



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

中国民用航空总局优秀教材一等奖

KONGZHONG LINGHANGXUE


空中领航学

(第2版)

张 焕 / 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

十一五 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
 中国民用航空总局优秀教材一等奖

空中领航学

(第2版)

张 焕 编著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内 容 简 介

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飞行技术专业“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。

本书可作为飞行技术专业的教材，也可供与飞行运营有关的管制员、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. —2版. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.8 (2013.9重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5643-0734-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第127262号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

空中领航学

(第2版)

张 焕 编著

*

责任编辑 牛 君

特邀编辑 刘 恒

封面设计 墨创文化

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: 27.375

字数: 682千字

2003年9月第1版 2010年8月第2版 2013年9月第8次印刷

ISBN 978-7-5643-0734-9

定价: 38.00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

第2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，只有熟练掌握空中领航程序和方法，才能成为一个全面、合格的机长。

《空中领航学》教材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实施的，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。

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，每篇末有复习思考题和小结，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 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。2005 年获得中国民用航空总局优秀教材一等奖；2007 年被确定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2009 年 6 月开始对教材进行重新编写，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。在教材重新编写过程中，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，书中存在的缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者 张焕

2010 年 1 月于中国民航飞行学院

第 1 版前言

“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，根据本学科的内在线索，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

主要英美制单位与国际标准单位的换算关系

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

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

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

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

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

$$1 \text{ inhg} = 33.86 \text{ hPa} = 33.86 \text{ mb}$$

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

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

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

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	2
0.3 空中领航的环节	2

第 1 篇 领航基础

1 地球及地图	7
1.1 地球知识	7
1.2 常用的航空地图	14
1.3 基本地图作业	28
2 基本领航元素	36
2.1 高度的测量、计算及飞行高度层	36
2.2 航向的测量与计算	48
2.3 空速的测量与计算	53
2.4 时间的测量与计算	62
2.5 基本领航计算	71
3 飞机在风中的航行规律	78
3.1 飞机在风中的航行情形	78
3.2 航行速度三角形	81
3.3 偏流、地速的影响因素	84
复习思考题	87

第 2 篇 基本领航方法

4 地标罗盘领航	91
4.1 推算应飞航向和时间	91
4.2 确定飞机位置	96
4.3 检查航迹	105
4.4 修正航迹	112

4.5 计算空中风	119
5 无线电领航	124
5.1 概 述	124
5.2 无线电方位	128
5.3 进入预定方位线	150
5.4 向 NDB/VOR 台飞行	158
5.5 背 NDB/VOR 台飞行	184
5.6 VOR/DME 领航方法	207
5.7 无线电定位	218
6 领航地面准备和空中实施	228
6.1 地面领航准备	228
6.2 空中领航实施	240
复习思考题	261

第 3 篇 仪表进近着陆

7 仪表进近程序概述	265
7.1 进近程序构成及标准	265
7.2 转弯诸元的计算	272
8 仪表进近着陆方法	274
8.1 沿直角航线起始进近方法	274
8.2 沿修正角航线起始进近方法	290
8.3 四转弯过程中的判断与修正	299
8.4 非精密进近程序的五边进近	303
8.5 精密进近程序的五边进近	311
复习思考题	323

第 4 篇 现代导航方法

9 新航行系统	327
9.1 新航行系统的目的和实质	327
9.2 新航行系统的组成	328
9.3 新航行系统的优点	329
9.4 中国民航实施 CNS/ATM 的情况	329

10 区域导航、所需导航性能及基于性能的导航	331
10.1 区域导航 (RNAV)	331
10.2 所需导航性能 (RNP)	335
10.3 基于性能的导航 (PBN)	340
11 飞行管理系统实施导航	346
11.1 飞行管理系统的组成及功能	347
11.2 飞行管理系统的传感器	351
11.3 飞行管理系统功能的实现	378
11.4 飞行管理系统的部件	387
11.5 飞行管理系统的飞行前准备	398
11.6 飞行管理系统在飞行中的应用	408
复习思考题	426
参考文献	427

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,使用不同的领航设备和方法,准确、准时和安全地引导飞机飞向目的地;并在飞行实践的过程中,不断地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。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,他成为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,飞机还只能在简单的条件下飞行于基地附近,所以,在天气良好时,飞行员主要依靠观察地面,利用河流、铁路等显著地标来领航。

