

文章编号: 1004-7271(2003)04-0371-05

·研究简报·

# 渔用超高分子量聚乙烯纤维绳索的研究

## Studies on ultra-high molecular weight polyethylene fiber ropes for fishing gear

石建高, 王鲁民

(中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

SHI Jian-gao, WANG Lu-min

(Key and Open Ecological Laboratory of Marine and Estuary, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China)

关键词 超高分子量聚乙烯 绳索 纤维 渔用

Key words ultra-high molecular weight polyethylene; rope; fiber; fisheries

中图分类号 S971.3 文献标识码: A

超高分子量聚乙烯 (ultra-high molecular weight polyethylene, 简称 UHMWPE) 纤维是以分子量大于  $1 \times 10^6$  的聚乙烯为原料, 通过特殊纺丝工艺制造的一种高性能纤维。采用 UHMWPE 纤维制作的超高强度绳索的结构类型有三股捻绳、八股编绞绳和多股编织绳等, 其特性为强度高、伸长小和耐磨损等, 尽管在渔业上的应用时间不长, 但在欧美、日本等国它已成为渔业管理者最易于接受的新材料之一, 并积极从事该领域的基础理论研究和海上试验<sup>[1-4]</sup>。但是, UHMWPE 纤维绳索的性能及其在我国渔业上的应用研究目前还只是刚刚开始, 然而 UHMWPE 纤维绳索的渔用适用性的确值得我们进行探索。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

将市售 UHMWPE 纤维 (规格为  $800D \times 7$ ) 捻成绳纱, 再采用特定加工工艺制成试验用绳索 (规格为  $\varnothing 8.0\text{mm}$  UHMWPE 纤维编织绳和  $\varnothing 16.6\text{mm}$  UHMWPE 纤维缆绳)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 试验仪器和条件

试验用仪器为英国 INSTRON-4466 型强力试验机, 德国 RHZ-1600 型强力试验机和 TG729C 型单盘电光分析天平等。

实验室温度为  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $(65 \pm 5)\%$ 。UHMWPE 纤维力学性能试验的拉伸速度为  $90\text{mm}/\text{min}$ ,  $\varnothing 8.0\text{mm}$  和  $\varnothing 16.6\text{mm}$  UHMWPE 纤维绳索力学性能试验的拉伸速度分别为  $150\text{mm}/\text{min}$  和  $170\text{mm}/\text{min}$ 。

收稿日期 2003-07-02

作者简介 石建高 (1969-) 男, 江苏如皋人, 工程师, 上海水产大学 2001 级在职硕士研究生, 从事渔具材料、标准化及质量研究。

通讯作者 王鲁民 (1963-) 男, 上海人, 研究员, 从事高分子材料研究。Tel 021-55530172

### 1.2.2 试验方法

参照 GB/T 14344-99<sup>[5]</sup>、GB/T 14343-93<sup>[6]</sup>和 GB/T 8834-88<sup>[7]</sup>分别进行 UHMWPE 纤维和绳索的测试。

### 1.2.3 数据处理

试验所取得的有效数据按数据处理规定进行整理<sup>[5-7]</sup>。

利用绳索国家标准<sup>[7-9]</sup>中优等品指标及(结构为“6×24+天然芯”,抗拉强度为1470MPa)钢丝绳国家标准<sup>[10]</sup>中相关指标,绘制绳索的断裂强力与直径、线密度与直径的散点图;对散点图进行曲线回归和数据相关性分析<sup>[11]</sup>,得出相应的回归方程;以此方程计算得出相同强力下绳索的直径、线密度及与之对应的断裂强度,并进行不同绳索间的性能比较分析。

## 2 结果与分析

UHMWPE 纤维拉伸力学性能的检测结果及其与其它类纤维拉伸力学性能<sup>[1,12,13]</sup>的对照见表1。图1、2为利用绳索国家标准<sup>[7-9]</sup>中优等品指标和钢丝绳国家标准<sup>[10]</sup>中相关指标所绘制的散点图。

