

再生聚乙烯纤维混凝土的制备及性能研究

冯娇伟¹, 李彦², 任旭凯¹

(1. 河南应用技术职业学院智能建造与设计学院, 河南 郑州 450042; 2. 郑州地产集团都市开发有限公司, 河南 郑州 450042)

摘要: 采用普通硅酸盐水泥为基体, 再生聚乙烯纤维(PEF)为填料(纤维长度为5 mm), 制备不同纤维用量的PEF混凝土, 系统分析PEF用量对PEF混凝土的坍落度、力学性能、抗冻融性能及保温性能的影响。结果表明: 在同一纤维长度下, 随着纤维用量的增大, PEF混凝土材料的流动性降低, 坍落度逐步下降; 加入体积分数1.0% PEF试样的力学性能最佳, 抗压强度和抗拉强度分别为47.93 MPa和9.17 MPa; 进一步增加PEF用量后, PEF混凝土材料的力学性能逐渐降低, 材料的脆性增强, 韧性减弱。随着冻融循环次数的增多, 加入体积分数1.0% PEF试样的质量损失率最低, 仅为0.44%, 表现出较为优异的抗冻融性。在保温性能方面, PEF体积分数小于1.5%时所制备的PEF混凝土材料导热系数均在标准值以下, 具有良好的保温性能。

关键词: 再生聚乙烯纤维; 混凝土; 力学性能; 抗冻融性能; 保温性能

中图分类号: TU528.572

文献标志码: A

文章编号: 1005-3360(2026)01-0107-04

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2026.01.020

Preparation and Performance Study of Recycled Polyethylene Fiber Reinforced Concrete

FENG Jiaowei¹, LI Yan², REN Xukai¹

(1. College of Smart Building and Design, Henan Technical Institute, Zhengzhou 450042, China;

2. Zhengzhou Urban Development Group Co., Ltd., Zhengzhou 450042, China)

Abstract: Ordinary Portland cement was used as the matrix, and recycled polyethylene fiber (PEF) with a length of 5 mm was used as the filler to prepare PEF concrete with different fiber contents. The effects of PEF content on the slump, mechanical properties, freeze-thaw resistance, and thermal insulation properties of PEF concrete were systematically analyzed. The results showed that, under the same fiber length, as the fiber content increased, the fluidity of PEF concrete decreased, and the slump gradually declined. The specimen with a PEF volume fraction of 1.0% exhibited the best mechanical properties, with a compressive strength of 47.93 MPa and a tensile strength of 9.17 MPa. Further increasing the PEF content led to a gradual decrease in the mechanical properties of PEF concrete, an increase in brittleness, and a decrease in toughness. With the increase in the number of freeze-thaw cycles, the specimen with a PEF volume fraction of 1.0% had the lowest mass loss rate, at only 0.44%, showing excellent freeze-thaw resistance. In terms of thermal insulation property, the PEF concrete prepared with a PEF volume fraction of less than 1.5% had a thermal conductivity below the standard value, indicating good thermal insulation properties.

Keywords: Recycled polyethylene fibers; Concrete; Mechanical properties; Freeze-thaw resistance; Thermal insulation properties

随着全球城市化进程加速, 建筑行业的资源消耗与废弃物排放问题日益严峻^[1-3]。混凝土作为用量最大的建筑材料, 其生产过程不仅消耗大量天然骨料, 还会产生显著碳排放^[4-6]。与此同时, 塑料污染已成为全球性环境挑战^[7], 尤其是聚乙烯(PE)类塑料废弃物, 因难以降解而持续累积^[8-9]。将废弃PE资源化利用并提升混凝土的力学性能与耐久性,

是实现建筑行业可持续发展的重要方法之一^[10-11]。

纤维增强混凝土因优异的抗裂性、韧性和抗冲击性能, 近年来受到广泛关注^[12]。传统纤维(如钢纤维、碳纤维)虽能改善混凝土性能, 但存在成本高^[13]、能耗大^[14]或回收困难等问题^[15]。再生聚乙烯纤维(PEF)作为一种潜在替代材料, 不仅可来源于废弃塑料的再生利用, 降低环境负

收稿日期 Submitted date 2025-04-12; 修回日期 Revised date 2025-05-21; 录用日期 Accepted date 2025-06-29

基金项目: 开封市2025年度科技发展计划科技攻关项目(2503024); 河南省教育科学规划2025年度一般课题(2025YB0463); 河南应用技术职业学院青年骨干教师资助项目(2024-GGJS-T001)

联系人, ff20250407@163.com

引用本文: 冯娇伟, 李彦, 任旭凯. 再生聚乙烯纤维混凝土的制备及性能研究[J]. 塑料科技, 2026, 54(1): 107-110.

