

湿排粉煤灰对混凝土性能的影响

吴传明, 钱觉时, 侯鹏坤, 王 智, 汪克进, 罗 晖

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045)

摘要:通过实验室模拟研究不同湿法存放时间(1~60个月)的2种低钙粉煤灰的形貌、粒径和用于混凝土掺合料的性能变化。粉煤灰湿排后颗粒变粗,颗粒表面出现侵蚀,但颗粒形貌基本保持不变;湿排粉煤灰矿物减水效应明显降低,掺量为20%~40%的湿排粉煤灰混凝土坍落度比原状粉煤灰混凝土减少约20~40 mm;掺加湿排粉煤灰的混凝土与外加剂适应性、抗渗和抗碳化无明显变化,坍落度经时损失有所降低;湿法存放3个月的粉煤灰掺量20%时混凝土28 d和56 d抗压强度比原状粉煤灰混凝土分别下降5.8%和3.7%,但掺量为20%的湿法存放36个月粉煤灰混凝土抗压强度比仍可以达到85%,湿法存放时间为3 a和5 a的粉煤灰混凝土强度无明显差别。研究结果表明,湿排低钙粉煤灰可以用作为混凝土掺合料。

关键词:粉煤灰;湿排;混凝土

中图分类号:TU 528.2 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2009)05-0132-06

Impacts of Wetting Fly Ash on the Properties of Concrete

WU Chuan-ming, QIAN Jue-shi, HOU Peng-kun, WANG Zhi, WANG Ke-jin, LUO Hui

(College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Two types of wetting low-calcium fly ash were made for studying the performance under different storage time (1 to 60 months). The surface morphology, granule size distribution of the wetting fly ashes and their properties as supplementary cementitious materials in concrete were investigated. Although the granule size increased and there appeared considerable erosion on the surface, the surface morphology of wetting fly ash kept mostly unchangeable. The water reducing effect resulted from mineral properties of fly ash decreased much due to wetting. Compared with a parallel concrete with dry fly ash, slump of concretes with fly ash of 20~40% wetting for 3 months decreased by 20~40 mm while bleeding and permeability and carbonation had no change. The compressive strength of concrete in 28 day and 60 days with fly ash of 30% wetting for 3 months decreased by 5.8% and 3.7% respectively. However, the specific compressive strength of concrete in 56 days with fly ash of 20% wetting for 36 months still reached at 85% and there was no visible strength discrepancy of fly ash concrete wetting for 3 and 5 years. It was concluded that a wetting low-calcium fly ash could be used as supplementary cementitious material in some important concretes.

Key words: fly ash; wetting; concrete

湿排粉煤灰是指通过水力除灰系统输送到灰场堆存或含水率较高的低钙粉煤灰,一般适合湿排的粉煤灰多为低钙粉煤灰。目前湿排粉煤灰主要用于

各种建筑集料、砌块的生产、路面及路基稳定、水泥生产^[1-4]。湿排粉煤灰的应用以往未得到人们的充分关注,主要是因为人们一般认为湿排粉煤灰自水

收稿日期:2009-04-18

基金项目:国家自然科学基金(50672137)资助,重庆市自然科学基金(CSTC2008BB4375)资助

作者简介:吴传明(1969-),男,博士生,主要从事水泥混凝土及固体废弃物资源化利用研究,(E-mail)chmwu@sina.com。

化反应而使其活性降低^[5],对其在实际应用特别是在重要工程中的应用价值存有较大疑虑。但是随着中国一些大城市已出现干排粉煤灰供不应求的状况,现存湿排粉煤灰的应用也已提到议事日程。这些粉煤灰可能是经多年堆积的,也可能是由于粉煤灰季节性需求变化近期排放的。湿排粉煤灰是否能用于主要结构混凝土、湿排对粉煤灰性能的影响程度、湿排粉煤灰用于混凝土的性能变化等都鲜见报道,更多的研究是通过活性激发的方法来提高粉煤灰水化速度^[6-12]。这主要是由于湿排粉煤灰自水化反应速度相对缓慢^[13-14],从而难以直观的表现出由于自水化导致的粉煤灰性能差异,需要较长时间才能反映粉煤灰湿排前后性能的变化,而比较变化大小则必须长时间保存湿排前后的同批次粉煤灰。

