

# 转向率指示器在狭水道船舶操纵中的应用

上海港引航站 施文海

**内容提要:**文章介绍了转向率指示器的主要技术性能,并从质点运动学的角度探讨了船舶作曲线运动时,回转角速度,对地速度与曲率半径之间的相互关系,并以此探讨转向率指示器在狭水道弯道大幅度转向的船舶操纵中所起的作用。

**关键词:**转向率指示器 狭水道 弯道航行 船舶操纵

船舶狭水道弯道航行,始终是船舶引航驾驶操纵中的一个难题。传统的弯曲航道中船舶操纵,主要依靠引航员和驾驶人员的经验和对弯道曲度的目测观察,控制船速和舵角,使船舶顺着弯道航行。船舶绕弯道旋回运动中的一个关键因素——旋回角速度的大小,完全依靠感觉来大致判断。事实上,对于航行中旋回角速度的估计,是比较难的。随着科技的进步,电子助航仪器得到了广泛的使用,其中指示船舶旋回角速度的转向率指示器(ROTI),在船舶上的使用正逐渐增多。转向率指示器所提供的船舶旋回角速度数据,对船舶操纵特别是在狭水道弯道中航行有很好的参考价值。

## 1 转向率指示器

### 1.1 安装转向率指示器的强制性规定

转向率指示器,即航向变化率指示器,用以感受陀螺仪信号,指示出船舶向左或向右转弯角速度的仪器。根据国际海事组织第73次会议对SOLAS公约第五章的修正案的规定,2002年7月1日以后建造的5万总吨以上船舶必须安装转向率指示器,此前1984年9月1日以后建造的10万总吨以上的船舶,也必须安装转向率指示器。

### 1.2 船用转向率指示器的主要技术性能要求

根据国际海事组织决议A.526(13)的要求,它除应符合电子航行仪器的一般规定外,还必须符合以下主要性能要求:

(1)船用转向率指示器可以是单独的设备,也可以是其他相关设备的组成部分。

(2)应设有中心零位的模拟式显示器提供需要的指示,如果采用圆形刻度盘的显示器,则零位应在最上方。船舶向左转弯应在零点左侧指示,向右转弯应在零点右侧指示。若实际航向变化速度超出最大允许值,应在显示器上明确地指示。

(3)刻度盘零点两侧,每侧的刻度长度应不小于120mm,其灵敏度应保证表示1度/分钟的航向变化率的刻度长度不少于4mm。

(4)指示器以每分钟度数表示船舶航向变化率。刻度盘的线性量程应不小于30度/分钟,以每分钟1度为刻度单位,每10个刻度单位的刻线应标出相应的数字。每分钟5度之刻度线应明显长于每分钟1度之刻

度线,每分钟10度之刻度线应明显长于每分钟5度之刻度线。刻度线和数字应是红色或深底浅色,并可以配备附加的线性量程刻度盘。

(5)刻度盘应具有良好的照明,照明应从全暗到最亮连续调节。

(6)精度要求

①指示器的航向变化率指示值与船舶实际航向变化率的偏差应不大于0.5度/分钟加上航向变化率指示值的5%。该值中包括地球自转速率的影响。

②当船舶以正负5度的幅度作周期性横摇,其周期达25秒,同时以正负1度的幅度作周期性纵摇,其周期达20秒时,其平均转向率变化不应超过每分钟0.5度。

③船速达每小时30海里以下时,其准确度仍应符合以上2项之规定。

④指示器的阻尼时间常数应是可变的,在工作期间可在1到10秒的范围内调节。

(7)指示器应在接通4min内,随时可投入工作。

(8)指示器能与其他设备连接,如AIS等,并且不论转向率指示器是否在操作中,其设计应能使与其连接的任何其他设备,不致因而减低性能。

(9)该设备应具有一项设施,以便操作者可以查证该指示器是否在操作中,如具有显示正常工作的指示灯。

## 2 转向率与速度和曲率半径的关系

航道中的船舶受外力(螺旋桨推力、舵力以及风流力等)作用而发生运动,受各种外力作用的最终结果是船舶沿某一曲线行驶。驾驶人员通过车、舵来控制船舶行驶速度和转头速度,就能控制船舶的运动,完成在预定航道上的行驶。在运动过程中,船舶上的每个质点,都符合平面曲线运动的运动学规律。在弯曲航道或者大幅度转向时,船舶以一定的漂角和回转角速度以一定的曲率运动,当船舶运动的旋回半径和航道的曲率半径接近一致时,船舶就能平稳顺利地通过弯道。

