

扫雷航海转向方法及绘算问题研究

吴俊杰

(海军大连舰艇学院 水武与防化系, 辽宁 大连 116018)

摘要 从扫雷转向基本要求出发, 分析单舰扫雷转向的各种情况, 给出转向规则及绘算方法, 导出转向要素计算公式, 为正确进行扫雷转向和航海绘算提供了参考依据。对于提高扫雷转向机动的准确性和扫雷作战效果具有较大意义。

关键词 扫雷; 转向; 扫雷航海; 绘算

中图分类号 E925 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2020)04-0323-05

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.04.007

Research on Mine-sweeping Navigational Turning Method and Calculation

WU Junjie

(Underwater Weapons & Chemical Defense, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract In this paper, every instance of single ship's turning is analyzed according to the basic requirements of mine-sweeping. And then ship-turning rules and calculating method are given, which educes the calculation formula of turning elements, providing reference for mine-sweeping turning and navigational calculation. Therefore, this paper is of great significance for improving maneuvering veracity and operational effect of mine-sweeping.

Key words minesweeping; ship-turning; minesweeping-navigation; calculation

0 引言

扫雷转向指扫雷舰进出雷区时, 从一条扫雷航线转入另一扫雷航线的转向机动。由于扫雷舰拖曳扫雷具, 因而扫雷转向方法具有一定特殊性, 这也是扫雷转向所耗费的时间在整个扫雷作战用时中占有较大比例的原因。因此, 转向机动的好坏, 直接影响扫雷作战的效率, 同时对扫雷可靠性和安全性也有一定影响^[1]。

1 转向方法存在的问题

1) 扫雷转向的基本要求。

扫雷转向时应采用正确的方法, 迅速、及时、

准确、安全地进行转向。要求完成转向后扫雷舰准确地航行在欲转入扫雷航线的延长线上, 并距雷区边缘一定距离 S_1 , 该距离应能使扫雷舰在进入雷区前来得及稳定航向航速, 通常根据操舰水平预先确定、留有余地。

2) 现行方法的不足之处。

现行扫雷转向及绘算考虑的情况不够周密, 提供的转向方法不够全面、也不够规范, 给出的转向要素计算公式不完备, 有的还存在着错误。由于存在上述问题, 其结果是扫雷转向绘算难度加大, 计算存在误差甚至错误。造成实际转向操作困难, 只能依靠经验, 在转向过程中加以调整。不但加大了转向难度、拖延了转向时间, 还使得转向难以准确

到位，情况严重时甚至影响扫雷作战的效果。

3) 本文的目的。

本文全面分析扫雷转向的各种情况，针对单舰艇扫雷转向，提供规范的转向规则、正确的绘算方法以及缜密的转向要素公式，藉以提高实际扫雷转向机动的准确性，改善扫雷作战效果。编队扫雷转向问题可在单舰艇扫雷转向的基础上加以延伸。

2 扫雷转向及绘算方法

单舰扫雷转向存在2种情况：一种情况是需在当前扫雷带上重复扫雷时，扫雷舰出雷区后，回转进入同一条扫雷航线；另一种情况是当扫雷舰完成一条扫雷带的扫雷出雷区后，需从当前扫雷航线转向进入相邻的扫雷航线继续扫雷。第2种情况下，又存在3种情形：一是扫雷舰拖曳扫雷具转向时的旋回直径等于相邻扫雷航线的间隔，二是扫雷舰拖曳扫雷具转向时的旋回直径大于相邻扫雷航线的间隔，三是扫雷舰拖曳扫雷具转向时的旋回直径小于相邻扫雷航线的间隔。以下分别就不同情况加以分析。

1) 转向的方法。

①转入同一扫雷带时（如图1）。

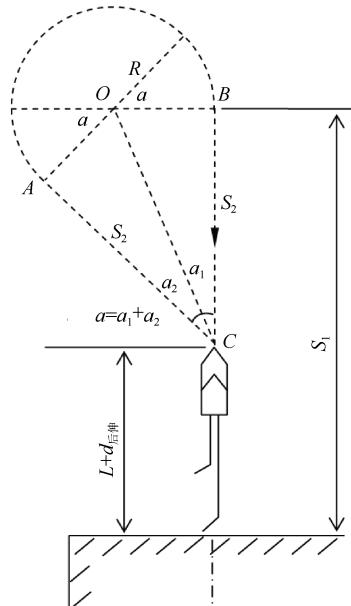


图1 转入同一带

Fig. 1 Turn to the same course

扫雷具出雷区后，扫雷舰航向预先向一侧修正 α 角，航行距离 S_2 到达预定转向点 A ；然后向相反一侧转向 $180^\circ + \alpha$ ，到达转向终点 B 时舰艇回到原扫雷航线，且与雷区边缘的距离为 S_1 。

