

# 配筋钢纤维混凝土叠合梁正截面 承载力试验研究

徐礼华

## 摘 要

本文通过17根叠合梁的试验研究,分析了钢纤维的掺入对叠合梁正截面承载力的影响;探讨了配筋钢纤维混凝土叠合梁正截面承载力计算公式。其验算结果与实测值符合良好。

**【关键词】** 钢纤维混凝土; 叠合梁; 正截面承载力

## 1 前 言

叠合构件是一种应用广泛的结构型式。我国、前苏联和美国的许多学者先后对普通钢筋混凝土叠合构件进行了大量、全面深入的研究。研究表明,二阶段受力叠合构件具有“受拉钢筋应力超前”、“受压混凝土应变滞后”及截面内存在“荷载预应力”的特征。“应力超前”使得受拉钢筋在使用阶段屈服,对叠合构件的正常使用性能产生了不利影响。

钢纤维混凝土是在素混凝土中掺入适量乱向、不连续短钢纤维组成的一种复合材料。它最明显的特性之一是使构件抗裂性能强。

本文旨在利用钢纤维的阻裂性能以及钢纤维与基体混凝土的粘结作用承担部分拉力,减缓叠合构件的“受拉钢筋应力超前”效应,从而改善叠合构件的正常使用性能和受力性能。

## 2 试验概况

试验梁共17根。其中13根预制梁局部掺钢纤维,2根预制梁全掺钢纤维;2根不掺钢纤维(对比梁)。受拉钢筋分别用Ⅰ级和Ⅱ级钢筋;钢纤维选用剪切型和熔抽型两种。试件构造如图1所示。材料性能及有关参数见表1。

所有试验梁上都配置了各种仪表,以量测在梁破坏之前的整个加载过程中应变与挠度值。

表1 材料性能及有关参数

梁号	实际截面尺寸 (mm)			混凝土立方 强度 $N/mm^2$		钢纤维			受拉钢筋		叠合前计算 弯矩 $[M_1]^c$ KN-m	叠合前实 加弯矩 $M^d$ KN-m	叠合后计算 弯矩 $M^c$ KN-m	实测极限弯 矩 $M_u$ KN-m
	b	$h_1$	h	$f_{cu}$	$f_{cu2}$	品种	长径比	体积百 分率	面积 $mm^2$	屈服强度 $N/mm^2$				
SFRCB 1	151	189	312	33.3	24.4	剪切	47.31	0.5	405.95	287.25	18.4551	10.0160	32.1291	38.5515
SFRCB 2	143	160	288	20.6	26.2	剪切	47.31	1.0	405.95	287.25	13.1937	8.3420	28.7890	35.7992
SFRCB 3	163	171	298	34.9	36.0	剪切	47.31	1.0	405.95	287.25	15.9863	9.3087	30.8453	38.8866
SFRCB 4	164	186	305	21.4	26.2	剪切	47.31	1.5	405.95	287.25	16.7286	8.9446	31.0867	37.3512
SFRCB 5	142	173	300	22.6	26.5	剪切	47.31	1.5	405.95	287.25	14.9666	7.7138	30.1991	41.5724
SFRCB 6	162	170	296	20.6	26.2	剪切	47.31	1.0	485.22	417.47	22.0426	13.5283	49.3492	63.1291
SFRCB 7	155	178	306	22.1	26.5	剪切	47.31	1.0	485.22	417.47	23.8787	12.9135	51.1563	65.7453
SFRCB 8	158	187	312	21.4	26.2	剪切	47.31	1.5	485.22	417.47	25.5953	12.2944	52.4242	65.1573
SFRCB 9	150	183	300	22.6	26.5	剪切	47.31	1.5	485.22	417.47	24.8064	10.8894	49.7150	61.7583
SFRCB10	154	182	329	25.1	24.4	熔抽	28.78	0.5	405.95	287.25	16.5041	9.9033	33.5772	40.1825
SFRCB11	148	192	312	28.1	24.4	熔抽	28.78	1.0	405.95	287.25	17.8386	9.8858	31.4953	32.3557
SFRCB12	147	181	300	27.1	32.2	熔抽	28.78	1.5	405.95	287.25	16.4498	8.1337	30.7016	35.1868
SFRCB13	157	172	312	33.2	32.2	熔抽	28.78	2.0	405.95	287.25	15.9548	9.9104	32.2251	
CB14	163	179	315		24.4				405.95	287.25	17.2804	8.3908	35.1429	36.9000
CB15	148	160	288		26.5				485.22	417.47	21.5020	8.5900	48.2024	51.0945
SFRCB16	174	197	305	27.9	21.3	剪切	47.31	0.5	405.95	287.25	18.7396	10.0550	30.7445	35.8113
SFRCB17	166	206	292	22.5	21.3	剪切	47.31	1.0	494.65	398.00	29.5779	12.5629	46.1122	55.8458

