

空中交通管理系列教材  
KONGZHONG JIAOTONG GUANLI XILIE JIAOCAI

Linghangxue

领航学 (第二版)

程 擎 江 波 ● 编 著



西南交通大学出版社

空中交通管理系列教材



NUAA2013083263

V249.3  
1015-2

# 领航学

(第二版)

程 擎 江 波 编著  
何秋钊 审定



西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

2013083263

## 内容简介

本书首先介绍领航基础知识,重点介绍了飞机在风中的航行规律,地标罗盘领航、无线电领航、仪表进近着陆方法,并阐述了区域导航、所需导航性能、基于性能的导航等现代导航的概念和方法,重点介绍了飞行管理系统的原理、应用,最后介绍了飞行过程的领航程序。

本书可作为交通运输(空中交通管理、飞行签派、航行情报)专业本科学生使用的教材,也可作为交通运输专业专升本教材,还可供飞行人员、其他航空管理人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

领航学/程擎,江波编著. —2版. —成都:西南交通大学出版社,2013.6  
空中交通管理系列教材  
ISBN 978-7-5643-2323-3

I. ①领… II. ①程… ②江… III. ①航空导航—教材 IV. ①V249.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第119016号

---

空中交通管理系列教材

领航学

(第二版)

程擎 江波 编著

\*

责任编辑 黄淑文

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸:185 mm × 260 mm 印张:19

字数:473千字

2013年6月第2版 2013年6月第3次印刷

ISBN 978-7-5643-2323-3

定价:42.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

8388808108

## 本书用英美制单位与国际单位的换算关系

$$1 \text{ ft}=0.304 8 \text{ m}$$

$$1 \text{ m}=3.281 \text{ ft}$$

$$1 \text{ mile}=1.609 \text{ km}$$

$$1 \text{ n mile}=1.852 \text{ km}$$

$$1 \text{ kn}=1 \text{ n mile/h}=1.852 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ lb}=0.454 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg}=2.205 \text{ lb}$$

$$1 \text{ inHg}=33.86 \text{ hPa}$$

$$760 \text{ mmHg}=29.92 \text{ inHg}=1 013.25 \text{ hPa}$$

注：因飞行系统的需要，教材中保留部分英美制单位，未统一为国际标准单位。

# 前 言

领航学是交通运输专业的一门专业基础课，内容包括领航基础知识、基本领航方法以及现代导航方法、领航准备和空中实施程序及方法。空中交通管理、飞行签派、航行情报等专业的学生在学习专业知识之前，首先应学习领航学课程，以便理解飞机位置与航线之间相互关系，熟悉航空器航行的规律和方法，掌握航空器基本飞程序及空中导航设备的功用、主要使用参数，以利于对航空器进行管制和放行控制。

原《领航学》教材是依据交通运输专业领航学教学大纲，参考多方面资料编写的，于1998年6月投入教学使用。随着民航快速发展，导航系统发生了很大的变化，空中交通管理、飞行签派和航行情报等人员对领航知识提出了新的要求，2009年，中国民航飞行学院决定对领航学教材进行重新编写。新版《领航学》教材按照新大纲，重新设置教学内容，收集了大量资料，重新研讨了该学科的知识体系和学科教学特点，对教材进行了大幅度的修订改编，删除了一些陈旧的内容，增加了许多新知识、新技术，使教材的内容、结构、体系贴近专业教学需要，更加符合民航发展的要求。

本教材共分8章，第1章领航基础知识，第2章飞机在风中的航行规律，第3章地标罗盘领航，第4章无线电领航，第5章仪表进近着陆，第6章现代导航方法，第7章飞行管理系统，第8章飞行过程的领航程序，由中国民航飞行学院程擎、江波同志编写。绪论、第2、3、5、6、7、8章由程擎编写，第1、4章由江波编写。全书由程擎统稿，何秋钊审阅。领航学教学组的其他老师对教材也提出了很好的建议，孙立新博士、研究生杨荣盛对教材进行了部分校对工作，杨荣盛、牟俊宇同学制作了部分图形。

本教材在编写过程中，得到了中国民航飞行学院空管学院、教务处、研究生处等单位的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促，编者资料不全、水平有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

