

航海仪器

(航海业务长班用)

中国人民 海军大连舰艇学院
解放军

一九九四年二月

航海仪器

编者：姜书全、张卫国、朱林海

审阅：姜书全


绘图：王明豪、朱林海

校对：姜书全、张卫国、朱林海

印刷：海军大连舰艇学院印刷厂

字数：38.5万

定价：24.80元



前 言

这本教材是根据航海业务长班航海仪器教学大纲的要求和航海长的已有基础编写的。它以新型主战舰艇的装备为典型，介绍航海仪器的原理及应用。全书分为电航和无线电导航两部分。电航部分共七章分为三篇，第一篇（一、二、三章）为电控罗经，由朱林海同志编写；第二篇（四、五章）和第三篇（六、七章）分别是平台罗经和自适应操舵仪、航迹仪，由姜书全同志编写。无线电导航部分共计四章分为两篇，第一篇（一、二、三章）为卫星导航，第二篇（第四章）为综合导航，由张卫国同志编写。全书的文字校对工作也是由各篇的编者直接负责的。

在编写和出版过程中得到领导同志的关心和教研室内同志们的支持，王明奎同志加工描绘了部分插图，在此向他们表示感谢。

由于我们掌握的资料不多，消化理解得也不够，加之时间仓促，书中定会存在错误和不当之处，敬请使用本书的同志们批评指正。

编者

一九九四、二月

目 录

第一部分 电航仪器

第一篇 电控罗经

第一章 电控罗经原理简介	2
第一节 罗经与方位仪工作状态的实现	3
第二节 舰船航行引起的误差及消除	5
第二章 DH-III型电控罗经	8
第一节 组成及基本结构	8
第二节 系统工作过程	18
第三节 全套原理电路	28
第四节 使用及维护保养	31
第三章 其他型号电控罗经	37
第一节 JYJD-II型电控罗经	37
第二节 CLP-2型电控罗经	53

第二篇 平台罗经

第四章 PL-II型平台罗经	62
第一节 基本原理	62
第二节 基本性能和组成	101
第三节 基本结构	105
第四节 使用与维护	149
第五章 PL-I型平台罗经	158
第一节 工作原理	158
第二节 性能和组成	172
第三节 结构特点	175
第四节 使用与维护	193

第三篇 自适应操舵仪、航速仪

第六章 自适应操舵仪	202
第一节 概述	202

第二节	HD-6型自动操舵仪	208
第七章	航迹仪	227
第一节	基本原理	227
第二节	HJ-5型航迹仪	230

第二部分 舰船无线电导航

第一篇 卫星导航

第一章	概述	247
第一节	卫星导航概况	247
第二节	卫星导航系统的分类	250
第三节	工作原理	251
第二章	GPS 导航系统	265
第一节	系统的组成	265
第二节	GPS 信号结构	269
第三节	GPS 导航电文	273
第四节	定位误差	273
第五节	NavTrac GPS导航仪	276
第三章	GLONASS系统和GPS/GLONASS组合导航仪	317
第一节	GLONASS 全球卫星导航系统	317
第二节	GLONASS 导航仪工作原理	324
第三节	GPS/GLONASS 组合导航仪	325

第二篇 综合导航

第四章	H/HZD-002型舰用综合导航系统	336
第一节	舰船综合导航系统概述	336
第二节	系统的组成及主要战术技术指标	344
第三节	系统的功能及特点	352
第四节	系统的数据处理方法	355
第五节	系统的操作使用	369
第六节	系统的维护保养	371
第七节	系统的故障诊断与检修	372

第一篇 电控罗经

电控罗经全称是电磁控制陀螺罗经，是50年代后较快发展起来的一种新型的小型陀螺罗经。电控罗经的主要功用是为舰船提供方位基准并输出舰船的航向角，可适用于大、中、小型各类舰船。

