

“十二五”国家重点出版规划项目



现代舰船导航、控制及电气技术丛书

赵琳 主编

# 现代舰船导航系统

■ 赵琳 杨晓东 程建华 等编著



XIANDAI JIANCHUAN  
DAOHANG XITONG



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

“十二五”国家重点出版规划项目



现代舰船导航、控制及电气技术丛书

赵琳 主编

# 现代舰船导航系统

---

■ 赵琳 杨晓东 程建华 唐正平 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

## 内 容 简 介

本书结合国内外现代舰船导航最新研究进展和作者最新的研究成果,围绕舰船导航系统的核心知识点,系统阐述了国际和国内各种不同类型的舰船导航系统。全书共分12章:第1、2章叙述了舰船导航定位系统的发展历史、现状以及导航定位的基础知识;第3章介绍了几种应用较早的舰船导航系统,包括船位推算系统、地文导航系统和天文导航系统;第4章详细阐述了惯性导航系统;第5章讲述了陆基无线电和卫星导航系统;第6章介绍了水声导航系统;第7~9章分别阐述了几种先进的舰船导航手段,包括地磁导航、重力导航和气象导航;最后,从导航信息处理和应用的角度的出发,利用第10~12章全面介绍了组合导航、电子海图和舰船航路规划。

本书可用作测控技术与仪器专业的本科生和导航、制导与控制专业的研究生的教材,也可作为大专院校教师、工程技术人员从事船舶导航定位技术教学与科研的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代舰船导航系统 / 赵琳等编著. —北京:国防工业出版社, 2015. 8  
(现代舰船导航、控制及电气技术丛书 / 赵琳主编)  
ISBN 978 - 7 - 118 - 10349 - 6

I. ①现… II. ①赵… III. ①航海导航 - 导航系统  
IV. ①U666.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 248376 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)  
三河市鼎鑫印务有限公司印刷  
新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$  字数 520 千字  
2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 98.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

## 丛书编委会

主 编 赵 琳

副主编 刘 胜 兰 海

编 委 (按姓氏笔画排序)

王元慧 卢 芳 付明玉 边信黔

朱晓环 严浙平 苏 丽 杨 震

杨晓东 宋吉广 金鸿章 周佳加

孟 杰 梁燕华 程建华 傅荟璇


蔡志刚 蔡成涛

随着海洋世纪的到来,海洋如今越来越成为人类新的希望,也越来越成为世界各国争夺的目标。当今世界强国,无一例外都是海洋大国,海洋战略已成为具有重要意义的国家战略。现代舰船是保卫国家海上安全、领土主权,维护海洋权益,防止岛屿被侵占、海域被分割和资源遭掠夺的重要工具。伴随着我国“海洋强国”战略目标的提出,现代舰船对操纵性、安全性、可靠性及航行成本,适应现代条件下的立体化海战,及与其他军种、兵种联合作战等提出了更高的要求,必然要求在核心领域出现一大批具有自主知识产权的现代舰船装备。

要提升我国舰船行业竞争力,实现由造船大国向造船强国的转变,首先要培养一大批具有国际视野和民族精神的创新人才,突破制约舰船装备性能的瓶颈技术,进而取得具有自主知识产权的研究成果,应用于船舶工程和海军装备。而创新人才的培养,一直是科技教育工作者的历史使命。

新形势下,我国海洋安全面临着前所未有的严峻威胁和挑战。确立“海洋国土”观念,树立海洋意识,提升海军装备水平,是捍卫我国国土安全必不可少的内容。为此,我们邀请业内知名专家,联合开展“现代舰船导航、控制及电气技术丛书”编撰工作,就舰船控制、舰船导航、舰船电气以及舰船特种装备的原理、应用及关键技术展开深入探讨。

本丛书已列入“十二五”国家重点出版规划项目。它的出版不仅能够完善和充实我国海洋工程人才培养的课程体系,促进高层次人才的培养,而且能为从事舰船装备设计研制的工业部门、舰船的操纵使用人员以及相关领域的科技人员提供重要的技术参考。这对于加速舰船装备发展,提升我国海洋国防实力,确立海洋强国地位将起到重要的推动作用。



