

# 聚丙烯纤维砂浆抗冲击性能的研究

葛洲坝水电工程学院 李建林 朱子龙

〔摘要〕本文简述了聚丙烯纤维砂浆和混凝土抗冲击性能的研究和应用,分析了试件抗冲击试验结果,并介绍了不同纤维长度和不同掺量抗冲击性能的影响、试件破坏形态和在静荷下抗弯性能等。

## 一、引言

自1965年人们用聚丙烯纤维作为砼掺合料来建造防爆建筑以来,聚丙烯纤维砼发展很快。由于这种纤维象所有人造纤维一样,质量稳定,来源丰富,并比其它纤维变形性能好、抗冲击能力强,故在砼预制领域中起着很重要的作用。

聚丙烯纤维砼既可用于制作预制品,也可用于现场施工。掺加适量的短切聚丙烯膜裂纤维即可部分代替制品或构件的钢筋,并能提高抗冲击性能,保持裂后整体性,降低自重等。例如对 $600 \times 600 \times 25 \text{ mm}$ 的板进行抗冲击试验,在重物落下高度为 $200 \text{ mm}$ 时,素砼试件突然断裂,而含 $0.6\%$ 纤维的砼试件,在高度达到 $800 \text{ mm}$ 落下时才断裂,含 $1.0\%$ 纤维的砼试件则需 $1300 \text{ mm}$ 高度落下、冲击6次才使试件断裂,这样,掺量为 $0.6\%$ 和 $1.0\%$ 纤维砼抗冲击强度分别是素砼的2.5倍和4倍。又如采用 $40 \text{ mm}$ 长的聚丙烯纤维,掺量为 $0.44\%$ 的砼管桩比钢丝网水泥管桩的抗冲击强度要高。所以从1969年以来,这种管桩已制造了数百万根,这是一项最大的工业应用。聚丙烯纤维还可用于下水管、水上浮体、停车场、工业地板的踏面和河堤加固等,它比其它品种的纤维用量大,应用广。

我国聚丙烯纤维砼的研究与应用起步较晚,为了开展这项研究和应用工作,笔者进行了聚丙烯纤维砼抗冲击性能的研究。

## 二、试验方法

### 1. 材料

水泥采用425号矿渣水泥,砂采用天然砂。其配比为:水泥 $540 \text{ g}$ ,砂 $1530 \text{ g}$ ,水 $238 \text{ g}$ 。

聚丙烯纤维宽 $2 \text{ mm}$ ,厚 $0.05 \text{ mm}$ ,将纤维切成长度为 $20 \text{ mm}$ 、 $30 \text{ mm}$ 、 $40 \text{ mm}$ ,按重量比掺入(见表1)。

三种长度的纤维掺量 表1

纤维长度 (mm)	纤维掺量 (%)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
	试件数目						
20	3	3	3	3	3	3	3
30	3	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3	3

### 2. 试件制作及试验设备

试件断面尺寸为 $40 \times 40 \text{ mm}$ ,长为 $160 \text{ mm}$ 。为使纤维在试件内均匀分布,先将水泥、砂、聚丙烯纤维称重,放入拌和机内干拌约半分钟,然后加入适量的水,拌和约1分钟,即装入试模、振捣,24小时后拆模,置养护室养护180天。

设备系利用JB30A30/15冲击试验机,其机座经改进后,可用于砂浆试件的试验。试验采用摆锤法,锤高一定,摆锤扬起位置与试件垂直位置的夹角为 $135^\circ$ (见图1a)、如放松摆锤,锤体自由下落冲击试件(见图1b)。试件受冲击断裂后所消耗的能量(或称断裂功),可直接在读数盘上读出。

## 三、试验结果

### 1. 试件破坏形态

(1) 纤维拔出破坏: 当纤维长度为 20mm 的聚丙烯纤维砂浆试件在冲击破坏后, 通过破坏断面上的纤维, 除少数被拉断外, 大多数是从砂浆基体中被拔出, 约占通过破坏断面上纤维总数的 90% 以上, 其主要

