

# 基于有限元分析的漂流延绳钓渔具 作业状态数值模拟\*

宋利明<sup>1</sup> 张智<sup>1</sup> 袁军亭<sup>2</sup> 李玉伟<sup>1</sup>

(1. 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;  
2. 上海海洋大学工程学院 上海 201306)

**提要** 基于有限元理论,以 2008 年 9 月—2009 年 1 月海上实测的钓钩深度、三维海流数据为基础,建立并验证了延绳钓三维力学模型,并利用 Matrix Laboratory (MATLAB)软件进行模型数值计算编程。结果表明:(1) 建立的延绳钓力学模型,可以较快地计算出任何三维分层海流作用下延绳钓的三维形状和钓钩的深度;(2) 圆柱体与流向垂直时的阻力系数  $C_{N90}$  与研究对象的雷诺数( $Re$ )和流态有关;(3) 通过成对双样本均值分析  $t$ -检验,实测深度与数值深度(20%站点的钓钩)无显著性差异( $P = 0.43 > 0.05$ );(4) 利用悬链线方程赋予初值、添加赋值调整程序可提高计算的速度。

**关键词** 有限元分析, 延绳钓, 数值模拟  
**中图分类号** Q958

延绳钓渔具周围的流态及水动力会影响其形状和钓钩深度。延绳钓渔具的作业深度决定了渔具对目标鱼种的捕捞效率和选择性,也是研究物种环境偏好的基础(宋利明等, 2004, 2006, 2009; Song *et al.*, 2008, 2009, 2010)。因此,了解延绳钓渔具的形状与海洋环境因素和作业参数之间的相互关系,掌握延绳钓渔具的作业深度,都十分重要。为了掌握延绳钓作业时的形状及钓钩所达到的深度,学者们对渔具形状、钓钩深度与海洋环境的关系进行了研究(Mizuno *et al.*, 1999; 万荣等, 2004; Bigelow *et al.*, 2006; Yoshinori *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2008, 2009)。随着计算机技术的发展,数值模拟已应用到渔具研究中(Suzuki, 2003; Lee *et al.*, 2005; 袁军亭, 2007<sup>1)</sup>; Lee *et al.*, 2008; 宋利明, 2008<sup>2)</sup>; Kim *et al.*, 2009), 这些研究应用有限元分析和 MATLAB 数值模拟分析对渔具的形状与海洋环境的关系进行数值模拟和可视化,但在研究中

所用的海流为均匀定常流,仅对延绳钓的干线进行模拟,且模型的计算速度有待进一步提高。本文应用有限元分析对漂流延绳钓渔具的浮子绳、干线和支线建立力学模型,并将海上实测的数据(包括不同深度的三维海流数据、作业参数和渔具参数)输入到模型中,利用 MATLAB 进行数值模拟计算(Reacktenwald *et al.*, 2000),可更好地掌握延绳钓的形状和钓钩深度。

## 1 材料与方 法

### 1.1 数据来源

调查时间为 2008 年 9 月—2009 年 1 月;调查渔船为超低温延绳钓渔船“新世纪 86 号”,总长 56.4m、总吨位为 497.00t、主机功率为 882.00kW;调查海域为印度洋中部(11°—3°S, 61°—69°E),共 24 个站点,具体见图 1;调查仪器为微型温度深度计 TDR-2050 (测定钓钩实际深度,共 188 枚)和挪威 NORTECK 公

\* 国家高技术研究发展计划(863)资助,2007AA092202 号;上海海洋大学博士科研启动基金,B-8202-08-290 号;农业部远洋渔业探捕项目资助,D-8006-08-0058 号;上海市重点学科建设项目资助,S30702 号。宋利明,博士,教授,博士生导师,E-mail: lmsong@shou.edu.cn

1) 袁军亭,2007. 网片的三维力学模型研究及应用. 上海:上海水产大学博士学位论文,1—132

2) 宋利明,2008. 印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)栖息环境综合指数——基于延绳钓渔业调查数据. 上海:上海海洋大学博士学位论文,1—209

