

· 军队“2110工程”三期建设教材



无线电导航原理 与信号接收技术

Radionavigation Principle and
Signal Receiving Technology

吴 苗 朱银兵 李方能 许江宁 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

军队“2110 工程”三期建设教材

无线电导航原理与 信号接收技术

吴 苗 朱银兵 李方能 许江宁 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要阐述了无线电导航基本理论、系统定位误差理论和多种不同导航系统的工作原理、组成及信号设计以及无线电导航信号接收处理的关键技术。全书分为四部分,共8章。第1、2章为第一部分:阐述了导航的基本概念和技术基础。第3章为第二部分:深入研究系统定位的一系列误差理论。第4~7章为第三部分:结合无线电导航的信号测量原理,有针对性地对直线、圆和双曲线等无线电导航系统原理、典型系统组成、性能和信号设计进行了阐述。第8章为第四部分:重点介绍了现代信号处理技术在罗兰C导航系统信号接收中的应用。

本书可以作为导航及导航相关专业本科的专业理论教材,也可以用作导航及导航相关专业的研究生的自学教材,以及从事导航专业的技术人员和管理人员的培训教材或工作参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

无线电导航原理与信号接收技术 / 吴苗等编著. —北京: 国防工业出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-118-09795-5

I. ①无... II. ①吴... III. ①无线电导航—信号接收—接收技术 IV. ①TN96②TN911.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 287372 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 427 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行传真: (010)88540755

发行邮购: (010)88540776

发行业务: (010)88540717

前 言

随着无线电的发明、无线电导航技术的广泛应用,无线电导航已实现了向海陆空天用户提供全天候连续、可靠、精确的位置、速度和时间等信息的功能,美国首先将这种功能归结为定位、导航和授时(PNT)服务,用户可以通过导航设备的定位功能轻松地知道“我现在在哪儿?”、“我想去的地方在哪儿?”,利用导航功能可以获得“该如何前往?”的指导,再加上授时和当前的运行速度服务就可以计算出“什么时候可以到达目的地?”的信息。如今的生活,导航已无处不在,既包括大地测量、工程测量、航空摄影测量、地壳运动监测、工程变形监测、资源勘察、海洋测绘、地震监测、气象信息测量、军事工程、公安系统、交通系统管理、航空导航、航海导航、城市规划等多个政府、军队和企业领域,也包括与个人移动电话、相机、MP3 等服务载体相结合的个人电子服务终端,以提供方便、快捷、准确的 PNT 服务,整个无线电导航产业也逐年递增。但是,我们也发现很多人已经习惯地将 GPS 作为导航的代名词。而在实际过程中,GPS 仅仅是美国控制的一种卫星导航系统,现在还有中国的北斗和俄罗斯的 GLONASS 等卫星导航系统,从卫星导航系统的本质来说,其属于无线电导航的范畴,同时卫星导航系统的形成也是有很多渊源的,它是经过无数其他无线电导航系统的“进化”和“演变”而成的,并且就卫星导航系统自身而言,也需要不断地完善、更新。因此,我们需要从根本上全面分析和研究无线电导航的基本理论、相关技术以及系统演变、发展的全过程。这些重要的情况都促成了本书的编写。

本书主要阐述了无线电导航基本理论、系统定位误差理论和多种不同导航系统的工作原理、组成及信号设计、信号处理以及定位导航的关键技术。

全书分为四部分共 8 章。第 1、2 章为第一部分:主要阐述了基本概念和导航技术基础。通过这部分学习,首先使读者建立导航及无线电导航的基本概念,在此基础上,着重介绍了无线电导航的基本需求、物理基础、一般过程、定位几何原理和系统技术指标。第 3 章为第二部分:对导航系统定位误差理论进行了详细的分析。本部分首先阐述误差及误差处理的基本概念,突出介绍由测量误差到位置线误差再到定位误差传递的全过程,并最终形成了定位几何因子和工作区的重要概念。第 4~7 章为第三部分:全面研究了几类导航系统的基本原理及实际应用系统。本部分以导航的定位几何原理发展的历史为索引,分别讨论了测向、测距和测距差无线电导航系统的一般特点、工作原理和系统组成,重点介绍无线电测距差导航系统,并按测量电信号的不同参量细分成脉冲、相位和脉冲-相位 3 种体制的系统分别进行阐述,将代表性的系统作为典型应用实例。第 8 章为第四部

