

复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土性能的影响

王俊旭, 王瑞鹏, 王亮, 黄家琪
西南林业大学土木工程学院, 云南 昆明 650224
DOI:10.61369/UAID.2025020017

摘 要 : 研究以普通硅酸盐水泥为基体材料, 复掺掺入比 (聚丙烯纤维: 聚乙醇纤维) 为 1:1 的聚丙烯纤维和聚乙醇纤维为掺杂相, 制备不同纤维掺量的泡沫混凝土, 分析复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土干密度、吸水性、力学性能及软化系数的影响。研究表明: 加入适量的聚丙烯纤维和聚乙醇纤维可以改善泡沫混凝土的抗拉强度及抗折强度, 并且能有效降低干密度和吸水性, 随着纤维体积分数的增加软化系数有显著的提升。纤维体积分数为 5% 时泡沫混凝土的抗压强度达到最大 1.63MPa, 同时兼具较佳的抗折强度、吸水性、干密度及耐水性能。

关 键 词 : 聚丙烯纤维; 聚乙醇纤维; 泡沫混凝土; 力学性能; 吸水性; 软化系数

Effects of the Combined Incorporation of Polypropylene Fibers and Polyethanol Fibers on the Properties of Foam Concrete

Wang Junxu, Wang Ruipeng, Wang Liang, Huang Jiaqi
School of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224

Abstract : Research indicates that adding an appropriate amount of polypropylene fibers and polyethanol fibers can improve the tensile and flexural strength of foam concrete, effectively reduce its dry density and water absorption, and significantly increase its softening coefficient as the fiber volume fraction rises. When the fiber volume fraction reaches 5%, the foam concrete achieves its maximum compressive strength of 1.63 MPa, while also exhibiting favorable flexural strength, water absorption, dry density, and water-resistance performance.

Keywords : polypropylene fibers; polyethanol fibers; foam concrete; mechanical properties; water absorption; softening coefficient

引言

泡沫混凝土, 作为一种轻质、高性能的建筑材料, 因其优异的隔热、隔音、抗压和抗震性能, 在建筑、桥梁以及隧道等多个领域得到了广泛应用^[1-5]。其主要特点是密度低、导热性差、保温性好, 但传统泡沫混凝土在抗裂性、强度等方面常存在一定的局限。近年来, 为了提升泡沫混凝土的综合性能, 研究人员对泡沫混凝土的增强改性进行了广泛的探索。

纤维掺加是增强泡沫混凝土性能的重要手段之一^[6]。常见的增强纤维有钢纤维、玻璃纤维、聚丙烯 (PP) 纤维和聚乙醇 (PVA) 纤维等, 其中聚丙烯纤维因其较高的抗拉强度、良好的抗冲击性能和较低的成本, 已成为泡沫混凝土中常用的增强材料^[7-10]。张雪松^[11]等发现当聚丙烯纤维掺量为 0.3% 时, 可显著地提高泡沫混凝土的力学性能。任大鹏^[12]等研究聚丙烯纤维掺杂量对泡沫混凝土力学性能、收缩性能、抗蚀性能的影响。结果表明, 适量聚丙烯纤维的掺入有效抑制了泡沫混凝土的开裂和收缩, 提升了其导热性能和抗蚀性能。PP 纤维的加入可有效改善混凝土的抗裂性、提高抗冲击能力, 并在一定程度上提高泡沫混凝土的工作性与耐久性。

本研究旨在探讨掺入比 (PP 纤维: PVA 纤维) 为 1:1 复掺聚丙烯纤维和聚乙醇纤维对泡沫混凝土的力学性能、抗裂性能以及耐久性的影响, 通过对不同掺量及纤维形式的实验分析, 阐明复合纤维的协同作用机制, 以期对泡沫混凝土的性能优化提供理论依据和实践指导。

作者简介:

王俊旭 (2000.01—), 男, 汉族, 贵州六盘水人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;
王瑞鹏 (1999.02—), 男, 汉族, 云南大理人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;
王亮 (1998.12—), 男, 汉族, 云南昭通人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁;
黄家琪 (2000.09—), 男, 汉族, 河南信阳人, 西南林业大学土木工程学院, 23 级在读研究生, 硕士学位, 专业: 土木水利, 研究方向: 道路与桥梁。

一、实验

(一) 原材料

- (1) 水泥: 42.5级普通硅酸盐水泥, 其各项性能指标均符合 GB175-2007《通用硅酸盐水泥》标准。
- (2) 发泡剂: 四川凯宏环科有限公司生产的 KH-1732 复合植物蛋白型发泡剂。
- (3) 聚丙烯纤维: 泰安智容工程材料有限公司生产有关性能见表 2。
- (4) 聚乙醇纤维: 由重庆某公司生产有关性能见表 3。
- (5) 水: 实验室普通水。

表 1 聚乙醇纤维的物理性能

直径 / μ m	抗拉强度 / MPa	弹性模量 / GPa	断裂伸长 率 /%	长度 / mm	密度 / (g/cm ³)
1 5	1 8 3 0	4 0	7	1 2	1.2 9

