

赤泥在建筑材料方面应用的研究进展

石莉^{1,2}, 王宁¹, 庞程², 刘邦煜^{1,2}

(1.中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002;

2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 赤泥是氧化铝工业最大的工业废渣, 随着铝工业的发展, 赤泥的有效利用问题显得尤为迫切。概述了赤泥的工业特性及在建筑材料方面的应用, 如利用赤泥建坝、做路基材料、生产水泥、各种砖、微晶玻璃和琉璃瓦。并介绍了中铝贵州铝厂赤泥的工业特性, 应用方面遇到的问题及拟解决方案。

关键词: 赤泥; 建筑材料; 废渣利用

中图分类号: X78

文献标识码: A

文章编号: 1001-702X(2009)01-0020-04

Research progress of utilizing red mud as a resource of building material

SHI Li^{1,2}, WANG Ning¹, PANG Cheng², LIU Bangyu^{1,2}

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Red mud is the major solid waste produced in alumina industry. With the development of aluminum industry, the effectual use of red mud becomes urgent. This paper narrated industrial characteristics of red mud, and then referred the utilization of red mud as a source of building material for building dam and roadbed, producing cement, various bricks, glass-ceramic and glazed roof tile. At last, this paper gives an introduction of industrial property of the red mud, problems which encounter in application and the solutions to these problems in China Aluminum Industry Guizhou Branch.

Key words: red mud; building material; reuse of waste residue

赤泥是制铝工业提取氧化铝时排出的污染性废渣, 一般平均每生产 1 t 氧化铝, 就附带排放 1.0~2.0 t 的赤泥^[1]。随着铝工业的发展, 赤泥的排放量日益增加, 目前全球每年排放赤泥约 5000 万 t, 我国每年排放约 500 万 t^[2]。我国采取输送堆场、筑坝湿法堆存、干法堆存等方法处理赤泥, 不仅占用了大量土地, 而且使得大量的废碱液渗透到附近农田, 造成土壤碱化、沼泽化, 并污染地表地下水源。在目前资源紧缺、环境保护日益重要的当今社会, 赤泥的回收利用及其综合治理已经成为了重点问题之一。

由于赤泥的成分和性质差异较大, 利用方法也不相同。国外主要是拜耳法赤泥, 由于铁含量高, 就以其作为炼铁原料。德国试验用赤泥作为筑路材料, 用赤泥和软泥混合填充低凹地, 变贫脊的土地为良田。俄罗斯用拜耳法赤泥生产黏土

砖等, 有些技术已得到了工业应用^[3]。

目前, 我国赤泥主要应用在环境保护、回收有价金属、墙体材料等方面。其中将赤泥应用在各种建筑材料中, 因其对环境友好, 且吃渣量大, 不但不会带来附加的环境污染, 还能有效的缓解赤泥堆存带来的大量问题, 是利用赤泥的有效途径之一。

1 赤泥的工业特性

1.1 赤泥的化学成分

赤泥的化学成分及矿物组成取决于原矿品位、生产方法、技术水平、生产过程中添加剂的物质成分及其新生成的化合物成分^[4]。一般而言, 拜耳法赤泥含有较高的 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃, 矿物组成以针铁矿、赤铁矿为主; 烧结法赤泥中 CaO 和 SiO₂ 含量较高, 矿物组成中以 β-硅酸二钙为主。赤泥的主要化学成分见表 1。

表 1 赤泥的主要化学成分

表 1 赤泥的主要化学成分								%
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	灼碱
20.5~25.9	2.64~7.30	6.40~9.20	36.0~45.6	2.40~3.21	0.20~0.77	5.00~9.02	1.50~2.05	8.00~16.3

基金项目: 贵阳市科技计划项目(2008 筑科工合同字第 30 号)

收稿日期: 2008-09-11

作者简介: 石莉, 女, 1983 年生, 陕西咸阳人, 硕士研究生。地址: 贵州省观水路 46 号, 电话: 0851-5890332, E-mail: dhshili2005@126.com。

赤泥的化学成分会随着堆积时间长短而变化。因为赤泥在堆积过程中与水、空气等接触发生反应或是它自身的一些成分发生化学反应,使其化学组成发生变化。同时水的侵蚀也会带走一些成分^[5]。

