



通信与导航系列规划教材

无线电导航系统

Radio Navigation System

◎ 吴德伟 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

通信与导航系列规划教材

无线电导航系统

◎吴德伟 主 编

◎赵修斌 田孝华 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

无线电导航是20世纪发展起来的导航门类,特别是“二战”期间至今,由于军、民用的需求和电子技术的发展,无线电导航成为各种导航手段中应用最广、发展最快的一种,成为导航中的支柱门类。本书从系统的角度完整地介绍了军、民用现代无线电导航系统,内容包括导航的基本概念、相关知识,无线电导航系统的任务、构成、性能和发展,用于近程航空导航的中波导航系统、超短波定向系统、伏尔系统、地美仪系统、塔康系统、俄制近程导航系统,用于远程航空导航的罗兰-C导航系统、卫星导航系统和自主无线电导航系统,用于飞机着陆引导的米波仪表着陆系统、分米波仪表着陆系统、微波着陆系统和雷达引导着陆系统。

本书的主要读者对象是大专院校导航专业师生以及从事导航技术研究的工程技术人员,也可作为从事电子信息系统论证、设计、管理人员及其他非导航专业人员的学习参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线电导航系统/吴德伟主编. —北京:电子工业出版社,2015.5

通信与导航系列规划教材

ISBN 978-7-121-25952-4

I. ①无… II. ①吴… III. ①无线电导航—导航系统—高等学校—教材 IV. ①TN96

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第086966号

策划编辑:竺南直

责任编辑:夏平飞

印 刷:北京京科印刷有限公司

装 订:北京京科印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:14.25 字数:364千字

版 次:2015年5月第1版

印 次:2015年5月第1次印刷

印 数:3 000册 定价:39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

《通信与导航系列规划教材》总序

互联网和全球卫星导航系统被称为是二十世纪人类的两个最伟大发明，这两大发明的交互作用与应用构成了这套丛书出版的时代背景。近年来，移动互联网、云计算、大数据、物联网、机器人不断丰富着这个时代背景，呈现出缤纷多彩的人类数字化生活。例如，基于位置的服务集成卫星定位、通信、地理信息、惯性导航、信息服务等技术，把恰当的信息在恰当的时刻、以恰当的粒度（信息详细程度）和恰当的媒体形态（文字、图形、语音、视频等）、送到恰当的地点、送给恰当的人。这样一来通信和导航就成为通用技术基础，更加凸显了这套丛书出版的意义。

由空军工程大学信息与导航学院组织编写的 14 部专业教材，涉及导航、密码学、通信、天线与电波传播、频谱管理、通信工程设计、数据链、增强现实原理与应用等，有些教材在教学中已经广泛采用，历经数次修订完善，更趋成熟；还有一些教材汇集了学院近年来的科研成果，有较强的针对性，内容新颖。这套丛书既适合各类专业技术人员进行专题学习，也可作为高校教材或参考用书。希望丛书的出版，有助于国内相关领域学科发展，为信息技术人才培养做出贡献。

中国工程院院士：李仕俊

前 言

回顾近一个世纪的无线电导航发展史，先后诞生了几十种实用无线电导航系统，至今在世界范围内得到广泛应用的就有十几种。如 20 世纪 20 年代投入使用的中波导航系统，40 年代研制的伏尔（VOR）系统、地美仪（DME）系统、罗兰 - A（Loran-A）导航系统、仪表着陆系统（ILS）、多普勒导航系统等，50 年代开发的塔康（TACAN）系统、勒斯波恩（PCBH）系统、罗兰 - C（Loran-C）导航系统等，60 年代研制了奥米加（OMEGA）导航系统、子午仪（TRANSIT）卫星导航系统，70 年代开始研制的导航星全球定位系统（NAVSTAR-GPS）及微波着陆系统（MLS）等，它们在军用与民用航空导航中都发挥了巨大的作用，有的早已成为国际民航组织的标准系统（如 VOR、DME、ILS、MLS），有的作为军用标准系统（如 TACAN）。上述导航系统虽然有的已经被淘汰，但大部分都仍在继续得到应用。当今无线电导航的发展，特别是星基无线电导航系统的应用，如美国的全球定位系统（GPS），由于它可以提供全球覆盖能力的高精度三维位置、三维速度、时间基准等参量，其应用范围已远远超出传统的航空、航海导航范畴，深入到航天器导航、武器制导、天文授时、大地测绘、物矿勘探、车辆行驶引导等十分广泛的军用与民用领域。现今，无线电导航系统作为电子信息系统之一，仍然是军民用航空领域的主要导航手段，而且正深入空天战场，渗透到各种航空航天兵器，成为现代战争的行动向导，空天战场上的北极星。各种导航系统尽显神通，更迭交替，改进优化，组合并用，优势互补。导航技术如斗转星移，更新发展，飞速进步。导航战此起彼伏，波澜汹涌，尽显信息作战的神威。导航系统与指挥控制系统密切交融，战争巨人更加耳聪目明。

