

磁罗经技术

关政军 著



大连海事大学出版社

磁 罗 经 技 术

关政军 著

大连海事大学出版社

© 关政军 2003

图书在版编目(CIP)数据

磁罗经技术 / 关政军著 .—大连 : 大连海事大学出版社,
2003.5

ISBN 7-5632-1645-6

I. 磁… II. 关… III. 磁罗盘 IV. TN965

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 014607 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌水桥 邮编:116026 电话:4728394 传真:4727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连海事大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸:140 mm×203 mm 印张:5.625

字数:141 千字 印数:1~2000 册

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑:史洪源 林晓阳 版式设计:洪 源

封面设计:王 艳 责任校对:高 炯

定价:15.00 元

内容提要

本书共分6章,第一章简要介绍了有关地磁场和船磁场的知识;第二章讲述了磁罗经各种校正方法,特别还提出了船靠码头校正自差的实用方法;第三章对罗经剩余自差从理论上进行了论述;第四章详细分析了磁罗经自差随纬度变化而变化的原因;第五章主要讲述了磁罗经日常使用和检查方法;第六章介绍了除传统罗经外其他类型的磁罗经。

序

中国是古航海国家之一,古代造船和航海技术,曾长期处于世界领先地位。据《宋书》和《晋宫阁记》的记载:我国在晋代就有能载万斛的航海大舶,并用指南针导航,称为指南船。这说明中国不仅发明了指南针,而且也是世界上最早将指南针用于航海的国家。

自古以来,磁罗经一直被舟船广泛使用,是一种传统的主要航海指向仪器,其构造及使用技术也日趋完善。在现代船舶上,虽然配备了陀螺罗经等各种先进的航海仪器,但是由于磁罗经具有无须依赖外界条件的优点,且性能稳定,使用可靠,确立了无可替代的特定地位。因此,到目前为止,磁罗经仍被国际公约规定为船舶必须强制配备的航海仪器之一,船舶驾驶人员也必须学习磁罗经技术,能够正确使用磁罗经。航海实践证明,能否保证磁罗经处于良好的工作状态,直接关系到船舶航行安全。然而,近年来航海界有些人却出现了忽视磁罗经的现象,认为磁罗经可有可无,安装磁罗经只是应付港监的检查,平时根本不对磁罗经进行校正和维护,在陀螺罗经发生故障时,驾驶人员不敢或不能正确使用磁罗经,以致影响了船舶的航行安全。

磁罗经技术主要包括磁罗经自差理论、自差校正技术、磁罗经的维护和使用以及磁罗经的开发技术。近年来我国从事磁罗经专业的专家和学者在磁罗经技术方面做了很多有益的研究和探讨,在磁罗经技术向数字化、自动化发展方面取得了一定的成果。但是和航海技术的发展相比,磁罗经技术方面的研究做得还很不够,还不能适应航运生产的要求,因此,有必要进行深入的研究。

作者结合多年从事磁罗经研究和教学的经验,在本书中对磁

罗经技术进行了全面的论述,不仅在磁罗经理论上进行了深入的探讨,而且在自差校正方面也进行了全面的研究,并指出了磁罗经今后的发展方向。鉴于目前论述磁罗经方面的书籍较少,从事磁罗经技术研究人员甚少,磁罗经技术研究将会面临断层的局面。因此,该书的出版,无疑在继承磁罗经技术研究上具有重要意义,并具有很好的学术价值和应用价值。

殷切期望磁罗经技术工作者,包括船舶管理人员和驾驶人员以及磁罗经校正人员都能继续积极地参与磁罗经技术的研究,不断地发展和完善磁罗经技术,为航海技术的发展贡献我们的力量。

陆儒德

2003年3月20日

前 言

尽管目前船舶上均配备了各种各样先进的导航仪器,但由于磁罗经具有不依赖外界条件自主工作的特性,目前仍被国际海事组织(IMO)和 SOLAS 公约明确规定为船舶必须配备的船舶导航仪器之一。对于航海技术人员而言,学习和掌握有关磁罗经技术是非常必要的。

