

# 含有普通钢筋和原纤化聚丙烯纤维混凝土的抗冲击强度

(英)哥伦比亚大学土木工程系教授 Sidney Mindess等

河北医学院第四医院 张珍秀 译

重庆建筑工程学院 朱锡钧 校

**提要** 含有普通钢筋和不同体积的原纤化聚丙烯纤维的砼梁，在一台装有仪表的落锤冲击试验机上进行了试验。测定了冲击宏度和断裂能量。纤维的存在使断裂能量大为提高，而其最大弯曲接载则不受影响。断裂能量的提高大大高于聚丙烯纤维和钢筋分别考虑的效应之总和。

## 1 前 言

很早以前人们就知道在砼中掺入纤维，能提高砼的延性（即弹性后的延性）。提高的程度取决于所用纤维的数量和种类。目前，原纤化聚丙烯纤维广泛应用于砼工程中，但是大都用作温度筋以防止收缩裂缝，这就是说在砼中的掺入量是相当低的，一般为体积的0.1%左右，主要用于防止塑性收缩裂缝的形成，还可能提供其他方面的好处。然而许多研究表明，在静力与动力荷载的情况下，钢纤维和聚丙烯纤维在提高纤维增强砼的能量吸收能力方面也都是有效的。

最近业已证明，含有体积0.5%的原纤化聚丙烯纤维的砼，在冲击荷载下的最大弯曲荷载可提高50%，断裂能量提高100%左右。这些结果是令人鼓舞的，值得进一步研究，以便确定原纤化聚丙烯纤维对于含有普通钢筋的砼梁是否具有同样的效益。本文论述的就是这样的一种研究，即纤维的体积含量达0.5%的普通钢筋砼梁，受到冲击荷载的情况。

本研究所用材料的预试配料表明，0.5%的纤维体积是在水灰比、配合比设计和强度级别保持不变的情况下，所能达到的最大含量了。此0.5%的体积是对配合比设计不必作较大调整的最佳纤维含量。由于掺入纤维的表面积随体积含量的提高而增大，所以砼的坍落度随纤维含量的提高而下降了。然而在震动台上压实，则在任何情况下都能获得可塑性伴合物。因为本课题之目的是研究纤维增强砼的抗冲击性能、所以纤维的含量就是一个主要的变数了。

## 2 研究意义

普通钢筋和聚丙烯纤维对砼抗冲击的共同效应，关于这方面的研究为数甚少。本研究的结果将有助于评价含量较高的纤维（达体积的0.5%），对钢筋砼动力性能的影响。

### 3 试验程序

#### 试 件

试件是用加拿大标准协会 (CSA) 的 10 型波特兰水泥——相当于美国材料试验学会 (ASTM) 的 I 型水泥, 商品粉煤灰和最大粒径为 20 毫米的天然集料。为了提高和易性, 使用了普通的加气剂和减水剂。对于设计的抗压强度为 20.7 兆帕左右的砼, 其具体配合比例在表 1 中。

19 毫米长的原纤化聚丙烯纤维采用了四种不同的体积: 0% (控制试件), 0.1, 0.3, 和 0.5% (体积计)。纤维的比重为 0.9。纤维的掺入量和所得拌合物的平均性能列在表 2 中。每种纤维体积浇注了六根梁。

1200 毫米长、100 毫米宽和 125 毫米高的砼梁, 用两根 10 号变形钢筋配筋, 其公称直径为 11.3 毫米, 钢筋的砼保护层为 25 毫米。这些钢筋的公称截面积为 100 毫米<sup>2</sup>, 因此其配筋率为 1.6%。原材料在锅式拌和机内投配, 根据美国材料试验学会 C192 规程的方法, 采用下列拌和顺序: 3 分钟拌和, 3 分钟休息, 然后再拌和 2 分钟。砼浇注在涂油的胶合板模型中, 在震动台上震动, 直到完全压实为止。试件在聚乙烯薄膜下存放 1 天左右, 然后转移到养护室中, 直至 28 天, 龄期试验时为止。

表 1 每米<sup>3</sup>混凝土的基本配合比设计

I 型水泥(公斤)	228
粉煤灰 (公斤)	57
砂 子 (公斤)	550
1~4 毫米集料(公斤)	330
5~10 毫米集料(公斤)	373
12~20 毫米集料(公斤)	722
加 水 (公斤)	155
加气剂 (毫升)	73
减水剂 (毫升)	727
19 毫米长原纤化聚丙烯纤维	变数, 见表 2

表 2 纤维掺入量和拌合物的性能

纤维体积 (%)	0	0.1	0.3	0.5
纤维掺入量 (kg/m <sup>3</sup> )	—	0.9	2.7	4.5
坍落度 (mm)	158	130	42	10
含气量 (%)	3.7	5.0	4.5	3.3
单位重 (kg/m <sup>3</sup> )	2402	2402	2402	2430

