



中国民用航空局优秀教材一等奖

飞行技术专业系列教材



空中领航学

KONGZHONG LINGHANGXUE

第3版

张焕 © 编著



西安电子科技大学出版社

飞行技术专业系列教材
中国民用航空局优秀教材-

空中领航学

第3版

张 焕 编著



学习资源及实操视频

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本教材是按照飞行技术专业学业标准和民航局飞行员理论执照考试大纲以及中国民航飞行学院专业教材工作委员会制定的飞行技术专业“空中领航学”教学大纲编写的。教材涵盖了飞行技术专业学历教育和飞行执照培训课程要求的内容,包括:领航基础知识、地标罗盘领航、无线电领航、仪表进近着陆、领航的准备与实施。

本教材是飞行技术专业的专业课程教材,同时也可作为与飞行运行有关的管制员、情报员、签派员及部分管理人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

空中领航学 / 张焕编著. —3 版. —成都: 西南
交通大学出版社, 2016.8
飞行技术专业系列教材
ISBN 978-7-5643-4878-6

I. ①空… II. ①张… III. ①航空导航—教材 IV.
①V249.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 184998 号

飞行技术专业系列教材

空中领航学

第 3 版

张 焕 编著

责 任 编 辑 孟苏成

封 面 设 计 刘海东

出 版 发 行 西南交通大学出版社
(四川省成都市二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮 政 编 码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

成 品 尺 寸 185 mm × 260 mm

印 张 16.75

字 数 418 千

版 次 2016 年 8 月第 3 版

印 次 2016 年 8 月第 10 次

书 号 ISBN 978-7-5643-4878-6

定 价 58.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

总序

民航是现代综合交通运输体系的有机组成部分，以其安全、快捷、通达、舒适等独特优势确立了独立的产业地位。同时，民航在国家参与经济全球化、推动老少边穷地区发展、维护国家统一和民族团结、保障国防和经济安全、加强与世界不同文明沟通、催生相关领域科技创新等方面都发挥着难以估量的作用。因此，民航业已成为国家经济社会发展的战略性先导性产业，其发达程度直接体现了国家的综合实力和现代化水平。

自改革开放以来，我国民航业快速发展，行业规模不断扩大，服务能力逐步提升，安全水平显著提高，为我国改革开放和社会主义现代化建设做出了突出贡献。可以说，我国已经成为名副其实的民航大国。站在新的历史起点上，在 2008 年的全国民航工作会议上，民航局提出了全面推进建设民航强国的战略构想，拉开了我国由民航大国迈向民航强国的序幕。

要实现民航大国向民航强国的转变，人才储备是最基本的先决条件。长期以来，我国民航业发展的基本矛盾是供给能力难以满足快速增长的市场需求。而其深层次的原因之一，便是人力资源的短缺，尤其是飞行、空管和机务等专业技术人员结构不合理，缺乏高级技术、管理和安全监管人才。有鉴于此，国务院在《关于促进民航业发展的若干意见》中明确指出，要强化科教和人才支撑，要实施重大人才工程，加大飞行、机务、空管等紧缺专业人才的培养力度。

正是在这样的大背景下，作为世界上最大的航空训练机构，作为中国民航培养飞行员和空中交通管制员的主力院校，中国民航飞行学院以中国民航可持续发展为己任，勇挑历史重担，结合自身的办学特色，整合优势资源，组织编写了这套“飞行技术专业系列教材”，以解当下民航专业人才培养的燃眉之急。在这套教材的规划、组织和编写过程中，教材建设团队全面贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020 年）》，以培养适应民航业岗位需要的、具有“工匠精神”的应用型高素质人才为目标，创新人才培养模式，突出民航院校办学特色，坚持“以飞为主，协调发展”的方针，深化“产教融合、校企合作”，强化学生实践能力培养。同时，教材建设团队积极推进课程内容改革，在优化专业课程内容的基础上，加强包括职业道德、民航文化在内的人文素养教育。

由中国民航飞行学院编写的这套教材，高度契合民航局颁布的飞行员执照理论考试大纲及知识点要求，对相应的内容体系进行了完善，从而满足了民航专业人才培养的新要求。可以说，本系列教材的出版恰逢其时，是一场不折不扣的“及时雨”。

由于飞行技术专业涉及的知识点多，知识更新速度快，因此教材的编写是一项极其艰巨的任务。但令人欣喜的是，中国民航飞行学院的教师们凭借严谨的工作作风、深厚的学术造诣以及坚韧的精神品质，出色地完成了这一任务。尽管这套教材在模式创新方面尚存在瑕疵，但仍不失为当前民航人才培养领域的优秀教材，值得大力推广。我们相信，这套教材的出版必将为我国民航人才的培养做出贡献，为我国民航事业的发展做出贡献！

