

纤维改良建筑废料再生绿色混凝土工程性能研究

Investigation Engineering Performance of Recycled Green Concrete with Fiber Improved Construction Waste

赵静怡

(安康学院陕南生态经济发展研究中心, 陕西 安康 725000)

摘要: 为有效提升建筑废料再生绿色混凝土 (RAC) 的力学性能, 室内利用钢纤维和聚丙烯纤维分别制备了钢纤维改良 RAC、聚丙烯纤维改良 RAC 以及钢-聚丙烯纤维改良 RAC, 并对三种 RAC 材料开展了坍落度试验和力学试验。研究发现: (1) 素 RAC 拌合物坍落度较高, 可以达到 168.87 mm; 单掺或混掺钢纤维和聚丙烯纤维材料后 RAC 拌合物的坍落度显著降低, 单掺 1% 钢纤维材料的混凝土拌合物坍落度为 92.16 mm, 单掺 0.8% PF 材料的 RAC 拌合物坍落度为 108.95 mm。(2) 单掺钢纤维后混凝土的承载能力明显增强, 而聚丙烯纤维则会劣化 RAC 试件的承载能力, 单掺聚丙烯纤维后 RAC 强度出现轻微降低。当钢纤维和 PF 材料的掺量较大时, RAC 试件的立方体抗压强度又出现了明显的降低。(3) 当聚丙烯或钢纤维掺量较低时, RAC 试件的抗拉强度随另一种纤维材料掺量的增大逐渐增大; 而当 PF 或钢纤维掺量较大时, RAC 试件的抗拉强度则会出现减小的现象。研究成果为我国建筑废料的回收利用以及混凝土的改良提供了一定的借鉴作用。

关键词: 混凝土改良; 钢纤维; 聚丙烯纤维; 再生粗骨料; 建筑垃圾回收; 力学试验

中图分类号: TU528.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2023) 06-0088-05

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2023.06.014

ZHAO Jingyi

(Ankang University Shaannan Eco-economy Research Center, Ankang 725000, China)

Abstract: To effectively improve the mechanical properties of recycled green concrete (RAC) from construction waste, steel fiber modified RAC, polypropylene fiber modified RAC and steel polypropylene fiber modified RAC were prepared by using steel fiber and polypropylene fiber respectively, and slump test and mechanical test were carried out on three RAC materials. It is found that: (1) The slump of plain RAC mixture is high, which can reach 168.87 mm; the slump of RAC mixture is significantly reduced after single or mixed with steel fiber and polypropylene fiber materials. The slump of concrete mixture with 1% steel fiber materials is 92.16 mm and that of RAC mixture with 0.8% pf materials is 108.95 mm. (2) After adding steel fiber alone, the bearing capacity of concrete is significantly enhanced, while polypropylene fiber will degrade the bearing capacity of RAC specimens, and the strength of RAC decreases slightly after adding polypropylene fiber alone. When the content of steel fiber and PF material is large, the cube compressive strength of RAC specimen decreases obviously. (3) When the content of polypropylene or steel fiber is low, the tensile strength of RAC specimen increases gradually with the increase of the content of another fiber material; when the content of PF or steel fiber is large, the tensile strength of RAC specimen will decrease. The research results provide a certain reference for the recycling of construction waste and the improvement of concrete in China.

Keywords: concrete improvement; steel fiber; polypropylene fiber; recycled coarse aggregate; construction waste recycling, mechanical test

作者简介: 赵静怡 (1987—), 女, 硕士, 讲师。主要研究方向: 工程管理。

收稿日期: 2023-05-11

0 引言

为合理使用废弃建筑材料且达到节约资源的目的，再生骨料混凝土逐渐得到推广应用。然而，由于再生骨料性质影响，RAC 的力学性质及变形能力较差^[1-3]。因此，如何有效改善 RAC 的工程性能对其推广应用及资源节约利用具有重要意义。

