥）、900、1100℃）进行XRD和SEM分析并探讨其烧结机理。

图10为不同温度下聚氯化铝渣烧结砖的XRD图。由图10可知，聚氯化铝渣砖坯在未烧结的主要矿物为石英、尖晶石、锐钛矿、钙钛矿、

三水铝石等。经过 900 °C 煅烧后，石英的衍射峰强度明显减弱，三水铝石等物相结构消失，说明在烧结过程中，部分石英和三水铝石在结构中进行反应。当温度升高至 1 100 °C 时，结构中生成了硅酸铝，石英的衍射峰强度继续减弱，部分石英、尖晶石、钙钛矿、锐钛矿衍射峰消失。这也表明这些物相在高温下熔融成液相或玻璃相填充到孔隙内。

图 11 为不同温度下聚氯化铝渣烧结砖 SEM 图。由图 11 可知，未烧结的砖坯通过物理作用结合在一起，此时没有液相生成，抗压强度较低。当烧结温度达到 900 °C 时，坯体中较小的固相结构逐渐消失，同时结构中出现少量的孔隙，这表明结构开始反应。当烧结温度达到 1 100 °C 时，结构中生成大量的液相填充到孔隙结构中，

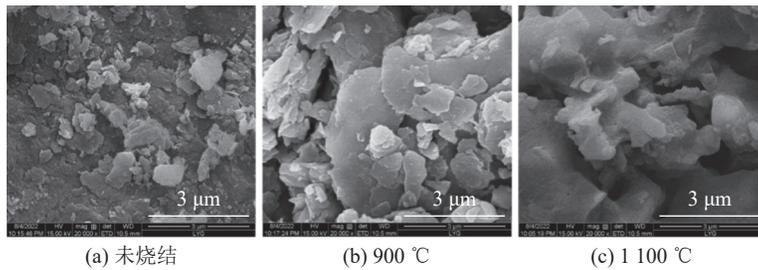


图 11 不同温度下聚氯化铝渣烧结砖 SEM

Fig.11 SEM of polyaluminum chloride slags sintered bricks at different temperatures

3 烧结砖性能与标准烧结砖对比

由表 5 可知，较佳条件下聚氯化铝渣烧结砖抗压强度、吸水率均满足《普通烧结砖》(GB/T 5101—2017) 要求，线收缩率、体积密度、水溶性 Cl⁻ 含量没有明确的标准，也满足一般普通黏土砖的要求。

表 5 聚氯化铝渣烧结砖与标准烧结砖对比情况

Table 5 Comparison of sintered bricks made of polyaluminum chloride slags and standard sintered bricks

检测指标	参考	MU30	测量值	结果
抗压强度/MPa	GB/T 5101—2017	≥30	33.5	合格
吸水率/%	GB/T 5101—2017	≤19	18.64	合格
线收缩率/%	[10]	≤8	6.6	合格
体积密度/(g/cm ³)	[9]	1.6~1.9	1.72	合格
Cl ⁻ /(mg/L)*	-	-	14	合格
pH 值	-	6~9	7.6	合格

*Cl⁻ 含量依据硝酸银滴定法检测。

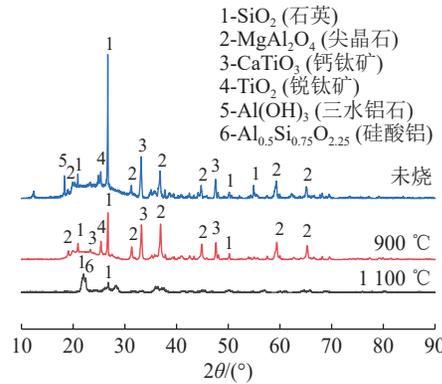


图 10 不同烧结温度聚氯化铝渣烧结砖的 XRD

Fig.10 XRD pattern of polyaluminum chloride slags sintered bricks at different sintering temperatures

使得孔隙减少，结构更加密实^[18]。聚氯化铝渣烧结砖的烧结过程为随着温度的升高产生液相，内部逐渐致密化的过程^[19]。

4 结论

(1) 综合考虑抗压强度、吸水率、体积密度、线收缩率这四个指标，最终确定聚氯化铝渣烧结砖较佳制备条件为：成型压力 27.5 MPa，成型水分为 17.5%，升温方式为直接烧结，升温速率为 8 °C/min，烧结温度为 1 100 °C。