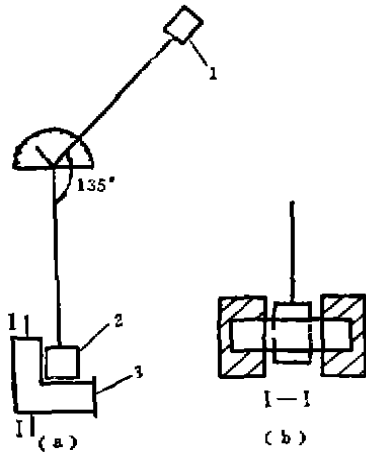


图 1

1—摆锤; 2—试件; 3—机座

原因是纤维长度较短, 粘结累积作用较小, 本身粘结强度和延性还未充分发挥就先发生粘结破坏, 纤维一端被拔出, 此时纤维长度小于拉断破坏时的临界长度  $L_c$ 。

(2) 纤维拔出一拉断破坏: 当纤维长度增加到 30mm 时, 试件受冲击破坏后, 穿过破坏断面的纤维被拔出的数目有所减少, 而被拉断的数目有所增加, 即拔拉比减小。但此时纤维被拔出的数目略小于穿过破坏断面纤维总数目的一半, 这是由于纤维长度增加而粘结强度亦明显增加的缘故。若纤维在破坏断面两侧基体中长度大致相等, 粘结强度高于纤维本身的抗拉强度, 则纤维被拉断。

(3) 纤维的拉断破坏: 当纤维长度增加到 40mm 时, 试件受冲击破坏后, 穿过破坏断面的纤维被拔出的数目明显减少, 而被拉断的数目明显增加, 并大于穿过破坏断面纤维总数的一半, 即拔拉比明显减小。当通

过破坏断面的纤维在砂浆基体中一侧长度超过  $2L/3$ , 另一侧过短时, 则较短一侧被拔出 (见图 2a); 而当通过破坏断面的纤维在砂浆基体中两侧长度大致相等时, 则两端纤维粘结累积作用较大, 纤维被拉断 (见图 2b)。由此可知, 纤维长度 40mm 时已大于临界长度  $L_c$ 。

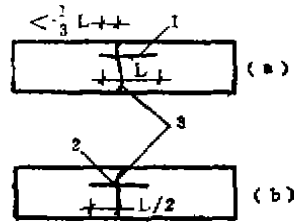


图 2

1、2—纤维; 3—破坏断面

因此, 聚丙烯纤维砂浆的性能与纤维和基体粘结及纤维本身的性能有着密切关系。

## 2. 抗冲击性能

试件受冲击破坏后的断裂功列于表 2。

抗冲击强度试验结果 表 2

纤维长度 (mm)	纤维掺量 (%)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
20	试验值 (kg·m)						
	5.0	6.4	6.8	7.0	10.0	12.0	11.6
	5.0	5.3	8.3	12.2	11.4	15.2	13.4
	4.7	7.4	8.7	9.6	12.4	12.8	11.2
平均	4.9	6.37	7.93	9.6	12.27	13.33	12.5
30	试验值 (kg·m)						
	4.8	5.8	7.6	9.1	11.6	14.4	10.8
	4.9	5.3	7.5	10.8	11.3	17.2	12.4
	5.2	8.3	6.95	10.0	10.6	14.5	11.1
平均	4.93	6.47	7.35	9.97	11.16	15.37	11.43
40	试验值 (kg·m)						
	5.1	7.2	8.1	8.9	12.1	12.0	12.5
	4.5	9.2	7.8	8.2	11.7	13.0	10.4
	4.9	5.8	7.9	8.8	10.2	12.0	11.0
平均	4.8	7.4	7.93	8.63	11.33	12.3	11.3

