

326122

高等學校交流講義

电航仪器

上册

大连海运学院 编



人民交通出版社

高等學校交流講義

电航仪器

上 冊

(海洋船舶駕駛专业用)

大連海运学院 編

人民交通出版社

高等学校交流讲义

电 航 仪 器

· 上 册

大连海运学院 编

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1961年8月北京第一版 1962年1月北京第二次印刷

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 9 $\frac{1}{2}$ 张 插页5

全书: 231,000字 印数: 851-2,150册

统一书号: 15044·5273

定价(10): 1.65元

D05/1

本書系根据海运学院海洋船舶駕駛专业学生學習电航儀器的需要而編寫的。

全書共三篇，分上下二册出版。

上册包括第一篇回声測深儀以及第二篇中陀螺羅經理論和其它航海陀螺儀表理論基础。

下册包括第二篇中陀螺羅經的結構、电路和第三篇計程儀。

在下册未出版前，为适应教學需要，可暫采用大連海运学院中专部所編的“电航儀器”（中专本）作为参考。

本書由大連海运学院船电系电航儀器教研室集体編寫。

本書作为高等学校海洋船舶駕駛专业交流講义，亦可供交通部門有关专业人員工作或學習的参考。

希望使用本書的單位或个人，多多提出改進意見，逕寄大連海运学院，以便再版时修改。

目 录

绪 论	4
-----------	---

第一篇 回声测深仪

第一章 声波在水中的传播	8
第一节 声波的基本概念	8
第二节 声在海水中的传播	10
第三节 声压与声阻抗率	18
第四节 声功率与声强	21
第五节 声的反射与折射	23
第六节 声的曲射和绕射	29
第七节 声的干涉	30
第八节 声的吸收	33
第九节 回声测深的原理	34
第二章 船用回声测深仪的基本工作原理与结构	36
第一节 换能器	37
第二节 推动器	60
第三节 放大器	64
第四节 显示器	72
第三章 深度的测量	81
第一节 测量的误差	81
第二节 影响测深仪工作的其他因素	84
第四章 测深仪的安装	86
第五章 国产测深仪——“755”型	89
第一节 电路分析	90
第二节 指示器的结构分析	92

第三节	使用、調整与加油	94
第四节	故障及其排除法	99

第二篇 陀螺罗經及其他航海 陀螺仪表和裝置

第六章	陀螺仪的应用理論	101
第一节	陀螺仪的定义及其特性	101
第二节	陀螺仪的进动运动	104
第三节	陀螺反力矩	107
第四节	运量矩定律	111
第五节	陀螺仪运动方程式	113
第六节	陀螺仪运动的技术方程式	118
第七节	应用动静力学方法列出陀螺仪 运动的技术方程式	121
第八节	瞬时打击对陀螺仪的影响	123
第九节	陀螺仪在外加常值力矩作用下的运动情况	127
第七章	自由陀螺仪的視运动	132
第一节	地球的自轉角速度及其分量	132
第二节	自由陀螺仪的視运动	136
第八章	安放在相对于地球静止基座上的陀螺罗經	140
第一节	使自由陀螺仪成为陀螺罗經的两种方法	140
第二节	摆式罗經的等幅摆动	147
第三节	水銀器罗經的等幅摆动	156
第四节	陀螺球的运动方程式	158
第五节	陀螺球繞主軸 OX 以及球內陀螺仪 繞其垂直軸的运动	166
第六节	水銀器罗經的減幅摆动	169
第七节	水銀器罗經在方位上的減幅摆动螺綫	182
第八节	具有液体阻尼裝置的陀螺球的減幅摆动	189
第九节	液体阻尼器罗經減幅摆动的物理实質	196

