

磁罗盘工程校准方法研究

闻秋香 罗向前 孙君道

(63655 部队, 乌鲁木齐 841700)

摘要 针对磁罗盘的工程应用,分析了磁罗盘测量误差来源。给出了通用磁罗盘校准软件使用模型。提出了磁罗盘工程校准方法,并对系统中存在多个磁罗盘,提出数据融合校准方法。应用结果表明,该方法可有效解决磁罗盘在工程中的校准及应用问题。

关键词 磁罗盘 工程校准 数据融合校准

中图法分类号 P212.4 TP212.4; **文献标志码** A

磁罗盘是一种利用地磁场来测量载体方向的装置。与传统自主导航系统相比,磁罗盘具有体积小、重量轻、无误差累积、能够自动寻北等诸多优点。在抗冲击、抗震动和与其它电子设备组合等方面也表现出优良的特性^[1]。因而使其成为一种最常用的方向测量传感器。由于磁罗盘使用位置的局部地磁场很容易受到各种铁磁、电磁的影响而产生畸变,以及磁罗盘安装结构、电子线路的差异,致使根据磁罗盘测量出来的方向与实际地理方向之间存在误差(统称罗差),影响方向测量的精度。因此磁罗盘在使用前不可避免地需进行罗差补偿或修正,即罗差校准,并且磁罗盘校准时必须安装到载体的固定位置上。本文针对磁罗盘在工程使用中的特点,研究了磁罗盘工程校准及数据融合方法。

1 磁罗盘校准软件模型

1.1 磁罗盘方向测量误差来源

磁罗盘方向测量系统的误差来源因素很多,归纳起来可分为两类^[2]:第一类是测量环境铁磁材料对磁传感器所感测的局部地磁场的影响;第二类是测量系统自身存在的误差,即仪表误差。

磁干扰可分为两种:硬铁效应和软磁效应。硬

铁效应是指由载体中的硬磁材料产生的干扰。硬磁材料有着较大的矫顽力,在生产和制造过程中获得了自己的磁性,这种磁性不随外界磁场的变化而变化,相当于给地磁场加了一个固定偏置。软磁效应由矫顽力较小的软磁材料产生,软磁材料本身没有磁性,但是会受到外界磁场的影响产生感应磁场,因此与载体在地磁场中的方向有关^[3]。在实际应用中,传感器附近的铁磁材料和工作电流产生的磁场会使地磁场发生扭曲和形变,形成罗差,为了获得可靠的方位角读数,必须进行罗差补偿。磁干扰可通过基于椭圆假设的磁罗盘出厂校准软件消除。

仪表误差就是由多轴磁传感器的非正交安装、零位和灵敏度等不同而引起的误差。仪表误差是客观存在,包含在系统测量误差内,校准时不考虑。

1.2 磁罗盘校准软件模型

载体磁场对定向系统的影响如图1所示。当载体不存在磁性材料时,载体旋转 360° ,磁罗盘在各个方向上输出的最大值 $M(\alpha)$ (α 为载体与磁北方向的夹角)不随角度 α 而改变,在极坐标系下为一个正圆,如图3(a)所示。当存在硬磁效应时, $M(\alpha)$ 加了一个固定偏置,为一个圆心偏移的正圆,如图1(b)所示。当存在软磁效应时,在不同的 α 上,产生的感应磁场大小不同,因此图形由一个正圆发生形变,近似为一个椭圆,如图1(c)所示。当同时存在硬磁和软磁效应时,载体旋转 360° ,磁罗盘在各个方向上的最大值 $M(\alpha)$ 在极坐标系下可以

看作为一个中心偏离原点的椭圆^[4,5],这就是椭圆假设。依据椭圆假设,可以通过椭圆拟合由实际测试的数据确定椭圆的方程。椭圆方程确定后,就可以把测量的有误差的磁场分量补偿为无误差的磁场分量,进而确定真实的磁航向。厂家生产的磁罗盘校准软件正是基于椭圆假设模型,按照磁罗盘校准软件步骤校准磁罗盘后,得出真实磁航向。

