



工业和信息化部“十二五”规划教材



通信与导航系列规划教材

导航原理

Navigation Principle

◎ 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>

工业和信息化部“十二五”规划教材
通信与导航系列规划教材

导航原理

吴德伟 主编

陈树新 卢 虎 胡奕明 代传金 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从大导航的理念出发,结合信息控制技术发展,着眼导航依托的各种物理基础,全面阐述导航的基本理论与方法,并将导航信息的使用纳入导航原理知识体系。全书共9章,具体内容包括:导航的基本概念和参数描述,导航的数学基础与物理基础,导航的测角、测距、测速、定位原理,多源组合导航原理,以及运行体的控制实现和应用。

本书作者根据多年的教学和科研经验,在内容上注重理论与实践的结合,强调理论教学与实践教学的并重。通过对课程内容优化和提炼,使得内容讲述由浅入深,简明透彻,概念清晰,重点突出,既便于教师组织教学,又有利于学生自学。

本书可用作导航专业课程教学的教材,也可供其他相关专业学生和工程技术人员阅读参考,还可作为“导航”理论培训教材。

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

导航原理 / 吴德伟主编. —北京: 电子工业出版社, 2015.3

通信与导航系列规划教材

ISBN 978-7-121-25564-9

I. ①导… II. ①吴… III. ①导航—高等学校—教材 IV. ①TN96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 033537 号

策划编辑: 竺南直

责任编辑: 竺南直

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 460 千字

版 次: 2015 年 3 月第 1 版

印 次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 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 zltz@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》编委会

主 编 吴耀光

副主编 管 桦 甘忠辉 高利平 魏 军

编 委 赵 罡 徐 有 吴德伟 黄国策 曹祥玉 达新宇

张晓燕 杜思深 吕 娜 翁木云 段艳丽 张串绒

刘 霞 张景伟 李 强 魏 伟 王 辉 朱 蒙

罗 玺 张 婧 郑光威 鲁 炜 李金良 李 凡

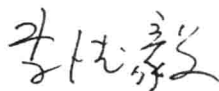
黄 涛 刘振霞 王兴亮 陈树新 程 建 严 红

《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：



序

人类的生产劳作、社会交往，特别是大范围的商务贸易、战争行动，都需要解决在哪里，以及从出发地到目的地这样的基本问题，从而产生了导航这门科学。

在远古时代，人们生产活动需要穿越丛林、河流或草原，去往目的地或返回宿营地，日月星辰、特殊的山峰、迭起的石堆或刻痕的树木便是人们出行认路的参考点和方法。早在战国时代，我国就出现了“司南”指示方向的工具，北宋时期发明了指南针，是我国对导航技术的杰出贡献。导航的科学概念源自 16 世纪西方航海业，航海家利用六分仪和航海钟测定船的位置。随着无线电技术的发展，相继出现了“罗兰”、“子午仪”、GPS 以及我国“北斗”导航系统。特别是 1995 年 GPS 达到完全运行能力后，给人类的生活带来了很大的便利，如今人们开车外出无论是工作、购物、会友，还是旅游都离不开基于 GPS 的导航软件。

在军事领域，导航技术构成了现代高技术战争的基石，不管是核潜艇、空间站，还是各类精确制导武器都依赖于导航技术和设备。为解决高精度自主导航，美军近年来一直致力于基于“冷原子”导航技术的研究，并已取得重大进展，这将导致制导武器和导航装备出现革命性变革。

国内已出版的导航书籍大多以介绍导航系统原理为主，空军工程大学吴德伟教授等人撰写的《导航原理》把各类导航系统中的原理知识提炼出来，独立进行讲解论述，是我所见的国内第一部这样全面系统阐述导航基本理论和技术的教材，令人耳目一新。书中除了说明了各项基本原理和实现方法外，还将导航信息如何在控制过程中使用的内容列入其中，适应了现代信息与控制科学融合发展的实际需求，更加完整地构建了导航专业的基础理论体系。

