

结题材料（五）

本课题来源于2005年上海市农委“水产发展关键技术研究”项目

北太平洋公海秋刀鱼资源渔场及其 捕捞技术的研究

（2006年集鱼灯实验报告）

承担单位：上海海洋大学

上海水产（集团）总公司

东海水产研究所

完成时间：2008年6月

目 录

1. 实验内容	1
2. 实验中所用秋刀鱼集鱼灯箱和集鱼灯	1
2.1 秋刀鱼集鱼灯箱	1
2.2 秋刀鱼集鱼灯	2
3. 实验方法和步骤	3
3.1 灯箱的架设和调整	3
3.2 背景光测量	3
3.3 灯箱内不同位置的集鱼灯的照明效果比较实验	4
3.4 灯箱采用不同倾角时的照明效果比较实验	4
4. 实验结果	5
4.1 灯箱内不同位置的集鱼灯的照明效果比较实验	5
4.2 灯箱采用不同倾角时的照明效果比较实验	12
5. 结论	18

秋刀鱼集鱼灯灯光测试报告

秋刀鱼船集鱼灯灯光效果研究是秋刀鱼渔具渔法研究中一个很重要的方面。通过对其光学物理特性的研究,可以更好的对船上的集鱼灯和集鱼灯箱等设备进行合理配置,从而产生出不同的海面光场,直接影响到诱鱼效果的好坏。在飞利浦照明(上海)有限公司的大力帮助下,我们对一组秋刀鱼集鱼灯箱的光学效果进行了研究。

1. 实验内容

该实验主要针对一组秋刀鱼集鱼灯箱的照明效果进行研究,具体分为以下两个子实验:

灯箱内不同位置的集鱼灯的照明效果比较:分析集鱼灯位于灯箱不同位置(上、中、下)时,实际照明效果的区别。

灯箱采用不同倾角时的照明效果比较:分析一组集鱼灯箱在不同照明投射角(30° , 45° , 60°)时,实际照明效果的区别。

2. 实验中所用秋刀鱼集鱼灯箱和集鱼灯

2.1 秋刀鱼集鱼灯箱

以秋刀鱼船中装配最多的“1”形灯箱为实验对象(图1),每一灯箱内有24只红色或白色白炽集鱼灯。该灯箱原布置于秋刀鱼渔船舷边两侧,每隔一定距离(一般为1.5-2米)就装配这样的一只灯箱,并在生产过程中与水平面成一定夹角(45° - 60°)。而在本实验中,只需要一组装有24盏集鱼灯的灯箱。

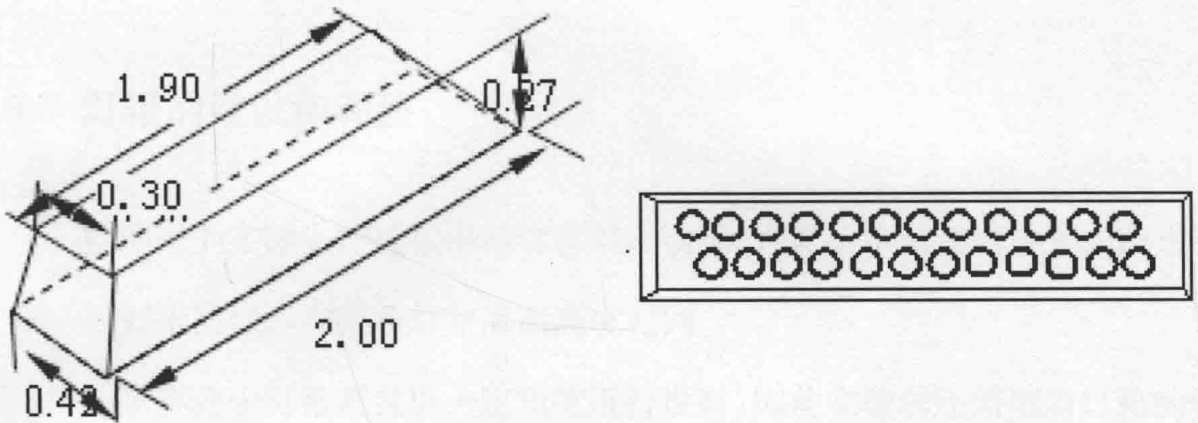


图1 秋刀鱼集鱼灯箱

2.2 秋刀鱼集鱼灯

集鱼灯为日本SANSKIN的220V-500W白炽秋刀鱼集鱼灯，其灯口直径4.0cm，细部直径5.0cm，灯头直径11.0cm，光通量8000Lm，额定寿命为1000h，发光效率达到16Lm/W，除可用于用于海上集渔外，还设计用于水下照明及船上照明等。

