

# 美国实践航海学

THE AMERICAN PRACTICAL  
NAVIGATOR

[美] NATHANIEL BOWDITCH, LL.D.

张尚悦 伞戈锐 芮震峰 译



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

## 内 容 简 介

本书涵盖了美国航海业所涉及的所有方面的问题,全书共分8个部分37章。内容包括航海发展史及基础知识、导航、电子导航、天文航海、航海数学、航海安全、海洋学、航海气象等,可谓是一本航海学知识大全。本书不仅是一本体系完整的教科书,也是一本指导航海人员航海实践和进行美国航海学及至世界航海学发展历程研究的参考书,在理论研究和实践指导等方面,都具有较高的实用价值。

本书读者可覆盖航海界各个层次的航海人员,既可以是各级军队和地方航海学院或海事大学在校本科生、研究生,也可以是各级船员、海军军官,也可以是航海各个领域的相关科研人员。

### 图书在版编目(CIP)数据

美国实践航海学/(美)鲍迪奇著;张尚悦,伞戈锐,芮震峰  
译.—北京:国防工业出版社,2011.7  
ISBN 978-7-118-07252-5

I. ①美... II. ①鲍... ②张... ③伞... ④芮...  
III. ①航海学 IV. ①U675

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第117531号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 889×1194 1/16 插页 12 印张 33½ 字数 998千字

2011年7月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 188.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

**本书由海军司令部航海保  
证部组织翻译。特此鸣谢！**

## 原著序

位于华盛顿特区的海军天文台异常宁静。这是一个巨大的圆形建筑，里面陈列着数以万计的图书。它的设计非常符合声学原理，以至于圆形阳台里发出的细小声音，都能被站在楼前广场上的人察觉到。广场中央有一个喷泉，泉水轻轻溅入水池，轻柔地打破了这里的宁静。在这个宁静的地方，图书馆职员将引导你进入一个接待室。接待室不远处有一座拱顶型建筑，天文台的大部分稀有图书都珍藏在这里，1802年出版的第一版《美国实践航海学》就位列其中。

你如果握起这本装于函套中的精致小书，就必定会因为它在近200年的时间里持续再版而留下深刻印象。该书自与法国之间的半官方战争，以及1812年英国强行征募商船海员而引发的战争中，开始被商船和海军军舰所运用。在1840年对抗墨西哥的战争中，美国海军舰艇也使用了此书。美国内战中的北方联邦和南方联邦的舰队，以及1898年古巴战争中的美国海军，也都使用了该书。该书伴随着“伟大的白色舰队”向全球传播，在两次世界大战期间穿越北大西洋传播到欧洲，朝鲜和越南战争期间传播到亚洲，“沙漠风暴”行动期间又传播到中东。至今，它已经伴随无数的船舶环球航行了近200年。

随着航海仪器和导航方法的不断发展，这些年来，《美国实践航海学》也在不断进行修编。从传统上偏爱的天文航海知识，到越来越多的被广泛应用的现代科技，它今天的实用性与纳撒尼尔·鲍迪奇——“普特南”号的船长——当初在甲板上集合船员并传授给他们包括计算月亮距离等在内的数学知识相比，并没有发生多大变化。实用性是该书的巨大魅力，这使得该书在今天仍和当初出版时一样，得到了广泛应用。

航海有着悠久的历史。几乎没有哪个职业比它更加注重保护传统。即便是最古老的最具讽刺意味的记载，都不得不承认这一特殊纽带，是它将所有以航海为生的人联系在了一起。这个纽带不只是一根单一线条，确切地说，它是一块色彩斑斓的华丽织锦，可以从中追溯到我们国家的诞生和航海文化的产生。因此，作为这块织锦的一个部分，我们没有理由轻视这本书，相反，鉴于它在历史上发挥的重要作用和有效的实用性，这本书应当得到妥善保藏。

从古至今，航海人员一直坚持汇集有用的航海知识并编辑成文供他人学习。最初的尝试始于1550年到1750年间，数卷西班牙和葡萄牙文的航海手册被翻译成英文。那时的作者和翻译人员在汇编航海知识时相互间自由借鉴，这种形式在如今我们编辑像《航路指南》这样的书籍时仍在继续。

由于没有美国版本的航海教科书，殖民时期和美国早期的航海者几乎只能依赖英国出

版的航海教科书。最早的美国航海教科书——《正统航海》，1656年由本杰明·哈博特完成；而最早在美国出版的美国航海教科书，则是1794年托马斯船长撰写的《经纬度的注释、用法和示例及罗经的变化》。

18世纪后期最受欢迎的航海教科书是约翰·哈弥尔顿·摩尔的《新实践航海学》。一个来自纽伯里波特的出版商——爱德穆德·M·布兰特，决定出版该书的修订版本供美国航海者使用。布兰特说服当地的一个知名航海家和数学家——纳撒尼尔·鲍迪奇，着手修订和更新《新实践航海学》，其他几个有学问的人士协助这项修订工作。布兰特的《新实践航海学》在1799年出版。1800年，布兰特出版了摩尔《新实践航海学》的美国第二个版本。

1802年，当布兰特准备出版第三版时，纳撒尼尔·鲍迪奇等人已经完成了摩尔《新实践航海学》一书中大量错误的更正工作，于是布兰特决定出版第一版《新美国实践航海学》。这就是1802年版的《新实践航海学》以及今天这个版本的历史渊源。

《新美国实践航海学》在1867年政府购买版权之前一直由鲍迪奇和布兰特两个家族负责。布兰特出版该书一直持续到1833年；布兰特退休后，他的两个儿子——爱德穆德和乔治接管了出版工作。老布兰特1862年逝世，他的儿子爱德穆德也于1866年去世。次年，也就是1867年，乔治·布兰特将该书版权以25 000美元的价格卖给了政府。从此，开始由政府出版《新美国实践航海学》。乔治·布兰特于1878年去世。