对《导航原理》一书出版感到欣慰！希望本书对导航专业的人才培养和学术交流有所裨益，对导航理论和技术发展有所贡献。

中国工程院院士：费爱国

二〇一四年八月十六日

前 言

导航是对运行体导引与控制的一项科学技术，作为一门应用性学科伴随着科技的发展而不断进步。初期使用目视推算和天文观测等方法，出现了磁罗盘、陀螺罗盘、天文六分仪、计程仪和计时器等导航装置。无线电技术的发明对导航技术产生了划时代的影响，20世纪20年代出现了无线电罗盘和高度表等导航设备。第二次世界大战前后，由于民用航空与军用航空发展需要，无线电导航迅速发展，仪表着陆系统、精密进场雷达、罗兰 A、台卡、伏尔、塔康、罗兰 C 和奥米伽等无线电导航系统相继问世，1964 年开始建成了子午仪卫星导航系统，此后相继建成了 GPS、GLONASS、BDS 等卫星导航系统。人类活动范围的不断扩展带来了对于导航技术的巨大需求，各种新型导航体制不断出现，从卫星导航系统，到新一代地形辅助、天文导航等自主导航系统，再到全源导航、生物导航、认知导航、量子导航等，导航的水平能力显著提高，不仅改善了运行体航行保障功能，也为武器平台精确定位和制导系统的精确打击创造了条件。

技术的发展催生理论的形成。虽然导航是基于电、光、力、磁、声等各种物理基础的应用性技术，但它仍然伴随着科技的进步在不断延伸和完善，特别是向着多传感器组合、多信息融合、自主决策控制一体化方向进步，具有了很强的多学科交叉运用的特性，使得导航在探测传感、航迹规划、制导控制等方面逐步形成了一套特有的方法理论体系，亟待专业人员总结凝练、系统完善。本书的出版正是适应这一实际需求，力图为导航理论体系的构建尽己之力。

目前，已经公开出版了一些导航原理与系统的教材与读物，但笔者认为大多数原理性的书籍都只是在介绍导航系统的原理，缺乏方法论上的概括提升，没有全面、深入阐述导航的基本理论。而本书力图从大导航的理念出发，结合信息控制技术发展，从导航依托的各种物理基础着眼，全面阐述导航的基本理论与方法，并将导航信息的使用纳入导航原理知识体系，适应现代信息与控制学科交叉发展的实际要求，更加完整地构建起导航工程专业人才的专业理论基础。本教材内容是在编著者将导航原理与导航系统教学内容分开的基础上构建的，这在国内尚属首次。

全书共 9 章。第 1 章是绪论，介绍了导航的基本概念、名词术语、发展与运用历史；第 2 章与第 3 章是导航原理学习的数学基础与物理基础；第 4 章至第 7 章介绍了导航的测角、测距、测速、定位原理，是本书的核心内容；第 8 章介绍的是多源组合导航原理；第 9 章介绍了运行体的控制实现。本书的撰写采取的是分工主笔、合作研讨、共同确定的方式，注重发挥了集体智慧的作用。其中，吴德伟教授提出了全书的编写纲目并主笔了第 1 章、第 3 章、第 4 章，陈树新教授主笔了第 2 章、附录并编写了第 6 章、第 8 章部分内容，卢虎副教授主笔了第 5 章、第 6 章、第 8 章，胡奕明副教授主笔了第 9 章并编写了第 3 章、第 4 章部分内容，代传金讲师主笔了第 7 章并编写了第 9 章部分内容，吴德伟、陈树新教授完成了全书的统编定稿工作。在编撰过程中，中国工程院费爱国院士、北京航空航天大学黄智刚教授审阅了书稿，给予了热情的指导和帮助，提出了许多宝贵的意见和建议，在此编写组成员深表感

