维普资讯 http://www.cqvip.com

天津城市建设学院学报 第9卷 第4期 2003年12月
Journal of Tianjin Institute of Urban Construction Vol.9 No.4 Dec. 2003

建筑科学与土木工程

聚丙烯纤维对钢筋混凝土梁抗裂及承载性能的影响

刘玉桥，李京玲，孙锦镖
（天津城市建设学院 土木工程系，天津 300384）

摘要：对普通钢筋混凝土梁和掺加了改性聚丙烯纤维后的钢筋混凝土梁进行了弯曲试验研究.试验研究表明，改性聚丙烯纤维可以在一定程度上提高梁的抗裂性能和正截面承载力.分析了纤维的掺入对钢筋混凝土梁的抗裂性能及正截面承载力的影响机理.

关 键 词：聚丙烯纤维；钢筋混凝土梁；抗裂性能；正截面承载力；影响机理
中图分类号：TU375.1；TU528.572 **文献标识码**：A **文章编号**：1006-6853(2003)04-0231-04

近年来，聚丙烯纤维在混凝土工程中的应用日益受到工程界的重视.天津欣晟建筑纤维有限公司和天津城市建设学院土木工程系合作进行了改性聚丙烯纤维在混凝土工程中的应用研究.用3根普通钢筋混凝土梁和6根掺入纤维后的钢筋混凝土梁进行弯曲试验（其中3根为一组，分别掺入体积质量为0.9 kg/m^{3}和1.2 kg/m^3，纤维长度为19 mm和30 mm的改性聚丙烯纤维）.通过试验研究，分析了聚丙烯纤维对钢筋混凝土受弯构件的抗裂性能及正截面承载力的影响机理.

1 试验概况

1.1 试件设计

试验梁为矩形截面简支梁，分为三组，截面尺寸均为b×h=100 mm×200 mm，梁长度L=1 800 mm，净跨Ln=1 600 mm.截面内配筋三组均相同，纵向受力主筋为2ϕ10，设计配筋率为0.89%，箍筋为6ϕ6@100（仅在剪跨区内配置），架立筋为2ϕ6.试件配筋图见图1.

制作试件前在试验梁的纵向主筋上粘贴钢筋应变片.应变片型号为3 mm×5 mm，电阻值为(118±0.2) Ω，灵敏度系数为(2.212±0.23)%，粘结剂为乙基纤维素胶.在试验梁的跨中（顶面）及纯弯段一侧的混凝土表面（位于梁受拉区下边缘）都贴有混凝土应变片.应变片型号为5 mm×100 mm，电阻值为(118±0.2) Ω，灵敏度系数为(2.129+0.14)%，粘结剂为乙基纤维素胶.沿梁高粘有手持应变仪测点.应变片的具体布置示意图见图2.试验梁的编号及纤维掺入情况见表1.混凝土设计强度等级为C20，钢筋为HPB235级.试验梁的材料力学指标见表2.改性聚丙烯纤维由天津欣晟建筑纤维有限公司提供.

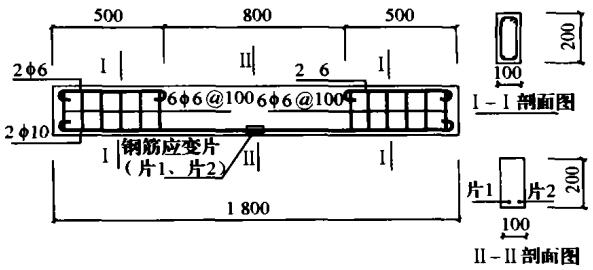

图1 钢筋混凝土梁及钢筋应变片位置图

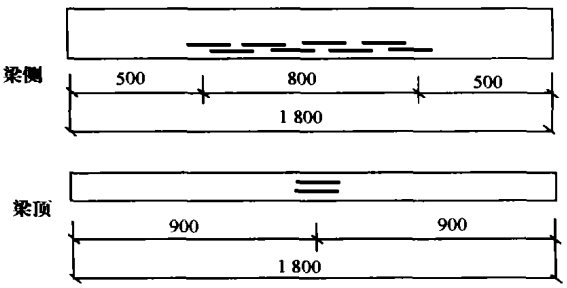

图2 普通及掺纤维梁应变布置示意图

收稿日期：2002-09-02；修订日期：2003-09-30
作者简介：刘玉桥（1963－），男，天津人，天津城市建设学院讲师，硕士.