收稿日期:2010-03-12, 收修改稿日期:2010-05-20

司的 2000m 深度量程的 Aquadopp2000 型三维海流计 (测定不同水层的三维海流数据, 每 50m 为 1 层, 共 7 层, 0—350m)。调查的渔具结构如下: 浮子直径为 360mm; 浮子绳直径为 5.5mm, 长 40m; 干线为 8 股编织的尼龙复丝, 直径为 5.4mm; 支线总长 52m, 第一段为直径 4mm 的硬质聚丙烯, 长 2m 左右, 第二段为直径 2.5mm 的单丝, 长 23m; 第三段为直径 2.2mm 的单丝, 长 15m; 第四段为直径 2.7mm 的包芯线, 长 5m; 第五段为直径 1.3mm 的单丝, 长 7m, 下接钩高、钩宽分别为 63mm、36mm 的环型钩。

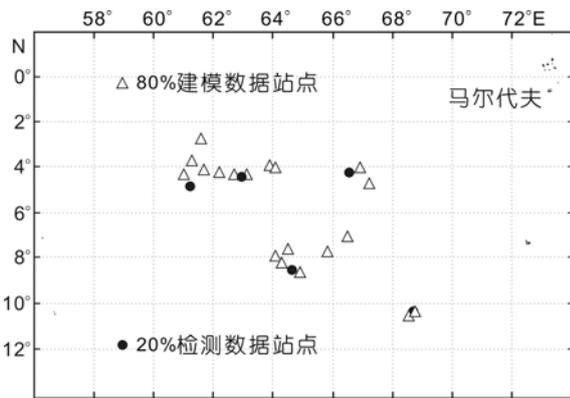


图 1 调查站点  
Fig.1 Survey positions

1.2 延绳钓力学模型的建立、参数的确定

本文以漂流延绳钓渔具中的一组, 即两个浮子间的渔具作为研究对象(下同)。在作业中, 浮子绳、干线和支线受到海流作用力和外加载荷时, 会产生变形, 从而影响钓钩的深度。根据有限元分析方法, 将变形后的浮子绳、干线和支线离散成有限个圆柱体状的杆单元, 而杆单元之间用铰链联接。由此整个延绳钓渔具可看成许多杆单元通过铰链约束连接起来的系统, 各个铰链即杆单元的节点。为了简化力学模型, 假定:

- (1) 延绳钓放入海水中、达到稳定状态后, 海流相同, 延绳钓每两个浮子之间的受力状态相同, 可用其中的一组代表本次作业的延绳钓渔具;
- (2) 两个浮子始终漂浮于水面;
- (3) 在某一时段中, 各水层海流的速度大小与方向不变, 渔具经过一系列的位置变化, 最终干线达到

稳定的平衡状态。此时可将各柔性杆单元刚化为刚性杆单元;

(4) 浮子绳、干线和支线绝对柔软, 只能承受拉力(张力), 不能承受压力、扭矩和弯矩。杆单元属二维轴向拉杆, 且内力只有轴向拉力;

(5) 杆单元是圆柱形, 其水阻力系数随着海流与构件的相对方向的变化而变化。杆单元之间的节点集中了杆单元的全部质量, 不考虑其水阻力因素。

模型中各杆单元所受到的力为重力  $G$  和浮力  $F_j$  (水中重为  $G_w$ )、水动力(包括阻力  $R_D$  和升力  $R_L$ )、相邻杆单元的拉力  $T$ (图 2)。

将杆单元所受的水动力、水中重平均分配至杆单元端部的两个节点上。对所有节点, 除了杆单元的水动力和水中重外, 还受到与节点相连接的各杆单元的拉力作用, 其中浮子绳、支线相对于干线较短, 视为一个杆单元, 取最长的第二段的直径作为整根支线的直径进行力学分析, 对于支线, 杆单元末端的节点只受到干线方向的拉力。根据力学平衡原理, 对任意节点  $i$ , 列静力平衡方程(周应祺等, 2000; 袁军亭, 2007<sup>1)</sup>; 宋利明, 2008<sup>2)</sup>):

$$\sum_{j=n_i(i)}^{n_k(i)} \left[ \vec{T}_{ij} + \frac{1}{2} (\vec{R}_{Dij} + \vec{R}_{Lij} + G_{wij} \vec{e}_z) \right] = 0 \quad (1)$$

$$T_{ij} = E \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) \frac{\Delta l_{ij}}{l_{ij}} \quad (2)$$

$$\Delta l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} - l_{ij} \quad (3)$$

$$R_{Dij} = \frac{1}{2} \rho_w \cdot d \cdot v^2 \cdot C_D \quad (4)$$

$$C_D = \sin^3 \alpha \cdot C_{N90} + \pi \cdot C_f \quad (5)$$

$$R_{Lij} = \frac{1}{2} \rho_w \cdot d \cdot v^2 \cdot C_L \quad (6)$$

$$C_L = \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot C_{N90} \quad (7)$$

$$G_{wij} = (\rho - \rho_w) \cdot g \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l_{ij} \quad (8)$$

