

赤泥掺入黏土制备 $\text{CaO}-\text{MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 体系陶瓷材料试验研究

王小平¹, 李香梅², 华绍广², 裴德健², 李书钦², 李波²

(1. 铜陵市环境科学研究所, 安徽 铜陵 244000;

2. 中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司, 安徽 马鞍山 243000)

[摘要] 我国年赤泥排放量高达1亿t, 目前主要处理方式为填埋或者堆存, 而制备陶瓷需要的黏土原料出现短缺。新型 $\text{CaO}-\text{MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 体系陶瓷材料力学性能优越, 市场前景乐观, 本文设计了不同赤泥掺量的新型陶瓷制备原料的烧制试验, 对不同的烧制产品进行微观及物相组成测试, 并考察了不同赤泥掺量和不同温度下所烧制产品的物理及力学性能和重金属浸出情况。黏土中掺入部分赤泥所烧制的样品主要物相为辉石相、钙长石相, 其中辉石相的生成有利于提高试样的抗折强度, 钙长石相的生成有利于固化钠元素, 促进致密化过程。不同赤泥掺量所制备试样的性能表现相近, 均在1140℃时表现出优越的力学性能, 线型收缩率和容重最大, 吸水率最小, 抗折强度最高; 30%赤泥掺量下, 吸水率和抗折强度指标均超过GB/T 4100—2015标准。浸出试验表明, 各试样钠元素固化率高达99.91%, 7种典型重金属浸出值均低于生活饮用水标准的限值。本研究为赤泥在陶瓷行业的再利用提供新的一种途径, 不仅解决自身处置处理问题, 更是节约大量的陶瓷黏土资源。

[关键词] 赤泥; $\text{CaO}-\text{MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 体系陶瓷; 黏土; 赤泥掺量; 辉石相; 钙长石相; 吸水率; 抗折强度

[中图分类号] TF821; X758 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2023)04-0097-07
DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2023.04.013

0 引言

赤泥是铝土矿提取氧化铝过程排出的一种碱性浸出废物, 是铝业典型固废。近年来, 我国赤泥每年产出高达1亿t, 成为排放赤泥量世界第一的国家。根据氧化铝工艺(主要有烧结法、拜耳法和联合法)不同, 每生产1t氧化铝, 会留下0.7~2.0t的赤泥^[1-2]。目前, 产出量最大的是拜耳法赤泥, 主要处理方法为填埋或堆存, 一方面占用大量土地, 另一方

面导致严重的环境问题, 如土壤污染、地下水污染和空气中粉尘含量增加等^[3]。因此, 对赤泥进行管理和再利用已经成为一个重要课题。

近年来, 在赤泥的再利用方面已经进行了大量研究, 例如, 用作PVC^[4]、催化材料^[5]、屏蔽材料^[6]、填料^[7]等, 还可以用于回收一些有价值的元素^[8], 但上述方法消耗的赤泥数量有限。建筑材料是大量消耗赤泥的一个方向, 有研究利用赤泥制造低价建筑材料, 即水泥^[9]、砖^[10]和黏土陶粒^[11], 但由于赤泥中含 Na_2O 高, 不适于制备水泥; 另外, 赤泥制备的砖和黏土陶瓷性能也较低, 只能制备普通黏土陶瓷, 这类黏土陶瓷属于 $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O})$ 三元体系, 原料混合物中 Fe_2O_3 和 CaO 的用量分别小于0.8%和3%, 限制了赤泥的再利用, 尤其是高 Fe_2O_3 和 CaO 赤泥。

陶瓷行业每年生产约100亿 m^2 的陶瓷, 需要消耗3亿t矿物原料, 目前面临着原料短缺的问题^[12]。赵立华等^[13]提供了利用钢渣制备具有高

[收稿日期] 2023-01-15 [修订日期] 2023-03-03

[录用日期] 2023-03-05 [出版日期] 2023-08-28

[第一作者] 王小平(1968—), 安徽铜陵人, 本科, 高级工程师, 从事环境方面的科研工作。

[通信作者] 李香梅, 安徽马鞍山人, 本科, 正高级工程师, 从事环境科学与工程方面的科研工作。

[基金项目] 安徽省重点研究与开发计划项目(202104i07020008)。

[引用格式] 王小平, 李香梅, 华绍广, 等. 赤泥掺入黏土制备 $\text{CaO}-\text{MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 体系陶瓷材料试验研究[J]. 中国有色冶金, 2023, 52(4): 97-103.

