

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

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

第1章

领航四要素

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 $(74.9^{\circ}\text{N}, 101^{\circ}\text{W})$ 的地方;磁南极约在 $(67.1^{\circ}\text{S}, 142.7^{\circ}\text{E})$ 的地方。磁差、磁倾和地磁力称为地球磁场三要素。

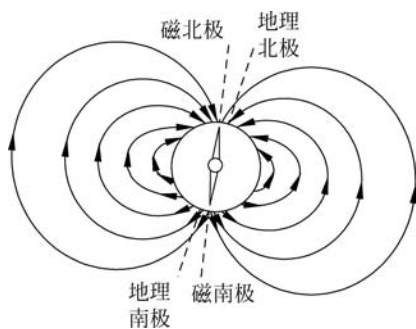


图 1-1 地球磁场

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

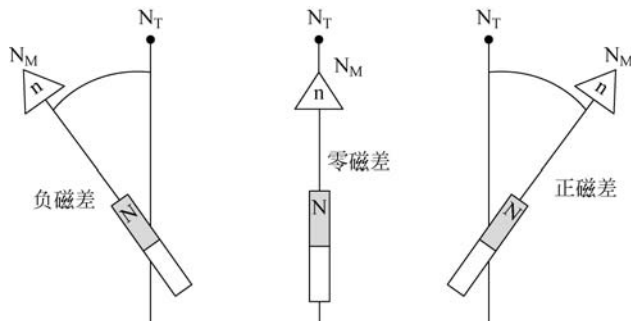


图 1-2 磁差

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)。

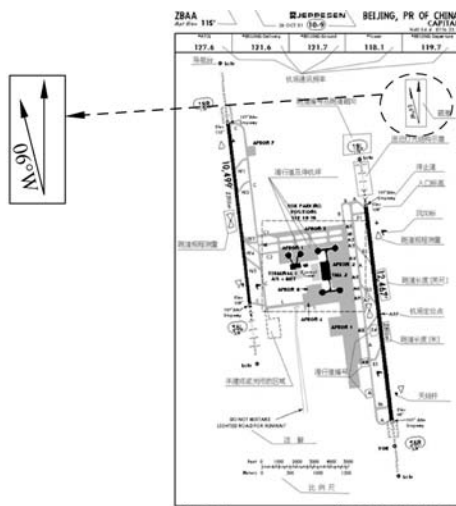


图 1-3 机场平面图上查找磁差

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。

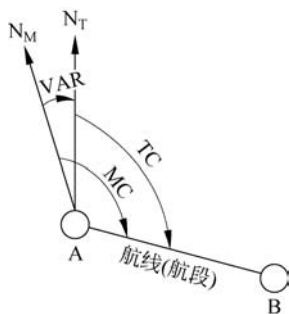


图 1-4 航线角及换算

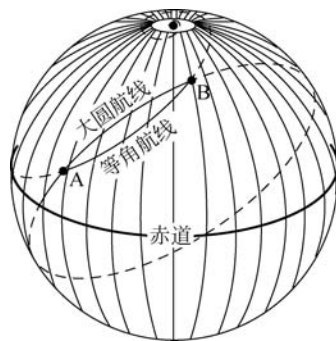


图 1-5 大圆航线和等角航线

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)。

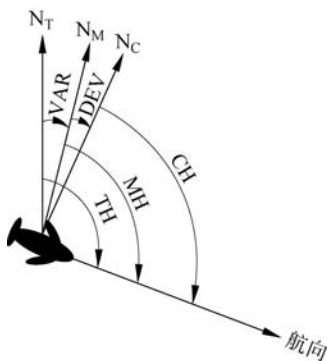


图 1-6 飞机的航向

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: $+2^{\circ}$ 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。

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。



图 1-7 直读磁罗盘

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,仍能将数据正常输出,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。

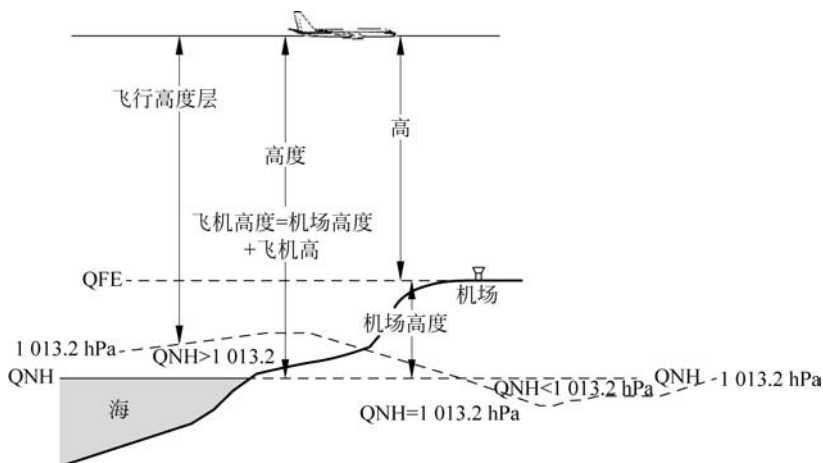


图 1-8 气压高度及其测量基准面

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。

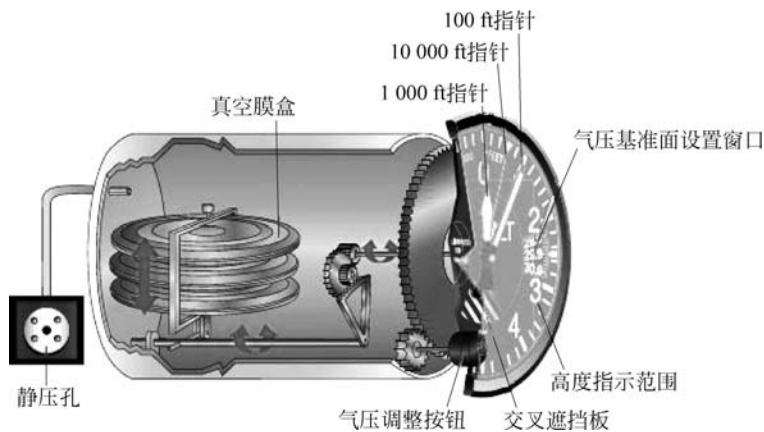


图 1-9 气压式高度表

例如,当飞机上升到一定高度后,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。

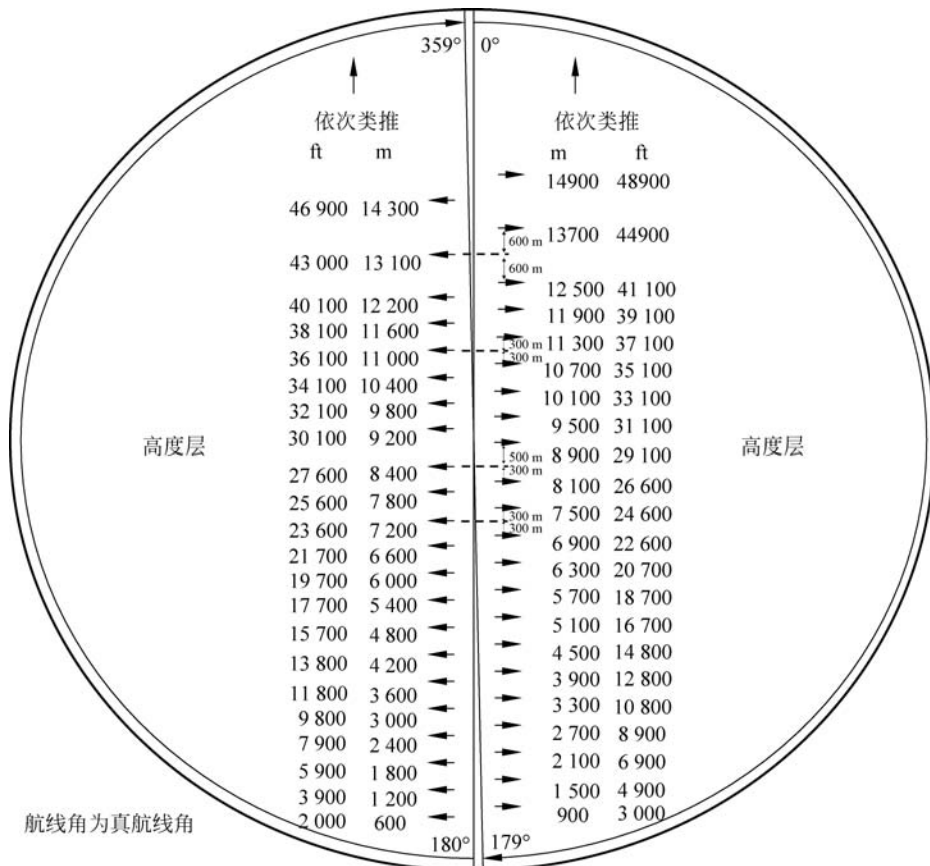


图 1-11 飞行高度层配备标准示意图

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。如果要将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:1n mile/h(kn)=1.852 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。

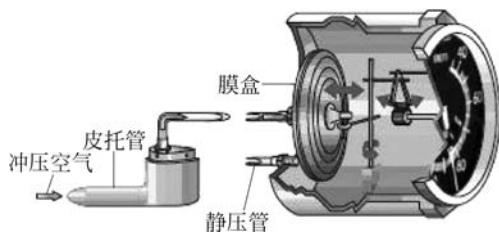


图 1-13 指示空速表的测量原理

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。

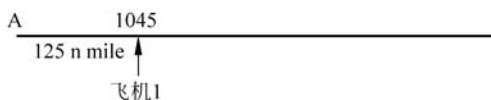


图 1-20 飞机追赶问题示意图

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 。

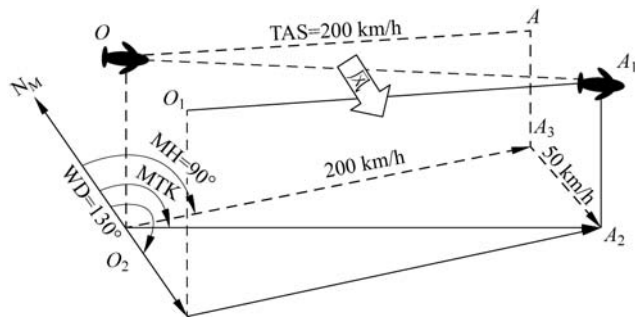


图 1-21 飞机在风中的航行情形

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)。

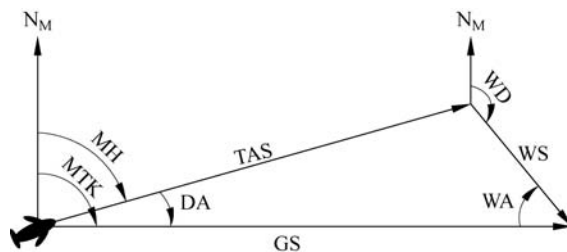


图 1-22 航行速度三角形

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

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

【例 1-5】 如图 1-23 所示,已知 $\text{MH}=100^{\circ}$, $\text{TAS}=180 \text{ km/h}$, $\text{WD}=60^{\circ}$, $\text{WS}=15 \text{ km/h}$ 。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:

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

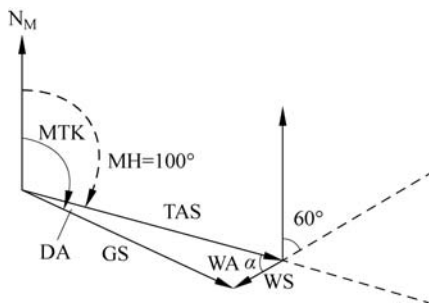


图 1-23 求解航行速度三角形

第二步,求风角 WA:

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

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

第2章

地 图

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。

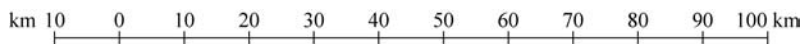


图 2-1 图解式比例尺

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。

2.1.2 地图符号

地球表面分布着不同大小和形态的物体,统称为地物。根据分布形态,可将地物分为点状、线状和面状。在地图上将这些地物按比例尺缩小后表现出来,这种表现形式就称为地图符号。不同大小的地物在地图上分别用真形、半真形和代表符号表示出来。

大城市、大湖泊等经缩小后仍可以在地图上表示出来,这种表现符号称为真形符号;铁路、公路、河流等狭长的线状地物按比例缩小后,长度可以在地图上表示,但宽度不能绘制,因而采用半真形符号;小城镇、城市中的高大建筑物等经缩小后无法表现其形状和大小,因此只能使用一些代表符号进行表示。这些符号只表明地物的位置,不能反映其形状和大小。

地形是指地球表面高低起伏的形态,是地图上最主要的表现内容。我们常采用标高点、等高线和分层设色三种形式来表现某一地区的地形特点。标高点一般选取山峰、山脊的顶点,在图上用●或▲表示;等高线是标高相等的各个地点的连线,等高线越密,地形越陡;为了增强表现效果,往往在两条等高线之间,由低到高分别涂上由浅到深的不同颜色,这种表现方式就是分层设色。

2.1.3 地图投影

地图投影是将地球椭圆面上的客观世界表现在有限的平面上的数学法则。由于任何球面都不可能直接展成平面,因此,在地图投影的过程中地球表面的一些地方不可避免地会发生形变,称为地图失真。

地图失真主要有三种情况:

- (1) 长度失真:即地球上某一线段的长度投影到平面上后发生伸长或缩小的变化。
- (2) 角度失真:即地球上某一角度投影到平面上后发生增大或缩小的变化。
- (3) 面积失真:即地球上某一区域投影到平面上后发生面积变大或变小的情况。

根据地图失真的情况,可将地图投影分为等距投影、等角投影、等积投影和任意投影。等距投影、等角投影和等积投影分别是指在投影过程中没有发生长度失真、角度失真和面积失真的投影。而既非等距、也非等角和等积的投影称为任意投影。

此外,还可以根据投影面的形状、投影面与球面的相交方式、投影面与球面的位置关系进行分类。

按投影面的形状,可将地图投影分为平面投影、圆柱投影和圆锥投影。

平面投影,又称方位投影,是将地球表面上的经线、纬线投影到与球面相切或相割的平面上去的投影方法(图 2-2(a))。平面投影大都是透视投影,即以某一点为视点,将球面上的图像直接投影到投影面上去。

圆柱投影是用一个圆柱筒套在地球上,圆柱轴通过球心,并与地球表面相切或相割,将地面上的经线、纬线均匀地投影到圆柱筒上,然后沿着圆柱母线展开成平面(图 2-2(b))。

圆锥投影是用一个圆锥面相切或相割于地面的纬度圈,圆锥轴与地轴重合,然后以球心为视点,将地面上的经线、纬线投影到圆锥面上,再沿圆锥母线展开成平面(图 2-2(c))。圆锥投影地图上的纬线为同心圆弧,经线为相交于地极的直线。

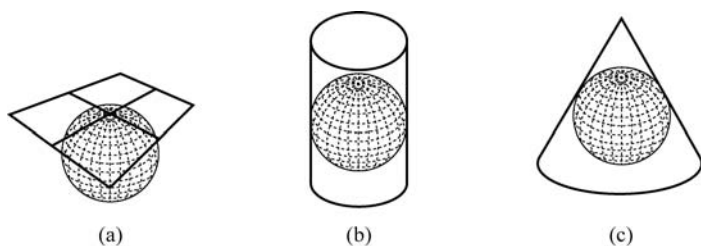


图 2-2 按投影面的形状划分地图投影

(a) 平面投影；(b) 圆柱投影；(c) 圆锥投影

按投影面与球面的相交方式,可将地图投影分为切投影和割投影。

切投影是以平面、圆柱面或圆锥面作为投影面,使投影面与球面相切,将球面上的经纬线投影到平面上、圆柱面上或圆锥面上,然后将该投影面展为平面而成(图 2-3(a))。

割投影是以平面、圆柱面或圆锥面作为投影面,使投影面与球面相割,将球面上的经纬线投影到平面上、圆柱面上或圆锥面上,然后将该投影面展为平面所得到的投影(图 2-3(b))。

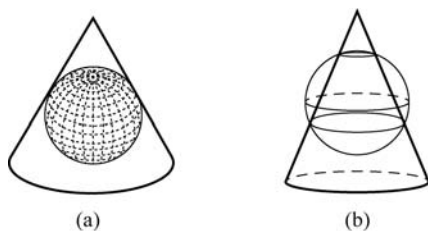


图 2-3 按投影面与球面的相交方式划分地图投影

(a) 切投影；(b) 割投影

按投影面与球面的位置关系,可将地图投影分为正轴投影、斜轴投影和横轴投影(图 2-4)。投影面与球面的位置关系是指投影面轴线与地轴的位置关系。

正轴投影是指投影面轴线与地轴重合时得到的投影(图 2-4(a))。

横轴投影是指投影面轴线与地轴垂直时得到的投影(图 2-4(b))。

斜轴投影是指投影面轴线既不与地轴重合,也不与地轴垂直时得到的投影(图 2-4(c))。

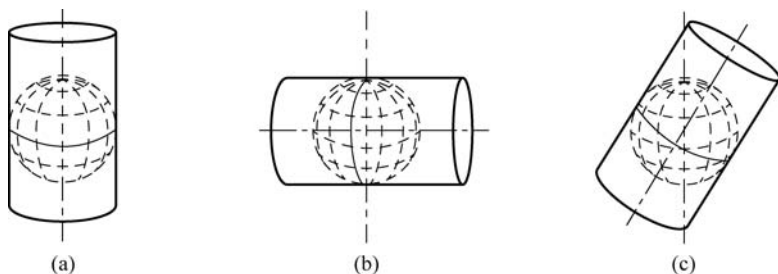


图 2-4 按投影面的形状划分地图投影

(a) 正轴投影；(b) 横轴投影；(c) 斜轴投影

2.2 常用地图投影

2.2.1 墨卡托投影

墨卡托投影,即为等角正轴圆柱投影,是由荷兰地图学家墨卡托于1569年专门为航海目的而设计的。圆柱面与地球仪相切于赤道,按等角条件从球心将经纬网投影到圆柱面上,将圆柱面展开后,即可得到墨卡托投影(图2-5)。

墨卡托投影没有角度失真,在赤道上也不存在其他失真;而其他地区存在长度失真,离赤道越远,长度失真越大。墨卡托投影图上的经线和纬线是互相垂直的平行直线(图2-6)。相邻两条经线的经度差相等,但相邻两条纬线的纬度差离赤道越远,间隔越大。墨卡托投影图最大的特点在于不仅保持了方向和相对位置的正确,而且能使等角航线表示为直线,因此对航海、航空具有重要的实际应用价值。只要在图上将航行的两点间连一直线,并量好该直线与经线间夹角,一直保持这个角度航行即可到达终点。此外,墨卡托投影图上的大圆航线是一条凸向两极的曲线。



图 2-5 墨卡托投影

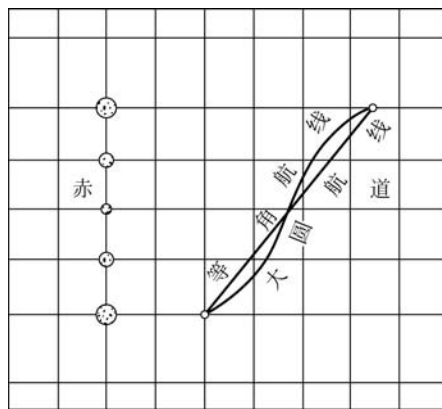


图 2-6 墨卡托投影图

2.2.2 兰勃特投影

兰勃特投影,即为等角正割圆锥投影,由德国人兰勃特创建,是目前航空地图采用的主要投影方法。圆锥面与地球仪上的两条纬线相割,按等角条件从球心将经纬网投影到圆锥面上,将圆锥面展开后,即可得到兰勃特投影图(图2-7)。

兰勃特投影没有角度失真,在相割的两条纬线(标准纬线)上也不存在其他失真;而其他地区存在长度失真,主要取决于该点所处的纬度和投影时选取的标准纬度。在兰勃特投影图上,经线是收敛于极点的直线,纬线是以极点为中心的同心圆,经线和纬线互相垂直

(图 2-8)。由于相等纬差的距离近似相等,在实际使用中可视为等角又等距。此外,近距离的大圆航线可看成直线,等角航线凹向极点。

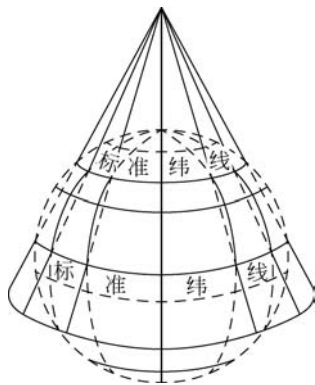


图 2-7 兰勃特投影

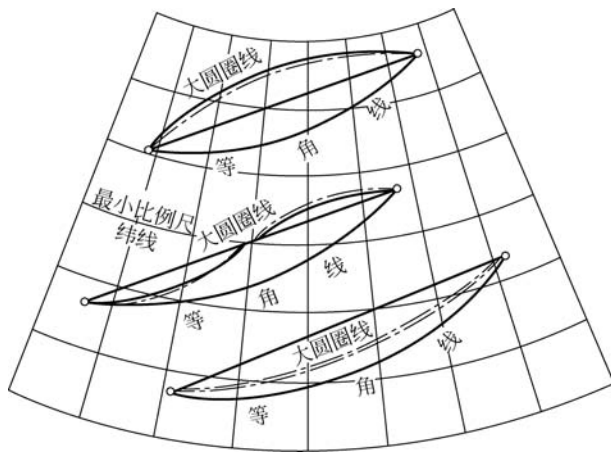


图 2-8 兰勃特投影图

2.2.3 极地投影

极地投影可分为球心投影和球面投影。球心投影是指将平面切于地球仪的南极或北极,从地球仪中心将经纬网投影到平面上的投影方法(图 2-9)。球面投影是将灯光置于平面与地球仪相切的另一端的球面上,再将经纬网投影到平面上的投影方法。

除平面与地球仪相切的极点没有任何失真外,其他地区离极点越远,失真越大。在极地投影图上,经线是呈放射状的直线,纬线是以极点为中心的同心圆,纬度越低,纬线间隔越大(图 2-10)。大圆航线在图上是一条直线,等角航线是螺旋曲线。

