

文章编号: 1000-0615(2008)02-0279-08

## 智利外海茎柔鱼渔场集鱼灯灯光的配置

王 飞<sup>1</sup>, 钱卫国<sup>2,3</sup>

(1. 浙江海洋学院渔业学院, 浙江 舟山 316004;

2. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090; 3. 上海市高校大洋生物资源开发和利用重点实验室, 上海 200090)

**摘要:**智利外海茎柔鱼是我国鱿钓船的主要捕捞对象之一, 集鱼灯灯光配置是高效捕捞技术的重要内容。本文根据智利外海茎柔鱼作业渔场的实测灯光强度, 推算其灯光衰减系数。同时, 在理论上建立灯光水中照度计算模式, 并以“新世纪 52 号”鱿钓渔船为例进行灯光配置的分析与探讨。研究结果认为, 智利外海金属卤化物灯的水中衰减系数为 0.2。分析表明, 随着鱿钓船集鱼灯灯高的增加, 照度 0.1~10 lx 之间的诱集水体体积(下称为“有效体积”)不断增加, 但增加幅度呈递减趋势, 目前该船的灯高(6.5 m)较为合适; 集鱼灯间距在 0.55 m 时所对应的有效体积最大, 建议该船的灯距可从 0.5 m 增大到 0.55 m; 随着集鱼灯总功率的增加, 有效体积不断增加, 并在 300 kW 附近达到最大值, 而后随着总功率的增加而减少, 建议该船集鱼灯总功率可从 360 kW 降到 300 kW。研究表明, 不同作业海域和不同钓捕对象对鱿钓船集鱼灯有着不同的要求和配置, 集鱼灯总功率并不是越大越好。

**关键词:** 茎柔鱼; 集鱼灯; 灯光配置; 鱿钓渔船; 智利外海

**中图分类号:** S 972.63<sup>+1</sup>      **文献标识码:** A

智利外海茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)已成为我国重要的鱿钓作业对象之一<sup>[1]</sup>。如何选择合适强度的集鱼灯灯光进行生产作业, 是提高捕捞效率和降低生产成本的重要措施, 也是鱿钓渔业钓捕技术研究的一个主要内容。影响集鱼灯灯光配置的因素很多, 如集鱼灯在渔船甲板的布置位置、集鱼灯的发光特性、不同海域的灯光穿透率, 以及不同捕捞对象的趋光特性等<sup>[2]</sup>。崔浙珍等<sup>[3]</sup>曾使用线光源计算模式对日本近海小型鱿钓渔船的集鱼灯配置进行研究。张丽蕊<sup>[4]</sup>对鱿钓渔船光强分布模型的建立进行了分析。陈新军等<sup>[5]</sup>对我国 8154 型鱿钓船灯光有效利用进行了理论计算和探讨。钱卫国等<sup>[6-7]</sup>建立了海面照度计算的叠加法模式, 并对不同鱿钓渔船的合适作业间距进行分析。但如何针对智利外海茎柔鱼这一捕捞对象, 来合理有效地配置集鱼灯, 目前还没有开展相关的研

究。为此, 本文以 2006、2007 年度在智利外海从事茎柔鱼探捕的“新世纪 52 号”鱿钓渔船为例, 根据其船舶数据和集鱼灯布置情况, 以及海上实际测定的灯光数据, 计算其集鱼灯灯光强度分布, 分析鱿钓船灯光布置的合理性, 以掌握智利外海茎柔鱼捕捞的合适灯光强度, 为节约燃油成本和提高诱捕效果提供参考。

### 1 材料和方法

#### 1.1 探捕渔船

新世纪 52 号鱿钓渔船, 总长 71.5 m, 型宽 11.0 m, 型深 5.5 m; 总吨 1336 t, 舱容 1000 t; 主机功率 1691 kW, 副机功率 320 kW × 3 台 + 200 kW × 2 台, 速冻能力 38 t·d<sup>-1</sup>; SE-UT01 型钓机 22 台; 手钓船员 40 人。

集鱼灯为金属卤化物灯, 其功率分别为 180

收稿日期: 2007-09-30

资助项目: 农业部公海渔业探捕项目(06-65); 上海市重点学科建设项目(T1101)

作者简介: 王 飞(1973-), 女, 浙江嵊州人, 硕士, 讲师, 主要从事海洋渔业研究。Tel: 0580-2551956, E-mail: fwang@zjou.net.cn

