文章编号:1000-0615(2016)06-0965-11

DOI: 10.11964/jfc.20150709997

## 环型和圆型钓钩的力学性能

刘海阳<sup>1,2,3,4</sup>, 宋利明<sup>1,5,6,7\*</sup>, 袁军亭<sup>8</sup>, 马骏驰8

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所,广东广州 510300;

3. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室,广东广州 510300;

4. 广东省网箱工程技术研究中心, 广东 广州 510300)

5. 国家远洋渔业工程技术研究中心,上海海洋大学,上海 201306;

6. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室,上海海洋大学,上海 201306;

7. 远洋渔业协同创新中心,上海海洋大学,上海 201306;

8. 上海海洋大学工程学院, 上海 201306;

摘要:为了在我国金枪鱼延绳钓渔业中推广应用圆型钓钩,必须掌握圆型钓钩、环型钓 钩受力时的位移和应变等力学性能。实验对环型钓钩3.4~4.5和圆型钓钩14/0~4.5采用万 能实验机进行拉伸实验,利用数字图像相关测试系统对实验过程中钓钩的位移、应变等 进行动态测量。结果显示: (1)当拉力为0~500 N、500~800 N时, 圆型钩14/0~4.5最大应 变分别为0.012、0.018、环型钩3.4~4.5最大应变分别为0.010、0.025; (2)当拉力为 0~500 N、500~800 N时,圆型钩14/0~4.5最大位移分别为5.16 mm、8.50 mm,环型钩 3.4~4.5最大位移分别为4.36 mm、6.01 mm。环型钓钩3.4~4.5为4.36 mm。对环型钓钩 3.4~4.5和圆型钓钩14/0~4.5应变、位移进行卡方检验、发现环型钓钩3.4~4.5、圆型钓钩 14/0~4.5力学性能无显著性差异。研究建议今后在金枪鱼延绳钓渔业中推广应用圆型 钓钩。

关键词:环型钓钩;圆型钓钩;力学性能;拉伸实验;延绳钓 中图分类号: S 972.3 文献标志码:A

延绳钓渔业为威胁海龟生存的主要因素之一<sup>[1]</sup>。 科研人员一直在寻找一种既能减少海龟和鲨鱼 误捕,又能保持对主捕鱼种具有较高钓获率的 有效方法。目前金枪鱼延绳钓主流钓钩为环型 钓钩(以下简称为环型钩)、圆型钓钩(以下简称为 圆型钩)<sup>[2]</sup>。圆型钩具有减少海龟误捕率、渔获物 释放后存活率较高、目标鱼种脱钩率较低等优 点<sup>[2-4]</sup>。但在延绳钓作业过程中,相对于环型 钩,由于其使用历史较短,渔民还不了解其性 能<sup>[5]</sup>,因此,未能广泛使用。国际组织为了保护 海鸟、海龟,要求使用圆型钩,且应用越来越

广泛<sup>[5]</sup>。印度学者Edappazham等<sup>[6]</sup>对七种钓钩进 行垂直拉伸,观测钓钩变形,结果表明拉伸实 验能有效分析钓钩的力学性能,钓钩直径与抗 拉强度呈正相关关系。马骏驰等门针对环型钩和 圆型钩利用ANSYS软件对其进行有限元分析, 结果表明圆型钩的强度满足使用要求,可在延 绳钓渔业中使用。本研究通过拉伸实验来观测 环型钩3.4~4.5和圆型钩14/0~4.5的位移和应变, 以对比分析这两种钩型在钓获渔获物时的位移 和应变,为在我国金枪鱼延绳钓渔业中成功推 广应用生态型圆型钩提供足够的科学依据。

通信作者: 宋利明, E-mail: lmsong@shou.edu.cn.

收稿日期: 2015-07-26 修回日期:2016-03-30

资助项目:国家远洋渔业工程技术研究中心开放基金(A-0209-13-0505-4);国家"八六三"高技术研究发展计划(2012AA092302);上 海市教育委员会科研创新项目(12ZZ168); 高等学校博士学科点专项科研基金联合(20113104110004); 海洋经济创新发 展区域示范专项(GD2013-D01-001); 国家自然科学基金(31402349)

