

现代导航

XIAN DAI DAO HANG

中国船舶工业总公司综合技术研究所

封面设计：邵启棠
标志设计：张国夫



现 代 导 航

发行单位：北京 843 号信箱

印刷单位：农牧渔业部水产印刷厂

出版时间：1985年11月

工本费：6.00 元

现 代 导 航

《现代导航》编辑组



一九八五年十一月 北 京

前 言

“导航”已成为当今世界引人关注的问题，它直接关系到运载器航行的安全性和经济性。世界上先进的国家都在努力开发导航技术的新领域。导航的最初概念是引导运载器从一个地区航行到另一个地区的过程。现代导航的概念是引导运载器按照预定的航行要求进行航行的过程，这个概念突出了现代导航两个不可忽视的因素：安全性和经济性。为此，新的科学技术相继被引入到导航领域，导航新设备陆续问世，并为人类探索大自然的奥秘提供了先进的导航测量手段。

为了适应我国四个现代化建设的需要，推进导航技术的发展，本书以船舶导航为背景，围绕二十世纪末期导航领域内发展的主要特征、水平、技术变革以及发展趋势，向广大从事导航科学研究、技术开发和生产经营的科技工作者介绍十三个方面的导航技术，其中包括惯性定位、声学定位、动力定位、无线电定位、组合导航定位与气象导航技术等。

航位推算乃是最古老的导航术，由于种种先进导航设备的出现，它的重要性和它的发展常常被忽视。尽管先进的导航设备辈出，然而航位推算仍然是导航领域中不可缺少的技术。其主要原因是航位推算技术有两大特点：可随时定位和随时给出现在和将来的位置。本书将着重介绍航位推算系统的现代应用。

陀螺罗经是本世纪初问世的，它是陀螺仪元件具体应用的典型仪器，是指示航向的主要仪器。几十年来，世界上的陀螺罗经几经变革，已成为技术成熟的船用指北设备，并形成了三大系列，即斯伯里系列、安修士系列和阿玛·布朗系列。七十年代末，相继出现了一批新型陀螺罗经，如挠性陀螺罗经、静电陀螺罗经和激光陀螺罗经等。新型陀螺罗经的产生不仅增加了陀螺罗经的品种，而且标志着陀螺仪技术的新发展。

船舶惯性导航系统是一种自主式导航系统，具有全天候、连续高精度的定位以及不受外界干扰的导航能力。对惯性导航仪器，人们主要围绕其传感器——陀螺仪和加速度的结构设计和工艺材料方面进行研究工作，同时探索了新型陀螺仪工作原理方案。诸如静电陀螺、激光陀螺和挠性陀螺等新型陀螺仪，已从原理样机阶段进入实用阶段，有的在实际中得到了广泛应用。惯性导航系统的另一重要进展是捷联式惯性技术的应用，它与普通平台式惯性导航系统的显著差别在于它以数字平台取代了传统的常平架式平台。捷联式惯性导航系统的发展引起了各国的普遍注意。

海军导航卫星系统是基于轨道卫星发出的多卜勒频移原理设计并研制成功的导航系统。自1964年世界第一个导航卫星系统诞生以来，在导航领域中引起了革命性的变化。海军导航卫星系统具有全球性、全天候、定位精度高的特点，同时使用安全可靠，经济方便。该系统的主要缺点是不能为用户提供连续定位的能力，只能提供二维导航数据，因此不能满足飞机、导弹等空中航行体的导航要求。为此，美国国防部提出研制导航星全球定位系统（GPS）。GPS系统由18颗卫星组成导航星座，可为海、空、陆上任何地点的航行体提供全天候、全自动、连续、快速和高精度的六维定位信息。根据美联邦无线电

导航计划的要求,导航星全球定位系统将在1988年末全部投入运行。美国把发展无线电导航计划的核心放在GPS系统上,以促进整个无线电导航系统的现代化,并作为美国无线电导航领域进入二十一世纪的重要标志。

