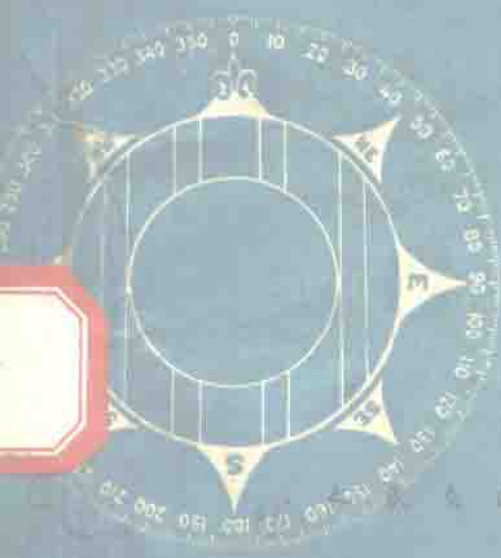


实用磁罗经自差测定与校正

第七金 磁罗经



人民交通出版社

实用磁罗经自差测定与校正

鄢天金 編著

人民交通出版社

01128/54
本書主要內容是闡述船舶磁羅經自差的產生原因、自差變化規律、自差測定和實際校正方法。

作者結合實際羅經校正經驗，着重介紹普遍適用的較準確的測自差和校正自差的方法，並提出簡便的校正記憶口訣。

本書主要供廣大海洋船舶駕駛員，海軍航海人員掌握與提高羅經校正技術，也可以供羅經校正師，海運院校船舶駕駛專業師生等參考。

實用磁羅經自差測定與校正

鄒天金 編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人民交通出版社印刷廠印刷

*

1965年8月北京第一版 1965年8月北京第一次印刷

開本：850×1168₃₂ 印張：3¹/₂張 插頁3

全書：90,000字 印數：1—1,300冊

統一書號：15044·5319

定價(科六)：0.65元

目 录

序 言	3
第一章 罗經校正前的檢查	5
§1 方位圈檢查	5
§2 罗經基綫安裝的准确性	5
§3 罗盘灵敏度	6
§4 罗盆空气泡的消除和漏水檢查	6
第二章 地磁場、磁鉄的磁場	7
§1 地磁場	7
§2 磁鉄的磁場强度	8
§3 造船材料的磁性質	10
第三章 船平正时产生的自差	11
§1 座标系統	11
§2 地磁力对罗經的作用	11
§3 船上硬鉄对罗經的作用力	12
§4 船上軟鉄对罗經的作用力	13
§5 泊松方程	17
§6 用特殊位置的軟鉄杆表示各軟鉄系数	18
§7 三个硬鉄力与九个軟鉄系数的一般符号与大小比較	22
§8 磁子午綫及垂直于磁子午綫的綫上的投影力	26
§9 罗盘平面上的作用力	30
§10 各自差力产生的自差与船航向和磁緯度的关系	37
§11 自差公式	42
第四章 傾斜自差	43
§1 橫傾自差力和橫傾自差公式	43
§2 橫傾自差性質	46
第五章 自差測定和自差表計算	47

