



SHIP'S MAGNETIC
COMPASS ADJUSTMENT

船舶磁罗经校正

黎煜坤 编著

广州海运局科技处情报室

船舶磁罗经校正

Ship's Magnetic Compass Adjustment

黎煜坤 编著

广州海运局科技处情报室

编 者 的 话

随着航运事业的迅速发展，船舶数量日益增多，先进的导航仪器也日趋完善。目前不少船舶都装备了指向精度较高的陀螺罗经，但“磁罗经由于结构简单，可靠性强，仍然是最基本的导航仪器”〔交水监字（84）1900号文〕。尤其是国内沿海的中小型货轮、拖轮、渔轮和辅助船舶大多配备有磁罗经。在这些船舶上，磁罗经是唯一的指向仪器。而消除磁罗经自差，提高指向准确性，对这些船舶来说，显得更为重要。然而，目前营运船舶的磁罗经普遍存在“三个缺乏”：

1. 缺乏妥善管理。随着陀螺罗经的普遍使用，人们在不同程度上低估了磁罗经的作用，不少船舶管理不善，甚至个别船舶的驾驶员还放弃了管理。近年来尽管有所改善，但正规的管理仍须继续加强。

2. 缺乏有实际经验的校正人。目前部分新船长和驾驶员，由于多方面的原因，对船舶磁罗经校正缺乏实践的经验，一旦指向仪器发生故障，将会出现迷失方向的后果，甚至会发生事故。

3. 缺乏有参考价值的书籍。笔者曾在300余艘装有磁罗经的船上，竟看不到有实用价值的有关磁罗经校正方法的书籍，看到的仅仅是偏重于磁罗经自差理论的教科书。

有鉴于此，笔者自1979年以来，陆续在磁罗经学术会议上交流以及在《航海技术》、《集美航海学院学报》、《深

圳航运》、《广州海运科技动态》、《海务资料》、《随笔》等刊物发表磁罗经、磁罗经测定、磁罗经校正、磁罗经检验和修理等20余篇文章。现重新修改补充，归类编成《船舶磁罗经校正》。本书的目的：

(1)为船长和驾驶员提供实际有用的校差经验；

(2)为必须进行磁罗经校正而又没有校差时间的“忙船”，提供简易实用的校差方法；

(3)对疏于磁罗经管理的船舶指出其危害并提供正规管理的标准。

本书的出版，希望对船舶部分船长、驾驶员独立地进行磁罗经校正有所助益。但由于笔者理论水平不高，书中错误之处，望同行不吝指正。

高级工程师、老船长何炳材同志对本书作了审校。高级工程师、老船长陈筱楚同志对本书部分文章作了修改。科技处刘巨欢、符源生同志对本书认真审改、编辑。在此，表示谢意。

黎煜坤

1991年3月12日

目 录

一、地磁与罗经

1. 磁极.....(1)
2. 磁场.....(4)
3. 罗盘.....(6)
4. 投影式磁罗经.....(10)

二、磁罗经的检验与修理

5. 磁罗经的结构.....(14)
6. 磁罗经常见故障的原因和检修方法.....(16)
7. 磁罗经拆装应注意的事项.....(30)
8. 磁罗经的主要技术条件.....(31)

三、自差测定

9. 在珠江水道利用太阳磁方位测定自差的方法
.....(34)
10. 利用未经计算磁方位的天体测定自差的方法
.....(40)
11. 磁罗经与陀螺罗经比对校测自差的方法
.....(44)
12. 在珠江水道利用陆标方位测定磁罗经自差
.....(54)
13. 在蛇口港利用天然迭标测定磁罗经自差
.....(60)

14. 小船磁罗经自差的测定方法 (65)