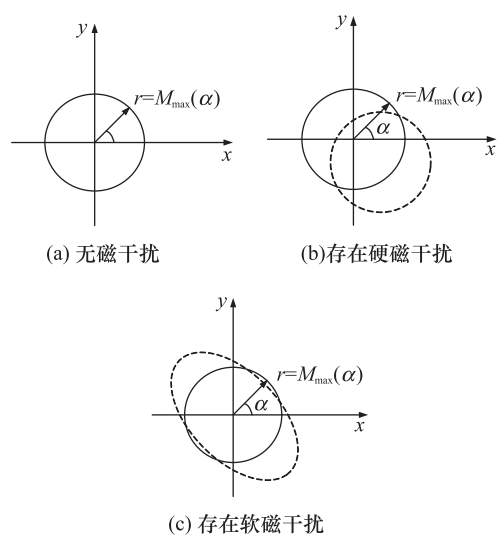


图1 磁干扰对磁航向影响

2 磁罗盘工程校准方法

磁罗盘安装在载体上后,在正式使用前要进行校准,首先要补偿磁干扰误差,随后要进行安装误差及磁偏角补偿,得出真实航向值后,再与当地航向值进行比对处理。

2.1 磁罗盘校准软件初始校准

磁干扰误差补偿通过运行磁罗盘配套校准软件实现。国内和国外生产的磁罗盘校准软件中都有一个共同的较准方法——圆周法。即磁罗盘在载体上安装固定,载体整系统缓慢旋转一周(2至3 min),磁罗盘校准软件在旋转过程中收集各个方向的磁场分量信息,收集完毕后利用椭圆假设模型计算并补偿磁场分量,校准磁干扰影响,从而确定真实的磁航向值。

2.2 磁偏角和安装误差补偿

磁偏角是地理北极与磁场北极之间的偏离角,也叫磁差,是与地理位置有关的参量。利用磁罗盘在计

算真方位角(即相对地理北极)时,必须对磁差进行补偿。当地磁偏角可从有关地理手册中查出。若磁偏角偏西,则真方位角为磁方位值加上磁偏角,反之,若磁偏角偏东,则真方位角为磁方位值减去磁偏角。

磁罗盘安装时会存在安装误差,即磁罗盘航向与载体基准航向存在偏差。计算航向时,也需对安装误差进行补偿。

2.3 磁罗盘插值校准

磁罗盘经以上步骤校准后给出的航向值需与真实航向值比对后进行插值校准。插值可用以下两种方法:

方法一:利用经纬仪确定磁北(0°方向)、北偏东30°(30°方向)等12个磁方向,每个角度间相隔30°,分别记为 $\varphi_{m0} - \varphi_{m11}$,再在保持磁方位传感器基本水平基础上,记录其在 $\varphi_{m0} - \varphi_{m11}$ 方向的输出值 $\varphi'_{m0} - \varphi'_{m11}$,那么,真实方位值 φ_m 在其测量读数值为 φ'_m ($\varphi'_{mx} \leq \varphi'_m \leq \varphi'_{m(x+1)}, 1 \leq x \leq 11$,若 $x = 11$,则令 $x + 1 = 0$)修正后取值如式(1)所示。

$$\varphi_m = \varphi'_m + (\varphi_{mx} - \varphi'_{mx}) + \frac{(\varphi_{m(x+1)} - \varphi'_{m(x+1)}) - (\varphi_{mx} - \varphi'_{mx})}{(\varphi'_{m(x+1)} - \varphi'_{mx})}(\varphi'_m - \varphi'_{mx}) \quad (1)$$

方法二:在保持磁罗盘基本水平的基础上,利用磁罗盘找到其0°方向、北偏东30°(30°方向)等12个磁方向,每个角度间相隔30°,分别记为 $\varphi'_{m0} - \varphi'_{m11}$,再用经纬仪测定 $\varphi'_{m0} - \varphi'_{m11}$ 方向上的所对应的真实方位 $\varphi_{m0} - \varphi_{m11}$,则当磁罗盘测量输出值为 φ'_m ($\varphi'_{mx} \leq \varphi'_m \leq \varphi'_{m(x+1)}, 1 \leq x \leq 11$,若 $x = 11$,则令 $x + 1 = 0$)的实际磁方位 φ_m 如式(1)所示。

