

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2015. 02. 013

2 kW 直筒型集鱼灯水中照度分布及合理配置研究

钱卫国, 叶超, 王伟杰, 卢克祥

(上海海洋大学海洋科学学院, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 根据 2 kW 直筒型集鱼灯的实测配光分布, 以大型光诱鱿钓渔船“新世纪 52 号”为例, 对该船的水中照度分布进行了计算。结果表明: 渔船集鱼灯总功率为 360 kW 时, 10.000 lx 的等照度曲线水平方向最远约为 80 m, 水深方向为 32 m; 0.100 lx 照度最深可约至 50 m, 最远约为 260 m; 当总功率减为 180 kW 时, 等照度曲线所在水层仅减少约 5 m。以 0.010 lx 为诱集鱿鱼的最低照度, 集鱼灯功率从 180 kW 增加到 360 kW, 有效诱集距离从 620 m 增加到 750 m, 约能增加 21.1%; 如能将该船的灯高增大 0.5 m, 则可增加 12.0% 的有效水体体积; 如能将灯距增大 0.05 m, 则可增加 4.4% 的有效水体体积。

关键词: 直筒型集鱼灯; 水中照度; 合理配置; 鱿钓渔船

中图分类号: S 977

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2015)02 - 0090 - 06

Underwater irradiance and optimal allocation of 2 kW straight type fish aggregation lamps

QIAN Weiguo, YE Chao, WANG Weijie, LU Kexiang

(National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries; Key Lab. of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education; Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries; College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on the actual measurement of 2 kW straight type fish aggregation lamps, we calculated the underwater illumination distribution of the squid jigging vessel Xinshiji No. 52. The results show that when the total power was 360 kW, the iso-illuminance curve contours of 10.000 lx were at the depth of 32 m; in horizontal direction, it reached 80 m. The curve contours of 0.100 lx were at 50 m vertically and 260 m horizontally. When the total power was 180 kW, the curve contours reduced about 5 m in depth. Regarding 0.010 lx as the lowest limit to attract squid, if the power was increased from 180 kW to 360 kW, attracting distance could be increased from 620 m to 750 m, and 21.1% of effective attracting distance increased horizontally. If the lamps' height increased for 0.5 m, 12.0% of the effective water volume increased. If the lamps' space increased for 0.05 m, 4.4% of the effective water volume increased.

Key words: straight type fish aggregation lamps; underwater irradiance; reasonable allocation; squid jigging vessel

光诱渔业是当前中国最主要的渔业方式之一, 包括灯光围网、光诱浮拖网、灯光敷网、光诱鱿钓和光诱秋刀鱼舷提网作业等^[1]。集鱼灯是重要的

诱鱼和集鱼装置, 在光诱渔业中发挥重要作用, 灯具的功率、灯具效率以及其光谱曲线的差异会直接影响其捕捞效率。国内外在集鱼灯研究领域做了大

收稿日期: 2014-05-19; 修回日期: 2014-07-17

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(SS2012AA091803); 上海市科委项目(2013ZY-87); 国家远洋渔业工程研究中心开放课题(NERCOF2013KF05)

作者简介: 钱卫国(1977-), 男, 博士, 副教授, 从事光诱渔业研究。E-mail: wgqian@shou.edu.cn

量的研究工作, 主要关于集鱼灯的照度分布和使用效果, 而对于集鱼灯合理配置的研究则相对较少^[3]。此外, 研究的对象多数是椭球型金属卤化物灯^[2-9]和新型的 LED 集鱼灯^[10-16]。2 kW 直筒型金属卤化物灯(以下简称 2 kW 型集鱼灯)由于风阻小、运输方便、便于渔船安装等优势, 正逐步替代传统的椭球型金属卤化物灯。中国近海的部分灯光围网渔船在 2010 年就开始使用直筒型集鱼灯, 其单灯功率有 2 kW、3 kW 和 4 kW。随后, 部分远洋鱿钓渔船也开始使用直筒型集鱼灯, 但单灯功率主要是 2 kW 型。笔者对 2 kW 型集鱼灯的光学特性进行测试, 并结合渔船的集鱼灯配置(包括数量、类型和间距), 对该灯的水中照度分布及其灯光配置合理性(灯高、灯距)进行理论计算和研究, 以期为相关研究提供基础数据和参考。