组合导航技术是七十年代发展起来的,在微电子技术的推动下,八十年代得到了空前发展和广泛应用。因为任何一种导航设备或系统都是为了完成某种特定的导航任务而产生的,不可避免地存在某种局限性。人们渴望得到高精度、高可靠性、全球、全天候的连续定位信息,组合导航技术的发展使其成为可能。组合导航系统最突出的优点是它能综合有效地利用船上导航传感器信息,实施补偿技术,以提高系统的精度。随着组合导航系统的进一步完善,就可以实行船舶的自动化航行,通常将这种自动化航行系统称为船舶数据桥系统。数据桥可为船舶提供连续船位、航向、航速和漂移,使船舶自动地处于经济而安全的最佳航线上,能自动录取目标和判别危险目标,实施有效的操船避让,可以说数据桥是一种具有避让、节能和自动操船的现代化导航系统。

在现代导航领域中,雷达已成为重要设备之一。由于电子技术的发展,使雷达技术的应用状态在数量上产生了飞跃。目前,世界上有百分之九十以上的船舶都安装了雷达,有不少的船舶装有多台不同功能的雷达。导航雷达不仅可以用作局部导航的辅助设备和执行雷达导航,而且还用于跟踪他船,防止碰撞。自动避碰雷达是船用雷达技术上的重大突破,七十年代后期,国际海协(IMO)对避碰雷达的装船应用制订了法律规定。避碰雷达的典型设备是ARPA装置,即自动雷达标绘仪。其组成为两个部分:数据录取和跟踪单元;显示单元。前者是ARPA的核心,是决定系统提供信息速度、可靠性、精度、选择目标等主要功能单元。ARPA已被国际海协规定为相当一些船舶的必备装置。

现代导航技术中另一重要分支就是水声导航技术。水声导航技术与其他导航方法相比,具有更高的导航性能,也是水下高精度定位的唯一有效手段。水声导航技术大体可归纳为:声应答器导航系统;海底地貌导航;靠岸避碰系统;水声推算系统等。本书将论述水声导航系统的进展。

船舶动力定位技术是伴随海洋开发而发展起来的一项新技术。目前,主要用于从事海上采油平台、平台补给、潜水补给、管道敷设等工作船的定位。动力定位系统是一种庞大的控制系统,一般由测量装置、控制器和推力器三部分组成。其测量装置主要由定位导航系统构成,如水声定位参考系统、无线电定位参考系统、张力绳定位参考系统以及其他导航定位系统。本书重点介绍动力定位的发展概况。

气象导航虽历史悠久,但在现代科学技术的推动下又出现了新的生机。气象导航的广泛应用为船舶航行带来了更多的经济效益和安全性。在当今能源短缺的情况下,气象导航是一项具有实际经济价值的应用技术。

近年来,陆地导航技术的开发已引起各国的普遍重视,本书以专门的章节论述了惯性陆地导航与大地测量技术的国外进展情况。

本书力求较全面地介绍现代导航领域的新技术,由于导航技术涉及的内容广泛,技术复杂,加之编者水平所限,难免挂一漏万,错误之处敬请读者提出批评指正。

此外,参加本书审阅的还有秦臻、杨娥、祝满三等同志,在此表示谢意。

《现代导航》编写组成员

主 编 常玉琴

编写成员 阎艾华 许国祯 刘式懿 徐志超
戴米生 栾永年 刘 筠 李宗泽
李 侃 徐友芳 张锦林

总 审 阅 雷渊超 申玉儒

目 录

一、航位推算及其应用·····	常玉琴 (1)
二、陀螺技术的发展现状与应用·····	许国祯 (15)
三、国外陀螺罗经发展综述·····	徐友芳 张锦林 (36)
四、陆地导航与惯性大地测量·····	常玉琴 许国祯 (48)
五、舰船组合导航·····	刘 筠 (67)
六、舰船数据桥系统·····	栾永年 (78)
七、卫星导航的过去、现在和未来·····	戴米生 (91)
八、美联邦无线电导航计划及前景·····	常玉琴 (105)
九、船舶避碰装置·····	刘式懿 (119)
十、水声导航·····	阎艾华 (136)
十一、海洋开发中的动力定位系统·····	徐志超 (156)
十二、气象导航·····	李宗泽 高士晔 (175)
十三、未来全球海上遇险与安全救助系统·····	李 侃 (185)
十四、舰艇情报指挥系统综述·····	刘式懿 杨 娥 (193)