激和谢意！本书的编写还得到杨春燕副教授、戚君宜副教授、张辉副教授以及空军工程大学信息与导航学院相关同志的大力支持与帮助，在此一并致谢！

受作者能力与水平的限制，本书所提供的导航理论知识，可能无法满足各类读者对导航理论基础全面认识的需求，内容编排方式可能更适合于大专院校导航专业教学及导航专业技术人员的学习，当然也力求照顾到便于非专业人员参考使用。本书在撰写过程中参考了大量的文献资料，谨向文献资料的作者表示最诚挚的谢意。书中有部分内容源自作者承担的国家自然科学基金（61273048，61174194）研究成果。

本书是陕西省精品课程“导航原理”的主用教材，该教材配套的教学辅助资料包括：供教师使用的“导航原理课程电子教案”，供实践教学使用的“导航原理实验讲义”，供课后学习和辅导使用的“导航原理习题集”和“导航原理习题解答”。欢迎各位老师及读者通过以下方式与我们联系：

E-mail: wudewei74609@126.com

对书中的错误与疏漏之处，敬请读者不吝批评指正。

编著者

2014年11月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.2 匀速运动模型	30
1.1 导航的概念	1	2.2.3 匀加速运动模型	31
1.1.1 定义	1	2.2.4 其他运动模型	31
1.1.2 对象	1	2.3 导航误差分析基础	32
1.1.3 任务	2	2.3.1 标量描述	33
1.2 导航的参量	2	2.3.2 矢量描述	34
1.2.1 时空参量	2	2.3.3 位置线误差及其特性	36
1.2.2 角度参量	3	2.4 导航参量估计方法	38
1.2.3 距离参量	5	2.4.1 非线性方程的线性化	38
1.2.4 速度参量	6	2.4.2 最小二乘法	41
1.3 位置线与位置面	6	2.4.3 卡尔曼滤波	45
1.3.1 等角位置线、位置面	6	2.5 小结	48
1.3.2 等距位置线、位置面	7	复习和作业题 2	48
1.3.3 等距差位置线、位置面	8	第 3 章 导航的物理基础	50
1.3.4 等距和位置线、位置面	8	3.1 导航信号	50
1.3.5 位置线典型应用	9	3.1.1 描述方法	50
1.4 导航的发展与运用	11	3.1.2 伪随机序列	52
1.4.1 惯性导航	12	3.2 多普勒效应	54
1.4.2 无线电导航	13	3.2.1 收发一方运动的多普勒效应	54
1.4.3 天文导航	14	3.2.2 收发双方同时运动的多普勒效应	55
1.4.4 其他导航	16	3.2.3 多普勒效应在导航中的应用	56
1.5 本书的结构	20	3.3 无线电信号	56
复习和作业题 1	21	3.3.1 信号特性	57
第 2 章 导航的数学基础	22	3.3.2 传播方式	58
2.1 坐标及其变换	22	3.3.3 信道特性分析	60
2.1.1 惯性坐标系	22	3.3.4 电波传播对无线电导航信号的影响	62
2.1.2 地球坐标系	23	3.3.5 场地环境对无线电导航信号的影响	63
2.1.3 运行体及平台坐标系	25	3.4 光场探测	68
2.1.4 直角坐标系间的旋转变换	27	3.4.1 光电探测系统	69
2.1.5 极坐标系	28		
2.2 运动状态描述	29		
2.2.1 微分多项式模型	29		

