

聚丙烯纤维钢砼梁抗裂性能及承载力的试验与分析<sup>\*</sup>姜雪洁<sup>1</sup>, 吕洪明<sup>2</sup>, 王书祥<sup>3</sup>

(1. 青岛理工大学理学院, 青岛 266520; 2. 石家庄铁道学院后勤集团, 石家庄 050043;

3. 天津城市建设学院土木系, 天津 300384)

**摘 要:**分析了掺入改性聚丙烯纤维后的钢砼梁抗裂性和正截面承载力的试验结果, 提出了聚丙烯纤维对钢砼受弯构件抗裂性能及正面承载的影响机理。

**关键词:**改性聚丙烯, 抗裂性, 正面承载力

**中图分类号:** TU375

聚丙烯纤维近年来在砼工程中的应用日益受到工程界的重视<sup>[1]</sup>。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砼工程中的应用研究。笔者介绍了 3 根普通钢砼梁和 6 根掺入纤维后的钢砼梁弯曲试验研究(其中 3 根为一组, 分别掺入量为  $0.9\text{kg}/\text{m}^3$  和  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ , 纤维长度为 19mm 和 30mm 的改性聚丙烯纤维)。通过试验和理论分析, 提出了聚丙烯纤维对钢砼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  $b \times h = 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ , 跨度  $l = 1800\text{mm}$ , 净跨  $l_n = 1600\text{mm}$ 。截面内配筋三组均相同, 纵向受力主筋为  $2\phi 10$ , 设计配筋率为  $0.89\%$ , 箍筋为  $6\phi 6 @ 100$  (仅在剪跨区内配置), 架立筋为  $2\phi 6$ 。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  $3\text{mm} \times 5\text{mm}$ , 电阻值为  $118 \pm 0.2\Omega$ , 灵敏度系数为  $2.212 \pm 0.23\%$ , 粘结剂为乙基纤维素胶。在试验梁的跨中(顶面)及纯弯段一侧的砼表面(位于梁受拉区下边缘)都贴有砼应变片。应变片型号为  $5\text{mm} \times 100\text{mm}$ , 电阻值为  $118 \pm 0.2\Omega$ , 灵敏度系数为  $2.129 \pm 0.14\%$ , 粘结剂为乙基纤维素胶。沿梁高粘有手持应变仪测点。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 I 级。改性聚丙烯纤维由天津欣晟建筑纤维有限公司提供。

### 1.2 加载方案及数据测量

图 2 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  $4\text{kN}$ , 在接近开裂时改为  $2\text{kN}$ ,

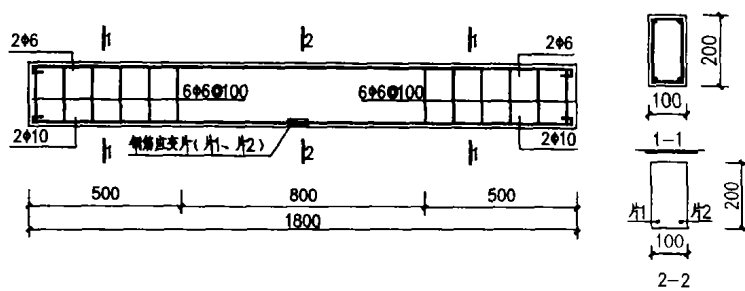


图 1 钢筋混凝土梁及钢筋应变片位置图

\* 天津市建委资助项目(2002-37)  
收稿日期: 2004-12-01

开裂后每级加载仍为 4kN. 根据试验的目的,在试验过程中重点测量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、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.

### 1.3 试验结果及分析

(1)试验结果. 为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,做了每根梁的正截面弯曲破坏试验. 试验梁的开裂荷载、屈服荷载及极限荷载实测结果见表 2.

(2)结果分析. 由表 2 可见,掺入改性聚丙烯纤维后,梁的开裂荷载提高了 33.3%,屈服荷载提高了 25%,极限荷载提高了 13.8%. 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.

(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 22mm, II 组为 23.5mm, III 组为 23mm. 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 30kN),掺纤维试件的挠度明显低于未掺纤维试件的挠度(分别为 3mm 和 4.7mm).

