

空中领航基础

顾莹 王馨悦 编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

空中领航是研究空中领航设备和方法的领域,兼具理论性和实用性。本书共6章,领航四要素、地图、地标罗盘领航、无线电领航、仪表进近程序和导航新技术等内容。前5章详细阐述了实施空中领航的基础知识和当前飞行活动中涉及的主要技术理论。随着科学技术的不断发展,新技术不断涌现,并被引入到飞行驾驶领域,因此本书的第6章简要地介绍了本领域发展过程中出现的新技术。

本书可作为高等院校飞行技术专业 and 签派专业本科生、飞行驾驶培训机构学员的教学用书,也可供其他从事飞行驾驶或签派岗位的民航工作人员参考。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

空中领航基础/顾莹,王馨悦编. —北京:清华大学出版社,2022.9
ISBN 978-7-302-61490-6

I. ①空… II. ①顾… ②王… 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(2022)第 137129 号

责任编辑:王欣

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印刷者:北京富博印刷有限公司

装订者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:8.75

字 数:211千字

版 次:2022年9月第1版

印 次:2022年9月第1次印刷

定 价:48.00元

产品编号:095766-01

前言

PREFACE



党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央高度重视航空工业的发展,并发出了建设“航空强国”的伟大号召,开启了航空强国建设的伟大征程。一方面,作为航空活动的主要参与者和实施者,飞行驾驶人才的需求与日俱增。另一方面,随着以刘传健为代表的优秀中国机长事迹的涌现,飞行驾驶岗位得到了更多的关注。我们不仅需要更多数量的飞行驾驶工作者,更需要大量的、优秀的、心怀“航空报国”理念的“中国机长”。这是新时代赋予我们的责任和使命。

空中领航是飞行驾驶领域中兼具理论性和实践性的一门课程,主要研究空中领航设备的使用和空中领航技术的应用。同时,随着科学技术的不断发展,飞行驾驶领域中的新技术层出不穷。据此,依据中国民航局要求以及私照、商照、仪表等级、航线运输等理论考试相关内容,结合当前实施或即将实施的导航新技术,参考国外原版教材,我们开展了本书的编写工作。

本书共分为6章,分别讲述了领航四要素、地图、地标罗盘领航、无线电领航、仪表进近程序、导航新技术等内容。前5章详细地阐述了实施空中领航的基础知识和当前飞行活动中涉及的主要技术理论。第6章简要地介绍了本领域发展过程中出现的新技术。本书力求知识的系统性、结构的逻辑性、内容的实用性,以及写作的精炼性,尽可能符合飞行技术、签派等本科专业,以及飞行驾驶培训机构的学习要求。

本书的第1章、第3章、第4章、第5章(除5.5.2节外)由顾莹编写;第2章、第5章中的5.5.2节以及第6章由王馨悦编写。编书的过程,实际上是教师对过去多年教学工作的梳理和总结的过程,融入了教师的教学心得,是教师成长的见证。感谢曾经在学习和成长中遇到的专家、同事和朋友,甚至是所教过的学生们,有了你们的助力,我们才得以提高。

由于编者未能从事实际飞行工作,以及有限的理论水平和写作水平,书中难免存在错漏等不足之处,恳请同行专家、广大读者多给予批评指正,让我们在未来的日子里更好地成长,为中国民航事业培养更多优秀的飞行驾驶人才。

编者

2022年2月

清华大学出版社

目录

CONTENTS



第 1 章 领航四要素	1
1.1 基础知识	1
1.1.1 磁差	1
1.1.2 航线	3
1.2 航向	4
1.2.1 航向的种类	4
1.2.2 航向的测量	4
1.3 高度	6
1.3.1 垂直位置的表示	6
1.3.2 修正海平面气压/标准海平面气压的适用区域	7
1.3.3 高度的测量	8
1.3.4 高度表拨正程序	9
1.3.5 我国飞行高度层配备	10
1.3.6 安全高度的计算与飞行高度层的选择	11
1.4 时间	11
1.4.1 地方时与世界时	11
1.4.2 区时	12
1.4.3 法定时	12
1.4.4 日界线	13
1.4.5 日出、日没、天亮、天黑时刻	13
1.5 速度	13
1.5.1 空速的种类	13
1.5.2 空速的测量	14
1.5.3 相对速度计算	15
1.6 风对飞行的影响	17
1.6.1 气象风和航行风	17
1.6.2 三种运动	17
1.6.3 飞机在风中的航行情形	17
1.7 航行速度三角形	18
1.7.1 基本概念	18

1.7.2 求解航行速度三角形	19
本章小结	20
思考题	20
课程思政阅读材料	21
第2章 地图	22
2.1 地图三要素	22
2.1.1 地图比例尺	22
2.1.2 地图符号	23
2.1.3 地图投影	23
2.2 常用地图投影	25
2.2.1 墨卡托投影	25
2.2.2 兰勃特投影	25
2.2.3 极地投影	26
2.3 航图分幅、编号和拼接	27
2.3.1 百万分之一世界航图的分幅和编号	27
2.3.2 五十万分之一和大比例尺航图的分幅和编号	27
2.4 地图作业	29
2.4.1 航图的选择和拼接	29
2.4.2 图上作业	29
2.5 杰普逊航图	30
2.5.1 航路图	30
2.5.2 终端区航图	31
2.5.3 标准仪表离场图	31
2.5.4 标准仪表进场图	32
2.5.5 仪表进近图	34
2.5.6 机场图	37
本章小结	40
思考题	40
课程思政阅读材料	41
第3章 地标罗盘领航	42
3.1 地标罗盘领航的定义	42
3.2 地标及其定位	42
3.2.1 地标的分类	42
3.2.2 定位点和位置线	43
3.2.3 地标的选择	43
3.2.4 按地标确定飞机位置	43
3.3 推算应飞航向、预达时刻和飞机位置	44

3.3.1	推算应飞航向	44
3.3.2	推算预达时刻	44
3.3.3	推算飞机位置	45
3.4	目视离场入航	48
3.4.1	直接离场入航	48
3.4.2	通场离场入航	48
3.5	检查航迹	49
3.5.1	方向检查	49
3.5.2	距离检查	50
3.5.3	全面检查	51
3.6	修正航迹	52
3.7	航线下降	55
	本章小结	57
	思考题	57
	课程思政阅读材料	58
第 4 章	无线电领航	59
4.1	无线电基础理论	59
4.2	无线电领航元素	60
4.3	无线电领航的基本原理	62
4.3.1	进入预定方位线	62
4.3.2	向台飞行	63
4.3.3	背台飞行	66
4.3.4	无线电定位	67
4.4	NDB-ADF 导航	67
4.4.1	NDB-ADF 导航设备简介	67
4.4.2	NDB-ADF 导航方法	70
4.5	VOR 导航	75
4.5.1	VOR 导航设备简介	75
4.5.2	VOR 导航	78
4.6	DME 导航	82
	本章小结	83
	思考题	84
	课程思政阅读材料	84
第 5 章	仪表进近程序	85
5.1	仪表进近程序的分类	85
5.2	仪表进近程序的结构	86
5.2.1	五个航段	86

5.2.2 基本型式	86
5.3 仪表进近的有关标准	88
5.4 三种程序机动飞行简介	90
5.4.1 等待航线飞行	90
5.4.2 反向程序	94
5.4.3 沿 DME 弧飞行	96
5.5 仪表着陆系统	98
5.5.1 组成	98
5.5.2 进近灯光系统	100
5.5.3 工作原理	102
5.5.4 ILS 进近	105
5.5.5 ILS 反航道进近	106
本章小结	106
思考题	107
课程思政阅读材料	107
第 6 章 导航新技术	108
6.1 全球卫星定位系统	108
6.1.1 GPS 卫星导航系统	108
6.1.2 北斗卫星导航系统	111
6.2 PBN 导航技术	115
6.2.1 PBN 概念介绍	115
6.2.2 导航源及导航方法	115
6.2.3 PBN 导航规范	118
6.2.4 PBN 导航容差区	119
6.3 其他航行新技术	120
6.3.1 HUDLS	120
6.3.2 CDO 及 CCO 运行	122
6.3.3 ADS-B	123
本章小结	126
思考题	126
课程思政阅读材料	127
参考文献	128
附录 专业词汇缩写	129

