

南海金枪鱼延绳钓作业参数优化

冯波^{1,2}, 龚超¹, 钟子超¹, 赵炯刚¹

(1 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088;

2 广东省南海深远海渔业管理与捕捞工程技术研究中心, 广东 湛江 524025)

摘要:为了探索南海金枪鱼延绳钓合适作业参数,根据2010年6月至2013年2月8个航次的南海金枪鱼延绳钓探捕调查数据,估算了大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼在不同水层的渔获率,以浮子绳长度 h_f 、两浮子间钩数 n 和短缩率 k 这3个作业参数的调整为研究对象,采用最小二乘法度量不同水层上钩钩分布频率与金枪鱼渔获分布频率的匹配程度。当两者之间的频差平方和达到最小值时,即认为找到延绳钓最合适作业结构。结果显示: $h_f=34\text{ m}$ 、 $n=25$ 、 $k=0.68^\circ$ 对捕捞大眼金枪鱼最合适; $h_f=10\text{ m}$ 、 $n=14$ 、 $k=0.71^\circ$ 对捕捞黄鳍金枪鱼最合适;两种兼顾时, $h_f=8\text{ m}$ 、 $n=27$ 、 $k=0.69^\circ$ 更合适。

关键词:金枪鱼;延绳钓;作业参数;南海

中图分类号:S973

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2018)04-064-06

南海大陆架区以外的广阔海域中蕴藏着丰富的金枪鱼类资源。目前南海的金枪鱼主要为越南开发,2015年越南大型金枪鱼(黄鳍金枪鱼和大眼金枪鱼)产量已达 $17\,884\text{ t}^{[1]}$,取得了巨大的商业利益,而中国大陆当年的产量仅为 $58.21\text{ t}^{[2]}$ 。中国最早于20世纪70年代初从日本引进了两艘延绳钓渔船,在南海的中沙、西沙群岛海域一带进行金枪鱼试捕,探明了中沙、西沙群岛海域以黄鳍金枪鱼为主体的三处金枪鱼密集区。其次是1977年12月至1978年5月南海水产公司与南海水产研究所共同进行了金枪鱼资源试捕调查,渔获物中88.2%是黄鳍金枪鱼,渔获率为 $5.8\sim 9\text{ ind./1\,000钩}^{[3]}$ 。之后,南海的金枪鱼资源探捕活动长期处于空白。2010年6月至2013年2月广东海洋大学联合4家渔业公司先后开展了8次南海金枪鱼探捕调查,但该探捕的大型金枪鱼渔获率仅为 $52.1\text{ kg/1\,000钩}$,远低于目前越南渔获率 $175\sim 300\text{ kg/1\,000钩}$ 的水平^[4-5]。造成这种差距的原因是不甚了解南海大型金枪鱼的分布特性,未能使用合适的作业参数。

本研究利用南海金枪鱼深水延绳钓探捕数据,推测最合适的金枪鱼延绳钓作业结构,以期为

中国南海金枪鱼渔业开发提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于2010年6月至2013年2月间在南海开展的8次金枪鱼延绳钓探捕调查。探捕涉及南海西、中、南沙海域,先后共调查了88个站位(图1)。探捕采用深水延绳钓技术(表1),记录作业海域、作业参数、渔获种类和数量等信息。

1.2 方法

钩理论深度根据悬链线公式计算^[6]:

$$D_j = h_f + h_b +$$

$$\frac{L}{2} \left\{ (1 + \cot^2 \varphi)^{\frac{1}{2}} - \left[\left(1 - \frac{2j}{n+1} \right)^2 + \cot^2 \varphi \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (1)$$

$$k = \frac{v_2}{v_1} = \cot \varphi \ln \left[\tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (2)$$

式(1)中: j —钩位顺序号; D_j —钩位 j 的深度,m; h_f —浮子绳长,m; h_b —支绳长,m; L —两浮子间干线的长度,m; n —两浮子间钩数; φ —主线支承点的切线与水平面的夹角, $(^\circ)$ 。