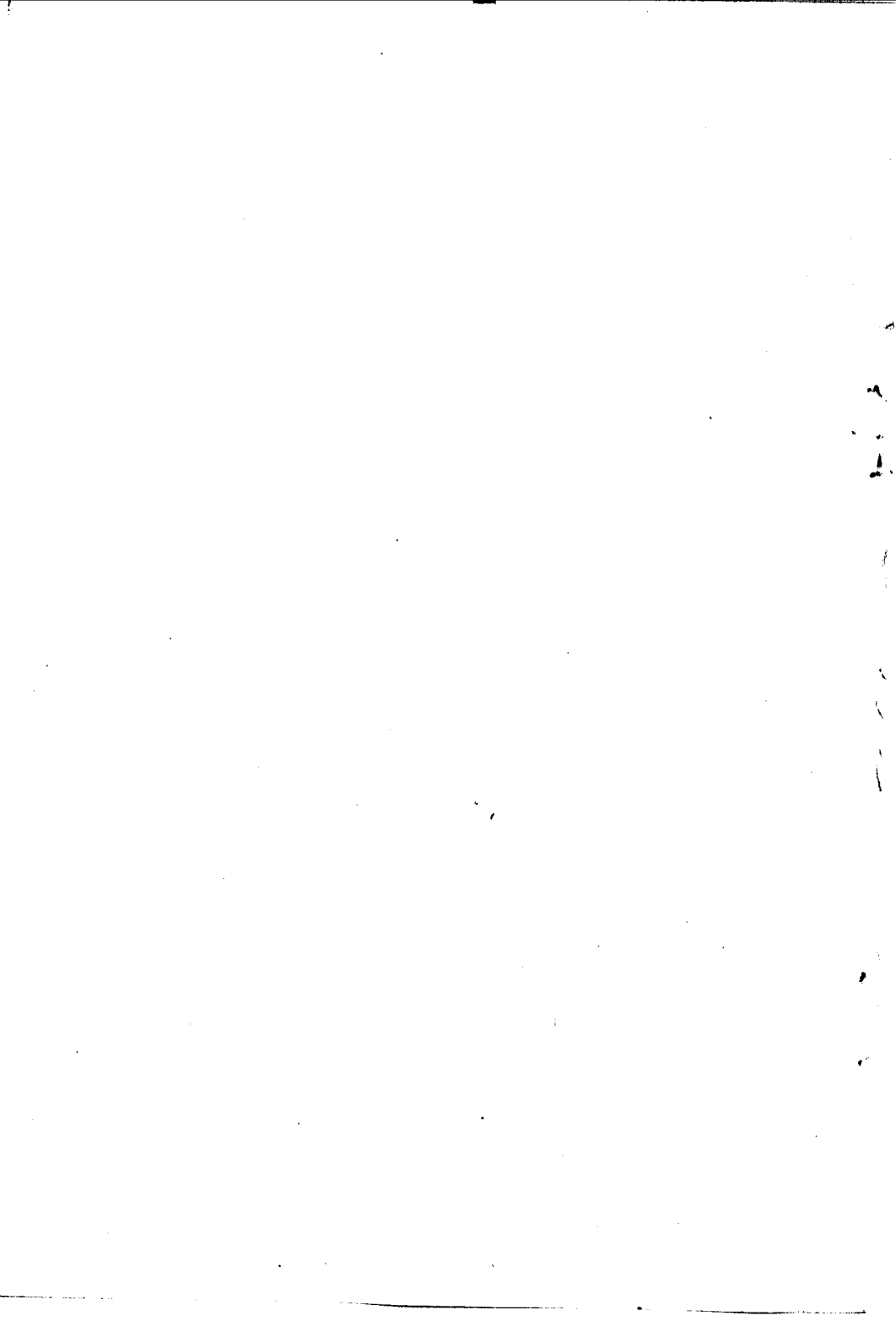
§ 1	自差測定方法	47
§ 2	計算自差系数	54
§ 3	由五个自差系数計算航用自差表	58
§ 4	近似計算自差系数的公式	60
第六章	自差的校正	60
§ 1	校正自差的必要性	60
§ 2	校正自差的原則	62
§ 3	傾斜自差的校正	62
§ 4	傾斜自差校正方法	63
§ 5	半圓自差的校正原理	65
§ 6	將船駛向磁航向的方法	70
§ 7	軟半圓自差力 cZ 的抵消	72
§ 8	佛氏鉄长度与 $\frac{c}{\lambda}$ 值的关系图表	74
§ 9	象限自差校正	76
§ 10	象限自差校正的原理与方法	78
§ 11	各种校正軟鉄对 λ 值的影响及其选择	80
§ 12	恆定自差系数 A 的处理	81
§ 13	感应自差	84
§ 14	无感应自差磁罗經	87
§ 15	校正自差程序	89
§ 16	校正自差的准备工作与实际步骤	91
§ 17	介紹一些实际校正中的快速动作規則	95
§ 18	不裝在首尾綫上特殊船罗經的自差校正方法	97
§ 19	λ_2 值的測定	102
§ 20	自差的变化	104
附录	磁罗經的保管和使用	107
附表一	罗經与周围鉄件及电磁源的最小距离表	108
附表二	罗經作用力及其自差校正表	插頁
附表三	角距与正弦函数乘积表	109

