

叶超,钱卫国,陈峰. 灯光围网渔船集鱼灯水中照度分布及合理配置研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):195-199.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.03.055

灯光围网渔船集鱼灯水中照度分布及合理配置研究

叶超¹, 钱卫国¹, 陈峰²

(1. 上海海洋大学, 上海 201306; 2. 浙江省海洋水产研究所, 浙江舟山 316021)

摘要:根据浙岭渔 23391 灯光围网渔船的集鱼灯布置参数,对该船的水中照度分布进行计算。结果表明,渔船集鱼灯总功率为 344 kW 时,10 lx 的等照度曲线水平方向最远在 80 m 左右,水深方向不超过 40 m;0.1 lx 照度最深可至约 70 m 水深,最远为 200 m 左右;当总功率减为 168 kW 时,等照度曲线所在水层仅减少 5 m 左右。以 0.01 lx 为诱集的最低照度,增加 1 倍的集鱼灯功率,在水平方向上约能增加 16.1% 的有效诱集距离。从集鱼灯的安装配置情况来看,浙岭渔 23391 渔船目前的配置还是比较合适的。从集鱼灯总功率的配置来看,可以考虑将集鱼灯总功率下调到 280 kW。

关键词:集鱼灯;水中照度;合理配置;围网渔船

中图分类号: S972.63+2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)03-0195-05

光诱围网渔业因其渔法简单、渔获质量好而得到大力推广,已成为我国当前最主要的渔业方式之一^[1]。集鱼灯作为光诱渔业的重要诱鱼和集鱼装置,其灯光强度的大小、水中光强分布特点,以及集鱼灯种类的选择等都会影响到其捕捞效率^[2-3]。国内外学者对大型专业光诱渔船的集鱼灯光照度分布及与捕捞对象适应性方面做了大量的研究工作^[4-10],而对灯光围网渔船集鱼灯的合理配置方面研究相对缺乏^[11]。本研究根据“浙岭渔 23391”灯光围网渔船的集鱼灯配置数据,

结合其所用的 4 kW 型金属卤化物集鱼灯(下称 4 kW 型集鱼灯)的光强分布配光曲线,对渔船的水中照度分布及其合理配置(灯高、灯距)进行理论计算和研究。

1 材料与方法

1.1 光诱围网渔船及集鱼灯参数配置

浙岭渔 23391 灯光围网渔船参数:总长 58 m,型宽 8.8 m,型深 4.0 m;总质量 498 t;主机功率 440 kW,副机功率 1 090 kW。浙岭渔 23391 的集鱼灯布置分内外两侧,内侧集鱼灯 21 盏×2 列,其灯中心距海面高 8.2 m,外侧集鱼灯 22 盏×2 列,其灯中心距海面高 8.7 m,内外侧水平间隔 1.2 m。每盏灯功率均为 4 kW,集鱼灯类型为 4 kW 直筒型金属卤化物灯,内外侧共计 86 盏集鱼灯(图 1、表 1)。

1.2 4 kW 直筒型金属卤化物集鱼灯

4 kW 直筒型金属卤化物灯基本参数见表 2,在上海海洋

收稿日期:2015-12-22

基金项目:海洋渔业科技示范推广新建项目(编号:浙财农[2014]214号)。

作者简介:叶超(1991—),男,江苏淮安人,硕士研究生,主要从事集鱼灯以及鱼类行为研究。E-mail:1121142109@qq.com。

通信作者:钱卫国,博士,副教授,主要从事鱼类行为以及集鱼灯研究。E-mail:wqian@shou.edu.cn。

5 结论

本研究针对新疆酿酒葡萄的种植模式和收获现状,设计酿酒葡萄收获机的避障系统,该系统采用三菱 FX2N-16MR 型 PLC 作为核心控制器,配合以 P3036 型角度传感器为主要传感器的检测传感装置,可对影响振动收获装置运行的立柱的空间位置进行实时监测;并选用 PC 应用 Kingview 6.53 工业组态软件作为上位机,实时监控系统工作状态,并对不同倾斜度给出不同避障策略,以保证酿酒葡萄收获机安全、可靠、稳定地运行,为新疆地区酿酒葡萄收获机的进一步研究提供了参考。

参考文献:

[1] 赵中华. 新疆葡萄酒生产机械化应用现状及发展方向[J]. 农业技术与装备,2008(4):33-34.