为了便于分析和比较, 笔者用  $J$  表示不同掺量和不同长度聚丙烯纤维砂浆试件的冲击断裂功, 用  $J_0$  表示未掺试件的冲击断裂

功, 它们的比值  $J/J_0$  表示纵轴, 掺量  $\mu$  表示横轴, 经计算后取三个试件试验结果的平均值为一个试验点 (见图3)。

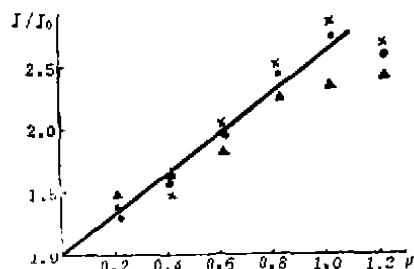


图 3

由图3可见, 随着纤维掺量的增加, 试件抗冲击强度急剧上升, 当掺量增加到1.0%时,  $J/J_0 \approx 3.0$ , 即  $J \approx 3.0J_0$ , 就是说掺量为1.0%时, 试件抗冲击强度是未掺纤维试件的抗冲击强度的3倍左右。

由图3还可看出, 当掺量1.2%时, 试件的抗冲击强度略低于掺量1.0%时的抗冲击强度, 就是说, 当掺量超过1.0%以后, 试件的抗冲击强度不但不再继续增长, 反而出现下降趋势, 掺量1.0%时, 抗冲击强度最高, 这是因为聚丙烯纤维掺量过大时, 体积增加也过大, 试件尺寸一定时, 所含水泥浆相对较少, 聚丙烯纤维表面积增大, 造成粘结强度降低。粘结强度达不到要求, 不能有效地将聚丙烯纤维和基体连接成一体, 正如前述, 聚丙烯纤维在基体中能发挥作用, 主要是粘结作用的体现, 那么在这种情况下就不能有效地吸收和耗散能量。因此, 试验结果出现抗冲击强度下降的趋势。

分析图3可知, 不同的纤维长度对试验结果影响不大。例如, 某一掺量  $\mu = 0.4\%$ , 同样条件下20mm、30mm和40mm纤维长度的试件抗冲击强度分别为  $7.93\text{kg}\cdot\text{m}$ 、 $7.35\text{kg}\cdot\text{m}$ 和 $7.93\text{kg}\cdot\text{m}$ , 其差别甚微, 这是因为较短纤维(20mm)虽然大部分被拔出破坏, 但它和较长纤维(40mm)的掺量是相同的, 而较短纤维穿过破坏断面上

的纤维数目比较长纤维要多些, 这样较多的纤维数目弥补了粘结强度的不足。因此, 总的的作用效果几乎相同。

笔者将试验结果进行一元线性回归分析, 发现其线性关系很好, 相关系数  $\gamma = 0.97$ , 当  $\mu \leq 1.0\%$  时, 断裂功可用下式表示:

$$J = (185\mu + 1) J_0$$

式中:  $\mu$ —按重量百分比聚丙烯纤维掺量;

$J$ —掺量为  $\mu$  时的断裂功;

$J_0$ —掺量为零时的断裂功。

### 3. 静荷下荷载—挠度曲线

这是一种计算试件在缓慢荷载—挠度曲线下的面积, 也可用来度量吸收抗弯冲击能的能力。笔者采用两点加荷, 通过试验机自动记录荷载和挠度关系。现以20mm长的聚丙烯纤维砂浆为例(见图4)。

