

# K

ONGZHONG LINGHANGXUE

# 空中领航学

张 焕 编著



西南交通大学出版社

# 空中领航学

张 焕 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书是按照民航飞行学院专业教材工作委员会制定的飞机/直升机架驶专业“空中领航学”教学大纲编写的。其主要内容包括：领航基础知识；基本领航方法；仪表进近着陆；现代导航方法。

本书可作为飞机/直升机驾驶专业的教材，也可供与飞机运营有关的管制员、情报员、签派员及部分管理人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

空中领航学 / 张焕编著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2003.10(2006.11 重印)  
ISBN 7-81057-734-3

I. 空... II. 张... III. 航空导航 IV. V249.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 057568 号

---

## 空 中 领 航 学

张 焕 编 著

\*  
责任编辑 刘莉东  
封面设计 肖 勤

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: 87600564)

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

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 24.375

字数: 602 千字 印数: 4 001—6 000 册

2003 年 10 月第 1 版 2006 年 11 月第 3 次印刷

ISBN 7-81057-743-3/V · 014

定价: 29.50 元

# 前 言

“空中领航学”是飞机/直升机驾驶专业的一门专业课，它包括空中领航的基础知识、领航设备及方法、领航准备和空中实施程序及方法，是飞机驾驶专业学生必须熟练掌握的一门学科。对于飞机驾驶员来说，不能熟练掌握空中领航程序和方法，就不能成为一个全面的、合格的机长。

“空中领航学”教材是按照民航飞行学院专业教材工作委员会制定的教材编写计划实施的，教材编写的依据是审定通过的飞机/直升机驾驶专业“空中领航学”教学大纲。

教材编写过程中，既注意了教材内容的系统性，根据本学科的内在联系，前后呼应，使各章节之间联系紧密；又注意了内容的先进性，吸收了与之相关的新技术、新成果；妥善处理了内容的深度和广度。从民航飞行的实际出发，通过大量的例题和实例来阐述基本概念、基本原理和基本方法，以利于培养学生的分析问题、解决问题、实际应用及操作能力；同时为了便于复习和自学，篇末有复习思考题，并附有主要参考文献。需注意的是，书中时间表示方法采用的是民航习惯的表示方式，如 2h10min10s 表示为 2.10.10。

教材于 1997 年 8 月编写完成并投入教学使用，经过两年试用，收集了大量的反馈意见，1999 年 8 月进行了第一次修订。2003 年 5 月进行第三次修订，并正式出版。在教材编写和修订过程中，国际航空公司、南方航空公司、东方航空公司、西南航空公司等单位和个人提供了大量的资料和方便；中国民航飞行学院教务处及教材科、高教研究室为教材印刷出版做了大量的工作，在此一并表示感谢！

全书由徐建明、张胜怀同志审阅并提出了宝贵意见，编者表示衷心感谢！

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中存在的缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

于中国民用航空飞行学院

## 主要英美制单位与国际标准单位的换算关系

$$1 \text{ ft} = 0.305 \text{ m}$$

$$1 \text{ n mile (NM)} = 1.852 \text{ km} = 1\,852 \text{ m}$$

$$1 \text{ kn (kt)} = 1.852 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ inHg} = 33.86 \text{ hpa} = 33.86 \text{ mb}$$

$$1 \text{ lb} = 0.453\,596 \text{ kg}$$

$$1 \text{ gal (英)} = 4.546\,092 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ gal (美)} = 3.785\,412 \text{ dm}^3$$

注：因飞行系统的需要，教材中保留部分英美制单位，未统一为国标标准单位。

# 目 录

|                   |   |
|-------------------|---|
| 0 绪 论             | 1 |
| 0.1 空中领航发展简史      | 1 |
| 0.2 空中领航学研究的问题和内容 | 1 |
| 0.3 空中领航的环节       | 2 |

## 第一篇 领航基础

|                   |    |
|-------------------|----|
| 1 地球及地图           | 3  |
| 1.1 地球知识          | 3  |
| 1.2 常用的航空地图       | 10 |
| 1.3 基本地图作业        | 22 |
| 2 基本领航元素          | 29 |
| 2.1 高度的测量计算及飞行高度层 | 29 |
| 2.2 航向的测量计算       | 41 |
| 2.3 空速的测量计算       | 45 |
| 2.4 时间的测量计算       | 53 |
| 2.5 基本领航计算        | 61 |
| 复习思考题             | 67 |