通讯作者: 钱卫国, 021-65710205, E-mail: wqian@shfu.edu.cn

盏×2 kW,均匀布置在两舷(图1)。集鱼灯离海面的平均高度为6.5 m,集鱼灯与船舷的水平距

离为1.5 m,相邻两个金属卤化物灯的平均间距为0.5 m,调查船的灯光布置见图1。

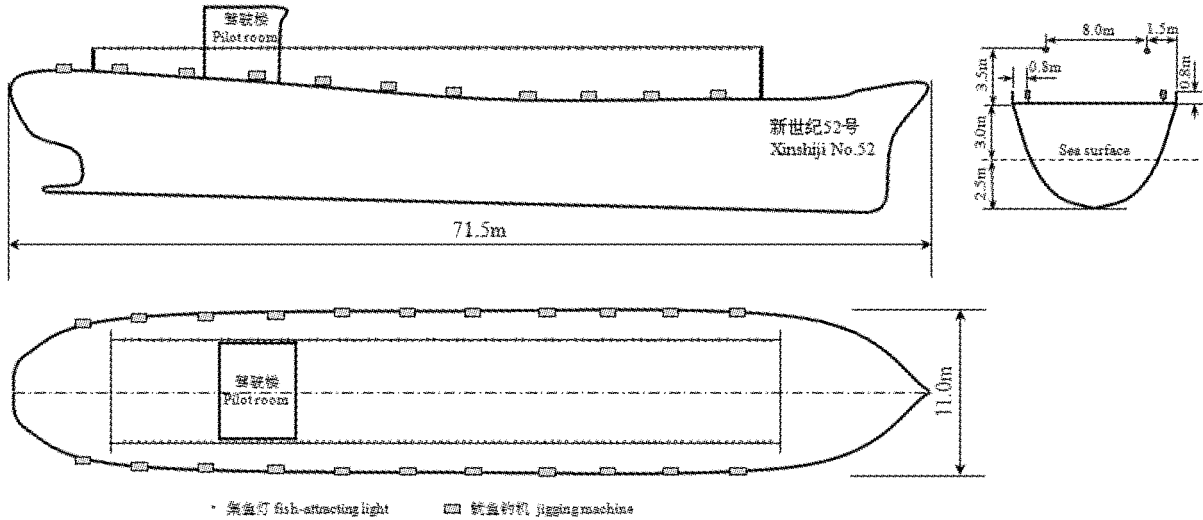


图1 新世纪52号鱿钓船集鱼灯及钓机布置示意图

Fig.1 The platform of fish-attracting light and jigging machines on the squid jigging vessel of Xinshiji No.52

1.2 海上测定及灯光衰减系数

测光仪器为日本石川产业株式会社制造的水下灯光照度计,其型号为IU-2B。测定范围为0~200 000 lx,测光精度为0.1 lx,水下测光的极限深度为50 m。

测量水中光照度时,在右舷各台钓机近船艏方向的网托架滚轮处,垂直下放测光传感器。该位置与船舷的水平距离为2.0 m,即2.2 m × cos35°,其中2.2 m为网托架长度,35°为网托架的水平夹角。测定水层为0、2、5、10、15、20、25及30 m。利用上述数据,拟合指数衰减曲线,得到集鱼灯在该海域的灯光衰减系数。拟合公式见式(1)。

$$E = ae^{-\mu Z} \tag{1}$$

式(1)中: E 为照度(lx), Z 为深度(m), a 为待估参数, μ 为灯光衰减系数。

1.3 叠加法照度计算模式

建立坐标系 首先,建立以船舳线在水面上的垂直投影线为 X 轴,以船艏在水面上的垂直投影线为 Y 轴,垂直向上方向为 Z 轴的三维直角坐标系(图 2-a)。

以左舷侧为例,第  $L_1$  列灯第  $i$  个集鱼灯的坐标  $L_{1i}(x_{1i}, y_{1i}, z_{1i})$ , ( $i = 1, 2, \dots, n_1$ ) 可由下式得到:

$$\begin{cases} x_{1i} = b + d(i - 1) \\ y_{1i} = \frac{D}{2} \\ z_{1i} = h \end{cases} \tag{2}$$

对于水下任意一点  $q(X_0, Y_0, Z_0)$ ,从第  $L_1$  列灯上的任意一盏灯  $L_{1i}(x_{1i}, y_{1i}, h)$  上发出的光将会经由水面上惟一的一点  $P_{1i}(x, y, 0)$  折射而来。显然,灯  $L_{1i}$ 、 $P_{1i}$  点及  $q$  点组成的平面应满足几何定律和光的折射定律。由几何关系可得:

$$\frac{y - y_{1i}}{x - x_{1i}} = \frac{y_0 - y}{x_0 - x} \tag{3}$$

考虑到船首艏方向照度计算的复杂性,本文仅对船侧方向水中照度进行计算。参照图 2,式(3)中  $x_0, y_0$  的范围应满足条件:  $0 \leq x_0 \leq L$  船长,

