

## 乙纶单丝捻线延伸性的研究\*

钟 若 英

(上海水产大学)

**提 要** 本项试验是研究乙纶 (PE 之一种) 单丝捻制成的网线在外力小于断裂强力作用下所产生的变形特性(即延伸性)。网线的延伸性包括伸长、韧性和弹性三方面。本文的主要内容有: 1. 通过对乙纶网线结节(单死结)和无结拉伸断裂测试, 得到了乙纶网线在 1/2 结节断裂强力作用下的伸长值; 2. 通过乙纶网线拉伸断裂试验时的拉伸曲线用三次样条函数(自然样条函数)插值法计算了网线的韧度和系数  $Q$  值, 并编制了计算机程序; 3. 通过对乙纶网线定伸长弹性试验, 计算在不同恢复时间下的弹性恢复率, 从而得到定伸长弹性恢复率与网线直径和恢复时间的关系。

**主题词** 乙纶单丝网线, 伸长, 韧性, 弹性

网线是由纤维材料构成的一种柔性体, 它所承受的外力以拉伸为主, 故网线在拉力作用下产生伸长变形的特性(也称延伸性)受到充分的重视。我国以往对拉伸性能仅作断裂试验, 用断裂强力和断裂伸长率这两个指标来评定网线的品质。然而从渔业实用观点来看, 网具经常处于正常的工作载荷下, 网线所受的拉力一般是低于其断裂强力的, 所产生的伸长也小于断裂伸长。因而, 对网线在小于断裂强力持续作用下所产生变形特性的研究, 就显得很有必要。在这方面国外学者已有研究, 西德学者 G. Klust (1982) 在其著作中已有反映。他的研究把网线的延伸性归纳为网线的伸长、韧性和弹性三个方面。由于网线的延伸性直接关系到网线承受持续载荷和冲击载荷的能力。当网线受到小于断裂强力的多次拉伸后, 网线会出现“疲劳”, 直至断裂。而这种“疲劳”现象出现的快慢又与网线的弹性密切相关。弹性好的材料, 耐疲劳性能也好, 而且经磨损不易断裂, 也即该材料耐磨性高。另外, 如不计结节的牢固性, 选择弹性变形能力高的网线所制成的网具不易产生变形, 这样就能保持网具尺寸的稳定性。有些渔具(如拖网等)在作业时经受风浪的冲击, 又要在有大量渔获时能安全的绞收网具, 这就需要网线具有高的断裂强力和高的伸长率, 也即具有高的韧性来承受超常的冲击力。故作者认为很有必要对我国生产的网线进行伸长、韧性和弹性等变形特性的试验和研究。由于在我国使用聚乙烯单丝捻制的渔网线较普遍。本次首先对乙纶网线作了研究。现将试验结果作一报道。

### 试验材料与方法

**一、试验材料** 本次试验采用上海绳网厂生产的渔用聚乙烯单丝捻制的渔网线(在我国商品名

\* 本文计算机程序由王维权同志编制, 在演算时承张慕蓉同志热忱帮助, 数据测试由陈炜同志协助, 特此致谢。

称为乙纶网线),共有七种规格,其主要技术特性见表1。

表1 乙纶网线的主要技术特性

Table 1 Main technical characteristics of twisted netting yarns made of YILUN folded monofilaments

结构规格 description	直径 diam. (mm)	综合线密度 resaultant linear density (Rtex)	断裂强力 breaking strength tested (kgf)	断裂伸长率 percentage of breaking elongation tested (%)
36 tex × 3 × 3	1.09	410	16.86	19.88
36 tex × 8 × 3	1.65	1080	88.17	21.40
36 tex × 9 × 3	1.75	1220	45.53	20.12
36 tex × 12 × 3	2.05	1650	66.48	20.50
36 tex × 15 × 3	2.26	2020	88.16	19.24
36 tex × 18 × 3	2.48	2490	91.80	21.26
36 tex × 20 × 3	2.60	2700	106.70	19.20

## 二、试验方法

1. 试验仪器 使用渔具材料实验室中两台电子强力试验机,这类型试验机属于等加伸长型(CRE),其主要技术指标为:

	I	II
仪器型号	SC-100-C	CRE/1000
制造国家	日本	美国
负荷测量范围	0~100 kgf	0~500 kgf
夹钳行程	最大 1m	最大 1m
最大拉伸速度	500 mm/min	585 mm/min

