

2种水下集鱼灯水中光强分布及其比较研究

钱卫国, 陈新军, 孙满昌

(上海水产大学 海洋学院, 上海 200090)

摘要:根据在印度洋鳷乌贼(*Symplectoteuthis luminosa*)渔场对鱿钓船周围水中光照度的实测数据,对5 kW金属卤化物灯和5 kW卤素灯的水中光照度分布进行了分析和比较。结果表明,金属卤化物灯和卤素灯光照度的衰减曲线分别为: $I = 28.74 \times e^{-0.0952r}$ 和 $I = 6.29 \times e^{-0.0914r}$;金属卤化物灯0.01 lx等光照度曲面所包含的水体体积为 $244.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,是卤素灯的1.67倍。以一些头足类的适宜光照度0.01~10 lx为例,金属卤化物灯和卤素灯在这一光照度的诱集范围之比为1.66:1。

关键词:水下灯;卤素灯;金属卤化物灯;水中光照度分布;鱿钓渔业

中图分类号:S972.63 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)02-0173-06

水下集鱼灯具有节能、诱集范围广、穿透水层深等特点^[1-3],于20世纪90年代被广泛应用到鱿钓作业中。1990年以来,在北太平洋中东部海域生产的日本、韩国、中国(包括台湾省)的大型鱿钓船逐渐装备了水下灯,并在白天诱集以钓捕深水层的大型柔鱼(*Ommastrephes bartrami*)^[4-6]。此外,在西南大西洋海域生产的鱿钓船也采用水下灯。1997年中国一些学者开始在鱿钓作业中对水下灯进行试验和应用,在如何使用水下灯和操作规范等方面均作了较为深入的研究^[4-8]。但是,对水下灯(包括金属卤化物灯和卤素灯)在水中的光照度分布未曾有过研究。中国鱿钓船普遍使用水下灯,因此,了解和掌握水下灯在水中的光照度分布显得尤为重要。通过这一研究,可以为合理布设水下灯的水层、扩大有效诱集范围,从而提高渔获效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验船、地点和时间

实验船为浙江省远洋渔业公司普陀分公司的“新世纪61号”,船长49.7 m,型宽8.5 m,总吨位为581 t,主机功率441 kW。共有SE-58型钓机37台,船员人数为28名。

测光地点为13°55'36"N,60°48'15"E,系印度洋

西北部的公海海域;天气晴朗,测光时海面没有月光影响,流速为1 kn。

测光时间为2003年10月30日(农历十月初六日)当地时间20:00~21:30(东四区)。

1.2 水下灯种类及其布置

水下灯左右舷各2盏,每舷均有5 kW卤素灯(型号为QW5-200)1盏和5 kW金属卤化物灯(型号为MTW50HG)1盏。卤素灯发光效率较低,主要以黄色、橙色波段为主;金属卤化物灯发光效率高,主要以绿色波段为主^[9]。水下灯布置参见图1。

1.3 测光设备

测光设备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。照度测定范围为0~200 000 lx,精度为0.1 lx,水下测光的极限深度为50 m。

1.4 测量方法

将右舷水下灯(金属卤化物灯和卤素灯)通过水下灯支架放置在水下5 m处(图2),在左、右舷单号钓机(P1、P5、P9、P13、P17,以及S1、S5、S9、S13、S17,共10台,参见图1)近船舷方向的短网托架滚轮处,垂直下放测光传感器,测定水中5 m、10 m、15 m、20 m、25 m及30 m共6个水层的光照度。