目前，在国外属于电控罗经的产品主要有英国的勃朗型系列(其中新产品为S·G·BROWN1000型)、挪威的SKR型系列、前苏联的韦加型系列。电控罗经在我国也得到了迅速的发展，我国自己研制生产的产品有DH型系列、JYJD型系列以及CLP型系列。根据电控罗经向陀螺仪施加力矩的控制结构来分，电控罗经也可分为两种类型：一种是利用电磁力矩器对陀螺仪施加力矩，例如DH型、SKR型系列；另一种是利用弹性扭丝(杆)对陀螺仪施加力矩，例如阿玛勃朗型、CLP型、JYJD型、韦加型系列等。

本篇是在学过陀螺罗经指北原理的基础上，简要介绍电控罗经原理中有关指北的实现以及舰船运动对罗经的影响及消除方法，并以国产DH-III型电控罗经为例，较为系统的介绍其结构组成、各系统工作过程、使用及维护保养等知识，对国产JYJD-II型、CLP-2型电控罗经仅对其结构组成、作用、主要系统工作过程以及使用等知识作一简介。

第一章 电控罗经原理简介

电控罗经是一种能够水平且稳定地指在地球子午面内的指北仪器。其基本原理结构如图1·0·1所示，核心部件是陀螺仪、电磁摆和力矩器等。陀螺仪一般做成球形，并具备二自由度。电磁摆用以检测陀螺仪主轴相对于水平面倾斜角的大小和方向，并能输出相应的电讯号，用以控制陀螺仪主轴的旋进规律。力矩器分为水平力矩器和垂直力矩器，是分别用来向陀螺仪施加水平和垂直方向力矩的执行元件。力矩器的输入量为电讯号，输出量为机械力矩，用以控制主轴旋进。由于输入力矩器的电讯号易于控制，因此，只要适当地向力矩器中施加一定规律的电讯号，就能方便地实现电控罗经中的罗经工作状态和方位仪工作状态。另一方面，在电控罗经中具有规律性的误差也易于补偿。

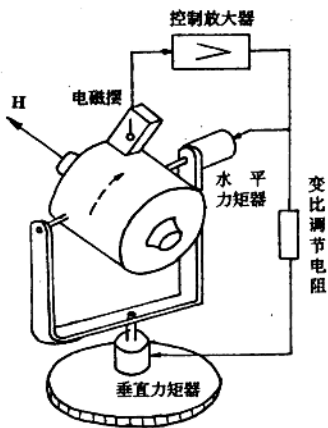


图 1·0·1 电控罗经基本原理结构

第一节 罗经与方位仪工作状态的实现

一、罗经工作状态的实现

罗经工作状态指的是陀螺仪主轴具有自动找北、最终指向真北的功能。从陀螺罗经原理中知道，自由陀螺仪主轴要实现自动找北指北，必须外加三种力矩：一是抵消有害惯性力矩的控制力矩 $k'yI\alpha$ ($k'yI\alpha = H\omega_{ex}$ ，电控罗经中也称为纬度补偿力矩)，二是找北力矩 $-ky\theta$ ，三是阻尼力矩 $Kz\theta$ 。在这三种力矩以及地球自转引起的指向力矩 $\vec{H} \times \vec{\omega}_e$ 共同作用下，陀螺仪主轴将作阻尼运动，最终实现水平指北。

电控罗经中，实现上述三种力矩的基本方法如图1·1·1所示，电磁摆敏感陀螺仪主轴高度角 θ ，并输出与高度角成正比的电压信号 e_θ ，经过控制放大、变比调节，输出与高度角成正比的电流信号 $I_{找}$ 和 $I_{阻}$ ，分别送水平力矩器产生找北力矩 $-ky\theta$ ，送垂直力矩器产生阻尼力矩 $Kz\theta$ ；控制力矩 $K'yI$ ，则是由解算装置根据纬度信号解算相应电流 I ，送水平力矩器产生。

