

文章编号:1673-0062(2012)01-0098-05

城市污水厂污泥制作蒸压加气混凝土砌块的试验研究

侯保林,任伯帜*,陈文文,王政华

(湖南科技大学 土木工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘 要:以城市污水污泥为研究对象,将二沉池脱水污泥用生石灰调理至含水率为 35% 后,进行调理污泥直接制作蒸压加气混凝土砌块可行性的试验研究. 将污泥混合粉煤灰、水泥、生石灰等建材后制作砌块成品,同时对砌块的力学性能进行检测. 结果表明:调理污泥制作蒸压混凝土砌块具有可行性;在试验砌块中加入 5% 的城市污泥,制成品符合国家标准(GB11968—2006)要求. 该污泥混凝土砌块可以固定污泥中的重金属,制作过程对环境无污染,且节约能源.

关键词:城市污泥;蒸压加气混凝土砌块;抗压强度;冻融性能

中图分类号:X705 **文献标识码:**B

A Primary Study on Autoclaved Aerated Concrete Using Municipal Sludge

HOU Bao-lin, REN Bo-zhi*, CHEN Wen-wen, WANG Zheng-hua

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

Abstract: Possible utilization of urban sewage sludge, in the process of production of autoclaved aerated concrete which was made by sludge-fly ash-cement- burnt lime was investigated. The moisture content of sludge is 35%. Based on the research objective, this study detected the mechanical property of finished products. The results show that: this way might be feasible and energy saving. When autoclaved with 5% sewage sludge, it conforms to the requirement of the national specifications (GB11968—2006). Heavy metals contained in the sludge are well sealed up in the block and do not leach out, and it is uninjurious to environment.

key words: municipal sludge; autoclaved aerated concrete; compressive strength; freeze-thaw performance

城市污水处理后产生的污泥含有大量的水分、难降解的有机物、重金属和少量的致病微生物

收稿日期:2011-12-09
基金项目:湖南省自然科学基金计划项目(2008SK4029);湖南省教育厅重点资助科研基金资助项目(08A019);湖南科技大学研究生创新基金资助项目(S100104);湖南省高校创新平台开放基金资助项目(10K027);湖南省自然科学基金资助项目(10JJ6085)
作者简介:侯保林(1986-),男,河南安阳人,湖南科技大学土木工程学院硕士研究生. 主要研究方向:城市污水深度处理及资源化技术. * 通信作者.

(致病细菌、病原体、寄生虫和有害昆虫卵)等,如果处置不当,会对环境造成严重的二次污染.因此,妥善、经济地处理城市污泥是亟待解决的环境问题^[1-2].考虑到城市污泥含有一定量的 SiO₂、Al₂O₃、CaO 等无机成分,这些无机成分与粉煤灰的相接近,因而将污泥作为原材料制作污泥—粉煤灰蒸压加气混凝土砌块.在以往的研究中,污泥通常是经过干燥或焚烧后以粉状物的形式加入水泥中制作砌块,制作烧结砖或陶粒等建筑材料^[3-6].污泥干燥和焚烧过程中产生二噁英、飞灰等有毒有害气体,投资和操作费用高,生产应用困难.同时,二沉池污泥质地均匀细腻,将其调理后直接作为原材料制作建筑材料具有极高的研究价值和应用前景^[7-10].本试验以城市污水厂二沉池脱水污泥为研究对象,采用生石灰调理使之含水率为稳定为 35%,参照一般粉煤灰蒸压加气混凝土

土砌块生产模式,通过混合加气成型、低温养护、高温蒸压养护制作蒸压加气混凝土砌块,探索非干化污泥制作粉煤灰蒸压加气混凝土砌块的可行性.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验中所用污泥取自湘潭市河西污水处理厂二沉池脱水污泥,含水率 82.23%.经过生石灰的调节处理,含水率降为 35%.粉煤灰取自吕强混凝土公司生产所用的工业粉煤灰,0.045 mm 方孔筛余量≤25.6%,烧失量≤4.3%.生石灰取自当地石灰厂,0.080 mm 方孔筛余量≤7.5%,有效氧化钙含量为 8.6%,消化速度 22 min,消化温度 64℃.试验用其他原料包括铝粉、石膏、硅藻土等.污泥主要无机成分见表 1,污泥重金属含量见表 2.