钱觉时等^[15]通过实验室模拟湿排的方法研究了湿排对低钙粉煤灰性能的影响,试验结果显示,低钙粉煤灰在湿法保存的最初 5 个月内活性降低明显,抗压强度比降低 5% 以上,再随模拟时间延长抗压强度比降低幅度不大,在已模拟湿排的时间内抗压强度比降低不超过 8%。

该文仍通过实验室模拟得到湿排低钙粉煤灰,研究掺加湿排粉煤灰的新拌及硬化混凝土性能变化情况。

1 试验原材料及试验方法

试验选用 A、B2 种粉煤灰;水泥等级均为 P·O 42.5R;试验用砂为特细砂(细度模数为 0.9)。粉煤灰、水泥的化学成分以及主要物理性能指标见表 1。

表 1 粉煤灰和水泥的化学成分及主要物理性能指标

Materials	Chemical composition wt/%							Retaining(45μm)/%	Specific water requirement /%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	LOI		
Fly ash A	42.99	20.56	22.24	3.56	1.12	1.88	2.61	15.2	96
Fly ash B	39.16	23.63	17.99	6.25	1.76	2.01	6.37	16.5	104
Cement 1	21.62	7.19	4.67	55.56	1.87	/	1.46	/	/
Cement 2	21.20	5.55	3.46	58.68	0.89	/	0.89	/	/
Cement 3	18.9	6.12	3.7	52.6	1.82	/	1.7	/	/

实验室模拟粉煤灰湿排的过程比较简单,将粉煤灰置于容器中用自来水浸泡即可。虽然实际情况下湿排粉煤灰所处环境比较复杂,但实验室模拟湿排可以反映粉煤灰的自水化过程,而且因为可以控制试验条件,所得结果具有较高的可信度。

研究湿排对粉煤灰性能的影响,还需要以原状干灰作为基准,因此在实验室模拟湿排粉煤灰时,将一定量的原状干态粉煤灰分成 2 部分,其中 1 部分置于容器中用自来水浸泡,另 1 部分置于容器中保持干燥,假定粉煤灰在干燥密封状态下的性能不发生明显变化,则置于水中浸泡的粉煤灰可以视为湿排粉煤灰,保持在干燥状态下的粉煤灰可作为基准粉煤灰。模拟湿排粉煤灰使用前在 45 °C 下缓慢烘

干,以消除温度对其活性的影响。图 1 和图 2 分别是湿排对粉煤灰 A 颗粒分布及形貌影响结果。

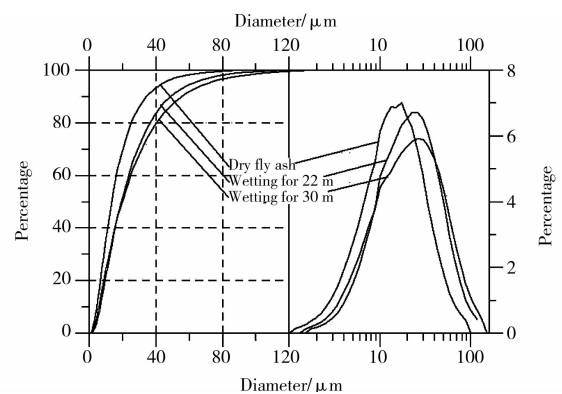


图 1 粉煤灰 A 湿排前后的颗粒分布

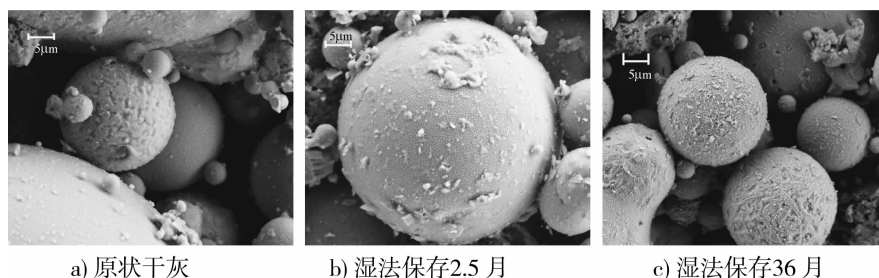


图 2 粉煤灰 A 不同湿法保存时间的形貌 SEM

混凝土配合比为:胶凝材料:砂:石:水=1:1:2.95:0.47,粉煤灰等量取代水泥。混凝土坍落度、强度、耐久性试验分别参照 GB/T 50080-2002《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》、GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》、GBJ 82-85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》进行。

