

# 混杂纤维橡胶混凝土力学性能和耐久性试验研究

吴超 李俊\* 何代宇 李小波 刘浩文 王培懿

四川轻化工大学土木工程学院

DOI:10.12238/bd.v8i6.4282

**[摘要]** 本文用橡胶粉末替代部分细骨料及掺入不同长度钢纤维-聚乙烯醇(PVA)纤维的方式制备混凝土,对普通素混凝土和钢-PVA混杂纤维橡胶混凝土进行抗压强度试验、冻融循环试验和耐磨蚀试验。结果表明:混杂纤维橡胶混凝土较普通混凝土抗压强度、抗冻融循环性能和耐磨性能都有很大提高;最优的试验组别为S3P1R1,此时钢纤维长度为35mm、PVA纤维长度为6mm、橡胶粉末粒径为40目;各材料分散均匀,很好发挥自身性能;各材料间接接效应、纤维的牵扯作用,以及橡胶粉末的吸能效应共同作用,增强了混杂纤维橡胶混凝土的力学性能和耐久性能。

**[关键词]** 混杂纤维; 混凝土; 力学性能; 耐久性; 钢纤维; PVA纤维; 橡胶粉末

中图分类号: TV331 文献标识码: A

## Experiments on the Mechanical Properties and Durability of Hybrid Fiber Reinforced Rubber Concrete

Chao Wu Jun Li\* Daiyu He Xiaobo Li Haowen Liu Peiyi Wang

School of Civil Engineering, Sichuan University of Science & Engineering

**[Abstract]** This paper prepares concrete by replacing part of the fine aggregate with rubber powder and incorporating steel fibers with different lengths and polyvinyl alcohol (PVA) fibers. It conducts compressive strength tests, freeze-thaw cycle tests, and abrasion tests on both ordinary plain concrete and steel-PVA hybrid fiber rubber concrete. Additionally. The results indicate that the hybrid fiber rubber concrete exhibits significant improvements in compressive strength, resistance to freeze-thaw cycles, and abrasion resistance compared to ordinary concrete. The optimal test group was S3P1R1, where the length of the steel fiber was 35mm, the length of the PVA fiber was 6mm, and the particle size of the rubber powder was 40 mesh. the materials are evenly dispersed, effectively utilizing their individual properties. The overlapping effects between materials, the entanglement of fibers, and the energy-absorbing effect of the rubber powder collectively enhance the mechanical properties and durability of the hybrid fiber rubber concrete.

**[Key words]** Hybrid fibers; Concrete; Mechanical properties; Durability; Steel fibers; PVA fibers; Rubber powder

### 引言

通常,在混凝土生产当中可以掺入纤维、橡胶、泡沫等各类材料,以改善产品的各项性能。钢纤维能够很好的提升混凝土的抗压强度<sup>[1]</sup>,钢纤维掺量为0.5%~2.0%时,随着钢纤维掺量的增加,抗压强度逐渐增大<sup>[2]</sup>。PVA纤维在适当掺量时,可以提高混凝土的早期抗压强度和耐久性<sup>[3]</sup>。橡胶粉末替代部分细骨料,会极大降低混凝土的抗压强度<sup>[4]</sup>,但能有效改善混凝土的耐疲劳、抗冻等性能<sup>[5]</sup>。随着市场应用需求的变化,掺入单一纤维所制备的混凝土在力学性能、耐久性等方面的适应性略显不足。于是,技术人员尝试将不同种类的纤维掺入拌合料中制备成混杂纤维混凝土<sup>[6]</sup>,利用各类纤维的性能优势互补作用来改善混凝土的性

能<sup>[7]</sup>。本文将制备钢-PVA混杂纤维橡胶混凝土,通过抗压强度试验、冻融循环试验和耐磨蚀试验与素混凝土进行对比分析,并揭示其增强机理。

### 1 试验方案

#### 1.1 试验材料

水泥:诸城市九七建材有限公司生产的P.042.5水泥;粉煤灰:河南五湖环保科技有限公司生产的F类I及粉煤灰;粗骨料:粒径为5~15mm连续级配的碎石;细骨料:细度模数为2.52的河沙,表观密度为2740Kg/m<sup>3</sup>;减水剂:聚羧酸高性能减水剂,减水率≥20%;钢纤维:衡水晟英金属制品有限公司生产的端勾型钢纤维,直径为750μm,长度分别为25mm、30mm、35mm;PVA纤维:

上海化工建材添加剂生产，直径为16 μm，长度分别为6mm、9mm、12mm；橡胶粉末：都江堰市华益橡胶有限公司生产，粒径分别为40目、60目、100目。

1.2 试验配合比

本次试验的素混凝土强度等级为C40，按照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2011)的要求进行多次试配，最终确定试验混凝土的水胶比为0.29。混凝土的基准配合比见表1。根据前人研究成果，选定钢纤维、PVA纤维掺量分别为1.5%、0.08%，橡胶粉末替代率为5%。