中铝贵州分公司是贵州省内最大的氧化铝生产企业,其赤泥在贵州省内具有很好的代表性。该厂产生的赤泥中80%属拜耳法赤泥,20%属烧结法赤泥。随着近年来对低品位铝土矿的利用以及资源综合利用程度的深入,一部分拜耳法赤泥被用作烧结法氧化铝生产的配料使用,使得烧结法赤泥的比例逐步增大。因烧结法赤泥具有胶凝性和后期强度较高的特点,在中铝贵州分公司的赤泥堆场中用作赤泥堆存坝库的建库用材,剩余堆存现象不多,因此需要重点解决的是拜耳法赤泥的处置与利用问题。

表2 中铝贵州分公司拜耳法赤泥化学成分 %

CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	SiO ₂	Re ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	烧失量
30.69	3.21	24.38	0.31	13.18	0.19	6.50	4.10	14.00

从表2和表1的对比可以看出,贵州铝厂的赤泥化学成分含有锆等稀土元素。虽然含量不是特别高,但造成了赤泥的放射性,给赤泥回收带来问题。

1.2 赤泥的物理特性

赤泥具有胶结的孔架状结构,主要由结构-凝聚体、结构-集粒体、结构-团聚体三级结构构成。三者之间形成了凝聚体空隙、集粒体空隙、团聚体空隙。这使赤泥具有较大的比表面积,而且以大小相差悬殊、变化幅度大为其明显特征。同时赤泥具有高压缩性、低抗剪强度。赤泥含水量大,在震动时失水量为4.7%~14.9%,震动后剩余水为72.0%~81.3%,二者构成了赤泥79%~93%的大持水量。表3是山东铝业公司赤泥的主要物理性质^[6]。

表3 赤泥的主要物理性质

含水率 /%	体积质量 /(g/cm ³)	密度 /(g/cm ³)	pH值	细度(小于 200目)/%	塑性 指数
12	0.94	2.82	11	82	16

1.3 赤泥的矿物组成

赤泥中含有的矿物主要来源于熟料高温反应形成的不溶性矿物和溶出过程水化、水解产生的衍生物、水合物以及二次副反应形成的新生矿物^[7]。其中主要矿物是方解石、赤铁矿、针铁矿、β-硅酸二钙等硅酸盐和硅铝酸盐以及原矿中没有反应的矿物。同时赤泥的物相也随产地和生产工艺的不同而变化。

2 赤泥的应用

2.1 赤泥建坝

赤泥建坝是我国早期处理赤泥的主要方式,由于建坝不但减少堆场建设费用,而且吃渣量大,工艺简单。赤泥不但含有β-硅酸二钙等水硬性成分,具有一定固化能力外,还能与其它一些物质反应,增强固化能力。张华英^[8]对建坝赤泥的促凝和固化原理进行了研究,不仅研究了石膏、无水氯化钙、六偏磷酸钠、铁氰化钾和硫氰酸钾对赤泥的促凝机理,还分别对石灰、粉煤灰、石膏和碳酸钙对赤泥的固化进行了研究。这些都表明赤泥本身或在一定的促凝剂和胶凝剂的作用下能达到建坝所要求的力学性能。在干燥和固化过程除能形成筑坝所需的机械强度外,还会产生一定的抗渗能力。乔英卉^[9]对拜耳法赤泥与烧结法赤泥混合堆坝的研究表明,混合赤泥坝有较好的抗渗性,比黏土坝有更高的抗剪切强度,建坝高度能超过黏土坝。

2.2 赤泥做路基材料

由于赤泥具有一定的固化性质和价格优势,还常用来做路基材料。赤泥有一定的碱性,对粉煤灰有一定的激活能力,常与粉煤灰等混合使用。齐建召^[10]等利用粉煤灰和石灰作固化材料加入赤泥来做路基材料,其实验表明,按m(赤泥):m(粉煤灰):m(石灰)=80:10:10配比混合而成的赤泥道路基层材料强度可满足高等级公路的要求,并且超过传统半刚性基层回弹模量标准范围,有较好的冻稳定性和干缩、温缩性。由于主要由工业废渣赤泥和粉煤灰组成,所以可大大降低筑路成本,而且变废为宝,有较好的社会效益。