一、航位推算及其应用

导航员在海上工作的主要职责就是精确地确定船舶所处的位置，不仅必须不断地给出船舶当时的位置，而且必须能够计算出船舶在未来时间的大概位置。用一句简明的话说，导航员必须不断地寻求下列问题的答案：船舶现在在哪里？1分钟、几分钟、几小时以后，或明天……船将航行到什么地方？导航员回答这些问题所采用的方法恰是航位推算法。

航位推算法乃是最基本的导航方法之一，由于它和各种导航设备一起使用，所以没有过分强调它的重要性。当今，各种现代导航系统(如无线电导航系统、卫星导航系统)应用范围日益扩大，但仍不能忽视航位推算导航法的作用。航位推算导航法具有两个独特的优点：一是可随时定位，不象无线电导航、卫星导航系统，当经常需要精确定位的时候，却因收不到信号而不能定位。二是能够给出船舶现在和将来的位置，利用其它导航方法就是得到了船位并且画在图上，而这个位置并不表示一艘正在航行的船舶现在或将来某一时刻的位置。为了得到船舶现在和将来的近似位置，导航者只能单纯依赖于航位推算导航法。上述特点使航位推算导航法在船舶导航中处于不可缺少的地位。

(一) 航位推算法简介

航位推算(Dead reckoning)这一术语的确切来历至今没有考证清楚，据说从十六世纪航海者就开始应用了航位推算法。当时，人们还不能利用天文学技术对所测的船位进行校正，对远距陆地的航行，只能凭借海员的推测或航行的经验进行估计，也没有任何其它方法能作为引导航行的依据。

1. 航位推算的定义

在十八到十九世纪期间，各种海图极其缺乏，价格也十分昂贵，船长只能根据航行前已知位置的航向和航速，利用数学公式算出当时的船位，把这种技术称为“推算估算法”，英文用“deduced reckoning”表示，后来又把它缩写成“ded reckoning”，几经演化成为今天使用的航位推算“dead reckoning”。

由于自然天文学的进步，使校正推算船位方法成为可能。海上寻找船舶位置的最早的自然天文学技术，是根据观测北极星高度，找出观察者所处的纬度。后来又利用观测恒星、行星等确定船位。直到十八世纪海上测量经度的问题得到彻底解决，航位推算法才被人们真正地确认下来。

航位推算的现代定义是由科特雷尔(Cotter)提出的，其定义为“从一已知的坐标位置开始，根据航行体(船、飞机、地面运载工具等)在该点的航向、航速和航行时间，

推算下一时刻的坐标位置的导航过程称为航位推算”。对于科特雷尔提出的这个定义,不同的国家和出版物也有各自的解释。如英国海军导航手册提出,航位推算的现代定义应该是:根据所有驾驶航向和通过水中的速度推算出船舶的位置,不涉及其它因素。而美国海军以及海岸警备队则认为把“依照前一个已建立的海图上的位置,利用表示所有真航向和连续给出的速度的一个或一系列矢量,用几何方法确定船舶近似位置的过程”作为航位推算目前实际应用的定义。这个定义基本上适用于能确立真方位,且可通过对主机速度的调节得到十分精确的水中速度的船舶。对安装磁罗经的船舶,使用这个定义要作适当的修正。尽管航位推算的定义有不同的规定和解释,但就其基本含义是一致的,因此,可以把航位推算的基本要素大致概括为以下三点:

- 1) 只能采用驾驶真航向确定航位推算位置;
- 2) 获得航位推算位置的航行距离等于由主机运转产生的速度乘以航行所经过的时间或预定的航行时间;
- 3) 预计航迹图始终是按已知位置(定位点)的坐标绘制的,确定的航位推算位置不包括海流等因素的影响。

为使航位推算法更能客观的反映实际航行情况,提高航位推算精度,不仅要发展新的测向、测速仪器,而且要研究推算误差补偿方法,使航位推算逐步从手工绘图、人工计算发展到目前的计算机计算与绘图。这个变化将涉及计算机应用以及其它科学技术进步的影响结果。