“导航定位”是人类从事政治、经济、军事、文化活动必不可少的信息技术,是航海、航天、航空和武器系统的重要组成部分。在舰船应用领域,导航系统已经成为实现舰船精确操纵、武器系统精确打击、雷达精确探测必不可少的有机组成部分,尤其是其长时间的高精度和运行有效性,对于保障舰船在任何条件下遂行海上多种任务能力具有重要意义。

准备致力于舰船导航的探索者,想必无不对导航的悠久历史及其对现代文明发展所起的作用感到好奇,并引发对这一既古老又充满现代活力的理论和技术一探究竟的愿望。本书是作者结合长期从事舰船导航技术教育教学和科学研究的成果,在对2009版《舰船导航概论》和2011版《船舶导航定位系统》内容修订的基础上,重点针对现代舰船导航系统,如惯性导航、卫星导航、重力导航、地磁导航、气象导航、组合导航理论和舰船航路规划等进行了深入探讨,并特别融入了国内外最新研究进展,介绍了诸如欧洲Galileo卫星导航系统、我国的北斗卫星导航系统、先进的无源导航技术等。

全书共分12章。第1章简要叙述了舰船导航定位系统的发展历史和现状、舰船导航系统的类型等;第2章介绍了与舰船导航定位技术相关的基础知识,包括地球形状描述、坐标系及其转换、时间系统和电子海图基础知识;第3章介绍了几种应用较早的舰船导航系统,包括船位推算系统、地文导航系统和天文导航系统,分别阐述了其定位基本原理、系统误差特性;第4章介绍了惯性导航系统的基本原理、误差特性以及初始对准、综合校正、旋转调制和系统标定等关键系统技术;第5章在简要叙述陆基无线电导航系统的基础上,重点对卫星导航原理、方法、误差特性、卫星导航增强方法进行了讲述;第6章介绍了水声导航系统,包括声波传播基础,基于声波的测速、定位和测深方法及其误差分析;第7章介绍了地磁导航系统,包括地磁传感器、误差校正以及基于地磁导航系统的匹配导航方法;第8章主要分析了地球重力场的测量以及基于重力导航的匹配导航方法;第9章介绍了气象导航系统的基本理论和系统应用;第10章介绍了组合导航及信息处理,包括组合导航的基本原理和信息融合方法,并给出了几种典型的组合导航系统;第11章主要介绍了电子海图系统的相关标准、设计方法以及电子海图集成技术;第12章介绍

了舰船航路规划,包括航路规划的方法和程序、航路规划设计以及影响航路规划的关键要素分析。

本书的编著工作由哈尔滨工程大学赵琳教授、程建华副教授,海军潜艇学院杨晓东教授、唐正平副教授、赵宝庆讲师,海军装备研究院舰船所陈晶高工联合完成。第2章、第5章和第10章由赵琳教授编写;第1章、第3章、第7章和第8章由杨晓东教授编写;第4章和第6章由程建华副教授编写;第11章由陈晶高工编写;第12章由唐正平副教授编写;第9章由赵宝庆讲师编写;全书由赵琳教授和杨晓东教授规划和统稿。

本书作为“十二五”国家重点出版规划项目,力求做到物理概念清晰、数学分析详尽、前沿跟踪迅速、图形描述细致,使教材做到图文并茂、深入浅出。

感谢国防工业出版社王九贤同志对本书出版的热情支持和认真审校。

感谢国家自然科学基金(61273081、61374007、61104036)和中央高校科研业务费专项资金(HEUCFX41309)对本书出版的大力支持。

由于作者水平有限,不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

## 第1章 舰船导航系统概述

1.1	舰船导航历史与发展 .....	002
1.1.1	舰船导航技术发展简要回顾 .....	002
1.1.2	舰船导航发展基本方向 .....	003
1.1.3	发展中的现代舰船系统 .....	004
1.2	舰船导航系统分类 .....	005
1.2.1	惯性类导航系统 .....	005
1.2.2	无线电类导航系统 .....	007
1.2.3	测天类导航系统 .....	007
1.2.4	重磁类导航系统 .....	008
1.2.5	测速和测深类导航系统 .....	010
1.2.6	综合导航系统 .....	011
1.2.7	其他类导航设备 .....	012

