

纤维类型和掺量对混凝土抗冲击性能的影响研究

杨琳, 张程浩, 张爱想, 金鹭云, 丁永周

(北京建工新型建材有限责任公司, 100015, 北京)

摘要:通过自制落球试验装置,进行了端勾型、微丝型、铣削型3种不同尺寸钢纤维和聚丙烯纤维混凝土抗冲击性能试验研究。结果表明,在相同掺量条件下,微丝型钢纤维对混凝土抗冲击性能提升效果最佳,铣削型提升效果最差。在一定掺量范围内微丝型纤维掺量和混凝土抗冲击性能成正相关。掺入聚丙烯纤维降低了钢纤维混凝土抗冲击性能,提高了混凝土的初裂后延性。微丝型钢纤维和端勾型钢纤维产生了正向混杂效应,两种尺寸不同的钢纤维对混凝土的抗冲击性能提升得到了互补。

关键词:纤维混凝土;抗冲击性能;钢纤维;聚丙烯纤维

中图分类号: TU 5

文献标志码: A

文章编号: 1000-4726(2023)19-2320-04

STUDY ON THE INFLUENCE OF FIBER TYPE AND CONTENT ON THE IMPACT RESISTANCE OF CONCRETE

YANG Lin, ZHANG Cheng-hao, ZHANG Ai-xiang, JIN Lu-yun, DING Yong-zhou

(BCEG Advanced Construction Materials Co., Ltd., 100015, Beijing, China)

Abstract: The impact resistance of three types (end hook, microfilament and milling type) of steel fibers and polypropylene fibers of different sizes were tested with a self-made falling ball tester. Results show that the microfilament steel fiber has the best effect to improve the impact resistance of concrete while the milling type has the worst effect under the same dosage condition. There is a positive correlation between the content of microfilament fiber and the impact resistance of concrete within a certain dosage range. Use of polypropylene fiber reduces the impact resistance of steel fiber reinforced concrete and improves the concrete ductility after initial cracking. Both the microfilament steel fiber and the end hook type steel fiber have a positive hybrid effects. Steel fibers of two different sizes have complementary effects on the impact resistance of concrete.

Keywords: fiber reinforced concrete; impact resistance; steel fiber; polypropylene fiber

混凝土抗压强度高、取材方便,易于成型且耐久性较好,被广泛应用于基础建设中。但随着现代土木工程对混凝土强度要求的不断提高,混凝土的脆性高、韧性差、易开裂、断裂的缺陷愈加明显。在混凝土中加入纤维,可以提高混凝土的抗冲击性能,对桥梁、高速公路、堤坝以及军用结构等易受冲击荷载作用的结构具有重要的意义。

目前关于纤维混凝土的研究包括钢纤维、玄武岩纤维、聚丙烯纤维、碳纤维等,研究表明,钢纤维对混凝土抗冲击性能提升作用最为明显,而聚丙烯纤维则在抗裂性能方面更突出,二者在实际纤维混凝土应用中也最广泛。钢纤维具有多种分类,形状有片状、条状及微丝状等,直径由0.1~2mm不等。目前关于不同种类钢纤维抗冲击性能差异以及不同种类钢纤维混杂效果研究无明确结论。另外,聚丙烯纤维对于钢

纤维混凝土抗冲击性能的影响研究也较少。

本研究将不同种类的钢纤维和聚丙烯纤维按一定配比制成纤维混凝土试件。通过落球冲击试验,分析比较了纤维种类、掺量对混凝土抗冲击性能的影响,探讨了不同种钢纤维混杂效应。

1 试验概况

1.1 试验原材料

试验所用原材料: P·O42.5普通硅酸盐水泥;细度模数为2.7的河砂;5~25mm山碎石;S95矿粉;F类Ⅱ级粉煤灰;聚羧酸高性能减水剂;普通自来水。所用纤维如图1所示,不同纤维主要性能参数见表1。试验混凝土配合比见表2。