从以上两种修正方法可以看出,第二种方法更容易软件实现,一般工程上采用第二种方法对航向值进行校准。

3 多磁罗盘数据融合校准

一个控制系统中可存在多个磁罗盘,如用作方位控制参考的磁罗盘和用作监测的磁罗盘。用作方位控制参考的磁罗盘作为控制闭环系统的一部分,其测量数据更新率要求往往比较高(一般在25 Hz以上),但这种产品属于特研产品,还未定型。

其测量准确度有待考证。市场成熟产品如美国生产的 C100 电子罗盘测量精度可达 0.5° , 但数据更新率只有 10 Hz, 可用作对数据更新率要求不高的监测用磁罗盘。本文即以 C100 电子罗盘为例。C100 电子罗盘在运行校准软件校准及进行磁偏角和安装误差补偿后, 需将测量值与真实航向进行比对, 检验其准确度。若其测量值范围在其测量误差范围内, 可用 C100 电子罗盘测量值作为用作方位控制参考磁罗盘的校准基准, 随后将校准值作为方位控制参考。

3.1 参考方位选择及与 C100 比对

选择参考方位时先选择一基准点 A 点(以手持 GPS 测定其经度、纬度), 再以基准点 A 点为起点旋转一周选取多个明显标志物(如远处通信铁塔等)为参考点, 运用光电经纬仪(测量精度可达 0.1°) 确定这些参考点的真实方位(经过磁偏角校准)。为了确保数据的准确性与可信性, 选取了其中一参考点(如本例 B_4) (用手持 GPS 测定其经度、纬度) 进行验证。运用 A 点和 B_4 点位置信息可计算出 A 点到 B_4 点的方位值。本例中, 其计算结果为 153.3° , 由此说明光电经纬仪的测量结果是准确、可信的。随后, 将安装磁罗盘的载体放置在 A 点, 随后转动载体, 使磁罗盘航向与参考点 $B_1 \sim B_{10}$ 处于同一直线上, 观察并记录 C100 电子罗盘和主控用磁罗盘测量数据。其中参考航向与 C100 输出对比结果(主控航向输出与参考航向差值较大, 没有列出)如表 1 所示。

表 1 C100 电子罗盘测量值与参考值比对

参考点	参考航向/ $(^{\circ})$	C100 输出/ $(^{\circ})$	差值/ $(^{\circ})$
B_1	18.3	18.1	-0.2
B_2	52.9	52.8	-0.1
B_3	114.4	114.3	-0.1
B_4	153.5	153.3	-0.2
B_5	170.8	170.6	-0.2
B_6	195.0	194.7	-0.3
B_7	240.9	240.5	-0.4
B_8	258.9	258.3	-0.6
B_9	271.2	270.8	-0.4
B_{10}	330.7	330.2	-0.5

表 1 的误差可能是来自于目视测量过程中的误差, 也有可能是安装误差。通过对两套磁方位传感

器输出数据的对比, C100 电子罗盘的输出数据更接近于参考方位。因此, 主控磁罗盘以 C100 作为基准, 并在软件内部增加零位, 消除 C100 与真实航向存在的偏差。

3.2 数据融合校准

主控磁罗盘校准前数据与 C100 电子罗盘数据对比如表 2 所示。

表 2 校准前主控罗盘数据与 C100 电子罗盘数据对比

主控磁罗盘/ $(^{\circ})$	C100 电子罗盘/ $(^{\circ})$	差值
0.4	359.9	0.5
32.9	32	0.9
60.7	60.1	0.6
91.4	90.3	1.1
122.6	120.4	2.2
152.7	150.0	2.7
183.0	180.4	2.6
212.3	209.8	2.5
242.5	240.3	2.2
272.2	270.4	1.8
301.1	300.0	1.1
331.4	330.4	1.0