收稿日期:2004-04-27;修订日期:2004-06-07。

基金项目:农业部公海渔业资源调查项目(03-42);上海市委重点学科建设项目(02-185)。

作者简介:钱卫国(1977-),男,博士生,主要从事远洋鱿钓、鱿钓集鱼灯研究。E-mail: wqgjian@stmail.shfu.edu.cn

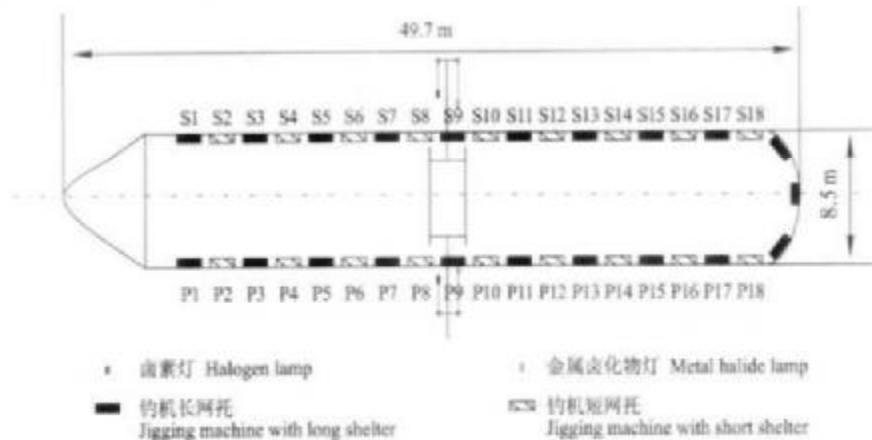


图1 “新世纪61号”渔船集鱼灯和钓机布置俯视图

Fig.1 Platform of fish aggregating lamp and jigging machine on the fishing boat of Xinshiji No.61

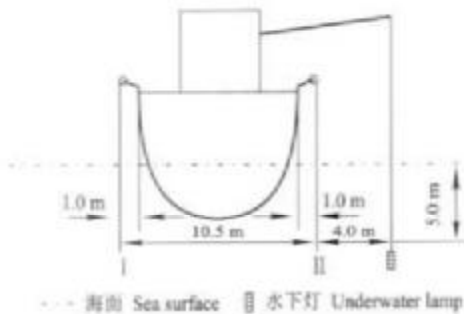


图2 水中光照度测量示意图

Fig.2 Illustration of measuring light underwater

左舷各测光点所成的垂面离水下灯的水平距离为14.5 m,以下称之为断面Ⅰ(图2)。右舷各测光点所成的垂面离水下灯的水平距离为4.0 m,以下称之为断面Ⅱ(图2)。即分别测定离左右舷水平距离1.0 m处垂面各5个点、6个水层的光照度,两断面共计60个测光点。

1.5 数据分析方法

采用 Mathematica 5.0 及 Surfer 7.0 软件绘制等光照度曲线。

利用指数曲线拟合光照度与距离之间的衰减曲线,并利用衰减曲线绘制 1 lx、0.1 lx、0.01 lx 和 0.001 lx 等光照度的理论等值线,以及利用球体体积计算公式推算诱集范围。

2 结果

2.1 金属卤化物灯水中光照度分布

从图3可知,其水中光照度分布似一以水下灯为中心的同心球面。左舷测光垂面(断面Ⅰ)的最大光照

度为8.0 lx,其20 m水层各处的光照度在2.5~4 lx间;25 m水层为1.6~2.2 lx,30 m水层为0.8~2.0 lx间(图3A)。而右舷测光垂面(断面Ⅱ)的最大光照度约为20 lx,在20 m水层光照度在3.0~7.0 lx间;25 m水层光照度在2.2~3.4 lx间;30 m水层为1.6~2.2 lx间,其平均照度为1.88 lx(图3B)。

2.2 卤素灯水中光照度分布

与同功率的金属卤化物灯相比,在同一测定卤素灯的光照度均较低(图3、4)。例如,卤素灯在断面Ⅰ20 m水层的平均光照度为0.6 lx,而金属卤化物灯为3.1 lx;卤素灯在断面Ⅱ20 m水层的平均光照度为1.7 lx,而金属卤化物灯为4.52 lx。

