

新型粉煤灰基防水涂料制备及性能评价

Preparation and Performance Evaluation of a novel Fly Ash - Based Waterproof Coating

饶朝崧

(云南建投第六建设有限公司, 昆明 650000)

摘要: 为了提高建筑施工中混凝土结构的防水性能, 以粉煤灰和电石渣为原料, 通过碳化反应制备出碳化粉煤灰, 然后将其与水泥、聚合物乳液以及其他助剂相结合, 制备出了一种适合建筑施工用的新型粉煤灰基防水涂料。通过室内试验考察了碳化粉煤灰加量对防水涂料性能的影响, 并评价了对泡沫混凝土性能的影响。结果表明: 当碳化粉煤灰的质量分数为 30% 时, 具有良好的疏水性能、拉伸性能和耐老化性能, 表面接触角可以达到 150° 以上, 拉伸强度为 3.61 MPa, 断裂延伸率为 340.85%, 热老化 28 d 后的拉伸强度仍能达到 3.51 MPa。与空白泡沫混凝土试样相比, 混凝土试样吸水性能和导热性能显著下降, 抗冻性能显著提升, 具有良好的防水特性和保温效果, 适合在混凝土结构防水施工中进行使用。

关键词: 建筑施工; 碳化粉煤灰; 防水涂料; 疏水性能; 泡沫混凝土; 保温性能

中图分类号: TQ630; TU56

文献标志码: A

文章编号: 1005-8249 (2025) 03-0063-05

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.03.012

RAO Chaosong

(YCIH No.6 Construction Co., Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: In order to improve the waterproof performance of concrete structure in building construction, carbonized fly ash was prepared by carbonization reaction with fly ash and carbide slag as raw materials, and then a new type of fly ash based waterproof coating suitable for building construction was prepared by combining it with cement, polymer lotion and other additives. The influence of the amount of carbonized fly ash on the performance of waterproof coating was investigated through laboratory tests, and the influence of the amount of carbonized fly ash on the performance of foam concrete was evaluated. The results show that when the mass fraction of carbonized fly ash is 30%, it has good hydrophobicity, tensile properties, and aging resistance. The surface contact angle can reach over 150° , the tensile strength is 3.61 MPa, the elongation at break is 340.85%, and the tensile strength after 28 days of thermal aging can still reach 3.51 MPa. Compared with the blank foam concrete sample, the water absorption and thermal conductivity of the concrete sample are significantly reduced, the frost resistance is significantly improved, and the concrete sample has good waterproof properties and thermal insulation effect, which is suitable for use in the waterproof construction of concrete structures.

Key words: construction of buildings; carbonized fly ash; waterproof coating; hydrophobic performance; foam concrete; thermal insulation performance

0 引言

混凝土结构长期暴露在恶劣的环境中极易出现破损、强度减小以及耐久性能下降的问题, 尤其是在湿度较高或者雨水较多的环境中, 混凝土结构内

材料科学

部水分含量增大,而水分中如果含有较多的盐离子或者酸性气体(CO_2 和 SO_2)时更易引起盐侵蚀和混凝土中钢筋的锈蚀,导致其耐久性性能降低,缩短混凝土结构的使用寿命^[1-2]。因此,对其表面进行处理,以提高混凝土的耐久性,显得尤为重要。

聚合物水泥类防水涂料在混凝土结构表面防护中的研究及应用较多^[3-5],其通常具有防水效果好、涂层强度高、黏结能力强以及使用范围广的优点^[6-7]。其中填料是聚合物水泥类防水涂料的重要组成部分^[8],较为常用的填料类型主要包括碳酸钙、石英粉、滑石粉、矿渣粉以及粉煤灰等^[9-11]。唐丽英等^[12]使用粉煤灰部分替代石英粉作为聚合物水泥防水涂料的填料,考察了粉煤灰掺量对聚合物水泥防水涂料拉伸性能的影响,并对其作用机理进行了分析;李雪玲等^[13]考察了矿粉、粉煤灰和砂子作为填料对聚合物水泥防水涂料性能的影响,其中粉煤灰作为填料时制备的涂料涂膜性能最好;唐明秀等^[14]对粉煤灰在涂料中的应用及研究进展进行了综述,主要包括粉煤灰在防水涂料、防火涂料、保温涂料以及防腐涂料中的研究及应用,粉煤灰能够取代部分原料制备出多种功能涂料,达到变废为宝的目的。为了进一步提高粉煤灰的利用率,将其进行碳化处理制备成碳化粉煤灰,不仅能够有效增大粉煤灰颗粒的粗糙度,提高其使用性能,还能有效降低碳排放^[15]。