第九章 运动基座上的陀螺罗经.....199

第一节 船舶常航向等速运动对陀螺罗经
平衡位置的影响.....199

第二节 船舶常航向等加速运动对陀螺罗经的影响.....210

第三节 非周期过渡条件的数学证明.....215

第四节 第一类冲击误差.....220

第五节 第二类冲击误差.....229

第六节 转子转速不稳定时对陀螺罗经的影响.....249

第十章 船舶摇摆对陀螺罗经的影响.....251

第一节 船舶摇摆对单转子摆式罗经的影响.....251

第二节 水银器罗经中消减摇摆误差的方法.....258

第三节 双转子罗经中消减摇摆误差的方法.....268

第十一章 其他航海用陀螺仪表.....273

第一节 方向陀螺仪的基本原理.....273

第二节 陀螺磁罗经.....277

第三节 陀螺垂直仪.....283

附图

附图 I HЭЛ-5型测深仪原理图

附图 II MS-26型测深仪电路原理图

附图 III MS-24型测深仪电路原理图

附图 IV 五四型测深仪线路图

緒 論

現代船舶上安裝有各種不同類型的導航儀表，它們基本上可以分為兩大類：無線電導航儀器和電航儀器。習慣上電航儀器是指：陀螺羅經、回聲測深儀、轉輪式及水壓式計程儀，以及把陀螺羅經和計程儀聯合起來能在海圖上描繪航跡的航跡記錄器、能使船舶穩定在某一規定航向上的自動操舵裝置等。以上各種儀器和裝置所用的能源都是電，因而統稱之謂電航儀器，但它們的基本工作原理並不建築在電工理論之上，關於這一點不應有所誤解。由於電航儀器的理論基礎以及結構和電路都是相當複雜的，因而使用這些儀器必須具備專門知識，本書的編寫也就在於結合海運學院船舶駕駛專業學生的需要，對電航儀器的理論基礎、結構電路以及它們的維修使用作一定深度的介紹。

根據電航儀器的工作原理來劃分它們，基本上可以分為下列三種類型：

1. 陀螺儀表及裝置——包括陀螺羅經、以陀螺羅經作為敏感元件的自動操舵裝置，以及其他航海用的陀螺儀表，如方向陀螺儀、陀螺地平儀、陀螺磁羅經等。

2. 水聲儀器——回聲測深儀。

3. 水力儀器——轉輪式計程儀、水壓式計程儀。

在商船上應用最廣的陀螺儀表是陀螺羅經，因而在本書中對陀螺羅經的理論結構和電路作了相當篇幅的敘述，而對其他陀螺儀表僅僅在工作原理上作了一般介紹。陀螺羅經是利用繞定點高速旋轉對稱剛體的特殊慣性所制成的一種機械羅經。由於它不依賴地磁場進行定向，因而磁干擾對上述羅經不發生任何影響，所以陀螺羅經能在鋼質船舶上高度精確地工作，與磁羅經相較這是它的巨大優越之處。對在浩無涯際的海洋上航行的船舶來講，獲

取精确的航向讀数具有极为重大的意义，因而性能良好的陀螺罗經得到了普遍采用，并被公認為重要的航海利器之一。陀螺罗經的工作原理是建筑在刚体动力学之上，十八世紀最卓越的数学家和物理学家之一欧拉于1758年发表了“刚体繞定点运动理論”的著名著作，为刚体动力学奠定了基础。欧拉导出了刚体繞定点运动的动力学方程式，并在外力矩为零时求出了这些方程的积分。刚体繞定点运动的第二种情况（具有动对称在重力作用下的刚体繞定点运动）是由十九世紀著名的法国数学家拉格朗日所解出。1888年俄罗斯女数学家 C.B. 柯凡律夫斯卡娅对刚体繞定点运动的第三种情况求得了积分（以定点作参攷的慣性椭球体仍为旋轉对称体，并且 $A=B=2C$ 重心在赤道平面内），其后著名的苏联学者 B.A. 司即克洛夫，C.A. 查浦雷金等人对刚体繞定点运动也进行了有成果的研究。十九世紀中叶，鋼質船舶开始問世，航海事业得到了飞跃发展，促使人們对新型导航儀器的制造进行探索。历史上第一个提出利用繞定点高速旋轉的对称刚体——陀螺仪作为导航仪表的是著名法国物理学家富科。1852年富科在巴黎科学院里作了四个报告，其中包括以下三个主要内容：

1. 利用三自由度陀螺仪的慣性以觀測地球的自轉。
2. 二自由度的陀螺仪主軸限制在水平面內时其平衡位置为地理子午綫方向。
3. 二自由度的陀螺仪主軸限制在子午面內时其平衡位置与地球自轉軸相平行。

富科的三个富有創見的思想，基本上概括了陀螺仪的各种用途。把陀螺仪的特殊慣性和地球自轉联系起来能够得到指示地理子午綫的仪器，这就是陀螺罗經的工作依据。目前各种不同結構的陀螺罗經都是以富科这一卓越思想为基础发展起来的。半世紀来，随着航海航空和火箭技术的发展，陀螺技术也得到了长足进展。但是必須指出，陀螺技术的巨大进步是和理論研究上所取得的卓越成果分不开的。著名的苏联学者 A.H. 克雷洛夫、B.B. 布尔嘎科夫、B.H. 顧得連維奇、A.Ю. 依斯林斯基等人的劳动，丰