是为序。

中国民航飞行学院教材

编写委员会

2016年7月1日

第3版前言

“空中领航学”是飞行技术专业的一门专业课，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，是飞行技术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。

本书是按照中国民航飞行学院专业教材工作委员会制定的教材编写计划编写的，教材编写的依据是审定通过的飞行技术专业“空中领航学”教学大纲及教材编写大纲。

在教材编写过程中，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，使各章节之间紧密联系；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的关系；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，为便于复习和自学，有的章末附有复习思考题和小结。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2 h 10 min 10 s表示为2:10'10"或2:10'10"。

教材于1997年8月第一次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月进行了第二次修订(D001)*。2005年获得中国民用航空总局优秀教材一等奖(D002)；2007年被确定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材(D003)。2009年6月对教材进行修订改版(第2版)(D004)，调整了教材结构和内容，修改了与现行中国民航法律法规不相适应的内容，增加了现代导航系统的最新技术和导航方法，按中国民航飞行员执照标准修订、增加了相关知识。2015—2016年按照中国民航飞行学院飞行技术专业课程体系改革与建设工作的要求，对教材的结构、体系、内容、重难点进行了重新编写(第3版)，以满足专业培养目标要求和民航局执照考试新大纲要求。在

* 书中D001~D058为相关资料、视频，可扫描扉页及前言处二维码获取。

教材编写过程中，中国航空集团、中国南方航空集团、中国民航飞行学院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！

全书由中国民航飞行学院徐建明总飞行师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，书中定有疏漏及不妥之处，敬请读者批评指正。



获奖证书

张 焕

2016年3月于中国民航飞行学院

主要英美制单位与国际标准单位的换算关系

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

$$1 \text{ m} = 3.28 \text{ ft}$$

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

注：因飞行的需要，教材中保留了部分英美制单位，未统一为国际标准单位。

目 录

1 绪 论	1
1.1 空中领航的发展	1
1.2 空中领航学研究的问题和内容	2
1.3 空中领航的环节	2
2 地球及地图	4
2.1 地球知识	4
2.2 常用的航空地图	10
2.3 基本地图作业	21
3 基本领航元素	29
3.1 高度的计算	29
3.2 航向的计算	35
3.3 空速的计算	35
3.4 时间的计算	39
3.5 基本领航计算	43
4 飞机在风中的航行规律	51
4.1 飞机在风中的航行情形	51
4.2 航行速度三角形	53
4.3 偏流、地速的影响因素	54
复习思考题	58
5 地标罗盘领航	59
5.1 推算应飞航向和预达时刻	59
5.2 确定飞机位置	64
5.3 检查航迹	72
5.4 修正航迹	79
5.5 计算空中风	86
5.6 地标罗盘领航检查点工作	90

6	无线电领航	92
6.1	无线电领航基础理论	92
6.2	无线电领航设备	99
6.3	进入预定方位线	121
6.4	向 NDB/VOR 台飞行	129
6.5	背 NDB/VOR 台飞行	144
6.6	切入航线/方位线	159
6.7	无线电定位	171
6.8	无线电领航检查点工作	179
	复习思考题	180
7	仪表进近着陆	181
7.1	仪表进近着陆设备	182
7.2	进场航段的飞行方法	189
7.3	起始进近航段的飞行方法	195
7.4	四转弯的飞行方法	212
7.5	非精密进近程序的五边进近	216
7.6	精密进近程序的五边进近	227
	复习思考题	231
8	地面领航准备和空中实施	232
8.1	地面领航准备	232
8.2	空中领航实施	241
	复习思考题	257
	参考文献	258

1 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,使用不同的领航设备和方法,引导飞机安全、准时、准确飞到目的地,并提出对领航方法、领航设备进行改进的建议和方法。

1.1 空中领航的发展

自从飞行器出现以后,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,并且在地图上画出航迹,他是世界上第一位空中领航员;1882年,在俄国彼得堡,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,飞行器还只能在简单的条件下飞行于基地附近,飞行员只能够在天气良好时,依靠观察地面,利用河流、铁路等显著地标来实施领航。

经过长时间的飞行实践,人们掌握了风对飞行的影响。1909年,俄国的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问世。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,同时开创了罗盘领航用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。在第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,是目前的一种主要领航方法。

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。1973年至1993年美国研制建成导航星全球定位系统(NAV STAR/GPS);1982年苏联开始研制(后归俄罗斯所有),1997年建成全球轨道导航卫星系统(GLONASS);1992年9月国际民航组织(ICAO)航行委员会通过以应用卫星技术为特征的通信、导航、监视和空中交通管理系统(CNS/ATM),分阶段实施全球导航卫星系统(GNSS)。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、通信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。