1.1 基础知识

1.1.1 磁差

地球是一个强大的磁场,其两极称为地球磁极(图 1-1)。靠近地理北极的磁极称为磁北极,靠近地理南极的磁极称为磁南极。地磁两极与地理两极并不重合:磁北极约在(74.9°N,101°W)的地方;磁南极约在(67.1°S,142.7°E)的地方。磁差、磁倾和地磁力称为地球磁场三要素。

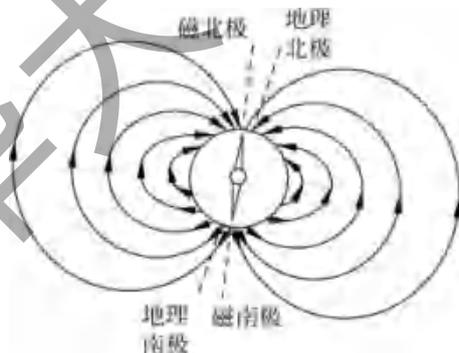


图 1-1 地球磁场

1. 磁差

由于地球表面假想经线指向地理南北方向,故称为真经线,其北端称为真北(N_T ,即 true north)。而将稳定的自由磁针所指示的南北方向线称为磁经线,其北端称为磁北(N_M ,即 magnetic north)。

由于地磁两极与地理两极不重合,因而地球上各点的磁经线常常偏离真经线。这样将磁北偏离真北的角度称为磁差或磁偏角(图 1-2),用 VAR 表示。磁北偏在真北以东为正磁差,以西为负磁差,磁差大小范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。磁差的常见表示形式如下:

正磁差： $+2^\circ$ 或 2°E

负磁差： -2° 或 2°W

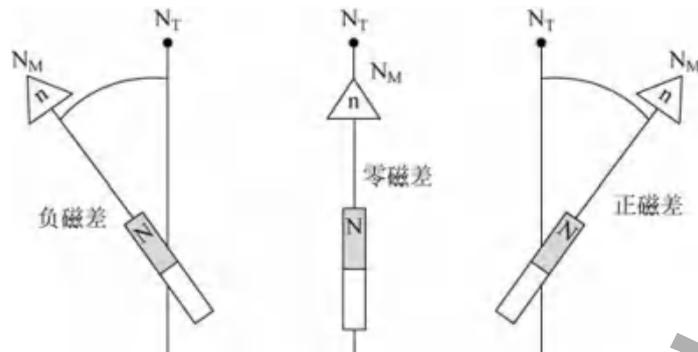


图 1-2 磁差

某一地点的磁差,可以从航空地图或者磁差图上查出。在航空地图或者磁差图上,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,这些虚线称为等磁差线,可供飞行时查取磁差之用。也可以在机场平面图上查到每个机场的磁场(图 1-3)。

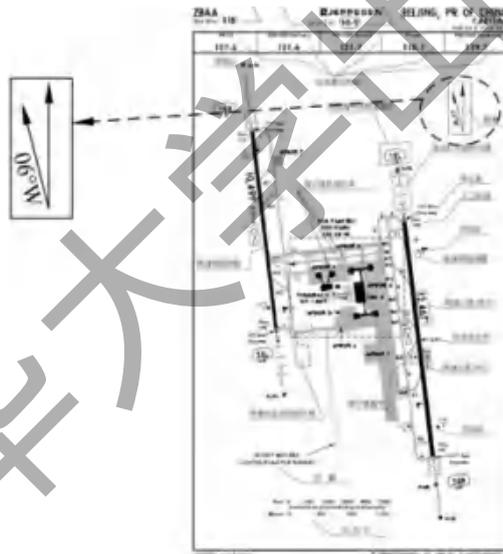


图 1-3 机场平面图上查找磁差

2. 磁倾和地磁力

在大多数地区,地球磁场的磁力线与水平面不平行,这样将磁针的轴线(磁力线的切线方向)与水平面的夹角,定义为磁倾角(θ),简称磁倾。磁倾随纬度升高而增大;在地磁两极附近的地区,磁倾最大可达 90° ,所以磁针难以准确地指示出南北方向。

地球磁场对磁体的作用力称为地磁力。同一磁体所受的地磁力,在地磁两极附近最强,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,地磁力将会逐渐减弱。

3. 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,而且随着时间而缓慢变化。地磁要素长期有规律的变化称为世纪变化,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地磁的变化。磁差世纪变化的年平均值称为磁差年变率,磁差年变率一般不超过 $10'$ 。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、磁差以及注明的磁差年变率进行修正计算。

1.1.2 航线

航线是指飞机飞行的预定路线,也称为预计航迹,其方向和距离分别用航线角和航线距离表示。航线角是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1-4所示。其大小范围为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 。因经线有真经线和磁经线之分,所以航线角用真航线角(TC)和磁航线角(MC)分别表示,换算关系式为:

$$MC = TC - (\pm VAR)$$

航线距离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。

从航行的经济性和实施空中领航的简便性考虑,地面两点之间可作为航线的有大圆航线和等角航线。

两点之间的大圆圈线,就是通过地心和地面两点的平面与地球表面相交的曲线(大圆弧)。以两点之间的大圆弧作为航线的,就称为大圆航线(图1-5)。大圆航线是两点之间距离最短的航线,但航线上各点与经线的夹角一般都不相等。



图 1-4 航线角及换算



图 1-5 大圆航线和等角航线

两点之间的等角线,是盘向两极的螺旋形曲线。该曲线上,各点的指向与经线的夹角都相等。以两点之间的等角线作为航线的,就称为等角航线(图1-5)。地球上两点间只有一条等角航线,一般不是大圆航线,且其距离一般比大圆航线长。但在飞行中,由于等角航线上各点的指向与经线的夹角始终保持不变,因而有利于用磁罗盘保持飞机的航向。

1.2 航向

1.2.1 航向的种类

航向是领航的基本元素之一,指从飞机所在位置经线的北端按顺时针方向量到飞机纵轴前方延长线(航向线)的夹角,其大小范围为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 。飞机的航向用罗盘来测定。罗盘的基准经线可以分为真经线、磁经线和罗经线三种,因而可将航向分为真航向、磁航向和罗航向(图 1-6)。

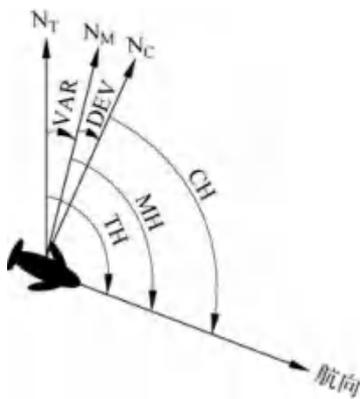


图 1-6 飞机的航向

真航向(true heading, TH)是以真经线为基准的航向,即从飞机所在位置真经线的北端顺时针量到航向线的角度。

磁航向(magnetic heading, MH)是以磁经线为基准的航向,即从飞机所在位置磁经线的北端顺时针量到航向线的角度。

罗航向(compass heading, CH)是以罗经线为基准的航向,即从飞机所在位置罗经线的北端顺时针量到航向线的角度。其中,罗经线是飞机上的磁罗盘所测定的南北方向线。由于飞机磁场对磁罗盘的影响,罗经线北端(罗北)常常与磁经线北端不一致。因此将罗北偏离磁北的夹角定义为罗差(deviation),常用 DEV 表示,其大小范围为 $-5^{\circ}\sim +5^{\circ}$ 。罗差以磁北为基准,罗北偏在磁北以东,罗差为正;罗北偏在磁北以西,罗差为负。罗差的常见表示形式如下:

正罗差: $\pm 2^{\circ}$ 或 2°E

负罗差: -2° 或 2°W

在飞行活动中,经常需要利用磁差和罗差对航向进行换算,或者已知航向求磁差和罗差。例如,航向换算见表 1-1。

表 1-1 航向换算

TH	VAR	MH	DEV	CH
106°		110°		108°
	10°W	325°	2°E	
002°	4°E		4°W	
252°			1°E	258°

1.2.2 航向的测量

飞机是通过罗盘来测量和指示航向的。常用的罗盘主要有直读磁罗盘、陀螺半罗盘、陀螺磁罗盘等。在现代化的飞机上则采用航向系统。

1. 直读磁罗盘

直读磁罗盘由磁条、支架、罗盘、航向标线以及外壳等部件组成,其根据磁条恒指南北两极的原理进行工作。它具有体积小、不易发生故障的优点,是飞机上最为常用的测量航向的仪表,如图 1-7 所示。

直读磁罗盘的外壳固定在飞机上,上面的玻璃中央刻有一条航向标线,代表飞机机头方向。罗盘是环形的,刻有 360° 的刻度, 180° 的刻度线固定在 S 极上。当航向改变时,罗盘不动,外壳随飞机转动,航向标线在刻度环上所对的刻度就是飞机的航向。由于直读磁罗盘指示的是罗航向,使用时必须修正罗差得到磁航向。



图 1-7 直读磁罗盘

此外,在机动飞行时,直读磁罗盘存在倾斜误差、俯仰误差、转弯误差以及加速度误差。在高纬度地区飞行时,由于地磁水平强度很弱,不能准确而稳定地测量航向。

2. 陀螺半罗盘

陀螺半罗盘是利用陀螺的定轴性,通过一个二自由度陀螺仪来测定罗盘的基准线,依靠人工调整罗盘基准线同经线的方向一致,从而测定出飞机的航向。目前飞机上使用的陀螺半罗盘有直读式和远读式两种。

(1) 直读式陀螺半罗盘: 刻度环固定在二自由度陀螺仪的外框上,如果将刻度环上 $0^\circ \sim 180^\circ$ 线(罗盘基准线)人工调整与经线方向一致,外壳上航向标线指示的就是航向。在飞行过程中,直读式陀螺半罗盘存在自走误差,因而必须每隔约 15 min 校准一次航向,通过仪表下方的航向调整钮进行调定。

(2) 远读式陀螺半罗盘: 由陀螺传感器、指示器和控制器等组成。其中,指示器和控制器装在仪表板上,陀螺传感器安装在飞机其他位置。

陀螺半罗盘具有结构简单、造价低、指示稳定、准确等特点,不足之处在于需要人工调定罗盘基准线。因此,飞行中必须与磁罗盘配合使用,并定时与磁罗盘校准。

3. 陀螺磁罗盘

为了弥补陀螺半罗盘基准线不能自动对正经线方向的不足,将远读式陀螺半罗盘和磁罗盘组合在一起,形成陀螺磁罗盘,可分为感应式和磁条式两种,其中感应式陀螺磁罗盘最为常见。感应式陀螺磁罗盘主要由感应式磁传感器、修正机构、陀螺传感器、指示器和角速度传感器等部件构成。

磁传感器和修正机构构成远读磁罗盘,陀螺传感器和指示器构成远读陀螺半罗盘,它们之间通过电位器随动系统连接起来。磁传感器测定的罗航向,经过修正机构修正全部罗差后,输出磁航向信号,去控制陀螺半罗盘的基准线,指示出飞机的磁航向。

感应式陀螺磁罗盘的主要优点有: 直线飞行指示航向稳定、准确; 转弯误差很小; 地磁感应元件灵敏度比较高,在高纬度地区仍可正常工作。

4. 航向系统

航向系统是在感应式陀螺磁罗盘的基础上发展起来的一种组合式罗盘系统,主要由传感器、指示器和控制器等部分组成。其主要特点有:

- (1) 包含两个或两个以上传感器,可组合成多种罗盘。
- (2) 航向信号既能输出到指示器提供给飞行员读取,还可以输出给自动驾驶仪、飞行指引仪、无线电导航系统以及飞行数据记录器。
- (3) 航向指示器与其他指示器组合在一起成为多功能综合指示器。
- (4) 飞机上都装有两套以上航向系统,确保在一套故障的情况下,仍能正常输出,其转换通过转换电门进行。

飞行中,航向系统可用来保持磁航向或真航向沿等角航线飞行,也可用来保持大圆航向(沿大圆航线飞行时应保持的航向),还可以选择以起降跑道为基准的陀螺方位来进行起落航线飞行。

1.3 高度

1.3.1 垂直位置的表示

飞行中往往使用气压式高度表测量飞行高度,即根据标准大气条件下高度与静压的对应关系进行测量。因而确定航空器在空间的垂直位置需要两个要素:测量基准面和自该基准面至航空器的垂直距离。

1. 测量基准面

测量基准面,即指气压基准面,常用的测量基准面有场面气压(QFE)、修正海平面气压(QNH)、标准海平面气压(QNE)(图 1-8)。

- (1) 场面气压,指航空器着陆区域最高点的气压,简称场压。
- (2) 修正海平面气压,指将观测到的场面气压,按照标准大气压条件修正到平均海平面的气压,简称修正海压。
- (3) 标准海平面气压,指在标准大气条件下海平面的气压,其值为 1 013.2 hPa(或 760 mmHg 或 29.92 inHg),简称标准海压。

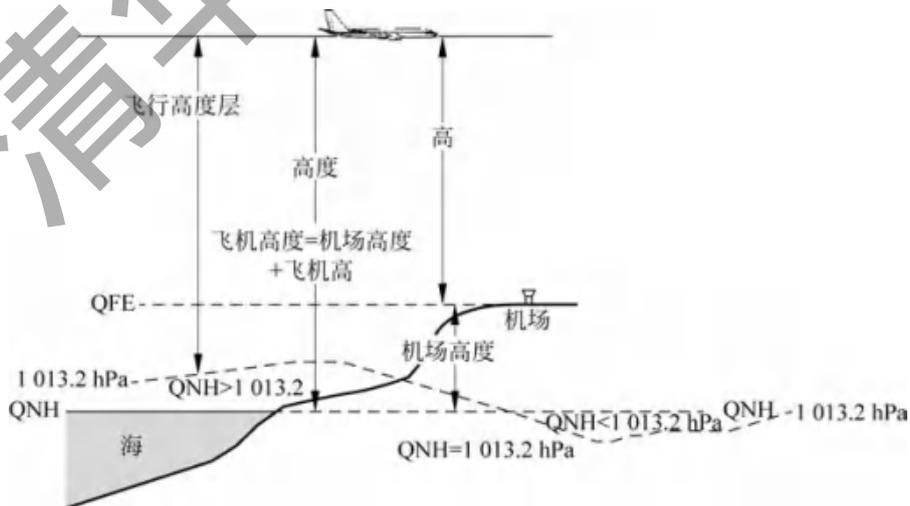


图 1-8 气压高度及其测量基准面

2. 气压高度

根据高度与大气压力之间的关系,通过仪表测量得到的高度被称为气压高度。由于在飞行中选择的气压基准面不同,因此有三种气压高度:场面气压高度、修正海平面气压高度和标准海平面气压高度。

(1) 场面气压高度是指以着陆区域最高点气压调整高度表数值为零,上升至某一点的垂直距离,简称场压高度或场高。

(2) 修正海平面气压高度是指以海平面气压调整高度表数值为零,上升至某一点的垂直距离,简称修正海压高度或海压高度或海高。

(3) 标准海平面气压高度是指以标准海平面气压 1 013.2 hPa(或 760 mmHg 或 29.92 inHg)为基准面,上升至某一点的垂直距离,简称标准海压高度。