其中,  $k$  为与节点相邻节点总数,  $T_{ij}$  为杆单元的张力,  $R_{Dij}$  为杆单元  $ij$  的水阻力,  $R_{Lij}$  为杆单元  $ij$  的升力,

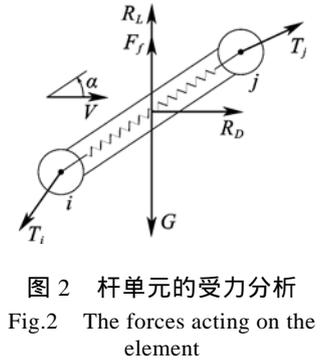


图 2 杆单元的受力分析  
Fig.2 The forces acting on the element

1) 袁军亭, 2007. 网片的三维力学模型研究及应用. 上海: 上海水产大学博士学位论文, 1—132  
2) 宋利明, 2008. 印度洋大眼金枪鱼(Thunnus obesus)栖息环境综合指数——基于延绳钓渔业调查数据. 上海: 上海海洋大学博士学位论文, 1—209

$G_{wij}$  为杆单元的水中重,  $\vec{e}_z$  为  $Z$  坐标轴的单位向量,  $E$  为尼龙 1010 的弹性模量, 取  $2.83 \times 10^8 \text{ Pa}$ ,  $d$  为杆单元直径,  $\Delta l_{ij}$  为杆单元的伸长量,  $l_{ij}$  为杆单元的长度,  $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$  为杆单元节点的位置坐标,  $\rho_w$  为海水的密度,  $v$  为各层海流速度(将海平面下 0—350m 深度海流分为 7 层, 每层 50m, 各层海流均不相同),  $C_D$  为水阻力系数,  $\alpha$  为圆柱体的轴线与来流的夹角(图 2),  $C_f$  为粘滞力引起的阻力系数, 取  $\pi \cdot C_f = 0.02$  (周应祺等, 2000),  $C_L$  为升力系数,  $C_{N90}$  为圆柱体与流向垂直时的阻力系数, 本研究中雷诺数( $Re$ )为  $0-4.37 \times 10^3$ , 因此, 可不考虑振动, 也不会产生卡门涡列,  $\rho$  为网线的密度。

以两个浮子间的中轴为  $X$  坐标轴的原点, 以垂直于两浮子连线的一方为  $Y$  轴的正方向, 以竖直向下为  $Z$  轴的正方向, 建立坐标系(图 3), 由于建立的坐标系与大地坐标系不同, 有一定的夹角, 三维海流计测定的数据是以大地坐标系为基准的, 因此需计算得出海流在  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  坐标轴上的分量, 得出各个水层在  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  坐标轴上水流速度的分量。若海流方向与初始状态延绳钓所在平面( $XOZ$ )的法线夹角为  $\beta$ , 式(1)沿三个坐标轴的投影方程为:

$$\sum_{j=n_1(i)}^{n_k(i)} \left[ T_{ij} \frac{x_j - x_i}{l_{ij}} + \frac{1}{2} (\vec{R}_{Dij} + \vec{R}_{Lij} + \vec{G}_{wij}) \vec{e}_x \right] = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{j=n_1(i)}^{n_k(i)} \left[ T_{ij} \frac{y_j - y_i}{l_{ij}} + \frac{1}{2} (\vec{R}_{Dij} + \vec{R}_{Lij} + \vec{G}_{wij}) \vec{e}_y \right] = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{j=n_1(i)}^{n_k(i)} \left[ T_{ij} \frac{z_j - z_i}{l_{ij}} + \frac{1}{2} (\vec{R}_{Dij} + \vec{R}_{Lij} + \vec{G}_{wij}) \vec{e}_z \right] = 0 \quad (11)$$

其中,  $\vec{e}_x$ 、 $\vec{e}_y$  和  $\vec{e}_z$  分别为  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  坐标轴的单位向量。

