

文章编号:1006-7736(2009)03-0013-03

数字磁罗经自差自动校正方法*

关政军

(大连海事大学 航海学院,辽宁 大连 116026)

摘要:为适应当前船舶智能化和数字化发展的需求,提出一种具有较高准确度且实际可行的罗经自差自动校正方法.该方法无需人工干预,自动完成罗经自差校正,并在显示器上直接显示船舶磁航向或者船舶真航向.该自差校正方法节省了船舶校正自差的时间,简化了校正过程,其校正精度可满足船舶航行安全的要求.

关键词:自差自动校正;磁传感器;数字磁罗经

中图分类号:U666.151

文献标志码:A

Automatic compensation method for digital magnetic compass deviation

GUAN Zheng-jun

(Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To meet the development of intellectualization and digitization of ships, an automatic compensation deviation method for digital magnetic compass with better accuracy and feasibility was put forward. The compass can automatically adjust deviation and directly shows the magnetic course or true course without artificial intervention. The proposed method can save time and simplify the deviation correction process, and its correction accuracy meets the requirements of ship navigation safety.

Key words: automatic compensation deviation; magnetic sensor; digital magnetic compass

0 引言

近年来,国内外学者纷纷探讨简化磁罗经校正自差的方法,曾有学者提出在船靠码头“根据自差系数校正磁罗经自差法”^[1]、“靠码头近似校正半圆自差”^[2]、“航向对比法”即利用磁传感器,直接输出数

字磁罗经航向与由编码器获取真航向^[3]或由陀螺罗经输出的真航向^[4]进行比对以校正磁罗经自差以及“旋回法”^[1]、“基于椭圆假设自差补偿方法”^[5]等.文献[1-2]的自差校正方法虽然避免了船舶在海上的旋转,但仍需要人参与;文献[3-4]虽可以自动校正磁罗经自差,但均需要由外部设备提供船舶真航向信息,增加了磁罗经硬件设施和软件程序,使系统变得复杂;文献[5]的方法所测矢量不能准确地落在椭圆轨迹上,故由椭圆假设推导出的结果势必存在一定的误差,特别是当船上磁罗经自差力较大时,校正误差也会有所增大.为此,本文提出“最值法”磁罗经自动校正自差方法.

1 自动校正磁罗经自差“最值法”原理

根据磁罗经自差理论,在罗盘平面上作用6个力,包括1个指北力和5个自差力,各力作用方向如下: $F_{\lambda H}$ 指向磁北; $F_{A\lambda H}$ 垂直于磁北; $F_{B\lambda H}$ 指向船首或船尾; $F_{C\lambda H}$ 指向船右舷或左舷; $F_{D\lambda H}$ 指向两倍船磁航向; $F_{E\lambda H}$ 指向两倍船磁航向加或减 90° 的方向.

将船匀速旋转一圈,测得罗经纵向力 F_X 和横向力 F_Y 分别为

$$\left. \begin{aligned} F_X &= F_{\lambda H} \cos \varphi + F_{A\lambda H} \sin \varphi + \\ & F_{B\lambda H} + F_{D\lambda H} \cos \varphi - F_{E\lambda H} \sin \varphi \\ F_Y &= -F_{\lambda H} \sin \varphi + F_{A\lambda H} \cos \varphi + \\ & F_{C\lambda H} + F_{D\lambda H} \sin \varphi + F_{E\lambda H} \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

对 F_X 和 F_Y 两式求 φ 的导数,并令其为零求极值,得

$$\begin{aligned} (F_X)' &= \\ & -F_{\lambda H} \sin \varphi + F_{A\lambda H} \cos \varphi - F_{D\lambda H} \sin \varphi - F_{E\lambda H} \cos \varphi \\ & = -(F_{\lambda H} + F_{D\lambda H}) \sin \varphi + (F_{A\lambda H} - F_{E\lambda H}) \cos \varphi \end{aligned}$$

* 收稿日期:2008-12-20.