1 材料与方法

1.1 光诱鱿钓渔船及集鱼灯配置

选择新世纪 52 号鱿钓渔船为研究对象, 渔船总长 71.5 m, 船宽 11.0 m, 总吨位 1 336 t, 装配 180 盏 2 kW 直筒型集鱼灯, 集鱼灯离海平面的平均高度为 7.0 m。其中集鱼灯与船舷的水平距离为 1.5 m, 渔船中部处船舷上沿离水面平均高为 5.5 m, 相邻 2 个灯的平均间距为 0.5 m。

1.2 计算方法

集鱼灯水中照度的计算方法参考钱卫国^[17]和官义江等^[18], 即采用叠加法照度计算模式计算集鱼灯在水中的照度分布。根据该鱿钓渔船的集鱼灯布置的相关数据, 使用“水上集鱼灯水下光场计算系统 V1.0”^[19]进行理论计算。

根据 2 kW 直筒型金属卤化物集鱼灯的配光分布, 计算获得总功率分别为 360 kW 和 180 kW 时: 1) 船舷右侧中部 0 ~ 200 m 不同深度的照度(计算步长 5 m); 2) 船舷右侧表层 0.1 m 水深处 0 ~ 200 m 水平的照度(计算步长 5 m); 3) 船舷右侧水平距离 20 m 处断面不同深度的照度(计算步长 5 m); 4) 近表层 30 m 水深处水平距离 0 ~ 200 m 的照度

(计算步长 5 m)。使用 Surfer 8.0 软件绘制等值曲线图。

计算获得灯高(6.0 m、6.5 m、7.0 m)和灯距(0.45 m、0.5 m、0.55 m、0.6 m、0.65 m、0.7 m)不同组合情况时, 船舷右侧中部 0 ~ 800 m 范围不同深度的照度(计算步长 5 m)。使用 Surfer 8.0 软件绘制等值曲线图, 并估算照度分别为 10.000 lx 和 0.010 lx 时的水体体积, 并获得 2 个水体的差值。

2 结果与分析

2.1 2 kW 直筒型金属卤化物集鱼灯

2013 年 7 月, 在上海海洋大学国家远洋渔业工程技术研究中心的集鱼灯研发实验室, 对 2 kW 直筒型集鱼灯(DC-2000TT, 基本参数见表 1)的配光特性进行了测定, 得到光谱分布曲线(图 1)。2 kW 直筒型集鱼灯的光谱范围很大, 包含整个可见光(380 ~ 760 nm), 并有极少量的紫外和红外光线, 在部分波段(如 400 nm、430 nm、550 nm、580 nm 附近等)出现峰值(图 1)。

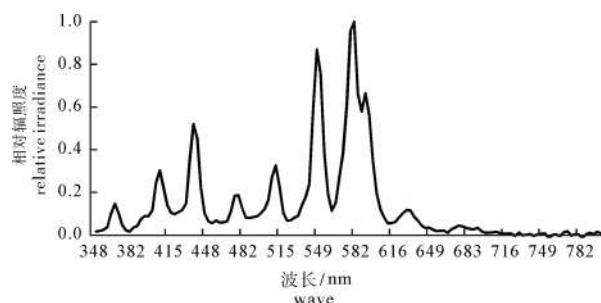


图 1 2 kW 直筒型金属卤化物灯的辐射量分布

Fig. 1 Distribution of radiation of 2 kW straight type metal halide lamp

测试所得的配光曲线见图 2。使用极坐标方程对该集鱼灯发光强度进行拟合, 最终得到配光曲线极坐标函数如下:

$$I_\theta = 1765.72 + 18654.3 \times \sqrt{\sin\theta} \quad (1)$$

式中 I 为发光强度(坎德拉, cd); θ 为方位角(弧度)。

表 1 2 kW 型金属卤化物灯的基本参数

Tab. 1 Basic parameters of 2 kW metal halide lamp

型号 type	功率/W power	电源电压/V voltage	光通量/Lm luminous flux	经济寿命/h economic life	全长 × 直径/mm full length × diameter	风阻系数 drag coefficient
DC-2000TT	2 000	220	220 000	3 000	465 × 90	0.846×10^{-4}

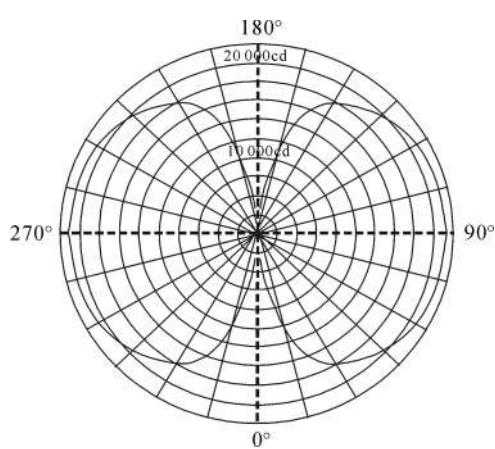


图2 2 kW 直筒型金属卤化物灯
(DC-2000TT)配光曲线

Fig. 2 Distribution of luminous intensity of straight type metal halide lamp (DC-2000TT, 2 kW)

2.2 不同总功率时的水中照度

根据东南太平洋鱿钓渔场透明度为8 m计算获得海水光学衰减系数为0.21，分别计算集鱼灯总功率为360 kW和180 kW时水中照度，绘制断面分布图(图3)。2种不同总功率时的水中照度相差较小，相同照度曲线所在水层基本仅相差约5 m。在离船40 m范围内的照度值较高，可达到100.000 lx以上；离船20 m以内的近表层的水中照度在1 000.000 lx以上。照度值为100.000 lx最深可至20 m水层(垂直深度)，最远(水平)约为40 m。照度值为10.000 lx最深可至30 m水层(垂直深度)，最远约为80 m(水平)。照度值为0.100 lx最深可至约50 m水层(垂直深度)，最远可达约270 m(水平)(图3)。

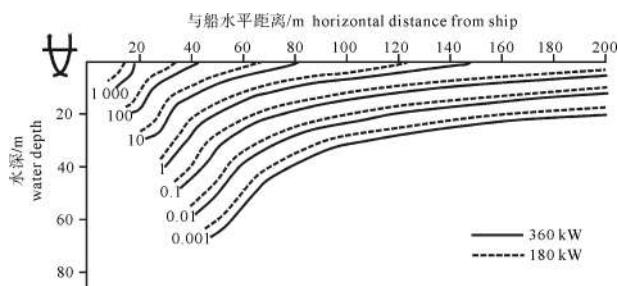


图3 不同功率时的水中等照度曲线分布

Fig. 3 Contours of underwater irradiance by different powers

2.3 不同总功率时的表层照度

图4-a为集鱼灯总功率分别为360 kW和180 kW时海水表面0.1 m处的照度分布情况。集鱼灯

功率为360 kW时，水平距离20 m以内的照度多大于500.000 lx，距离40 m处的照度约100.000 lx，10.000 lx等照度线距离船约80 m，1.000 lx等照度线距离船约145 m；而当集鱼灯功率为180 kW时，不同水平距离处的照度值与360 kW时相比约减少一半。如水平距离40 m处的照度为50.000 lx，为360 kW时100.000 lx的0.5倍；水平距离60 m处的照度为10.000 lx，为360 kW时20.000 lx的0.5倍；水平距离120 m处的照度为1.000 lx，为360 kW时2.000 lx的0.5倍。