SC-100-C 试验机除作网线断裂拉伸试验外,还可进行定伸长多次拉伸的测试,并伴有定时器,预设和自动记数器。本项弹性测试均使用该机。较粗网线的断裂拉伸试验则使用 CRE/1000 机。

2. 网线的拉伸试验 选用四种规格的乙纶网线(36 tex × 3 × 3、36 tex × 8 × 3、36 tex × 12 × 3、36 tex × 20 × 3)。按我国农牧渔业部标准 SC 110-83 中规定的方法进行干态无结拉伸试验和“Z”型单死结(见图 1)干态拉伸断裂试验。从 X-Y 记录仪上可得到每根试样的载荷—伸长曲线,从而读出强力值和伸长值。

3. 定伸长弹性试验 网线弹性的大小用弹性恢复率表示。如果网线按规定的伸长值加以拉伸,所测得的弹性伸长在其总伸长中所占的百分率称为定伸长弹性恢复率。如果网线按规定的的外力加以拉伸,所测得结果称为定负荷弹性恢复率。本次试验采用前一方法测定网线弹性。试样长度、拉伸速度、温度、湿度等,均按 SC 110-83 的规定。

定伸长值的决定:在纺织上对纤维作定伸长弹性试验时,定伸长率一般为试样长度的 3%、5%、10%<sup>[3]</sup>。在渔业上对网片进行拉伸定型时,一般以网线的断裂伸长率的百分数为依据。其拉伸长度取原网线断裂伸长的 15—35%<sup>[4]</sup>。因此本次试验定伸长值取 50% 的断裂伸长,这对网线实际使用已是足够大了。

恢复时间:卸除载荷以后网线松弛时间分别定为 2 秒、30 秒、5 分、0.5 小时和 1 小时。

弹性恢复率的计算: 将试样拉伸到预设的伸长值, 立即松弛, 使其恢复一定时间, 再作第二次拉伸, 在第二根拉伸曲线上拉伸至预加张力时量取伸长值。则

$$E = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

式中:  $E$ ——定伸长弹性恢复率(%);  $l_1$ ——定伸长值(mm);

$l_2$ ——第二次拉伸至预加张力时的伸长值(mm)。

4. 网线韧度的计算 按我国国家标准 GB 3938-83 规定材料韧性大小, 用韧度表示。韧度一般用材料拉伸曲线下的面积值来计算(见图 2)。

$$\text{韧度} = F \cdot l \cdot Q$$

式中:  $F$ ——负荷(kgf);  $l$ ——伸长(mm);

$Q$ ——系数  $\left( \frac{\text{面积 } OF_k B}{\text{面积 } OAF_k B} \right)$



图 1 “Z”型单死结, 网线结节拉伸试验

Fig. 1 The weaver's knot for testing the knot breaking strength of netting yarns

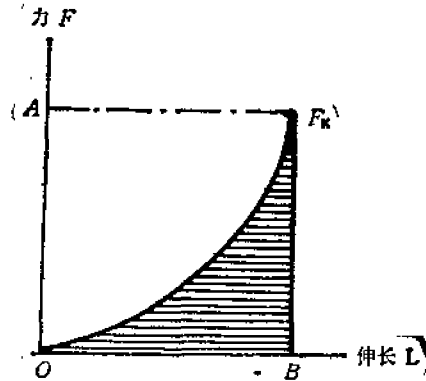


图 2 韧度计算图

Fig. 2 Determination of the toughness of netting yarns

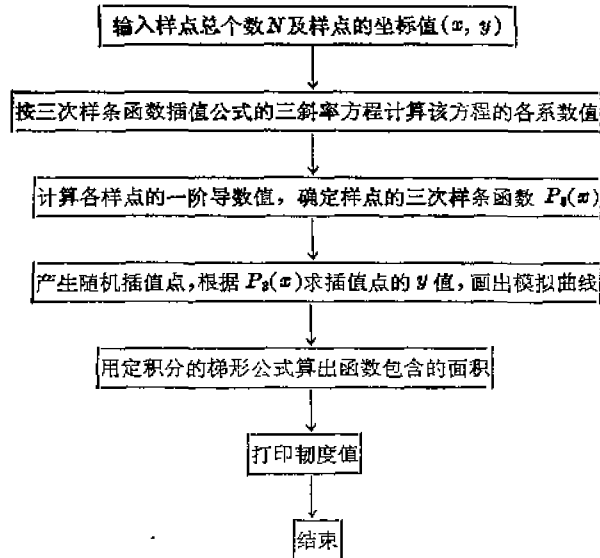
如果网线在断裂强力作用下的韧度又称断裂韧度或断裂功。

又按国际标准 ISO 3790-1976<sup>(1)</sup> 规定网线的伸长度是以该网线在1/2结节(单死结)干态或湿态断裂强力作用下的伸长作为标准。故本项试验除计算断裂韧度外, 还计算了1/2结节(单死结、干态)断裂强力作用下的韧度值, 并求算系数  $Q$  值。