目前将碳化粉煤灰应用于聚合物水泥防水涂料中的研究仍相对较少,因此,以某热电厂的粉煤灰和电石渣为原料,通过碳化处理制备出碳化粉煤灰,将其与水泥、聚合物乳液以及其他助剂相结合,制备出一种适合建筑施工用的新型粉煤灰基防水涂料,考察了碳化粉煤灰加量对防水涂料性能的影响,并评价了新型粉煤灰基防水涂料对泡沫混凝土吸水性能、抗冻性能以及导热性能的影响,为进一步扩大粉煤灰的利用范围提供一定的参考。

1 试验研究

1.1 主要试验材料

试验用粉煤灰和电石渣均来自西部某热电厂;P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;S95 级矿渣粉;乙酸乙酯-乙烯共聚乳液;硅烷偶联剂 KH-570;成膜

助剂 C12;消泡剂 SF-8427;六偏磷酸钠;铝粉膏;高纯 CO_2 气体(纯度 99.999%)。

1.2 试验方法

1.2.1 防水涂料性能评价

将新型粉煤灰基防水涂料倒入 $12\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ 的模具中,在室温下养护 4 d,脱模后将其放入恒温干燥箱中继续养护 2 d(养护温度为 $40\text{ }^\circ\text{C}$),最后将试样裁剪成国家标准 GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》中规定的哑铃 I 型(长度为 2.5 cm),备用。其中疏水性能和拉伸性能评价试验用试样各 7 组,耐老化性能试验用试样 21 组。

将试样表面使用脱脂棉擦拭干净,然后采用表面接触角测量仪测定水滴在不同试样表面的接触角,以此评价其疏水性能。参照国家标准 GB/T 16777—2008《建筑防水涂料试验方法》中的规定,以试样的拉伸强度和断裂延伸率为评价指标,测定不同试样的拉伸性能。将试样放入 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 的恒温干燥箱中加热老化 12 h,然后取出继续在标准养护环境中放置 12 h,记为一个老化周期。持续循环老化 28 次,对比测定老化前后试样的拉伸强度变化情况,以此评价其耐老化性能。

1.2.2 泡沫混凝土性能评价

称取水泥 100 g、粉煤灰 60 g 和矿渣粉 60 g,将其搅拌混合均匀;再加入 200 g 的水,搅拌 3 min,然后迅速加入铝粉膏 1 g,搅拌 1 min;搅拌完毕后将浆料倒入模具中,并将其在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 下养护发泡 12 h,取出后脱模,然后在水泥蒸压釜中蒸养 7 d,即制备出试验用泡沫混凝土试样;最后将新型粉煤灰基防水涂料涂刷至泡沫混凝土试样上,室温干燥 24 h 后将试样放置于恒温干燥箱中,在 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 下养护 2 d。其中吸水性能评价试验用试样为 2 组,抗冻性能评价试验用试样为 14 组,导热性能试验用试样为 6 组。

将混凝土试样在恒温干燥箱中干燥一段时间,直至恒重后取出,称量其初始重量;然后将混凝土试样放入大烧杯中,加入蒸馏水使试样完全浸没;每隔一段时间后取出试样,表面擦拭干净后称量其重量,并与初始重量相比,计算其吸水率,以此考察试样的吸水性能。参照国家标准 GB/T 11968—2006《蒸压加气混凝土砌块》中“7.2.4 抗冻性能”

部分的规定,以试样的质量损失率和抗压强度为评价指标,评价新型粉煤灰基防水涂料对泡沫混凝土抗冻性能的影响。参照国家标准 GB/T 11968—2006《蒸压加气混凝土砌块》中“7.2.5 导热系数”部分的规定,以试样的导热系数为评价指标,评价新型粉煤灰基防水涂料对泡沫混凝土导热性能的影响。

2 结果与讨论

2.1 碳化粉煤灰加量对防水涂料性能的影响

2.1.1 疏水性能

由图1可知,随着碳化粉煤灰质量分数的逐渐增大,试样表面的接触角呈现出先增大后减小的趋势,即疏水性能呈现出先增强后减弱的趋势。当碳化粉煤灰的质量分数在30%~50%之间时,防水涂料试样表面的接触角均能达到 150° 以上,疏水效果较好。碳化粉煤灰的质量分数增大至60%时,防水涂料试样表面的接触角则减小至 140° 以下。因此,从碳化粉煤灰加量对涂料疏水性能的影响角度考虑,推荐碳化粉煤灰的最佳加量为30%~50%。

