

船舶导航系统 安装与操作

CHUANBO DAOHANG XITONG
ANZHUANG YU CAOZUO

◎主编 李海凤



船舶导航系统安装与操作

◎ 主 编 李海凤

◎ 副主编 段丽华 史鸿屿 吴 萍

◎ 主 审 李 晶



内 容 简 介

本书共包括8个项目：船用罗经的安装与操作、船用回声测深仪的安装与操作、船用计程仪的安装与操作、船用雷达的安装与操作、全球定位系统的安装与操作、船舶自动识别系统（AIS）的安装与操作、电子海图显示与信息系统（ECDIS）的安装与操作、船载航行数据记录仪（VDR）的安装与操作。

本书从技能培养的角度出发，以职业岗位的能力为依据，基于技术人员和工人师傅在造船过程中所做的工作，安排了船舶导航系统各项目的内容。

本书可作为高等学校船舶通信与导航、船舶电气等专业的教材，也可作为船厂技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

船舶导航系统安装与操作 / 李海凤主编. —北京：北京理工大学出版社，2014. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9115 - 6

I. ①船… II. ①李… III. ①船舶驾驶 - 导航系统 - 安装②船舶驾驶 - 导航系统 - 操作 IV. ①U666. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 075725 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775（总编室）

82562903（教材售后服务热线）

68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京高岭印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.25

字 数 / 355 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

高等教育培养的是面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高素质技能型专门人才。本书紧紧围绕高等教育的人才培养目标，针对造船企业中导航设备和系统的有关知识做了简明扼要的讲解和阐述。

本书的编写具有以下特点：

1. 校企深度合作，书中主要内容均来自企业一线。
2. 从造船角度编写船舶导航系统的内容。
3. 由于船舶导航设备大多数是进口的，本书在编写中特别注意了英文的引用或解释。
4. 书中对于各设备和系统涉及的理论，根据高等教育的特点对内容进行了取舍，做到“必需、够用”。
5. 在船舶导航系统繁杂的安装和操作中，根据造船工作岗位的实际需要进行内容选取和描述，对于相似的安装和操作则只在一种系统中详细讲解。
6. 从船舶导航设备厂家和造船企业两个角度对船舶导航系统的识图过程进行了深入浅出的讲解。

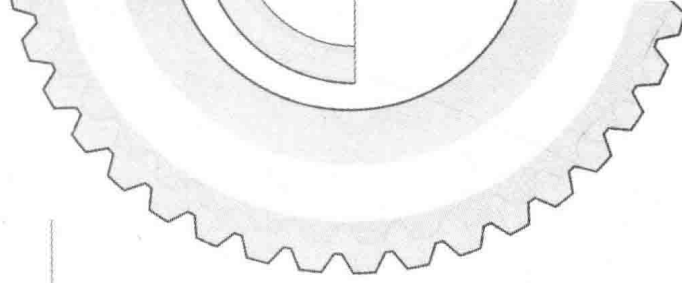
全书共包括8个项目：船用罗经的安装与操作、船用回声测深仪的安装与操作、船用计程仪的安装与操作、船用雷达的安装与操作、全球定位系统的安装与操作、船舶自动识别系统（AIS）的安装与操作、电子海图显示与信息系统（ECDIS）的安装与操作、船载航行数据记录仪（VDR）的安装与操作。

本书由李海凤主编，段丽华、史鸿屿、吴萍等三人担任副主编，李晶主审。其中，段丽华编写项目一和项目三；吴萍编写项目二；史鸿屿编写项目四；李海凤编写项目五、项目六、项目七和项目八。全书由李海凤统稿。

本书在编写过程中得到了渤船重工电装分厂的大力支持，很多技术人员和工人师傅提出了宝贵意见，多名技术员耐心答疑。刘洪亮等对本书的编写也提出了许多建设性意见。在此一并表示衷心的感谢。

书中不妥之处，恳请各位读者批评指正。

编 者

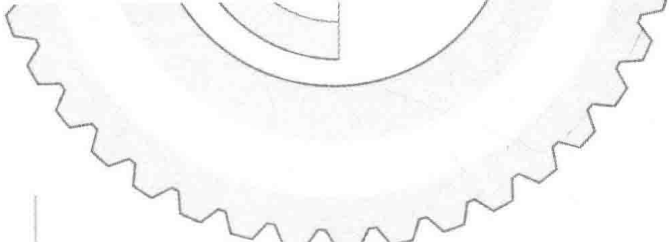


《《《 目 录

项目一 船用罗经的安装与操作	1
【知识链接】	1
知识链接 1 罗经的工作原理	1
知识链接 2 罗经系统介绍	11
【项目实施】	31
任务 1 罗经的安装	31
任务 2 磁罗经的自差校正与电罗经的精准性调校	32
任务 3 磁罗经的方位观察	38
任务 4 电罗经的操作	39
【项目考核】	45
项目二 船用回声测深仪的安装与操作	46
【知识链接】	46
知识链接 1 回声测深仪的基本工作原理	46
知识链接 2 回声测深仪系统介绍	48
【项目实施】	54
任务 1 测深仪的安装	54
任务 2 测深仪的操作	55
【项目考核】	59
项目三 船用计程仪的安装与操作	61
【知识链接】	61
知识链接 1 计程仪的工作原理	61
知识链接 2 计程仪系统介绍	65
【项目实施】	71
任务 1 船用计程仪的安装	71
任务 2 船用计程仪的操作	73
【知识拓展】 测深仪和计程仪的安装对比	74
【项目考核】	80
项目四 船用雷达的安装与操作	81
【知识链接】	81