CaO 含量的新型陶瓷的方法,该类陶瓷属于 CaO - MgO(10%) - SiO₂ - Al₂O₃ 体系,陶瓷材料中含有大量的辉石相,力学性能优越,抗折强度可达 143 MPa。故此,对于高钙含量的赤泥,若以 30% 掺量计算,可实现约 1 亿 t 左右的预期消纳。

本文借鉴 CaO - MgO(10%) - SiO₂ - Al₂O₃ 体系陶瓷生产方法,通过以赤泥替代部分黏土,研究所制备陶瓷的性能变化情况,探究赤泥替代黏土的可行性,以期能够促进赤泥的资源化利用。

表 1 部分原料、原料混合料的化学成分及掺比

Table 1	Chemical composition and mixing ratio of some raw materials and raw material mixtures												%
分析样	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	赤泥	黏土	滑石	石英	页岩
赤泥	21.46	19.37	19.80	0.70	3.29	18.69	6.21	8.41	—				
黏土	54.62	12.27	17.77	2.92	3.41	6.82	1.15	0.52	—				
1 [#] 混合样	53.35	10.69	12.32	7.98	2.64	6.30	1.27	1.19	10	60			
2 [#] 混合样	50.12	12.12	12.57	7.67	2.62	7.49	1.73	2.01	20	50	20	5	5
3 [#] 混合样	47.78	12.54	12.84	7.45	2.57	8.68	2.23	2.89	30	40			

1.2 材料制备

称取各编号混合样 500 g,置于罐式粉碎机中混合并湿磨 20 min,制备出粒度满足要求的原料(粒度大于 20 μm 的颗粒比例小于 10%)。对湿磨后浆料进行筛分,于 110 ℃ 下干燥 10 h,使浆料成块状,后将块状粉碎的同时,喷洒水雾,使得粉体的水分含量为 6% ~ 8%,此处加水是为了利用原料的塑性,增强成型坯体的强度,也是防止成型和干燥阶段出现裂缝等缺陷。所制的粉体在 50 mm × 100 mm × 7 mm 磨具中经单轴压力(30 MPa)进行液压成型。成型后生坯试样在 110 ℃ 下干燥 5 h。干燥样品在不同温度(1 110 ℃、1 120 ℃、1 130 ℃、1 140 ℃、1 150 ℃)下烧制,升温速率为 5 ℃/min,保温时间为 30 min,随炉冷却。最后,对烧制后的样品进行物理和机械性能测试以及物相和微观结构分析。

1.3 试验设备及分析

烧制后的陶瓷试样的测试分析主要包括物理性能、物相与微观特性和元素浸出性能方面的分析。

1)物理性能分析包括容重、线性收缩率、抗折强度(三点式)和吸水率,其测试过程和计算方法参考国家标准《陶瓷砖试验方法》(GB/T 3810)。

2)物相组成使用 Mac M21X 粉末衍射仪(Rigaku Corporation,日本)进行分析。

1 试验介绍

1.1 原料与材料设计

本研究以赤泥、黏土、滑石、页岩和石英为原料。赤泥为贵州某厂拜耳法赤泥,其他原料取自周边。新型陶瓷的成分设计参照 CaO - MgO(10%) - SiO₂ - Al₂O₃ 体系^[14]。赤泥、黏土及原料混合物的化学成分和配比见表 1。

3)微观特性采用 EVO18 特殊版(德国卡尔·蔡司)进行 SEM 分析,在 25 kV 下操作。在 SEM 测试前,样品需在室温下用 0.5% HF 腐蚀 100 s,然后涂上 Au。

4)浸出液中的钠及重金属元素分析采用 OPTIMA 7000 dv ICP - OES (Perkin Elmer,美国)进行测试。

2 结果与讨论

2.1 原料及混合样分析

赤泥与黏土的 XRD 衍射峰如图 1 所示,赤泥主要由赤铁矿(Fe₂O₃)、钠钛氧化物(Na₄Ti₅O₁₂、Na₂TiO₃)、无水芒硝(Na₂SO₄)、钙铝石(Ca₂Al₂SiO₇)、硅质岩(Ca₃Al₂(SiO₄)(OH)₈)组成;黏土主要由石英、含镁硅铁矿、方解石和与白云母组成,白云母与适宜水混合能发挥黏土塑性。