3.4.2 光接收机原理	70	第 5 章 导航测距原理	124
3.5 陀螺仪与加速度计	73	5.1 测距概述	124
3.5.1 力学基础	73	5.1.1 基本概念	124
3.5.2 陀螺仪原理	75	5.1.2 测距分类	125
3.5.3 加速度计原理	78	5.2 无线电导航测距	127
3.6 重力场基础	79	5.2.1 脉冲式测距	127
3.7 地磁场基础	80	5.2.2 码相关测距	129
3.8* 相对论影响	82	5.2.3 频率式测距	132
3.9 小结	85	5.3 无线电导航测距差	140
复习和作业题 3	85	5.3.1 脉冲式测距差	140
第 4 章 导航测角原理	86	5.3.2 相位式测距差	141
4.1 振幅式导航测角	87	5.3.3 脉冲/相位式测距差	142
4.1.1 振幅式无线电导航测角天线 方向图	87	5.3.4 多普勒积分测距差	143
4.1.2 振幅式无线电导航测角方法 分类	92	5.4 光学导航测距	143
4.1.3 振幅式无线电导航测角误差 分析	96	5.4.1 主动式测距	144
4.1.4 振幅式光学测角	100	5.4.2 被动式测距	144
4.2 相位式导航测角	101	5.5 气压测高	145
4.2.1 相位式无线电导航测角	101	5.5.1 气压高度	145
4.2.2 相位式无线电导航测角误差 分析	105	5.5.2 气压高度表模型	147
4.3 时间式导航测角	107	5.5.3 气压高度表误差补偿	147
4.3.1 时间式无线电导航测角	107	5.6 导航测距理论的发展	148
4.3.2 时间式无线电导航测角误差 分析	111	5.7 小结	148
4.4 频率式导航测角	112	复习和作业题 5	149
4.4.1 频率式无线电导航测角	112	第 6 章 导航测速原理	150
4.4.2 偏流角测量的准确度分析	113	6.1 主动式导航测速	150
4.5 惯性力学测角	114	6.1.1 单波束多普勒测速	151
4.5.1 水平面内的陀螺寻北原理	114	6.1.2 双波束多普勒测速	152
4.5.2 非水平面内的陀螺寻北原理	115	6.1.3 多波束多普勒测速	154
4.5.3 陀螺寻北的误差分析	118	6.1.4 多普勒测速的准确度分析	156
4.6 地磁感应测角	119	6.1.5 声相关测速	158
4.6.1 罗航向和罗差	119	6.2 被动式导航测速	159
4.6.2 地磁感应测角原理	120	6.2.1 惯性导航测速	159
4.7 小结	122	6.2.2 卫星导航测速	160
复习和作业题 4	122	6.2.3 电磁测速	162
		6.2.4 航空动压测速	163
		6.2.5 视频(觉)测速	167
		6.3 小结	169
		复习和作业题 6	169

第 7 章 导航定位原理	170	8.2.4 可靠性分析.....	215
7.1 几何式导航定位.....	170	8.3 组合导航应用形式	216
7.1.1 几何式导航定位基础.....	171	8.3.1 典型配置结构.....	216
7.1.2 测距导航定位.....	178	8.3.2 性能分析.....	220
7.1.3 测距差导航定位.....	183	8.4 组合导航理论的发展	221
7.1.4 测向导航定位.....	185	8.5 小结	222
7.1.5 复合式导航定位.....	189	复习和作业题 8.....	222
7.2 推算导航定位.....	192	第 9 章 飞行器导航控制应用	223
7.2.1 惯性推算导航定位.....	192	9.1 概述.....	223
7.2.2 多普勒雷达推算导航定位.....	194	9.2 飞行控制原理.....	225
7.3 匹配导航定位.....	195	9.2.1 飞行状态描述及其实时感知.....	225
7.3.1 匹配导航定位基础.....	196	9.2.2 飞行操纵方式.....	226
7.3.2 一维线匹配导航定位.....	201	9.2.3 飞行控制方法.....	227
7.3.3 二维面匹配导航定位.....	208	9.2.4 飞机姿态控制.....	229
7.4 小结.....	209	9.2.5 飞行轨迹控制.....	231
复习和作业题 7.....	210	9.3 导航控制系统应用.....	235
第 8 章 多源组合导航原理	211	9.3.1 自动航线飞行控制.....	235
8.1 数据融合与组合导航.....	211	9.3.2 自动进近与着陆飞行控制.....	239
8.1.1 多传感器数据融合.....	211	9.4 小结.....	248
8.1.2 组合导航的概念.....	212	复习和作业题 9.....	248
8.2 组合导航分析.....	212	附录 A 导航术语中英对照表	249
8.2.1 一般结构.....	212	附录 B 随机过程与噪声	263
8.2.2 信息分配准则.....	213	参考文献	270
8.2.3 精度分析.....	214		