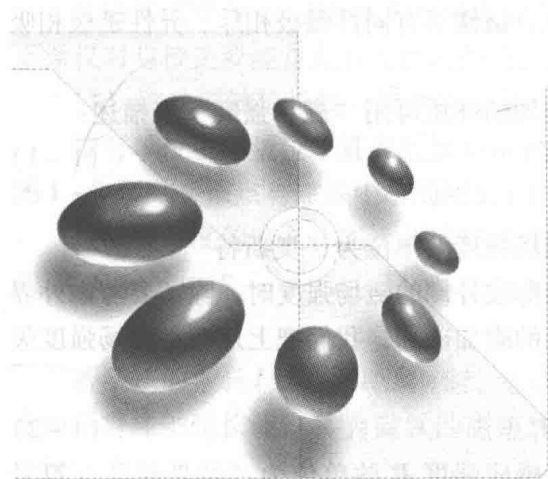
目 录 >>>

知识链接 1 雷达测距测方位的基本原理	81
知识链接 2 雷达系统介绍	85
【项目实施】	101
任务 1 雷达的安装	101
任务 2 雷达的操作	107
【知识拓展】 雷达性能及雷达航标	126
【项目考核】	130
项目五 全球定位系统的安装与操作	132
【知识链接】	132
知识链接 1 常见卫星导航定位系统简介	132
知识链接 2 GPS 导航定位原理	137
知识链接 3 GPS 系统介绍	140
【项目实施】	144
任务 1 GPS 的安装	144
任务 2 GPS 的操作	154
【项目考核】	160
项目六 船舶自动识别系统 (AIS) 的安装与操作	161
【知识链接】	161
知识链接 1 AIS 的基本知识	161
知识链接 2 AIS 系统介绍	164
【项目实施】	167
任务 1 AIS 的安装	167
任务 2 AIS 的操作	177
【项目考核】	182
项目七 电子海图显示与信息系统 (ECDIS) 的安装与操作	184
【知识链接】	184
知识链接 1 ECDIS 的基本知识	184
知识链接 2 ECDIS 系统介绍	191
【项目实施】	198



《《《 目 录

任务 1 ECDIS 的安装·····	198
任务 2 ECDIS 的操作·····	205
【项目考核】·····	215
项目八 船载航行数据记录仪 (VDR) 的安装与操作 ·····	216
【知识链接】·····	216
知识链接 1 VDR 的基本知识 ·····	216
知识链接 2 VDR 系统介绍 ·····	218
【项目实施】·····	224
任务 1 VDR 的安装 ·····	224
任务 2 VDR 的操作 ·····	232
【项目考核】·····	234
参考文献·····	236



项目一 船用罗经的安装与操作



【项目描述】

罗经 (compass) 是提供方向基准的仪器。船舶用以确定航向和观测物标方位。罗经有磁罗经 (magnetic compass) 和电罗经 (gyro compass) 两种, 一般船舶都同时装备有磁罗经和电罗经。前者简单可靠, 后者使用方便、准确。



【项目目标】

1. 能正确识读罗经系统的系统图和接线图。
2. 能正确安装罗经系统。
3. 会对磁罗经进行自差校正和对电罗经进行操作。



【知识链接】



知识链接 1 罗经的工作原理

一、磁罗经的工作原理

简单来说, 磁罗经的罗盘由轴针、轴帽和液体支撑构成, 具有绕垂直轴旋转的自由度,

罗盘上的轴针受地磁水平分量的作用，使罗盘的“0”度指示磁北。具体说明如下。

1. 磁场

物体能吸引铁、镍、钴等物质的性质叫做磁性。磁铁具有同性磁极相斥、异性磁极相吸的特性。

磁场是指磁场作用力所能达到的空间范围。磁场的性质可用“磁场强度”来描述：

$$H = m/r^2 \quad (1-1)$$

式中， H 为磁场强度； m 为磁量； r 为距离。

磁场强度为矢量，指向磁力线的切线方向。磁场强度的单位为“奥斯特”。^①

磁场强度与磁介质有关，当讨论一块磁介质内部或外部的磁场强度时，除了要考虑外界已存在的磁场外，还要考虑磁介质被磁化后所产生的附加磁场，我们把上述两种磁场强度矢量之和称为磁感应强度 B ，即

$$B = H_0 + H' \quad (1-2)$$

式中， H_0 为外磁场强度； H' 为附加磁场强度。磁感应强度 B 的单位为“特斯拉”（符号 T）。若磁场中某一范围内，各点的磁场强度大小相等，方向一致，则该范围内的磁场称为均匀磁场。位于船体范围内的地磁场以及罗盘范围内的船磁场可视为均匀磁场。