分:全面分析、讲解了罗兰 C 系统接收信号的信号特征、数字滤波、自动搜索、相位跟踪、天地波与周期识别、定位解算和坐标转换等关键技术的解决方法、实验结果和应用效果。

本书可以作为导航及导航相关专业本科的专业理论教材,也可以用作导航及导航相关专业的研究生的自学教材,以及从事导航专业的技术人员和管理人员的培训教材与工作参考书籍。

本书在编写过程中得到了海军工程大学电气工程学院的夏立、胡柏青、边少锋、陈永冰、卞鸿巍、傅军、李文魁、曹可劲、汪捷、纪兵、李厚朴等同志的帮助和支持,在此表示真诚感谢!

书中难免有不妥之处,请读者指教。

编著者

2014 年 09 月于武汉

目 录

第一部分	1
第 1 章 导航系统概述	1
1.1 导航的基本概述	1
1.1.1 导航的基本概念	1
1.1.2 导航的基本功能	1
1.2 导航的基本元素	2
1.2.1 航向 (Course)	2
1.2.2 航迹	3
1.2.3 方位 (Bearing)	3
1.2.4 航向角 (Q)	3
1.2.5 真航向、真方位与航向角之间的关系	4
1.2.6 航速 (Sailing Speed)	4
1.3 导航的基本需求	5
1.3.1 航空导航需求	5
1.3.2 航海导航需求	6
1.3.3 陆地导航需求	7
1.3.4 航天导航应用	8
1.3.5 非导航应用需求	9
1.4 导航的分类	10
1.4.1 观测导航	10
1.4.2 天文导航	10
1.4.3 地磁导航	11
1.4.4 推算导航	12
1.4.5 无线电导航	12
1.4.6 激光导航	13
1.4.7 组合导航	14
1.5 无线电导航的发展历史	14
1.5.1 早期阶段	14
1.5.2 发展阶段	15
1.5.3 成熟阶段	15
1.5.4 全球阶段	16
1.5.5 未来发展趋势	16

本章小结	16
复习思考题	17
第2章 无线电导航的定位原理与技术基础	18
2.1 无线电导航的基本原理和分类	18
2.1.1 无线电导航的一般过程	18
2.1.2 无线电导航的物理基础	18
2.1.3 无线电导航的定位几何原理	19
2.1.4 无线电导航的分类	22
2.2 无线电导航系统的主要技术指标	23
2.2.1 信号特性(Single)	23
2.2.2 精确度(Accuracy)	23
2.2.3 可靠性(Reliability)	24
2.2.4 可用性(Availability)	26
2.2.5 连续性(Continuity)	26
2.2.6 完备性(Integrity)	26
2.2.7 定位速率(Position Velocity)	26
2.2.8 导航信息多值性(Navigation Information Ambiguity)	26
2.2.9 系统容量(System Capacity)	27
2.2.10 覆盖范围(Coverage)	27
2.2.11 抗干扰性(Anti-jamming)	27
2.3 无线电导航信号传播的一般知识	27
2.3.1 电波传播的基本概念	28
2.3.2 地面波传播	29
2.3.3 天波传播	30
2.3.4 视距传播	31
2.3.5 波导模传播	32
2.4 坐标系及其变换	32
2.4.1 地球的形体	33
2.4.2 大地坐标系	36
2.4.3 空间坐标系统	37
2.4.4 空间直角坐标与大地坐标的关系	37
本章小结	40
复习思考题	40
第二部分	41
第3章 无线电导航系统的误差原理	41
3.1 无线电导航系统测量误差	41
3.1.1 无线电导航测量误差的基本概念	41
3.1.2 观测精度的评定标准	45
3.1.3 观测值函数的均方误差	46

