

国外船舶导航仪器

上海市造船公司国外资料编译组

上海科学技术情报研究所

国外船舶导航仪器

上海市造船公司国外资料编译组

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 4 字数: 92,000

1973年12月第1版 1973年12月第1次印刷

印数: 1—2,300

代号: 151684·156 定价: 0.65元

(只限国内发行)

前 言

遵照伟大领袖毛主席关于“为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。”以及“洋为中用”的教导，结合当前造船工业发展的需要，我们在上海市造船公司组织领导下，在上海市造船技术情报网各成员单位及上海科学技术情报研究所的支持下，由江南造船厂、沪东造船厂、上海船厂、中华造船厂、东海船厂、上海渔轮厂、新中动力机厂、上海导航仪器厂、六机部第九设计院、上海船舶运输科学研究所、上海船舶设计院、上海渔业机械仪器研究所、六机部第十一研究所等单位的同志组成编译组，在六机部第十一研究所革委会具体领导下，收集了近几年来国外船舶、动力装置、航海仪器、造船新工艺新设备以及船厂现代化改造等方面的一些资料，通过翻译及研究分析，共编写成十三项专题资料供造船战线上的广大工人、干部和技术人员在赶超世界先进水平过程中作参考。目录如下：

- (1) 国外标准型万吨级货船
- (2) 国外船舶自动化
- (3) 国外渔船
- (4) 国外船舶动力装置
- (5) 国外船用大功率中速柴油机
- (6) 国外船用低速柴油机
- (7) 国外渔船用中、低速柴油机
- (8) 国外船舶甲板机械
- (9) 国外船舶导航仪器
- (10) 国外造船设备选辑
- (11) 国外船厂起重运输设备选辑
- (12) 国外船厂现代化改造概况
- (13) 国外电子计算和数控技术在造船中的应用

前面十一项资料均由上海科学技术情报研究所出版。

在资料收集和译校工作中，承中国科学技术情报研究所、中国机械进出口总公司及上海分公司、上海交通大学等单位协助。

由于我们水平有限，在编译过程中定会有不少差错，敬希读者批评指正。

上海市造船公司国外资料编译组

一九七三年十月

目 录

前言

陀螺罗经的现状和未来.....	1
船用陀螺罗经用可控硅电源.....	5
船用计程仪.....	7
多普勒声纳的展望.....	14
商船用惯性导航.....	21
奥米加导航系统和奥米加接收机.....	27
船用雷达展望.....	43
“青云丸”上的自动导航技术和装备.....	45



陀螺罗经的现状和未来

序 言

本文系作者把他于1969年5月17日在日本航海学会导航研究部的报告内容整理而成。从技术动向方面叙述了有关船用陀螺罗经的现状和未来。

一、船用陀螺罗经的现状

陀螺罗经大致可分为安许茨(Anschütz)系、布朗(Brown)系及斯伯利(Sperry)系。其最近技术动态如下。

1. 安许茨系

组成安许茨系的制造厂,除德国的安许茨公司以外,还有德国的普拉特(Plath)公司、意大利的米喀隆太尼卡(Microtecnica)公司及日本的北辰电机制造厂。

安许茨系陀螺罗经的目前主要特点(除普拉特系以外)是液温都提高到 50°C ;增加了温控装置;由水冷式改为空冷式;伺服装置采用放大器;从而提高了随动性能并使罗经更加小型化。

对安许茨式进行改进而发展起来的普拉特系罗经在日本的北辰电机厂已有产品,这已为大家所熟知,故不作详细说明。图1为普拉特公司的罗经,用它来表示最近技术动向。其特点在于平衡环结构,废除了般在外侧的平衡环,随动轴通过万向联轴节使外球(液体容器)旋转;并采用波纹管式横摇阻尼器;上述改进的结果使得罗经小型化及罗经盘经常保持与甲板面平行。最近北辰电机厂生产的D-1型就是属于这一系的产品。

米喀隆太尼卡公司的罗经亦属于安许茨

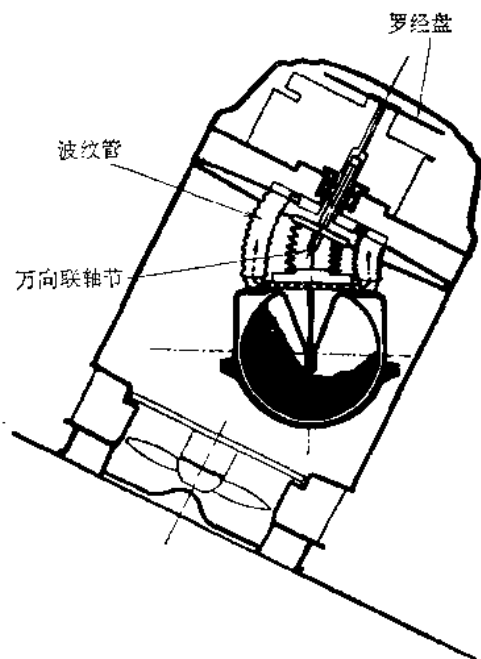


图1 德国普拉特陀螺罗经的构造

系的产品,最近的新产品有“天狼星”(Sirius)型的小型陀螺罗经(高51厘米,直径46厘米)。安许茨公司生产的VI型罗经(高28厘米,长32厘米和宽25厘米)及北辰电机厂生产的“Gyroset”型罗经(高55厘米,直径40厘米)等均为安许茨系的小型罗经。

以上为安许茨系罗经的最近技术动向;其缺点是电介液恶化,陀螺球电极的电阻增大;电源使用电动发电机等。因而至少每隔几个月需进行一次维修保养工作。这是有待于今后改进的。