Citation: FENG J W, LI Y, REN X K. Preparation and performance study of recycled polyethylene fiber reinforced concrete[J]. Plastics Science and Technology, 2026, 54(1): 107-110.

荷,其轻质^[6]、耐腐蚀^[7]和高延展性等特点,也可能为混凝土带来独特增强效果。谭燕等^[18]研究发现,PE纤维可将高强石膏从脆性材料改性为延性材料。杨秀涛^[19]系统研究PE纤维的直径、长度和掺入量对再生混凝土抗压强度和劈裂抗拉强度的影响。然而,目前关于PEF在混凝土中的应用研究仍处于探索阶段,尤其是掺量优化及其对混凝土微观结构与宏观性能的影响机制尚不明确。

本研究以熔融拉丝工艺制备的长度为5 mm的PEF为掺料,系统研究PEF用量对再生混凝土的工作性能、力学性能、耐久性和保温性能的影响,旨在为建筑废弃物与塑料垃圾的协同资源化提供新思路,同时推动高性能绿色混凝土的开发与应用。

1 实验部分

1.1 主要原料

普通硅酸盐水泥,P.O 42.5,芜湖海螺材料有限公司,表1为硅酸盐水泥的主要化学组分;PEF,单丝纤维状,长度5 mm,密度0.97 g/cm³,武汉浩源再生纤维有限公司;减水剂,聚羧酸盐,工业品,武汉华鼎化工有限公司;天然河砂,表观密度2.65 g/cm³,含水量<1.5%;粗骨料(碎石),粒径5~15 mm,表观密度2.51 g/cm³,芜湖金鼎建筑材料有限公司。

表1 硅酸盐水泥的主要化学组分

Tab.1 Main chemical components of Portland cement 单位:%

W _{SiO₂}	W _{CaO}	W _{Al₂O₃}	W _{MgO}	W _{Fe₂O₃}	W _{SO₃}
22.05	55.48	7.13	7.26	5.51	3.56

1.2 仪器与设备

水泥搅拌机,JY-500,南京江源仪器制造厂;光学显微镜,SG-310,上海光学仪器制造厂;电子万能拉力试验机,ZYH-5600,江苏科达电子设备有限公司;热导率测试仪,RD-500,天津江南设备制造厂;冻融试验箱,DR-350,天津河源机电设备有限公司;混凝土养护箱,THR-7005,河南天华仪器设备有限公司。

1.3 样品制备

按照JGJ 55—2011中的要求制备PEF混凝土。为满足使用要求,在分析各原料成分的基础上,经过试拌、测量与调整,最终确定PEF混凝土实际配合比,其中添加PEF的体积分数分别为0、0.5%、1.0%、1.5%;减水剂用量为水泥组分质量的0.35%,水灰比为0.4。表2为PEF混凝土的配方。首先将PEF和水泥充分搅拌均匀,随后再将河砂、碎石、减水剂、水加入搅拌机中,充分混合搅拌10 min,将混凝土转移至模具中,在振动台上振动30 s直至混凝土出浆,24 h后脱模,分别得到养护7、14、28 d后的PEF混凝土。

1.4 性能测试与表征

坍落度测试:按照GB/T 50080—2016测试水泥浆体的坍落度,其中模具上口直径×下口直径×高度为36 mm×60 mm×40 mm。

力学性能测试:按照JG/T 266—2011中的规定测试PEF混凝土抗拉强度和抗压强度,试验速度为15 mm/min。

表2 PEF混凝土的配方
Tab.2 Formula of PEF concretes

样品 编号	配合比/(kg·m ⁻³)					$\phi_{\text{PEF}}/\%$
	水泥	水	石子	河砂	减水剂	
S-1	400	160	1 456	1 196	1.4	0.0
S-2	400	160	1 456	1 196	1.4	0.5
S-3	400	160	1 456	1 196	1.4	1.0
S-4	400	160	1 456	1 196	1.4	1.5