## 第2章 舰船导航基础

2.1	坐标、方向和距离 .....	014
2.1.1	地球的形状 .....	014
2.1.2	地理坐标 .....	016
2.1.3	航向与方位 .....	021
2.1.4	速度与距离 .....	024
2.2	坐标系及其转换 .....	027
2.2.1	惯性坐标系 .....	028
2.2.2	地球坐标系 .....	029
2.2.3	地理坐标系 .....	029
2.2.4	舰船坐标系 .....	029
2.2.5	常用惯性导航坐标系 .....	030
2.2.6	常用天文坐标系 .....	030
2.2.7	地心坐标系和参心坐标系 .....	033
2.2.8	坐标系转换 .....	034
2.2.9	几种常用的坐标系 .....	036
2.3	时间系统 .....	037



2.3.1	世界时 .....	038
2.3.2	历书时 .....	039
2.3.3	原子时 .....	039
2.3.4	协调世界时 .....	040

### 第3章 传统舰船导航方法

3.1	船位推算 .....	041
3.1.1	无风流情况下的船位推算 .....	041
3.1.2	风、流中航行船位推算 .....	043
3.1.3	船位推算误差分析 .....	047
3.2	地文导航 .....	051
3.2.1	船位线 .....	051
3.2.2	位置线梯度及误差 .....	052
3.2.3	陆测船位解算 .....	055
3.3	天文导航 .....	057
3.3.1	天文三角形及天文船位线 .....	057
3.3.2	恒星视位置预报 .....	059
3.3.3	天体真高度 .....	061
3.3.4	船位定位计算方法 .....	065

### 第4章 惯性导航

4.1	惯性器件 .....	067
4.1.1	机械陀螺仪 .....	068
4.1.2	光学陀螺仪 .....	069
4.1.3	微机电陀螺仪 .....	069
4.1.4	加速度计 .....	070
4.2	惯性导航原理 .....	071
4.2.1	平台式惯性导航系统 .....	073
4.2.2	捷联式惯性导航系统 .....	074
4.3	惯性导航系统误差 .....	076
4.3.1	惯性导航系统的误差源 .....	076
4.3.2	惯性导航系统的导航参数误差 .....	077
4.3.3	惯性导航系统误差分析 .....	079
4.4	惯性导航系统初始对准 .....	083
4.4.1	自主对准 .....	083
4.4.2	组合对准 .....	085
4.4.3	传递对准 .....	086
4.5	惯性导航系统综合校正 .....	088
4.5.1	常值误差综合校正 .....	088

4.5.2	采用组合导航方法的综合校正	090
4.6	惯性导航系统中的旋转调制	092
4.6.1	单轴旋转调制	093
4.6.2	双轴旋转调制	095
4.7	惯性导航系统标定	096
4.7.1	陀螺仪误差参数标定	097
4.7.2	加速度计参数标定	098

## 第5章 舰船无线电导航

5.1	无线电导航系统概述	100
5.1.1	无线电导航系统分类	100
5.1.2	无线电导航系统的基本测量方法	101
5.2	无线电传播基础	102
5.2.1	无线电波基础知识	103
5.2.2	无线电波的调制与发射	105
5.2.3	无线电波的接收	105
5.3	陆基无线电导航系统	105
5.3.1	陆基无线电测向	105
5.3.2	罗兰 C 系统及其误差	107
5.4	卫星导航	109
5.4.1	卫星定位基础	110
5.4.2	卫星定位基本方法	113
5.4.3	卫星定位误差	119
5.4.4	差分定位技术	121
5.4.5	卫星导航增强方法	125
5.5	北斗卫星导航系统	127
5.5.1	北斗一代卫星导航试验系统	127
5.5.2	北斗二代卫星导航系统	128

## 第6章 水声导航

6.1	水声导航概述	132
6.2	声波传播基础	133
6.2.1	声波的基本概念	133
6.2.2	声波的基本分类	133
6.2.3	声波的传播速度	134
6.2.4	海洋声信道	135
6.3	声学测速	135
6.3.1	多普勒测速	136
6.3.2	声相关测速	143

6.4	水声定位	147
6.4.1	长基线水声定位	147
6.4.2	短基线水声定位	149
6.4.3	超短基线水声定位	151
6.4.4	组合定位系统	153
6.5	声学测深	153