目前，介绍无线电导航原理与系统的专著与读物已不少见，但尚没有成系统专门介绍现代军用与民用无线电导航系统的书籍。为了系统地展示这些知识的全貌，我们撰写了《无线电导航系统》一书。一方面首次将无线电导航系统知识与无线电导航原理内容分离，克服两者知识交融、内容庞杂、系统性差、不易掌握的问题，从系统的角度完整地介绍了军用与民用无线电导航系统，知识体系性显著增强；另一方面纳入最新军用无线电导航系统内容，如俄罗斯军用导航体制标准系统，系统阐述了时基波束扫描测角近程导航体制和分米波仪表着陆新体制，发展了我国军事导航理论。同时，编写内容吸收了无线电导航系统最新实现技术，丰富地展示了导航系统技术的进步。

全书共 14 章。第 1 章是绪论，介绍了导航的基本概念、相关知识，无线电导航系统的任务、构成、性能和发展；第 2 章至第 7 章介绍了近程无线电导航系统，包括中波导航系统、超短波定向系统、伏尔系统、地美仪系统、塔康系统、俄制近程导航系统；第 8 章至第 10 章介绍了中远程无线电导航系统，有罗兰 - C 导航系统、卫星导航系统和自主无线电导航系统等；第 11 章至第 14 章介绍了飞机无线电着陆引导系统，包括米波仪表着陆系统、分米波仪表着陆系统、微波着陆系统和雷达引导着陆系统。

本书由吴德伟教授主编，赵修斌、田孝华教授副主编。参加本书编写的人员还有戚君宜、高军、何晶、王晓薇、方英武。

受作者能力与水平的限制，本书所介绍的无线电导航系统，可能无法满足各类读者对导航系统知识亟待认识的需求，内容编排方式可能更适合于大专院校导航专业教学及有关导航技术人员的学习，当然也力求便于非专业人员参考使用。

本书的撰写与出版除全体编撰人员的艰苦努力外，还得到了张斌、余永林、金伟、王少龙、邵能健、苗强、戴传金等同志的大力支持与帮助。在撰写过程中参考了大量的文献资料。谨向所有关心帮助此书出版的人员和文献资料的作者表示诚挚的谢意。对书中的疏漏之处，敬请读者不吝批评指正。

作 者

2015 年 1 月

目 录

第1章 绪论	1	3.1.1 系统组成、功用与配置	25
1.1 引言	1	3.1.2 系统应用与发展	26
1.1.1 导航与导航系统的基本概念	1	3.1.3 系统性能 and 特点	27
1.1.2 运行体及其类别	1	3.2 系统工作原理	28
1.1.3 导航的分类	2	3.2.1 测角原理	28
1.1.4 航空导航的基本任务	2	3.2.2 信号格式	30
1.2 导航参量和专用术语	3	3.3 系统技术实现	31
1.2.1 实时位置	3	作业题	32
1.2.2 航线和航迹	4	第4章 伏尔系统	33
1.2.3 导航中常用的角度参量	5	4.1 概述	33
1.2.4 导航中常用的距离参量	7	4.1.1 系统组成、功用与配置	33
1.3 无线电导航系统	7	4.1.2 系统应用与发展	34
1.3.1 无线电导航系统的基本任务	7	4.1.3 系统性能及特点	35
1.3.2 无线电导航系统的构成	8	4.2 系统工作原理	35
1.3.3 无线电导航系统的分类	8	4.2.1 测角原理	35
1.3.4 无线电导航系统性能要求	9	4.2.2 信号格式	38
1.3.5 无线电导航系统发展	11	4.3 系统技术实现	41
作业题	13	4.3.1 地面设备	41
第2章 中波导航系统	14	4.3.2 机载设备	44
2.1 概述	14	作业题	46
2.1.1 系统组成、功用与配置	14	第5章 地美仪系统	47
2.1.2 系统应用和发展	15	5.1 概述	47
2.1.3 系统性能及特点	17	5.1.1 系统组成、功用与配置	47
2.2 系统工作原理	18	5.1.2 系统应用和发展	47
2.2.1 测角原理	18	5.1.3 系统性能及特点	48
2.2.2 信号格式	21	5.2 系统工作原理	50
2.3 系统技术实现	22	5.2.1 测距原理	50
2.3.1 地面设备	22	5.2.2 信号格式	51
2.3.2 机载设备	23	5.3 系统技术实现	52
作业题	24	5.3.1 测距应答器	52
第3章 超短波定向系统	25	5.3.2 机载询问器	54
3.1 概述	25	作业题	57
		第6章 塔康系统	58
		6.1 概述	58