第1章 绪论

导航是基于各种物理基础实现的技术。导航的发展史映射着科学技术的进步史。在导航的发展历程中，尤以惯性导航、无线电导航和天文导航的发展最为醒目，其他如地形辅助导航、地磁导航、重力导航、视觉导航以及生物导航等也表现出勃勃生机，展现了导航在人类历史进程中的重要作用。

本章引入了导航的定义、对象、任务以及导航的参量等基本概念和常用术语，对位置线、位置面及其应用进行了描述，给出了导航的发展与运用情况，是导航原理知识学习的基本内容。

1.1 导航的概念

1.1.1 定义

1. 导航

导航就是引导航行，其确切的定义就是引导运行体安全航行的过程。

导航的基本目的是解决运行体“身在何处？取向哪里？”的问题，强调的是对继续运动的指引。导航之所以定义为一个过程，是因为它贯穿运行体行动始终，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。就导航而言，定位所获得的位置坐标是一种导航参量，也就是说定位是导航的一种方式。因而在导航中，定位与导航测角、测距一样属于导航的技术之一。

2. 航行轨迹

(1) 航迹

运行体航行的实际轨迹在水平面（或铅垂面）内的投影称为航迹。这种定义适用于近地空间的导航，而在深空导航情况下运行体航迹需要用三维坐标系下的实际航迹来描述。

(2) 航线

航线指的是给运行体预定的航行路线在水平面（或铅垂面）内的投影。同样，该定义适用于近地空间的导航，在深空导航情况下则要用三维坐标系下的导航点连线来描述航线。

预定航线通常由连接两个相邻航路点之间的线段构成，在地球表面及一定高度范围内，这些线段都是绕地球的一条圆弧线，称之为大圆航线。沿大圆航线飞行是最短距离飞行，是最常用的航线形式。

1.1.2 对象

运行体是导航服务的运动物体的统称。一般来说无轨运行体是导航服务的主要对象。运行体按其活动范围可分为五大类：

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 临近空间飞行器

这类运行体的主要活动范围高度在 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。

(5) 航天器或宇航运行体

这类运行体活动范围的高度可达 100km 以上的太空空间，如宇宙飞船、航天飞机、深空探测器等宇航运载工具。

1.1.3 任务

前面提到过，导航的基本目的是解决运行体“身在何处？取向哪里？”的问题，也就是解决定位和确定朝向的问题，并且是在三维空间的位置和方向。因此，可以说导航的任务就是要为用户提供符合要求的导航参量，实现运行体位置确定、方向控制、协同配合、起降引导、授时同步等。

1.2 导航的参量

导航参量的类型主要分为位置、角度、距离、速度四种。其中，角度和距离属于几何参量。

1.2.1 时空参量

时空参量是指运行体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，可见它包含时间和位置坐标两类参考量。

1. 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，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的地方时作为基准，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”谐振器的谐振周期), 它和世界时的秒单位极接近, 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, 其典型的原子钟有铯钟和铷钟, 稳定度可达 10^{-13} 量级。

(4) 协调世界时 (UTC)

协调世界时简称为协调时, 由于世界时与地球自转有关, 地球自转速度的不均匀及缓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为秒单位, 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该系统设置的专用时间基准 (或专用钟)。

2. 位置表示

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, 它们分别采用各自的坐标参量来标定位置, 如在平面直角坐标系中采用 (X, Y) 值来表示位置; 在空间直角坐标系中采用 (X, Y, Z) 值来表示位置; 地理坐标系中采用经度、纬度、高度值来表示位置; 在极坐标系中采用方位角和距离值来表示位置。