磁罗经技术除了磁罗经制造和使用技术外,而且还有磁罗经自差理论和自差校正技术。经过世界各国专家学者多年来刻苦地研究和发展,磁罗经自差理论和消除已形成了一门专门的科学,即“磁罗经自差学”。

笔者多年来一直从事航海技术专业的教学和研究工作,特别是对磁罗经技术有着深入的研究,取得了明显的成果。目前有关磁罗经技术方面的书籍比较少,还仅限于磁罗经自差原理和一般校正方法的介绍。本书旨在根据当前航运生产对导航设备的要求,并结合本人多年来的研究成果,对磁罗经技术从理论上作了进一步的探讨,并对校正自差的技术作了深入的研究,提出了有关磁罗经自差校正方面切实可行的方法,不仅简化了操作,而且有可观的经济效益,具有广阔的应用前景。我们相信本书的出版会有助于磁罗经技术的进一步研究,对目前航海院校磁罗经课程所讲授的内容是很好的补充,为船舶驾驶人员、航海技术专业本科生及研究生、磁罗经校正人员和有志从事磁罗经技术研究的人员提供了很有价值的参考和指导。

目前随着信息技术等高新技术在航海领域的广泛应用,船舶正朝着信息化、智能化和自动化方向发展,磁罗经技术作为航海技术必不可少的一个组成部分,它的进一步完善,必将会促进航海技

术更加迅速地发展。

本书在编写过程中得到了大连海事大学王逢辰教授、夏国忠教授和大连海事局安志华同志、大连海运总公司张振岭主任的指导,本书由海军大连舰艇学院陆儒德教授主审并为本书作序,在此一并表示感谢。

在本书编写过程中,由于时间仓促,书中难免有不正确的地方,望广大读者能给予批评和指正。

作者

2002年9月

目 录

绪论	(1)
第一章 地磁场与船磁场	(7)
第一节 地磁场	(7)
第二节 船舶磁场	(18)
第二章 罗经自差校正	(26)
第一节 测定自差的方法	(27)
第二节 自差校正原理及方法	(34)
一、倾斜自差的校正	(35)
二、罗经正平自差的校正	(41)
三、固定自差的处理	(80)
第三章 罗经剩余自差	(83)
第一节 自差表	(83)
第二节 消除自差的标准	(90)
第三节 求罗经自差系数	(91)
第四章 磁罗经自差的变化	(101)
第五章 磁罗经的结构及使用	(112)
第一节 磁罗经的结构	(112)
第二节 磁罗经的检查	(118)
第三节 校测罗经自差的注意事项	(122)
第六章 其他类型磁罗经	(125)
第一节 复示磁罗经	(126)
第二节 陀螺磁罗经	(131)
第三节 磁通门罗经	(132)
第四节 霍尔罗经	(138)

附录 1	中华人民共和国船舶检验局有关磁罗经 检验技术规则	(143)
附录 2	中华人民共和国港务监督局有关磁罗经 “船舶安全检查”规定	(147)
附录 3	船用磁罗经常用词汇英汉对照	(149)
附录 4	利用太阳校正磁罗经自差的计算程序	(163)
参考文献		(168)

绪 论

磁罗经是指利用地磁场对磁针等磁敏感元件相互作用的原理,而使罗盘指示磁北的航海指向仪器。由于磁罗经具有整体结构简单、工作性能可靠、不依赖任何外界条件可独立工作的特点,至今仍是船上必备的航海仪器之一。国际海事组织(IMO)于1977年通过了“关于安装磁罗经的建议”的决议。SOLAS公约中规定凡150总吨及以上的船舶均应装设:

- (1)一具标准磁罗经或至少应配备一具合适的操舵罗经。
- (2)标准罗经若为投影或反射式的罗经,船舶可免装操舵罗经。
- (3)标准罗经与操舵位置间应有可靠的联络方法。
- (4)各磁罗经应正确校正,并应备有随时可用的剩余自差表或自差曲线。