从图4(A)知,5~30 m水层各处的光照度在0.2~1.6 lx。其10 m水层的光照度在0.5~1.4 lx,平均光照度为1.4 lx;其20 m水层的光照度在0.3~1.2 lx,平均光照度为0.6 lx;30 m水层的光照度在0.2~0.8 lx,平均光照度为0.36 lx。

从图4(B)可知,5~30 m水层各处的光照度在0.6~4 lx。其10 m水层的光照度在1.6~3.5 lx,平均照度为2.24 lx;20 m水层的光照度在1.0~3.0 lx,平均照度为1.7 lx;30 m水层的光照度在0.6~2.0 lx,平均照度为1.0 lx。

2.3 光照度衰减曲线的拟合

由上述分析可知,水中光照度分布基本是一个以水下灯为中心的球体,因此用点光源的概念是适合的^[10]。根据各测光位置的空间坐标与水下灯的相对距离,以及所测光照度,可获得距水下灯不同距离的光照度分布图(图5)。

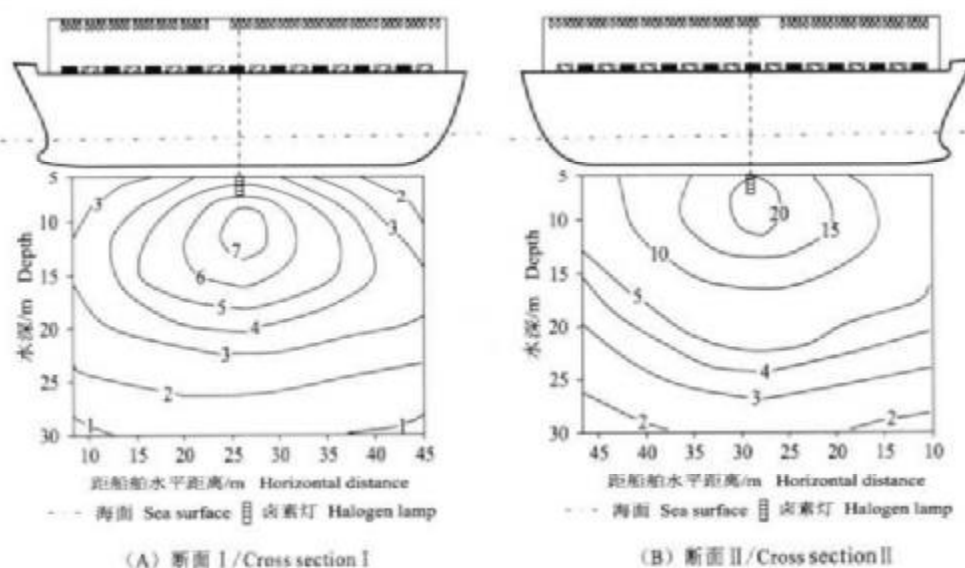


图3 金属卤化物灯水中光照度等值曲线分布图

Fig.3 Underwater distribution of illumination contours for metal halide lamp

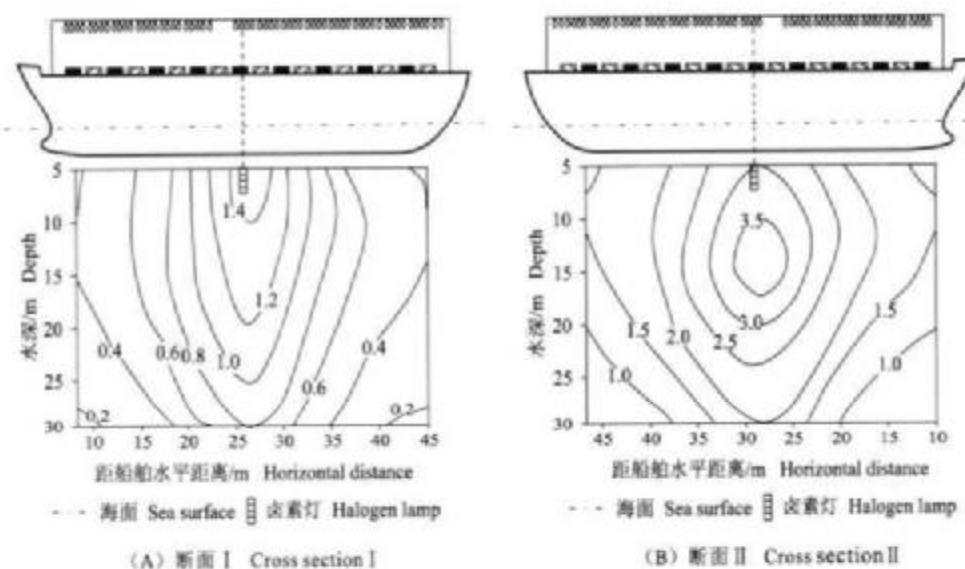


图4 卤素灯水中光照度等值曲线分布图

Fig.4 The underwater distribution of illumination contours for halogen lamp

通过拟合,可得到金属卤化物灯和卤素灯光照度的衰减曲线,如下:

金属卤化物灯光照度与距离的关系式为:

$$I = 28.74 \times e^{-0.0952r}$$

($R^2 = 0.878$, 显著性水平: $P < 0.01$)

卤素灯的光照度与距离的关系式为:

$$I = 6.29 \times e^{-0.0914r}$$

($R^2 = 0.780$, 显著性水平 $P < 0.01$)