现有研究表明，通过掺加一定量的无机纤维能够有效改善 RAC 的力学特性。部分学者指出，玄武岩纤维具有较好的拉伸性能，且其强度较大，通过在混凝土中掺入一定量的玄武岩纤维，可以有效提升混凝土的抗压强度和抗拉强度^[4-6]。同时，也有部分学者指出，钢纤维作为一种强度很大的纤维材料，其在提升混凝土的工程性能方面也具有非常好的应用前景^[7-9]。此外，聚丙烯纤维由于成本低廉，也常用在混凝土改良中。学者们发现掺入少量的聚丙烯纤维会导致混凝土抗压强度小幅度降低，而抗拉性能则有着显著的提升^[10-12]。综上所述，现有研究主要针对单掺某种无机纤维条件下混凝土的力学特性，且单掺纤维会导致某种性质变差，如单掺聚丙烯纤维会抗拉强度降低，而过量单掺钢纤维则会提高成本^[13-15]。

现有研究缺乏对混掺多种纤维改良再生混凝土工程性质的研究，混掺多种纤维改良再生混凝土具有较广泛的研究前景。为有效改善 RAC 试件的力学性能，本次研究室内制备了不同钢纤维 (SF)、聚丙烯纤维 (PF) 掺量条件下的 RAC，并对其展开了坍落度试验、立方体抗压强度试验以及劈裂抗拉强度试验。研究成果为 RAC 的改良提供了一定的借鉴作用。

1 试验设计

1.1 试样制备

本次研究需要制备不同 SF 和 PF 掺量的绿色再生混凝土，主要用的原材料具体如下：(1) 水泥。P·O 42.5 级的普通硅酸盐水泥；(2) 粗骨料。绿色混凝土的粗骨料采用废弃的 C40 混凝土梁破碎后的再生粗骨料，最大粒径为 20 mm；(3) 细骨料。中粗河砂，细度模数为 2.55；

(4) 减水剂；(5) 钢纤维。产自鞍山某公司，平均长度 30 mm，平均直径 0.5 mm，弹性模量为 210 GPa；(6) 聚丙烯纤维。产自无锡某公司，平均长度 12 mm，平均直径 3 μm，弹性模量为 3.5 GPa。将上述材料按照固定的配比开始制备纤维改性绿色 RAC，其中，素 RAC 的质量配比为水泥：细骨料：建筑垃圾再生粗骨料：减水剂：水 = 540：618：1052：2.16：190。之后，按照体积配比，分别掺入不同体积掺量的 SF 和 PF 材料，具体掺入配比如下表 1 所示。本次试验所用的纤维改良建筑废料再生绿色混凝土的制备流程均按照 JGJ/T 221-2010《纤维混凝土应用技术规程》相关规范开展，养护时间为 28 d，最后制备为 150 mm×150 mm×150 mm 的标准立方体试样，以开展立方体抗压强度试验和劈裂抗拉强度试验。



(a) 钢纤维



(b) 聚丙烯纤维

图 1 纤维材料
Fig. 1 Fiber materials

表 1 纤维改良建筑废料再生绿色混凝土配比

Table 1 Proportion of recycled green concrete with fiber improved construction waste

分组	试样编号	水泥/kg·m ⁻³	细骨料/kg·m ⁻³	粗骨料/kg·m ⁻³	减水剂/kg·m ⁻³	水/kg·m ⁻³	SF 掺量/%	PF 掺量/%
A	SPFR-0-0	540	618	1052	2.16	190	0	0
	SPFR-1-0	540	618	1052	2.16	190	1.0	0
	SPFR-0-1	540	618	1052	2.16	190	0	0.8
B	SPFR-1-1	540	618	1052	2.16	190	0.5	0.4
	SPFR-1-2	540	618	1052	2.16	190	0.5	0.8
	SPFR-1-3	540	618	1052	2.16	190	0.5	1.2
C	SPFR-2-1	540	618	1052	2.16	190	1.0	0.4
	SPFR-2-2	540	618	1052	2.16	190	1.0	0.8
	SPFR-2-3	540	618	1052	2.16	190	1.0	1.2
D	SPFR-3-1	540	618	1052	2.16	190	1.5	0.4
	SPFR-3-2	540	618	1052	2.16	190	1.5	0.8
	SPFR-3-3	540	618	1052	2.16	190	1.5	1.2

1.2 试验方案

室内对纤维改良建筑废料再生绿色混凝土展开全面的试验研究, 主要包括拌合物的坍落度试验、RAC 试件立方体抗压强度试验以及 RAC 试件劈裂拉伸强度试验, 深入分析了 SF 和 PF 对建筑垃圾再生混凝土宏观物理性质的影响。其中, 坍落度试验、立方体抗压强度试验和劈裂拉伸强度试验均是按照相关试验规范标准的要求开展^[16-17], 本次研究所用的试验设备为 MTS-150 型力学试验设备 (图 2)。