3.2 位置线误差	48
3.2.1 位置线的基本概念	48
3.2.2 位置线梯度	49
3.2.3 无线电测向系统的位置线	51
3.2.4 无线电测距系统的位置线	51
3.2.5 无线电测距差系统的位置线	52
3.3 定位误差	55
3.3.1 定位误差的基本概念	55
3.3.2 定位误差的等概率误差椭圆	55
3.3.3 均方误差圆	60
3.4 工作区	64
3.4.1 工作区的基本概念	64
3.4.2 无线电测向系统的工作区	65
3.4.3 无线电测距系统的工作区	66
3.4.4 无线电测距差系统的工作区	67
3.4.5 导航台配置情况对测距差导航系统工作区的影响	70
3.4.6 测距差导航系统的覆盖区	71
本章小结	72
复习思考题	72
第三部分	73
第4章 无线电测向导航系统	73
4.1 测向定位原理	73
4.1.1 两台测向定位法	73
4.1.2 单台测向定位法	73
4.1.3 归航法	74
4.2 电波来向的测定方法	74
4.2.1 天线的方向性	75
4.2.2 最小值测向法	78
4.2.3 最大值测向法	79
4.2.4 比较测向法	79
4.3 无线电测向仪	79
4.3.1 测角系统组成	80
4.3.2 无线电测角器的测角原理	80
4.3.3 阴极射线管目测式无线电测向仪	82
4.4 无线电罗盘	86
4.4.1 系统简介	86
4.4.2 机载无线电自动定向仪	87
4.4.3 无方向无线电信标	90
4.5 仪表着陆系统 (ILS)	92

4.5.1	系统简介	92
4.5.2	下滑台	93
4.5.3	航向台	95
4.5.4	指点信标	96
4.5.5	仪表着陆系统的优缺点	96
本章小结		97
复习思考题		97
第5章	无线电脉冲测距导航系统	98
5.1	距离测量设备	98
5.1.1	系统特性	98
5.1.2	系统的构成与工作原理	100
5.2	频率测距导航系统——无线电高度表	102
5.2.1	系统特性	102
5.2.2	系统测距原理	102
5.3	微波着陆系统	103
5.3.1	系统简介	103
5.3.2	系统工作原理	110
5.3.3	系统信号格式	111
本章小结		121
复习思考题		121
第6章	无线电相位测距导航系统	122
6.1	相位测距原理	122
6.2	伏尔系统	123
6.2.1	系统概述	123
6.2.2	系统工作原理	125
6.2.3	系统信号格式	128
6.3	塔康系统	130
6.3.1	概述	131
6.3.2	系统工作原理	135
6.3.3	系统信号格式	137
6.4	GPS 系统	138
6.4.1	系统特点	138
6.4.2	系统组成	139
6.4.3	系统工作原理	140
6.4.4	系统信号格式	141
6.4.5	测量方法	141
6.5	北斗卫星导航系统	142
6.5.1	系统概述	142
6.5.2	系统组成	145

6.5.3	系统应用	147
6.5.4	未来发展	148
本章小结		149
复习思考题		149
第7章	无线电测距差导航系统	150
7.1	脉冲测距差导航系统	150
7.1.1	概述	150
7.1.2	脉冲测距差定位原理	151
7.1.3	发射台的配置	152
7.1.4	位置线双值性的消除	153
7.1.5	主副台信号的识别	154
7.1.6	系统定位	155
7.2	相位测距差导航系统	157
7.2.1	概述	157
7.2.2	相位测距差原理	158
7.2.3	相位差测量系统中存在的问题	160
7.2.4	信号同步	160
7.2.5	信号区分	161
7.2.6	多值性的消除	162
7.2.7	巷识别	163
7.3	脉冲-相位测距差定位原理	165
7.3.1	概述	165
7.3.2	脉冲-相位测距差原理	166
7.3.3	消除多值性的必要条件	167
7.4	罗兰 C 系统	167
7.4.1	系统特点	167
7.4.2	系统组成	169
7.4.3	罗兰 C 接收机	169
7.5	E 罗兰系统	170
7.5.1	国外罗兰 C 的技术改造	170
7.5.2	国内罗兰 C 现代化改造	172
7.5.3	卫星陆基增强系统的技术改造	173
7.5.4	对增强罗兰的评估测试	173
本章小结		174
复习思考题		175
第四部分		176
第8章	罗兰 C 系统的信号接收技术	176
8.1	信号设计	176
8.1.1	工作频率的选择	176