在标准大气中,气压随着高度升高而下降,下降速率为 1 hPa/30 ft,即高度每上升 30 ft,气压下降 1 hPa;反之,高度每下降 30 ft,气压上升 1 hPa。利用这个规律,可以计算出飞机在标准大气条件下的气压高度,计算公式为:

标准大气条件下气压高度 = (1 013 - QNH) × 30 + 修正海平面气压高度(飞机高度)

例如,飞机飞行时,气压式高度表设置的气压基准面为 1 018 hPa,显示高度为 8 500 ft,则其在标准大气条件下的气压高度应为 8 350 ft。

3. 高、高度和飞行高度层

在飞行中,航空器对应不同的测量基准面,相应的垂直位置具有特定的名称,如图 1-8 所示。

(1) 高(height)是指自某一个特定基准面量至一个平面、一个点或者可以视为一个点的物体的垂直距离。

(2) 高度(altitude)是指自平均海平面量至一个平面、一个点或者可以视为一个点的物体的垂直距离。

(3) 飞行高度层(flight level)是指以 1 013.2 hPa 气压面为基准的等压面,各等压面之间具有规定的气压差。

使用气压式高度表表示高时,必须使用场面气压作为高度表拨正值;表示高度时,必须使用修正海平面气压作为高度表拨正值;表示飞行高度层时,必须使用标准海平面气压作为高度表拨正值。

4. 密度高度

密度高度是将测量得到的空气密度值校正到标准大气条件下的空气密度,经过计算后得出校正后的海拔高度,因而密度高度的气压基准面是标准海平面。当空气的密度增加时,飞机性能提升;相反地,随着空气密度降低,飞机性能降低。空气密度的下降意味着高密度高度;空气密度的增加意味着低密度高度。密度高度用于计算性能。在标准大气条件下,大气中每个高度上的空气都有特定的密度,且在标准条件下,气压高度和密度高度表示的高度相同。

1.3.2 修正海平面气压/标准海平面气压的适用区域

航空器在不同飞行阶段飞行时,需要采用不同的高度测量基准面。

在地图和航图上,地形和障碍物的最高点用标高表示。标高是指地形点或障碍物至平均海平面的垂直距离。为了便于管制员和飞行员掌握航空器的超障余度,避免航空器在机

场附近起飞、爬升、下降和着陆过程中与障碍物相撞,航空器和障碍物在垂直方向上应使用同一测量基准,即平均海平面。因此,在机场地区应使用修正海平面气压(QNH)作为航空器的高度表拨正值。

在航路飞行阶段,由于不同区域的 QNH 值不同,如果仍然使用 QNH 作为高度表拨正值,航空器在经过不同区域时需要频繁调整 QNH,并且难以确定航空器之间的垂直间隔。若统一使用标准海平面气压(QNE)作为高度表修正值,则可以简化飞行程序,易于保证航空器之间的安全间隔。

为了便于空中交通管制员和飞行员明确不同高度基准面的有效使用区域并正确执行高度表拨正程序,高度表拨正值适用范围在垂直方向上用过渡高度和过渡高度层作为垂直分界,在水平方向上用修正海平面气压适用区域的侧向界限作为水平边界。

(1) 修整海平面气压适用区域

过渡高度是指一个特定的修正海平面气压高度,在此高度或以下,航空器的垂直位置按照修正海平面气压高度表示。

过渡高度层是在过渡高度之上的最低可用飞行高度层。过渡高度层高于过渡高度,二者之间满足给定的垂直间隔(至少为 300 m)。

过渡夹层是指位于过渡高度和过渡高度层之间的空间。

在修正海平面气压适用区内,航空器应采用 QNH 作为高度表修正值,高度表指示的是航空器的高度。航空器着陆在跑道上时高度表指示机场标高。

(2) 标准大气压适用区域

在未建立过渡高度和过渡高度层的区域和航路航线飞行阶段,航空器应当按照规定的飞行高度层飞行。各航空器均采用标准大气压,即 1 013.2 hPa 作为气压高度表修正值,高度表指示的是飞行高度层。

1.3.3 高度的测量

气压式高度表根据标准大气条件下高度与静压的对应关系,利用真空膜盒测量静压,从而表示飞行高度。该类仪表的敏感元件是真空膜盒。从静压孔收集来的静压作用在膜盒外,静压变化时,膜盒产生变形,膜盒的变形量经传送机构,使指针转动,指示出相应的高度,如图 1-9 所示。

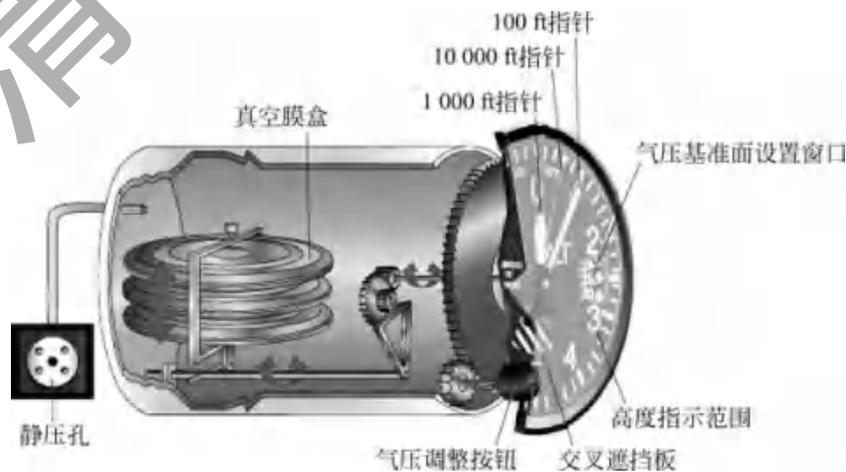


图 1-9 气压式高度表

例如,当飞机爬升到一定高度后,空气密度减少,膜盒外部压力变小,故此膜盒随之膨胀而产生变形,膜盒中心的位移经传动机构传送、变换和放大后,带动指针沿刻度面移动,指示出与气压相对应的高度数值。

图 1-10 为气压式高度表表面,按表面刻度上有无高度指标,可将气压式高度表分为带高度指标(图 1-10(a))和不带高度指标(图 1-10(b))两类,其中,带高度指标的气压式高度表指示部分由指针和刻度盘组成。长指针、短指针、细指针每走一个数字分别增加 100 ft、1 000 ft、10 000 ft。图中两表所示高度均为 6 500 ft。



图 1-10 气压式高度表表面

1.3.4 高度表拨正程序

1. 规定过渡高度和过渡高度层的机场

航空器起飞前,应当将机场修正海平面气压(QNH)的数值对正航空器上气压高度表的固定指标;航空器起飞后,上升到过渡高度时,应当将航空器上气压高度表的气压刻度 1 013.2 hPa 对正固定指标;航空器着陆前,下降到过渡高度层时,应当将机场修正海平面气压(QNH)的数值对正航空器上气压高度表的固定指标。

2. 规定过渡高和过渡高度层的机场

航空器起飞前,应当将机场场面气压的数值对正航空器上气压高度表的固定指标;航空器起飞后,上升到过渡高时,应当将航空器上气压高度表的气压刻度 1 013.2 hPa 对正固定指标;航空器降落前,下降到过渡高度层时,应当将机场场面气压的数值对正航空器上气压高度表的固定指标。

3. 没有规定过渡高度、过渡高和过渡高度层的机场

航空器起飞前,应当将机场场面气压的数值对正航空器上气压高度表的固定指标;航空器起飞后,上升到 600 m 高时,应当将航空器上气压高度表的气压刻度 1 013.2 hPa 对正固定指标。航空器降落前,进入机场区域边界或者根据机场空中交通管制员的指示,将机场场面气压的数值对正航空器上气压高度表的固定指标。