## 第二篇 基本领航方法

|                |     |
|----------------|-----|
| 3 飞机在风中的航行规律   | 68  |
| 3.1 飞机在风中的航行情形 | 68  |
| 3.2 航行速度三角形    | 70  |
| 3.3 偏流、地速的影响因素 | 73  |
| 4 地标罗盘领航       | 76  |
| 4.1 推算应飞航向和时间  | 76  |
| 4.2 确定飞机位置     | 81  |
| 4.3 检查航迹       | 88  |
| 4.4 修正航迹       | 95  |
| 4.5 计算空中风      | 101 |
| 4.6 地标罗盘领航地面准备 | 105 |
| 4.7 地标罗盘领航空中实施 | 116 |
| 5 无线电领航        | 134 |
| 5.1 概述         | 134 |

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 5.2   | 无线电方位        | 137 |
| 5.3   | 进入预定方位线      | 156 |
| 5.4   | 向电台飞行        | 163 |
| 5.5   | 背电台飞行        | 184 |
| 5.6   | VOR/DME 领航方法 | 204 |
| 5.7   | 无线电定位        | 211 |
| 5.8   | 无线电领航地面准备    | 219 |
| 5.9   | 无线电领航空中实施    | 223 |
| 复习思考题 |              | 227 |

### 第三篇 仪表进近着陆

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 6     | 仪表进近程序概述     | 229 |
| 6.1   | 程序构成及标准      | 229 |
| 6.2   | 转弯诸元的计算      | 234 |
| 7     | 仪表进近着陆方法     | 237 |
| 7.1   | 沿直角航线起始进近方法  | 237 |
| 7.2   | 沿修正角航线起始进近方法 | 250 |
| 7.3   | 四转弯过程中的判断与修正 | 257 |
| 7.4   | 非精密进近程序的五边进近 | 260 |
| 7.5   | 精密进近程序的五边进近  | 267 |
| 复习思考题 |              | 277 |

### 第四篇 现代导航方法

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 8    | 区域导航概述                 | 279 |
| 8.1  | 区域导航使用的导航系统            | 279 |
| 8.2  | 区域导航的精度要求              | 280 |
| 8.3  | 区域导航 (RNAV) 的特点        | 280 |
| 8.4  | 区域导航 (RNAV) 对机载设备的要求   | 281 |
| 8.5  | 区域导航 (RNAV) 的基本原理      | 281 |
| 8.6  | 区域导航的应用                | 283 |
| 9    | VOR/DME 为基础的区域导航       | 284 |
| 9.1  | VOR/DME 区域导航原理         | 284 |
| 9.2  | VOR/DME 区域导航 (RNAV) 系统 | 285 |
| 9.3  | VOR/DME RNAV 的优点       | 287 |
| 10   | 惯性导航系统实施区域导航           | 289 |
| 10.1 | 惯导系统的功能及组成             | 290 |
| 10.2 | 惯性导航系统的基本原理            | 292 |
| 10.3 | 惯性导航系统误差及初始对准          | 294 |
| 10.4 | 平台式惯性导航系统              | 297 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 10.5 捷联式惯性导航系统 .....       | 309 |
| 11 全球导航卫星系统实施区域导航 .....    | 316 |
| 11.1 新航行系统概述 .....         | 316 |
| 11.2 全球导航卫星系统 (GNSS) ..... | 319 |
| 12 飞行管理系统实施区域导航 .....      | 334 |
| 12.1 飞行管理系统的组成及功能 .....    | 335 |
| 12.2 飞行管理系统功能的实现 .....     | 339 |
| 12.3 飞行管理系统的部件 .....       | 347 |
| 12.4 FMS 的飞行前准备 .....      | 355 |
| 12.5 FMS 在飞行中的应用 .....     | 364 |
| 复习思考题 .....                | 378 |
| 参考文献 .....                 | 379 |



# 0 绪 论

空中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。研究空中领航学的目的是为了在不同的航行条件下，使用不同的设备和方法，准确、准时和安全地引导飞机飞向目的地；并在实践的过程中，不断对领航方法及领航设备进行改进。