图 2 MTS-150 型力学试验设备

Fig. 2 MTS-150 mechanical test equipment

2 试验结果分析

2.1 坍落度

对不同配比的纤维改良建筑废料再生绿色混凝土拌合物开展了坍落度试验, 得到试验结果如下表 2 所示。由表 2 可知, 对于不掺 SF 和 PF 材料的素 RAC 拌合物, 其坍落度较高, 可以达到 168.87 mm。而在掺入 SF 或 PF 材料后, 混凝土拌

合物的坍落度产生了非常明显的下降, 其中, 单掺 1%SF 材料的混凝土拌合物坍落度为 92.16 mm, 单掺 0.8% PF 材料的混凝土拌合物坍落度为 108.95 mm。进一步分析混掺 SF 和 PF 材料对绿色 RAC 坍落度的影响, 试验结果如表 2 所示。由表 2 可知, 在相同的 SF 掺量下, RAC 材料的坍落度随 PF 掺量的增大而逐渐减小; 以 SF 材料掺量为 1.0% 为例, 不同 PF 材料下 RAC 的坍落度分别为 92.16 mm、42.85 mm、31.22 mm 和 19.55 mm。同理, 在相同的 PF 掺量下, RAC 材料的坍落度随 SF 掺量的增大而逐渐减小; 以 PF 材料掺量为 0.8% 为例, 不同 SF 材料下 RAC 的坍落度分别为 108.95 mm、38.15 mm、31.22 mm 和 25.33 mm。对比掺加纤维后 RAC 材料的坍落度和素 RAC 的坍落度, 可以发现, 不论单掺 SF 材料、单掺 PF 材料或混掺两种纤维材料, 均会导致拌合物坍落度

表 2 纤维改良建筑废料再生绿色混凝土拌合物坍落度

Table 2 Slump of recycled green concrete mixture of fiber improved construction waste

试样编号	SF 掺量/%	PF 掺量/%	坍落度/mm
SPFR-0-0	0	0	168.87
SPFR-1-0	1	0	92.16
SPFR-0-1	0	0.8	108.95
SPFR-1-1	0.5	0.4	57.62
SPFR-1-2	0.5	0.8	38.15
SPFR-1-3	0.5	1.2	26.31
SPFR-2-1	1.0	0.4	42.85
SPFR-2-2	1.0	0.8	31.22
SPFR-2-3	1.0	1.2	19.55
SPFR-3-1	1.5	0.4	31.06
SPFR-3-2	1.5	0.8	25.33
SPFR-3-3	1.5	1.2	16.89

的下降。分析认为, 当在混凝土中掺入 SF 或 PF 材料后, 水泥浆体会包裹住纤维材料表面, 使得自由状态的浆体颗粒数量减少, 因此坍落度降低。

2.2 立方体抗压强度

基于立方体抗压强度试验, 得到不同纤维改良建筑废料再生绿色混凝土的抗压强度如图 3 所示。由图 3 可知, 不掺 SF 和 PF 条件下, 建筑废料再生混凝土试件的立方体抗压强度仅有 49.20 MPa。SF 材料和 PF 材料对再生混凝土的抗压强度的影响不一致, 由图 3 可知, 单掺 SF 材料后混凝土的抗压强度明显提高, 达到了 55.32 MPa; 而 PF 纤维则对 RAC 的抗压强度有着明显的劣化效应, 单掺 PF 材料的 RAC 强度小幅降低, 仅为 47.88 MPa。

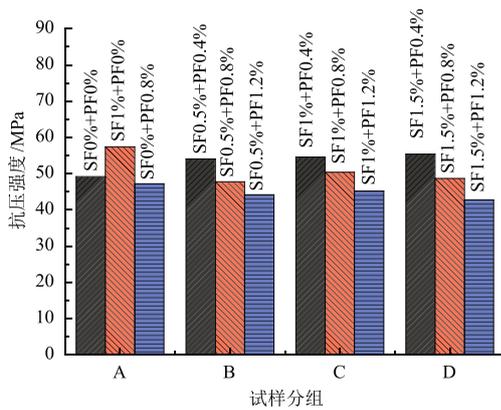


图 3 纤维改良建筑废料再生绿色混凝土立方体抗压强度
Fig. 3 Cube compression strength of recycled green concrete with fiber improved construction waste