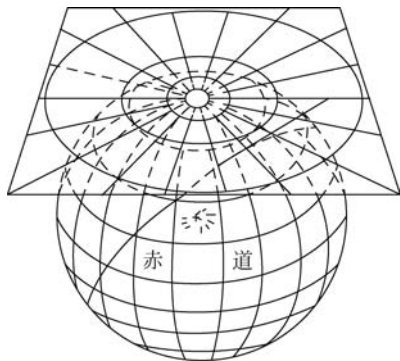


图 2-9 极地投影

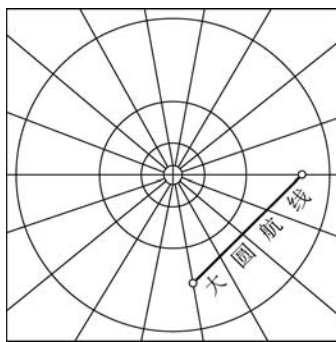


图 2-10 极地投影图

以上就是常用的航空地图。根据其投影特点,可以得到三种常用航空地图的比较,见表 2-1。

表 2-1 常用航空地图比较

名称		墨卡托投影科 (等角正轴圆柱投影图)	兰勃特投影图 (等角正割圆锥投影图)	极地投影图
特征	经线	平行等距的直线	向极点收敛的直线	从极点向外辐射的直线
	纬线	平行直线: 离赤道越远, 纬距越大	以极点为中心的同心圆, 纬距近似相等	以极点为中心的同心圆: 离极点越远, 纬距越大
失真情况	性质	等角	等角	任意
	无失真区	赤道或圆柱面同地球相切的纬线	标准纬线	极地
大圆航线		凸向两极的曲线	近距离内近似直线	直线
等角航线		直线	曲线	曲线
领航上应用		海上领航, 画等角航线辅助图	世界航图	极地领航图, 画大圆图的辅助地图

2.3 航图分幅、编号和拼接

为了便于地图的存放、查找、拼接, 常将地图以百万分之一世界航图的图幅划分和编号为基础进行分幅和编号。

2.3.1 百万分之一世界航图的分幅和编号

在纬度 $0^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 内, 百万分之一世界航图的分幅规定如表 2-2 所示。另外, 纬度 $89^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 为一幅。每幅图以其所在的列和行来编号。从赤道起, 纬度每隔 4° 为一列, 依次以 1、2、3、…、22 或 A、B、C、…、V 进行编号。行的编号从经度 180° 开始, 每隔 6° 为一行, 自西向东进行, 共 60 行(图 2-11)。例如, 重庆位于第 8 列和第 48 行, 编号为 8-48。

表 2-2 百万分之一世界航图分幅

纬度		$0^{\circ} \sim 60^{\circ}$	$61^{\circ} \sim 76^{\circ}$	$77^{\circ} \sim 84^{\circ}$	$85^{\circ} \sim 88^{\circ}$
分幅	经度差	6°	12°	24°	36°
	纬度差	4°	4°	4°	4°

2.3.2 五十万分之一和大比例尺航图的分幅和编号

一幅 $1:100$ 万的航图可以分为 4 幅(2×2) $1:50$ 万、36 幅(6×6) $1:20$ 万和 144 幅(12×12) $1:10$ 万航图, 因此, 将一幅 $1:100$ 万航图分成 4 幅, 就得到 $1:50$ 万航图的图幅, 在 $1:100$ 万航图编号后面加上甲、乙、丙、丁, 便是 $1:50$ 万航图的图幅编号(图 2-12)。

同样, 一幅 $1:100$ 万的航图可以分成 36 幅 $1:20$ 万航图或 144 幅 $1:10$ 万航图的图幅, 并在 $1:100$ 万航图图幅编号之后加上(1)、(2)、(3)、…、(36), 或 1、2、3、…、144 进行编号, 如图 2-13 和图 2-14 所示。

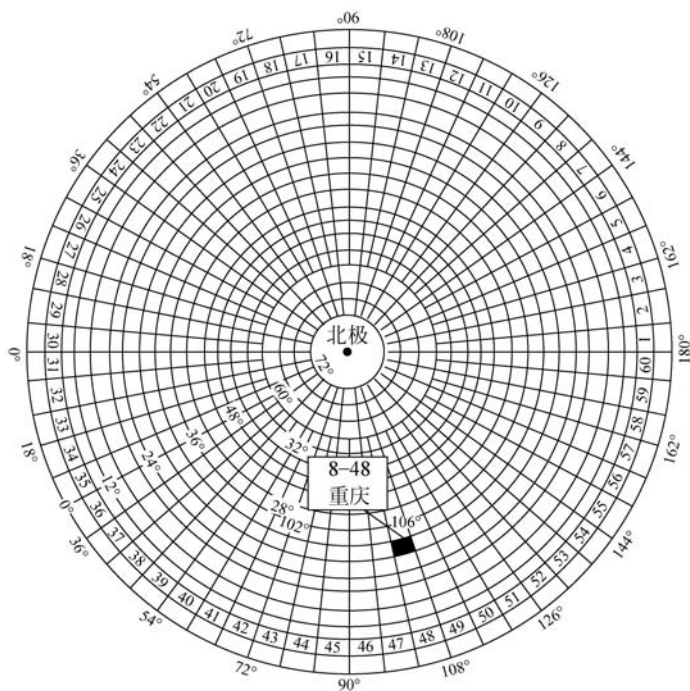


图 2-11 百万分之一世界航图分幅编号

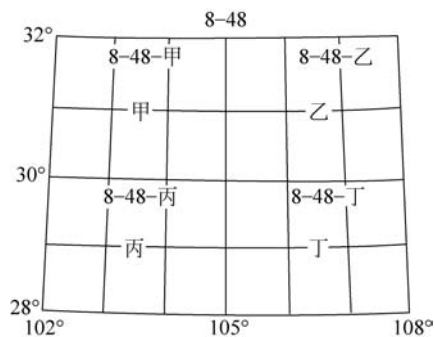


图 2-12 五十万分之一世界航图分幅编号

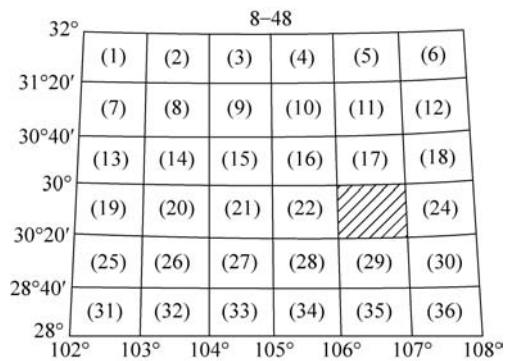


图 2-13 二十万分之一世界航图分幅编号

① 量航线角：航线角用向量尺上的量角器进行量取。由于航图上经线都是真经线，因此从航图上得到的航线角都是真航线角。大圆航线以航线起点的经线为准，而等角航线可以在任意经线处量取。如果以大圆航线按等角航线飞行，则应从航线中间位置的经线处量取。

具体做法为：将量角器中心放在航线与经线交点处，尺边压住航线，从与经线北段重合的刻度线上读取数据。如果航线角小于 180° ，则读取最外圈刻度；如果航线角大于 180° ，则读取第二圈刻度；如果航线角在 180° 或 360° 附近，则分别从与纬线重合的刻度线上第三圈或第四圈上读出航线角。

由于航图上标注的是磁航线角，因此需要将量出的真航线角换算为磁航线角，即修正磁差。在航图上，磁差以等磁差线的形式给出。

② 量航线距离：向量尺的量距尺是可移动的线段比例尺，上面刻有 $1:100$ 万和 $1:200$ 万的比例尺刻画。量距离时，选择与地图比例尺相同的比例尺刻画，使 0 刻度对正航段起点，沿航线从航段终点所对的刻度处读出距离。如果有检查点，则应从检查点正切位置分段量出。

(4) 标注数据

① 标记航线角和距离：航线数据标记一般沿航线去向方向的右侧进行。具体做法是在航线方向右侧画一垂直短横线，横线上用蓝(黑)色注上距离，横线右侧用红色标上磁航线角。

② 标记航线最大标高：以飞行区域内，航线左右 25 km 范围内最高物体的高度作为航线最大障碍物。首先确定这一障碍物的位置，再用蓝(黑)色长方形框将该位置框出。

③ 标注磁差：在航图上飞行区域的适当位置，用红笔画出一个 5 mm 圈，然后用红笔在其中的标出数值。

④ 标注导航台：确定导航台位置后，用红笔在该位置上画一个三角形。

2.5 杰普逊航图

杰普逊公司是一家专门从事航行情报服务的公司，它收集并整理全球各国民航当局公布和出版的航图及导航数据，按照统一格式汇编成杰普逊航路手册，为使用者提供及时、完整、准确的飞行信息。杰普逊航路手册中以航图描述飞行程序，并以杰普逊专有格式出版并发布。标准的杰普逊航路手册中的信息资料包括：简要公告、使用简介、航图变更通知、航路、无线电设备、气象、数据表格和代码、空中交通管制、入境规定、紧急情况、机场指南、终端区图以及航路手册的修订单和修订记录。其中，航图部分包括航路图和终端区航图，下面对其进行介绍。

2.5.1 航路图

杰普逊航路手册的航路部分包括航路飞行阶段涉及的航路和空中交通服务等相关资料及图表、空域划分、飞行程序和特殊管理规定，以及飞行时必须遵守的各种规定和相关的文字资料。其内容包括两部分，即文本和图形资料以及航路图。

(1) 文本和图形资料一般包含通信资料、导航资料、航路代号、公司运行控制、航路图索引、首选的 IFR 航路、航路可用性文件、条件航路和二次雷达(SSR)程序。

(2) 航路图能够帮助使用者计划飞行航路、保持飞行的位置和航迹、保持安全的高度及确保导航信号的接收。航路图上能够提供的信息包含航线、管制空域限制、导航设施、机场、通信频率、最低航路或超障高度、航段里程、报告点以及特殊用途空域等飞行中所必须的航行资料,如图 2-15 所示。根据航路图所覆盖的空域范围的不同,航路图主要可以分为低空航路图、高空航路图、高/低空航路图和区域图。

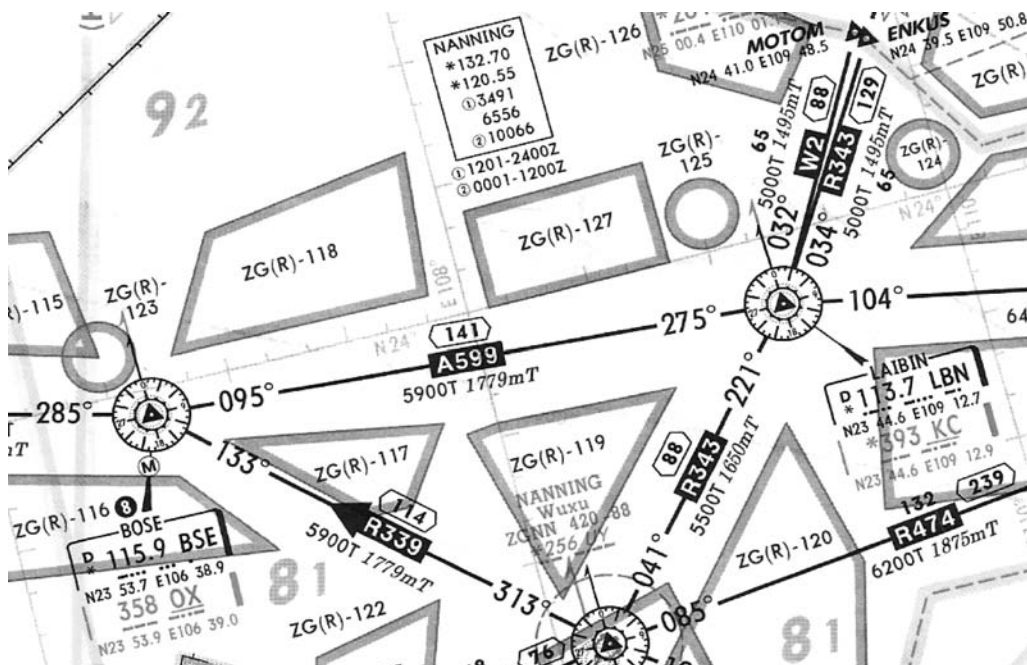


图 2-15 航路图

2.5.2 终端区航图

除航路飞行外,终端区运行程序包括从起飞离场到进近着陆的其他全部飞行程序。终端区航图包括标准仪表离场图、标准仪表进场图、仪表进近图和机场图。此外,还提供垂直下降角参考表、下降率转换表、机场标高对应的百帕/毫巴值等相关资料。

