

文章编号: 1000-0615(2005)05-0724-04

·研究简报·

网箱用纤维绳索伸长性能的试验

郭亦萍, 马海有, 茅利生

(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)

关键词: 网箱; 纤维绳索; 伸长; 性能试验

中图分类号: S971 文献标识码: A

Test on the elongation performance of the fiber ropes used for sea cage

GUO Yi-ping, MA Hai-you, MAO Li-sheng

(Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Certificated by Ministry of Agriculture,
East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: In this paper, six specimens made by four kinds of fiber materials used in sea cage were selected, the percentage of elongation of them were measured by two methods. The two forms regression equation of percentage of elongation and relatively load rate were established, one of them expressed the power function, and another expressed the linear function. The constant load elongation of new ropes and simulated loaded ropes, and the method to estimate at breaking elongation were brought forward. The attenuation of extensibility of rope during load and unload test according to 50% rated breaking load of it was discussed. The result of test and study on the elongation performance of the fiber ropes show that it may be the reference for the design, to calculate the length of the ropes used in the sea cage as traction cordage or anchor hawser.

Key words: sea cage; fiber ropes; elongation; property test

大型海水养殖网箱是我国近年来发展较快的渔业设施。纤维绳索是网箱工程系统中的一个组成部分, 作为网箱纲绳或在锚定装置中广泛应用^[1-3]。绳索的伸长性能由原材料、绳索结构、制作工艺等诸多因素决定, 是最具个性的绳索特性。国内、外绳索产品标准和企业产品样本中都很少见绳索伸长性能指标。在网箱的设计中, 须掌握绳索的伸长性能, 若设计的网箱纲绳伸长率大、长度太长, 可能致使网箱变形或走位; 若选用的锚缆伸长率太小、长度不足, 又将被风浪冲击而断裂。本实验选取用作网箱纲索和锚缆的几种规格、包括新型材料制成的绳索, 进行伸长性能的测定和分析研究, 供网箱设计参考。

1 材料与试验方法

1.1 实验材料

采用 4 种纤维制成的 6 个绳索试样, 均为国内企业产

品, 试样有关参数见表 1。

1.2 试验仪器

使用农业部绳索网具产品质量监督检验测试中心的 RHZ-1600 型试验机, 该仪器最大拉力为 1600 kN, 精度为 $\pm 1\%$, 拉伸速度为 $0 \sim 250 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。长度测量为分辨率 1 mm 的卷尺。

1.3 试验方法

(1) 纤维绳索的伸长性能(延伸性)是在拉力作用下, 产生伸长变形的特性。伸长率为在小于断裂强力的任一负荷下, 材料的伸长值对其原长度的百分率^[4]。试样的原长度是在有预加张力时, 试样中部原已做好两个标记的间距。给试样增加拉力, 两个标记间距的增量为伸长值。由伸长值除以标记的原间距, 可计算绳索的伸长率。绳索伸长试验根据国际标准^[5]和国家标准^[6], 可采用两种方法。方法一是给试样施加预加张力, 测量试样中两个标记的

收稿日期: 2004-07-27

资助项目: 国家标准修订项目(04-修-50)

作者简介: 郭亦萍(1952-) 男, 江苏南京人, 高级工程师, 从事捕捞和渔业工程研究。Tel: 021-65688396, E-mail: guo-yiping@schu.com

间距 l_1 , 在张力达到一定值时测量标记的新间距 l_3 , 计算试样的伸长率 ϵ_A (简称为 A 方法); 方法二是, 先在有预加张力时测量两个标记的间距 l_1 , 施加额定断裂强力 50% 的负荷, 加载—卸载 10 次, 维持空载 1 h 后, 重新给予预加

张力, 测量标记的新间距 l_2 , 若 $l_2 > l_1$, 试样受拉力作用后已产生了塑性伸长, 可计算出塑性伸长率 ϵ_B , 然后在张力达到一定值时测量标记的间距 l_3 , 由 l_3 与 l_2 计算伸长率 ϵ_C (简称为 B 方法)。