序 言

磁罗經由于結構簡單，不易損壞，可靠性強，所以在現代航海中仍為主要導航儀器之一。近代船舶大多是由鋼鐵造成的，它形成了磁體，對羅經產生了自差。未經校正過的羅經自差，大者達到幾十度，會使羅經無法正常工作。

為了保證航海安全與防止海損事故發生，對磁羅經誤差必須給予一定的注意。掌握測定自差的方法和校正自差方法，就成為我國航海員駕駛船舶的基本技能之一。

鑑於以往出版的一些羅經校正書籍，對於實際校正缺乏系統的闡述，理論與實際也缺乏緊密配合等缺點，因此作者盡力從我國羅經校正實際和航海員的條件與需要出發，圍繞測自差、校正自差法，深入淺出地闡述磁力分析，自差校正，同時提出了一些較理想的實際校正口訣，以幫助校正時有条不紊與加快校正速度。



第一章 罗經校正前的檢查

罗經校正前的檢查，是保証罗經校正的順利进行和減小剩余自差的必要步驟。

§ 1 方位圈檢查

方位圈不准确，会引起罗經的固定自差。在船上檢查方位圈照准面，应在船停泊碼頭不动的情况下，以方位圈对准任一罗經舷角圈度数，观测照准面所对的罗經方位讀数。然后将方位圈轉到与前一舷角讀数相差 180° 的方向上，再观测照准面所对的罗經方位讀数，这个罗經方位讀数也应与前一罗經方位讀数相差 180° 。

檢查太阳照准面时，应在上述物标照准面檢查正确后，利用物标照准面观测太阳的罗經方位，继而用太阳照准面测太阳的罗經方位。用不同照准面同时观测太阳的罗經方位应相等。

§ 2 罗經基綫安装的准确性

罗經的首基綫是指示船舶航向的标綫。造船厂安装罗經，經常不是准确地安装罗經首基綫于船首尾綫，或平行于船首尾綫，这样罗經不仅在航行中产生航向偏离，而且在以航向比対求自差的罗經校正中，会使操舵罗經产生固定自差系数 A 。

一般运输船舶的罗經均安装在船首尾綫上。檢查罗經首基綫安装是否正确，其方法如下：当船平正时，以方位圈照准面对准罗經首基綫后，从方位圈照准面观测照准綫是否对准前桅杆中綫。若照准綫不与前桅杆中心綫重合，可旋松罗經柜的底脚螺絲，将罗經柜旋轉，使照准綫对准前桅杆的中心綫。

龙門桅或人字桅的船上，应以方位圈观测龙門的左右杆或船上左右对称杆，所观测左右杆的舷角应相等，即基綫在船的首尾

綫中。

§ 3 罗盘灵敏度

罗盘为磁罗經的灵敏元件，因而軸針与軸帽之間的摩擦力矩应为最小，在我国地磁水平分力作用下，其停滞应小于 $0^{\circ}2$ 。

在船上检查罗盘灵敏度方法是：当船固定于碼頭，且船上及附近岸上机械不工作时，准确記下基綫所指的罗盘航向。用一小磁鉄或鉄器吸引罗盘从原来平衡位置向左引偏 $2\sim 3^{\circ}$ 后，取去小磁鉄或鉄器，观测罗盘是否回到原位置（即航向讀数与原航向相同）。然后向右引偏 $2\sim 3^{\circ}$ ，再視其是否回到原位置。若与原航向讀数不同，表示軸針或軸帽有磨損，但允許与原航向讀数相差不大于 $0^{\circ}2$ 。

§ 4 罗盆空气泡的消除和漏水检查

罗盆产生空气泡的原因不外两种：一是由于罗盆中液体遇冷收縮，周围不水密而产生；或是罗盆內固有气泡从气室內逸出。气泡对航向和方位观测都会产生誤差，必須予以消除。

检查水密时，可先将罗盆从罗經柜中取出，将注液孔朝上，打开注液孔的螺絲，检查注液孔水密垫圈后，用咀吸气，視玻璃盖透視盆內液体中有否气泡魚貫产生，有則表明不水密，魚貫出水泡处即不水密地方。若无魚貫气泡产生，可注入45%酒精和55%蒸餾水的混合液。在未注入新混合液前，应从罗盆內取出一些原液体与新液体混合，經過一段時間后，确定仍为透明无色后，始可注入新液体。如果罗盆內液体蒸发或流失过多，則在注入液体以前，应检查余存液体的比重，由于酒精的揮发比水快，往往余存的液体中水分太多，比重过大。配制液体切忌使用自来水。