表 2 聚丙烯纤维的物理性能

抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	断裂伸长 率 /%	长度 /mm	密度 / (g/cm ³)	燃点 /℃
1 8 3 0	≥ 3 8	2 3	1 2	0.9 1	1 5

(二) 泡沫混凝土的性能测试

依据 GB/T 11969-2008《蒸压加气混凝土性能试验方法》规范对不同纤维含量的泡沫混凝土的力学性能、干密度、吸水率、软化系数等性能进行测定。

抗压、干密度、吸水率、软化系数等性能选用尺寸为 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试样, 抗折强度测试选用 100 mm×100 mm×400 mm 的长方体试样。

二、实验结果及分析

(一) 抗压强度实验结果与分析

图 1 为复掺聚丙烯和聚乙醇纤维对泡沫混凝土不同时间抗压强度的影响

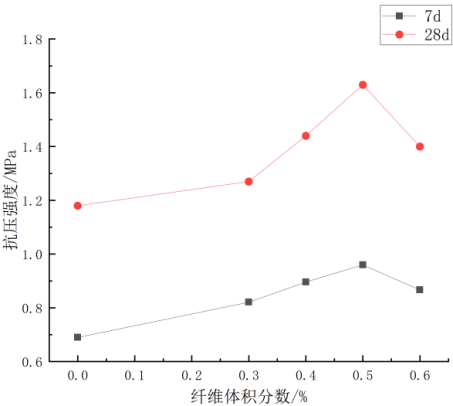


图 1 抗压强度

从图 1 可以看出随着 PP 纤维和 PVA 纤维用量的增加, 泡沫混凝土在 7 天、28 天抗压强度变化趋势大致相同, 先有一定程度增大, 又有所降低。在纤维体积分数为 5% 时抗压强度达到最大值 1.63, 比未添加聚丙烯纤维和聚乙醇纤维的时间强度提高 38%。主要是应为加入适量的 PP 纤维和 PVA 纤维能在泡沫混凝土内部形

成了比较牢固的三维网状结构, 从而增加破坏时的能量消耗, 使得其抗压强度提高。继续加入 PP 纤维和 PVA 纤维, 泡沫混凝土的强度降低, 主要是由于过量的 PP 纤维和 PVA 纤维在泡沫混凝土内部出现团聚, 团聚的部位比较容易出现较大的孔隙, 从而降低试件的抗压强度。

(二) 抗折强度实验结果与分析

图 2 为复掺 1: 1 比例的 PP 和 PVA 纤维对泡沫混凝土不同时间抗折强度的影响

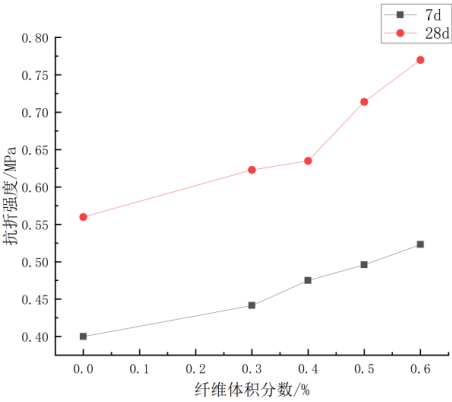


图 2 抗折强度

从图 2 可以看出, 随着复掺 PP 和 PVA 纤维的体积分数的增加, 养护 28 天之后, 复掺 PP 和 PVA 纤维体积分数为 0、3%、4%、5% 和 6% 时, 泡沫混凝土的抗折强度依次为 0.56、0.62、0.64、0.71 和 0.77MPa, 在 PP 和 PVA 纤维的体积分数为 6% 时, 抗折强度达到最大值, 相比未添加 PP 和 PVA 纤维的试件提高了 38%, 其变化趋势呈现持续增高。分析认为 PVA 纤维具有较好的拉伸性能, 可以在混凝土中形成桥架的作用。当基体出现裂缝时, 纤维能有效阻止裂缝的扩展, 并将裂缝两侧的应力传递开, 从而延缓裂缝的扩展和避免脆性破坏。PP 纤维能在混凝土内部形成网状结构, 它通过微小的滑移和摩擦拉脱机制, 消耗裂缝扩展的能量, 使破坏过程变得更为柔韧。故按照 1:1 比例复掺 PP 和 PVA 纤维在泡沫混凝土中可显著增强泡沫混凝土的抗折强度。

(三) 软化系数实验结果与分析

图 3 为复掺 1:1 比例的 PP 和 PVA 纤维养护 28 d 后纤维泡沫混凝土的软化系数。软化系数可以较好的体现反映出泡沫混凝土的耐水性, 软化系数越高, 泡沫混凝土的耐水性越好。

