

化工技术

温度对发泡水泥抗压能力和延性的影响

贺生云^{1,2,3} 田军仓^{1,2,3} 潘友辰⁴ 李宏波^{1,2,3}

(宁夏大学土木与水利工程学院¹, 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心², 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心³, 宁夏博大新型建材有限公司⁴, 银川 750021)

摘要 为了解决建筑外墙保温材料对防火等级要求高以及节能环保的现实工程问题,采用普通硅酸盐水泥为胶凝材料,以双氧水为发泡剂,配以聚丙烯纤维制备了符合建筑防火要求的新型建筑保温材料——发泡水泥。研究分析了不同温度下发泡水泥的抗压强度以及延性。研究表明:37℃环境发泡水泥内部气泡小而密;42℃环境发泡水泥气泡大,气泡间距小。发泡水泥制备的温度环境对发泡水泥的密度,抗压能力以及延性影响较大,37℃环境发泡水泥抗压能力以及延性优于42℃环境发泡水泥。

关键词 发泡水泥 温度 抗压强度 延性 密度

中图法分类号 TQ172.71; **文献标志码** B

建筑节能已是当今建筑界共同关注的话题;与此同时,新型的墙体保温材料——发泡水泥保温板随之而出。发泡水泥是一种无机保温材料,由于其相对于传统的聚苯乙烯泡沫保温板有诸多优点^[1-4],因此发泡水泥保温板作为新型保温材料有望在建材行业中得到一席之地。

发泡水泥的制备有物理和化学两种方法^[5],目前国内常采用双氧水作为化学法的发泡剂,在常温下相对比较稳定,分解速率与分解率比较低^[6]。对于水泥的品种,国内大多数采用普通硅酸盐水泥,掺入配制的稳泡剂^[7]或者选用快硬硫铝酸盐水泥,或是与普通硅酸盐水泥按一定比例配合^[8]。与普通硅酸盐水泥相比,快硬硫铝酸盐水泥凝结硬化快,有利于泡沫稳定^[9];但快硬硫铝酸盐水泥后期强度会出现倒缩现象^[10]。为了解决在发泡水泥制备时料浆易离析、泌水,以及使用阶段出现易开裂、韧性差

等问题,通常加入纤维可有效地解决^[11]。

由于发泡温度对发泡水泥的影响较大,发泡能力随着温度的上升而增大,但温度太高则会影响气泡的稳定性^[12],因此本试验通过研究选取了两种发泡温度,以普通硅酸盐水泥为胶凝材料,采用双氧水进行发泡,同时掺入一定比例的聚丙烯纤维,研究不同温度环境下制备出的发泡水泥的抗压能力和延性性能。

1 试验

1.1 试验材料

水泥:宁夏瀛海 P. O42.5 水泥,各项技术指标均符合 GB175—2007《普通硅酸盐水泥》中 P. O42.5 水泥有关规定;

粉煤灰:银川水洞沟电厂粉煤灰,化学成分见表 1。

表 1 水洞沟电厂粉煤灰化学成分

Table 1 Chemical composition of fly ash of shuidonggou power plant

SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	Fe ₂ O ₃ /%	CaO/%	MgO/%	K ₂ O/%	Na ₂ O/%	SO ₃ /%
48.99	20.74	5.91	7.44	2.36	1.39	1.04	2.5

双氧水:市面所售浓度为 50% 的双氧水;

稳泡剂:高分子稳泡剂;

纤维:聚丙烯单丝纤维,山西三维公司生产,各

项指标见表 2。

表 2 聚丙烯纤维性能指标

Table 2 Performance indicators of

polypropylene fiber

抗拉强度/ MPa	断裂 伸长率/%	吸水率/ %	当量 直径/ μm	长度/ mm	弹性模量/ MPa
≥520	≤30	<2	20~50	12	≥3 800

2015 年 4 月 24 日收到

国家十二五科技支撑计划项目课题
(2013BAJ03B01)资助

第一作者简介:贺生云(1964—),男,副教授。研究方向:绿色建筑材料与构造设计。E-mail:hsy_nxu@126.com。

1.2 试验方案与方法

本试验采用水胶比为 0.46, 粉煤灰掺量为胶凝材料 9% 的两组单因素试验, 各组份的掺量见表 3。

表 3 单方发泡水泥试验配合比

Table 3 Foam cement mixing ratio of per cubic meter

水泥/kg	粉煤灰/kg	双氧水/kg	稳泡剂/g	纤维/g	水/kg
200	20	12	800	200	100

1.2.1 试验依据

根据 GB 11969—2008《蒸压加气混凝土的试验方法》和 GB 50547—2010《墙体材料应用统一技术规范》, 分别在温度为 37 °C 和 42 °C 两种环境中对水泥进行发泡, 研究分析发泡水泥抗压能力和延性性能。先将水泥、粉煤灰、高分子稳泡剂、纤维混合拌制 30 s, 再加水搅拌 270 s, 搅拌均匀后加入双氧水搅拌 5 s。将搅拌成品倒入模具中, 模具顶部用保温材料覆盖, 研究分析发泡水泥抗压能力和延性性能。