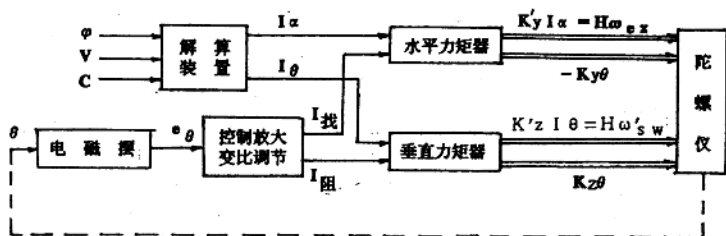


图 1·1·1 陀螺施加力矩的产生方法

罗经工作状态，在一般航行条件下，指北比较稳定可靠，精度也较高，是电控罗经中常用的一种工作状态，但指北精度与纬度有关（与指向力矩 $\vec{H} \times \vec{\omega}_e$ 中 $\omega_{ex} = \omega_e \cos \phi$ 的大小有关），在高纬度区（一般在纬度 80° 以上），由于 $\omega_e \cos \phi$ 太小，导致指向力矩太弱，罗经失去指北能力。所以，高纬度区，罗经工作状态不能用。

二、方位仪工作状态的实现

方位仪工作状态也叫航向指示器状态。方位仪工作状态时，在陀螺仪y轴上只外加了一个随纬度而变的纬度补偿力矩，以抵消地球自转引起的有害惯性力矩，不再外加找北力矩；在陀螺仪的Z轴上，仍外加有阻尼力矩，该阻尼力矩比罗经工作状态要大，阻尼力矩使主轴恢复并保持在水平位置。这样，陀螺仪主轴只能相对于地球稳定在起始时的某一水平方向上，不具有自动找北指北能力。因此，方位仪工作状态时，必须在启动罗经时人为地将陀螺仪主轴设定在真北方向上，从而使航向刻度盘指示舰艇的真航向。鉴于此特点，方位仪工作状态在以下三种情况时适用，这时方位仪工作状态的绩效比罗经工作状态好。

1、舰艇机动频繁时

舰艇机动频繁时，电磁锥会频繁地受到惯性力的干扰而输出假俯仰信号，但在方位仪状态时，摆信号只起控制主轴水平（施加垂直力矩）的作用，故不会在方位上对主轴的指向产生干扰。

2、高纬度航行时

因为方位仪状态不是靠指向力矩来找北指向，而是靠人工设定来指北的，所以不论纬度的高低，其指向性能可以认为是一样的。

3、仪器紧急启动，需要立即投入使用

由于方位仪状态在启动陀螺后，靠人工设定可以迅速指北（方法是使罗经航向=真航向）。此时在较大的阻尼力矩作用下，可在较短的时间内把主轴压向水平即可使用。该状态比罗经状态自动找北指北的时间要短得多。

方位仪工作状态时，陀螺本身不具有找北能力。因此，除要求在启动罗经时必须精确设定主轴起始指北方向外，还要考虑到陀螺又难免受构造上不平衡以及其它某些干扰力矩的影响而产生漂移。所以方位仪状态工作时，一般只是短时间地使用，若较长时间使用，则必须借助外界条件定时测定其指向误差，并及时修正主轴的方向，以免指向误差过大而影响航海工作。另外，在高纬度长时间东、西向航行时，若采用方位仪工作状态，仪器将有明显的航行误差（见[注]），要及时重调修正。

[注]关于“方位仪”工作状态时的航行误差

因为在“方位仪”状态时，仪器不具有自动找北的能力。这样，当舰艇东、西向航行时，由于地球是圆形的，子午线逐渐向两极收敛，即使主轴在起始时是指北的（如图1·1·2中的A），随着舰艇向东航行，陀螺主轴将会逐渐偏离真北而出现误差（如图1·1·2中的B）。这种误差称为航行误差（ Δ ）。显然，在北纬向东航行时， Δ 偏东，航程越长（速度越高并航行时间越长时）则偏东越多；向西航行时， Δ 是偏西的。纬度越高，误差也就越明显；在赤道上， Δ 为零；单纯的南、北航向则不会引

