

利用湖泊底泥和粉煤灰制备瓷质砖的实验研究

梁启斌, 周俊, 王焰新

中国地质大学环境学院, 湖北武汉 430074

摘要: 将湖泊底泥引入瓷质砖的生产, 既可消除污染, 又能减少传统的瓷质砖生产中所需的粘土。以武汉市东湖底泥和湖北黄石电厂粉煤灰为主要原料, 辅以伟晶花岗岩、石英为添加剂, 设计4个底泥含量分别为40%、50%、60%和70%的配方, 每一配方压制6片生坯, 分别在1190、1175、1160、1130、1115和1100℃下烧成。XRD分析显示瓷坯中的莫来石晶相随烧成温度的升高而增加。在1160~1175℃烧成的瓷坯的吸水率和断裂模数测试结果分别为0.08%~0.20%和39.36~51.08 MPa, 表明利用湖泊底泥和粉煤灰作为主要原料可以烧制瓷质砖, 二者的总用量可达75%~80%。

关键词: 东湖; 湖泊底泥; 粉煤灰; 瓷质砖。

中图分类号: X703.1

文章编号: 1000-2383(2004)03-0347-05

收稿日期: 2003-11-03

Experimental Studies on Porcelain Brick Preparation Using Lake Bottom Sediments and Coal Fly Ash

LIANG Qi-bin, ZHOU Jun, WANG Yan-xin

School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The exploitation of lake bottom sediments as raw materials of porcelain brick is believed to be profitable, eliminating the water pollution and reducing the consumption of clays employed in traditional brick industry. Porcelain bricks were prepared using the bottom sediments from the East Lake in Wuhan and coal fly ash from Huangshi in Hubei as main raw materials, and granitic pegmatite and quartz as additives. Four mix-designs with 40%, 50%, 60% and 70% of the bottom sediments were tested under different sintering temperatures ranging from 1100 to 1190 °C. XRD analysis indicates that the content of mullite in the porcelain bricks increases with the sintering temperature. The water absorption, rupture modulus of all porcelain bricks of the samples sintered at 1160 and 1175 °C are respectively 0.08%–0.20% and 39.36–51.08 MPa. The results show the practicability to produce porcelain bricks using lake sediment and coal fly ash with a sum of 75%–80%.

Key words: East Lake; substrate sediment; coal fly ash; porcelain brick.

湖泊底泥是湖泊生态系统的重要组成部分, 是水土界面物质交替的过渡带, 当湖泊外部污染源得到控制后, 含有大量污染质的底泥常成为湖泊水体的主要污染源。目前, 国内治理湖泊底泥污染主要采用环境疏浚技术(如太湖、滇池等), 这是一项新兴的以机械手段直接清除底泥的工程技术。疏浚出来的底泥, 通常被作为固体废弃物堆放在贮泥场中(汤承彬, 1998; 刘鸿亮等, 1999; 陈异晖等, 2002)。该法不但占用大量土地, 还对环境产生二次污染, 例如, 雨

水对底泥堆的冲刷、淋滤可导致土壤、地下水的污染(汤承彬, 1998)。因此, 开发经济、合理、不会导致二次污染的底泥资源化处理技术, 已成为环保领域的重要课题。目前, 底泥资源化技术主要有: 制造轻质砖、陶粒、水泥以及有机肥料等(王中平和徐基璇, 1999; 杨磊等, 2000; 刘贵云和姜佩华, 2002; Canet *et al.*, 2003), 而利用底泥制备瓷质砖的研究尚未见报道。

利用湖泊底泥替代粘土制备瓷质砖, 一方面, 可

表 1 原料的化学成分

Table 1 Chemical compositions of raw materials

$w_B/\%$

化学成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	I·L
东湖底泥	56.91	14.68	5.89	0.81	1.93	1.20	2.19	0.73	14.48
黄石粉煤灰	55.28	26.30	5.04	1.08	3.42	0.89	1.92	0.28	5.28
伟晶花岗岩	76.22	12.42	1.48	0.13	0.65	0.25	4.72	2.97	0.90
石英砂	99.98	0	0	0	0	0	0	0	0.02

以利用瓷质砖烧结过程的高温分解底泥中的难降解有机物、营养成分,并将重金属固结在瓷坯中,从而消除底泥带来的二次污染(陈华林和陈英旭,2002; Ferreira *et al.*, 2003);另一方面,以底泥替代粘土生产瓷质砖,可以减少粘土的使用量,节约粘土资源。