对于混掺 SF 材料和 PF 材料的 RAC 试件, 从整体来看, 在 SF 材料掺量相同的条件下, RAC 的立方体抗压强度随着 PF 材料增大而逐渐降低; 当 SF 掺量为 0.5% 时, 不同 PF 掺量的 RAC 试件的抗压强度分别为 54.32 MPa、48.12 MPa 以及 44.03 MPa。相反的是, 在 PF 材料掺量相同时, RAC 的立方体抗压强度随着 SF 材料增大而逐渐增大; 当 PF 材料掺量为 0.4% 时, 不同 SF 掺量 RAC 试件的抗压强度分别为 54.32 MPa、56.15 MPa 和 57.33 MPa。分析认为, 当在再生混凝土试样中掺入一定量的 SF 纤维后, 混凝土加载破坏过程中, 由于钢纤维的强度较大, 因此其能够有效的分担部分外部荷载, 因此提高了 RAC 试件的抗压强度; 而 PF 材料的弹性模量较差, 在 RAC 掺入 PF 材料

后会导致 RAC 试件的承载能力降低。

此外, 试验结果表明, 当钢纤维和聚丙烯纤维体积掺量较大时, RAC 试件的立方体抗压强度又出现了明显的降低。分析认为, 当 RAC 中纤维的掺量过大时, 会导致纤维在混凝土搅拌过程中发生团聚问题, 因此 RAC 内部结构不均匀, 试件的承载能力降低。

2.3 劈裂抗拉强度

基于劈裂抗拉强度试验, 得到不同纤维改良建筑废料再生绿色混凝土的抗拉强度如图 4 所示。由图 4 可知, 不掺 SF 和 PF 条件下, 建筑废料再生混凝土试件的抗拉强度仅有 2.75 MPa。SF 材料和 PF 材料对再生混凝土的抗压强度的影响不一致, 由图 4 可知, 相较于素 RAC 试件, 掺入 SF 或 PF 材料后, 纤维改良 RAC 试件的抗拉强度均有所提高。单掺 SF 纤维和单掺 PF 纤维的 RAC 试件抗拉强度分别为 4.32 MPa 和 3.39 MPa, 分别较素 RAC 试件提高了 57.09% 和 23.27%。

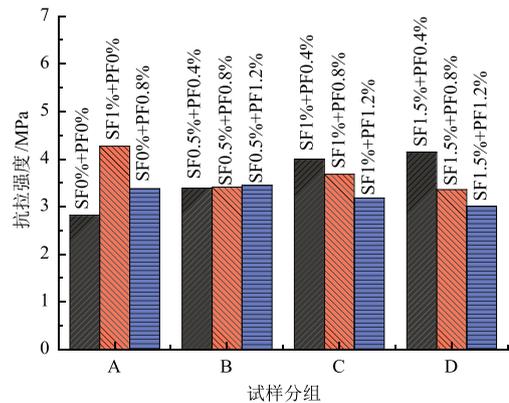


图 4 纤维改良建筑废料再生绿色混凝土劈裂抗拉强度
Fig. 4 Splitting tensile strength of recycled green concrete with fiber improved construction waste

对于混掺 SF 材料和 PF 材料的 RAC 试件, 从整体来看, 当 PF 掺量较低时, RAC 试件的抗拉强度随 SF 材料掺量的增大逐渐增大; 而当 PF 掺量较大时, RAC 试件的抗拉强度则呈现出先增大后减小的变化趋势。当 SF 掺量较低时, RAC 试件的抗拉强度随 SF 材料掺量的增大逐渐增大; 而当 PF 掺量较大时, RAC 试件的抗拉强度则呈现出逐渐减小。分析认为, 在 RAC 试件劈裂拉伸加载破坏过程中, 素 RAC 试件由于内部无纤维, 因此其迅

材料科学

速破坏并断裂；而对于纤维改良的 RAC 试件，在其劈裂破坏过程中，可以观察到纤维的逐渐断裂过程。这表明，SF 和 PF 材料在拉伸破坏过程中承担一定的拉伸应力，因此提高了 RAC 试件的抗拉强度。