### 4 冲击试验

本试验采用一台装有仪表的落锤冲击试验机, 可把一个 345 公斤的重锤从 2.3 米高度处落下。应变仪装在落锤的撞击端, 记录落锤与梁之间的接触荷载。固定在梁上的加速计监测着冲击期间梁的加速度。这些数据是一台专用计算机的 5 通道目标探测系统所需要的; 这些通道每隔 200 微秒同时读数。数据储存在磁盘中, 然后用一台主计算机进行分析, 以便说明惯性效应。对于本文所述的试验, 梁是简支的, 跨度为 690 毫米, 质量为 345 公斤的冲击锤从 0.5 米的高度处落在梁的中点上。

由这些数据即可求出弯曲荷载与跨中挠度之间的关系, 而断裂能量则取荷载与跨中挠度曲线下的面积。

### 5 试验结果

这四组梁的最大弯曲荷载和断裂能量, 都列在表 3 中。虽然随着纤维含量的增大, 最大弯曲荷载提高甚少, 但是断裂能量却有显著提高, 特别是在纤维含量为 0.5% 时。另外, 最大

表3 不同纤维的含量的钢筋混凝土梁之最大弯曲荷载与断裂能量

梁号	纤维体积							
	0%		0.1%		0.3%		0.5%	
	最大弯曲荷载 (kN)	断裂能量 (N·m)	最大弯曲荷载 (kN)	断裂能量 (N·m)	最大弯曲荷载 (kN)	断裂能量 (N·m)	最大弯曲荷载 (kN)	断裂能量 (N·m)
1	41.30	206.5	38.30	191.7	41.40	403.8	43.50	622.1
2	39.60	299.3	39.20	588.0	—	—	45.50	836.8
3	39.80	359.4	41.20	474.5	45.00	354.0	46.70	623.3
4	45.00	252.6	40.10	259.4	43.80	615.9	43.80	901.8
5	40.90	271.7	39.40	262.0	46.80	424.3	48.10	897.6
6	38.40	325.8	38.00	322.0	44.40	424.2	43.50	1158.6
平均	40.80	285.9	39.40	349.7	44.30	444.4	45.20	840.0
标准偏差	2.1	49.6	1.1	137.7	1.8	89.5	1.8	184.0
变差系数(%)	5.1	17.4	2.7	39.4	4.0	20.1	3.9	21.9

弯曲荷载的标准偏差很小，这正如砼强度的实验室试验所预计的那样。断裂能量方面的变化相当大。但看来是这种冲击试验所固有的问题。

断裂能量数据示于图1(a)。过去从无钢筋的纤维砼梁的试验中所得的数据示于图1(b)，以资比较。因为有钢筋和无钢筋的梁，其断裂能量的数值相差很大，所以在图2中把图1的数据与无纤维的试件相比较，重新画出断裂能量的相对提高情况。四种不同拌合物之典型的荷载与挠度曲线（所选试件为断裂能量最接近于特定纤维体积之平均值）示于图3。请注