四、自差校正

15. 磁罗经校差的前提和基础
 — 消除系数假 A (77)
16. 磁罗经倾斜自差的校正方法 (81)
17. 磁罗经简易实用的校正方法(一)
 — 一次校正法 (86)
18. 磁罗经简易实用的校正方法(二)
 — 单航向校差法 (95)
19. 磁罗经简易实用的校正方法(三)
 — 锚泊校差法 (103)
20. 校正磁棒位置对罗经的作用
 — 自差校正器(一) (106)
21. 校正软铁的能量和使用方法
 — 自差校正器(二) (114)
22. 佛氏铁的位置、能量和校正次半圆自差的方法
 — 自差校正器(三) (122)

五、自差分析

23. 任一航向观测误差较大的影响和修正
 — 从罗经校正看存在的问题(一) (129)
24. 剩余自差较大的原因和解决的方法
 — 从罗经校正看存在的问题(二) (133)

六、计算器的应用

25. 计算器在罗经校正中的应用(一)

- 显示区时和太阳磁方位……………(140)
- 26. 计算器在罗经校正中的应用(二)
 - 显示自差系数和航向自差……………(147)

七、船舶磁罗经的管理

- 27. 磁罗经必须保持完好随时可用…………… (153)
- 28. 船舶磁罗经管理保养检查表…………… (159)

附 录

- 附录 1 常用英文代号……………(161)
- 附录 2 国产磁罗经校正器规格……………(162)
- 附录 3 中华人民共和国磁罗经校正师(员)
 - 考核发证办法(试行)……………(165)
- 附录 4 磁罗经校正师(员)考试大纲……………(168)

一、地磁与罗经

磁 极

地球磁极与航海关系极大。我们知道，海图作业中有一项是磁差改正；罗经校正中有一项是倾斜误差校正；消除自差中有一项是向位换算。上述均与磁极有着极其密切的关系。

1492年~1496年，哥伦布从欧洲至新大陆的来回航行中，发现海面上各处磁差都不相同。他很详细地记录各处的磁差数值和方向，并以观测处的经纬度作定位的参考。为什么海面各处、地球各地的磁差都不相同呢？

原来，在我们居住的地球上，除了某些磁异常地区之外，在地理南北极附近各有一个地磁水平分量等于零，即磁倾角等于 90° 的地点。这两个地点就是地球磁极。严格地讲，它们是两个约 50^2 公里的地区。连结地理南北极的直线称为地轴。连结地磁南北极的直线称为地磁轴。这两根轴的交角约为 17° 。一根自由转动的磁针所指的是地磁子午线的方向，而不是地理南北极的方向。由于地磁南北极缓慢地作有规律地移动，地磁子午线与地理子午线在不同的地点相交成不同的角度。这个角度，在罗经学里则称为“磁差”。它同样也随着磁极的移动而变化。磁差的变化，一般是每年约在半度以内，高纬度变动较大。如纬度不高的珠江口桂山岛附近，1980年的磁差是 $1^\circ 44' W$ ，1985年则变为 $1^\circ 33' W$ ，而纬度

稍高的青岛附近，1970年的磁差是 $4^{\circ}56'W$ ，1980年则变为 $5^{\circ}28'W$ 。根据伦敦400年积累的磁差记录表明，地磁北极是以顺时针方向绕地理北极略成椭圆形转动的。这种由于磁极的移动而引起的磁差变化，科学家称之为“世纪变动”。

1581年，一位有20余年航海经验的海员诺曼，当他发明用倾斜圈来量度磁倾角时发现一根细长钢针在未磁化前，支持着它的正中点时能停在水平面上。而磁化后再支着它的同一点时，它的指北端却向下倾斜很多。经检查，钢针重量不变而均匀。1600年，英国女王伊丽莎白一世的私人医生威廉·吉尔伯特爵士，经过多年的观察和实验证明，磁针北端不但在一个地方存在下倾现象，而且各地的磁倾角都不相同，于是他提出一个后世证实是正确的观点：地球本身就是一个大磁场，指导罗盘的神秘力量就在地球的内部。最近，美国哈佛大学的地球物理学家有了一个新的发现，认为地球中熔态铁的运动起着一台发生器的作用，从而产生地球的磁力。杰里米·布洛克汉研究员说：大部分地磁磁力，都从内核通过南极大陆底下的地球岩石地幔中的两个冷部位出来，随后向北绕过地球并通过地幔中另外两个冷部位再进入地核。这两个冷部位一个在加拿大北部的底下，另一个在西伯利亚的底下。这就说明了磁针不仅指着地球磁极的方向，而且还指着地磁极所在之处的方向。就是说水平向和垂直向都指着地球磁极。

