

# 磁罗经自差的数字化校正法\*

南通航运职业技术学院 季本山

**内容提要:**经过长期的理论与实践探索,制作了磁罗经数字校正仪,提出了磁罗经自差数字化校正法,并完成了船舶在锚泊状态时就能校正磁罗经自差的实际校正工作,能够满足校正工作的要求。为磁罗经校正工作提供一种高效便捷的方法,确保船舶的航行安全。

**关键词:**磁罗经自差 磁罗经数字校正法 磁罗经校正仪 锚泊校正

## On Digital Rectifying Method of a Magnetic Compass

**Abstract:**The author invented a digital rectifier of a magnetic compass by long-term theoretical research, practice and repeated tests, creatively put forward a digital magnetic compass rectifying method. When a ship is in berth condition, the method can be used efficiently and conveniently, and the result can meet the requirements of the ship's safety navigation well.

**Key words:**Magnetic compass digital rectifying method Magnetic compass rectifier Magnetic compass autodyne

## 0 引言

随着计算机、电子技术的发展,航海科技也迅速发展,GPS、电子海图、AIS等航海设备的应用为今日的航海技术注入新的活力。但陀螺罗经和磁罗经仍是船舶的主要指向设备。而磁罗经依靠地球的磁性指向,简单可靠,仍被国际海事组织(IMO)确定为必备设备。按 SOLAS 公约和我国《海船航行设备规范》:凡 150 总吨及以上的船舶均应装设:①一台标准磁罗经或至少应配备一台合适的操舵罗经;②各磁罗经应正确校正,并应具备有随时可用的剩余自差表或自差曲线。由于钢铁船体的磁性导致磁罗经指北发生偏差,即产生磁罗经自差。为了确保磁罗经能较为准确地指磁北,磁罗经就必须定期校正,使其误差控制在允许的范围之内。

## 1 磁罗经自差的传统校正法

磁罗经自差的校正就是以性质相同、大小相等、方向相反的校正磁力来抵消船磁力的影响,即用校正器上的纵、横硬磁铁和软铁把船磁力对磁罗经的影响抵消或降低到允许的范围。

现有磁罗经自差的传统校正方法基本上可归类为两种:一种是爱利法,校正自差时船舶需航行在特定磁航向(N、E、S、W、NE、SE、SW、NW)上,通过测定自差、校正自差,达到抵消自差力的目的;另一种是以科仑克法为代表的测力法,校正自差时船舶需航行在特定罗航向上,通过测定自差力、抵消自差力,达到校正自差的目的。两种校正方法都需要船舶在较宽阔的水域,机动航行在特定的航向上进行校正工作。这对大型船舶,尤其是集装箱班轮确有一定难度,使校正工作往往难以实施。如果能用一种方法使船舶在锚泊状态下,在任意航向上就能校正磁罗经自差,那么磁罗经自差的校正工作将方便地在锚地水域进行,既节省工时,又节省燃油,这一直是磁罗经校正师们所研究的课题。

## 2 磁罗经自差数字化校正法理论

由经典磁罗经自差校正理论可知,在校正自差过程中船舶在特定的八个航向航行的目的,是把船磁总合力中的纵向力、横向力和象限自差力分辨出来。如果通过一种方法能够测定船磁总力并进行分解,那么校正磁罗经自差时船舶就不需要回转。

在船舶正平时选取罗经坐标系,规定在罗经平面上平行于船首尾线为纵轴(x轴),左右舷为横轴(y轴),垂直于甲板的为垂直轴(z轴),并分别以向船首、右舷和垂直向下为正向。 $\psi$ 为船舶的磁航向。由于Z力垂直作用于罗盘平面,不会产生对罗盘水平偏转的自差,这样作用在罗盘平面上有六个力:

$A'\lambda H$ :指向垂直于磁子午线,正力指东,负力指西。

$B'\lambda H$ :正力指向船首为 $\psi$ ,负力指船尾为 $\psi \pm 180^\circ$ 。

$C'\lambda H$ :正力指向右舷为 $\psi + 90^\circ$ ;负力指向左舷为 $\psi - 90^\circ$ 。

$D'\lambda H$ :正力指向与磁子午线夹角为 $2\psi$ ;负力指向 $2\psi \pm 180^\circ$ 。

$E'\lambda H$ :正力指向为 $2\psi + 90^\circ$ ;负力指向为 $2\psi - 90^\circ$ 。

$\lambda H$ :指北力指向磁北  $N_m$ 。

其中 $\lambda$ 为指北力系数,对于商船,标准罗经 $\lambda$ 值在0.8~0.9之间,操舵罗经在0.6~0.8之间。

六个力作用在罗盘上的受力图见图1。

对于商船来说由于磁罗经的船艏基线在船舶的船艏面内, $A'$ 、 $E'$ 很小,设 $A'\lambda H=0$ 、 $E'\lambda H=0$ ,这时罗盘上受力情况如图2所示,仅有四个力作用于罗盘上。其中 $\lambda H$

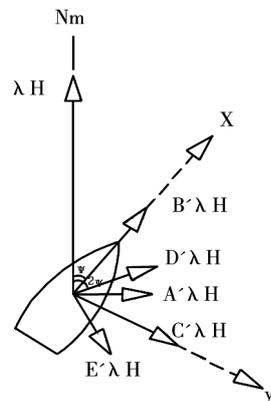


图1 罗盘受六个力作用情况

是需要保留的指北力,  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$  是需要抵消的船磁力。

如果在罗盘上方高斯第二位置加一测力磁铁, 使测力磁铁的 N 端朝北放置, 测力磁铁力  $F$  朝南, 其磁力  $F$  的大小等于  $\lambda H$ , 即以  $F$  力抵消  $\lambda H$  力, 这时罗盘上磁针指向  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$  的合力方向, 如图 3 所示。

在此情况下, 若船舶航向在  $\psi_1$  上,  $x$  轴上的合力为  $X_1 = B'\lambda H + D'\lambda H \cos\psi_1$ ,  $y$  轴上的合力为  $Y_1 = C'\lambda H + D'\lambda H \sin\psi_1$ 。

当船舶航向在  $\psi_2$  时,  $x$  轴上的合力为  $X_2 = B'\lambda H + D'\lambda H \cos\psi_2$ ,  $y$  轴上的合力为  $Y_2 = C'\lambda H + D'\lambda H \sin\psi_2$ 。

用一种专用磁力测量仪分别测量出  $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $X_2$ 、 $Y_2$  的值, 那么联列方程:

$$\begin{aligned} X_1 &= B'\lambda H + D'\lambda H \cos\psi_1 \\ Y_1 &= C'\lambda H + D'\lambda H \sin\psi_1 \\ X_2 &= B'\lambda H + D'\lambda H \cos\psi_2 \\ Y_2 &= C'\lambda H + D'\lambda H \sin\psi_2 \end{aligned}$$

通过解算就可分别求出  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$  的大小及方向。

再分别用纵向、横向和软铁校正器来抵消  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$ 。使磁力测量仪上的  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$  分量显示值为零, 这时船磁对磁针的影响即被抵消。

在实际校正时, 船舶在锚泊状态下的任意航向即为  $\psi_1$ , 经测定  $X_1$ 、 $Y_1$  值后, 可微量用车或利用潮流的影响, 使船舶偏离一个不大的角度, 在航向  $\psi_2$  上测定  $X_2$ 、 $Y_2$  值, 经解算就可分别显示出  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$  和  $D'\lambda H$  值, 作为校正自差的依据。这就是磁罗经自差数字化校正法的理论根据。

### 3 磁阻传感器的原理

磁阻传感器是利用铁磁材料具有磁阻效应的特性工作的。磁阻效应是指导体电阻受磁场影响而产生变化的现象。当外磁场平行于磁导体内部磁化方向时, 磁体电阻几乎不随外磁场变化; 当外磁场偏离内部磁场方向时, 则磁阻减小, 而且偏离的方向与磁阻的减小成一定的函数关系。可见利用铁磁材料的这一特性能辨别磁场的方向、测量磁场的大小。用两个相互垂直的磁