本研究通过实验探索利用湖泊底泥和粉煤灰共同作为主要原料制备瓷质砖的可能性及其工艺参数。

1 实验

1.1 实验原料及其预处理

本实验所用的底泥样品采自武汉市东湖的双湖桥水域,由于周边大量的生活污水和工业废水排入,导致该水域的水体和底泥受到污染,已成为东湖污染最严重的区域,底泥样品呈黑色,含水率可达 80% 以上(吕斌等,2002),还含有大量动植物残骸。将底泥过 20 目筛,去除动植物残骸,筛下的泥浆在露天自然晾干备用;粉煤灰采自湖北黄石电厂,该厂采用湿排灰,故含碳量较高,颗粒较粗。将粉煤灰样品过 80 目筛,去除大颗粒杂质,再置于烘箱于 110 ℃ 烘干备用。

对预处理后的底泥和粉煤灰进行化学成分分析(表 1),底泥和粉煤灰中的铁含量(TFe₂O₃)均在 5% 以上,将极大地影响成品色泽;并且底泥的烧失量非常大,高达 14.48%。利用德国 NETZSCH 公司的 STA 449C 热分析—质谱仪对底泥进行差热、热重分析(图 1)。结果显示,在 215 ℃ 以内,热失重仅为 2.56%,由于有机质不可能在这样的低温下分解,所以,该失重值应为底泥中的吸附水含量;在 215~600 ℃ 间,热失重达 9.41%。但是从 DTA 曲线来看,无明显的吸热谷,只有持续的放热,说明该热失重值主要是由有机质分解减量所贡献的。因此,可以认为底泥中的烧失量除少量的水分之外,主要是有机质造成的。

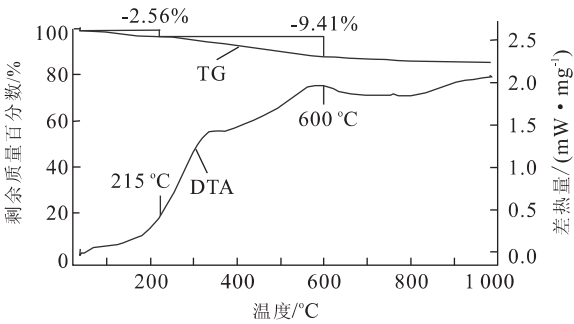


图 1 东湖底泥的差热、热重曲线

Fig. 1 DTA and TG curve of the East Lake sediments

1.2 配方

为了试验底泥和粉煤灰的掺加量,在配方中,将底泥的含量由 40% 逐渐增至 70%,粉煤灰的含量逐渐减少,但使 2 种固体废物的总量保持在 75%~80% 之间。再添加适量的伟晶花岗岩和石英砂(化学成分见表 1),以调整配方中的化学组成。根据所用原料的配比及各原料的化学成分,算出各个配方的理论化学组成(表 2)。配方中,熔剂成分 K₂O 和 Na₂O 的含量偏低,但含量高达 4.27%~4.82% 的 TFe₂O₃ 可起熔剂作用,以弥补其不足。

1.3 工艺流程

(1)配料球磨:按照配方,将各原料配成混合料,入球磨机,加混合料干重 80% 的水,湿法球磨 2 h,过 240 目筛,筛余 < 1%;(2)掺水造粒:浆料于 110 ℃ 烘干,辊压破碎,按混合料质量的 8% 掺加水,制成粉料,放置陈腐 2 d;(3)制坯:利用 20 MPa 的压力将各个配方原料压制成 35 mm×60 mm 的生坯各 6 片;(4)烧成:每一配方分别采用 1 190, 1 175, 1 160, 1 130, 1 115, 1 100 ℃ 烧成。升温制度根据差热曲线(DTA)确定,通过对配方 P-3 的 DTA 分析(图 2)可知,在 149~750 ℃ 之间,生坯中有机质不断分解,放出热量,特别是在 671.5 ℃ 处,有机质分解尤为剧烈,出现放热峰。因此,在 149~750 ℃ 间的升温速度不宜过快,在 670 ℃ 时还需保温一段

表 2 底泥和粉煤灰的掺加量及各配方的理论化学组成

Table 2 Content of lake sediment and coal fly ash, and theoretical chemical compositions of mix-designs $w_B/\%$