[2] 裴新民,金晓青. 新疆酿酒葡萄生产机械化现状及发展建议[J]. 农业开发与装备,2014(8):6-8,46.

[3] 吴新声,丁志欣. 新疆酿酒葡萄生产机械化现状分析[J]. 新疆农机化,2014(4):18-19,24.

[4] 李成松,冯玉磊,王丽红,等. 国外酿酒葡萄收获机振动采摘部件结构及应用现状[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):335-336,337.

[5] 冯玉磊,坎杂,李成松,等. 基于振动原理的酿酒葡萄采摘试验装置的设计[J]. 江苏农业科学,2013,41(11):404-406.

[6] 李成松,高振江,坎杂,等. 双支撑酿酒葡萄果实振动分离装置作业机理[J]. 农业工程学报,2015,31(4):26-32.

[7] 郭从良. 信号的数据获取与信息处理基础[M]. 北京:清华大学出版社,2009:313-316.

[8] 李金城. PLC 模拟量与通信控制应用实践[M]. 北京:电子工业出版社,2011:67-86.

[9] 李江全. PLC 模拟量与通信控制应用实例详解[M]. 北京:电子工业出版社,2014:51-66.

[10] 宋德玉. 可编程控制原理及应用系统设计技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2014:123-125.

[11] 江燕,周爱明. PLC 技术及应用:三菱 FX 系列[M]. 北京:中国铁道出版社,2013:17-27.

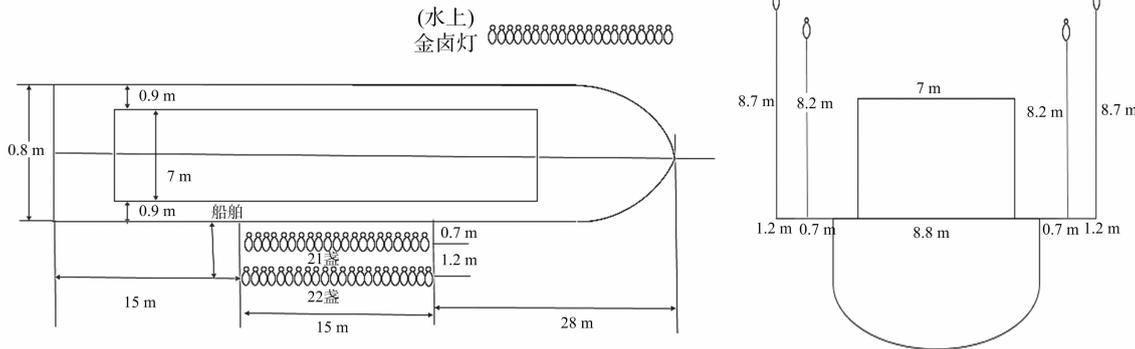


图1 “浙岭渔23391”集鱼灯布置

表1 “浙岭渔23391”集鱼灯布置参数

船长 (m)	船舷离水面高 (m)	灯光度 (m)	平均灯距 (m)	集鱼灯总功率 (kW)	集鱼灯舷边距 (m)	集鱼灯数 (盏)	船同侧内外侧灯间距 (m)	内侧灯离水面高 (m)	两内侧灯之间的距离 (m)	外侧灯离水面高 (m)	近船尾第1盏灯与船尾的距离 (m)
58	1	15	0.7	344	0.7	86	1.2	8.2	10.2	8.7	15

表2 4kW直筒型金属卤化物灯基本参数

型号	功率 (W)	电源电压 (V)	光通量 (lm)	经济寿命 (h)	全长×直径 (mm)×(mm)	风阻系数 (×10 ⁻⁴)
DC-4000TT	4000	220	440000	3000	540×47.2	0.993