2. 磁铁

目前所应用的各种磁铁均为人造磁铁，即用人工方法将镍、钴、钨等金属材料经磁化制成的。磁罗经中均使用条形磁铁，如图 1-1 所示。

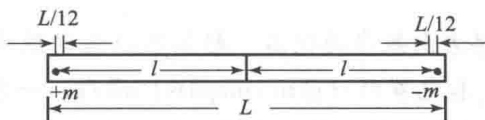


图 1-1 磁铁

我们将磁性最强的地方称为磁极。条形磁铁的磁极主要集中在磁棒的两端，一根自由悬挂着的磁铁，指向地磁北极的一端称为北极，用“N”表示，并涂成红色，其磁量用 $+m$ 表示；指向地磁南极的一端，称为南极，用“S”表示，并涂成蓝色或黄色等，其磁量用 $-m$ 表示。两磁极间的连线称为磁轴，同一磁铁两磁极的磁量是相等的。磁铁磁极的位置视磁铁形状、金属材料、磁化过程和磁化程度而定，用 L 表示磁铁的全长，通常认为南北磁极距磁铁两端为 $L/12$ 。

我们用磁矩表示磁铁的磁性大小，磁矩是同名磁量与两磁极间距离的乘积，用字母 M 表示，即：

$$M = 2ml \quad (1-3)$$

式中， m 为磁极的磁量； $2l$ 为两磁极之间的距离。

磁矩的单位采用电磁单位制 CGSM^②。为了保持磁铁的磁性，磁铁存放时应避免受到高

① 奥斯特为非法定计量单位。1 奥斯特 = $\frac{1\,000}{4\pi}$ A/m。

② CGSM，即 Centimeter-Gram-Second Electromagnetic System 厘米-克-秒电磁单位制。

温、敲击或其他恒定磁场的影响，并使使磁铁异名极相靠。

3. 磁铁的磁场强度

在磁铁周围各点的场强是比较复杂的。其大小和方向都会发生变化，下面仅对与校正罗经自差有关的两种位置加以讨论。

(1) 磁铁磁轴延长线上某点的场强

设有单位正磁量位于具有磁量为 m 的磁铁的磁轴延长线上的 P_1 点，如图 1-2 所示。该点与磁铁中心的距离 $OP_1 = r$ ，磁铁两磁极间的半长为 l 。

按磁场强度的定义，磁铁北极和磁铁南极分别对 P_1 点产生的作用力为 F_N 和 F_S ，其中 $F_N = m/(r+l)^2$ ， $F_S = -m/(r-l)^2$ ，其合力为 H_1 ，即

$$H_1 = F_N + F_S \quad (1-4)$$

若磁铁的半长 l 远小于距离 r 时，合力 H_1 可近似为： $H_1 = 2M/r^3$ ， H_1 的方向沿着磁轴延长线， M 为磁铁的磁矩。罗经柜中垂直磁铁对罗经的作用力即属 H_1 。

(2) 磁铁磁轴垂直平分线上某点的场强

如图 1-3 所示，设有单位正磁量位于磁轴垂直平分线上的 P_2 点，磁铁中心 O 点至 P_2 点的距离为 r ，则磁铁北极的作用力 F_N 与南极的作用力 F_S 两者大小相等，但其方向对称分布。 $F_N = F_S = \frac{m}{r^2 + l^2}$ ，力 F_N 和 F_S 在磁轴垂直平分线上的投影之和为零，而在平行于磁轴方向上的合力为： $H_2 = F_N \cos \alpha + F_S \cos \alpha = \frac{2m}{r^2 + l^2} \cos \alpha$ 。因为 $\cos \alpha = \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}}$ ，所以 $H_2 =$

$$\frac{2mL}{(r^2 + l^2)^{3/2}} = \frac{M}{r^3 \left(1 + \frac{l^2}{r^2}\right)^{3/2}}, \text{ 当磁铁半长 } l \text{ 远小于 } r \text{ 时, } H_2 \text{ 可近似为:}$$

$$H_2 = M/r^3 \quad (1-5)$$

H_2 的方向与磁轴平行，并指向 S 端。

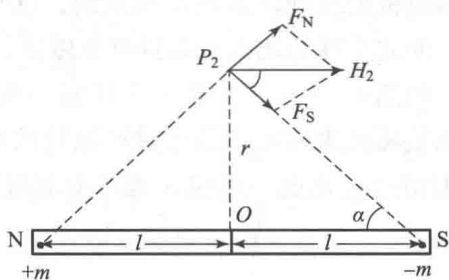


图 1-3 磁轴垂线上的场强

比较 H_2 与 H_1 两式，不难看出，在相同条件下， H_2 之值是 H_1 的一半。罗经柜中纵横校正磁铁对罗经的作用力即属于 H_2 。

4. 磁性物质的磁化

自然界内的物质按其导磁能力的大小，可分为磁性物质和非磁性物质两大类。

(1) 磁性物质

磁性物质又称为铁磁性物质，铁、镍、钴及其合金等金属材料均属于磁性物质。磁性物质的磁导率 $\mu \geq 1$ ，其值可达数千乃至数万。磁性物质被磁化后可呈现出较强的磁性。在 $B-H$ 曲