2. 航位推算的常用术语

1) **位置线 (Lop)** —— 利用观测或测量仪器确定一系列位置坐标的连线。位置线可以是直线,也可以是圆或地球表面的大圆或双曲线。

2) **定位点 (Fix)** —— 由几乎同时获得的两条或两条以上的位置线交叉,其交点为定位点。定位点不是依据前一个位置测定的。

3) **移线定位点 (Running Fix)** —— 由不同时间观测已知物标测出两条以上的位置线,移动交叉的交点称为移线点定位。

4) **艏向 (Heading)** —— 用角度表示船头或船舶任意瞬间的水平方位,即顺时针从基准方向 000 度到 360 度。艏向就是船在海上航行时,因操舵和海浪等引起的摇移使船艏可能与当时航向不一致的船头方向。

5) **航向 (Course)** —— 是恒向线的方向,它是船舶通过静水航行时确定的水平方向。即船的艏艮线与基准方向之间的夹角,用角度表示。航向是航位推算中最精确的信息。

6) **航迹 (Track)** —— 是一条恒向线,或是描绘船舶相对地球航行进行实际修正所通过的路径。

7) **预定航迹 (Intended Track)** —— 是船舶相对地球航行的预计路径。在航向、航速与估算海流的流向、流速的合成矢量图中,其合成边为预定航迹。因为含有估算海流分量,所以称为预定航迹。

8) **船速** (Speed) —— 船在静水中航行的速率, 用“节”表示。

9) **航速** (Speed made good) —— 又称为实际航速, 是沿航迹航行的速度, 表示船舶在地球表面上的实际航速, 它与船速相差一个流速的矢量, 有时也叫地速。

10) **预定速度** (Speed of Advance) —— 指在规定时间内到达目的地所必须保持的平均速度, 用“节”表示。

11) **估计船位** (Estimated Position) —— 是船舶最大概率位置, 它由一些不完整的数据和精度不确切的数据所确定。通常在实际应用中, 估计船位就是用最有效信息修正的船位推算位置。

12) **航迹图** (Dead Reckoning Plot) —— 表示船舶在海上航行时, 用一条或几条海图线表示的图形叫做航迹图。海图线表示船舶从某个已知位置, 以规定的真航向矢量, 沿此航向以规定的船速航行的距离。

13) **估算离开始点时间** (Estimated time of departure) —— 按预计航行距离估算船舶离开指定地点的时间。

14) **估算到达终点时间** (Estimated time of arrival) —— 按预计航行距离估算船舶到达终点的最长时间。

15) **距离** (Distance) —— 地球表面两点间的直线测量值。用海里表示。

关于定位点的问题, 在航位推算过程中, 能否寻求精确定位点或移线定位点, 测出精确航向或航迹, 都将直接影响航位推算的准确性。下面仅就三个有关的术语作一简要的解释。

定位点 定位点最好由三条位置线来确定, 这样可以消除一些模糊点, 提高定位准确性。早期获得位置线是利用观察一个固定目标或两个目标的方位线确定的, 也称视距。由于导航方法及导航设备的发展, 测定位置线的方法也增多了, 如可利用下述方法中的任何一种获得位置线。

- (1) 交叉方位(二个或多个方位);
- (2) 二个测距值;
- (3) 一个测距值以及一个方位值;
- (4) 同一目标的方位和距离;
- (5) 不同目标的方位和距离;
- (6) 方位和测深值;
- (7) 利用精密的船载导航辅助设备测量。

移线定位点 在航行过程中, 船不可能始终处在良好的天气条件下, 在能见度很低时, 特别在夜间航行时, 导航人员只能借助一个目标产生一条位置线的情况下, 利用移动已发生的一条提前位置线, 使其平移与原来的位置线相交, 以取得一个移线定位点。也可以利用同一目标的方位值、提前位置距离圆获得移线定位点。实际上, 在航位推算