## 0.1 空中领航发展简史

自从飞机发明以后，空中领航也随之产生了。1804年俄国科学院院士查哈洛夫利用指南针判定飞行方向，以回声测量高度，并且在地图上划出航迹，它是世界上第一位空中领航员；1882年，在俄国圣彼得堡，俄国海军军官莫热依斯基提出了利用罗盘领航的概念。在这一时期，飞机还只能在简单条件下飞行于基地附近，所以，在天气良好时，主要依靠观察地面，利用河流、铁路等显著地标来领航。

经过多次的飞行，人们掌握了风对飞行的影响。1909年，俄国什瓦布斯基求出了偏流的公式，研究了航行速度三角形的解析法和修正偏流飞向目标的方法，同时发明了按照地面基线测定空速的方法。1910~1913年专门为飞行使用的航空地图陆续出世。1914~1918年，俄国的莫斯科航空学院教授朱拉夫琴科，开始将罗盘运用于空中领航，他是世界上第一个证明罗盘领航是主要领航方法的飞行家，同时打开了罗盘领航作云上和夜间飞行的新纪元。

与此同时，空中领航理论也不断发展，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年代后期出现的无线电领航，是随着无线电技术的发展而研制出来的；在二次世界大战期间和战后，无线电领航的发展十分迅速，各种无线电导航设备不断研制成功并用于航空运输。无线电领航的出现，是空中领航方法的一次飞跃，是一个里程碑，它使飞机能够在复杂气象条件下安全起飞和降落，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，是目前一种主要的领航方法。

随着空间技术、大地和大气测量技术、数字通讯和计算机技术的迅速发展，卫星无线电导航也迅速发展。1973年美国开始研制导航全球定位系统，现已研制成功并投入运行。由于卫星导航所具有的优点，受到了世界各国的广泛重视，在1997年已开始投入使用代替部分无线电导航设备。可以预料，卫星导航技术将对未来的导航、通讯及空中交通管制产生深远的影响，这一技术的成功应用将具有划时代的意义。

## 0.2 空中领航学研究的问题和内容

确定飞机位置、飞机航向和飞行时间，是空中领航的三个基本问题。空中领航学就是研

究如何解决这三个基本问题，即领航方法；空中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。

空中领航学研究的主要内容有：

① 领航基础及元素。主要研究地球和地图知识，研究基本领航元素的测定和计算。

② 领航原理和方法。主要研究飞机航行的规律，以及应用这一规律确定飞机位置和基本航行元素的原理和方法。

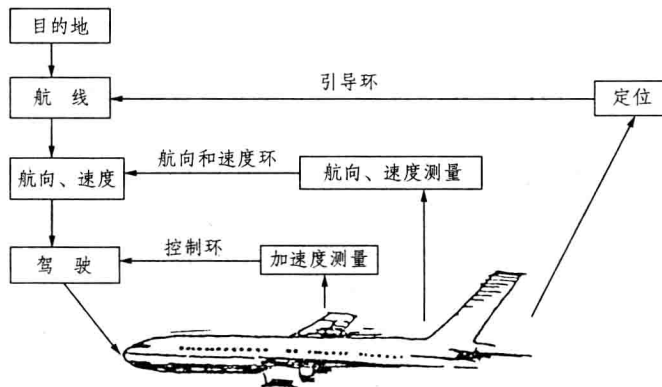
③ 领航设备工作原理和使用。主要从使用角度研究各种领航设备的工作原理，以及使用不同设备测算领航参数的原理和方法。

④ 领航误差及修正原理。主要研究使用不同设备运用不同方法测算的误差及误差的产生原因和规律，以及修正和减小误差，提高准确性的原理和方法。

⑤ 领航准备和实施。主要研究在各种不同条件下，综合使用各种领航设备，进行领航准备和实施领航的程序和方法。

### 0.3 空中领航的环节

空中领航就是有目的、安全地引导飞机从起点到终点的控制过程。其基本的环节如图所示，这一领航过程是具有三个环的闭环系统。



空中领航的基本环节

从图中可以看出：根据飞机飞往的目的地，选择航线，确定航线的距离，安排时间表，这就是飞机的进程；为了使飞机按照事先安排的时间表，沿着所选定的航线飞行，必须要使飞机以一定的航向、速度飞行；为了得到所要求的速度和航向，就要通过飞行仪表来控制飞机飞行的加速度。控制飞机的轴线加速度是为了遵守进程中的时间表；控制飞机横向加速度是为了改变飞机的航向；控制垂直面内的加速度就是为了爬高或下降。