1.2 试验方法

目前国内外对混凝土抗冲击性能的试验方法没有统一规定,本研究在参考美国混凝土协会(ACI)的混凝土落锤冲击试验装置的基础上,设计抗冲击试验装

收稿日期: 2023-06-20

作者简介: 杨琳(1997—),男,山西武乡人,硕士, e-mail: 3213781832@qq.com

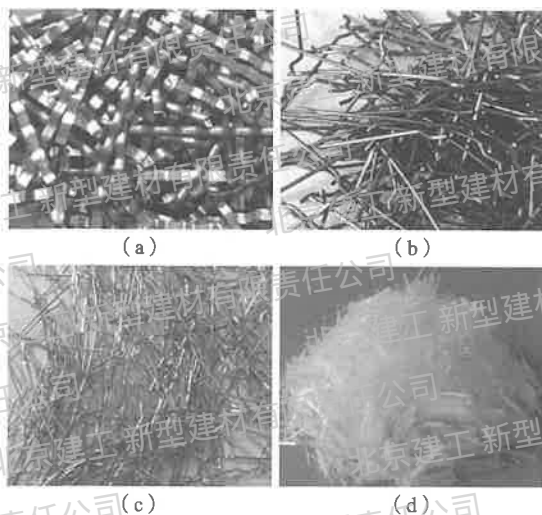


图1 所用纤维材料

(a) 铣削型钢纤维; (b) 端勾型钢纤维;
(c) 微丝型钢纤维; (d) 聚丙烯纤维

表1 不同纤维物理性能参数

种类	长度/mm	直径/mm	抗拉强度/MPa
铣削型钢纤维	32	2.1	680
端勾型钢纤维	25	0.5	1150
微丝钢纤维	13	0.15	2850
聚丙烯纤维	10	0.04	500

表2 试验混凝土材料用量 kg/m³

水泥	水	河砂	石子	粉煤灰	矿粉	外加剂
380	178	840	1035	75	75	9.81

置。选取样式为接近实际工程的圆饼形状试件,厚度6.5 cm、直径18 cm。冲击球重4.2 kg,试验时将球从高1.0 m处沿试件中心自由落下,每次冲击后检查试件是否产生裂痕,第一次出现裂缝为初裂,最终断裂破坏为终裂,记录每个试件初裂和终裂次数。

1.3 试件设计分组

设计10组试验,设置不掺纤维的素混凝土作为基准混凝土。通过设计单一钢纤维试验组探讨钢纤维种类、掺量对混凝土抗冲击性能影响。通过混杂纤维试验组探讨聚丙烯纤维影响及钢纤维混杂效果。试验试件设计汇总见表3,其中 V_f 表示纤维体积率,单位为百分比(%)。

2 试验结果与分析

2.1 破坏形态分析

图2为不同试验组试件破坏形态,由图2(a)可以看出,基准混凝土破坏时裂缝为一条直线,破坏

表3 试验试件设计汇总

试件号	钢纤维 (微丝型) V_f /%	钢纤维 (端勾型) V_f /%	钢纤维 (铣削型) V_f /%	聚丙烯 V_f /%
1	0	0	0	0
2	0.5	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1.5	0	0	0
5	0	1.5	0	0
6	0	0	1.5	0
7	1	0	0	0.15
8	1.5	0	0	0.15
9	1	0.5	0	0.15
10	1	0	0.5	0.15

面较平整,脆性明显;由图2(b)可见,掺入铣削型钢纤维对混凝土脆性有一定的改善,裂缝呈直线,但破坏面较基准混凝土组更凹凸;由图2(c)(d)可见,掺入端勾型和微丝型钢纤维后,混凝土脆性明显降低,裂缝不再是一条直线,而是在试件表现多个微裂缝,然后逐渐扩大直到破坏,即使裂缝完全贯穿试件,裂缝间仍可以看见钢纤维在约束着裂缝的进一步扩大;由图2(e)可见,聚丙烯纤维对钢纤维混凝土试件裂缝分布影响较小。