(2) 较佳制备条件下得到的聚氯化铝渣烧结砖的抗压强度为 33.5 MPa，吸水率为 18.63%，体积密度为 1.73 g/cm³，线收缩率为 6.6%，符合《普通烧结砖》(GB/T 5101—2017) MU30 等级要求。

(3) XRD 和 SEM 表明，聚氯化铝渣在 1 100 °C 烧结后主要物相是石英和硅酸盐，石英和其他助熔物熔融形成液相填充孔隙，使得孔隙减少，结构更加致密化。

参考文献：

[1] 李晴淘,张淳之,周吉峙,等. 改性聚铝废渣对污泥脱水性能的影响[J]. 工业水处理, 2019, 39(12):79-81.

- LI Q T,ZHANG C Z,ZHOU J Z,et al. Improvement of sludge dewatering capability with modified polyaluminium chloride residue[J]. *Industrial Water Treatment*, 2019, 39(12):79-81.
- [2] 孙英娟,周旋,岳丽娜,等. 工业固废制备聚合氯化铝铁及其在煤泥废水处理中的应用[J]. *矿产综合利用*, 2021(1):144-150.
- SUN Y J,ZHOU X,YUE L N,et al. Preparation of polyaluminium ferric chloride from industrial solid waste and its application in the treatment of coal slime wastewater[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(1):144-150.
- [3] 何青峰,曾利群,何朝晖,等. 除氯处理的PAC废渣的细度和掺量对水泥性能影响的研究[J]. *无机盐工业*, 2020, 52(4):84-87.
- HE Q F,ZENG L Q,HE Z H,et al. Study on effect of fineness and dosage of PAC waste residue on cement performance[J]. *Inorganic Chemicals Industry*, 2020, 52(4):84-87.
- [4] ACHIK M , BENMOUSSA H , OULMEKKI A , et al. Evaluation of technological properties of fired clay bricks containing pyrrhotite ash[J]. *Construction and Building Materials*, 2020(269):121312.
- [5] 李国旺,陈胜强,周伟,等. 城市污泥制备烧结砖实验研究[J]. *新型建筑材料*, 2021, 48(11):166-170.
- LI G W,CHEN S Q,ZHOU Y,et al. Experimental study on preparation of sintered bricks with urban sludge[J]. *New Building Materials*, 2021, 48(11):166-170.
- [6] TAHA Y,BENZAOUA M,HAKKOU R,et al. Natural clay substitution by calamine processing wastes to manufacture fired bricks[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135(nov.1):847-858.
- [7] 李娜,向浩,鲁义军,等. 聚合氯化铝生产废渣的处理与利用[J]. *化工学报*, 2011, 62(5):1441-1447.
- LI N,XIANG H,LU Y J,et al. Treatment and utilization of waste residue produced from polyaluminium chloride process[J]. *CIESC Journal*, 2011, 62(5):1441-1447.
- [8] 李峰,崔孝炜,刘璇,等. 钼尾矿在建筑材料中的二次利用研究进展[J]. *矿产综合利用*, 2021(3):132-139.
- LI F,CUI X W,LIU X,et al. Research progress on secondary utilization of molybdenum tailings in building materials[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resource*, 2021(3):132-139.
- [9] 赵思源,刘卫东,陆美荣. 市政污泥制备烧结砖的实验研究[J]. *新型建筑材料*, 2022, 49(5):92-95.
- ZHAO S Y,LIU W D,LU M R. Experimental study on preparation of sintered brick from municipal sludge[J]. *New Building Materials*, 2022, 49(5):92-95.
- [10] 全国墙体屋面及道路用建筑材料标准化技术委员会. 烧结普通砖标准:GB 5101-2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- National Technical Committee for Standardization of Building Materials for Walls, Roofs and Roads. Standard for Fired common bricks: GB 5101-2017 [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [11] 刘俊杰,梁钰,曾宇,等. 利用铁尾矿制备免烧砖的研究[J]. *矿产综合利用*, 2020(5):136-141.
- LIU J J,LIANG Y,ZENG Y, et al. Study on preparation of unburned brick with iron tailings[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2020(5):136-141.
- [12] QUIJORNA N,COZ A,ANDRES A,et al. Recycling of Waelz slag and waste foundry sand in red clay bricks[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2012, 65(none):1-10.
- [13] 陈永亮. 鄂西低硅铁尾矿烧结制砖及机理研究[D]. 武汉:武汉科技大学,2012.
- CHEN Y L. Preparation and mechanism of fired bricks and tiles with low-silicon iron tailings from western Hubei[D]. Wuhan:Wuhan University of Science and Technology,2012.
- [14] 黄杰,王星,徐名特. 成型条件对钼尾矿粉煤灰烧结砖性能的影响[J]. *矿业工程*, 2022, 20(1):51-54.
- HUANG J,WANG X,XU M T. Influence of formation condition to the performance of molybdenum tailing coal ash sintering brick[J]. *Mining Engineering*, 2022, 20(1):51-54.
- [15] 邹智秀,欧天安,谭旭升,等. 利用红土镍尾矿制备烧结墙体材料实验研究[J]. *新型建筑材料*, 2016, 43(6):60-63.
- ZOU Z X,OU T A,TAN X S,et al. Research on making sintering wall materials with laterite-nickel tailings[J]. *New Building Materials*, 2016, 43(6):60-63.
- [16] Karaman S,Gunal H,Ersahin S. Assessment of clay bricks compressive strength using quantitative values of colour components[J]. *Constr Build Mater*, 2006, 20(5):348-354.
- [17] 张忠亮,金容旭,张雪梅,等. 利用海上油气田水基钻井废物制备烧结砖[J]. *环境工程学报*, 2021, 15(9):3020-3028.
- ZHANG Z L,JIN R X,ZHANG X M,et al. Preparation of sintered brick from water-based drilling wastes in offshore oil and gas field[J]. *Chinese Journal of Environmental*