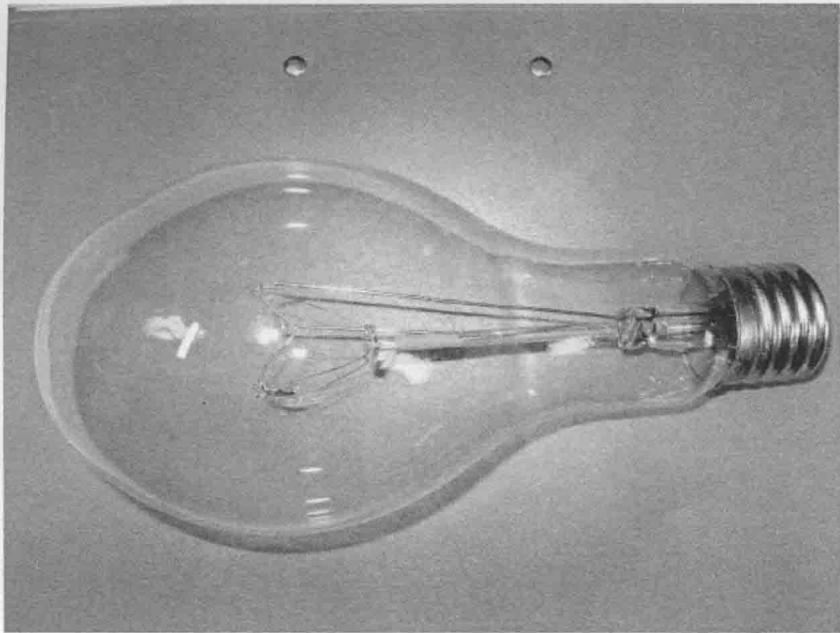


图2 秋刀鱼集鱼灯

3. 实验方法和步骤

3.1 灯箱的架设和调整

模拟海上实际生产过程中的灯箱架设情况,在实验中将其固定于距离水平面 $H=3.95$ 米高处,与集鱼灯与海面高度相同。

由于实验中灯箱需要以一定角度进行投射,因此实验前还需要对灯箱的倾角进行调整,我们将曳绳一端系于 $h=1\text{m}$ 高处(图3),用标杆测量水平距离 $d = h \cdot \text{ctg} \phi$,即为所求角度。

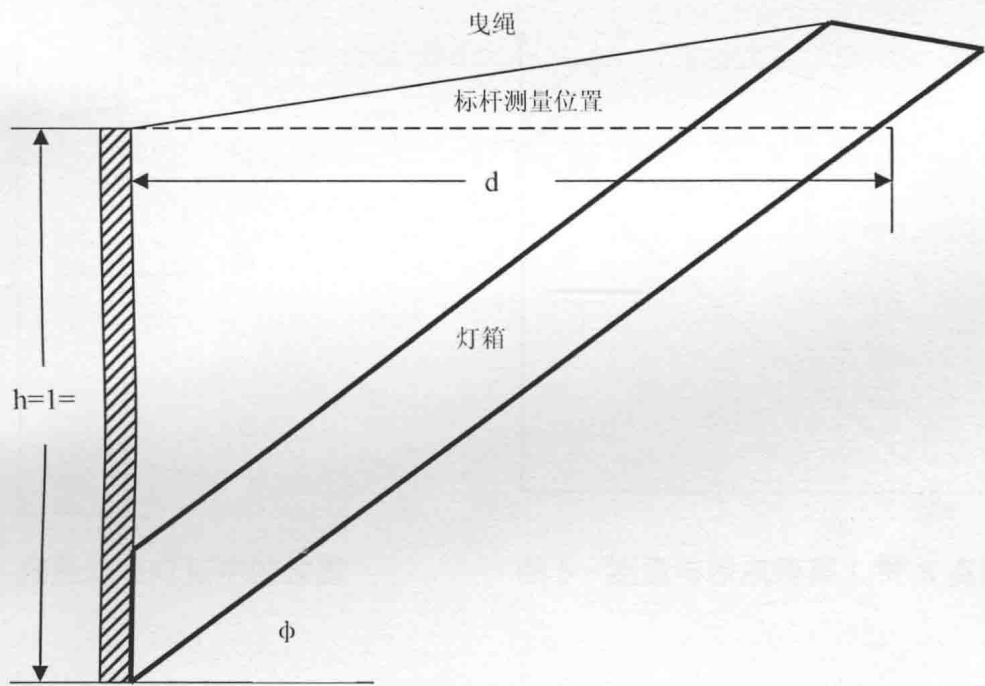


图 3 灯箱倾角的调整

3.2 背景光测量

每次实验前,我们首先对背景光在地面的照度情况进行测量,根据所测得的数据,背景光 E_0 一般在 $3 \sim 4\text{lx}$ 左右。最后所采用的地面照度数据需要消除背景光的影响, $E_v(L) = E_{\text{测量}}(L) - E_0$

3.3 灯箱内不同位置的集鱼灯的照明效果比较实验

将一盏集鱼灯安装于灯箱的位置a处(图4),并将其他位置的集鱼灯拆下。然后将灯箱以45°倾角架设于高度为3.95m处,向地面投射(图5)。测量距离原点分别为L=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16m处的水平地面照度,并记录。将灯箱卸下,将集鱼灯分别换到b及c处,重复上述测量过程。