6.1.1 系统组成、功用与配置	58	9.1.3 系统性能及特点	107
6.1.2 系统应用和发展	59	9.1.4 GPS 定位原理	109
6.1.3 系统性能及特点	60	9.1.5 GPS 信号格式	111
6.2 系统工作原理	62	9.1.6 系统技术实现	113
6.2.1 测距原理	62	9.2 北斗卫星导航系统	116
6.2.2 测角原理	62	9.2.1 系统组成和特点	116
6.2.3 系统信号格式	65	9.2.2 系统定位原理	119
6.3 系统技术实现	66	9.2.3 系统应用与发展	120
6.3.1 塔康信标	66	9.3 其他卫星导航系统简介	122
6.3.2 机载设备	67	9.3.1 子午仪卫星导航系统	122
作业题	69	9.3.2 全球卫星导航系统	122
第7章 俄制近程导航系统	70	9.3.3 伽利略卫星导航系统	123
7.1 概述	70	作业题	123
7.1.1 系统组成、功用与配置	70	第10章 自主无线电导航系统	124
7.1.2 系统应用和发展	70	10.1 多普勒导航系统	124
7.1.3 系统性能及特点	71	10.1.1 系统组成及功用	124
7.2 系统工作原理	75	10.1.2 系统应用与发展	125
7.2.1 工作原理	75	10.1.3 系统性能及特点	126
7.2.2 信号格式	79	10.1.4 系统工作原理	127
7.3 系统技术实现	80	10.1.5 系统技术实现	129
7.3.1 地面设备	80	10.2 无线电高度表	129
7.3.2 机载设备	81	10.2.1 系统组成与功用	130
作业题	82	10.2.2 系统应用与发展	130
第8章 罗兰-C系统	83	10.2.3 系统性能与特点	131
8.1 概述	83	10.2.4 系统工作原理	132
8.1.1 系统组成、功用与配置	83	作业题	135
8.1.2 系统应用与发展	84	第11章 米波仪表着陆系统	136
8.1.3 系统性能及特点	86	11.1 概述	136
8.2 系统工作原理	87	11.1.1 系统组成、功用与配置	136
8.2.1 定位原理	87	11.1.2 系统应用和发展	138
8.2.2 信号格式	90	11.1.3 系统性能及特点	139
8.3 系统技术实现	94	11.2 系统工作原理	142
8.3.1 地面设备	94	11.2.1 测角原理	142
8.3.2 用户设备	98	11.2.2 信号格式	143
作业题	102	11.2.3 航向角测量	144
第9章 卫星导航系统	103	11.2.4 下滑角测量	149
9.1 全球定位系统	103	11.3 系统技术实现	153
9.1.1 系统组成、功用与配置	103	11.3.1 地面设备	153
9.1.2 系统应用与发展	105		

11.3.2 机载设备	155	13.3 系统技术实现	184
作业题	156	13.3.1 地面设备	184
第 12 章 分米波仪表着陆系统	157	13.3.2 机载设备	191
12.1 概述	157	作业题	195
12.1.1 系统组成、功用与 配置	157	第 14 章 雷达引导着陆系统	196
12.1.2 系统应用和发展	158	14.1 概述	196
12.1.3 系统性能及特点	158	14.1.1 系统组成、功用与 配置	196
12.2 系统工作原理	159	14.1.2 系统应用和发展	197
12.2.1 信号格式	159	14.1.3 系统性能及特点	198
12.2.2 测角原理	161	14.2 系统工作原理	200
12.3 系统技术实现	163	14.2.1 测距原理	201
12.3.1 地面设备	163	14.2.2 测角原理	201
12.3.2 机载设备	165	14.2.3 测速原理	201
作业题	165	14.2.4 动目标显示 (MTI) 原理	202
第 13 章 微波着陆系统	166	14.2.5 雷达的探测能力	204
13.1 概述	166	14.2.6 系统信号格式	206
13.1.1 系统组成、功用与 配置	166	14.3 系统技术实现	208
13.1.2 系统应用和发展	167	14.3.1 机场监视雷达	208
13.1.3 系统性能及特点	168	14.3.2 精密进场雷达	209
13.2 系统工作原理	173	作业题	211
13.2.1 测角原理	173	附录 A 无线电导航系统一览表	212
13.2.2 信号格式	174	参考文献	214

