

舰船导航系统

周永余 许江宁 高敬东 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

本书由海军工程大学资助出版

舰船导航系统

周永余 许江宁 高敬东 编著

国防工业出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

舰船导航系统/周永余,许江宁,高敬东编著. —北京:国防工业出版社,2006.4

ISBN 7-118-04447-4

I. 舰... II. ①周...②许...③高... III. 航海导航
IV. U675.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 019342 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 100044)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 292 千字

2006 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 22.00 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

前 言

本书是为导航、制导与控制专业的研究生编写的教材,可供地方和军队高等院校的导航工程及相关专业的研究生、本科生作为教学参考书,也可供装备管理机关和论证、研制、生产部门的管理人员、工程技术人员作为参考书。

本书根据导航信息的重要性,主要阐述了当今国际、国内各种不同类型的导航系统的发展历史、基本组成、基本原理、基本特点、系统功能、关键技术、发展趋势等内容,重点分析了国内外各种舰船导航系统前沿发展趋势,并结合各种导航系统的关键技术进行了讨论。本书的宗旨是为导航科技工作者和我国众多高等院校的热心国防事业的学生对未来导航系统的发展和研究,提出一些研究素材和课题。

导航系统(包括导航装备或设备)是航天、航空、航海、武器系统等应用领域中必不可少的重要组成部分,它的作用像人的眼睛一样重要。舰船导航技术是一门跨学科的综合性的科学技术,涉及到导航信息源设备的多种关键技术、计算机处理技术、微电子控制技术以及数据处理、最优估计滤波等理论。随着计算机技术的飞速发展,GPS、GLO-NASS、双星定位等卫星导航技术和激光陀螺、光纤陀螺、静电陀螺组成的惯性导航系统的出现,以及电子武器装备、自动航行系统飞速的发展,对舰船导航系统提出了更高的要求,也推动舰船导航系统的进一步发展。

全书共分9章,第1章主要介绍导航的起源、舰船导航系统的作用、发展概况,以及几种主要导航技术的相关知识。第2章主要介绍惯性导航系统的基本原理、关键技术,各种精度的陀螺仪和加速度计、平台式和捷联式平台罗经及惯性导航系统的结构组成、主要技术性能、现代战斗舰艇对惯性导航系统或平台罗经的要求、舰船惯性导航系统在核潜艇中的地位、国内外惯性导航系统的现状和发展趋势等内容。第3章主要介绍无线电导航系统,即奥米伽无线电导航系统、罗兰C无线电导航系统及双曲线导航基本原理等内容。第4章主要介绍卫星导航系统定位工作原理、GPS的应用、GPS与精确制导、GPS与精确打击、GALILEO卫星导航系统、我国“北斗”第二代导航卫星系统设想、差分GPS高精度导航定位系统及GPS与伊拉克战争给人们的思考等有关内容。第5章主要介绍组合导航系统的基本组成及功能、国内外舰船组合导航系统性能、GPS与惯性导航系统(INS)的组合原理等内容。第6章主要介绍电子海图显示与信息系统(ECDIS)的发展历史、基本特点、组成和21世纪的发展趋势等有关内容。第7章主要介绍推算船位导航系统的摆式陀螺罗经、电磁控制式陀螺罗经、速度计程仪及回声测深仪、自动操舵仪等原理、特点和未来的发展趋势等有关内容。第8章介绍其它导航技术,包括天文导航、地文导航、气象导

航、雷达导航、声呐导航等的原理、特点和未来的发展趋势等有关内容。第9章主要介绍综合舰桥系统的原理、组成,智能化综合舰桥系统的概念、特点和未来的发展趋势等有关内容。最后还编排了舰船导航基础知识作为附录,主要介绍坐标系、海图、航迹推算等有关的导航基础知识。

书中从物理概念、数学分析、发展评述、前沿跟踪、图形描述等诸方面的紧密结合上,力求做到图文并茂、深入浅出、系统完整地向各位读者展示舰船导航系统更多的信息。

本书由海军工程大学周永余副教授、许江宁教授、高敬东教授编著。

在编写和出版过程中,中国科学院许厚泽院士、东南大学万德钧教授两位导航、定位领域的德高望重的前辈在百忙之中对书稿进行了审阅,并提出了非常宝贵的意见,特此表示万分的感谢。