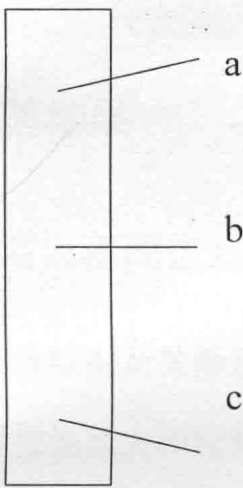


图4 集鱼灯在灯箱中的位置

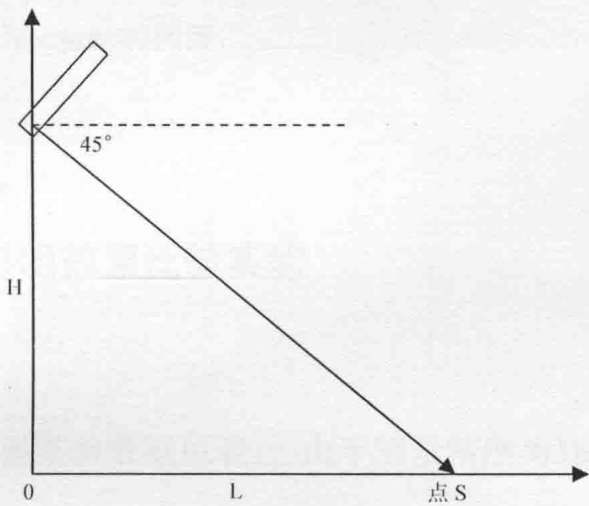


图5 测量与原点距离 L 处 S 点的照度

3.4 灯箱采用不同倾角时的照明效果比较实验

将灯箱内装满24盏白炽集鱼灯,并架设于高度为3.95米处,调整其倾角为 $\phi_0 = 30^\circ$,向地面y方向投射光线(图6)。分别测量地面x=0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16m, y=0, 2, 4, 6, 8, 10m的S(x,y)点照度值,并记录。然后将 ϕ_0 分别调整为45°和60°,重复上述过程。

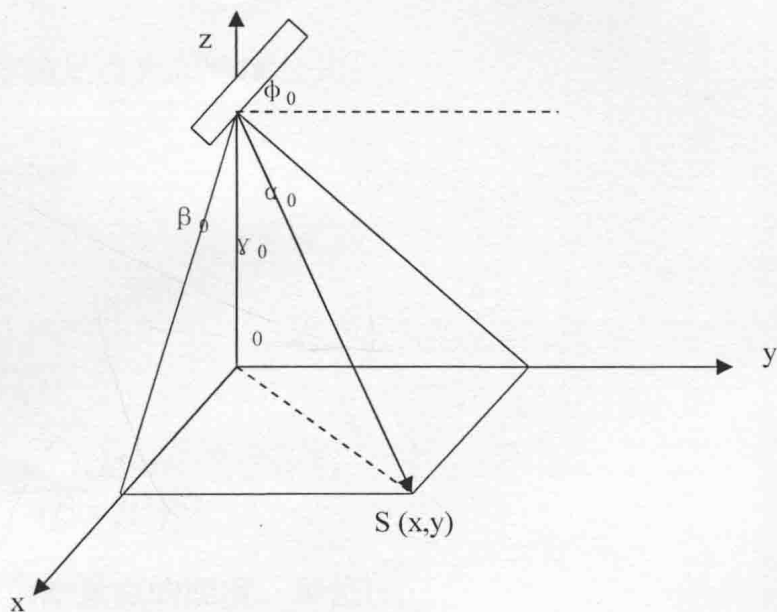


图 6 测量点 S(x,y)处的照度

4. 实验结果

4.1 灯箱内不同位置的集鱼灯的照明效果比较实验

(1) 实验数据及其筛选

测量数据减去相应背景光影响，所得实验数据见表1。由于测量精度为1lx，10m外各点灯的照度均在8lx以下，测量误差较大，故选择距离为10m。

表 1 集鱼灯装配在灯箱不同点时地面照度随距离的变化值

距离(m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
点 A (lx)	107	110	78	60	43	27	20	15	12
点 B (lx)	113	120	90	54	34	24	18	14	11
点 C (lx)	96	136	92	55	32	22	17	13	10

距离(m)	9	10	11	12	13	14	15	16
点 A (lx)	10	8	6	5	4	4	4	3
点 B (lx)	9	8	6	5	5	4	4	4
点 C (lx)	9	8	7	6	5	5	5	5

(2) 照度拟合方程

测量点的照度满足点光源照度公式：

$$E_v(L) = \frac{I(L)}{r^2} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$r^2 = L^2 + H^2 \quad (2)$$

$$\cos \alpha = \frac{H}{\sqrt{L^2 + H^2}} \quad (3)$$

$$\text{所以, } E_v(L) = \frac{I(L) \cdot H}{(L^2 + H^2)^{3/2}} \quad (4)$$

其中： $E_v(L)$ 为测量点的照度，单位lx；

$I(L)$ 为光源在测量点方向上的光强，单位cd；

r 为光源与测量点的距离，单位m；

H 为灯到地面的高度，单位m；

α 为入射角。

该表达式中，只有 L 一个未知数，因此将 $E_v(L)$ 变换形式成：

$$E_v(L) = F(L) = \frac{A}{f(L)} \quad (5)$$

其中， A 为常数，

$f(L)$ 为 L 的方程式

$$\text{设 } f(L) \text{ 为 } L \text{ 的3次方程, } A = 10^4 \quad (6)$$

$$\text{则 } E_v(L) = \frac{10^4}{aL^3 + bL^2 + cL + d}, \text{ 即 } aL^3 + bL^2 + cL + d = \frac{10^4}{E_v(L)} \quad (7)$$