直至1838年去世，纳撒尼尔·鲍迪奇一直负责《美国实践航海学》的修正和校订工作。他去世前将这一职责交给了他的儿子——J. 英格索尔·鲍迪奇。英格索尔·鲍迪奇担任这一工作直到乔治·布兰特将版权卖给政府。他比编辑出版《实践航海学》的其他负责人更长寿，1889年才去世。

美国政府获得这本书的版权后，已将其再版52次，作者署名仍为该书的原著者鲍迪奇。由于政府开始出版，因此本书因其出版年份而不是编辑号而出名。1880年在美国海军菲利普库珀上校的修订本中，书名改为《美国实践航海学》。在书经过第一次和第二次世界大战期间的几次修订印刷后，1958年和1995年的版本又进行了大幅度修订。

由于印刷文字版本具有局限性，而计算机和电子媒介则可以为我們提供思考航海和出版形式的全新方法，美国国家图像与测绘局(NIMA)在发行2002年版时，出版了官方的第一个光盘版电子书。此光盘中除了包括印刷本的全部文字外，还增加了书本形式所不具备的电子增强和附件等内容。我们的目标是以尽可能容易理解和阅读的形式为航海人员提供更多有用的导航信息。我们已经开始探索新技术在这个领域的应用。

尽管《美国实践航海学》是历史的一部分，但它本身并不是一本历史书。为了跟上世界航海发展的脚步，该版本在删除过去版本中陈旧内容的同时，增加了新的方法和技术。该版本中的修改是为了给当今的航海实践提供参考，是一次更替，而不是废除以前的版本，老版本将被保留并且可以用于查询历史上的航海方法。

第一部分，基础知识。包括对航海的类型和各个阶段的总结，以及相关的组织。内容包

括海图的类型、结构和使用以及局限性；对测地学和海图基准做的简要的说明；同时，对各种必需的航海图书资料做了概述。

第二部分，沿岸导航。重点讲述狭窄水域船舶驾驶的实际应用方面的内容，包括使用传统和电子的方法。

第三部分，电子导航。解释无线电波和电子导航系统的特性。分别介绍了各种不同电子导航的方法——卫星、罗兰 C 和雷达，重点是卫星导航系统和电子海图。

第四部分，天文导航。与前一个版本相比，更新了一些现代技术，讨论如何使用计算器和计算机来解决天文航海的问题。

第五部分，航海计算。与前一版本没有任何改变。

第六部分，航海安全。讨论导航资源管理和航海人员的角色变化的最新发展、灾难和安全救助通信、应急导航过程以及日益复杂的航海规则网站。

第七部分，海洋学。已经进行了更新，体现了最新的科学技术。

第八部分，航海气象学。融合了气象导航信息和新型云图。

在整本书中使用的代词“他”包括所有性别的航海人员。

本书的印刷版会根据航海通告和改正总汇来修正。有关内容修订和增加的意见以及建议请寄往：

美国国防部国家图像与测绘局

海上安全信息部

邮编：20816—5003

美国 马里兰州 贝塞斯达

SANGAMORE 路 4600 号

D—44 邮箱

本书的出版离不开许多政府组织专家做出的贡献，这些政府组织包括：美国海岸警卫队、美国海军学院、美国海军海洋办公室、美国海军舰艇训练中心、美国海军天文台、海军航海人员办公室、美国海运学院、美国海岸和地形测量局、国家海洋中心、国家气象中心。除了官方政府专家意见，我们必须提到私人组织和个人所做的巨大贡献。全世界的航海人员都将感谢这些人无私奉献的辛勤劳动以及提供的宝贵经验和专业知识。这些奉献者的详细名单可以在本书光盘版的“鸣谢栏”中找到。

编者

# 目 录

## 第一部分 基础知识

第 1 章	航海简介 .....	3
第 2 章	航海中的大地测量学和基准 .....	17
第 3 章	海图 .....	24
第 4 章	航海出版物 .....	52

## 第二部分 沿岸导航

第 5 章	近程助航设备 .....	67
第 6 章	罗经 .....	85
第 7 章	航迹推算 .....	101
第 8 章	近岸导航 .....	107
第 9 章	潮汐和潮流 .....	131

## 第三部分 电子导航

第 10 章	无线电波 .....	153
第 11 章	卫星导航 .....	165
第 12 章	罗兰导航 .....	176
第 13 章	雷达导航 .....	189
第 14 章	电子海图 .....	198

## 第四部分 天文导航

第 15 章	航海天文学 .....	217
第 16 章	天文导航仪器 .....	255
第 17 章	方位和方位角 .....	264
第 18 章	时间 .....	269

第 19 章	天文历 .....	279
第 20 章	观测数据处理 .....	287

## 第五部分 航海计算

第 21 章	航海计算 .....	311
第 22 章	计算和转换 .....	321
第 23 章	航海误差 .....	335
第 24 章	航法计算 .....	339

## 第六部分 航行安全

第 25 章	导航工作流程 .....	357
第 26 章	应急导航 .....	366
第 27 章	航海规则 .....	376
第 28 章	海事安全系统 .....	384
第 29 章	水文地理学 .....	398

## 第七部分 海洋学

第 30 章	海洋 .....	413
第 31 章	洋流 .....	420
第 32 章	波浪、碎浪和拍岸浪 .....	427
第 33 章	冰区导航 .....	437

## 第八部分 航海气象学

第 34 章	天气要素 .....	463
第 35 章	热带气旋 .....	482
第 36 章	天气观测 .....	496
第 37 章	气象导航 .....	516

缩略语和符号表 .....	525
---------------	-----

第一部分

基础知识





# 第1章 航海简介

## 术 语

### 100 航海的科学与艺术

航海是科学与艺术的综合。优秀的航海人员能够从每个可用的资源中获取信息,加以评估,确定一个船位,并将实测船位与推算船位做比较。航海人员要不断地评估船舶位置的准确性,要能够预见可能出现的危险局面,并保持时刻“向前看”。现代航海人员还要了解目前正在使用的各种导航系统的基本原理,分析这些系统的输出精度,从而获得最佳的航行决策。