编号	底泥	粉煤灰	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	I·L
P-1	40	35	64.73	16.32	4.27	0.72	2.03	0.82	2.02	0.69	7.73
P-2	50	25	64.42	15.41	4.38	0.69	1.90	0.85	2.14	0.79	8.67
P-3	60	20	62.82	15.31	4.69	0.72	1.91	0.92	2.17	0.79	9.84
P-4	70	10	62.27	14.52	4.82	0.69	1.78	0.96	2.34	0.93	10.78

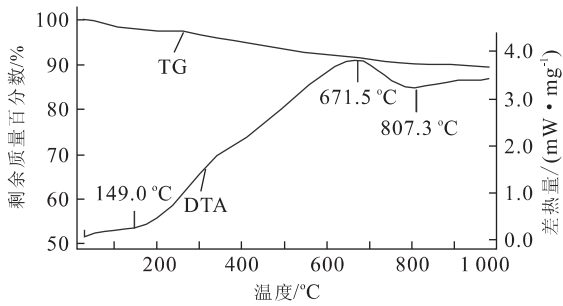


图 2 配方 P-3 的差热、热重曲线
Fig.2 DTA and TG curve of P-3 mix-design

时间,以使有机质充分氧化.此外,在 750~850 ℃ 之间开始产生脱水反应,出现吸热谷,也需缓慢升温.

1.4 性能测试

按照国家标准 GB/T4100.1—1999 所述的测试方法,对瓷坯的吸水率和断裂模数进行测试.利用日本 Rigaku 公司的 D/Max3B 衍射仪对底泥含量为 60% 的生坯在 1 115,1 130,1 160 和 1 175 ℃ 烧成的瓷坯进行物相分析.

2 结果与讨论

2.1 实验结果

本次实验瓷坯配方中,熟坯的颜色随着烧成温度的上升,呈浅红—暗红—紫砂系列的变化趋势,其主要物理性能指标吸水率和断裂模数的测量结果见表 3.当底泥含量过高(配方 P-4),会出现如下问题:

- (1)生坯在 110 ℃ 干燥时,由于水分蒸发,而使生坯内部由于干燥收缩不均匀而产生内应力,从而导致了部分生坯在干燥阶段就出现了局部开裂现象;这一原因在瓷坯烧结过程中,也会因较大的收缩而开裂,因此,熟坯的开裂现象也较严重.
- (2)由于底泥还含有较多的有机质,而这些有机质在低温阶段不能完全分解,故在高温烧结阶段,当大部分气体通道因熔剂的熔融而阻塞后,残留的有机质可能与铁产生化学反应,释放出气体,而使坯体

严重鼓泡,气泡的产生导致了瓷坯机械强度的下降,手折即断.

因此,P-4 明显不适宜做瓷质砖的配方,故未对其进行吸水率和断裂模数测试和研究.

2.2 吸水率和断裂模数

吸水率和断裂模数是反映瓷质砖性能的 2 个重要指标,前者反映瓷坯结构致密度,而后者反映出瓷坯机械强度.本次实验中,在相同烧成温度下,从配方 P-1 至 P-3,随着底泥含量的增加,瓷坯吸水率逐渐降低、断裂模数逐渐升高(表 3,图 3,4).这是因为底泥中铝含量较低,随着底泥含量的增加,整个配方的 Al₂O₃ 含量呈递减趋势,而熔剂成分 K₂O 和 Na₂O 则呈递增趋势(表 2),在两者综合作用下,底泥含量高的配方表现出更容易瓷化.另一方面,对于相同配方,吸水率随烧成温度的增加而呈先降低再上升的趋势(图 3),而断裂模数则先变大再变小(图 4).其原因在于,在低温烧成时,坯体未完全烧结,结构疏松,吸水率较高,断裂模数偏小,极易折断,表现为欠烧.随着烧成温度的升高,瓷坯变得越来越致密,吸水率下降,坯体中的莫来石晶体逐渐增多(图 5),增加了坯体的强度,断裂模数增大,最终达到瓷质砖的有关国家标准(吸水率<0.5%、断裂模数>35 MPa).但不同底泥含量的瓷坯的吸水率和断裂模数达标的温度下限不同,例如,配方 P-1 在 1 160 ℃ 时吸水率才不足 0.5%,而 P-3 在 1 115 ℃ 就能达到 0.44%;当烧成温度进一步增加时,坯体起泡膨胀,断面呈明显的多孔疏松结构,吸水率上升、断裂模数变小,易折断,表明坯体发生了不同程度的过烧.