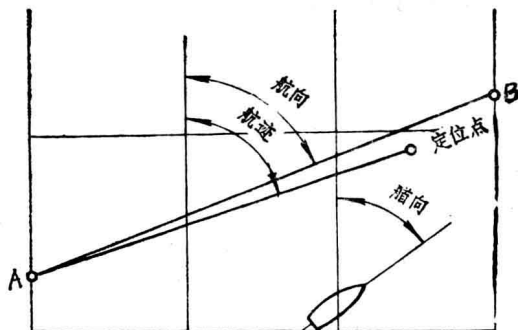


图1 船向、航向和航迹示意图

过程中，利用移线定位点修正航迹，或作为新的航位推算起点是很有意义的。

估计船位 船舶在实际航行过程中，有时在短时间（约半小时）不可能得到两条位置线，形成移线定位点。此时导航员可以利用一些不完整的导航信息和航位推算法进行位置估算。例如，利用辅助导航方法获得一条良好的、可靠的位置线或接近陆地的距离，或记录一系列深度测量值去确证由“DR”表示的位置。当所建立的位置线可信度较低时，也可以把建立的移线定位点看作估算位置。这样，估计船位通常被认为是处于良好的定位点和不切实际的“DR”位置之间的一个位置。好的估算位置取决于导航员对各种外界环境的精确判断。

3. 航迹图（DR图）的绘制

通常在取得一个定位点或一个移线定位点之后，依据航位推算的基本原则，即可绘出航迹图，如图 2 所示。图的符号说明如下：

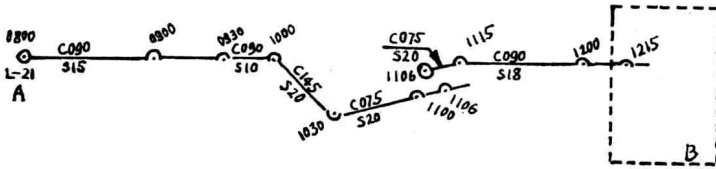


图 2 一种预定航迹图

- ⊙——表示航位推算的定位点位置。
- ⤿——表示航位推算的转向点或变速点位置。
- C × × × ——表示陀螺罗经的航向。
- S × × × ——表示速度。
- MAG × × × ——表示磁罗经的航向。

从图 2 中可以看出，每当航向或航速改变时，要用半圆符号标出改变点的 DR 位置。如 1106 点是从锚泊点“A”一直推算绘制的一个航迹点，此刻在 1106 点附近又通过其它位置线得到另一个新定位点 1106，然后，以新的 1106 点继续推算绘图，最后得到 1215 航位推算位置，即到达了工作区“B”。

（二）海流、潮汐、风对航位推算精度的影响

除航位推算系统本身产生的误差外，在大海中航行的船舶并非处于理想的航行状态，往往受到许多因素的影响，一旦这些影响混入推算信息流中，就会使船舶的推算位置偏离估计的位置。为此，研究船位推算的各种影响因素具有十分重要的现实意义。多年的实践和研究结果表明，除推算系统外，海流、潮汐和风是影响航推算精度的三个不可忽视的因素。

1. 海 流

就海流而言，又包括以下几个因素：

洋流

潮汐或潮流

风、涌、浪

海水

驾驶航向不准

主机校正误差

计程仪或速度计校正误差

不寻常海底障碍物

非正常吃水条件

从上述诸因素中可以看出海流的基本含义，第一，认为海流是海洋中海水的水平流动；第二，认为海流是上述诸因素引起的力之总和。海流直接影响船舶的航速、航向和航位推算的准确度。海流有它相对稳定的流向、流速和范围，同时它有季节性的变化。在近海航行或远海航行时，掌握大洋流之运动规律，准确估计其流向和流速是提高定位精度、减少事故、节省燃料的重要手段。因此，测定海流的大小和方向是一项有实际意义的工作。

为了计算海流和估算海流的作用大小，提高航位推算精度，下面引入了几个有关海流的定义：

(1) **海流航迹计算** (Current Sailling)，是估计海流的一种方法和技术，也就是说，确定海流对船舶运动方向影响的一种技术方法，称为海流航迹计算。通常是由驾驶员确定实际海流值，并采用这个信息使船的预定航迹与实际航迹尽可能相接近。