$y_0 \geq \frac{D}{2} + a(\frac{h_1}{h - h_1} + 1)$ 。由折射定律可得:

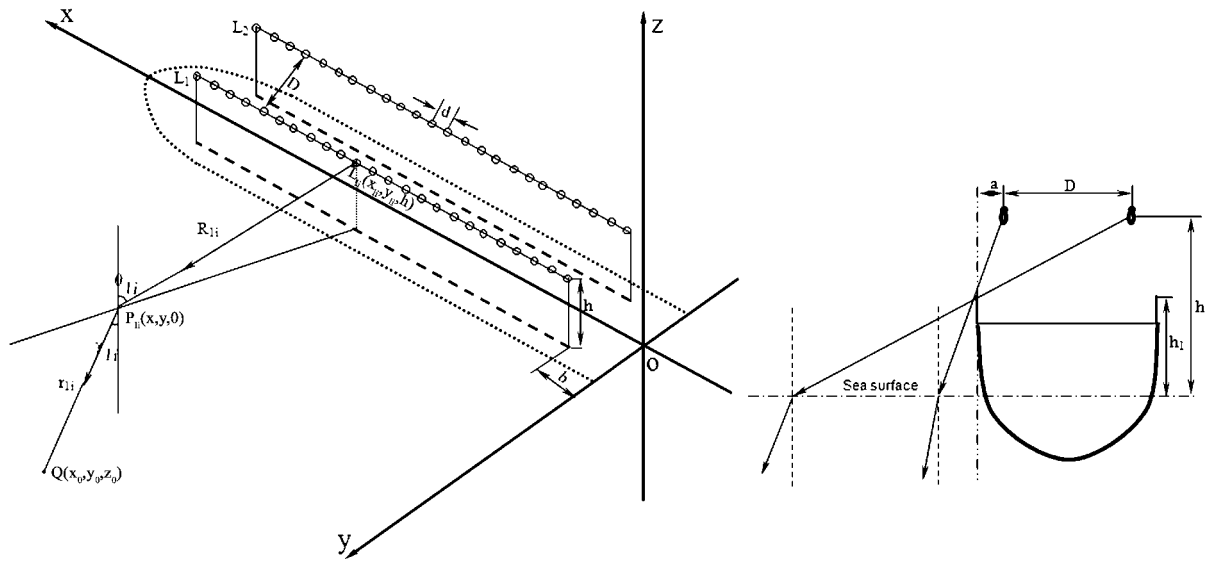


图 2 集鱼灯水中照度计算模式示意图

Fig.2 Calculation model of fish-attracting light for underwater illuminate

$h$ :灯离水面高度(m);  $h_1$ :船舷距水面高度(m);  $d$ :集鱼灯间距(m);  $a$ :集鱼灯距舷边距离(m);  $D$ :两列灯之间的距离(m);  $b$ :船尾第 1 个灯距船尾距离(m);  $L_1$ :第 1 列灯;  $L_2$ :第 2 列灯;  $R_{1i}$ :灯  $L_{1i}$ 到入射点  $P_{1i}$ 距离(m);  $r_{1i}$ :  $P_{1i}$ 到水中  $Q$ 点距离(m)  
 $h$ .light height above sea surface;  $h_1$ . height of ship's side above sea surface;  $d$ . distance between lights;  $a$ . distance between lights and ship's side;  $D$ . the horizontal distance between the two light strings;  $b$ . distance between the first sternward light and stern;  $L_1$ . the first light strings;  $L_2$ . the second light strings;  $R_{1i}$ . distance from  $L_{1i}$  to incident point  $P_{1i}$ ;  $r_{1i}$ . distance from  $P_{1i}$  to  $Q$

$$Z' > h_1 \tag{5}$$

$$\begin{cases} \sin\theta_{1i} = n \sin\gamma_{1i} \\ \sin\theta_{1i} = \frac{\sqrt{(y - y_{1i})^2 + (x - x_{1i})^2}}{\sqrt{(y - y_{1i})^2 + (x - x_{1i})^2 + h^2}} \\ \sin\gamma_{1i} = \frac{\sqrt{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2}}{\sqrt{(y - y_0)^2 + (x - x_0)^2 + z_0^2}} \end{cases} \tag{4}$$

式(5)中,  $h_1$  为船舷距离水面高度;  $Z'$  为入射点  $P_{1i}(x, y, 0)$  与集鱼灯  $L_{1i}(x_{1i}, y_{1i}, z_{1i})$  的所在直线与左舷边所在平面的交点离水面高度:

$$Z' = h \left( \frac{D}{2} + a - y \right) / (y_{1i} - y) \tag{6}$$

式(4)中,  $\theta_{1i}$  为集鱼灯  $L_{1i}$  在  $P_{1i}$  点的入射角,  $\gamma_{1i}$  为集鱼灯  $L_{1i}$  在  $P_{1i}$  点入射角为  $\theta_{1i}$  时的折射角,  $n$  为空气的相对折射率, 对于海水可取  $n = 1.33$ <sup>[8]</sup>。