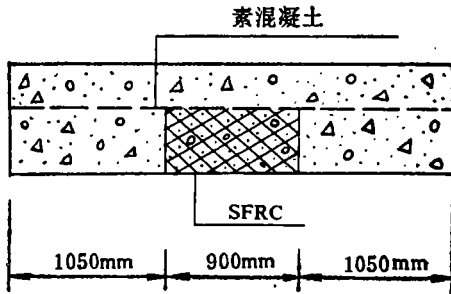
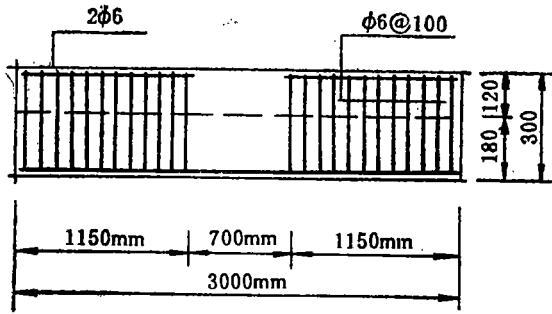


图1 试件构造

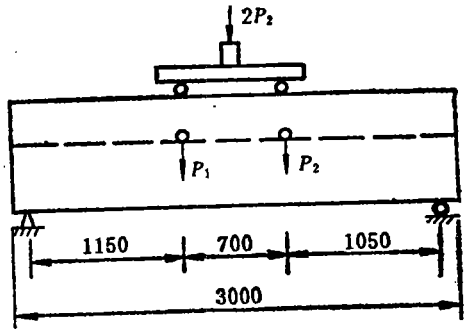
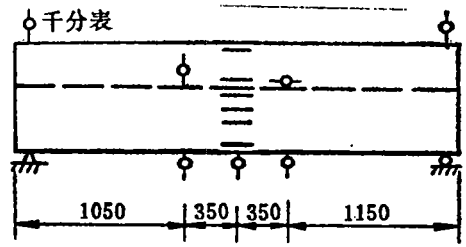


图2 试验装置与测点布置

加载分两阶段进行。第一阶段用法码加载，分五至七级加至设计荷载；第二阶段用液压千斤顶通过分配梁加载，加载量级为2.5KN到5.0KN。加载装置与测点布置如图2所示。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 叠合前加载阶段

加载初期，钢纤维混凝土预制梁的工作情况与匀质弹性体梁相似，钢纤维混凝土基本处于弹性工作阶段，应力与应变成正比。当荷载接近或超过第一阶段设计荷载（约极限荷载的25%）时，受拉边缘钢纤维混凝土达其极限拉应变，受拉区出现较大的塑性变形，应变较应力增长速度为快。应变测量结果表明，平均截面应变符合平截面假定。