中国民航飞行学院 编者

2013年1月

# 目 录

绪 论	1
1 领航基础知识	3
1.1 地球及航线知识	3
1.2 常用的航空地图	12
1.3 基本地图作业	25
1.4 高 度	30
1.5 航 向	43
1.6 空 速	50
1.7 飞行时间	58
1.8 基本领航计算	67
复习思考题	73
2 飞机在风中的航行规律	78
2.1 风的表示	78
2.2 飞机在风中的运动	79
2.3 航行速度三角形	81
复习思考题	88
3 地标罗盘领航	90
3.1 推算应飞航向和时间	90
3.2 确定飞机位置	96
3.3 检查航迹	103
3.4 修正航迹	108
3.5 空中风的计算	114
复习思考题	118
4 无线电领航	121
4.1 无线电方位	121
4.2 背电台飞行	129
4.3 进入预定方位线	137
4.4 DME 系统	141
4.5 无线电定位	145
4.6 向电台飞行	151

复习思考题 .....	159
<b>5 仪表进近着陆 .....</b>	<b>163</b>
5.1 仪表进近程序概述 .....	163
5.2 转弯诸元的计算 .....	173
5.3 沿直角航线起始进近 .....	176
5.4 沿修正角航线起始进近 .....	188
5.5 入航转弯方向偏差的判断和修正 .....	196
5.6 非精密进近程序的五边进近 .....	197
5.7 精密进近程序的五边进近 .....	201
复习思考题 .....	205
<b>6 现代导航方法 .....</b>	<b>207</b>
6.1 区域导航 .....	207
6.2 所需导航性能 .....	213
6.3 基于性能的导航 .....	214
6.4 区域导航系统的误差分析 .....	219
复习思考题 .....	223
<b>7 飞行管理系统 .....</b>	<b>225</b>
7.1 飞行管理系统的组成 .....	225
7.2 飞行管理系统的传感器 .....	228
7.3 飞行管理系统的功能 .....	239
7.4 飞行管理系统的部件 .....	241
7.5 飞行管理计算机 .....	248
7.6 飞行管理系统飞行前准备 .....	258
7.7 飞行管理系统在飞行中的应用 .....	264
复习思考题 .....	273
<b>8 飞行过程的领航程序 .....</b>	<b>274</b>
8.1 飞行前领航准备 .....	274
8.2 飞行中领航实施 .....	280
8.3 我国民用航空导航技术政策 .....	292
复习思考题 .....	293
<b>参考文献 .....</b>	<b>295</b>

# 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。

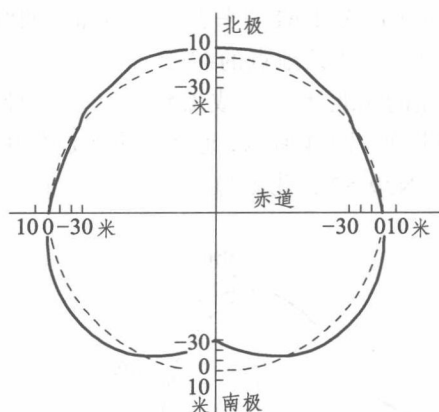


图 1.1 地球真实形状与理想椭球体

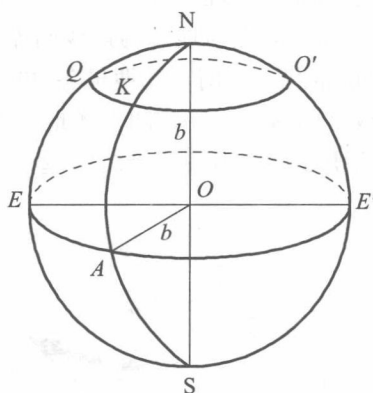


图 1.2 地球椭球体

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  $R = 6371$  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的空间坐标系。地球体的质量中心叫地心，地球的旋转轴叫地轴。地轴的北端叫北极，南端叫南极；过地心与地轴垂直的平面与地球表面的交线是一个圆，叫地球的赤道；过英国格林威治天文台旧址和地轴的平面，与地球椭球面的交线叫起始经线（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，与地球表面的交线叫做纬圈，纬圈的一段叫纬线，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（ $\varphi$  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，叫该地点的纬度，单位为度、分、秒。以赤道为  $0^\circ$  量起，向南、北两极各  $90^\circ$ ，赤道以北的叫北纬（ $\varphi_N$  或 LAT N），赤道以南的叫南纬（ $\varphi_S$  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  $LAT N 39^\circ 57'$ 。

