

电子与信息作战丛书

远程陆基无线电导航系统导论

汪捷 罗锐 赵学军 吴苗 编著



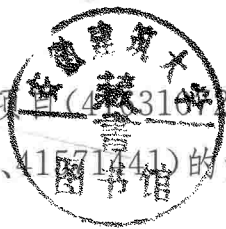
科学出版社

电子与信息作战丛书

远程陆基无线电导航系统导论

汪捷 罗锐 赵学军 吴苗 编著

本书得到国家自然科学基金重点项目(41531042)和
国家自然科学基金项目(41504029、41571441)的资助



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书较系统和全面地介绍远程陆基无线电导航系统的著作。全书在对导航的基本概念和无线电导航一般定位原理进行阐述的基础上,对以罗兰C系统为代表的远程陆基无线电导航系统的基本技术体制和基本原理进行归纳总结和分析,建立了系统的基本概念框架。在此框架的基础上,按照系统信号的发射、接收和应用等三个方面分别对系统台站的组成和功能、接收设备和信号处理技术、系统应用和发展趋势等内容进行介绍。

本书可供从事无线电导航及相关技术领域的技术人员和管理人员参考,也可作为高等院校相关专业的本科和研究生教科书。

图书在版编目(CIP)数据

远程陆基无线电导航系统导论/汪捷等编著. —北京:科学出版社,2017.9

(电子与信息作战丛书)

ISBN 978-7-03-054298-4

I. 远… II. 汪… III. 远程无线电导航-无线电导航系统 IV. TN967

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 213393 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年9月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:262 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“电子与信息作战丛书”编委会

顾 问：李 天 孙 聪 刘志敏 李燕东

魏金钟

主 编：张 澎

编 委：王永庆 陈 刚 薛 晖 傅盛杰

桑建华 戴全辉 苏士明 邓龙江

丁鹤雁 许小剑 周建江 高 铁

高 健

“电子与信息作战丛书”序

21 世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代,电子与信息技术的迅猛发展和广泛应用,推动了武器装备的发展和作战方式的演变,促进了军事理论的创新和编制体制的变革,引发了新的军事革命。电子与信息化作战最终将取代机械化作战,成为未来战争的基本形态。

火力、机动、信息是构成现代军队作战能力的核心要素,而信息能力已成为衡量作战能力高低的首要标志。信息能力,表现在信息的获取、处理、传输、利用和对抗等方面,通过信息优势的争夺和控制加以体现。信息优势,其实质是在获取敌方信息的同时阻止或迟滞敌方获取己方的情报,处于一种动态对抗的过程中,已成为争夺制空权、制海权、陆地控制权的前提,直接影响整个战争的进程和结局。信息优势的建立需要大量地运用具有电子与信息技术、新能源技术、新材料技术、航天航空技术、海洋技术等当代高新技术的新一代武器装备。

如何进一步推动我国电子与信息化作战的研究与发展?如何将电子与信息技术发展的新理论、新方法与新成果转化为一代武器装备发展的新动力?如何抓住军事变革深刻发展变化的机遇,提升我国自主创新和可持续发展的能力?这些问题的解答都离不开我国国防科技工作者和工程技术人员的上下求索和艰辛付出。

“电子与信息作战丛书”是由设立于沈阳飞机设计研究所的隐身技术航空科技重点实验室与科学出版社在广泛征求专家意见的基础上,经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播和推广未来电子与信息作战技术重点发展领域,介绍国内外优秀的科研成果、学术著作,涉及信息感知与处理、先进探测技术、电子战与频谱战、目标

特征减缩、RCS 测试与评估等多个方面。丛书力争起点高、内容新、导向性强,具有一定的原创性。

希望这套丛书的出版,能为我国国防科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时,欢迎广大读者提出好的建议,以促进和完善丛书的出版工作。

孙聪

中国工程院院士

前 言

无线电导航技术最早是从无线电测向技术发展起来的。20 世纪初,无线电开始应用于导航中的计时器校准和方位测量,1912 年世界上第一个无线电导航设备,即振幅测向仪的研制成功,宣告人类正式进入无线电导航时代。无线电导航技术突破了早期人类导航依赖的地磁现象和天文知识,大大提高了导航定位的精度和可靠性。