1.2.2 试验设备与结果处理

试验成型采用 TH-30B 水泥发泡机; 抗压能力和延性测试采用三思 60 t 液压伺服压力试验机。根据压力试验机数据采集系统采集试验数据, 最后采用 Origin 进行绘图分析。

2 结果与讨论

2.1 温度对发泡水泥的影响

对已达到养护龄期的发泡水泥板进行密度、抗压强度试验, 受试件见图 1, 试验结果见表 4。

从图 1 中可以看到两种温度环境下的发泡水泥的气泡都很均匀, 气泡大小以及气泡间距受温度影响很大, 37 °C 环境发泡水泥气泡相对较小, 气泡直径在 1.10 ~ 2.30 mm 之间, 42 °C 环境中发泡水泥气泡相对较大, 气泡直径在 1.63 ~ 2.46 mm 之间, 约为 37 °C 环境发泡水泥气泡直径的 1.5 倍, 这是由于温度降低, 熔体强度增加, 泡孔塌陷和合并减少, 发泡材料的泡孔密度增大, 泡孔尺寸减小^[13]。

表 4 不同温度下发泡水泥的密度和抗压荷载值

Table 4 Density and compressive load values of foamed cement under different temperature

温度/°C	密度/(kg·m ⁻³)	抗压荷载值/kN
37	247.3	4.92
42	198.2	3.35

由表 4 可以看出, 37 °C 环境发泡水泥密度相对较大, 抗压荷载值相对较高, 结合图 1 分析可以认为这是由于该环境下发泡水泥内部形成的气泡较小, 单位面积可用于支撑的气泡壁多且厚, 从而在发泡

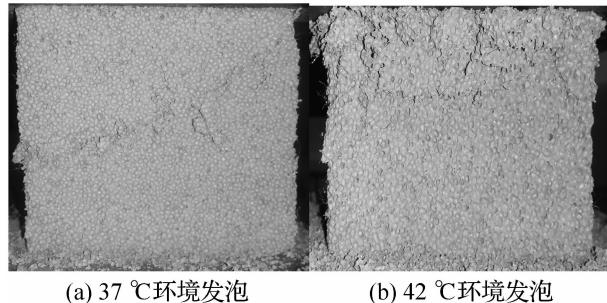


图 1 两种温度下发泡水泥板气泡大小

Fig. 1 Foamed cement bubble size under two kinds of temperature

水泥受压使其内部的应力分布均匀。同样, 42 °C 环境发泡水泥抗压荷载值较低原因则与之相反。

2.3 发泡水泥延性

对发泡水泥试件进行延性试验, 当达到发泡水泥的破坏荷载值以后, 以与抗压强度试验相同的加载速度继续加载, 得到发泡水泥破坏后的曲线, 见图 2。

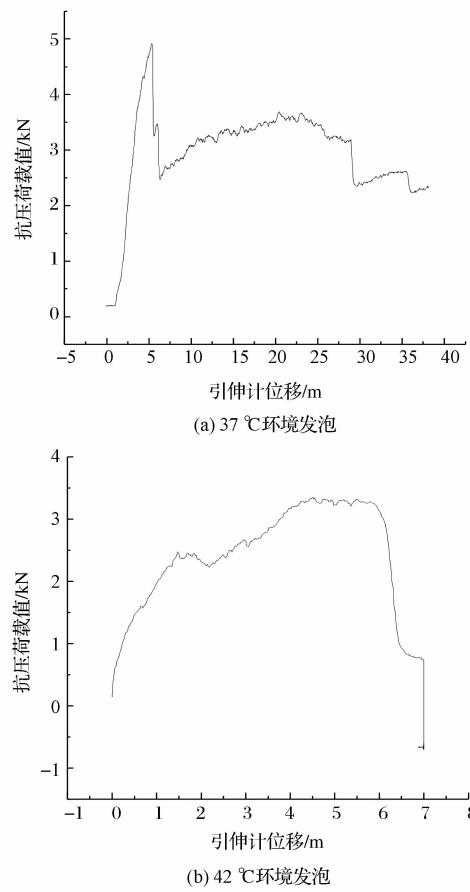


图 2 发泡水泥加载曲线

Fig. 2 Loading curve of foamed cement

从图 2 中可以看到, 37 °C 环境发泡水泥的抗压荷载值和破坏后的延性与 42 °C 环境发泡水泥有所不同。相同加载速度, 在加载阶段 37 °C 环境发泡水