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1　试验梁的编号及纤维掺入情况

组别	试验梁编号	纤维掺入情况
Ⅰ	A1 A2 A3	未掺纤维
Ⅱ	B1 B2 B3	纤维长度 19 mm，体积质量为 0.9 kg/m^3
Ⅲ	C1 C2 C3	纤维长度 30 mm，体积质量为 1.2 kg/m^3

表 2　材料力学指标

混凝土	强度等级	组别	轴心抗压强度/MPa	立方体抗压强度/MPa	劈裂抗拉强度/MPa	弹性模量/MPa
	C20	Ⅰ	22.8	28.9	2.24	3.26×10^4
		Ⅱ	29.8	35.6	2.70	3.39×10^4
		Ⅲ	23.9	30.6	2.26	3.28×10^4
钢筋	种类		屈服强度/MPa	极限强度/MPa	延伸率/%	弹性模量/MPa
	φ10		302.8	445.4	27.03	2.22×10^5
聚丙烯纤维	规格/mm		密度/(g·cm^{-3})	抗拉强度/MPa	延伸率/%	弹性模量/MPa
	19 30		0.91	648	18～25	5.6×10^3

1.2　加载方案及数据量测

图 3 为加载装置示意图. 加载方式为两点加载进行构件受弯承载力破坏试验，加载点为试验梁的四分点，由分配梁来实现两点加载. 加载方案采用分级加载方式，试件每级加载 4 kN，在接近开裂时改为 2 kN，开裂后每级加载仍为 4 kN. 根据试验的目的，在试验过程中重点量测包括梁跨中截面的平均应变、弯曲裂缝出现的荷载、裂缝的形态及发展、受拉钢筋应变、荷载-变形关系曲线、跨中挠度随荷载变化及正截面抗弯承载力. 数据由静态应变仪采集.

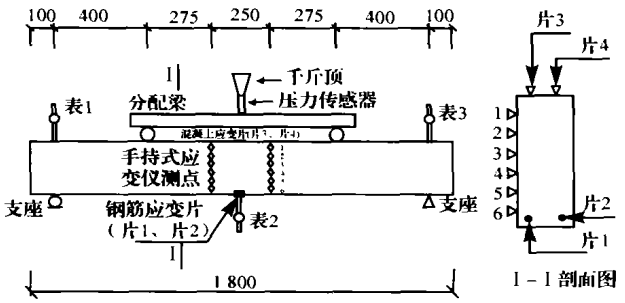

图 3　试件加载装置示意图

1.3　试验结果及分析

1.3.1　试验结果

为了了解掺入改性聚丙烯纤维后梁的开裂性能及正截面抗弯承载力，进行了每根梁的正截面弯曲破坏试验. 普通钢筋混凝土梁和掺入纤维钢筋混凝土梁的荷载-变形对比图见图 4. 试验梁的开裂荷载、屈服荷载及极限荷载实测结果见表 3.

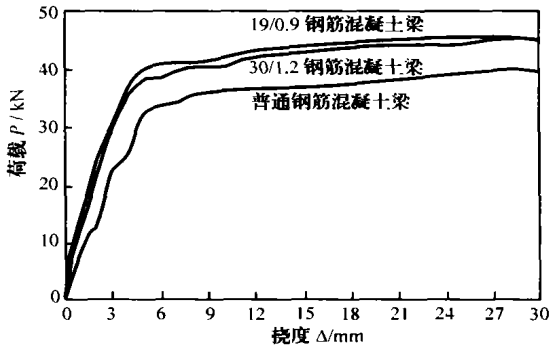

图 4　荷载-跨中挠度对比图

表 3　试验梁开裂、屈服及极限荷载实测结果

组别	开裂荷载		屈服荷载		极限荷载	
	试验值/kN	对比增长/%	试验值/kN	对比增长/%	试验值/kN	对比增长/%
Ⅰ	12.0	—	32.0	—	40.0	—
Ⅱ	16.0	33.3	40.0	25	45.5	13.8
Ⅲ	16.0	33.3	38.0	18.7	45.3	13.2

1.3.2　结果分析

由图 4 及表 3 可见，掺入改性聚丙烯纤维后，梁的开裂荷载、屈服荷载、极限荷载都获得了提高. 说明纤维的掺入明显提高了梁的抗裂性能，并在一定程度上提高了梁的正截面抗弯承载力.

1.3.3　试件挠度

实测结果表明，从钢筋屈服到梁破坏，跨中挠度平均值：Ⅰ组，22 mm；Ⅱ组，23.5 mm；Ⅲ组，23 mm. 说明构件掺入纤维后对后期挠度有一定影响，梁的挠度分别提高了 6.38%和 4.35%. 梁的延性得到了一定的改善. 钢筋屈服前（荷载为 30 kN），掺纤维试件的挠度明显低于未掺纤维试件的挠度（分别为 3 mm 和 4.7 mm）.