2.3 晶相组成

图 5 是配方 P-3 在 1 115,1 130,1 160,1 175 ℃ 烧成的样品的 XRD 图谱.从图 5 中可知,在 1 115 ℃ 时,莫来石晶体较少,而石英晶体较多.但随着烧成温度升高,莫来石晶体的含量逐渐增多,到 1 175 ℃ 时,莫来石晶体含量最多.

2.4 烧结温度范围

根据吸水率、断裂模数、晶相组成等测试结果进

表 3 配方 P-1、P-2 和 P-3 瓷坯的吸水率和断裂模数

Table 3 Water absorption and rupture modulus of porcelain bricks of P-1, P-2 and P-3 mix-designs

烧成温度/℃	P-1		P-2		P-3	
	吸水率/%	断裂模数/MPa	吸水率/%	断裂模数/MPa	吸水率/%	断裂模数/MPa
1 100	8.57	11.64	6.19	27.87	3.60	31.36
1 115	5.12	27.64	2.04	39.02	0.44	38.69
1 130	3.43	29.83	0.99	33.11	0.31	44.66
1 160	0.20	39.36	0.08	50.39	0.18	44.70
1 175	0.14	50.11	0.12	51.08	0.19	46.71
1 190	0.98	32.50	2.90	28.74	6.14	23.89

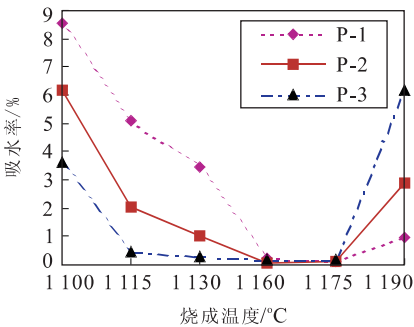


图 3 配方 P-1、P-2 和 P-3 烧成瓷坯的吸水率随温度变化曲线

Fig. 3 Water absorption curves of porcelain bricks of P-1, P-2 and P-3 mix-designs relating to temperature

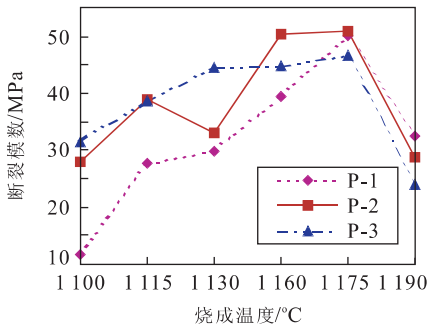


图 4 配方 P-1、P-2 和 P-3 烧成瓷坯的断裂模数随温度变化曲线

Fig. 4 Rupture modulus curves of porcelain bricks of P-1, P-2 and P-3 mix-designs relating to temperature

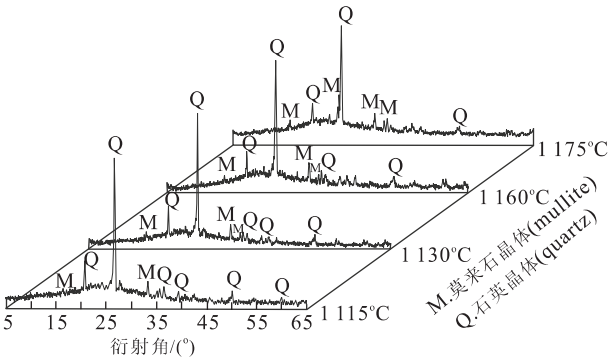


图 5 配方 P-3 在 1 175、1 160、1 130 和 1 115 °C 烧成的瓷坯 X-射线衍射图谱(XRD)

Fig. 5 XRD pattern of porcelain bricks of P-3 mix-design sintered at 1 175, 1 160, 1 130 and 1 115 °C