$$\text{数组 } P = [a, b, c, d] \quad (8)$$

运用最小二乘法，通过软件matlab7.0，对实验所得 $E_v(L)$ 数据进行拟合，

得出：

$$Pa = [-0.2943 \quad 16.5819 \quad -22.1230 \quad 95.9354]$$

$P_b = [-0.9142 \quad 24.2187 \quad -33.4163 \quad 90.7476]$

$P_c = [-1.7152 \quad 34.9979 \quad -63.4976 \quad 105.5050]$

即，a，b，c三点在地面的照度方程分别为：

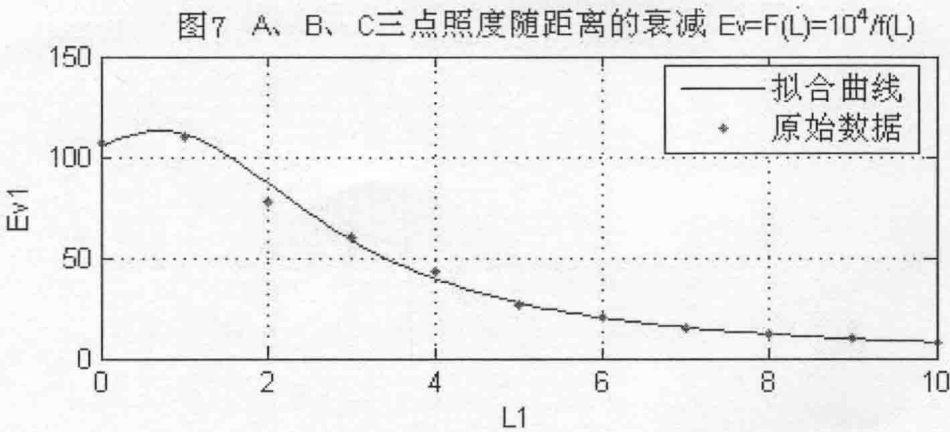
$$\begin{cases} E_{va}(L) = \frac{10^4}{-0.2943L^3 + 16.5819L^2 - 22.1230L + 95.9354} \\ E_{vb}(L) = \frac{10^4}{-0.9142L^3 + 24.2187L^2 - 33.4163L + 90.7476} \\ E_{vc}(L) = \frac{10^4}{-1.7152L^3 + 34.9979L^2 - 63.4976L + 105.5050} \end{cases}$$

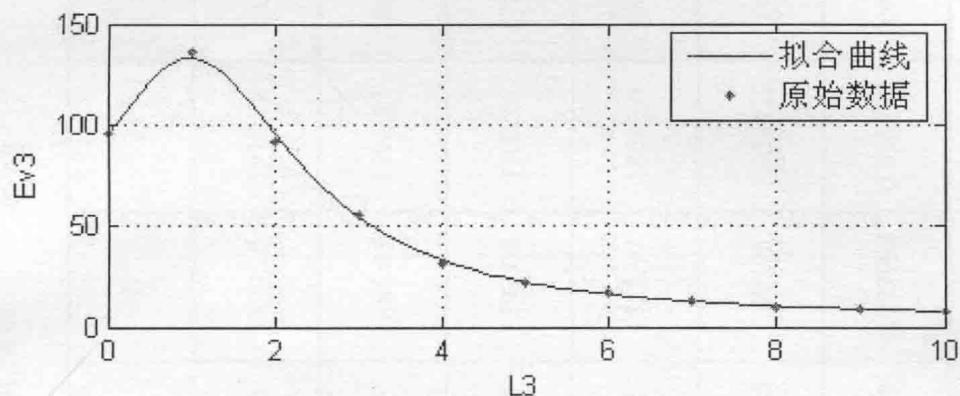
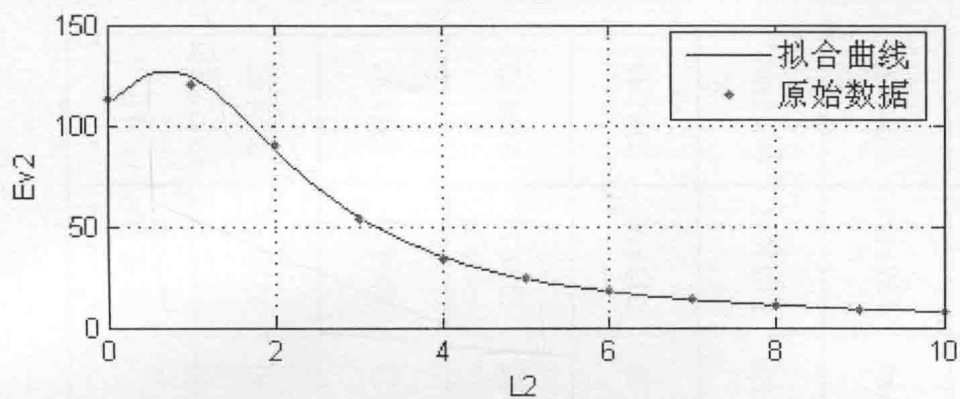
(3) 拟合照度分布图

利用求得的p值，对集鱼灯装配在灯箱A、B、C位置时的地面照度

$E_v(L) = \frac{10^4}{aL^3 + bL^2 + cL + d}$ 随距离的变化进行作图。图7-1为当集鱼灯装配在灯箱

的A点时，地面照度随距离的变化情况。该点由于距离地面高度H最大，因而在距离较近的各测量点的照度比较小，所得拟合曲线的最大照度位置在L=0.7000 处，相应照度为113.0282lx，随着距离的增加，照度值降低较慢；图7-3为当集鱼灯装配在灯箱的C点时，地面照度随距离的变化情况。该点在3个点中的比较靠近灯箱下端，在灯的正下方距离比较近时，照度随距离的增加迅速增大，并于L=1.0000处，取得最大照度132.8196lx，随后即随着距离增大而迅速降低；图7-2为当集鱼灯装配在灯箱的B点时，地面照度随距离的变化情况。该点的照度变化介于A,C两点之间，最大照度位于L=0.7384 处，为126.7269lx。





