

污泥渗水砖的制备研究

于衍真 管丽攀 赵春辉 冯岩

(济南大学土木建筑学院, 济南 250022)

摘要 结合压制成型和传统的烧结砖工艺, 实验以城市生活污水泥、黄河淤泥、煤矸石及砂为原料, 制备渗水铺地砖。通过正交试验得到最优工艺参数为 $w_{(\text{黄河淤泥})} : w_{(\text{煤矸石})} : w_{(\text{污泥})} : w_{(\text{砂})} = 33\% : 22\% : 15\% : 30\%$ 、成型压力为 20 MPa、烧结温度为 1 100 ℃、保温时间为 1.5 h, 骨料砂的粒径为 1~2 mm。制备的成品抗压强度为 21.8 MPa, 渗水系数为 $1.03 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。并对成型压力及烧结温度对渗水砖抗压强度及渗水系数的影响进行了讨论。

关键词 污泥 抗压强度 渗水系数

中图分类号 X705 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2008)12-1691-04

Investigation on producing water permeable bricks with sludge

Yu Yanzhen Guan Lipan Zhao Chunhui Feng Yan

(School of Civil Engineering and Architecture, Jinan University, Jinan 250022)

Abstract Based on taking shape in pressure and traditional fired bricks process, water permeable bricks were produced with municipal sewage sludge, Yellow River sludge, coal gangue and sand which used in coarse aggregate. Through orthogonal test and range analysis, it was concluded that 15% sludge, 33% Yellow River sludge, 22% coal gangue and 30% sand in grain size of 1~2 mm under a molding pressure of 20 MPa and a sintering condition of 1 100 ℃ for 1.5 h could generate a brick with a compressive strength of 21.8 MPa and a permeability of $1.03 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$. Then the effects of forming pressure and sintering temperature on compressive strength and water penetration ration were discussed.

Key words sludge; compressive strength; permeability

随着城市化进程的加快, 城市污水污泥急剧增加。我国城市污水厂每年排放的干污泥为 30 万 t, 折合湿污泥为 750 万 t(以含水率为 96% 计), 并且每年的增长率大于 10%。如果污泥处置不当, 本来从污水中分离出来的污染物又会以各种形式回到环境中去, 投巨资兴建和运行的污水处理厂也就丧失了本来的意义。另一方面, 现代城市的地表被钢筋混凝土房屋、各种不透水设施所覆盖, 使得大气降水难以及时渗入地下, 地表径流增大, 同时不透水的场地、路面具有蓄热性, 缺乏呼吸性和雨雪渗透性, 从而加剧了气候的劣化, 形成“热岛效应”以及排水不足造成内涝、城市地表沉降等环境问题。与此同时, 渗水性铺装材料的出现, 使我们看到了其潜在的市场竞争力。多孔渗水砖作为一种环境材料^[1], 应用于道路、广场的铺设, 可以使部分降水渗入地下, 减少地表径流, 从而能较好地解决上述问题。

若能够利用城市污泥制取渗水砖, 可提高污泥的附加值, 减轻污泥造成的环境负担, 产生很好的经济效益、社会效益和环境效益。本研究利用城市污

泥制取渗水铺地砖。

1 实验原料

(1) 城市污泥: 取自光大水务(济南)有限公司二厂污泥脱水车间。污泥物化分析的结果见表 1。

表 1 污泥物化分析结果

Table 1 Physico-chemical analysis of sludge

项目	含量(%)	项目	含量(%)	项目	含量(%)
含水率	68.39	SiO ₂	30.76	Fe ₂ O ₃	2.18
灰分	73.79	CaO	5.44	Al ₂ O ₃	1.01
有机质	26.71	MgO	1.83	烧失量	53.66

由表 1 可以看出, 污泥中有机质占到 26.71%, 当烧结温度一定时, 有机质燃烧挥发, 产生大量气孔, 起到成孔剂的作用。而污泥中无机物成分含量与粘土相似, 只是 SiO₂ 的含量相对较低, 这是导致