式(2)中: k —短缩率,即两浮子间水平距离/两浮子间主线长度; v_1 —投线速度,m/s; v_2 —船速,kn。

收稿日期:2018-07-03

基金项目:广东省教育厅“创新强校工程”项目(2014GKXM048);公益性行业(农业)科研专项经费资助(201403008);广东海洋大学创新强校工程科研项目(GDOU2013050303)

作者简介:冯波(1977—),男,副教授,博士,研究方向:海洋渔业开发与保护。E-mail: fengb@gdou.edu.cn

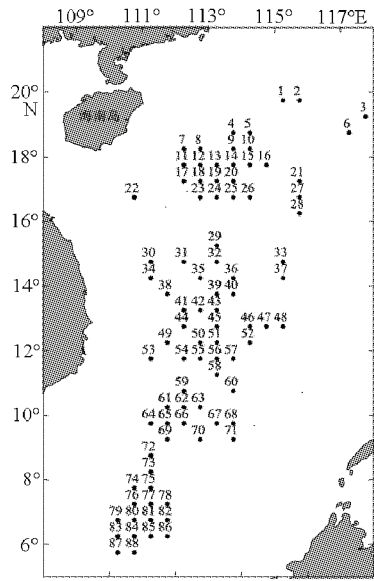


图 1 南海金枪鱼延绳钓探捕站点

Fig. 1 Stations surveyed by tuna longline in the South China Sea

受风和海流影响,延绳钓钩位会变浅 19% ~ 30%^[7-9],故下文涉及的钩位、钩深计算均按式(1)悬链线公式估算深度的 75% 折算。由式(1)按表 2 中的水层划分,可计算出钓钩在不同水层的分布频率 F_i :

$$F_i = 100\% \times g_i/n \tag{3}$$

式(3)中: g_i —第 i 水层内分布的钩数; n —两浮子间钩数。

第 i 水层的大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼的渔获率 R_i 及相对百分比 F'_i ,计算公式如下:

$$R_i = 1\,000 \times M_x/M_y \tag{4}$$

$$F'_i = \frac{R_i}{\sum R_i} \times 100\% \tag{5}$$

式(4)中: M_y —第 i 水层的金枪鱼渔获尾数; M_x —第 i 水层的总下钓钩数。根据不同钩位的渔获情况,计算汇总结果见表 2。式(5)中, F'_i 值高表示该水层的渔获率高。

表 1 金枪鱼延绳钓调查船作业参数与金枪鱼渔获情况

Tab. 1 Catch and operation parameters of tuna longliner

时间	调查船	功率/kW	吨位/t	作业参数	渔获尾数/尾
2010 年 6—7 月	粤阳西 96230	261	200	浮子绳长度 26 m,支绳 18 m,两浮子间钩数 25 枚,两钩间干线长度 35 m,总投钩数 3 271 枚	2
2011 年 12 月—2012 年 8 月	北渔 60011	253	510	浮子绳长度 20 m,支绳 18 m,两浮子间钩数 25 ~ 28 枚,两钩间干线长度 40 m,部分海域还增加了浮子钩,钓线长 10 m,总投钩数 172 055 枚	309
2012 年 11 月—2013 年 1 月	穗远渔 29	450	521	浮子绳长度 20 m,支绳 18 m,两浮子间钩数 25 ~ 28 枚,两钩间干线长度 40 m,总投钩数 41 352 枚	63
2012 年 12 月—2013 年 2 月	昌荣 2 号	1176	706	(1)浮子绳长度 30 m,支绳 30 m,两浮子间钩数 17 枚,两钩间干线长度 50 m,总投钩数 37 952 枚; (2)浮子绳长度 50 m,支绳 50 m,两浮子间钩数 17 枚,两钩间干线长度 50 m,总投钩数 43 172 枚	62