表1 UHMWPE 及其他纤维的拉伸力学性能

Tab.1 Tensile mechanic performance of UHMWPE and other fibers

项目	UHMWPE 复丝	PP 扁丝	PA6 复丝	PVA 复丝	PE 单丝	PES 复丝	钢丝	PPTA 复丝
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.97	0.91	1.14	1.30	0.94	1.38	7.86	1.41
断裂强度(cN/dtex)	22.4	5.9	5.5	3.9	5.6	4.9	1.5~1.9	8.8~21.2
伸长(%)	3	15~35	16~28	14~19	14~22	16~32	1	2~6.5
弹性模量(GPa)	89~171	2~60	2~5	6~10	3~8	10~20	1~2	98~147
断裂长度(km)	228.4	60.2	56.1	39.8	57.1	50.0	15~19	89.7~216.2

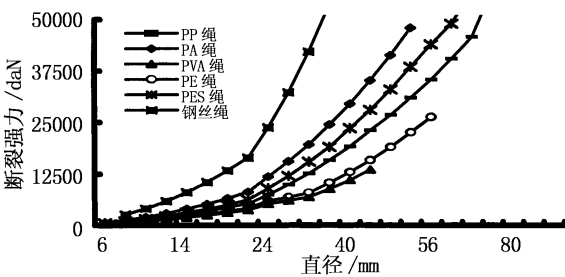


图1 绳索断裂强力与直径的关系

Fig.1 The relationship between breaking load and diameter of various ropes

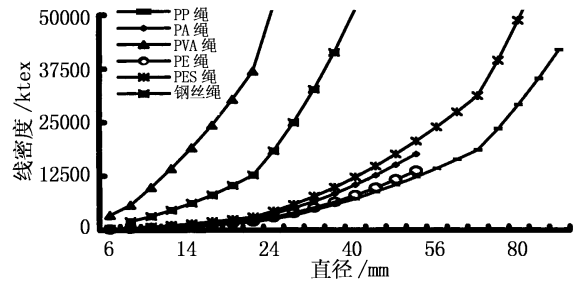


图2 绳索线密度与直径的关系

Fig.2 The relationship between linear density and diameter of various ropes

经观察此散点图和反复计算,在标准<sup>[7-10]</sup>所列规格范围内绳索的强力、线密度随直径的变化有一定的规律,符合幂函数方程,按幂函数方程拟合<sup>[11]</sup>,得出绳索的直径与断裂强力、线密度与直径的幂函数方程及相关系数(见表2)。

由表2可见,方程的相关系数都高达0.9997以上,说明不同材料绳索的断裂强力、线密度与直径的回归方程均有较好的相关性<sup>[11]</sup>,因此,可利用此进行计算和数据相关性分析。

试验用 UHMWPE 纤维绳索的测试结果如表3所示。以表2方程分别计算出与本试验用 UHMWPE 纤维绳索相同强力下其他绳索的直径、线密度及与之对应的断裂强度,并将其列于表3。同时将绳索的伸长、捻距指标也列于表<sup>[7-10,13]</sup>。

表 2 绳索的断裂强力、线密度与直径的回归方程

Tab.2 Regression equation of breaking load &amp; linear density and diameter of various ropes

绳索品种	直径(mm)与断裂强力(daN)		线密度(ktex)与直径(mm)	
	方程	相关系数	方程	相关系数
PP	$y = 0.2073x^{0.5337}$	1.0000	$\rho_x = 0.4653x^{1.9919}$	1.0000
PA	$y = 0.2011x^{0.5130}$	0.9997	$\rho_x = 0.6815x^{1.9858}$	1.0000
PVA	$y = 0.2908x^{0.5161}$	0.9997	$\rho_x = 0.6425x^{1.9839}$	1.0000
PE	$y = 0.2681x^{0.5178}$	1.0000	$\rho_x = 0.5017x^{1.9995}$	1.0000
PES	$y = 0.2166x^{0.5193}$	0.9998	$\rho_x = 0.7462x^{2.0044}$	1.0000
钢丝绳	$y = 0.1560x^{0.5000}$	1.0000	$\rho_x = 3.1861x^{1.9994}$	1.0000