在第二次世界大战中,由于军事上的需要,无线电导航飞速发展,从海用导航方面看,主要是发明了罗兰 A 系统。罗兰 A 能连续准确地给出船位,显然使用起来比海用无线电信标更方便。20 世纪 50 年代末期,美国海岸警卫队在罗兰 A 的基础上研制成功了罗兰 C 系统。该系统在 90 年代之前是最先进的无线电导航系统,也是应用最广泛的远程陆基无线电导航系统,在军用和民用领域均发挥了重要的作用。

无线电导航系统从广义上说,包含陆基无线电导航系统和星基无线电导航系统。随着人类航天技术的发展,无线电导航技术也逐步由陆地导航转向卫星导航。所谓卫星导航实际上就是将无线电导航信号发射台设置在卫星上。随着 GPS、北斗等星基无线电导航系统的出现和迅速发展,无线电导航系统发挥的作用在很多领域正在逐渐被卫星导航系统取代。有了卫星导航系统还需不需要继续发展陆基无线电导航系统? 这是无线电导航领域面临的突出问题。实践表明,由于卫星导航信号强度较微弱,卫星导航用户终端可能遭受各种有意或无意的干扰,单纯依靠卫星导航系统将无法保证完全可靠的定位授时保障,特别是在国防军事和国家关键基础设施等领域,完全依赖卫星导航系统将存在很大的风险。罗兰 C 系统作为广泛使用的远程陆基无线电导航

系统,在世界广大地区发挥了重要作用,而且由于它和卫星导航系统在信号频段、强度等方面存在的互补性,因此可以作为卫星导航系统较为理想的增强和备份系统。近几年来,国内外都在对陆基无线电导航系统的发展进行规划和研究,美国甚至提出超远程陆基无线电导航系统的研究计划,国内罗兰 C 系统也在授时应用等方面进行了功能拓展,从长远来看,远程或超远程陆基无线电导航系统将继续存在并不断发展。

目前介绍无线电导航方面的著作已有不少,但尚无完整系统介绍罗兰 C 系统的书。本书主要对罗兰 C 系统进行较为全面和系统的阐述和分析,试图使读者对罗兰 C 系统建立较为完整的概念,对我国自主的远程陆基无线电导航系统有一个全面的了解。

全书 8 章。第 1 章为绪论,主要介绍导航的基本概念和无线电导航的发展简史,为读者提供关于导航的一些基本背景知识。第 2 章介绍无线电导航系统定位原理、性能指标和信号传播等和无线电导航系统有关的一些基本理论知识,为后续系统介绍罗兰 C 系统提供理论基础。第 3 章主要从罗兰 C 系统的主要技术体制上对系统进行概括性的介绍,使读者对系统形成一个宏观的认识。第 4 章介绍罗兰 C 系统的系统段,即台站设备的基本情况。第 5 章对罗兰 C 系统的用户设备和信号处理进行阐述。第 6 章对系统的校准进行分析和介绍。第 7 章对罗兰 C 系统的应用情况进行介绍。第 8 章简单介绍罗兰 C 系统的发展趋势。

在本书写作过程中,罗锐、赵学军和吴苗等同志参与了部分内容的编写,陈静同志参与了部分内容的校对和编辑。本书的编写得到海军工程大学电气工程学院和导航工程系的各位领导和老师的支持和帮助,在撰写过程中参考了大量的文献和资料,在此谨向所有关心帮助此书出版的同志和文献资料的作者表示诚挚的谢意。

本书相关研究工作得到国家自然科学基金重点项目(41631072)和国家自然科学基金项目(41504029、41571441)的资助,在此一并感谢!

本书涉及远程陆基无线电导航系统的诸多方面,需要掌握大量的可靠资料,加之作者水平有限,难免存在不妥之处,殷切希望读者不吝斧正。

作 者

2017 年 4 月于武汉

目 录

“电子与信息作战丛书”序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 导航概述	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 导航技术的发展	2
1.3 导航技术的分类	5
1.3.1 观测导航	5
1.3.2 天文导航	5
1.3.3 地磁导航	7
1.3.4 推算导航	8
1.3.5 无线电导航	8
1.3.6 激光导航	10
1.3.7 组合导航	11
1.4 无线电导航发展历程	11
1.4.1 发展初期	11
1.4.2 发展中期	12
1.4.3 成熟阶段	14
第 2 章 无线电导航定位原理	16
2.1 无线电导航的基本原理和分类	16
2.1.1 无线电导航的一般过程	16
2.1.2 无线电导航的物理基础	17
2.1.3 无线电导航的几何定位原理	17