“引导环”是通过领航设备对飞机位置的测量，并根据所规定的航线来确定飞机进程中的航向和速度；“控制环”是得到所要求的航向和速度的一个环节；“航向和速度环”是领航过程中的纽带，它把领航与普通的观测区别开来。

# 第一篇 领航基础

## 1 地球及地图

空中领航学是以地球作为参照系来研究飞机相对于地球的运动及其导航方法的一门应用学科，空中领航学所要解决的三大基本问题都与地球有着直接的关系，而飞行中所必备的航空地图对完成飞行任务具有十分重要的作用。本章在讲解地球和地图知识的基础上，着重介绍航空地图图上作业的基本方法。

### 1.1 地球知识

#### 1.1.1 地球的形状和大小

地球是一个近似于椭球的天体，是太阳系的九大行星之一，它的表面凹凸不平，东西稍膨大，南北稍扁平（见图 1.1 和图 1.2）。

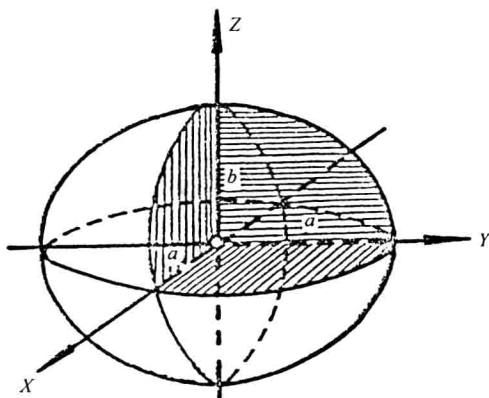


图 1.1 地球的形状和大小

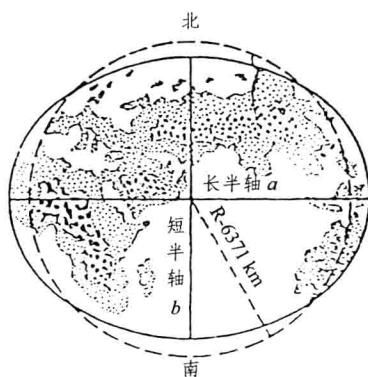


图 1.2 地球的半径

最早测定地球大小的是希腊人，公元 8 世纪我国科学家也测量出了地球经线的长度。目前我国使用的大地坐标系为北京大地坐标系，所选用的参考椭球为 1975 年国际第 16 届大地测量与地球物理联合会推荐的参考椭球，其数据：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

$C=1/298.253$ 。所以，领航学中为了研究问题的方便，通常把地球看作正球体，通过计算：地球的平均半径  $R=6\ 371.004\text{ km}$ 。

随着卫星技术和遥测技术的发展，利用卫星测量方法取得全球性的大地测量数据，大部分国家使用的是美国国防部地图局于 1984 年制订的全球大地坐标系即 WGS-84 坐标系。其测量数据：东西半径  $a$  为  $6\ 378.137\text{ km}$ ，南北半径  $b$  为  $6\ 356.752\text{ km}$ ，扁平率为  $C=1/298.253$ ，计算的平均半径  $R=6\ 371.001\text{ km}$ 。地球的表面陆地凹凸不平，按其地形特征分为平原、丘陵、山地、高原、盆地五类。

### 1.1.2 地理坐标

地理坐标是用来确定在地面和空中运动物体位置的一种最基本、使用最广泛的坐标，用经度和纬度表示。

#### 1.1.2.1 纬度 (LAT—Latitude)

利用假想的平面去切地球，形成无数个平面与地球表面相交的圆圈，其假想平面通过地心的是大圆圈，不通过地心的是小圆圈。平面垂直于地轴的大圆圈叫做赤道，其平面就是赤道平面，赤道平面将地球分成了南、北两个半球；与赤道平行的小圆圈叫做纬圈，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。

每一条纬线的地理位置，用它的坐标——纬度 ( $\phi$  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 ( $\phi_N$  或 LAT N)，赤道以南的叫南纬 ( $\phi_S$  或 LAT S)。同一纬圈上各地点的纬度相同。如图 1.4，北京的纬度是北纬  $39^\circ 57'$ ，常见的表示形式为 ①  $\phi_N 39^\circ 57'$ ；②  $39^\circ 57'N$ ；③  $N 39^\circ 57'$ ；④  $LAT N 39^\circ 57'$ 。