收稿日期: 2007-12-06; 修订日期: 2008-04-13

作者简介: 于衍真(1957~), 女, 学士, 教授, 主要从事固体废弃物的利用研究。E-mail: cea_yuyz@ujn.edu.cn

污泥烧制品力学性能不好的主要原因。因为从脱水车间得到的污泥含水率仍然较高,因此在使用前先在 105 ~ 110 ℃ 下干燥,后经球磨及筛分处理。

(2)黄河淤泥:取自山东省济南市普利建材厂。由于污泥的可塑性低,因此在制砖原料中选择了黄河淤泥作为粘结剂。黄河淤泥作为治理黄河重要措施之一挖河减淤的主要废弃物,呈红色块状,塑性指数高,干燥收缩大,干后成硬块不易粉碎。使用前经烘干、球磨及过 80 目筛处理。

(3)煤矸石:砖体坯料的发热量一般控制在 1 050 ~ 1 370 kJ/kg 较为适宜。发热量过高,焙烧过程难以控制,制品易发生过烧,导致扭曲变形,影响制品质量,同时也会造成成本的增加。发热量过低,又会增高烧成成本。作为内燃料掺入的煤矸石取自山东省肥城查庄煤矿。使用前经球磨及过 60 目筛处理。加入适量的一定粒度的煤矸石可以起到成孔剂的作用,能改善砖体的渗透性能。

(4)砂:作为粗骨料加入的砂起到砖体骨架的作用。取自济南大学建筑工地,使用前经过筛处理。

2 实验方法

本实验采用半干法压制成型和传统的烧结工艺,实验工艺流程为:原料——混料——困料——成型——干燥——焙烧——成品。

渗水砖原料配比为黄河淤泥 30% ~ 36%,煤矸石 20% ~ 24%,污泥 10% ~ 20%,砂 30%。制备工艺要点如下:将原料按配方称量后先干混,再加适量水湿混均匀,困料 24 h 左右,装入 100 mm × 100 mm × 100 mm 的钢质模具中,在压力机上以不同压力压制成型,脱模后的坯体于 105 ~ 110 ℃ 的干燥箱中干燥 6 h,然后在不同温度下烧结不同的时间,最后随高温炉自然冷却。

3 实验结果与讨论

3.1 渗水砖原料配比与工艺参数的确定

本试验应用正交试验方法分析各工艺参数对污泥渗水砖两大主要性能:抗压强度与渗水系数的影响显著性,以找到污泥渗水砖制备的最佳原料配比及工艺参数。

结合烧结砖及渗水砖的研究现状,影响烧结渗水砖的因素有制砖原料的配比、成型压力、烧结温度、保温时间、骨料粒径及升温速率等,其中前 5 个因素对污泥渗水砖的抗压强度及渗水系数有较大的影响。因此本正交试验选取上述因素为试验因子。同时,固定制砖原料中起粗骨料作用的砂掺量为

30%,只考虑其粒径变化的影响,而黄河淤泥、煤矸石及污泥掺量总量控制在 70%,当污泥掺量发生变化时,黄河淤泥与煤矸石掺量相应发生变化,但其质量比固定为 3:2。各因素与水平的选择具体见表 2。

表 2 正交试验因素与水平选择表

Table 2 Election of element and level in orthogonal test

水平	因 素				
	污泥 (%)	成型压力 (MPa)	烧结温度 (℃)	保温时间 (h)	骨料粒径 (mm)
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
1	20	17	950	0.5	0.3 ~ 0.5
2	18	20	1 000	1	0.5 ~ 1
3	15	25	1 050	1.5	1 ~ 2
4	10	30	1 100	2	2 ~ 3