表 2 大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼在不同水层的渔获率及相对百分比

Tab. 2 Catch rate and relative percentage of *Thunnus obesus* and *Thunnus albacares* in different water layers

水层序号	水深/m	大眼金枪鱼		黄鳍金枪鱼	
		渔获率/(ind./1 000 钩)	F'_i /%	渔获率/(ind./1 000 钩)	F'_i /%
1	10 ~ 40	0.00	0.00	0.00	0.00
2	40 ~ 80	0.11	1.10	0.75	29.15
3	80 ~ 120	0.64	6.37	0.51	19.95
4	120 ~ 160	1.38	13.67	0.53	20.88
5	160 ~ 200	1.85	18.25	0.29	11.31
6	200 ~ 240	1.79	17.65	0.12	4.57
7	240 ~ 280	1.52	15.00	0.19	7.42
8	280 ~ 320	1.89	18.65	0.17	6.71
9	320 ~ 360	0.37	3.62	0.00	0.00
10	360 ~ 400	0.58	5.69	0.00	0.00

若要提高金枪鱼的渔获率,必须使不同水层的钓钩分布频率 F_i 与不同水层的金枪鱼渔获率分布状态 F_i' 相接近,即符合在渔获率高的水层配置较多钓钩的生产常识。对金枪鱼延绳钓作业而言,调整 h_f 、 n 、 φ 即可改变钓钩在不同水层的分布位置,以达到两种分布频率的匹配。采用最小二乘法来衡量两者的匹配程度,当两者之间的频差平方和(SSFD)达到最小,即认为找到最适的延绳钓作业结构。 F_i 与 F_i' 匹配程度可表达成:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{10} (F_i - F_i')_{BET}^2 \right\} \quad (6)$$

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{10} (F_i - F_i')_{YET}^2 \right\} \quad (7)$$

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{10} (F_i - F_i')_{BET}^2 + \min \sum_{i=1}^{10} (F_i - F_i')_{YET}^2 \right\} \quad (8)$$

(6)、(7)、(8)式分别表示了大眼金枪鱼、黄鳍金枪鱼和两者兼顾的最佳匹配程度的计算公式。本研究以“穗远渔 29”的基本作业参数为计算依据,可变参数 $0 \text{ m} \leq h_f \leq 50 \text{ m}$,变化步长 5 m ; $5 \text{ m} \leq n \leq 35$; $40^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$ (实际作业中 φ 变化范围在 $46^\circ \sim 80^\circ$ [9]),变化间隔 1° 。变化次序是先设定 h_f ,然后 n ,再 φ 在 $40^\circ \sim 80^\circ$ 间逐度数变化,从中寻找南海金枪鱼延绳钓的最佳作业参数。

2 结果

2.1 大眼金枪鱼的最适作业参数

在每一 h_f 下都能在设定范围内寻得 n 、 φ 组合,使得 SSFD 达到最小(表 3)。

表 3 不同 h_f 、 n 、 φ 组合下大眼金枪鱼 SSFD_{min}
Tab. 3 Minimized SSFD by h_f , n and φ combination for *Thunnus obesus*

h_f/m	n	$\varphi/(\circ)$	SSFD _{min}	k
0	32	59	223.66	0.77
5	28	65 ~ 66	255.42	0.69 ~ 0.70
10	28	65	255.42	0.70
15	28	69	221.75	0.65
20	29	62	200.43	0.74
25	32	55	159.22	0.81
30	32	54	159.22	0.82
35	25	66	111.70	0.69
40	25	65	111.70	0.70
45	25	64	111.70	0.71
50	25	63	111.70	0.73