富了陀螺仪应用理论，并对陀螺技术的发展起了积极作用。

水声仪器是电航仪器中第二个重要组成部分，它的主要用途是测量海水深度，发现水中障碍物，以保障航行安全。对商船驾驶员来讲，回声测深仪是水声仪器中最常用最重要的一种，因而本书对回声测深仪的原理结构电路作了比较详细的介绍。回声测深仪的工作基础是建筑在声波在水中传播的规律之上。声波在水中传播速度几乎是一个常数，差不多等于1450米/秒。由于声速是一个常数，因此测量声波自船底至海底再自海底反射回来的时间，即可计算得海水的深度。因此，回声测深仪是由装在船底的超声波发射器、接收器和附属装置所组成，它与一般机械测深仪相比较具有以下的特点。一般机械测深仪由绳索和重锤组成，测量时必须将重锤抛出船外，为了得到海水的垂直深度必须将船速降低至8节以下，有时甚至要将船速降为零后方可进行，回声测深仪利用声波进行测量，而声波在水中的传播速度远大于现代船舶的航行速度，因而不论在船舶全速行驶或停止前进时均可测得准确的海水深度。利用机械测深仪测量水深时费时甚多，例如测量水深为5000米时，在船舶停止行驶下需3小时，但用回声测深仪仅需6.5秒。回声测深仪还有一个显著优点是它能连续不断地测定水深，在航速为20节的船舶上测量5000米左右的水深，二次测量的距离间隔仅为10米左右，因而它在船位的确定上起着重要作用。由于回声测深仪具有上述卓越性能，它已成为船舶驾驶上的重要利器，而且得到普遍应用。在回声测深仪的产生和发展过程中，应该提到苏联学者的贡献。早在1804年俄罗斯学者Я.Д. 薩哈洛夫第一次利用声波传播测量气球高度。回声测深仪实际上也是薩哈洛夫这一思想的继续发展。在声学和水声学理论方面苏联学者С.Я. 索科洛夫、В.Н. 久林等人也有很多贡献。

电航仪器的第三个组成部分是计程仪。精确地测定船舶相对于地球的航程，在船舶驾驶上极为重要，因为有了准确的航向和航程，就可以利用积算法求取船舶的地理位置。直接测定运动物体的地速和相对于地球的航程的仪器，称之为绝对计程仪。绝对计

程儀的設計和製造是長期中懸而未決的問題，但在近年來科學技術的巨大進步面前已經獲得了解決。目前電航儀器中所指的計程儀是相對計程儀，它是測定船舶相對於介質——水的運動速度和航程的儀器。為了要得到地速和相對於地球的航程，必須在上述儀器的讀數中對介質的牽連運動加以估計。目前船舶上常用的相對計程儀有以下二種類型。一、轉輪式計程儀；二、水压式計程儀。本書對以上二種類型的計程儀的工作原理、構造和電路作了介紹。轉輪式計程儀是根據螺旋槳在水流中繞軸旋轉的原理製成。當船舶相對於海水運動時，水流使螺旋槳旋轉，測定螺旋槳的轉數即得船舶相對於介質的航程。在以上儀器中，測定船速需要輔助裝置。水压式計程儀是測量船舶相對於介質運動時水流的動壓以確定船速。在上一類儀器中，測定航程時需加輔助裝置。

根據以上對各種儀器的簡單介紹中可以看出電航儀器在船舶導航上的重要意義。但在半封建半殖民地的舊中國，航海儀器的製造工業處於極端落後狀態，船舶上所用的電航儀器均由國外進口，因而品類龐雜且大都型號陳舊，性能不良。解放後，在黨的英明領導下通過工人及科技人員的努力，電航儀器工業取得了長足進展，若干類型的國產儀器已經開始在船舶上得到大量應用。

可以深信在不久的將來我們完全可以用性能優良的國產電航儀器來裝備我國的船舶以適應海運事業飛躍發展的需要。

第一篇 同聲測深儀

第一章 聲波在水中的傳播

第一節 聲波的基本概念

當彈性介質的質點由於某種原因發生振動時，這種振動便以波的形式向周圍傳播。這種質點的振動就稱為聲。

• 彈性介質質點之所以發生振動，往往是由於某一物體或某一組物體被迫作某種形式的運動，因而使其周圍介質的平衡狀態遭受破壞。這種運動的物體就稱為聲源。

根據聲源的特性和介質的性質，空間中形成各種波形的聲波，近代聲學所研究的波形多為球面波、平面波和柱面波。

如振動的來源是一個脈動的球，則在無限的均勻介質中將形成球面波。

如振動的來源是一個無限的平面，則在無限均勻介質中將形成平面波。

如振動的來源是個表面作徑向振動的無限長圓柱，則在無限的均勻介質中將形成柱面波。

在一片無限廣闊的均勻介質中，其各質點間由於彈性力的聯系，將保持其平衡狀態。我們選擇任一方向 x 、沿此方向有距離相等的各質點 a 、 b 、 c 、 d 、……如圖1-1所示。