表 1 污泥和粉煤灰的无机组分 %

Table 1 The inorganic composition of sewage sludge and fly ash %					
项目	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
湘潭市城市污泥	28.58	4.39	8.36	2.57	1.06
粉煤灰 ^[11]	33.9~59.7	1.5~15.4	16.5~35.4	0.8~0.4	0.7~1.9

表 2 污泥重金属检测结果

Table 2 Heavy metal content in sewage sludge									
项目	检测项目及检查结果(10 ⁻⁶ mg·kg ⁻¹)								
	Cd	Hg	Pb	As	Cr	B	Cu	Zn	Ni
湘潭市城市污泥	19.4	3.78	182	28.9	245	80.0	450	979	60.7
污泥制砖泥质	<20	<5	<300	<75	<1000	—	<1500	<400	<200

由表 2 可知,本试验所用污泥重金属含量除锌外均满足《城镇污水处理厂污泥处理制砖用泥质》(CJ/T289—2008)中重金属含量的规定,该污泥可以为建筑填料.

1.2 试验方法

1.2.1 正交试验设计

以城市污泥、粉煤灰、生石灰和水泥为主要原料,掺入少量发泡剂铝粉、初凝剂石膏,加水搅拌、低温养护、切割、高温蒸压养护等工艺制成制品,测试其平均干密度、抗压强度和抗冻性能,并测试其重金属浸出量.

为研究主要原料对比对蒸压混凝土砌块性能的

影响,寻求合理的原材料及配比,采用 L₉(3⁴)正交试验对各因素进行分析.每个试验号做 5 组平行试验,取测得的力学性能试验的平均值作为计算值.正交试验因素水平见表 3,正交试验设计见表 4.

表 3 因素水平设计表

Table 3 Factors and designed levels				
水平	因素/%			
	污泥	生石灰	水泥	粉煤灰
I	2.5	20	10	65
II	5	25	7.5	60
III	7.5	30	5	55

表 4 正交试验设计表
Table 4 Orthogonal test designs

试验号	污泥/g	石灰/g	水泥/g	粉煤灰/g
1 [#]	1	1	1	1
2 [#]	1	2	2	2
3 [#]	1	3	3	3
4 [#]	2	1	2	3
5 [#]	2	2	3	1
6 [#]	2	3	1	2
7 [#]	3	1	3	2
8 [#]	3	2	1	3
9 [#]	3	3	2	1

1.2.2 工艺流程

蒸压加气混凝土砌块的试验工艺流程如图 1 所示。按照正交试验确定的配合比,根据图 1 所示的试验流程,将污泥和粉煤灰、水泥、生石灰按不同配比混合,30 r/min 搅拌 3 min,使原料搅拌混合均匀,浇筑成 100 mm×100 mm×100 mm 的砌块,成型后低温养护数小时后制成半成品,并对半成品的表观质量进行观测;最后放入蒸压釜中蒸压养护,形成成品砌块,按照国家《蒸压加气混凝土砌块》(GB11968—2006)标准对成品的密度、抗压强度、冻融性能进行检测。

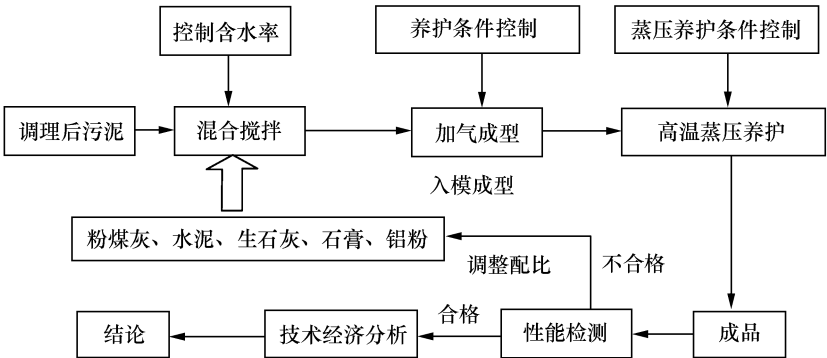


图 1 污泥制蒸压加气混凝土砌块试验流程图
Fig.1 The test flow chart of autoclaved aerated concrete block making with sewage sludge

2 结果与讨论

2.1 污泥掺量对半成品和成品砌块外观质量的影响

砌块成型后,对试验过程中砌块的表观质量进行了对比观察,不同污泥掺量与半成品、成品外观质量关系见表 5。

由表 5 以及试验过程可知,半成品的早期强度和污泥掺入量无关,与其他原材料配比以及石膏掺入量有关。半成品的发泡情况和污泥的掺入量联系紧密,当污泥掺量小于等于 5% 时,半成品发泡均匀,成品砌块的稳定性好,掺量大于 5% 时,半成品发泡较少且不均匀,同时成品的体积稳定性差,出现不形程度的裂纹。

2.2 污泥掺量对力学性能的影响

试验中蒸压过程采用阶梯式蒸压方式,在升压过程中 0.5 MPa、0.8 MPa 各分别蒸压 1 h,1.1 MPa 蒸压 5 h,降压时在 0.4 MPa 静停 0.5 h,然后降为常压。对蒸压养护后的砌块进行干密度、抗压强度和冻融性能的测定,结果见表 6。