表 3 在相同强力下 UHMWPE 及其他纤维绳索的物理机械性能

Tab.3 Physical and mechanical properties of UHMWPE and other fiber ropes in the same breaking load

材料	断裂强力为 1060daN					断裂强力为 8144daN				
	直径(mm)	线密度(ktex)	断裂强度(cN/dtex)	伸长(%)	捻距(mm)	直径(mm)	线密度(ktex)	断裂强度(cN/dtex)	伸长(%)	捻距(mm)
UHMWPE	8.0	14.6	7.26	7.4	29.9	16.6	121.0	6.73	10.5	68.3
PP	8.5	33.0	3.21	45~53	≤31.0	25.3	290.1	2.81	45~53	≤88.0
PA	7.2	34.4	3.08	55~63	≤28.8	20.4	271.7	3.00	55~63	≤71.4
PVA	10.6	69.5	1.53	25~41	≤42.4	30.3	558.4	1.46	25~41	≤106
PE	9.9	49.1	2.16	45~55	≤39.6	28.4	404.0	2.02	45~55	≤99.4
PES	8.1	49.4	2.14	40~47	≤32.0	23.3	410.8	1.98	40~47	≤82.0
钢丝绳	5.1	82.8	1.28	1~5	≤38.0	14.1	632.4	1.29	1~5	≤103

## 2.1 UHMWPE 纤维与其他渔用纤维性能的比较与分析

与其他渔用纤维相比, UHMWPE 纤维的断裂强度和弹性模量高、密度和伸长较小, 断裂长度较长(见表 1)。表 4 列出了 UHMWPE 纤维与其他渔用纤维的物理机械性能<sup>[14]</sup>。

表 4 UHMWPE 及其他纤维的物理机械性能

Tab.4 Physical and mechanical properties of UHMWPE and other fibers

项目	UHMWPE 复丝	PP 扁丝	PA6 复丝	PE 单丝	PES 复丝	PPTA 复丝
耐磨性(次)	$6 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^4$
耐冲击性(J/dtex)	50		60		40	20
多次弯曲持久性(次)	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$6 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$7 \times 10^6$	$8 \times 10^4$
抗老化性(%)	65	40	40	40	50	15

注:表内抗老化性中的百分数为自然老化两年后材料原始强度的百分数。

UHMWPE 及其他渔用纤维生产性能差别(见表 1、4)的原因很多,然而,主要与纤维材料的内部聚态结构有关<sup>[14,15]</sup>。UHMWPE 是线性长链结构,由亚甲基团组成,高分子链在晶区呈伸直链构象且排列紧密有序,大分子截面积小,分子间的相互作用力大,使链段很难运动<sup>[14]</sup>。因此,具有此种聚态结构的 UHMWPE 纤维材料的断裂强度高、伸长短、模量高、耐磨损、耐冲击和抗老化等。

## 2.2 UHMWPE 纤维绳索与其他渔用合成纤维绳索性能的比较与分析

由表 3 可见,在同等强力(1060daN 或 8144daN)条件下, UHMWPE 纤维绳索较其他渔用合成纤维绳索具有断裂强度高、伸长短、线密度小的明显优势。如规格为  $\varnothing 8.0$ mm UHMWPE 纤维编织绳断裂强度分别为国家标准<sup>[7-9]</sup>中同强力优等品 PP、PA、PVA、PE 和 PES 绳索的 226%、236%、475%、336% 和 339%,而伸长则小于其他绳索,分别为 PP、PA、PVA、PE 和 PES 绳索的 15%、13%、22%、15% 和 17%。在同等强力(1060daN)下, UHMWPE 纤维绳索比 PP 绳索直径减小 5.9%,且线密度减小 55.8%,比 PA 绳直

径虽然增加 11.1% ,但线密度减小 57.6% ;比 PVA 绳直径减小 24.5% ,且线密度减小 79.0% ;比 PE 绳直径减小 19.2% ,且线密度减小 70.3% ;比 PES 绳直径减小 1.2% ,且线密度减小 70.4% 。UHMWPE 纤维绳索在同等强力( 8144daN )下替代 PP、PA、PVA、PE、PES 绳索能减小线密度和使用直径。