設在水介質中於某一瞬間，某一聲源沿著 x 方向振動，質點 a 由於是沿 x 方向移動，然後又返回原處。當質點 a 移動時，其與質點 b 之間的距離縮小，因而產生一種彈性力，使質點 b 亦向右移動，直至 a 與 b 兩質點間仍恢復到平衡狀態的距離為止。然

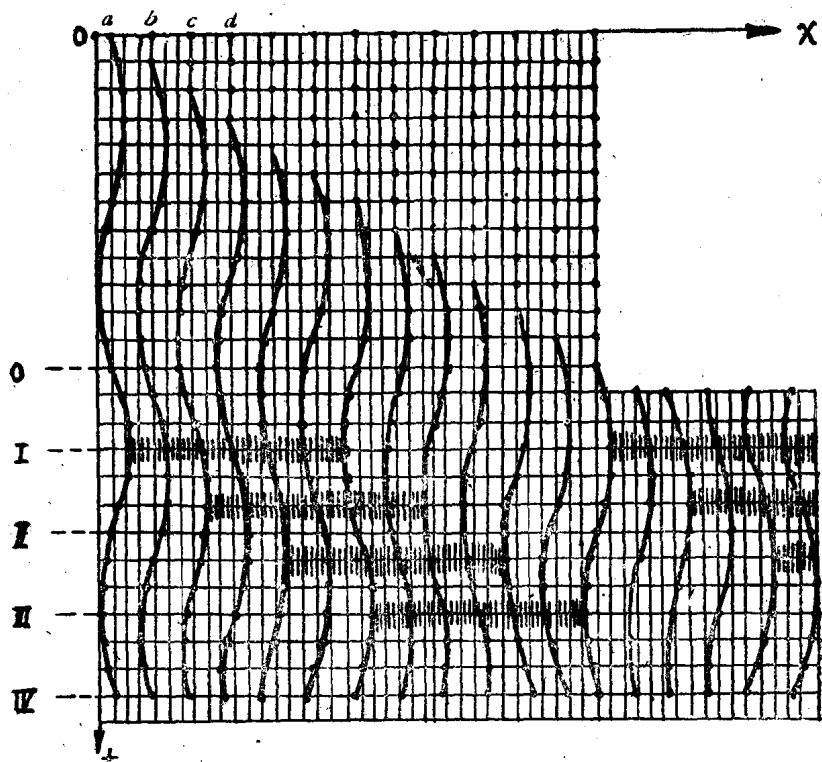


图 1-1

而因为各质点都具有质量，运动时便具有惯性，故质点 b 移动必迟于 a 点。以此类推，其它各点亦将作类似的运动。当质点 a 移到极右位置时，便开始向左运动。但质点 b 将继续向右运动，当它到达极右位置时亦开始向左运动。所有后继的质点都将完成同样的运动。总之，所有质点都将作与 a 点同样的振动，但并不是同时的，而是一个比一个落后。也就是说，在单位时间内该声源若作一全振动，当声源向右移动时，右边的水介质质点形成一压缩区，这一压缩区向右传播。当声源向左移动时，右边的水介质质点形成一稀疏区，将以同样的速度向右传播，这样，水介质的一稀一密就相当于声源的一个振动周期。这种压缩与稀疏的状态以一定的速度从一层传到另一层的传播过程称为声波。

两个完成同一振动的质点间的距离称为波长，以 λ 表示。而

質点完成一个振动所需要的时间称为周期，以 T 表示。則声波的传播速度 C 为

$$C = \frac{\lambda}{T} \quad (1-1)$$

第二节 声在海水中的传播

一、声的传播方程式

在本节中我們將推导出若干方程式，以求声的波动方程式，这些方程式有如下各种：

(一)連續性方程式 介質的任何变化都不能招致物質的产生与消灭，連續性方程便是这一定律的数学式子。例如涌进某一区域与流出某一区域的流体，当其数量引起差别时，这一区域中流体的密度就要引起相应的改变。

为了用数学式子并简单来表达此一定律，我們提出具有一单元面积为 A 的直柱体积的流体，为简单起见，我們假设直柱体的稜与座标軸平行，如图1-2所示： H 点的座标为 x, y, z ，垂直于面积 A 方向的稜长为 l_x ，而液体的速度分量为 u_x 。在单位時間內流进面积 A 的流体的質量显然等于面积 A ，密度 ρ 及速度 u_x 的乘积，即等于 $\rho A u_x$ ，而在单位時間內从 B 面积流出的液体質量为