假设0.010 lx为诱集鱿鱼的最低照度，则在水平方向上，180 kW与360 kW功率集鱼灯比较，0.010 lx达到的最远距离分别为750 m和620 m，相差130 m。可见增加1倍的集鱼灯功率约能增加21.1%的有效距离。

2.4 不同总功率时水深30 m处的照度

图4-b为集鱼灯总功率分别为360 kW和180 kW时水深30 m处的照度分布情况。集鱼灯功率为360 kW时，水平距离40 m以内的照度均大于0.200 lx，距离60 m处的照度约0.020 lx，0.001 lx等照度曲线距离船约100 m；当集鱼灯功率为180 kW时，60 m水平距离以内的照度值与360 kW时相比，同样也约减少一半，水平距离40 m处的照度为0.100 lx，为360 kW时0.200 lx的0.5倍。而随着距离的增大，360 kW等照度曲线所在位置要比180 kW的等照度曲线远约10 m。

由图4-b还可以看出，由于金属卤化物集鱼灯在水中的衰减很快，水深30 m处的照度在数值上来看很小。总功率为360 kW时，与船最相近的水域(离船约20 m，光线可达区域)其照度也仅约4.000 lx；离船20~30 m处的照度约为0.200~4.000 lx。

2.5 不同总功率时与船水平距离20 m处的断面照度

图5为集鱼灯总功率分别为360 kW和180 kW时与船水平距离20 m处的断面照度分布情况。集鱼灯功率为360 kW时，50.000 lx等照度曲线最深可达约17 m；10.000 lx等照度曲线约在25 m水深处；1.000 lx等照度曲线约在30 m水深处。