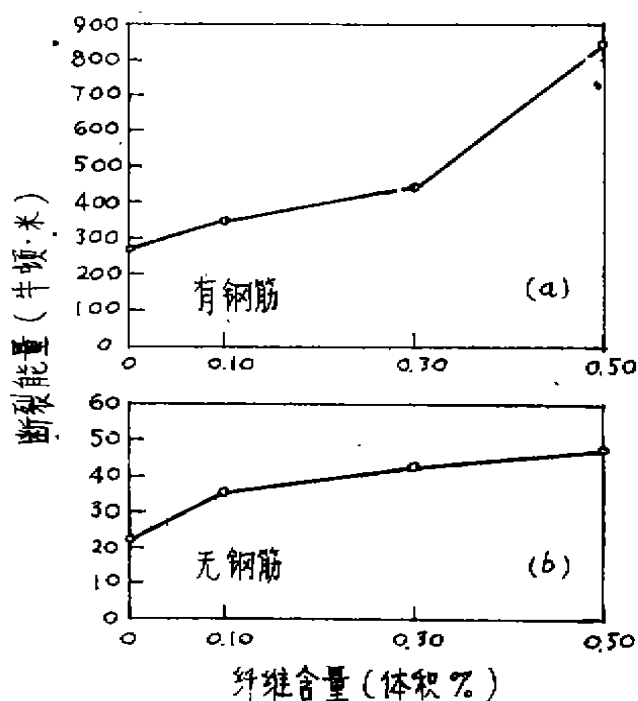


图1 断裂能量与纤维含量的关系；(a) 有钢筋的梁；(b) 无钢筋的梁

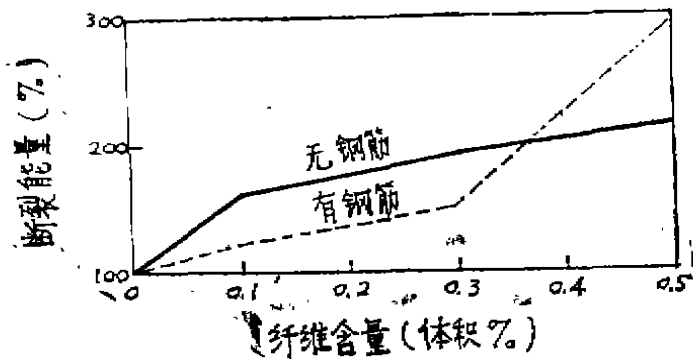


图2 同无纤维的试件相比较断裂能量的相对提高

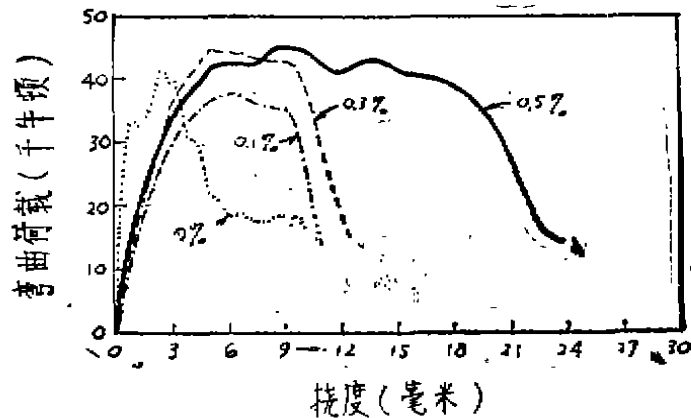


图3 不同纤维含量的钢筋混凝土梁之荷载与位移曲线 (用于计算断裂能量的)

意, 断裂能量是在荷载下降到最大值的三分之一点上计算的; 因此图 3 中的曲线都是截断了的。

## 6 结果的讨论

由图 1 和图 2 可见, 纤维同钢筋相结合, 在断裂能量方面的提高比分别考虑更大, 特别是在纤维的掺入量为 0.5% 时。提高纤维的含量可增大梁能支承最大荷载的挠度范围, 如图 3 所示。对于纤维含量为 0, 0.1 和 0.3% 的三组梁, 明显地受到了严重的损坏, 大块的砼剥落了, 露出了许多钢筋。然而纤维含量为 0.5% 的梁, 一般保持了较大的整体性。尽管也受到了严重的损坏, 但是砼几乎没有剥落, 梁的挠度也比纤维含量较少的梁要小。这可能是由于在某些裂缝上纤维的“跨接”作用, 因而把整个梁约束在一起的缘故。

我们还注意到纤维含量为 0, 0.1 和 0.3% 的梁, 钢筋与砼之间有广泛的滑移。纤维含量为 0.5% 的梁, 其滑移要小得多, 可能是因为纤维提高了砼与钢筋之间的粘结力。对这些试件进行仔细的微观研究, 也可看出这种提高, 纤维含量为 0.5% 的砼梁, 钢筋周围水泥素浆中的纤维方向大都与钢筋表面相切。这种效应可能导致钢筋附近裂缝砼保持更加连续, 从而增加了钢筋的锚固作用。因此, 纤维含量为 0.5% 的砼, 钢筋周围纤维的积聚可以解释断裂能量比预计的更大的原因。

## 7 结 论

1. 在含有普通钢筋的砼中,原纤化聚丙烯纤维的掺入量在0.5%以下,对冲击强度实际上毫无作用,但是断裂能量却有很大提高,特别是对纤维含量为0.5%的砼。
2. 对于试验的一切纤维体积百分率,纤维与结合料之间有充分的粘结力,使纤维被拔出的可能性减少到最低限度。
3. 砼的抗冲击强度随纤维体积的增多而提高。
4. 在普通钢筋砼梁中的原纤化聚丙烯纤维,在冲击荷载下可提高其抗裂性,看来能阻止钢筋与结合料的剥离。
5. 纤维与钢筋相结合对断裂能量的效应,比单独考虑所预计的要大,特别是在纤维的掺入量为0.5%时。

### 参 考 文 献 (略)

译自美国“ACI Materials Journal”

1989年第6期第545~549页

上接96页

出的数据。工程管理人员估计生产的实际价值是依据预先规定的准则(听起来比通常简单些)。然后,工程管理人员每周修正一次数据表程序。所得的结果用图表现出工程的进度。图比数字表格更清楚的说明了工程进展的趋势,提高了工程管理人员的预见能力。

## 3 避免失误

我们观察到在实践中潜在的失误,因为电子计算机协助我们,和过去相比,很容易完成任务,有时就产生一种过分依靠电子计算机的倾向,特别是在较小的工程上。

某些职工把计算机不是当工具,而是当玩具,这种倾向就使日常工作过分依靠计算机。因为计算机好玩,任何事情都靠计算机完成。其实还有许多别的办法能够有效的完成任务。

过分依靠计算机的结果就忽视了依靠职业的判断和经验,实际经验在生产中正确的应用同样能提高生产。工程规划最初的预测是依据最初的数据作出的,这往往是不准确的。就没有必要花费很多时间依据不适当的数据去“完善”工程规划。

正如建筑师 Mies Van der Rohe 所说:“慢就是快”,建立标准的工作程序,应用计算机作工具,采用简化的工程管理技术,我们会成功地管理好小工程。当然,该系统对于大小的工程不一定能够充分发挥它的作用,但小工程可能是增加公司经济效益的关键。适当地运用该管理系统,管理好工程,将会得到满意的结果。

译自 《Civil Engineering》

Vol.60, No. 1, pp.42-44, 1990