2. 布朗系

将美国阿马(Arma)公司的军用罗经改为民用,并由布朗公司生产的“阿马·布朗”陀螺罗经是代表目前布朗系的典型产品。该产品的外形及尺寸示于图2。

该罗经的技术特点是采用摆型加速度计

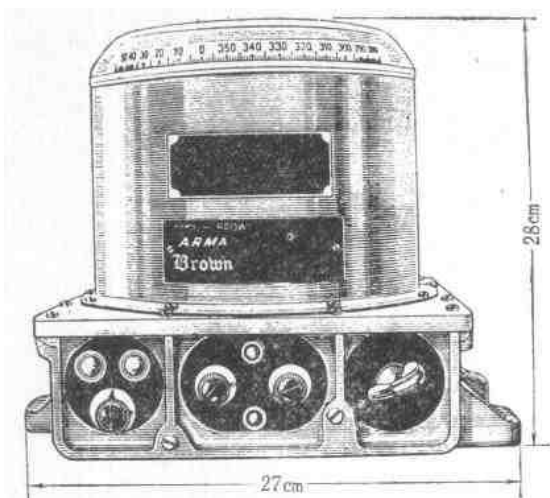


图2 阿马-布朗陀螺罗经

来检测陀螺自转轴与水平面的倾角；它不仅具有绕垂直轴的方位随动伺服系统，而且有绕水平轴跟踪陀螺的伺服系统；作用于陀螺上的指北力矩，由绕水平轴的随动系统扭转支持陀螺的金属悬丝而得到，力矩的大小与上述加速度计的输出信号成比例。该罗经是目前世界上最小的罗经(高28厘米,宽27厘米)。

该罗经最初使用的陀螺浮液是在常温下呈固态的油；当停止使用陀螺时，油液凝固，以保护敏感元件不受外部冲击影响；使用时，由加热器溶化以便作浮液使用。但在油凝固和溶化时，由于体积的变化等影响反而会造成敏感元件纤细部分的损坏。因而改用常温下呈液态的油作浮液，并成为实用的民用罗经。

3. 斯伯利系

在叙述斯伯利系的陀螺罗经之前，先说明所谓“斯伯利优秀产品”这个词。美国的斯伯利公司、英国的斯伯利公司及日本的东京计器制造厂三个厂商所制造的船用产品中，由三家协商选定的优秀者称为斯伯利优秀产品，由三家共同经营和销售。这一制度是在今年六月开始的。斯伯利优秀产品中的陀螺罗经有美国斯伯利公司的27型和227型及日本东京计器制造厂的ES型和TG-100型四种。27型和227型陀螺罗经在日本还是

少见的，故通过图3和图4加以说明。图3为斯伯利MK-27型主罗经，该罗经主体的四个角装在防震座上。陀螺球是由一般军用19型所使用的陀螺转子和陀螺房组成；并使用滚珠轴承和垂直环来支承陀螺球；和现用的斯伯利式相同点是，不使用吊丝而是将陀螺球悬浮在油液中。该罗经高37厘米,长和宽均为30厘米,属于小型罗经。其小型化的关键在于采用特殊的平衡环结构。如图4所示,随动环直接支承在支承板上,垂直环通过水平轴支承在随动环上,垂直环通过垂直轴支承悬浮的陀螺球。因此,当船舶向东西倾

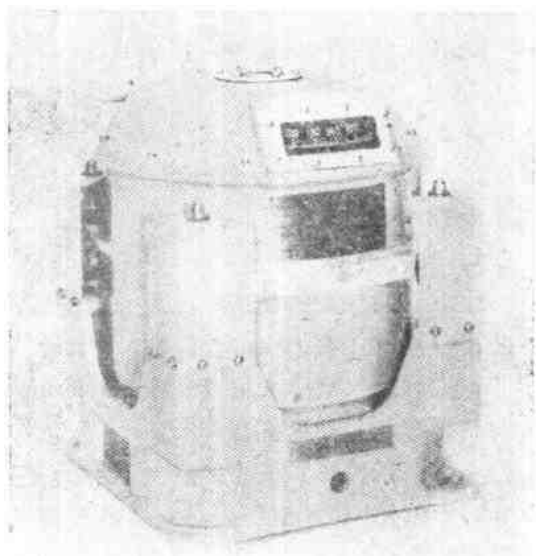


图3 斯伯利27型陀螺罗经

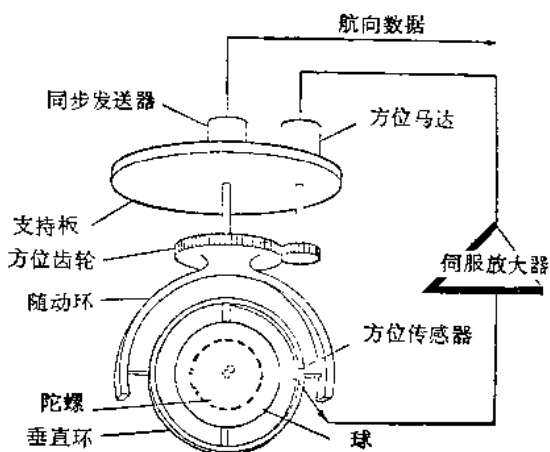


图4 27型的构造

斜或摇摆时, 其水平轴和垂直轴随着船舶倾斜, 但由于陀螺球的重心和浮心都在球的中心上, 所以轴的倾斜不会影响罗经的性能。指北用的液体稳定器及阻尼重物直接固定在陀螺球上。这种结构是现在斯伯利系陀螺罗经中使用支承环最少的结构。

美国斯伯利 227 型陀螺罗经的主体内部与 27 型完全相同; 只是主罗经的本体不装在防震座上, 而是采用外部平衡环的悬挂结构。

东京计器制造厂的 ES 型罗经, 已在日本的航海学会杂志上刊载过介绍文章, 不再详细说明。其意义在于: 八年前该产品为世界上首先用于小型渔船上的产品。不仅体积小(高 48 厘米, 直径 30 厘米)而且价格低廉。其特点在于陀螺的支承方式简单。

TG-100 型陀螺罗经(图 5)是在 ES 型的技术基础上于 1967 年发展为商船用的产品。由于对积分器的研制及利用, 使得该罗经在斯伯利系中最先清除了纬度误差, 并且是民用罗经中最先使得自转轴和纬度无关而始终保持在水平静止状态上的; 因此, 成功地消除了陀螺老化和温度变化所造成的南北不平衡对方位误差的影响。