(4) 光强及各位置的相对光强系数

将方程(4)变形为:

$$I(L) = E_v(L) \cdot \frac{(L^2 + H^2)^{\frac{3}{2}}}{H} \quad (9)$$

A, B, C点对应的H分别为4.8, 4.4和4.0m, 并将测量所得的实验数据分别代入(表2)。

表2. 光强随距离的变化情况

L (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_A(L)$ (cd)	2465.28	2701.18	2284.88	2266.99	2185.20	1872.95	1890.20	1910.78	2030.10	2210.85	2274.67
$I_B(L)$ (cd)	2187.68	2505.50	2309.40	1853.53	1624.78	1611.56	1685.05	1798.37	1902.73	2056.51	2370.97
$I_C(L)$ (cd)	1536.00	2383.16	2057.18	1718.75	1448.15	1443.90	1593.65	1703.15	1788.85	2149.51	2498.72
$\bar{I}(L)$ (cd)	2062.99	2529.95	2217.15	1946.42	1752.71	1642.81	1722.97	1804.10	1907.23	2138.96	2381.45
$k_A(L)$	1.195005	1.067682	1.030546	1.164693	1.246755	1.140095	1.09706	1.059132	1.064426	1.033611	0.955161
$K_B(L)$	1.060443	0.990339	1.041605	0.952277	0.927009	0.980979	0.977994	0.996823	0.99764	0.961454	0.995598
$K_C(L)$	0.744552	0.941979	0.927848	0.88303	0.826236	0.878926	0.924946	0.944045	0.937934	1.004935	1.049241

三点的平均光强为 $\bar{I}(L) = \frac{I_A(L) + I_B(L) + I_C(L)}{3}$

引入相对光强系数的概念，例如，A点在距离为L处的 $k_A(L) = \frac{I_A(L)}{\bar{I}(L)}$ ，它表示在该点处A的光强与灯箱各位置平均光强的比值。 $k_A(L)$ 在一定意义上能够反应出随L的变化，A点光强相对于灯箱平均光强的变化情况。

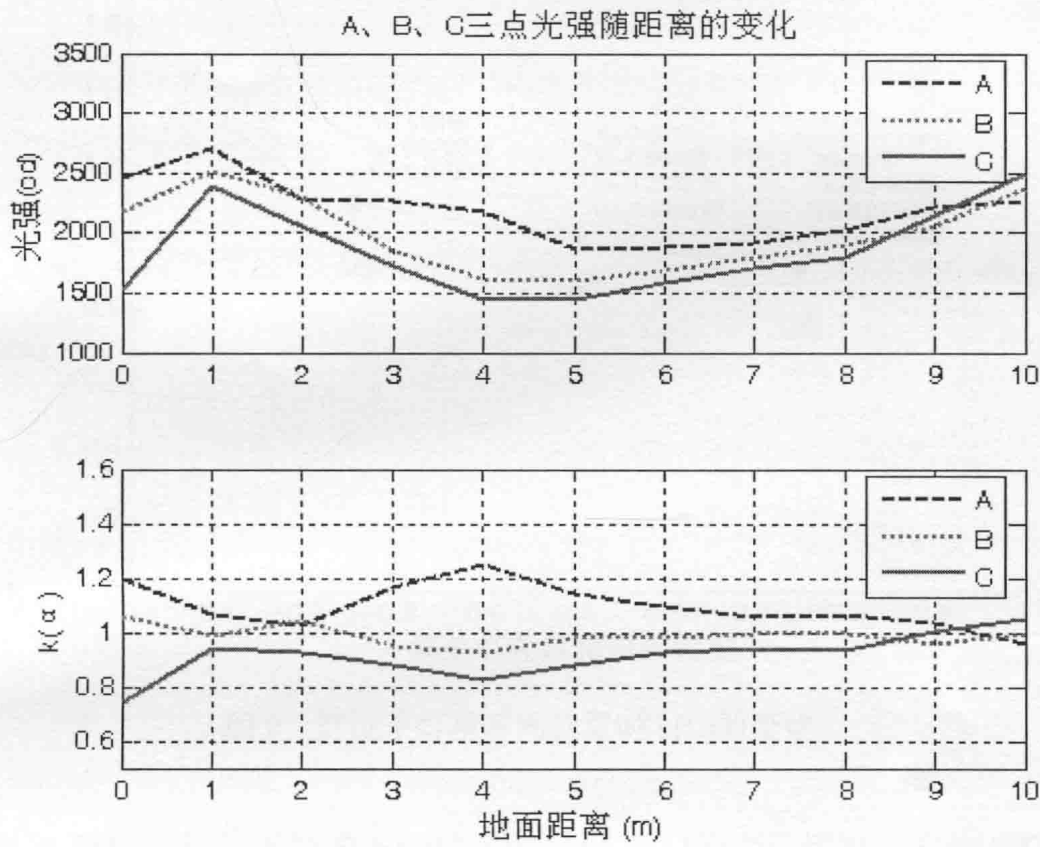


图 8 光强和 k (L) 随距离的变化

$k(L)$ 表示与平均光强的相对变化情况，与 $I(L)$ 的大小无关，A，B，C 位置在各点的 $k(L)$ 平均值始终为 1 (图 8)。由图中可以看出，A 点的 $k(L)$ 在近原点的地方在 3 条线中最大,随着距离的增加先减后增,并在 $L=4m$ 附近达到最大,此后逐步降低; C 点的 $k(L)$ 在近原点的地方在 3 条线中最小,随着距离的增加先增后减,并在 $L=4m$ 附近达到最小,此后逐步增大。之所以形成这样的分布状况，与灯箱的上壁对灯光的反射有关，L 小时，由于 A 点距离上壁较近，