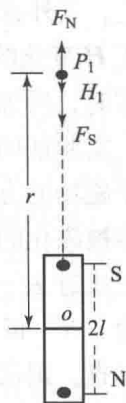


图 1-2 磁轴延长线上场强

线上, 当外磁场 H 为零时, 磁感应强度 B 并非为零, $B = B_r$, B_r 称为剩磁。这种 B 的变化落后于 H 变化的现象叫做磁滞现象。为消除剩磁, 必须加一反向磁场, 当使磁感应强度 B 降为零时, 所加的反向磁场 $H = H_c$, H_c 称为矫顽力, 它表示磁性物质抗去磁的能力。

实验证明, 铁磁体被磁化的极性与它相对于磁场的方向有关, 如图 1-4 所示, 即铁磁体被磁化的磁极与原磁铁的极性刚好相反, 磁力线进去一端为“S”极, 磁力线出去一端为“N”极。若外磁场方向与铁磁体纵轴相垂直, 则其退磁系数为无穷大, 铁磁体不能被磁化。磁性物质按其保留磁性的大小, 又可分为硬铁和软铁两类。硬铁磁性材料需由较强的外磁场磁化, 一经磁化后, 其剩磁可保留较长时间不易消失, 亦即硬铁的特点是剩磁和矫顽力均较大; 而软铁磁性材料可在较弱磁场中被磁化, 一旦外磁场消失, 其磁性几乎也随之消失, 即软铁不保留磁性。软铁的特点是剩磁、矫顽力均较小。

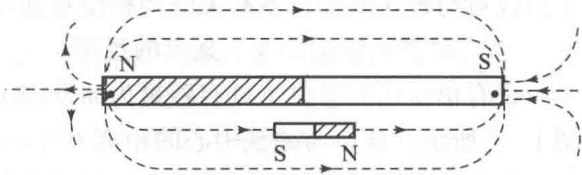


图 1-4 铁磁体被磁化的极性与其相对于磁场的方向关系图

实际上, 硬铁和软铁很难严格地区分, 通常将矫顽力 H_c 大于 50 奥的磁性材料视为硬铁, 如碳钢、钴钢、钨钢及其合金等; 矫顽力 H_c 小于几奥的磁性材料视为软铁, 如软铁、坡莫合金、矽钢等。

(2) 非磁性物质

非磁性物质有金、银、铜、木、纸、铝、橡胶、玻璃等, 其磁导率约为 1。非磁性材料在磁场中被磁化后, 所产生的附加磁场甚微, 可以忽略, 故可认为非磁材料不能被磁化。因此在制造磁罗经时, 为避免产生附加的磁性干扰, 除了指向元件外, 其余所有的材料均采用非磁性材料。

5. 地磁场

地球可认为是一个均匀磁化的球体, 在其周围空间存在着磁场。地磁极位于地理南北极附近, 而且位于地球深处。地磁极的地理位置是不固定的, 逐年缓慢变化。值得注意的是, 南半球的南磁极具有正磁量, 而北半球的北磁极却具有负磁量, 因此, 围绕地球空间的磁力线是从南半球走向北半球的, 如图 1-5 所示。地面上任意一点的地磁场方向, 可用一根自由悬挂的顺着地磁总力 T 指向的磁针来测定。通过磁针磁轴的垂面, 称为该地的磁子午面, 磁子午面与地理子午面 (一般指通过地面一点包含地球南北极的平面) 的水平夹角, 称为磁差 (Var), 如图 1-6 所示。

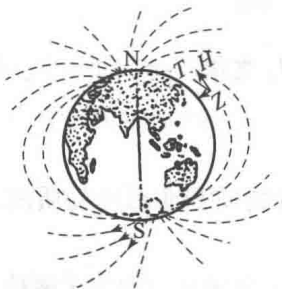


图 1-5 地磁场

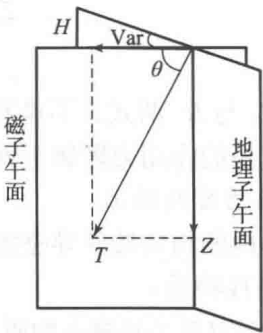


图 1-6 地磁要素

将地磁总力 T 分解为作用于磁子午面的水平磁力 H 和垂直磁力 Z , 即得:

$$H = T \cos \theta \quad Z = T \sin \theta \quad (1-6)$$

水平磁力 H 和地磁总力 T 之间的夹角 θ , 称为磁倾角。在北半球, θ 角在水平面之下, 其符号定为 (+); 反之, 在南半球, θ 角在水平面之上, 其符号定为 (-)。在地球表面上, 磁倾角为零各点的连线称为磁赤道。自磁赤道向两极, 磁倾角 θ 逐渐增大, 在磁北极, 磁倾角为 $+90^\circ$; 在磁南极, 磁倾角为 -90° 。将磁倾角为固定值点的连线称为磁纬度。