磁极，人类为了寻找它的位置，却经历了漫长的道路。第一次磁倾角观察是在1602年。此后的200多年里，由于大陆探险逐渐向西发展，人们越来越清楚地认识到北磁极可能位于加拿大哈得逊湾不远的地方。真正寻找北磁极是从1818年开始的。当时，探险的指挥官是约翰·罗斯，副指挥官是

爱德华·帕里，还有两个地磁观察家。其中一个就是后来发现北磁极和南磁极的詹姆斯·罗斯(约翰·罗斯的侄子)。当时他们详细地测量了北美洲的磁倾角。1829年，约翰·罗斯上校驾驶着150吨级的“胜利”号，再次出航探险，当他们抵达预期终点港“布西西港”时，詹姆斯·罗斯通过地磁观察资料确信北磁极应该在西面160公里的地方。1831年6月1日，在快要抵达北美洲原目的地的途中，他发现成水平悬浮的罗盘磁针突然失去定向选择，磁倾仪指示在 $89^{\circ}59'$ 。北磁极终于找到了！10年后，詹姆斯又找到了南磁极，成为世界上第一个抵达并发现南北磁极的人。

目前，加拿大的地球物理学家每隔10年进行一次地磁两极方位的测定。他们发现，1985年的地磁场北极就在加拿大的西北部，离雷索柳特湾358公里的地方。由于地球引力的变化，磁极在不断地作等距离位移。据计算，北磁极平均每年移动接近10公里，即它每天游移20多米，游移方向朝北。而南磁极则以每天20米的速度向澳大利亚方向移动。科学家预计，照此速度继续移动，过200年后，即2185年(误差为20年)，地球的地理北极将会与地磁北极合二而一。

南磁极的地磁调查及其方位的测定则由澳大利亚负责。据澳大利亚情报中心资料，南磁极的位置，就在离南极洲大陆海岸150公里的地方。南磁极是在1986年1月2日由澳大利亚的南极动力船“冰岛”号尾部伸出的一根无磁性吊杆上的一台特制地磁仪探测到的。确定的位置是在南纬 $65^{\circ}18'$ ，东经 $140^{\circ}2'$ 。上次南磁极的准确定位是1952年。从那时起，南磁极平均以每年8.8公里的速度朝西北方向漂移，现已移动了1298公里。

磁 场

1978年7月1日，上海航道局“山峰”号挖泥船正在长江口外疏浚作业时，突然“轰隆”一声巨响，船被严重炸伤，经极力抢救，才免遭沉没。据调查，是二次大战时残留的水雷所致。潜伏在海底的水雷，实质上就是一个装满了炸药的钢铁壳体，在地磁场的作用下被磁化，象一块大磁铁，具有吸引力。当船经过它所在位置的水面时，相互吸引而撞击爆炸。

地球上的钢铁为什么会被磁化呢？原来，我们居住的地球，是一个大磁场。据美国前国家航天管理局航天工程师洛姆·皮尔逊认为，地球磁场是在太阳系形成后不久地球在捕捉月亮过程中产生的。在这一过程中，曾发生一连串事件，引发了大量的潮汐摩擦并因此在地球核心产生了大量的热，导致了地球核心的熔化。熔化过程又使熔融的物质产生强大的旋转，从而产生了地球磁场。它的正极（蓝极）靠近地球的地理南极，称为“磁南极”。它的负极（红极）靠近地球的地理北极，称为“磁北极”。地磁磁力从磁南极发出而进入磁北极，这样，地球的四周形成了磁力线均匀的磁场。它的特点是远离了磁极及地面仍不觉它的磁力有所减弱。而在地球上的各种铁磁物质，也就在不同程度上受地磁场的影响而被磁化，从而形成自己的磁场。在地面下，在地面上，甚至在800公里高空中，磁针都会受到地球的磁力吸引。人们所到的任何地方，都可以用磁针来指示方向—地球子午线的方向，这就证明地球的四周是个强烈的磁场。如果把避雷针拆下，将会发现它能吸引铁钉或其他细小铁质东西，