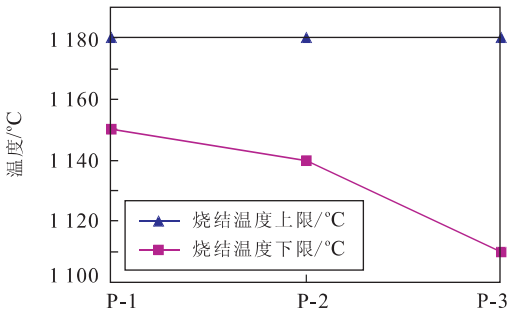


图 6 配方 P-1、P-2 和 P-3 的烧结温度范围

Fig. 6 Sintering temperature range of P-1, P-2 and P-3 mix-designs

行综合分析,得出配方 P-1、P-2 和 P-3 的烧成温度范围(图 6). P-1 的烧成温度范围较窄,约为 1 150~1 180 °C;P-2 的稍宽,约为 1 140~1 180 °C;而 P-3 的烧结温度范围最大,约在 1 110~1 180 °C 之间.由此可见,在本实验条件下,适宜的底泥用量为 50%~60% 之间.但最值得关注的是配方 P-3,其底泥含量不仅高达 60%,而且烧结温度范围又宽达 60 °C,完全可以满足工业化生产对烧结温度范围的

要求,是较佳配方.

3 结论

(1)利用东湖底泥和粉煤灰作为主要原料,辅以伟晶花岗岩和石英添加剂,可以烧制出吸水率、断裂模数达到国家有关质量标准的瓷质砖,瓷坯的颜色呈浅红—暗红—紫砂系列;(2)当底泥含量高达 70%时,容易出现生坯开裂、高温起泡等缺陷;而底

泥含量为40%的配方,生坯强度低、成型较难,烧结温度范围窄,生产中难以控制,故配方范围在50%~60%之间;(3)底泥含量为60%的配方,成品性能好,烧成温度范围较宽,约在1110~1180℃间,是较佳的配方组成。

References

- Canet, R., Chaves, C., Pomares, F., et al., 2003. Agricultural use of sediments from the Albufera Lake (eastern Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95: 29—36.
- Chen, H. L., Chen, Y. X., 2002. Progresses of remediation techniques for polluted sediment. *Agri-environmental Protection*, 21(2): 179—182 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. H., He, L. P., Zhao, X. H., 2002. Technology on environmental dredging engineering for pollution sediment in Xingyun Lake. *Yunnan Environmental Sciences*, 22(2): 47—50 (in Chinese with English abstract).
- Ferreira, C., Ribeiro, A., Ottosen, L., 2003. Possible applications for municipal solid waste fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 96: 201—216.
- Liu, G. Y., Jiang, P. H., 2002. Study on importance and approaches to the reutilization of river sediment. *Journal of Donghua University*, 28(1): 33—36 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., Jin, X. C., Jing, Y. F., 1999. Environmental dredging technology of lake sediment. *Engineering Science*, 1(1): 81—84 (in Chinese with English abstract).
- Lü, B., Yang, K., Hong, H. Q., et al., 2002. Research on dehydration of the East Lake. *China Water & Waste-water*, 19(5): 56—58 (in Chinese).
- Tang, C. B., 1998. Analysis on the influence of bed-mud storage of Dianchi Lake on the underground water. *Yunnan Environmental Sciences*, 17(2): 31—34 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. P., Xu, J. X., 1999. Utilization of bottom sediment in Suzhou creek for producing ceramisite. *Journal of Building Materials*, 2(2): 176—181 (in Chinese with English abstract).
- Yang, L., Hu, S. Y., Zhang, X., et al., 2000. Research of technical for producing cement clinker with the sludge of Suzhou river. *Cement*, (10): 10—12 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈华林, 陈英旭, 2002. 污染底泥修复技术进展. 农业环境保护, 21(2): 179—182.
- 陈异晖, 和丽萍, 赵祥华, 2002. 环境疏浚技术在星云湖的工程化应用. 云南环境科学, 22(2): 47—50.
- 刘贵云, 姜佩华, 2002. 河道底泥资源化的意义及其途径研究. 东华大学学报, 28(1): 33—36.
- 刘鸿亮, 金相灿, 荆一凤, 1999. 湖泊底泥环境疏浚工程技术. 中国工程科学, 1(1): 81—84.
- 吕斌, 杨开, 洪汉清, 等, 2002. 东湖底泥的脱水性能试验研究. 中国给水排水, 19(5): 56—58.
- 汤承彬, 1998. 草海底泥堆放对地下水的污染分析. 云南环境科学, 17(2): 31—34.
- 王中平, 徐基璇, 1999. 利用苏州河底泥制备陶粒. 建筑材料学报, 2(2): 176—181.
- 杨磊, 胡士跃, 张雄, 等, 2000. 利用苏州河底泥生产水泥熟料技术研究. 水泥, (10): 10—12.