在水平磁力 H 的作用下, 罗盘指向磁北。水平磁力在磁赤道处最大, 约为 0.4 奥, 而垂直磁力 Z 在磁赤道处为零。在磁极处, 垂直磁力 Z 为最大, 约为 0.7 奥。而水平磁力 H 却为零, 因而导致磁罗经在磁极附近是不能指向的。

在不同的地理位置, 磁差是不相同的。磁差的变化范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。纬度越高, 磁差越大。当磁北分别位于真北的东面或西面时, 分别称为东磁差和西磁差。通常把地磁水平磁力 H , 磁倾角 θ 和磁差 Var 称为地磁三要素。

在海图上将同一地磁要素相同值的各点连成等值线, 这种曲线图称为地磁图。目前, 航海上所使用的地磁图有等磁差线图、等水平力线图、等垂直力线图、等磁倾角线图和等地磁总力线图等。由于各地磁要素逐年缓慢变化, 因此各地磁图所标注的数据只适用于某一特定年份, 通常地磁要素图每 5 年左右重新绘制一次。在实际使用时, 为获得较准确的数据, 应根据地磁要素的年变化率修正地磁图上标注的数据。

二、电罗经的工作原理

电罗经也叫陀螺罗经, 是利用陀螺仪的特性制成的指向仪器。电罗经基本不受外界磁场的影响, 指向具有较高的准确性和稳定性, 正常工作时只有固定误差, 它不随航向地点改变而变化, 并且能把航向传送到船上任何地方和送给自动舵、雷达等需要航向信号的仪器。

1. 陀螺仪 (gyroscope) 的结构及其特性

(1) 陀螺仪的结构

陀螺仪是绕定点高速旋转的刚体及其悬挂装置的总称。如图 1-7 所示, 陀螺仪由一个高速旋转的转子 (rotor)、支撑转子的内环 (inner gimbal) 和外环 (outer gimbal) 及基座 (pedestal) 组成。

陀螺仪具有三个自由度, 一是转子绕 OX 轴 (亦称主轴) 转动; 二是转子连同内环绕 OY 轴 (亦称水平轴) 转动, 可改变主轴指向的高度角; 三是转子连同内环和外环一起绕 OZ 轴 (亦称垂直轴) 转动, 可改变主轴指向的方位角。三轴的交点 O , 称为陀螺仪的中心点。这种转子可绕 X 、 Y 、 Z 三个轴任意转动, 主轴可指向空间任何方向的陀螺仪称为三自由度陀螺仪。当三自由度陀螺仪的重心 (包括内环和外环) 和中心 O 重合, 则这种陀螺仪称为平衡陀螺仪。而不受任何外力矩作用的三自由度平衡陀螺仪称为自由陀螺仪。

(2) 陀螺仪的特性

三自由度陀螺仪具有两个基本特性。

① 定轴性 (又叫稳定性) (inertia or rigidity)。

自由陀螺仪在转子不作高速旋转时, 若转动其基座, 则主轴将随基座一起转动。当转子绕其主轴高速旋转时, 若再转动陀螺仪的基座, 则可发现主轴 OX 并不随基座一起转动, 而

是保持它原有的空间指向不变,如图1-8所示,这种现象称自由陀螺仪的定轴性,也叫稳定性。可叙述为:在不受外力矩作用时,自由陀螺仪主轴保持它在空间的初始方向不变。

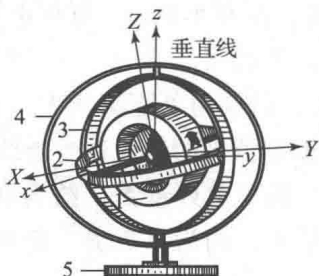


图 1-7 陀螺仪组成图

1—转子; 2—内环; 3—外环; 4—固定环; 5—基座

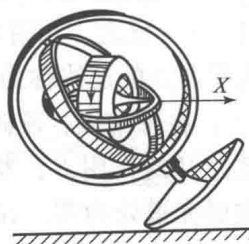


图 1-8 陀螺仪的定轴性

②进动性 (又叫旋进性) (precession)。

当陀螺仪受到外力矩作用时,若转子不绕主轴高速旋转,则陀螺仪将和一般刚体一样,绕外力矩的作用轴转动。当转子绕主轴高速旋转时,如在 OX 轴上有一个常值作用力 $\vec{F}$,则沿 OY 轴方向有一个常力矩 $\vec{M}_y$ 作用在陀螺仪上时,陀螺仪主轴并不绕 OY 轴转动,而是绕 OZ 旋转,这种现象称为陀螺仪的进动性,也叫旋进性,可叙述为:在外力矩作用下,陀螺仪主轴的动量矩 $\vec{H}$ 矢端以捷径 (小于 180°) 方向趋向力矩 $\vec{M}$ 矢端作进动。可记为 $\vec{H} \rightarrow \vec{M}$ 。