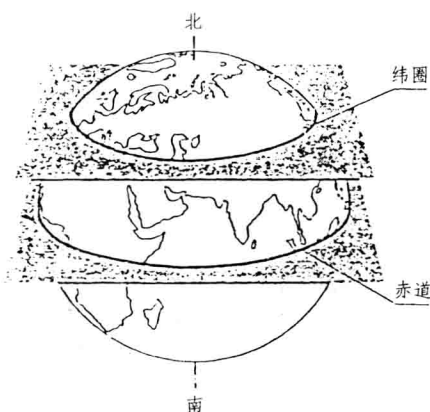


图 1.3 纬圈和纬线

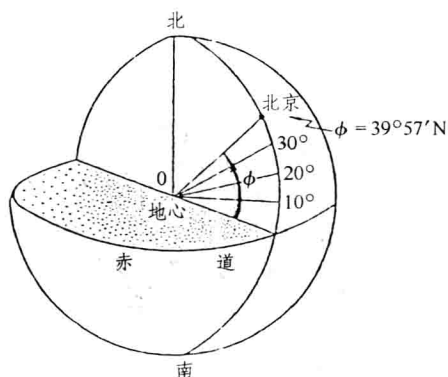


图 1.4 纬度

#### 1.1.2.2 经度 (LONG—Longitude)

通过地球两极的大圆圈叫经圈，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。1884 年国际经度会议决定以通过英国伦敦郊格林威治天文台中心的经线，作为起始经线（也叫主经线或零度经线），其他经线则都叫做地方经线，其所在的平面分别叫做起始经线平面和地方经线平面。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，就是该地方经线平面和起始经线平面的夹角，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，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 经圈和经线

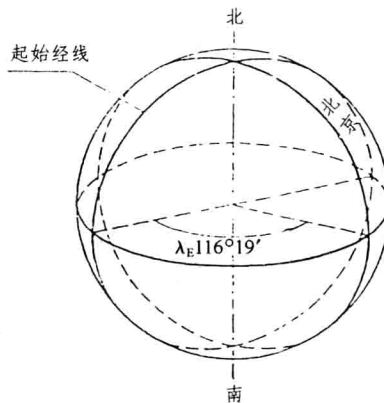


图 1.6 经度

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。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，如图 1.7；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。

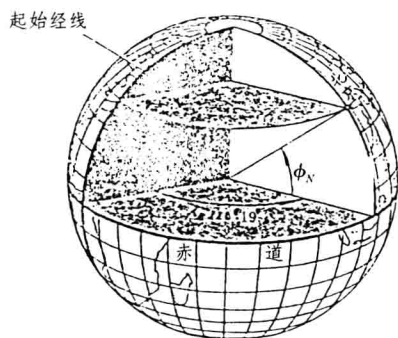


图 1.7 经纬度与地理位置

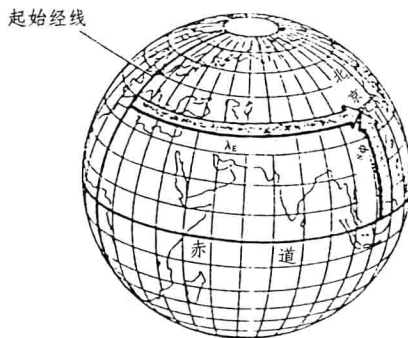


图 1.8 地理坐标与地理位置

### 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。地球磁场的两个磁极叫地球磁极。靠近地理北极的叫磁北极，约在北纬  $74.9^\circ$  和西经  $101^\circ$  的地方；靠近地理南极的叫磁南极，约在南纬  $67.1^\circ$  和东经  $142.7^\circ$  的地方，如图 1.10。地球磁极的位置不是固定的，而是由东向西有规律地缓慢移动着。