式中: I 为光照度 (lx), r 为水中任意一点到水下灯的直线距离 (m)。

使用上述公式可分别绘制水下灯的光照度等值曲线分布图 (图 6)。

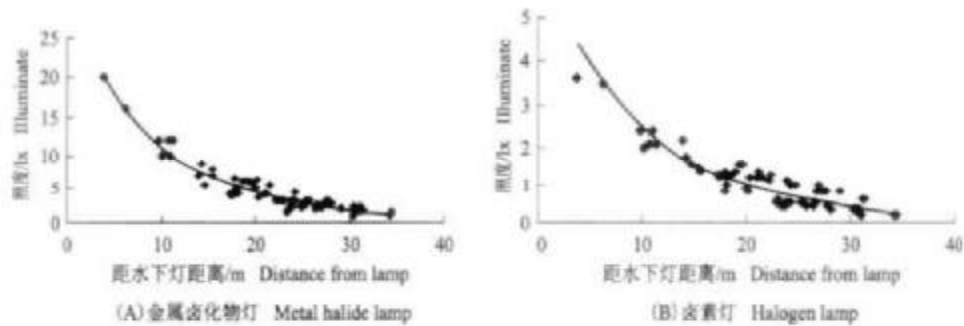


图5 光照度衰减曲线拟合图

Fig.5 The fitted curve of decreasing illumination with distance

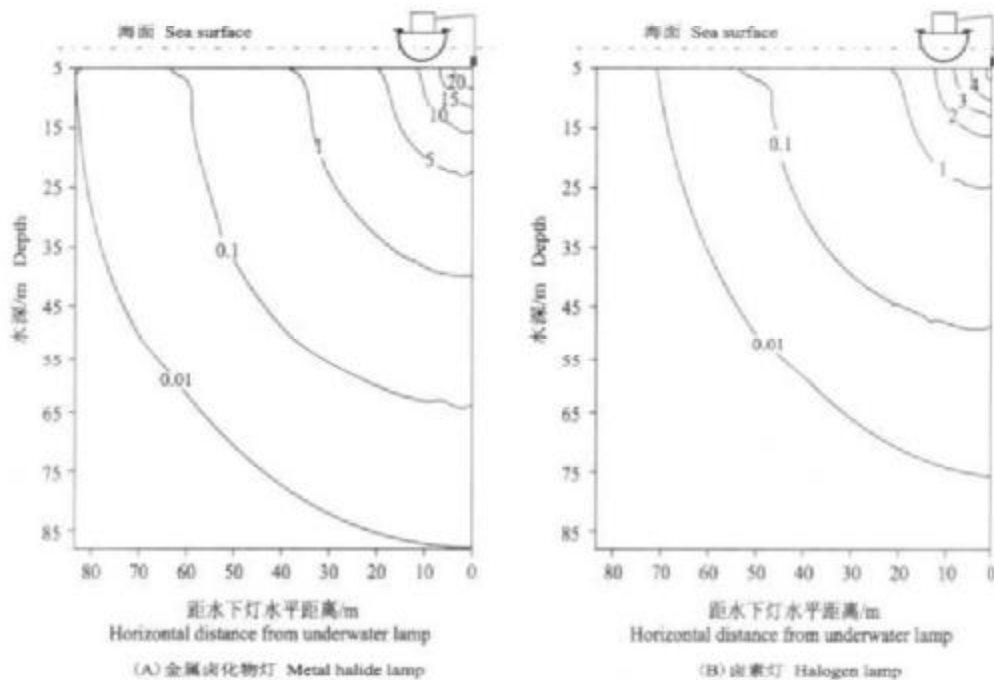


图6 水下灯的理论等光照度曲线

Fig.6 The theoretical iso-illumination contours of underwater fish aggregating lamp

由图6(A)可知,在距金属卤化物灯20 m以内区域,其光照度相对较大,均在5 lx以上。但在距水下灯30 m以远区域,光照度差异变小,如距水下灯35 m处的光照度约为1 lx,60 m处的光照度约为0.1 lx,82 m处的光照度为0.01 lx。

由图6(B)可知,在距卤素灯20 m以内的光照度相对较大,均在1 lx以上。但距水下灯20 m处的光照度约为1 lx,45 m处的光照度约为0.1 lx;70 m处的光照度约为0.01 lx。

2.4 诱集范围的比较

由于水下灯在水中形成的等光照度曲面接近于

球体,因此可用球体体积的计算公式来估算诱集范围,计算结果见表1。

由表1可知,金属卤化物灯1 lx等光照度曲面所包含的水体体积和距离分别为 $18.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和35.3 m,分别为卤素灯(1 lx等光照度曲面)相应数值的5.42倍和1.76倍。