Engineering, 2021, 15(9):3020-3028.

[18] 陈永亮,张一敏,陈铁军,等. 温度制度对尾矿烧结砖性能及结构的影响[J]. 硅酸盐通报, 2010, 29(6):1343-1347.

CHEN Y L,ZHANG Y M,CHEN T J,et al. Effect of temperature system on properties and microstructure of fired bricks prepared with tailings[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2010, 29(6):1343-1347.

[19] 周伟伦,廖正家,陈涛,等. 利用铁尾矿制备烧结砖的可行性及烧结固化机理[J]. 环境工程学报, 2021, 15(5):1670-1678.

ZHOU W L, LIAO Z J, CHEN T, et al. Feasibility of using iron tailings to prepare sintering brick and sintering solidification mechanism[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(5):1670-1678.

Preparation and Properties of Sintered Brick with Polyaluminum Chloride Slags

HEI Fuqian¹, XU Fei¹, ZHAO Guodong², LU Dan¹, LIU Qing¹

(1.School of Civil Engineering, University of South China, Hunan Provincial Key Laboratory of High Performance Special Concrete, Hengyang, Hunan 421000, China; 2.School of Resource Environment and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421000, China)

Abstract: In order to solve the problem of stockpiling and resource waste of polyaluminum chloride slags in the chemical industry, this paper uses polyaluminum chloride slags as raw materials to prepare sintered bricks with polyaluminum chloride slags at high temperature, studies the influence of different molding conditions and sintering conditions on sintered bricks with polyaluminum chloride slags, and uses X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) to characterize the phase composition of sintered bricks with polyaluminum chloride slags in the sintering process, and analyzes its evolution process. The results show that the optimum molding pressure, molding moisture, heating mode, heating rate and sintering temperature are 27.5 MPa, 17.5%, direct sintering, 8 °C/min and 1 100 °C respectively. At this condition, the compressive strength of sintered brick is 33.5 MPa, the water absorption rate is 18.63%, the bulk density is 1.73 g/cm³, and the linear shrinkage rate is 6.6%, meeting the requirements of MU30 grade in the national standard 《Fired common bricks》 (GB/T 5101—2017). The research shows that the main phase of the sintered brick is quartz, quartz and other fluxes form liquid phase to fill the pores, which makes the structure more compact. The above results can be used for references in preparing sintered bricks from polyaluminum chloride slags.

Keywords: ceramics and composites; polyaluminum chloride slag; sintered brick; resource utilization; preparation process; performance study