表 5 不同配比下半成品和成品的外观质量
Table 5 The appearance quality of semifinished and finished products under various mixture ratio

编号	半成品外观质量	成品外观质量
1 [#]	早强一般,发泡均匀,易脱模,易切割。	底部无变化,无纵向开裂,无横向小裂纹。
2 [#]	早强好,发泡均匀,易脱模,易切割。	体积无变化,无纵向开裂,无横向小裂纹。
3 [#]	早强较好,发泡均匀,易脱模,较难切割。	体积无变化,无纵向开裂,无横向小裂纹。
4 [#]	早强一般,发泡均匀,较易脱模,易切割。	底部稍微膨胀,无纵向开裂,有横向小裂纹。
5 [#]	早强好,发泡均匀,易脱模,易切割。	体积无变化,无纵向开裂,无小裂纹。
6 [#]	早强一般,发泡均匀,较易脱模,易切割。	体积无变化,无纵向开裂象,无裂纹。
7 [#]	早强差,发泡较少,脱模较难,难切割。	体积稳定性较差,有纵向裂痕,有较大裂纹。
8 [#]	早强一般,发泡较少,较易脱模,易切割。	底部稍微膨胀,无大裂痕,有纵向小裂纹。
9 [#]	早强好,发泡较少,较易脱模,较易切割。	底部膨胀,有纵向裂痕,有横向裂纹。

表 6 检测结果
Table 6 Test results

试验号(样品编号)	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
密度/(kg·m ⁻³)	715	734	700	784	749	806	874	850	939
抗压强度/MPa	6.1	6.4	6.2	5.5	6.0	5.6	3.9	4.7	4.4
冻后强度/MPa	5.0	5.3	5.2	4.6	5.1	4.7	2.4	3.1	3.3
质量损失/%	2.3	2.1	2.5	2.9	2.5	2.7	3.0	2.9	3.1
砌块判断 ^[12]	合格	合格	合格	不合格	合格	不合格	不合格	不合格	不合格

对正交试验进行极差分析,确定影响砌块抗压强度的主次因素,分析结果表明:污泥是最主要的影响因素,其次为生石灰、水泥、粉煤灰;对冻融试验进行极差可得到同样的结果.随着污泥含量的增加,掺入量从 2.5% 增加到 5% 时,抗压强度和抗冻性能变化不大,当污泥含量从 2.5% 增加到 7.5% ,成品抗压强度和抗冻性能降低,成型较难.这一规律与以往污泥制砌块的报道相一致^[13]. 试验中还发现,加入污泥的砌块气孔相比未加污泥的空白试验明显不规则程度增加,相应的抗压强度也明显偏低.

污泥中含有较多的有机杂质,高温蒸压养护时产生大量不规则的孔洞,导致颗粒间结合力降低,因此随着污泥所占比例增加,抗压强度降低更多.

由表 5 和表 6 可知,1[#]、2[#]、3[#]和 5[#]号试验砌块合格,其中 5[#]号试验污泥掺量 5% ,1[#]~3[#]号试验污泥掺入量为 2.5% ,同时力学性能相差较小,符合《城镇污水处理厂污泥处理制砖用泥质》

(CJ/T289—2008) 中污泥掺量低于 10% 的规定,因而确定 5[#]号为最优配方,各种原料配比见表 7.

表 7 最优配方 5[#]
Table 7 The optimal formula 5[#]

名称	污泥	粉煤灰	生石灰	水泥
百分比/%	5	65	25	5

经测定该最优配方 5[#]平均抗压强度 6.7 MPa, 经过 15 个循环后冻融质量损失 3.02% .

2.3 污泥中重金属的固化

为了研究污泥制蒸压加气混凝土砌块对污泥中重金属的固化效果,参照《固体废物浸出毒性浸出方法》(GB5086.2—1997) 对按照最佳配方及养护条件所得到的砌块做了浸出毒性试验,其中镉、锌和铜三个检测指标委托湘潭市环保局进行测定,检测结果见表 8.

表 8 浸出试验结果
Table 8 Results of leaching test

项目	污泥 /(mg·kg ⁻¹)	污泥标准 /(mg·kg ⁻¹)	制品浸出 /(mg·L ⁻¹)	浸出标准 /(mg·L ⁻¹)	备注
镉 Cd	19.4	<20	0.002(L)	0.3	委托检测
汞 Hg	3.78	<5	0.008	0.05	冷原子吸收分光光度法
铅 Pb	182	<300	0.982	3	原子吸收分光光度法
铬 Cr	245	<1000	2.23	10	二苯碳酰二肼分光光度法
砷 As	28.9	<75	0.37	1.5	二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
镍 Ni	60.7	<200	2.08	10	丁二酮分光光度法
锌 Zn	979	<400	0.46	50	委托检测
铜 Cu	450	<1500	1.53	50	委托检测
氰化物		<10	0.11	1.0	硝酸银滴定法

注:数据后(L)表示测定结果低于方法检出限,其数值为方法检出限.