平面曲线运动的轨迹可以看作是由很多小曲线段连接,一个任意的平面曲线运动,可视为由一系列小段圆周运动所组成。为了研究方便,把船舶旋回运动过程简化成船舶以旋回半径R所作的定常旋回,即船舶

速度不变,角速度不变,以转心 P 绕曲率中心 O 作圆周运动,角速度为  $\omega$  (如图 1 所示)。船舶中的其他质点则以转心 P 为轴心以  $\omega$  角速度旋转。根据圆周运动的运动规律:

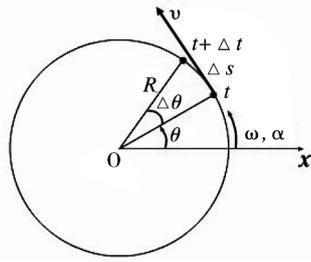


图 1

$$\text{角位移 (angular displacement): } \Delta\theta \quad (1)$$

$$\text{角速度 (angular velocity): } \omega = d\theta/dt \quad (2)$$

$$\text{角加速度 (angular acceleration): } \alpha = d\omega/dt \quad (3)$$

$$\text{(线)速度 (linear velocity): } u = R d\theta/dt = R\omega \quad (4)$$

式中:线速度  $u$  单位米/秒,曲率半径  $R$  单位米,角位移  $\Delta\theta$  单位弧度,角速度  $\omega$  单位弧度/秒,分别对应船舶速度  $V$ ,旋回半径  $R$ ,转向角度  $\psi$  和转向率  $ROT$ 。

根据公式(4),经过单位换算,就可以得出船舶速度与转向率  $ROT$  和曲率半径  $R$  的关系为:

$$1852/3600 \times V = R \times 1852 \times ROT \times \pi / 180 / 60$$

整理得:

$$V = R \times ROT \times \pi / 3 \quad (5)$$

$$ROT = 3 \times V / (R \times \pi) = 0.955 \times V / R \quad (6)$$

根据式(5),得出船舶绕曲率中心作匀速圆周运动时,转向率与速度和曲率半径之间的关系。实际上,大多数狭水道弯道,或是天然形成,或因人工设计,其航道弯曲曲率都比较平滑,如果截取某一小段,其形状是接近圆形的;同时,由于船舶惯性大,短时间内船舶速度变化比较小,在其速度变化不大的一段时间内,可假设它是匀速的。因此,在满足以下条件时,即:

- (1) 所选取的弯道段足够短,或者弯道接近圆形;
- (2) 船舶速度变化不大。

式(5)  $V = R \times ROT \times \pi / 3$  所描述的匀速圆周运动的规律适用于船舶在弯曲航道的航行轨迹。

### 3 图解法求曲率半径并设定预期转向率

根据式(5):  $V = R \times ROT \times \pi / 3$ ,只要知道了航道曲率半径,就能根据船速调节转向率,使船舶运动的旋回曲率半径和航道的曲率半径接近一致,船舶就能平稳顺利地通过弯道。

给定航道的曲率半径是固定的。比如黄浦江有不下 10 处航行困难的弯道,本文通过在电子海图上以作图法求出各主要弯曲航段的曲率半径,作为航行时的参考。方法如下:

- (1) 在弯曲航道海图上根据弯曲程度截取一段,使其曲线形状接近圆形的一部分;
- (2) 分别在起点和终点作切线,其夹角为转向角  $\psi$ ;
- (3) 量出从起点到终点的圆弧曲线的距离  $S$ (米);
- (4) 根据圆弧,圆周与半径的关系,求出曲率半径。公式:  $RS / (2\pi R) = \psi / 360$ ,整理得  $R = 57.3 \times S / \psi$  (米)。