2 试验结果与分析

2.1 湿排粉煤灰对新拌混凝土性能的影响

2.1.1 坍落度 粉煤灰因为其所具有的形态效应,可以在混凝土中起到改善和易性的作用^[16]。湿排粉煤灰是否仍具有改善混凝土和易性的作用,可通过测量掺加粉煤灰的混凝土坍落度的变化情况来表征。图 3 是不同掺量的粉煤灰混凝土的坍落度测试结果,试验中还以同批干排粉煤灰进行对比。湿法保存 3 个月粉煤灰坍落度试验用水泥为 cement 1,其它湿法保存时间粉煤灰混凝土用水泥为 cement 2。

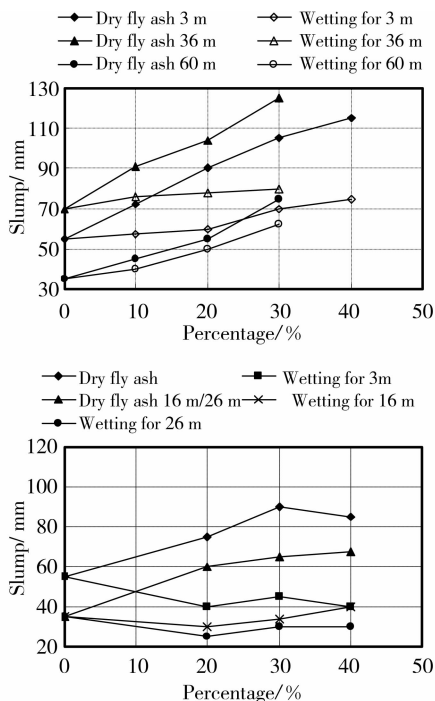


图 3 不同湿排粉煤灰掺量的混凝土坍落度

从图 3 可以看出,对用不同水泥拌和的混凝土,在掺量相同的情况下,掺有湿排粉煤灰的混凝土初始坍落度均小于原状粉煤灰混凝土。一般情况下,粉煤灰在混凝土中都有一定的矿物减水作用,但图 3 的试验结果显示,湿排一定程度上降低了粉煤灰的减水作用,特别对于粉煤灰 B,随湿排粉煤灰掺量的增加,混凝土坍落度反而降低,说明湿排粉煤灰 B

已不具备矿物减水作用。湿排降低粉煤灰减水作用的原因可以根据图 1 和图 2 的粉煤灰粒度和形貌分析结果进行解释。一方面湿排使粉煤灰颗粒变粗,图 1 的试验结果显示,粉煤灰 A 湿法保存 30 个月后小于 $40\ \mu\text{m}$ 的粉煤灰颗粒减少了 15%,颗粒粗化使得其矿物减水作用减小。另一方面从图 2 对粉煤灰 A 的 SEM 分析结果可以看出,湿排粉煤灰颗粒表面釉化状的部分已明显溶蚀,因此粉煤灰颗粒更易被水润湿,从而矿物减水作用下降甚至消失,相比之下粉煤灰 B 有比较高的 CaO 含量,颗粒表面溶蚀作用可能更为明显。

2.1.2 坍落度经时损失 表 2 是湿法保存 3 个月粉煤灰 A 对拌和物坍落度经时损失影响的试验结果。从表 2 可已看出,与未掺加粉煤灰混凝土相比,粉煤灰的加入能减少混凝土拌合料的经时损失,与原状粉煤灰相比,湿排粉煤灰对混凝土坍落度经时损失的影响不大,甚至有减少坍落度经时损失的趋势,这是由于模拟湿排粉煤灰长期与水接触导致其中的活性成分减少,反应活性下降,进而使混凝土坍落度经时损失减小。