当  $L_{1i}$  点坐标和  $Q$  点坐标已知时, 可根据式(2)~(4)求得入射点  $P_{1i}$  的坐标。参照图 2-a 坐标系可知, 当集鱼灯以一定的参数布置时, 那么任意一盏灯的坐标都是已知的, 故对于水下任意一点, 都可以根据式(2)~(4), 求得其相应的水面入射点的坐标。

由图 2-b 可知, 要使某一集鱼灯的光线照射到水面上的一入射点, 则该集鱼灯射往水面上相应入射点的光线应不受船舷和甲板的阻碍, 即应满足如下关系式:

集鱼灯光的传递过程分析 光线从  $L_{1i}$  传递到  $Q$  点的过程中包含 3 部分不同的光能损失, 即: 从  $L_{1i}$  到  $P_{1i}$  点水面 (+0 m) 处, 由于空气引起的光能损失; 从  $P_{1i}$  点水面 (+0 m) 处到点  $P_{1i}$  水面 (-0 m) 处, 由于光的传播介质不同及反射引起的光能损失; 从  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处传递到  $Q$  点的过程中, 由于水的吸收、散射等引起的光能的衰减。

(1) 从  $L_{1i}$  到  $P_{1i}$  点水面 (+0 m) 处。对于第  $L_1$  列灯上的任意一盏集鱼灯  $L_{1i}$ , 设其在  $P_{1i}$  点水面 (+0 m) 处的照度为  $E_{P_{1i}}^+$ , 入射角为  $\theta_{1i}$ , 该灯照到  $P_{1i}$  点的光强度为  $I_{\theta_{1i}}$ 。

按照三角函数关系,参照图2可得:

$$\cos\theta_{1i} = \frac{\sqrt{(x_{1i} - x)^2 + (y_{1i} - y)^2}}{\sqrt{(x_{1i} - x)^2 + (y_{1i} - y)^2 + (h - 0)^2}} \quad (7)$$

对于集鱼灯  $L_{1i}$ ,在  $\theta_{1i}$  方向上距离为  $R_{1i}$  的一点  $P_{1i}$  水面 (+0 m) 处的照度,可按点光源的计算公式计算该处的照度<sup>[8]</sup>,即:

$$E_{P_{1i}}^+ = \frac{I_{\theta_{1i}}}{(R_{1i})^2} \cos\theta_{1i} = I_{\theta_{1i}} \frac{\sqrt{(x_{1i} - x)^2 + (y_{1i} - y)^2}}{[(x_{1i} - x)^2 + (y_{1i} - y)^2 + (h - 0)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

式(8)中,  $I_{\theta_{1i}}$  由不同集鱼灯的配光曲线获得。由于鱿钓集鱼灯是各向异性的光源,其发光强度随方向而变化,对于 2 kW 金属卤化物灯,根据其配光曲线<sup>[7]</sup>,发光强度  $I_{\theta}$  随角度变化的函数曲线为:

$$I_{\theta} = 1778.75 + 18851.2 \times \sqrt{|\sin\theta|} \quad (9)$$

(2)从  $P_{1i}$  点水面 (+0 m) 处到  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处。对于第  $L_1$  列灯上的任意一盏集鱼灯  $L_{1i}$ ,设其在  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处的照度为  $E_{P_{1i}}^-$ 。由于光从空气进入水面时,部分光能要被反射,则对于  $P_{1i}$  点直接下方 (-0 m) 处的水平照度可由下式求得:

$$E_{P_{1i}}^- = E_{P_{1i}}^+ \beta_{\theta_{1i}} \quad (10)$$

式(10)中,  $\beta_{\theta_{1i}}$  为光在  $P_{1i}$  点处的光能折射比,按照 Fresnel 法则<sup>[9]</sup>,计算公式如下:

$$\beta_{\theta_{1i}} = 1 - 0.5 \times \left[ \frac{\text{tg}^2(\theta_{1i} - \gamma_{1i})}{\text{tg}^2(\theta_{1i} + \gamma_{1i})} + \frac{\sin^2(\theta_{1i} - \gamma_{1i})}{\sin^2(\theta_{1i} + \gamma_{1i})} \right] \quad (11)$$

式(11)中,  $\gamma_{1i}$  为集鱼灯  $L_{1i}$  在  $P_{1i}$  点入射角为  $\theta_{1i}$  时的折射角。