更容易形成较强的反射,而下壁的反射在距离 L 较远时才能显现出来,因此 C 点 $k(L)$ 在 $L > 9$ 时才逐渐超越 A 点。另外,在 $L = 4\text{m}$ 处形成极大(小)值,是由于各照度点的高度 H 均约为 4,而灯箱的倾角为 45° ,刚好在该点形成直射。

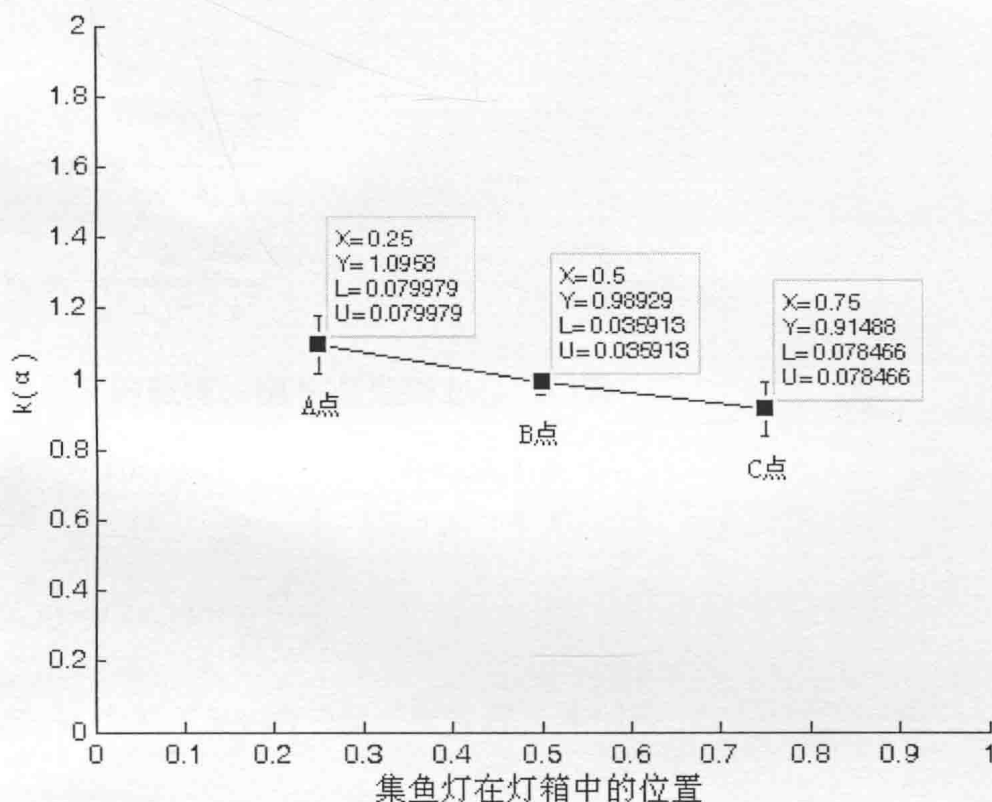


图 9 灯位于灯箱不同位置时 $k(L)$ 的变化

图 9 反应了灯位于灯箱不同位置时平均 $k(L)$ 的变化情况,左侧为灯箱上端。

$$\bar{k}_A(L) = \frac{I_A(L)}{\bar{I}(L)} = 1.095833 \pm 0.079979$$

$$\bar{k}_B(L) = \frac{I_B(L)}{\bar{I}(L)} = 0.989287 \pm 0.035913$$

$$\bar{k}_C(L) = \frac{I_C(L)}{\bar{I}(L)} = 0.914879 \pm 0.078466$$

可以看出,随着灯位置从上端向下端移动, $k(L)$ 逐渐减小,而误差则是两端比较大,中间较小。

4.2 灯箱采用不同倾角时的照明效果比较实验

α_0 , β_0 分别为光线 AS 对 $yo z$, xoz 面的投影与 z 轴的夹角, γ 为 AK 与 z 轴的夹角,

$$\begin{aligned} \text{则 } \gamma_0 &= \arctg \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{h} \\ \cos \gamma_0 &= \frac{h}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}} \end{aligned} \quad (1)$$