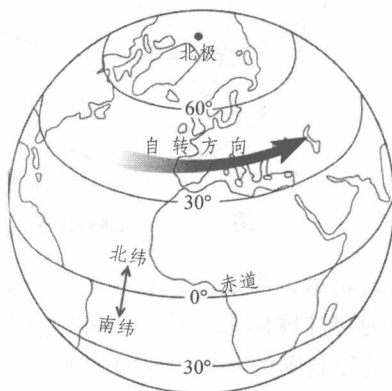


图 1.3 纬线

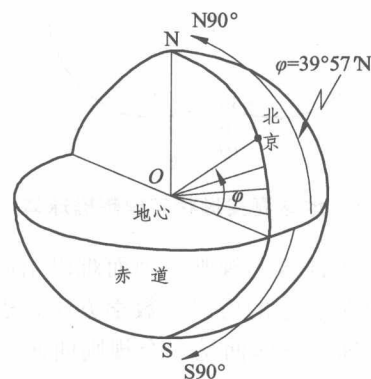


图 1.4 纬度

### 1.1.2.3 经度（LONG—Longitude）

通过地轴的平面与地球表面的交线叫经圈，每个经圈都被两极分为两半，每一半或一段

叫经线，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 ( $\lambda$  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，叫该地点的经度，单位为度、分、秒。以起始经线为  $0^\circ$  量起，向东、西各  $180^\circ$ ，起始经线以东的叫东经 ( $\lambda_E$  或 LONG E)，起始经线以西的叫西经 ( $\lambda_W$  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  $E116^\circ 19'$ 。