4. 高原机场

航空器起飞前,当航空器上气压高度表的气压刻度不能调整到机场场面气压的数值时,应当将气压高度表的气压刻度 1 013.2 hPa 对正固定指标(此时高度表所指的高度为假定零点高度)。航空器降落前,如果航空器上气压高度表的气压刻度不能调整到机场场面气压的数值,应当按照着陆机场空中交通管制通知的假定零点高度(航空器接地时高度表所指示的高度)进行着陆。

1.3.5 我国飞行高度层配备

为了增加空域容量、提高航空公司的运行效益、减轻空中交通管制的工作负荷,国际民航组织(ICAO)从20世纪70年代起研究缩小垂直间隔标准(reduced vertical separation minimum, RVSM),即将FL290至FL410(含)之间的垂直间隔标准由2000 ft缩小到1000 ft(图1-11)。我国自2007年起实施RVSM,即在现行飞行高度层配备标准基础上,缩小8400~12500 m高度范围内原600 m垂直间隔,即在8400~8900 m实行500 m垂直间隔;其余高度范围实行300 m垂直间隔;8400 m以下、12500 m以上仍分别维持300 m、600 m垂直间隔不变。这样,我国飞行高度层的划分标准(图1-11)可以概括为:

真航线角在 $0^{\circ}\sim 179^{\circ}$ 范围内,飞行高度由900~8100 m,每隔600 m为一个高度层;飞行高度由8900~12500 m,每隔600 m为一个高度层;飞行高度在12500 m以上,每隔1200 m为一个高度层。

真航线角在 $180^{\circ}\sim 359^{\circ}$ 范围内,飞行高度由600~8400 m,每隔600 m为一个高度层;飞行高度由9200~12200 m,每隔600 m为一个高度层;飞行高度在13100 m以上,每隔1200 m为一个高度层。

飞行高度层根据标准大气压条件下假定海平面计算。真航线角从航线起点和转弯点量取。



图 1-11 飞行高度层配备标准示意图

实行 RVSM 后,空域容量增大,空中延误减少,使航班正点率提高;同时燃油消耗降低,使运营成本降低。

1.3.6 安全高度的计算与飞行高度层的选择

1. 最低安全高度及计算

最低安全高度(minimum safe altitude,MSA)是指保证飞机不与地面障碍物相撞的最低飞行高度。这一高度必须对飞行区域内的所有超障碍物具有最小超障余度(minimum obstacle clearance,MOC),即飞机飞越障碍物上空时所具有的最小垂直距离,也称为安全真高。MOC 的大小根据可能造成高度偏差的气象条件、仪表误差、飞机性能及驾驶员技术水平等因素,由中国民用航空局规定并发布。我国规定:航线仪表飞行的最小超障余度是平原地区为 400 m,丘陵和山区为 600 m。

MSA 是根据障碍物标高(ELEV)、最小超障余度(MOC)以及气压修正量(ΔH)计算得到的。计算公式如下:

$$MSA = ELEV + MOC + \Delta H$$

式中,ELEV 是指航线两侧各 25 km 范围内的最大障碍物的标高,可从地图作业或航行资料中查出; ΔH 是沿航线飞行的最低海平面气压于 760 mmHg 而产生的气压修正量,即 $\Delta H = (760 - \text{航线最低海压}) \times 11(\text{m})$,但一般不作计算,可忽略。

2. 确定航线最低飞行高度层

航线最低飞行高度层的选择依据两个要素,即航线的去向(真航线角)和最低安全高度(MSA)。例如,A 地—B 地真航线角为 085° ,航线中心线两侧各 25 km 范围内最高障碍物标高为 926 m,则航线最低安全高度为 1 526 m,最低飞行高度层为 1 800 m。

1.4 时间

时间通常包含两个概念,即时刻和时段。前者是指事情发生的某一瞬间,表示时间的先后;后者则是指两个时刻之间的间隔或时间长度,表示时间的长短。例如,机场预告的所有飞机起飞和到达时间称为飞行时刻表;飞行时间是指从航空器自装载地点开始滑行直到飞行结束到达卸载地点停止运动时为止的时间,可见飞行时间是一个时段。

地球自转一周(360°)需要 24 h,据此可以得到时间与自转角度之间的对应关系(表 1-2)。

表 1-2 时间与自转角度之间的对应关系

自转角度	360°	15°	1°	$15'$	$1'$	$15''$
时间	24 h	1 h	4 min	1 min	4 s	1 s

1.4.1 地方时与世界时

按本地经度测定的时刻,统称地方时。地方时因经度而不同,较东的地方,有较快(时数较大)的地方时。两地之间地方时刻之差,就是两地的经度差。例如,北京和西安的经度分别是 $116^\circ 19'E$ 和 $108^\circ 55'E$,两地的经度差是 $7^\circ 24'$,时刻相差 29 min 36 s。当北京地方时刻

为正午 12 点时,西安的地方时刻为 11:30:24。

世界时(universal time, UT),又称格林尼治时间,以 0° 经线的地方时作为国际统一时刻。世界时与地方时之间的换算可以通过计算各地与格林尼治的经度差得到,而这个经度差即为它们本身的经度。

世界时是以地球自转为基准的。自从石英钟问世后,地球自转的不均匀性逐渐表现出来。为了摆脱这种不均匀性对时间的影响,曾用历书时取代世界时,作为基本的时间计量系统。历书时以地球公转为基准,以历书秒为单位,其优点在于采用不变的历书秒长,天文推算和天文观测结果相一致。但用天文方法测定历书时,其精度不高,于 1967 年被原子时取代。

原子时是由原子钟导出的时间,它以物质内部的原子运动为基准,是精密的时间系统。国际天文学界于 1967 年定义了原子秒,并建立国际原子时。原子时的秒长具有极高的稳定性,但它的时刻却没有实际的物理意义。然而,世界时的秒长虽不固定,但它的时刻对应于太阳在天空中的特定位置,反映瞬时地球在空间的角度位置。这样,协调世界时(coordinated universal time, UTC)产生了。它以原子时为基础,在时刻上尽量接近世界时。从 1979 年起,国际上用协调世界时取代世界时,作为国际无线电通信业务中的标准时间。

1.4.2 区时

区时是按经度划分的。全球分为 24 个时区,每一时区跨经度 15° ,并编有时区的号码。本初子午线所在的时区为零区,跨东西经各 7.5° 。零区以东依次为东 1 区、东 2 区……东 12 区,它们的中央经线分别为东经 15° 、 30° …… 180° ;零区以西依次为西 1 区、西 2 区……西 12 区,它们的中央经线分别为西经 15° 、 30° …… 180° 。其中东 12 区和西 12 区是两个半时区,叠加为 12 区。每一时区的东西界线距各自中央经线都为 7.5° 。各个时区采用各自中央经线的地方时,为全区统一的标准时间,即区时。

各地的区时差异,就是它们所属时区的标准经线的地方时的差异。按区时计算,相邻两时区之间,时刻相差为 1 h;任意两时区的区时之差,等于它们之间相隔的时区数之差。较东的时区,其区时较快。

1.4.3 法定时

区时是理论上的标准时,时区都以经线分界,适用于海上。在陆地上,时区界线通常被自然或行政疆界所代替。许多国家通过法律的形式确定本国采用的时间系统,即称为法定时。法定时采用的标准经度,大多也是区时的标准经度;但也有不少国家的法定时的标准经度,与区时的标准经度迥然不同。许多西方国家的法定时,比它们所在时区的区时快 1 h,如格林尼治时间的故乡英国采用东 1 区的标准时。亚洲某些国家,根据本国所跨的经度范围,采用半时区,如伊朗采用东 3.5 区的标准时,印度采用东 5.5 时区的标准时,缅甸采用东 6.5 时区的标准时。澳大利亚的情形比较特殊,东、西部分别采用东 10 区和东 8 区的标准时,中部采用东 9.5 区的标准时。因此,飞越上述国家时应特别注意。