E_v 为点 S 的照度, 则 S 点光强 $I(\alpha_0, \beta_0)$ 为:

$$E_v(x, y) = \frac{I(\alpha_0, \beta_0)}{r^2} \cdot \cos \gamma_0 = \frac{I(\alpha_0, \beta_0) \cdot h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \quad (2)$$

$$E_v(x, y) = F(x, y) = \frac{A}{f(x, y)} \quad (3)$$

$$\text{设 } f(x, y) \text{ 为关于 } x, y \text{ 的二元三次方程, } A = 10^4 \quad (4)$$

$$\text{则 } E_v(x, y) = \frac{10^4}{ax^3 + bx^2 + cx + dy^3 + ey^2 + fy + g} \quad (5)$$

$$\text{由于 } E_v(x, y) = E_v(-x, y) \quad (6)$$

$$\text{故 } a = c = 0 \quad (7)$$

$$E_v(x, y) = \frac{10^4}{bx^2 + dy^3 + ey^2 + fy + g} \quad (8)$$

$$\text{原点处的照度值 } E_v(0, 0) = \frac{10^4}{g}$$

$$\text{则 } g = \frac{10^4}{E_v(0, 0)} \quad (9)$$

将 (9) 代入 (8) 得:

$$bx^2 + dy^3 + ey^2 + fy = \frac{10^4}{E_v(x,y)} - \frac{10^4}{E_v(0,0)}$$

(10)

数组 P=[b,d,e,f]

(11)

利用软件 matlab7.0，对各倾角时的照度值进行二元线形回归。

(1) 30 度

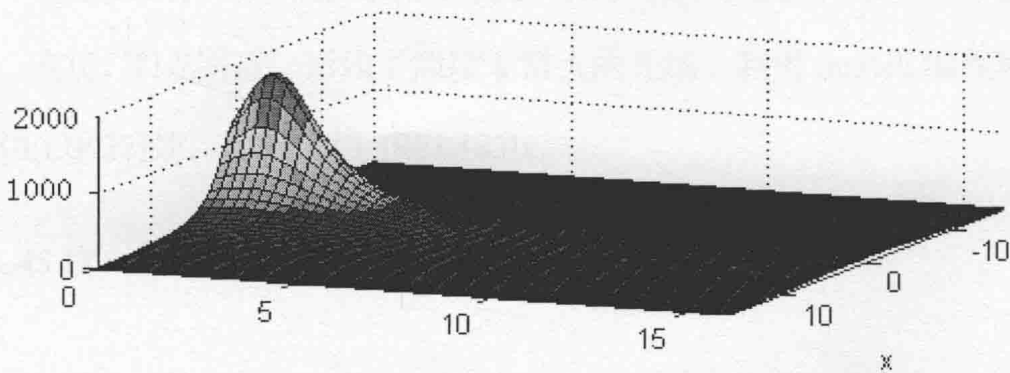
表 3 30 度时各点照度

X \ Y	0	2	4	6	8	10	12	14	16
0	1270	980	410	200	120	80	70	60	50
2	810	610	300	150	110	70	60	60	50
4	330	350	230	110	80	60	50	50	50
6	160	160	130	90	70	50	40	40	40
8	70	70	80	70	60	50	40	50	40
10	50	50	60	60	60	60	50	40	40
12	40	40	50	50	40	40	40	40	40

求得倾角为 30°时，g=7.8740，回归得到有关系数的数组为 P = [1.4992
-0.1367 3.1110 -5.7542]，即平面照度方程为，

$$E_v(x,y) = \frac{10^4}{1.4992x^2 - 0.1367y^3 + 3.1110y^2 - 5.7542y + 7.8740}$$

(12)



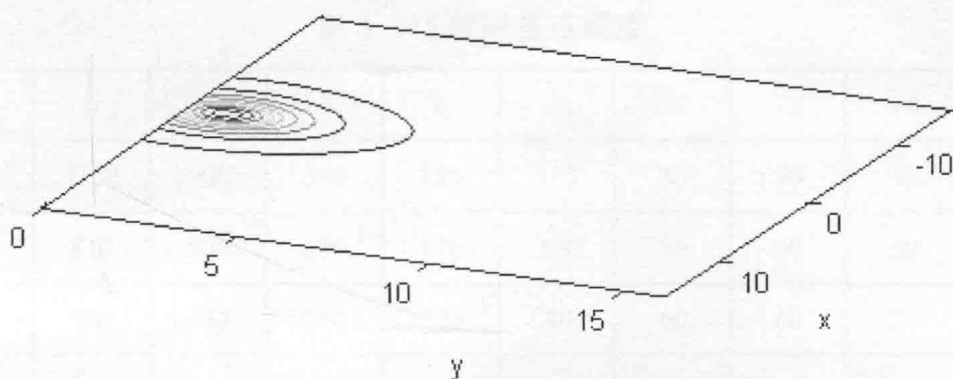
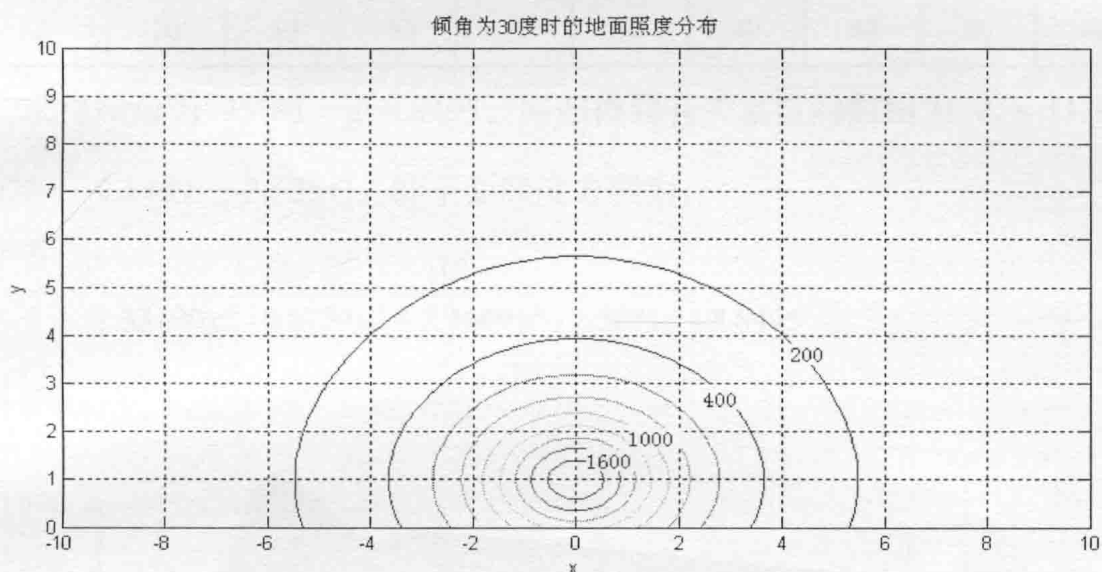
图 10 倾角为 30° 时海面光场图 11 倾角为 30° 时海面光场分布