表 2 掺加模拟湿排粉煤灰 A 的混凝土坍落度经时损失/mm

Fly ash content /%	0 h	0.5 h	1.0 h	2.0 h	3.0 h
No fly ash(cement 1)	175	165	145	125	80
15% dry fly ash	230	215	205	180	150
30% dry fly ash	255	240	230	215	190
15% fly ash wetting for 3 m	205	195	180	165	135
30% fly ash wetting for 3 m	230	220	215	200	180
No fly ash(cement 2)	155	145	130	115	75
15% fly ash wetting for 36 m	150	145	130	115	80
30% fly ash wetting for 36 m	180	175	160	140	105

Note: $w/c=0.56$

2.1.3 外加剂适应性 图 4 为掺加普通减水剂糖钙(TG)和萘系高效减水剂(FDN)后的粉煤灰混凝土(20%粉煤灰等量取代,粉煤灰湿法保存时间为 3 个月,试验用水泥为 cement 1)与空白组混凝土坍落度差值。研究结果表明,掺有减水剂的湿排粉煤灰混凝土流动性均得以提高,湿排粉煤灰与原状干灰混凝土坍落度差值很小,表明湿排粉煤灰与外加剂仍有较好的适应性。

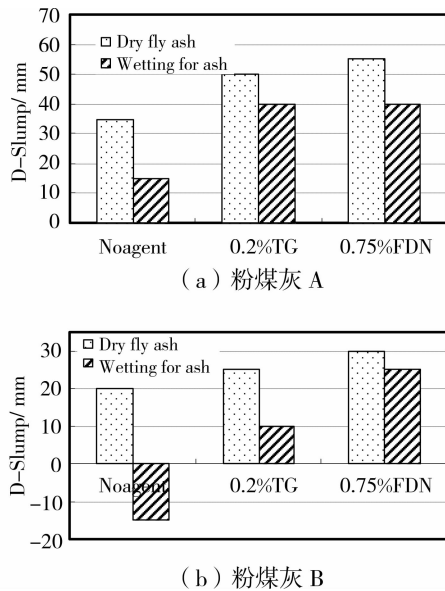


图 4 模拟湿排粉煤灰混凝土与外加剂的适应性

2.2 湿排粉煤灰的硬化混凝土性能

2.2.1 力学性能 图 5 和图 6 分别为粉煤灰 A 和粉煤灰 B 模拟湿排后不同龄期的抗压强度比试验结果。

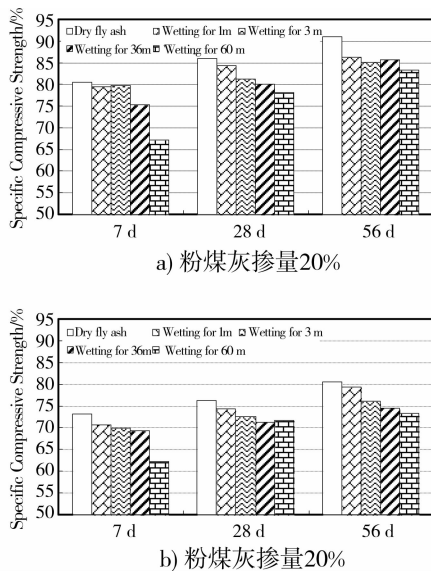


图 5 湿排粉煤灰 A 混凝土的不同龄期抗压强度比

从图 5 和图 6 可以看出,相同粉煤灰掺量下,模拟湿排粉煤灰混凝土比原状干灰混凝土抗压强度稍低,但混凝土强度发展趋势大致相同;粉煤灰模拟湿排时间越长,配制的混凝土强度越低,随湿排粉煤灰掺量增加,配制的混凝土强度下降幅度更大。图 5 还显示,掺量为 20%的湿法保存时间 3 个月湿排灰 A 的混凝土 28 d 和 60 d 抗压强度比比原状干灰分别小 5.8%和 3.7%。但掺量为 20%的湿法保存 36 个月粉煤灰混凝土 56 a 抗压强度比仍可以达到 85%以上,粉煤灰湿法保存 5 a 后 28 d 抗压强度比