起航行误差。通过数学证明，可求得计算每小时航行误差的公式是 $\Delta = \frac{V}{R_e} \text{tg} \phi$ 。

式中， R_e 是地球半径。一般在 $\phi < 40^\circ$ 的海区，东、西航程又不长时， Δ 不大，可不加考虑。在高纬度时，航行误差就应引起注意，这就要求定时测定罗经差并进行修正（用“精测”法或在罗盘读数中扣除）。可以算得当 $\phi = 40^\circ \text{ N}$ ， $V = 35$ 节，航向为 90° 时。航行误差 Δ 为 $+0.5$ 小时。

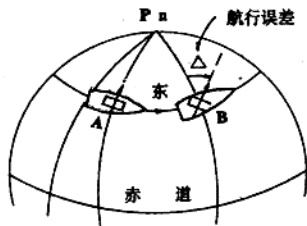


图 1·1·2 东向航行引起主轴指北误差

第二节 舰船航行引起的误差及消除

舰船在海上航行一般分为等速航行状态和变向变速航行状态，这两种航行状态对陀螺罗经稳定指北是有影响的，将使主轴指北产生误差。

一、等速航行引起指北误差及消除

从陀螺罗经指北原理中已经知道，舰船在海上等速航行时，将以角速度 ω_s 带着罗经基座一起在地球表面上作圆运动。在主轴已水平指北的情况下， ω_s 将对陀螺仪产生惯性力矩 $M'y$ 与 $M'z$ ，其大小如下：

$$M'y = H\omega_s = H \frac{V_s}{R} \text{tg} \phi = -H \frac{V \sin C}{R} \text{tg} \phi$$

$$M'z = H\omega_s = H \frac{V_s}{R} = H \frac{V \sin C}{R}$$

其中： $M'y$ 是舰船等速航行时东向速度产生的 ω_e 引起的，力矩在水平东或西的方向上； $M'z$ 是舰船等速航行时北向速度产生的 ω_n 引起的，力矩在垂直方向上。图1·2·1中画出了 $M'y$ 与 $M'z$ 均为正向情况下的力矩方向。

舰船等速航行时，由于产生了 $M'y$ 与 $M'z$ ，此时陀螺仪主轴将不能稳定在水平指北位置处，而要偏离真北。偏离真北方位角的大小即为等速航行时引起的指北误差。在小型电控罗经中，由于指北精度要求稍低，通常忽略了 $M'y$ 的影响（ $M'y$ 总是甚小于地球自转产生的有害惯性力矩 $-H\omega_e$ ，所以将其忽略），而认为该指北误差主要是由 $M'z$ 的影响而产生，即是舰船北向速度引起的。图1·2·2画出了忽略 $M'y$ 且 $M'z$ 垂直向上时主轴的稳定位置 O_1 ，其中 O_1 与真北在方位上的夹角 α 即为等速航行引起的指北误差（通常也称为速度误差）。其大小为：