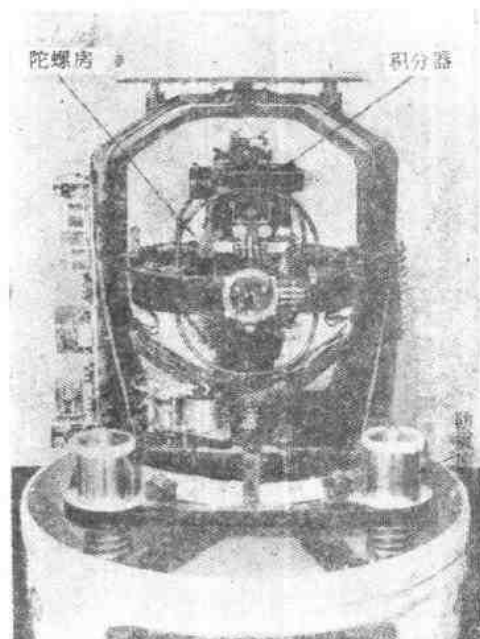


图 5 TG-100 型陀螺罗经的构造

该积分器的钢球安置在低速旋转的圆筒中, 并用高粘性液体充满其余空间; 圆筒安装在垂直环上, 使圆筒的中心轴与自转轴保持平行。因而它产生一个绕陀螺水平轴的力矩, 该力矩与自转轴对水平面的倾角的时间积分成比例。

东京计器制造厂除发展 ES 型罗经外, 还对跟踪放大器和分罗经系统的半导体化及陀螺用的静止型逆变器等进行了研制工作, 这些技术已经汇集在 ES 型和 TG-100 型的产品中, 使得这些产品在使用中不需要维修。TG-100 型的转子可在两年内不需要拆修。

以上四种斯伯利优秀产品所具有的斯伯利系的共同特点可列举如下:

1. 除 227 型外, 其它型号的罗经刻度盘都与甲板而平行。
2. 四种型号的分罗经发送系统都已半导体化和无触点化。
3. 都采用静止型逆变器, 电源不需检修。
4. 具有以上优点, 使用者不必进行维修保养工作。

二、陀螺罗经的技术动向和未来的发展

以上讲的是有关各种型号的主要技术动向; 从其总体来看, 陀螺罗经的技术动向和未来发展方向如下。

1. 小型化

陀螺罗经技术动向的第一个特点是逐渐增加了小型产品。小型罗经有“阿马-布朗”型、东京计器制造厂的“ES”型、安许茨的“VI 型”、北辰电机制造厂的“Gyropet”型、米略隆太尼卡公司的“Sirius”型等产品。

2. 半导体化及逆变器静止化

随着电子技术的发展, 这种倾向也必然会反映到陀螺罗经上; 向这一方向发展, 将会助长罗经的小型化。现在斯伯利系的罗经如

前节所述,四个型号都已经完全实现了半导体化,并采用了静止型逆变器。

3. 不需要维修保养

由于上述第二项的实现,斯伯利系的优秀产品已经不需要由使用者进行维修保养工作;实现了罗经不需维修保养。其他系列的罗经亦在向这一方向发展。

4. 延长拆检周期

TG-100 型的转子轴承已实现了二年内不需要进行拆检。这一事实说明,经过努力可使罗经的拆检周期更延长,这是所有罗经今后的发展方向。

5. 陀螺罗经室的废除和装置的简化

逐渐废除了过去那种把陀螺罗经装设在

单独的陀螺室中的布局;与此相应的倾向是减少了组合件的数量;减少了包括安装费在内的总费用。这一设想的突出实例为自动操舵仪和陀螺罗经组装的出现。

目前,安许茨、普拉特、布朗、米咯隆太尼卡等公司都有这种将陀螺罗经与操舵装置构成一体的产品;日本生产的有:东京计器制造厂的“Gylot”和北辰电机制造厂的“IPS”装置。

由这种倾向的发展来看,陀螺罗经已经逐渐失去了作为独立的航海仪器的特性,而加强了作为检测元件的色彩。

节译自《航海》1969年9月第30号

船用陀螺罗经用可控硅电源

1. 可靠性第一

作为船舶方位敏感器的陀螺罗经对于航海船舶为不可缺少的仪器。陀螺罗经应用质量很大的高速回转体的定向性和高度的伺服技术,不仅向船员提供本船的航向数据,而且对自动操舵装置提供方位基准信号。万一发生故障便可能引起海难,故可靠性很重要。与陆上的工业设备比较,海船上的电气设备的使用环境非常恶劣,可靠性环境系数是20~30。

另一方面,最近船舶急剧地超大型化,40万吨级的油船也在航行了。其价格达100亿日元之多。若由于航运设备的故障不得已而停航时,一小时要损失掉几十万日元。通

常用于这样的仪器的可控硅回路,设计与元件选择均仔细进行,留有裕量,以得到高度的可靠性。

2. 可控硅逆变器

要得到陀螺的高速旋转,用高频交流电源是有利的,但是因为附属伺服系统元件的关系,普通都用400赫。图1为目前大型商船用的性能最好的TG-100型陀螺罗经电源部分的全回路图。因为接有种种附属电路,所以初看很复杂,但逆变部分为使用可控硅的并联式自激自控振荡器。该回路的特征是,除了可控硅外不使用任何有源元件。使用元件尽量减少,使产生故障的概率减少。将对于加在可控硅上的涌浪电压、 dv/dt ,