本书在编写过程中,参考和引用了许多知名专家、众多学者的著作和论文的观点和部分内容,如清华大学章燕申教授(各种陀螺仪),东南大学万德钧教授(平台罗经和捷联基准发展评述),哈尔滨工程大学程禄教授(天文、地文导航)、孙枫教授、郝燕玲教授(组合导航),大连海事大学刘英贤教授(航海基础),海军工程大学高启孝教授、边少锋教授、李安教授、陈永冰副教授、胡柏青副教授、卞鸿巍副教授、李文魁博士、胡东亮讲师、陈芸讲师、吴苗讲师、李方能讲师等的文献,在此向他们致以诚挚的谢意。特别要指出的是,为了全面反映和传递众多学者对国内外导航系统的许多宝贵的观点和重要的贡献,引用和参考之处未能一一注明原著者的姓名,请这些专家和学者谅解。在此,编著者谨向被引用和参考文献的未能注明的所有专家和学者表示衷心的感谢并致以崇高的敬礼。书末的参考文献有些为校内讲义,如需参考可以与作者联系:zyyzq@public.wh.hb.cn。

在编写和出版过程中,对本教材提出宝贵意见以及在编写过程中给予热情支持的各位教授、专家和老师表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促紧迫,书中难免有缺点和错误,殷切希望使用本书的各位读者批评指正。

编 著 者

于海军工程大学

2005年09月

目 录

第 1 章 舰船导航系统总论	1
1.1 概述	1
1.1.1 导航的起源	1
1.1.2 导航的发展历史	1
1.1.3 几种主要的导航技术	1
1.2 舰船导航系统在作战中的作用	16
1.2.1 导航信息源的发展特点	16
1.2.2 舰船导航系统对现代海上作战行动的作用和影响	17
复习思考题	18
第 2 章 惯性导航系统	19
2.1 概述	19
2.2 基本原理	19
2.3 惯性导航系统的关键技术	22
2.3.1 低精度陀螺仪	23
2.3.2 中精度陀螺仪	23
2.3.3 高精度陀螺仪	24
2.4 平台式和捷联式惯性导航系统结构	24
2.4.1 平台式惯性导航系统组成	24
2.4.2 平台罗经系统的主要类型与结构	25
2.5 舰船惯性导航系统的性能	30
2.5.1 美国的舰船惯性导航系统技术性能	30
2.5.2 舰船惯性导航系统选用的陀螺仪	31
2.5.3 现代战斗舰船对惯性导航系统及平台罗经的要求	32
2.6 舰船惯性导航系统在核潜艇中的地位	33
2.6.1 舰船惯性导航是潜基战略武器系统中的重要组成部分	33
2.6.2 导弹的当量、命中精度与杀伤力三者间的关系	34
2.6.3 舰船惯性制导系统的性能对潜基导弹命中精度的影响	35
2.7 国内外惯性导航系统的发展趋势	36
2.7.1 惯性导航系统的发展现状	36
2.7.2 近代惯性导航系统的发展趋势	41
复习思考题	45
第 3 章 无线电导航系统	47

3.1	概述	47
3.2	奥米伽无线电导航系统	47
3.2.1	奥米伽发射台	47
3.2.2	奥米伽电波传播与工作区	48
3.3	罗兰 C 无线电导航系统	49
3.3.1	罗兰 C 导航系统简介	50
3.3.2	罗兰 C 的将来	53
	复习思考题	53
第 4 章	卫星导航定位系统	54
4.1	概述	54
4.2	美国 GPS 卫星导航定位系统	58
4.2.1	GPS 卫星导航定位系统的组成	58
4.2.2	GPS 卫星导航定位基本原理	61
4.2.3	GPS 卫星导航定位系统的主要特点和在军事中的应用	63
4.2.4	GPS 卫星导航系统定位与精确制导	67
4.3	欧洲“伽利略”卫星导航定位系统	69
4.3.1	GALILEO 系统全球设施部分	70
4.3.2	区域设施部分	72
4.3.3	局域设施部分	72
4.3.4	用户接收机及终端	73
4.4	中国“北斗”第二代卫星导航定位通信系统设想	73
4.4.1	概述	73
4.4.2	双星导航定位系统简介	74
4.5	精确制导武器与伊拉克战争给人们的思考	77
4.5.1	伊拉克战争中的精确制导武器	77
4.5.2	精确制导是可以对抗的	78
4.5.3	GPS 起主导作用的伊拉克战争	79
4.6	21 世纪初卫星导航定位系统的发展趋势	80
4.6.1	美国军用新一代 GPS 发展情况	80
4.6.2	卫星导航定位系统的发展趋势	82
	复习思考题	83
第 5 章	组合导航系统	84
5.1	概述	84
5.1.1	组合导航系统的产生	84
5.1.2	组合导航系统的特点	84
5.2	基本原理	85
5.2.1	基本结构	85
5.2.2	基本功能	87
5.3	国内外舰船组合导航系统	87