终端区航图中有大量共性内容,如标题栏中的机场地名、航图标识、航图索引号、航图修订日期、机场代码和机场名称等,如图 2-16 所示。

2.5.3 标准仪表离场图

标准仪表离场图为航空器提供离场程序,该程序能够引导航空器起飞后从机场过渡到航路飞行;可以简化空中交通管制(ATC)指令,避免通信拥挤,满足超障要求;减少油耗并且降低噪声。在杰普逊航路手册中,同一机场的离场程序通常被编排在进近程序之前。

在航图的右上角用“SID”标明该航图是标准仪表离场图。标准仪表离场图描绘起飞离场直至加入航线的离场程序。标准仪表离场图由标题栏和平面图两部分组成。

(1) 标题栏介绍了航图的修订日期和航图生效日期、机场标高、机场名称、机场四字代

VHHH/HKG HONG KONG INTL		JEPPESEN HONG KONG, PR OF CHINA	
3 MAR 06		10-3T	Eff 16 Mar
SID			
HONG KONG Departure 123.8	Apt Elev 28'	Trans level: 980 hPa or above - FL110 979 hPa or below - FL120	Trans alt: 9000'
1. When instructed contact HONG KONG Departure. 2. On first contact with HONG KONG Departure state callsign, SID designator, current and cleared altitude. 3. Final cruising level will be issued by HONG KONG Radar not later than 10 minutes prior to TMA boundary.			

VHHH/HKG HONG KONG INTL		JEPPESEN HONG KONG, PR OF CHINA	
25 MAR 11		10-2	Eff 7 Apr
STAR			
D-ATIS 128.2	Apt Elev 28'	Alt Set: hPa Trans level: FL110 980 hPa or above FL120 979 hPa or below	Trans alt: 9000'
If required request radar assistance to follow correct track.			

图 2-16 终端区航图标题栏

码及三字代码、机场所在地地名、离场航图索引号、离场通信频率、高度表拨正数据(过渡高度和过渡高度层等)以及离场程序名称等,如图 2-17 所示。

机场代码	机场名称	修订日期	索引号	生效日期	航图标识	机场地名
VHHH/HKG	HONG KONG INTL	3 MAR 06	10-3T	Eff 16 Mar	SID	HONG KONG, PR OF CHINA
HONG KONG Departure 123.8	Apt Elev 28'	Trans level: 980 hPa or above - FL110 979 hPa or below - FL120		Trans alt: 9000'		
1. When instructed contact HONG KONG Departure. 2. On first contact with HONG KONG Departure state callsign, SID designator, current and cleared altitude. 3. Final cruising level will be issued by HONG KONG Radar not later than 10 minutes prior to TMA boundary.						
离场通信频率	机场标高	过渡高度和过渡高度层等				

图 2-17 标准仪表离场图标题栏

(2) 平面图介绍了机场的基本信息,包括机场的位置,跑道的方向和相对长度,离场程序飞行路线、航向、爬升梯度等信息,导航台及航路点信息和离场程序要素信息,同时还可以在平面图上查找相关的速度限制、空域限制和减噪程序等信息,如图 2-18 所示。

2.5.4 标准仪表进场图

标准仪表进场图为航空器提供由脱离航路飞行过渡到终端区飞行的方法,可以方便 ATC 利用标准仪表进场图标注进场航路代号发布进场指令,简化 ATC 与飞行员之间的通信程序。

在航图的右上角用“STAR”标明该航图是标准仪表进场图,个别进场图采用“ARRIVAL”标识用于特定跑道却没有提供用于填写飞行计划的标准进场航路代号的进场程序。标准仪表进场图与标准仪表离场图结构类似,同样由标题栏和平面图两部分组成。

(1) 标题栏介绍了航图的修订日期和航图生效日期、机场标高、机场名称、机场四字代码及三字代码、机场所在地地名、离场航图索引号、离场通信频率、高度表拨正数据(过渡高

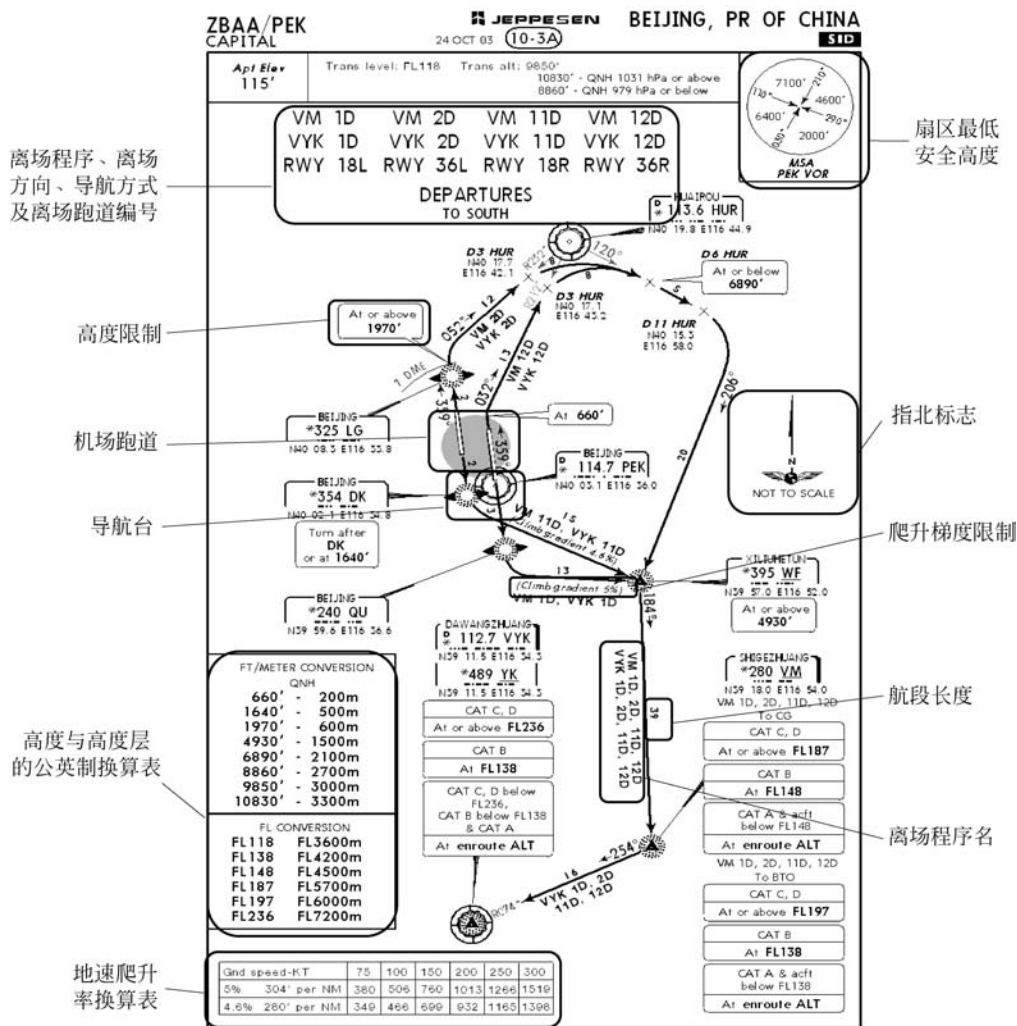


图 2-18 标准仪表离场图平面图

度和过渡高度层)以及离场程序名称等,如图 2-19 所示。

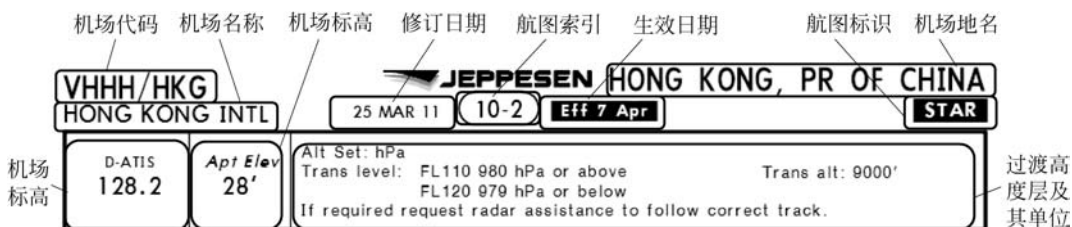


图 2-19 标准仪表进场图标题栏

(2) 平面图介绍了机场的基本信息,包括进场程序命名和编号、方位信息、机场的位置、跑道的方向和相对长度、进场程序飞行航迹、导航台和定位点等信息,同时还可以查找进场程序的使用限制条件(如速度限制),如图 2-20 所示。

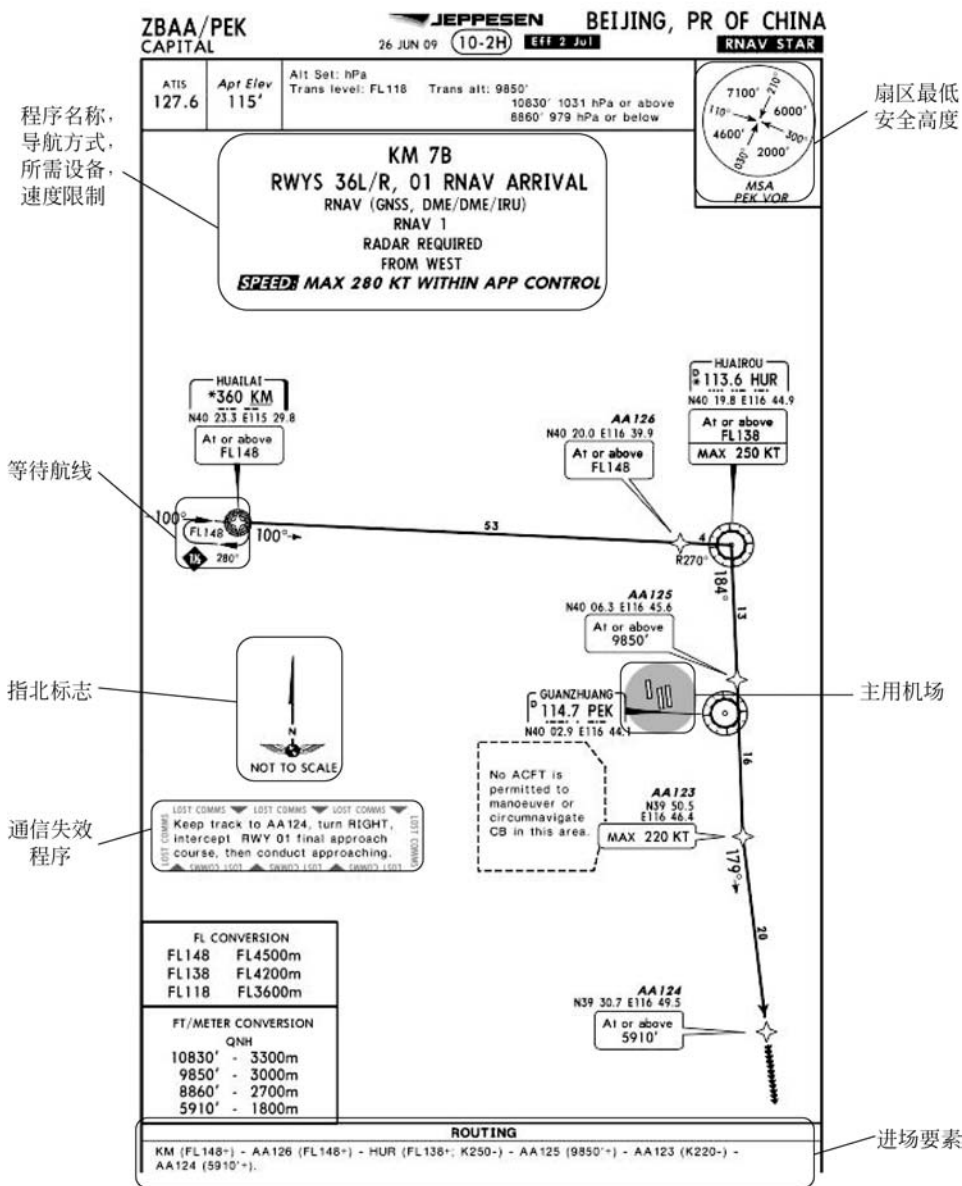


图 2-20 标准仪表进场图

2.5.5 仪表进近图

仪表进近图是仪表进近程序的直观图形表示。在实施仪表进近之前,飞行员必须完整地预览仪表进近程序,通过读取仪表进近图中的进近简令,确保调谐正确的无线电通信和导航频率、正确设置下降最低高度,并且明确仪表进近和复飞程序的执行方法。