$$\alpha = \frac{V \cos C}{R \omega_e \cos \phi}$$

该误差的大小与纬度、速度、航向有关，式中 R 为地球半径， ω_e 为地球自转角速度。

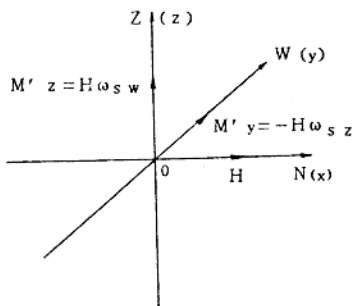


图 1·2·1 等速航行产生的惯性力矩

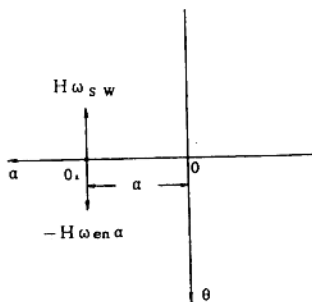


图 1·2·2 等速航行主轴指向

为了消除等速航行引起的指北误差，在小型电控罗经中，通常均采用内补偿的方法来抵消 $M'z$ 的影响，即在垂直方向产生一力矩抵消 $M'z$ 。在电控罗经中，产生该力矩的方法如图1·1·1所示，只需根据速度和航向，通过解算装置向垂直力矩器送入一电流讯号 I ，垂直力矩器产生一垂直力矩 $K'zI$ （量值为 $H\omega_e$ ，方向与 $M'z$ 相反），便可抵消 $M'z$ 的影响。抵消 $M'z$ 后，主轴仍水平指北。

二、变向变速航行引起惯性误差及消除

在电控罗经中，舰艇变向变速航行时加速度引起的惯性力 $\vec{F} = -m\vec{a}$ 将使电磁摆中摆锤偏离铅垂位置，这就相当于陀螺主轴上仰或下俯一个角度，使电磁摆输出一个相应 θ 角的假俯仰信号。加速度大，俯角 θ 也大，输出信号也大。当加速度停止时，摆锤并不立刻回到铅垂位置，而是会摆动，摆输出的信号也变动。电磁摆输出的信号，经过放大以后，水平、垂直力矩器会产生力矩作用在陀螺仪上，使主轴旋进，从而使电控罗经产生指北误差。这一误差称为惯性误差。

为了防止舰艇变向、变速时产生惯性误差，电控罗经中可采取以下几方面的措施：一是限幅及断摆。主要是对摆信号采用限幅措施，以减小过大的假俯仰信号对罗经工作的干扰。此外，当舰艇加速度急剧，电磁摆输出的假俯仰信号超过一定强度时，电路中自动把摆信号切断，待加速度减小，摆信号正常后再自动恢复控制。二是对电磁摆实施强阻尼，即在电磁摆盒中充满粘性很大的硅油。当舰艇变速、变向时间不长，或者受到剧烈的振动，电磁摆上惯性力作用的时间并不很长，摆在硅油的阻力影响下，偏离的夹角很小。因此，摆输出的假信号也不大，对罗经的影响也不大。另外，对摆锤采用硅油强阻尼后，可使电磁摆的自然摆动周期远大于舰艇摇摆周期，以防止电磁摆与舰艇摇摆之间谐振。三是转换成“方位仪”工作状态。当舰艇频繁变向、变速时，可将仪器暂时转换到“方位仪”状态工作，这也可以避免电磁摆的假俯仰信号对它的指北影响。

第二章 DH—III型电控罗经

DH—III型电控罗经属于国产DH系列产品，是一种军用的小型电控罗经，具有双态工作方式。其主要性能如下：

1、罗经工作状态精度：

静止基座 $\pm 0^{\circ}.5 \times \text{sec } \phi$

匀速航行 $\pm 0^{\circ}.8 \times \text{sec } \phi$

机 动 $\pm 1^{\circ}.0 \times \text{sec } \phi$

2、方位仪状态静基座漂移： $< \pm 0.^{\circ} 8 / \text{小时}$

3、方位仪状态机动航行漂移： $< \pm 1.^{\circ} 0 / \text{小时}$

4、启动稳定时间：2小时

5、工作状态：双态

6、适用纬度： $0^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{ S, N}$ ， 70° 以上可用方位仪状态。

7、适用速度： $0 \sim 60$ 节

8、陀螺仪电源：115伏400周三相

9、陀螺仪转速：12000转/分

10、陀螺仪寿命： > 10000 小时

11、氟油工作温度： 50°C ， 56°C 报警

12、平均故障时间间隔： > 2000 小时

13、可带复示器数：12路

第一节 组成及基本结构

DH—III型罗经整套设备由主罗经、同步发送箱、状态控制箱、中频电源箱、应急电源箱和分罗经等组成，图2·1·1是DH—III型罗经配套组成图。

一、主罗经

主罗经是整套仪器的主要部分，它与状态控制箱联接后，可完成仪器的基本功能。从结构上看，主罗经可分为上、中、下三部分，上面是罗经桌部分，中间为陀螺仪及支承系统，下面为底座组件，如图2·1·2所示。