## 第7章 地磁导航

7.1	地球磁场	156
7.1.1	地磁要素与地磁图	156
7.1.2	地磁场组成及其解析模式	159
7.2	地磁敏感方法	162
7.2.1	磁罗经技术	162
7.2.2	磁通门技术	164
7.2.3	固态器件技术	165
7.2.4	直感式地磁导航系统的一般结构	167
7.3	船磁与自差分析	168
7.3.1	船磁产生的力与自差	168
7.3.2	指北力和自差力	172
7.3.3	自差公式	177
7.3.4	倾斜自差	178
7.3.5	自差随磁纬度的变化	180
7.4	地磁组合与匹配导航技术	180
7.4.1	GPS/地磁组合导航技术	180
7.4.2	水下地磁匹配导航技术	181

## 第8章 重力导航

8.1	重力场导航概述	184
8.2	地球重力场	185
8.2.1	重力加速度	185
8.2.2	重力梯度	187
8.3	重力场测量	190
8.3.1	卫星测高反演	190
8.3.2	航空测量延拓	194
8.3.3	海洋重力仪测量	199
8.4	重力场导航基本原理	202
8.4.1	基于重力场异常的匹配导航	202
8.4.2	基于重力梯度的匹配导航	209
8.4.3	多源重力数据融合	211

## 第9章 气象导航

9.1	气象导航概述	215
9.1.1	气象导航的概念	215
9.1.2	气象导航的类型	217
9.1.3	气象导航的发展	217
9.1.4	气象导航的效益	218
9.2	气象导航环境要素	220
9.2.1	影响航线选择的海洋环境要素	220
9.2.2	气象导航海洋环境要素获取	223
9.3	气象导航基本原理	231
9.3.1	船舶耐波性及失速	231
9.3.2	气象航线的设计原理及数学模型	238
9.3.3	气象导航工作程序	239
9.4	气象导航航线选择	244
9.4.1	气象导航航线类型	245
9.4.2	气象航线选择方法	246
9.4.3	船舶自行气象导航	250

## 第10章 组合导航及信息处理

10.1	组合导航系统基本原理	254
10.1.1	组合导航组成及原理	254
10.1.2	组合导航的基本类型	256
10.1.3	组合导航的数据处理	258
10.1.4	组合导航的工作模式	260
10.2	组合导航系统数据融合方法	261
10.2.1	估计理论基础	261
10.2.2	线性系统卡尔曼滤波	264
10.2.3	非线性滤波	272
10.3	组合导航系统设计和分析	280
10.3.1	惯性导航/卫星组合导航	280
10.3.2	船位推算/卫星组合导航	286

## 第11章 电子海图系统

11.1	电子海图系统概述	289
11.2	电子海图基础	290
11.2.1	电子海图相关技术术语	290
11.2.2	地图的投影与分类	291
11.2.3	海图比例尺和海图分类	293

11.2.4	电子海图的坐标变换 .....	294
11.3	电子海图国际标准 .....	297
11.3.1	标准化电子海图数据解析 .....	297
11.3.2	电子海图内容和显示 .....	305
11.4	电子海图系统组成 .....	309
11.4.1	电子海图硬件框架结构 .....	309
11.4.2	电子海图软件框架结构 .....	309
11.5	电子海图集成技术 .....	311
11.5.1	电子海图/雷达图像叠加技术 .....	311
11.5.2	电子海图/AIS 集成技术 .....	316
11.5.3	电子海图/气象传真图叠加技术 .....	318

## 第12章 舰船航路规划

12.1	海洋环境对舰船航路规划的影响 .....	322
12.1.1	海洋地理环境对舰船航行的影响 .....	322
12.1.2	海洋气象环境对舰船航行的影响 .....	322
12.1.3	海洋水文环境对舰船航行的影响 .....	323
12.2	舰船航路规划方法 .....	324
12.2.1	舰船航路规划一般方法 .....	324
12.2.2	舰船航路规划的一般程序 .....	326
12.3	舰船航路规划算法及模型 .....	328
12.3.1	舰船航路规划的常用算法 .....	328
12.3.2	舰船航路规划模型 .....	340
12.3.3	舰船航路规划辅助系统 .....	348