导航方法和技术针对不同船舶类型、航行条件以及航海人员的经验而不同。举例而言,驾驶游艇和驾驶集装箱船不同,而两者同时又和操纵海军舰船有所不同。因此,航海人员要尽量采用与船舶和航行条件相一致的导航方法和技术。

成功导航中的许多重要因素不能从任何书本和老师那里得到。航海中的科学知识能够传授,但航海的艺术只能在实践中掌握。

### 101 航海的分类

随着时代的变迁,航海的方法已经发生了变化。每一个新的方法都有助于提高航海人员安全、迅速地完成任务的能力。对于航海人员来说,最重要的判断能力就是选用最佳的方法。通常,公认的航海类型包括以下几类:

(1) 推算航法(DR)。即已知船位,根据航向和航程来获得新的船舶位置。获得的新船位称为推算船位,并且通常仅用航向和航速来确定。将推算船位修正风流压差及操舵误差后就得到估算船位(EP),使用惯性导航设备能够极大地提高估

算船位的精度。

(2) 连续定位法。即在受限水域根据地形和水深特征通过连续定位进行导航。

(3) 天文导航。

(4) 无线电导航。即通过无线电测向及双曲线系统来获得船位。

(5) 雷达导航。即通过雷达观测目标的方位和距离来确定船位。这与雷达在避碰系统中的作用不同。

(6) 卫星导航。即利用人造卫星来定位。

电子集成舰桥的概念进一步推动了导航系统的规划和设计。集成系统将输入的各种船舶传感器信息进行集成,电子化显示定位信息,并产生所需的控制信号,使得船舶保持在预定的航向上。航海人员因此成为一个系统的管理者,负责选择系统的设定值,解释系统的输出信息,并监控船舶的响应。

实际上,航海人员能够在单个集成系统中综合运用多种不同的导航方法,而不是仅仅使用一种方法并将其他方法作为备用手段。每种导航方法都有其利弊,航海人员必须针对各类特殊情况选择最适宜的方法。

随着船舶自动定位和电子海图的出现,现代导航几乎完全演变为电子化导航过程,也使得航海人员往往只使用电子导航系统。这实际上是一个错误。电子导航系统终将导致导航失败,专业的航海人员应该依靠与前辈们完全一样的技能,毫不忽视船舶和全体船员的安全。由此,熟练掌握传统的定位方法和天文导航就显得尤为重要。

## 102 航行的各个阶段

航行过程包括 4 个不同的阶段。航海人员应该对导航方法进行系统的组合,确保每个阶段都达到所需的定位精度。

(1) 内河水路阶段:在狭窄的运河、航道、江河以及河口处导航。

(2) 港口/进港阶段:航行到进港处及在进港航道中导航。

(3) 沿岸航行阶段:离岸 50 海里或者 200m 等深线以内航行。

(4) 大洋航行阶段:在沿岸航行区域以外的宽阔水域航行。

针对各个阶段对于船舶位置的精度要求,航

海人员在不同阶段所采用的定位间隔及导航方法组合各不相同。在各个阶段建议采用的合适的导航方法组合,见表 102。

表 102 导航阶段与方式关系表

	内陆水路	港内/进港	沿岸	大洋
推算航法	X	X	X	X
连续定位法	X	X	X	
天文导航			X	X
无线电导航		X	X	X
雷达导航	X	X	X	
卫星导航	X*	X	X	X

注: X 表示可用; \* 表示可用差分 GPS(全球定位系统)

## 航海的术语与约定

### 103 重要的惯例与概念

纵观整个航海史,许多航海的术语与惯例已经约定俗成。一个专业的航海人员应该充分了解某些术语、技巧和惯例的由来,以便获得对本领域全面的了解和认识。比较重要的术语与惯例将在下文讨论。

给本初子午线下定义并不太久远。19 世纪初,制图师之间关于将本初子午线作为度量经度的基准仍缺乏统一的认识。不过,这并没有导致任何问题产生,因为在当时并没有通用的方法来精确度量经度。

公元 2 世纪,托勒密(古希腊天文学家、地理学家和数学家,地心说的创立者)将加那利群岛偏西 2°作为基准经线,并由此向东度量经度。1493 年,罗马教皇亚历山大六世在大西洋中亚速尔群岛以西确定了一条分界线,用于划分西班牙和葡萄牙两国的版图。在之后的许多年里,西班牙和葡萄牙的制图师们始终将这条分界线作为本初子午线。1570 年,荷兰制图师奥特里休斯用佛得角群岛的最东端作为本初子午线。约翰·戴维斯在其 1594 年出版的《水手的秘密》中用的是非斯岛,

因为那里的磁差为零。不过那时水手们很少注意到这些约定,在航行中用众多不同的海岬和港口来计算经度。

经过伦敦的子午线早在 1676 年就已经被使用,之后随着英国海运利益的增加而越来越普及。向东向西各 180°这一度量经度的方法最早出现在 18 世纪中期。到 18 世纪末,随着格林尼治天文台地位的提升,英国制图师们开始使用经过该天文台的子午线作为基准。1767 年该天文台出版了第一本航海天文年历,进一步确定经过格林尼治天文台的经线为本初子午线。1810 年美国的航海人员以及制图师企图将经过华盛顿特区的经线作为本初子午线。但在 1884 年,经过格林尼治天文台的经线最终被官方确认为本初子午线。今天,除在一些港图中使用当地基准外,所有的海运国家都将经过格林尼治天文台的经线指定为本初子午线。

海图是用于航海或航空导航中的地球表面的图形表示,描述航海人员特别关注的地球表面特征。最晚在公元前 600 年就可能已经出现了地图。立体投影和正射投影则可以追溯到公元前 2 世纪。1569 年,格哈杜斯·墨卡托使用现在以他

的名字命名的数学投影法则绘制了地图。大约30年后,爱德华·赖特出版了这种投影方法的数学修正表,使得制图师们可以应用墨卡托投影来绘制地图。这种投影目前仍被广泛使用。