(2) **估计海流** (The estimated current)，估计海流是对航行期间所有已知和预计力形成预计海流效应的估计总和。

(3) **实际海流** (Actual current)，是由船舶偏离预定航迹运动的精确测量值确定的，是船遇到海流效应的总和。

(4) **流向** (The set)，是海流前进的方向，用“度”表示。

(5) **流速** (The drift)，是海流的速度，用“节”表示。

海流三角形是分析计算海流的传统方法。海流三角形是矢量图，三角形一边表示船的航向和速度，另一边表示海流的流向和速度，第三边就是实际或预定的航迹（见图3）。关于海流三角形组成因素，详见海流三角形组成表（见表1）。



图3 海流三角形

如果已知海流三角形中任意两个边的数值，即可求出第三边的值。

表 1 海 流 三 角 形 组 成 表

组成部分	采 用 估 计 海 流	采 用 实 际 海 流
A点	船舶现在的位置	船舶以前的位置
D点	未来时间船舶的推算位置	现时船舶的推算位置
B点	未来时间估算位置	现在时间的现实位置
AD边	航向和速度矢量	航向和速度矢量
AB边	预定航迹和预定速度	实际航迹和实际速度
BD边	预计海流值	遇到的实际海流值

注：B，D点永远相对于同一个时刻

流向与航速：在开阔的水域中，海流的流向与流速可从航线图或气象图上查出，查得的数据一般都是长期使用的经验数据平均值，精度并不高，其中或多或少含有风压分量。其次，海流不可能都是线性流动，有时可能是湍流，而且又随着海水的深度变化而变化。因此，在实际使用中，为了准确的计算或估算海流的大小，还需要通过对一些固定目标进行观测，对数据加以修正。近年来，人们试图利用对水速和地速之间分流层的测量来估计海流的影响大小，但由于技术难度较大，仍在研究之中。

2. 潮汐效应

潮汐效应是影响沿海船舶航位推算精度的主要因素。就某种意义而言，潮汐的数据相对可靠些，因为潮汐影响的时间性较强，每二十四小时零五十分钟有两次涨落。在由陆地环抱的海域，可能一天有一次涨落，所以在潮流表上的数据大都是经验数据，而且是平均数据。这些数据一般情况下是可靠的。

3. 风压差角

风压差角又称为偏航角。风压角代表船艏因风力而使船舶产生的偏航运动，它表示为作用在船壳上的风力与航向力平衡的合力，用艏向与实际航行方向之间的夹角来表示。风压角随着风力的大小、方向的变化而变化，因此，它与风相对艏向的变化，与船型设计有关。为了得到真实的航迹，必须在测量航向的时候，补偿风压的影响。图 4 示出了受风压作用船舶产生的航迹航向图。

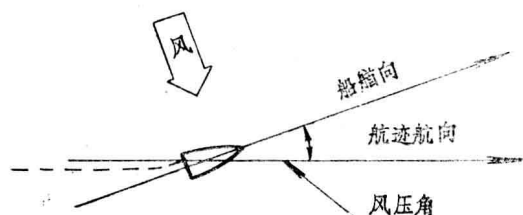


图 4 受风压作用的航迹航向图

风压角是很难估算的。在一般航行时，多半靠有经验的海员进行估计，但也可以通过观测或根据风压差系数计算。

(三) 航位推算系统发展的特点

航位推算系统的进步，无疑依赖于新技术的产生和发展。早期的航位推算系统采用人工计算和人工绘图，靠对自然界固定目标的测定进行最后的校正，因此，推算的航位精度不仅低，而且相当费时。近年来，由于导航设备本身的发展，导航方法的多样化，以及电子计算技术的应用，使早期航位推算方法取得了进一步的发展。其技术发展的重要标志，大致可以归纳如下几方面：