作者简介:关政军(1950-),男,吉林永吉人,教授,E-mail:dmgzj@torn.com.

$$\begin{aligned}
&= F_{\lambda H} \left[- \left(1 + \frac{F_{D'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \sin \varphi + \right. \\
&\quad \left. \left(\frac{F_{A'\lambda H} - F_{E'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \cos \varphi \right] = 0 \\
&\quad (F_Y)' = \\
&- F_{\lambda H} \cos \varphi - F_{A'\lambda H} \sin \varphi + F_{D'\lambda H} \cos \varphi - F_{E'\lambda H} \sin \varphi \\
&= (-F_{\lambda H} + F_{D'\lambda H}) \cos \varphi - (F_{A'\lambda H} + F_{E'\lambda H}) \sin \varphi \\
&= F_{\lambda H} \left[\left(-1 + \frac{F_{D'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \cos \varphi - \right. \\
&\quad \left. \left(\frac{F_{A'\lambda H} + F_{E'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \sin \varphi \right] = 0
\end{aligned}$$

实际软铁自差力 $F_{A'\lambda H}$ 、 $F_{E'\lambda H}$ 约为零, $F_{\lambda H}$ 远大于 $F_{A'\lambda H}$ 和 $F_{E'\lambda H}$, 则 $(F_{A'\lambda H} - F_{E'\lambda H})/F_{\lambda H}$ 和 $(F_{A'\lambda H} + F_{E'\lambda H})/F_{\lambda H}$ 两项约为零, 即

$$(F_X)' = F_{\lambda H} \left[- \left(1 + \frac{F_{D'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \sin \varphi \right] = 0$$

$$(F_Y)' = F_{\lambda H} \left[\left(-1 + \frac{F_{D'\lambda H}}{F_{\lambda H}} \right) \cos \varphi \right] = 0$$

在 $(F_X)'$ 式中, 因指北力 $F_{\lambda H}$ 和 $F_{D'\lambda H}$ 不为零, 且 $F_{\lambda H}$ 又远大于 $F_{D'\lambda H}$, 故只有 $\sin \varphi = 0$ 时, F_X' 取得极值, 即当 $\varphi = 0^\circ$ 或 $\varphi = 180^\circ$ 时, F_X' 取最大值或最小值; 类似地, 在 $(F_Y)'$ 式中, 只有当 $\cos \varphi = 0$ 时, F_Y' 取得极值, 即当 $\varphi = 270^\circ$ 或 $\varphi = 90^\circ$ 时, F_Y' 取最大值或最小值。

船上罗经的指北力 $F_{\lambda H}$ 远大于由船磁产生的硬铁和软铁自差力。尽管罗盘平面上各力作用方向不同, 但在船旋转一圈所测得的纵向和横向力中, 各自存在一个最大值和一个最小值。如当船转至磁北航向时, 由于地磁水平力指向北, 故 F_X' 为最大值; 当船转至磁南时, 由于地磁水平力指向变负, 故 F_X' 为最小值。同理, 当罗经横向力 F_Y' 为最大值或最小时, 船应位于磁西或磁东航向上。根据罗盘平面上各力的作用方向, 测出 F_X' 和 F_Y' 最大值和最小值方程如下:

$$\text{磁航向北, 则 } F_{X'_{N_{\max}}} = F_{\lambda H} + F_{B'\lambda H} + F_{D'\lambda H} \quad (2)$$

$$F_{Y'_{N_{\max}}} = F_{A'\lambda H} + F_{C'\lambda H} + F_{E'\lambda H} \quad (3)$$

$$\text{磁航向南, 则 } F_{X'_{S_{\min}}} = -F_{\lambda H} + F_{B'\lambda H} - F_{D'\lambda H} \quad (4)$$

$$F_{Y'_{S_{\min}}} = -F_{A'\lambda H} + F_{C'\lambda H} - F_{E'\lambda H} \quad (5)$$

$$\text{磁航向东, 则 } F_{X'_{E_{\max}}} = F_{A'\lambda H} + F_{B'\lambda H} - F_{E'\lambda H} \quad (6)$$

$$F_{Y'_{E_{\min}}} = -F_{\lambda H} + F_{C'\lambda H} + F_{D'\lambda H} \quad (7)$$

$$\text{磁航向西, 则 } F_{X'_{W_{\min}}} = -F_{A'\lambda H} + F_{B'\lambda H} + F_{E'\lambda H} \quad (8)$$

$$F_{Y'_{W_{\max}}} = F_{\lambda H} + F_{C'\lambda H} - F_{D'\lambda H} \quad (9)$$