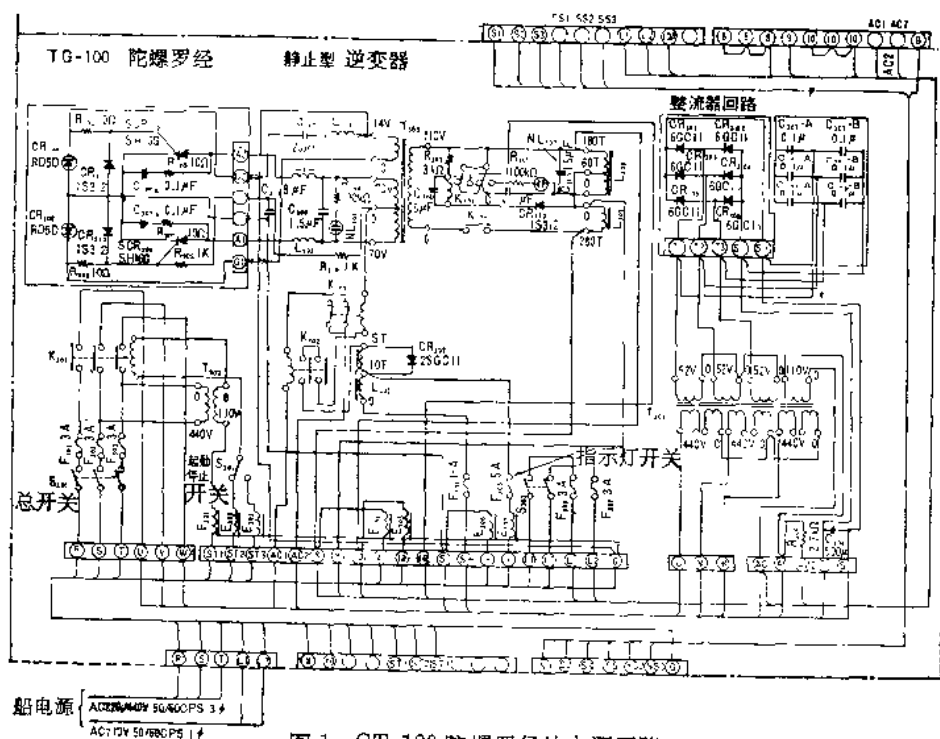


图1 GT-100 陀螺罗经的电源回路

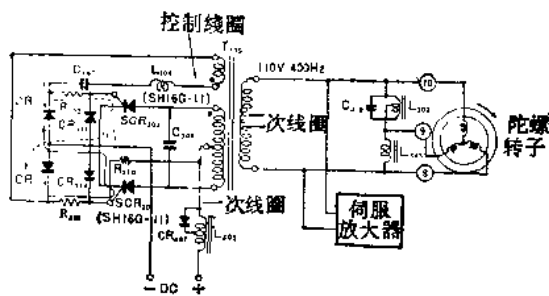


图2 逆变器的基本回路

di/dt 等的保护回路除去,即为图2所示的逆变器基本电路。输出频率由 L_{304} 和 C_{307} 串联谐振回路决定。

下面简单说明一下回路的动作。图2中 SCR_{301} 在 R_{310} 接入电源时触发导通, T_{303} 的初级线圈的下半部激磁。此时控制圈中感应出来的电压 e 产生一个继续触发控制极的电流,同时对 SCR_{302} 的控制极加反偏压。线圈的极性选得使 SCR_{302} 维持关断状态。控制电流 i_1 流过 $L_{304}C_{307}$ 的串联谐振回路,因此,与电源接入的同时,感应电压 e 以阶跃状出现在控制线圈中,产生正弦波电流

$$i_1 = e \sqrt{\frac{C}{L}} \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)t。$$

电流的方向以 $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 的频率反转如 i_1' (虚线)。电流 i_1' 触发 SCR_{302} , 换向电容器 C_{306} 的电荷在 SCR_{301} 的阳极与阴极间产生反偏压而使其关断。此时通过起动电阻 R_{310} 流过 SCR_{301} 的控制极的电流为 i_1' 所抵消。以后两个 SCR 以 LC 谐振回路的周期交替换向,其工作原理与一般讲的并联逆变器相同。为使 SCR 的控制极电压急剧上升,故增多控制极线圈数,提高 e 值,再以齐纳管 CR_{308}, CR_{309} 限去其峰值。因为转换是直接与 LC 的谐振相应的,故逆变器的输出频率极其稳定,基本不受电源的影响。

陀螺罗经一般用三相感应马达。图2中以 $C_{310}, L_{302}, L_{303}$ 构成的单一三相变换器进行移相。 C 和 L 理论上可产生 90° 相位变化,但由于并联的马达线卷及 L 本身的电阻等原因可有 60° 相位变化;设计为可得准三相。

3. 不断电连续工作

陀螺罗经,在航海中即使短时间断电也会产生故障。这是因为一停电,虽然陀螺本身由于惯性很大可持续旋转很长时间,但附属电路,特别是伺服放大器等电路切断了。由于在停电时,船的方位还要受风浪影响而变动,故伺服系统的机能一停,由于绕陀螺的自由轴的摩擦而产生力矩,会发生指示误差。并且,电源恢复后不经过数小时,这误差不能完全消除。

TG-100 型陀螺罗经中(图2),利用单相三相变换器及可控硅逆变器的换流电容器的容性因素,使陀螺马达在停电时自动切换为感应发电机,有暂时向附属电气回路供电的机能。这是利用:多相感应马达的端子上接有电容器,而由外部强制使其回转时马达可由电容中发生的无功电流自激,产生频率与转速同步的交流电。图3为停电后,可控硅逆变器的输出端及各准三相间发生的发电电压的一例。中间80秒左右处表现的谷点是由图1中继电器 K_{304} 解除激磁, C_{309} 接上马达端子而引起的。伺服放大器等设计为即使电压跌落也能继续正常工作,故停电后的船在一分钟静止状态内,摇动40秒钟以上,罗经也不丧失机能而继续工作。

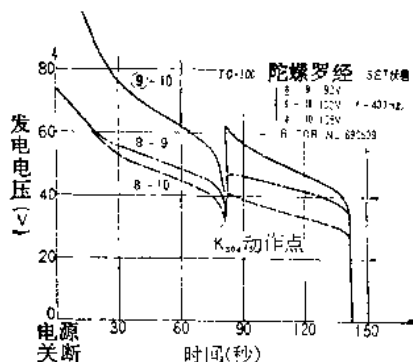


图3 停电后的三相电压

译自《电子技术》1972年 Vol. 14 No. 4

船用计程仪

摘 要

这篇文章论述了 1950 年以来, 船用计程仪系统中主要类型的航速传感器的工作原理, 其中对西方海军所广泛使用的船用电磁计程仪的运用作了较详细的讨论。

为了对传感器特征的各方面都予适当的探讨, 所以对航速测量的能力与局限性作了简短的讨论。

序 言

早在 1938 年, 霍帕(Hoppe)在轮机工程师与造船工程师学会的报告中, 就已经论述了船舶航速测量技术的一般运用, 并对它们的进一步应用作了评论。事实上船用计程仪系统的发展在那时就已经开始了。但近来出版的书刊却缺乏对航速测量原理的讨论。新的导航方面的文章对于相对于水的航速测量仪器仅仅作了粗略的叙述, 而对航速测量方面的问题也只作了一般的介绍。尽管几乎每个人都认为精确的航速测量是必要的, 但对如何完成精确的对水速度测量, 如何利用它, 或如何获得它等问题还缺乏了解。

