

关于失控灯水平遮蔽弧度计算的讨论

近期有个别船因为失控灯被主桅杆遮蔽被 PSC 检察官检查时开了滞留项，原因是水平遮蔽弧度超过 6° 。这个滞留项是根据《1972 年国际海上避碰规则》中的附录一，“号灯和号型的位置和技术细节”中的第 9 项，“水平光弧”里的有关规定。在该项里的第(2)小项里有如下两点规定：

① 环照灯应安置在不被桅、顶桅或建筑物遮蔽大于 6 度角光弧的位置上，但第三十条规定的锚灯除外，锚灯不必安置在船体以上不切实际的高度。

② 如果仅显示一盏环照灯无法符合本段第(2)①小段的要求，则应使用两盏环照灯，固定于适当位置或用挡板遮挡，使其在一海里距离上尽可能像是一盏灯。

英文原文如下：

ANNEX I POSITIONING AND TECHNICAL DETAILS OF LIGHTS AND SHAPES

9. Horizontal sectors

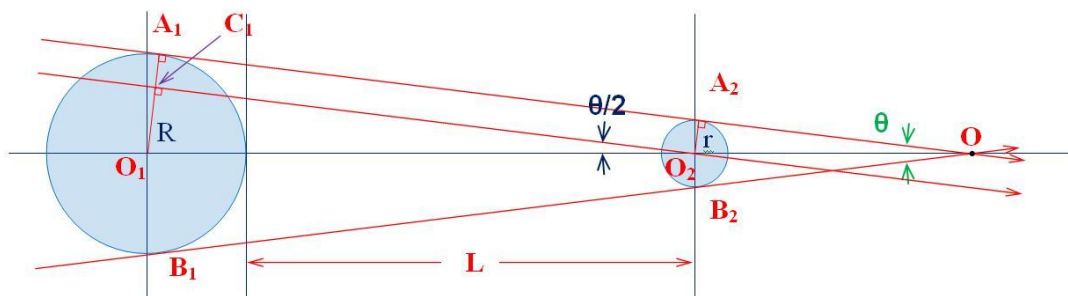
(b)

(i) All-round lights shall be so located as not to be obscured by masts, topmasts or structures within angular sectors of more than 6 degrees, except anchor lights prescribed in Rule 30, which need not be placed at an impracticable height above the hull.

(ii) If it is impracticable to comply with paragraph (b)(i) of this section by exhibiting only one all-round light, two all-round lights shall be used suitably positioned or screened so that they appear, as far as practicable, as one light at a distance of one mile.

在上述规定①中，规定了环照灯的光弧不应该被遮蔽 6° 以上。下面介绍两种快速评估遮蔽角度的方法供船长判断自己的船舶是否存在这样的问题。

方法一：如果主桅杆是圆柱形的。如下图，是过环照灯灯芯的俯视图。其中，圆 O_2 是环照灯水平切图，环照灯半径为 r ；圆 O_1 为主桅杆水平切图，桅杆半径为 R ； A_1A_2 为主桅杆遮蔽环照灯光线前的最后一根光线，经 A_1 点外切圆 O_1 ，经 A_2 点外切圆 O_2 ； B_1B_2 为桅杆遮蔽环照灯光线后再看到的第一根光线，分别外切圆 O_1 和 O_2 于 B_1 和 B_2 点。两根光线应该相交于圆 O_1 及圆 O_2 的圆心延长线的 O 点处。角 A_1OB_1 为 θ 。按上述公约规定， θ 角应该小于 6° 。



过 O_2 圆心做 A_1A_2 的平行线，交 O_1A_1 于 C_1 。在三角形 $O_1O_2C_1$ 中，有下列等式成立：

$$(R - r) = (R + L) * \sin(\theta/2)$$

整理后得出：

$$\sin(\theta/2) = (R - r) / (R + L) \quad \text{公式(1)}$$

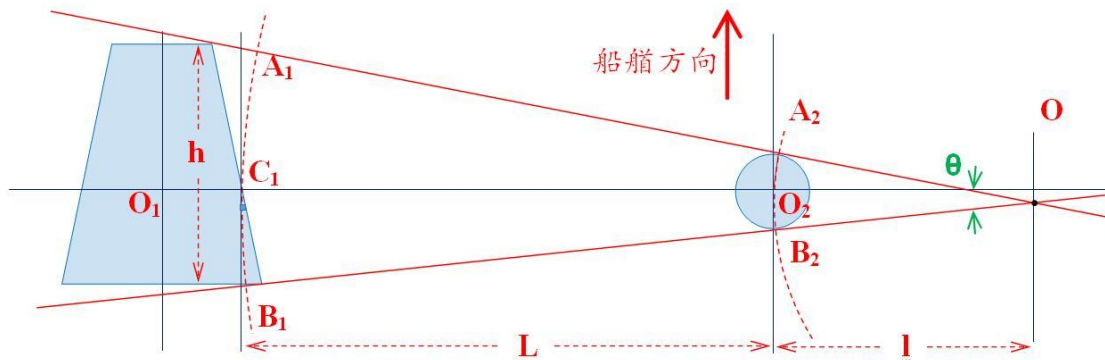
$$L = (R - r) / \sin(\theta/2) - R \quad \text{公式(2)}$$