大学集鱼灯测试实验室使用GO-2000分布光度计测定所得的配光曲线见图2,对该集鱼灯各个方向的发光强度进行拟合,得到配光曲线函数如下:

$$I_{\theta} = -5175.17 + 32039.8 \times \sqrt{\sin\theta} \quad (1)$$

式中: I 为发光强度(坎德拉,cd); θ 为方位角(弧度)。

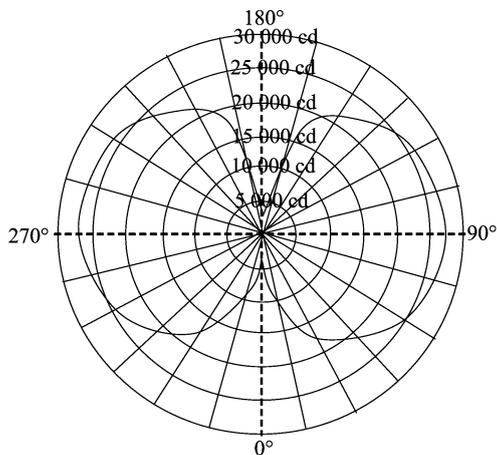


图2 4kW金属卤化物灯(DC-4000TT)配光曲线

1.3 计算方法

集鱼灯水中照度的计算方法采用叠加法照度计算模式计算集鱼灯在水中的照度分布^[12-13]。根据光诱围网渔船的集鱼灯布置的相关数据,使用自主开发的“水上集鱼灯水下光场计算系统V1.0”(国家软件登记号:2010SR042147)进行理论计算^[14]。计算内外侧2侧各自点亮以及内外侧同时点亮这3种情况在水下的照度分布数据。得出内侧总功率168kW 外侧176kW 以及内外侧共344kW的3组数据并分别计算:(1)绘制船舷右侧中部不同总功率时的水中照度剖面图;(2)不同集鱼灯高度时的水中照度0.1lx和10lx水体

体积变化趋势;(3)船舷右侧表层0.1m水深处0~200m水平范围的照度(计算步长5m);(4)近表层20m水深处0~200m范围的照度(计算步长5m)。

使用Surfer 8.0软件绘制等值曲线图。并将surfer绘制出的等值曲线细分为若干份,将每份近似看作直线,计算出每一份与坐标轴(横坐标代表海面,纵坐标为水下深度)包围的梯形面积,累加得出等值曲线包围的总面积,截面积与船长乘积即为该光照范围包含的水体体积。计算水中照度分别为10lx和0.01lx时的水体体积,并将2个水体的差值作为有效诱集水体体积进行分析比较。

2 水中照度分布

2.1 不同总功率时的水中照度

在海光学衰减系数为0.15时(以东海围网渔场透明度为11.3m计算),计算获得集鱼灯内外侧水中照度的断面分布(图3)。图中虚线为浙岭渔23391渔船目前集鱼灯总功率344kW、内侧21盏×2列、外侧22盏×2列时的照度分布;实线为若将内侧集鱼灯数量减少至10盏×2列、外侧集鱼灯数量减少至11盏×2列、总功率168kW时的照度分布情况。由图3可知,水平方向离船40m以内的照度值较高,多为100lx以上,特别是离船30m以内的近表层的水中照度可达500lx以上。100lx照度最深可至20m以上,最远为40m左右。10lx照度最深可至40m水深,最远为80m左右。0.1lx照度最深可至约70m水深,最远大于200m,为250m左右。但2种不同总功率时的水中照度相差不大,等照度曲线所在各水层相差仅5m左右。在海表面,集鱼灯总功率344kW时,0.01lx照度离船的最大水平距离为500m;集鱼灯总功率168kW时,0.01lx照度离船的最大水平距离为420m。可见减少近一半的集鱼灯功率,有效水平诱集范

围仅减少约16%。水下20 m时情形:集鱼灯总功率344 kW时,0.01 lx照度离船的最大水平距离为180 m;集鱼灯总功率168 kW时,0.01 lx照度离船的最大水平距离为155 m;可见