2.3 利用赤泥生产水泥

2.3.1 烧结赤泥生产普通硅酸盐水泥

利用赤泥可以生产多种型号的水泥^[11-12]。由于烧结法赤泥在矿物组成上与硅酸盐水泥类似,可将其同适量石灰石、砂岩等混合制备水泥生料^[13]。从物相上来看,赤泥含有大量的β-硅酸二钙,是水泥的主要物相之一,在生产水泥熟料时能起晶种的作用。赤泥的添加对降低能耗,提高水泥的早期强度和提提高抗硫酸盐侵蚀能力有一定的贡献。但由于赤泥中碱含量太高,影响水泥的性能,用量常常不大,需要对赤泥进行脱碱处理,在一定程度上限制了赤泥在普通硅酸盐水泥中的应用。

我国山东铝厂在20世纪60年代初建成了综合利用赤泥的大型水泥厂,利用烧结法赤泥生产普通硅酸盐水泥,水泥生料中赤泥配比年平均为20%~38.5%,水泥的赤泥利用量200~420 kg/t,产出赤泥的综合利用率30%~55%^[14]。为解决堆存赤泥的综合利用问题,山东铝厂利用赤泥本身抗硫酸盐侵蚀性能强的特点,又以烘干赤泥作混合材,进行了抗硫酸盐型赤泥水泥的试验,并于20世纪70年代实现工业规模生产。但由于赤泥含碱量高,赤泥配比受水泥含碱指标制约。为了更好地利用赤泥生产水泥,山东铝业公司完成的国家“八五”科技攻关

项目“常压氧化钙脱碱与低碱赤泥生产高标号水泥的研究”和“低浓度碱液膜法分离回收碱技术”,提高了赤泥配比,使赤泥配料提高到45%。并提高了水泥质量,由以生产32.5级普通水泥为主,提高到以生产42.5级水泥为主,为氧化铝生产赤泥废液零排放创造了条件。

2.3.2 固化赤泥生产碱矿渣赤泥水泥

潘志华等^[5]就赤泥与矿渣质量比为30:70的体系进行了研究,当固体水玻璃的模数为1.2,水玻璃掺量以 Na_2O 计为3%时,激发效果最佳,水化3d后试样已经发生了明显的反应,此碱-矿渣-赤泥水泥的28d净浆抗压强度可达67MPa,并且具有早强的特性。岳云龙等还进一步研究了不同碱激发剂以及赤泥的用量对碱矿渣水泥强度的影响,确定了以硅酸钠和石膏作为复合激发剂,并且掺量分别为3%和5%时碱矿渣水泥的强度最高。赤泥对碱矿渣水泥强度的影响是当赤泥掺量小于10%时,强度降低幅度不大;掺量超过10%后,强度降低较多;但超过20%后强度降低趋势减小曲线趋于平缓。这些研究表明了赤泥引入到碱矿渣水泥中,能使其在性能上有所提高,并且有如下的优点:(1)赤泥含有一定的碱,能在一定程度上激发矿渣的活性时减少碱的用量;(2)赤泥能解决碱矿渣水泥在水硬过程中的强度倒缩;(3)赤泥中含有 β -硅酸二钙等水硬性物质对水泥的硬化强度有一定的贡献。同时用于生产碱矿渣水泥的赤泥无须进行脱碱处理而直接应用于水泥生产,与用于生产普通硅酸盐水泥相比有很大的优势,前景也更好。

2.4 利用赤泥生产各种砖

2.4.1 赤泥粉煤灰免烧砖

王梅等^[6]通过对赤泥免烧砖的可行性研究及多次试验和求证,最终于2004年在中铝山东企业分公司建成了年产2000万块免烧砖的生产线,运行后,每年产生的经济效益达到450万元。

赤泥、粉煤灰2大废渣,其化学成分与物理性能类似于黏土,利用赤泥、粉煤灰、黏土、石灰石4组分配料,经成型、烧成试制的多孔砖,性能指标达到GB 13544—92《烧结多孔砖》标准要求。烧制的砖样颜色呈淡黄色,外观质量很好,强度比普通砖高一二个等级,可替代清水砖使用。

2.4.2 赤泥粉煤灰烧结砖

赤泥由于其粒度细、质软,有较强的塑性,其物理性质与黏土相似,可替代黏土用于烧结砖生产,坯料有良好的成型性能。同时,由于其碱性氧化物含量高,熔点较低,在高温时其微粒表面形成部分熔融状态,互相粘连并促进各矿物成分的反应,使新的矿物与生成物迅速结晶长大,在坯体内形成网络结构,从而具有较高的产品强度。根据赤泥的化学成分及物