第二章 地磁坊、磁鉄の磁坊

§ 1 地 磁 場

地球好像一个均匀磁化球体，它的磁化軸接近于地球旋轉軸。实际觀測指出，地磁极是处于地球的深处。两极在地球表面投影的地理座标在1950年是：

北磁极 北緯 72° ，西經 96° ；

南磁极 南緯 70° ，东經 150° 。

地磁极的地理位置不是固定的，而是年年緩慢变化着的，因而各地区的磁差在海图上都标明年变量。在南半球的磁极附近集中的是正磁量（即磁鉄的指北极性），而在北半球的磁极附近集中的是負磁量（即磁鉄的指南极性）。因此，围绕地球空間的地磁磁力綫是从南走向北的，见图 1。

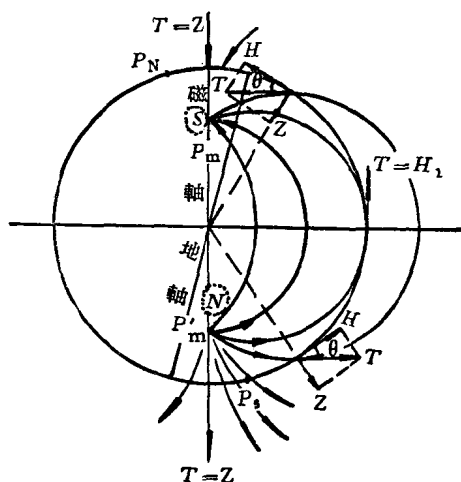


图 1

地球的磁場很容易用一根磁針來發現的。地磁場在地球深處或水下也同樣存在。

地面任意一點的地磁場方向，可以由一根自由懸挂的磁針指向（即地磁總力 T 的方向）來測定。通過磁針軸的垂面，稱為該地的“磁子午面”。磁子午面與地理子午面的水平夾角，稱為“磁差”。

將力 T 分解為水平分量 H 和豎直分量 Z ，如圖 2，即得

$$\left. \begin{aligned} T^2 &= H^2 + Z^2 \\ H &= T \cos \theta, \quad Z = T \sin \theta \\ \frac{Z}{H} &= \operatorname{tg} \theta \end{aligned} \right\} \textcircled{2-1}$$

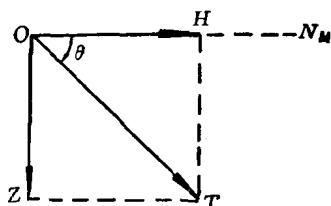


圖 2

水平分量 H 和總力 T 之間的夾角 θ ，稱為“磁傾角”。在北半球， θ 角在水平之下，豎直分量 Z 指向下，認為 $+Z$ ；在南半球， θ 角在水平之上，豎直分量 Z 則指向上，認為 $-Z$ 。

磁羅經能够指北乃是由于地磁水平分量 H 的作用。

在海圖或地圖上將數值相同的地磁要素的地方連成等值綫，這種圖稱為“地磁要素圖”。磁差的等值綫圖稱為“等磁差綫圖”，如圖 3。水平和豎直分量的等值綫圖稱為“水平等力綫圖”和“豎直等力綫圖”，如圖 4 和 5。

磁傾角等值連綫圖稱為“等傾綫圖”，等傾綫是由磁赤道南北兩邊走向兩磁極，傾角是由 0° 變到 90° 所形成的一系列平行曲綫，相應稱為“磁緯度”。零值等傾綫（即零值豎直力綫）稱為“磁赤道”。因而在磁赤道上 $Z=0$ ， H 最大值为 0.4 奧。