航行指南和导航术至少在公元前6世纪已经存在。随着探险和贸易的增多,人们积累了大量的航海数据,到了中世纪,各种文献出版物大量涌现。“公约”大约出现在1500年的法国;英国人把他们叫做“开路先锋”。1584年,卢卡斯·瓦格纳出版了《水手的典范》一书,该书成为几代航海人出版的这类图书中的典范,被许多水手称为“御夫座”。基于大量的数据收集并整理的现代领航和航路指南则始于1842年马太·佛太尼·茅瑞。

罗经是从一千多年前逐步发展而来的。虽然最初的磁罗经很不可靠,但挪威人在11世纪就已经开始使用。19世纪70年代,劳德·开尔文研制了较为可靠的干卡片航海罗经。1906年,湿罗经成为标准。

直到18世纪埃德蒙·哈雷在南大西洋带领探险队绘制磁差线时,磁差才被了解。自差最早也是在17世纪才被了解的。直到弗林德斯·马修发现一条垂直的铁棒能够减小误差,罗经误差修正才成为可能。1840年后,英国天文学家乔治·艾利勋爵以及后来的劳德·卡尔文发明了用组合的铁棒和小磁铁来消除大多数磁罗经误差的方法。

陀螺罗经是钢铁船舶必需的。里昂在1852年发明了最简易的陀螺仪。美国人(埃尔默·斯贝利)和德国人(安修士·卡姆普夫)在20世纪早期共同发明了电罗经。

计程仪是水手的速度计和里程仪。船员最初通过观测一小段木块经过船边来测量速度。后来发展到用一块木板系到卷在一起的绳索上。船员通过计算在被测量的时间内展开的绳结个数来测量船舶运动的速度,速度的单位“节”(kn)即由此而来。17世纪中叶的机械式计程仪使用一个小明轮或者一个旋转盘。发明于1878年的拖曳式计程仪至今仍然被使用。现代计程仪使用电传感器或者旋转装置,以获得与船舶运动速度成比例的小电场。发动机转速计数器或者干式计程仪通常用于大型船舶测量速度。多普勒速度计程仪通常适用于需要非常精确速度值的船舶测速

中。惯性和卫星导航系统同样能够提供高精度的速度值。

在美国,《1975米制转换法案》和《1988公共贸易竞争法案》确立了米制度量衡。政府也随之将海图转换为米制格式。考虑到航行的费用 and 安全性,以及合理的转换需要持续许多年,海图尽管向米制系统转换,但在海上通常还是使用海里作为距离测量单位。

国防部绘图局海道测量/地形测量中心(DMAHTC)和国家海洋局(NOS)目前的政策是新编辑的航海专用海图和出版物转换为米制系统。这种转换开始于1970年1月2日。大多数现代的海运国家也将米作为测量深度和高度的标准。不过仍在出版的老海图以及部分国家的海图还没有遵循这个标准。

拓何时被用作长度和深度单位已经无从考证。公元前2世纪,波西杜尼斯曾报告探测的距离超过1000拓。这个单位使用了多久已无人知晓。许多仍将拓作为单位的现代海图,也将陆续转换为米制系统。

航法是指用数学的手段来确定航向、航程和船位的各种方法,其历史与数学本身一样悠久。泰利斯、喜帕恰斯、纳皮尔、赖特以及其他人对平面航法、旋转航法、平行航法、中分纬度航法、墨卡托航法以及大圆航法中计算航向和航程的公式都做出了贡献。

## 104 地球

地球是一个旋转椭球体(在两极被压平)。测量地球的尺寸以及计算其扁率属于测地学的范畴。不过,将地球假定为一个球体对于大多数航海用途来说并不会产生较大的误差。地球旋转轴连接北极和南极。

大圆是经过地心的平面与球体表面的交线。这是能够画在地球表面上的最大的圆。连接地球表面两点间距离最短的是大圆弧。在球面上距离最短的线称为最短连线。在许多航海问题中,大圆最接近于一条最短连线。小圆是不经过球心的平面与球体表面的交线,见图104a。

经线是从极点到极点的半个大圆,通常采用经过特定点的上子午圈作为经线。相对的另一半称为下子午圈。

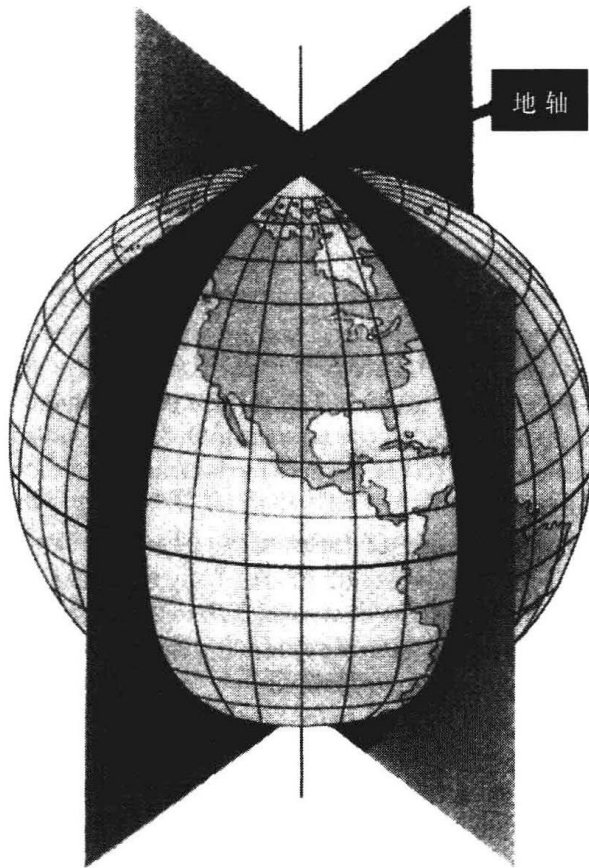


图 104a 子午线平面经过地轴

纬圈是地球表面上与赤道面平行的一个圆。在这个圆上所有点的纬度相等。赤道是纬度等于 $0^\circ$ 的一个大圆,见图 104b。极点是纬度等于 $90^\circ$ 的点。所有其他的纬圈都是小圆。