则

$$\left. \begin{aligned}
&\{[(2) - (4)] - [(7) - (9)]\}/4 = F_{\lambda H} \\
&\{[(2) - (4)] + [(7) - (9)]\}/4 = F_{D'\lambda H} \\
&[(2) + (4) + (6) + (8)]/4 = F_{B'\lambda H} \\
&[(3) + (5) + (7) + (9)]/4 = F_{C'\lambda H} \\
&\{[(3) - (5)] + [(6) - (8)]\}/4 = F_{A'\lambda H} \\
&\{[(3) - (5)] - [(6) - (8)]\}/4 = F_{E'\lambda H}
\end{aligned} \right\} \quad (10)$$

由式(10), 即可求得 $F_{\lambda H}$ 、 $F_{A'\lambda H}$ 、 $F_{B'\lambda H}$ 、 $F_{C'\lambda H}$ 、 $F_{D'\lambda H}$ 和 $F_{E'\lambda H}$ 。若自差力为零, 则自差不存在。但由式(1)可见, 要从所测得的 F_X' 和 F_Y' 数值中直接消掉自差力, 磁航向还是未知数, 故可利用已获得的罗盘上各作用力直接求自差。自差力产生的最大自差, 也称为自差系数。分别考虑各自差力所产生的自差, 其中, $F_{B'\lambda H}$ 产生的最大自差(图1)为

$$\sin \delta_{B_{\max}} = F_{B'\lambda H} / F_{\lambda H} = B'$$

类似地, $F_{C'\lambda H}$ 产生的最大自差为

$$\sin \delta_{C_{\max}} = F_{C'\lambda H} / F_{\lambda H} = C'$$

$F_{D'\lambda H}$ 产生的最大自差为

$$\sin \delta_{D_{\max}} = F_{D'\lambda H} / F_{\lambda H} = D'$$

$F_{E'\lambda H}$ 产生的最大自差为

$$\sin \delta_{E_{\max}} = F_{E'\lambda H} / F_{\lambda H} = E'$$

因 $F_{A'\lambda H}$ 垂直于磁北, 故其产生最大自差为

$$\tan \delta_A = F_{A'\lambda H} / F_{\lambda H} = A'$$

将已求得的自差系数 A' 、 B' 、 C' 、 D' 、 E' 代入自差公式, 即

$$\begin{aligned}
\delta &= A' + B' \sin \varphi' + C' \cos \varphi' + \\
&\quad D' \sin 2\varphi' + E' \cos 2\varphi' \quad (11)
\end{aligned}$$

其中, φ' 为罗经航向, 可由磁传感器测得。将罗经航向 φ' 代入式(11), 即可求得该航向自差 δ , 修正自差 δ 后即可得到此时船的磁航向。若输入当地的磁差, 还可获得船舶的真航向。

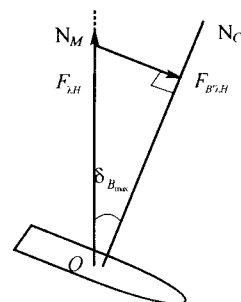


图1 $F_{B'\lambda H}$ 产生的最大自差

2 自动校正自差操作

目前, 自动补偿罗经自差均采用数字磁罗经^[6]。

其组成框图如图2所示.自动补偿自差首先要建立自动补偿自差的数学模型,编制实施程序.校正自差开始时,应选择海况良好的天气,保持船舶正平.设备开机后,控制船舶匀速旋转一周,信号采样间隔应小于 0.5° .在程序控制下,首先采集X轴和Y轴的作用力,并将其放大及模数变换,求出相应的航向信号,再根据校正自差的程序,消去罗经自差,最后在显示器上显示出船舶磁航向.若修正当地磁差,还可显示真航向.

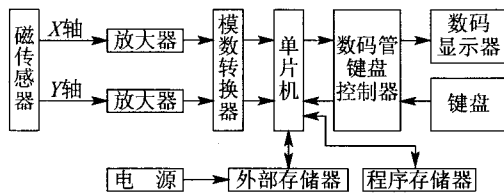


图2 数字罗经系统框图

3 实例分析

根据上述校正原理和方法在实验室内进行多次验证.将罗经水平旋转一圈,采集的X轴和Y轴最大值、最小值数据见表1.