赤泥与黏土的 TG - DTA 曲线如图 2(a)所示,表明在 290 ~ 400 ℃ 范围内,干赤泥的质量损失为 3.81%,源自于化学结合水的挥发;在 620 ~ 750 ℃ 范围内,干黏土的质量损失为 8.52%,则主要源自于方解石分解过程中 CO₂ 的释放。1[#] ~ 3[#]混合样生坯的 TG - DTA 曲线如图 2(b)所示,表明 1[#] ~ 3[#]混合样的烧结过程较为相似,在约 720 ℃ 时释放 CO₂,

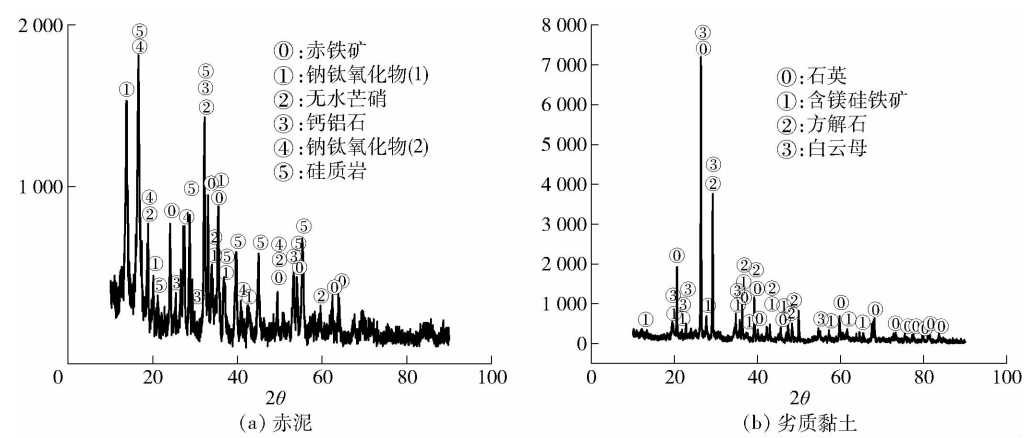


图 1 赤泥和劣质黏土的 XRD 图谱
Fig.1 XRD patterns of red mud and inferior clay

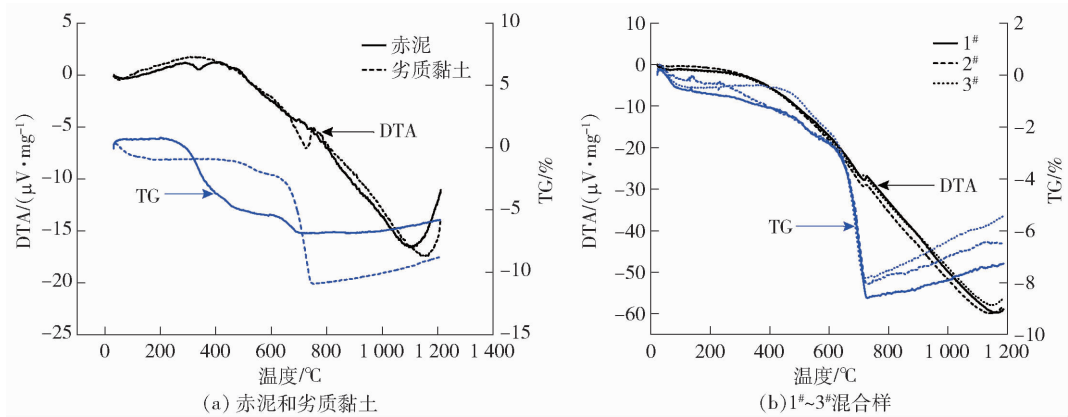


图 2 典型原料与 1[#]~3[#]混合样的 TG-DTA 分析
Fig.2 TG-DTA analysis of typical raw materials and 1[#]~3[#] mixed samples

释放的 CO_2 含量随着黏土的掺入量增加而增加。

2.2 微观及物相组成分析

2.2.1 试验烧成品的微观及物相组成分析

图 3 为在 $1\,140\,^{\circ}\text{C}$ 下烧结的 1[#]~3[#]混合样烧成品的横截面微观结构,可看出 3 个样品具有相似的微观结构,在陶瓷中有少量的小间歇孔隙 ($10\sim60$