说明了避雷针受地磁场的影响而被磁化，具有磁性。

地球是一个均匀的磁场，同时它又由于各地地质结构不同而有着强度不同的局部磁场。这就说明为什么船经过沉船或海底有着大量磁化矿藏时，罗经会被干扰，误差会增大的原故。

形成局部强烈磁场的的一个有趣的例子是牛胃中的异物导致飞机无法飞行的趣事。据外电报道，欧洲的一家著名的航空公司受托空运 80 头良种乳牛到伊拉克的巴格达。当飞机正拟关门起飞时，驾驶员发现导航的磁罗经不正常，只好停飞抢修。修好后正待起飞，又出现异常现象，于是干脆把罗经换掉。起飞后几分钟又因罗经工作不正常而返回，先后更换 3 个罗经，问题仍未解决，飞行员被折腾得一筹莫展。后请教专家，才真相大白。原来，这 80 头牛的前胃里均放置了一块小磁铁，它们联合起来，形成较大的磁场，从而干扰了磁罗经的正常工作。据牧场养牛专家说，牛只在放牧期间，往往容易吃进小铁钉、铁屑和铁丝而引起腹痛和疝病，因此畜牧专家在饲养良种牛时，为防止牛生病，都设法在牛的前胃放一块小磁铁，以使铁钉之类的异物被吸附在前胃而无法进入后胃，预防某些疾病的发生。这些铁钉、铁丝、铁屑以及 80 块小磁铁竟能使一架飞机无法飞行。而我们有的船舶，操舵罗经附近放置数只雷达备用的磁控管，或堆放数只新领的铁质垃圾桶，或在软片盒上放置铁质茶缸，或在标准罗经附近堆放更换的探照灯、高音喇叭，或堆积废钢丝、螺母、铁钉等铁磁物质，难道我们的驾驶员不知道磁性物质会使罗盘产生偏转而不能正常工作吗？要知道，铁器对罗经影响的大小与距离的立方成反比。其数学的公式是：
$$\text{tg } \delta = \frac{2M}{HR^3}$$

局部强烈磁场，固然会导致飞机无法起飞的趣事，而磁

力极低的区域，又何妨不会导致可悲的结局呢？自古以来，常有单独的或成群的鲸鱼游向海滩搁浅而悲惨地死去。鲸鱼为什么要“集体自杀”呢？美国的地球生物学家将一张美国东海岸鲸鱼搁浅地点的记录图，与该地区的区域磁地形图对照起来进行了研究，结果发现，鲸鱼搁浅的地方，往往是在磁力较低或极低的区域。由此他们认为，当鲸类沿着磁力较低的路线前进时，容易搁浅在海滩上，而且因磁力的作用，也很难把它们赶回海洋中去。

局部的磁场，干扰了地球均匀的地磁场，这是它的不利的一面。然而，聪明的人们，却能利用局部强大的磁场为生产服务，使之变成有利的一面。1985年4月，在筑波科学博览会上展出了称之为21世纪的日本船舶模型—超导电磁推进船。这种船，总长4.5米，宽2米，航速在100节以上，既适于水面滑行，又能在水下潜航。由于无需加油，机舱和燃油舱的空间大大缩小，因而适于多种用途而必将受欢迎。这种船是在船底装上产生磁场的超导线圈，利用在海水中流过的海水电流和磁场的相斥作用来推进船舶。目前美国也已建成小型实验船，并在海上行驶。