杰普逊仪表进近图主要包括标题栏、平面图、剖面图和着陆最低标准四部分,如图 2-21 所示。



图 2-21 仪表进近图布局

(1) 标题栏包括四部分：图边信息、通信信息、进近简令条和复飞程序。图边信息中介绍了机场名称及代码、修订日期、进近种类及适用跑道等(图 2-22(a))；通信信息是根据方便飞行员阅读使用的顺序进行排列,从左至右分别为自动终端情报服务(ATIS)(或气象自动观测系统(AWOS)、自动地面观测系统(ASOS)等)频率、进近管制频率、塔台管制频率及地面管制频率(图 2-22(b))；进近简令条中详细内容见图 2-22(c)；复飞程序中包含复飞路

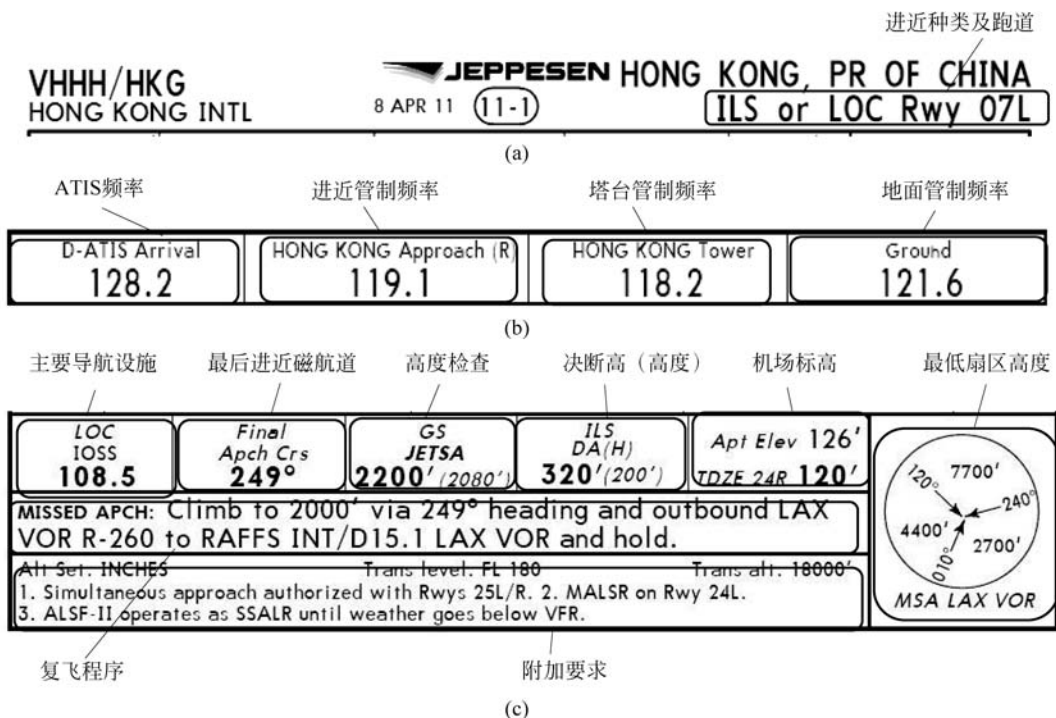


图 2-22 仪表进近图标题栏

(a) 图边信息；(b) 通信信息；(c) 进近简令条

线、要求及导航信息。

(2) 仪表进近图平面图提供进近程序的直观图形,包含进场航段、起始进近航段、中间进近航段、最后进近航段和复飞航段。在平面图中,包含地形信息、建筑物信息、导航信息、飞行航迹信息及定位点信息等。常见图标如图 2-23 所示。

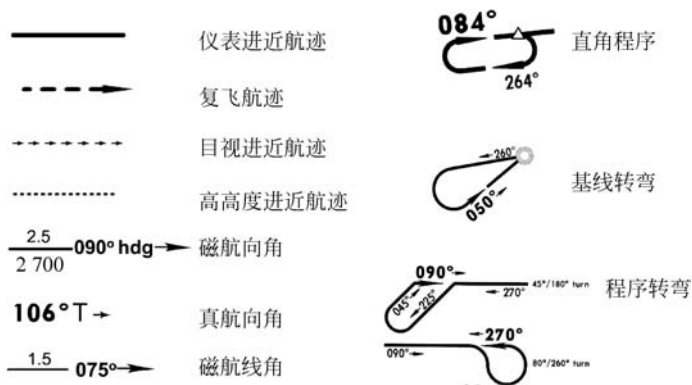


图 2-23 仪表进近图平面图图标

(3) 仪表进近图的剖面图用立面图直观地表示进近程序垂直方向的飞行航迹,起点与平面图相同,但是剖面图并不按比例尺绘制。剖面图中提供下降航迹(如最后进近磁航道),定位点(如高度检查点信息),推荐的下降高(如跑道入口高度),地速-下降率换算表及灯光、复飞图标等信息。飞行员可以根据进近条件采用精密进近或非精密进近程序,并沿剖面图指示的信息进行。具体如图 2-24 所示。

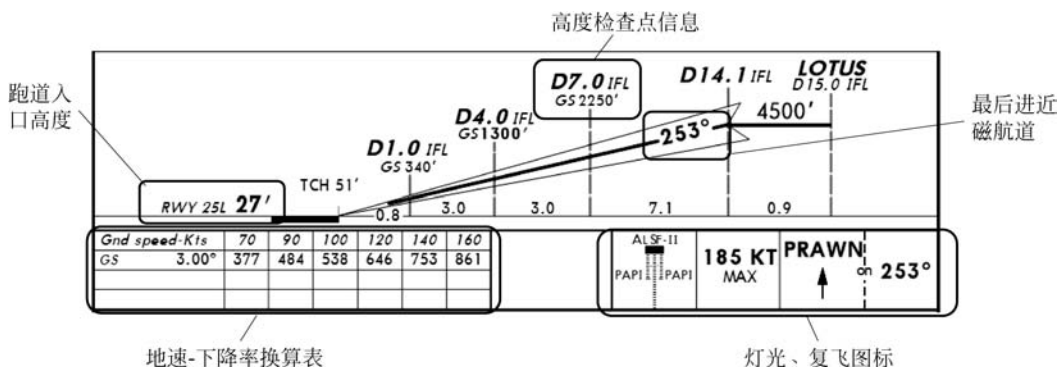


图 2-24 仪表进近图剖面图

(4) 仪表进近程序的最低着陆标准表格(图 2-25)位于仪表进近图的最底部(图 2-21)。根据航空器和机场条件,提供精密进近、非精密进近及目视盘旋的最低着陆标准,将取得目视参考的最低高度和最低能见度以表格的方式表示出来。精密进近程序的最低着陆标准包含跑道视程(RVR)/能见度(VIS)和决断高度/高(DA/DH);非精密进近程序的最低着陆标准包含 VIS 及最低下降高度/高(MDA/MDH)。

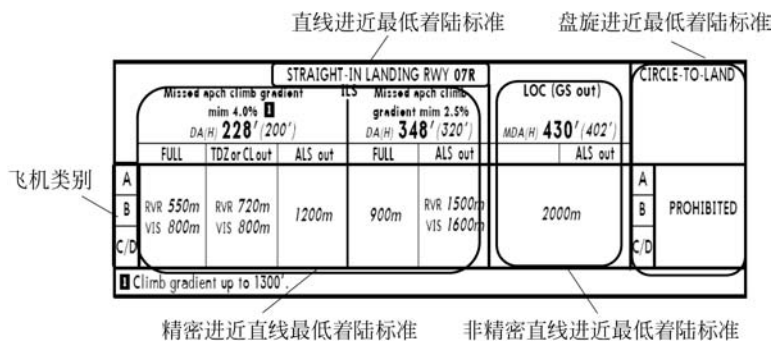


图 2-25 仪表进近图最低着陆标准

2.5.6 机场图

机场图用于帮助飞行员正确地沿空管指定的滑行道滑行,滑入指定跑道起飞离场或滑入预定的停机位停靠。机场图由标题栏、平面图、跑道附加信息和起飞(备降)最低标准四个部分组成。

(1) 标题栏包括图边信息和通信信息(图 2-26)。标题栏的图边信息包含:机场四字代码及三字代码、机场标高、机场经纬度坐标、修订及生效日期、机场序列号、机场地名及机场名称。通信信息内容较多,从左至右分别是 ATIS 频率、ATC 放行许可频率、地面管制频率、塔台通信频率及离场管制频率。方便飞行员从左至右阅读和使用,是目前国际上广泛使用的航图格式。

VHHH/HKG		JEPPESSEN		HONG KONG, PR OF CHINA			
Apt Elev 28'		12 FEB 10		(10-9)		HONG KONG INTL	
N22 18.5 E113 54.9							
D-ATIS Departure	ACARS: D-ATIS *PDC	*HONG KONG Delivery	Ground	Tower	HONG KONG Departure		
127.05		129.9	North 121.6 South 122.55	North 118.2 South 118.4	123.8		

图 2-26 机场图标题栏

(2) 平面图描绘了机场的总体构成,包括机场跑道、滑行道、停机坪、航站楼、灯光系统(如进近灯光)及相关的气象测量设施(如风袋、跑道视程仪)等。机场图通常按照一定比例进行绘制,但跑道端的停止道、滑行道、四周道路和进近灯光系统除外,如图 2-27 所示。

(3) 跑道附加信息中介绍了在机场平面图中无法详细给出的一些信息,主要包括跑道灯光系统的详细信息、可用跑道长度及宽度信息、注释信息等,如图 2-28 所示。

(4) 起飞(备降)最低标准部分一般包含起飞最低标准、障碍物离场程序以及备降最低标准三个方面的内容。起飞最低标准规定了飞行员在起飞过程中取得目视参考的最小 RVR 和 VIS;障碍物离场程序适用于起飞后到航路的过渡阶段,可以帮助飞行员简化离场指令,确保超障余度;备降最低标准则是为飞行员提供该机场作为备降场时,最低的着陆标准如图 2-29 所示。