#### 3.2 叠合后加载阶段

钢纤维的掺入提高了叠合梁的初裂荷载。初裂后，在裂缝截面处，由于混凝土开裂，拉力主要由受拉钢筋和钢纤维共同承担。与普通钢筋混凝土叠合梁相比，预制部分掺钢纤维的叠合梁多缝开裂，初始裂缝之间不断出现新的细小裂缝；裂缝间距、开展宽度减小；裂缝延伸缓慢。受拉钢筋应力增长减慢。当荷载达到极限荷载的89%左右时，受拉钢筋屈服，裂缝迅速向上延伸，并穿过叠合面。在此阶段，由于钢纤维的掺入提高了叠合梁的均质性，使梁的平均截面应变符合平截面假定。

#### 3.3 破坏阶段

受拉钢筋屈服后，随着裂缝的不断发展，中和轴上移，受压区高度减小；挠度急剧增

大；受拉区钢纤维逐渐拔出，最后，受压区混凝土出现水平裂缝和被压碎，梁宣告破坏。破坏具有弯曲破坏的特性。

## 4 正截面承载力计算公式的建立

### 4.1 平衡方程式

预制部分掺钢纤维的叠合梁达极限承载力时，受拉区混凝土几乎完全脱离工作，拉力由受拉钢筋与钢纤维共同承担。为与现行《混凝土结构设计规范》GBJ10-89 衔接，并简化计算，在承载力计算时，将钢纤维提供的拉应力  $\sigma_{ft}$  分布图简化成矩形<sup>[3]</sup>。其余假定与普通钢筋混凝土叠合梁的相同。

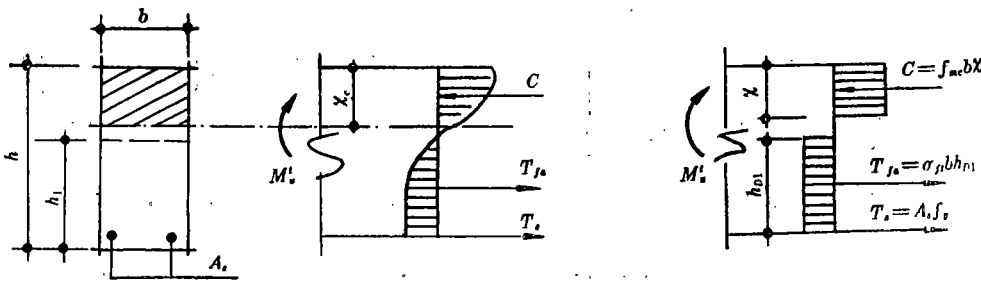


图 3

根据图 3 所示等效截面应力分布和力的平衡条件，可写出正截面承载力的基本公式：

$$\sum x = 0 \quad f_{mc} b x = A_s f_y + b \sigma_{ft} h_{o1} \quad (1)$$

$$\sum M = 0 \quad M_u = A_s f_y \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + b \sigma_{ft} h_{o1} \left( h_0 - \frac{h_{o1}}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad (2)$$

式中： $A_s$ 、 $f_y$ ——受拉钢筋的截面面积和屈服强度； $f_{mc}$ ——受压区混凝土的弯曲抗压强度； $h_{o1}$ 、 $h_0$ ——预制截面与叠合截面的有效高度。从以上二式看出，预制部分掺钢纤维的叠合梁正截面承载力计算，是在普通钢筋混凝土叠合梁的基础上增加了一个新参数，即钢纤维抗拉强度增强值  $\sigma_{ft}$ 。

### 4.2 钢纤维抗拉强度增强值 $\sigma_{ft}$ 的确定

#### (1) 理论公式

根据复合材料理论，文献[4]提出：

$$\sigma_{ft} = k_t \frac{l_f}{d_f} \quad (3)$$

式中： $k_t$ 为与钢纤维的取向系数  $\eta_0$ 、有效长度系数  $\eta_l$  及钢纤维与基体之间的粘结力  $\tau$  有关的系数。

#### (2) 经验公式

式(1)、(2)中的钢纤维抗拉强度增强值  $\sigma_{ft}$  是采用等效矩形拉应力图形后的折算

强度指标。它不仅与钢纤维强度、混凝土强度有关,而且还与受拉钢筋强度及配筋率等因素有关。因此,上述的理论公式不一定与实际情况完全吻合,必须借助于试验数据,由试验极限弯矩 $M_u$ 反算出 $\sigma_{ft}$ 值,再经数理统计分析,找出影响 $\sigma_{ft}$ 的主要因素,从而确定 $\sigma_{ft}$ 的经验公式。