罗 盘

罗盘还未问世之前，传说古代北欧人驾驶着原始的“独木舟”航行时，为了不至于迷津遇险，就常随身带几只鸟。当他们需要靠岸登陆时，就放鸟出去，如果鸟向前飞去，就说明离陆地不远；如果鸟向后飞去，就说明前面还是浩瀚无际；如果鸟飞回船上，就说明前后离陆地、荒岛均十分遥远。用这样原始的方法来指导航行是非常靠不住的。自从发

明了罗盘后，世界航海事业才得以蓬勃发展。

具有悠久历史的罗盘，是中华民族发明的。据传在4000多年前，黄帝轩辕氏与蚩尤作战于涿鹿，遇大雾，黄帝将指南针装于战车上，辨别方向，追击敌人。也有传说：3000年前，周成王将指南车送给越裳氏，避免他由京城返南方路上迷失方向。尽管传说的年代无法考证，但我们祖先很早便发明使用指南针的事实是肯定的。《南方日报》于1955年1月29日曾报载苏联军事学家卡拉耶夫证明在公元前2500多年前，就已传出中国人把指南针用于军事方面的消息。有确实年代可考的，大约在2300年前的战国时代，人们就已经知道磁石吸铁现象，当时人们喻为“慈母怀子”。到了公元11世纪，指南针就普遍地应用于航海。当时人们就提出了“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”的航海方法，而且还懂得了今天我们所说的“磁偏角”。这些在《吕氏春秋》和《萍洲可谈》中均有记载。公元110年，东汉的张衡用纯机械的结构，制成精巧的指南车，供长途旅行或官员来往巡视各省之用。到了明初，罗盘已成了引导航海的主要手段。明朝的三保太监郑和，应用了指南针导航，在公元1405年到1433年，统率2.7万余人，大小船舶299艘的庞大船队，“七下西洋”，先后在海上度过28年，遍访30余国，航线南达爪哇，北达波斯湾，西达非洲东岸。这是我国和世界航海史上的一个伟大壮举。明末，人们还发现了由于船磁影响，使罗盘产生了误差，即今天所说的“自差”。当时人们就把船上铁性材料对磁针的干扰以及船上不用铁钉的理由，总结为“海咸烂铁，且防磁也”。可见我们祖先对罗盘的应用及其认识，在当时来说，已经具有相当高的水平。指南针传入波斯湾，大约是在宋朝，然后传入阿拉伯，再传入欧洲。

指南针传入欧洲后，对欧洲航海事业的发展起了很大的作用。15世纪末到16世纪初，欧洲各国航海家开辟了新航路，发现了美洲大陆，完成了环球航行。他们在当时用来辨别方向的法宝，就是指南针。以后，各国人民吸取我国历史上水浮针的技术，才发展成今天航海普遍应用的液体磁罗经。

中国人民所发明的罗盘，在东汉初年（公元50年）称为“司南”，以后称为“指南针”、“地螺”，再后称为“针盘”、“子午盘”，还称“罗镜”、“罗星”和“罗盘”等。至于罗盘的结构，也是多种多样的。最早，是把磁铁制成汤匙那样的形状，放在刻有子癸丑艮寅甲卯乙辰戊巳丙午丁未坤申庚酉辛戌乾亥壬，共计24个方位的刻度盘中间，用手拨动它的柄，使它转动，等到勺子停下来，勺柄就指向南方。后来改进为针状，用独股的丝用蜡少许粘于针腰，在无风处悬挂起来；也有把磁针搁置在手指甲或碗边上；也有把磁针制成鱼状，悬挂在战车上以指示方向。1985年在江西省临川县北宋人朱济南（1140—1197年）的墓中出土了底座墨书“张仙人”左手抱一罗盘的瓶俑。此罗盘的结构：磁针由轴支承，刻度盘采用16分制。这是世界上迄今发现的最古老最完善的旱罗盘。到了明朝“郑和七下西洋”时所用的水罗盘，是用很细的磁针穿在灯心草上，放在盛水的刻有“干支”（1）的油漆木盘上，这样的水浮针，帮助郑和创造了航海史上的奇迹。今天各国商船必不可少的液体磁罗经，是由罗盆和罗经柜构成。罗经柜由非磁性材料制成，用途是放置校正罗经自差用的校正器。悬挂在由平衡环支持的罗经柜顶的是整个罗盆。而罗盆的主要部分，就是罗盘。今天的罗盘，历经演变，已经较前先进多了。它是由2~8根细磁针对称地接在浮室上，浮室上面再固定刻有0~360°的