(3)从  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处到  $\varrho$  点。对于第

$L_1$  列灯上的任意一盏集鱼灯  $L_{1i}$ ,设其在  $\varrho$  点处的照度(法向照度,下同)为  $E_{Q_{1i}}$ 。光从  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处传递到  $\varrho$  点的过程中,由于海水的吸收和散发,在经过了  $\gamma_{1i}$  的距离后衰减为  $P_{1i}$  点水面 (-0 m) 处照度的  $e^{-\mu\gamma_{1i}}$ ,即:

$$E_{Q_{1i}} = E_{P_{1i}}^- e^{-\mu\gamma_{1i}} \cos\gamma_{1i} \quad (12)$$

式(12)中,  $\mu$  为光在水中的衰减系数,根据海上实测数据推算得到。

集鱼灯水中照度计算 第  $L_1$  列上所有集鱼灯(设第  $L_1$  列集鱼灯灯数为  $n_1$ )在点  $\varrho$  的照度为:

$$E_{Q_1} = \sum_{i=1}^{n_1} E_{Q_{1i}} = \sum_{i=1}^{n_1} E_{P_{1i}}^- e^{-\mu\gamma_{1i}} \cos\gamma_{1i} \quad (13)$$

同理,可求得第  $L_2$  列(设第  $L_2$  列集鱼灯灯数为  $n_2$ )上所有集鱼灯在  $\varrho$  点的照度为:

$$E_{Q_2} = \sum_{j=1}^{n_2} E_{Q_{2j}} = \sum_{j=1}^{n_2} E_{P_{2j}}^- e^{-\mu\gamma_{2j}} \cos\gamma_{2j} \quad (14)$$

由此,在两列集鱼灯作用下,  $\varrho$  点处的总照度为:

$$E_{Q_0} = E_{Q_1} + E_{Q_2} = \sum_{i=1}^{n_1} E_{P_{1i}}^- e^{-\mu\gamma_{1i}} \cos\gamma_{1i} + \sum_{j=1}^{n_2} E_{P_{2j}}^- e^{-\mu\gamma_{2j}} \cos\gamma_{2j} \quad (15)$$

为了计算方便,使用 C++ 语言对式(2)~(15)进行编程,得到“叠加法”照度计算程序。使用该程序可计算鱿钓渔船集鱼灯不同布置时水中任意一点的照度。

不同等照度曲面所围水体体积的计算 为比较分析不同集鱼灯配置的有效诱集范围,需对某照度值所含的水体体积进行估算。本文使用水柱元体积累加的方法来估算(图3)。

如图3,选取某一微小水柱,其体积:

$$dV = dx dy z_{xy} \quad (16)$$

式(16)中  $z_{xy}$  表示该微小水柱的高度(m)。则整个曲面所围的水体体积为:

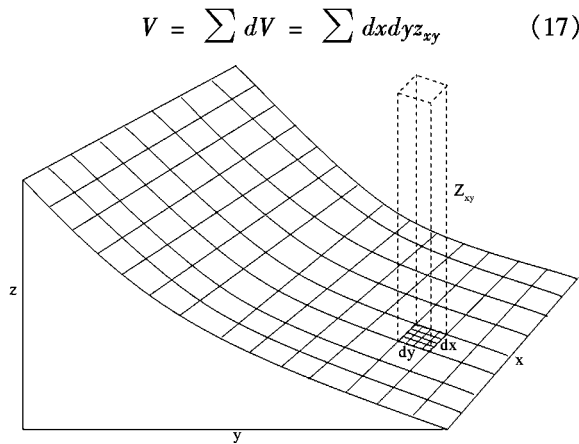


图3 水体体积计算示意图  
Fig.3 Calculation of water volume

根据所编的程序,可以获得不同照度的水下各点坐标。当将  $x$ 、 $y$  方向的计算步长  $dx$ 、 $dy$  设为某一单位长度,则(17)式可转化为:

$$V = dx dy \sum z_{xy} \quad (18)$$

式(18)中,为某照度(如 10、1、0.1 lx 等)在某位置的深度值,当该位置位于光照区时,  $z_{xy}$  可由程序搜索得到;当该位置位于船体阴影区时,使用该照度所处的最大水深值进行估算。

1.4 数据处理

根据实际船型参数进行计算,可得到不同功率和集鱼灯布置参数时的照度分布情况,以及不同等照度曲面所围的水体体积。使用 Surfer 7.0 软件绘制相关的等值曲线图。