联立(1)、(2)两式,根据试验数据反算出 $\sigma_{ft}$ 的值,其经验表达式在文献[4]中作了详细讨论,下面列出最终关系式:

$$\sigma_{ft} = \alpha_{ft} \rho_t f_y \frac{l_f}{d_f} \nu_t \quad (4)$$

式中:  $\rho_t$ ——受拉钢筋配筋率 ( $\rho_t = A_s / bh_0$ )

$\alpha_{ft}$ ——统计参数,对剪切钢纤维,  $\alpha_{ft} = 1.74$ ,对熔抽钢纤维,  $\alpha_{ft} = 0.93$ 。

剪切钢纤维的增强效果比熔抽钢纤维好,这与许多文献得出的结论一致<sup>[5]</sup>

### 4.3 计算结果

公式(1)、(2)与(4)就是预制部分掺钢纤维的叠合梁正截面承载力计算公式。用上述公式对本文试验中11根掺剪切钢纤维的叠合梁进行计算,结果表明,实测极限弯矩与计算极限弯矩之比的平均值为0.9893,均方差 $\sigma = 0.0589$ ;变异系数 $C_v = 0.0596$ 。用公式(1)(2)和(4)对文献(6)的4根预制部分掺剪切钢纤维的叠合梁进行计算,得到实测极限弯矩与计算极限弯矩之比的平均值为0.9127,  $\sigma = 0.0757$ ,  $C_v = 0.0807$ 。可见,用本文所提公式得到的计算值与实测值符合良好。

## 5 结 论

- 1、钢纤维的掺入提高了叠合梁的开裂荷载,减小了裂缝宽度。
- 2、预制部分掺入的钢纤维抑制了裂缝的扩展,使受拉钢筋应变与混凝土应变趋于平均,提高了叠合梁的整体刚度,改善了抵抗变形的性能。
- 3、钢纤维的掺入,减缓了叠合梁“受拉钢筋应力超前”效应,改善了叠合梁的正常使用性能和受力性能。
- 4、预制部分掺钢纤维的叠合梁的极限承载力约提高了20%。本文所提出的正截面承载力计算公式可用于正常配筋的矩形截面配筋钢纤维混凝土叠合梁正截面承载力计算。

### 参 考 文 献

- [1] 周旺华. 装配整体梁板设计方法的试验研究. 《建筑结构学报》. 1982年第6期
- [2] 《混凝土结构设计规范》GBJ10-89. 中国建筑工业出版社. 1989
- [3] [美] 汉南特 D J 著. 纤维水泥与纤维混凝土. 陆建业译中国建筑工业出版社.
- [4] 徐礼华. 配筋钢纤维混凝土叠合梁正截面强度与变形试验研究. 硕士学位论文. 武汉工业大学, 1991.1
- [5] 安玉杰. 钢纤维混凝土计算方法的研究. 博士学位论文. 大连理工大学, 1990.9
- [6] 彭少民 林长青. 配筋钢纤维混凝土叠合梁强度的试验研究. 钢纤维混凝土结构设计

与施工规程专题研究报告。1990.11

致谢

本文在武汉工业大学彭少民教授指导下完成。武汉测绘科技大学赵兴仁副教授给予了热情的指教。作者向他们表示衷心的感谢！

## An Experimental Study on the Normal Section Bearing of Steel Fiber Reinforced Concrete Composite Beams

*Xu Lihua*

### Abstract

In this paper, the effects of adding steel fibers on the normal section bearing of composite beams were analyzed by testing seventeen composite beams. The formulas for calculating the normal section bearing of steel fiber reinforced concrete composite beams were presented. The calculated results agreed well with the tested results.

**【Key words】** steel fiber reinforced concrete; composite beam; normal section bearing