1. 航位推算设备的进展

根据航位推算的定义，航位推算工具主要包括测向仪器、测速仪器、航迹仪、测深仪等。测向仪器，经历了由磁罗经、陀螺罗经（找北罗经）、平台罗经到惯性导航系统的几个发展阶段，至今已达到相当完善的水平。主要表现在技术上有了新的发展；功能扩大；精度明显改善；可靠性显著提高。测速仪器也有很大的发展，为了提高测速精度，在原有的水压式计程仪基础上，相继发展了电磁计程仪、相关计程仪、多卜勒声纳计程仪等等。多卜勒声纳计程仪被认为是一种绝对计程仪，它能测出对地速度，以及当水深超过200米时，可测得相对水层的速度，其精度达0.01节左右。最近正在研制的参量阵多卜勒声纳计程仪，据称，可测水深6096米以下的对地速度。双分量电磁计程仪是电磁计程仪的一个分支，它既能测出船的艏、艉向船速，又能测出船的横向速度。正在研制中的地磁测速仪、重力测速仪、超导测速仪和激光测速仪都是新型的测速装置。相信这些新型测速系统一旦问世，必将大大推动航位推算技术的进一步发展。各种测速仪器的性能比较见表2。

表 2

性 能	类 种	水压计程仪	电磁计程仪	多卜勒计程仪	声相关计程仪
速度下限		1 节以上	0.1节	0.01节	低于0.1节
测量误差		10%以上	5 %	0.5%	0.5%
速度矢量		10%以上	5 %	2 ~ 3	2 ~ 3
后退速度范围		不能测	- 2 节 ~ - 5 节	-10节	- 8 节
参考坐标		相对于海水	相对于海水	相对于海底	相对于海底

2. 航位推算信息源增多

根据航位推算的定义，以及涉及的主要元素，人们认为，凡是能够获得航向、航速和时间的信息设备，原则上都可作为航位推算的信息源。磁罗经、陀螺罗经、平台罗经

以及惯性系统是航位推算系统航向信息源设备。同样，各种测速装置，测深仪器也是航位推算系统的信息源设备。近年来发展的其他导航设备，如雷达、无线电导航设备、卫星导航系统等等，都是很好的定位测量设备，有些还能在全球全天候情况下获得导航信息，这一点不仅可用来校正航位推算信息，而且经数据处理可获得高精度的导航信息。因此，新的导航设备补充和增加了航位推算系统的信息源。

3. 航位推算系统功能的扩充

目前，航位推算系统已成为大型组合导航系统、大型舰艇情报信息中心以及大型火控系统的重要接口设备之一，在某些情况下也是惯性导航、无线电导航及卫星导航系统的备用系统。它不仅本身能够自成系统，还可以与其他多种系统配合使用。从应用范围上来看，航位推算系统不仅能应用于海上、空中，而且还可以用于陆地导航、大地测量等方面。

4. 先进的计算工具

随着电子计算技术的发展，电子计算机、小型计算器陆续用于导航系统，大大加速了导航设备的更新换代。计算机已不单是导航数据的处理工具，同时也是导航设备的重要组成部分。航位推算系统是受电子计算技术益处较多的方面之一。小型电子计算机、计算器已取代了传统航位推算的人工计算，人工估计方法。由于电子计算机有存贮信息的功能，可以把航海历、潮流表等等的据存入计算机内，所以可随时对推算结果进行校正。小型计算器不仅计算准确，使用也很简便，速度快，可以对推算或估算的数值，或观测的不连续数值进行平滑、线性回归处理。航位推算计算机、航位推算用微处理机正在航位推算系统中扩大应用。

5. 采用误差补偿技术

在航位推算系统中，为了提高定位精度，已采用了简单的数学模型进行估算船位，同时采用卡尔曼滤波器对数据进行处理，即利用现代误差补偿技术，达到提高精度的目的。实现补偿技术，关键在于扩大应用现代控制论和采用电子计算机。

6. 具有灵活性和适应性

由于航位推算数字化，通过软件控制信息流，可以为扩充应用提供更大的灵活性和适应性。

7. 数字显示与绘图

数字计算机的应用使显示系统电子化和直观化成为可能。在航位推算系统中，通过

计算机可以把推算的位置坐标、海流的数据、灯塔、岸台以及一切可见的目标一起显示在荧光屏上,这种显示也可称为电子显示或电子绘图。实现电子绘图,不仅为操作人员提供直观海图,而且能够将这些图象、数据存档备查。电子绘图也可利用打印终端记录推算结果,因此,数字显示、数字绘图是导航设备的新一代终端技术。