1.2.2 角度参量

导航中常用的角度参量很多, 例如, 方位角、相对方位角、航向角、仰角、偏流角和姿态角等。

1. 航向角

航向角由选定的基准方向顺时针转到运行体首向的夹角在水平面的投影来定量标度, 也就是它表示运行体纵轴首端的水平指向, 如图 1.2.1 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, 图 1.2.1 中的 β 为飞机真航向, 即真子午线 (即地理经线) 与运行体纵轴在水平面上的夹角为真航向角。真航向的 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向即为正北、正东、正南和正西。

(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, 图 1.2.1 中的 β_m 为飞机磁航向, 即磁子午线 (地球磁经线) 与运行体纵轴在水平面上的夹角。磁航向的 N (0°)、E (90°)、S (180°)、W (270°) 分别代表磁北、磁东、磁南和磁西。因为磁子午线与真子午线方向

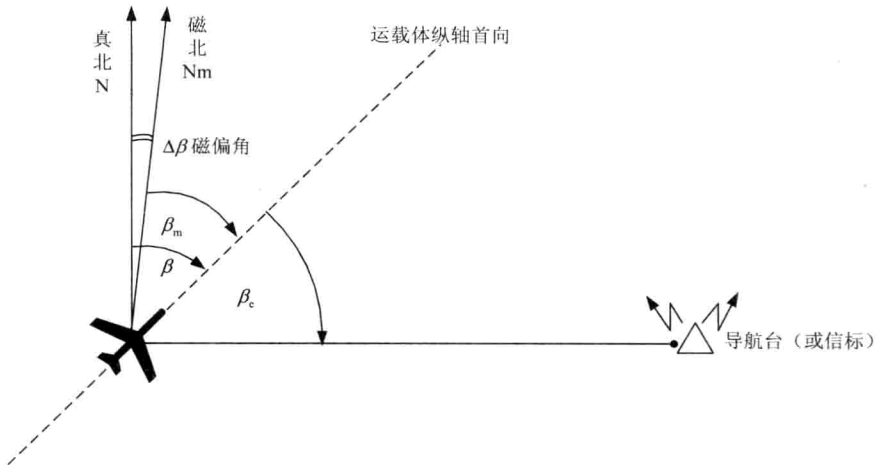


图 1.2.1 航向角示意图

不一致而形成的磁偏角称为磁差，图中 $\Delta\beta$ 是磁北与真北间的磁偏差角。规定磁子午线北端与真子午线东侧磁差为正，在西侧为负。地球磁差随时间、地点不同而异。

2. 方位角

方位角就是由观测点 (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，是表示两点间 (如 A、B) 相对位置方向的量，简称为方位。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，通常 A、B 两点中的一点指的是导航台，另一点指的是运行体。

(1) 运行体真方位

由导航台 (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，称为运行体真方位 (如飞机真方位，舰船真方位等)，如图 1.2.2 中的 θ 。

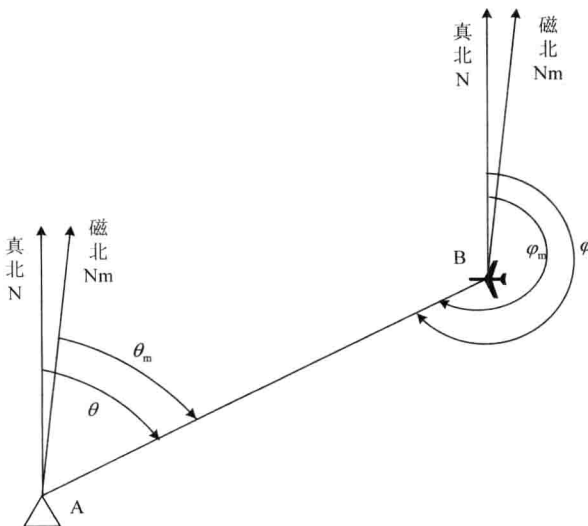


图 1.2.2 各种方位角示意图

运行体与导航台连线之间夹角水平投影称为相对方位，如图 1.2.1 中的 β_c 即为飞机与导航台之间的相对方位，它以飞机轴线首向为基准，有时也叫导航台相对方位。

(2) 运行体磁方位

由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，称为运行体磁方位，如图 1.2.2 中的 θ_m 。