8.1.2	100kHz 地波传播特性对系统工作的影响	177
8.1.3	信号设计原则	184
8.1.4	单个信号设计分析	185
8.1.5	系统信号设计分析	190
8.2	相位编码与相关检测	192
8.2.1	相位编码	192
8.2.2	相关检测	192
8.2.3	多脉冲相位互补码的基本概念	196
8.2.4	国际常用码分析	198
8.3	自动搜索	204
8.3.1	基本概念	204
8.3.2	信号检测问题	205
8.3.3	采样脉冲的结构形式	205
8.3.4	搜索原理	206
8.3.5	算法验证	211
8.4	天地波识别	213
8.4.1	基本概念	213
8.4.2	传统罗兰 C 接收机中的天地波识别方法	213
8.4.3	时间估计的经典理论	215
8.4.4	基于现代信号处理的天地波延迟估计技术	217
8.4.5	基于优化包络相关的天地波延迟估计技术	224
8.4.6	基于时频分析的天地波识别方法	237
8.5	相位跟踪	247
8.5.1	常用模拟跟踪环路	247
8.5.2	相位跟踪方法设计	248
8.5.3	算法验证	248
8.6	周期识别	252
8.6.1	基本概念	252
8.6.2	传统的周期识别方法	252
8.6.3	基于高斯平滑滤波的罗兰 C 周期识别新方法	256
8.7	距离差参量测量与定位	260
8.7.1	单台链双曲线定位算法	260
8.7.2	非时基圆圆定位算法	264
8.7.3	多台链双曲线定位算法	272
	本章小结	282
	复习思考题	282
	参考文献	283

第一部分

第 1 章 导航系统概述

自古以来,人们都在不经意地使用着导航来完成一些行为。经考古发现,我们的祖先在 17000 年前的古石器时代就采取了利用天上的星星进行导航的手段,特别是利用北极星来确定方向。当时为了进行狩猎活动,人们利用恒星进行导航,这就是早期的天文导航方法。根据传说,大约公元前 2600 年,黄帝部落与蚩尤部落进行逐鹿大战时,当时天气恶劣,狂风骤雨,黄帝的军队使用了指南车来指引方向,占据了战斗优势,因此,取得了战争的最后胜利。在随后的历史发展中,人们一直都在不断地摸索着导航的技术,其用途也延伸和扩展到了我们身边的各个领域。随着科学技术的发展,导航的概念越来越扩大。现在的导航已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、导弹和宇宙飞行器航行体上,导航系统已成为一种必不可少的重要设备。本章从导航的基本概念入手,着重阐述了导航的基本元素、基本需求和导航的分类,并介绍了无线电导航的发展历史。

1.1 导航的基本概述

导航的历史悠久,广泛地应用于现代社会的各个领域,但究竟什么是导航?导航能实现哪些功能?本节通过导航基本概述的介绍,集中阐述关于基本概念和基本功能两方面的内容。

1.1.1 导航的基本概念

顾名思义,导航就是引导运动物体航行,其基本目的就是利用有效的方法,以规定的精度,按预定的航线将运动体(舰船、飞机、宇宙飞船、地面车辆以及飞行武器等)安全、经济、快速地引导至目的地。

因此,导航的定义可以简要地归结为:引导运动体(亦称运载体或航行体)按既定航线航行的过程称为导航。

1.1.2 导航的基本功能

导航技术是一种在运动体航行时为其提供连续、安全和可靠服务的技术。利用导航技术,能够实现下述几项功能。

- (1) 确定运动体当前所处的位置及其航行参数。
- (2) 引导运动体按规定航道航行。
- (3) 引导运动体安全着陆或进港。

(4) 引导运动体接近目标。

通俗地说第一项功能就是向运动体回答“我在哪里?”,而第二、三、四项功能是向运动体回答“我该如何抵达目的地?”。很明显,要想抵达目的地必须知道我现在的位置,因此,如何准确地确定运动体当前所处的位置及其航行参数,也是导航技术最需根本解决的问题,它是实现其他各项无线电导航功能的基础,也是导航中解决问题的关键所在。若在航行中可以连续地获得确切的位置,则通过微型计算机就可以计算出航向、航速、偏航情况以及到达前方目标点所需时间等航行参数。

完成全部或部分导航任务的技术装置的组合,称为导航系统。在导航和定位学中所涉及的导航与定位所采用的方法,就本质而言,两者基本相同;所采用的技术装置,有些也是相同的。因此,按传统的观点,导航系统从某种意义上也可以称为定位系统。