按正交试验设计方案进行各实验,并采用极差分析法分析各因素影响显著性。正交试验方案及实验结果与极差分析详见表 3 和表 4。

表 3 正交实验方案及实验结果

Table 3 Scheme and results of orthogonal test

试验号	A	B	C	D	E	抗压强度 (MPa)	渗水系数 ($\times 10^{-2}$ cm/s)
1 [#]	1	1	1	1	1	11.8	2.1
2 [#]	1	2	2	2	2	12.0	1.5
3 [#]	1	3	3	3	3	12.1	2.4
4 [#]	1	4	4	4	4	13.5	2.2
5 [#]	2	1	2	3	4	12.6	1.1
6 [#]	2	2	1	4	3	12.3	0.91
7 [#]	2	3	4	1	2	16.3	0.89
8 [#]	2	4	3	2	1	16.1	0.94
9 [#]	3	1	3	4	2	15.95	0.67
10 [#]	3	2	4	3	1	25.2	0.52
11 [#]	3	3	1	2	4	16.3	0.55
12 [#]	3	4	2	1	3	19.1	0.38
13 [#]	4	1	4	2	3	30.3	0.29
14 [#]	4	2	3	1	4	26.2	0.44
15 [#]	4	3	2	4	1	27.8	0.21
16 [#]	4	4	1	3	2	25.0	0.36

由表 4 可知,对抗压强度和渗水系数而言,污泥掺量都是最主要的影响因素,而成型压力则是最次要的影响因素。通过抗压强度和渗水系数 K_i 值的分析可知,抗压强度最佳的影响因素水平组合为 $A_4B_2C_4D_3E_1$,渗水系数的最佳影响因素水平组合为 $A_1B_1C_3D_3E_4$ 。衡量影响渗水砖抗压强度和渗水系数的各工艺参数,结合渗水铺地砖的力学及渗水性要求,最终选定工艺组合为 $A_3B_2C_4D_3E_3$,即 $w_{\text{(黄河淤泥)}}:w_{\text{(煤矸石)}}:w_{\text{(污泥)}} = 33\%:22\%:15\%$ 、成型压

力为 20 MPa、烧结温度为 1 100 ℃、保温时间为 1.5 h,砂粒径为 1 ~ 2 mm。由正交试验选定的工艺参数生产出的渗水砖,见图 1,经测试其抗压强度为 21.8 MPa,渗水系数为 1.03×10^{-2} cm/s。

表 4 极差分析表

Table 4 Range analysis of experimental findings

项 目		A	B	C	D	E
抗 压 强 度	K_1	48.4	70.65	65.4	73.4	80.9
	K_2	57.3	75.7	71.5	74.7	69.25
	K_3	76.55	72.5	70.35	74.9	73.8
	K_4	109.3	73.7	85.3	69.55	68.6
	R_i	60.9	5.05	19.9	5.35	12.3
渗 水 系 数	K_1	8.2	4.16	3.92	3.81	3.77
	K_2	3.84	3.37	3.19	3.28	3.42
	K_3	2.12	4.05	4.45	4.38	3.98
	K_4	1.3	3.88	3.9	3.99	4.29
	R_i	6.9	0.79	1.26	1.1	0.87

注: K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 分别为水平 1、水平 2、水平 3、水平 4 对应的抗压强度或渗水系数的平均值



图 1 渗水砖实物图

Fig.1 Water permeable bricks

3.2 成型压力对渗水砖性能的影响

成型压力的大小影响到制品的强度和渗水系数,因此选择合适的成型压力有利于提高制品的强度和渗水系数。在正交试验的基础上,将制备好的原料分别在 17、20、25、30、35 MPa 下成型,于 1 100 ℃下烧结 1.5 h 后自然冷却。测定成品的抗压强度和渗水系数,以研究不同成型压力对制品力学性能和渗水性能的影响,实验结果见图 2。

从图 2 可以看出,随着成型压力的增大,污泥渗水砖的抗压强度增加,渗水系数降低。通过曲线的分析,可知成型压力从 17 MPa 增加到 20 MPa 这一阶段,污泥渗水砖抗压强度的增加最为显著,而渗水系数的下降趋势也最为显著,此后随成型压力的增加,污泥渗水砖抗压强度的上升趋势及渗水系数下降趋势都趋于缓和。