金属卤化物灯0.1 lx等光照度曲面所包含的水体体积和距离分别为 $88.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和59.5 m,分别比其1 lx等光照度范围的增加400%和60%,同时也分别是卤素灯0.1 lx等光照度曲面所包含水体的2.27倍和1.31倍。金属卤化物灯0.01 lx等光照度曲面所包含的水体体

积和距离分别为 $244.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 83.6 m, 分别比其 1 lx 等光照度范围增加 1 200% 和 150%, 同时也是卤素灯 0.01 lx 等光照度曲面所包含水体的 1.67 倍和 1.19 倍。金属卤化物灯 0.001 lx 等光照度曲面所包含的水体体积和距离分别为 $524.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 107.8 m, 分别比其 1 lx 等光照度范围的增加

2 748% 和 205%, 同时也是卤素灯 0.001 lx 等光照度曲面所包含水体的 1.43 倍和 1.13 倍。

据一些学者认为, 太平洋褶柔鱼等头足类的适宜照度为 0.01~10 lx^[11-13], 因此可推算出, 5 kW 金属卤化物灯的适宜照度水体体积为 $244.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 约为 5 kW 卤素灯的 1.66 倍。

表1 金属卤化物灯和卤素灯诱集范围的比较

Tab.1 Comparison of the aggregating ranges between underwater metal halide lamp and halogen lamp