随着导航技术的不断发展,其应用领域亦不断扩大,如:引导飞机、舰船、飞船和运载火箭等沿预先指定的航线航行;引导飞机、飞船等起飞和着陆;引导舰船通过窄航道和进出港湾以及停靠码头;引导车辆和人员等在丛林、沙漠、雪地等特殊环境中行进;为提高飞机和舰船的航行安全和效率,对其活动进行调度,实施交通管制,以防发生碰撞。另外,在军事上还配合完成武器投射、侦察、巡逻、反潜、扫布雷、航道疏通、空中集合与编队、援救等任务;在国民经济中,由于导航具有高精度定位的能力,它还配合完成石油勘探、海上捕鱼、海洋调查、海道测量、海底电缆铺设、陆上探矿、大地测量、航空测绘以及气象探测等任务。

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运动体的航行安全,而且还要能够提供运动体的多达七维的导航信息,如运动体航行速度、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。

1.2 导航的基本元素

导航元素是与运动体的引导和定位有关的最基本数据(或参数)。较重要的这类元素包括航向、航迹、方位、航向角和航速等。

1.2.1 航向(Course)

1. 常用航向

运动体重心的子午线北向与其纵轴向之间顺时针方向的夹角称为真航向(True Course, TC),真航向在水平面上的投影称为航向。由于地球的复杂形状及磁场等问题,航向可以从地理子午线、磁子午线、罗经(盘)子午线和陀螺子午线起算,相应地可以有真航向、磁航向(Magnetic Course, MC)、罗航向(Compass Course, CC)和陀螺航向(Gyrocompass Course, GC)。它们分别是航向线与真北 N_T 、磁北 N_M 、罗北 N_C 和陀螺北 N_G 方向之间的夹角,如图 1-1 所示。航向的度量方法是从各自的北开始,顺时针由 $0^\circ \sim 360^\circ$ 量到航向线。航向一般用 3 位数来表示,如 002° 、 095° 等。

2. 航向间的换算

由图 1-1 可直接得到如下几个关系式。

(1) 真航向 $TC = \text{磁航向 } MC + \text{磁差 } Var = \text{罗航向 } CC + \text{罗经差 } \Delta C = \text{陀螺航向 } GC + \text{陀螺差 } \Delta G。$

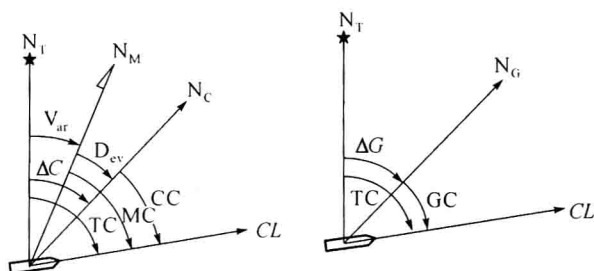


图 1-1 航向及其关系示意

- (2) 磁航向 $MC = \text{真航向 } TC - \text{磁差 } Var = \text{罗航向 } CC + \text{自差 } Dev。$
- (3) 罗航向 $CC = \text{真航向 } TC - \text{罗经差 } \Delta C = \text{磁航向 } MC - \text{自差 } Dev。$
- (4) 陀螺航向 $GC = \text{真航向 } TC - \text{陀螺差 } \Delta G。$

在实际航行中,通常是由已知 TC 求 CC ,因此在查取自差时,可用磁航向代替罗航向查表求自差,再通过计算求罗航向。由于在正常时磁航向与罗航向之差不会大于 3° ,经内插求自差后,差值很小,因此用磁航向代替罗航向查表所求得的自差值是能够满足航行需要的。

1.2.2 航迹

运动体重心在空间运动时的理想轨迹称为航迹。航迹在地面上的投影称为航线。对舰船而言,航迹即是航线。

舰船沿地面两点间最短圆弧线航行时的航线称为大圆航线。

航行中保持航向不变的航线称为恒向航线,它与所有的子午线(经线)交角相等,故又称为等角航线。

大圆航线距离最短,由于在航行过程中,航向在不停的变化,所以没有恒向航线操作方便。航海中对较近距离采用恒向航线,航程远时,将大圆航线分为若干段,每段沿一条恒向航线航行,这样既做到尽可能的缩短航行距离,又可以提高操作性。

1.2.3 方位 (Bearing)

1. 方位线 (Bearing Line, BL)

在测者真地平上,测者与物标的连线称为物标方位线。

2. 方位 (Bearing, B)