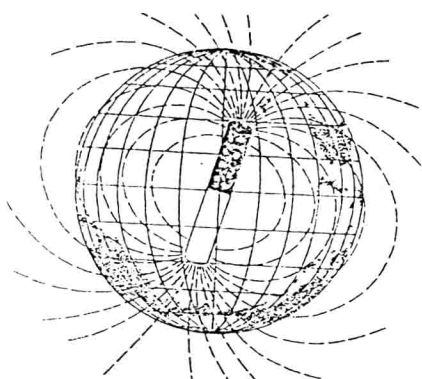


图 1.9 地球磁场

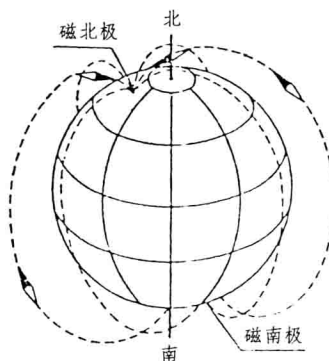


图 1.10 地磁极

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、磁倾和地磁力称为地球磁场三要素。

### 1.1.3.1 磁差 (MV 或 VAR—Magnetic Variation)

地球仪或地图上所标画的经线，都是指向地理南北的方向线，叫做真经线，真经线的北端用真北 ( $N_T$ ) 来表示；稳定的自由磁针所指的南北方向线叫做磁经线，磁经线的北端用磁北 ( $N_M$ ) 来表示。

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，叫做磁差或磁偏角，用 MV 或 VAR 表示，如图 1.11。磁经线北端偏在真经线以东为正磁差，以西为负磁差；磁差范围  $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ ，磁差的常见表示形式有①  $MV - 2^\circ$ ；②  $VAR 2^\circ W$ 。

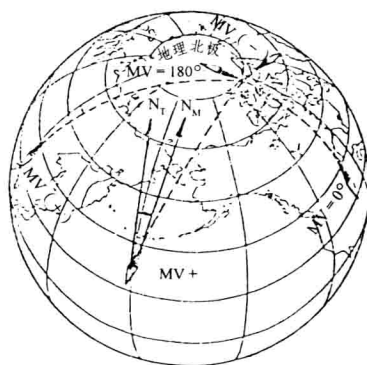


图 1.11 磁差

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 1.12 所示为中国磁差图，从图中可知我国的磁差范围：从新疆到黑龙江，逐渐由  $+6^\circ$  变化到  $-12^\circ$ 。

### 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

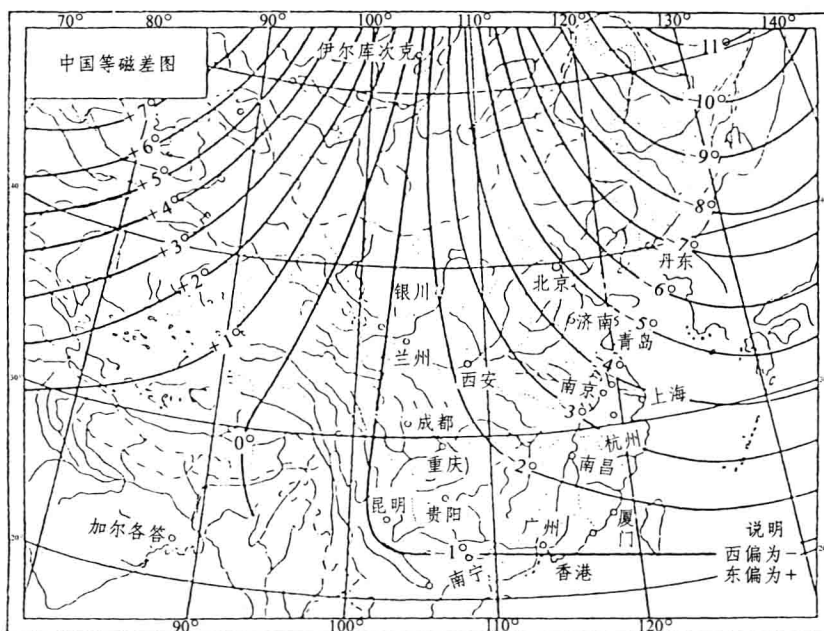


图 1.12 中国磁差图

是倾斜的。磁针的轴线（磁力线的切线方向）同水平面的夹角，就叫磁倾角，简称磁倾（ $\theta$ ），如图 1.13 所示。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  $90^\circ$ 。

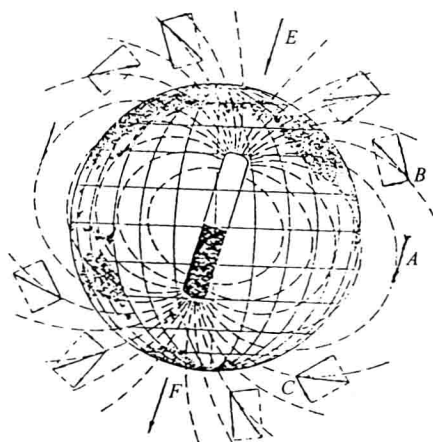


图 1.13 磁倾

### 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，在地磁赤道上最弱，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，而且随着时间缓慢变化。