船上的一般海员与计程仪系统维修人员曾提出的老问题, “测量船舶相对于水的速度到底有什么用处?” 简单的回答: “总比没有它好”, 这种回答是难以使人满意的。计程仪不但在指挥射击、控制船舶、监控船舶状态等方面起着重要作用, 更为重要的是对船舶的导航作用。从历史上看, 船舶计程仪提供了船舶船位推算系统的两个主要输入讯号中的一个(另一个讯号由罗经提供)。现代技术增加

了两个新的要求, 船舶惯性导航系统(SINS)需要输入一个精确的航速讯号, 以衰减垂直指示回路中的舒勒振荡。多普勒卫星导航系统也要求输入精确的航速讯号, 以达到最佳的定位精度。

简单地讲, 航速仍然是船舶船位推算系统的一个必要的输入讯号。而惯性导航及卫星导航系统更强调了对它的需要。这篇文章专门论述从 1950 年以来为了适应这些需要而发表的一些有关船舶计程仪应用原理的文章, 并且讨论了现代计程仪系统应用的前景。

对水速度传感器的原理

为了论述各种对水速度测量原理的应用, 以逻辑形式把它们分类是有效的。依照传感器所反应的基本量(诸如距离、速度、或加速度), 表 1 列出了船舶传感器所应用的现象, 在所列现象中, 文献中关于惯性的原理已有了相当报道, 所以这里就不作更进一步的探讨了。

表 1 船用计程仪分类

反应的物理量	应用现象
距 离	测量回转数 测量长度 涡旋扩散
速 度	力(阻力) 压力(皮托) 多普勒(声学) 多普勒(电磁) 电磁感应
加 速 度	惯 性

转轮计程仪分为拖曳式和安装在船底的两种形式, 它们作为航速传感器已经应用了多年。图 1 说明安装在船底的转轮计程仪的

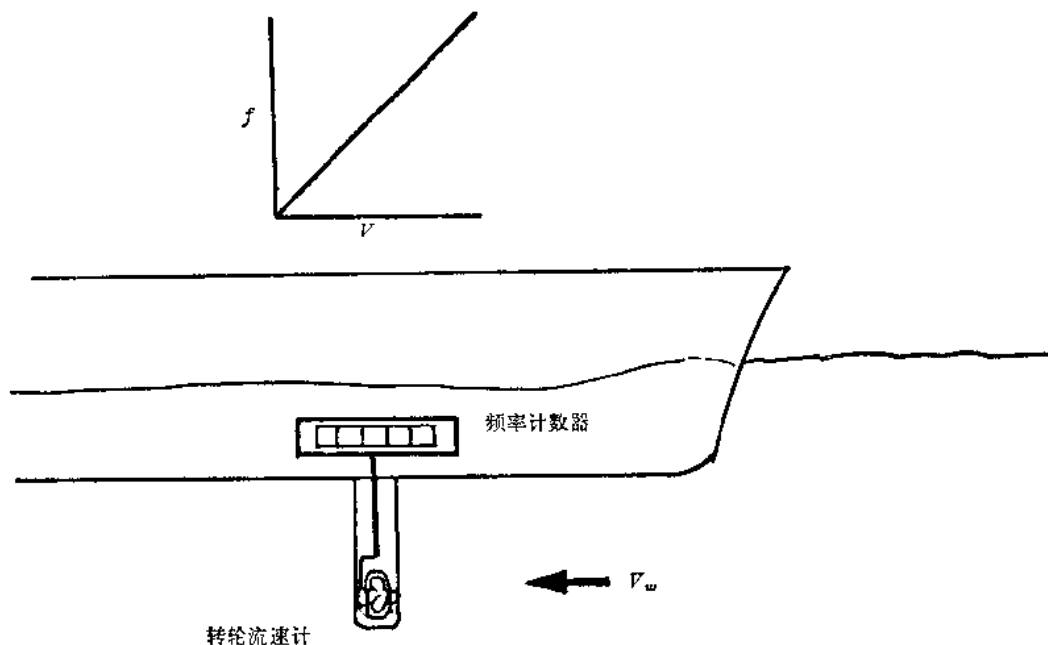


图1 转轮计程仪

原理, 并且表明, 除了在非常低的速度外(小于最大设计速度的10%), 输出频率(f)对于速度(V)的特性曲线是一典型的直线。曲线在低速时微微向下, 这是支座阻力影响转轮自由地转动的结果。

最近几年, 随着转轮、轴承设计与制造技术的提高, 电子仪器的迅速发展以及小型船舶运输的发展, 转轮计程仪又重新流行起来。

一个设计得很好的转轮计程仪, 其价格不过几百美元, 就能在较宽的速度范围内提供一个非常精密的线性响应。虽然它易于磨损, 而且易受海洋内各种形式的污染, 但它最适宜间歇使用。在过去十年中, 美国海军已经发展并使用拖曳式转轮计程仪, 在实验的基础上进行航速测量试验。

图2所示的这种仪表是由戴维特·泰勒船模试验池创制的航速计, 航速计的主要特点是用负向升力翼将传感器压在船舶紊流层下面而不受其影响。今天的转轮计程仪(包括航速计在内), 通常将电磁感应式的脉冲频率发生器与转轮连接在一起, 这样除了支承面以外, 仪表的转子与机体之间就不需要有形

的接触, 也允许使用简单的和精确的频率测量仪表。

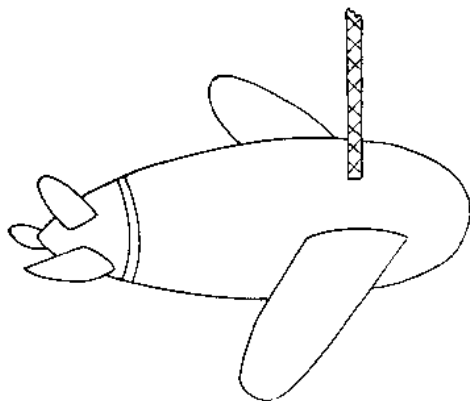


图2 DTMB 航速计

声波计程仪, 相当于使用了四个世纪的荷兰人计程仪或流木计程仪的一种现代产品。是一种线性测量型装置。

图3说明声波计程仪的原理, 它的基础是, 在水流中以逆流和顺流方向同时发射声脉冲, 测量两脉冲在固定路线距离之间的时间差(Δt), 经过适当的电子电路处理, 用此时间差计算相对于水的航速与航程, 这种原理的装置日前用来测量北极星潜艇导弹发射