随着 h_f 增大, n 出现起伏波动,最后稳定在 25; φ 的变化对应于 n ,在 n 固定不变时, φ 随 h_f 增大而趋向变小;除 h_f 为 0 m 时,SSFD_{min} 随 h_f 增大而减小,并在 $h_f = 35 \text{ m}$ 后达到最小值并稳定在 111.70。故在 $35 \text{ m} \leq h_f \leq 50 \text{ m}$ 时,表 3 中的 n 、 φ 组合都能满足对大眼金枪鱼最适作业结构的认定要求。在 $30 \text{ m} < h_f < 35 \text{ m}$ 间,逐步增大 h_f ,同时变换 n 、 φ ,又寻得 SSFD_{min} = 111.70 的临界组合为 $h_f = 34 \text{ m}$ 、 $n = 25$ 、 $\varphi = 67^\circ$ 。

2.2 黄鳍金枪鱼的最适作业参数

当 $0 \text{ m} \leq h_f \leq 30 \text{ m}$ 时,能够在设定范围内寻得 n 、 φ 组合,使得 SSFD 达到最小;在该 h_f 变化区间内, n 随 h_f 增大而增加, φ 随 h_f 增大而减小。但当 $30 \text{ m} < h_f \leq 50 \text{ m}$ 时, n 、 φ 组合搜索会达到设定范围边界,表明可变参数在设定范围内不能寻得 SSFD 最小值,不会出现的 h_f 、 n 、 φ 最优组合(表 4)。故在 $0 \text{ m} \leq h_f \leq 10 \text{ m}$ 时,表 4 中的 n 、 φ 组合都能满足对黄鳍金枪鱼最适作业结构的认定要求。

表 4 不同 h_f 、 n 、 φ 组合下黄鳍金枪鱼 SSFD_{min}
Tab. 4 Minimized SSFD by h_f , n and φ combination for *Thunnus albacares*

h_f/m	n	$\varphi/(\circ)$	SSFD _{min}	k
0	14	67 ~ 70	263.65	0.63 ~ 0.68
5	14	66 ~ 67	263.65	0.68 ~ 0.69
10	14	64	263.65	0.71
15	15	60 ~ 61	281.21	0.75 ~ 0.76
20	16	57	368.00	0.79
25	17	52 ~ 53	413.35	0.83
30	18	49 ~ 50	448.30	0.85 ~ 0.86
35	12	80	596.87	0.43
40	12	79 ~ 80	596.87	0.43 ~ 0.45
45	6	72 ~ 80	600.70	0.43 ~ 0.60
50	6	69 ~ 77	600.70	0.50 ~ 0.65

2.3 兼顾大眼和黄鳍金枪鱼的最适作业参数

在每一 h_f 下都能在设定范围内寻得 n 、 φ 组合,使得 SSFD 达到最小(表 5)。随着 h_f 增大, n 先增大后减小,最后稳定在 25; φ 分为 $0 \leq h_f \leq 25 \text{ m}$ 和 $30 \text{ m} \leq h_f \leq 50 \text{ m}$ 两个区间,随 h_f 增大而变小。故在 $h_f = 0 \text{ m}$ 时,表 5 中的 n 、 φ 组合都能满足对两种金枪鱼兼顾的最适作业结构的认定要求。在 $0 \text{ m} \leq h_f < 5 \text{ m}$ 间,逐步增大 h_f ,同时变换

n 、 φ ,又求得 $SSFD_{\min} = 920.41$ 的临界组合为 $h_t = 2\text{ m}$ 、 $n = 26$ 、 $\varphi = 68^\circ$ 。

表5 不同 h_t 、 n 、 φ 组合下两种兼顾时 $SSFD_{\min}$
Tab.5 Minimized SSFD by h_t , n and φ combination for both species

h_t/m	n	$\varphi/(^\circ)$	$SSFD_{\min}$	k
0	26	68	920.41	0.66
5	27	66	966.65	0.69
10	28	65	1 050.87	0.70
15	28	64	1 050.87	0.71
20	29	60	1 110.56	0.76
25	28	61	1 149.20	0.75
30	23	72	1 155.09	0.60
35	24	67	1 066.43	0.68
40	24	66	1 066.43	0.69
45	25	64	1 128.49	0.71
50	25	63	1 128.49	0.73