仍与原状干灰混凝土相仿,抗压强度比差值小于 10%,说明低钙粉煤灰长期自水化过程对其活性影响是有限的,长期模拟湿排粉煤灰仍满足作为水泥混凝土掺合料的强度要求。

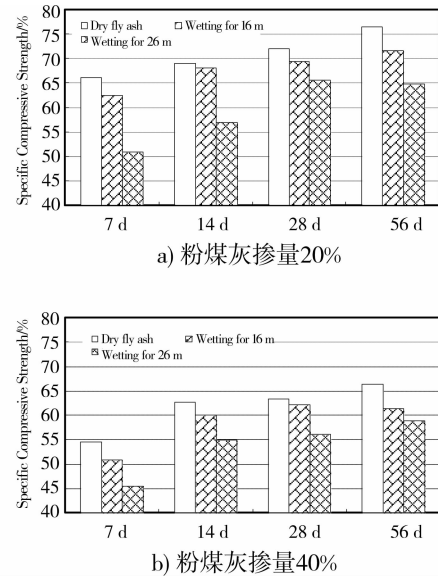


图 6 湿排粉煤灰 B 混凝土力学性能

2.2.2 抗渗性能的影响 图 7 是掺入湿法保存 3 个月粉煤灰的混凝土抗渗性测试结果(试验用水泥为 cement 1),图 7 中纵坐标为混凝土渗透高度测试结果,值越大表明混凝土抗渗性越差。图 7 可以看出,与原状干灰相比,模拟湿排对粉煤灰混凝土抗渗性影响不明显。类似原状粉煤灰,湿排粉煤灰在一定范围内也能提高混凝土抗渗性能,虽然随湿排粉煤灰掺量增加,抗渗性有所降低,但变化规律与原状粉煤灰相同。

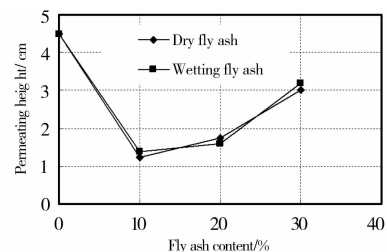


图 7 湿排粉煤灰 A 混凝土抗渗性

2.2.3 抗碳化性 图 8 为掺加湿排粉煤灰混凝土的碳化试验结果,粉煤灰湿法保存时间为 3、36 和 60 个月,与湿法保存 3 个月的粉煤灰同时使用的水泥为 cement 1,与湿法保存时间为 36、60 个月粉煤灰同时使用水泥为 cement 3。由于所选用的水泥不同,文中用碳化指数(一定碳化龄期内,掺粉煤灰混凝土与未掺粉煤灰混凝土碳化深度之比)对湿排后粉煤灰的碳化性能进行表征。图 8 的试验结果显

示,与未掺粉煤灰混凝土相比,粉煤灰混凝土的碳化指数均大于1,表明粉煤灰的加入会使得混凝土不同碳化龄期的碳化深度增加^[17-18],但与原状粉煤灰混凝土相比,模拟湿排粉煤灰混凝土各龄期的碳化指数没有明显变化。即使掺30%、湿法保存3、36及60个月粉煤灰各龄期碳化指数与掺加原状粉煤灰的混凝土接近。特别是混凝土碳化后期,粉煤灰混凝土与普通混凝土碳化深度差距也在逐渐缩小^[19]。虽然不同批次水泥粉煤灰混凝土碳化指数有所差异,但由于模拟低钙湿排粉煤灰自水化速度小,导致湿排前后粉煤灰“吸碱”能力未受到大的影响,进而使不同湿排时间粉煤灰的抗碳化性相差不大。