1.2 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3个基本问题,空中领航学就是研究如何解决这3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计算和应用。

(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,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:主要研究在不同航行条件下,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。

1.3 空中领航的环节

空中领航就是有目的地、安全地引导飞机从起点到终点的控制过程。空中领航的基本环节如图1.1所示,其领航过程是一个具有3个环的闭环系统。

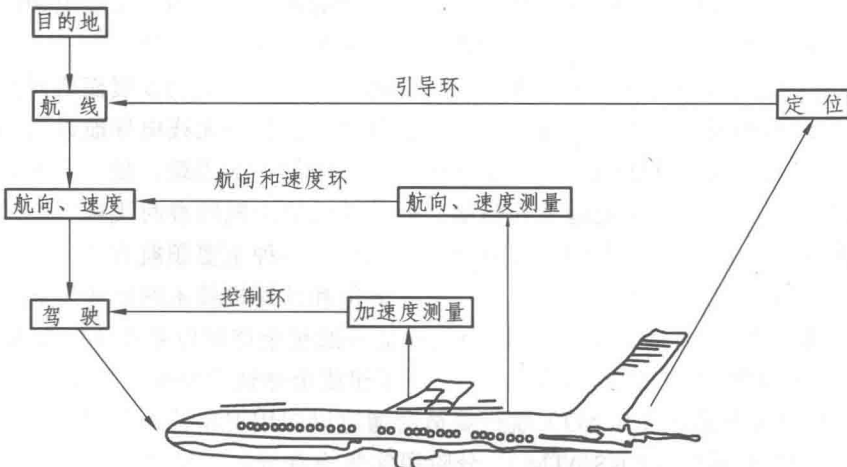


图 1.1 空中领航基本环节

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，必须让飞机以一定的航向、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。

2 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,空中领航工作所要解决的3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。本部分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程序和方法。

2.1 地球知识

2.1.1 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,如图2.1所示。

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,其数据为:东西半径(长半轴 a)为6378.140 km,南北半径(短半轴 b)为6356.755 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 $R=6371.004$ km。

随着卫星技术和遥测技术的发展,人们开始利用卫星测量方法来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,其测量数据为:东西半径 a 为6378.137 km,南北半径 b 为6356.752 km,扁平率为 $C=1/298.253$,计算的平均半径 $R=6371.001$ 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5类。

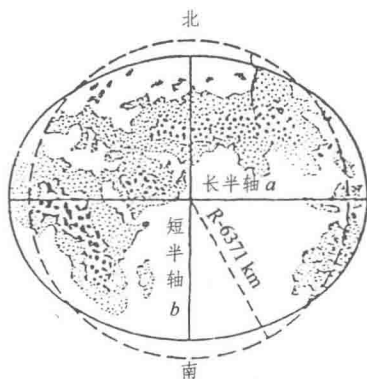


图 2.1 地球的形状和大小

2.1.2 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。

2.1.2.1 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 (Equator)，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 (Parallel)，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 2.2 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，叫该地点的纬度，单位为度、分、秒。以赤道为 0° 量起，向南、北两极各 90° ，赤道以北的叫北纬 (ϕ_N 或 LAT N)，赤道以南的叫南纬 (ϕ_S 或 LAT S)。同一纬圈上各地点的纬度相同。如图 2.3 所示，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 $N39^\circ 57'$ ；④ $LAT N39^\circ 57'$ 。

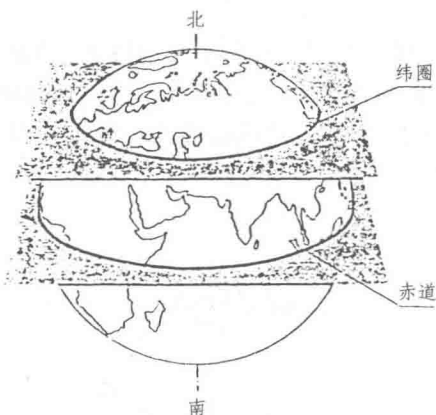


图 2.2 纬圈和纬线

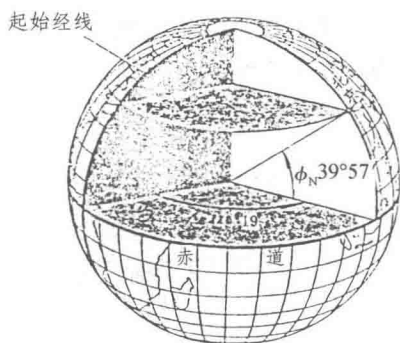


图 2.3 纬度

2.1.2.2 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 (Meridian)，如图 2.4 所示。1884 年国际经度会议决定以通过英国伦敦南郊格林尼治天文台中心的经线 ($D005$)，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 (λ 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° 量起，向东、西各 180° ，起始经线以东的叫东经 (λ_E 或 LONG E)，起始经线以西的叫西经 (λ_W 或 LONG W)。如图 2.3 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 $LONG E116^\circ 19'$ 。