<b>参考文献</b> .....	349
-------------------	-----

# 第 1 章

## 舰船导航系统概述

海洋约占地球面积的 70%，人类除了开发和利用海洋资源外，还得到一个好处就是利用海洋来作为一种交通途径——航海。导航最早是从航海开始，并且与船舶相伴而生的，航海既需要船舶，也需要导航，从而使导航既成为一门艺术，又成为一门有光辉发展前景的科学。一方面，人类对海洋的探索和应用推动着导航技术的发展；同时，导航技术的发展又为人类更深层次开发应用海洋提供了重要保障。

引导运动体安全、准确地航行到预定目标或指定点的理论和方法，就称为导航。导航解决的核心问题是，确定任意时刻运动体的位置和姿态、运动体的时间基准和运动体到下一个位置点的正确航法。

现代导航技术的发展使得导航概念已经发生了重大变化。例如，舰船导航不仅仅起传统的航海保障作用，其功能还包括舰船导航与控制、武器作战的指挥与控制、导弹的导航与制导、武器系统及雷达等的控制与稳定、海洋环境的测绘和现代战争的指挥与控制等。可以说，舰船导航已经成为现代海战的关键技术。

舰船导航的基本任务是：为舰船提供各种航行参数，引导舰船安全航行，保证其遂行各种战斗活动；为舰载指控和武器装备系统提供位置、姿态、方位、时间等各种导航信息，保证作战指挥和武器使用需要；引导精确制导武器准确命中目标；战时开展导航信息对抗，对敌方导航系统进行干扰和压制，保护我方导航系统，采取各种手段，减小敌方干扰对我导航保障的影响。

舰船导航的总体要求是可靠、连续和准确。可靠是指系统和设备要能连续、稳定地提供可利用的导航信息；连续是指导航设备要能实时提供导航信息，要能连续进行导航，不能做后处理；准确是指信息精度要高，时间信息要准，要能满足各类用户的使命任务需求。导航信息使用对象的不同，对导航定位要求也就不同。通常情况下，在大洋中航行的舰

船,对定位精度要求不是很高。一般 $2\sim 3\text{ n mile}$ <sup>①</sup>就能满足航行安全保障需求;近岸海洋测量定位精度要求在 $10\text{ m}$ 以内;通过狭窄水道定位精度要求一般为 $100\text{ m}$ 左右或小于水道可航宽度 $1/4$ ;障碍物较多的复杂海区或进出港等,对导航定位的精度要求一般为几米至几十米;打捞和救助船只,除了要求一般的导航定位外,还要求能够迅速、准确地测定出遇难船只的方位和距离,以便及时搜寻、救助。

## 1.1 舰船导航历史与发展

### 1.1.1 舰船导航技术发展简要回顾

舰船导航的发展大致可分为地文导航、天文导航、仪表导航、电子导航(无线电导航、惯性导航和卫星导航)和综合导航几个阶段。

在与船舶相伴生的导航定位技术中,地文导航定位技术历史最悠久、最古老,它利用对山头、岛礁等陆上标志的观测确定船位和方位。而天文导航定位则是古人航海技术积累到相当程度后才发展起来的。

在我国古代航海史上,航海技术可粗略地分为船舶导航定位技术与船舶操纵技术,4000多年前,我们祖先就已经懂得利用天然目标引导船只航行,600多年前,“过洋牵星图”陪着郑和船队创下了七下西洋的伟大壮举。

大约在12世纪,中国发明的指南针开始在航海中应用,继而产生罗经。罗经导航标志着航海技术取得重大突破。1730年发明了航海六分仪,1767年天文钟在船上使用,开始了对天体进行观测确定舰船方位的天文导航。