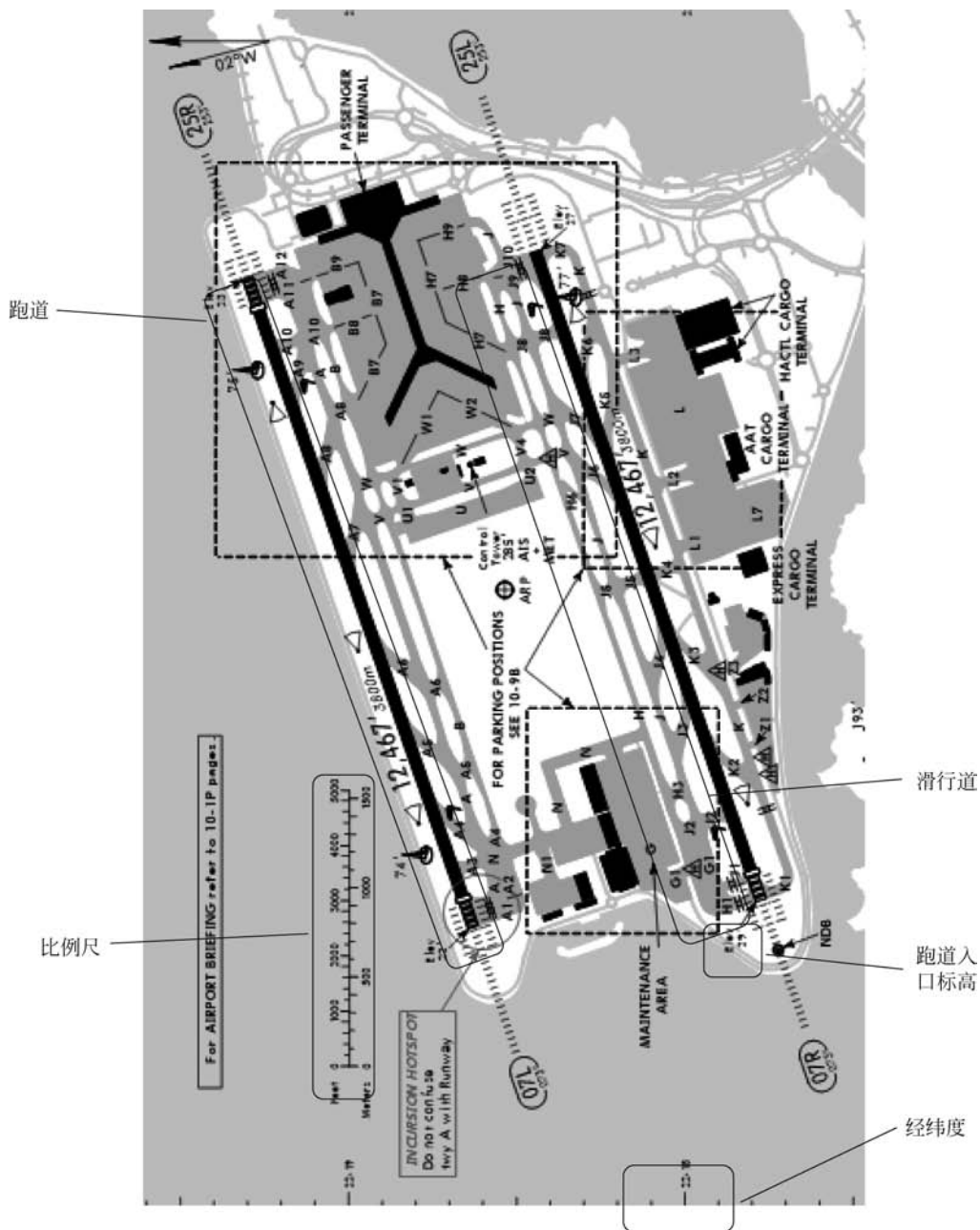


图 2-27 机场平面图

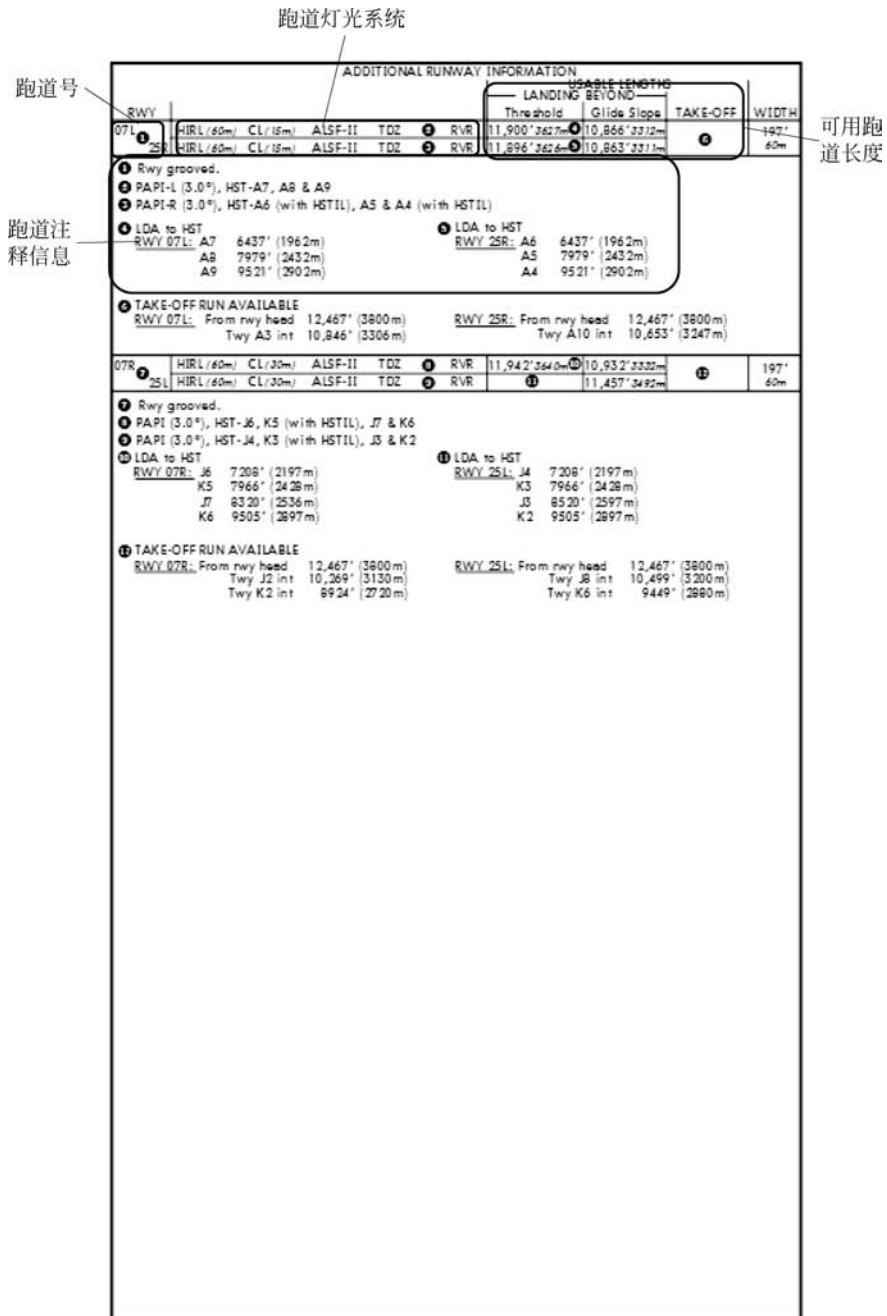


图 2-28 机场图跑道附加信息

		起飞最低标准	起飞跑道的助航设施	起飞跑道号
TAKE-OFF & OBSTACLE DEPARTURE PROCEDURE				
		Rwys 6L, 7L/R, 24L/R, 25L/R		
	CL & RCLM any RVR out, other two required	Adequate Vis Ref	STD	
1 & 2 Eng	TDZ RVR 6	RVR 16 or 1/4	RVR 50 or 1	
3 & 4 Eng	Mid RVR 6 Rollout RVR 6		RVR 24 or 1/2	
Rwy 6R				
With Min climb of 281'/NM to 400'				
	CL & RCLM any RVR out, other two required	Adequate Vis Ref	STD	Other
1 & 2 Eng	TDZ RVR 6	RVR 16 or 1/4	RVR 50 or 1	200-1/4
3 & 4 Eng	Mid RVR 6 Rollout RVR 6		RVR 24 or 1/2	
OBSTACLE DP				
Rwys 6L/R, 7L/R: Climb to 2000' heading 070°, then climbing right turn. Rwys 24 L/R: Climb to 2000' heading 250°, then climbing left turn. Rwys 25 L/R: Turbojet climb to 2000' heading 250°, then climbing left turn; Non-Turbojet climb to 2000' heading 250°, at the SMO R-154 turn left heading 200°. Then all aircraft climb direct SLI VOR, then climb on course.				
FOR FILING AS ALTERNATE				
	Precision	Non Precision	RNAV (GPS) All Rwys	
A	600-2	800-2	NA	
B				
C				
D				

图 2-29 机场图起飞(备降)最低标准

本章小结

地图是领航的重要工具。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。其中,常用的地图投影有墨卡托投影(正轴等角圆柱投影)、兰勃特投影(等角正割圆锥投影)和极地投影,由此可得到对应的三种航图。由于地图制作时采用不同的成图方法,因此地图上存在不同程度的长度、角度或面积失真。世界航图是 1:100 万的兰勃特投影航图,以其为标准进行分幅和编号,飞行前进行拼接。图上作业的内容包括在航图上确定位置、画航线、量数据、标注数据等。常用的杰普逊航图包括航路图、标准仪表进/离场图、仪表进近图、机场图等终端区航图。

思考题

1. 什么是地图三要素?
2. 什么是地图比例尺? 常见的地图比例尺表现形式有哪些?

3. 什么是地图符号? 有哪些表现形式?
4. 什么是地图投影? 有哪些常见的失真? 有哪些投影方式?
5. 墨卡托投影的特点有哪些?
6. 兰勃特等角投影的特点有哪些?
7. 极地投影的特点有哪些?
8. 百万分之一世界航图是如何分幅和编号的?
9. 地图作业的内容有哪些?
10. 常用的杰普逊航图有哪几种? 每种航图提供的信息各有哪些?