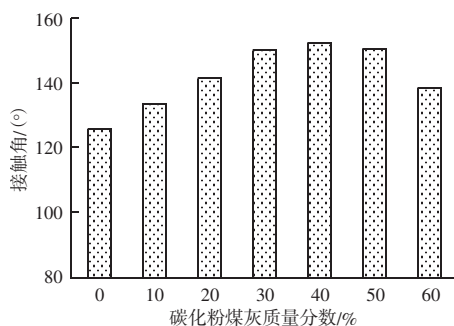


图1 碳化粉煤灰加量对试样疏水性能的影响
Fig. 1 Effect of carbonized fly ash addition on the hydrophobic properties of samples

2.1.2 拉伸性能

由图2可知,随着碳化粉煤灰质量分数的逐渐增大,试样的拉伸强度呈现出先增大后减小的趋势,而断裂延伸率则呈现出逐渐减小的趋势。当碳化粉煤灰的质量分数为30%时,涂料试样的拉伸强度达到最大值3.61 MPa,断裂延伸率为340.85%,与未加入碳化粉煤灰的空白涂料试样相比,拉伸强度提升了43.25%,提升幅度较大,而断裂延伸率减小的幅度并不大。再继续增大碳化粉煤灰的质量分数至40%以上时,涂料试样的拉伸强度则有所减小,而断裂延伸率减小的幅度也逐渐增大。因此,从碳化

粉煤灰加量对涂料拉伸性能的影响角度考虑,推荐碳化粉煤灰的最佳加量为30%。

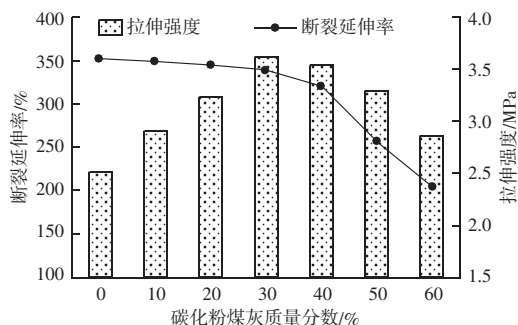


图2 碳化粉煤灰加量对试样拉伸性能的影响
Fig. 2 Effect of carbonized fly ash addition on the tensile properties of samples

2.1.3 耐老化性能

由图3可知,随着碳化粉煤灰质量分数的逐渐增大,试样热老化不同时间后的拉伸强度值均呈现出先增大后减小的趋势。另外,在相同的碳化粉煤灰掺量条件下,热老化时间越长,涂料试样的拉伸强度相对就越小。当碳化粉煤灰的质量分数为30%时,涂料试样老化前以及热老化7和28 d后的拉伸强度均能达到最大值,其中热老化7和28 d后的拉伸强度仍分别能够达到3.59和3.51 MPa,与未老化前的试样相比,拉伸强度分别减小了0.55%和2.77%,减小的幅度均比较小。而未加入碳化粉煤灰的空白涂料试样热老化7和28 d后的拉伸强度则分别减小至2.26和1.94 MPa,与未老化前的试样相比,拉伸强度则分别减小了10.32%和23.02%,减小的幅度均比较大。这说明碳化粉煤灰的加入能够较大幅度的提升耐老化性能。从碳化粉煤灰加量对涂料耐老化性能的影响角度考虑,碳化粉煤灰的最佳加量为30%。

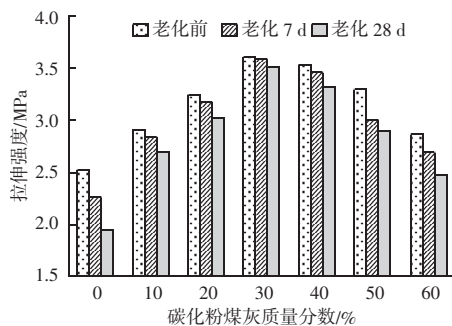


图3 碳化粉煤灰加量对试样耐老化性能的影响
Fig. 3 Effect of carbonized fly ash addition on the aging resistance of samples