当集鱼灯功率为180 kW时，水深15 m以内的照度值与360 kW时相比减少约一半。例如，180 kW时的200.000 lx、50.000 lx等照度曲线分

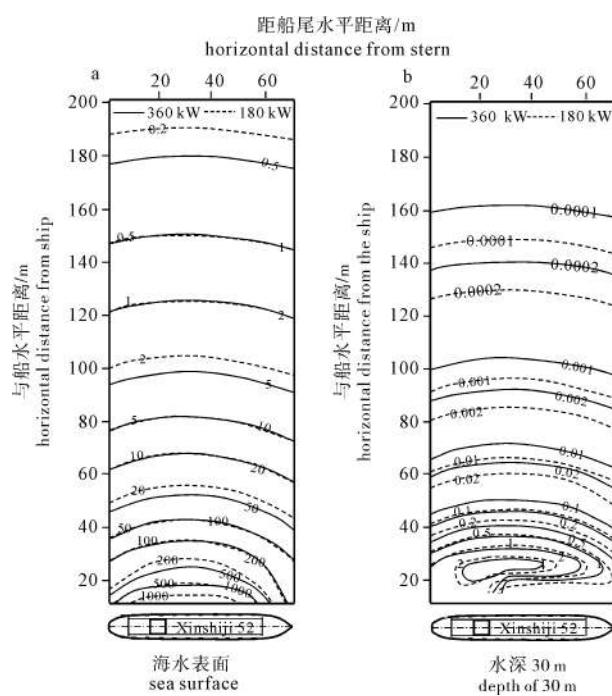


图4 不同集鱼灯功率时的等照度曲线分布

Fig. 4 Contours of irradiance by different powers

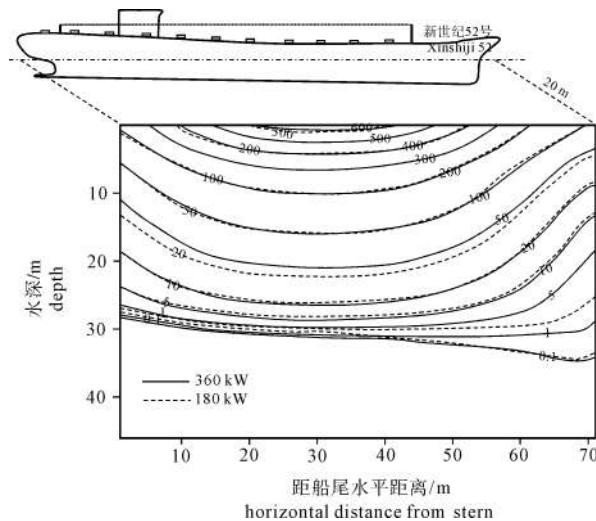


图5 不同集鱼灯功率时的等照度曲线分布(水平距离 20 m)

Fig. 5 Contours of irradiance by different powers (horizontal distance of 20 m from boat)

别与 360 kW 时的 400 000 lx、100 000 lx 等照度曲线几乎完全重合。从等照度曲线所在的水层来看, 随着深度的加大, 两者之间的距离差不断缩小并逐渐相近。如 180 kW 时, 0.100 lx 等照度曲线约在 28~33 m 水深处, 与 360 kW 时相差仅约 0.5 m。

2.6 合理配置研究

集鱼灯灯高分别为 6.0 m、6.5 m、7.0 m, 灯

距分别为 0.45 m、0.5 m、0.55 m、0.6 m、0.65 m、0.7 m 时, 渔船一侧 0.010 lx 和 10.000 lx 等照度曲面分别所包含的水体体积 $V_{0.01}$ 和 V_{10} 见表 2。灯高为 6.0 m 时, V_{10} 的水体体积约 30 000~35 000 m^3 , $V_{0.01}$ 的水体体积约 230 000~260 000 m^3 , $V_{0.01-10}$ 的水体体积约 200 000~220 000 m^3 ; 灯高为 6.5 m 时, V_{10} 的水体体积约 30 000~36 000 m^3 , $V_{0.01}$ 的水体体积约 250 000~290 000 m^3 , $V_{0.01-10}$ 的水体体积约 220 000~250 000 m^3 ; 灯高为 7.0 m 时, V_{10} 的水体体积约 37 000~41 000 m^3 , $V_{0.01}$ 的水体体积约 260 000~310 000 m^3 , $V_{0.01-10}$ 的水体体积约 220 000~260 000 m^3 。可见, 随着灯高的增大, 各照度的水体体积均呈增加趋势。但在相同的灯高情况下, 增大集鱼灯间距并不一定总能增大各照度的水体体积。

表2 不同灯高灯距时的水中照度 $V_{0.01}$ 和 V_{10} Tab. 2 $V_{0.01}$ and V_{10} with different heights and space between of fishing lamps

灯高 height of lamp/m	灯距 space between of lamps/m	V_{10}/m^3	$V_{0.01}/m^3$	$V_{0.01-10}/m^3$
6. 0	0.45	30 282.52	238 156.47	207 873.95
	0.50	31 932.58	255 314.90	223 382.32
	0.55	31 786.55	254 725.82	222 939.27
	0.60	30 599.33	252 346.96	221 747.63
	0.65	32 556.37	251 757.66	219 201.29
	0.70	35 674.85	249 607.23	213 932.38
	0.45	30 510.27	254 464.89	223 954.63
6. 5	0.50	33 672.49	269 781.34	236 108.85
	0.55	36 256.37	282 792.92	246 536.56
	0.60	34 094.65	274 357.40	240 262.75
	0.65	34 160.46	287 137.22	252 976.76
	0.70	35 985.17	272 821.19	236 836.02
	0.45	38 126.38	258 974.13	220 847.74
	0.50	46 011.98	310 402.34	264 390.36
7. 0	0.55	41 239.93	276 618.89	235 378.96
	0.60	40 220.00	300 959.21	260 739.21
	0.65	40 269.49	282 190.72	241 921.23
	0.70	37 064.15	276 859.17	239 795.02