μm),小间歇孔反映了烧结样品的致密化较高,有助于提高试样的力学性能。

在 $1\,140\,^{\circ}\text{C}$ 下烧结的 1[#]~3[#]混合样烧成品的 XRD 图谱如图 4 所示,可知 1[#]~3[#]样品中出现了透辉石、普通辉石、钙长石、石英、磁铁矿和钙铁榴石物相,从衍射峰可知,试样的主要物相为辉石相(透辉

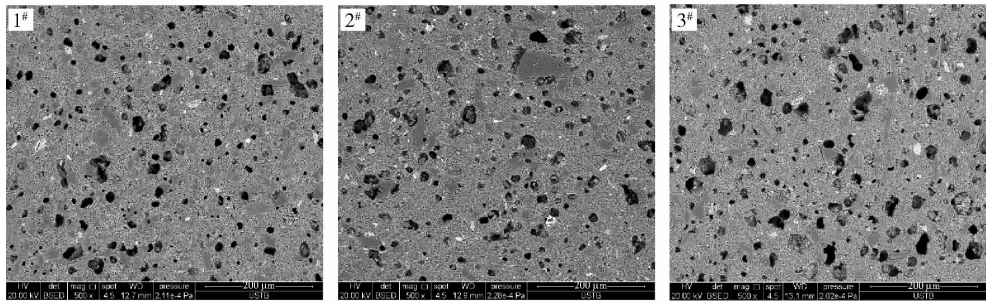


图 3 $1\,140\,^{\circ}\text{C}$ 下 1[#]~3[#]混合样烧成品 SEM 显微照片 ($\times 500$ 背散射)
Fig.3 SEM micrographs ($\times 500$ backscattering) of 1[#]~3[#] samples sintered at $1\,140\,^{\circ}\text{C}$

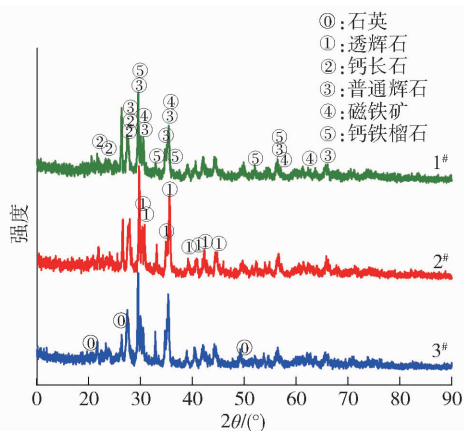


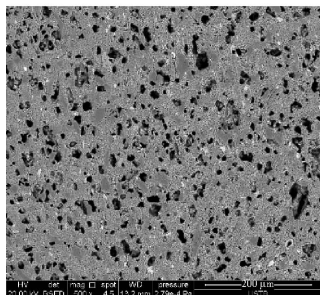
图4 1140 °C下1[#]~3[#]混合样烧成品XRD

图谱分析

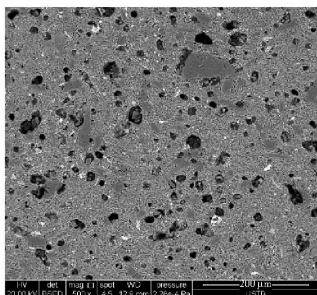
Fig.4 XRD pattern analysis of sintered products of 1[#]~3[#] mixed samples at 1140 °C

石、普通辉石),次物相为钙长石($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)。随着赤泥含量的增加(黏土含量的减少),石英含量减少,这与黏土中含有石英相一致,辉石相先增加后略有减少,特别是其中透辉石($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$),分析原因主要是受到Ca、Mg元素波动影响,由于2[#]试样中Ca、Mg元素含量较高,相较1[#]和3[#]样品更有利于透辉石生成,该发现与文献[15]研究结果以及文献[14]中受元素影响的相图热力学变化相一致。烧成品中 Fe_2O_3 含量小于10%,部分铁离子溶解在透辉石和普通辉石中,磁铁矿(Fe_3O_4)含量有限,还有部分铁形成钙铁榴石。

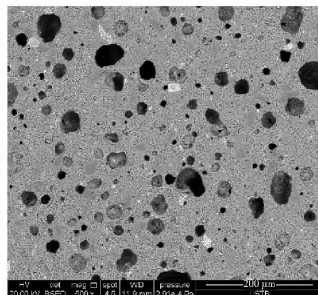
结合原料特点,以辉石(如透辉石)与钙长石为目标产物,烧结过程的化学反应可归纳为式(1)~(7)。陶瓷试样以钙长石、辉石为主晶相时,特别是辉石中的透辉石比例较高,有利于提高陶瓷试样的强度^[15]。