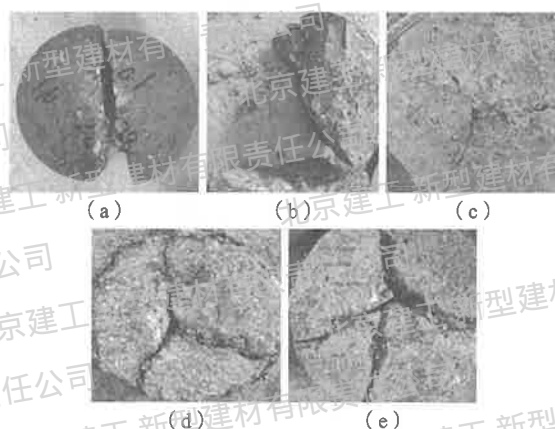


图2 不同试验组试件破坏形态

(a) 1号; (b) 7号; (c) 6号; (d) 4号; (e) 8号

2.2 冲击试验结果

记录每个混凝土试件初裂和终裂次数,计算出每组3个试件初裂和终裂次数平均值 N_1 、 N_2 ,试验结果见表4。

从表4可以看出, N_2/N_1 大小可以表征纤维混凝土延性性能, N_2/N_1 越大表明试件延性越好,在产生裂缝后仍可维持基本形状,继续承受冲击作用,不会脆性断裂; N/N 基准混凝土的大小可表征该组纤维对比对混凝土初裂、终裂性能的提升。

表4 冲击试验结果

试件号	初裂次数 N1	终裂次数 N2	N2/N1	N1/N1 基准 混凝土	N2/N2 基准 混凝土
1	4	4	1.00	1.00	1.00
2	126	139	1.10	31.50	34.67
3	232	253	1.09	58.00	63.33
4	395	427	1.08	98.75	106.75
5	233	259	1.11	58.25	64.75
6	74	81	1.09	18.50	20.25
7	61	72	1.18	15.25	18.00
8	132	152	1.15	33.08	37.92
9	227	260	1.14	56.75	64.92
10	79	98	1.25	19.67	24.58

图3为1、4、5、6号试件初裂、终裂次数。由图3可以看出,在相同掺量下,微丝型钢纤维对混凝土的抗冲击性能提升效果最好,端勾型次之,而铣削型钢纤维相比其他两种钢纤维,对混凝土抗冲击性能提升作用较小。原因可能是在相同体积掺量条件下,直径和长度越小,纤维在混凝土试件中的分布越广泛,在试件受到冲击荷载产生微裂缝时,钢纤维更能起到缓解冲击的作用。

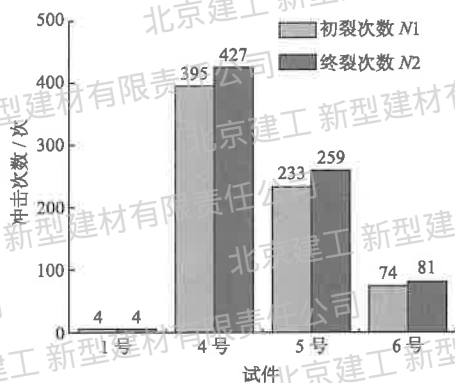


图3 不同纤维类型试件初裂、终裂次数

另外,从图4中 $N2/N1$ 值可以看出,3种钢纤维均能起到提升混凝土延性的作用,在裂缝产生后约束断裂的快速发生,其中端勾型钢纤维较其他两种钢纤维 $N2/N1$ 值更大,可能是由于与端勾型钢纤维直径较铣削型钢纤维小,长度比微丝型钢纤维长,初裂产生宏观裂缝后更不易被完全拔出。

图5为2号、3号、4号试件试验结果,可以看出,随着微丝型钢纤维掺量的提高,试件初裂和终裂次数均在增加,说明在一定掺量范围内,微丝型纤维掺量和混凝土抗冲击性能成正相关关系。

图6为3号与7号,4号与8号试件初裂、终裂次数对比。由图6可以看出,聚丙烯纤维的掺入不仅

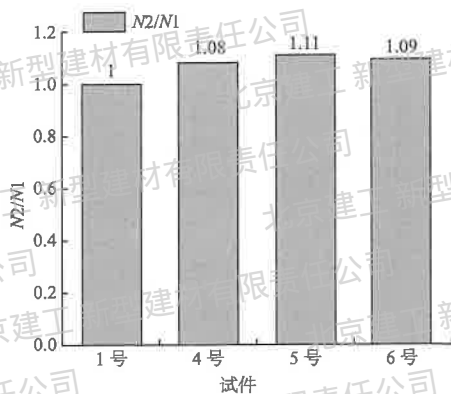
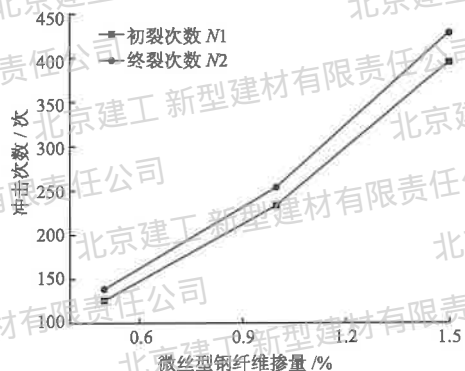
图4 不同纤维类型试件 $N2/N1$ 值