减少近一半的集鱼灯功率,有效水平诱集范围仅减少约14%。

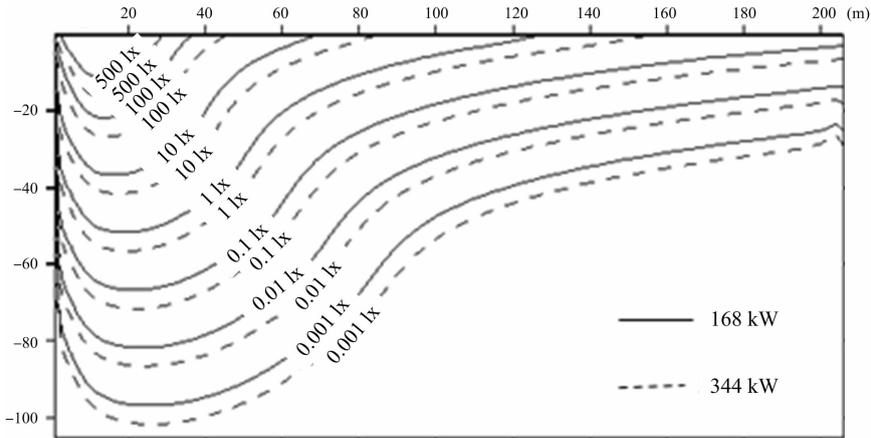


图3 不同总功率集鱼灯水中等照度曲线分布

为计算不同集鱼灯数量配置时的有效水体体积情况,在该船原有灯光配置的情况下,适当增加或减少每排集鱼灯灯数时(表3),即将总功率由488 kW逐步减少至168 kW, V_{10} 的水体体积从122 000 m³减小至85 000 m³,体积减少37 000 m³,减少了30.3%; $V_{0.1}$ 的水体体积从422 000 m³减小至330 000 m³,体积减少92 000 m³,减少了21.8%; $V_{0.1} - V_{10}$ 的水体体积从300 000 m³减小至240 000 m³,体积减少60 000 m³,减少了20%(图4)。

表3 浙岭渔23391不同总功率集鱼灯水下照度包含水体体积

总功率(kW)	V_{10} (m ³)	$V_{0.1}$ (m ³)	$V_{0.1} - V_{10}$ (m ³)
488	121 438.5	421 667.3	300 228.7
472	121 362.9	416 441.1	295 078.2
456	118 980.9	412 477.0	293 496.1
440	117 155.9	407 461.2	290 305.3
424	115 853.5	407 063.7	291 210.2
408	115 801.6	405 063.0	289 261.4
392	113 943.2	402 755.1	288 811.9
376	111 427.3	397 313.1	285 885.7
360	110 203.1	393 788.2	283 585.0
344	107 818.0	387 257.9	279 439.8
328	106 747.0	385 928.5	279 181.5
312	105 682.8	382 771.0	277 088.2
296	102 374.4	376 672.2	274 297.9
280	101 562.6	374 133.9	272 571.3
264	96 113.6	360 563.6	264 450.1
248	95 221.7	355 437.4	260 215.7
232	94 789.9	358 633.2	263 843.3
216	90 199.3	342 239.0	252 039.7
200	88 034.0	341 793.4	253 759.4
184	86 963.0	337 706.5	250 743.5
168	85 345.4	330 691.5	245 346.1

浙岭渔23391渔船的装配功率为344 kW,灯数为86盏,若将灯数增加至122盏, V_{10} 、 $V_{0.1}$ 、 $V_{0.1} - V_{10}$ 水下体积分别增加13.0%、8.8%、7.1%。若将灯数减少至42盏, V_{10} 、 $V_{0.1}$ 、 $V_{0.1} - V_{10}$ 水下体积分别减少21.3%、14.9%、14.3%。

由上述可知,增加集鱼灯的数量可在一定程度上增加有效诱集体积,但具体安装使用时,仍需考虑渔船的实际结构,以浙岭渔23391目前的情况来看,它可以安装集鱼灯的范围比较有限,它的灯间距为0.5~0.7 m,不适宜增加集鱼灯数量。而将其每列集鱼灯减少4盏,即集鱼灯总功率减少至280 kW时,其有效诱集水体体积从279 439.8 m³减少至272 571.3 m³,也就是说减少64 kW集鱼灯总功率仅减少2.5%的有效诱集水体体积。

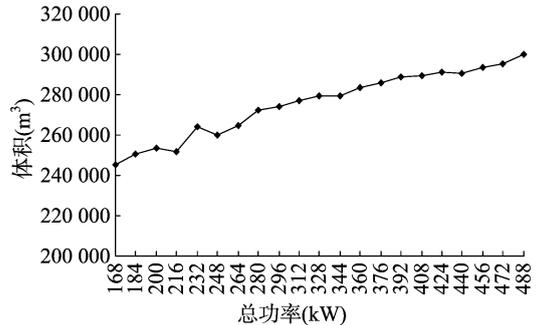


图4 水下照度10 lx与0.1 lx包含水体体积差随集鱼灯总功率变化趋势

2.2 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344 kW和168 kW时,与船水平距离20 m处的断面照度分布情况。由图5可知,在集鱼灯功率为344 kW时,10 lx等照度曲线最深可达40 m左右,1 lx等照度曲线约在55 m水深处,0.1 lx等照度曲线约在70 m水深处。