1130 °C



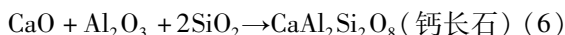
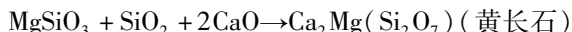
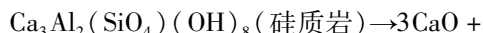
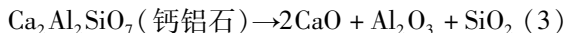
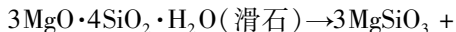
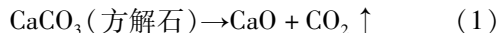
1140 °C



1150 °C

图5 在1130~1150 °C烧结的2[#]试样烧成品SEM显微照片(×500背散射)

Fig.5 SEM micrograph (×500 backscattering) of 2[#] samples sintered at 1130~1150 °C



2.2.2 温度对试验烧成品微观及物相组成的影响

烧结温度对 $\text{CaO}-\text{MgO}$ (10%) $-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ 体系陶瓷材料的物相及结构存在明显影响。以2[#]混合样为例,图5为1130~1150 °C下2[#]混合样烧成品的横截面微观结构。图5表明,1130 °C下烧成品中有大量小而连通的孔隙(5~80 μm);温度升至1140 °C时,烧成品变得更加致密,开孔数量明显减少;温度升至1150 °C时,烧成品孔隙长大,容重略有下降。

在1130~1150 °C下2[#]混合样烧成品的XRD图谱如图6所示。可以看出,不同温度烧制的成品中出现了晶相(透辉石、普通辉石、钙长石、石英、磁铁矿和钙铁榴石),其中以辉石相(透辉石、普通辉石)为主晶相。随着温度的升高,物相中的透辉石、普通辉石、钙长石略有增加,石英略有减少;其他物相,如磁铁矿和钙铁榴石,未有明显变化。

2.2.3 赤泥掺量对新型陶瓷材料微观及物相的影响

发现相比1[#]掺量10%赤泥,2[#]和3[#]赤泥分别增加替代黏土10%(掺量20%赤泥)和20%(掺量30%赤泥),所制备试样均主要是以辉石相、钙长石

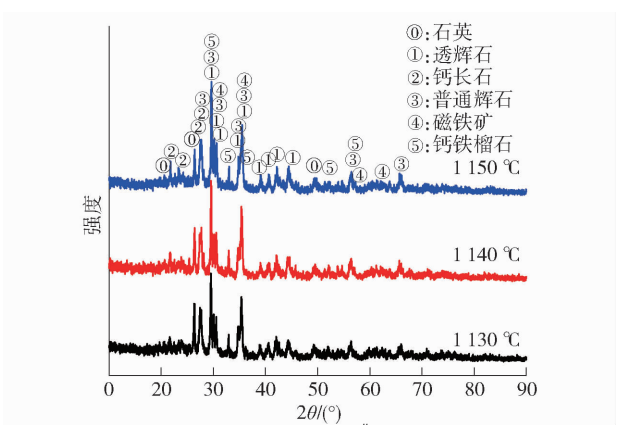


图 6 1 130 ~ 1 150 °C 下 2[#] 试样烧成品 XRD 图谱分析

Fig. 6 XRD pattern analysis of sintered product of 2[#] sample at 1 130 ~ 1 150 °C

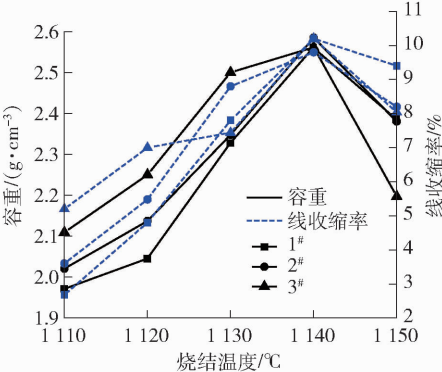
相组成。其中,2[#]因 Ca、Mg 含量有利于生成透辉石相,而 3[#]因 Ca 含量有利于钙长石相的生成,有利于固化赤泥带来的钠元素,继而生成为含钠钙长石,促进致密化过程,有利于试样形成致密结构。故此,从物相组成的角度来说,赤泥替代黏土是可行的。