由表 8 可知,样品浸出液的重金属浓度符合我国《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB5085.3—2007) 的要求^[14].

2.4 蒸压养护过程中尾气控制

蒸压养护过程会产生具有恶臭的尾气,经分析检测主要成分为氨气和硫化氢,根据《空气质量恶

臭的测定》(GBT14675—93),采用三点比较式臭袋法测得该尾气的臭气强度为 4. 为了消除尾气对人体及环境产生的危害和影响,试验中分别采用水洗法(直

接将尾气通入水中)、物理吸附方法(包括活性炭吸附法及硅藻土吸附法),稀释方法,即大气扩散等方式对尾气进行处理. 处理效果对比见表 9.

表 9 尾气处理效果
Table 9 The treatment effect of vent gas

处理方法	稀释方法	活性炭吸附法	硅藻土吸附法	水洗法
未处理时臭气强度	4	4	4	4
处理后臭气强度	2.5	0	0	1

由表 9 可知,蒸压养护过程后产生的尾气可以水中溶解,通过在水中加入活性炭或硅藻土处理恶臭尾气,处理后可以达到《恶臭污染物排放标准》(GB14554—93)要求,不会对人体及环境产生危害或影响.

3 结 论

1)脱水污泥经过调理后加入其他原料制作蒸压加气混凝土砌块具有可行性. 制作污泥—蒸压加气混凝土过程中,可以利用 5% 的污水污泥,砌块抗压强度和抗冻性均达到《蒸压加气混凝土砌块》(GB11968—2006)合格品的指标要求.

2)经试验确定,用城市污水污泥制蒸压加气混凝土各原料的最佳配比为:污泥:水泥:粉煤灰:生石灰=5:5:65:25.

3)掺入城市污泥的蒸压加气混凝土砌块的浸出毒性满足《危险废物鉴别标准—浸出毒性鉴别》(GB5058.3—1996)的要求. 该方法可以稀释固化重金属,并能实现资源化利用.

4)污泥制作蒸压加气混凝土在蒸压养护过程后产生的尾气可采用活性炭或硅藻土吸附处理,不会对环境和人体产生危害.

5)直接利用污水污泥制作蒸压加气混凝土,减少了一般污泥利用的干燥、粉碎等程序,节省能源,不仅在一定程度上解决了污泥带来的环境问题,同时也使污泥资源化制作建材具有了市场推广的意义.

参考文献:

[1] 绍文,秦华. 城市污泥资源利用与污水土地处理技术

[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
[2] Andreadakis A D. Sludge utilisation in agriculture: Possibilities and prospects in Greece[J]. Water Sci Technol, 2002,46(10):231-238.
[3] 任伯帜,龙腾锐,陈秋南. 粉煤灰—粘土砖烧制过程处理城市污水污泥的试验研究[J]. 环境科学学报,2003,23(3):414-416.
[4] 李淑展,施周,谢敏. 城市污水处理厂污泥烧制地砖的生产试验研究[J]. 给水排水,2005,31(7):12-15.
[5] 林子增,孙克勤. 城市污泥为部分原料制备黏土烧结普通砖[J]. 硅酸盐学报,2010,38(10):1963-1968.
[6] 李淑展,施周,谢敏. 污水厂污泥制地砖及其性能[J]. 硅酸盐学报,2007,35(2):251-254.
[7] Sun Guofeng. Utilization of household sewage sludge in brick making[J]. China Building Materials,2005(suppl):37-40.
[8] Liew A G,Idris A,Samad A A,et al. Reusability of sewage sludge in clay bricks[J]. J Mater Cycles Waste Manage,2004(6):41-47.
[9] Hegazy B E. Brick making from water treatment plant sludge[J]. J Eng Appl Sci,2007,54(6):599-615.
[10] 胡明玉,彭金生,丁成平,等. 利用城市污泥和电厂灰渣制备生态透水烧结砖的研究[J]. 新型建筑材料,2010,37(2):41-57.
[11] 王福元. 粉煤灰利用手册[M]. 2 版. 北京:中国电力出版社,2004.
[12] GB11968—2006 蒸压加气混凝土砌块[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
[13] 张杰,谢时伟. 污泥制砌块探索[J]. 中国皮革,2000,29(7):38-39.
[14] GB5085.3—2007 危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别[S]. 北京:中国标准出版社,2007.