一、磁罗经的前身——指南针

据考古学证明,在旧石器时代,我们的祖先已经开始在大海中航行。但早期的航海主要是沿岸航行,人们用肉眼去观测陆标,以辨别方向。到公元前2000年,人们即可利用测量水深、识别风向、识别风力和辨认北极星等天体来引导船舶航行。

随着船舶的航程越来越远以及在各种气候条件下航行的需要,对船舶指向仪器的需求越来越迫切,指南针就是在这种背景下产生的。早在我国战国时期,就有关于指南针的始祖“司南”的记载,如图0-1所示。司南是将一块天然磁石琢成勺子形状,放在四周刻有方向光滑的“地盘”中央,在地磁力作用下,使勺柄指向南方。司南的发明是人们对磁体指极性认识的重要应用。但因为磁石与地盘接触处转动摩擦阻力较大,难以准确指南,所以司南未能

得到广泛的应用。

我国宋代在磁铁磁化方面取得重大进展。在《武经总要》中记载了利用地磁场对做成鱼形的铁片进行磁化,而得到指南鱼。但因其磁性较弱,故实用

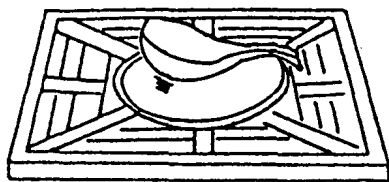


图 0-1 司南

价值不大。沈括在《梦溪笔谈》中记载了“方家以磁石磨针锋,则能指南,然常微偏东,不全南也。”这是利用天然磁石磁化钢针的“人工磁化”方法,既方便又有效。它为指南针的产生提供了重要的技术保证,也是对利用天然磁石制造磁铁的一次根本变革。

沈括还记载了使用指南针的几种方法,如“水浮”、“置指爪及碗唇上”以及“缕悬”法等。水浮法如图 0-2 所示,即磁针借助于灯芯草的浮力,浮于水面之上。这种水浮法一直沿用到今天,目前世界上普遍使用的液体罗经就是基于这个原理。“缕悬”法是用一细线系于磁针中部,悬在无风之处,磁针也可指南。南宋当时还流行一种“指南龟”,即将一块天然磁石装在木刻的指南龟腹内,在木龟腹下挖一光滑小穴,然后放在顶端光滑的竹钉之上,木龟便可自由地转动指南,这就是后来出现的旱罗盘的前身。

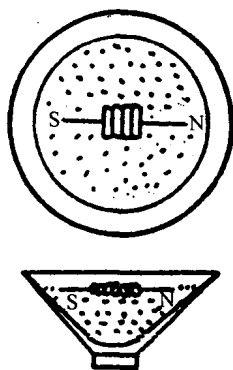


图 0-2 水浮法

指南针一经发明,很快就被应用于航海。宋代《萍洲可谈》记载“舟师识地理,夜则观星,昼则观日,阴晦观指南针。”这也是世界航海史上使用指南针最早的记载。我国宋朝期间,由于海船上普遍装置了指南针,船舶导航已由以天文为主而改用指南针了,进而

极大地促进了航海事业的发展。当时与我国通商的国家达到 50 多个,我国的船舶航行于印度洋、波斯湾以至非洲东岸。指南针正是在南宋时期经由阿拉伯人传至欧洲的。

二、早期的磁罗经及其应用

指南针在航海上的应用,不仅提高了航海技术,而且也加速了指南针本身的发展。

由于当时传入欧洲的是采用“水浮”法的指南针,因此当船舶在海上摇摆时,因磁针浮于水面,便随之摆动,影响指向。到 13 世纪,人们将磁针放在支轴上,使其仅能绕支轴在水平方向上自由转动,解决了磁针随船摆动问题,进而海员又将上面标有 32 个罗经点的刻度盘装在磁针上面,以方便读取航向。为防止刻度盘受风的影响,又将其装置在有玻璃盖的圆形木箱里,并设计了常平环,即使船舶倾斜时,刻度盘仍能稳定地保持水平。经过上述一系列改进后的指南针,我们便称之为罗经。到 16 世纪,罗经已成为实用的航海仪器了。