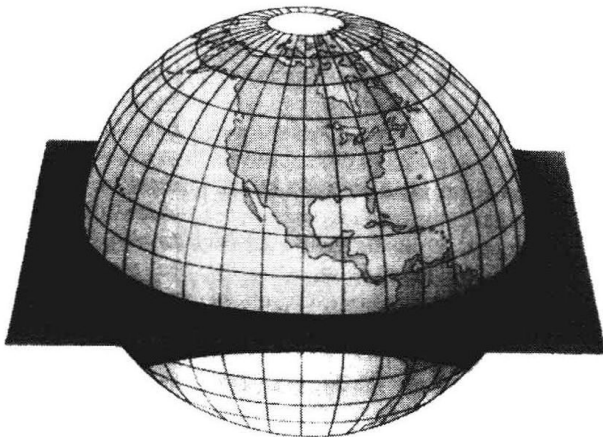


图 104b 赤道是一个大圆,位于两极中间

### 105 坐标

地球上的任一点都可以用纬度和经度的坐标值加以确定。纬度(L, Lat.)是一个用角度度量的距离,它从赤道开始沿着经线向北或向南度量到两极,赤道为 $0^\circ$ ,两极为 $90^\circ$ 。用 N 或 S 来表示不

同的度量方向。

两点之间的纬差( $l, DLat.$ )是指经过任意两点的纬圈在经线上所夹弧长对应的角度值。如果这两点在赤道同侧,那么纬差是两个纬度的差值;如果在赤道两侧,那么纬差是两个纬度之和。纬差也根据情况命名为 N 或 S。中间纬度( $L_m$ )是赤道同侧两点纬度和的一半。中间纬度也标明 N 或 S 以表示位于赤道的南侧或北侧。

位于赤道两侧的两个点,其中间纬度公式等于两个纬度差的一半,并与离赤道最远的点同名。不过,由于这一公式缺乏明确的含义,这种定义容易导致误解。当两个点位于赤道异侧时,有两个中间纬度值经常被使用,即取每一个纬度与 $0^\circ$ 的平均值。

经度( $l, long.$ )是本初子午线与经过该点的子午线在赤道上所夹弧长的角度值,从本初子午线起算,向东或向西,从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 度量。E 或 W 表明度量的方向。

两点之间的经差( $DLo.$ )是过两点的子午线在纬圈上所夹的劣弧长或最小的极角。如果这两点都在格林子午线同侧(东或西), $DLo.$  就为这两点经度的数值差;如果不在同侧, $DLo.$  就为数值和,如果和大于 $180^\circ$ ,应由 $360^\circ$ 减去和。在任意纬圈上两条经线之间的距离(距离单位通常用海里)称为东西距( $p, Dep.$ )。它的数值会随着纬度的增加而减小,而  $DLo.$  在任意纬度都相等。 $DLo.$  和  $p$  也根据情况标明 E 或 W。

### 106 地球上的距离

航海人员所使用的距离是指连接两点间恒向线的长度。恒向线与所有经线的交角都相等。经线和纬线都保持一个恒定的方向,因此也被认为是特殊的恒向线。除此之外,其他的恒向线都螺旋趋向于地极,构成等角曲线或称为恒向线。两点间沿着大圆所得到的距离通常叫做大圆距离(见图 106)。在大多数情况下,将 1 海里等于纬度 $1'$ 长度不会有太大的误差。

速度(S)是移动的速度或者是单位时间内所经过的距离。节是航海中常用的速度单位,定义为每小时航行的海里数。前进速度(SOA)通常用于表示沿计划航线航行的速度。对地航速(SOG)表示在任意时间内船舶对地的实际速度。通常通

过计算两个船位间的距离和时间来计算实际航速 (SMG)。

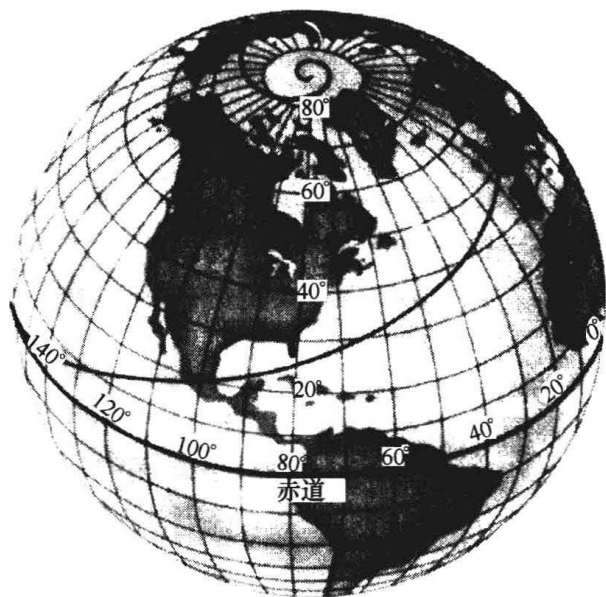


图 106

### 107 地球上的方向

方向是指一个点相对于另一个点的位置关系。航海人员通常用相对于基准方向的角度差的度数来表示某一个方向,而基准方向通常选定为北或船首。航向(C, Cn)是船舶正在执行或计划执行的水平方向,从北起算顺时针到 360°。严格地说,航向是对水而不是对地的实际方向。

航向根据基准方向不同分为真航向、磁航向和罗航向或栅格航向。实际航迹(TMG)是在给定时间内,连接起点和到达点的航向。前进航向(COA)是对地的方向,对地航向(COG)是指船舶最后一个船位与推算船位之间的航向。航向线通

常标绘在海图上来表示航向。有时可以很方便地将航向用角度值来表示,从北或南计算到 90°或 180°。这种情况用航向角(C)来表示,并用前缀表示开始,用后缀表示度量的方向。