§ 2 磁鐵的磁場強度

一、磁鐵的磁軸延長綫上的磁場強度

設有單位正磁量位於具有正磁量 $+m$ 和負磁量 $-m$ 相距為 $2l$

的磁鉄軸 NS 延長綫上 O 点, 該点与磁鉄中心的距离为 $OO_1=r$, 見图 6。

按庫伦定律, 由磁鉄 N 极的作用力为

$$f_N = + \frac{m}{(r-l)^2};$$

由 S 极的作用力为

$$f_s = - \frac{m}{(r+l)^2}。$$

作用于 O 点的合力为

$$\begin{aligned} H_1 &= f_N + f_s = \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} \\ &= m \left[\frac{r^2 + l^2 + 2rl - r^2 - l^2 + 2rl}{(r^2 - l^2)^2} \right] = \frac{4rlm}{(r^2 - l^2)^2} \\ &= \frac{4rlm}{r^4 \left(1 - \frac{l^2}{r^2}\right)^2} = \frac{4lm}{r^3 \left(1 - \frac{l^2}{r^2}\right)^2} = \frac{2M}{r^3} \left[1 - \frac{l^2}{r^2}\right]^{-2}。 \end{aligned}$$

上式中 $M=2ml$, 即磁鉄一极的磁量 m 乘以两极的距离 $2l$, 称为磁鉄的磁矩。

若磁鉄的半軸长 l 远小于 r 时, 致 $\frac{l^2}{r^2}$ 項可略而不計, 使得

$$H_1 = \frac{2M}{r^3}。 \quad (2-2)$$

H_1 的指向为 SN 的方向。罗經柜中垂直磁鉄对罗經中心的 作用力, 則属于这种。

二、磁軸中点垂直綫上的磁場強度

如图 7, 磁鉄 N 极对 O 点的作用力 f_N 等于 S 极对 O 点的作用力 f_s , 它們的合力 H_2 平行于磁鉄軸, 因为力 f_N 和 f_s 在垂直綫上的投影互相抵消。



图 6

由图 7 得

$$H_2 = 2f_{N,s} \cos \alpha,$$

因 $\cos \alpha = \frac{l}{\rho}$ 和 $f_{N,s} = \frac{m}{\rho^2}$, 代入上式中, 得

$$H_2 = \frac{2ml}{\rho^3},$$

从图上知

$$\rho = \sqrt{r^2 + l^2},$$

则

$$\rho^3 = (r^2 + l^2)^{\frac{3}{2}},$$

因而

$$H_2 = \frac{M}{r^3} \left(1 + \frac{l^2}{r^2} \right)^{-\frac{3}{2}}.$$

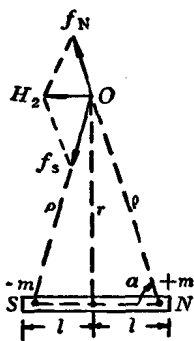


图 7

当 $l \ll r$, 致 $\frac{l^2}{r^2}$ 可略而不计, 则

$$H_2 = \frac{M}{r^3}. \quad (2-3)$$

以这个公式与式 (2-2) 比较看出, 在相同的条件下, 不同位置的磁场强度相差一半。 H_2 的方向平行于磁铁轴且指向于 S 端。罗经柜中纵横校正磁铁对罗经中心的作用, 即属于这一种情形。

§ 3 造船材料的磁性质

非磁性材料对罗经不产生任何作用, 因此这里只讨论造船材料中对罗经有影响的铁磁性材料, 包括硬铁和软铁, 由于它们的存在而产生了罗经自差。

硬铁材料一经磁化就会长久保持恒定的磁性, 在相当长的时期内, 它不随地磁场 (弱磁场) 的作用而改变其磁性。

软铁材料随地磁场的磁化作用很快地获得磁性, 而且磁性很快地随着地磁场的大小和相对方向的变化而改变。

第三章 船平时产生的自差

現代船舶均由鋼鐵造成的，船鐵被地磁力磁化之后成为磁体，也就是說在造船材料中有硬鐵和軟鐵两类，都能受到地磁的磁化而成为磁体，这磁体对罗經的作用力称为“船磁力”，罗經在船磁力的作用下产生了“自差”。