从表 2 可以看出, 主控磁罗盘数据与 C100 电子罗盘数据差值较大(可达 2.7°), 需在软件中对主磁方位传感器的输出进行校准修正。将载体按步长为 10° 旋转绕 A 点旋转一周, 记录两磁罗盘数据, 然后按式(1)进行修正, 其中, $1 \leq x \leq 36$, ϕ_{mx} 为 C100 磁罗盘输出数据, φ'_{mx} 为主控磁罗盘输出数据, φ_m 为主控罗盘修正后数据。修正后两磁罗盘间数据差值在 0.5° 以内, 在主控罗盘数据校准后, 用作方位参考值, 可满足控制系统控制率要求, 其精度也可满足要求(1° 以内)。

4 结束语

本文针对磁罗盘工程应用, 分析了磁罗盘测量误差来源, 给出了成品磁罗盘校准软件使用模型, 提出了磁罗盘工程校准方法, 并对系统中存在多个磁罗盘, 提出校准数据融合校准方法, 可有效解决磁罗盘在工程中的校准及应用问题。

参 考 文 献

1 李希胜,王家鑫,汤 程,等. 高精度磁电子罗盘的研制. 传感技术学报,2006;19(6):241—244

2 刘诗斌. 微型智能磁航向系统研究. 西安:西北工业大学,2001:70

3 王 维,张英堂,罗鸿飞. 椭圆拟合在某新型磁定向系统罗差补偿中的应用研究. 军械工程学院学报,2009;6(3):51—54

4 刘诗斌. 无人机磁航向测量的自动罗差补偿研究. 航空学报,2007;28(2):411—414

5 杨新勇,黄胜国. 磁航向测量系统误差修正方法研究. 仪器仪表学报;2004;25(4):466—469

Research on Method of Magnetic Compass Engineering Calibration

WEN Qiu-xiang, LUO Xiang-qian, SUN Jun-dao
(63655 Unit, Urumqi 841700, P. R. China)

[Abstract] Aimed at engineering application of magnetic compass, error source of magnetic compass was analyzed, and software model of magnetic compass calibration was provided. At the same time, a method of data fusion calibration was presented when two or more magnetic compasses existed in system. The application results indicate that the method of engineering calibration and data fusion calibration are effective to solve the problems of calibration and application of magnetic compass in engineering.

[Key words] magnetic compass engineering calibration data fusion calibration

(上接第 6935 页)

参 考 文 献

1 Szejtli J. Introduction and general overview of cyclodextrin chemistry. Chemical Reviews,1998;98(5):1743—1753

2 Takahashi K. Organic reactions mediated by cyclodextrins. Chemical Reviews,1998;98(5):2013—2033

3 Takahashi K, Hattori K. Asymmetric reactions with cyclodextrins. Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry,1994;17:1—24

4 Ramamurthy V, Eaton F D. Photochemistry and Photophysics within cyclodextrin cavities. Accounts of Chemical Research, 1988; 21: 300—306

5 刘玉海. β -环糊精包合技术及应用的研究进展. 化学工程与装备,2008;6:94—95

Preparation and UV Spectroscopic Characterization of Inclusion Compound of β -Cyclodextrin with Acetophenone

DAI Jin-ling
(Tongji University, Department of chemistry, Shanghai 200092, P. R. China)

[Abstract] Compound of β -Cyclodextrin with acetophenone has a good selectivity of asymmetric in organic reactions. The inclusion compound of β -cyclodextrin with acetophenone was prepared by saturated solution method, which was analyzed by UV spectroscopy. It was found that compared to the mixed solution of acetophenone and β -cyclodextrin, the absorbance maximum ($\lambda_{\max}$) of the inclusion compound get great changed, which confirms the formation of the inclusion complexes. The host/guest ratio of the inclusion compound is 1:1 determined by Job's continuous variation method.

[Key words] acetophenone β -cyclodextrin inclusion compound UV spectrum