面积  $OF_k B$  可以用面积仪求算, 而本项计算应用了三次样条函数插值的方法, 并编制 BASIC 语言程序, 对每条拉伸曲线进行计算。近年来样条函数的应用和发展很快, 在样条函数中三次样条函数(自然样条函数)最为常用。样条函数插值除可保证样点的函数值外, 还保证样点上具有一阶和二阶连续导数, 从工程应用的角度来看, 已经相当“光滑”。本次计算取拉伸曲线上数十个样点, 经三次样条函数插值后由计算机绘制的模拟曲线与原拉伸曲线吻合。

(1) 纺织工业部纺织科学研究院译, 1976。国际标准(ISO 3790), 渔网——网线伸长度的测定(铅印本)。

## 程序流程



## 结果与分析

一、网线的强力与伸长 四种规格的乙纶网线的结节(单死结和单线结)断裂强力、无结完全断裂时的强力和伸长率、无结最大强力及伸长率(按 GB3938-83<sup>[1]</sup>标准即为断裂强力及断裂伸长率)都列于表 2 中。无结断裂拉伸试验时每种规格网线的平均拉伸曲线如图 3 所示。

表 2 乙纶网线的强力和伸长率

Table 2 Strength and elongation of twisted netting yarns made of YILUN folded monofilaments

网线规格	无结(最大时) knotness (max)		无结(完全断裂时) knotness (at broken)		单死结 weaver's knot		单线结 overhand knot
	断裂强力 breaking strength (kgf)	断裂伸长率 breaking elongation rate(%)	强力 strength (kgf)	伸长率 elongation rate (%)	断裂强力 breaking strength (kgf)	1/2 结节断裂强力 时的伸长率 elongation rate at 1/2 knotbreak ing strength (%)	断裂强力 breaking strength (kgf)
36 tex × 20 × 3	105.98	19.20	97.50	24.0	126.86	10.49	54.6
36 tex × 12 × 3	66.48	20.50	60.00	24.5	76.44	10.96	32.8
86 tex × 8 × 3	98.17	21.40	84.00	28.0	50.80	12.29	21.0
86 tex × 3 × 3	16.86	19.88	16.86	19.88	19.70	10.44	8.5

(1) 从图 3 拉伸曲线可见,乙纶网线作拉伸断裂试验时,除 36 tex × 3 × 3 以外,其余三种网线其最大强力值不等于完全断裂时的强力值。例如乙纶 36 tex × 20 × 3 网线当拉

伸时达到最大强力为 105.93 kgf 时伸长率为 19.2%, 当网线继续拉伸, 而网线在完全断裂时强力降为 97.5 kgf, 这时伸长率为 24%。根据 Klust<sup>[7]</sup> 介绍, 乙纶单丝捻绳作断裂试验时也会产生此情况。例如  $d = 22$  mm 乙纶绳索, 达到最大强力 4560 kgf 时伸长率为 36%, 而进一步拉伸至绳索完全断裂时的强力为 3500 kgf, 而伸长率达 65%。其原因之一是乙纶材料会产生较大蠕变所引起的, 使网线、绳索在达到最大强力以后, 还可以继续伸长, 完全断裂在较低的载荷处。其次网线、绳索在拉伸至最大强力时, 其中一部分组成部分(丝或绳纱)已断裂, 强力不会再增加, 而整根线或绳索没有断裂。再继续拉伸至完全断裂时, 强力则降低, 伸长增加。如直径越细, 则整体断裂的可能性越大, 断裂时强力越接近最大强力值, 这由图 3 可明显看出, 网线越细曲线越平坦。