保温性能测试:使用热导率测试仪测试材料的导热系数,样品尺寸为400 mm×100 mm×50 mm。

抗冻融性能测试:根据GB/T 50082—2024测试PEF混凝土的抗冻融性能,分别以质量损失率和抗压强度保持率来表征。

2 结果与讨论

2.1 PEF混凝土的坍落度分析

图1为PEF混凝土的坍落度。从图1可以看出,随着PEF用量的增加,混凝土的坍落度从234 mm降低至176 mm,下降24.8%,表明PEF用量的增加对混凝土的坍落度有着较为显著的影响。分析认为,当添加少量PEF时,其在混凝土中交错程度较低,难以形成密集网络结构,对材料整体流动性影响较小;随着PEF用量增加,PEF更易在混凝土内部缠结,导致材料流动性降低^[20]。因此,PEF混凝土的坍落度呈下降趋势。

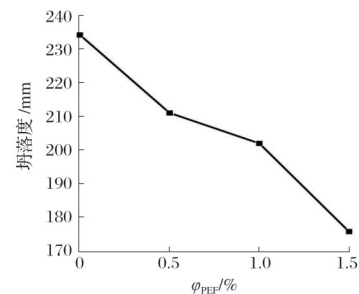


图1 PEF混凝土的坍落度

Fig.1 Slump of PEF concretes

2.2 PEF混凝土的力学性能分析

图2为PEF混凝土的力学性能。从图2可以看出,PEF用量的增加使PEF混凝土的抗压强度及抗拉强度先增加后降低的变化特征。加入体积分数1.0% PEF试样的力学性能最佳,抗压强度和抗拉强度分别为47.93 MPa和9.17 MPa。PEF用量进一步增加后,混凝土材料的力学性能开始降低。混凝土抗拉强度和抗压强度的比值称为拉压比,可以直接反映材料的脆性及韧性,该值越大,材料的脆性越小,韧性越高^[21]。从图2可以看出,随着PEF用量的增加,拉压比先增大后减小,表明混凝土材料的脆性呈现先降低后升高的趋势,韧性呈现先升高后降低的趋势,加入体积分数1.0% PEF的混凝土材料具有较佳的力学性能。分析认为,适量加入PEF时,PEF与混凝土基质间附着力较强,能够有效抵御材料在外力作用下出现的压缩及弯折变形,并在受到拉压外力时通过拔出或断裂形式耗散能量^[22],从

而不同程度地提升混凝土材料的强度。然而,过量的PEF会在混凝土基质中明显团聚,分散性差,形成较多薄弱点,从而对混凝土材料力学性能的提升产生不利影响^[23]。

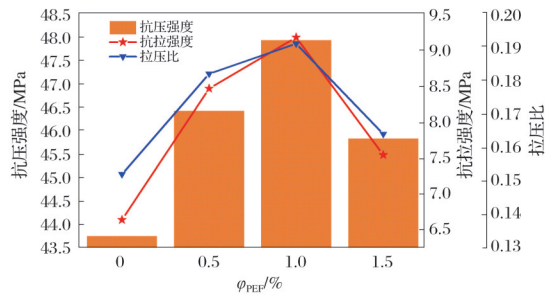


图2 PEF混凝土的力学性能

Fig.2 Mechanical properties of PEF concretes

图3为PEF混凝土抗压破坏后形态。从图3可以看出,所有试样均出现不同程度的破坏裂纹。其中,加入体积分数1.5% PEF试样的破坏形态最为明显,PEF混凝土出现大量的脱落;加入体积分数1.0% PEF的试样保持相对完整的形态;加入体积分数0.5% PEF和1.5% PEF试样相较于1.0% PEF试样表面的裂纹进一步加剧。分析认为,PEF的存在可以抑制混凝土基质在受到外力压迫时出现的损伤,减少试样的破损程度,同时纤维网络结构的完善可以进一步约束裂纹的扩展^[24]。而加入体积分数1.5% PEF试样的破坏形态加剧,主要是由于过量的PEF在混凝土基质中出现明显团聚,在受到外力作用时出现应力不均的情况,过于集中的应力更容易使材料发生明显的破损形态,从而混凝土试样表面出现脱落^[25]。