运动体重心子午线北向与向着指定目标方向(方位线)间夹角的水平投影称为相对于运动体的目标方位。由于基准方向的不同,方位又分为真方位 (True Bearing, TB)、磁方位 (Magnetic Bearing, MB)、罗方位 (Compass Bearing, CB) 和陀螺方位 (gyrocompass bearing, GB),它们分别是物标方位线与真北、磁北、罗北和陀螺北之间的夹角,如图 1-2 所示。方位的度量方法是从各自的北开始,顺时针旋转 $0^\circ \sim 360^\circ$ 量到方位线。

1.2.4 航向角 (Q)

运动体纵轴与向着目标方向射线(方位线)之间的顺时针夹角的水平投影称为航向角。对于舰船又称舷角 (Relative Bearing)。

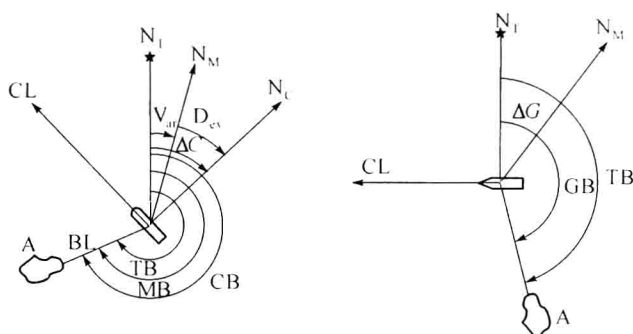


图 1-2 方位及其关系示意

1.2.5 真航向、真方位与航向角之间的关系

真航向、真方位与航向角之间的关系如图 1-3 所示,可得公式(1-1):

$$\begin{aligned} \text{真方位(TB)} &= \text{真航向(TC)} + \text{航向角(Q)} \\ \text{或 真方位(TB)} &= \text{真航向(TC)} \pm \text{舷角(Q)} \end{aligned} \quad (1-1)$$

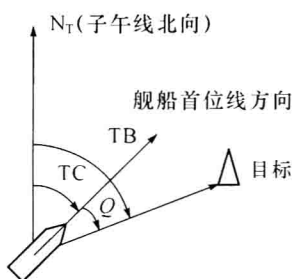


图 1-3 航向、方位和航向角之间的关系

在运算中,当被减数小于减数时,则在被减数中加上 360° ;当相加结果大于 360° 时,则减去 360° ,对结果并无影响。

例:某运动体 $TC = 230^\circ$,测得两物标的舷角分别为 $Q_A = 68^\circ$, $Q_B = 300^\circ$,求物标的 TB。

解: $TB_A = TC + Q_A = 230 + 68 = 298^\circ$

$TB_B = TC + Q_B = 230 + 300 = 530^\circ$

$\therefore TB_B = 530^\circ > 360^\circ$

$\therefore TB_B = 530^\circ - 360^\circ = 170^\circ$

1.2.6 航速 (Sailing Speed)

运动体在航行时,实际上存在 3 种速度。以海上运动体为例分析如下。

1) 流速 (V_e)

海水对海底的运动速度矢量。方向:海水的流向。

2) 对水速度 (Speed through Water) V

海上运动体相对于海水的航行速度。其中舰船在无风无流的静水中的航行速度称为船速 (Ship Speed)。新建或坞修后的舰船都要在船速校验线上进行船速的实际测定;舰船在航行中使用相对计程仪测定的舰船相对于海水的速度称为计程仪航速 (Speed by

Log, VL)。计程仪能够测出有风影响下舰船相对于水的速度。通常所说的航速是指舰船相对于水的速度。

3) 对地速度(Speed Over the Ground) V_G

海上运动体在风、流和波浪的影响下相对于海底的航行速度,又称实际航速(Speed Made Good)。在航迹推算中,习惯上又把该速度作为推算航速(Estimated Speed Made Good)或计划航速(Speed of Advance)。