理性质初步分析认为:赤泥既有成型塑性,又有高温烧结性,可以与粉煤灰配料生产出合格的烧结砖。将赤泥、粉煤灰混合料进行均化处理,采用大吨位液压砖机半干法模压成型,然后入窑,一次码烧。

2.4.3 黑色颗粒料装饰砖

Nevin Y和Vahdettin S^[7]使用主要矿物为三水铝石、方解石和赤铁矿的赤泥生产出黑色颗粒料装饰砖。从其组成成份看具有较强的黑色着色能力。将所选取赤泥进行湿法球磨,由于赤泥用量加大,其原料中含有的 Fe_mO_n 较多,所以会产生铁污染。为了制备呈色纯正、价格低廉的黑色颗粒装饰砖,要很严格的控制烧结温度和气氛。因为Fe离子价态随温度、气氛变化而变化,且不同的价态呈现不同的颜色,为了制备出黑色,选取还原气氛下进行烧成试验^[8]。

2.4.4 陶瓷釉面砖

利用赤泥生产釉面砖,以赤泥为主要原料,取代传统的陶瓷原料,降低了原材料成本的同时也具有极大的环保意义。其主要生产工艺过程为:原料→预加工→配料→料浆制备(加稀释剂)→喷雾干燥→压型→干燥→施釉→煅烧→成品^[9]。

2.5 利用赤泥生产微晶玻璃

2.5.1 赤泥透辉石相微晶玻璃

利用赤泥制备微晶玻璃,国内早有报道,研究主要集中在赤泥微晶玻璃的组成范围,以赤泥为主要原料,添加铬矿渣、石英砂、工业纯碱、长石等可制得以透辉石为主晶相的,具有较高耐磨、耐腐蚀性以及良好机械强度的微晶玻璃^[10]。

2.5.2 赤泥钙铝榴石晶相微晶玻璃

利用赤泥其主要物相为方解石、霞石和少量 $\beta\text{-C}_2\text{S}$,且大多呈团聚粒子,加入石英砂和硼砂,以赤泥中高含量CaO和 SiO_2 为主要原料(添加量达65%),采用烧结法制备了主晶相为钙铝榴石的微晶玻璃。烧结法制备微晶玻璃的工艺流程为配料→熔制→淬冷→粉碎→成形→烧结。其主要是利用缺陷成核,即利用玻璃在分界面易于核化的特点。成核过程属于非均匀成核,晶界和相界面的存在降低了界面能,使晶核形成速率加快,降低了整个过程的自由能,因此更易于成核,且不必使用晶核剂。研究表明,热处理温度为900℃(1h)和1105℃(2h)时微晶玻璃的晶相含量较高,晶体生长较好。微晶体呈放射状排布,微晶玻璃的物理性能最好,密度和显微硬度最大,显气孔率和吸水率最小,性能优于普通微晶玻璃^[21]。

2.5.3 赤泥-粉煤灰微晶玻璃

利用赤泥和粉煤灰2种工业废渣制备微晶玻璃,赤泥的掺量控制在50%以上,2种废渣总掺量可达90%以上。所使用的赤泥中CaO含量在40%以上, SiO_2 含量约为18%,粉煤灰

中 SiO_2 含量约为 49%, CaO 的含量仅为 6.6%, 两者恰好形成成分互补, 保证了基础玻璃中 SiO_2 和 CaO 的含量范围, 实现了废渣的高掺量综合利用。另外, 加入少量 TiO_2 作为晶核剂, 加入少量工业纯碱作为助熔剂, 制备出高附加值的微晶玻璃。其最佳核化温度约为 697 $^{\circ}\text{C}$, 最佳晶化温度约为 950 $^{\circ}\text{C}$ 。玻璃主晶相为钙铁透灰石 [$\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$], 次晶相为钙铝黄长石 ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), 主晶相和其它次晶相均匀分布在玻璃基体中, 形成致密的微晶结构^[2]。

2.6 赤泥生产琉璃瓦

赤泥的物理性质和黏土类似, 有“亚黏土”之称, 可部分代替黏土生产琉璃瓦。以 $m(\text{赤泥}):m(\text{黏土})=7:3$ 的比例配料, 经过粉碎、配料、球磨、陈腐、真空练泥、施以铁红色料和红铅釉烧结等工艺可制备红色琉璃瓦。用这种方法可生产吸水率低、烧成收缩小的红色琉璃瓦, 在生产过程中, 由于配料中含有较多钾、钠、钙等碱分, 促使坯体烧结, 实现低温一次烧成, 加之泥料中铁含量较多, 烧成后坯体为红色, 还促使釉料显色^[23]。

