

聚丙烯腈纤维混凝土的抗压与抗折性能试验研究

张丽哲, 石海强, 刘 备, 季 涛

(南通大学 纺织服装学院, 江苏 南通 226019)

摘要:通过室内试验研究了在纤维长度和掺量不同的情况下,聚丙烯腈纤维对混凝土抗压性能和抗折性能的影响规律.试验结果表明,聚丙烯腈纤维的掺入可显著提高混凝土的抗压强度与抗折强度;在掺量不大于 0.9 kg/m^3 的情况下,随着纤维掺量的增加,混凝土的抗压性能不断提高;在纤维掺量一定时,存在一个最佳纤维长度值,可最大程度地提高混凝土的抗压强度与抗折强度.

关键词:聚丙烯腈纤维;混凝土;抗压性能;抗折性能

中图分类号: TS159; TU528.572

文献标志码: A

文章编号: 1673-2340(2012)03-0039-04

Experimental Study on Compressive Properties and Flexural Performance of Polyacrylonitrile Fiber Reinforced Concrete

ZHANG Li-zhe, SHI Hai-qiang, LIU Bei, JI Tao

(School of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Through indoor experiments, the effect of polyacrylonitrile fiber (PAN) with different length and different volume on the compressive properties and flexural performance of concrete are studied. Experimental results show that the compressive and flexural strength of concrete are improved evidently after the mixing of PAN. In the case of no more than 0.9 kg/m^3 by volume, the compressive properties of concrete are improved with the increase of fiber volume. At the same time, if the fiber volume is certain, there is an optimum fiber length with which the compressive and flexural strength of concrete can be improved maximally.

Key words: polyacrylonitrile fiber; concrete; compressive properties; flexural performance

纤维混凝土因在普通水泥基体中随机掺入了一些纤维,而使得脆性较大的混凝土材料在韧性、耐冲击性、抗拉性、抗弯性、抗渗性、耐收缩断裂性等方面得以改善^[1-3],因此,国内外对纤维混凝土的研究较为广泛.目前,国内外研究较多的是聚丙烯纤维在混凝土增强中的应用^[4-7],而聚丙烯腈纤维与

聚丙烯纤维相比具有更高的弹性模量、抗拉强度、抗紫外线性能和耐高温、严寒性能^[8-9].基于聚丙烯腈纤维本身所具有的优异性能,以及其在混凝土中良好的分散性和便捷的施工性能,可将其作为一种性能较为优良的新型混凝土抗裂增强纤维,用于提高混凝土的抗裂、抗渗、抗拉、抗弯、抗疲劳、抗冲

收稿日期: 2012-07-24

基金项目: 南通大学交通运输专项(10ZJ003)

作者简介: 张丽哲(1982—),女,讲师,博士,主要从事纤维在混凝土中的性能与应用等方面的研究. E-mail: zhanglz1005@ntu.edu.cn

击、抗爆炸、韧性及耐磨耗等一系列性能。目前,国内对聚丙烯腈纤维增强混凝土的早期抗裂性能研究较多^[10-12],而对其力学性能的研究较少^[13-14],并且研究不够深入,数据选择范围较大。本文通过室内试验,重点研究聚丙烯腈纤维混凝土的抗压与抗折性能,并通过细化纤维长度与掺量,探讨这两方面因素对混凝土力学性能的影响规律,为工程应用提供参考。

1 试验原料与方法

1.1 试验材料

水泥:南通海螺水泥有限公司生产的 42.5 级普通硅酸盐水泥;

细骨料:细度模数为 2.8 的中砂;

粗骨料:碎石, 5~25 mm 连续级配;

纤维:长度分别为 6, 9, 12 mm 的聚丙烯腈纤维,主要性能指标见表 1。

表 1 聚丙烯腈纤维的主要性能指标

性能	指标
直径/ μm	13
密度/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.18
抗拉强度/MPa	330~420
断裂伸长率/%	15~26
弹性模量/GPa	17.1