### 2.3 UHMWPE 纤维绳索与钢丝绳性能的比较与分析

由表 3 可见 ,UHMWPE 纤维绳索断裂强度为国家标准<sup>[10]</sup>中同强力钢丝的 522% 以上 ,线密度为钢丝绳的 20% 左右 ,而伸长则大于钢丝绳。因为 UHMWPE 纤维绳索与钢丝绳较表中其他绳索都具有强度高、伸长小且抗持续载荷的优越性能 ,所以在渔业上都适合作手纲、曳纲等纲索<sup>[16,17]</sup>。但钢丝绳弹性小且硬挺、操作中握持困难和超载断裂时发生回打现象(有可能伤及船员)等 ,这限制了其广泛应用<sup>[13,16,17]</sup>。相反 ,UHMWPE 纤维绳索柔软、抗冲击载荷、操作方便、超载断裂时无回打现象 ,加上它还具有耐锈蚀、抗疲劳、使用周期长、绳与绳之间易于结接、在拉伸载荷下不产生回转现象等渔用适应性优势<sup>[1-4,16-18]</sup> ,因此 ,它较钢丝绳更适于在渔具中使用。

不同材料绳索产生性能差别的原因很多 ,除与结构、规格和加工工艺等因素有关外 ,主要与制绳用纤维材料本身的性能有着密切的联系<sup>[13,15]</sup>。UHMWPE 纤维的优异渔用性能 ,使得用其制作的绳索具有强度高、伸长小、线密度小等渔用适应性优势<sup>[1-4,16-18]</sup>。限于时间、设备、经济等诸多因素 ,本试验用 UHMWPE 纤维绳索的抗疲劳性、耐冲击性、耐腐蚀性和耐光性等试验没能开展 ,因此一系列工作有待于进一步深入的研究。

## 3 UHMWPE 纤维绳索的渔业应用

国际渔业上已将 UHMWPE 纤维编织成不同纤度的绳索 ,逐步取代传统的钢缆绳和合纤绳 ,其发展速度异常迅速 ,欧美、日本等许多国家已用它装配渔船和海水养殖工程 ,并取得较好的回报<sup>[1-4,16-18]</sup>。1994 年荷兰采用 UHMWPE 纤维绳索做大型中层拖网的纲索 ,直径比原用的 PA 绳降低 40% ,网口周长由原先的 1100m 扩大到 1550m<sup>[16]</sup>。2000 年苏格兰将 UHMWPE 纤维绳索用作超级中层拖网的纲索 ,并在网口部位采用 UHMWPE 纤维绳索编织的网片替代 PE 绳编织的网片 ,使同等尺寸下网口的绳索用量减少了一半 ,能耗降低 50% ,产量增加 40% ,经济效果明显<sup>[2]</sup>。采用 UHMWPE 纤维绳索 ,在渔船功率、起网设备容量不变的情况下 ,实施拖网的大型化 ,这对捕捞具有分散性特征的大洋性鱼类(如鲑)和开发远洋渔业资源可取得极大的效果<sup>[1-4,16-18]</sup>。在大型围网中 ,UHMWPE 纤维绳索已被用作网具纲索(包括浮子纲、跑纲等) ,这不但减少浮子用量和网具重量 ,延长网具的使用寿命 ;而且减少网具的甲板占用空间和水流对放网操作的不利影响<sup>[17]</sup>。在延绳钓渔具中 ,用 UHMWPE 纤维绳索作干绳 ,与 PA 材料的干绳相比(直径可降低 40%) ,相同的绞车可配置更长的钓绳 ,使钓钩数量增加 ,提高捕捞效率<sup>[4,16]</sup>。

我国于 1999 年采用 UHMWPE 纤维在 235kw 渔船进行对拖试验 ,以 UHMWPE 纤维八股绳替代同强力的钢丝绳作上纲使用 ,而在网具前部和中部以 UHMWPE 网线替代原用 PE 线、绳 ,结果网口周长扩大 22.5% ,产量和产值分别增加 24.6% 和 25.7% ,油耗减少 3.5%<sup>[18]</sup>。由此可见 ,UHMWPE 纤维绳索材料的应用 ,为我国开发新一代高效、低耗的集约型海洋渔具提供了有利条件 ,具有显著的节能增收效果、经济可行性。