罗经桌上主要有面板组件及随动(跟踪)放大器和控制放大器、参数调节线路板、航向刻度盘、方位伺服(跟踪)电机、粗精同步发送机、指示及照明灯等，如图2·1·3所示。该图为主罗经桌面上的俯视图。

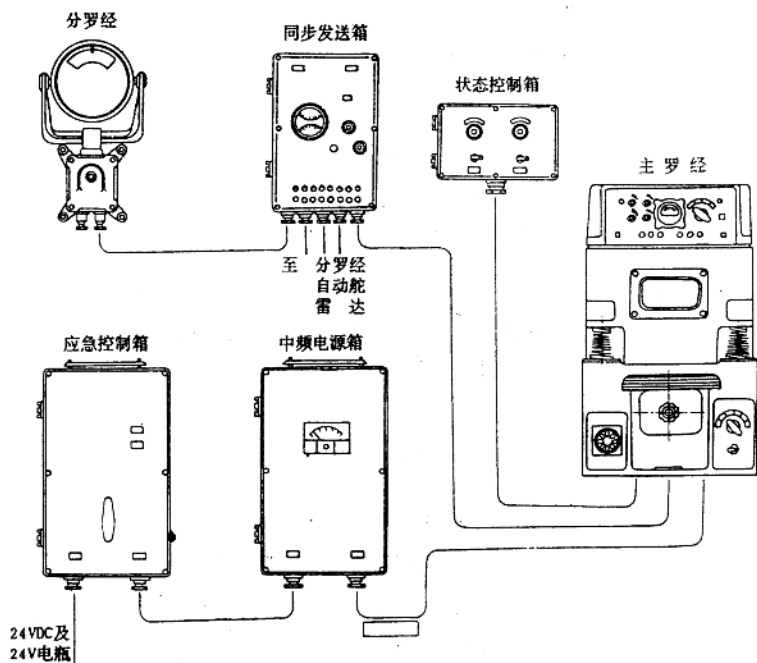


图 2·1·1 DH-III型罗经组成

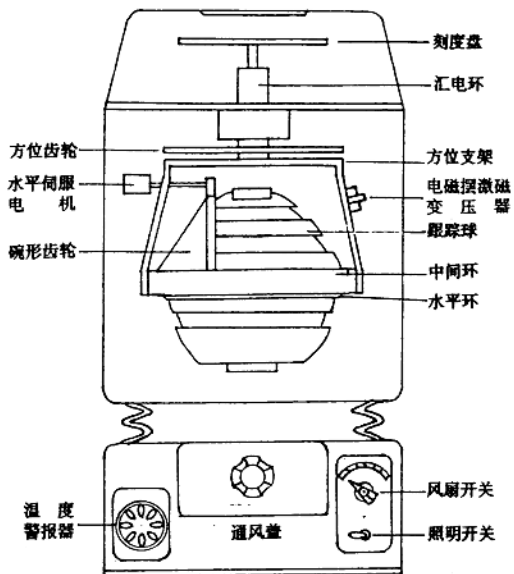


图 2·1·2 主罗经

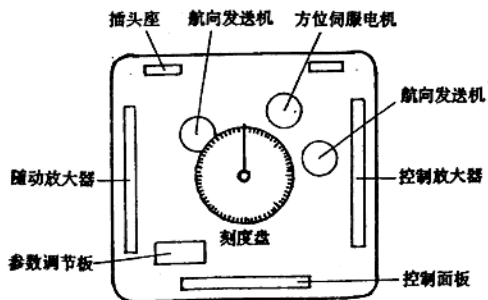


图 2·1·3 主罗经桌面

面板组件上有：操作开关、水平指示灯、二只精调按钮（按下后可向水平力矩器施加电流，控制主轴在方位上旋进，用以精校主轴指向）、二只粗调按钮（按下后可控制跟踪球在方位上转动。在启动陀螺前，用以初始校正主罗经航向）、陀螺电机三相电源保险丝、线路部分电源保险丝及各种指示灯（电源指示灯、延时指示灯、陀螺球加温指示灯、罗经状态指示灯、方位仪状态指示灯等），如图2·1·4所示。在启动仪器时，当延时指示灯亮后，说明陀螺马达启动完毕（转速已正常）。

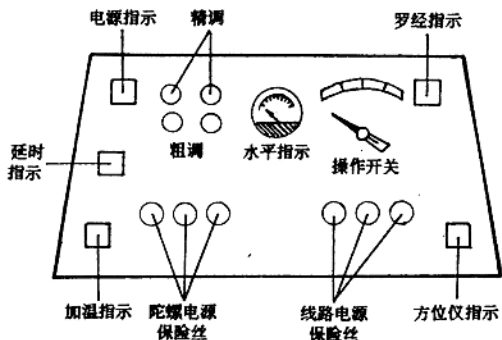


图 2·1·4 主罗经操作面板

主罗经的中部，是陀螺仪及支承系统，也是主罗经的最关键部分。主要有方位支架、水平环、跟踪球及陀螺球等。在方位支架上有方位齿轮、水平伺服电机、电磁振荡磁变压器等，在水平环上有水平碗形齿轮等。