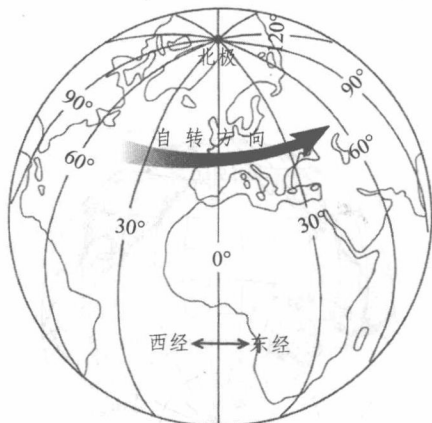


图 1.5 经线

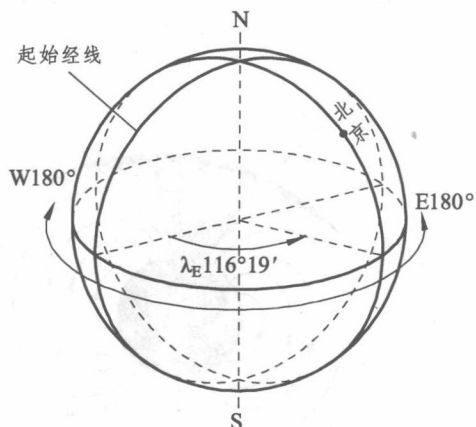


图 1.6 经度

### 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（即地理坐标），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。

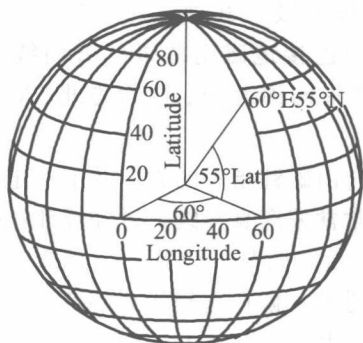


图 1.7 经纬度

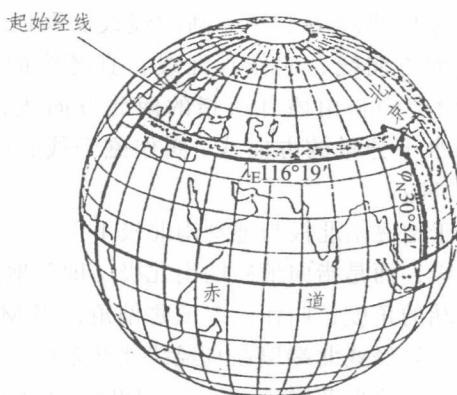


图 1.8 地理坐标与地理位置

### 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叫地球磁极。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。

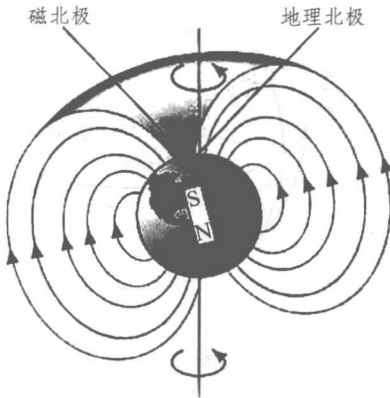


图 1.9 地球磁场



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，叫作真经线；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，叫作磁经线；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，叫作磁差或磁偏角，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。

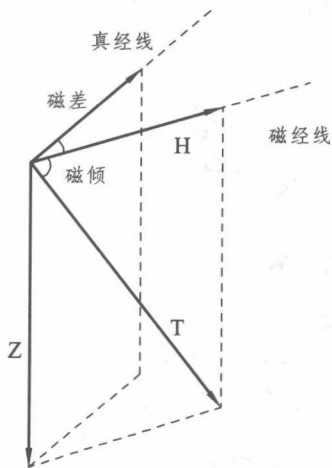
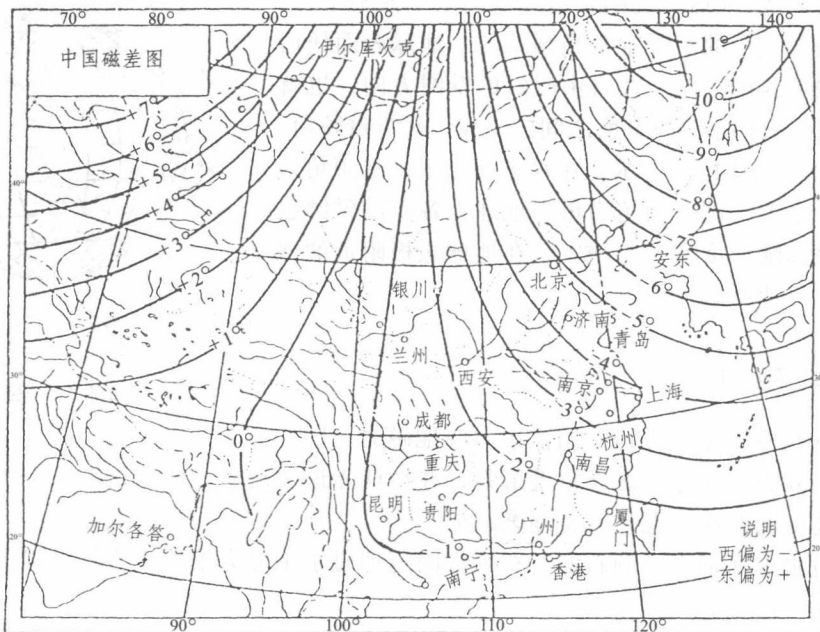