材料科学

2.2 新型粉煤灰基防水涂料对泡沫混凝土性能的影响

2.2.1 吸水性能

由图4可知,随着吸水时间的逐渐延长,混凝土试样的吸水率均呈现出逐渐增大的趋势,其中空白混凝土试样的吸水率明显大于涂刷防水涂料后的混凝土试样。当吸水时间为360 min时,空白混凝土试样的吸水率可以达到58.7%,而涂刷了新型粉煤灰基防水涂料的混凝土试样吸水率仅为3.6%,吸水率明显减小。这说明新型粉煤灰基防水涂料具有良好的防水特性,能够显著降低泡沫混凝土结构的吸水性能。

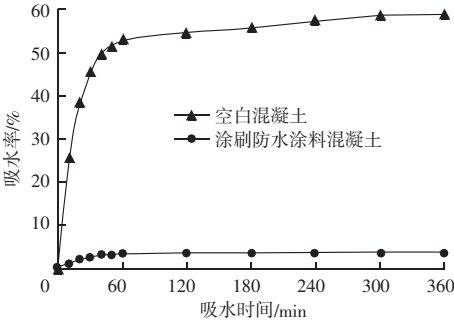
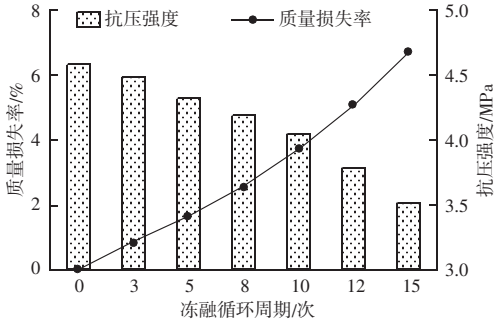


图4 防水涂料对混凝土吸水率的影响

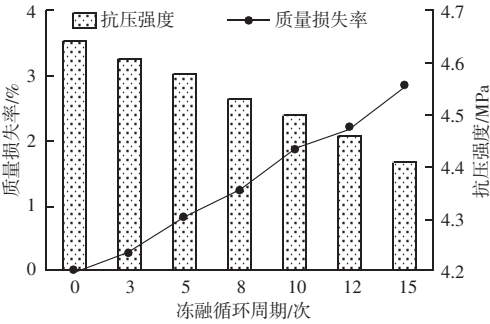
Fig.4 Effect of waterproof coating on the water absorption rate of concrete

2.2.2 抗冻性能

由图5可知,随着冻融循环周期的不断增加,空白混凝土和涂刷防水涂料后混凝土试样的质量损失率均呈现出逐渐增大的趋势,而抗压强度则均呈现出逐渐减小的趋势。另外,在相同的冻融循环周期条件下,涂刷防水涂料后混凝土试样的质量损失率均明显低于空白混凝土试样,而抗压强度则明显高于空白混凝土试样。当冻融循环周期为15次时,涂刷防水涂料后混凝土试样的质量损失率为2.84%,抗压强度为4.41 MPa,与未开始冻融循环试验时的



(a) 空白混凝土试样的抗冻性能



(b) 涂刷防水涂料后试样的抗冻性能

图5 不同情况下试样的抗冻性能

Fig.5 The frost resistance of specimens under different conditions

4.64 MPa 相比,抗压强度仅下降了4.96%;而空白混凝土试样的质量损失率为6.72%,抗压强度为3.52 MPa,与未开始冻融循环试验时的4.58 MPa相比,抗压强度下降了23.14%。这说明新型粉煤灰基防水涂料能够显著提升泡沫混凝土的抗冻性能。

2.2.3 导热性能

由图6可知,在未泡水情况下空白混凝土试样和涂刷了新型粉煤灰基防水涂料的混凝土试样导热系数均比较小,分别为0.154和0.102 W/(m·K)。而当混凝土试样泡水后,其导热系数均增大,并且泡水时间越长,导热系数增大的幅度就越大。但在相同的泡水时间条件下,涂刷防水涂料的混凝土试样的导热系数明显低于空白混凝土试样。当泡水时间为15 min时,空白混凝土试样的导热系数增大至0.849 W/(m·K),而涂刷防水涂料的混凝土试样的导热系数则仍低至0.228 W/(m·K)。这说明新型粉煤灰基防水涂料能够显著增强泡沫混凝土的保温性能,并且在泡水环境中仍能保持良好的保温效果。