在加压成型的前期,坯料中的黄河淤泥、煤矸

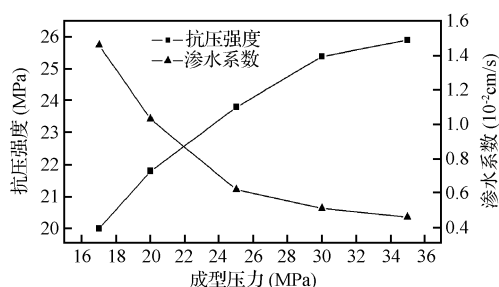


图 2 成型压力对渗水砖抗压强度及渗水系数的影响

Fig.2 Effect of forming pressure on compressive strength and permeability of water permeable bricks

石、污泥、砂在压力作用下发生明显移动,相互间发生相对滑移与位置重排^[2],颗粒之间逐渐趋于紧密堆积,同时,细的黄河淤泥、煤矸石、污泥颗粒进入砂颗粒堆积形成的间隙中,使坯体空隙急剧减少,密度明显增加。当成型压力很小时,坯体强度主要来自颗粒间的机械咬合作用,因此坯体强度并不大;成型压力增大后,颗粒位移和填充空隙继续进行,坯体密度增大,物料颗粒接触良好,烧结过程中有利于质点的扩散,促进烧结,从而使制品抗压强度提高,渗水系数降低。当成型压力在 17 ~ 20 MPa 范围内,随成型压力的增加,制品抗压强度显著提高、渗水系数降低明显;随着成型压力达到 30 MPa 后,坯体中的颗粒已经接近密堆积,坯料随之发生位移、重排及细粉料填充的作用趋于平缓,因此成型压力的增加使制品强度提高和渗水性能降低的作用趋于平缓。

3.3 烧结温度对渗水砖性能的影响

烧结是烧结砖的最后一道工序,也是决定制品质量的关键环节。在烧成过程中,原料的各种组分在高温作用下发生物理、化学以及矿物学的复杂变化,最后形成坚硬高强的制品。也即细颗粒组成的固体物料体系在高温作用下结合成为一个整体的过程。这个过程的推动力就是力求减小体系的表面能,颗粒粒径越粗,表面能越小,烧结的推动力也就越小^[3]。将成型干燥好的砖坯分别在 950、1 000、1 050、1 100 和 1 150 ℃下烧结 1.5 h,自然冷却。测定成品的抗压强度和渗水系数,以研究不同烧结温度对制品力学性能和渗水性能的影响,实验结果见图 3。

从图 3 中可以看出,提高烧结温度有利于提高成品的强度,却导致渗水系数的下降,当烧结温度达到 1 150 ℃时,制品表面出现玻璃化的现象。

结合渗水砖的 TG-DTA 曲线,见图 4。在 120 ~ 400 ℃,砖坯主要是排除纯机械结合的空隙水、分子吸附水和结合水等,这些水分的排出过程彼此交迭,

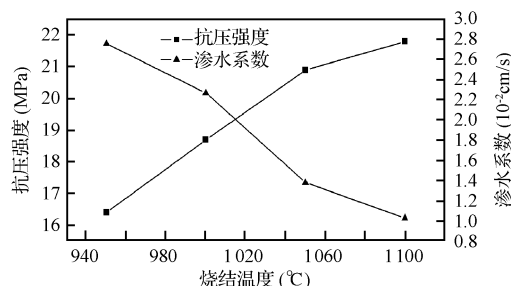


图3 烧结温度对渗水砖抗压强度及渗水系数影响

Fig. 3 Effect of sintering temperature on compressive strength and permeability of water permeable bricks