表 1 试样情况

Tab. 1 The details of specimens

试样编号 symbol	纤维品种 fiber materials	结构 structure	公称直径(mm) nominal diameter	线密度(ktex) linear density	捻系数 twist factor	额定断裂强力(kN) rated breaking load
1	超高分子量聚乙烯长丝 UHMWPE	8股编绞绳 8 strands plaited	15	96.0	5.5	124
2	超高分子量聚乙烯长丝 UHMWPE	3股捻绳 3 strands twisted	22	207	4.8	240
3	超高分子量聚乙烯长丝 UHMWPE	8股编绞绳 8 strands plaited	64	1750	5.5	1600
4	聚酰胺复丝 PA multifilament	3股捻绳 3 strands twisted	40	1040	4.0	294
5	聚丙烯复丝 PP multifilament	12股编绳 12 strands braided	40	848	4.3	230
6	聚丙烯单丝 PP monofilament	8股编绞绳 8 strands plaited	64	1650	4.5	480

2 结果

2.1 由方法 A 测得的绳索定负荷伸长率

测量 1、3、4、6 试样在预加张力下标记间距 l_1 , 然后施

加负荷为额定断裂强力的 10%、20%、30%、40%、50%、60% 和 75%, 测量各点的 l_3 , 计算定负荷伸长率 ϵ_A , 见表 2。相对强力为施加的负荷对额定断裂强力的百分率。

表 2 由方法 A 测得绳索的定负荷伸长率 ϵ_A Tab. 2 The ϵ_A (elongation at rating load) of ropes in method A

试样编号 symbol	项目 item	相对强力 ψ (%) relative to rated breaking load							
		R_1	10	20	30	40	50	60	75
1	张力(kN) tension	1.24	12.4	24.8	37.2	49.6	62.0	74.4	93.0
	标记间距(mm) distance of marks	1230	1257	1265	1271	1274	1279	1283	1287
	伸长率 ϵ_A (%) percentage of elongation	—	2.20	2.85	3.33	3.58	3.98	4.31	4.63
3	张力(kN) tension	16.0	160	320	480	640	800	960	1200
	标记间距(mm) distance of marks	1015	1048	1061	1068	1075	1078	1082	1085
	伸长率 ϵ_A (%) percentage of elongation	—	3.25	4.53	5.22	5.91	6.21	6.60	6.90
4	张力(kN) tension	2.00	29.4	58.8	88.2	118	147	176	220
	标记间距(mm) distance of marks	1160	1275	1335	1383	1425	1465	1500	1534
	伸长率 ϵ_A (%) percentage of elongation	—	9.91	15.1	19.2	22.8	26.3	29.3	32.2
6	张力(kN) tension	5.00	48.0	96.0	144	192	240	288	360
	标记间距(mm) distance of marks	1090	1148	1184	1208	1228	1244	1258	1280
	伸长率 ϵ_A (%) percentage of elongation	—	5.32	8.62	10.8	12.7	14.1	15.4	17.4

注: R_1 为预加张力点, 此时测得的标记间距即为 l_1

Notes: The R_1 meant the tension was equal to the pre-tension, in where the distance of two marks mid a specimen be measured wrote down as l_1

2.2 由方法 B 测得的绳索塑性伸长率及定负荷伸长率

试样 2、5 在预加张力下标记间距 l_1 分别为 1265 和 1055 mm, 以额定断裂强力的 50% 加载—卸载 10 次, 维持

空载 1 h 后, 再施加预加张力后标记间距 l_2 分别为 1323 和 1175 mm, 其塑性伸长率 ϵ_B 分别为 4.58% 和 11.4%。然后施加的负荷为额定断裂强力的 25%、35%、45%、55%、65% 和 75%, 测量各点的 l_3 , 相对于 l_2 计算定负荷伸长率 ϵ_C (表 3)。

表 3 由方法 B 测得绳索的定负荷伸长率 ϵ_C

Tab. 3 The ϵ_C (elongation at rating load) of ropes in method B

试样编号 symbol	项目 item	相对强力 ψ (%) relative to rated breaking load							
		R_1	R_2	25	35	45	55	65	75
2	张力(kN) tension	2.40	2.40	60.0	84.0	108	132	156	180
	标记间距(mm) distance of marks	1265	1323	1325	1328	1332	1337	1344	1352
	伸长率 ϵ_C (%) percentage of elongation	—	—	0.151	0.378	0.680	1.06	1.59	2.19
5	张力(kN) tension	2.00	2.00	57.5	80.5	108.5	126.5	149.5	172.5
	标记间距(mm) distance of marks	1055	1175	1235	1257	1280	1297	1323	1352
	伸长率 ϵ_C (%) percentage of elongation	—	—	5.11	6.98	8.94	10.4	12.6	15.1