1.4.4 日界线

为了避免在时刻换算中发生日期混乱,必须在向东推算时把日期退回1日;或者在向西推算时把日期推进1日。日期进退的界限,称为日界线或国际日期变更线。经日界线划分之后,东12区和西12区之间发生了微妙的变化:二者既属于同一时区,又是相隔最远的两个时区。东12区比西12区早1日。因此,飞越日界线时,要变更日期:自东12区向东经过日界线,日期要退回1日;反之,自西12区向西经过日界线,日期要加上1日。如果要飞机飞行使用的区时换算成当地区时,还应加上或减去两地之间的时区差数。

1.4.5 日出、日没、天亮、天黑时刻

航空上以太阳上边缘接近地平线的瞬间为日出;以太阳上边缘下降到地平线以下的瞬间为日没;以太阳中心上升到地平线以下 7° 为天亮;以太阳中心下降到地平线以下 7° 为天黑(图1-12)。



图 1-12 日出、日没和天亮、天黑

地球表面除赤道以外,不同纬度的各个地点,在同一天中,日出日没和天亮天黑的时刻各不相同。同一地点,不同季节的日出日没和天亮天黑的时刻也不相同。每年春分到秋分的上半年中,北半球倾向太阳,昼长夜短,各地点日出早于6点,日没晚于18点;纬度越高,日出和天亮越早,日没和天黑越晚。秋分到春分的下半年中,情形正好相反。日出日没和天亮天黑时刻还与飞行高度有关:飞行高度越高,日出和天亮越早,日没和天黑越晚。

1.5 速度

1.5.1 空速的种类

飞机相对于空气运动的速度称为空速,常用单位有:千米/小时(km/h)、海里/小时(n mile/h,即节kn)。它们之间的转换关系为: $1\text{ n mile/h(kn)}=1.852\text{ km/h}$ 。

空速的大小是根据相对气流流速与动压的关系,通过空速表测量出来的,因而带有一定的误差,主要有机械误差、空气动力误差、空气压缩性修正量误差、密度误差等。根据误差来源可以将空速分为以下几种:

(1) 仪表空速(BAS): 简称表速,是仪表空速表根据海平面标准大气条件下相对气流流速与动压之间的关系所测定的空速。

(2) 修正空速(CAS): 在表速的基础上修正机械误差得到的空速,称为修正空速。

(3) 指示空速(IAS): 对修正空速进行空气动力误差修正后得到的空速,称为指示空速。

(4) 当量空速(EAS): 在指示空速的基础上,经过空气压缩性修正量误差的修正后,得到当量空速。

(5) 真空速(TAS): 当量空速经过密度误差修正后的空速称为真空速。真空速是飞机相对空气运动的真实速度。领航计算时所用的空速是真空速。

此外,常用的空速还有马赫数(Ma),它是指飞机的飞行速度与当时大气(即一定的高度、温度和大气密度)中的音速之比。空速是通过空速表进行测量得到的。

1.5.2 空速的测量

1. 指示空速表

指示空速是由指示空速表测量得到的。指示空速表是根据开口膜盒在动压的作用下产生变形,带动指针来指示表速。指针的转角完全取决于动压的大小,即指示空速的大小。空速大,动压大,仪表指示大;反之,指示小。由此可见,指示空速表是根据海平面标准大气条件下空速与动压的关系,利用开口膜盒测动压,从而测定指示空速,其工作原理如图 1-13 所示。

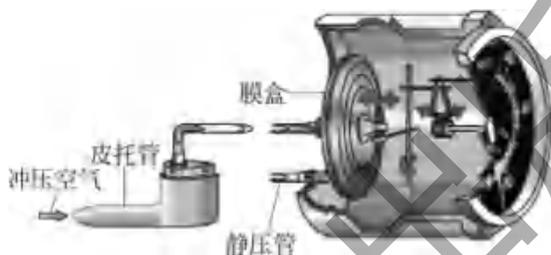


图 1-13 指示空速表的测量原理

2. 真空速表

真空速是通过真空速表测量得到的。真空速表是在标准大气条件下,利用真空速与动压、静压之间的关系,通过真空膜盒和开口膜盒分别随静压和动压的变化,来指示飞机的真空速。动压增大时,开口膜盒膨胀,使指针转角增大;静压减小时,真空膜盒膨胀,支点向右移动,传动比增大,也使指针转角增大。这种真空速表没有感受气温的传感部分,当外界实际气温不等于标准气温时,将出现气温方法误差。

图 1-14 所示两种真空速表的指示部分由指针和刻度盘组成。该类真空速表的刻度盘上涂有不同的颜色标记,以代表不同飞行阶段的速度限制范围和各种极限速度。

3. 马赫数表

真空速与飞机所在高度的音速之比称为马赫数(Ma)。当飞机 Ma 数超过临界 Ma 数时,飞机的空气动力特性要发生显著的变化,飞机的安全性、操控性将出现一系列的变化,此外飞行员根据指示空速表也不能判断飞机所受空气动力的情况,而必须测量 Ma 数,图 1-15 所示为马赫数表的盘面。



图 1-14 真空速表的盘面



图 1-15 马赫数表的盘面

1.5.3 相对速度计算

飞行中相对速度的问题主要出现在三个方面：追赶和相向而行的飞机、不同航迹的飞机、从不同位置起飞的飞机。

1. 飞机追赶和相遇

图 1-16 是两架飞机相向而行的情形。此时它们的相对速度为两架飞机速度之和，即 $120 \text{ km/h} + 250 \text{ km/h} = 370 \text{ km/h}$ 。



图 1-16 两架飞机相向而行

图 1-17 是两架飞机背向而行的情形。此时它们的相对速度仍为两架飞机速度之和，即 $120 \text{ km/h} + 250 \text{ km/h} = 370 \text{ km/h}$ 。



图 1-17 两架飞机反向而行

图 1-18 是两架飞机追赶的情形。此时它们的相对速度为两架飞机速度之差，即 $250 \text{ km/h} - 120 \text{ km/h} = 130 \text{ km/h}$ 。



图 1-18 两架飞机同向而行

2. 飞机相遇

【例 1-1】 A、B 两个机场相距 1 000 n mile。09:00，一架飞机 1 以 300 kn 的速度从 A 地出发飞往 B 地。09:30，另一架飞机 2 以 400 kn 的速度从 B 地出发飞往 A 地。问：两架飞机何时相遇？此时飞机 2 离 A 地有多远？

解：第一步，画示意图。通过计算可知，09:30 飞机 1 离 A 地 150 n mile，据此可得图 1-19。

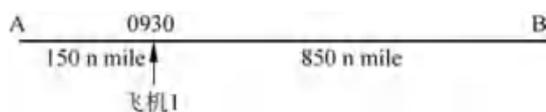


图 1-19 飞机相遇问题示意图

第二步，计算飞机相向而行的速度： $300 \text{ kn} + 400 \text{ kn} = 700 \text{ kn}$

第三步，计算两机相遇所需的时间： $850 / 700 = 1.21 \text{ h} = 72.6 \text{ min}$

第四步,计算两机相遇的时刻: $09:30 + 72.6 \text{ min} = 10:42:36$

第五步,计算相遇时飞机 2 离 A 地的距离: $1\,000 \text{ n mile} - 400 \times 1.21 \text{ n mile} = 516 \text{ n mile}$

3. 飞机追赶

【例 1-2】 10:15,一架飞机 1 以 250 kn 的速度从 A 地离开。10:45,另一架飞机 2 以 350 kn 的速度也从 A 地出发。若两架飞机的航向一致,但位于不同的高度层上飞行。问:飞机 2 何时能追上飞机 1? 飞机 2 追上飞机 1 前,何时两架飞机相距 30 n mile?