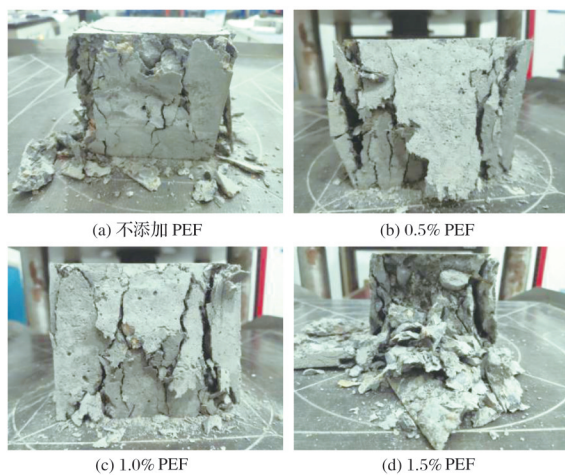


图3 PEF混凝土抗压破坏后形态

Fig.3 Morphology of PEF concretes after compressive failure

2.3 PEF混凝土的抗冻融性能分析

图4为加入1.0% PEF试样的冻融损失形态。从图4可以看出,经过5次冻融循环试验后,样品表面仅有少量砂石裸露。随着冻融循环次数的增加,试样表面粗糙度逐渐增大,在完成75次冻融循环后,试样表面开始出现PEF裸露现象。清洗掉试样表面的砂石后,继续进行冻融试验。当冻融循环次数达到125次时,试样表面出现明显的凹坑,粗骨料暴露较为明显,局部材料损失较为显著。

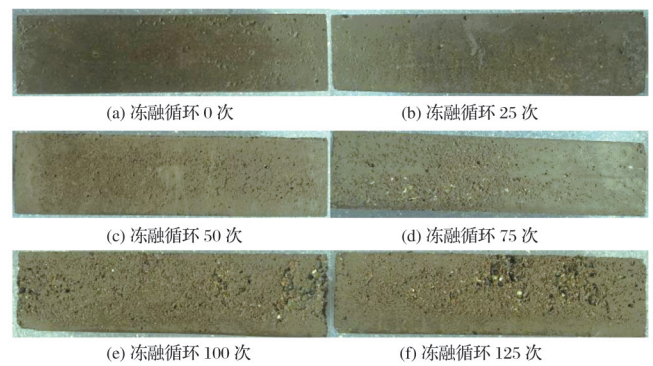


图4 加入1.0% PEF试样的冻融损失形态

Fig.4 Morphological of freeze-thaw loss of sample add 1.0% PEF

图5为PEF混凝土的抗冻融性能。从图5a可以看出,在冻融初始阶段(25次),各试样质量均出现不同程度的增加。这是因为在冻融初期,材料内部裂纹扩展并逐渐吸水,导致样品质量上升。随着冻融次数增加,材料内部孔隙因反复冷却收缩而被破坏,内部间隙增大^[26],水分及其他组分更易脱离,质量损失率逐步上升^[27],这一现象也可从图4直观看出。当循环次数达到125次时,试样表面出现明显凹坑,质量损失率达到最大值。其中,加入体积分数1.0% PEF的试样质量损失率最低,仅为0.44%,表现出优异的抗冻融性能。从图5b可以看出,随着冻融次数增加,材料的抗压强度保持率逐步下降。其中,加入体积分数1.5% PEF的试样强度下降最为明显,循环125次时,抗压强度仅为初始值的76.6%;而加入体积分数1.0% PEF的试样在循环125次时,抗压强度仍保持在86.7%。