图5 微丝型钢纤维不同掺量初裂、终裂次数

未能对钢纤维混凝土的抗冲击性能起到积极的正向作用,反而降低了钢纤维混凝土抗冲击性能。通过观察试件断裂面,分析其原因可能是聚丙烯纤维未能在混凝土试件中以细小丝状均匀分散,而是以较大粒径的片状形态分布,影响了钢纤维在混凝土中的有效均匀分布,在受到冲击荷载作用时,聚丙烯纤维所在区域不能起到较好的约束微裂缝作用,试件更容易出现可见的宏观裂缝。由图7可看出,3号与7号,4号与8号相比 $N2/N1$ 值均增大,说明掺入聚丙烯纤维提高了试件的延性性能,这是因为聚丙烯纤维变形能力大于钢纤维,在产生宏观裂缝后,掺入聚丙烯纤维的混凝土试件更不容易脆性断裂,延性得到提升。

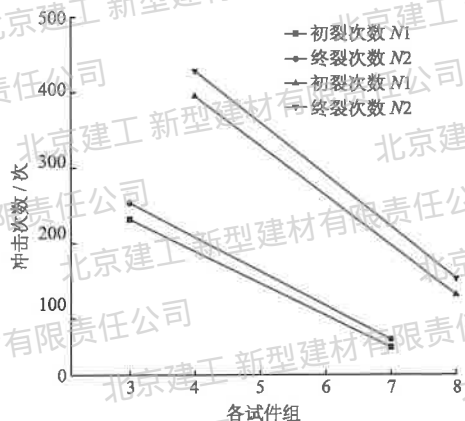


图6 聚丙烯纤维对试件抗冲击次数的影响

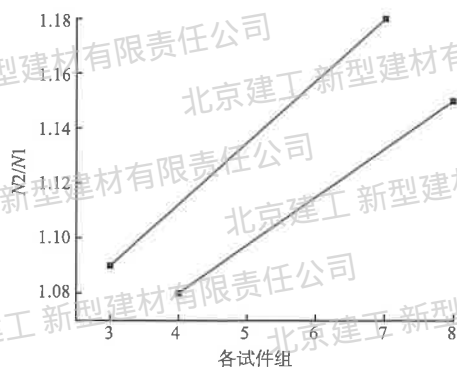


图7 聚丙烯纤维对试件 A2/M1 值的影响

图8为8、9、10号试件初裂、终裂次数结果。

由图8可以看出,1%体积掺量的微丝型钢纤维和0.5%体积掺量的铣削型钢纤维混杂试验组(10号),初裂及终裂次数均低于1.5%体积掺量微丝型试验组(8号),与1.0%体积掺量微丝型试验组(7号)次数相差不多,说明该试验混杂效果一般。而1%体积掺量的微丝型钢纤维和0.5%体积掺量的端勾型钢纤维(9号)混杂效果较好,初裂及终裂次数相比1.5%体积掺量的微丝型试验组提高了50%以上。相同掺量的端勾型钢纤维对混凝土抗冲击性能提升作用小于微丝型钢纤维,但端勾型和微丝型钢纤维混杂后相对于单一钢纤维抗冲击性能得到了很大的提升。其原因可能是几何尺寸较小的微丝型钢纤维阻碍微裂缝扩大,而几何尺寸较大的端勾型钢纤维则阻止宏观裂缝进一步扩展。两种尺寸不同的钢纤维对混凝土的抗冲击性能提升互补,产生了积极的混杂效应。