表1 混凝土基准配合比

水泥强度	砂率/%	水胶比	水泥 kg/m <sup>3</sup>	砂 kg/m <sup>3</sup>	石 kg/m <sup>3</sup>	水 kg/m <sup>3</sup>	粉煤灰 kg/m <sup>3</sup>	减水剂 kg/m <sup>3</sup>
C40	29.04	0.29	485	479	1171	178	121	6.1

1.3 试验方法

(1) 试样制备及养护：按照《纤维混凝土试验方法标准》(CECS 13:2009)中的要求进行混凝土试块制备，标准养护28d。

(2) 抗压强度试验：按照《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2019)中的要求进行，试块尺寸为100mm×100mm×100mm，乘以系数0.95，每组三个试件，施压速率为800N/s。

(3) 冻融循环试验：按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)中的快速冻融循环要求进行，分别计量冻融循环0次、25次、50次、75次和100次后试件质量及损失率。

(4) 耐磨蚀试验：试验采用立式强制式搅拌机改装磨蚀试验机进行，试件尺寸均为100mm×100mm×100mm，磨蚀试验机电机配置转速为42r/min，分别计量磨蚀0、4h、8h和12h后，混凝土试块的质量及损失率。

2 试验结果与分析

2.1 抗压强度试验

抗压强度变化如图1所示，由结果可知，PVA纤维长度和橡胶粉末粒径一定时，抗压强度随着钢纤维长度的增加而增大；钢纤维长度和橡胶粉末粒径一定时，抗压强度随着PVA纤维长度的增加而下降；在钢纤维长度和PVA纤维长度一定时，抗压强度随着橡胶粉末粒径增大而下降。从单变量对混凝土抗压强度影响分析，钢纤维长度对混凝土抗压强度的增大要大于PVA纤维对混凝土抗压强度的减小量；橡胶粉末粒径对混凝土抗压强度的减小量要大于PVA纤维对混凝土抗压强度的减小量。整体上，混杂纤维橡胶混凝土的抗压强度能够得到很好的提升，抗压强度最大值出现在S3P1R1组中，28d抗压强度为56.84MPa，强度提高率为42.41%，此时钢纤维长度为35mm，PVA纤维长度为6mm，橡胶粉末粒径为40目，即此时三种材料参数为抗压强度试验最优组合。

2.2 冻融循环试验

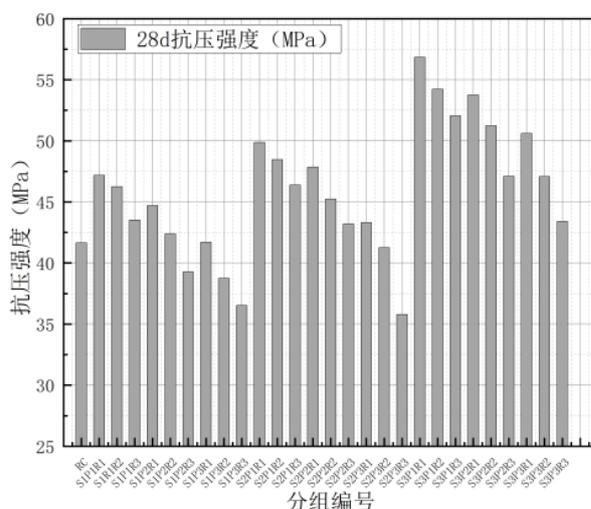


图1 抗压强度变化图

根据抗压强度试验得到的结论，以素混凝土为对照组，选取S3P1R1、S3P1R2、S3P2R1这三组抗压强度最高的试件作为试验组，质量损失率变化如图2所示。三组混凝土冻融后质量损失率均明显小于素混凝土组；整体上，四组混凝土的冻融质量损失率均随着循环次数的增加而不断增大，增大程度也在不断扩大；三组试验组之间的质量损失率差别不大，相较于素混凝土，100次循环次数时，试验组对混凝土的抗冻性提高了大约80%；综上所述，混杂纤维橡胶混凝土能够很好的提升混凝土的抗冻融循环性能，但受自身纤维长度及橡胶粉末粒径影响不大。