第1章 绪 论

1.1 引 言

1.1.1 导航与导航系统的基本概念

1. 导航

导航的基本含义是引导运行体从一地到另一地安全航行的过程。导航强调的是“身在何处？去向哪里？”是对继续运动的指示。导航之所以定义为一个过程，是因为它贯穿于运行体行动的始终，遍历各个阶段，直至确保运行达成目的。应当说，大部分运行体都是由人来操纵的，而对那些无人驾驶的运行体来说，控制是由仪器或设备完成的，这时的导航就成为了制导。

近年来，人们常提到定位一词，甚至将导航与定位并列提出。事实上，定位提供的位置参量是一个标量，只有将其与方向数据联合起来成为矢量，才能服务于运行体的航行。因此，定位与测角、测距一样是导航的技术之一，通过定位可以实现导航。也可以说，定位是静态用户要求的；但对动态用户而言，要求的是导航。

2. 导航系统

导航系统是用于对运行体实施导航的专用设备组合或设备的统称。导航系统侧重于实现特定导航功能的设备组合体，组合体内的各部分必须按约定的协同方式工作才能实现系统功能，而导航设备一般是指导航系统中某一相对独立部分或产品，或实现某一导航功能的单机。

1.1.2 运行体及其类别

运行体是导航服务的运动物体的统称，是导航的主要对象。按其活动范围可分为以下五类。

1. 航天器或宇航运行体

这类运行体的主要活动范围是高度 100km 以上的太空空间，如各类人造卫星、宇宙飞船、空间站、航天飞机等宇航运载工具。

2. 航空器或航空飞行器

这类运行体的主要活动范围是在高度 20km 以下的近地空间，如各类飞机、巡航导弹、飞艇、浮空气球等航空飞行器。

3. 临近空间飞行器

这类运行体的主要活动范围是在高度 20 ~ 100km 的所谓临近空间，有静浮力的飞艇、低速的太阳能无人飞行器、超高声速无人飞行器等。

4. 舰艇或水面及水下运行体

这类运行体的主要活动环境是水中，如各类水面上的舰船和专用漂浮工具，水下潜艇及其他专用下潜运载工具等水中运行体。

5. 车辆或陆上运行体

这类运行体的主要活动环境是陆地表面，如各类人员、车辆和坦克等陆上运行体。

1.1.3 导航的分类

导航是一门基于“声、光、电、磁、力”等物理基础的综合性应用学科。实现导航的技术手段很多，按其工作原理或主要应用技术可分为下述类别。

(1) 光学导航——包括利用观测自然天体（空中的星体）相对于运行体所在坐标系中的某些参量实现的天文导航，利用观测（借助光学仪器或目视）已知位置的地标或灯标实现的地标或灯标导航，利用激光和红外技术实现的激光与红外线导航等。

(2) 力学导航——包括利用牛顿力学中的惯性原理及相应技术实现的惯性导航，利用地球重力场特征获取运行体位置信息实现的重力导航等。

(3) 地磁导航——包括利用地球磁场的特性和磁敏器件实现的磁罗盘导航、磁图导航等。

(4) 声呐导航——包括利用声波或超声波在水中的传播特性和水声技术实现的声波导航和超声波导航（通常用于对水下运行体的导航）等。

(5) 无线电导航——依据电波传播特性利用无线电技术实现的导航，如陆基无线电导航、星基无线电导航等。

(6) 复合导航——利用两类或两类以上物理基础实现的导航，如视觉导航、地辅导航和生物导航等。

1.1.4 航空导航的基本任务

航空导航主要是服务于各种军、民用飞机的导航。飞机从一个机场飞到另一个机场，一般均要按照严格的计划程序飞行。首先是起飞，按特定离港（脱离机场）出口进入计划航线，经历航线阶段的巡航过程，而后到达目的地脱离航线，按特定进港入口进港，依照指定着陆跑道下滑路径进近和着陆，最后降落到跑道上直至滑行到停机坪，完成一次完整的飞行。图 1-1 是整个飞行过程的示意图。