(四) 航位推算系统及应用

航位推算所用的传统导航仪器有陀螺罗经、计程仪、测深仪和航迹绘图仪等。关于这几种仪器,除航迹绘图仪外,其他几类仪器在本书中均有专题论述,因此,本节涉及的内容是一些新近发展的设备及应用实例。

1. 航位推算计算机(DR计算机)

航位推算计算机是一种现代化的航位推算设备,它能把电磁计程仪和陀螺罗经输出的模拟信号运算,分解出“北向”和“东向”分量,求出需要的位置。虽然DR计算机不能分解出海流的流速、潮流以及风流压引起的偏航,但它能计算出磁差角或磁场变化引起的误差。航位推算计算机已被公认为航向指示和航行距离计算的一种简便、可靠和精确的有效工具。DR计算机具有航程数字显示器,它能选择左、右舷航向,计算出交叉航迹,还可以监控驾驶系统,其控制精度为航距的5%。DR计算机与自适应舵连用,可将罗经信号差反馈到驾驶系统中,以减少漂流,提高航运效率。

2. 小型计算机和计算器

在改变传统导航技术方面,小型计算机正在产生巨大的作用。它可以把传统的机电式导航仪器与微处理机相结合,产生以现代科学为基础的新一代导航设备。这类设备不仅具有显示传统技术的功能,而且具有帮助人类智慧的才能,为船舶导航自动化开辟了新的前景。

近年来,在航位推算系统中,已普遍应用了小型电子计算器。它可以完成下述功能:

- 1) 计算、确定操舵航向,修正两点间的航行速度;
- 2) 确定操舵航向和已知经纬度的两点间的速度补偿(实际);
- 3) 如方位已知,求出偏离两个目标或一个目标的定位点;
- 4) 利用定位点与航位推算位置的比较计算流速;
- 5) 计算估计位置;
- 6) 船位跟踪;
- 7) 对测量值作线性回归、均化,提高定位精度。

还可以存贮天文历、航海历以及潮流修正数据,以供航位推算修正用。

正确地选择计算器类型是极为重要的。由于计算器配置不当,不仅浪费时间,而且

在解题时会产生误差，使为简化导航功能所做的努力落空，因此，在选用之前，必须把目前的要求以及未来的计划统盘考虑。在航位推算系统中，最常使用的计算机有两种类型，即专用程序计算器和可编程序计算器。专用程序计算器是解决一般导航问题，或检验传统算法的结果。可编程序计算器是用于航位推算和沿海航行的导航计算器，可对测量值线性回归。目前，各国使用的计算器以及详细情况见表 3。

表 3 国外几种船用小型计算器

型 号	公 司	类 型	主 要 功 能	其 它
NC—77	日本玉屋公司	专用程序 计算机	可存贮：太阳格林时角， 白羊座格林时角天文导航 程序及天文历数据	13—14位数 荧光显示
NC—88	日本玉屋公司	专用程序 计算机	该机有全自动天文导航、航 位推算、绘图等功能，可把 六颗天体星球及68个导航的 天文历存到二十一世纪	配有打印机
TI—59	美国德克萨斯 计算器公司	可编程序 计算机	采用预先录制程序的固态组 件、用户程序磁卡片，另配 Navpac计算机软件	利用线性回归 平滑测量值的 波动曲线
Navicomp	西德汉堡 普拉特公司		内存—58颗星的天文数据， 功能—利用六分仪测定的数 据计算位置线经度、纬度、 眼高视差，折光的修正	8 位，荧光屏 显示 键盘 石英钟 一个微处理机
HP—67	美国赫利特 计算机公司	可编程序 计算机	内存—14个运算程序，其中 航行计划程序4个，天文导航 程序7个，其他有关程序3个	带打印终端
HP—97	“	“	可与“ARPA”接口，可 计算“之”形航行方位	21个磁卡片 记录21个程 序
HP—41C	“	“	内存—57颗星体数据，可 进行航行程序设计	一个存贮器
HP—41CV	“	“	“	5 个存贮器