注: R_2 为加载十次并维持空载 1 h 后, 再施加张力至预加张力点, 此时测得的标记间距即为 l_2

Notes: The R_2 meant the tension was equal to the pre-tension again when after complete removal of the tenth load and a period of 1 h should be allowed in where the distance of two marks mid a specimen be measured wrote down as l_2

2.3 绳索伸长率与相对强力的关系

由每个试样各测量点数据求出伸长率 ϵ_A 或伸长率 ϵ_C 与相对强力 ψ 的回归方程, ϵ_A 为幂函数方程, ϵ_C 为直线方程。结果见表 4。绳索的伸长率与相对强力的关系见图 1。

表 4 绳索试样伸长率的回归方程

Tab. 4 The regression equations of unit extension of ropes

试样编号 symbol	回归方程 regression equations	相关系数 r^2 coefficient of correlation
1	$\epsilon_A = 0.9357\psi^{0.3704}$	0.9978
3	$\epsilon_A = 1.488\psi^{0.3619}$	0.9825
4	$\epsilon_A = 2.540\psi^{0.3943}$	0.9990
6	$\epsilon_A = 1.459\psi^{0.3805}$	0.9944
2	$\epsilon_C = 0.0302\psi - 0.1296$	0.9968
5	$\epsilon_C = 0.1945\psi + 0.1175$	0.9944

2.4 加载—卸载周期试样伸长率的变化

在 5 号试样加载—卸载循环的每一周期, 测量试样标记的间距, 并计算出每次加载从预加张力(2.0 kN)至额定断裂强力 50% (115 kN) 时的伸长率, 见表 5。

在这重复加载的每一周期, 试样的伸长率在逐步缩小, 可按衰减曲线对表 5 的数据进行回归分析, 得伸长率

相对于加载周期的回归方程为 $\epsilon_D = 7.0173e^{(1.123/T)}$ (相关系数 $r^2 = 0.9918$), 式中 ϵ_D 计为百分率, T 为 1~10 的自然数。

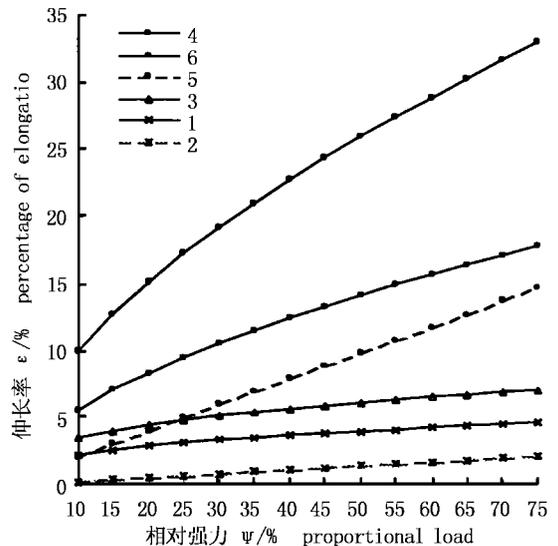


图 1 绳索的伸长率与相对强力关系

Fig. 1 The relation of percentage of elongation and proportional load of ropes

表 5 10 个加载—卸载周期试样伸长率变化

Tab. 5 The attenuation of unit extension in ten times load and unload

周期(T) cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
伸长量(mm) linear extension	221	136	113	98	90	88	87	86	83	81
伸长率(%) percentage of elongation	20.9	12.9	10.7	9.29	8.53	8.34	8.25	8.15	7.87	7.68