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作云上和夜间飞行的新纪元。

与此同时,空中领航理论也在不断地发展,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的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—1993年美国研制建成导航星全球定位系统(NAV STAR/GPS);1982年,苏联研制(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(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，空中领航学研究的就是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，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。其基本环节如图 0.1 所示，这一领航过程是具有三个环的闭环系统。

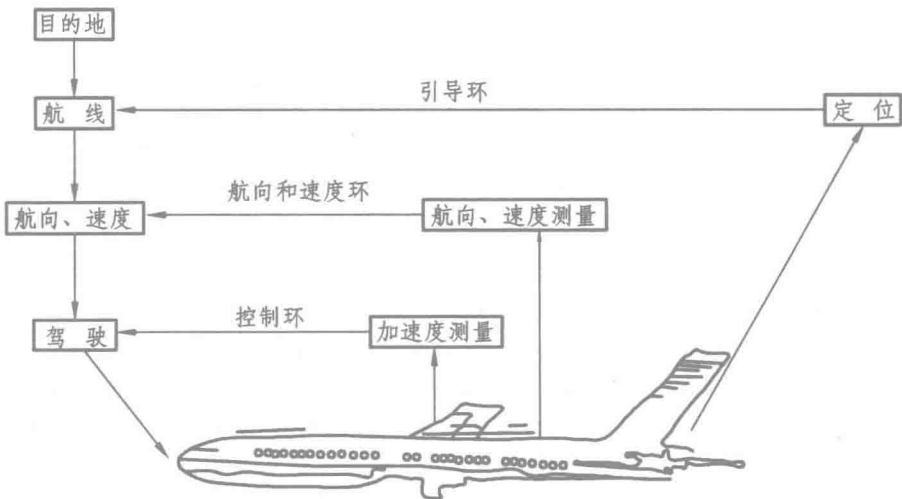


图 0.1 空中领航的基本环节

从图 0.1 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；控制飞机的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 1 篇

领航基础

飞行员在飞行中运用领航方法和设备去完成领航工作,就必须熟悉地球及常用航空地图(简称航图),熟悉和掌握基本领航元素,熟练掌握基本领航计算,熟练运用航行规律去解决问题。本篇将详细介绍地球及常用航空地图、基本领航元素的相关知识,重点介绍航空地图图上作业、领航计算和飞机在风中的航行规律。

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程序和方法。

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，是太阳系的八大行星之一，它的表面凹凸不平，东西稍膨大，南北稍扁平（图 1.1）。

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 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，通常把地球看做正球体，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，其测量数据为：东西半径 a 为 6 378.137 km，南北半径 b 为 6 356.752 km，扁平率 $C=1/298.253$ ，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。



图 1.1 地球的形状和大小

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 (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 1.2。

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 1.3 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 $LAT N39^\circ 57'$ 。

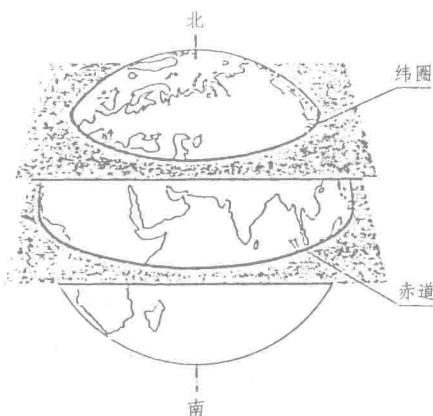


图 1.2 纬圈和纬线

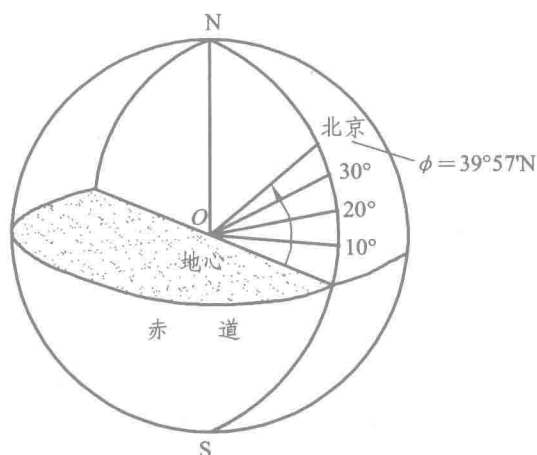


图 1.3 纬度

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 (Meridian)，如图 1.4。1884 年，国际经度会议决定以通过英国伦敦南郊格林尼治 (原译为格林威治) 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 (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 1.5 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