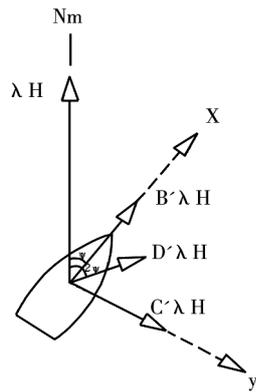


图 2 罗盘受四个力作用

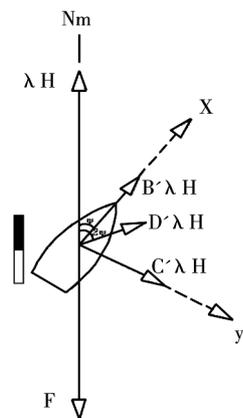


图 3 具有测力磁铁时罗盘受力

导体即能测量二维分力; 若用三个相互垂直的磁导体就能测量三维分力。本文使用的磁阻传感器即为三轴传感器。使传感器安放在罗盆位置, 三个轴分别与罗经坐标系的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴平行, 这样就能测量磁罗经所处环境的船舶磁场在  $x$ 、 $y$  和  $z$  三个方向的分力。检测到的磁体电阻变化量经放大后经 A/D 转换、单片机计算, 以 RS-485 或 RS232 的标准输出磁力的方向与大小的数字信号。

### 4 磁罗经校正仪

根据磁罗经数字化校正理论, 设计制作了磁罗经校正仪, 其结构由电子罗盆、支架、笔记本电脑、软件和电源等五部分组成, 如图 4 所示。

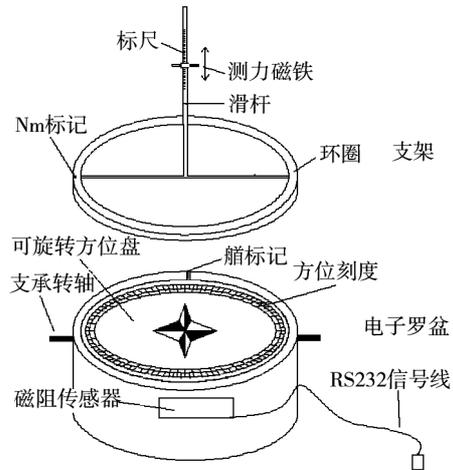


图 4 磁罗经校正仪

(1) 测力磁铁。测力磁铁在滑杆上可上下移动, 以改变磁铁对罗盘的作用力, 用于抵消地磁的指北力。

(2) 滑杆。其中部印有标尺, 用于记录测力磁铁的位置。

(3) 电子罗盆及高灵敏度的磁阻传感器。磁阻传感器用于检测罗盆处船舶纵横向及垂直方向的船磁力大小, 并以 RS232 串口形式传送给计算机。电子罗盆安放在罗经柜上, 罗盆的艏标志与  $x$  轴平行, 两侧的支承转轴与  $y$  轴平行, 以确保  $X$  传感器与  $x$  轴平行,  $Y$  传感器与  $y$  轴平行, 并保证传感器的中心位置与电子罗盆的几何中心重合。

(4) 可旋转方位盘。与电子罗盆上的艏标志配合使用, 用于设定电子罗盆上的船舶磁航向, 这时支架上的  $Nm$  标记对准可旋转方位盘上的零时, 测力磁铁的磁力就与地磁指北力反向。

(5) 笔记本电脑运行应用软件。用于处理磁阻传感器送来数据, 显示  $x$ 、 $y$  和  $z$  轴的分力数值, 并计算出分力  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$ , 检测校正的分力。软件界面如图 5 所示。其中: 纵向分量  $X$ 、横向分量  $Y$ 、垂直分量  $Z$  均为传感器实时测量值, 航向  $\psi_1$ 、 $\psi_2$  为输入值, 第一、二航向按钮为确认键, 其余均是计算值。