例如, CN35°E = Cn035(000° + 35°), CN155°W = Cn205(360° - 155°)。但是 Cn260°可以等于 CN100°W 或 CS80°W,具体取值视具体情况而定。

航迹(TR)是指船舶航行相对于地球的水平方向。计划航迹和航迹线通常用于表示计划航线。从起点到终点,航迹通常由一个或多个航向线组成。船舶航行的大圆叫做大圆航迹,一般大圆航迹由许多的直线来逼近,见图 107a。

船首向(Hdg., SH)是指船舶所指的方向,通常用角度来表示,从 000°顺时针度量到 360°。注意不要将航向和船首向混淆。船舶由于浪、风和操舵误差的影响通常会围绕着航向来回偏航,因此船首向会经常改变。

方位(B, Brg.)是一个陆上地点相对于另一点的方向,通常用角度来表示,从 000°(北)顺时针到 360°。当从北或南计算到 90°或 180°,这时的角度值就叫做方位角(B),见图 107b。方向和方位角通常交替使用,但后者更精确地表示天球上一点和地球上一点间的水平方向。相对方位是相对于船首从 000°顺时针计算到 360°。然而,有时候从船首 0°向左或右计算到 180°较为方便,当在查表使用两方位求目标距离时就特别方便。

将相对方位换算为真方位,只需加上真航向:

真方位 = 相对方位 + 真航向

相对方位 = 真方位 - 真航向

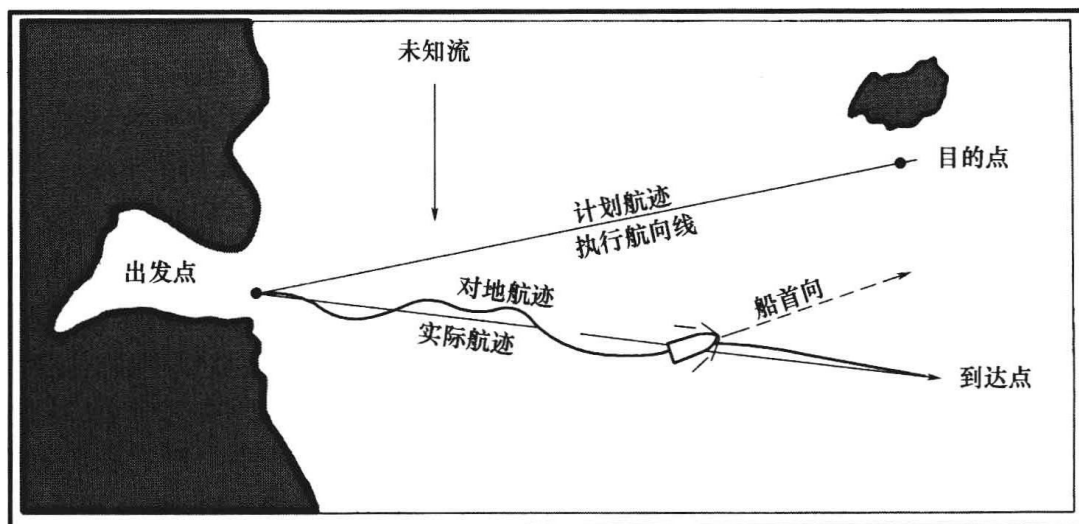


图 107a

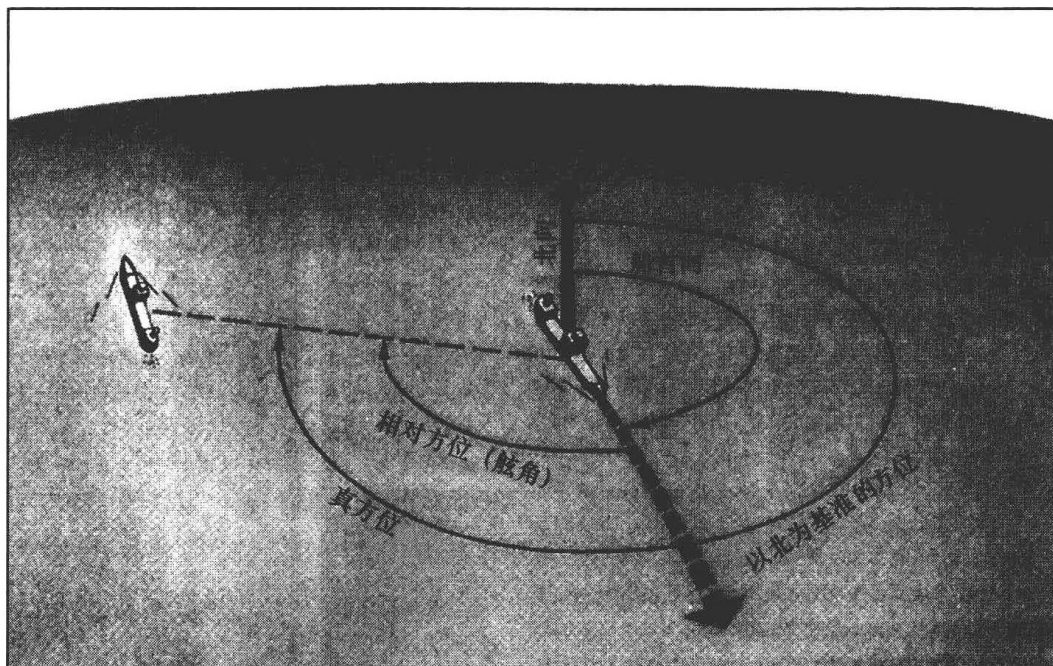


图 107b

### 108 纬度和经度的测定

航海人员进行纬度观测已有几千年的历史。精确的太阳赤纬表早已印刷了数个世纪,使得有经验的水手将计算纬度的误差控制在 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 以内。水手们仍在使用太阳中天和高精度近子午线观测技术。目前常用的通过观测北极星高度求纬度的方法早在15世纪就已经为航海人员所掌握。