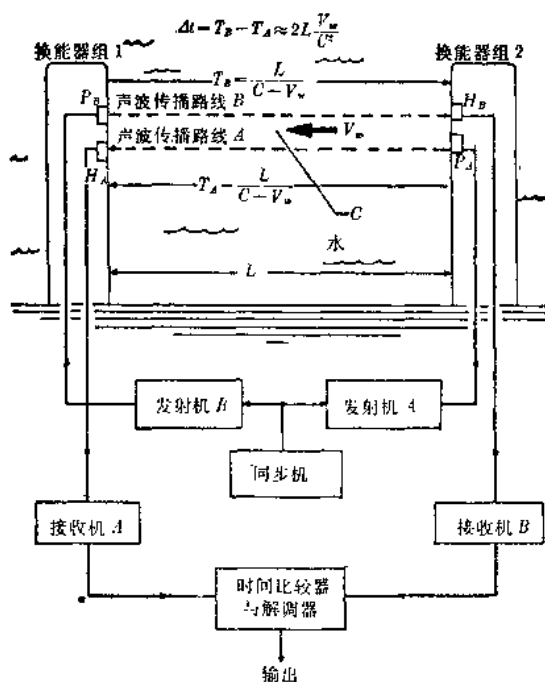


图3 时差声波计程仪

甲板上的水流速度。一个类似的装置已被推荐并局部发展为船用计程仪。经过适当的设计,这种装置能够自行校正水中声速的变化,并能测量水中的声速。这种类型计程仪的成本现在还提不出具体的数字,但军用型此类装置估计将在10,000~20,000美元之内。

久光志坡曾经应用在流体中粗糙流线性体的后而产生的涡旋数来测量船舶试航的速度,久光志坡计程仪的原理如图4所示。

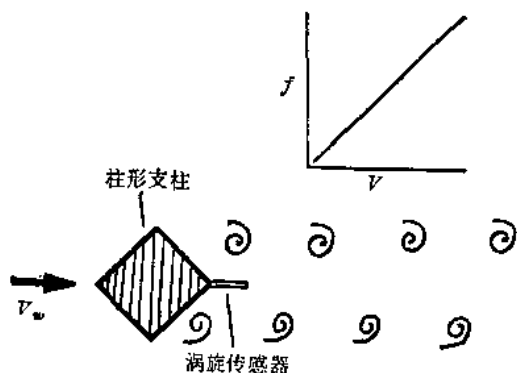


图4 涡旋(久光志坡)计程仪

方形柱体在水流中所产生的涡旋数在较宽的雷诺数范围内与流速成正比。如果将一

个适当的探测器(检波器)放在柱体的后方,将涡旋数转换为电脉冲,并用常规的脉冲计数技术进行测量,以产生距离或速度指示。这种简单装置的实用局限是它的临界速度,临界速度值可选取不同的柱体尺寸进行调节,至于空泡问题,似乎对速度加了一个上限。据作者了解:把这种技术用于计程仪仅有久光志坡发展的拖曳计程仪,并在几艘商船上进行了试验。

一直沿用到今天的阻力计程仪是最古老的速度计程仪。阻力计程仪的原理如图5所示,支柱上的阻力与船速的平方成正比,并通过机械液压或电气的方式传递到一个以“节”来定标的刻度盘或表头上去。目前应用较多的是将拉杆安装在船底,并用液压传送器或压力传感器达到远距离指示的目的。这种比较简易的计程仪的主要缺点是它依赖平方定律,因而在低速时不灵敏,这种类型中供小型船舶使用的装置一般价格约在100~200美元之间。

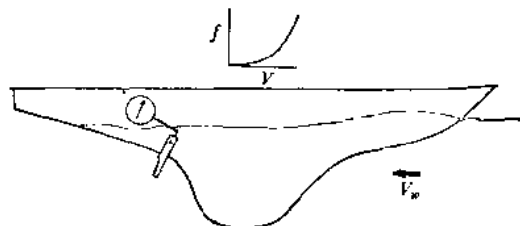


图5 力学(阻力)计程仪

众所周知的差压或皮托计程仪(即水压式计程仪),日前广泛地在全世界的军舰和游艇上使用。皮托计程仪的原理如图6所示。同阻力计程仪一样,它也是依赖于相同的平方律,但是在仪器采用复杂的方法校正后,除了在低速以外将产生较高的指示精度。差压计程仪的价格范围从手提式的几个美元到复杂的军用的10,000美元。

皮托型的计程仪碰到的主要困难之一,可以引用海军维修这类产品的规范来说明,即:“皮托管有可能被水母、泥、海草,或其他外界物质堵塞,因而差压将不正常,机械装置

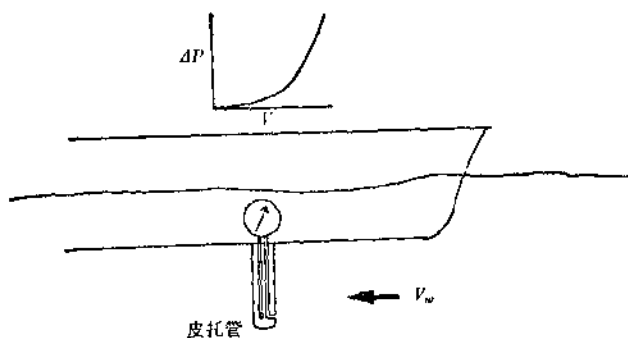


图6 差压(皮托管)计程仪

将不能正确地记录”。

福尔逊(Folson)曾在美国机械工程师学会的学报中发表过一篇文章,评论皮托管的基本原理与有关报道,这篇文章收入了有关这个课题的广泛的书目提纲,它或许对于感兴趣的研究者有一定的价值。

多普勒声波技术早已应用于流速测量和对声纳目标动态的估测中,飞机多普勒雷达导航仪已经应用了将近20年。近几年来,熟悉的多普勒雷达导航技术,已采取超声波换能器(收发双通道[ganus]结构)而用作船用计程仪。