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(D006);反之,也可以通过已知位置点查出其经、纬度(地理坐标),如图2.5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 2.4 经圈和经线



图 2.5 地理位置与地理坐标

2.1.3 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2.6所示。地球磁场的两个磁极分别是:靠近地理北极的叫磁北极,约在北纬 74.9° 和西经 101° 的地方;靠近地理南极的叫磁南极,约在南纬 67.1° 和东经 142.7° 的地方,如图2.7所示。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。

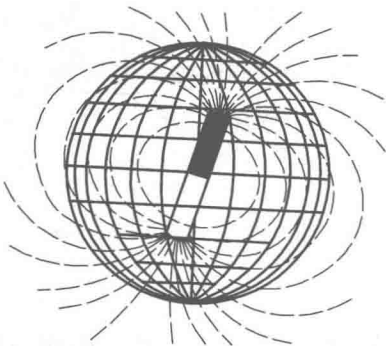


图 2.6 地球磁场

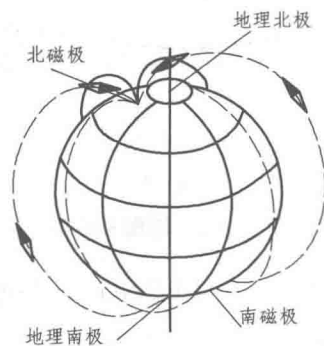


图 2.7 地球磁极

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。

2.1.3.1 磁差 (MV 或 VAR—Magnetic Variation)

地球仪或地图上所标画的经线,都是指向地理南北极的方向线,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，而稳定的自由磁针指示的是地磁的南北极，所以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 2.8 所示。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 $VAR 2^\circ W$ 。

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 (Isogonic Line) ($D007$)，可供飞行时查取磁差之用。图 2.9 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° 。



图 2.8 磁差

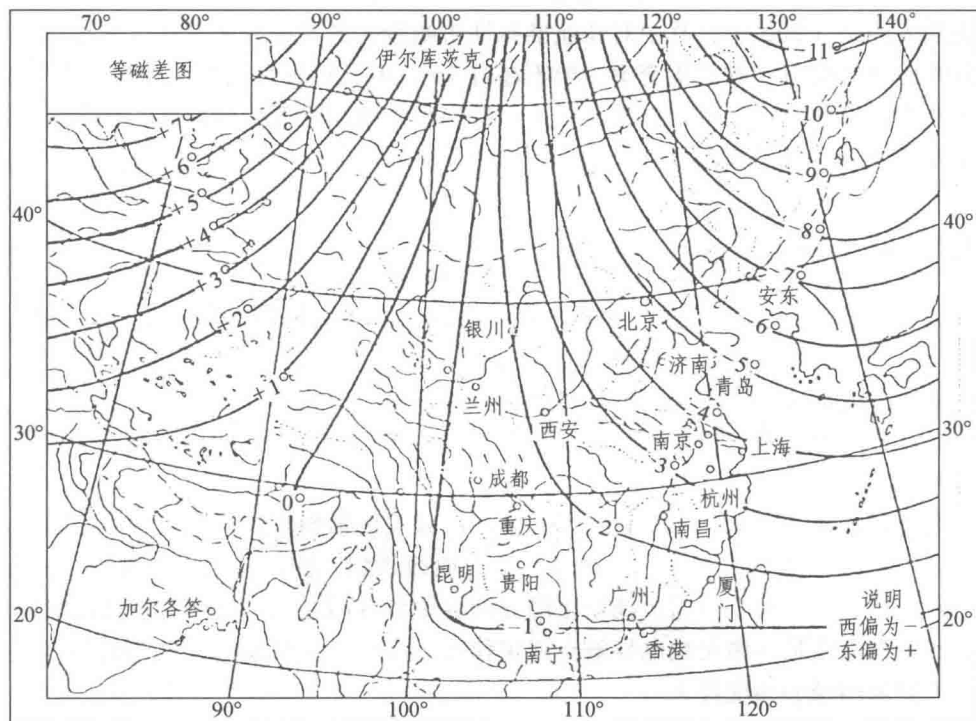


图 2.9 中国等磁差图

2.1.3.2 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。磁针的轴线（磁力线的切线方向）同水平面的夹角叫磁倾角，简称磁倾 (θ)，如图 2.10 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° 。