## 1 材料与方法

#### 1.1 钓钩尺寸

本次拉伸实验的钓钩为轴径(4.5 mm)相同的 环型钩3.4~4.5和圆型钩14/0~4.5,其各部分的尺 寸<sup>[8]</sup>见表1。

#### 1.2 钓钩力学性能求解公式

(1)位移<sup>[9]</sup>:

$$D_X = X_2 - X_1 \tag{1}$$

式中, *D<sub>X</sub>*为位移, *X*<sub>2</sub>为结束位置, *X*<sub>1</sub>为初始 位置

(2)总位移:

$$D_{t} = \sqrt{D_{X}^{2} + D_{Y}^{2}}$$
(2)

式中, $D_t$ 为总位移, $D_X$ 为X方向位移, $D_Y$ 为Y方向位移

(3)应变<sup>[9]</sup>:

$$S = \frac{\Delta L}{L} \tag{3}$$

式中, *S*为应变, *L*为原长, Δ*L*为长度改变量 (4)总应变:

$$S_{t} = \sqrt{S_{X}^{2} + S_{Y}^{2}}$$
 (4)

式中, $S_t$ 为总应变, $S_X$ 为X方向应变, $S_Y$ 为Y方向 应变

(5)应变标准化:

$$S_{\max} = \operatorname{av} \left( S_{\max 1}, S_{\max 2}, S_{\max 3}, \dots \right)$$
 (5)

式中, *S*<sub>max</sub>为应变修正值, av (*S*<sub>max1</sub>, *S*<sub>max2</sub>, *S*<sub>max3</sub>,.....)为同一区域内最大应变平均值。

(6)拉力-应变关系方程:

圆型钩14/0~4.5与环型钩3.4~4.5拉伸实验, 拉力与应变之间近似呈线性关系,拟合方程形 式如下:

$$T = aS \tag{6}$$

式中,*T*为拉力值,*S*为应变值,a为弹性系数 (7)离差率:

$$\Delta M = \frac{(M_1 - M_2)}{\sqrt{M_1^2 + M_2^2}} \times 100\% \tag{7}$$

式中, $\Delta M$ 为应变或位移离差率, $M_l$ 为圆型钩的 应变或位移, $M_2$ 为环型钩的应变或位移。

#### 1.3 钓钩受力分析

鱼体作用力F可按鱼体发出的静拉力F<sub>j</sub>和鱼体急剧挣扎所发出的动拉力F<sub>d</sub>进行计算。

(1)静拉力F<sub>i</sub><sup>[7,10]</sup>:

$$F_j = 0.3W \tag{8}$$

(2)动拉力
$$F_d^{[7,10]}$$
:  
 $F_d = 0.91W$  (9)

式中, W为鱼体质量(N);

根据2013年10月—2014年5月中西印度洋大 眼金枪鱼延绳钓渔获数据,延绳钓捕获的大眼金枪 鱼的平均净重为48.78 kg,优势净重为30~80 kg,所 以选定金枪鱼体质量分别为50 kg和80 kg进行研究。

将相关数据代入式(8)和(9),得金枪鱼咬钩 后对钓钩作用的静拉力和动拉力(表2)。

#### 1.4 钓钩拉伸实验

采用WDW-100微机控制电子万能实验机进行拉伸实验,实验仪器性能参数满足国家标准<sup>[11]</sup> (表3)。

	表1 圆型钩14/0~4.5和环型钩3.4~4.5各部分尺寸
Tab. 1	Dimensions of circle hook 14/0-4.5 and ring hook 3.4-4.5

mm

	钩型 type	钩基 radical	钩柄 handle	后轴 rear- axle	后弯 rear- bend	钩底 bottom	前弯 front- bend	前轴 front- axle	尖芒 tipmans	倒刺 barb	钩腹 belly	尖高 bite	钩长 total length	钩孔 hole	头宽 head- width	轴径 shaft	钩宽 total width
3	3.4~4.5	13	18	20	15	13	17	8	14	6	21	36	57	3	8	4.5	32
1	4/0~4.5	14	18	16	25	24	14	14	11	8	18	39	57	3	8	4.5	41

#### 表 2 金枪鱼咬钩作用力

Tab. 2 The force of tuna bite

体质量/kg weight	体长/cm length	静拉力 <i>F<sub>/</sub></i> /N static tension	动拉力F <sub>d</sub> /N dynamic tension	实验用动拉力/N dynamic tension in the test
50	150	150	450	500
80	180	240	728	800