种类 Kinds	1 lx		0.1 lx		0.01 lx		0.001 lx	
	距离/m Distance	体积/ m^3 Volume	距离/m Distance	体积/ m^3 Volume	距离/m Distance	体积/ m^3 Volume	距离/m Distance	体积/ m^3 Volume
金属卤化物灯 Metal halide lamp	35.3	184 158.8	59.5	881 899.9	83.6	2 446 173.3	107.8	5 244 748.5
卤素灯 Halogen lamp	20.1	33 998.2	45.3	389 191.2	70.5	1 467 019.0	95.7	3 669 477.2
比值 Ratio	1.76	5.42	1.31	2.27	1.19	1.67	1.13	1.43

3 讨论与分析

(1) 金属卤化物灯和卤素灯的诱集范围相差较大, 以等光照度值 1 lx 为例, 其诱集范围的水体相差达 5.42 倍。但是随着光照度值的下降, 其诱集范围的水体相差的比值也越来越小, 如以等光照度值 0.001 lx 为例, 其诱集范围的水体仅相差 1.43 倍。由于金属卤化物灯具有更大的诱集范围, 而卤化物灯具有较小的诱集范围, 同时根据两种灯的自身特点, 即金属卤化物灯不能自由调节光照度, 一旦电压降低就会熄灭, 而卤素灯则具有光照度自由调节的优势, 因此, 在鱿钓作业中, 可以用金属卤化物灯作为诱鱼灯, 而卤化物则作为集鱼灯, 两者相互配合使用, 才能将更多的鱿鱼诱集到更小的范围内, 从而提高捕捞效率。

(2) 通过拟合得到了金属卤化物灯和卤素灯的光照度衰减曲线, 从中看出其衰减系数 μ 均为 0.09, 基本接近, 根据透明度计算公式 $D = 1.7/\mu$ ^[14], 可知该海域的海水透明度为 18.9 m 左右。光学衰减系数的大小决定着集鱼灯的诱集范围, 一般来说在近海和沿岸海域, 其衰减系数较大, 而在外海海域衰减系数较小。因此, 水下集鱼灯在水中形成的光照度分布不仅与集鱼灯的种类有关, 还与作业海域的海水光学特性、浮游生物等有关。

(3) 据日本资料介绍^[15], 在鱿钓作业中, 以金属卤化物灯为中心的 50 m 半径内, 光照度较大, 是鱿鱼的威胁区, 而 50 m 以外是鱿鱼较为适宜的诱集区。根据推算, 50 m 处的光照度约为 0.246 lx。另据陈新军研究^[6], 在北太平洋海域白天利用水下灯钓捕柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*), 其水下灯与钓机作业的垂直距离在 100~180 m 时渔获效果较好, 为此可推测白天柔鱼适宜的光照度在 0.000 001~0.002 1 lx。

(4) 在本次印度洋鳶乌贼调查和实验中, 曾多次进行水下灯钓捕, 但诱捕效果不是十分理想。这可能与印度洋鳶乌贼的视觉生理特性有关, 因本次调查中在该方面所掌握的资料有限, 尚不能对此作出合理的解释。另由于受到实测条件的限制 (如分光照度计、测光的电缆长度等), 没有从更深水层对鱿钓船周围的光照度及其光谱进行实测, 因此需要在今后的研究中得到进一步深入。

参考文献:

- [1] 三次 信輔, 武富. 水中集魚燈に就ける研究—I. 水中 S-8 ランプ[J]. 水工研技報, 漁業生産—1, 1983: 27—31.
- [2] 植田 博史, 廣川 純夫, 宮崎 勝男, 木村 正晴. 水中集魚燈を利用した夜間操業における大型アカイカの釣獲特性[J]. 日本水産学会誌, 1995, 61(5): 732—737.
- [3] 植田 博史, 廣川 純夫, 谷津 明彦. 大型アカイカの夜釣り操業における水中集魚燈の効果[J]. 日本水産学会誌, 1996, 62(1): 73—77.