3 结论

为有效提升建筑废料再生绿色混凝土 (RAC) 的力学性能，室内利用钢纤维和聚丙烯纤维分别制备了钢纤维改良 RAC、聚丙烯纤维改良 RAC 以及钢-聚丙烯纤维改良 RAC，并对三种 RAC 材料开展了坍落度试验、立方体抗压强度试验以及劈裂抗拉强度试验。研究发现：

(1) 素 RAC 拌合物的坍落度较高，可以达到 168.87 mm。掺入 SF 或 PF 材料后，混凝土拌合物的坍落度产生了非常明显的下降，单掺 1%SF 材料的混凝土拌合物坍落度为 92.16 mm，单掺 0.8% PF 材料的混凝土拌合物坍落度为 108.95 mm。

(2) 单掺 SF 材料后混凝土的抗压强度明显提高，而 PF 纤维则对 RAC 的抗压强度有着明显的劣化效应，单掺 PF 材料的 RAC 强度小幅降低。当钢纤维和聚丙烯纤维体积掺量较大时，RAC 试件的立方体抗压强度又出现了明显的降低。

(3) 当 PF 或 SF 掺量较低时，RAC 试件的抗拉强度随另一种纤维材料掺量的增大逐渐增大；而当 PF 或 SF 掺量较大时，RAC 试件的抗拉强度则会出现减小的现象。研究成果为我国建筑废料的回收利用以及混凝土的改良提供了一定的借鉴作用。

参 考 文 献

[1] 周静海, 刘昱, 康天蓓, 等. 废弃纤维再生混凝土黏结性能试验 [J]. 建筑科学与工程学报, 2021, 38 (5): 66-73.
[2] 黄军福, 王福胜, 周敬勇, 等. PVA 纤维对再生透水混凝土

的性能影响研究 [J]. 非金属矿, 2018, 41 (6): 98-100.
[3] 刘竞怡, 孙志华, 温久然, 等. 金尾矿砂作为混凝土集料的物化性质及其改性试验 [J]. 金属矿山, 2021 (5): 211-220.
[4] 王启, 赵俭斌, 董浩, 等. 玄武岩纤维混凝土弯曲破坏特征与韧性分析 [J]. 混凝土与水泥制品, 2021 (10): 48-51.
[5] 贺晶晶, 师俊平, 张勇, 等. 玄武岩纤维改善混凝土拉伸性能分析 [J]. 复合材料科学与工程, 2021 (8): 39-43.
[6] 任莉莉. 玄武岩纤维纳米 SiO₂ 增强混凝土力学性能试验研究 [J]. 复合材料科学与工程, 2021 (8): 85-90.
[7] 郑庆祥. 钢纤维混凝土的高温力学性能研究进展 [J]. 城市建筑, 2021, 18 (32): 119-121.
[8] 纪冰丞, 徐文文, 张秦源, 等. 冻融和化学侵蚀下钢纤维混凝土劣化性能研究 [J]. 森林工程, 2021, 37 (6): 99-108.
[9] 阮燕, 董晨, 邓瑞华, 等. 钢纤维混凝土制备及工作力学性能试验研究 [J]. 江西建材, 2021 (9): 43-46.
[10] 梁宁慧, 严如, 田硕, 等. 预加荷载下聚丙烯纤维混凝土抗渗机理研究 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2021, 48 (9): 155-162.
[11] 满奇斐. 改性聚丙烯纤维混凝土的制备与支护应用研究 [J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5 (1): 94-96.
[12] 郭兴. 聚丙烯纤维混凝土抗拉性能研究 [J]. 西安工业大学学报, 2021, 41 (6): 644-648.
[13] ZHU M Y, QIU J S, CHEN J X. Effect and mechanism of coal gangue concrete modification by basalt fiber [J]. Construction and Building Materials, 2022, 328.
[14] XIANG D, LIU S Q, LI Y J, et al. Improvement of flexural and cyclic performance of bridge deck slabs by utilizing steel fiber reinforced concrete (SFRC) [J]. Construction and Building Materials, 2022, 329.
[15] JAYARAM M, NARESH J, THIPPARTHI K, et al. Assessment on mechanical properties of concrete with polypropylene fiber [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 982 (1).
[16] GB/T 50080-2002, 普通混凝土拌合物性能试验方法标准 [S].
[17] GB/T 50081-2002, 普通混凝土力学性能试验方法标准 [S].