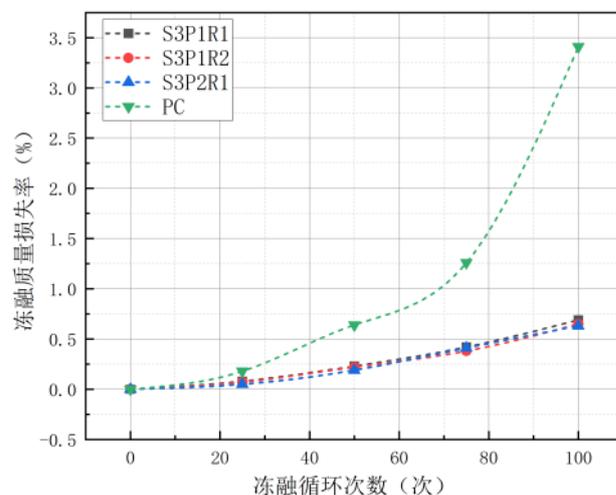


图2 冻融质量损失率随冻融循环次数变化图

2.3 耐磨蚀试验

冻融循环试验选取三组试验组进行，磨蚀质量损失率变化如图4所示。整体上，四组混凝土的磨蚀质量损失率均随磨蚀时间的增加而增大，其中，PC素混凝土的磨蚀损失率最大，且随磨蚀时间增长，损失率增大程度有逐渐扩大趋势；而S3R1P1、S3R1P2、S3R2P1三组混凝土的磨蚀质量损失率要小很多，且随磨蚀时间增长，损失率增大程度均较缓；其中，S3R1P1混凝土的磨蚀质量损失率最小，12h仅为1.17%，比素混凝土耐磨蚀率

提高了83.17%,表明S3R1P1混杂纤维橡胶混凝土具有很好的耐磨蚀性能。

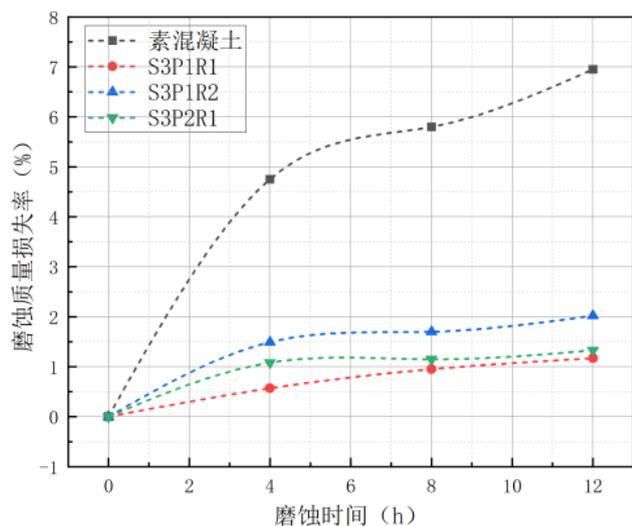


图3 磨蚀质量损失率随磨蚀时间变化图

### 3 结论

(1) 钢纤维长度越长、PVA纤维长度越短、橡胶粉末粒径越大,混凝土抗压强度越高;混杂纤维橡胶混凝土三种材料的最优混合参数为:钢纤维35mm、PVA纤维6mm、橡胶粉末粒径40目。

(2) 试验组的冻融质量损失率均远小于素混凝土,100次循环次数时,试验组较素混凝土的抗冻性提高了大约80%,表明混杂纤维橡胶混凝土具有很好抗冻融循环性能。

(3) 相较于素混凝土,三组混杂纤维橡胶混凝土耐磨蚀性能均大幅提高了,其中,S3P1R1组混凝土提升最多,为83.17%;由此

可见,混杂纤维橡胶混凝土具有很好的耐磨蚀性能。

(4) 混杂纤维橡胶混凝土内部各纤维分散较均匀,无大面积堆聚现象,各材料能很好的发挥出自身性能;同时,各纤维材料之间又相互交接,在裂缝处发挥搭接效应,阻碍裂缝扩展,增强基体韧度和强度;橡胶与水泥浆体之间粘结不足,易脱落形成孔洞,造成基体受力时强度降低;但在磨蚀作用中,这些孔洞又会吸收消散一部分能量,与橡胶粉末的吸能效应,以及纤维的牵扯作用相互协调,共同提高混凝土的耐磨蚀性能。

### [参考文献]

- [1]王军.不同掺量的钢纤维对混凝土力学性能的影响研究[J].江西建材,2021,(07):35-36+39.
- [2]李悦,王兴雷,丁庆军.钢纤维长度与掺量对混凝土力学性能的影响[J].混凝土,2017,(07):62-65+69.
- [3]梁腾飞,雷瑛.聚乙烯醇纤维掺量对混凝土力学性能的影响研究[J].合成纤维,2021,50(10):48-50+54.
- [4]许翊,刘涛.橡胶粉掺量和粒径对混凝土物理力学性能的影响研究[J].公路工程,2015,40(01):266-269.
- [5]彭亮.橡胶粉掺量对混凝土抗冻耐久性的影响实验研究[D].重庆交通大学,2018.
- [6]童伟光,范银波.钢纤维及混杂纤维混凝土力学性能试验研究[J].江西建材,2022,(02):13-15.
- [7]王兴照.混杂纤维和粉煤灰掺量对混凝土力学性能的影响[J].合成纤维,2023,52(11):83-86+90.

### 作者简介:

吴超(1999—),男,汉族,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向:建筑材料。