当集鱼灯功率为168 kW时,水深20 m以内的照度值与344 kW时相比,减少一半左右。例如,168 kW时的200 lx、100 lx等照度曲线分别与344 kW时的100 lx、50 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,两者的距离差不断缩小,并逐渐相近。例如,168 kW时,0.1 lx等照度曲线约在63~68 m水深处,与344 kW时相差仅约5 m(图5)。

2.3 不同总功率时的水中照度分布

图6-A为集鱼灯总功率分别为172 kW和84 kW时海

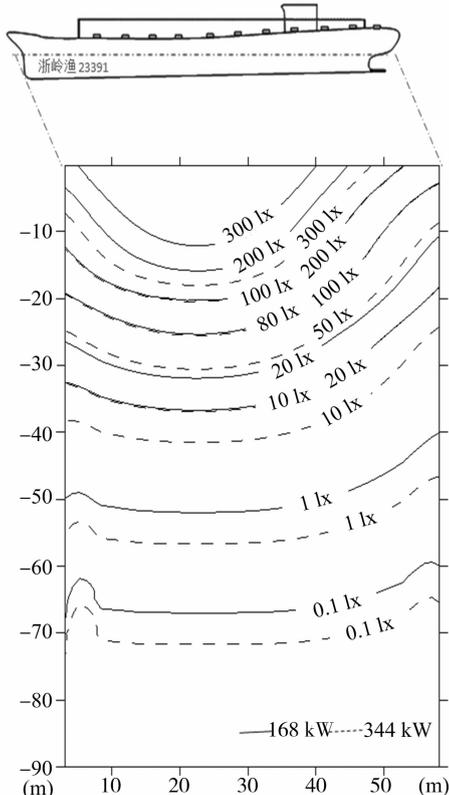


图5 不同总功率时与船水平距离 20 m 处的断面照度

水表面 0.1 m 处的照度分布情况。由图 6 - A 可知,在集鱼灯功率为 172 kW 时,水平距离 20 m 以内的照度多大于 400 lx,距离 30 m 处的照度在 100 lx 左右,10 lx 等照度线距离船约为 80 m,1 lx 等照度线距离船约 150 m。

而当集鱼灯功率为 84 kW 时,与 172 kW 时相比,相同照度的水平距离相差约 10 m,如 84 kW 时 1 000 lx 最远约 10 m,172 kW 时最远约 20 m;84 kW 时 400 lx 最远约 20 m,172 kW 时最远约 30 m;从海平面等照度曲线来看,随着离船距离的加大,两者的距离差稍稍增大,但并不是成倍增加,光度强度降至 1 lx 时,距离相差才至 20 m。

图 6 - B 为集鱼灯总功率分别为 172 kW 和 84 kW 时水深 20 m 处的照度分布情况。由图 6 - B 可知,在集鱼灯功率为 172 kW 时,水平距离 60 m 以内的照度均大于 2 lx,距离 80 m 处的照度在 0.5 lx 左右,0.01 lx 等照度线距离船约为 180 m。

当集鱼灯功率为 84 kW 时,与 172 kW 时相比,相同照度的水平距离同样也相差约 10 m,如 84 kW 时 120 lx 最远约 15 m,172 kW 时最远约 25 m;84 kW 时 80 lx 最远约 22 m,172 kW 时最远约 32 m;从水深 20 m 处等照度曲线来看,随着离船距离的加大,两者的距离差也是稍稍增大,当光度强度降至 0.01 lx 时,距离相差才至 25 m。

假设 0.01 lx 为诱集鱼的最佳照度^[15-17],则在水平方向上,2 种不同总功率情况时,0.01 lx 的最远距离分别为 155 m 和 180 m,可见,增加 1 倍的集鱼灯功率,约能增加 16.1% 的有效距离。