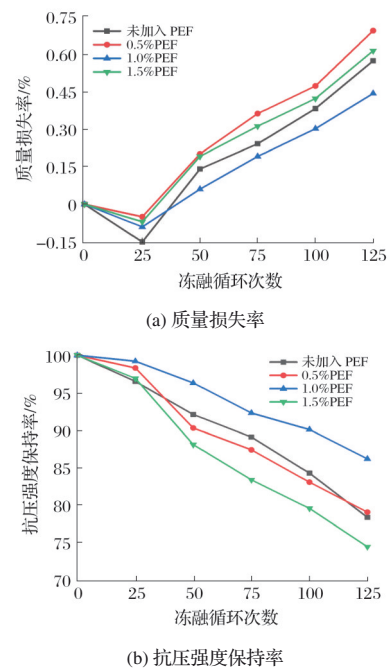


图5 PEF混凝土的抗冻融性能

Fig.5 Freeze-thaw resistance of PEF concretes

分析认为,掺入相同长度的PEF纤维时,少量纤维可在混凝土基质中较均匀分散,但与基质的融合性较差,难以与混凝土基质紧密连接^[28]。随着PEF用量增加,过多的PEF易在混凝土中聚集,受外力时易出现应力不均,从而

更易受损^[29]。而当PEF体积分数为1.0%时,在保证混凝土坍落度的同时,力学性能及抗冻融效果均表现良好。

2.4 PEF混凝土的保温性能分析

图6为PEF混凝土的保温性能。从图6可以看出,随着PEF用量的增加,试样的导热系数呈先减小后增大的趋势,未加入PEF试样的导热系数为0.151 W/(m·K),加入体积分数0.5% PEF试样的导热系数降低为0.146 W/(m·K),继续增加PEF的体积分数至1.5%时,导热系数增大为0.162 W/(m·K)。根据JG/J 144—2019中的有关规定,外墙保温层再生塑料混凝土材料的导热系数标准值为0.160 W/(m·K)。当PEF体积分数小于1.5%时制备的混凝土试样导热系数均在标准值以下,具有良好的保温性,具备实际应用价值。分析认为,由于PEF自身的导热系数较低,加入适量PEF有利于改善混凝土材料的热工性能^[30],而PEF用量过多则不利于其在水泥基质中的均匀分散,容易形成孔隙等缺陷,对材料的保温性能带来不利影响^[31]。

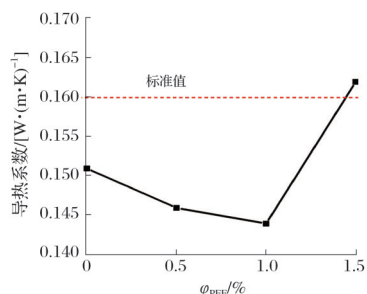


图6 PEF混凝土的保温性能

Fig.6 Thermal insulation properties of PEF concretes

3 结论

随着PEF用量的增加,混凝土的坍落度呈现下降的趋势,材料的流动性降低。加入体积分数1.0% PEF试样的力学性能最佳,抗压强度和抗拉强度分别为47.93 MPa和9.17 MPa。PEF用量进一步增加后,混凝土材料的力学性能逐渐降低。混凝土材料的脆性呈现先降低后升高的趋势,韧性呈现先升高后降低的趋势,加入体积分数1.0% PEF的混凝土材料具有较佳的力学性能。过量的PEF在混凝土基质中会出现明显团聚,受外力作用时易产生应力不均,过于集中的应力会使材料出现明显破损,进而导致混凝土试样表面脱落。当循环达到125次时,加入体积分数1.0% PEF试样的质量损失率最低,仅为0.44%,抗压强度仍保持至86.7%,表现出较为优异的抗冻融性。PEF自身导热系数较低,适量加入PEF可改善混凝土材料的热工性能。然而,PEF过量会阻碍其在水泥基质中均匀分散,容易形成孔隙等缺陷,从而对材料的保温性能产生不利影响。

参考文献

[1] 李乐,李艳,杨宇冰,等.纤维混凝土静态抗拉性能及损伤演化特性研究[J].建筑科学,2025(5):9-16.
[2] 靳连杰,邵永红,陈明涛,等.机制砂混凝土抗冻性能试验研究[J].公路交通科技,2025,21(5):88-97.