解: 第一步,画示意图:通过计算可知,10:45 飞机 1 离 A 地 125 n mile,据此可得图 1-20。



图 1-20 飞机追赶问题示意图

第二步,计算两架飞机追赶时的相对速度: $350 \text{ kn} - 250 \text{ kn} = 100 \text{ kn}$

第三步,计算飞机 2 追赶飞机 1 所需的时间: $125/100 = 1.25 \text{ h} = 75 \text{ min}$

第四步,计算飞机 2 追上飞机 1 的时刻: $10:45 + 75 \text{ min} = 12:00$

第五步,计算两架飞机相距 30 n mile 时的时刻:

$$125 \text{ n mile} - 30 \text{ n mile} = 95 \text{ n mile}$$

$$95/100 = 0.95 \text{ h} = 57 \text{ min}$$

$$10:45 + 57 \text{ min} = 11:42$$

【例 1-3】 飞机 C 以 360 kn 的速度追赶前方 50 n mile 处的飞机 D,预计 25 min 可以追上。问:飞机 D 的速度是多少?

解: 第一步,计算飞机追赶时的相对速度: $50/(25/60) = 120 \text{ kn}$

第二步,计算飞机 D 的速度: $360 \text{ kn} - 120 \text{ kn} = 240 \text{ kn}$

4. 飞机按时到达

在航线飞行时,天气变化和一些意外会使飞机提前或延迟到达检查点。为了保证飞机在预定时间到达目的地,飞行员需要通过调整飞机速度来消磨或补偿飞行时间。

【例 1-4】 一架飞机以 300 kn 的速度飞往上海虹桥机场,预计到达时间为 12:00。由于中午虹桥机场飞机起降频繁,空中交通流量受到管制,空管人员要求机长晚到 5 min。这样,预计飞行速度将减至 240 kn。问:最晚何时必须减速? 此时飞机距离虹桥机场多远?

解: 第一步,选择简单的距离进行计算,如距离虹桥机场 300 n mile 处;若不受管制,飞机将飞行 1 h 到达,即 60 min;若受管制,飞机将飞行 1.25 h 到达,即 75 min。这样,交通管制将使飞机晚到 15 min。

第二步,利用简单的数学关系可以得到,距离虹桥机场 100 n mile 处,飞机因管制将晚到机场 5 min。

第三步,计算飞机减速飞行的时间: $100/240 = 0.4167 \text{ h} = 25 \text{ min}$

第四步,计算飞机最晚减速的时刻: $12:05 - 25 \text{ min} = 11:40$

1.6 风对飞行的影响

1.6.1 气象风和航行风

风是空气相对于地球表面的水平运动。风是矢量,其方向称为风向(WD),大小称为风速(WS)。气象上将风吹来的真方向定义为风向;领航中风向则指风吹去的磁方向,即从磁经线北端顺时针方向量到风的去向的夹角,这一夹角被称为航行风向。

飞行前准备时,如果获取的风向是气象风向,应先换算为航行风向。由前面的定义可知,航行风向与气象风向之间相差 180° 和一个磁差。

如某地磁差为 -7° ,气象台预报 08:00 时风的情况:风向 216° ,风速 5 m/s ,此时航行风的大小为 5 m/s ,风向为 43° 。

1.6.2 三种运动

飞机在风中航行,同时存在三种相对运动:飞机相对于空气的运动、空气相对于地面的运动、飞机相对于地面的运动。

飞机相对于空气的运动,用空速向量 **TAS** 表示,真空速和航向分别代表空速向量的大小和方向。

空气相对于地面的运动,用风速向量 **WS** 表示,风速和风向分别代表风速向量的大小和方向。

飞机相对于地面的运动,用地速向量 **GS** 表示,地速和航迹角分别代表地速向量的大小和方向。

其中,地速是指飞机在单位时间里所飞过的地面距离。航迹是指飞机实际运动所经过的路线,也称为航迹线。航迹角是指从经线北端顺时针度量到航迹去向的角度,因经线有真经线和磁经线之分,故航迹角也可分为真航迹角(TTK)和磁航迹角(MTK)。飞行中常用磁航迹角,而在地图上标画航迹或推算飞机位置时,必须使用真航迹角,可以通过磁差进行换算。

1.6.3 飞机在风中的航行情形

(1) 在无风情况下的航行情形

空中无风时,飞机的航迹与航向一致,即航迹角等于航向;同时,地速等于真空速。

(2) 在有风情况下的航行情形

在有侧风下航行,虽然航向、空速没有改变,但由于侧风的影响,飞机除与空气相对运动外,同时还将随风飘移,航迹线将偏到航向线的下风面,地速和空速也常不相等。

如图 1-21 所示,飞机航向为 O_2 指向 A_3 ,空速为 200 km/h ;风从 A_3 吹向 A_2 ,风速为 50 km/h 。在风的影响下,飞机实际运动轨迹为 O_2 到 A_2 。

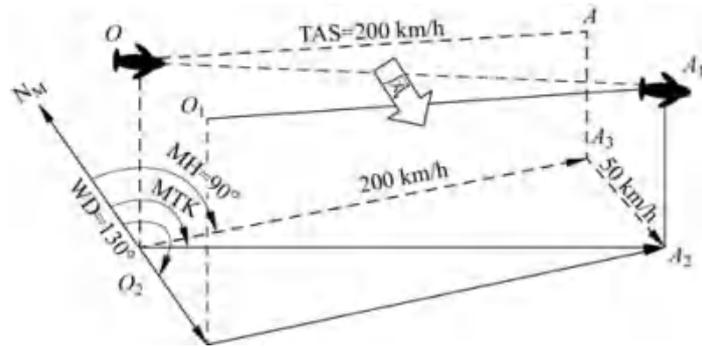


图 1-21 飞机在风中的航行情形

1.7 航行速度三角形

1.7.1 基本概念

根据飞机在风中航行的三种相对运动可以得到三个向量：空速向量、风速向量和地速向量。根据向量合成的原理，这三个向量构成一个三角形，称为航行速度三角形(图 1-22)。它反映了三个向量的关系，即风对飞机航行影响的基本规律。

航行速度三角形包含八个元素：航向(磁航向 MH)、真空速(TAS)、风向(WD)、风速(WS)、航迹(磁航迹 MTK)、地速(GS)、偏流(DA)和风角(WA)(图 1-22)。

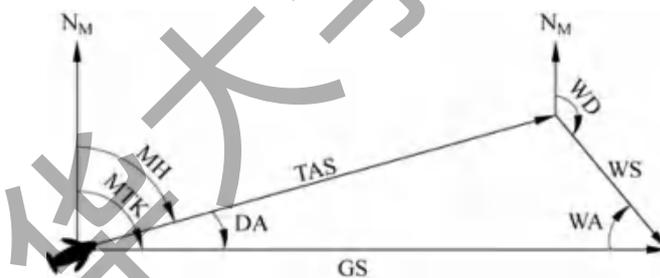


图 1-22 航行速度三角形

1. 偏流

由于侧风的影响，空速向量和地速向量不重合，也可看成航迹和航向不重合。以航向线为参考，将航迹线偏离航向线的角度定义为偏流角，简称偏流，用 DA 表示。左侧风时，航迹线偏在航向线的右侧，规定此时偏流为正，称为右偏流；右侧风时，航迹线偏在航向线的左侧，规定此时偏流为负，称为左偏流。偏流的常见表示形式如下：