由图 6 - B 还可以看出,由于金属卤化物集鱼灯在水中

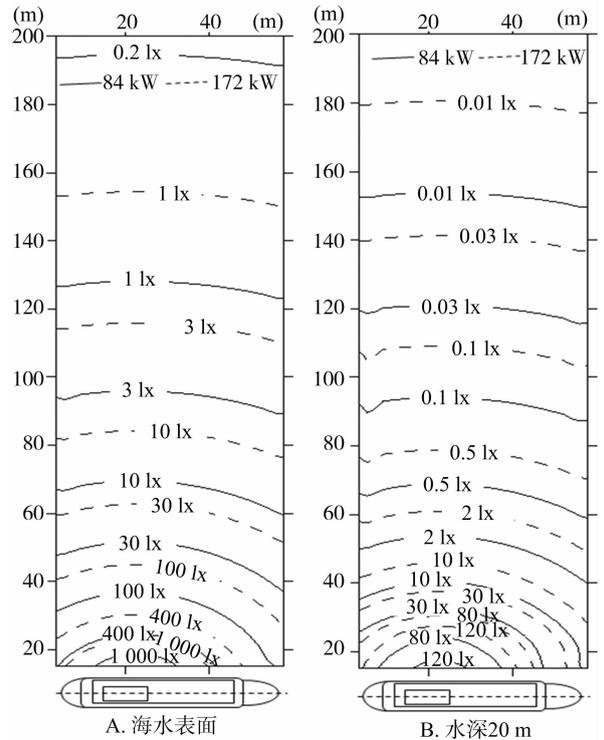


图6 不同集鱼灯功率时的等照度曲线分布

的衰减很快,水深 20 m 处的照度在数值上来看很小。当总功率为 172 kW 时,与船最近的水域(离船约 40 m,光线可达区域),其照度也仅为 10 lx 左右;离船 40 ~ 70 m 处的照度为 0.5 ~ 10 lx。

2.4 合理配置研究

对集鱼灯在不同安装情况下的有效水体体积进行计算和分析,这里主要改变集鱼灯的灯高和灯间距。当集鱼灯灯高分别为内侧 7.4 m、外侧 7.9 m,内侧 8.2 m、外侧 8.7 m,内侧 9.0 m、外侧 9.5 m 时,灯距分别为 0.63、0.67、0.71、0.75、0.79、0.83 m 时,计算得渔船一侧 0.1 lx 和 10 lx 等照度曲面所包含的水体体积 $V_{0.1}$ 和 V_{10} 见表 4。

由表 4 可知,当灯高为内侧 7.4 m 外侧 7.9 m 时, V_{10} 的水体体积为 107 000 ~ 110 000 m^3 , $V_{0.1}$ 的水体体积为 374 000 ~ 382 000 m^3 , $V_{0.1} - V_{10}$ 的水体体积为 267 000 ~ 273 000 m^3 。当灯高为内 8.2 m 外 8.7 m 时, V_{10} 的水体体积为 106 000 ~ 109 000 m^3 , $V_{0.1}$ 的水体体积为 381 000 ~ 385 000 m^3 , $V_{0.1} - V_{10}$ 的水体体积为 273 000 ~ 278 000 m^3 。当灯高为内 9.0 m 外 9.5 m 时, V_{10} 的水体体积为 107 000 ~ 109 000 m^3 , $V_{0.1}$ 的水体体积为 386 000 ~ 391 000 m^3 , $V_{0.1} - V_{10}$ 的水体体积为 278 000 ~ 283 000 m^3 。可见,随灯高的增大,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。

在此将 $V_{0.1} - V_{10}$ 的水体体积作为评判集鱼灯配置的一个重要指标^[18-19]。从表 4 数值上来看, $V_{0.1} - V_{10}$ 最大值 (282 883.4 m^3) 所对应的灯距为 0.79 m,灯高为内侧 9.0 m、外侧 9.5 m;其次是 281 905.2 m^3 ,对应的灯距为 0.83 m,灯高为内侧 9.0 m、外侧 9.5 m。可见增加灯的高度是在一定程度上增加有效诱集体积的,但安装时仍需考虑渔船的实