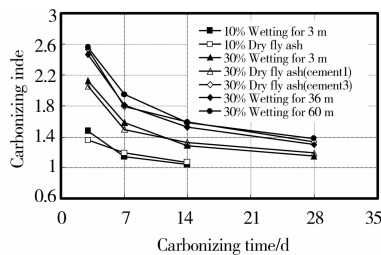


图8 湿排粉煤灰A混凝土抗碳化性

3 结论

湿排使得粉煤灰颗粒变粗、表面受侵蚀,因此降低了粉煤灰的矿物减水作用和火山灰活性,但与原状粉煤灰相比,湿排粉煤灰混凝土与外加剂适应性、混凝土坍落度经时损失和硬化混凝土的抗渗、抗碳化性能变化规律与原状干灰类似,湿法保存时间为5a的粉煤灰抗压强度比降幅不大于10%。可以认为,湿排粉煤灰与原状粉煤灰相比作为混凝土掺合料使用时,虽然性能有一定变化,但仍能满足使用的要求。

参考文献:

[1] IASON M. ANAGNOSTOPOULOS, VICTOR E. STIVANAKIS. Utilization of lignite power generation residues for the production of lightweight aggregates [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 163 (1): 329-336.

[2] TRAVAR I, LIDELÖW S, ANDREAS L, THAM G, et al. Assessing the environmental impact of ashes used in a landfill cover construction [J]. *Waste Management*, 2009, 29(4):1336-1346.

[3] 鄢朝勇. 低等级湿排粉煤灰在中低强度混凝土中的应用研究[J]. *新型建筑材料*, 2005(4):23-24.

YAN CHAO-YONG. Use of low quality wet-discharged fly ash in low and middle strength concretes

[J]. *New Building Materials*, 2005(4):23-24.

[4] KOU, S. C, POON. C. S. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates[J]. *Cement and Concrete Composites*, 2009, 31(9): 622-627.

[5] 蒋林华,林宝玉,蔡跃波.高掺量粉煤灰水泥胶凝材料的水化性能研究[J]. *硅酸盐学报*,1998, 26(6):695-701

JIANG LIN-HUA, LIN BAO-YU, CAI YUE-BAO. Study of hydration properties of cement binders with a large amount of fly ash [J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 1998, 26(6):695-701.

[6] YANG MIN, QIAN JUE-SHI, PANG YING. Activation of fly ash-lime systems using calcined phosphogypsum [J]. *Construction and Building Materials*, 2007, 22(5):1004-1008.

[7] ANTIOHOS S, TSIMAS S. Activation of fly ash cementitious systems in the presence of quicklime Part I. Compressive strength and pozzolanic reaction rate [J]. *Cement and Concrete Research*, 2004, 34 (5): 769-779.

[8] SINTHAWON, SUPPACHAI, NIMITYONGSKUL, PICHAJ. Quick monitoring of pozzolanic reactivity of waste ashes [J]. *Waste Management*, 2009, 29(5): 1526-1531.

[9] 罗忠涛,马保国,张美香,等.湿排粉煤灰复合电石渣制备高活性矿物掺合料浆[J]. *土木工程与环境工程*, 2009, 31(1):147-150.

LUO ZHONG-TAO, MA BAO-GUO, ZHANG MEI-XIANG et al. A highly-activated mineral admixture slurry consisting of a wet-discharged fly-ash and carbide lime composite[J]. *Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering*, 2009, 31(1):147-150.

[10] 马保国,张美香,罗忠涛,等.湿排粉煤灰料浆活化技术及活化机理研究[J]. *建筑材料学报*, 2007, 10(2): 132-136.

MA BAO-GUO, ZHANG MEI-XIANG, LUO ZHONG-TAO, et al. Research on activation technology and mechanism of wet discharged fly ash slurry[J]. *Journal of Building Materials*, 2007, 10(2): 132-136.