1.3.4　裂缝出现及开展情况

在试验过程中，所有梁在纯弯段内均出现明显的弯曲裂缝. 掺入纤维后梁的开裂荷载有一定提高，竖向裂缝宽度明显减少；裂缝间距变小，裂缝的总数量增加，各组梁其作用荷载为 36 kN 时，最大裂缝宽度分

维普资讯 http://www.cqvip.com

别为: Ⅰ组,0.91 mm;Ⅱ组,0.23 mm;Ⅲ组,0.17 mm. 裂缝扩展及延伸较普通钢筋混凝土梁要慢得多. 由此可见,改性聚丙烯纤维能有效地阻止裂缝的开展和延伸.

2 影响机理探讨

2.1 抗裂性能影响机理

普通混凝土极限拉应变约为 2×10^{-4},只要混凝土的变形大于该值,就会产生裂缝. 随着荷载的增加,裂缝将扩展和延伸,同时会产生新的裂缝,从而降低了混凝土的耐久性能,甚至导致钢筋混凝土受弯构件破坏. 改性聚丙烯纤维的掺入对钢筋混凝土受弯构件的抗裂性能影响机理主要体现在以下几个方面.

(1) 改性聚丙烯纤维具有足够的耐碱性及良好的化学稳定性,它不受混凝土中碱性集料和水泥碱性水化物的侵蚀,是以纯粹物理的方式在混凝土中发挥作用,避免了因为物料之间交叉的化学反应使得纤维发生不良变化.

(2) 纤维非常细密,决定了其具有高度的自分散性,能够在混凝土拌制过程中在混凝土内部无处不在地均匀分散,并在其中形成均匀分布的三维网络结构,阻止了混凝土基体中原有缺陷(粘结裂缝)的扩展并有效延缓新的裂缝出现.

(3) 在混凝土拌制过程中,为了获得要求的流动性,一般要多加一些水,当水量超过水泥水化所需水量时,这些水使水泥变稀,胶结力减弱,而且多余的水分残留在混凝土中形成水泡或水道,随混凝土硬化而蒸发便留下孔隙,从而减少了混凝土的实际受力面积,而且在混凝土受力时很容易在孔隙周围产生应力集中. 纤维的掺入在混凝土中呈三维无序分布,降低了混凝土内部微裂缝尖端应力集中,提高了抗裂能力.

(4) 均匀密布的改性聚丙烯纤维在混凝土内部形成一定支撑作用的微骨架,产生一种有效的二级加强效果. 在一定程度上阻止了粗、细集料的沉降,减少了混凝土表面的析水,从而提高了水泥浆与骨料的粘结强度,消除了混凝土中不同复合材料的"弱连接"问题.

(5) 纤维材料密度低、直径细,在混凝土中平均间距很小,单位体积中纤维数量较多,与水泥集料粘结面积极大,因此有效地阻止了混凝土由于收缩导致的开裂,提高了抗裂度.

(6) 混凝土中掺入纤维后,由于纤维的高抗拉性能,握裹水泥的纤维丝互相粘连形成致密的无序分布的网络增强系统,纤维受力后能将应力有效地分散,提高了混凝土的抗拉强度和变形能力,有利于阻止裂缝的产生和发展.

(7) 纤维在混凝土内部可以起到传递应力的作用,降低了混凝土的应力. 同时纤维可以挤压水泥浆内部的毛细管,甚至将其阻塞,使水泥浆表面失水面积减少,水分迁移困难,毛细管失水收缩形成的毛细张力有所降低. 纤维与水泥基之间界面粘结力会增加,提高了混凝土的抗裂性能.

2.2 正截面承载力影响机理

众所周知,影响普通钢筋混凝土受弯构件正截面承载力的主要因素有:① 材料组成的品种性质;② 施工振捣过程中的密实性、养护条件;③ 混凝土的强度等级;④ 钢筋的数量和强度等级;⑤ 截面尺寸及试验方法等方面.

根据现行《混凝土结构设计规范》GB50010 提出的单筋矩形梁正截面承载力基本计算公式[5]如下:

$$\begin{cases} M_u = \alpha_1 \cdot f_c \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - \frac{x}{2}) & (1) \\ X = \frac{f_y \cdot A_s}{\alpha_1 \cdot f_c \cdot b} & (2) \end{cases}$$

将(2)式代入(1)式得到单筋矩形梁正截面抗弯承载力计算公式

$$M_u = f_y \cdot A_s \cdot h_0 \cdot (1 - \frac{f_y \cdot A_s}{2 \cdot \alpha_1 \cdot f_c \cdot b \cdot h_0}) \quad (3)$$

根据图3的加载装置及公式(3)可以推导出梁的理论破坏荷载计算公式

$$P_u = 5 \times (M_u - 0.16) \quad (\text{kN}) \quad (4)$$

式中:0.16 为梁的自重产生的弯距.