2. 陀螺仪运动的参考坐标

(1) 陀螺仪主轴在地理坐标系中的指向

为研究陀螺仪主轴在地球上的指向和主轴相对于地球的运动规律,必须建立一个参考坐标系。以陀螺仪中心点 O 为原点作一个与地球相固连的右手直角坐标系 $ONWZ_0$, ON 轴水平指北, OW 轴水平指西, OZ_0 轴垂直向上,如图1-9所示。陀螺仪能绕三个互相垂直的轴 OX 、 OY 和 OZ 旋转。若在初始时刻,让 OX 与 ON 重合, OY 与 OW 重合,则 OZ 与 OZ_0 重合;而后若转子连同内环和外环一起绕 OZ 轴以角速度 ω_z 转过 α 角,转子连同内环绕 OY 轴以角速度 ω_y 转过 θ 角,则 α 角是陀螺仪主轴 OX 与子午面 ONZ_0S 的夹角,表示陀螺仪主轴在子午面之西或之东的角度, α 角称陀螺仪主轴的方位角。 θ 角是陀螺仪主轴与水平面 $ONWSE$ 之间的夹角,表示陀螺仪主轴偏在水平面之下或之上的角度, θ 角称陀螺仪主轴的高度角。

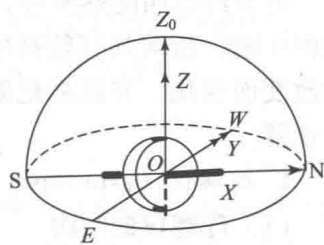


图 1-9 陀螺仪运动的参考坐标图

方位角 α 和高度角 θ 在坐标系 $ONWZ_0$ 中的符号用“右手法则”判断: 主轴指向北端偏在子午面之西时, $\alpha > 0$; 主轴指向北端偏在子午面之东时, $\alpha < 0$; 主轴指向北端偏在水平面之下时, $\theta > 0$; 主轴指向北端偏在水平面之上时, $\theta < 0$ 。显然, 当陀螺仪主轴指北端相对于地理坐标系 $ONWZ_0$ 的方位角 α 和高度角 θ 确定后, 陀螺仪主轴在地球上的指向就能确定。

(2) 陀螺仪主轴指向的投影表示法

陀螺仪主轴在地球上指向的方位角 α 和高度角 θ 也可以采用投影法来描述, 如图1-10所示, 在陀螺仪主轴指北端竖立一东西方向的垂直平面 R , 子午面与垂直面 R 的交线为 MM' , 称为真北线。地平面与垂直平面 R 的交线为 HH' , 称为地平线 (水平线)。 MM' 与 HH' 的交点为 N , 主轴延长线交垂直面 R 于 P 点, 称为主轴的投影点。显然当主轴水平指北

时, P 点即与 N 点相重合。 P 点与真北线 MM' 之间的距离代表方位角 α 的大小, P 点与地平线 HH' 之间的距离代表高度角 θ 的大小。

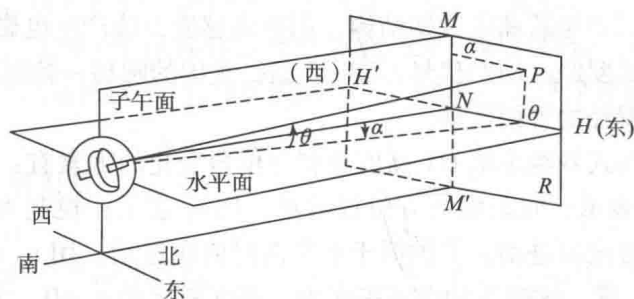


图 1-10 陀螺仪主轴指向的投影示意图

3. 自由陀螺仪的视运动

自由陀螺仪主轴指向的稳定性是相对于宇宙空间的。由于地球的自转, 子午面和水平面在空间旋转。人在地球上感觉不到子午面和水平面的旋转, 相反却看到了指向宇宙空间方向不变的陀螺仪主轴相对于子午面的方位角和相对于水平面的高度角在不断变化。这种由于地球自转产生的陀螺仪主轴相对于地理坐标系的运动, 称陀螺仪在地球上的视运动。

4. 电罗经基本原理

要想把陀螺仪变为航海罗经, 必须使其满足航海罗经的两个基本要求, 一是主轴相对于地球具有稳定位置; 二是当主轴受到干扰偏离稳定位置后, 应能自动返回稳定位置。显然自由陀螺仪不满足这两个要求, 因此不能作罗经用。要想使自由陀螺仪满足航海罗经的要求, 还必须利用其进动性, 对其施加控制力矩和阻尼力矩。

(1) 电罗经的控制力矩

①什么是控制力矩。

要想把陀螺仪变为航海罗经, 首先要克服陀螺仪的视运动, 使陀螺仪主轴指向相对于地球具有稳定位置。在电罗经中, 向陀螺仪 OY 轴施加的用来抵消陀螺仪方位视运动的力矩叫做电罗经的控制力矩, 用 M_y 表示。