1.2 试验配比

试验所用的混凝土配合比如表 2 所示。抗压试验共设计 10 组试件,每组 3 块试样,其中 A 组为素混凝土,其余 10 组均掺有不同长度、不同掺量的聚丙烯腈纤维,各组试件的纤维长度与掺量见表 3。抗折试验共设计 4 组试件,每组 3 块试样,其中 a 组为素混凝土,其余 3 组均掺有聚丙烯腈纤维,各组试件的纤维长度与掺量见表 4。

1.3 试件制备

参照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)^[15]进行试验试件制备:抗压强度试验采用 150 mm × 150 mm × 150 mm 的标准试件,抗折强度试验采用 100 mm × 100 mm × 400 mm 的非标准试件。

根据标准要求,每组试验制备 3 块试件,并从同一批次混凝土拌合物中取样。在搅拌混凝土时,

表 2 混凝土配合比 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

材料	数值
水泥	370
砂	645
石子	1 200
水	185

表 3 抗压试验各组试件的纤维长度与掺量

编号	纤维掺量/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	纤维长度/mm
A	0	0
B ₁	0.3	6
B ₂	0.6	6
B ₃	0.9	6
C ₁	0.3	9
C ₂	0.6	9
C ₃	0.9	9
D ₁	0.3	12
D ₂	0.6	12
D ₃	0.9	12

表 4 抗折试验各组试件的纤维长度与掺量

编号	纤维掺量/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	纤维长度/mm
a	0	0
b	0.6	6
c	0.6	9
d	0.6	12

为使混凝土各组分拌合均匀,纤维不结团,采用先干拌后湿拌的方法,即先将称重好的水泥、砂、石子、纤维投入搅拌机中,搅拌 2 min,然后加水搅拌 2 min,使混凝土搅拌均匀。将拌好的混凝土装模、振实,在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的环境中静置 24 h 后拆模并编号,然后放入温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度不低于 95% 的标准养护箱中养护 28 d。

1.4 试验方法

抗压强度试验采用国产 JYE-2000 型压力试验机进行测试,试验量程为 0~2 000 kN,最小刻度为 5 kN,加荷速度采用 0.5 MPa/s。用压力试验机测出立方体试件的破坏载荷后,根据试件承压面积可计算得出混凝土的抗压强度。

抗折强度试验采用国产 WE-10A 型液压式万能试验机进行测试,试验量程为 0~20 kN,最小刻度为 0.05 kN,加载速度采用 0.03 MPa/s,支座间跨

度为 300 mm. 试验结束后, 根据所记录的试件破坏载荷值, 可计算出混凝土的抗折强度.

本试验所用试件为 100 mm × 100 mm × 400 mm 的非标准试件, 根据标准要求, 需乘以尺寸换算系数 0.85, 从而得出最终的抗折强度值.

2 试验结果与分析

2.1 抗压强度

试验测得的 10 组试件的抗压强度平均值以及相对于素混凝土的强度增幅值如表 5 所示.

表 5 聚丙烯腈纤维增强混凝土的 28 d 抗压强度

编号	抗压强度/MPa	抗压强度增幅/%
A	37.58	—
B ₁	37.56	-0.05
B ₂	40.17	6.89
B ₃	41.99	11.73
C ₁	38.71	3.01
C ₂	41.41	10.19
C ₃	42.17	12.21
D ₁	38.52	2.50
D ₂	39.10	4.04
D ₃	41.91	11.52

由表 5 可得出聚丙烯腈纤维增强混凝土的抗压强度与纤维掺量和纤维长度之间的关系曲线, 分别如图 1 和图 2 所示.

从图 1 可以看出, 当纤维长度为 6 mm、掺量为 0.3 kg/m³ 时, 混凝土的抗压强度相对于素混凝土稍有下降, 这说明纤维较短、掺量较低时并不能显著改善混凝土的抗压性能. 随着纤维掺量的增加, 且掺量不大于 0.9 kg/m³ 的情况下, 无论纤维长短, 混凝土的抗压强度均不断提高; 当纤维掺量达到 0.9 kg/m³ 时, 纤维长度对混凝土抗压性能的影响基本趋于稳定, 达到最大值, 抗压强度增幅达 12% 左右. 这说明纤维掺量的增加有利于改善混凝土的抗压性能, 当纤维掺量达到一定值时, 纤维长度对混凝土抗压性能的影响基本一致.