3 讨论

采用 A、B 两种试验方法测量绳索的伸长性能,其结果有明显区别。因此,国际标准和国家标准中要求在试验报告中明确说明测量时采用的方法是必要的。用方法 A 测得的绳索伸长率 ϵ_A , 对应于相对强力可表述为幂函数方程,其反映了新绳索在受力状态下,塑性变形和弹性变形伴生。用方法 B 测得的绳索伸长率 ϵ_C , 可表述为直线方程,表达了其弹性变形规律。用 B 方法测得的绳索伸长率 ϵ_C , 其数值小于 A 方法测得的 ϵ_A , B 方法模拟了绳索经使用过、产生了永久伸长后尚保留的伸长性能,测得的绳索伸长率,已将绳索结构、绳纱的捻度和分层、股与绳的捻度等工艺类因素的影响“过滤”了大部分,主要表现为与原材料的伸长特性相关。在大多数使用绳索固定网箱的工程设计中,应关注 B 方法测得的结果。绳索的初期延伸性能尚表现为 ϵ_A , 但为时不久,其长期工作状态中延伸特性表现为 ϵ_C 。参照表 4 的数据可见,在绳索拉伸的起始段,其塑性变形就得以大部分实现。在分析比较 A、B 两种方法测得绳索总伸长时,本实验对 2.5 号试样的标记间距变化进行验算,找到 ϵ_A 、 ϵ_B 、 ϵ_C 三者的联系,可表述为 $\epsilon_A = \epsilon_B + \epsilon_C + \epsilon_B \times \epsilon_C$ 。以 A、B 两种方法测量并得出的回归方程,可用以推算绳索的断裂伸长率,即以相对强力为 100%, 或实际的断裂强力与额定断裂强力的百分率代入计算得出,能弥补大型绳索难以直接测量断裂伸长率的不足。

由实验中观察到绳索拉伸后总伸长量可见,绳索延伸性能以原料区别的降序排列为 PA 复丝、PP 复丝、PP 单丝、UHMWPE 长丝。值得注意的是,我国绳索制造行业现已惯用的工艺方法为,纺制高倍率牵伸的纤维,放大绳索的捻系数,绳索的断裂强力虽有提高,但绳索的延伸性能却降低了。分析绳索伸长率与各段相对强力的关系,由 A 试验方法的结果证实,施加的相对强力增加时,其伸长增加,但增加率在逐渐降低。在用 B 两种方法的加载—卸载阶段,逐次施加相同的相对强力,伸长率也会逐次减低。绳索受力后总伸长呈非线性增加的现象,即绳索伸长率随相对强力的增加而降低,可归集为绳索投入使用后其初度性能的逐步降低,在初始阶段表现为伸长性能降低,在接

近使用终点时表现为断裂强力减弱,这个全过程可以理解绳索使用功能的逐渐耗散,伸长率的变化可作为考察绳索使用全过程早、中期功能耗散的指标。

加载—卸载过程中伸长率 ϵ_D 的变化,反映了重复加载对绳索伸长的影响,其与绳索原材料品种和加载的相对强力有关。伸长率相对于加载周期的回归方程应考虑自变量的定义域,周期 T 可适当扩充,但不应过度放大。据试验经验,长期重复加载会引发材料疲劳问题。如普通聚乙烯的绳索,以 50% 额定断裂强力持续加载 5 周,或以 75% 额定断裂强力加载—卸载仅 41 次循环,因材料疲劳丧失延伸性而导致断裂^[7]。这类绳索的伸长率衰减曲线,拟表述为 $\epsilon_D = Ae^{(-BT)}$ (当 $T \rightarrow \infty$, $\epsilon_D \rightarrow 0$)。为避免绳索因疲劳造成的危害,网箱设计中应加大绳索的强力安全系数,减少绳索承受 50% 额定断裂强力的频次和可能。

本实验验证了绳索试验方法国际标准、国家标准区别两种测定绳索伸长性能方法的必要性,提示了 4 种材料纤维绳索在使用中伸长性能逐渐减弱的过程,对网箱等使用绳索的场合,设计计算绳索长度及伸长率有指导作用。但因试样数量的限制,本实验未及将同规格的试样以两种试验方法作结果比较。关于重复加载试验对各种材料绳索伸长性能的影响及绳索疲劳性能试验的方法,需今后继续研究。

参考文献

- [1] 林国明,李思忍,孙庆军,等. 深海养殖网箱[P]. 中国: 99250563 1999.
- [2] 熊樟友,赵汉星,熊英,等. 一种深海网箱[P]. 中国: 02208345 2002.
- [3] 关长涛,林德芳,黄滨,等. 升降式网箱[P]. 中国: 02268503 2002.
- [4] 钟若英. 渔具材料与工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 154—156.
- [5] ISO 2307: 1990. Ropes-Determination of certain physical and mechanical properties[S]. 3—8.
- [6] 国家标准 GB/T 8834—1988. 绳索—有关物理和机械性能的测定[S]. 5—8.
- [7] Klust G. Fiber ropes for fishing gear[M]. FAO Fishing Manuals, 1983. 129—132.