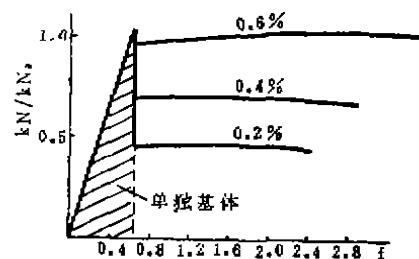


图 4

由图4可见, 未掺聚丙烯纤维砂浆试件, 基体一开裂, 试件即破坏, 单独基体所吸收的抗冲击能力是很小的。当掺量为0.2%时, 基体开裂后, 通过断裂面上纤维抗弯作用, 挠度达到  $f = 2.6\text{mm}$  时, 试件才断裂, 其变形性能很好,  $\text{kN} \sim f$  曲线下的面积比单独基体下的面积大得多, 随着掺量增加,  $\text{kN} \sim f$  曲线下的面积更大, 即断裂功大大增加。由此可见, 掺聚丙烯纤维后, 无论是静荷下还是动荷下的断裂功都能很好地反映出聚丙烯纤维砂浆的抗冲击性能。但是, 由静荷下所得到的断裂功一般略大于直接冲击试

件的断裂功，这主要是由于前者试件中纤维的粘结—滑移、拉长—断裂、拔出等，在静荷下具有较好的塑性发挥，而后者所处冲击荷载条件下，加荷速度很快，容易使纤维拉断的缘故。

综上所述，聚丙烯纤维砂浆之所以具有良好的抗冲击性能，主要原因是：

(1) 由于聚丙烯弹性模量低，掺入后降低了基体的弹性模量，导致试件开裂前的变形能力明显增加。据笔者以前试验，素砂浆试件下边缘纤维层开裂变形为160微应变，聚丙烯掺量为0.2%时，增加至300微应变，掺量为0.6%时，则达到430微应变。这说明掺聚丙烯纤维不仅改善开裂后的性能，而且还可改善开裂前的性能。

(2) 基体开裂后，由于纤维脱离粘结产生滑移，纤维本身拉长、拔出或断裂要吸收很多能量，掺量越多，这些过程作用则越大，所产生的断裂功也越大。

(3) 砂浆中掺入少量较软的纤维对于

受冲击产生的震动波的传播有一定的阻尼作用，有效地吸收了震动波，对抗冲击作用有利。

#### 四、结论

1. 聚丙烯纤维砂浆试件冲击破坏形式主要有三种，即拔出型、拔拉型和拉断型。

2. 掺聚丙烯纤维后试件的抗冲击强度比未掺试件的抗冲击强度要高得多，在本试验条件下，当掺量（重量比）的1.0%时，抗冲击能力最大，继续增加掺量，其抗冲击能力一般不再增加。不同长度的纤维对抗冲击能力影响也不大。

3. 由静荷条件下的荷载—挠度曲线计算的断面功要略大于冲击荷载下的断裂功。

4. 聚丙烯纤维能使试件裂后保持良好的整体性，并能减轻自重。

因此，对于抗冲击性能要求较高的结构，如桩、路面等，宜采用聚丙烯纤维砂浆或砼。

## 新型建筑平板的性能及其在工程中的应用

上海石棉水泥制品厂

### 一、前言

我厂结合本厂圆网抄取法工艺特点，采用以短切中碱玻纤增强低碱水泥、掺入适量短石棉，制成了新型建筑平板—中碱玻纤短石棉低碱度水泥平板（简称TK），通过大量试验证明，性能很好，已在工程中应用，并把TK板作为复合墙用于高层建筑，均获得了满意的效果和较好的经济效益。

由于这种非承重的TK板具有表面平整、轻质、高强、防火、隔声、可加工性好，饰面方便、表面可涂刷各种色彩或贴面等优点，深受设计、施工和使用单位的欢迎。

### 二、单板性能

我厂采用I型低碱度水泥短切中碱玻纤和用五级短石棉生产的TK板，经过对主要性能的测定，均获得满意的效果。

#### 1. 物理力学性能

TK板与建筑平板的物理力学性能比较见表1。

TK板与建筑平板的物理力学性能比较

表1

项 目	TK板	建筑平板
抗弯强度 (MPa)	14.7	20.2
抗冲击强度 (kJ/m <sup>2</sup> )	2.45	1.47
吸水率 (%)	<28	<15~25
容 重 (g/m <sup>3</sup> )	1.75	1.90