[3] 蒋建国,孙天庚,王训芝,等.大掺量再生低密度聚乙烯塑料改性制备高黏高弹道路沥青及性能[J].当代化工研究,2025(2):103-105.
[4] 徐国栋.水运工程混凝土结构抗冻性能监测方法设计研究[J].智慧城市,2025,11(5):158-160.
[5] 陈诗泉,徐英喧,田世宽.基于地材及普通混凝土生产工艺的粗骨料UHPC碳排放分析[J].公路,2025(4):384-389.
[6] 俎琪,肖东,彭德坤,等.聚丙烯-碳纤维混凝土蠕变特性的温度-荷载耦合效应[J].塑料科技,2025(3):71-76.
[7] 毛嘉轩,赵全,夏语擎,等.环境中微塑料的来源及溯源分析方法[J].塑料科技,2025(7):185-190.
[8] 王亚宁.超高分子量聚乙烯(PE)纤维对再生微粉-矿粉混凝土性能的影响[D].银川:宁夏大学,2024.
[9] 陈漫,汤诺伊玛,岳军衍,等.不同厚度下聚乙烯微孔薄膜的光降解行为差异研究[J].高分子通报,2025(4):632-641.
[10] 王云飞.钢-聚乙烯混杂纤维对混凝土性能的影响[J].地下水,2025(4):315-317.
[11] 康玉梅,李月兰,高雪,等.纳米碳酸钙对聚丙烯纤维混凝土静态劈裂抗拉性能的影响[J].湖南大学学报(自然科学版),2025(5):162-171.
[12] 丁大伟.珊瑚砂和聚丙烯纤维对海水海砂超高性能混凝土性能的影响研究[D].青岛:青岛理工大学,2025.
[13] 邓娅,唐锦芸,龙华,等.不同纤维掺量及组合下混杂纤维混凝土力学性能研究[J].交通节能与环保,2025(4):201-205.
[14] 宋奇,刘胜兵,梁靖,等.钢-聚乙烯混杂纤维再生骨料混凝土强度正交试验及预测[J].建筑技术,2025,56(2):149-154.
[15] 寇佳亮,任玉婷,李豹,等.碳纤维水工沥青混凝土力学性能试验研究[J].水力发电学报,2025(8):44-56.
[16] 蒲静,汤茹.再生塑料在混凝土中的应用研究[J].合成材料老化与应用,2025(4):84-86.
[17] 郭凯运.再生聚乙烯/再生聚丙烯/回收渣复合改性剂制备及其对沥青性能的影响[J].山西交通科技,2025(4):53-57.
[18] 谭燕,王程,龙雄,等.聚乙烯纤维增韧高强石膏性能研究[J].硅酸盐通报,2025(3):1011-1020.
[19] 杨秀涛.基于聚乙烯纤维的再生混凝土力学性能研究[J].合成纤维,2024(7):79-82.
[20] 唐薇,萧圳坡,寇世聪,等.玄武岩纤维对自密实再生混凝土性能的影响[J].深圳大学学报(理工版),2025(3):249-255.
[21] 叶卓敏,罗凯,王艳,等.垃圾废弃物在相变材料领域的再利用及研究进展[J].化工新型材料,2025,53(4):38-44.
[22] 杜嘉宾.聚丙烯纤维再生混凝土基本力学性能尺寸效应研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2024.
[23] 杨晓,葛亚琼,金家胜.碳纤维及碳纤维布混凝土抗冻性及能量耗散试验研究[J].复合材料科学与工程,2024(7):62-69.
[24] 苏小陆,李威威.聚丙烯纤维对高强混凝土流变性能和力学性能的影响[J].塑料科技,2024(5):98-100.
[25] 刘晨,彭琨.现浇混凝土结构碳排放估算研究[J].建筑结构,2023,53(增刊2):1243-1247.
[26] 冀光,张杏芝,赵奕安.聚乙烯/聚丙烯纤维混凝土耐高温性能测试研究[J].粘接,2023(9):1-3.
[27] 傅为忠,陈佳佳.建筑废弃物循环利用实现路径:基于主体的协同创新策略选择[J].科技管理研究,2023,43(17):218-227.
[28] 郑宇航.活性粉末-聚丙烯纤维再生混凝土力学性能及耐久性能试验研究[D].武汉:武汉工程大学,2023.
[29] 蒋明慧,刘贵文,薛暄译.聚乙烯和聚丙烯纤维对混凝土工作性能影响分析[J].混凝土,2023(2):89-91.
[30] 史绘洲.不同改性方法对塑料混凝土力学性能及保温性能的影响[J].塑料科技,2022(3):70-74.
[31] 梁靖,刘胜兵,郑宇航.聚乙烯纤维对再生混凝土性能的影响[J].武汉工程大学学报,2022(3):346-349.