②获得控制力矩的方法和罗经的分类。

电罗经有三种方法获得控制力矩, 并因此将罗经分为三大系列。

a. 安许茨系列电罗经。

该系列电罗经采用下重法获得控制力矩, 又叫下重式罗经, 即将陀螺仪的重心沿 OZ 轴下移一段距离, 形成陀螺摆而产生摆性力矩——重力控制力矩。较为著名的型号有国产航海 I 型、德国安许茨 (ANSCHUTS) 型。该系列电罗经的陀螺球内有两个陀螺马达, 所以又称为双转子电罗经。

b. 斯伯利系列电罗经。

该系列电罗经采用液体连通器法产生控制力矩, 又称液体连通器罗经。产生控制力矩的设备是在陀螺仪上挂着盛有硅油的容器, 利用硅油的流动产生多余的液体而产生摆性力矩。这种摆性力矩的作用效果与下重法产生的摆性力矩的作用效果相反, 它相当于重心上移, 所以液体连通器罗经又称为上重式电罗经。此类罗经的代表型号有美国的斯伯利 - MK37 型、日本的 TG-5000 型等。

无论是下重式还是液体连通器式电罗经, 它们都是利用摆的效应, 即直接利用地球重力

作用来产生控制力矩而制成罗经的，所以又称重力摆式电罗经。

c. 阿玛-勃朗系列电罗经。

该系列电罗经采用力矩器和电磁摆结构，用电磁感应方法产生电磁控制力矩，因此又称此类罗经为电磁控制式罗经。国产代号 CLP-2 型、美国的阿玛-勃朗型属此类电罗经。

③在北半球摆式罗经的等幅摆动。

在北半球，影响摆式罗经主轴 OX 高度角和方位角变化的因素有：东升西降的高度视运动，在投影图上用 v_1 表示；向东偏的方位视运动，用 v_2 表示；控制力矩引起主轴 OX 的进动是主轴高于水平面时向西进动，主轴低于水平面时向东进动，用 u_2 表示。图 1-11 中， r 点为主轴 OX 的稳定位置。这时主轴在子午面内，高度视运动 $v_1=0$ ，主轴高于水平面 θ_r 角，控制力矩引起的主轴 OX 向西进动速度 u_2 等于主轴向东偏的方位视运动速度 v_2 ，抵消了方位视运动，所以主轴相对于地球是稳定的。

若由于某种干扰，比如在启动时刻，摆式罗经主轴指北端水平偏东，投影点在位置 A ，此时，投影点以 v_1 线速度向上运动，同时又以线速度 v_2 向东。

这样投影点沿 v_1 和 v_2 的合成方向运动。当主轴指北端上升以后，产生向西的进动线速度 u_2 ， u_2 随高度角 θ 的增大而增大。当主轴高度角上升到 θ_r 时， $u_2 = v_2$ ，此时主轴偏离子午面的方位角 α 最大，如图 1-11 中 B 点。在位置 B 时， u_2 和 v_2 等值反向互相抵消，但此时因方位角 α 最大，所以主轴指北端上升的线速度 v_1 也最大。主轴的继续上升，将使控制力矩产生的 u_2 增大，主轴将在 v_1 和 $u_2 - v_2$ 的合成方向上上升并向子午面靠拢运动到 C 点。在 C 位置时，由于方位角 α 的减小使 v_1 的值也减小；而高度角 θ 的逐渐增大，使 u_2 随高度角 θ 的增大而逐渐增大，使投影点沿扁平曲线达到位置 D ，即进入子午面。在位置 D ，即子午面上，方位角 $\alpha=0$ ， $v_1=0$ ，主轴指北端停止上升，此时高度角 θ 最大，向西运动的 u_2 也最大，则主轴指北端以 $(u_{2\text{最大}} - v_2)$ 的速度偏离开子午面向西运动。主轴向西偏离子午面后， v_1 是下降的，同时 $u_2 > v_2$ ，故主轴指北端向西向下接近水平面。

在位置 D 、 E 至 F 的过程中，高度角 θ 逐渐减小，而方位角 α 却逐渐增大。因此， u_2 逐渐减小， v_1 却逐渐增大，直至 F 点时， $u_2 = v_2$ ，方位角 α 又为最大，则向下线速度 v_1 最大。

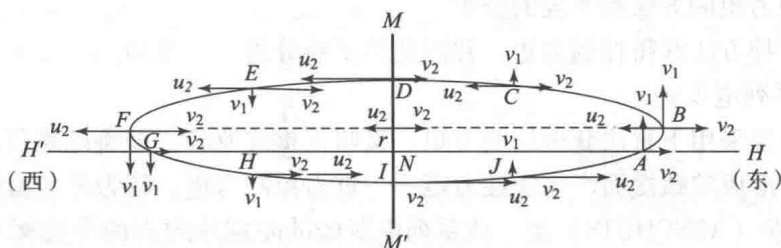


图 1-11 控制力矩作用下主轴指北端的运动轨迹图

其后，由于 $u_2 < v_2$ ，则投影点向下向东接近水平面，逐渐到达水平面 G 点。当主轴北端来到水平面以下时， u_2 的方向也向东，与 v_2 方向一致，使投影点向下向东沿扁平线经 H 点到达子午面 I 点。在 I 点，方位角 $\alpha=0$ ， $v_1=0$ ，主轴下倾角 θ 最大， u_2 也最大，主轴指北端以 $(u_{2\text{最大}} + v_2)$ 的速度向东偏离子午面。主轴向东偏离子午面后，又产生 v_1 向上， u_2 逐渐减小，在 v_1 、 v_2 和 u_2 的共同作用下，投影点沿向上向东的扁平曲线经 J 点回到水平面 A 点，完成了—个周期的摆动，以后周而复始地重复上述运动过程，投影点运动的轨迹为一