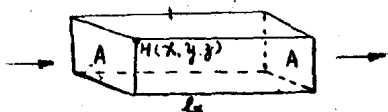


图 1-2

$$\left[\rho u_x + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_x) l_x \right] A$$

这时，由于流体的进出使直柱体内的質量增加为

$$- \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_x) l_x A$$

由于在直柱体内質量既不能产生，又不能消灭，所以体内質量的增加的速度应相等于該体内流体平均密度的变化速度，即

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho l_x A) = - \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_x) l_x A \quad (1-2)$$

消去恒值因数 $l_x A$ 后，我們得到了所需要的連續方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} \quad (1-3)$$

如假設流体的位移和密度的变化都很小，二次項与高次項可略去不計，則本方程即可簡化。这时密度的瞬时值 ρ 与液体的靜态密度 ρ_0 相差很少，則壓縮率 B 值必極小。壓縮率 B 值为

$$B = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}$$

略去高次項則

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho_0 u_x) = \rho_0 \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (1-4)$$

因此我們得到下列已簡化的連續方程式

$$\frac{\partial B}{\partial t} = - \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (1-5)$$

(二)运动方程式 根据牛頓第二定律：沿某一方向施于質点的力系等于質量与其在同一方向內所得到的加速度的乘积。

假如流体速度的分布为座标与時間的函数

$$u_x = u_x(x, t)$$

則液体加速度的分布便为

$$a_x = a_x(x, t)$$

若略去二級微量，則在 x 軸上，加速度分量可近似地表示为

$$a_x = \frac{\partial u_x}{\partial t}$$

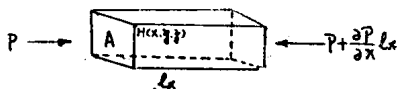
則施于密积单元上的分力为

$$f_x = \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} \quad (1-6)$$

(三)理想流体中力的方程式 若施于流体的力仅为压缩力或扩张力,也就是说,若液体不产生剪应力,则此流体称为理想流体。

如图 1-3 所示是一直柱体的流体单元,假设在左面上的压力等于 P ,则右面上的压力显然

等于 $P + \frac{\partial P}{\partial x} l_x$ 。由于是理



想流体,所以两力互相平行,因此作用于流体单元上的总力为

$$f_x = - \frac{\partial P}{\partial x}$$

所以

$$\frac{\partial P}{\partial x} = - \rho \frac{\partial u_x}{\partial t} \quad (1-7)$$

(四)物态方程式 液体的物态方程式表示了流体中的压力与密度和温度的关系

$$P = P(\rho, T)$$

为了求出密度与压力间的关系,我们假设声波能使流体从它的静态作微小的变化,压力的变化与密度的相对变化成比例,又假设声波所引起的各种变化极为迅速,因而热的交换现象基本不存在,则

$$P = \eta B \quad (1-8)$$

η 称为容积的弹性系数,为了简化,假设 η 为一常数,下面我们将利用上述的关系式,导出一个描述声传播的基本方程式。

依(1-8)式得

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \eta \frac{\partial B}{\partial x}$$

将上式代入运动方程式(1-6)可得

$$\rho \frac{\partial u_x}{\partial t} = -\eta \frac{\partial B}{\partial x} \quad (1-9)$$

假設密度变化与速度变化相当微小， $\rho \frac{\partial u_x}{\partial t}$ 可視為与 ρ_0

$\frac{\partial u_x}{\partial t}$ 相等，則方程式將具有如下形式

$$\rho_0 \frac{\partial u_x}{\partial t} + \eta \frac{\partial B}{\partial x} = 0 \quad (1-10)$$

將上式对 x 微分得

$$\rho_0 \frac{\partial^2 u_x}{\partial t \partial x} + \eta \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = 0$$

依連續方程式則上式為如下形式

$$\rho_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = \eta \frac{\partial^2 B}{\partial x^2}$$

所以

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = \frac{\eta}{\rho_0} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (1-11)$$

設聲速 $c = \sqrt{\frac{\eta}{\rho_0}}$ ，則波動方程式具有如下的形式

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (1-12)$$

我們知道，若 P 為自變數 $(t - \frac{x}{c})$ 或 $(t + \frac{x}{c})$ 的任意函數，或為此兩函數之和，則 P 滿足方程式 (1-12)。這一點很容易証明。假設 $P = f(t - \frac{x}{c})$ ，則

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = f''(t - \frac{x}{c}) \quad \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} f''(t - \frac{x}{c})$$