图 1.11 地磁要素

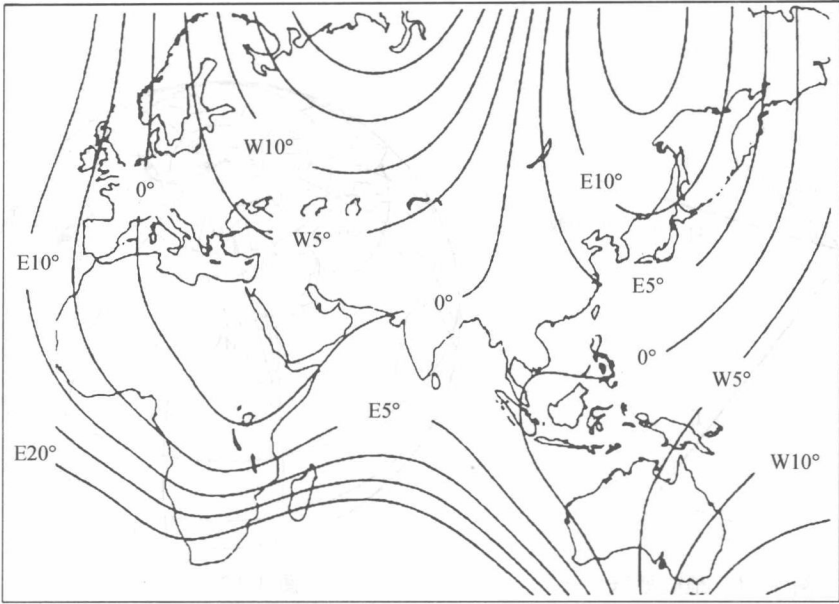


图 1.12 磁差

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，这些虚线就叫等磁差曲线，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

### 1.1.3.2 磁 倾

在大多数地区,地球磁场的磁力线都同水平面不平行,所以支点同重心重合的磁针常常是倾斜的。地球表面任何一点的地球磁场强度方向(及自由磁针的轴线方向,也就是磁力线的切线方向)与水平面之间的夹角,就叫磁倾角,简称磁倾( $\theta$ ),如图 1.14 所示。在水平面之下,磁倾角为正;在水平面之上,则磁倾角为负。地球上各点的磁倾也常不相同,磁倾随纬度增高而增大,在地球磁极附近的地区,磁倾最大可达  $90^\circ$ 。

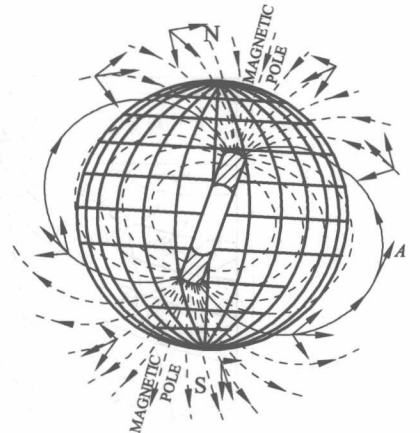


图 1.14 磁倾

### 1.1.3.3 地磁力

地球磁场对磁体(如磁针)的作用力叫地磁力。同一磁体所受的地磁力,在地球磁极附近最强,在地球赤道上最弱。地磁力的大小还同飞行高度有关:随着高度的升高,地磁力将逐渐减弱。

地磁力对水平面常常是倾斜的。在磁极附近地磁水平分力很弱,磁针难以准确地指示出南北方向。

### 1.1.3.4 地磁要素的变化

根据各地实际测量的结果,地磁要素不仅因地区不同,而且随着时间缓慢地变化。

### 1) 世纪变化和磁差年变率

由于地磁南北极围绕地理南北极沿椭圆形轨道缓慢作有规律的移动,运动周期约 960 年,因此地磁要素也相应发生变化。地磁要素长期有规律的变化叫世纪变化,变化的周期大约是 960 年,其中对领航准确性影响较大的是磁差的变化。磁差世纪变化的年平均值叫磁差年变率,磁差年变率一般不超过  $10'$ ,但随着时间的增加积少成多,应予以修正。为了在领航中准确地确定某地点当前的磁差,应当根据地图上等磁差曲线的年份、磁差及注明的磁差年变率进行修正计算。计算某地当年的磁差时,先按等磁差曲线查取磁差,再根据航图图例上标注的等磁差曲线数值的年份、磁差年变率进行修正。

### 2) 周年变化和周日变化

地磁要素以年和日为周期的变化,叫周年变化和周日变化。但这些变化很小,实际应用中可忽略不计。

**例 1.1** 通过查询地图上等磁差线,某地 1960 年磁差为  $-1.5^\circ$ ,年变率为  $-0.8'$ ,求该地 2011 年磁差。

**解:**  $MV_{(2011)} = -1.5^\circ + (2011 - 1960) \times (-0.8') \approx -2^\circ$

## 1.1.4 航线

飞机从地球表面一点(起点)到另一点(终点)的预定的航行路线叫航线,也称为预计航迹。

由于地面导航设施、空中交通管理、飞行任务、地形等因素的影响,一条航线常常由起点、转弯点、终点等航路点构成,其中还包括指定的或飞行员自选的检查点,这样的航线我们称为航路。