式中：L 是桅杆边缘的环照灯芯的距离。

如果知道了 L，船长可以自己通过式(1)计算出θ角，检查该角是否小于 6°。

如果θ角大于 6°，我们可以用 6°代入式(2)，看看 L 应该多大才能使θ角小于 6°。

方法二：上述方法是针对标准的圆柱形主桅杆来计算灯柱间距 L 的。如果主桅杆不是圆柱形的，则要使用近似计算的方法进行计算。如下图的梯形主桅杆，其中 C₁O₂ 是梯形桅杆到环照灯的距离 L（横支撑杆的长度）；梯形桅杆的前后距离（即梯形的高度）为 h；过梯形的右上角和右下角分别做圆 O₂ 的切线 A₁A₂O 和 B₁B₂O，两直线相交于 O，形成角 A₁OB₁ 为θ。然后以 O 为圆心，以 OC₁ 为半径画圆弧 A₁C₁B₁ 分别交直线 A₁A₂O 和 B₁B₂O 于 A₁ 和 B₁ 点；再以 O 为圆心，OA₂（或 OB₂）为半径画圆弧 A₂B₂。圆弧 A₂B₂ 没有过圆心 O₂，但是小至可以忽略。我们可以认为 OA₂（或 OB₂）为距离 l。



分析：因为 6° 的弧度非常小，在这个计算中，我们可以用 h 代替圆心在 O 点、半径为 (L + 1) 的圆在梯形桅杆方向的弧长 A₁C₁B₁（L 实际是两个圆弧间的距离。）；用圆 O₂ 的直径 2r 来代替圆心在 O 点、半径为 1 的圆的弧长 A₂O₂B₂。根据弧度的计算方法，我们有下列近似计算推导：

$$h = \theta * (L + 1) = \theta * L + \theta * 1 \quad (\text{式中}\theta\text{使用弧度 rad}) \quad \text{公式(3)}$$

$$2r = \theta * 1 \quad (\text{式中}\theta\text{使用弧度 rad}) \quad \text{公式(4)}$$

把式(4)代入式(3)中，我们得到式(5)：

$$h = \theta * L + 2r \quad (\text{式中}\theta\text{使用弧度 rad}) \quad \text{公式(5)}$$

整理后得到：

$$\theta = (h - 2r) / L \quad (\text{弧度}) = 180 * (h - 2r) / (\pi * L) \quad (^\circ) \quad \text{（结论：大弧长减去小弧长然后除以两弧的间距等于两弧所对应的圆心角的弧度。）} \quad \text{公式(6)}$$

$$L = (h - 2r) / \theta \quad (\theta\text{用弧度}) = 180 * (h - 2r) / \theta * \pi \quad (\theta\text{用}^\circ) \quad \text{公式(7)}$$

小结一下：

- 对于圆柱形桅杆，可以利用公式(1)和公式(2)来精确计算；
- 对任意形状的桅杆，包括圆柱形桅杆，都可以利用公式(6)和公式(7)来进行快速的近似计算；

举例：某船，其标准的圆形主桅杆周长 $l = 0.7$ 米；环照灯直径 $d = 10$ cm；灯芯到主桅杆距离 $L = 1.5$ 米，计算该环照灯被主桅杆遮蔽的角度是多少？如果保持该遮蔽角小于 6° ，请问灯芯到主桅杆距离 L 应为多少？

使用方法一：

已知：主桅杆半径 $R = l / 2\pi = 0.7 \text{ (米)} / (2 * 3.14) = 11.14$ (厘米)；

环照灯半径 $r = d / 2 = 10 / 2 = 5$ (厘米)；

灯芯到主桅杆距离 $L = 1.5$ 米 = 150 (厘米)