从图 2 可以看出, 当掺入的纤维质量一定时, 长度为 9 mm 的纤维对混凝土抗压性能的增强作用要优于 6 mm 和 12 mm 的纤维. 这说明混凝土中掺入的纤维长度存在一个最佳值, 只有当选择合适

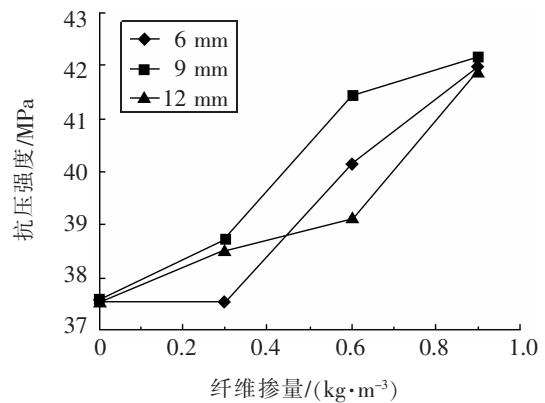


图 1 混凝土抗压强度与纤维掺量的关系曲线

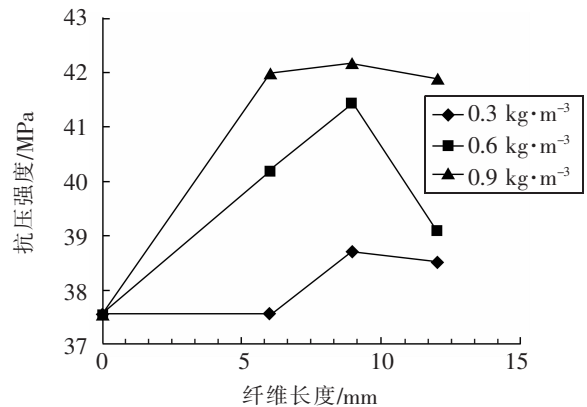


图 2 混凝土抗压强度与纤维长度的关系曲线

的纤维长度时, 才能最大程度地提高混凝土的抗压性能.

对比图 1 和图 2, 纤维掺量对混凝土抗压性能的影响比纤维长度的影响显著, 分析原因为: 聚丙烯腈纤维的直径细、比表面积大, 纤维加入混凝土中经搅拌后呈三维乱向分布状态, 构成一种三维乱向支撑体系, 有助于提高混凝土受外力作用时能量的吸收; 同时, 由于聚丙烯腈纤维良好的粘附特性, 使得水泥基体与纤维之间的界面黏结强度提高, 从而使纤维增强效应得到更充分地发挥. 当纤维长度过长, 超过一定极限时, 水泥基体与纤维之间的结合力反而会下降, 混凝土胶凝材料的包裹效果降低, 影响混凝土抗压性能的提高.

2.2 抗折强度

试验测得的 4 组试件抗折强度平均值及抗折强度增幅值如表 6 所示.

由表 6 可得出纤维掺量为 0.6 kg/m³ 时, 聚丙烯腈纤维长度与混凝土抗折强度的关系曲线, 见图 3.