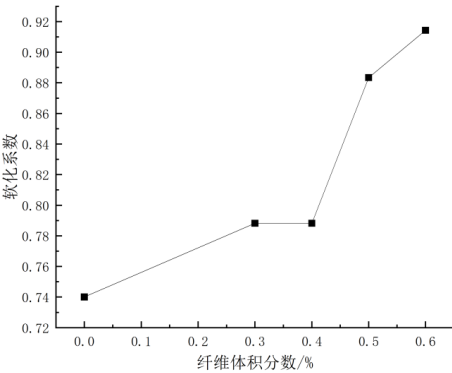


图 3 软化系数

从图 3 可以看出, 基准组的软化系数为 0.74, 软化系数最

小,随着 PP 和 PVA 纤维体积分数掺量的增加,软化系数呈现出持续上升的趋势,纤维体积分数为 0.6% 时,软化系数为 0.91,相较于未加入 PP 和 PVA 纤维的基准组提高了 22%,耐水性能最佳。分析认为,一方面,两种纤维均匀分布在泡沫混凝土中,能填充水泥石内部的孔隙和微裂缝,使结构更加致密。PP 纤维和 PVA 纤维的直径较小,能进入到泡沫混凝土内部的细小孔隙中,减少连通孔隙,降低水分进入的通道,从而提高其抗水渗透能力,进而提高软化系数;另一方面,纤维与水泥基体的良好结合改善了表面性能,使泡沫混凝土表面更加致密,不易被水润湿,从而减少了水分的吸收,提高了其耐水性,进而提高软化系数。

三、结论

掺入比(PP 纤维:PVA 纤维)为 1:1,改变 PP 和 PVA 纤维复掺的体积分数,对泡沫混凝土的性能进行测试并分析,得到如

下结论。

(1) 掺入适量的 PP 和 PVA 纤维可在泡沫混凝土的内部形成三维骨架,提高其抗压、抗折强度,而过量的 PP 和 PVA 纤维在泡沫混凝土中会出现团聚现象,而导致抗压强度的降低。

(2) PP 纤维和 PVA 纤维两者协同能更有效地稳定气泡,减少搅拌和养护过程中气泡的合并与破裂,成型后保留更多微细气孔,从而降低泡沫混凝土的干密度。

(3) PP 和 PVA 纤维的加入能与水分形成吸附作用在浆体中形成水膜,并且 PP 纤维则具有较好的疏水性,能够形成较为稳定的骨架结构,从而降低泡沫混凝土的吸水性。

(4) 两种纤维均匀分布在泡沫混凝土中,能填充水泥石内部的孔隙和微裂缝,使结构更加致密。随着 PP 和 PVA 纤维体积分数的增大,泡沫混凝土的软化系数呈现持续增长的趋势,在体积分数为 6% 时,软化系数达到最大。

参考文献

- [1] 宋强,张鹏,鲍玖文,等.泡沫混凝土的研究进展与应用[J].硅酸盐学报,2021,49(02):398-410.DOI:10.14062/j.issn.0454-5648.20200316.
- [2] 潘晓冰,李静.泡沫混凝土的特性和应用及未来发展趋势[J].混凝土与水泥制品,2020,(06):98-102.DOI:10.19761/j.1000-4637.2020.06.098.05.
- [3] Yang Y, Kong X, Fang Q. Non-dimensional analysis on blast wave propagation in foam concrete: Minimum thickness to avoid stress enhancement[J]. Defence Technology, 2024, 36(06):30-46.
- [4] 王辉,陈卫忠,谭贤君,等. Development of a new type of foam concrete and its application on stability analysis of large-span soft rock tunnel[J]. Journal of Central South University, 2012, 19(11):3305-3310.
- [5] 葛进进,杜苏永,陈佩圆,等.纤维泡沫混凝土的制备及压缩破裂特征研究[J].混凝土,2024,(12):213-218.
- [6] 程新,詹炳根,周安.玄武岩纤维对泡沫混凝土收缩开裂的影响[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2019,42(08):1114-1118.
- [7] 张培恒,韩尚宇,康登源,等.不同纤维掺量再生混凝土骨料轻质混凝土性能研究[J].混凝土,2024,(06):99-104.
- [8] 周政.聚丙烯纤维洞渣泡沫混凝土的制备及性能分析[J].材料导报,2024,38(S2):203-211.
- [9] 万聪聪,姜天华,余意.基于正交试验的聚丙烯泡沫混凝土基本力学性能研究[J].硅酸盐通报,2023,42(10):3518-3529.DOI:10.16552/j.cnki.issn1001-1625.20230814.004.
- [10] 王武斌,赵文辉,苏谦,等.聚丙烯纤维增强泡沫轻质混凝土力学性能试验研究[J].铁道建筑,2017,(02):146-150.
- [11] 张雪松,朱艳峰,黄林冲.聚丙烯纤维对泡沫混凝土性能的影响[J].新型建筑材料,2019,46(03):140-142+147.
- [12] 任大鹏.高强度聚丙烯纤维泡沫混凝土的制备及抗蚀性能分析[J].功能材料,2023,54(10):10200-10206.