在目视飞行规则(VFR)条件下飞行,通常以起飞机场作为航线起点,以着陆机场作为航线终点,转弯点和检查点则是一些明显易辨的地面景物。而在仪表飞行规则(IFR)条件下飞行,通常以起飞机场和着陆机场的主降方向远距台或附近的归航台为航线起点和终点,而转弯点和检查点则是一些无线电导航点或定位点;实施区域导航时,这些航路点则是一些选定的点(采用经、纬度表示)。

航线的方向和距离用航线角和距离表示,领航使用的航线有大圆航线和等角航线。

### 1.1.4.1 航线角和航线距离

航线(航段)的方向,用航线角(Course)表示,即从航线起点的经线北端顺时针量到航线(航段)去向的角度,如图 1.15 所示。航线角范围  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。因经线有真经线、磁经线,所以航线角用真航线角(TC)和磁航线角(MC)两种来表示,换算关系式为:

$$MC = TC - MV \quad (1.1)$$

领航上常用的航线角为磁航线角。进行航线角换算时,应注意航线角的取值范围为  $0^\circ \sim 360^\circ$ ;如果出现超界的情况,应通过  $\pm 360^\circ$  将其转化到有效范围内。



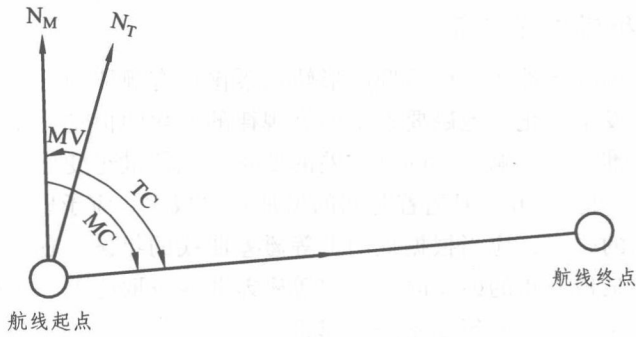


图 1.15 航线角及换算

航线距离 ( $D - Distance$ ) 是航线起点到终点间的地面长度, 它等于各航段长度之和, 其计算方法按《飞行管制 1 号规定》执行。航线距离我国民航上常用公里 (km) 和海里 (n mile) 为单位, 也有以英里 (mile) 为单位的, 规定地球上大圆弧 1' 的长度为 1 n mile。三者间的关系为:  $1 \text{ n mile} = 1.852 \text{ km} = 1.15 \text{ mile}$ 。飞行中, 三者可用民航五型尺进行计算, 计算的尺形如图 1.16 所示。海里指标、英里指标和三角指标中的任一个, 在对向固定尺上的某一数值时, 另外两个指标在固定尺上所对的数值, 分别是它们换算的结果。

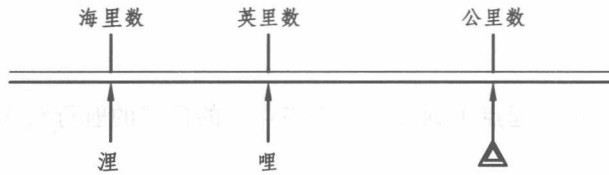


图 1.16 距离单位间的换算

### 1.1.4.2 大圆航线和等角航线

航线按其构成方法分为大圆航线 (GC - Great Circle) 和等角航线 (RL - Rhumb Line) 两种类型, 如图 1.17 所示。

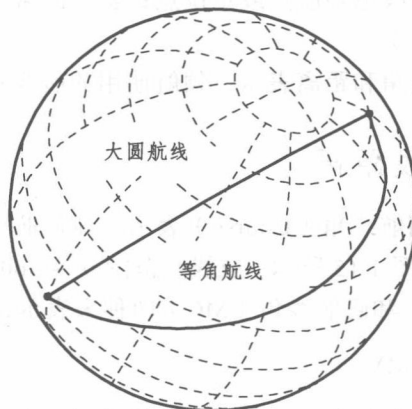


图 1.17 大圆航线和等角航线