考虑到 $0.010 \sim 10.000 \text{ lx}$ 为鱿鱼较为适宜的照度范围^[20~26]，在此将 $V_{0.01-10}$ 的水体体积作为评判集鱼灯配置的一个重要指标。从表中数值上来看， $V_{0.01-10}$ 最大值($264\ 390.36 \text{ m}^3$)所对应的灯距为 0.5 m 、灯高为 7.0 m ；其次为 $260\ 739.21 \text{ m}^3$ ，对应的灯距为 0.6 m 、灯高为 7.0 m 。新世纪52号当前的灯高为 6.5 m 、灯距为 0.5 m ，对应的 $V_{0.01-10}$ 为 $236\ 108.85 \text{ m}^3$ ，均比灯高 6.0 m 时的 $V_{0.01-10}$ 要大，而普遍低于其他情况时的值(仅除灯高 7.0 m 、灯距 0.45 m 之外)。因此，可以适当考虑增大该船的灯高和灯距。如保持灯距 0.5 m 不变，增大灯高 0.5 m ，则可以增大 12.0% 的有效水体体积；保持灯高不变，增大 0.05 m 的灯距，则可增大 4.4% 的有效水体体积。

3 结论

1)对于配置 2 kW 直筒型金属卤化物集鱼灯的渔船，其集鱼灯总功率分别为 180 kW 和 360 kW 时的水中照度相差较小，等照度曲线所在水层相差约 4 m 。可以得出，单纯增加集鱼灯个数(功率)并不能明显增加有效深度，而增加水平方向(表层有效光诱范围)则起到一定的作用。以 0.010 lx 作为诱集鱿鱼的最低照度，在水平方向上，集鱼灯的总功率从 180 kW 增加1倍，船舷一侧的有效诱集水平距离约能增大 130 m 。因此，增加1倍的集鱼灯功率约能增加 21.1% 的有效距离。

2)从集鱼灯的配置情况来看，新世纪52号渔船目前的配置(灯高 5.7 m 、灯距 0.6 m)并不是较好的配置方案，可适当提高灯高和灯距。如保持灯距 0.5 m 不变，增大灯高 0.5 m ，则可以增大 12.0% 的有效水体体积；保持灯高不变，增大 0.05 m 的灯距，则可增大 4.4% 的有效水体体积。从渔业实践来看，灯离水面应高于 5.0 m ，过高则造成风阻太大，在 $5.5 \sim 6.5 \text{ m}$ 较为适合。

3)当总功率为 360 kW 时，水深 30 m 、离船水平距离 $20 \sim 30 \text{ m}$ 处的照度约为 $0.200 \sim 4.000 \text{ lx}$ 。而根据鱿钓夜间手钓作业经验，离船 $20 \sim 30 \text{ m}$ 处、水深 30 m 水层是鱿鱼上钩较为频繁的水域，故可推测东南太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)较为活跃的照度范围为 $0.200 \sim 4.000 \text{ lx}$ 。

4)集鱼灯在海水中的传输与渔场环境有关，不同的海水光学衰减系数会产生不同的水中光强分布，如日本近海的鱿钓渔场的海水光学衰减系数为

$0.1 \sim 0.2$ ^[8]。文章以东南太平洋鱿钓渔场海水光学衰减系数 0.21 进行相关研究，在对其他渔场进行研究时则需要根据该渔场的实际海洋环境进行计算和分析。