海上运动体在航行时,航速矢量加上水的流速矢量等于实际航速矢量(即流中速度)。

WB 为航迹(航向),由 3 个速度矢量构成的三角形,叫速度三角形,如图 1-4 所示。

$$V_e + V = V_G \quad (1-2)$$

航行中,知道了其中的两个量可以解算出第 3 个量,用于导航。

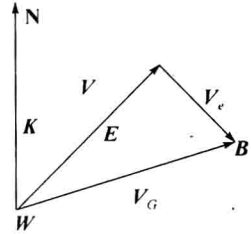


图 1-4 速度矢量三角形

1.3 导航的基本需求

无线电导航系统可以为用户提供安全、经济、信息可靠、连续、支持多用户的全方位导航需求。用户的需求领域主要包括航空导航、航海导航、陆地导航、航天应用和非导航应用等。

1.3.1 航空导航需求

航空导航是引导飞行体航行的过程,其主要任务是在不受时间、天气、地域影响的情况下,为飞行体提供连续、安全、可靠的位置、航线和距离以及偏离预期航线的偏移量信息。

一个飞行体的空中航行需经历不同飞行阶段、不同地域,以及与其他飞行体和航空的交通管制等各个过程,在这些过程中,都对航空导航的性能提出了不同的需求。

航空导航通常分两个基本阶段:巡航/终止和进场/着陆。

1. 巡航/终止阶段

巡航/终止阶段包含了除进场/着陆阶段之外的飞行的所有部分。

根据不同的地理区域和运行环境,它又可包含以下 4 个分阶段。

(1) 海洋巡航:这个分阶段覆盖了海洋区域的运行,以低交通密度和没有独立的监视范围为特征。

(2) 国内巡航:这个分阶段中的运行以高交通密度为特征。和海洋分阶段航线相比,航线宽度要求较窄。通常有独立的监视系统以帮助地面人员监视飞机的位置。

(3) 终止区域:该区域的运行以高交通密度、航线汇合、高度转换为典型特征。航线宽度较窄,有独立的监视系统以便于地面人员监视飞机的位置。

(4) 远程区域:是特殊的以低交通量为特征的地理或环境的区域,以及那些难以实现低费用综合无线电导航覆盖的地域。典型的远程区域有多山的地域和远海区域。

2. 进场/着陆阶段

进场/着陆阶段是飞机接触地面前面的一个飞行阶段。它通常在离跑道 20n mile 范围内。

可以分成两个分阶段:非精密进场和精密进场与着陆。

(1) 非精密进场:给着陆飞机提供水平位置信息(二维进场)。

(2) 精密进场与着陆:给着陆飞机提供垂直和水平引导和位置信息(三维进场)。

航空导航主要包括巡航/终止和进场/着陆两个基本阶段,其主要需求指标如表 1-1 所列。

表 1-1 航空导航需求

运行阶段	精度(2σ)	可靠性	告警误差
海洋巡航	4.0 nm	99.999%	4.0 nm
国内巡航	2.0 nm	99.999%	2.0 nm
终止区域	0.4 nm	99.999%	1.0 nm
非精密进场	100 m	99.999%	0.3 nm
精密进场 CAT I	18.2 m (H) 7.6 m (V)	99.9%	40 m (H) 10~15 m (V)
精密进场 CAT II	6.5 m (H) 2.0 m (V)	99.9%	17.3 m (H) 5.3 m (V)
精密进场 CAT III	6.2 m (H) 2.0 m (V)	99.9%	15.5 m (H) 5.3 m (V)

1.3.2 航海导航需求

航海导航是引导海上运动体航行的过程。航海导航的需求主要取决于舰船的类型和大小、舰船所从事的活动(如点对点运输,捕鱼)以及它所运行中的地理区域(如远海、近海)等多方面的因素。

通常情况下,航海导航由 4 个主要阶段组成:内陆航路导航、港口进出港导航、沿海导航和远海导航。

1. 内陆航路导航

与港口入口与进港导航类似,内陆水路的导航被规定在受限区域。然而,对内陆水路情况,主要集中在非远洋船舶和它们在受限水路内的远距离航行的需求之上。

在一些区域,处于导航的港口阶段的远洋船舶和处于内陆水路阶段的内陆船舶使用相同的受限制的航路。两个阶段的区别基本上取决于船舶的类型。因为远洋船舶和典型的内陆商业用船舶在物理特性、人员和设备方面是有区别的,这些差别对它们的导航需求具有很重要的影响。娱乐性的和其他相对较小的船只在远洋和内陆商业交通所使用的水域有较大的数量,通常这两类船只都没有严格的需求。

2. 港口进出港导航

港口进出港导航适用于比沿海阶段的水域更内陆的水域。对于一艘从沿海来的船,其港口进港阶段通常开始于一个过渡区域,这个区域介于未受限的水域(在这里可以使用沿海导航需求)和受限的进港或处于海湾、河流或港口入口的水域(在这里进行导航的港口阶段)两者之间。通常,港口入口需要为一个明确的通道导航,这个通道,在航海的