正由于水平轴阻尼法的阻尼力矩相对于陀螺仪的水平轴 OY 作用, 阻尼进动线速度 u_3 表现为缩短椭圆的长半轴, 与此同时, 相应地并按比例地缩短椭圆的短半轴, 因此, 水平轴阻尼法又称为长轴阻尼法。具有液体阻尼器的下重式罗经均采用水平轴阻尼法。

b. 垂直轴阻尼法 (又叫短轴阻尼法) (damped method of vertical axis)。

垂直轴阻尼法即由阻尼设备产生的阻尼力矩作用于陀螺仪垂直轴 OZ 上, 该阻尼力矩使罗经主轴产生绕水平轴 OY 的阻尼进动, 主轴指北端作阻尼进动的线速度仍以符号 u_3 表示。为获得减幅摆动, u_3 的方向总是指向水平面, 如图 1-13 所示, 当主轴位于水平面之上时, u_3 指向下方; 当主轴位于水平面之下时, u_3 指向上方。这样, 在 I、III 象限内, u_3 将减弱主轴偏离水平面的速度, 因而使高度角 θ 小了, 主轴抵达子午面时的高度角 θ 将小于等幅摆动时椭圆轨迹的 θ 值。在 II、IV 象限内, u_3 将促使主轴加快抵达水平面, 因而使方位角 α 减小了, 主轴抵达水平面时的方位角 α 小于等幅摆动时椭圆轨迹的 α 值。因此使摆式罗经作等幅摆动时的椭圆轨迹变为收敛的螺旋线轨迹。即: 方位角 α 和高度角 θ 都渐次衰减, 最后使罗经主轴位于其稳定位置 r 。

正由于垂直轴阻尼法的阻尼力矩相对于陀螺仪的 OZ 轴作用, 阻尼进动线速度 u_3 表现为缩短椭圆的短半轴, 与此同时, 相应地并按比例缩短椭圆的长半轴, 因此垂直轴阻尼法又称为短轴阻尼法。液体连通器罗经均采用垂直轴阻尼法。

(3) 电磁控制式罗经原理

① 结构原理。

电磁控制式罗经是在平衡陀螺仪结构上设置一套电磁控制装置, 即以电磁摆和力矩器替代机械摆和液体连通器及阻尼配重, 如图 1-14 所示。电磁摆 1 为控制元件, 当陀螺仪主轴 OX 相对水平面倾斜时, 电磁摆也倾斜一个 θ 角, 感应出正比于倾斜角 θ 大小的摆信号输出, 其相位取决于摆倾斜的方向, 即取决于主轴是上仰还是下倾。电磁摆信号一路经方位放大器 2 放大后送至水平力矩器 3, 产生控制力矩 $M_Y = -K_Y\theta$; 一路经倾斜放大器 4 放大后送至垂直力矩器 5, 产生垂直轴阻尼力矩 $M_Z = K_Z\theta$, 上面两式中 K_Y 称为水平轴比例系数, K_Z 称为垂直轴比例系数, K_Y 和 K_Z 值可根据罗经工作状态进行电控。

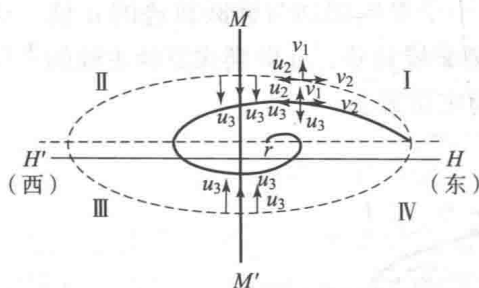


图 1-13 垂直轴阻尼法的减幅摆动

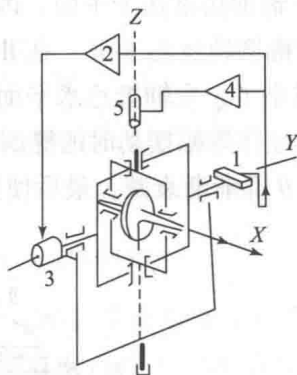


图 1-14 电磁控制式罗经

1—电磁摆; 2—方位放大器; 3—水平力矩器;
4—倾斜放大器; 5—垂直力矩器

与加阻尼配重的液体连通器罗经相似, M_Y 使电磁控制式罗经主轴指北端具有找北的性