-

966

表 3	实验仪器性能参数
	ハ <u>55</u> ハ iii i I iii シ

Tab. 3 Performance parameters of experimental instrument

范围/kN	精度等级	位移/mm	准确度	调速/(mm/min)	空间/mm	机型	主机尺寸/mm	重量/kg	温度/℃	湿度/%
range	level of accuracy	displacement	accuracy	governor	space	style	dimension	weight	temperature	humidity
0~100	1级	0.01	±1%	0.01~500	600	门式	740×500×2000	500	45	20~80

实验方法 (1)用合适的钢丝绳分别固定钓钩的上下两端;(2)根据实验情况,为了保证钓钩弹性变形足够缓慢,按照《金属材料室温拉伸试验方法GB/T 228-2002》规定的速度(15 mm/min)<sup>[11]</sup>将钓钩拉伸至明显变形<sup>[12]</sup>;(3)数字图像相关测试系统采用3 Hz拍摄速度记录整个实验过程。

实验材料 金枪鱼类钓钩材料为马氏体不锈钢Cr14<sup>[7]</sup>,在表面喷涂均匀的散斑,用钢丝绳将钓钩两端在万能实验机上夹紧。根据环境调整光源,在试样前方架设DIC实验所需的相机并进行对焦,调试清晰度、亮度以保证能看到有特征的散斑点,方便图像后期处理。

数据采集 通过基于Newton-Raphson方法 的亚像素迭代法可以获得试件上各点在不同时 刻的变形参数,通过比例转换得到实际位移 值,且测定位移为钓钩散斑点变形前后相对位 移<sup>[13-14]</sup>,与钢丝绳等夹具位移无关<sup>[15]</sup>。利用基于 位移场局部最小二乘拟合的方法确定2点间的应 变值<sup>[16-17]</sup>。

数据处理 当拉力为500 N和800 N时,分 别对圆型钩14/0~4.5和环型钩3.4~4.5拉伸实验点 分析方法实测的应变、位移数据进行卡方检验<sup>[18]</sup>, 检验2种钓钩力学性能是否存在显着性差异。

## 2 结果

由理论分析得,金枪鱼最大动拉力约800 N, 故此实验中对拉力0~800 N的情况进行分析。当 圆型钩14/0~4.5拉力值分别为500 N、800 N时, 拉伸实验时间分别对应第20 s、第28 s(图1-b、c)。 当环型钩3.4~4.5拉力值分别为500 N、800 N时, 拉伸实验时间分别对应第15 s、第18 s(图1-e、f)。 图1-a、图1-d分别为钓钩拉伸实验初始状态,并 给予钢丝绳适当预紧力,避免钢丝绳拉伸试验 时产生较大变形。





#### 2.1 圆型钩 14/0~4.5

由于钩底、钩后弯应变较大,为研究重点, 且钢丝绳随着拉力增大,向钓钩尖芒方向移动,导致无法分析,故选点分析区域为钢丝绳 与钓钩接触点后侧。位移运算只标注单点,此 点位移值为相邻散斑点相对位移值。应变运算 需对应2点,且选点时,选择水平两点测X方向 应变;选择竖直两点测Y方向应变。选点顺序皆 为由下向上选取。

位移分析 圆型钩14/0~4.5最下侧为第 1点,最上侧为第18点。选择4个区域(钩底前 侧、钩底后侧、钩后弯和钩后弯后侧)具有代表 性的4点(点1、5、12和18)进行位移分析(图2-a)。 环型钩3.4~4.5最下侧为点1,最上侧为点12(图2-b)。 选择4个区域(钩底前侧、钩底后侧、钩后弯、钩 后弯后侧)具有代表性的4个点(点1、6、9和12)



图 2 圆型钩14/0~4.5(a)、环型钩3.4~4.5(b) 位移分析选点



进行位移分析。

J

圆型钩14/0~4.5点1、5、12、18,总位移、 X方向位移、Y方向位移变化规律相似(图3)。拉 力0~800N范围内,拉力-总位移近似为线性关系<sup>[19]</sup>。 点1、点5比点12、点18总位移斜率略小。即当拉 力值相同时,钩后弯向钩底方向总位移依次减小。 即钩底前侧位移较大,钩底后侧位移较小。

应变分析 X、Y方向选点见图4和图5。 X、Y方向拉力-应变关系曲线见图6,当拉力为 0~800 N时,X方向点A-B、点C-D、点E-F、点G-H拉力-应变近似为线性关系,分别为

点A-B: 
$$T=-11.50S_X, R^2=0.93$$
 (10)