泥抗压荷载值上升较快,达到破坏荷载后瞬间下降为破坏荷载值50%左右,随后随着引伸计位移的增大先缓慢上升,后缓慢下降。当引伸计位移为40 mm左右时,37 °C环境发泡水泥抗压荷载值仍高于初始荷载值,约为极限抗压荷载值的46%左右。在42 °C环境发泡水泥在加载阶段抗压荷载值上升缓慢,而且在破坏阶段持续时间长,当引伸计位移达到与37 °C环境发泡水泥引伸计位移达相同时,即引伸计位移到达7 mm左右,其抗压荷载值迅速下降,抗压荷载值低于发泡水泥的初始荷载值。

分析认为,导致以上结果有所区别的原因有两点:其一是气泡属性。由于发泡温度不同使得发泡水泥的气泡大小以及泡壁的厚度有所差异,小气泡的泡壁较厚,大气泡泡壁较薄,这就使小气泡的发泡水泥相对于大气泡发泡水泥显得“很结实”。小气泡在发泡水泥受到匀速的压力时,其内部的气泡相对很难被压破,犹如具有弹性的球,使发泡水泥呈现一定的弹性,另外单位面积上的小气泡数目远远大于大气泡数目,每个气泡收的单位力也相对较小,因此其抗压能力强于大气泡发泡水泥;其二是聚丙烯纤维的加入。聚丙烯纤维在发泡水泥内部乱向分布,穿插在气泡的中间,无论受到任何方向压力,都会起到约束作用,在一定程度上减轻了气泡所受的压力,从而提高了抗压能力。同时相同长度的纤维穿过小气泡的数目大于大气泡的数目,因此在相同纤维掺量时,小气泡的发泡水泥中的纤维利用效率高于大气泡发泡水泥。

综上分析可以得出,37 °C环境发泡水泥的抗压能力以及延性均好于42 °C环境发泡水泥的抗压能力以及延性。

3 结论

(1)37 °C环境发泡水泥内部气泡小而密,密度大;42 °C环境发泡水泥气泡大,气泡间距小,密度小。37 °C环境发泡水泥抗压能力强于42 °C环境发泡水泥抗压能力的原因在于受力一致情况下,37 °C环境发泡水泥单个气泡承受压力小于42 °C环境发泡水泥单个气泡。

(2)37 °C环境发泡水泥的延性好于42 °C环境发泡水泥。发泡水泥内部的气泡相对很难被压破,犹如具有弹性的球,使发泡水泥呈现一定的弹性;小气泡的发泡水泥中纤维的利用效率高于大气泡发泡水泥。

参 考 文 献

1 Jones M R, McCarthy A. Utilising unprocessed low-lime coal fly ash in foamed concrete. *Fuel*, 2005; 84(11): 1398—1409

- 2 Nambiar E K K, Ramamurthy K. Influence of filler type on the properties of foam concrete. *Cement and concrete composite sites*, 2006; 28(5): 475—480
- 3 潘志华,程麟,李东旭,等.新型高性能泡沫混凝土制备技术研究. *新型建筑材料*, 2002; (5): 1—4
Pan Zhihua, Cheng Lin, Li Dongxu, et al. The preparation technology of new foamed concrete with high performance. *New Building Materials*, 2002; (5): 1—4
- 4 俞心刚,李德军,田学春,等.煤矸石泡沫混凝土的研究. *新型建筑材料*, 2008; (1): 16—19
Yu Xingang, Li Dejun, Tian Xuechun, et al. Study on gangue foam concrete. *New Building Materials*, 2008; (1): 16—19
- 5 孙诗兵,陈华,牛寅平,等.激发剂对发泡水泥制备与性能的影响. *武汉理工大学学报*, 2012; 34(11): 22—25
Sun Shibing, Chen Hua, Niu Yingping, et al. Effects of activator on the preparation and properties of foam cement. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2012; 34(11): 22—25
- 6 张清,应超燕.双氧水分解速率和稳定性研究. *嘉兴学院学报*, 2012; (3): 52—53
Zhang Qing, Ying Chaoyan. Study on decomposition rate and stability of hydrogen peroxide. *Journal of Jiaxing University*, 2012; (3): 52—53
- 7 杜传伟,李国忠.发泡水泥保温材料的耐水性能研究. *砖瓦*, 2013; (3): 56—58
Du Chuanwei, Li Guozhong. Water resistance properties of foamed cement insulating material. *Brick-Tile*, 2013; (3): 56—58
- 8 王武祥,张磊蕾,王爱军,等.水泥基发泡混凝土的生产与应用. *墙体革新与建筑节能*, 2012; (4): 33—37
Wang Wuxiang, Zhang Leilei, Wang Aijun, et al. Production and application of cement foamed concrete. *Wall Materials Innovation and Building Energy Conservation*, 2012; (4): 33—37
- 9 管文.孔结构对泡沫混凝土性能影响的研究. *墙体革新与建筑节能*, 2011; (4): 23—26
Guan Wen. Effects of pore structure on the properties of foam concrete. *Wall Materials Innovation and Building Energy Conservation*, 2011; (4): 23—26
- 10 张萌,田清波,徐丽娜,等.发泡水泥的研究现状及展望. *硅酸盐通报*, 2014; 33(10): 2548—2550
Zhang Meng, Tian Qingbo, Xu Lina, et al. Status and prospects of research on foamed cement. *Bulletin of the Chinese Ceramic Society*, 2014; 33(10): 2548—2550
- 11 俞家欢,刘琼阳.水泥基复合材料中纤维拉拔的变位约束细观力学模型. *复合材料学报*, 2008; 25(5): 147—150
Yu Jiahuan, Liu Qiongyang. Meso-scale variable engagement model for single fiber reinforced concrete under uniaxial tension. *Acta Materiae Compositae Sinica*, 2008; 25(5): 147—150
- 12 熊亮,孔耀祖.温度对泡沫性能影响的实验研究. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2009; 38(4): 10—12
Xiong Liang, Kong Yaozu. Experimental research on foam effects to temperature. *Exploration Engineering (Drilling & Tunneling Engineering)*, 2009; 38(4): 10—12
- 13 晏梦雪,周南桥.发泡工艺对超临界CO₂/PLA微孔发泡孔形态的影响. *塑料工业*, 2010; 38(11): 41—44
Yan Mengxue, Zhou Nanqiao. Effect of foaming technology on cell morphology in microcellular foaming of supercritical CO₂/PLA. *China Plastics Industry*, 2010; 38(11): 41—44 (下转第182页)