(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 36kN 时,最大裂缝宽度分别为: I 组为 0.91mm, II 组为 0.23mm, III 组为 0.17mm. 裂缝扩展及延伸较普通钢砼梁要慢得多. 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.

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 组	A1	未掺纤维
	A2	
	A3	
II 组	B1	纤维长度 19mm 掺入量为 0.9kg/m <sup>3</sup>
	B2	
	B3	
III 组	C1	纤维长度 30mm 掺入量为 1.2kg/m <sup>3</sup>
	C2	
	C3	

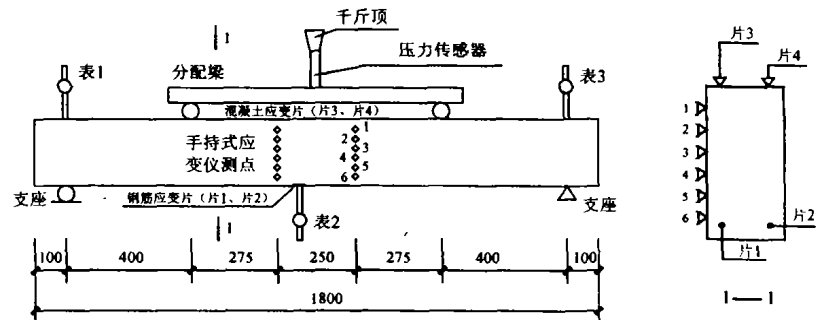


图 2 试件加载装置示意图

表 2 试验梁开裂、屈服及极限荷载实测结果

组别	开裂荷载(kN)		屈服荷载(kN)		极限荷载(kN)	
	试验值	对比增长	试验值	对比增长	试验值	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%

## 2 影响机理探讨

### 2.1 抗裂性能影响机理

普通砼极限拉应变约为  $2 \times 10^{-4}$ , 只要砼的变形大于该值, 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, 从而降低了砼的耐久性能, 甚至导致钢砼受弯构件破坏. 改性聚丙烯纤维的掺入对钢砼受弯构件的抗裂性能影响机理主要体现在以下几个方面<sup>[2]</sup>:

(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, 它不受砼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砼中发挥作用, 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, 能够在砼拌制过程中在砼内部无处不在的均匀分

散,并在其中形成均匀分布的三维网络结构,阻止了砼基体中原有缺陷(粘结裂缝)的扩展并有效延缓新的裂缝出现。

(3)在砼拌制过程中,为了获得要求的流动性,一般要多加一些水(超过水泥水化所需水量),这些水使水泥变稀,胶结力减弱,而且多余的水分残留在砼中形成水泡或水道,随砼硬化而蒸发便留下孔隙,从而减少了砼的实际受力面积,而且在砼受力时易在孔隙周围产生应力集中,纤维的掺入在砼中呈三维乱向分布,降低了砼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砼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,减少了砼表面的析水,从而提高了水泥浆与骨料的粘结强度,消除了砼中不同复合材料的“弱连接”问题。

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

(6)砼中掺入纤维后,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乱向分布的网络增强系统,纤维受力后能将应力有效地分散,提高了砼的抗拉强度和变形能力,有利于阻止裂缝的产生和发展。

(7)纤维在砼内部可以起到传递应力的作用,降低了砼的抗应力,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,提高了砼的抗裂性能。

## 2.2 正截面承载力影响机理

根据现行《混凝土结构设计规范》GB50010 提出的单筋梁正截面基本计算公式:

$$M_u = \alpha_1 \cdot f_c \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - x/2) \quad (1)$$

$$X = f_y \cdot A_s / \alpha_1 \cdot f_c \cdot b \quad (2)$$

式中  $M_u$ —梁正截面抗弯承载力; $\alpha_1$ —矩形应力图的强度与受压区砼最大应力  $f_c$  的比值,对于小于 C50 级的砼  $\alpha_1 = 1.0$ ;  $b$ —矩形截面梁宽度; $h_0$ —梁的有效高度; $x$ —受压区砼计算高度; $f_y$ —纵向受拉钢筋屈服强度设计值; $A_s$ —纵向受拉钢筋横截面面积