参考文献：

- [1] 孙满昌. 海洋渔业技术学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [2] 钱卫国, 官文江, 陈新军. 1 kW 国产金属卤化物灯光学特性及其应用[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 439~444.
- [3] 沙锋, 钱卫国, 吴仲琪, 等. 鲣鱼灯光围网渔船水上集鱼灯水中照度分布及优化配置的理论计算[J]. 海洋学研究, 2013, 31(1): 85~90.
- [4] 侍炳, 钱卫国, 杨卢明. 鲣鱼灯光围网渔船合适作业间距的理论研究[J]. 南方水产科学, 2013, 9(4): 82~86.
- [5] 肖启华, 张丽蕊. 光诱渔业中光强分布的理论研究及其应用[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(6): 613~617.
- [6] 王飞, 钱卫国. 智利外海茎柔鱼渔场集鱼灯灯光的配置[J]. 水产学报, 2008, 32(2): 279~286.
- [7] 戴天元, 沈长春, 冯森, 等. 光诱渔船集鱼灯的光照度分布及其适渔性能分析[J]. 福建水产, 2007, 26(1): 27~31.
- [8] 崔渐珍, 荒川久幸, 中村善彦, 等. 日本海のイカ釣り漁場における海水の光学的水型と集魚灯の透過特性[J]. 日本水産學會誌, 1998, 64(4): 650~657.
- [9] 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渔船集魚灯の水中照度分布解析[J]. 日本水産學會誌, 2003, 69(1): 44~51.
- [10] 钱卫国, 陈新军, 钱雪龙, 等. 300 W 型LED集鱼灯光学特性及其节能效果展望[J]. 海洋渔业, 2011, 33(1): 99~105.
- [11] 钱卫国, 陈新军, 雷林. 300 W 型绿光LED集鱼灯光学特性初探[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(5): 471~476.
- [12] 崔雪亮, 张伟星. 新型LED集鱼灯节能效果实船验证及推广[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2013, 32(2): 169~172.
- [13] SHEN S C, HUANG H J, CHAO C C, et al. Design and analysis of a high-intensity LED lighting module for underwater illumination[J]. Appl Ocean Res, 2012, 39: 89~96.
- [14] OKAMOTO T, TAKAHASHI K, OHSAWA H, et al. Application of LEDs to fishing lights for Pacific saury[J]. J Light Vis Environ, 2008, 32(2): 88~92.
- [15] CHOI J S, CHOI S K, KIM S J, et al. Photoreaction analysis of squids for the development of a LED-fishing lamp[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Maritime and Naval Science and Engineering (MN'09), Transilvania University of Brasov, Romania, September 24~26, 2009. WSEAS Press, 2009: 92~96.
- [16] GUTTSAIT E M. Analysis of the illuminance provided by LED modules placed at large distances from illuminated objects[J]. J Comm Tech Electron, 2009, 54(1): 107~118.

-
- [17] 钱卫国. 鲅钓渔业中集鱼灯的优化配置研究[D]. 上海: 上海水产大学, 2005.
 - [18] 官文江, 钱卫国, 陈新军. 应用 Monte Carlo 方法计算水上集鱼灯向下辐照度在一类海水中的分布[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 140–151.
 - [19] 上海海洋大学. 水上集鱼灯水下光场计算系统 V1.0(登记号: 2010SR042147)[CP]. 2010.
 - [20] 何大仁, 肖金华, 罗会明, 等. 杜氏枪乌贼趋光行为的研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1979, 18(3): 99–104.
 - [21] 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.
 - [22] 铃木恒由. スルメイカの光に対する生理反応と集魚灯の省エネ対策について[J]. 日本水産資源保護協会月報, 1986 (266): 11–26.
 - [23] 郑微云, 柴敏娟. 头足类视觉特性的电生理研究——I. 无针乌贼视网膜电图的特性[J]. 海洋学报: 中文版, 1981, 3 (3): 472–476.
 - [24] 柴敏娟, 郑微云. 头足类视觉特性的电生理研究——II. 无针乌贼视网膜电图的光谱敏感性[J]. 海洋学报: 中文版, 1982, 4(6): 784–787.
 - [25] HISAYUKI A, SOKJIN C, TAKEFUMI A, et al. Relationship between underwater irradiance and distribution of Japanese common squid under fishing light of a squid jigging boat[J]. Fish Sci, 1998, 64(4): 553–557.
 - [26] SUKREE H. Effect of light on squid behaviour and its application for squid net fishing in Malaysia[D]. Serdang: Universiti Putra Malaysia, 1996.