代入公式(1)，有：

$$\sin(\theta/2) = (R - r) / (R + L) = (11.14 - 5) / (11.14 + 150) = 0.0381086$$

然后有： $\theta/2 = \text{Arc Sin}(\theta/2) = 0.0381178 \text{ rad} = 2^\circ.18$

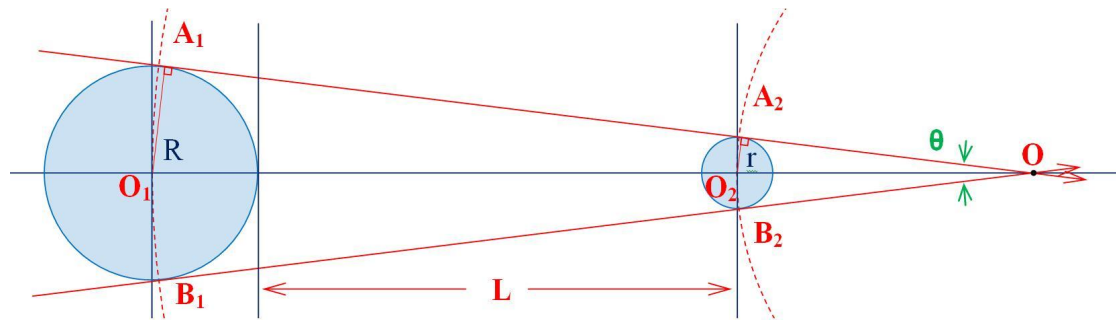
环照灯被主桅杆遮蔽的角度是： $\theta = 2^\circ.18 * 2 = 4^\circ.36$

以 $\theta = 6^\circ$ ，代入公式(2)，有：

$$L = (R - r) / \sin(\theta/2) - R = (11.14 - 5) / (\sin(6^\circ/2) - R) = 106.19 \text{ (厘米)}$$

即灯芯到主桅杆距离大约 1.0619 米，环照灯被主桅杆遮蔽的角度即可小于 6° 。

使用方法二：



根据上图及前面的分析，我们知道圆弧 $A_1O_1B_1 = 2R$ ；圆弧 $A_2O_2B_2 = 2r$ ；根据公式(6)和公式(7)，有如下等式：

$$\theta = (2R - 2r) / (R + L) \text{ (弧度)} = 180 * (2R - 2r) / (\pi * (R + L)) \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$= 180 * 2 * (11.14 - 5) / (11.14 + 150) / 3.14 = 4^\circ.37$$

$$L + R = (2R - 2r) / \theta \text{ (}^\circ\text{用弧度)} = 180 * (2R - 2r) / \theta * \pi \text{ (}^\circ\text{用}^\circ\text{)}$$

$$L = 180 * (2R - 2r) / (\theta * \pi) - R = 180 * 2 * (11.14 - 5) / 6 * 3.14 - 11.14 = 106.18 \text{ (厘米)}$$

上述的两种计算方法是基于把环照灯视为一个刚体，以看到环照灯为准。如果把环照灯视为一个质点，即以看到环照灯的灯芯为准，其计算方法更为简单，我们可以定义为方法三。它可以近似地简化为已知弧长和半径来计算弧心角的问题。也可以利用公式(6)，令 $r = 0$ ，推导出：

$$\theta = h / L \text{ (弧度)} = 180 * h / (\pi * L) \text{ (}^\circ\text{)} \quad \text{公式(8)}$$

式中： h 为弧长； L 为圆弧对应的圆的半径。

以公式(8)来计算上述例题，则有：

$$\theta = 180 * 2R / (\pi * (R + L)) = 180 * 2 * 11.14 / (3.14 * (11.14 + 150)) = 7^\circ.93$$

可见，在该例题中，把环照灯视为刚体，遮蔽角 θ 就小于 6° 而合格；如其视为一个质点，遮蔽角 θ 将大于 6° 而不合格。

如要满足要求，灯芯到主桅杆距离：

$$L = 180 * 2R / (\pi * \theta) - R = 180 * 2 * 11.14 / (3.14 * 6) - 11.14 = 201.73 \text{ (cm)}$$

如果不考虑主桅杆的半径，则有：

$$L = 180 * 2R / (\pi * \theta) = 180 * 2 * 11.14 / (3.14 * 6) = 212.87 \text{ (cm)} = 2.13 \text{ (米)}$$

严格讲，这个距离是灯芯到主桅杆中心的距离，其实和上面的结果是一样的。

总结：

- 1) 两种计算方法的区别：
 - a) 方法一和方法二是以看到环照灯为准的计算方法；
 - b) 方法三是以看到环照灯的灯芯为准的计算方法。
- 2) 两种计算方法比较：
 - a) 当灯芯到大桅的距离一定时，以方法一和方法二计算的遮蔽角为 6° ，以方法三来计算的遮蔽角将大于 6° 。同样，以方法三来计算的遮蔽角为 6° 时，以方法一和方法二计算的遮蔽角将小于 6° 。
 - b) 当遮蔽角一定时，如遮蔽角为 6° 时，以方法一和方法二计算的灯芯到大桅桅杆的距离将小于以方法三来计算的距离。
- 3) 避碰公约里没有明确规定如何来确定遮蔽角，从上下文的意思理解看到灯光既可。因此，三种方法计算都可以。
- 4) 在实际应用中，出于支撑强度的考虑，支撑环照灯的横杆都尽可能取的比较短。此时采用方法一和方法二的计算，可以确定较短的灯芯到大桅的距离。