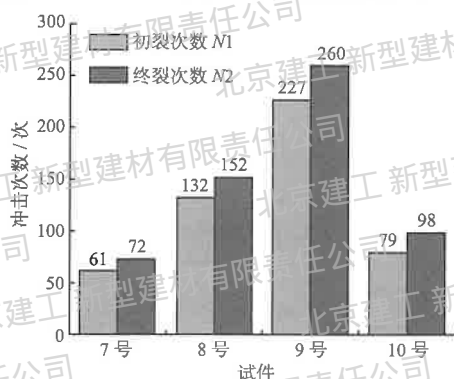


图8 混杂试验组初裂、终裂次数

3 结论

(1) 在相同掺量的条件下,微丝型钢纤维对混凝土抗冲击性能提升效果最佳,铣削型钢纤维提升效果最差。初裂产生后端勾型钢纤维对试件的延性提升效果最好。

(2) 微丝型纤维掺量和混凝土抗冲击性能在一定掺量范围内成正相关。

(3) 掺入聚丙烯纤维后,混凝土抗冲击性能降低,提高了混凝土出现裂缝后的延性功能。

(4) 1%体积掺量的微丝型钢纤维和0.5%体积掺量的端勾型钢纤维产生了积极的混杂效应,两种尺寸不同的钢纤维对混凝土的抗冲击性能提升得到互补。

参考文献

- [1] 胡金生,杨秀敏,王安宝.纤维混凝土抗接触爆炸性能研究[J].工程力学,2004(S3): 56-59.
- [2] 焦楚杰,孙伟,周云,等.钢纤维混凝土抗冲击试验研究[J].中山大学学报(自然科学版),2005,44(6): 41-45.
- [3] 童伟光,陈路敏,王怀亮.聚丙烯纤维特性对混凝土抗冲击性能的影响[J].混凝土,2022(2): 31-33,37.
- [4] 于泳,朱涵,朱学超,等.玄武岩纤维混凝土抗冲击性能研究[J].建筑结构学报,2015(S2): 354-358.
- [5] 王璞,黄真,周岱,等.碳纤维混杂纤维混凝土抗冲击性能研究[J].振动与冲击,2012,31(12): 14-18.
- [6] 朱峰.混杂纤维混凝土冲击性能试验研究[D].武汉:湖北工业大学,2020.
- [7] 吴浩,王振地,王玲,等.钢纤维类型和掺量对高强混凝土力学性能的影响[J].低温建筑技术,2017,39(8): 1-3.
- [8] 朱田路.低掺量纤维混凝土力学性能研究[D].郑州:郑州大学,2011.
- [9] 高丹盈,黄春水,汤寄予.纤维沥青混合料最佳纤维掺量试验研究[J].公路,2009(2): 141-146.
- [10] 张翼翔.纤维种类和掺量对混凝土力学及抗氯离子渗透性能的影响研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2019.
- [11] 薛金顺,蒋应军.不同类型纤维对AC-20沥青混合料性能的影响[J].公路交通技术,2022,38(4): 6-11.
- [12] 李传习,聂浩,石家宽,等.纤维类型对混凝土抗压强度和弯曲韧性的增强效应及变异性的影响[J].土木与环境工程学报(中英文),2019,41(2): 147-158.
- [13] 曹玉新.钢纤维类型对钢纤维混凝土性能影响的试验研究[J].兰州交通大学学报,2019,38(6): 1-8.
- [14] 陆俊,王建苗,李静,等.纤维增强再生混凝土抗拉性能的研究进展[J].建材技术与应用,2021(5): 8-13.
- [15] 邵曼,刘馥铭.不同类型纤维 SMA-13 力学性能研究[J].湖南交通科技,2014,40(4): 47-49,62.
- [16] 乐东钊.玻璃纤维混凝土的力学性能与疲劳性能试验研究[D].武汉:湖北工业大学,2020.
- [17] 张冬莉,米峻,王和通,等.不同类型纤维对 SMA-13 混合料高温性能的影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2012,8(3): 73-75.
- [18] 张延年,刘晓阳,董浩,等.低掺量下钢纤维混凝土抗拉和抗折性能试验研究[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2018,37(1): 66-69.
- [19] 任旭.纤维沥青混合料性能室内试验研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [20] 刘志华.纤维对沥青混合料性能影响试验分析[J].中国公路,2018(14): 110-111.
- [21] 张浩天.BFRP 筋与纤维混凝土粘结滑移性能及粘结界面损伤评价研究[D].北京:北京交通大学,2022.
- [22] 姚淇耀,陆震宇,滕晓丹,等.纤维类型及水胶比对海砂 ECC 宏观力学性能的影响机理分析[J].材料科学与工程学报,2023,41(2): 222-228,246.
- [23] 秦鸿根,刘斯凤,孙伟,等.钢纤维掺量和类型对混凝土性能的影响[J].建筑材料学报,2003(4): 364-368.