右偏流： $+6^\circ$ 或 6° right

左偏流： -6° 或 6° left

偏流的大小与真空速和风速的大小以及侧风程度有关。

2. 风角

风向线与航迹线的夹角称为风角(WA)，用于反映飞机侧风的情况。左侧风时，由航迹

线顺时针量到风向线,规定风角为正;右侧风时,由航迹线逆时针量到风向线,风角为负。风角的正负与偏流的正负完全一致。风角的范围由 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ 。 0° 表示顺风, 180° 表示逆风, $\pm 90^\circ$ 表示左右正侧风。 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 表示左右顺侧风, $\pm 90^\circ \sim 180^\circ$ 表示左右逆侧风。

需要注意的是,国外许多教材中不使用风角。

1.7.2 求解航行速度三角形

1. 正弦定理和余弦定理

正弦定理和余弦定理反映任意三角形中三条边与对应角的关系。在 $\triangle ABC$ 中, $\angle A$ 、 $\angle B$ 和 $\angle C$ 所对的边分别为 a 、 b 和 c ,则有:

$$\text{正弦定理: } \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$\text{余弦定理: } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

2. 求解航行速度三角形

参考图 1-22,可以得到航行速度三角形中的正弦定理,即

$$\frac{TAS}{\sin WA} = \frac{WS}{\sin DA} = \frac{GS}{\sin(WA + DA)}$$

【例 1-5】 如图 1-23 所示,已知 $MH=100^\circ$, $TAS=180 \text{ km/h}$, $WD=60^\circ$, $WS=15 \text{ km/h}$ 。求航行速度三角形中的其他元素。

解: 第一步,利用余弦定理求 GS :

$$\begin{aligned} GS &= \sqrt{WS^2 + TAS^2 - 2 \times WS \times TAS \times \cos \alpha} \\ &= \sqrt{15^2 + 180^2 - 2 \times 15 \times 180 \times \cos 40^\circ} \\ &= 169 \text{ km/h} \end{aligned}$$

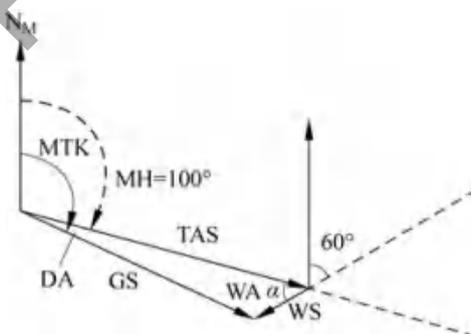


图 1-23 求解航行速度三角形

第二步,求风角 WA :

$$\begin{aligned} \frac{TAS}{\sin WA} &= \frac{GS}{\sin \alpha} \\ \frac{180}{\sin WA} &= \frac{169}{\sin 40^\circ} \end{aligned}$$

可以求得 $WA=43^\circ$ 。

第三步,求偏流 DA :

$$\frac{TAS}{\sin WA} = \frac{WS}{\sin DA}$$

$$\frac{180}{\sin 43^\circ} = \frac{15}{\sin DA}$$

可以求得 $DA=3^\circ$,由于风从航线的左侧吹来,形成右偏流,故 $DA=+3^\circ$ 。

第四步,求航迹角 MTK :

$$MTK = MH + DA = 100^\circ + 3^\circ = 103^\circ$$

本章小结

所有的领航活动都涉及方向、高度、时间和速度,这四个要素被称为领航四要素。由于磁差的存在,航线可分为真航线和磁航线。常用的航线是大圆航线和等角航线。因磁差和罗差的存在,航向可分为真航向、磁航向和罗航向,可通过直读磁罗盘、陀螺半罗盘、陀螺磁罗盘、航向系统等进行测量。

飞行时主要使用气压高度定义飞机的垂直距离。场面气压、修正海平面气压以及标准海平面气压是常用的气压基准面,分别用于确定航空上的高、高度和飞行高度层。过渡高度以下使用修正海平面气压,过渡高度层以上使用标准海平面气压。气压高度可通过气压式高度表进行测量。民航飞行规则明确了高度表拨正程序。2007年起我国施行RVSM,形成现有的飞行高度层配备标准。根据航线去向和最低安全高度,可以确定航线最低飞行高度层。

航空上常使用世界时。利用“经度 1° 相当于 4 min ”这个关系式可进行地方时与世界时的换算。任意两时区的区时之差,等于它们之间相隔的时区数之差。航空上还使用日出、日没、天亮和天黑时刻。

空速可分为仪表空速、修正空速、指示空速、当量空速以及真空速,由空速表测量得到。飞行中相对速度的问题主要出现在追赶和相向而行的飞机、不同航迹的飞机、从不同位置起飞的飞机三个方面。由于风的存在,飞机在风中航行同时存在三种相对运动:飞机相对于空气的运动、空气相对于地面的运动,以及飞机相对于地面的运动,构成航行速度三角形。利用正弦定理和余弦定理,可求解航行速度三角形。

思考题

1. 什么是磁差? 如何表示磁差? 航空中如何查找磁差?
2. 什么是航线? 如何表示航线? 真航线角和磁航线角是如何换算的?
3. 什么是大圆航线? 有哪些特点? 飞行中如何使用大圆航线?
4. 什么是等角航线? 有哪些特点? 飞行中如何使用等角航线?
5. 什么是罗差? 如何表示罗差?

6. 什么是航向？如何定义真航向、磁航向和罗航向？真航向与磁航向、磁航向和罗航向之间是如何换算的？
7. 常用的气压基准面有哪些？是如何定义的？航空上是如何使用这些气压基准面的？
8. 航空上如何定义高、高度和飞行高度层？
9. 什么是气压高度？什么是密度高度？
10. 在我国高度表拨正程序有哪些规定？
11. 什么是过渡高、过渡高度以及过渡高度层？
12. 什么是RVSM？我国现行的飞行高度层是如何配备的？
13. 什么是最低安全高度？如何计算最低安全高度？
14. 时间和经度是如何对应的？
15. 什么是地方时和世界时？
16. 如何定义天黑和天亮、日出和日没？
17. 空速的种类有哪些？
18. 如何区分气象风和航行风？
19. 飞机在风中航行时存在哪三种相对运动？
20. 航行速度三角形的八个要素是什么？
21. 什么是偏流？如何定义偏流的方向？
22. 什么是风角？

课程思政阅读材料



航空报国精神内涵



为什么9月21日对中国航空事业如此重要？



中国航空工业纪事：1951年中国航空工业在抗美援朝烽火中诞生

2.1 地图三要素

地图是地球按一定比例缩小为地球仪后,采用一定的方法和符号,将其表面的一部分或全部描绘到平面上的图形。供航空使用的地图,称为航空地图,简称航图。它是每次飞行时进行领航准备和实施空中领航必不可少的工具。因此,正确阅读航图、理解航图提供的信息、熟练掌握地图作业方法,是每个飞行员必须具备的技能。

在地图上,地图比例尺、地图符号和地图投影并称为地图三要素,它是了解地图构成和地图信息的基础。

2.1.1 地图比例尺

地图比例尺是指图上长度与相应地面之间的长度之比,常用的表现形式有数字式比例尺、文字式比例尺和图解式比例尺。

(1) 数字式比例尺:如 $1:5\,000$ 、 $1:10\,000$ 或 $1/15\,000$ 、 $1/10\,000$ 。

(2) 文字式比例尺:分为两种,一种是写成“一万分之一”“百万分之一”,另一种是写成“图上 1 cm 等于实地 1 km”。

(3) 图解式比例尺:又称为线段比例尺,是将地图上 1cm 所代表的地面长度,用线段的形式在地图上表示出来,如图 2-1 所示。



图 2-1 图解式比例尺

根据比例尺大小,可分为大比例尺地图和小比例尺地图。领航上习惯将比例尺大于五十万分之一的地图称为大比例尺地图;把比例尺小于百万分之一的地图称为小比例尺地图。大比例尺地图包含的范围小,但内容详细,适用于短距离飞行;而小比例尺地图包含的范围大,因而内容简单,适用于中远距离航行。