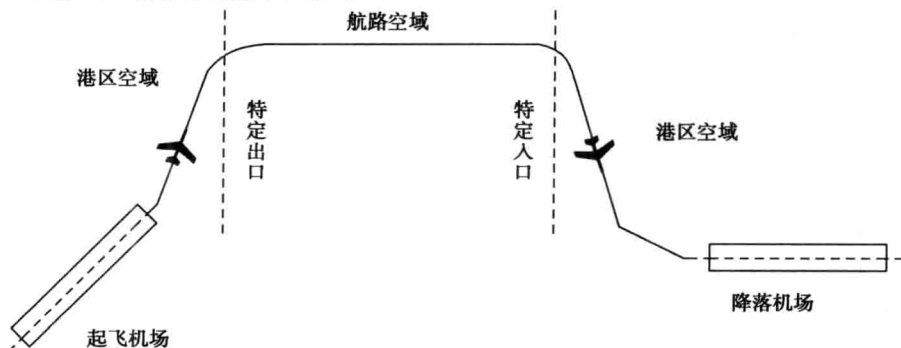


图 1-1 飞行过程示意图

从图中可见,整个飞行过程可分为两类空域:港区(或机场)空域和航路空域。飞机在这两类空域均需要导航,特别是复杂气象条件下的航路飞行及进场着陆对导航的需求更加迫切,并且它们的具体要求也有很大区别,使用的是不同的系统或设备。有时把完成航路导航任务的系统称为航路导航系统,把完成进场着陆引导的系统叫着陆引导系统。另外,随着航空事业的发展,空域中飞机密度增高,特别是港区空域更加突出,空中航行管制显得非常必要,这也是导航业务的一个重要方面,专门用于空中航行管制的系统称为空中交通管制系统。除上述任务外,导航还有其他目的,如空中防撞、空中侦察、武器投放、救生、救灾等。

综上所述,可以把航空无线电导航的主要任务归结成下列几点。

- (1) 引导飞机按计划航线飞行。
- (2) 确定飞机实时位置及航行参量(如航向、速度等)。
- (3) 引导飞机在各种气象条件下进近着陆。
- (4) 为空中交通管制和飞机防撞提供有关信息。
- (5) 提供其他航行有关的引导信息。

1.2 导航参量和专用术语

导航参量和术语很多,作为学习无线电导航系统的基础知识,本节选出一些基本的参量和术语进行概念介绍。

1.2.1 实时位置

1. 概念

实时位置系指运行体(如飞机、舰船等)在某一确知时刻所处的实际位置坐标,它是用时间和空间坐标参量的数组来表达的,可见它联结了时间和位置坐标两类参量。

2. 时间

时间的度量单位来源于地球自转和公转。通常把地球自转一周的时间称为一日,公转一周的时间称为一年。一日分为24小时,1小时分为60分,1分分为60秒,秒还可分为毫秒、微秒、毫微秒。一日的起计时刻称为子夜零点零分零秒,按24小时进行循环。由于地球自转和公转同时进行,其周期虽然比较稳定,但也不是绝对不变的,因此引出各种时间概念。

(1) 地方时

由于地球自转和公转,所以不同地方的子夜时刻是不同的,地球每一区域有一地方时。一个国家或地区的地方时通常是以其首都或中心城市地方时作基准,如中国的北京时。

(2) 世界时(或格林时 GMT)

零度经度线的地方时称为世界时,又叫格林时(GMT),世界时作为世界通用的时间基准。

(3) 原子时(AT)

原子时是以原子秒作为秒单位的计时系统。一个原子秒等于9192631770个铯周期

(即“铯 133”谐振器谐振周期), 它和世界时秒单位极接近, 1972 年 1 月 1 日起采用原子时作为计时之用, 1958 年 1 月 1 日零时零分零秒世界时和原子时相一致。当今作为原子时时间基准的计时系统统称原子钟, 其典型的原子种有铯钟和铷钟, 稳定度可达 10^{-13} 量级。

(4) 协调世界时 (UTC)