课程思政阅读材料



地图和国家版图



中国地图, 一点都不能错



标准地图了解一下

第3章

地标罗盘领航

3.1 地标罗盘领航的定义

地标罗盘领航是目视飞行规则下所用的一种领航方法,是地标领航与罗盘领航的结合。地标领航是指用地图对照地面,根据辨认的地标确定飞机位置、航向和距离,从而引导飞机正确航行的方法。地标领航简单可靠,但易受到地形环境、天气变化、飞行高度、飞机速度等条件的影响。

罗盘领航是根据飞行中所测定的航行元素和航行的基本规律,推测飞机位置、航向和距离,以便引导飞机正确航行的方法,因而也称为推测领航。罗盘领航在原理上是各种领航的基础,结合各种不同的领航方法,可以应用在不同的飞行条件下。

地标领航与罗盘领航常一起使用,称为地标罗盘领航。该方法以地标定位为基础,推测计算为主要手段。地标罗盘领航是最原始、但最实用的领航方法,特别是在无线电导航设备出现故障时,可用于引导飞机进行航行。

3.2 地标及其定位

地标是指飞行中可以从空中辨认的地物,如江、河、湖、海、山峰、高大建筑物等。飞行员利用地标可以方便地确定飞机位置,判断航迹是否正确。

3.2.1 地标的分类

地球表面起伏很大,地貌类型种类繁多,加上人类高度开发,造成地标大小不同、形态各异。根据空中可见地标的几何形态,可将地标分为点状地标、线状地标和面状地标。

(1) 点状地标:很多地物在地面具有一定的面积,但从空中看去,面积很小,可视作一个点,这些地标称为点状地标,如村落、小岛、孤立的山峰、灯塔、小型的桥梁、高大建筑物、公路的交汇点等。

(2) 线状地标:从空中俯瞰,地面上的河流、海岸线、公路、铁路、大型桥梁等呈线状分

布,这样的地标称为线状地标。

(3) 面状地标:从空中观测,具有一定面积的地标称为面状地标,如湖泊、大型岛屿和水库、城市、机场等。

有些地标因季节、气候、时间的变化而发生改变,如水库和湖泊,雨季时水量大,但旱季时水量小,导致水面面积减少,甚至干涸;又如河流,可能因地表开发出现截流或改道。所以进行地标领航时,要注意地标的改变并进行判断;同时,在地图上一般都会画出或标注这些地标,因此飞行时要选用最新的地图用于领航。

3.2.2 定位点和位置线

定位点是指某一时刻飞机所处的地理位置,可通过目视参考或无线电辅助设备确定。其中,由目视参考确定的定位点称为目视定位点,由无线电辅助设备确定的定位点称为无线电定位点。

位置线是指某一时刻飞机相对于某一地物或无线电辅助设备的运动轨迹,可以通过线状地标、航线上两个地标以及无线电方位线确定。位置线的主要作用有:

(1) 飞机定位:利用相交的两条位置线可以确定飞机位置。

(2) 检查地速:利用与航线垂直的位置线进行地速检查。当飞机经过两条位置线时,记录下当时的距离和时间,即可计算得到当时的地速,进而用于修正到达下一个定位点或目的地的预计时刻。

(3) 估算偏流:利用与航线平行的位置线进行偏流估算。飞行中如果发现飞机航迹与位置线不平行,说明飞机发生偏航,这往往是由飞行中风的改变引起的,因而需要重新估算偏流,并修正航向,尽快回到预定航线上。

3.2.3 地标的选择

目视飞行时,地标往往用于确定航路上的检查点,可以将航路上的地标作为检查点,也可以将航路附近的地标设置为检查点。在时间上,一般每间隔 10~15 min 设置一个检查点,这样根据飞机地速,即可得到相邻两个检查点之间的距离。例如飞机地速为 100 kn,两个相邻检查点的间距为 10~15 n mile,根据飞行方向,进而在航图上确定航路检查点的位置以及相邻的地标。

3.2.4 按地标确定飞机位置

飞行中要想找到地标并使用地标进行定位,需要经历对正地图、观察位置、地标定位三个步骤。

1. 对正地图

地图是领航的必要工具之一。飞行时,飞行员通过地图来了解地标的分布,从而辨认地标,确定飞机位置。对正地图的目的是使地图上的方向与地面上的方向一致,便于用地图同地面对照,因此辨认地标前,先要对正地图。常用的方法有按航线对正地图、按航向对正地图、按线状地标对正地图等。

(1) 按航线对正地图:按预定航线飞行时,把地图上航线的去向对正机头,此时地图和地面的方向基本一致。

(2) 按航向对正地图：不按预定航线飞行时，首先从罗盘上读出飞机航向；然后，在地图上目测出相应的方向，并对正机头，使地图上的方向大体与地面上的方向一致。

(3) 按线状地标对正地图：飞行中，在有明显线状地标的地区，可以利用线状地标进行地图对正。首先在地图上确认该地标，然后使地图上该线状地标的走向与地面上的方向一致，这样，地图上的方向就和地面上的方向基本一致。最后，要仔细核对，以防把地图拿反 180° 。

2. 观察位置

飞行时，地面上的地标不停地从视野里通过，观察地标的有限。因此，飞行时要有计划地辨认地标（预定点）。在到达预定点前，根据某一时刻的飞机位置，按飞机保持的航行元素，准确计算飞机到达地标的时刻，在到达地标前的 $3\sim 5$ min，从飞机正下方搜索预定点附近明显的线状或面状地标以及突出的点状地标。找到后，用地图对照，确定地标及其名称，并通过这些地标找到预定点。

3. 地标定位

辨认出地标后，可以根据需要来确定飞机位置，有三种情况：

(1) 如果飞机从地标上空通过，该地标在地图上的位置即为飞机的实测位置，在地图上查出该地标并记下“×”和飞越的时刻。

(2) 如果飞机从两地标间通过，先目测出飞机与两地标间的距离，再在地图上根据目测出的距离标出相应地点，即为飞机位置。

(3) 如果飞机从地标正侧方通过，先目测出飞机与两地标间的距离，再在地图上该地标的正侧方量出水平距离，即得飞机位置。

3.3 推算应飞航向、预达时刻和飞机位置

3.3.1 推算应飞航向

飞行中往往有侧风存在，使飞机的航迹线与预定航线不一致，这种现象称为偏航。为保证飞机能沿着预定航线飞行而不发生偏航，需要对飞机航向进行修正，修正后得到的航向称为应飞航向，常用 $MH_{\text{应}}$ 表示。如图 3-1 所示，在无风或无侧风时，应飞航向与飞机的预定航线方向一致。在有侧风的情况下，如果不修正偏流，飞机保持预定航线方向（一般用磁航线角 MC 表示）飞行（ $MH_{\text{应}} = MC$ ），将飞至航线的下风向。因而，为保证飞机沿着预定航线飞行，应在预定航线方向（航线角）的基础上，迎风修正由侧风引起的偏流（ DA ），并保持修正后的航向进行飞行。

这样，在有侧风的情况下应飞航向的计算公式为

$$MH_{\text{应}} = MC - DA$$

【例 3-1】 飞机沿着磁航线角 $MC = 210^\circ$ 飞行，测得偏流为 $+5^\circ$ ，问应飞航向是多少？

解： $MH_{\text{应}} = MC - DA = 210^\circ - 5^\circ = 205^\circ$ 。

3.3.2 推算预达时刻

在地标定位前，需要推算到达预定点的时刻，以做好准备进行地标识别，这个时刻就称

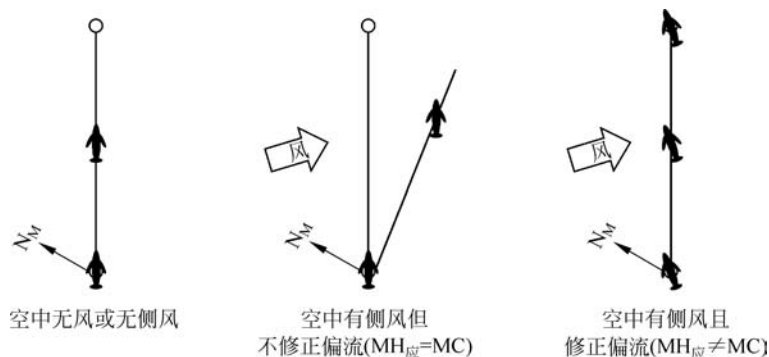


图 3-1 风与航向的关系及其影响

为预达时刻,用 ETA 表示。预达时刻是利用飞机某一时刻的位置和当时的地速来推算飞机到达某一预定点的时刻,是飞行中反复进行的工作之一。

【例 3-2】 一架飞机于 12:17 通过导航台 A,飞往航路点 B,预计飞行时间为 45 min,问什么时刻能到达航路点 B?

解: $ETA = 12:17 + 0:45 = 13:02$,即飞机预计于 13:02 到达航路点 B。

【例 3-3】 如图 3-2 所示,一架飞机于 17:45 飞越机场 A 上空,飞往机场 B,在 18:00 确定飞机位置在导航台 C,问预计到达机场 B 的时刻是多少?

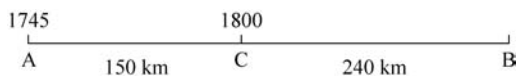


图 3-2 计算预达时刻

解: 第一步,利用已飞距离和时间计算地速:

$$150 \text{ km} / (18:00 - 17:45) = 600 \text{ km/h}$$

第二步,根据未飞距离和地速计算剩余飞行时间:

$$240 \text{ km} / 600 \text{ km/h} \times 60 = 24 \text{ min}$$

第三步,计算预达时刻:

$$ETA = 18:00 + 0:24 = 18:24$$

即飞机预计到达机场 B 的时刻是 18:24。

3.3.3 推算飞机位置

推算飞机位置是指根据某一时刻的飞机位置及有关航行资料(如偏流、地速等),推算飞机未来的位置。通过一定计算得到的位置称为推算位置;而地标定位得到的位置则是实测位置。推算飞机位置的常用方法有利用航迹角和地速推算飞机位置、利用两个实测位置推算飞机位置以及无风航迹推算飞机位置。

1. 利用航迹角和地速推算飞机位置

离开某一地标后,如果知道航迹角和地速,就可以在地图上画出航迹,计算出已飞距离,推算飞机位置。这一地标称为推算起点,其位置一般都是实测位置,常选用机场、导航台、明

显地标等。航迹角是航向与偏流之和,其中航向可以从罗盘上读出。这一推算方法的关键是偏流和地速。

【例 3-4】 在磁差为 $+2^\circ$ 的地区,飞机保持平均磁航向 260° 、真空速 210 km/h 飞行,于 $11:35$ 到达 A 地上空,测出偏流 $+5^\circ$,地速为 180 km/h 。求 $12:00$ 飞机的推测位置。

解: 第一步,计算磁航迹角:

$$\text{MTK} = \text{MH}_{\text{平}} + \text{DA} = 260^\circ + 5^\circ = 265^\circ$$

第二步,修正磁差,计算得到真航迹角:

$$\text{TTK} = \text{MTK} + \text{VAR} = 265^\circ + (+2^\circ) = 267^\circ$$

第三步,计算飞行距离:

$$\text{飞行距离} = (12:00 - 11:35) / 60 \times 180\text{ km/h} = 75\text{ km}$$

第四步,图上作业:依次标出推算起点 A,画出真航迹线,量取飞行距离,以小方框标出推测位置,并注明时刻。需要注意的是,航图上的经纬线方向为真方向,作图时务必进行磁差修正。示意图如图 3-3 所示。



图 3-3 利用航迹角和地速推算飞机位置

2. 利用两个实测位置推算飞机位置

假设飞行中航向和空速不变或变化不大,可以利用航线上两个实测位置求出航迹、地速,推算飞机位置。使用这种方法时,地图上两个实测位置之间的连线及飞机前方向的延长线,即为飞机的航迹。

【例 3-5】 飞机保持预定航向、高度、真空速飞行,于 $16:20$ 飞越 A 地上空, $16:42$ 飞越 B 地上空,求 $17:00$ 飞机的推测位置。

解: 第一步,图上作业:如图 3-4 所示,在地图上标出两个实测位置(A 和 B),画出航迹线;量取 A 和 B 两地的距离 D ,测量结果为 56 km 。

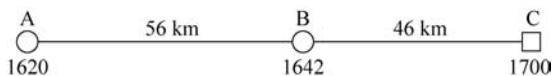


图 3-4 利用两个实测位置推算飞机位置

第二步,计算飞行时间 T :

$$T = 16:42 - 16:20 = 22\text{ min}$$

第三步,计算地速:

$$\text{GS} = D / T = 56\text{ km} / (22\text{ min} / 60) = 153\text{ km/h}$$

第四步,计算未飞时间和距离:

$$T' = 17:00 - 16:42 = 18 \text{ min}$$

$$D' = GS \times T' = 153 \text{ km/h} \times (18 \text{ min}/60) = 46 \text{ km}$$