图5 应用软件完整界面图

### 5 磁罗经数字化校正法的应用

(1)测量校正地附近的地磁水平分力和垂直分力。

在岸上远离铁器的地方,校正仪离地至少1m,打开电源开关和电脑,并运行应用软件,转动电子罗盆方位,使软件上y轴的读数为0,说明电子罗盆上的舵标记指向北。放上支架并将Nm标记与电子罗盆上的舵标记重合。这时软件界面上x轴分量的读数即为当地地磁水平分量H,z轴分量的读数即为当地地磁垂直分量Z。放置测力磁铁,N端指向北,上下调整磁铁,直到软件界面上x轴输出的读数为0,记下测力磁铁在滑杆标尺上刻度n,同时记下软件界面上z轴垂直分力输出读数m。

(2)在船上安装校正仪。

在船上,从常平环上取下罗经盆,把电子罗盆放在常平环上,电子罗盆的舵线标记指向船艏。这时电子罗盆的两支支撑轴垂直于船舶的船艏线,也就是传感器的三轴与船舶坐标系的x、y、z轴平行。

(3)在 $\psi_1$ 、 $\psi_2$ 两航向上测定 $X_1$ 、 $Y_1$ 、 $X_2$ 、 $Y_2$ 。

①通过陀螺罗经、天体或物标取得本船的第一磁航向 $\psi_1$ (如图中 $\psi_1$ 是 $125^\circ$ ),转动电子罗盆上的可旋转方位盘,使其指示航向 $\psi_1$ 。放上支架使Nm标记指向可旋转方位盘的 $0^\circ$ 即磁北。

②用测力磁铁的磁力抵消地磁指北力。放置测力磁铁,移动测力磁铁在滑杆上位置至 $n'$ , $n'=\lambda n$ (标准罗经 $\lambda$ 值取 $0.8\sim 0.9$ ,操舵罗经 $\lambda$ 值取 $0.6\sim 0.8$ )。

③读取软件界面上x、y轴输出读数为 $X_1$ 、 $Y_1$ ,如图6所示。按确认键,存储此数值。



图6 第一航向测得 $X_1$ 、 $Y_1$ 的显示

④微用车或利用潮流使船舶航向偏离一个角度,测得本船的第二磁航向 $\psi_2$ (图中 $\psi_2$ 是 $162^\circ$ ),调整电子罗盆方位使航向指向 $\psi_2$ ,转动支架使Nm标记指向磁北,读取软件界面上x、y轴输出读数为 $X_2$ 、 $Y_2$ ,如图7

所示。按确认键,输入计算机,这时 $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$ 的值已经计算出,并显示纵、横磁棒及软铁校正装置应校正值。



图7 第二航向测得 $X_2$ 、 $Y_2$ 的显示

(4)校正半圆自差和象限自差。

①抵消 $C'\lambda H$ :在罗经柜中的校正架上调整横向磁棒使软件界面上y轴的读数为 $D'\lambda H \sin \psi_2$ (图8中 $D'\lambda H \sin \psi_2$ 为6.36),如图8所示。