此外,随着温度的升高,物相中的透辉石、普通辉石、钙长石略有增加,石英略有减少;其他物相未有明显变化。孔隙由大量小而连通的孔隙(5 ~ 80 μm)组成;温度升至 1 140 °C 时,烧成品变得更加致密,开孔数量明显减少;继续升高温度,瓷化使得烧成品孔隙长大。

2.3 性能分析

2.3.1 物理及力学性能

图 7(a)为不同烧结温度下,各混合样烧成品的线性收缩和容重变化情况。表明 1[#] ~ 3[#] 样混合样(赤泥配比依次为 10%、20%、30%)烧成品的线收



(a) 线性收缩率和容重

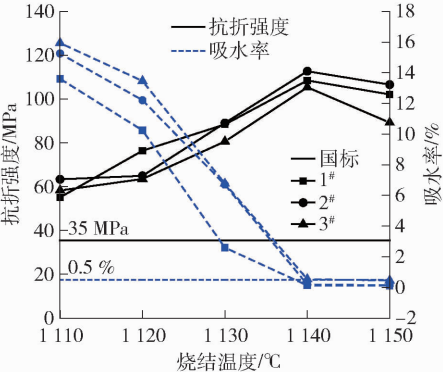
缩率与容重依次略有增加,且变化一致。1 140 °C 时出现 1[#] ~ 3[#] 混合样烧成品的最大线收缩率,分别为 9.50%、9.70%、10.10%,最大容重分别为 2.57 g/cm³、2.61 g/cm³ 和 2.66 g/cm³;1 150 °C 时,混合样有过烧现象,出现少量鼓泡,从而使得线收缩率和容重减小。线收缩率和容重与样品的孔隙形成和致密化过程有关,即线收缩率和容重越大,烧制过程的致密化程度越高,且致密化程度高有利于陶瓷试样的抗折强度提高和吸水率降低。赤泥中高 Na₂O 含量(8.41%)促进了致密化过程。

图 7(b)为不同烧结温度下,各混合样烧成品的吸水率和抗折强度变化情况。1[#] ~ 3[#] 样混合样烧成品的吸水率依次略有下降,1 140 °C 时 1[#] ~ 3[#] 混合样烧成品的吸水率最小值分别为 0.45%、0.19%、0.13%,优于 GB/T 4100—2015 标准(0.50%)。低吸水率表明烧成的陶瓷材料能够更好地抵抗环境因素,具有更好的耐久性。

图 7(b)表明,烧结温度为 1 140 °C 时,出现了 1[#] ~ 3[#] 样混合样烧成品的最大抗折强度,分别为 108.46 MPa、112.67 MPa 和 105.37 MPa,超过 GB/T 4100—2015 标准(35 MPa)。在烧结温度 1 130 ~ 1 150 °C 范围内,2[#] 混合样烧成品的抗折强度优于 1[#] 与 3[#] 混合样。3[#] 混合样虽然更为致密,但抗折强度却不是最高,因为影响抗折强度主要因素是试样的物相组成骨架,结合 XRD 分析结果可知,2[#] 混合样烧成品中因含有更多的辉石相作为骨架,因此抗折强度较高。

2.3.2 赤泥掺量对新型陶瓷材料物理性能的影响

发现相比 1[#] 样(掺量 10% 赤泥),2[#] 和 3[#] 样赤泥



(b) 吸水率和抗折强度

图 7 烧制样品的物理性能分析

Fig. 7 Physical properties of fired samples

分别增加替代黏土 10% (掺量 20% 赤泥) 和 20% (掺量 30% 赤泥), 各制成试样的性能表现相近, 均在 1 140 ℃ 时表现优越的力学性能, 特别是含有较高透辉石的 2[#] 样, 其抗折强度高达 112. 67 MPa; 含有较高钙长石的 3[#] 样, 其吸水率低至 0. 13%。

2. 3. 3 环境性能

考虑到碱元素对建材的不利影响以及重金属的危害性, 通过浸出试验考察所制备的新型陶瓷材料钠离子和重金属的环境性能。

通过《固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法》HJ557—2010 对试样进行浸出, 结果见表 2。