(3) 导航台真方位

由运行体真北向为基准，顺时针转到运行体与导航台连线水平投影之间的夹角，称为导航台真方位，如图 1.2.2 中的 φ 。

(4) 导航台磁方位

由运行体磁北向为基准，顺时针转到运行体与导航台连线水平投影之间的夹角，称为导航台磁方位，如图 1.2.2 中的 φ_m 。

(5) 相对方位

以指定的方向为基准方向顺时针转到

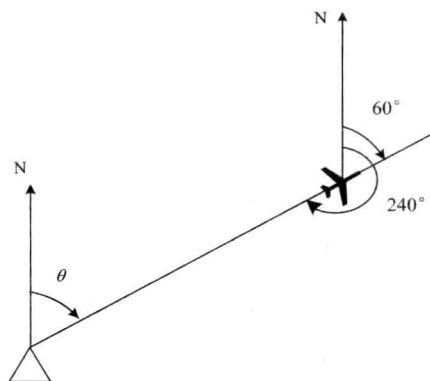
需要指出的是,除相对方位外,在没有特定说明的情况下,一般所说的航向或方位都是指磁航向或磁方位,这是因为磁北是惯用基准的缘故。

例 1-1 已知某飞机航向角 60° , 导航台方位角 240° , 试计算导航台相对方位角和飞机方位角? 并画图表示。

解: 如图所示。

$$\text{飞机方位角} = \text{导航台方位角} - 180^\circ = 60^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{导航台相对方位角} &= \text{导航台方位角} - \text{飞机航向角} \\ &= 240^\circ - 60^\circ = 180^\circ \end{aligned}$$



3. 姿态角

飞行器的姿态角包括航向角、俯仰角和横滚角,用于表示飞行器的飞行姿态。其中,航向角的定义与前面相同,俯仰角和横滚角的定义如下:

(1) 俯仰角

俯仰角指的是飞行器绕横轴(机翼两端连线)水平转动时,飞行器纵轴(首尾连线)和水平面的夹角,记为 θ 。俯仰角从水平面算起,向上为正,向下为负,其定义域为 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 。

(2) 横滚角

横滚角是指飞行器纵轴对称平面与纵向铅垂平面之间的夹角,有时也称为倾斜角,记为 γ 。横滚角从铅垂平面算起,右倾为正,左倾为负,其定义域为 $-180^\circ \sim +180^\circ$ 。

精确地测量飞机的姿态角,对于飞行器飞控系统控制飞行姿态,以及保证其他机载设备工作精确性等,都具有极其重要的意义。

4. 偏流角

飞行器纵轴首端的水平指向与其质心水平运动方向间的夹角被称为偏流角。偏流角反映了飞行器因受外力作用而使其不能按首向运行的程度。

1.2.3 距离参量

1. 垂直距离(高度)

(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,如图 1.2.3 所示。

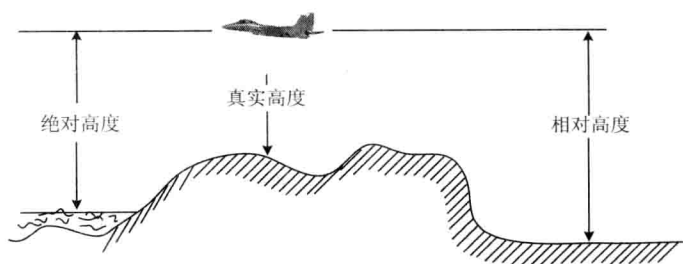


图 1.2.3 高度示意图