表6 不同海域的黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼的渔获主要水层分布比较

Tab.6 Comparison on distribution of main water layers for harvesting of *Thunnus albacore* and *Thunnus obesus* in various sea areas

洋区	海域	渔获水层 /m		测算方法	文献
		黄鳍金枪鱼	大眼金枪鱼		
太平洋	6°S ~ 18°S 162°E ~ 174°E	109 ~ 278	126 ~ 286	温度深度计 TDR 测定	栾松鹤等 ^[10]
	5°N ~ 1°S 170°E ~ 177°E	—	120 ~ 240	温度深度计 TDR 测定	宋利明等 ^[11]
	10°S ~ 40°S 145°E ~ 165°E	50 ~ 180	30 ~ 330	温度深度计 TDR 测定	Campbell 等 ^[12]
	12°S ~ 22°S 102°W ~ 132°W	123 ~ 271	198 ~ 289	温度深度计 TDR 测定	张艳波等 ^[13]
	5°N ~ 15°N 29°W ~ 41°W	107 ~ 305	107 ~ 311	悬链线公式计算	许友伟等 ^[14]
	7.25°S ~ 7.5°N 6°W ~ 32°W	175 ~ 222	250 ~ 315	悬链线公式计算	宋利明 ^[15]
大西洋	4.5°N ~ 11.5°N 30°W ~ 38°W	144.5 ~ 225	225 ~ 34.5	悬链线公式计算	李灵智等 ^[16]
	1°N ~ 6°N 18°W ~ 24°32'W	—	215 ~ 326	悬链线公式计算	马家志等 ^[17]
	2°S ~ 7°N 69°E ~ 77°E	—	50 ~ 210	温度深度计 TDR 测定	宋利明等 ^[18]
	5.5°N ~ 6.5°S 44°E ~ 62°E	149 ~ 214	214 ~ 256	悬链线公式计算	叶振江等 ^[19]
南海	5.5°N ~ 20°S 110°E ~ 108°E	40 ~ 200	120 ~ 320	悬链线公式计算	本研究

3.2 作业参数的调整

根据金枪鱼群分布水层,可以调整钓钩的深度,以提高延绳钓的作业效率。延绳钓钓钩深度可通过船速、投绳机转速、浮子绳长度、两浮子干绳长度、两浮子支绳数(钩数)等来调整。许友伟

3 讨论

3.1 黄鳍金枪鱼、大眼金枪鱼的渔获垂直分布

了解金枪鱼的垂直渔获分布特性对提高延绳钓渔获水平具有重要意义。黄鳍金枪鱼与大眼金枪鱼在不同海域的渔获主要水层分布见表6。受海域地理环境影响,细节各有差别。与其他海域相比,南海的黄鳍金枪鱼在浅水层 40 ~ 80 m 渔获率较高,而大眼金枪鱼在 160 ~ 320 m 渔获率较高。值得注意的是,大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼在不同水层的可捕性还存在昼夜差异^[20]:白天大眼金枪鱼在 200 m 以深较易渔获,黄鳍金枪鱼在各水层间无显著差异;而夜晚大眼金枪鱼在各水层间无显著差异,黄鳍金枪鱼在 100 m 以浅较易捕获,因此生产实践中,在布置渔具时,不仅要针对当地金枪鱼的渔获垂直分布特性,还应考虑昼夜的差别,对渔具结构作适当调整。

等^[14]认为提高延绳钓钓钩的设置深度、减少放浅钩可降低大多数兼捕物种的捕获率。宋利明^[15,20]指出,改变钩位深度,以调整 v_1 、 v_2 、 n 和挂钩间隔时间 t 为主,而调整支绳长度、浮子绳长度会造成劳动繁重,一般不用。陈庆义等^[21-22]提出