2 结果

2.1 灯光衰减系数

根据集鱼灯灯光的实际测定数据,当金属卤化物灯总功率 360 kW 时,拟合指数衰减曲线公式中  $a$  值为 351.30,系数  $\mu$  值为 0.2010 ( $R^2 = 0.9828$ )。当金属卤化物灯总功率 240 kW 时,拟合指数衰减曲线公式  $a$  值为 239.04,系数  $\mu$  值为 0.1969 ( $R^2 = 0.9705$ )。由此可得,集鱼灯灯光在该鱿钓渔场灯光平均衰减系数  $\mu = 0.2$ 。

2.2 不同总功率时的水下照度分布

在灯光总功率从 360 kW 减少到 180 kW,各等照度曲线并非成倍变浅(图 4),且变化幅度不大,如 100 lx 的等照度曲线水深仅相差 3 ~ 5 m,1 lx 的等照度曲线也只有 6 ~ 12 m。

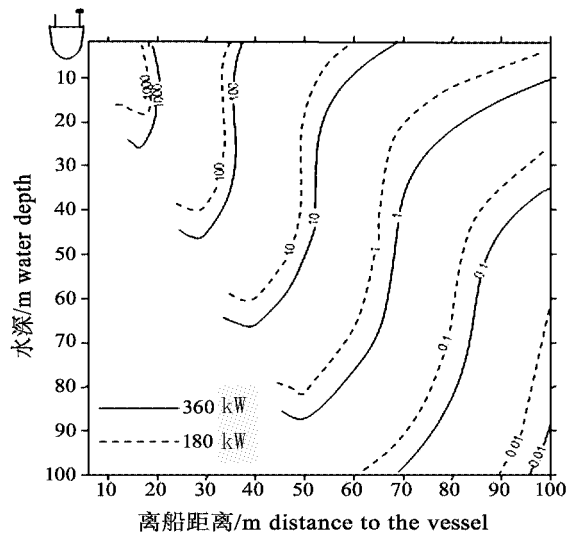


图4 不同集鱼灯功率时的水中等照度曲线分布  
Fig.4 Contours of underwater irradiance of different out power of fish-attracting light

表 1 不同灯高、灯距时的诱集水体体积

Tab.1 The attracting water value with different height and space between of fish-attracting light		$\times 10^6 m^3$						
$h$	$V$	$d = 0.45$	$d = 0.5$	$d = 0.55$	$d = 0.6$	$d = 0.65$	$d = 0.7$	$d = 0.75$
5.5	$V_{0.1}$	2.755	2.811	2.839	2.811	2.781	2.751	2.721
	$V_{10}$	0.385	0.393	0.397	0.391	0.385	0.379	0.371
6.0	$V_{0.1}$	3.147	3.212	3.244	3.209	3.177	3.145	3.108
	$V_{10}$	0.485	0.496	0.500	0.494	0.486	0.479	0.471
6.5	$V_{0.1}$	3.493	3.564	3.600	3.561	3.526	3.488	3.450
	$V_{10}$	0.485	0.496	0.500	0.494	0.486	0.479	0.471
7.0	$V_{0.1}$	3.785	3.862	3.900	3.862	3.821	3.782	3.741
	$V_{10}$	0.526	0.535	0.541	0.534	0.526	0.519	0.510
7.5	$V_{0.1}$	4.058	4.141	4.182	4.141	4.097	4.053	4.008
	$V_{10}$	0.562	0.573	0.579	0.571	0.564	0.554	0.545

2.3 集鱼灯布置的合适参数

灯高灯距的设置 通过计算,集鱼灯功率为 360 kW 时,不同灯高(5.5,6.0,6.5,7.0,7.5 m)不同集鱼灯间距(0.45,0.5,0.55,0.60,0.65,0.70,0.75 m)情况下,0.1 lx、10 lx 水中等照度曲面与水面所围的水体体积见表 1。

根据表 1 数据,绘制得到不同集鱼灯布置参数时的适宜诱集水体体积  $V_{0.1} - V_{10}$ (考虑到头足类适宜的照度一般为 0.1 ~ 10 lx)(图 5)。由图 5 可看出,随着灯高的增加,诱集水体的有效体积不断增加,但增加幅度呈递减趋势。从灯距变化来看,灯距在 0.5 ~ 0.6 m 间时所对应的诱集水体体积较大。

表 2 不同总功率时的诱集水体体积

Tab.2 The attracting water value with different out power of fish-attracting light  $\times 10^6 \text{ m}^3$