表 2 试样的钠及重金属元素的浸出值

Table 2 Leaching values of sodium and heavy metal elements in samples mg/L

分析项	浸出量			生活饮用水标准 (GB 5749—2006)
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	
Na	15. 477 3	11. 457 3	2. 562 4	—
Na 固化率	98. 70%	99. 43%	99. 91%	
Ba	0. 013 0	0. 011 2	0. 014 0	0. 7
Cd	0. 000 5	0. 000 3	0. 000 6	0. 005
Cr	0. 009 3	0. 007 1	0. 009 2	0. 05
Cu	0. 004 2	0. 003 1	0. 003 9	1
Mn	0. 011 6	0. 010 2	0. 011 3	0. 1
Pb	0. 001 3	0. 000 6	0. 001 1	0. 01
Zn	0. 004 2	0. 002 2	0. 003 4	1

表 2 表明, 各混合样的重金属 (Ba、Cd、Cr、Cu、Mn、Pb、Zn) 浸出率均能满足生活饮用水标准, 钠元素的固化率达到 98% 以上。其中, 钠的固化与钙长石有关, 即更多钙长石 (图 4 中 3[#] 所对应的钙长石衍射峰相对高度最大) 有利于固化钠元素, 继而生成含钠钙长石, 促进致密化过程, 与文献 [16] 的结论相一致。

3 结论

本文进行了采用赤泥替代部分黏土制备 CaO—MgO (10%)—SiO₂—Al₂O₃ 体系陶瓷材料的试验, 测试了不同赤泥掺量和不同温度下所烧制产品的微观及物相组成, 并考察了物理及力学性能, 得到如下主要结论。

1) 在黏土中掺入不同量赤泥所烧制的样品, 主要物相为辉石相—钙长石相。辉石相的生成有利于

提高试样的抗折强度; 而钙长石相的生成有利于固化钠元素, 继而生成含钠钙长石, 促进致密化过程, 有利于试样形成致密结构。

2) 不同赤泥掺量所制备试样的性能表现相近, 均在 1 140 ℃ 时表现优越的力学性能, 线型收缩率和容重最大, 吸水率最小, 抗折强度最高; 2[#] 样品 (赤泥掺量 20%) 含有较高透辉石, 抗折强度高达 112. 67 MPa; 3[#] 样品 (赤泥掺量 30%) 含有较高钙长石, 吸水率低至 0. 13%。

3) 浸出试验表明, 各试样钠元素固化率高达 99. 91%, 7 种典型重金属浸出值均低于生活饮用水标准的限值。

试验数据表明, 以赤泥替代黏土为原料 (原料质量分数为 10% ~ 30%) 制备陶瓷试样是可行的, 不仅降低对自然资源黏土的开采, 也为赤泥的资源化利用提供新途径和技术依据。

[参考文献]

[1] 罗丹, 李紫龙, 杜秋, 等. 赤泥综合利用研究进展 [J]. 科技创新与应用, 2020 (15): 75—76.
LUO Dan, LI Zilong, DU Qiu, et al. Research progress on the comprehensive utilization of red mud [J]. Technology Innovation and Application, 2020 (15): 75—76.

[2] S Yuan, X Liu, P Gao, et al. A semi-industrial experiment of suspension magnetization roasting technology for separation of iron minerals from red mud [J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 394: 122579.

[3] J Wu, W Luo, X Xu, et al. Preparation of the thermal insulating red mud ceramic bricks and its microstructure and performance [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008 (30): 15—18.

[4] T Tian, W Ke, F Zhu, et al. Effect of substrate amendment on alkaline minerals and aggregate stability in bauxite residue [J]. Journal of Central South University, 2019 (26): 393—403.

[5] 王超, 李长明, 皇甫林, 等. 赤泥催化剂的制备及其对模拟烟气中微量氨的脱除性能 [J]. 化工学报, 2019, 70 (3): 1056—1064.
WANG Chao, LI Changming, HUANGFU Lin, et al. Preparation of red mud-based catalyst and performance for trace ammonia in simulative tail gas [J]. CIESC Journal, 2019, 70 (3): 1056—1064.

[6] 王晓, 田崇霏, 罗忠涛, 等. 沸石对赤泥水泥砂浆强度及放射性的影响研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 2016 (1): 23—26.
WANG Xiao, TIAN Chognfei, LUO Zhongtao, et al. Effecting research of zeolite on strength and radioactive properties of red mud cement mortar [J]. China Concrete and Cement Products, 2016 (1): 23—26.