东印度洋渔场深冷型金枪鱼延绳钓的优化 k 值为黄鳍金枪鱼 0.73, 大眼金枪鱼 0.71, 两者兼顾 0.75; 戴小杰等^[23]指出中部热带大西洋金枪鱼延绳钓的常用 k 值为 0.77; 宋利明^[15]则提出大西洋中部延绳钓作业的适宜 k 值为黄鳍金枪鱼 0.77, 大眼金枪鱼 0.67。本研究计算表明: 采取 $h_f = 34$ m、 $n = 25$ 、 $k = 0.68^\circ$ 对捕捞大眼金枪鱼最合适; 采取 $h_f = 10$ m、 $n = 14$ 、 $k = 0.71^\circ$ 对捕捞黄鳍金枪鱼最合适; 两者兼顾, 则 $h_f = 2$ m、 $n = 26$ 、 $k = 0.66^\circ$ 最合适。若以张衡等^[24]在南海附近卫星标志放流测定的黄鳍金枪鱼活动水深分布频率, 按本研究方法搜索 SSFD_{min} 的 h_f 、 n 、 φ 组合。在 $0 \text{ m} \leq h_f < 5 \text{ m}$ 间, 寻得 SSFD_{min} = 500.97 的组合为 $h_f = 1$ m、 $n = 14$ 、 $k = 0.82^\circ$, 可能适合于黄鳍金枪鱼捕捞。

1999 年 5 月, 东南亚渔业发展中心研究人员在南海靠越南侧海域的浅水延绳钓调查时, 发现南海的鲹和黄鳍金枪鱼大量地分布在温跃层之上 50 ~ 90 m 的水层内^[25]。目前越南金枪鱼延绳钓渔业中, 黄鳍金枪鱼构成其渔获的主要部分 (70%)^[1]。这与越南的金枪鱼延绳钓采取浅水延绳钓技术, 瞄准捕捞黄鳍金枪鱼有关。越南渔民使用的是浅水延绳钓, 浮子绳长度 25 m, 支绳 25 m, 两浮子间钩数 4 ~ 6 枚, 两钩间干线长度 50 m, 作业水深 40 ~ 60 m; 另一种是浮延绳钓, 即一个浮子接一根钓线, 两浮子间以干线连接, 长度 60 m, 钓线长度 34.5 m^[26]。同在南海作业的菲律宾延绳钓渔船也采用类似结构: 浮子绳长度 24 m, 支绳 20 m, 两浮子间钩数 4 ~ 6 枚, 两钩间干线长度 40 m, 作业水深 40 ~ 60 m^[27]。张鹏等^[28]在 2015 年 3 月—4 月在南沙北部海域开展了浅水延绳钓试捕, 取得了黄鳍金枪鱼 1.9 ind./1 000 钩的成绩, 远高于本研究探捕的结果 (表 2)。因此, 未来有必要加强南海金枪鱼浅水延绳钓技术的研究。

4 结论

结合生产实际, 本研究认为: 采取 $h_f = 34$ m、 $n = 25$ 、 $k = 0.68^\circ$ 对捕捞大眼金枪鱼最合适; 采取 $h_f = 10$ m、 $n = 14$ 、 $k = 0.71^\circ$ 对捕捞黄鳍金枪鱼最合适, 或调整为 $h_f = 8$ m、 $n = 16$ 、 $k = 0.74^\circ$ 亦合适; 两者兼顾时, 调整为 $h_f = 8$ m、 $n = 27$ 、 $k = 0.69^\circ$ 更合适。从生产和计算角度而言, 南海金枪鱼浅水延绳钓技术应得到更多重视。□