5.3.1	发展简史	87
5.3.2	共同特点	89
5.4	GPS与惯性导航系统的组合	89
5.4.1	理想的导航系统标准	89
5.4.2	惯性导航系统的误差特性	89
5.4.3	GPS/INS组合系统	90
5.4.4	GPS和INS数据组合方式	92
5.5	我国舰船组合导航系统发展评述	94
5.5.1	我国组合导航系统应用的特点 ^[77]	94
5.5.2	组合导航系统的新需求和新发展	95
5.5.3	我国组合导航系统研制的一些设想	96
5.6	21世纪初舰船组合导航系统的发展趋势	97
5.6.1	21世纪初舰船组合导航系统的展望及其特点	97
5.6.2	21世纪初舰船组合导航系统的发展趋势	97
	复习思考题	98
第6章	电子海图显示与信息系统	100
6.1	概述	100
6.2	基本原理	101
6.2.1	电子海图显示与信息系统的组成	102
6.2.2	电子海图显示与信息系统的输入方法	102
6.3	电子海图显示与信息系统性能	103
6.3.1	电子海图显示与信息系统主要功能	103
6.3.2	电子海图显示与信息系统特点	104
6.4	电子海图显示与信息系统的趋势	104
6.4.1	21世纪初电子海图显示与信息系统的信息源组合	105
6.4.2	21世纪初电子海图显示与信息系统的趋势	106
6.4.3	结束语	108
	复习思考题	108
第7章	推算舰位导航系统	109
7.1	概述	109
7.2	摆式陀螺罗经	109
7.3	电磁控制式陀螺罗经	111
7.3.1	电控罗经基本结构	111
7.3.2	电控罗经工作原理	112
7.4	速度计程仪	114
7.5	回声测深仪	116
7.6	自动操舵仪	120
7.6.1	自动舵的控制方法及遗传算法	122
7.6.2	自动舵的发展趋势	128

复习思考题	129
第8章 其它导航技术	130
8.1 天文导航	130
8.1.1 天文导航发展历史	130
8.1.2 天文定位概述	130
8.2 地文导航——陆标定位	133
8.2.1 陆标定位舰位线 ^[15]	133
8.2.2 陆标定位计算方法 ^[15]	135
8.3 气象导航	144
8.4 雷达导航	145
8.4.1 雷达的基本体制和类型	146
8.4.2 脉冲雷达	147
8.4.3 相控阵雷达	150
8.4.4 导航雷达和自动雷达标绘仪	150
8.4.5 其它雷达	151
8.4.6 21世纪的前20年的雷达技术发展趋势	152
8.5 声呐导航	153
8.5.1 声呐的分类	153
8.5.2 声呐的结构原理	154
8.5.3 声呐的技术性能	155
8.5.4 波束的形成与多波束声呐	156
8.5.5 船壳式声呐与拖曳式声呐	157
8.5.6 探雷声呐	158
8.5.7 通信声呐	158
8.5.8 噪声测向声呐	159
8.5.9 声呐的发展趋势	159
复习思考题	160
第9章 综合舰桥系统	161
9.1 概述	161
9.1.1 定义	161
9.1.2 发展概况	163
9.2 基本原理	165
9.3 基本功能	166
9.3.1 输出信息	166
9.3.2 输入信息	166
9.4 基本组成	167
9.4.1 航行管理系统	167
9.4.2 舰船控制系统	167
9.4.3 雷达自动标绘辅助系统	167

9.4.4 综合状态评估系统	167
9.4.5 典型的 IBS	167
9.5 IBS 发展展望	170
复习思考题	171
附录 导航系统基础知识	172
附录 1 坐标、方向和距离	172
附录 1.1 地理坐标	172
附录 1.2 方向的确定与划分	179
附录 2 坐标系	179
附录 2.1 惯性坐标系	180
附录 2.2 确定载体相对地球位置的坐标系	180
附录 2.3 与载体位置或惯导系统本身有关的坐标系——地理坐标系 $OX_tY_tZ_t$	181
附录 2.4 航向与方位	182
附录 2.5 航海专用距离单位	183
附录 2.6 航速与航程及其测定	184
附录 3 海图	185
附录 4 航迹推算	190
附录 5 大洋航行	191
参考文献	194