点C-D: T=-18.89S<sub>X</sub>, R<sup>2</sup>=0.96 (11)

点E-F:  $T=-27.51S_X, R^2=0.94$  (12)

点G-H: 
$$T=-17.03S_X, R^2=0.99$$
 (13)



图 3 圆型钩14/0~4.5 X、Y方向位移和总位移拉力-位移关系

Fig. 3 Force-displacement relationship of circle hook 14/0-4.5 in X,Y direction and total displacement



图 4 圆型钩14/0~4.5 X方向应变分析选点

Fig. 4 Points selection of strain analysis in X direction for circle hook 14/0-4.5





Fig. 5 Points selection of strain analysis in Y direction for circle hook 14/0-4.5



图 6 圆型钩14/0~4.5拉力-应变关系

Fig. 6 Tension-strain relationship of circle hook 14/0-4.5

由式10~13得,  $a_{A-B}>a_{G-H}>a_{C-D}>a_{E-F}$ , 即当拉 力相同时, X方向应变大小区域顺序为: 钩底后 侧>钩后轴>钩后弯前侧>钩后弯后侧。

由图6-b得,当拉力为0~800 N时,Y方向点 A-B、点C-D、点E-F、点G-H拉力-应变近似为线 性关系。分别为

点A-B: $T=11.56S_S, R^2=0.91$ (14
----------------------------------

- 点C-D:  $T=56.59S_Y, R^2=0.94$  (15)
- 点E-F:  $T=41.37S_Y, R^2=0.88$  (16)
- 点G-H: T=24.07S<sub>Y</sub>, R<sup>2</sup>=0.93 (17)
- 由式14~17得, a<sub>A-B</sub><a<sub>G-H</sub><a<sub>E-F</sub><a<sub>C-D</sub>, 即当拉

力相同时,Y方向应变大小区域顺序为:钩底后侧>钩后轴>钩后弯后侧>钩后弯前侧。

#### 2.2 环型钩3.4~4.5

位移分析 环型钩3.4~4.5点1、6、9、 12的拉力和总位移的变化规律相似(图7)。拉力 0~800 N范围内,拉力-总位移近似呈线性关系。 总位移点1、点6斜率相对较大,点9、12斜率相 对较小,即当拉力值相同时,钩底前侧位移相 对较大,钩底后侧位移相对较小。点1、6在X方 向的位移趋近于零,点9、12在X方向的位移较



图 7 环型钩3.4~4.5 点分析方法X、Y方向和总位移拉力-位移关系

Fig. 7 The ring hook 3.4–4.5 force-displacement relationship in X,Y direction and total displacement by site selection method

大且为正方向。即钩底主要为负Y方向变形,钩 弯既存在负Y方向变形又存在正X方向变形。

应变分析 环型钩3.4~4.5 X、Y方向应变 分析选点,以及X、Y方向拉力-应变曲线分别见 图8图9和图10。

由图10-a得,当拉力为0~800 N时,X方向应 变点A-B、点C-D、点E-F、点G-H拉力-应变近似 为线性关系,分别为

点A-B:	$T = -48.72S_X, R^2 = 0.98$	(18)
	-	

- 点C-D:  $T=-36.64S_X, R^2=0.99$  (19)
- 点E-F:  $T=-63.51S_X, R^2=0.97$  (20)
- 点G-H:  $T=-69.63S_X, R^2=0.90$  (21)

由式18-21得, a<sub>C-D</sub>>a<sub>A-B</sub>>a<sub>E-F</sub>>a<sub>G-H</sub>,即当拉 力相同时, X方向应变大小区域顺序: 钩后弯前 侧>钩底后侧>钩后弯后侧>钩后轴。

由图10-b得,当拉力为0~800 N时,Y方向应 变点A-B、点C-D、点E-F、点G-H拉力-应变近似 为线性关系,分别为

点A-B: 
$$T=16.85S_Y, R^2=0.99$$
 (22)

点C-D: 
$$T=27.15S_Y, R^2=0.99$$
 (23)

- 点E-F: R=114.27Sy, R<sup>2</sup>=0.98 (24)
- 点G-H: T=82.84S<sub>Y</sub>, R<sup>2</sup>=0.97 (25)

由式22-25得, a<sub>A-B</sub><a<sub>C-D</sub><a<sub>G-H</sub><a<sub>E-F</sub>, 即当拉

力相同时,Y方向应变大小区域顺序为:钩底后



图 8 环型钩3.4~4.5X方向应变分析选点 Fig. 8 Points selection of strain analysis in X direction for ring hook 3.4-4.5