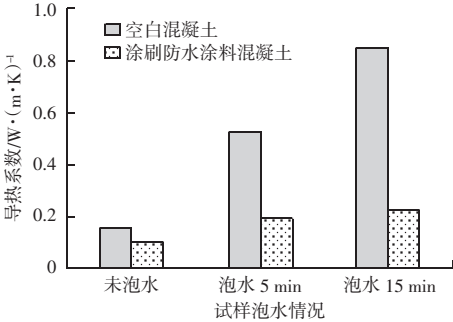


图6 防水涂料对混凝土导热性能的影响

Fig.6 Effect of waterproof coating on the thermal conductivity of concrete

3 结论

将碳化粉煤灰与水泥、聚合物乳液以及其他助剂相结合，制备出一种适合建筑施工用的新型粉煤灰基防水涂料，重点评价了碳化粉煤灰加量对防水涂料性能的影响，以及新型粉煤灰基防水涂料对泡沫混凝土吸水性能、抗冻性能以及导热性能的影响，主要得出以下结论：

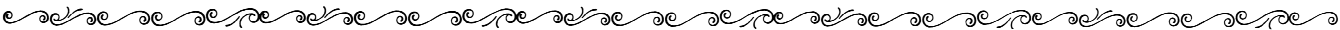
（1）随着碳化粉煤灰加量的逐渐增大，新型粉煤灰基防水涂料的表面接触角和拉伸强度均先增大后减小，而断裂延伸率则逐渐减小。当碳化粉煤灰的质量分数为 30%，此时新型粉煤灰基防水涂料具有良好的疏水性能、拉伸性能和耐老化性能。

（2）新型粉煤灰基防水涂料能够显著提升泡沫混凝土的防水性能、抗冻性能和保温性能，涂刷了新型粉煤灰基防水涂料的泡沫混凝土试样不同吸水时间的吸水率、冻融循环不同周期后的质量损失率以及不同泡水情况下的导热系数均明显低于空白混凝土试样，而抗压强度则明显高于空白混凝土试样。

参 考 文 献

[1] 刘春旭, 王剑锋. 公路路基工程用混凝土抗冻性能评价 [J]. 当代化工, 2024, 53 (10): 2423-2427.
[2] 高博洋, 孙曦源, 石鲁宁, 等. 外露型聚氨酯防水涂料在混凝

土屋面防水维修中的应用 [J]. 新型建筑材料, 2024, 51 (11): 121-123, 127.
[3] 王威, 李超, 李树阳, 等. 高耐水聚合物水泥防水涂料在种植顶板上的应用 [J]. 中国建筑防水, 2024 (12): 36-39.
[4] 花蕾. 绿色涂料保温隔热性能的对比研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2021, 35 (1): 66-70, 74.
[5] 李田雨, 王伟, 李磊, 等. 生态水泥基混凝土防腐增强涂料的制备及应用 [J]. 粉煤灰综合利用, 2018 (6): 44-51.
[6] 林如涛. 不同填料对 JS 防水涂料涂膜性能的影响研究 [J]. 福建建材, 2023 (10): 17-20.
[7] 孙艳芳, 赵培龙. 粉煤灰在单组分高强度聚氨酯防水涂料中的应用研究 [J]. 中国建筑防水, 2018 (17): 12-15.
[8] 范朕连, 张世蕊, 樊飘, 等. 粉煤灰在功能建筑涂料中的研究进展 [J]. 涂料工业, 2023, 53 (12): 80-88.
[9] 雷旭. 粉煤灰基超疏水涂层的研究 [D]. 太原: 山西大学, 2019.
[10] 汪思敏, 唐丽英, 李文旭, 等. 工业固废资源化制备防水涂料的应用研究 [J]. 四川建材, 2022, 48 (3): 1-2, 7.
[11] 叶旋, 涂华锦, 邱志文. 粉煤灰填充涂料的研究进展 [J]. 涂料工业, 2019, 49 (6): 73-76.
[12] 唐丽英, 刘佳, 李春洪, 等. 粉煤灰对 JS 防水涂料拉伸性能的影响 [J]. 四川建材, 2018, 44 (7): 25-27.
[13] 李雪玲, 付弯弯, 卢雨婷, 等. 填料对聚合物水泥防水涂料性能的影响研究 [J]. 河南科技, 2022, 41 (1): 94-97.
[14] 唐明秀, 宋慧平, 薛芳斌. 粉煤灰在涂料中的应用研究进展 [J]. 洁净煤技术, 2020, 26 (6): 23-33.
[15] 白蒙杰. 碳化粉煤灰和碳化养护对水泥砂浆强度与渗透性的影响 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.



E – mail: fhmzhly@163. com