参考文献

- [1] HA V. Characteristics of the sector [EB/OL]. [2016-2-19]. <http://seafood.vasep.com.vn/677/onecontent/sector-profile.htm>.
- [2] 卢伙胜. 2015 年南海渔业生产年度报告 [R]. 湛江: 广东海洋大学, 2016: 1-40.
- [3] 张华. 中国金枪鱼延绳钓渔业技术分析 & 改进意见 [J]. 水产科技, 1998 (6): 29-33.
- [4] 冯波, 李忠炉, 侯刚. 南海大眼金枪鱼和黄鳍金枪鱼生物学特性及其分布 [J]. 海洋与湖泊, 2014, 45 (4): 886-894.
- [5] THANH V N. Vietnam tuna fisheries profile [R]. Pohnpei Federated States of Micronesia; WCPFC, 2012: 1-46.
- [6] YOSHIHARA T. Distribution of catch of tuna longline IV. On the relation between k and ϕ with a table and diagram [J]. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 1954, 19: 1012-1014.
- [7] WARD P, HINDMARSH S. An overview of historical changes in the fishing gear and practices of pelagic longliners, with particular reference to Japan's Pacific fleet [J]. Review in Fish Biology and Fisheries, 2007, 17: 501-516.
- [8] BACH P, GAERTNER D, MENKES C, et al. Effects of the gear deployment strategy and current shear on pelagic longline shoaling [J]. Fisheries Research, 2009, 95: 55-64.
- [9] BIGELOW K, MUSYL M K, POISSON F, et al. Pelagic longline gear depth and shoaling [J]. Fisheries Research, 2006, 77: 173-183.
- [10] 栾松鹤, 戴小杰, 田思泉, 等. 中西太平洋金枪鱼延绳钓主要渔获物垂直结构的初步研究 [J]. 海洋渔业, 2015, 37 (6): 501-508.
- [11] 宋利明, 杨嘉樑, 胡振新, 等. 两种延绳钓钓具大眼金枪鱼捕捞效果的比较 [J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20 (3): 424-430.
- [12] CAMPBELL R A, YOUNG J W. Monitoring the behaviour of longline gears and the depth and time of fish capture in the Australian eastern tuna and billfish fishery [J]. Fisheries Research, 2012, 120: 48-65.
- [13] 张艳波, 戴小杰, 朱江峰, 等. 东南太平洋金枪鱼延绳钓主要渔获种类垂直分布 [J]. 应用生态学报, 2015, 26 (3): 912-918.
- [14] 许友伟, 戴小杰, 庄之栋, 等. 大西洋金枪鱼延绳钓主要兼捕物种垂直分布结构研究 [J]. 海洋湖泊通报, 2012 (4): 55-63.
- [15] 宋利明. 大西洋中部金枪鱼延绳钓捕捞技术初探 [J]. 上海水产大学学报, 1997, 6 (2): 139-143.
- [16] 李灵智, 黄洪亮, 刘健, 等. 大西洋中部金枪鱼延绳钓性能评估初步研究 [J]. 渔业信息与战略, 2012, 27 (4): 310-315.
- [17] 马家志, 虞聪达, 郑基, 等. 北大西洋公海金枪鱼延绳钓渔具渔法及其性能调查研究 [J]. 浙江海洋学院学报, 2015, 34 (3): 287-292.
- [18] 宋利明, 高攀峰. 马尔代夫海域延绳钓渔场大眼金枪鱼的钓获水层、水温 and 盐度 [J]. 水产学报, 2006, 30 (3): 335-340.
- [19] 叶振江, 王理想, 万荣. 大型深冷金枪鱼延绳钓典型渔具性能的初步研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38 (2): 207-210.
- [20] 宋利明. 大西洋中部金枪鱼延绳钓捕捞技术的改进 [J]. 上海水产大学学报, 1998, 7 (1): 345-347.
- [21] 陈庆义, 贾复. 金枪鱼延绳钓船长及服务航速与钩数数量的匹配 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17 (4): 323-327.
- [22] 陈庆义, 张国胜, 姜大为, 等. 深冷型远洋金枪鱼延绳钓主要技术参数及作业参数的分析 [J]. 大连水产学院学报, 2003,