②转入相邻扫雷带时（如图2和图3）。

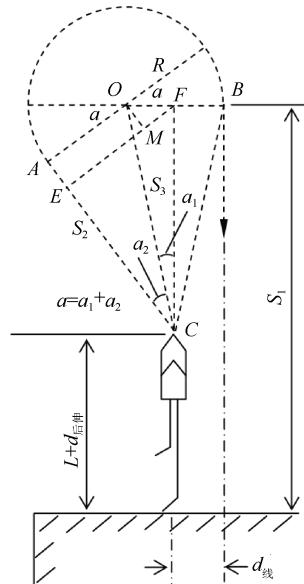


图2 转入相邻带 ($D > d_{\text{线}}$, 且 $D/2 > d_{\text{线}}$)

Fig. 2 Turn to the near course

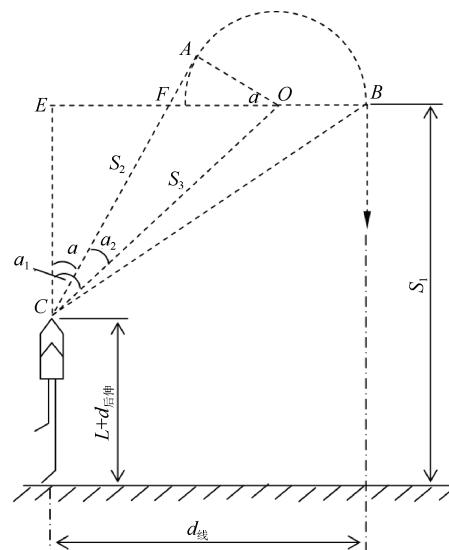


图3 转入相邻带 ($D < d_{\text{线}}$)

Fig. 3 Turn to the near course

如果舰艇旋回直径近似等于两条扫雷线路的间隔，其转向方法是：待扫雷具出雷区后，扫雷舰

继续向前航行一段距离 S_2 , 到达预定转向点 A ; 然后向要转入航线的一侧转向 180° , 到达转向终点 B , 这时舰艇与雷区边缘的距离为 S_1 。

如果舰艇旋回直径大于或小于 2 条扫雷线路的间隔, 转向方法是: 扫雷具出雷区后, 扫雷舰预先向要转入航线的外侧或内侧修正一个 α 角, 航行完距离 S_2 到达预定转向点 A ; 然后向要转入航线的一侧转向 $180^\circ+\alpha$ 或 $180^\circ-\alpha$, 到达转向终点 B 时舰艇与雷区边缘的距离为 S_1 。

2) 绘算的方法。

在要转入航线的延长线上, 从雷区边缘开始向前量取 S_1 得 B 点, 以拖曳扫雷具的旋回半径 R 作旋回圈与 S_1 相切, B 为切点。再在原扫雷航线延长线上, 向前量取一段距离 $L+d_{\text{后伸}}$ (其中 L 为舰长, $d_{\text{后伸}}$ 为扫雷具的后伸距离) 得 C 点, 从 C 点作旋回圈的切线切于 A 点。 A 点即为转向开始点, B 点即为转向终了点, CA 的长度为航行距离 S_2 , CA 与原航向线的夹角为修正角 α 。

3 转向要素计算公式

转向要素主要指转向终点距雷区边缘的距离 S_1 、转向前需预先修正的航向角 α 、修正航向后保持航行的距离 S_2 以及到达转向开始点后采取的转向角 $\alpha_{\text{转}}$ 。其中 S_1 为输入量, 转向角 $\alpha_{\text{转}}$ 为 $180^\circ+\alpha$ 或 $180^\circ-\alpha$ 。下面根据转向绘算方法分析推导各种情况下修正角 α 及航行距离 S_2 。

设相邻扫雷航线间隔为 $d_{\text{线}}$, 扫雷舰拖曳扫雷具时的旋回直径为 D ($D=2R$):

1) 转入同一带时 ($d_{\text{线}}=0$)。

由图 1 知, $\triangle AOC$ 和 $\triangle BOC$ 为 2 个全等的直角三角形:

$$S_2 = CA = CB = S_1 - L - d_{\text{后伸}}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \arctan \frac{D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}$$

$$\alpha = 2\alpha_1 = 2 \arctan \frac{D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}$$

2) 转入相邻带, 旋回直径大于相邻航线间隔时 ($d_{\text{线}} \neq 0$, $D > d_{\text{线}}$)。

此时又分为 2 种情况: 一种是旋回半径大于

$d_{\text{线}}$ (如图 2), 另一种情况是旋回半径小于 $d_{\text{线}}$ (如图 4)。

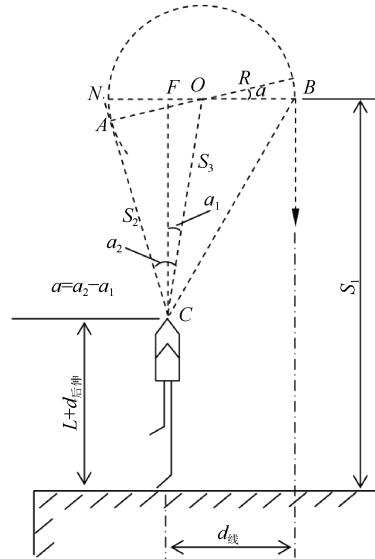


图 4 转入相邻带 ($D > d_{\text{线}}$, 但 $D/2 < d_{\text{线}}$)