功率(kW) out power	$V_{0.1}$	$V_{10}$
$T = 360$	3.564	0.496
$T = 352$	3.569	0.486
$T = 344$	3.583	0.473
$T = 336$	3.596	0.464
$T = 328$	3.610	0.454
$T = 320$	3.637	0.444
$T = 312$	3.658	0.435
$T = 304$	3.679	0.425
$T = 296$	3.690	0.415
$T = 288$	3.694	0.405
$T = 280$	3.696	0.396
$T = 272$	3.675	0.386
$T = 264$	3.654	0.377
$T = 256$	3.615	0.367
$T = 248$	3.572	0.358
$T = 240$	3.496	0.348
$T = 232$	3.417	0.339
$T = 224$	3.323	0.329
$T = 216$	3.228	0.319
$T = 208$	3.418	0.310
$T = 200$	3.070	0.301

总功率的设置 当集鱼灯布置的参数不变,仅改变总功率时,所得到的有关水体体积见表 2(计算时平均分布灯距)和图 6。由图 6 可知,随着总功率的增加,诱集水体体积  $V_{0.1} - V_{10}$  不断增加,在 300 kW 附近达到最大值,然后随着功率的增加诱集水体体积不断减少。

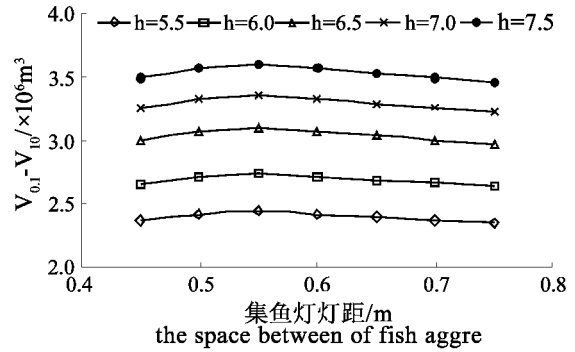


图 5 不同灯高灯距时的适宜诱集水体体积

Fig.5 The fitted attracting water volume with different height and space between of fish-attracting light

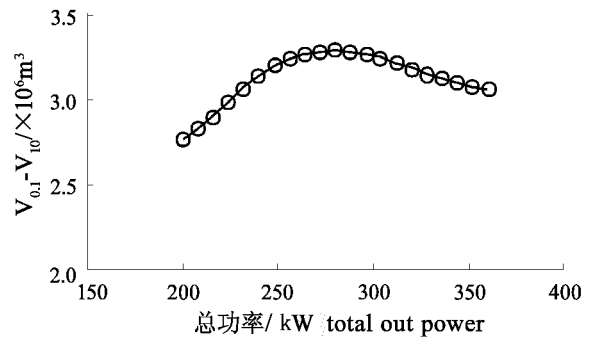


图 6 不同总功率时的适宜诱集水体体积

Fig.6 The fitted attracting water volume with different out power of fish-attracting light

3 结论与探讨

(1)灯光总功率从 360 kW 到 180 kW 下降了一半,各等照度曲线并非成倍变浅变近,而且变化幅度不大,如 100 lx 的等照度曲线在两种不同功率情况时相距仅 3 ~ 6 m,10 lx 的等照度曲线在两种不同功率情况时相距为 5 ~ 10 m,1 lx 的等照度曲线在两种不同功率情况时相距为 6 ~ 12 m。可见,并不是增加一倍的集鱼灯功率,就会有相应的灯光进入水中。

(2)随着灯高的增加,诱集水体的体积不断增加,但增加幅度呈递减趋势,新世纪 52 号目前的灯高(6.5 m)是比较合适的。目前国内的大型鱿钓渔船灯高在 6 ~ 7.5 m 之间,应该还是比较合适的,实际安装中除应考虑船舶的平衡和安全外,还应考虑与舷边距的比例等,使钓机在海面的下线位置处于合适阴影部位。

(3)从灯距变化来看,灯距在 0.55 m 时所对应的诱集水体体积最大,新世纪 52 号目前的灯距(0.5 m)可以适当增大到 0.55 m 左右。目前多数鱿钓渔船集鱼灯灯距为 0.3 m 到 1.2 m 疏密不一,本文认为应予合适调整,最好能将间距调整到 0.5~0.6 m。

(4)随着总功率的增加,有效诱集水体体积不断增大,在 300 kW 附近达到最大值,然后随着功率的增加诱集水体体积不断减少。新世纪 52 号目前的集鱼灯总功率为 360 kW,如果考虑得到较大的有效水体,可以减少总功率到 300 kW 左右。另从该船 2006 年的生产统计报告来看,当总功率为 272 kW 时,单位功率渔获产量最高。

(5)集鱼灯光线进入海水后,受到海水中悬浮颗粒、溶解物质和浮游生物等的影响而衰减,因此不同海域不同时期的光衰减系数是不同的。本文主要针对智利外海茎柔鱼鱿钓渔场进行了研究,有关结果并不一定适合北太平洋柔鱼渔场、大西洋阿根廷滑柔鱼渔场、秘鲁茎柔鱼渔场和印度洋阿拉伯海鸚乌贼渔场等,相关研究还应得到进一步深入。