确定经度的方法几个世纪以来始终未被水手们发现。时间独立的几个求解方法都被证明过于繁琐。月球距离法——即通过在星星中观测月球的位置来决定格林尼治标准时间——在19世纪十分流行。但这些方法所需的数学知识对于普通的水手来说要求太高了。很明显需要在海上保持精确时间的方法。

1714年,英国经度协会成立,对那些能够提供解决方法的个人提供小小的资助。

英国人约翰·哈里森应对了这个挑战,在1735年到1760年间设计了4个天文钟。经过156天的伦敦至巴巴多斯岛往返旅行,这些天文钟中最准确的那个误差仅15s。不过协会只付给他一半的奖金。最后国王过问了这件事,哈里森在80多岁时终于收到了属于他的全部奖金——20000英镑。

天文钟的快速发展导致一个问题日益突出,即如何在船上确定天文钟钟差。时间球(大的黑色球

体)安置在港口最醒目的地方,在中午12点钟声敲响时落下,保证港内任何船只要能看到球就能确定天文钟钟差。到美国内战结束时,电报信号成为时间球的开关。使用无线电信号给近岸的船只发送时间的滴答声始于1904年,并得到了迅速推广,确保了全球范围内都可以使用无线电信号。

### 109 航海三角形

现代的天文航海人员通过求解航海三角形来减少天文观测误差。航海三角形的三个顶点为仰极、天体和观测者天顶点。三角形的三条边为天体的极距(余赤纬)、天体的顶距(余高度)和观测者的极距(观测者的余纬度)。

球面三角形最早用于在海上解决月星距问题,同时观测月亮和太阳的高度或者黄道附近的星体、月球和其他星体的角距。观测者天顶点和两个天体组成一个三角形的顶点,三角形的边是两个天体顶距和天体间的角距。使用数学计算器,航海人员对每一个高度值进行折射和视差修正,并将这个修正值插入到天文年历中。年历能以3小时为间隔给出太阳和其他星体间的真月星距。以前,航海人员要设置手表或者根据天体观测得到的当地平均时来测定手表的误差。适当修正的手表当地平均时应用于从月星距观测得到的格林尼治平均时来计算经度。

相关的计算过程单调而乏味,在纳撒尼尔·

鲍迪奇于1802年出版的《新版美国实践航海学》中介绍简化方法以前,很少有人能够求解航海三角形。

可靠的天文钟出现在1802年,但是高额的成本限制了其在船上的全面使用。大多数航海人员能够使用鲍迪奇的方法来确定经度,这降低了对纬圈航法的依赖,减少了时间损失。在20世纪20年代以前,用于计算月球距离法的表册都和美国航海天文历装订在一起。

### 110 时间观测法

时间观测法的原理随着球面三角形学理论的发展早已为数学家所掌握,但直到天文钟发明之后,这一方法才被航海人员使用。

时间观测法使用现代航海三角形。天体的余赤纬和极距可以从《航海天文历》中获得。天顶角距(余高度)通过观测来确定。如果能够知道余高度,天文三角形的三条边就可用。用三条边可以求得半圆时角,与天文年历中查得格林尼治西行时角相比较,即可获得经度。

时间观测法的数学原理不算复杂,但航海者无法意识到确定的经度与纬度一样准确,它们在一起构成船位线上的一个点。如果所测天体在东西圈上,则船位线为南北走向,纬度上一个小误差对经度几乎没有影响,但当天体接近子午圈时,纬度上一个小误差就会对经度产生较大影响。

直到1837年,30岁的船长托马斯·H. 萨姆纳发现天文船位线,人们才知道其存在。萨姆纳毕业于哈佛大学,是一名来自于马萨诸塞州的美国国会议员的儿子。这项发现有时被称为“萨姆纳线”,按莫里的观点,它是“实用航海新纪元的开始”。这是现代天文航海技术发展的转折点。借助于萨姆纳的自述,这项发现是以下述方式实现的。

11月25日从查尔斯顿出发向格里诺克航行,由于一系列强劲的西风,航行速度很快。经过亚速尔群岛之后,风向转南,天气变得恶劣。通过 $21^{\circ}\text{W}$ 经线后,直到接近陆地一直没有进行观测。但按计划离岸边缘不远的地方进行了测深,天气变得更加狂暴,风向仍为南。按推算于12月17日半夜到达土斯喀灯塔的40海里以内。风向为东南,爱尔兰海岸处于下风方向。接着船迎风行

驶,作几次抢风航行,尽量保持位置,直至白天。因为什么都看不到,船缩帆保持在ENE航向上,风很大。约在上午10时观测了一次太阳高度,并记录了天文钟时间。但由于长时间没有观测,显然推算纬度很可能存在误差,不能完全相信。尽管如此,还是利用这个纬度和天文钟时间求取了经度,发现在推算位置以东15海里,在 $52^{\circ}$ 的纬度上是9海里。这似乎与推算位置很吻合,但因为感觉纬度不准,又用推算纬度再向北10海里的纬度和观测数据作了一次计算,发现位置在上一次的ENE方向27海里处,又用再向北20海里的纬度作了一次计算,求得的船位仍然向ENE方向的更远处延伸,且距离也是27海里。这3个位置的连线看起来在斯莫尔灯塔的方向上,立即可以看出,在这3个位置点上,在斯莫尔灯塔和在船的位置上如果同时观测,所得的高度应相同。由此可以推断,如果天文钟正确,则斯莫尔灯塔的方位应为ENE。据此,船采用ENE航向,风向仍为东南,不到1小时,斯莫尔灯塔出现在ENE和正东之间很近的距离上,见图110。

1843年,萨姆纳出版了一本书,介绍了一种新的利用在墨卡托海图上的投影来准确确定船位的方法。此方法是:将一次观测计算两次,分别用比推算纬度大一点和小一点的纬度,将得到的两个位置连成一线,即为船位线。