第1章 舰船导航系统总论

1.1 概述

1.1.1 导航的起源

导航的本意是引导运载体(如舰船)安全航行,即将运载体从一个地方安全地引导到另一个地方的过程。但随着科学技术的发展,它的概念也扩展了,各种标志着近代、现代科学技术的众多的运载工具,诸如飞机、导弹、火箭、核潜艇、海洋地球物理资源调查船、巨型油轮、人造卫星、宇宙飞船等的相继出现,大大地扩展了“导航”的概念,除了保证载体的航行安全外,还需要为运载体以及载体内的其它系统,如测量、武器、监视等系统提供精确的导航、定位信息,进一步地还可对舰船的航向、航迹进行控制,也可实现对舰船的动力定位。

可见,现代导航对导航仪器或设备提出了更高的要求。现代导航仪器的用途不再是简单地保证载体的航行安全,而且还要能够提供载体的多达七维的导航信息,如载体航行速度、航向、水深信息、航行姿态(纵摇、横摇)、航行时间及位置信息(经度、纬度)等。

1.1.2 导航的发展历史

自古以来,人们一直在利用天上的星星进行导航,特别是利用北极星来确定方向。考古发现,我们的祖先在17 000年前的古石器时代就发明了导航方法。当时为了进行狩猎活动,人们利用恒星导航,这就是早期的天文导航方法。

随着科学技术的发展,导航渐渐发展成为一门专门研究导航原理方法和导航技术装置的学科。在舰船、飞机、导弹和宇宙飞行器等航行体上,导航系统是必不可少的重要设备。

按照近代科技术语,导航的主要工作就是定位、定向、授时和测速。导航系统需要连续提供此类信息;当载体运动加快时,要求数据的更新也加快。

相比而言,精确定位则是导航的一个极端的情况:不但要定位,甚至要定向,有时对精度的要求是很高(需要厘米或毫米级)的。

由于能够测得上述导航参数、完成导航任务的物理原理和技术方法很多,因此,随后便出现了各种类型的导航系统,如无线电导航系统、卫星导航系统和惯性导航系统等。

1.1.3 几种主要的导航技术

1. 地磁导航

在中国史书中记载的最早应用的导航仪是指南针,这是我国古代的四大发明之一。北宋时期的沈括在《梦溪笔谈》中首次描述了磁偏角的发现。宣和年间便有“舟师试地理,

夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”的记载以及各种使用指南针的方法。宋元两代我国航海事业已经十分发达，海上交通极其繁荣，当时及随后的商船队往来于南海和印度洋并到达波斯湾和非洲东部。如果没有指南针来指示航路，这是难以实现的。

唐朝时期的阿拉伯国家在其鼎盛时代，从中国学会了使用指南针，极大地刺激了阿拉伯航海、航运业的巨大发展。

公元 12 世纪，磁针由阿拉伯传入欧洲。随后欧洲人将原始的指南针改制成简单的船用磁罗经，并绘制出了地中海的地图，使欧洲的历史进入航海时代。欧洲乃至人类的历史进程也随之发生了巨大的变化。

18 世纪，由于蒸汽机的发明，船舶上出现了钢铁。但大量钢铁的使用产生了强烈的磁场，传统的指南针出现了很大的、有规律的误差。这一问题的产生，引起了包括法国科学家泊松、英国天文学家爱利、俄国航海家伊夫克鲁兹杰尔等人的关注。经过人们不断地研究和改进，一直持续到第二次世界大战，最终使历史上曾发挥了巨大作用的简易罗盘转变成了今天人们看到的拥有完备指示、校正、照明、观测系统的磁罗经；同时对磁罗经自差原理和消除自差的理论形成了一门完整的科学。

2. 天文导航

天文是人类最古老的科学之一。天空中的星体（太阳、月亮、其它行星、恒星等）相对地球有一定的运动轨迹和位置。

古人通过对天体精确的观测，认识到天体运行的规律，发现了天体运行与人类社会生活有密切的联系。他们通过建立各种历法，指导人类的生产、生活；通过观测天象的变化，来预测现实社会中事情的吉凶；通过观察星座的位置来确定自己的方位。

天文导航是根据天上星座的运行规律来对地面上的目标进行定位的。

通过观测星体相对地球的位置参数（例如仰角）以及观测时间，即可确定观测者在地球上的位置，从而引导运动体航行，这就是天文导航或天体导航。

对于大多数人来说，都有这样的体验，夜晚观察星空的时候，会发现随着时间的推移，星空也在缓缓地转动；到了第二天的夜晚，昨天的星空又会转回，重新出现在我们的头顶。古人认为天上的星星分布在一个比地球更大的天球上，每一个星星在天球上都有自己确定的位置。

一年中，天球相对于地球的位置也在缓缓向西旋转，这样我们在不同月份的夜晚所看到的星空是不同的。例如，每到夏天的夜晚，牛郎星和织女星显得格外耀眼；而到了冬天，牛郎星和织女星沉入地面看不见了，看到的则是以升起来的闪亮的金牛座和天狼星为代表的另一个星空的图案。