表4 不同灯高灯距时0.1、10 lx照度水体体积 $V_{0.1}$ 和 V_{10}

灯高 h	间距 d (m)	V_{10} (m^3)	$V_{0.1}$ (m^3)	$V_{0.1} - V_{10}$ (m^3)
内7.4 m外7.9 m	0.63	107 993.5	379 576.1	271 582.6
	0.67	109 118.3	381 226.5	272 108.2
	0.71	107 528.2	375 599.0	268 070.8
	0.75	107 248.0	374 585.6	267 337.5
	0.79	107 354.7	375 698.8	268 344.1
内8.2 m外8.7 m	0.63	106 534.4	384 208.5	277 674.1
	0.67	107 727.7	382 775.8	275 048.1
	0.71	108 625.5	382 364.5	273 739.1
	0.75	106 200.4	383 389.6	277 189.2
	0.79	106 480.9	381 148.0	274 667.2
内9.0 m外9.5 m	0.63	108 462.5	387 838.5	279 375.9
	0.67	107 819.0	386 671.1	278 852.2
	0.71	107 172.3	388 693.3	281 521.0
	0.75	108 752.0	387 414.7	278 662.7
	0.79	108 114.8	390 998.2	282 883.4
	0.83	107 488.4	389 393.6	281 905.2

际结构和灯的稳定性^[20]。浙岭渔 23391 当前的灯高为内侧 8.2 m、外侧 8.7 m,灯距为 0.71 m,对应的 $V_{0.1} - V_{10}$ 值为 273 739.1 m^3 ,与表中的最大诱集体积仅相差 3.2%,可见集鱼灯布置还是比较合适的,无需作大的调整。

3 结论和探讨

增加集鱼灯的数量可在一定程度上增加有效诱集体积,但具体安装使用时,仍需考虑渔船的实际结构,以浙岭渔 23391 目前的情况来看,它可以安装集鱼灯的范围比较有限,其灯间距约 0.7 m,不适宜增加集鱼灯数量。而将其每列集鱼灯减少 4 个,即集鱼灯总功率减少至 280 kW 时,其有效诱集水体体积从 279 439.8 m^3 减少至 272 571.3 m^3 ,也就是说减少 64 kW 集鱼灯总功率仅减少 2.5% 的有效诱集水体体积。因此,可以考虑将集鱼灯总功率下调到 280 kW。

从水中光照度分布来看,对于配置 4 kW 型金属卤化物集鱼灯的“浙岭渔 23391”灯光渔船,其集鱼灯总功率分别为 344 kW 和 168 kW 时的水中照度相差不大,等照度曲线所在的水层相差为 5 m 左右。减少近一半的集鱼灯功率,有效水平诱集范围仅减少约 16%。可见,增加集鱼灯个数(功率)并不能很有效地增加其水中的光照度。目前在实际的灯光渔业中,渔民普遍盲目增加集鱼灯功率其实是不可取的,应当作出一些限制措施来纠正这一不当趋势。

从集鱼灯的安装配置情况来看,增加灯的高度是在一定程度上增加有效诱集体积的,但从渔业实践来看,灯离水面不宜太高,否则风阻太大。浙岭渔 23391 目前的配置(内侧灯高 7.2 m、内侧灯距 0.75 m、外侧灯高 7.8 m、内侧灯距 0.71 m)的配置方案还是比较适宜的。

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] 沙 锋, 钱卫国, 吴仲琪, 等. 鲈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.
- [3] 侍 炯, 钱卫国, 杨卢明. 鲈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.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 崔浙珍, 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]. 日本水产学会誌, 1998, 64(4): 650-657.
- [10] 崔浙珍, 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]. 日本水产学会誌, 2003, 69(1): 44-51.
- [11] 钱卫国, 王伟杰, 叶 超, 等. 光诱鱿钓渔船集鱼灯的水中照度分布及合理配置研究[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(2): 226-230.
- [12] 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.
- [13] 钱卫国, 叶 超, 王伟杰, 等. 2 kW 直筒型集鱼灯水中照度分布及合理配置研究[J]. 2015, 11(2): 90-95.
- [14] 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)[R]. 2010.
- [15] 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, 1979(3): 99-103.
- [16] 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.
- [17] 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]. 日本水产资源保护协会月报, 1986(266): 11-26.
- [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] 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.
- [20] 钱卫国. 鱿钓渔业中集鱼灯的优化配置研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2005.