图 9 环型钩3.4~4.5Y方向应变分析选点 Fig. 9 Points selection of strain analysis in Y direction for ring hook 3.4-4.5





Fig. 10 Tension-strain relationship of ring hook 3.4-4.5

侧>钩后弯前侧>钩后轴>钩后弯后侧。

圆型钩14/0~4.5、环型钩3.4~4.5点分析结果 见表4。

#### 2.3 两种钓钩拉力-应变关系比较

环型钩3.4~4.5和圆型钩14/0~4.5拉力-应变方 程弹性系数对照见图11,点A-B、点C-D、点E-F、 点G-H拉力-应变方程弹性系数关系分别为 环型钩3.4~4.5 X方向: y=-19.70x (26)
环型钩3.4~4.5 Y方向: y=24.84x (27)
圆型钩14/0~4.5 X方向: y=-6.66x (28)
圆型钩14/0~4.5 Y方向: y=11.50x (29)

由式26~29得,环型钩3.4~4.5 X、Y方向拉力-应变方程弹性系数绝对值皆大于圆型钩 14/0~4.5,即当拉力为500~800 N时,圆型钩 14/0~4.5应变较大。且由钩底至钩后轴变化时,

971

	1 a.b. 4	Fourt analysis summary for circle nook 14/0-4.5 and ring nook 5.4-4.5									
	拉力/N	方向		应	变 strain	位移 displacement					
钩型 type	tension	direction	值/mm 点 value points		最大区域 max area	值/mm value	点 points	最大区域 max area			
	0~500	Х	-0.0435	A-B	钩底后侧 bottom behind	-3.51	5	钩底后侧 bottom behind			
圆型钩14/0~4.5 circle hook		Y	0.0433	A-B	钩底后侧 bottom behind	-3.92	1	钩底 bottom			
	500~800	Х	-0.0696	A-B	钩底后侧 bottom behind	-5.2	5	钩底后侧 bottom behind			
		Y	0.0692	A-B	钩底后侧 bottom behind	-6.65	1	钩底 bottom			
	0–500	Х	-0.0136	C-D	后弯前侧 bend foreside	2.98	12	后弯 bend			
环型钩3.4~4.5 ring hook		Y	0.0297	A-B	钩底后侧 bottom behind	-3.18	1	钩底 bottom			
	500~800	Х	-0.0218	C-D	后弯前侧 bend foreside	3.66	12	后弯 bend			
		Y	0.0475	A-B	钩底后侧 bottom behind	-4.77	1	钩底 bottom			

#### 表 4 圆型钩14/0~4.5和环型钩3.4~4.5点分析汇总

lusis summany for single book 14/0 45 and sing book 2 **T** 1 . Daint an

◆环型钩3.4~4.5 X方向 ring hook 3.4~4.5 in X direction

■环型钩3.4~4.5 Y方向 ring hook 3.4~4.5 in Y direction

▲ 圆型钩14/0~4.5 X方向 circle hook 14/0~4.5 in X direction ×圆型钩14/0~4.5Y方向 circle hook 14/0~4.5 in Y direction 120





Fig. 11 The comparison chart of tension-strain equation elasticity coefficients between ring hook 3.4-4.5 and circle hook 14/0-4.5

应变差距呈逐渐增大的趋势。

圆型钩14/0~4.5与环型钩3.4~4.5力学性能 2.4 比较

拉力为0~500 N和500~800 N时,环型钩3.4~ 4.5与圆型钩14/0~4.5拉伸实验结果对比见表5, 当拉力为0~500 N和500~800 N时,圆型钩 14/0~4.5的最大应变区域为钩后弯,而环型钩 3.4~4.5为钩后弯后侧,说明当所受拉力相同时, 最大应变区域略有不同,环型钩比圆型钩略 后,更靠近后轴处。最大位移圆型钩14/0~4.5 发生在钩底及其前侧,而环型钩3.4~4.5发生在钩 底,说明圆型钩最大位移比环型钩更加靠近前

http://www.scxuebao.cn

轴区域,即圆型钩尖芒最大位移较大。

拉力为0~500 N、500~800 N时,圆型钩 14/0~4.5最大应变分别为0.012、0.018,环型钩 3.4~4.5分别为0.010、0.025, 应变离差率分别为 12.80%、-22.72%; 圆型钩14/0~4.5最大位移分 别为5.16 mm、8.50 mm,环型钩3.4~4.5分别为 4.36 mm、6.01 mm, 位移离差率分别为11.84%、 23.92%。拉力增大时2种钓钩最大应变、最大位 移差距增大。对2种钓钩力学性能进行卡方检验 (P>0.05),即钓钩性能无显著性差异。即钩轴直 径、钓钩大小相同时,2种钓钩的力学性能无显 著性差异。

