

绪 论

领航学是研究利用领航设备引领飞机航行的一门应用学科。飞行、空管、签派、航行情报等人员的工作目的，就是安全、准确、准时地让飞机从起飞机场飞往目的地机场。飞机在飞行过程中，飞行员就需要运用不同的领航方法完成航行任务，所以领航的基本任务就是引导飞机沿着预定的航线安全、准确、准时地飞到目的地。

自从飞机发明以后，飞行过程的领航方法也随之产生了。早在 19 世纪 90 年代，飞机刚刚飞上天，飞行员用地图对照地面，凭借目视从一个基地飞往另一个基地。此时飞机还只能在天气良好时，在机场附近飞行，此时主要依靠目视观察地面，利用城镇、河流、铁路等显著地标来领航。

随着飞行次数的增加，人们渐渐掌握了飞机在风中的航行规律，能够利用航行速度三角形的解析法和修正偏流飞向目标的方法，而且随着专用飞行航空地图的问世，俄国莫斯科航空学院的教授朱拉夫琴科提出了罗盘领航的概念，同时将罗盘领航运用于云上和夜间飞行。与此同时，空中领航理论也不断地发展，决定领航学发展前途的理论著作相继出现，在航空地图、飞机位置线理论、磁罗盘理论、航行测量的理论及应用、无线电领航设备和天文领航设备的应用等基础上，领航的手段和方法取得了突飞猛进的发展。

20 世纪 20 年代初，无线电技术开始用于导航，在第二次世界大战期间和战后，无线电领航的发展十分迅速，无方向信标系统（NDB/ADF）、全向信标系统（VOR）、测距仪系统（DME）、仪表着陆系统（ILS）等各种无线电导航系统不断研制成功并用于航空飞行，无线电领航应运而生。

由于无线电领航采用无线电波传播，无线电波的传播受到外界条件的限制较小，通过无线电测角、测距（或测距差）获得导航参数，具有速度快、精度高的优势，所以无线电领航使飞机能够在复杂气象条件下安全地起飞和降落，能够准确地沿航线准时飞到目的地，增强了飞机的机动飞行能力，取得了极大的经济效益，在当前是一种主要的领航方法。

随着电子技术、计算机技术的飞速发展，导航系统向作用距离远、自动化程度高等方面发展，先后研制和使用了一些远程导航系统，如罗兰 C（LORAN-C）、奥米伽导航系统（OMEGA）、多普勒雷达（DRA）和惯性导航系统（INS）/惯性基准系统（IRS）。随着空间技术、大地和大气测量技术、数字通信和计算机技术的迅速发展，卫星无线电导航也迅速发展，如美国 1973 年开始研制、1995 年宣布达到全运行能力的全球定位系统（GPS），1982 年

苏联研制、后来建成归俄罗斯所有的全球轨道导航卫星系统（GLONASS），正在建设的欧洲“伽利略”卫星导航系统和我国的北斗卫星导航系统等。

各种现代导航系统的发展和完善，使区域导航（RNAV）成为可能。导航方法从传统的向背台飞行发展到了在导航系统的覆盖范围和能力限度内从航路点到航路点的任意飞行。导航的理念从基于信号的导航转变到了基于性能的导航，随着基于性能导航（PBN）的发展和完善，“自由飞行”将成为可能。

尽管领航方法经历了地标领航、罗盘领航、无线电领航、现代导航等，但在飞行过程中，飞行员都还要通过适当的领航方法来确定飞机的位置，根据飞机相对于航线的位置来决定如何保持飞机的航向，并且需要考虑什么时候飞到预定地点。所以确定飞机位置、飞机航向和飞行时间是领航需要解决的三个基本问题。

1 领航基础知识

1.1 地球及航线知识

1.1.1 地球的形状和大小

地球自然表面是一个崎岖不平的不规则表面，有高山、丘陵、平原、盆地和海洋。人们对地球形状的认识经历了漫长的过程，近代大地测量发现地球更接近于两极扁平的椭球形；随着科学技术的发展，通过分析人造地球卫星对地球观察的资料，发现地球是一个不规则的“近似于梨形的椭球体”，它的极半径略短，赤道半径略长，北极略突出，南极略扁平，如图 1.1 所示。图中，实线为地球的真实形状，虚线为理想椭球体。