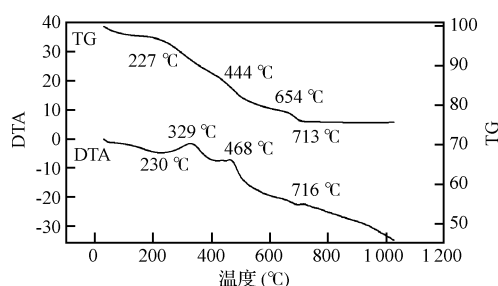


图4 渗水砖 TG-DTA 曲线

Fig. 4 TG-DTA curves of water permeable brick

并无明显的分界线。在 329 °C 时出现的放热峰是污泥中有机质燃烧造成,伴随着 4.96% 的失重,而 468 °C 出现的放热峰则是煤矸石中碳元素燃烧放热导致,伴随着 3.20% 的失重。砖坯在 450 ~ 950 °C 范围内,坯料中的硫化物被氧化,碳酸盐被分解放出 CO₂,成为 CaO,β-石英转变成 α-石英,这些都引起砖坯质量的下降,同时气体的外逸在砖坯内部形成了通道。随着焙烧温度升高到 950 °C 时,颗粒间开始粘结,气孔由不规则形状逐渐变成相互连通的通道^[4],砖坯也因此形成了一定的抗压强度,并有着较好的渗水性能。当焙烧温度升高到 1 000 °C 后,偏高岭石分解为游离的 Al₂O₃ 和游离的 SiO₂,莫来石结晶开始生长,加之温度超过了系统中存在的一些低熔点物质的熔点,开始产生液相,增进了坯体中固相颗粒的移动、重排,使颗粒堆积更致密,但由于液相量较少,不能完全填充颗粒间孔隙,只有极少量孔隙被消除,因此烧成温度在 1 000 °C 时,制品强度提高幅度较大,而渗水系数下降并不明显。随着烧成温度的继续升高,坯料中的 CaO、MgO、Fe₂O₃、Al₂O₃ 和 SiO₂ 反应生成易熔硅酸盐,导致液相量继续增大,连通的孔隙被逐渐填充,见图 5,制品的致密度进一步提高,从而进一步增大了制品强度、降低了渗水性

能。当焙烧温度达到 1 150 °C,液相过多,冷却后造成砖坯表面出现玻璃化现象。

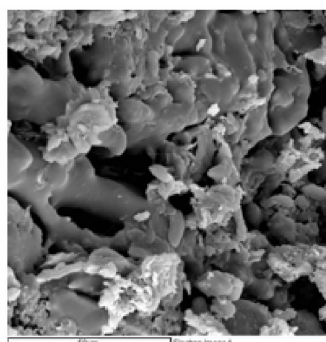


图5 渗水砖 SEM 图(×1 000)

Fig. 5 SEM of water permeable bricks(×1 000)

4 结论

(1)以城市污泥、黄河淤泥、煤矸石及砂为原料制备出的渗水砖,其抗压强度为 21.8 MPa,渗水系数为 1.03×10^{-2} cm/s。

(2)对于渗水砖中抗压强度及渗水系数这一对此消彼涨,互相制约的参数,通过正交试验得到,污泥的掺量是影响制品抗压强度及渗水系数最显著的影响因素。

(3)抗压强度是砖制品中最主要的力学性能。随着成型压力的增加,砖坯密实度增大,成品抗压强度增加;随着烧结温度的上升,砖坯中液相量逐渐增多,空隙被逐渐填充,导致成品的抗压强度呈上升趋势。

(4)渗水系数是气孔率、孔径分布及孔隙连通性的综合反映^[5]。气孔率和孔径较大、孔隙连通性好,则渗水系数大;若孔隙连通性差,则渗水系数相对较小。成型压力、烧结温度的增加均会降低渗水系数,但随着两者的增加,渗水系数的下降趋势变缓。

参考文献

- [1] 王志,王悦. 可持续发展和环保型材料. 硅酸盐通报, 2001, (3): 88 ~ 93
- [2] 徐玲玲,郭伟. 高掺量粉煤灰烧结砖的烧结机理研究. 粉煤灰综合利用, 2001, (5): 30 ~ 31
- [3] 郭伟,李慧娴. 高掺量粉煤灰烧结砖烧成温度的研究. 砖瓦, 2002, (2): 35 ~ 37
- [4] 饶玲丽. 粉煤灰理化性质分析及粉煤灰透水砖的制备研究[硕士学位论文]. 贵阳:贵州大学, 2006
- [5] 李国昌,王萍. 黄金尾矿透水砖的制备及性能研究. 金属矿山, 2006, (6): 78 ~ 82