表 5	坏型钩3.4~4.5与圆型钩14/0~4.5拉伸实验结果对照表	
-----	---------------------------------	--

....

Tab. 5 Tensile test average result for ring hook 3.4-4.5 and circle hook 14/0-4.5

拉力/N tension	最值 max value	圆型钩14/0~4.5 circle hook	区域 area	环型钩3.4~4.5 ring hook	区域 area	离差率/% deviation	Р
0~500	最大应变 max strain	0.012	后弯 bend	0.010	后弯后侧 bend behind	12.80	0.91
	最大位移/mm max displacement	5.16	钩底前侧 bottom foreside	4.36	钩底 bottom	11.84	0.93
500~800	最大应变 max strain	0.018	后弯 bend	0.025	后弯后侧 bend behind	-22.72	0.82
	最大位移/mm max displacement	8.50	钩底 bottom	6.01	钩底后侧 bottom behind	23.92	0.78

### 3 讨论

#### 3.1 应变

当实验拉力为500 N时,圆型钩14/0~4.5最大 应变大于环型钩3.4~4.5最大应变。实验拉力为 800 N时, 圆型钩14/0~4.5最大应变小于环型钩 3.4~4.5最大应变。钓钩拉伸实验模型可看作悬臂 梁模型<sup>[9]</sup>。钓钩受力点在钩底处,固定点在钩轴 上端钩环处。在拉伸实验初期,如实验拉力为 0~500 N时, 圆型钩14/0~4.5最大应变为0.012, 大 于环型钩3.4~4.5最大应变(0.010)。而随着拉力增 大,钓钩结构发生变化,应变也随之改变。由 于环型钩自然垂下时,钩底后侧为几何最低 点, 故拉伸实验初始状态时与钢丝绳接触点为 钩底偏后侧区域。当拉力增大时钩底被拉弯, 钢丝绳由钩底后侧迅速滑落至钩底及钩底前 侧,力矩增大相对较快。即环型钩后弯、后轴 区域应变增大较快。同理,由于圆型钩自然垂 下时,钩底前侧为几何最低点,故拉伸实验初 始状态时与钢丝绳接触点为钩底偏前侧区域。 当拉力增大时钩底被拉弯,但钢丝绳前侧为前 弯阻挡区域,且圆型钩钩前弯向钩内侧倾斜, 有效阻止钢丝绳向前下侧滑动,故力矩相对环 型钩增大较慢。即圆型钩后弯、后轴区域应变 增大较慢。故实验拉力为800N时,圆型钩 14/0~4.5最大应变为0.018,小于环型钩3.4~4.5最 大应变0.025。这与马骏驰<sup>[7]</sup>ANSYS分析结果和 Edappazham<sup>69</sup>不同拉力值的拉伸结果相一致。

#### 3.2 位移

当拉力相同时,圆型钩14/0~4.5比环型钩 3.4~4.5位移大。初始状态时,圆型钩14/0~4.5受 力点比环型钩3.4~4.5更加靠近钩前弯区域。且圆 型钩14/0~4.5尖高为39 mm,大于环型钩的尖高 (36 mm),拉弯角度相同时,尖高越长,绝对位 移越大。圆型钩14/0~4.5钩前轴向钩内侧倾斜, 角度约为20°, 且尖芒向钩内侧弯曲, 弯度较 大,约为60°。而环型钩3.4~4.5钩前轴、尖芒为 竖直向上。综上,圆型钩14/0~4.5前弯、前轴首 先拉直而后向钩外侧弯曲,而环型钩需首先将 钩底拉平,而后逐步过渡到钩后弯。因此导致 当实验拉力相同时,圆型钩14/0~4.5比环型钩 3.4~4.5位移大。这与马骏驰<sup>[7]</sup>ANSYS模拟结果和 Edappazham<sup>[6]</sup>拉伸实验得出的5种钓钩的变形结 果相一致。