2.1.4 无线电导航系统的分类	23
2.2 无线电导航系统的性能指标	25
2.2.1 信号体制	25
2.2.2 精确度	25
2.2.3 可靠性	28
2.2.4 可用性	31
2.2.5 连续性	32
2.2.6 完好性	32
2.2.7 定位速率	33
2.2.8 导航信息多值性	33
2.2.9 系统容量	33
2.2.10 覆盖范围	34
2.2.11 导航信息更新率	34
2.2.12 抗干扰性	34
2.3 无线电导航信号传播的一般知识	35
2.3.1 电波传播的基本概念	35
2.3.2 地面波传播	38
2.3.3 天波传播	40
2.3.4 视距传播	41
2.3.5 波导模传播	43
第3章 陆基远程无线电导航系统	44
3.1 陆基远程无线电导航系统概况	44
3.1.1 罗兰 C 系统	44
3.1.2 中国罗兰 C 系统	47
3.1.3 其他国家罗兰 C 系统概况	48
3.2 陆基远程无线电导航系统体制	49
3.2.1 系统技术体制	49
3.2.2 系统技术特点	51
3.2.3 系统基本技术指标	52

3.2.4 陆基远程无线电导航系统台链组成	53
3.3 脉冲测距差无线电导航系统	54
3.3.1 脉冲测距差导航系统工作方式	54
3.3.2 脉冲测距差定位原理	55
3.3.3 发射台的配置	56
3.4 相位测距差无线电导航系统	58
3.4.1 相位测距差导航系统工作方式	58
3.4.2 相位测距差原理	59
3.4.3 相位差测量系统的基本技术问题	62
3.4.4 信号同步	63
3.5 脉-相测距差无线电导航系统的工作原理	64
3.5.1 基本信号格式	64
3.5.2 基本工作原理	65
3.5.3 消除多值性的必要条件	67
第4章 无线电导航系统台站	69
4.1 罗兰 C 系统台站的功能组成	69
4.1.1 系统台站的基本功能	69
4.1.2 系统台链的组成	69
4.2 系统发射设备	71
4.2.1 概述	71
4.2.2 时频分系统	71
4.2.3 发射机分系统	73
4.2.4 发射天线	73
4.3 同步控制与监测系统	74
4.3.1 概述	74
4.3.2 系统工作区监测站	75
4.3.3 同步监测系统	77
4.3.4 台链控制系统	78
4.4 发射台辅助设备	80

4.4.1 供电系统	80
4.4.2 空调系统	81
4.4.3 防火系统	81
4.5 固态发射机工作原理	81
4.5.1 磁脉冲器主要元件的特性	82
4.5.2 磁脉冲产生器的工作原理	86
4.5.3 罗兰 C 脉冲波形产生原理	88
4.5.4 半周脉冲功率合成	93
第 5 章 罗兰 C 系统信号及接收处理技术	95
5.1 系统信号格式	95
5.1.1 单个信号脉冲波形	95
5.1.2 脉冲群信号格式	99
5.2 信号的空间传播	101
5.2.1 信号的载频选择	101
5.2.2 信号的地波传播特性	104
5.2.3 信号传播中的附加二次相位因子	107
5.3 罗兰 C 接收机设备	109
5.3.1 天线单元	109
5.3.2 接收指示器单元	110
5.3.3 罗兰 C 接收机的基本概念	112
5.3.4 罗兰 C 接收机使用的主要技术	117
5.4 罗兰 C 信号的自动搜索	118
5.4.1 自动搜索	118
5.4.2 自动搜索的工作原理	119
5.4.3 采样脉冲的结构形式	121
5.4.4 自动搜索的基本方法	123
5.4.5 相位跟踪	125
5.5 罗兰 C 信号的周期识别	125
5.5.1 天地波识别	125