同样，在世界不同纬度的地方，所看到的星空也是不同的，例如，在北半球的人们能够看到熟悉的北斗七星，而南半球的人就从来都看不到。

因此，人们发现虽然星星相对于天球的位置是确定的，但对于地球上的人们而言，不同的时间、不同的地点将看到不同的星空。

对于我们每一个观测者，可以通过观察知道星空的分布，知道观测的时间，根据这一规律，反过来也就可以很自然地知道自己在地球上的位置。例如，过去在北半球航行的航海家，通过观察北极星的方向，就可以容易地知道真北的方位；通过观察北极星的仰角，就可以容易地知道自己所在的纬度。

当格林尼治标准时间确定以后,在同一个格林尼治时间,不同经度的地方将看到同一个星座处在天空上不同的高度,就像各地早晨太阳升起的时间是不同的,这样人们又可以知道自己所在的经度了。

天文导航的方法几乎在各个古老文明的不同时期都出现了,几乎各地都有相似的星球仪的图案和实物。到了欧洲文艺复兴时期,人们发明了六分仪,更加便于在海上航行时观测星体的高度,这使天文导航和地磁导航一样成为古代航海最为重要的导航方式。

今天,借助于现代科学技术,天文导航进入了一个新的发展阶段。天文导航不仅仍旧是舰艇导航的一个基本手段,同时还是洲际导弹和火箭的重要导航方式。根据资料表明,全球航天领域的导航方法目前主要依赖的仍旧是天文导航和惯性导航。所以,我们相信天文导航在今后仍旧有着广泛的发展空间。

天文导航不需要地面支撑设施,具有保密性强的特点,是一种自备式导航系统,不受人为或自然电磁场干扰,具有隐蔽性好、无累积误差及较好的精度等优点,因此常用来校正推算航法的积累误差。

但是天文导航受气象条件(阴天、雨天)和时间(黑夜)的限制,而且观测的时间较长,操作计算比较复杂。

天文导航所用仪器主要有光学六分仪、无线电六分仪、伺服平台、天体跟踪器、时间标准发生器及导航计算机等。

3. 地文导航

地文导航是利用某种观测仪器(含肉眼)对所熟悉的地物或导航设施(航标等)进行经常的或连续的观测,以确定舰船的位置和运动的方向,从而达到导航的目的。

在航海中地文导航也叫观测导航,它是利用罗经、测距仪和六分仪等观测仪器,观测岸上目标的方位、距离和水平角,按一定法则确定船位,称为地文导航法或陆标测位。

这种导航简单、可靠;但受气象条件影响比较严重,在能见度低的情况下很难观测到目标,就无法进行导航了。在无物标的茫茫大海、沙漠中利用这种方法导航也很困难。

常用的陆标测位定位方法有:一标方位距离、两标方位、两标距离、两标两方位、三标方位、三标距离、三标二角法等多种陆标定位法。

磁罗经、陀螺罗经是用于指示舰艇的航向和测定物标方位的重要的导航仪器。

4. 陀螺导航和惯性导航

1) 陀螺导航

陀螺是很多人小的时候在地上玩的一种快速旋转的小东西。但很难有人想到这样的小东西在后来竟能对航空、航天和航海领域产生如此巨大的影响,乃至影响到国家之间的战略力量平衡。

在16世纪,数学家欧拉对陀螺进行了理论上的分析研究,形成了陀螺早期的力学研究基础。陀螺重要的三大特性也随即被发现,即定轴性、进动性和陀螺反力矩。

定轴性:就是陀螺在高速旋转的时候,陀螺的主轴将相对于惯性空间稳定。如果我们长时间观察一个陀螺,将发现陀螺的主轴会缓缓地转动,实际上并不是陀螺主轴在变化,而是我们所在的地球在不停地自转。

进动性:是指当陀螺受到外力作用时,陀螺主轴并不是沿着力的方向运动,而是沿着力矩(即力的垂直方向)的方向运动。

陀螺反力矩:即作用在人们手上的反作用力就是陀螺的反力矩。如果让陀螺的主轴指向北方,然后随着地球的转动,向陀螺施加力矩让陀螺跟着地球旋转,则陀螺将始终指向北方,这就是陀螺方位仪的基本原理。

1852年,著名的法国物理学家列昂·傅科(Leon Foucault)首次提出了利用陀螺仪指示方向的设想。傅科提出利用三自由度陀螺仪的惯性来观察地球的自转,利用二自由度陀螺仪来找北、指北。傅科的有创见的思想奠定了航海罗经发展的基础。目前不同结构的陀螺罗经都是以傅科的卓越思想为基础而发展起来的。