- pact of dielectric characteristics on NO removal by a dielectric-barrier discharge. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2003; (5):475—477
- 12 孙保民,尹水娥,肖海平.介质阻挡放电脱硫脱硝过程特性.化
工学报,2010;61(2):72—75
Sun Baomin, Yin Shui'e, Xiao Haiping. Characteristics of NO and SO₂ removal in dielectric barrier discharge plasma process. CIESC Journal, 2010;61(2):72—75
- 13 李 谦,宁 成,李 劲,等.采用脉冲供能使静电除尘器兼备烟气净化和除尘功能的可能性研究.热力发电, 1995; (4): 20—25
Li Qian, Ning Cheng, Li Jin, et al. Gas purification and dust collection by using pulse energization. Thermal Power Generation, 1995; (4):20—25

Investigation on the Effects of Dust on the Desulfurization Denitration Efficiency by Using Dielectric Barrier Discharge

WANG Xue-tao, WANG Pei-di, LIU Yu, REN Jian-xing

(College of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, P. R. China)

[Abstract] Sulfur and nitrogen oxides emissions from coal-fired thermal power plants are one of the main components of air pollution. Dielectric barrier discharge is an effective simultaneous desulfurization and denitrification technology. The electric field electrically charged and diffusion charging of in the dielectric barrier discharge space charged was studied. The effect of dust on the desulphurization and denitration efficiency was analysed. It is concluded that dust has promoting effect to desulfurization, improving the desulfurization efficiency is about 3%; dust has no removal effect on the NO. As the input voltage rises, the energy consumption caused by dust has reduced and dust consuming the extra energy to reduce the discharge space temperature, result in the increment of De-NO efficiency.

[Key words] dielectric barrier discharge dust desulfurization and denitrification

(上接第 177 页)

Effects of Temperature on Compressive Property and Ductility of Foamed Cement

HE Sheng-yun^{1,2,3}, TIAN Jun-cang^{1,2,3}, PAN You-chen⁴, LI Hong-bo^{1,2,3}
(College of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University¹; Ningxia Research Center of Technology on Water-saving Irrigation and Water Resources Regulation²; Engineering Research Center for Efficient Utilization of Water Resources in Modern Agriculture in Arid Regions³; Ningxia Boda New Building Materials CO., LTD⁴, Yinchuan 750021, P. R. China)

[Abstract] As the new building insulation materials, foamed cement has prepared by P. O, hydrogen peroxide, polypropylene fiber and so on in order to solve practical engineering problems of building exterior wall thermal insulation materials with high fire rating requirements and energy-saving environmental protection. Compressive property and ductility of foamed cement under different temperature were researched. The results showed: The bubble is small and dense in and it is big, bubble spacing is small in foamed cement under 42 °C. Temperature environment of foamed cement preparing has a significant impact on density, compressive property and ductility of foamed cement. The compressive property and ductility of foamed cement under 37 °C are superior to same properties of foamed cement under 42 °C.

[Key words] foamed cement temperature compressive strength ductility density