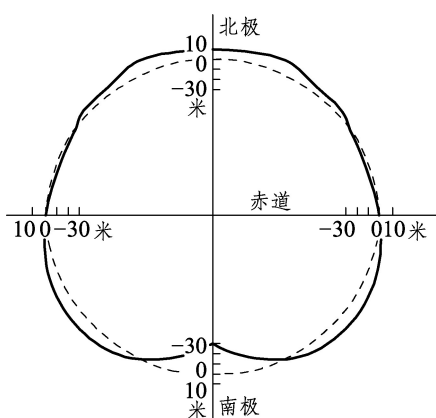


图 1.1 地球真实形状与理想椭球体

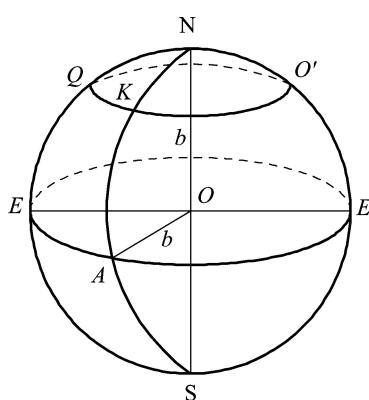


图 1.2 地球椭球体

由于地球表面极不规则，因而难以用数学公式表示，为了测量和制图工作的需要，选用

一个同大地球体相近的可以用数学方法来表达的旋转椭球体来代替，简称地球椭球体，如图 1.2 所示。地球椭球体面是一个规则曲面，是测量和制图的基础。地球椭球体的大小，由于推求所用资料、年代和方法不同，所得地球椭球体的描述参数也不同。从 1978 年起，我国采用国际大地测量 (IAG) 和地球物理联合会 (IUGG) 第十六届大会所推荐的“1975 年基本大地数据”给定的椭球体。其数据为：东西半径（长半轴 a ）为 6 378.140 km，南北半径（短半轴 b ）为 6 356.755 km，地球长、短半轴只相差 21.385 km，椭球体的扁平率 $e = 1/298.257$ 。

在现代民航运输中广泛应用的全球定位系统 (GPS) 采用的 WGS-84 椭球，是国际大地测量和地球物理联合会第十七届大会所推荐的椭球体。其测量数据为：东西半径 a 为 6 378.137 km，南北半径 b 为 6 356.752 km，扁平率为 $e = 1/298.257$ 。

为了计算方便，通过等体积计算，将地球椭球体换算成一个正球体，这时地球等体积正球体平均半径 $R = 6 371$ km。

1.1.2 地理坐标系与地理坐标

1.1.2.1 地理坐标系

地理坐标系是指用地理经纬度表示地球表面上点位的空间坐标系。地球体的质量中心称为地心，地球的旋转轴称为地轴。地轴的北端叫北极，南端称为南极；过地心与地轴垂直的平面与地球表面的交线是一个圆，称为地球的赤道；过英国格林尼治（格林威治）天文台旧址和地轴的平面，与地球椭球面的交线称为起始经线（起始子午线）。以地球的北极、南极、赤道和起始经线等作为基本元素，即可构成基于地球的球面地理坐标系。

1.1.2.2 纬度 (LAT—Latitude)

利用与赤道平行的平面去切地球，与地球表面的交线称为纬圈，纬圈的一段称为纬线，所有纬线都是互相平行的。地球表面任何地点都有一条纬线通过，它代表该地点的东西方向，如图 1.3 所示。

每一条纬线的地理位置，用它的坐标——纬度 (φ 或 LAT) 来表示。某纬线的纬度，就是该纬线上任意一点与地心的连线同赤道平面的夹角，称为该地点的纬度，单位为度、分、秒。以赤道为 0° ，向南、北两极各 90° ，赤道以北的称为北纬 (φ_N 或 LAT N)，赤道以南的称为南纬 (φ_S 或 LAT S)。同一纬圈上各地点的纬度相同。如图 1.4 所示，北京的纬度是北纬 $39^\circ 57'$ ，常见的表示形式为：① $\varphi_N 39^\circ 57'$ ；② $39^\circ 57' N$ ；③ $N 39^\circ 57'$ ；④ $LAT N 39^\circ 57'$ 。