协调世界时简称协调时。由于世界时与地球自转有关, 地球自转速度的不均匀及变慢趋势导致世界时每年大约比原子时少 1 秒, 原子时虽然非常稳定, 但与世界时不能准确同步, 因而国际天文学会和无线电咨询委员会于 1971 年决定采用“协调世界时”, 该时统用原子时的秒作秒单位, 利用“1 整秒”的调整方法使协调时与世界时之差保持在 ± 0.9 秒之间 (小于 1 秒)。协调工作由国际标准时间局在二月之前通知各国授时台, 一般情况下, 在每年 6 月 30 日或 12 月 31 日最后 1 秒进行。

(5) 系统时

某一个实用系统具体采用的 (或规定的) 统一时间基准称为该系统的系统时。一般来说, 全球覆盖的系统要采用世界时或协调世界时, 局部地域性的系统要采用地方时或专门为本系统设置的专用时间基准 (或专用钟)。

3. 位置

导航中运行体位置是用坐标参量来具体表示的。在实用导航系统中, 为了使用方便, 采用的坐标系也不一样。现代导航系统中常具有多种坐标系转换能力, 以方便用户使用。导航中常采用的坐标系有下列几种: 极坐标系, 采用方位角和距离值来表示位置; 平面直角坐标系, 采用 (X, Y) 值来表示位置; 空间直角坐标系, 采用 (X, Y, Z) 值来表示位置; 地理坐标系, 采用经度、纬度、高度值来表示位置。

1.2.2 航线和航迹

1. 基本概念

运行体 (如飞机等) 的计划航行路线在地面上的投影 (有时称水平投影) 称为航线。一般来讲, 航线指的是计划航行的理想路线或在航图上选定的航行路线。因为至今, 绝大多数人造运行体 (除个别宇航工具外) 的运动基本上都是以地球表面为基地, 其位置、路线均要标定在地球表面上, 航图表达的主要也是地面或水平面位置路线。所以, 对于空中运行体 (如飞机等) 来说航线是准备空中航行的理想航路的地面投影; 对于舰艇或陆面上运动的车辆来说, 航线就是准备航行的理想航行路线。

运行体重心实际运动轨迹在地面 (或水平面) 的投影称为航迹或航迹线。航迹和航线的区别主要在于前者是实际航行得到的, 后者是计划航行设计的。

2. 大圆航线

假定地球是一个理想的圆球, 过地心的任何平面与地球表面相交的圆均为最大的圆 (与不过地心的平面相交的圆比), 简称大圆。地球上任意两点总是把它所在的大圆分为两段大圆弧线, 其中较短一段大圆弧线是该两点间在地球表面最短的弧段。

沿最短大圆弧线航行的航线, 称为大圆航线, 它是两点间最短的航线, 所以又叫经济航线。

3. 恒向航线

保持航向恒定不变航行的航线称为恒向航线。这种航线与所经历的各地子午线交角保持相等，对于航行操纵者非常方便，但在相同两点航行中，恒向航线要比大圆航线长。

1.2.3 导航中常用的角度参量

1. 航向（或运行体首向）

运行体纵轴首端的水平指向称为航向，它由选定的基准方向顺时针转到该指向的夹角来定量标度，如图 1-2 所示。由于采用的基准方向不同，便引出了不同的航向概念。

(1) 真航向

以地球地轴北向为基准方向定义的航向称为真航向，如图 1-2 中的 β 为飞机真航向。

(2) 磁航向

以地磁场确定的磁北向为基准方向定义的航向称为磁航向，如图 1-2 中的 β_m 为飞机磁航向。图 1-2 中 $\Delta\beta$ 是磁北与真北间磁偏角。

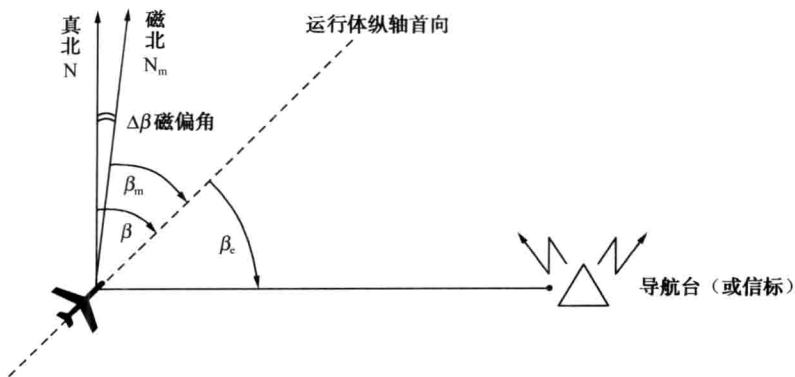


图 1-2 航向示意图

2. 方位

表示两点间（如 A 、 B ）相对位置方向的量简称为方位，它定义为：由观测点（ A 或 B ）基准方向顺时针转到两点连线水平投影之间的夹角。观测点不同或基准方向不同，便引出不同名称的方位来。在无线电导航中，上述两点通常一点指的是导航台，另一点指的是运行体。