UHMWPE 纤维绳索具有良好的渔用性能 ,是一种很有开发潜力的新一代优质渔业绳索 ,能在我国海洋渔业中应用并可推广 ,具有广阔的发展前景。

### 参考文献 :

- [1] 吴人洁. 复合材料[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000: 26-48.
- [2] Anon. Super-Millionaire trawl half as big again[J]. Fishing News International 2000, 39(12): 28.
- [3] Anon. 'Slow change' to Dyneema ropes[J]. Fishing News International 2000, 39(10): 19.
- [4] 王鲁民. 超高强纤维的试验研究及其在渔业中的应用前景[J]. 水产学报, 2000, 24(5): 480-484.
- [5] GB/T 14344-99 合成纤维长丝及变形丝断裂强力及断裂伸长率试验方法[S].

- [ 6 ] GB/T 14343 - 93 合成纤维长丝及变形丝线密度试验方法[ S ].
- [ 7 ] 中国标准出版社编. 中国农业标准汇编[ M ]. 北京 : 中国标准出版社 ,1998 ,1 - 240.
- [ 8 ] GB/T 11787 - 89 三股聚酯复丝绳索[ S ].
- [ 9 ] GB/T 8050 - 87 三股和八股聚丙烯单丝或薄膜绳索[ S ].
- [ 10 ] GB/T 8918 - 96 钢丝绳[ S ].
- [ 11 ] 北京林学院主编. 数理统计[ M ]. 北京 : 中国林业出版社 ,1986 ,1 - 368.
- [ 12 ] 万荣 ,唐衍力 ,杜守葱. 渔具合成纤维材料强度性能的比较与分析[ J ]. 青岛海洋大学学报 ,1997 ,27( 4 ) :490 - 495.
- [ 13 ] Klust G. Fibre Ropes for Fishing Gear[ M ]. London : Fishing News Book Ltd. ,1983 ,1 - 238.
- [ 14 ] 张开. 高分子物理学[ M ]. 北京 : 化学工业出版社 ,1981 ,1 - 213.
- [ 15 ] 丁佳鼎( 译 ). 高分子和复合材料的力学性能[ M ]. 北京 : 轻工业出版社 ,1981 ,1 - 394.
- [ 16 ] Anon. Adenia II tows light Dyneema trawl[ J ]. Fishing News International ,1994 ,33( 3 ) :14.
- [ 17 ] Anon. Special rope stronger than steel[ J ]. Fishing News International 2000 ,39( 7 ) :34.
- [ 18 ] 王鲁民 ,王明彦 ,徐宝生 ,等. 超高分子量聚乙烯纤维材料在拖网渔具应用探讨[ C ]. 上海 : 上海科学技术出版社 ,2001 ,170 - 175.

## 《中国常见海洋红藻超微结构》内容简介

由王素娟、裴鲁青、段德麟教授合编的《中国常见海洋红藻超微结构》一书，将于 2003 年 11 月由浙江宁波出版社正式出版。

本书研究了中国常见海洋红藻门中的 7 个目、15 科 22 属 46 种的超微结构，共计 128 图版，128 页文字记述，中文图版说明 520 条，中英文对照图版说明 520 条，本书大小为 28.5cm × 21cm( 大 16 开 )，用 156 克纸铜版纸印刷，精装本外加护封。全书定价 80 元。邮费为定价的 10%。

本书内容丰富详实，为中国最近用电子显微镜研究海藻超微结构的专著，可供大专院校的植物学、藻类学教师和研究生以及有关科研工作者教学及研究用参考书。

欲购买者请与《水产学报》编辑部联系。

编辑部地址：上海市军工路 334 号《水产学报》编辑部

邮编 200090

联系电话 021-65710232 021-6568096( 传真 )

联系人 伍稷芳

E-mail jfc@shfu.edu.cn ;scxuebao@online.sh.cn