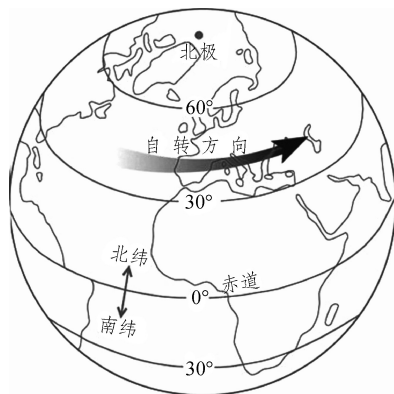


图 1.3 纬线

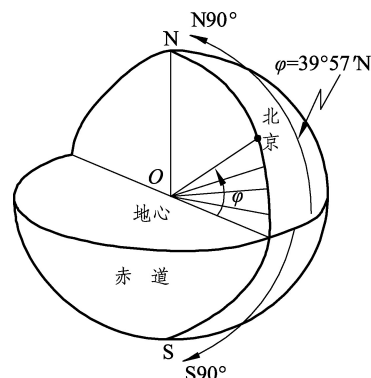


图 1.4 纬度

1.1.2.3 经度 (LONG—Longitude)

通过地轴的平面与地球表面的交线称为经圈，每个经圈都被两极分为两半，每一半或一段称为经线，如图 1.5 所示。地球表面上任何地点都有一条经线通过，它代表该地点的南北方向。每一条经线的地理位置，用它的坐标——经度 (λ 或 LONG) 来表示。某条经线的经

度，就是该地方经线所在平面和起始经线所在平面的夹角，称为该地点的经度，单位为度、分、秒。以起始经线为 0° ，向东、西各 180° ，起始经线以东的称为东经 (λ_E 或 LONG E)，起始经线以西的称为西经 (λ_W 或 LONG W)。如图 1.6 所示，北京的经度为东经 $116^\circ 19'$ ，常见的表示形式为：① $\lambda_E 116^\circ 19'$ ；② $116^\circ 19'E$ ；③ $E116^\circ 19'$ ；④ LONG E116 $^\circ$ 19'。

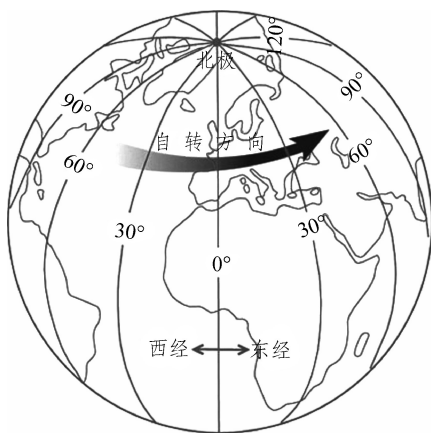


图 1.5 经线

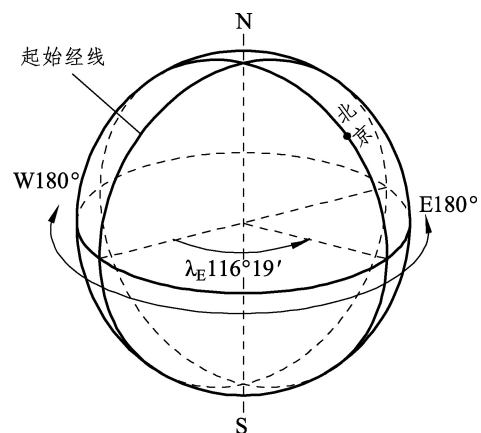


图 1.6 经度

1.1.2.4 地理坐标

地面上任何地点都有且仅有一条纬线和一条经线通过。在地图或地球仪上标画出每一地点的经、纬度，就可以建立一个完整的地理坐标网，如图 1.7 所示。根据某地点的经、纬度（地理坐标），就可以在地球仪或地图上查出该地点的地理位置；反之，也可以通过已知位置点查出其经、纬度（地理坐标），如图 1.8 所示。飞行中，可以随时利用经、纬度来报告飞机的位置，也可以在机载设备中进行航路点（位置）的经、纬度输入，完成领航工作。

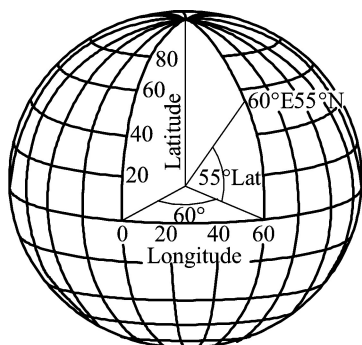


图 1.7 经纬度

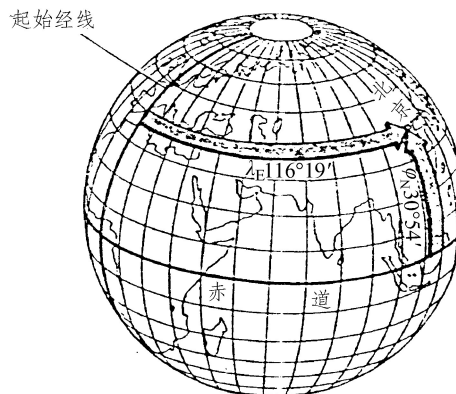


图 1.8 地理坐标与地理位置

1.1.3 地球磁场 (Geomagnetic Field)