巧妙地使用这三大特性,就产生了众多用途的陀螺仪器,如陀螺方位仪、陀螺罗经、陀螺水平仪、陀螺稳定平台、陀螺平台罗经、惯性导航系统等。

由于陀螺导航设备不需要依赖任何外部的信息,不像其它设备需要依赖地磁、天体观测、无线电信号等,同时由于陀螺仪在遭受强烈干扰后的几分钟断电的情况下仍旧能继续工作,所以它具有很强的生命力、隐蔽性和自主性。

最早的陀螺导航装备是由德国的安休茨发明的陀螺罗经。对于最早的制导武器——第二次世界大战时期德国的U-2火箭,许多爱好军事的人们都不会陌生。当时这种新型的制导武器虽然其制导方式还十分简单,但对整个战争的影响和破坏力已经令人担忧,所以从一开始,陀螺导航技术就被列为各国严格保密控制的战略技术。

之后,陀螺导航技术在各国的战斗机、军舰、导弹、火箭、卫星、航天器、陆地战车等武器装备上得到了越来越广泛的应用。特别是核潜艇、战略轰炸机和洲际导弹等,几乎所有的国家战略武器都与陀螺导航有关。而作为目前全球最具威力的武器平台的核潜艇,惯性导航系统是其三大技术核心的心脏,其重要性在核动力和水下发射技术之上。

有研究表明,惯性导航的定位精度对战略导弹最终的影响将高于导弹增加本身携带战斗部的火药当量的影响;而对于运载火箭的发射,惯性导航系统出现的问题将是系统十分致命的问题。所以没有人怀疑属于惯性技术的陀螺导航技术在目前和今后人类航天、军事及民用中极为重要的应用地位和巨大的发展潜力。

在20世纪初,以发明者命名的可供舰艇使用的德国的安休茨(Anschuz)型陀螺罗经(1908年)、美国的斯伯利(Sperry)型陀螺罗经(1911年)和英国的勃朗(Brown)型陀螺罗经(1916年)相继问世。

迄今为止船用航海罗经的发展已有近百年的历史。据不完全统计,全世界现有的船用陀螺罗经型号已有近百种。尽管陀螺罗经型号繁多,但基本上可分类如下。

按陀螺罗经的灵敏部分具有的陀螺转子个数划分,分为单转子陀螺罗经和双转子陀螺罗经两大类。

按结构特征和工作原理划分,分为安休茨型系列、斯伯利型系列和勃朗型系列3种。

按给陀螺施加力矩的形式划分,可分为机械摆式陀螺罗经和电磁控制式陀螺罗经两大类。

目前我国舰船上使用的陀螺罗经也分成两大类,即单转子陀螺罗经和双转子陀螺罗经。

双转子陀螺罗经一般是液体阻尼的摆式罗经,灵敏元件采用液体支承。我国目前定型生产的航海—I型、航海—II型、航海—III型陀螺罗经都是双转子摆式陀螺罗经。

单转子陀螺罗经一般是电磁控制式陀螺罗经,我国目前定型生产的有CLP-2型陀

陀螺罗经等几种电磁控制式陀螺罗经。单转子陀螺罗经又称双态陀螺罗经,是一种既能工作于罗经状态又能工作于方位仪状态的陀螺罗经。而平台罗经则是一种由双态罗经和陀螺稳定水平平台所构成的导航仪器,它不仅能提供准确的航向信号,还能提供舰船的纵摇、横摇姿态角信号。

现在电控罗经在精度和功能等方面都已较摆式陀螺罗经有了进一步的提高。为适应民用航运事业和军事航海发展的需要,电控罗经取代摆式陀螺罗经将是不可避免的。

随着航海事业的发展 and 舰船武器装备系统的需要,我国对陀螺罗经的研制非常重视。当前船用陀螺罗经的主要发展趋势是:以保证舰船航行的指向精度为前题,采用新技术,以实现其体积小、重量轻;提高工作可靠性和使用寿命;简化其维护保养工作和降低产品成本。现在每隔(3~5)年就有许多新型的陀螺罗经相继研制成功并投入使用。

2) 惯性技术与惯性导航

惯性技术是惯性制导、惯性导航与惯性仪表技术的简称,在高技术战争中占有十分重要的地位。

惯性技术是一项高难技术,它只被世界上为数不多的几个国家所掌握;发达国家一直将这项技术作为关键技术予以高度重视和大力发展。美国有许多人认为,核动力装置、固体火箭发动机、导弹惯性制导和潜艇惯性导航是美国 20 世纪 50 年代在军事工程技术方面取得的四大成就。惯性技术不仅在战略武器中占有极其重要地位,而且在战术武器中的应用也日益广泛。