[11] 钱觉时. 粉煤灰特性与粉煤灰混凝土[M]. 北京:科学出版社, 2002

[12] 阮湘元,彭敏,陈小明,等.粉煤灰-硫酸固相反应中表面形貌与化学组成变化特性的表面分析[J]. *分析测试学报*, 2006(2):100-102

RUAN XIANG-YUAN, PENG MIN, CHEN XIAO-MING, et al. A study on the characteristics of surface pattern and chemical composition variations of fly ash in the solid-phase reaction with H₂SO₄ [J]. *Journal of*

- Instrumental Analysis, 2006(2):100-102.
- [13] SUPHI URAL. Comparison of fly ash properties from Afsin-Elbistan coal basin, Turkey [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 119(1-3): 85-92.
- [14] 吴传明,侯鹏坤,汪克进,等. 湿排粉煤灰活性影响因素试验[J]. 重庆大学学报, 2009,32(6):643-647.
WU CHUAN-MING, HOU PENG-KUN, WANG KE-JIN et al. Factors influencing activation of wet fly ash[J]. Journal of Chongqing University. 2009,32(6): 643-647.
- [15] 钱觉时,吴传明,汪克进,等. 模拟湿排粉煤灰的性能[J]. 硅酸盐学报,2007,35(7):871-876.
QIAN JUE-SHI, WU CHUAN-MIGN, WANG KE-JIN, et al. Properties of simulative wetting fly ash[J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2007, 35(7): 871-876.
- [16] LI GENG-YING, WU XIAO-ZHONG. Influence of fly ash and its mean particle size on certain engineering properties of cement composite mortars[J]. Cement and Concrete Research, 2005, 35(6): 1128-1134.
- [17] BAERT, GERT, POPPE, Anne-Mieke, De Belie, Nele, Strength and durability of high-volume fly ash concrete[J]. Structural Concrete, 2008, 9(2): 101-108.
- [18] LAMMERTIJN, S, DE BELIE, N POROSITY. gas permeability, carbonation and their interaction in high-volume fly ash concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 2008, 60(7):535-545.
- [19] KHUMTHONGKEAW J, TANGTERMSIRIKUL S, LEELAWAT T. A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete[J]. Construction and Building Materials 2006, 20(9) 744-753.

(编辑 胡玲)

(上接第131页)

- [11] 周康群,刘晖,孙彦富,等. 厌氧条件总磷还原为磷化氢种泥筛选及功能菌株鉴定[J]. 生态环境,2007,16(6): 1669-1673.
ZHOU KANG-QUN, LIU HUI, SUI YAN-FU, et al. Screening the phosphate reducer deoxidizing total phosphate into PH₃ and the identification of the functional bacteria[J]. Ecology and Environment,2007, 16(6):1669-1673.
- [12] 陈垚,龙腾锐,周健等. 超高盐高磷废水磷酸盐还原系统构建过程中磷系统转化分析研究[J]. 环境科学, 2009,30(9):2592-2597.
CHEN YAO, LONG TENG- RUI, ZHOU JIAN, et al. Transformation of phosphorus forms in the construction process of phosphate reduction system of hypersaline and high-phosphorus wastewater [J]. Environmental Science,2009,30(9):2592-2597.
- [13] MUNEYAMA E, KUNISHIGE A, OHDAN K, et al. Reduction and reoxidation of iron phosphate and its catalytic activity for oxidative dehydrogenation of isobutyric acid[J]. J. Catalysis,1996,158:378-384.
- [14] PERCHERON G, BERNET N, MOLETTA R. Interaction between methanogenic and nitrate reducing bacteria during the anaerobic digestion of an industrial sulfate rich wastewater[J]. FEMS Microbiol. Ecol., 1999,29:341-350.
- [15] 耿金菊,王强,牛晓君,等. 环境因子对湖泊沉积物中吸附态磷化氢生成和释放的影响[J]. 环境科学学报, 2005,25(5):681-685.
GENG JIN- JU, WANG QIANG, NIU XIAO- JUN, et al. Effects of environmental factors on the production and release of matrix bound phosphine from lake sediments[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2005,25 (5):681-685.
- [16] 郭夏丽,郑平,梅玲玲. 厌氧除磷种源的筛选与厌氧除磷条件的研究[J]. 环境科学学报,2005,25(2):238-241.
GUO XIA- LI, ZHENG PING, MEI LING- LING. Screening for the phosphate reducer and study on their dephosphorization conditions [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2005,25(2):238-241.

(编辑 王秀玲)