- 18(2):130-134.
- [23]戴小杰,项忆军. 热带大西洋公海金枪鱼延绳钓渔获物上钩率的分析[J]. 水产学报,2000,24(1):81-85.
- [24]张衡,戴阳,杨胜龙,等. 基于分离式卫星标志信息的金枪鱼垂直移动特性[J]. 农业工程学报,2014,30(20):196-203.
- [25] MUNPRASIT A, PRAJAKJITT P. Tuna Resource Exploration with Tuna Longline in the South China Sea, Area IV : Vietnamese Waters [R]. Bangkok, Thailand: SEAFDEC, 2000: 29-40.
- [26] RUANGSIVAKUL N, SIRIRAKSOPHON S. Fishing gear and methods in Southeast Asia: IV. Vietnam [R]. Bangkok, Thailand: SEAFDEC, 2002:187-212.
- [27] RUANGSIVAKUL N, SIRIRAKSOPHON S. Fishing gear and methods in Southeast Asia: III. Philippines part 2 [R]. Bangkok, Thailand: SEAFDEC, 2004:299-360.
- [28] 张鹏,陈森,李杰,等. 灯光罩网渔船兼作金枪鱼延绳钓捕捞试验[J]. 南方水产科学,2016,12(4):110-116.

Optimizing operation parameters of tuna longline fishing in South China Sea

FENG Bo^{1,2}, GONG Chao¹, ZHONG Zichao¹, ZHAO Jionggang¹

(1 Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China;

2 Guangdong Provincial Far Sea Fisheries Management and Fishing Engineering Technical Research Center, Zhanjiang 524025, Guangdong, China)

Abstract: In order to understand the suitable operation parameters of tuna longline fishing in South China Sea, catch rate in different water layers were estimated for *Thunnus obesus* and *Thunnus albacore* based on 8 voyages of tuna longline survey data from June 2010 to February 2013 in South China Sea. With adjustment of three operation parameters-float line length h_f , numbers of hook between two floats n and sag ratio k as the object of study, matching degree of hook distribution frequency with tuna harvesting distribution frequency in different water layers was measured by least square method. The most suitable operation structure of logline was considered to be found when the sum of squared frequency difference reached to the minimum value. The result showed that $h_f = 34$ m, $n = 25$, $k = 0.68^\circ$ were most suitable for targeting *Thunnus obesus*; $h_f = 10$ m, $n = 14$, $k = 0.71^\circ$ were most suitable for targeting *Thunnus albacore*; $h_f = 8$ m, $n = 27$, $k = 0.69^\circ$ were more suitable for targeting both species.

Key words: tuna; longline; operation parameters; South China Sea

(上接第63页)

Development of structure calculation software for fishing vessel based on C#. NET

ZHANG Yi^{1,2,3}, WANG Jing¹, JIN Jiaohui¹

(1 Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200092, China;

2 Key Laboratory of Ocean Fishing Vessel and Equipment, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092, China;

3 Joint Laboratory for Deep Blue Fishery Engineering, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, Shandong, China)

Abstract: Structure design and calculation of Chinese fishing vessel generally adopt manual or Excel method based on standards, and a structure calculation book shall be prepared for each vessel according to the principal dimensions and corresponding specifications of different vessel types. In order to improve the calculation efficiency of designers, according to "Rules for the Construction of Sea-going Steel Fishing Vessels (2015)" of original Register of Fishing Vessel of the People's Republic of China, C#. NET + SQL Server is used for development of structure calculation software for fishing vessel, where the function of software update is reserved to make structure design of fishing vessel always comply with the latest applicable specifications. The software achieves the functions of printing and exporting structure calculation book of PDF format. It can be used not only for design of structure drawings such as general structure plan, but also directly for examination of plan approval agency, which greatly improve the structure design efficiency of fishing vessel.

Key words: C#. NET; fishing vessel; structure calculation