(1) 运行体真方位

以导航台（观测点）真北向为基准，顺时针转到导航台与运行体（目标）连线水平投影之间的夹角，如图 1-3 中的 θ 。

(2) 运行体磁方位

以导航台磁北向为基准，顺时针转到导航台与运行体连线水平投影之间的夹角，如图 1-3 中的 θ_m 。

(3) 电台（导航台或信标台）真方位

以运行体真北向为基准，顺时针转到运行体与电台连线水平投影之间的夹角，如图 1-3

中的 φ 。

(4) 电台磁方位

以运行体磁北向为基准，顺时针转到运行体与电台连线水平投影之间的夹角，如图 1-3 中的 φ_m 。

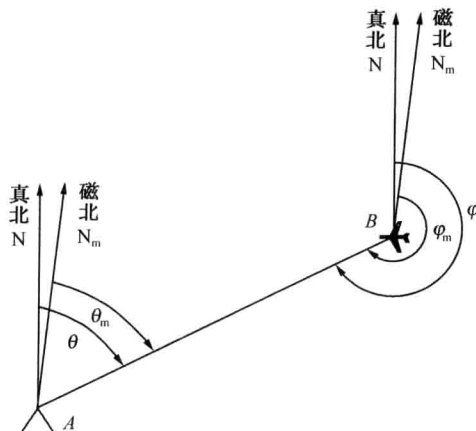


图 1-3 方位示意图

(5) 相对方位

以指定的方向为基准方向，顺时针转到运行体与导航台连线之间夹角的水平投影称为相对方位，如图 1-2 中的 β 。即为飞机与电台之间的相对方位，它是以飞机轴线首向为基准，有时也叫电台相对方位。