研究自差产生原因，就必须从地磁力、硬鐵船磁力和軟鐵船磁力三者对罗經的作用进行分析。

由于自差的大小和正負（东西自差）是与航向、船所在的緯度以及船是否傾斜均有关系。本章只討論当船平时自差产生的原理。

§ 1 座 标 系 統

我們在力学中知道，不論作用力是如何复杂，若能設定一个座标系統进行分析就較为简单了（图 8）。

以罗盘中心作为座标的原点。

以船首尾綫作为纵軸—— x 軸，指向船首为 $+x$ 軸，指向船尾为 $-x$ 軸。

以垂直于船首尾綫的左右舷連綫为横軸—— y 軸，指向右舷为 $+y$ 軸，指向左舷为 $-y$ 軸。

以垂直于甲板平面的直綫为垂軸—— z 軸，指向下的为 $+z$ 軸，指向上的为 $-z$ 軸。

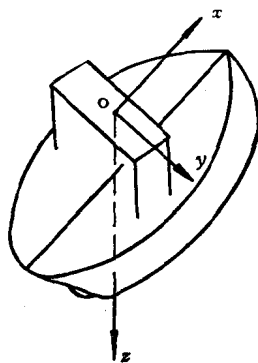


图 8

§ 2 地磁力对罗經的作用

我們在第三章§1中知道，地磁总力 T 可分解为地磁水平分力

H 和地磁豎直分力 Z 。作用于罗經的这两个力根据我們所設定的座标, 在座标軸上的投影, 见图 9, 应为

$$\left. \begin{array}{l} x \text{ 軸上 } X = H \cos \psi \\ y \text{ 軸上 } Y = -H \sin \psi \\ z \text{ 軸上 } Z = Z \end{array} \right\}, (3-1)$$

式中: X —— H 在 x 軸上的投影力;

Y —— H 在 y 軸上的投影力;

ψ ——船的磁航向。

H 力和 Z 力是随磁緯度而变的, 它們作用于罗經不产生自差。在一个地点 H 和 Z 力的大小是不变的, 但 H 投影到 x 軸 和 y 軸 上的投影力 X 和 Y 是随船的航向而改变的。

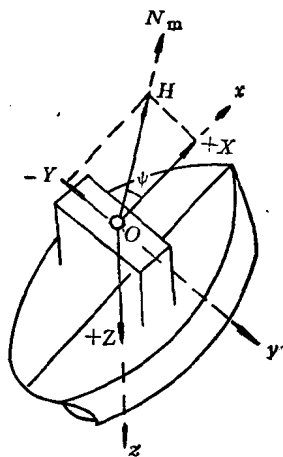


图 9

§ 3 船上硬铁对罗經的作用力

硬铁磁性大部分是船在建造时长期以一个方向停于造船台上, 由于造船时敲打, 铆接, 电焊等震动, 硬铁受地磁力的长期磁化而获得的。硬铁的特性在于被磁化后的磁性是固定而且較长时期內保留不变, 故亦称为“永久船磁”。設船上所有硬铁磁化

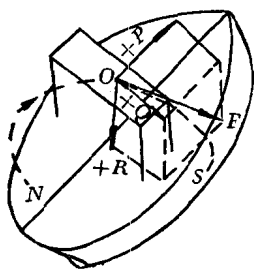


图 10

后的磁极对固定位置罗經的作用合力为 F , 见图10。此力的大小及相对于座标系的方向是固定的, 它不随航向与緯度变化。我們把 F 力分解到 x, y, z 軸上, 三个分力分别以 P, Q, R 表之, 即

x 軸上 P ——硬铁的纵向力;

y 軸上 Q ——硬铁的橫向力;

z 軸上 R ——硬铁的垂直力。

P, Q, R 的正負号决定于造船时的船首方向及罗經在船上安装的位置。凡分力投影与正軸方向相同者为正, 反之為負。

§ 4 船上軟鉄对罗經的作用力

軟鉄本身是沒有磁性的，它必須受地磁力的磁化后才成为有磁性的，这磁性才对罗經有作用磁力。因而，我們分两个步驟来討論軟鉄对罗經的作用力：一是軟鉄磁化；二是軟鉄磁化后对罗經的作用力。