图 2 图解法求曲率半径示意图

通过这种方法作图估算出的黄浦江各主要弯曲地段的曲率半径数据:张华浜航道  $R = 1.04$  海里;沪东厂航道  $R = 1.03$  海里;高桥航道  $R = 1.02$  海里;龙华嘴航道  $R = 0.66$  海里;董家渡航道  $R = 0.56$  海里;华泾嘴航道  $R = 0.55$  海里;鳗鲡嘴航道  $R = 0.52$  海里;陆家嘴航道  $R = 0.35$  海里;闸港航道  $R = 0.32$  海里。

(注:①这些数据反映的是某段特定航道的平均曲率半径;②作图时所选的曲线路径接近航道中央分隔带,对于陆家嘴和闸港这样的急弯,进口航道和出口航道曲率半径的差异不可忽视)

根据式(6):  $ROT = 0.955 \times V / R$ ,就能方便地算出不同速度下过弯道应达到的平均转向率,如表 1:

表 1

地点和曲率半径 (海里)	船速 6 节时 ROT(度/分钟)	船速 7 节时 ROT(度/分钟)	船速 8 节时 ROT(度/分钟)
张华浜航道 $R=1.04$	5.5	6.4	7.3
沪东厂航道 $R=1.03$	5.6	6.5	7.4
高桥航道 $R=1.02$	5.6	6.5	7.5
龙华嘴航道 $R=0.66$	8.7	10.1	11.6
董家渡航道 $R=0.56$	10.2	11.9	13.6
华泾嘴航道 $R=0.55$	10.4	12.1	13.9
鳗鲡嘴航道 $R=0.52$	11.0	12.8	14.7
陆家嘴进口航道 $R=0.37$	15.4	18.1	20.6
陆家嘴出口航道 $R=0.33$	17.4	20.3	23.1
闸港航道出口航道 $R=0.34$	16.9	19.7	22.5
闸港航道进口航道 $R=0.3$	19.1	22.3	25.5

当船舶航行到上述弯道大幅度转向时,利用转向率指示器,控制速度并使用车舵使船舶的转向率达到预定数值附近时,就能顺利平稳地通过弯道。另外由表中数值可知,当过陆家嘴和闸港这样的大弯道,因其曲率半径很小,一定要控制好速度,如果速度达7~8节,要求的转向率达20度/分钟以上,舵效差的船舶如果难以达到这个要求,就可能出现险情甚至发生事故。

#### 4 利用转向率指示器协助操船的优点和应用

转向率指示器能够灵敏而且量化地指示出船舶转头运动的快慢。当需要把定时,可以立即发现船舶的偏转趋势从而及时克服,保证航向稳定。当船舶转向时,在驾驶台可一目了然地掌握本船的转向角速度。

在狭水道弯曲航道大角度转向时,依靠传统的经验和目测方法,不能避免操作上的随意性。有时,依靠目测判断船舶的旋回相当困难,即使是有经验的船长和引航员,也常常在转向过程中要么转得稍早,要么稍晚,然后再予以纠正。难度更大的是操纵舵效差的重载船舶,要求不偏不倚地航行在既定的深水航道上,非特别有经验的船长和引航员难以胜任。而运用转向率

指示器则可以把握先机,把操船的难度明显降下来。根据本文所提出的预设转向率法,并结合目测观察,使用车舵让船舶以预定的旋回速度运动,就能保持船舶在所需航道上航行,顺利平稳地通过弯道。

需要指出的是,根据公式所得出的数据是一个估算值,具体操作中还要考虑风流压和浅水等外界因素的影响,利用多种手段综合判断。

#### 5 结束语

转向率指示器为我们提供了一个船舶运动状态中的重要数据:船舶旋回角速度。运用到实践中,可以提高驾引人员对船舶的操纵控制能力,对促进船舶安全航行有重要意义。建议船公司积极配置安装这种仪器。作为驾驶人员,也应不断实践和总结使用这种仪器的方法,使仪器设备的性能得到充分发挥,以更好地促进水上交通安全,服务航运经济发展。

\*作者:施文海.上海港引航站 一级引航员

#### 参考文献

- 1 国际标准组织,ISO/FDIS 20672-Ships and marine technology-Rate of turn indicators,2007.
- 2 中华人民共和国海事局译,1974 国际海上人命安全公约第V章航行安全及其相关导则,大连海事大学出版社,2002.