3 回收问题及其拟解决方案

贵州省铝土矿中的放射性元素, 在氧化铝生产过程中约 90% 以上富集在赤泥中。使得拜耳法赤泥和烧结法赤泥的放射性剂量浓度和其产生的放射性气体中氡子体浓度均较高, 是赤泥在大规模应用于建材等领域的一个主要障碍。

根据中国科学院地球化学研究所对贵州、山东、河南三大铝厂赤泥放射性的研究表明, 贵州黔中铝土矿冶炼过程排放的赤泥中, 钍、铀、钾 40、镭的含量均比山东、河南高很多, 其放射性危害也更为突出。山东铝厂的赤泥放射性比贵州铝厂低很多, 所以得以在建材上大规模应用。因此, 降低贵铝赤泥中放射性当量浓度, 是大规模应用赤泥、发展赤泥建材产品中急需解决的问题。

根据中铝贵州分公司赤泥的特点提出了拟解决方案, 由于中铝贵州分公司拜耳法赤泥中 Al_2O_3 含量大于 20%、 TiO_2 约 5%、 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 约 5%、 ZrO_2 约 0.3%, 此外还含有铈、钼、钒、镓等有用成分, 可以考虑对其进行分离提取, 作为二次资源回收。

中铝贵州分公司的赤泥中放射性高的主要原因是由于该厂所用的贵州铝土矿中独居石和锆英石含量偏高所致。赤泥中钍、铀、镭放射性元素主要也是来自独居石矿物。因此, 如果能对拜耳赤泥中的独居石、锆英石矿物进行有效分离, 就可以降低其放射性当量浓度。回收的独居石和锆英石还有作为二次资源回收的可能性。

4 结语

赤泥开发是一个世界性的难题, 目前赤泥的利用水平还比较低, 特别是在大批量的利用方面。利用赤泥生产水泥、砖、玻璃等建筑材料, 不仅实现了变废为宝, 更重要的是带来可观的经济效益和环境效益。尽管赤泥在建筑材料方面的研究已经相对比较成熟, 但仍然存在许多问题。特别是中铝贵州分公司目前对赤泥的放射性问题依然没有解决, 因此, 对于如何降低贵州赤泥的放射性问题, 仍然是个研究热点。

参考文献:

- [1] 曹瑛, 李卫东, 刘艳改. 工业废渣赤泥的特性及回收利用现状[J]. 硅酸盐通报, 2007(1): 143-145.
- [2] 陈蓓, 陈素英. 赤泥的综合利用和安全堆存[J]. 化工技术与开发, 2006(12): 32-35.
- [3] 王立堂. 赤泥利用的有效途径[J]. 世界有色金属, 1998(8): 45-48.
- [4] 章庆, 庄剑鸣. 赤泥综合利用的现状以及在塑料生产中的应用[J]. 中南工业大学学报, 1993(11): 45-48.
- [5] 贺深阳, 蒋述兴, 汪文凌. 我国赤泥建材资源化研究进展[J]. 轻金属, 2007(12): 37-39.
- [6] 景英仁, 景英勤, 杨奇. 赤泥的基本性质及其工程特性[J]. 轻金属, 2001(4): 20-23.
- [7] 王梅. 赤泥粉煤灰免烧砖的研制[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [8] 张华英. 用于筑坝的赤泥的固化试验研究[D]. 桂林: 桂林工学院, 2005.
- [9] 乔英卉. 拜耳法赤泥与烧结法赤泥混合堆坝的技术研究[J]. 轻金属, 2004(10): 18-20.
- [10] 齐建召, 杨家宽, 王梅, 等. 赤泥做道路基层材料的试验研究[J]. 公路交通科技, 2005(6): 30-33.
- [11] Vincenzo M S, Renzo C. Bauxite red mud in the ceramic industry. Part 1, Part 2: thermal behaviour[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2000, 20: 235-244, 245-252.
- [12] Maneesh S, S N Upadhyay. Preparation of iron rich cements using red mud[J]. Cement and Concrete Research, 1997(7): 1037-1046.
- [13] 刘嫦娥, 李楠, 姜怡娇, 等. 铝工业废渣—赤泥的综合利用[J]. 轻金属, 1997(6): 17-20.
- [14] 任冬梅, 毛亚南. 赤泥的综合利用[J]. 有色金属工业, 2002(5): 57-58.
- [15] 潘志华, 方永浩, 赵成朋, 等. 碱-矿渣-赤泥水泥的研究[J]. 硅酸盐通报, 1999(3): 34-40.