地球存在磁场，很像在它的内部放置着一个大磁铁，如图 1.9 所示。地球磁场的两个磁极称为地球磁极。地球磁场的南极在地理北极附近，约位于北纬 74.9°、西经 101°处；地球磁场的北极在地理南极附近，约位于南纬 67.1°、东经 142.7°处。磁轴不通过地心，而且两磁极的位置亦绕地理两极，沿椭圆形轨道缓慢作有规律的运动，运动周期约 960 年。

在领航中，习惯上将地球磁场的南极称作磁北极，以与地理北极相对应；将地球磁场的北极称作磁南极，以与地理南极相对应，如图 1.10 所示。

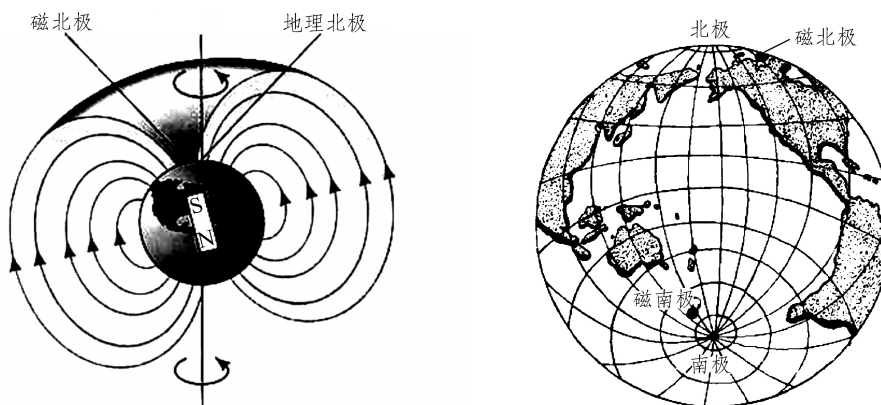


图 1.9 地球磁场

图 1.10 磁北极和磁南极

某一位置的地球磁场在水平面和垂直面上的方向，用磁差和磁倾表示；地球磁场的强度，用地磁力表示。磁差、磁倾和地磁力（地球磁场强度）称为地球磁场三要素，如图 1.11 所示。

1.1.3.1 磁差 (MV 或 VAR—Magnetic Variation)

地球仪或地图上所标画的经线，即通过地轴平面与地球表面的交线，都是指向地理南北极的方向线，称为真经线；真经线的北端指向地理北极，称为真北 (True North, N_T)。稳定的自由磁针所指的南北方向线，即地球表面连接地磁南北极的方向线，是地球磁场水平分量的方向线，称为磁经线；磁经线的北端指向磁北极，称为磁北 (Magnetic North, N_M)。

由于地磁南北极与地理南北极不重合，使得稳定的自由磁针指示的方向并不一定指向地理南北极，而是指向地磁的南北极，即各地点的磁经线常常偏离真经线。磁经线北端偏离真经线北端的角度，称为磁差或磁偏角，用 MV 或 VAR 表示，如图 1.12 所示。以真经线北端为基准，磁经线北端偏在真经线北端东面（右边）为正磁差，偏在真经线北端西面（左边）为负磁差；磁差范围 $-180^\circ \sim +180^\circ$ ，磁差的常见表示形式有：① $MV - 2^\circ$ ；② $VAR 2^\circ W$ 。磁差随时间、地区变化而变化。