图 10 表示的为倾角为 30° 时海面光场情况, 范围为 $x \in [-16, 16], y \in [0, 16]$, 由图中可以看出, 其所模拟的照度值在近原点处非常陡峭, 图 11 可以清晰的看出, 在 $[0, 1]$ 点附近, 形成了照度非常大的光场。利用 matlab 编程可以求得在点 $[0, 1.0627]$ 处, 有最大值 1963.183lx 。

(2) 45 度

表 4 45 度时各点照度

X \ Y	0	2	4	6	8	10	12	14	16
0	1130	900	340	180	110	80	50	40	40
2	810	500	280	170	100	80	60	50	40
4	260	330	200	120	80	60	60	50	40
6	130	190	140	110	80	70	60	40	30
8	70	100	80	80	70	60	50	50	40
10	30	70	70	70	60	60	50	40	30
12	30	50	50	50	50	40	40	50	40

求得倾角为 45°时， $g=8.8495$ ，回归得到有关系数的数组为 $P = [1.3319$
 $-0.0739 \quad 2.1449 \quad -2.5251]$ ，即平面照度方程为，

$$E_v(x,y) = \frac{10^4}{1.33190x^2 - 0.0739y^3 + 2.1449y^2 - 2.5251y + 8.8495} \tag{13}$$

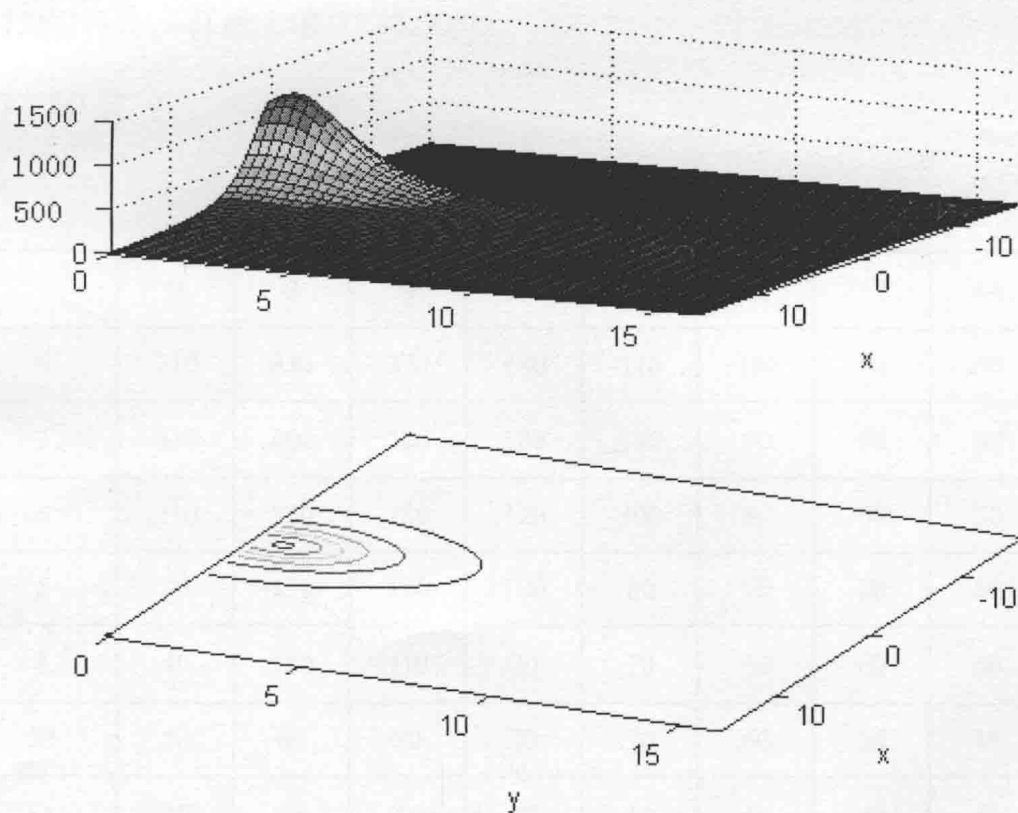


图 12 倾角为 45° 时海面光场