(6)关于集鱼灯在水中照度的计算,傅恩波等<sup>[10]</sup>曾使用点光源计算模式对鱿钓渔船集鱼灯的配置方法进行研究;崔渐珍<sup>[3]</sup>等曾使用线光源方法对日本近岸作业小型鱿钓船的海面照度进行计算和测量比较;郑国富<sup>[11]</sup>使用经验计算方法光诱鱿鱼浮拖网作业的水中照度进行研究;钱卫国等<sup>[12]</sup>对点光源计算方法、线光源计算方法和经验计算方法等进行了比较,并建立了叠加法计算方法。叠加法计算方法是将集鱼灯按照几何定律和折射定律进行照度的叠加计算,理论上来说更为确切些,但在集鱼灯水中照度分布的计算中,也没有考虑各光源之间的干扰,同时忽略了背景光的影响,以及假定海况天气都是良好的前提条件下

进行计算的。实际情况和需考虑的因素十分复杂,应作更全面的分析和研究。

#### 参考文献:

- [1] 钱卫国,陈新军,郑 波.智利外海茎柔鱼渔获产量及钓捕技术的初步研究[J].上海水产大学学报,2007,16(5):460-465.
- [2] 钱卫国.鱿钓渔业中集鱼灯的优化配置研究[D].上海水产大学博士学位论文,2005,1-116.
- [3] 崔渐珍,荒川久幸,有远贵文,等.线光源モデルを用いた小型イカ釣り漁船集魚灯の水中照度分布解析[J].日本水产学会志,2003,69(1):44-51.
- [4] 张丽蕊.光诱鱿钓渔业中光强分布的模型建立[D].上海水产大学硕士学位论文,2004,1-36.
- [5] 陈新军,钱卫国,郑 奕.鱿钓船灯光有效利用的初步研究[J].上海水产大学学报,2004,13(2):176-179.
- [6] 钱卫国,王 飞,孙满昌,等.8154型鱿钓渔船合适作业间距的研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2006,25(1):34-39.
- [7] 钱卫国,孙满昌.大型专业鱿钓渔船合适作业间距的研究[J].大连水产学院学报,2006,21(4):311-315.
- [8] 王 楚,汤俊雄.光学[M].北京:北京大学出版社,2001.
- [9] 苏 力,蓝玉龙.菲涅尔公式的几何表示法再探[J].广西大学学报,2000,25(2):161-163.
- [10] 傅恩波,陈永茂,吴文展,等.鱿鱼钓集鱼灯配置方法的探讨[C]//中国水产捕捞学术研讨会论文集.上海:上海科学技术文献出版社,1999:37-42.
- [11] 郑国富.诱鱼灯光场计算及其对光诱鱿鱼浮拖网作业的影响[J].台湾海峡,1999,18(2):215-220.
- [12] 钱卫国,王 飞.集鱼灯海面照度计算方法的比较研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2004,23(4):285-290.

## Study on the effective utilization of fish-attracting light power in the fishing ground of *Dosidicus gigas* off Chile

WANG Fei<sup>1</sup>, QIAN Wei-guo<sup>2,3</sup>

(1. Fisheries School, Zhejiang Ocean College, Zhoushan 316004, China;

2. College of Marine Science and Technology of Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

3. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** *Dosidicus gigas* is one of important fishing targets in the Chinese squid jigging fishery which is distributed in the high seas off Chile. Effective utilization of fish-attracting light power is an important aspect of fishing techniques. In the paper, light attenuation coefficient is estimated based on the *in situ* measurement of light intensity in the squid fishing ground off the coast of Chile. Meanwhile, the calculation model of underwater light illumination is established theoretically, and the "Xinshji No. 52" squid fishing vessels is considered as an example to analyses effective utilization of fish-attracting light power. The results show that the light attenuation coefficient of metal halide lights equals to 0.2 in the water. With the lights moving up, the suitable illumination volume between 0.1 and 10 lx (called the "effective volume") increases continuously, but the increasing ratio displays a downward trend, it is appropriate for the vessel to set the height of lights at 6.5 m. Effective volume can be maximized by setting lights distance at 0.55 m, therefore, it is proposed that lights distance increase from 0.5 m to 0.55 m in the vessel. Effective volume increases with total power of fish attracting lights, and reaches the maximum at total power of 300 kW. It is recommended that the total power of the vessel reduce from 360 kW to 300 kW. The setting and requirements of fish-attracting light can be modified according to fishing area and fishing target. It is not advisable to put more and more power on fish-attracting light.

**Key words:** *Dosidicus gigas*; fish-attracting light; effective utilization; squid jigging vessel; the high seas off Chile