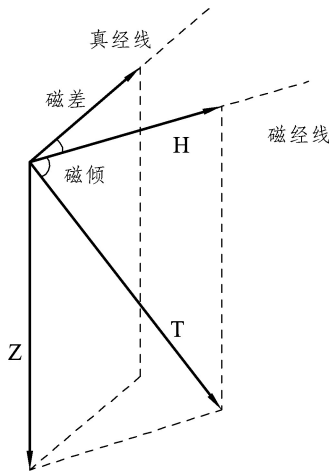


图 1.11 地磁要素

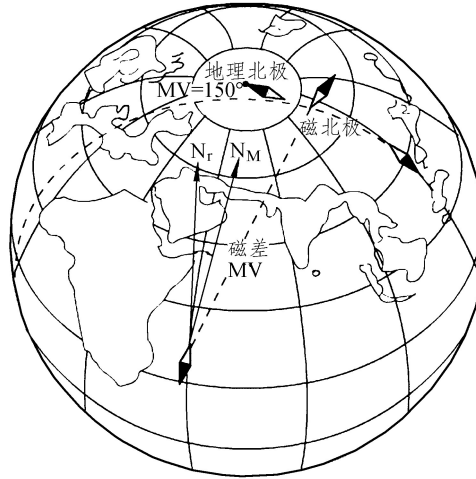
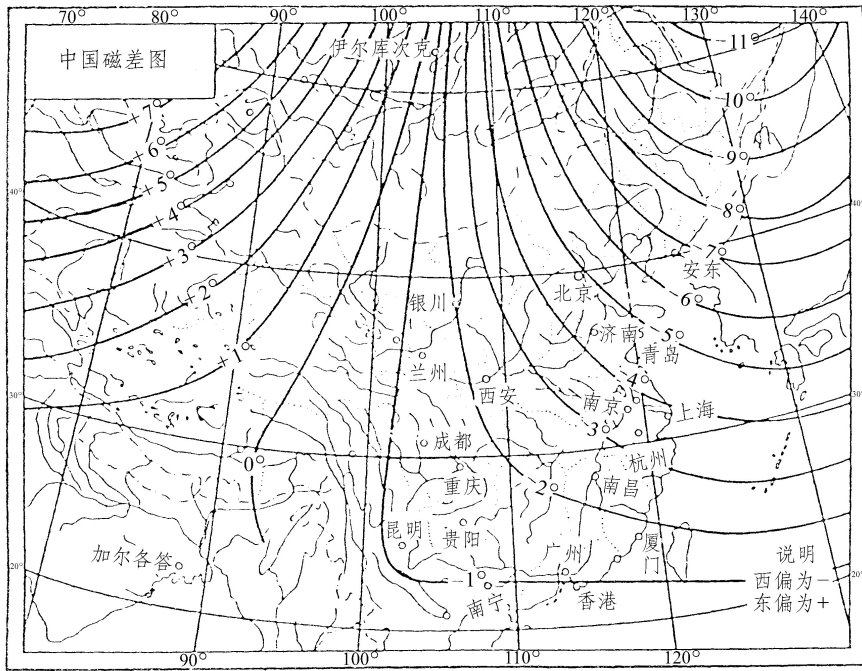
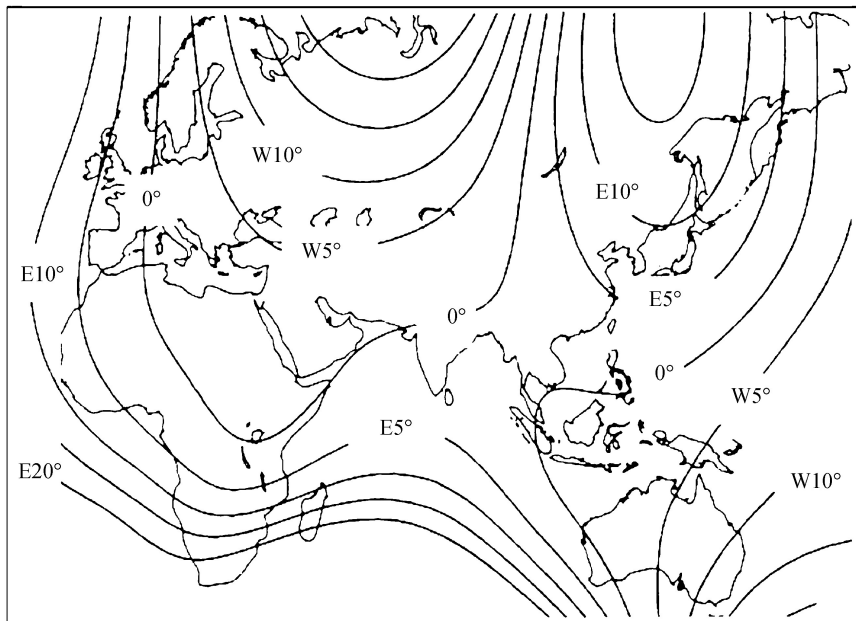


图 1.12 磁差

某一地点的磁差，可以从航空地图或磁差图上查出。在航空地图或磁差图上，通常把磁差相等的各点，用紫色的虚线连接起来，并标出磁差的数值，这些虚线就称为等磁差曲线，可供飞行时查取磁差之用。图 1.13 所示为中国磁差图和全球磁差图。



(a) 中国磁差图



(b) 全球磁差图

图 1.13 中国磁差图和全球磁差图