底座中间有通风口盖，内有风扇电机。通风口盖的右侧有风扇开关与照明灯开关，左侧装有温度报警器。底座与中间部分相连的四角处有减振器。另外在壳体的中间有一上通风口盖等。

1、陀螺球是陀螺罗经的核心部件，它直接关系到罗经的精度、稳定性及工作寿命。陀螺球是一个密封的球体，如图2·1·5所示，球内装有一个陀螺电动机，陀螺电动机用115V400Hz三相电驱动，转速为12000转/分。为了减少转子旋转时的阻力并更好地散热和防止球内金属及润滑油氧化，还将球内空气抽净充以氢气。在球内南北两端各装有一个电磁铁组合件，其中的永久磁钢可以配合跟踪球上的力矩线圈，对陀螺施加水平或垂直力矩。在永久磁钢上还绕有激磁线圈，通入115V400Hz交流电后，产生交变磁通，可以使跟踪球上的信号线圈，感应产生方位及水平跟

踪信号。

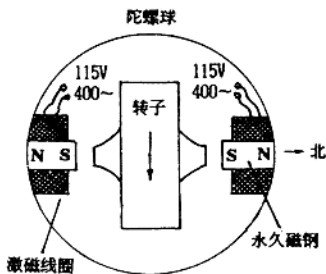


图 2·1·5 陀螺球

在陀螺球的上下两端都装有短轴，插入垂直环所对应的宝石轴承内。这样，陀螺球可在垂直环内作旋回运动。垂直环通过水平轴支承在跟踪球内，使垂直环连同陀螺球一起，在跟踪球内作俯仰运动，如图 2·1·6 所示。

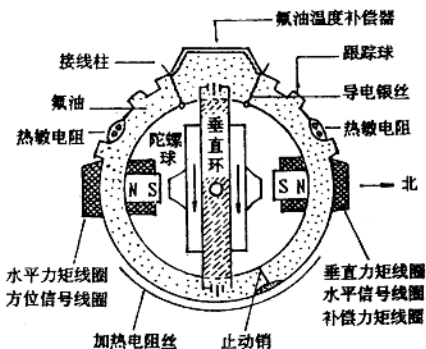


图 2·1·6 跟踪球与陀螺球结构关系