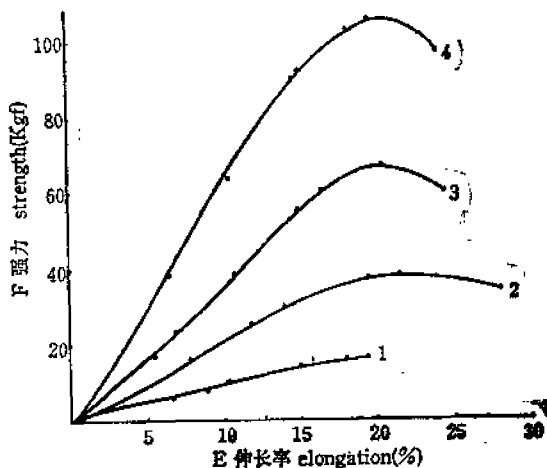


图 3 不同直径的乙纶网线载荷-伸长(拉伸)曲线  
Fig. 3 Load-elongation curves of different diameter netting yarns made of YILUN folded monofilaments

(1) 36 tex  $\times$  3  $\times$  3; (2) 36 tex  $\times$  8  $\times$  3;  
(3) 36 tex  $\times$  12  $\times$  3; (4) 36 tex  $\times$  20  $\times$  3

(2) 从表 2 乙纶网线有结强力值可看出同种规格的网线其结强力的与结类型有关, 一般单线结断裂强力小于 1/2 死结断裂强力, 这是由于打结后网线的弯曲程度不同所致<sup>(1)</sup>。从实用观点出发, 一般网具大多使用单死结, 故用单死结断裂强力表示网线的结节强力将比单线结断裂强力更有参考价值。研究网线的伸长率如用断裂伸长率只能成为网线生产中的一项考核指标, 而在实际使用中往往低于断裂伸长, 所以 ISO 3790-1976 推荐测定网线的伸长值以加 1/2 结节断裂强力为标准。本项试验按此标准测定乙纶网线的伸长率约在 10—13%, 此值仅为最大强力时的伸长率的一半左右。约为完全断裂时伸长率的 44%。

二、网线的初度 根据每根试样的拉伸曲线, 利用三次样条函数插值法, 经计算机计算得到每种规格网线的平均初度值、 $F \cdot l$  值及系数  $Q$ , 其结果见表 3。

(1) 乙纶网线初度与直径的关系 由表 3 计算结果可见, 当乙纶网线在最大强力作用时, 网线越粗, 初度值越大。如果把乙纶 36 tex  $\times$  20  $\times$  3 规格的网线的初度值作为 100%, 则 12  $\times$  3, 8  $\times$  3, 3  $\times$  3 网线的初度依次为 65%、41%、16%。如将初度值和直径值使用回归分析法计算可得到如下的线性关系式:

$$T = 3.093d - 2.64 \quad \text{相关系数 } r = 0.996$$

(1) 俞慧珍, 1982。渔网线的断裂强力和结节强力试验。1982 年上海水产学会学术年会论文报告摘要汇编, 26—28。

式中： $T$ ——网线在最大强力时的韧度(kgf-m)； $d$ ——网线直径(mm)  
 根据上式求算理论韧度列于表4。理论韧度与实测韧度有一定的误差，但可作为近似估算之用。

表3 乙纶网线的韧度和系数Q值

Table 3 Toughness and coefficient Q of YILUN netting yarns

网线规格 description	直径 diam. (mm)	最大强力作用下 at max strength			半结断裂强力作用下 at 1/2 knot breaking strength		
		韧度 toughness (kg-mm)	$F \cdot l$ (kg-mm)	Q值 Q value	韧度 toughness (kg-mm)	$F_k \cdot l$ (kg-mm)	Q值 Q value
36 tex × 20 × 3	2.60	5531.921	10168.8	0.54	1633.954	3315.108	0.49
36 tex × 12 × 3	2.05	3620.788	6814.2	0.53	962.525	2095.412	0.46
36 tex × 8 × 3	1.65	2258.891	4088.7	0.55	722.123	1546.222	0.48
36 tex × 3 × 3	1.09	892.251	1634.1	0.54	258.197	513.961	0.49

表4 乙纶网线在最大强力作用时的理论与实测韧度

Table 4 Theoretical and measured toughness of YILUN twisted netting yarns under the greatest load

网线直径 (mm) diam.	2.6	2.05	1.65	1.09
实测韧度 (kgf-m) measured toughness	5.58	3.62	2.26	0.89
理论韧度 (kgf-m) theoretical toughness	5.4	3.7	2.46	0.78

(2) 系数Q与直径的关系 由表3可见系数Q值对各种规格网线是非常相近，当在最大强力作用时Q平均值为0.54，当在1/2结节断裂强力作用时Q平均值为0.48。这表明乙纶网线在某一载荷作用下的Q值为一定值，它与网线粗度无关，仅与加载大小有关。