需要指出的是，除相对方位外，在没有特定说明的情况下，一般所说的航向或方位都是指磁航向或磁方位，这是因为磁北是惯用基准的缘故。

例题：根据图 1-4 所示导航台与飞机位置关系，分别给出飞机航向、电台方位、飞机方位和电台相对方位角度值。

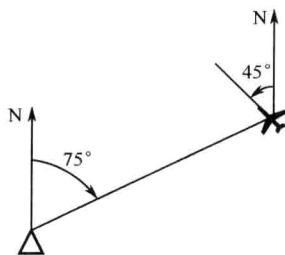


图 1-4 导航台与飞机位置关系

答：飞机航向 $= 360^\circ - 45^\circ = 315^\circ$

电台方位 $= 180^\circ + 75^\circ = 255^\circ$

飞机方位 $= 75^\circ$

电台相对方位 $= 255^\circ + 45^\circ = 300^\circ$

1.2.4 导航中常用的距离参量

1. 斜距

不在同一高度层或同一铅垂线上的两点（如飞机到地面台）之间的距离称为斜距。通常空中运行体到地面导航台之间的距离均为斜距。

2. 高度

常用的三种以垂直距离表示的高度如图 1-5 所示。

(1) 绝对高度

运行体重心到海平面的垂直距离称为该运行体（或目标）的绝对高度。

(2) 相对高度

运行体重心到某一指定参考水平面（如机场跑道平面）的垂直距离称为该运行体的相对高度。

(3) 真实高度

运行体重心到实际地面的垂直距离称为真实高度。

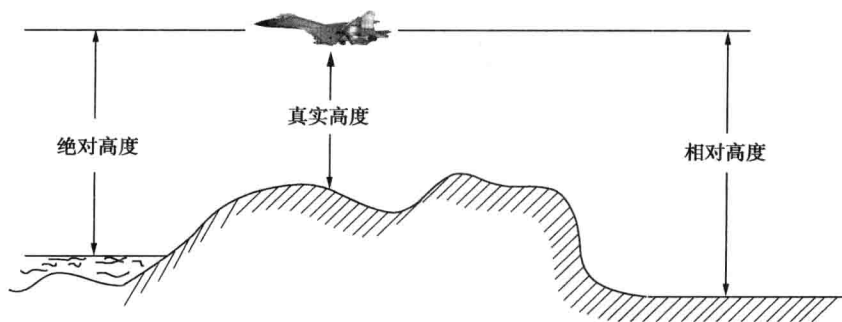


图 1-5 高度示意图

1.3 无线电导航系统

1.3.1 无线电导航系统的基本任务

无线电导航系统的基本任务就是建立无线电导航信号场，在飞行器运行领域以无线方式提供导航信息（或数据、参量）。从这一角度上来说，如果在运行体的整个活动范围中，能够建立无线电导航信号场并能有效地检测和识别，便可以实现对运行体的无线电导航。这一概念在考虑为某种运行体设计和选用无线电导航装备时尤为重要，它主要包含下述两个要点。

(1) 无线电信号场并不是在任何运行体的活动环境中都能建立起来。如潜艇在深水下潜后，由于无线电信号场不能在深水下建立，所以在深水下的潜艇就不能使用无线电导航，如果迫不得已要用，则必须有漂浮天线。中波以下频段的无线电信号场由于不能穿透电离层，所以穿过电离层或在电离层之上活动的运行体就不能利用地基的中波波段以下的无线电导航系统。

(2) 在运行体活动环境中建立的无线电导航信号场还必须满足有效检测和识别的条件, 否则也无法实现导航。

这就要求无线电导航信号场有足够的强度、明显的识别特性、良好的电磁环境或抗电磁干扰(含人为干扰)能力。

1.3.2 无线电导航系统的构成

无线电导航系统是要为运行体的行动提供实时位置和有关运动参量, 它依存的物理基础是无线电信号:

$$e(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-1)$$

式中, A 为幅度, ω 为角频率, t 为时间, φ_0 为相位(初相)。

可以说, 任何一个实用无线电导航系统都由三个基本部分构成:

(1) 数理模型部分。它是系统电信号参量中的某一个或几个与它提供的导航参量(如实时位置、速度和方向等)之间的对应或转换关系, 涉及的是系统基本数学模型(或基本导航定位方法)以及物理基础和几何原理, 是系统的最基础部分。

(2) 信号格式部分。它指的是系统电信号波形、产生和处理的规范(或约定)。每一种实用无线电导航系统都有它自身特定的信号形式、规定、标准, 形成独特的信号格式。数理模型和信号格式构成了无线电导航系统体制, 它确定了该系统导航方法、辐射电信号的形式, 以及电信号产生和处理的规范。

(3) 实现技术部分。它是实现组成系统的各设备过程中采用的电路、工艺、材料以及集成方法等, 是一个系统的原理得以实现从而保证导航功能完成的电子技术基础。

综上所述, 可以把实用无线电导航系统的基本构成写成一个简要的表达式:

$$\text{“系统构成”} = \text{“数理模型”} + \text{“信号格式”} + \text{“实现技术”}$$

由此可以看出, 无线电导航系统的更新或新系统的产生, 应当是系统采用的“数理模型”和“信号格式”的变化, 也就是说系统体制的变化, 而相同体制的系统却可以采用不同的“实现技术”, 换句话说, 系统采用技术的更新不足以动摇系统体制。一个实用系统的体制更新周期可能会较长, 而技术更新可能是很快的, 如某无线电导航系统或设备的电子管设备更新为全晶体管设备, 模拟电路的数字化, 以及微处理器应用等, 这些都属于技术更新。只要保持原系统的“数理模型”和“信号格式”不变, 不管技术上如何更新, 其系统体制仍归属于原来的系统类别。

在系统课程学习阶段, 重点应放在对无线电导航系统“数理模型”和“信号格式”即系统体制的学习上, 只有深刻理解了系统的体制才能全面认识系统的组成、工作原理、工作过程及其运用方式, 掌握系统的关键知识内容, 达到事半功倍的学习效果。

1.3.3 无线电导航系统的分类

无线电导航是导航中的一大分支, 是当今应用最广、发展最快、在导航家族中占主导地位的一类导航技术。下面介绍几种常用的无线电导航系统分类。

1. 按用户使用时相对依从关系分类

(1) 自备式(或自主式)导航系统。这类导航系统仅靠装在运行体上的导航设备就能