我国早期使用的罗经主要采用“水浮法”,盘面的刻度为 24 个方向,以字表示,如“乾”表示 315° ,戌表示 300° ,而“乾戌”表示 307.5° 。用一字表示称为“单针”,两字的称为“缝针”。单针加缝针共 48 向。还有用三字表示方向的。我国早期这种罗经称为“水针”或“罗盘”。“水针”在我国民间船舶上一直使用到清朝光绪年间。在 16 世纪,欧洲海船使用的旱罗经即“旱针”首先由日本传入我国,到清朝康熙年间,旱罗经已在官方船舶上普遍使用。到 19 世纪,由于传统的水针已很难满足航海的要求,终于被旱针替代了。

由于有了磁罗经为船舶导航,再加上航海和造船技术的发展,直接促进了航海事业的发展,在 15~16 世纪,世界进入了航海、探险的新时代。我国明朝航海家郑和率领船队进行了举世闻名的七下西洋远洋航行,最远抵达非洲东岸;哥伦布在 1492—1500 年横

渡大西洋,发现了美洲新大陆;在 1519—1522 年,麦哲伦从西班牙海港出发,完成了绕地球一周的开创性航行。

磁罗经的应用还导致海图发生根本性的变革。在 14 世纪前后,地中海地区首先出现了一种新海图——“波袭兰海图”。它描绘的范围只限于地中海。由于用以往的海图航行,只能有粗略的方向,使航海呈现一种盲目状态。波袭兰海图是根据罗经方位、纬度和估计的航程转移绘制成的,并印有罗经花和点与点间的正确航向,使航行的准确性有了很大的提高。但波袭兰海图没有考虑磁差和地球曲率的影响。

我国自元代开始出现了所谓“针路”,即一条航线由许多针点连接起来。例如,郑和下西洋时,绘制了郑和航海图,包括亚非两洲共有二十多幅航海地图,图中绘有沿岸地形、岛屿及针路,并记载开船地点、航向、航程等。航向记的是罗经针位,航程用更计算,表明指南针已经用于航海指向。“针位取海道”是航海技术的重要发展。

三、磁罗经自差

磁罗经误差包括磁差和自差两部分。我国最早发现了磁差,而西方在 1492 年哥伦布横渡大西洋时才发现了磁差。到明代我国已能精确地测定磁差了,并知磁差因地而异。后来人们经过连续观测发现,磁差是按一定周期缓慢变化的,如近年磁差每年变化角度约 $1'$ 左右。

早期的船舶均由木材建造,不会对罗经产生任何磁性干扰,因此磁罗经能准确地指向磁北。到了 18 世纪末,欧美等一些国家将蒸汽机用于船上,造船材料基本上改用钢铁,钢铁中的磁性使罗经指向偏离磁北,产生了自差。开始,人们尚不知如何消除自差,只是尽量拆除罗经附近的钢铁设备或换成铜的。后来人们发现加大钢铁设备与罗经的距离,可减轻其对罗经的影响,于是便将主罗经装在桅杆顶上,但这又给使用罗经带来很大的不便。

在 19 世纪,世界各国学者就开始对磁罗经自差及其校正方法进行了研究。1824 年,法国科学家泊松提出均匀磁体磁场方程式即泊松方程,为罗经自差学奠定了理论基础。为消除自差,海员用大磁棒放在罗经旁边的甲板上。校正倾斜自差的磁棒是从驾驶台上吊下来的。这样做很不方便,而且磁棒位置不易固定。1838 年,英国天文学家爱利设计了用于安放罗经和校正磁棒或软铁的罗经箱座,并提出至今仍被广泛使用的消除自差的“爱利法”,从而不但在理论上,而且在实际的校正方法上解决了罗经自差消除问题。此后佛林德尔船长提出消除软半圆自差的“佛氏铁”。