表1 传感器测量数据 N

$F_{X'_{Nmax}}$	$F_{Y'_N}$	$F_{X'_{Smin}}$	$F_{Y'_S}$	$F_{X'_E}$	$F_{Y'_{Emin}}$	$F_{X'_W}$	$F_{Y'_{Wmax}}$
2.25	1.09	0.01	1.19	1.13	0.04	1.13	2.23

将表1中数据代入式(10)中,得到罗盘平面上6个作用力,如表2所示.

表2 罗盘上各作用力 N

F_{MH}	F_{AMH}	F_{BMH}	F_{CMH}	F_{DMH}	F_{EMH}
1.11	-0.025	0.0025	0.0025	0.015	-0.0025

将表2中各值代入式(11)中,求得5个自差系数,再将自差系数代入自差公式(11)中,求得各航向自差.对罗航向进行自差补偿后,各航向剩余误差如表3所示.

表3 各航向剩余误差 ($^\circ$)

φ	φ'	δ	φ_{H+}	Δ	φ	φ'	δ	φ_{H+}	Δ
0	3.3	-2.35	0.95	-0.95	180	181.6	-2.67	178.9	1.1
45	46.6	-0.3	46.3	-1.3	225	225.9	-0.66	225.2	-0.2
90	91.2	0.07	91.27	-1.27	270	268.7	-0.1	268.6	1.4
135	137.5	-2.2	135.3	-0.3	315	319	-2.23	316.8	1.8

表3中 φ 表示磁航向, φ' 表示传感器输出的罗航向, δ 表示求得的自差, φ_{H+} 表示显示的罗航向, Δ 表示与磁航向相比各航向的剩余误差.

在表2所示的6个作用力中,指北力 F_{MH} 远大于各自差力.本实验是在实验室附近无铁磁性物质条

件下进行的,故自差力均很小.而在5个自差力中,软铁力相对较大,这主要是由于罗盘本身误差所引起的,X轴和Y轴两个传感器放大系数不准确,导致两轴传感器的输出灵敏度差,产生计算航向误差;两个传感器电路零点发生偏移也会使输出信号受到影响;另外,X轴和Y轴传感器不相互垂直,存在误差角也会引起计算罗盘航向误差^[7].由表3可见,各航向的剩余误差值均在 1° 左右,小于 2° ,故可以满足船舶航行安全的要求.本文是在罗经传感器水平放置的前提下讨论的,若传感器不水平将会引起倾斜误差.在实船上均要采取措施消除倾斜误差,如可采用机械方法将传感器放置在平衡环上,在船舶倾斜时保持传感器水平或在垂直方向再加一传感器,通过解算方程的方法^[8]消除罗经的倾斜误差.

4 结论

本文在罗经指北力远大于自差力前提下,当船舶旋回一周时,根据实测X轴和Y轴合力的最大值或最小值提出“最值法”自动校正自差方法.该方法编制的校正程序简单、校正准确度高,在校正自差时无需人的干预,可实现自动校正,不仅克服了船舶寻找校正时机的困难,还适应了当前船舶自动化和智能化发展的要求,即作为一种传感器向ARPA等导航设备传送航向信息,特别满足没有安装陀螺罗经的小型船舶对输出航向的要求.

参考文献(References):

- [1]关政军.磁罗经技术[M].大连:大连海事大学出版社,2003.
- [2]关政军.船靠码头校正磁罗经自差的实施[J].世界海运,2004,11:17-20.
- [3]李希胜.高精度磁电子罗盘的研制[J].传感技术学报,2006,19(6):2441-2444.
- [4]钟晓锋.基于电罗经技术的磁罗经自差自动测定和校正系统[D].大连:大连海事大学,2003.
- [5]刘诗斌,李宏,冯晓毅.具有自动误差补偿功能的智能磁航向系统[J].传感器技术,2002,21(12):23-26.
- [6]关政军,陈铎.磁罗经自差的智能测定和校正系统[J].大连海事大学学报,2002,28(4):22-24.
- [7]汪雪莲.电子罗盘的方位测量误差及其校正补偿[J].声学与电子测量,2005,80(4):41-43.
- [8]李秉玺,赵忠,孙照鑫.磁阻传感器的捷联式磁航向仪及误差补偿[J].传感技术学报,2003,2:191-194.