5.5.2 周期识别	127
第6章 无线电导航系统校准	129
6.1 为什么要进行系统校准	129
6.2 频率基准的校准	131
6.3 传统的发射延迟校准方法	134
6.4 搬钟与 GNSS 单星共视	136
第7章 无线电导航系统应用	141
7.1 授时应用的基本概念	141
7.1.1 时间和频率的基本概念	142
7.1.2 守时和授时	151
7.2 国内罗兰 C 系统授时	153
7.2.1 罗兰 C 系统授时原理	153
7.2.2 罗兰 C 授时应用概况	156
7.2.3 国内罗兰 C 授时系统基本组成	160
7.3 罗兰 C 系统的差分应用	161
7.4 罗兰 C 系统航空导航应用	163
7.4.1 航空导航应用的发展历史	163
7.4.2 航空导航应用的领域	164
7.5 罗兰 C 系统的其他应用	166
7.5.1 城市公共安全快速反应系统中的应用	166
7.5.2 气象预报及测高中的应用	168
7.5.3 打捞火箭头和回收卫星中的应用	170
第8章 罗兰 C 系统的发展趋势	172
8.1 Eurofix 技术	172
8.1.1 Eurofix 技术的概念和发展过程	172
8.1.2 Eurofix 技术的发展背景	173
8.1.3 Eurofix 的技术体系	175
8.2 增强罗兰技术	179
8.2.1 增强罗兰技术产生的背景	179

8.2.2 增强罗兰的基本概念	182
8.2.3 对增强罗兰的部分相关评估和测试	183
8.3 罗兰 C 技术和设备的发展	186
8.3.1 北美罗兰研究和发展的方向	186
8.3.2 罗兰 C 技术和设备的发展综述	186
参考文献	190
附录	191
主要名词术语表	196

第 1 章 绪 论

1.1 导 航 概 述

1.1.1 导航的基本概念

导航就是引导载体航行的过程。具体而言,导航就是指为各类运动载体(如舰船、车辆、飞行器和人员等)在运动和航行中提供准确、安全和连续定位服务的方法和技术,是将运动载体以要求的精度,按预定的路线引导至目的地的过程。它实际上需要解决两个主要问题:一是确定任意时刻运动载体的准确位置;二是确定运动载体到下一个位置的航行路线和方法。

与通用导航概念不同,在一些特殊应用领域有其特定的含义。例如,在军事航海领域,作战舰艇有战术导航的概念,特指舰艇在各种战术背景下的导航过程,是通用导航在舰艇军事应用上的扩展和提升,是与舰艇战术行动思想关联的多种舰艇机动导航保障的全过程控制。从导航技术的角度出发,导航一般是指通用的导航概念。随着技术和人类需求的发展,现代导航的概念不断延展,例如由于导航定位和授时定时之间的关系越来越密切,现在已经越来越多提到 PNT(position、navigation and timing)的概念,指的是与导航领域密切相关的位置、导航和时间的综合概念。

1.1.2 导航的基本功能

导航的基本任务就是确定位置和引导航行,但是在不同的应用领域,导航的任务也不尽相同。概括来说,导航的基本功能可以归结为以

下几点。

- ① 为各类运动载体提供航行参数,引导载体安全航行。
- ② 为各类载体提供准确的位置、方位、姿态、时间等信息。
- ③ 引导各类运动载体按路线航行或者引导载体接近目标。
- ④ 保障载体导航的安全性、可用性和可靠性。

在导航过程中,应该能够随时提供反映载体运动状态的位置、速度、姿态,以及相对于航行目的地的其他一些参数,以便载体沿着航行安全、用时较短、费用经济的路线到达目的地。在这些参数中,最重要的还是确定载体位置的参数,因此导航的核心是定位。导航的实现依赖于一定的设备或系统,能够完成这种引导功能的设备或系统就称为导航设备或系统。这些设备或系统有的非常简单,如指南针;有的非常庞大,如陆基无线电导航系统和卫星导航系统。导航设备主要有两种工作状态:一种是指示状态,导航设备只提供载体的位置、时间参数,以及引导航行的航行参数,驾驶人员根据这些信息控制载体航行(如操舵),导航设备不直接参与对载体的控制;另一种是控制状态或制导状态,导航设备将各种参数和信息直接提供给载体的自动驾驶设备,载体根据这些参数和信息,结合预先设定好的计划航线,控制载体航行,如弹道导弹、人造卫星运载火箭的飞行控制系统就是制导,也就是自动导航系统。不论导航系统工作在何种状态,导航系统的核心任务都是准确、即时、全面地提供载体的位置、导航和时间参数信息,即 PNT 信息。

1.2 导航技术的发展

自从人类出现最初的政治、经济和军事活动,就对导航产生了需求。据史料记载,早在四千多年以前,黄帝和蚩尤作战时,为了辨明方向追击敌人,就曾使用指南车。中国人很早就发明了利用地球磁场指明方向的指南针,11 世纪末至 12 世纪初,我国首次将指南针应用于航