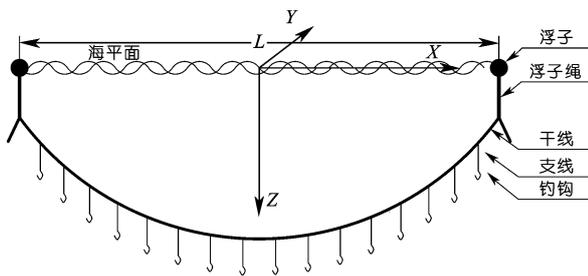


图 3 延绳钓数值计算坐标系统示意图

Fig.3 Coordinates system for the numerical calculation

假定延绳钓渔具在未受水动力作用时的初始状态为悬链线, 并选用悬链线方程(宋利明, 2008<sup>1)</sup>;

Song *et al.*, 2008, 2009)对延绳钓的三维空间位置进行赋值, 并添加了赋值调整程序(对各输入参数如三维海流数据及  $C_{N90}$  值进行  $\pm 5\%$  的调整)对赋值环境进行优化。将以上各节点的静力平衡方程联立, 方程组中的未知量为各节点的位置坐标。根据最小二乘法的优化算法, 通过 MATLAB 编程求解上述非线性方程组(Reacktenwald *et al.*, 2000), 即可获得在不同的三维海流作用下浮子绳、干线及支线上各个节点的空间位置, 由此得到延绳钓的三维空间形状。

本文利用 80% 站点(19 个)的三维海流数据导入数值模型, 计算得出 149 枚钓钩的数值模拟深度, 再与 149 枚钓钩的实测深度进行比较, 取模型计算得出的钓钩深度与实测钓钩深度的方差最小时的  $C_{N90}$  作为模型计算的输入。

### 1.3 模型的验证

利用 20% 站点(5 个)的三维海流数据对模型计算结果进行验证, 应用 SPSS 成对双样本均值分析  $t$ -检验的方法(梅长林等, 1999), 分析实测钓钩的深度(39 枚)与数值模拟深度间的差异显著性。将数值模拟结果, 即各节点的坐标值和实测深度导入 MATLAB 软件(由于实测深度只有  $Z$  坐标, 其  $X$  和  $Y$  坐标直接引用数值模拟得出的结果), 得出数值模拟深度与 TDR 实测深度的三维比较图, 定性分析其差异状况(宋利明, 2008<sup>1)</sup>。

## 2 结果

### 2.1 力学模型中水动力 $C_{N90}$ 系数的确定

对延绳钓水下作业状态进行力学建模的过程中,  $C_{N90}$  的选取对模型结果的影响很大, 而  $C_{N90}$  与具体海况及所用渔具有很大关系, 所以本文未引用其他文献所得出的经验值, 而是利用计算机进行相关计算, 对  $C_{N90}$  在 1—1.4 间取值(步程为 0.02), 计算得出对应的钓钩模拟深度, 并将其与实测钓钩深度进行方差检验, 得出了其标准差与  $C_{N90}$  的关系图(图 4)。

由图 4 可得:

- (1)  $C_{N90}$  为 1.2、1.28、1.38 时, 其标准差较小。
- (2) 当  $C_{N90}$  小于 1.2 时标准差随着  $C_{N90}$  的增大而减小, 当高于 1.2 时, 标准差的值产生振荡, 其振幅有变大的趋势。
- (3) 综上所述, 本文选择 1.20 作为本模型  $C_{N90}$  的

1) 宋利明, 2008. 印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)栖息环境综合指数——基于延绳钓渔业调查数据. 上海: 上海海洋大学博士学位论文, 1—209

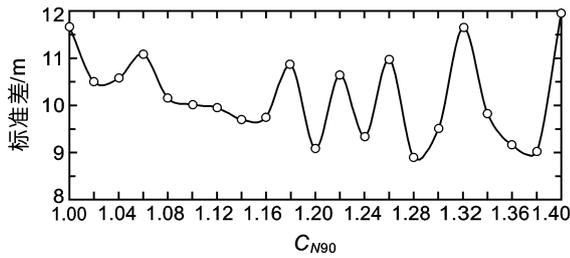


图 4 不同  $C_{N90}$  取值对实测、数值模拟钓钩深度间标准差的影响

Fig.4 Effects of different value of  $C_{N90}$  on the standard deviations between measured and numerically calculated hook depths