惯性技术作为一门高技术学科和产业是建立在现代科技综合成果基础之上的,如控制技术、计算机技术、微电子技术、精密光学技术和精细加工技术等。

惯性技术的主要特点是要求惯性仪表和系统具有很高的分辨率和长时间的稳定性。提高性能的主要途径有:设计、材料和工艺,探索新型惯性元件,惯性元件测试技术,误差补偿技术。

在涉及惯性器件的各种技术中,目前出现的一个重要趋势是将微电子学采用的微细加工技术嫁接到机械行业中,从而孕育出一种崭新的集成微细电子机械。新型惯性传感器用硅、石英和铌酸锂等光电材料制成。在硅芯片上形成陀螺仪和加速度计,这将引起惯性技术的革命性进步。

惯性导航的基本作用是自主地测定各种载体的运动参数。以惯性仪表为敏感元件所组成的各种系统和设备,已被广泛应用于航海、航空、航天和兵器等许多领域。特别是战略导弹、核潜艇、航空母舰、大中型舰船以及远程飞机,目前均采用惯性技术来力求实现高精度的制导、导航及炸弹投放,因此,惯性技术是现代武器发挥其强大威力的主要技术之一。

惯性导航系统(Stabilized Inertial Navigation System, INS),是一种不需要外部信息、自主性很强的导航系统。它由多个陀螺仪(2 个二自由度陀螺仪或 3 个单自由度陀螺仪)和多个(2 个)加速度计组成,不但能给出舰位 $P(\lambda, \varphi)$,还能给出航向 K 、航速 v 和水平姿态 $G(\psi, \theta)$,适于装在长期水下潜航的潜艇上,但有积累误差,造价高。

舰船惯性导航系统不需要依赖于任何外部信息而向舰船的各个部门连续地提供舰船所处的经度、纬度和舰船的航向、纵摇、横摇、北向速度、东向速度和垂直速度等多种导航参数。在保证舰船航行安全的同时,它已成为武器系统的重要组成部分。因此,惯性导航

装备不仅关系到舰船的航行安全,而且与舰船战斗力紧密相关。

舰船惯性导航系统的发展与潜基导弹和弹道导弹核潜艇的发展是同步的。适用于核潜艇的、能够精确提供这些信息的唯一设备就是舰船惯性导航系统。它是弹道导弹核潜艇的心脏。在美国,不仅战略核潜艇,所有的攻击型核潜艇装备的都是惯性导航系统。

核潜艇在水下发射时,影响导弹命中精度的主要因素是:发射瞬间潜艇的位置误差、潜艇的速度误差和方位误差、惯性平台的竖直对准误差。要能准确地从水下发射就必须尽可能地减小上述各项误差。

美国在 20 世纪 50 年代初开始研究 N6A 系统,1957 年研制成功,1958 年装备“缸鱼”号核潜艇进行水下穿越北极的航行,满足了携带“北极星”A1 导弹的潜艇定位精度要求。1960 年将改进型的 N6A 装备在第一艘弹道导弹核潜艇“乔治·华盛顿”号上,定位精度为 1.6n mile/h。

20 世纪 60 年代是美国惯性技术大力发展时期,舰船惯性技术得到了长足的发展。“北极星”和“海神”核潜艇的定位精度为 0.7n mile/30h。

20 世纪 70 年代静电陀螺开始装艇使用,静电陀螺主要用作舰船惯导系统的监控器。它的出现使舰船惯性导航系统的精度上了一个新的台阶。

1978 年又研制成功 MK2mod7 型舰船惯性导航系统,并采用静电陀螺监控器(ESGM)与它配套使用,使“三叉戟”核潜艇的定位精度得到进一步提高,达到 0.2n mile/(48~72)h。

1990 年已研制成功直接采用静电陀螺的高精度平台式惯性导航系统(ESGN)。ESGN 静电陀螺惯性导航系统再配以 ESGN 静电陀螺监控器代表了当今世界舰船惯导系统的最先进的水平。

由于惯性导航系统是建立在牛顿力学的基础上,而且由加速度计和陀螺测得的线运动和角运动又都是相对惯性空间的运动参数,从这个意义上讲,人们将加速度计和陀螺统称为“惯性元件”。利用惯性元件来测量运动物体的加速度,从而获得运动物体的位置、速度和姿态等各种导航参数,这便是“惯性导航系统”名称的由来。