# 3.3 2种钓钩拉力-应变方程弹性系数不同的原因分析

当拉力为0~800 N时,环型钩3.4~4.5 X、Y方 向拉力-应变方程弹性系数绝对值大于圆型钩 14/0~4.5。由于钓钩为含弧度复杂构件,拉伸实 验时钓钩应力为拉压应力和弯曲应力等组合应 力,故并非反映钓钩应力-应变的力学性能<sup>[20]</sup>, 只能反映拉力与应变关系, 且差异性主要由圆 型钩、环型钩的结构尺寸引起。当后弯弧长半 径越大时,固定点与受力点水平距离越长,后 弯及后轴区域力矩越大。圆型钩14/0~4.5与环型 钩3.4~4.5钩轴直径相同,但圆型钩14/0~4.5与环 型钩3.4~4.5的钩长比为1:1,钩宽比为1.28:1,圆 型钩14/0~4.5钩宽比环型钩3.4~4.5增大了28%。 环型钩后轴相对较长、弯度较小,后弯弧长半 径较小, 弧度较大, 由后轴过渡到钩底较快。 而圆型钩后轴相对较短,后弯弧长半径较大, 弧度较小且由后轴平滑过渡到钩底。导致圆型 钩14/0~4.5后弯及后轴比环型钩3.4~4.5应变增长 较快,即在钩底向钩后轴方向上,应变差距越 来越大。而由图11得,圆型钩14/0~4.5点C-DY方 向拉力-应变弹性系数比环型钩3.4~4.5大,这是 由于圆型钩后弯前侧区域圆弧及曲率半径皆大 于环型钩(图1),钩后弯前侧受拉面积增大,导 致应变较小。

## 3.4 2种钓钩力学性能无显著性差异的原因分 析

本次实验中拉力机皆对钓钩匀速拉伸,且对 钓钩的力作用点相同。由于钓钩总体结构具有 几何相似性,导致2种钩型在钩轴直径相同的情 况下应变、位移变化趋势分布基本一致,因此 两种钓钩力学性能的卡方检验结果无显著性差 异,即生态型钓钩-圆型钩14/0~4.5强度满足作业 要求。故本实验建议今后在金枪鱼延绳钓渔业 中推广应用圆型钩以利于减少海龟误捕。

#### 参考文献:

- [1] Coelho R, Santos M N, Fernandez-Carvalho J, et al.
   Effects of hook and bait in a tropical northeast Atlantic pelagic longline fishery-Part I: Incidental sea turtle bycatch[J]. Fisheries Research, 2015, 164: 302-311.
- [2] Hall M A, Alverson D L, Metuzals K I. By Catch: Problems and solutions[J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 41(1-6): 204-219.
- [3] Serafy J E, Cooke S J, Diaz G A, *et al*. Circle hooks in commercial, recreational, and artisanal fisheries: Research status and needs for improved conservation and management[J]. Bulletin of Marine Science, 2012, 88(3): 371-391.
- [4] Andraka S, Mug M, Hall M, et al. Circle hooks: Developing better fishing practices in the artisanal longline fisheries of the Eastern Pacific Ocean[J]. Biological Conservation, 2013, 160: 214-224.
- [5] 宋利明, 刘海阳, 马骏驰. 金枪鱼延绳钓钓钩和起重机
   吊钩材料及力学性能研究进展[J]. 渔业现代化, 2014,
   41(4): 54-57.

Song L M, Liu H Y, Ma J C. A review about materials and mechanics of longline hook and lifting hook [J]. Fishery Modernization, 2014, 41(4): 54-57 (in Chinese).

- [6] Edappazham G, Thomas S N, Meenakumari B, *et al.* Physical and mechanical properties of fishing hooks[J].
   Materials Letters, 2008, 62(10-11): 1543-1546.
- [7] 马骏驰,袁军亭,宋利明.基于有限元分析的金枪鱼延
   绳钓钓钩力学性能研究[J].水产学报,2015,39(11):
   1742-1751.

Ma J C, Yuan J T, Song L M. Mechanical properties of tuna longline hook based on finite element analysis method[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(11): 1742-1751 (in Chinese).

[8] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.QB/T
 2927.1-2007 钓具第一部分:钓鱼钩[S].北京:中国轻工业出版社,2008.

National Development and Reform Commission. QB/T 2927.1-2007 Fishing Tackle Part 1: Fishing Hooks[S]. Beijing: China Light Industry Press, 2008 (in Chinese).