值, 此时模型计算得出的钓钩深度与实测钓钩深度的方差较小( $s^2 = 84.59$ , 标准差  $s = 9.20$ ), 以提高模型的准确性及稳定性。

2.2 钓钩深度数值计算结果

对每天作业的延绳钓水下形状进行模拟, 得出其数值模拟图(图 5)。当不同深度的三维海流较大时, 钓钩的深度较浅(最深的钓钩达 220m 左右, 图 5 左), 当不同深度的三维海流较小时, 钓钩的深度较深(最深的钓钩达 300m 左右, 图 5 右)。

2.3 数值模拟深度与 TDR 实测深度的比较

大部分钓钩的实测深度、数值深度之间的差别不大, 其平均差值为 11.90m, 差值范围为 0.09—38.39m。典型实测深度、数值深度之间的对比见图 5。实测深度与数值深度(20%的钓钩)差异显著性的  $t$ -检验结果表明无显著性差异( $P = 0.43 > 0.05$ )(表 1)。

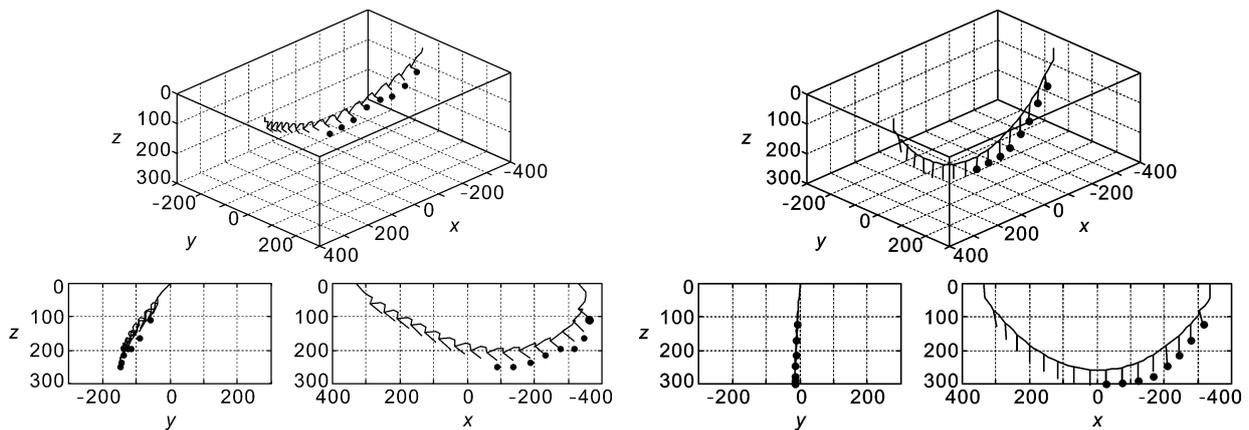


图 5 典型的实测深度与数值深度之间的比较

Fig.5 Typical comparison between the measured hook depths and the numerical hook depths

左图: 2008 年 11 月 24 日; 右图: 2008 年 12 月 28 日。为实测的钓钩深度; | 为支线, 其下方末端为钓钩所处深度

3 讨论

(1)  $C_{N90}$  的取值对于数值模拟结果影响较大。在袁军亭(2007)<sup>1)</sup>的研究中  $C_{N90}$  取 1.12, 主要是根据雷诺数( $Re$ )在  $10^3—2 \times 10^5$  时, 不考虑振动获得的经验值, 并且其研究对象为网片。本文中,  $C_{N90}$  的值是根据 80% 的延绳钓实测钓钩深度与数值模拟钓钩深度的对比获得的, 取值为 1.20, 这与宋利明(2008)<sup>2)</sup>中  $C_{N90}$  值一致。本文认为  $C_{N90}$  值与研究对象的雷诺数( $Re$ )有关; 还与流态有关, 袁军亭(2007)<sup>1)</sup>的研究条件为均匀定常流, 而宋利明(2008)<sup>2)</sup>与本研究中的海流随深度的变化而变化。当  $C_{N90}$  高于 1.2 时, 标准差产生振荡, 其振幅有变大的趋势, 可能的原因: 实测数据有限(仅 19 天)有一定误差; 渔具产生振动以及受到湍流的影响时,  $C_{N90}$  高于 1.2, 导致模型结果产生较大的波动。本文中, 雷诺数( $Re$ )为  $0—4.37 \times 10^3$ , 因此, 可不考虑振动, 也不会产生卡门涡列, 所以本文中  $C_{N90}$  取值 1.20 较为合适。