从惯性导航系统基本工作原理可见,惯性导航系统的定位误差是随时间积累的;航行时间越长,对惯性元件的精度要求也越高;惯性导航系统的工作不依赖于任何外界的信息源便可完成各种导航参数的测量和计算,具有极好的隐蔽性,它也不受人为干扰的影响,是一种完全自主式的导航系统。这一突出的优点使它在现代战争中具有特殊重要的意义,所以各国都不惜重金发展惯性技术。

5. 无线电和卫星导航

无线电导航产生于 20 世纪初,它的原理比较简单,类似于古老的地标导航。以往人们通过观察地图上明显的标记(如灯塔、山峰、海岛等)之间的距离、角度等几何关系来测得自己的位置。而无线电导航就是将这些已知的标记用无线电发射台来代替,而无线电站台和测量载体之间的距离就依靠无线电的传播和接收来进行测量。

随着人类航天技术的发展,无线电导航技术也逐步被卫星导航技术所替代。所谓卫星导航实际上就是将无线电发射台放在了天上,但其影响力已经远不是无线电导航方式可比的。

最早的卫星导航系统是美国人发明的子午仪卫星导航系统,但随后的 GPS 卫星导

航系统成为导航领域的明星。

GPS 是美国国防部出于全球战略目的而不惜花费巨资研制的一种高精度全球定位系统,其定位精度高达(5~22)m,且与任务时间无关,因此是真正的高精度导航系统。但由于 GPS 技术的控制权掌握在美国人手里,因此我们只能在平时相对地使用 GPS,但不能绝对依赖 GPS。

从使用角度看,惯性导航与 GPS 两者间具有极大的互补性。就本质上来说,GPS 是一种非自主式系统,接收机的工作依赖于外部卫星的信号,而惯性导航系统是完全自主的系统,这在军事上十分重要,也是 GPS 不可能取代惯性系统的一个主要原因。现在普遍认为,GPS 与惯性导航系统的组合是实现高精度系统的一种最为有效的手段。美国一直坚持发展以自主系统为基础的 GPS。

除 GPS 外,可供组合的传感器还有星光及各种无线电导航装置,如星光/惯性平台系统,已在美国“三叉戟”导弹和潜艇中成功运用。该系统的突出优点是初始方位对准精度的要求可低于纯惯导系统两个数量级。同时在组合导航中应用卡尔曼滤波技术,以提高系统精度。

从 1959 年 2 月美国发射第一颗 GPS 工作卫星起到 1994 年 3 月 10 日,美国的第 24 颗 GPS 工作卫星入轨全面组网使用。特别是在海湾战争之中,GPS 深刻地影响了战争的战法、武器的发展,一时间达到了家喻户晓的地步。由于它的巨大成功,这一系统也随之被美军誉为“20 世纪美军最为重要的发明”。

与此同时,其它各个国家和国际性组织的卫星导航系统也在相应地加速开发和应用,比较典型的有:俄罗斯的 GLONASS 系统、欧洲航天局的 GALILEO 系统,国际移动卫星组织筹建的 INMARSAT 系统等。

同时各个系统的功能也得到了不断的扩展,这其中以 INMARSAT 系统为代表的卫星导航系统在具备导航功能的同时,还向全球提供通信服务,而日本的双星定位系统还可以向用户提供气象服务。

卫星导航系统的成功之处还在于它对于更加广泛的民用领域产生了巨大的影响,小到人们使用的手表、手机、车辆,大到地球大地海洋测量、地壳运动、气象信息测量、城市交通管理等领域的研究,无不在其包含之列。目前全球已经形成以 GPS 为代表的卫星导航产业,在为美国和各大公司赢得了巨大的商业利益的同时,和其它信息领域的技术一样,广泛而深刻地影响着人类的社会生活。

1) 无线电导航

目前,船用无线电导航仪器种类很多,有雷达、无线电测向仪、罗兰接收机、台卡接收机及奥米伽接收机等。

(1) 无线电测向

就其定位精度和作用距离而言,无线电测向仪是其中定位精度较低(测向精度为 $\pm 2^\circ \sim \pm 5^\circ$)、作用距离较近(± 100 n mile)的一种。但其优点是通用性强、设备简单、成本较低,对发射台无特殊要求,在世界各航区均可使用。尤为重要的是,在 GMDSS(全球海上遇险与安全系统)正式实施前,无线电测向仪仍然是唯一用以测定遇险船舶方向的一种无线电导航设备。因此 SOLAS(国际海上人命安全公约)规定:“1980 年 5 月 25 日以后建造的 1600 t 以上的船舶在国际海域航行时,应装备具有无线电话遇险呼救频率的无线