##### 1) 世纪变化和磁差年变率

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 1 000 年，其中对领航准确性影响较大的是磁差变化。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'，但长年累月，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及磁差，及注明的磁差年变率，进行修正计算。

##### 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。

#### 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 1.14。航线角范围  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。因经线有真、磁，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：

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

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。航线距离我国常用公里（km）和海里（n mile）为单位，也有以英里为（mile）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 n mile = 1.852 km = 1.15 mile。飞行中，三者可用民航五型尺进行计算，计算的尺形如图 1.15 所示。

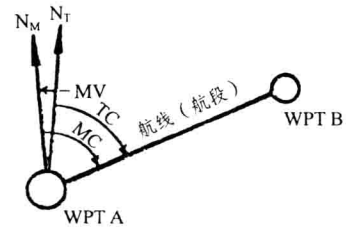


图 1.14 航线角及换算

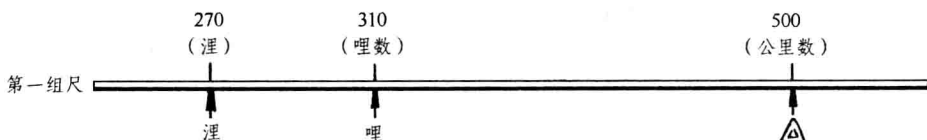


图 1.15 距离单位间的换算



### 1.1.4.2 大圆航线和等角航线

#### 1) 大圆航线 (Great Circle)

以通过两航路点间的大圆圈线作为航线的叫大圆航线，大圆航线上各点的真航线角不相等，但航线距离最短。如图 1.16 和图 1.17 所示。



图 1.16 大圆航线

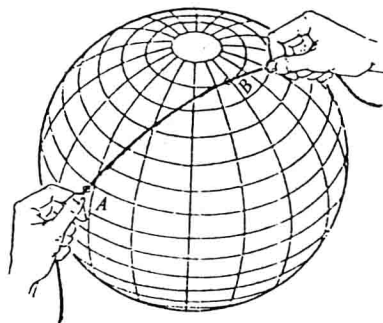


图 1.17 航线距离

大圆航线的航线角、距离和途中所经各点的地理坐标，是航行的基本要素，可以根据球面三角公式导出各参数的计算公式。实际飞行中，通过自动导航设备，飞行人员只需输入位置坐标，即可计算出所需的参数。

航线角的计算公式

$$\cot TC = \cos \phi_1 \tan \phi_2 \csc(\lambda_2 - \lambda_1) \sin \phi_1 \cot(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1.2)$$

航线距离的计算公式

$$\cos D = \sin \phi_1 \sin \phi_2 + \cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1) \quad (1.3)$$

式中， $\phi_1$ 、 $\lambda_1$  为起点的地理坐标， $\phi_2$ 、 $\lambda_2$  为终点的地理坐标，计算北纬取正值，南纬取负值；东经取正值，西经取负值。计算得出的  $D$  值以弧度为单位，需乘以 60 换算为海里。

#### 2) 等角航线 (Rhumb Line)

以通过两航路点间的等角线作为航线，就叫等角航线。等角航线是一条盘向两极的螺旋形曲线，等角航线上各点的航线角相等，但它的距离一般都比大圆航线长，如图 1.18。等角航线的航线角、距离和途中所经各点的地理坐标，同样可根据球面三角公式导出各参数的计算公式，以便在飞行中计算出所需的各参数。

航线角的计算公式

$$\tan TC = (\lambda_2 - \lambda_1) / [\ln \tan(45^\circ + \phi_2 / 2) - \ln \tan(45^\circ + \phi_1 / 2)] \quad (1.4)$$

航线距离的计算公式

$$D = (\phi_2 - \phi_1) \cdot \sec TC \quad (1.5)$$

或 
$$D = (\lambda_2 - \lambda_1) \cos \phi_{\text{均}} \cdot \sec TC \quad (1.6)$$

式中， $\phi_{\text{均}}$  为起点和终点的平均纬度，纬度相差较大时，用 (1.5) 式；纬度相差较小时，用 (1.6) 式。其他的规定与计算大圆航线参数相同。

#### 3) 大圆航线和等角航线的应用