(2) 在逐步迭代求解过程中, 初值的赋予是影响计算速度的主要因素。本研究利用悬链线方程赋予初值, 并添加了赋值调整程序对赋值环境进行优化, 目前运算稳定性及速度相比于宋利明(2008)<sup>1)</sup>有较大提高, 说明利用悬链线方程赋予初值、添加赋值调整程序效果较好。

(3) 干线在实际中为波浪形曲线(图 5 左)。本文对

1) 袁军亭, 2007. 网片的三维力学模型研究及应用. 上海: 上海水产大学博士学位论文, 1—132

2) 宋利明, 2008. 印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)栖息环境综合指数——基于延绳钓渔业调查数据. 上海: 上海海洋大学博士学位论文, 1—209

表 1 实测深度与数值深度  $t$ -检验结果  
Tab.1 The results of  $t$ -test between the measured hook depth and the numerical hook depth

统计项目	实测深度	数值模拟深度
平均	210.7839326	207.9387572
方差	6015.914516	4999.018005
观测值	39	39
自由度 $df$	76	
$t$ 统计量	0.169297451	
$P(T \leq t)$ 单尾	0.433006243	
$P(T \leq t)$ 双尾	0.866012486	

延绳钓的浮子绳、干线以及支线进行了数值模拟, 根据模拟结果得出延绳钓渔具的干线在海水中稳定后并不是呈平滑的悬链线, 这与对支线的受力进行模拟有关, 即分析了干线上各节点的载荷集中问题。由于两支线的重力作用, 使得干线与支线连接的节点位置下沉, 而两支线中间部分的干线则受海流作用(尤其是  $Z$  方向海流)使两支线中间部分的干线发生漂浮, 从而导致干线稳定后在水中呈不平滑状。而宋利明(2008)<sup>1)</sup>的计算中仅对干线进行了数值模拟, 没有分析计算支线的受力问题, 本研究中所用方法使得延绳钓数值模拟的精度得到了提高, 并且可以较准确地预测延绳钓作业过程中钓钩受到三维海流作用下的深度和干线在实际中为波浪形曲线(图 5 左)。另外, 本研究可以模拟在任何海流下延绳钓渔具在海水中的形状, 克服了宋利明(2008)<sup>1)</sup>只能模拟海流小于 0.8m/s 时的延绳钓渔具在海水中的形状。

(4) 延绳钓在实际作业中的受力非常复杂, 其中有风、海浪对浮子的作用力, 海流对延绳钓的水动力和延绳钓渔具的重力及浮力等。为了便于建立数值模型与计算, 模型中未考虑风、海浪对浮子的作用力, 另外数值计算模型中用到了材料的弹性模量, 参考了尼龙 1010 的弹性模量(周应祺等, 2000)来进行计算, 因此, 数值计算的精度有待进一步提高。

(5) 计算数值深度时把所测定的一个站点的三维海流作为整个延绳钓所处水域的三维海流, 并把某一深度的三维海流作为其附近的一个水层的海流来计算海流对深度的影响和产生的水阻力, 可能存在一定的误差。另外, 不考虑渔具的振动和产生卡门涡列或紊流等效应时, 渔具最终将处于平衡状态, 于是