从(3)式可以看出,三组试验梁的配筋数量、钢筋级别、截面尺寸均相同,故影响梁正截面抗弯承载力的主要因素是混凝土强度等级,即轴心抗压强度 f_c 的大小. 公式(3)表明,随着 f_c 的提高钢筋混凝土受弯构件正截面承载力 M_u 相应应该提高. 根据实测的混凝土轴心抗压强度平均值, Ⅰ组为 22.8 MPa, Ⅱ组为 29.8 MPa, Ⅲ组为 23.9 MPa,实际的试验结果表明,掺入改性聚丙烯纤维后,钢筋混凝土梁的正截面抗弯承载力分别提高了 13.8%和 13.2%. 但按理论公式(4)计算的极限荷载: Ⅰ组为 40.7 kN, Ⅱ组为 41.3 kN, Ⅲ组为 40.8 kN. 表明掺入改性聚丙烯纤维后按公式(4)计算的承载力与试验结果(Ⅰ组为 40 kN, Ⅱ组为 45.5 kN, Ⅲ组为 45.3 kN)尚有一定的差距,由此可以说明公式(3)并不适用掺入纤维的钢筋混凝土梁,故需要对公式(3)进行必要的修正. 由于本次试验研究中的试验

维普资讯 http://www.cqvip.com

数据较少(共 6 根掺纤维的梁)尚不足以提出修正(3)式的公式,有待积累足够数据后的进一步研究. 现就试验结果分析掺入纤维后的钢筋混凝土梁承载力提高的原因.

(1) 纤维本身抗拉强度很高(抗拉强度为 69.8 MPa),同时与水泥基表面的粘结力较强.

(2) 纤维在混凝土中无处不在的无序分布形成三维网络结构,提高了混凝土的强度.

(3) 纤维的掺入减小了混凝土中粗、细集料的下沉和混凝土的泌水性,增加了混凝土的实际受拉面积,从而提高了混凝土的强度.

(4) 纤维在混凝土内部可以传递拉应力,减少了混凝土中的应力.

(5) 当构件开裂以后裂缝截面受拉混凝土退出工作. 由于纤维的掺入使得裂缝截面处的纤维仍具备抗拉作用,增大了裂缝之间骨料的咬合作用. 因此从梁的裂缝开展情况来看,裂缝宽度明显减小,数量明显较普遍钢筋混凝土梁多. 同时在相邻的裂缝之间,由于纤维、钢筋与混凝土之间的粘结作用,使得梁的抗弯能力进一步提高.

3 结　论

(1) 改性聚丙烯纤维具有强度高、价格低、极好的化学稳定性,将其掺加在钢筋混凝土构件中施工方便.

(2) 在普通混凝土中掺加改性聚丙烯纤维可以充分发挥混凝土的强度效应. 轴心抗压强度和劈裂抗拉强度最大可以提高 30.7%和 20.5%.

(3) 试验研究表明,改性聚丙烯纤维可以在一定程度上提高梁的抗裂性能,裂缝宽度明显减小,裂缝总数量明显增加. 构件延性得到一定改善.

(4) 试验结果受弯构件正截面承载力分别提高了 13.8%和 13.2%,与理论计算结果尚有一定的差距,公式(3)有待进一步修正.

参考文献:

[1] 龚　益,沈荣熹,李清海. 杜拉纤维在土建工程中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[2] 赵　彤,谢　剑. 碳纤维补强加固凝土结构新技术[M]. 天津:天津大学出版社,2001.

[3] 郑传明. 复合玻璃纤维加固钢筋混凝土受弯构件的性能研究[J]. 混凝土与水泥制品,2001,(4):38 - 39.

[4] 姚　武,李　杰,周钟鸣. 聚丙烯纤维对混凝土抗拉强度的影响[J]. 混凝土,2001,(10):40 - 42.

[5] GB50010 - 2002,混凝土结构设计规范[S].

Effects of polypropylene fibre on crack resistance and bearing capacity of reinforced concrete beam

LIU Yu-qiao, LI Jing-ling, SUN Jin-biao

(Department of Civil Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China)

Abstract: Bending experimentation on the normal reinforced concrete beam and the reinforced concrete beam after mixing a changed polypropylene fibre is studied. Result of the experimentation indicates that the changed polypropylene fibre can improve crack resistance and bearing capacity of the right section to an extent. The influence mechanism of the mixed fibre on crack resistance and bearing capacity of reinforced concrete beam are analyzed.

Key words: polypropylene fibre; reinforced concrete beam; crack resistance; bearing capacity of right section; influence mechanism