三、网线的弹性 本次试验选取五种规格乙纶网线(36 tex × 3 × 3、36 tex × 9 × 3、36 tex × 15 × 3、36 tex × 18 × 3、36 tex × 20 × 3)，按定伸长值为50%的断裂伸长值加以拉伸，当外力卸除了2秒、30秒、5分、0.5小时和1小时以后，分别测定弹性伸长值，按式  $E = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$  求算出各种规格网线在不同恢复时间下的定伸长弹性恢复率。其结果见表5。

1. 乙纶网线的弹性恢复率与粗度的关系 由表5可见，当网线以1/2断裂伸长值加以拉伸，卸除载荷后，在恢复时间相同情况下，不同粗度的网线其弹性恢复率基本相近。这表明乙纶网线经相同恢复时间弹性恢复率与其粗度无关，仅与恢复时间的长短有关。不同恢复时间乙纶网线的平均弹性恢复率列于表6。

2. 乙纶网线弹性恢复率与恢复时间的关系 由表6的数值经回归分析可得如下关系式：

表 5 乙纶网线的弹性恢复率  
Table 5 Degrees of elasticity of YILUN twisted netting yarns

网线规格 description	2s		30s		5min		30min		1h		定伸长值 fixed elonga tion (mm)
	1 (mm)	2 (%)	1 (mm)	2 (%)	1 (mm)	2 (%)	1 (mm)	2 (%)	1 (mm)	2 (%)	
36 tex × 3 × 3	24.68	62.19	25.5	65.05	27.1	69.13	27.77	70.84	28.20	71.98	39.2
36 tex × 9 × 3	/	/	34.15	64.43	36.44	68.75	36.66	69.17	38.00	71.70	53.0
36 tex × 15 × 3	29.44	61.2	31.8	66.11	32.74	68.07	33.82	70.81	34.25	71.21	48.1
36 tex × 18 × 3	32.42	61.16	34.45	65.0	36.17	68.24	36.75	69.84	37.35	70.47	53.0
36 tex × 20 × 3	28.82	60.46	29.96	62.29	32.44	67.02	33.13	68.45	34.13	70.52	48.4

1—弹性伸长(elasticity elongation)(mm), 2—弹性恢复率(degree of elasticity)(%)

表 6 乙纶网线在不同恢复时间下的平均弹性恢复率  
Table 6 Average degrees of elasticity of YILUN netting yarns at various  
time after removed of load

恢复时间(秒) relaxed time (sec)	2	30	300	1800	3600	定伸长值 fixed elongation 1/2
定伸长弹性恢复率(%) degree of elasticity at fixed elongation	61.25	64.86	68.37	69.75	71.28	断裂伸长值 1/2 breaking elongation

$$E = 60.53T^{0.0198} \quad \text{相关系数 } r = 0.9756$$

式中:  $E$ —弹性恢复率(%);  $T$ —恢复时间(秒)

现将实测值与理论计算值列于表 7

由表 7 可见乙纶网线定伸长弹性恢复率理论值与实测值之间最大误差在  $\pm 1\%$  以内。这表明用 1/2 断裂伸长值作定伸长弹性试验时, 乙纶网线的弹性恢复率可遵循上述的关系式进行计算。

表 7 乙纶网线定伸长弹性恢复率的理论值与实测值的比较  
Table 7 Theoretical and measured degree of elasticity for  
YILUN at fixed elongation

恢复时间(sec) relaxed time	2	30	300	1800	3600
实测值 $E_1$ (%) measured value $E_1$	61.25	64.86	68.37	69.75	71.28
理论值 $E_2$ (%) theoretical value $E_2$	61.86	64.75	67.77	70.21	71.12
误差 $\frac{E_1 - E_2}{E_1}$ (%) error	-0.17	0.17	-0.87	-0.66	-0.14

## 结论与讨论

1. 在我国对网线进行拉伸断裂试验, 目前大多采用等速拉伸(摆锤式)强力试验机。一般在测力指示盘上和伸长标尺上直接读得断裂强力值和断裂伸长值。但该种等速拉伸仅是下夹钳向下运动是等速的, 当在网线拉伸时, 测力装置摆锤的回转及上夹钳的下降, 又加之试样的伸长不同和承受外力大小的不同, 这些都造成试样伸长速率发生变化。所以该种试验机使试样在拉伸过程中伸长的变化并非等速。若要观察试样拉伸至完全断裂的变化规律或要绘制完整的拉伸曲线宜采用本次试验所使用的等加伸长(GRE)强力试验机, 并在 X-Y 记录仪的拉伸曲线上既可得到断裂强力和断裂伸长, 又可读取任何载荷时的伸长值。该种试验机也是国际标准化组织(ISO)所推荐使用的。