人类社会进入20世纪以来,无线电技术的发明和广泛应用于导航,推动导航技术进入了崭新的时代。无线电导航定位方法经过了无线电测向仪(1921年)、雷达(1935年)、罗兰A(1943年)、台卡(1944年)、罗兰C(1958年)、卫星导航系统(1964年)、全球定位系统(1993年)的发展历程,进入高精度卫星导航定位时代。第一次世界大战无线电指向标的应用,突破了目视导航受天气影响和作用距离的局限;第二次世界大战罗兰技术的应用,为船舶和武器装备系统提供了精度更高、作用距离更远和使用更为便捷的导航保障手段;第二次世界大战以来,罗兰系统的逐步完善、奥米伽系统的应用、卫星导航和惯性导航技术的发展,推动着时代的进步,产生巨大的军事和经济效益。1935年发明雷达,随即于1937年开始用于船舶探测目标、定位、导航与避碰;1957年发射第一颗人造地球卫星,1964年就研制出卫星导航系统。美国开发的全球定位系统(GPS)可在全球范围内全天候为海上、陆上、空中和空间用户提供连续的、高精度的三维定位、速度和时间信息,使船舶、飞机和汽车等运载工具的导航与定位发生了划时代的变革。采取差分技术的GPS技术可把定位精度提高到米级。GPS现已普遍装在船上,成为最主要、最常用、最简便、最准确的导航定位手段。而为了摆脱对美国GPS的依赖,俄罗斯开发了GLONASS卫星导航系统,中国开发了北斗卫星定位系统,欧盟开发了GALILEO卫星导航定位系统。

惯性导航技术是舰船最重要的导航技术手段,可以自主、连续、实时、准确地向舰船提

①  $1\text{ n mile} = 1852\text{ m}$ 。

供航向、航速、航程、航位、航路点、偏航以及到达目的地的时间、方位及距离等,保证舰船安全地出航、进港,准确地沿着预定的航线,快速驶往目的海域;惯性导航系统还作为武器系统的基准信息源,提供准确、可靠的航向、纵横摇、速度与位置信息。但是,惯性导航的缺点是其误差随时间积累,需要借助于其他能够提供位置信息和速度信息的技术装备进行重调或修正。

惯性导航技术的发展经历了较漫长的曲折道路。1687年建立的牛顿力学定律奠定了惯性导航理论基础;1851年发现的傅科理论奠定了陀螺理论基础;1908年发现的舒勒周期奠定了平台罗经和稳定平台理论基础;1946年发明计算机技术及随后的晶体管式数字计算机的出现,促使了第一台惯性导航系统在1950年诞生;1962年卡尔曼和布西发明的最优线性递推滤波(线性、无偏、方差最小的实时滤波)为惯性导航系统和综合导航系统提供了数据处理手段;随着计算机技术的发展,四元数法在计算机上的应用,构成了数学平台,为捷联式系统的实现打下了基础;1988年N. A. Carson提出的联合滤波理论为两个以上的导航传感器的信息融合奠定了理论基础。

从基于惯性原理的液浮陀螺仪、静电陀螺仪和动调陀螺仪,发展到基于萨格纳(Sagnac)效应的光学陀螺仪,再到基于物质波和原子光学的原子干涉仪陀螺仪,陀螺仪在原理和技术上均取得了重大突破。利用干涉仪原子陀螺仪实现的纯惯性导航系统定位精度可达5m/h,具有广泛的应用前景。

纳米技术也成为惯性导航技术向微型化发展的一条重要途径。由于微电子技术的进步,集成电路芯片的特征尺寸越来越小,将突破0.1 $\mu\text{m}$ 的物理极限。当电子数减少到几十个的时候,经典物理学的普遍定律不再适用,量子功能电子学和纳米技术应运而生,发展潜力巨大。它的出现标志着人类从微米层次深入到原子、分子级的纳米层次,使人类最终能够按照自己的意愿操纵单个原子和分子,以实现微观世界的有效控制。虽然目前纳米技术尚达不到完全成熟的水平,但已经进入到人们日常生活中,并被誉为最具革命性的新科学,引起了世界各国科学家、政府和军队的高度重视。

舰船导航技术的发展过程,是适应舰船装备要求,并伴随着科学技术尤其是自动控制、电子技术、计算机技术和现代工艺技术的发展而不断提高的。20世纪60年代初出现了组合导航,20世纪70年代初出现了综合舰桥系统,20世纪80年代出现了组合导航控制系统,20世纪90年代出现了导航、控制、监视和通信一体化系统,导航自动化程度越来越高。由此可以看出,导航已经从单纯提供导航数据向导航、制导和控制等多功能的方向发展。集成化、自动化是各种导航技术发展的结果,也将是21世纪导航技术发展的重要方向。