[9] 单辉祖. 材料力学(I)[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2004.

> Shan H Z. Mechanics of Materials (I)[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese).

[10] 许柳雄. 渔具理论与设计学[M]. 北京: 中国农业出版 社, 2005: 245-247.

> Xu L X. Theory and Design of Fishing Gear[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 245-247 (in Chinese).

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T
 228-2002 金属材料室温拉伸试验方法[S]. 北京: 中国
 标准出版社, 2002.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 228-2002 Metallic materials—Tensile testing at ambient temperature[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002 (in Chinese).

- [12] Wu K, Lucas P W, Gunaratne A, *et al.* Indentation as a potential mechanical test for textural noodle quality[J].
   Journal of Food Engineering, 2016, 177: 42-49.
- [13] Gao Z R, Xu X H, Su Y, *et al.* Experimental analysis of image noise and interpolation bias in digital image correlation[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 81: 46-53.
- [14] Bhattacharjee S, Deb D. Automatic detection and classification of damage zone(s) for incorporating in digital image correlation technique[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 82: 14-21.
- [15] Hassan G M, MacNish C, Dyskin A, et al. Digital image correlation with dynamic subset selection[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 84: 1-9.
- [16] Mehdikhani M, Aravand M, Sabuncuoglu B, *et al.* Fullfield strain measurements at the micro-scale in fiberreinforced composites using digital image correlation[J]. Composite Structures, 2016, 140: 192-201.
- [17] Tao R, Moussawi A, Lubineau G, *et al*. Accurate kinematic measurement at interfaces between dissimilar

materials using conforming finite-element-based digital image correlation[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2016, 81: 103-112.

[18] 薛毅,陈立萍.统计建模与R软件[M].北京:清华大学 出版社,2007:232-234.

> Xue Y, Chen L P. Statistical modeling and R software[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 232-234 (in Chinese).

- [19] Wang X C, Ahn J, Kaboglu C, *et al.* Characterisation of composite-titanium alloy hybrid joints using digital image correlation[J]. Composite Structures, 2016, 140: 702-711.
- [20] He T R, Liu L, Makeev A, et al. Characterization of stress-strain behavior of composites using digital image correlation and finite element analysis[J]. Composite Structures, 2016, 140: 84-93.

## The mechanical properties of ring hook and circle hook

LIU Haiyang<sup>1, 2, 3, 4</sup>, SONG Liming<sup>1, 5, 6, 7\*</sup>, YUAN Junting<sup>8</sup>, MA Junchi<sup>8</sup>

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

3. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization,

Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;

4. Guangdong Cage Engineering Research Center, Guangzhou 510300, China;

5. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

6. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
 College of Engineering Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract**: In order to popularize the circle hook in Chinese tuna longline fisheries, the mechanical properties of ring hook and circle hook must be understood. The tensile test was conducted by the universal testing machine. The strain and displacement of the ring hook 3.4-4.5 and circle hook 14/0-4.5 during the tensile test were measured by the digital image correlation system. Results showed that: (1) While the tension acted on the circle hook 14/0-4.5 and ring hook 3.4-4.5 was 500N and 800N, the highest strain of circle hook 14/0-4.5 was 0.012 and 0.018, and that of the ring hook 3.4-4.5 was 0.010, and 0.025, respectively; (2) While the tension acted on the circle hook 14/0-4.5 and ring hook 3.4-4.5 was 500N and 800N, the highest displacement of circle hook 14/0-4.5 was 5.16mm and 8.50mm, and that of the ring hook 3.4-4.5 was 4.36mm and 6.01mm, respectively. Results of Chi-square test showed that there were no significant differences in the strain or displacement between circle hook 14/0-4.5 and ring hook 3.4-4.5 (P>0.05). Results suggested that the circle hook 14/0-4.5 should be popularized in the Chinese tuna longline fisheries.

Key words: ring hook; circle hook; mechanical property; tensile test; longline

Corresponding author: SONG Liming. E-mail: lmsong@shou.edu.cn

**Funding projects**: National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries Open Funding Project (A-0209-13-0505-4); National High Technology Research and Development Program (2012AA092302); Shanghai Education Commission research and innovation project (12ZZ168); Doctoral Program of Higher Joint Research Fund (20113104110004); Innovation and development of marine economy demonstration area special project (GD2013-D01-001); National Natural Science Foundation of China (31402349).