将(2)式代入(1)式得到单筋正截面抗弯承载力计算公式:

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

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砼的强度等级,即轴心抗压强度  $f_c$  的大小,公式(3)表明,随着  $f_c$  的提高钢砼受弯构件正截面承载力  $M_u$  相应提高,根据实测的砼轴心抗压强度平均值,Ⅰ组为 22.8MPa,Ⅱ组为 29.8MPa,Ⅲ组为 23.9MPa,理论上钢砼梁的正截面抗弯承载力应该是  $M_{u,Ⅲ} > M_{u,Ⅱ} > M_{u,Ⅰ}$ ,实际试验结果表明掺入改性聚丙烯纤维后,钢砼梁的正截面抗弯力分别提高了 13.8% 和 13.2%,从理论上讲,掺入改性聚丙烯纤维后,钢砼梁的受压区砼的轴心抗压强度得到了明显的提高,试验实测的结果也证明了这一点,对比强度增长:Ⅱ组测试件为 30.7%,Ⅲ组测试件为 4.8%,就其强度提高的机理来分析,棱柱体试件的破坏主要是砼被间接拉坏,由于纤维的掺入,间接地提高了砼的抗拉强度(劈裂抗拉实测结果表明,抗拉强度对比增长:Ⅱ组为试件 20.5%,Ⅲ组为试件 0.89%),其原因主要是以下几个方面<sup>[3]</sup>:

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

(2)纤维在砼中无处不在的乱向分布形成三维网络结构,提高了砼的抗拉强度。

(3)纤维的掺入减小了砼中粗、细集料的下沉和砼的泌水性,增加了砼的实际抗拉面积,提高了砼的抗拉强度。

(4)纤维在砼内部可以传递拉应力,减少了砼中的应力。

(5)当构件开裂以后裂缝截面受拉砼退出工作,由于纤维的掺入使得裂缝截面处的纤维仍具备抗拉作用,因此从梁的裂缝开展情况来看,裂缝宽度明显减小,数量明显较普通钢砼梁多,同时在相邻的裂缝之间,由于纤维、钢筋与砼之间的粘结作用,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, 将其掺加在钢砼结构件中施工方便。

(2) 在普通砼中掺加改性聚丙烯纤维可以充分发挥砼的强度效应, 轴心抗压根据掺量及长度不同分别提高 30.7% 和 4.8%, 劈裂抗拉强度分别提高 20.5% 和 0.89%。

(3) 通过试验和理论分析, 掺入纤维后钢砼受弯构件的抗裂性能效果明显(提高 33.3%), 裂缝宽度明显减小, 裂缝总数明显减少, 构件延性得到一定改善, 受弯构件正截面承载力分别提高了 13.8% 和 13.2%。

### 参 考 文 献

- [1] 王晓刚等. 聚丙烯纤维水泥基复合材料. 青岛建筑工程学院学报, 2004, 25(4): 28-31
- [2] 郭海洋等. 改性聚丙烯增强水泥混凝土抗裂性研究. 山东纺织科技, 2001, (5): 31-35
- [3] 赵晶, 张桂敏. 改性聚丙烯纤维在混凝土中的应用研究. 混凝土, 2000, (3): 59-61

## Test of Mechanism of Effect by Polypropylene Fibre on Anti-crevice Property & Normal Section Load-bearing Capacity of Bent Reinforced Concrete Components

Jiang Xue-jie<sup>1</sup>, Lü Hong-ming<sup>2</sup>, Wang Shu-xiang<sup>3</sup>

(1. School of Science, Qingdao Technological University, Qingdao 266520; 2. Rear Service Group, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043; 3. Tianjin City Construction Institute, Tianjin 300384)

**Abstract:** Based upon the analysis of the test result of anti-crevice property & normal section load-bearing capacity of reinforced concrete components after being mixed with polypropylene fibre, the paper has put forward the effect mechanism of polypropylene fibre on anti-crevice property & normal section load-bearing capacity of bent reinforced concrete components.

**Key words:** polypropylene fibre, anti-crevice property, load-bearing capacity

**作者简介:**姜雪洁(1955-),女,副教授