一、軟鉄的磁化

船上有各种各样形状軟鉄制成的設備，为了研究上的方便起見，我們对無論什么形状的軟鉄都可以认为是由許多軟鉄細杆組成的。这样我們研究了一个軟鉄杆对罗經的作用力后，就可以对全部軟鉄求作用力。

軟鉄受地磁力 X 、 Y 、 Z 磁化过程中，有两点必須說明：

1. 若軟鉄杆的軸綫不与 X 、 Y 、 Z 力平行时，应把 X 、 Y 、 Z 力投影到軟鉄杆軸綫上来磁化軟鉄杆。如图11，水平軟鉄是受 $X \cos q$ 力磁化的。

2. 磁化后的磁极是在軟鉄軸的两端，磁力綫进入的一端呈 S 磁性极，出去的一端呈 N 磁极。磁极的磁量大小与外磁場 $X \cos q$ 成正比。

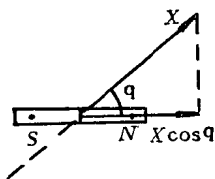


图 11

現在具体来研究船上有一任意放置的軟鉄杆，见图12，在軟鉄之一端点作座标 x' 、 y' 、 z' 各与罗經座标 x 、 y 、 z 平行。由于地磁力在船体范围内到处相等，所以地磁力在 x' 、 y' 、 z' 三軸上的投影亦为 X 、 Y 、 Z 。軟鉄杆不在 x' 、 y' 、 z' 的任一軸上，所以軟鉄杆应为 X 、 Y 、 Z 力在軟鉄軸上的投影力 X_2 、 Y_2 、 Z_2 所磁化。

$$\begin{aligned} \text{因} \quad & X_1 = X \cos q \\ & Y_1 = Y \cos(90 - q) = Y \sin q \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} X_1 &= X \cos q \\ Y_1 &= Y \sin q \end{aligned}} \right\} \quad (*)$$

$$\begin{aligned} \text{且} \quad & X_2 = X_1 \cos \beta, \\ & Y_2 = Y_1 \cos \beta. \end{aligned}$$

将式 (*) 代入上两式中得磁化软铁杆的磁化力:

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X \cos q \cos \beta \\ Y_2 &= Y \sin q \cos \beta \\ Z_2 &= Z \cos(90^\circ - \beta) = Z \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

二、软铁磁化后对罗经的作用力

这里我们分析上述各地磁投影力磁化软铁后对罗经的作用力。

1. 软铁受地磁纵力 X 或 X 的投影力而磁化者。

软铁杆受式 (3-2) 中 X_2 力磁化后, 如图12中, 近端出现 S 磁极, 另端出现 N 磁极, 这两个磁极对罗经有作用力, 这个作用

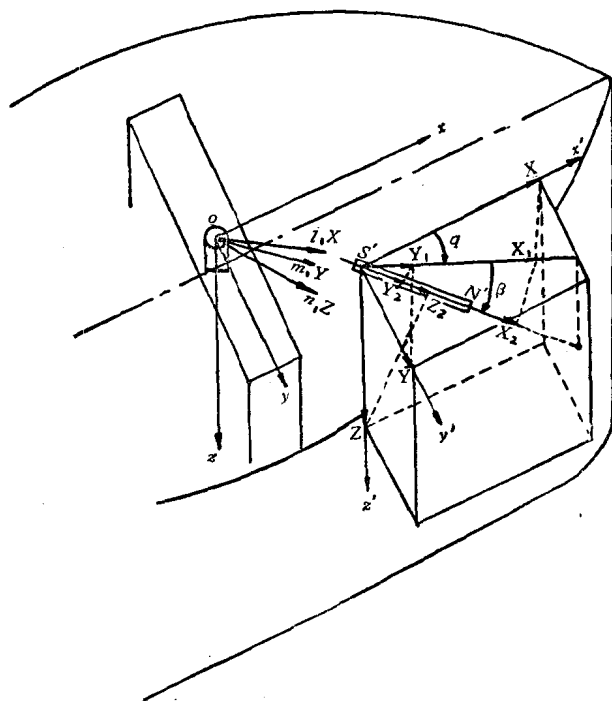


图 12