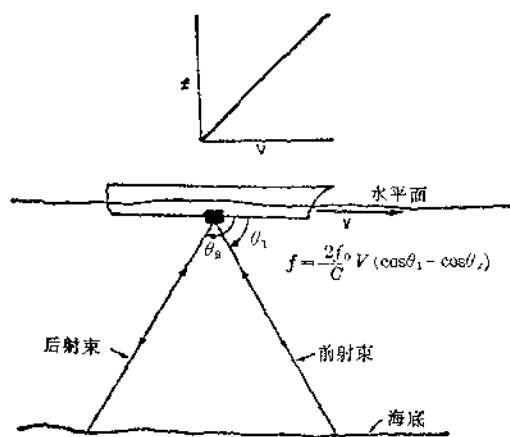


图7 多普勒声波计程仪



图8 多普勒雷达计程仪

图7表示在水面船舶应用这类装置的原理。

图中公式非常近似地表明,多普勒频移(Δf)与在水中以声速 C 传播的连续波发射频率 f_0 之间的线性关系。这里,如同声波时差技术一样,倘若平台的摇动没有超过限度或者能被补偿的话,良好的设计能使这种装置自行补偿 C 的变化,并能保持很高的精确度。如同飞机多普勒导航一样,通常附加第二对收发装置,与第一对在空间相位差 90° ,这样有可能测量出漂移。如能在与龙骨线正交的地方附加两对收发装置或许有可能设计出多普勒罗经,但作者还不知道目前有关这方面技术的应用。

虽然上述这种应用的设计方式是在浅水中利用海底反射波来提供对大地的航速信息,但一个正确的设计系统即使当海底反射失却时,也能从混响的强度中感应出相对于水的航速。应用多普勒声波系统时,必须考虑船舶摇动,气泡干扰,水深限度与声波传播特性的变化等问题。迄今看来这种方案在深潜船于大洋海底导航方面的应用有较良好的效果。虽然它们还不是精确的船用计程仪,但是近来多普勒雷达系统已经在实验的基础上用来测量水面舰艇与水翼艇的速度(图8)。

虽然采用飞机多普勒导航仪所产生的技术问题能够被克服,可是水——空气分界面的基本界限,表明这种方案仅限于具有非常高的速度的舰艇上使用,此外,由于表层水的流动(潮汐,洋流)使其误差将达到1或2节甚至高达7节。所以除了应用于比较高的速度外,在导航系统中象这样误差的数量级是难以接受的。

另外一种应用电磁多普勒原理的是激光计程仪, (现在还处于实验室阶段)。

图9所示为一应用电磁多普勒技术的船用计程仪(多普勒激光计程仪)的概图。它与多普勒雷达的基本原理相同, 但须表明的概念是: 从水中质点向后散射的激光和从同一连续(光)波源直接发射的光波混合在一起, 频率差与相对于水中发射轴线上观测点的流速成正比。

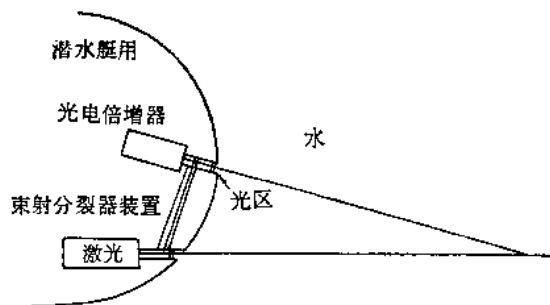


图9 多普勒激光计程仪

目前, 应用更为广泛的船用计程仪系统是电磁(EM)计程仪, 目前大概有一千台 EM 计程仪在美国海军中使用, 英国和加拿大海军也已使用。

EM 计程仪的基础是电磁感应原理, 1831 年法拉第首次应用它(未成功)来测量水的流动。1917 年史密斯(Smith)与斯利皮恩(Slepian)首先以船速传感器的形式取得了专利。最后成功地在美国海军中应用, 1950~1955 年发展成为实用的船舶计程仪。

图 10 说明电磁感应的原理, 它如同大家都熟悉的发电机的基本原理一样。这个原理应用到电磁速度传感器。如图 11 所表示的那样, 导体就是内装圆筒形导管的塑料外罩四周的海水, 圆筒形导管与凸出船底支杆的末端连接在一起, 当海水切割围绕着圆筒形导管的磁场时, 由嵌进塑料外罩的电极拾取水中的感应电势, 根据法拉第定律, 这感应电势(ϕ)与磁通密度(B)和相对于船的水速(V_w)成正比:

$$\phi \sim V_w \times B$$

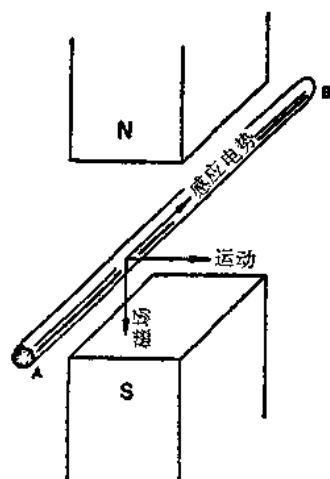


图 10 电磁感应原理

如果 B 是常数, 则电势对速度的关系是线性的(图 11)。应用在流量计方面的详细的数学原理库欣(Cushing)等人已有了许多论证。这里就不另作更进一步的讨论了。而电磁计程仪系统中所用的特殊传感器结构的数学计算还没有正确解决, 所以新的传感器设计还有一半问题得凭经验解决。

为了正确地测量由传感器产生的精确的速度信号, 电磁计程仪系统采用零点平衡式的电子伏特计。现在海军使用的电磁计程仪系统是一种机电伺服系统与刻度盘指示系统。同时它包括一个滚轴与圆盘组成的积分器, 以测定航行的距离。图 12 是这种系统之一的工作方框图。

系统的特性包括:

传感器输出信号	325 微伏/节。
传感器的速度精度	0.05 节
速度变化的灵敏度	0.01 节
仪器的航程精度	小于水中航行 距离的 1%

能够补偿由于船底流动特性所引起的非线性。

不受水的特性变化的影响。

至少, 一种精度稍差、具有数字输出的全由电子元件组成的电磁计程仪, 已有商品供应。

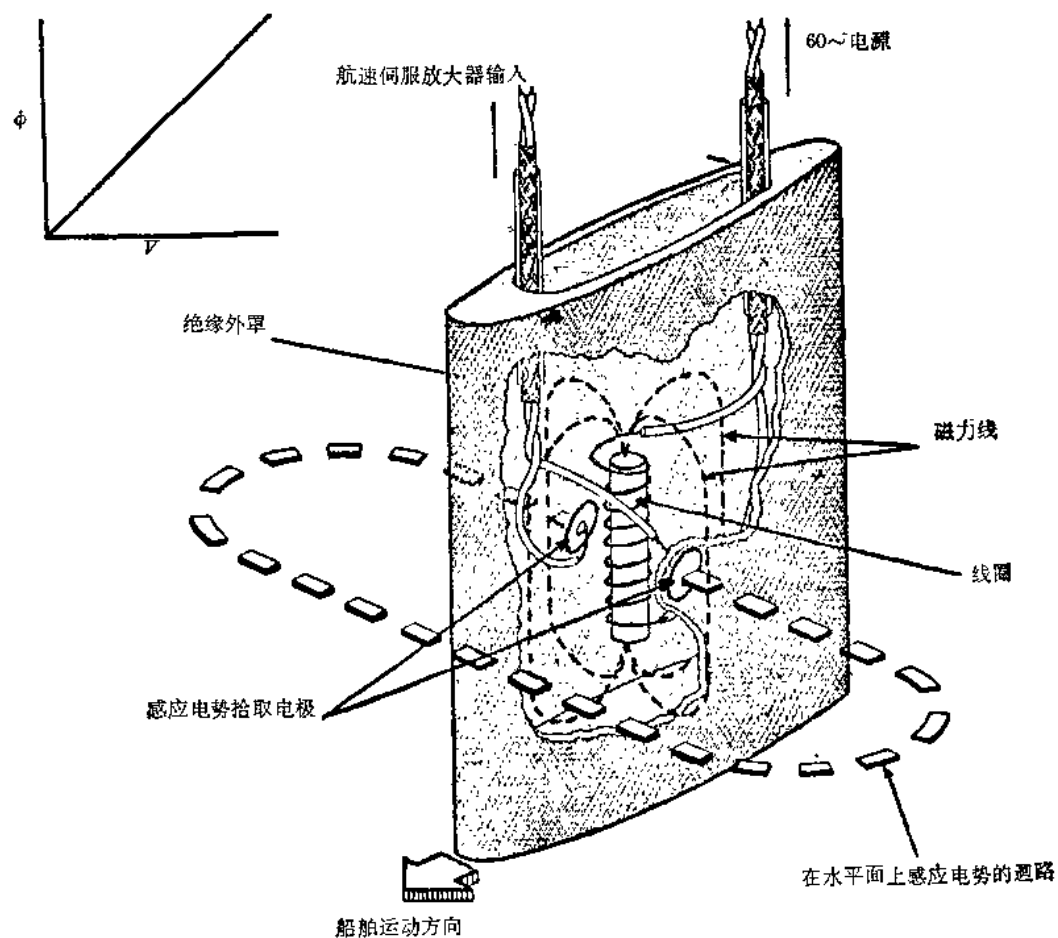


图 11 电磁航速传感器

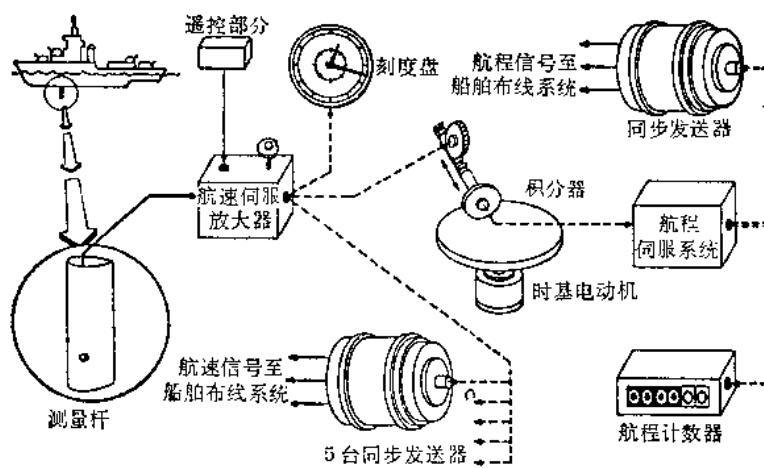


图 12 电子计程仪各部分连接系统图

电磁计程仪的主要优点是良好的灵敏度,从0~40节的全部设计航速中皆为线性输出,长时期显示稳定,能抵御海生物对电极的污染,它的主要缺点是价格昂贵,大约每台须10,000美元,但是随着进一步发展,价格将会逐步降低。

远 景

虽然电磁计程仪提供了一些超过以前使用过的计程仪系统的重要优点,计程仪系统一般地还有几个要点,它们似乎还没引起应有的注意:

- * 全部计程仪系统包括船底部分及其附属品。
- * 多数速度传感器,只能传感仪器安装处的水速,而这种水速受到船体流体动力的影响。
- * 因为速度分布与势流动范围的不同,每个不同的船体形状或计程仪的安装位置,将出现不同的本机速度,所以每个装置(船底装置部分与传感器)必须予以校准。

* 船舶的摇动会影响船舶在水中的速度与由传感器产生的速度之间的关系。

* 洋流对航海的影响具有非常易变的和统计学的性质

* 为了定位的目的,在100哩的航程中,如果有0.5度的罗经差,相当于计程仪系统在5小时的航程中产生0.2节的误差。

由以上各点看来,很自然地会问到:“这个相对于水的航速传感器系统是否能适合导航的需要”。一个肯定的回答——“是”。现有的船用计程仪系统能够提供相应于现代相对于水的航速测量所需要的精度,但是导航系统——推算船位,惯性导航,多普勒卫星导航——最终都要求输入相对于地的速度信号。

为了应用,在相对于水的速度与相对于地的速度之间有一显著的差值,这个差值可以用来测量与预测潮流。还有其他方面的差值,当它们能够结合起来的时候,船用计程仪将能提供更多有用的导航数据。

译自《Navigation》1968年第15卷第2期