Fig. 4 Turn to the near course

图 2 中:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \arctan \frac{D/2 - d_{\text{线}}}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} \\ S_3 &= \sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2} \\ S_2 &= \sqrt{S_3^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \\ &\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \arcsin \frac{D/2}{S_3} = \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2}} \end{aligned}$$

由 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ 得

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{D/2 - d_{\text{线}}}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} + \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2}} \end{aligned} \quad (2)$$

图4中

$$\alpha_1 = \arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}$$

S_3 、 S_2 、 α_2 的计算公式不变。

由 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ 得

$$\alpha = \arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2}} - \arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}$$

即

$$\alpha = \arctan \frac{D/2 - d_{\text{线}}}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} + \arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right)^2}}$$

可以看出, 图2和图4这2种情况下, 修正角 α 、航行距离 S_2 的计算公式具有一致性。

修正角 α 还可利用三角函数中的辅助角公式加以证明: 图2中, 线段 $EF=EM+MF$; 图4中, 线段 $NO=NF+FO$ 。

由此得

$$\frac{D}{2} + \left(\frac{D}{2} - d_{\text{线}}\right) \cos \alpha = (S_1 - L - d_{\text{后伸}}) \sin \alpha$$

或

$$(S_1 - L - d_{\text{后伸}}) \tan \alpha + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right) = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

整理后, 2种情况下均可得到

$$(S_1 - L - d_{\text{后伸}}) \sin \alpha + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right) \cos \alpha = \frac{D}{2} \quad (3)$$

两边同除以 $\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}$, 得

$$\frac{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \sin \alpha + \frac{d_{\text{线}} - D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \cos \alpha =$$

$$\frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \quad (4)$$

令 $\frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} = \tan \beta$, 有:

$$\sin \beta = \frac{d_{\text{线}} - D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

$$\cos \beta = \frac{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

式(4)可写成

$$\cos \beta \sin \alpha + \sin \beta \cos \alpha = \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

即

$$\sin(\alpha + \beta) = \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

$$\alpha + \beta = \arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

于是得到

$$\alpha = \arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} - \beta =$$

$$\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} -$$

$$\arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} = \arctan \frac{D/2 - d_{\text{线}}}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} +$$

$$\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}}$$

3) 转入相邻带, 旋回直径小于相邻航线间隔时 ($d_{\text{线}} \neq 0$, $D < d_{\text{线}}$)。

$$S_3 = CO = \sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}$$

$$S_2 = CA = \sqrt{CO^2 - AO^2} = \sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

直角三角形 $C EO$ 中

$$\alpha_1 = \arctan \frac{EO}{CE} = \arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}}$$

直角三角形 CAO 中

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \arcsin \frac{AO}{CO} = \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \\ \alpha &= \alpha_1 - \alpha_2 = \arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} - \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \end{aligned}$$

上式同样可用辅助角公式证明，在此不再赘述。

将 α 以 $(-\alpha)$ 代换，得：

$$\begin{aligned} -\alpha &= \arctan \frac{d_{\text{线}} - D/2}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} - \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{D/2 - d_{\text{线}}}{S_1 - L - d_{\text{后伸}}} + \\ &\arcsin \frac{D/2}{\sqrt{(S_1 - L - d_{\text{后伸}})^2 + \left(d_{\text{线}} - \frac{D}{2}\right)^2}} \end{aligned}$$

这样，修正角 α 的计算与式(2)一致，但此时 α 是带有符号的，若计算得到正值，说明是图2或图4的情况，表示向相邻航线的外侧转向；若计算得到负值，说明是图3的情况，表示向相邻航线的内侧转向。

从前文可知：当转向进入相邻扫雷带时，无论旋回直径大于还是小于相邻扫雷航线的间隔，均可按照公式(2)和公式(1)计算确定修正角 α 和修正航向以后的航程 S_2 。

4 结束语

准确、熟练地进行扫雷转向，前提是转向方法是否恰当，转向绘算是否正确。本文分析与推导得出的结论，为部队提供了合理的转向规则和准确的转向要素计算模型，有助于保证扫雷转向的精准性，节约扫雷转向时间，提高扫雷作战的效率。

参考文献

- [1] 宋元, 马爱民. 接触扫雷具转向过程浮体运动模型与仿真[J]. 水雷战与舰船防护, 2000, 18(3): 14-17.

(责任编辑: 张曼莉)