9291739

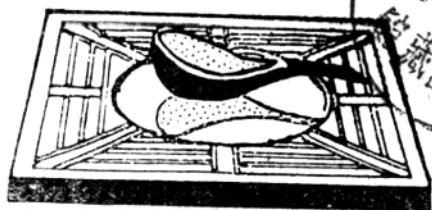


图 1

刻度盘。浮室的作用是使罗盘在盛满酒精和蒸馏水的混合液的罗盆内，减轻对支点轴针的压力，使罗盘指向灵敏。这是今天船舶普遍应用的比较完善的罗盘，驶船的人们都把它称为“船舶的眼睛”。即使是今天装备着雷达、劳兰、陀螺罗经，甚至是避碰雷达和卫星导航系统的现代化巨轮，对罗经也不敢忽视，也不能把它淘汰。

我们祖先发明的罗盘，不但启发了后人制成了液体磁罗经、陀螺罗经和电视磁罗经，而且还研制成具有综合用途的内部装有微型罗盘的船用望远镜。它既可以进行海面搜索瞭望，又可以进行相当精确的测距和定位。这种带有罗盘的双筒望远镜的定位精度接近现代化的劳兰C导航接收机的精度，是一种理想的船舶导航仪器。科学家们还探索了信鸽万里飞行，而能准确返回原地；蜜蜂飞至三四公里外采集百花汁，而又能回到自己的住处的奥秘。不久前，科学家在解剖鸽子头部及蜜蜂腹部时终于发现了另外一种新奇的罗盘——细菌罗盘。这种超小型的罗盘，是细菌在其体内，由磁铁小矿物所合成的铁磁罗盘。这些小矿粒在细菌内排成一行，依据地球磁场而确定方向。目前，细菌罗盘仍在进一步研究。

(1) “天干”是甲乙丙丁戊己庚申壬癸

“地支”是子丑寅卯辰巳午未申酉戌亥

投影式磁罗经

在我国，投影式磁罗经是新开发的产品，是目前船用磁罗经的佼佼者，从发展趋势来看，它将会逐步淘汰其他旧式罗经而大量进入大中型船舶。1987年我局从上海购进6台投影式磁罗经，红旗186轮是第一艘安装这种罗经的船舶。现将有关情况简介如下。

投影式磁罗经是利用地磁导航的新仪器。目前，美国、日本及欧洲等航海国家均已普遍生产和使用。该罗经的主要特点，除了把船上标准罗经和操舵罗经合二为一，节省一台操舵罗经并缩小安装空间面积，解决操舵罗经与标准罗经读数不一致需经常比对的问题外，还由于安装了一整套的光学系统，使该罗经具有影像清晰，易于观看读数的特点。投影式磁罗经安装在驾驶室顶部的甲板上，磁罗经柜中的镜筒经罗经柜基座穿过天花板向下伸入驾驶室内，驾驶员或舵手可通过安装在镜筒端部的平面反射镜，观察罗盆刻度盘的投影放大映像。该罗经既用作标准罗经，又兼作操舵罗经，克服了驾驶室内面积小的问题。尤其是小船，在钢铁舱室中船磁对罗经影响较大，以及由于只有一个操舵罗经所造成校差的困难。镜筒既可以上下伸缩，又可以左右旋转，使平面反射镜上的度盘映像适合操舵水手的视平线。室内装有控制投影照明强弱的可调装置，并根据需要日夜均可使刻度盘的映像清晰明亮，十分便于船舶驾驶员和舵手进行航向的观察。