胶粉对混凝土韧塑性的影响研究

刘日鑫, 徐开胜, 高炜斌

(常州工程职业技术学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 介绍经 2 种不同改性剂改性的废橡胶粉对混凝土抗压和抗折强度以及塑性、韧性的影响, 并配合微观电镜照片对其影响机理进行了初步的分析。试验表明, 胶粉加入会降低混凝土的抗压和抗折强度, 但对胶粉进行改性后, 对混凝土强度的影响减弱; 经 KH550 改性的胶粉混凝土较未改性和 NaOH 改性的胶粉混凝土的塑性有较大提高; KH550 改性的胶粉混凝土的最大冲击韧性较未改性和 NaOH 改性的分别提高了 54% 和 16%。

关键词: 废旧胶粉; 橡胶混凝土; 改性; 延伸性; 韧性

中图分类号: TU528.04

文献标识码: A

文章编号: 1001-702X(2009)01-0024-03

Study on influence of rubber powder upon toughness and plasticity of concrete

LIU Rixin, XU Kaisheng, GAO Weibin

(Changzhou Institute of Engineering Technology, Changzhou 213164, Jiangsu, China)

Abstract: Influence of crumb rubber modified with two different modifying agents on compression strength and bending strength, plasticity and toughness of concrete are introduced, and preliminary analysis is made on its mechanism of influence by the aid of electron microscope photograph. The experiments indicate that adding rubber powder will reduce compression strength and bending strength of concrete, but after modification of the rubber powder, its influence on strength of concrete is reduced; the plasticity of rubber concrete modified by KH550 is improved greatly than that of modified by NaOH or without modification. The maximum impact toughness of rubber concrete modified by KH550 is increased 16% and 54% than that of modified by NaOH or without modification respectively.

Key words: crumb rubber; rubber concrete; modification; ductility; toughness

废橡胶轮胎制成颗粒或粉末(以下简称胶粉)是橡胶废物再利用的重要形式。将胶粉加入水泥混凝土中形成的复合材料(橡胶混凝土), 国外早在 20 世纪 80 年代已开始研究^[1-3],

美国在这方面技术比较成熟, 并已在道路、桥梁等工程大量应用^[4-5], 而我国对橡胶混凝土的研究尚处于初始阶段。

本文详细阐述了胶粉对混凝土抗压、抗折强度及塑性和韧性的影响。

收稿日期: 2008-06-04

作者简介: 刘日鑫, 男, 1975 年生, 内蒙古乌盟人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为废弃物资源化。地址: 常州市常州工程职业技术学院材料系中 504, 电话: 15861841004, E-mail: liurixinkm@yahoo.com.cn。

1 试验

1.1 原材料

水泥: 滇娥牌 32.5 级普通硅酸盐复合水泥, 28 d 抗压强

[16] 王梅, 杨家宽, 侯健. 赤泥粉煤灰免烧免蒸砖的原料与制备[J]. 矿物综合利用, 2005(4): 30-34.	[20] 徐晓虹, 钟文波, 吴建锋, 等. 用工业废渣赤泥研制微晶玻璃[J]. 玻璃和搪瓷, 2006(2): 28-31.
[17] Nevin Y, Vahdettin S. Utilization of bauxite waste in ceramic glazes[J]. Ceramics International, 2000, 26: 485-490.	[21] 邢净, 李金洪, 张凯. 利用赤泥制备钙铝榴石微晶玻璃的实验研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007(2): 181-184.
[18] 张培新, 阎加强. 赤泥制作瓷质砖黑色颗粒料的研究[J]. 矿产综合利用, 2000(3): 41-44.	[22] 杨家宽, 张杜杜, 侯健, 等. 赤泥-粉煤灰微晶玻璃晶化行为研究[J]. 材料科学与工艺, 2005(6): 616-619.
[19] 姜怡娇, 宁平. 氧化铝厂赤泥的综合利用现状[J]. 环境科学与技术, 2003(1): 40-41.	[23] 汪文凌. 利用赤泥制备琉璃瓦[J]. 山东陶瓷, 2006(4): 30-31.