表6 聚丙烯腈纤维增强混凝土的28d抗折强度

编号	抗折强度/MPa	抗折强度增幅/%
a	2.58	—
b	2.62	1.55
c	3.20	24.03
d	2.63	1.94

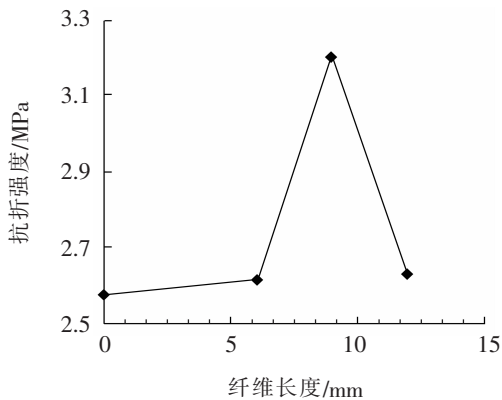


图3 混凝土抗折强度与纤维长度的关系曲线

从图3可以看出,聚丙烯腈纤维的掺入可提高混凝土的抗折强度.在纤维掺量相同的情况下,长度为9mm的聚丙烯腈纤维对混凝土抗折性能的增强作用明显高于6mm和12mm的纤维.这表明在纤维掺量一定时,纤维长度存在一个最佳值,高于或低于该最佳值,纤维对混凝土抗折强度的增强作用均相对下降.分析其原因,同样是由于聚丙烯腈纤维与混凝土基体界面黏结强度随纤维长度发生变化而引起的.在纤维长度达到某一临界点之前,随着长度的增加,纤维与水泥基体间的界面吸附黏结力、机械啮合力会随之提高,纤维将承担一定的外界作用力;而当纤维长度超过临界点后,两者之间的黏结力相对下降,使得纤维对混凝土的增强作用降低.

3 结论

1)混凝土中掺入聚丙烯腈纤维,可有效地提高混凝土的抗压强度和抗折强度.

2)在纤维掺量不大于 0.9 kg/m^3 的情况下,随着纤维掺量的增加,混凝土的抗压性能逐步提高.

3)当纤维掺量一定时,纤维长度对混凝土的抗压性能具有决定性影响,且存在一个最佳值;超

过该最佳值,聚丙烯腈纤维对混凝土抗压性能的增强作用相对下降.本文试验得到的提高抗压强度的最佳纤维长度为9mm.

4)当纤维掺量一定时,纤维长度存在一个最佳值,可最大程度地提高混凝土的抗折强度.本文试验得到的提高抗折强度的最佳纤维长度为9mm.

参考文献:

- [1] 倪敬达,于湖生.纤维增强混凝土的研究进展[J].山东建材,2006,27(1):40-44.
- [2] 陈润锋,张国防,顾国芳.我国合成纤维混凝土研究与应用现状[J].建筑材料学报,2001,4(2):167-173.
- [3] 黄知清,谢焕文,李庆春.纤维增强混凝土的开发应用及发展前景[J].广西化纤通讯,2003(1):33-36.
- [4] 阳知乾.聚丙烯粗纤维增强混凝土应用研究进展[J].合成纤维,2009,38(6):10-14.
- [5] 祝云华.聚丙烯纤维对混凝土力学性能的影响[J].水运工程,2011(5):63-66.
- [6] 张爱玲.聚丙烯纤维增强混凝土性能的分析与应用[J].工程建设与设计,2011(4):170-171.
- [7] 禹凯,钱晓倩,张轶伦,等.聚丙烯纤维对混凝土早期收缩影响的试验研究[J].混凝土,2007(5):64-65.
- [8] 胡红雨.聚丙烯纤维在水泥混凝土路面中的应用研究[J].公路,2007(8):187-189.
- [9] 邓宗才,何唯平,张国庆.聚丙烯纤维对混凝土早期抗裂性能的影响[J].公路,2003(7):163-165.
- [10] 翁兴中,蔡良才.道面聚丙烯纤维混凝土早期抗裂性试验研究[J].混凝土,2008(9):41-43.
- [11] 张海文,李金伟,何唯平.聚丙烯腈(腈纶)纤维对提高水泥基材料抗裂性能的研究[J].混凝土,2005(5):44-46.
- [12] 杨萍,陈旻,杨进超,等.聚丙烯腈纤维砂浆抗裂性能试验研究[J].绿色建筑,2010,2(5):58-60.
- [13] 许立强,陈素红.聚丙烯腈纤维对混凝土力学性能影响的试验研究[J].建材世界,2009,30(1):30-33.
- [14] 宋强,林国仁,方德铭,等.聚丙烯腈纤维混凝土基本力学性能的试验研究[J].福建建筑,2007(5):50-51.
- [15] 中国建筑科学研究院.GBT 50081—2002普通混凝土力学性能试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2003.

(责任编辑:仇慧)