2. 本项试验对乙纶网线的结节断裂强力的测定采用了单死结, 这也是 ISO 所推荐的试验方法。而在我国一些网线的伸长用无结断裂伸长, 这仅能对同类网线作相对比较之用, 作为生产厂商对产品质量的技术指标是可行的。但对渔业上目前大多数网具使用单死结, 网线所受到的载荷一般是小于断裂强力, 故提供网线单死结断裂强力和网线在 1/2 死结强力作用下的伸长率是有实用参考价值的。

3. 网线的韧度是综合评定网线质量的指标之一。韧度的大小直接影响网线承受冲击载荷的能力。但目前国内对此指标尚无测定。本项试验初步对乙纶网线进行了韧度的测定和计算, 并采用了三次样条函数插值法, 经计算机运算的曲线与原拉伸曲线相当吻合, 这说明本项试验的方法是可行的。并经计算得到韧度系数  $Q$  在某一载荷作用下是一个定值, 对所加载荷( $F_k$ )为最大强力时  $Q$  值为 0.54, 当所加载荷( $F_k$ )等于 1/2 死结断裂强力时,  $Q$  值为 0.48。因此如果已知  $Q$  值和对应的  $F_k$  和  $l$  (伸长) 即可按韧度公式来计算。 $F_k$  和  $l$  值可在拉伸曲线上直接量取, 这样计算韧度就非常方便。各种材料网线在不同所加载荷时的  $Q$  值有待进一步测试。

4. 在我国对渔用网线的弹性研究尚少, 至今仍无试验标准。本项在强力试验机上进行定伸长弹性试验, 该机有定时器和 X-Y 记录仪, 能够直接从拉伸图上量取弹性恢复值, 此方法既简便又可靠。这为今后制订网线弹性试验标准提供参考。

5. 通过本项试验乙纶单丝捻线在施加 1/2 断裂伸长时, 用相同的恢复时间, 则弹性恢复率与网线粗度无关。不同恢复时间下的弹性恢复率可按  $E = 60.53T^{0.0188}$  关系式计算。但对网线弹性恢复率必须表明测试条件, 因为即使是同种网线采用定伸长或定负荷测试, 两者所得的结果是没有类比性的。至于不同的定伸长或定负荷对网线弹性的影响, 则有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标准(GB3038-83), 渔具材料基本名词术语, 中国标准出版社。
- [2] 中华人民共和国农牧渔业部部标准(SC110-83), 合成纤维渔网线试验方法, 同上。
- [3] 国家标准局纤维检验局编著, 1988。化学纤维技术检验技术(上册), 286—278。
- [4] 姜在泽等, 1980。渔具材料与工艺学, 40—57。上海科学技术出版社。



- [ 5 ] Carrothers, P. J. G., 1959. The physical properties of netting and twine suitable for use in commercial fishing gear. *Modern Fishing Gear of the World* I, 69—74. Fishing News (Books) Ltd, London.
- [ 6 ] Klust, G. 1982. *Netting Materials for Fishing Gear*, Ibid.
- [ 7 ] —, 1983. *Fibre ropes for fishing gear*, 72—111, Ibid.

## THE EXTENSIBILITY OF YILUN (POLYTHYLENE) MONOFILAMENT NETTING YARNS

Zhong Rouying

(Shanghai Fisheries University)

**ABSTRACT** This paper deals with the study of extensibility of netting yarns made of Yilun folded monofilaments under the load below its breaking strength. The extensible characteristic of these netting yarns includes elongation, toughness and elasticity. The results of experiment are as follows:

1. By breaking test, the elongation value of Yilun monofilament netting yarns of the weaver's knot and the straight (knotless) acted under half knot breaking strength is obtained.

2. The toughness and coefficient ( $Q$ ) by load-elongation curves were obtained from breaking tests and by the insert value procedure of natural spline function.

3. The degree of elasticity at various relaxed time is obtained by the elasticity tests under fixed elongation, then to get the relationships among the degree of elasticity, diameter and relaxed time of the Yilun monofilament netting yarns.

**KEYWORDS** Yilun (PE) monofilament netting yarns, elongation, toughness, elasticity