图8 校正器抵消 $C'\lambda H$ 后的显示

②抵消 $D'\lambda H$ :在校正架上调整软铁片(球)使软件界面上y轴的读数为0,如图9所示。

③抵消 $B'\lambda H$ :在校正架上调整纵向磁棒使软件界面上x轴的读数为0,如图9所示。



图9 抵消 $B'\lambda H$ 、 $D'\lambda H$ 后的显示

(5)校正倾斜自差。

调整垂直磁棒使软件界面上z轴输出读数为 $m'$ , $m'=\lambda m$ ,如图10所示 $m'$ 为263.8。



图10 数字化校正完毕后的显示

(6)自差校正完毕,取下电子罗盆与支架,放回磁罗经盆,记录校正器的位置。校正半圆自差、象限自差和倾斜自差结束。

### 6 磁罗经数字化校正法的可行性

(1)在校正仪中磁阻传感器是检测磁力大小与方向

的关键元件,其灵敏度将直接影响校正准确性。本文中采用的 HMR3200 巨磁阻传感器其磁场测量的分辨率较高,适用于对磁罗经周围磁场大小与方向的测量。

(2)由于地磁在一个地区的变化不大,因此在同一地区校正罗经时,可直接引用上次所测地磁水平分力和垂直分力数据,简化校正工作步骤。

(3)船舶在锚泊时磁罗经的周边磁场环境与海上航行状态一样。

(4)为了提高测量和校正精度,在利用潮流或微用车使船舶两航向的变化角以大于  $30^\circ$  为宜。在校正过程中,应用软件根据  $D'\lambda H$  在  $y$ 、 $x$  轴方向分力的大小,来选择抵消  $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$  的顺序。即若  $D'\lambda H$  在  $y$  轴上的分力大,就先用横磁棒抵消  $C'\lambda H$  力,再用软铁抵消  $D'\lambda H \sin\psi_2$ ,使  $y$  轴的力为零,最后再用纵向磁棒抵消  $B'\lambda H$ ,使  $x$  轴的力为零。反之则先抵消  $B'\lambda H$ ,再抵消  $D'\lambda H \cos\psi_2$ ,最后抵消  $C'\lambda H$ 。应用软件比较  $D'\lambda H \sin\psi_2$  和  $D'\lambda H \cos\psi_2$  的大小,并作相应显示,以提示校正顺序。

(5)由于船舶在锚泊状态,可有充足的时间来精确调整校正器,达到满意的精度。

## 7 误差分析及校正中注意事项

从上述理论分析可知,磁罗经数字校正法,仍以假设  $A'$ 、 $E'$  为零为条件,其误差来源及操作注意方面有:

(1)在用测力磁铁抵消  $\lambda H$  时, $\lambda$  的取值是利用手中积累的资料,参考同类型或相近船舶的取值,可能存在差异;

(2)倘若  $A'$ 、 $E'$  均不为零,必然会产生误差,但对安

装在艏艉面上的罗经这个误差是很小的。

(3)实测结果表明在校正过程中,剩余磁力分量精确至  $5 \sim 8 \mu\text{Gauss}$  时,罗经的剩余自差近似为零;当剩余自差力为  $15 \mu\text{Gauss}$  时,罗经的剩余自差在  $1^\circ$  左右。

(4)校正过程中两个航向  $\psi_1$ 、 $\psi_2$  之间相差不小于  $30^\circ$  为宜,其中只要有一个为东、南、西、北航向时, $B'\lambda H$ 、 $C'\lambda H$  中就有有一个值能精确测出,而不是通过软件计算求出的,校正效果更好。

(5)在第一个航向上仅测量  $X_1$ 、 $Y_1$  的值,所需时间很短,而在第二航向上除测量  $X_2$ 、 $Y_2$  外,还要完成自差校正工作,所以船舶在第二航向上要保持一定的稳定时间,确保校正的精度,否则将产生误差。

(6)校正倾斜自差时,若船舶不在磁东、西航向,会有一定误差;这个误差一般是比较小的。

## 8 结语

磁罗经数字校正法最大优点是船舶不要专门为校正磁罗经而进行回转航行,船舶在抛锚或港内航行中,通过小角度的航向调整,就能完成校正工作,节省燃油,省工省时,无须宽阔水域,在航道狭窄的水域也能进行,是值得推广的一种校正方法。

\* 作者:季本山.南通航运职业技术学院 副教授,江苏科技大学 兼职硕士生导师 E-mail:jbs@ntsc.edu.cn

### 参考文献

- 1 鄢天金.磁罗经校正技术[M].人民交通出版社,1995.3
- 2 关政军.磁传感器在航海上的应用[C].大连海事大学学报[J],2006,(5):45-47
- 3 HMR3200 技术参数说明[K]