[7] 刘万超, 段光福, 闫琨, 等. 赤泥微粉填料制备高分子复合材

- 料技术研究[J]. 轻金属, 2018 (10): 5-10.
- LIU Wanchao, DUAN Guangfu, YAN Kun, et al. Research on preparation of polymer composites with red mud powder filler[J]. Light Metals, 2016 (1): 23-26.
- [8] 高建阳, 张馨方. 马矿赤泥综合利用 Fe、Ti 元素技术研究[J]. 山东冶金, 2017, (4): 46-49.
- GAO Jianyang, ZHANG Xinfang. Study on comprehensive utilization of Fe and Ti elements in red mud of Ma Mine[J]. Shandong Metallurgy, 2017 (4): 46-49.
- [9] 索崇娴, 郝雅芬, 樊珮阁, 等. 添加脱硫石膏和赤泥对复合水泥土性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39 (5): 1553-1558.
- SUO Chongxian, HAO Yafang, FAN Peige, et al. Effect of adding FGD and red mud on properties of composite cement-soil[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2020, 39(5): 1553-1558.
- [10] 李大伟, 张立全, 刘学峰, 等. 高含量赤泥烧结砖的研究[J]. 新型建材材料, 2009 (6): 26-29.
- LI Dawei, ZHANG Liqun, LIU Xuefeng, et al. Investigation of high red mud containing sintered brick[J]. New Building Materials, 2009 (6): 26-29.
- [11] 王敦强, 徐捷, 周国栋. 陶粒赤泥粉煤灰免烧砖性能研究[J]. 山东建筑大学学报, 2012 (4): 393-396.
- WANG Dunqiang, XU Jie, ZHOU Guodong. Research on properties of red mud fly ash from the burn exemption autoclaved brick[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2012 (4): 393-396.
- [12] L Zhao, Y Li, L Zhang, et al. Effects of CaO and Fe_2O_3 on the microstructure and mechanical properties of $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ ceramics from steel slag[J]. ISIJ International, 2017, 57 (1): 15-22.
- [13] L Zhao, Y Li, Y Zhou, et al. Preparation of novel ceramics with high CaO content from steel slag[J]. Materials & Design, 2014, 64 (9): 608-613.
- [14] V D Eisenhüttenleute. Slag Atlas[M]. Verlag Stahleisen: 1995.
- [15] X Ai, H Bai, L Zhao, et al. Thermodynamic analysis and formula optimization of steel slag-based ceramic materials by FACTSage software[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2013, 20 (4): 379-385.
- [16] Dejian Pei, Yu Li, Daqiang Cang. Na^+ -solidification behavior of $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{MgO}$ (10wt%) ceramics prepared from red mud[J]. Ceramics International, 2017, 43: 16936-16942.

Experimental study on the preparation of $\text{CaO-MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ system ceramic materials by red mud mixed with clay

WANG Xiaoping¹, LI Xiangmei², HUA Shaoguang², PEI Dejian², LI Shuqin², LI Bo²

(1. Tongling Environmental Science Research Institute, Tongling 244000, China;

2. Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co. Ltd., Maanshan 243000, China)

Abstract: China's annual red mud emissions are as high as 100 million tons, and the main treatment methods are landfill or storage, and there is a shortage of clay raw materials needed for the preparation of ceramics. The new $\text{CaO-MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ system ceramic material has superior mechanical properties and optimistic market prospects. In this paper, the baking test of new ceramic preparation raw materials with different red mud mixing amount was designed. The microstructure and phase composition of different baked products were tested, and the physical and mechanical properties and heavy metal leaching of the products were investigated. The main phases of the samples are pyroxene phase and anorthite phase. The formation of pyroxene phase is beneficial to improve the flexural strength of the samples, and the formation of anorthite phase is beneficial to solidify sodium element and promote the densification process. The performance of the samples is similar, and they all show superior mechanical properties at 1 140 °C. Under the temperate, the linear shrinkage rate and bulk density are the largest, the water absorption rate is the smallest, and the flexural strength is the highest. At 30 % red mud mixing amount, the water absorption and flexural strength indexes exceeded the GB/T 4100—2015 standard. The leaching test showed that the solidification rate of each sample was as high as 99.91%, and the leaching values of seven typical heavy metals were lower than the limits of drinking water standards. This study provides a new way for the reuse of red mud in the ceramic industry. It not only solves the problem of red mud disposal, but also saves a lot of ceramic clay resources.

Key words: red mud; $\text{CaO-MgO}(10\%)-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ system ceramics; clay; red mud mixing amount; pyroxene phase; anorthite phase; water absorption rate; flexural strength