萨姆纳法求一条位置线需要进行两次时间观测法解算。许多老的航海者喜欢用萨姆纳在其书中同时提出的解析法计算位置,而不是在海图上画位置线。此过程很沉闷,但很流行。

### 111 航海用表

球面三角学是求解航海三角形的基础,大约80年前,航海人员只能用笔算来求解三角形而别无其他选择。劳德·凯尔文——公认的现代航海方法之父——所制定的表册引起了航海人员的浓厚兴趣,利用表册可以使航海人员避免使用单调而乏味的三角求解方法。但是,要求解成千上万个相关的三角形,仍需要花费大量的人力和物力。计算机最终为存储表格提供了较为实用的手段。1936年,首卷Pub No 214问世,之后出现了为航空导航用的Pub No 249。现在Pub No 229,《航海用天体高度方位表》(此表册的名称并未按原英



文名直译,而是采用了我国同类表册的名称,在本书中均按此处理。译者注)取代了 Pub No 214。

现代计算器逐渐取代了表册。具有三角函数计算功能的科学型计算器能够较为容易地求解航

海三角形。专用的航海计算器则能够解决天文观测求解,并且具有航线设计的功能。计算器求解可以消除查表方法中内插等处理导致的凑整误差,因此使用计算器能够得到较高精度的船位线。

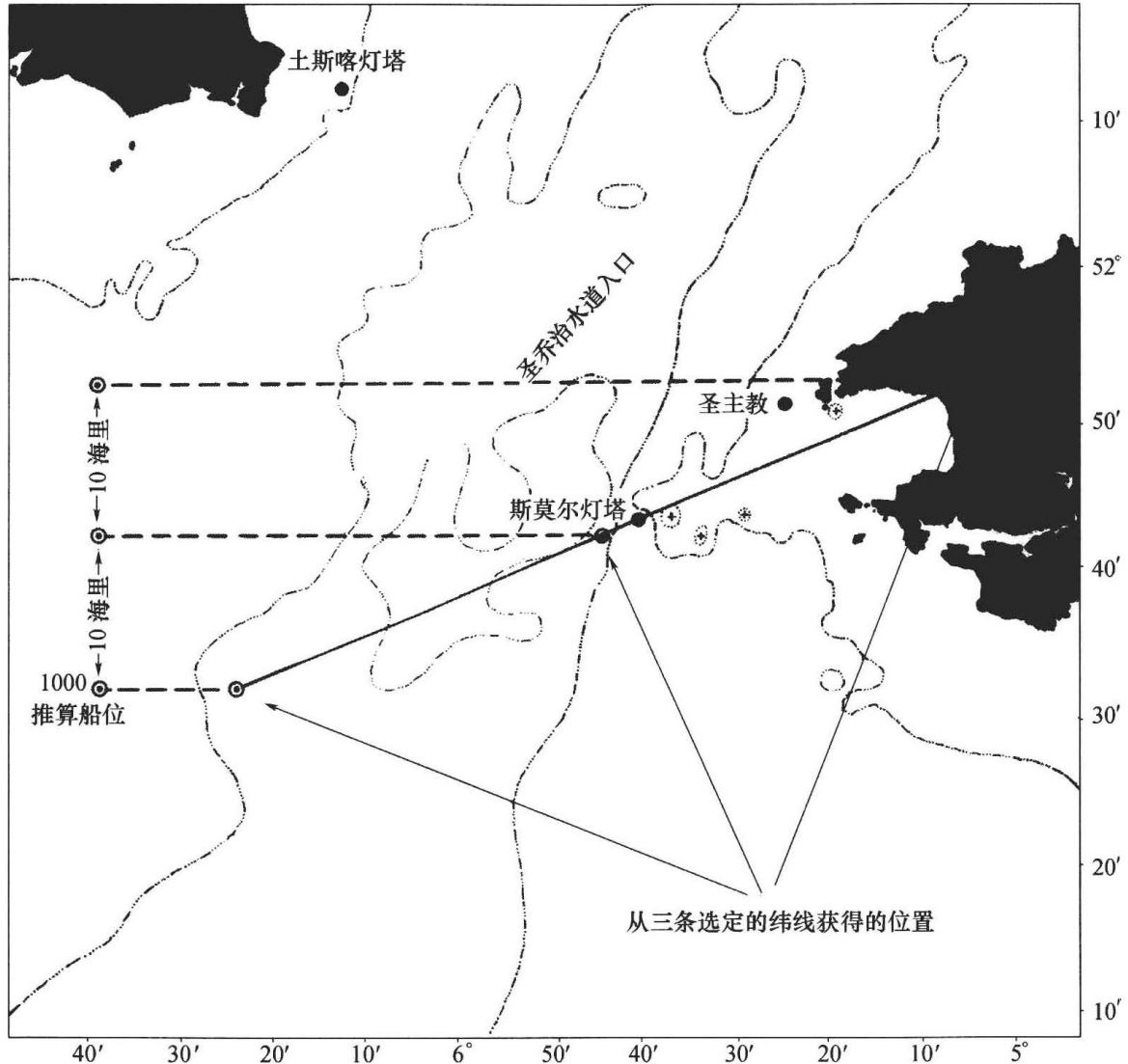


图 110

## 112 电子与导航

1865年,发送无线电时间信号用于消除天文钟钟差,这也许是电子在导航中的首次应用。1904年,发送无线电时间信号给海上的天文钟校对数据。无线电广播发布航海警告,始于1907年的美国海军水道测量局,所发布的航海警告有助于提高海上航行的安全性。

第一次世界大战后期,环形天线的定向特性被成功地应用在无线电定向仪上。1921年,人们安装了第一个无线电应答标。20世纪早期,贝奥

和朗格文的实验使得美国海军于1922年发明了第一台实用型回声测深仪。

当前,电子已经触及航海的各个方面。双曲线系统、卫星系统以及电子海图都需要日益成熟的电子技术。这些系统的高精度和易用性使其成为航海人员不可估价的资产。事实上,可以毫不夸张地说,随着电子海图和差分GPS的出现,航海人员仅用电子导航设备就可以快速地从—个港口航行到另一个港口。

## 113 雷达的发展史

早在1904年,德国工程师就对无线电波的反