### 1.1.2 舰船导航发展基本方向

伴随着现代导航技术的发展,导航信息精度和实时性得到了空前的提高,导航概念的内涵和外延也悄然发生了变化。舰船导航的发展不仅仅是技术的发展,如核心器件制造技术的提高、灵敏度的提高及促进单项导航装备的精度和可靠性,而更在于舰船导航不但在航海安全保障中继续发挥着重要作用,而且成为舰船操纵与控制、作战与指挥系统、导弹制导系统、武器系统及观通系统、海洋环境系统等不可分割的重要组成部分,并成为现代海战的关键技术。



### 1. 更加适应航海安全性要求

由于海洋气象和海况千变万化,致使舰船航行环境复杂,加之舰船自身条件,灾难事故时有发生,如碰撞、浪损、触礁、搁浅、火灾、爆炸、沉没、失踪等,造成生命和财产损失。例如:1912年4月15日英国泰坦尼克号豪华客轮在北大西洋撞上冰山后沉没,导致1500多人遇难;同年9月28日,日本踢球者号客轮在日本沿岸遭遇风暴沉没,造成1000多人遇难;1987年12月20日菲律宾多纳·帕兹号渡轮因台风在马林杜克岛附近与维克托山号油轮相撞爆炸起火,20min后两船均沉没,4386人遇难。因此,作为舰船大海航行的重要技术手段之一,导航技术装备必须为航海安全提供保障,降低航海风险。

### 2. 更加适应海洋物理环境要求

研究表明,海洋风、流、声、磁、温度、盐度、深度和密度等诸多因素对舰船导航影响很大。例如:区域磁场异常,会使罗经的方向产生偏差,影响导航的精度;舰船机动,会产生涡流,使电磁计程仪产生误差;舰船迴转,会使陀螺罗经、平台罗经产生航向效应;海水温度、深度和盐度会使水中声速产生变化,海底地形变化会产生更复杂的发射和折射,海洋环境噪声产生背景噪声,这些均会使导航声纳和多普勒计程仪产生误差;天气变化会影响天文观测,电离层和电磁干扰会影响无线电信号的传输;等等。因此,需利用或克服这些海洋物理特性和有害限制,提高导航信息精度,从而促进导航技术的不断发展。

### 3. 更加适应海战场环境要求

现代战争不断在表明和证明导航与作战间的关联度,理论研究和实践均已经说明导航是现代战争的重要关键技术。网络中心战、信息化、数字化、武器制导化、战争立体化、作战远程化和作战无人化等成为海上作战的新特征。作为现代战争基础技术的导航技术必须适应将来的海战场环境要求,这要求导航系统必须向自主化、无源化、综合化、信息化、智能化和自动化方向发展。

### 4. 更加适应作战要求

现代舰船与导航系统之间的关系,主要体现在舰船导航、指挥控制、武器制导、舰载飞行器与武器导航系统的对准等方面。现代海上作战平台将向速度快、功能多、隐蔽性强的方向发展,而海战必将是水下、水面、空中和外层空间的立体战争,这就要求精确掌握目标位置、姿态和运动方向等信息,完成态势估计、武器瞄准和打击,直接增强人控和非人控制武器的投射精度和杀伤力。因此,作为舰船时空基准的导航系统,必须适应现代作战的要求。

## 1.1.3 发展中的现代舰船系统

现代舰船对操纵性、安全性、可靠性及航行成本都提出了很高的要求,适应于现代条件下立体化海战的航海技术与装备需适应舰艇编队快速机动,及与其他军种、兵种联合作战的要求。舰船航海导航必须与舰艇信息获取、作战指挥和武器控制等采用联机处理技术,实现综合定位导航、自动机动绘算、自动显示敌我运动态势和舰艇作战指挥自动化。因此,发达的海上贸易运输和军事需求,必然导致舰船导航技术装备向着高效、精准的方向发展,并由此要求高精度导航用传感器、导航系统和综合舰桥技术的发展。

惯性导航系统发展和技术进步呈现出的主要特点为,在无法接收卫星导航信号或需要高度导航可靠性的应用场合,高性能的自主式惯性导航系统仍具有不可替代的作用。