19 世纪末,苏联学者科仑克提出不依赖外界条件消除自差的测力法——“科仑克法”。爱利法和科仑克法代表了消除自差的两种主要方法。

四、磁罗经的改进

自然科学的迅速发展促进了罗经及其自差理论的进一步完善。19 世纪后期,英国人克罗之又对罗经进行了一系列的改进。为了增强罗盘的稳定性和减小磁针对校正软铁的感应,克罗之将罗盘的一根粗而大的磁针换成数根细而小的磁针,采用两对或三对短磁针构成磁针系统,既减小了磁针对校正软铁的感应,又没有降低磁针的总磁矩。为减小轴针与轴帽间的摩擦力,将刻度盘仅留下约 2 in 宽的环形带,轴帽也换上坚硬耐磨的宝石,并对刻度盘进行了处理,以防在阳光照射下变形。

20 世纪 20 年代,苏联制成一种罗经,其磁针排列的角度用高等数学计算,避免产生高阶自差,成为当时最优良的罗经。目前世界各国均使用液体罗经,因液体罗经不仅极大地减轻了外界振动的影响,而且由于浮室在水中产生浮力,还减小了刻度盘与轴针间摩擦力,提高了罗盘的灵敏度,经过一系列的改进后,磁罗经已演变成船上目前实用的磁罗经了。

经过世界各国专家学者不断地研究及发展,磁罗经自差理论

和自差校正已形成了一门专门的科学,即“磁罗经自差学”,特别是近年来在磁罗经自差校正方法和校正理论的研究上取得了很大的进展,进一步丰富和完善了磁罗经校正自差的理论和校正方法。经过对磁罗经工作原理的研究,近些年来又出现了几种新型磁罗经如复示磁罗经、陀螺磁罗经、霍尔磁罗经、磁通门罗经等类型的罗经。磁罗经作为一种传感器也得到了广泛的应用,如实现了用磁罗经控制自动舵以完成磁罗经自动舵的功能,磁罗经还可与陀螺罗经相互切换,将磁罗经的信号送至雷达、ARPA及卫导等设备以完成磁罗经组合导航系统的功能。目前电子技术和计算机技术的迅速发展,为进一步简化测定和校正罗经自差的方法及程序、提高经济效益、以更好地发挥磁罗经的作用奠定了良好的基础。

目前,船舶上虽然普遍地安装了陀螺罗经,但是与磁罗经相比,陀螺罗经结构比较复杂,容易发生故障,故在船舶航行中,要求值班驾驶员应将陀螺罗经与磁罗经进行航向比对,以核对陀螺罗经工作是否正常。一旦发现陀螺罗经出现故障,要马上启用磁罗经,保证船舶继续航行。因此磁罗经与陀螺罗经两者相辅相成,共同完成保证船舶安全航行的任务。

第一章 地磁场与船磁场

(Terrestrial magnetic field and ship's magnetic field)

第一节 地磁场(Terrestrial magnetic field)

早在 2 600 年前,战国末期吕氏春秋的《精通篇》中记有“磁石召铁,或引之也”。这说明我们的祖先很早就已经发现了有关磁性的物理现象。

一、地磁要素

根据实际测量发现,在地球周围空间存在着磁场。地球可以被看做一均匀磁化的球体,就好像有一根大磁铁放在地球中心,地磁极位于地理南北极附近,且位于地球深处。地磁极的地理位置是不固定的,并围绕地理南北极逐年缓慢地变化,每年变化约在一角分左右。观测地磁极的地理位置近年内的变化如表 1-1 所示。

表 1-1 地磁极地理位置的变化

年份	地磁北极		地磁南极	
	纬度	经度	纬度	经度
1922	71°N	96°W	72°25'S	154°E
1950	72°N	96°W	73°00'S	156°E
1970	75°N	101°W	66°20'S	140°E

特别要注意的是,因为位于地理南极附近的南磁极具有正磁性,而位于地理北极附近的北磁极却具有负磁性,所以围绕地球空间的磁力线是从南半球走向北半球的,地磁力的大小和方向可用