- [4] 王晓辉. 灯诱鱿鱼船水下灯诱作业试验报告[J]. 海洋渔业, 1998, 20(3): 122-125.
- [5] 陈新军, 戴洪亮. 大型柔鱼捕捞技术的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(2): 170-173.
- [6] 陈新军. 白天使用水下灯诱捕大型柔鱼的初步试验[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 119-120.
- [7] 钱卫国, 孙满昌. 水下灯在鱿作业中的集鱼效果[J]. 渔业现代化, 2000, (6): 10-11, 6.
- [8] 陈新军. 北太平洋海域白天利用水下灯诱捕大型柔鱼的试验报告[J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(2): 172-174.
- [9] 周太明. 光源原理与设计[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2004. 15-275.
- [10] 柳川三郎. 集鱼灯的特性に關する研究—Ⅰ 點光源による水中照度の計算法について[J]. 東大工研報, 1973, 60(1): 1-7.
- [11] 有元 貴文. 小型烏賊船の光力適正化探討事業実証調査実証調査報告書总汇编[A]. 全国漁業協同組合聯合会, 1996. 1-34.
- [12] 何大仁, 肖金华, 罗会明, 等. 杜氏鰱乌贼趋光行为的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1979, 3: 99-103.
- [13] 郑美丽, 肖金华, 郑微云, 等. 曼氏无针乌贼的趋光特性[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1980, 19(3): 91-99.
- [14] 今村 豊. 漁業における火光の集魚効果とちの授業の研究—III[J]. 日本水産學會志, 1968, 6(3): 26-44.
- [15] コトルミナス株式会社. 集魚燈をシステムに提供効率する操作を更に追求した本格的な水中燈システム發[J]. 水産世界, 1993, 5: 64-68.

Comparison of illumination distribution underwater between two kinds of fish aggregating lamps

QIAN Wei-guo, CHEN Xin-jun, SUN Man-chang

(Ocean College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Underwater lights have the function of saving energy and more widely attracting area so they are often used in the squid jigging fishery. Since 1990, the large squid jigging vessels from Japan, Korea and China (including Taiwan province) fished in the middle and eastern water of North Pacific have been equipped with underwater lights which are used to attract large squid in deepwater at daytime. In the south-western Atlantic, the squid jigging vessels are also equipped with the lights. However, the study on illumination distribution of underwater lights had been made very few before our experiment. In order to reasonably set the water layer of underwater lights and enlarge the available attracting area, it is important to study the illumination distribution of underwater lights. The investigation about fishing ground and resources of purple flying squid *Symlectoteuthis oualaniensis* was made by two Chinese squid jigging vessels from September to November in the Northwestern Indian Ocean. The test on underwater lights was made on the squid jigging vessel "XINSHIJI 61", with the total tonnage 581 t and total length 49.7 m. There was one set of 5 kW metal halide 3 lamp and one set of 5 kW halogen lamp on each side respectively. Based on in situ measurement of illumination of 2 underwater fish aggregating lamps in the squid fishing ground (13°55'36"N, 60°48'15"E) in Indian Ocean on 30, October 2000, distribution of illumination of metal halide lamp and halogen lamp were analyzed and compared. The results showed that illumination decreasing curve of metal halide lamp and halogen lamp could be expressed as: $I = 28.76 \times e^{-0.0932z}$ and $I = 6.29 \times e^{-0.0914z}$. The water volume with intensity larger than 0.01 lx for metal halide lamp amounted to 2.446 million cubic meters, which was 1.67 times as larger as that of halogen lamp. According to the suitable illumination for some cephalopod species (0.01 lx to 10 lx), the total water volume of 5 kW metal halide lamp was about 2.445 million cubic meters, the ratio of fish aggregating area of metal halide lamp to halogen lamp was 1.66:1. It was guessed that the suitable illumination for flying squid *Ommastrephes bartramii* was from 0.000 001 lx to 0.002 lx at daytime in the North Pacific Ocean.

Key words: underwater fish aggregating lamp; metal halide lamp; halogen lamp; underwater illumination distribution; squid jigging fisheries