采用静力学方法建立数值深度计算模型。今后应大量测定不同深度的三维海流数据, 并采用动力学的方法进一步改进数值深度计算模型, 提高数值计算的精度。

致谢 本研究得到浙江省远洋渔业集团股份有限公司曾岳祥总经理、徐信海副总经理、王晓晴总工程师和“新世纪 86”号全体船员等的大力支持, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 万 荣, 宋协法, 唐衍力等, 2004. 渔具模型空间形状的计测方法. 水产学报, 28(4): 443—449
- 宋利明, 陈新军, 许柳雄, 2004. 大西洋中部大眼金枪鱼垂直分布与温度、盐度的关系. 中国水产科学, 11(6): 561—566
- 宋利明, 高攀峰, 2006. 马尔代夫海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的钓获水层、水温和盐度. 水产学报, 30(3): 335—340
- 宋利明, 李玉伟, 高攀峰, 2009. 帕劳群岛附近海域延绳钓渔场大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)的环境偏好. 海洋与湖沼, 40(6): 768—776
- 周应祺, 许柳雄, 何其渝, 2000. 渔具力学. 北京: 中国农业出版社, 1—161
- 梅长林, 范金城, 1999. 数据分析方法. 北京: 高等教育出版社, 1—284
- Reacktenwald G, 2000. 伍卫国, 万 群, 张 辉等译, 2004. 数值方法和 MATLAB 实现与应用. 北京: 机械工业出版社, 1—550
- Bigelow K A, Michael K M, Ftanxois P *et al*, 2006. Pelagic longline gear depth and shoaling. Fisheries Research, 77: 173—183
- Kim Y H, Park M C, 2009. The simulation of the geometry of a tuna purse seine under current and drift of purse seiner. Ocean Engineering, 36: 1080—1088
- Lee C W, Kim Y B, Ho G *et al*, 2008. Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. Ocean Engineering, 35: 1521—1532
- Lee J H, Lee C W, Cha B J, 2005. Dynamic simulation of tuna longline gear using numerical methods. Fisheries Science, 71: 1287—1294
- Mizuno K, Okazaki M, Nakano H *et al*, 1999. Estimation of underwater shape of tuna longlines with micro-bathythermographs. Int Am Trop Tuna Commun Spec Rep, 10—35
- Song L M, Zhang Y, Xu L X *et al*, 2008. Environmental preferences of longlining for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the tropical high seas of the Indian Ocean. Fisheries Oceanography, 17: 239—253
- Song L M, Zhou J, Zhou Y Q *et al*, 2009. Environmental prefer-

1) 宋利明, 2008. 印度洋大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)栖息环境综合指数——基于延绳钓渔业调查数据. 上海: 上海海洋大学博士学位论文, 1—209

- ences of bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Indian Ocean: an application to a longline fishery. *Environmental Biology of Fishes*, 85: 153—171
- Song L M, Zhou Y Q, 2010. Developing an integrated habitat index for bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Indian Ocean based on longline fisheries data. *Fisheries Research*, 105: 63—74
- Suzuki K, 2003. Validity and visualization of a numerical model used to determine dynamic configurations of fishing nets. *Fisheries Science*, 69: 695—705
- Yoshinori M, Keiichi U, Reiko O *et al*, 2006. Three-dimensional underwater shape measurement of tuna longline using ultrasonic positioning system and ORBCOMM buoy. *Fisheries Science*, 72: 63—68

## NUMERIC MODELING OF THE PELAGIC LONGLINE BASED ON THE FINITE ELEMENT ANALYSIS

SONG Li-Ming<sup>1</sup>, ZHANG Zhi<sup>1</sup>, YUAN Jun-Ting<sup>2</sup>, LI Yu-Wei<sup>1</sup>

- (1. *The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fishery Resources Exploitation, The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306;*  
2. *College of Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306*)

**Abstract** To have a better understanding of the fishing depth of the pelagic longline gear, numeric modeling of the longline was conducted. The fishing parameters (e.g. shooting speed of mainline) can be adjusted to deploy the hooks to the water layer where the targeting tuna prefers. As a result, the catch rate of the targeting species would be increased, and bycatch would be decreased. A survey on the tuna longline fishing ground was being conducted from Sep. 2008 to Jan. 2009 in the Indian Ocean. Hook depths were measured by the Temperature Depth Recorders (TDRs), and three dimensional currents at various depths were also measured by the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). A three-dimensional numerical longline model (3DNLM) was developed using finite element analysis based on 80% experimental data including the three dimensional currents and the hook depths measured by TDRs. The three dimensional current data were assigned to seven depth intervals of 50m (0—50m, 50—100m, ..., 300—350m). The coordinates of all the nodes of the longline (including the float lines, mainline and branch lines) could be calculated by the numerical model, the shape of longline under the water could be obtained, and the hook depth of each hook can also be calculated. The 3DNLM was also verified by the remaining of 20% experimental data by the paired sample *t*-test. The results indicated that (1) the three-dimensional shape of tuna longline under the three-dimensional currents at various water layer could be calculated by the 3DNLM; (2) the value of the drag coefficient ( $C_{N90}$ ) might be determined based on the Reynolds number ( $Re$ ) of the study object and the current condition; (3) there was no significant difference between the TDR measured depth and the numerical calculated depth ( $P = 0.43$ ); (4) the running speed could be increased by inserting an adjusting programme using the initial values obtained from the catenary curve equation.

**Key words** Finite element analysis, Longline, Numeric modeling