第五步,图上作业:以B为推测起点,在航迹的延长线上量取46 km,即可得到17:00飞机的推测位置,以小方框标出,并注明时刻。结果如图3-4所示。

3. 无风航迹推算飞机位置

机动飞行时,飞机需要经常改变航向,如果改航次数过多,每一段直线飞行的时间太短,经常测量和计算就会增加飞行员的工作负荷。有时飞行时暂时不知道风向、风速,无法进行航迹角和地速的计算,这样无法用上述两种方法推算飞机位置。此时,往往采用无风航迹进行推算。

这种方法是利用风对飞机航行的影响进行推算的。具体做法是根据飞机的平均真航向、平均真空速和每段的飞行时间,在地图上画出飞机的无风位置;最后根据风向、风速,画出无风飞行时间内的风速向量线,求出飞机位置。这种方法的本质就是图解航行速度三角形。

【例 3-6】 飞机由新津飞往遂宁,已知风向 100° ,风速 30km/h ,临近苏码头时,发现前方有雷雨,决定向航线右边绕飞。请按无风航迹推算飞机位置。

解: 由图3-5所示,12:10飞机通过苏码头上空开始绕飞,保持磁航向(MH) 127° 、真空速(TAS) 180km/h 飞行。这时飞行员按真航向(TH) 125° (新津地区磁差为 -2°)在地图上从苏码头(即推算起点)画出第一段无风航迹。

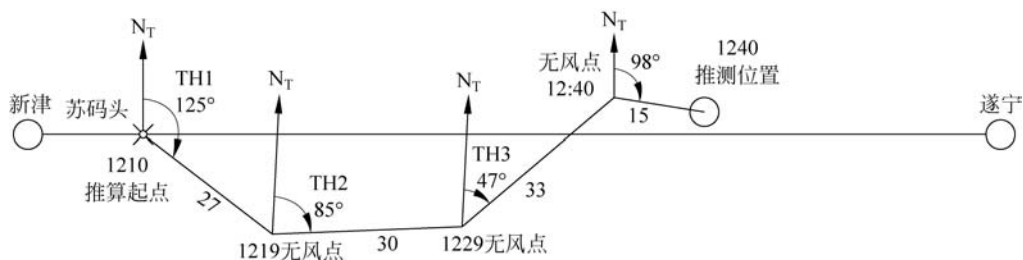


图 3-5 无风航迹推算飞机位置

12:19飞机改航,保持磁航向 87° ,真空速 180 km/h 飞行。这时飞行员立即计算出第一段无风距离为 27 km ,推算出12:19飞机的无风位置。然后从该无风位置按真航向 85° 在地图上画出第二段无风航迹。

12:29飞机改航,保持磁航向 49° ,真空速 180 km/h 飞行。这时立即计算出第二段无风距离为 30 km ,推算出12:29无风位置。然后从该无风位置按真航向 47° 在地图上画出第三段无风航迹。

判断飞机已绕过雷雨区,于12:40结束绕飞继续飞往遂宁。这时飞行员应立即计算出第三段无风距离为 33 km ,推算出12:40无风位置(为最后一个无风位置)。然后根据风向 98° (真方向)从最后的无风位置画出风向线,再根据风速 30 km/h 和绕飞总时间 30 min ,计算出绕飞过程中受风影响的漂移距离为 15 km ,在风向线上从最后无风位置量出漂移距离 15 km ,即推算出12:40飞机的推测位置,并标上“○”,注明时刻。

3.4 目视离场入航

入航是指飞机起飞到第一个航路点的阶段,起飞、离场加入航线是领航的首要程序,具体方法通常在机场使用细则中明确规定。在没有规定的情况下,可根据机场区域的地形、障碍物、禁区及沿航线飞越高山的可能性及天气条件、起飞方向和航线去向的关系来决定。常用的目视离场入航方法有直接离场入航和通场离场入航。

3.4.1 直接离场入航

在净空条件好、无本场爬高规定、周围没有活动限制的机场,飞机起飞后取得管制员许可,可采用直接离场入航方法(图 3-6)。起飞后,飞机上升到该机型所规定的转弯高度时转至计划航线,修正偏流直接飞向第一航路点,并记下入航时刻和入航高度。入航时刻和入航高度需根据起飞方向和航线方向的夹角确定,分为三种情况:

(1) 当夹角小于 30° 时,起飞时刻即为入航时刻,机场标高即为入航高度,如图 3-6(a) 所示。

(2) 当夹角为 $30^\circ \sim 90^\circ$ 时,起飞后开始转弯高度即为入航高度,开始转弯时刻即为入航时刻,如图 3-6(b) 所示。

(3) 当夹角大于 90° 时,起飞后在规定高度转弯飞向第一航路点,飞机正切机场中心的时刻和高度,即为入航时刻和入航高度,如图 3-6(c) 所示。这种方法也称为切入航线入航。

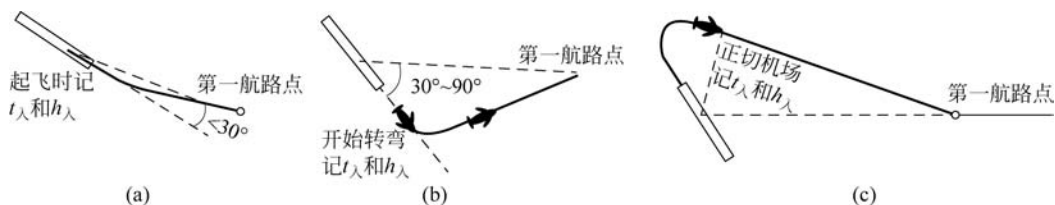


图 3-6 直接离场入航

3.4.2 通场离场入航

在净空条件差、需在本场爬高或周围有活动限制的机场,通常采用通场入航方法(图 3-7)。起飞后,根据所需高度建立目视爬升航线,飞机通过机场或规定入航点上空时,记下入航时刻和入航高度,并修正偏流飞向第一航路点。

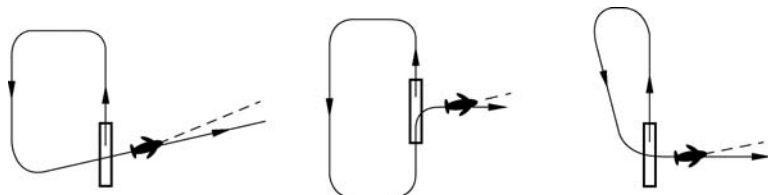


图 3-7 通场离场入航

3.5 检查航迹

飞机入航后,受风的变化、推测误差、飞行员操纵技术等方面的影响,飞机的实际航迹会偏离预定航线,即偏航;飞机也可能提前或未按时到达预定点。因此,飞行中要及时检查飞机的航迹,一旦偏航,及时修正,使飞机沿预定航线飞行。航迹检查的内容主要包括方向检查和距离检查,同时进行方向和距离的检查称为全面检查。

3.5.1 方向检查

方向检查是用于判定飞机的航迹与预定航线是否重合的检查,可采用按线状地标和按航迹角两种方法进行。

1. 按线状地标检查方向

选取地面上与航线平行或近于平行的线状地标,估测航线与线状地标的距离和飞机与线状地标的距离,并进行判断。如果两个距离相等,说明飞机没有偏航;如果不等,则说明飞机发生偏航。

如图 3-8 所示,飞机偏离航线的距离,称为偏航距离。如果飞机在航线右侧,偏航距离为正;如果飞机在航线左侧,偏航距离为负。以航线为参考,航迹偏离航线的角度称为偏航角,用 TE 表示。航迹偏在航线的左侧,偏航角为负;航迹偏在航线的右侧,偏航角为正。

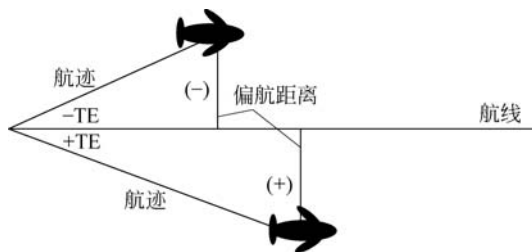


图 3-8 偏航距离与偏航角

例如,在图 3-9(a)中,铁路位于航线左侧 2 km 处,飞机在铁路右侧的 5 km 处,则飞机偏在预定航线的右侧,偏航距离为 +3 km。

在图 3-9(b)中,河流位于航线左侧 2 km 处,飞机在河流左侧的 3 km 处,则飞机偏在预定航线的左侧,偏航距离为 -5 km。

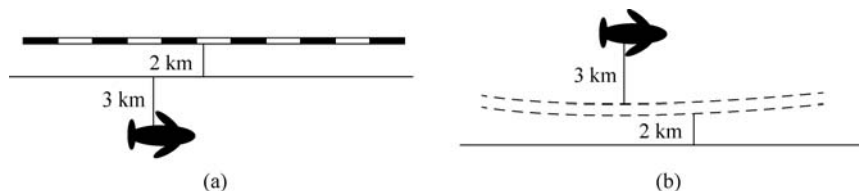


图 3-9 按线状地标检查方向

2. 按航迹角检查方向

根据平均航向和实测的偏流计算航迹角,并与航线角进行比较。如果航迹角等于航线角,说明飞机在航线上或平行于航线;如果航迹角大于航线角,说明飞机偏在航线的右侧;如果航迹角小于航线角,说明飞机偏在航线的左侧。

3.5.2 距离检查

距离检查是从距离上检查飞机已飞距离和离预定点的未飞距离,判断飞机能否按预达时刻准时到达的检查,也可采用按线状地标和按速度、时间两种方法进行。

1. 按线状地标检查距离

选取地面上垂直或近似垂直于航线的线状地标,估测已飞距离和未飞距离;再根据飞行时间,计算、检查地速和预达时刻。

【例 3-7】 如图 3-10 所示,飞机于 09:20 经过 A 地,飞往 B 地,于 09:50 到达海岸线上空,问预计飞机何时到达 B 地?

解: 第一步,在地图上量取已飞距离(A 地—海岸线)和未飞距离(海岸线—B 地),结果为

$$D_{\text{已}} = 120 \text{ km}$$

$$D_{\text{未}} = 90 \text{ km}$$

第二步,计算已飞时间:

$$T_{\text{已}} = 09:50 - 09:20 = 30 \text{ min}$$

第三步,计算地速:

$$GS = D_{\text{已}} / T_{\text{已}} = 120 \text{ km} / (30 \text{ min} / 60) = 240 \text{ km/h}$$

第四步,计算 B 地的预达时刻:

$$T_{\text{未}} = D_{\text{未}} / GS = 90 \text{ km} / 240 \text{ km/h} \times 60 = 23 \text{ min}$$

$$ETA = 09:50 + 0:23 = 10:13$$

结果为:预计飞机于 10:13 到达 B 地。

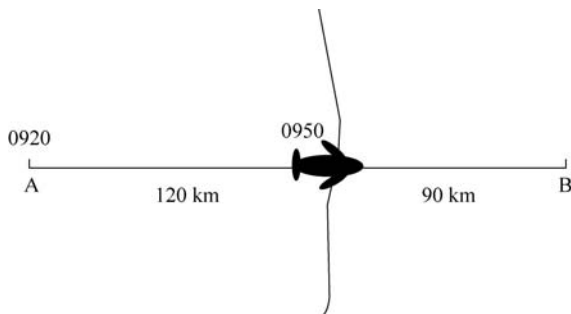


图 3-10 按线状地标检查距离

2. 按速度、时间检查距离

根据平均地速和飞行时间,计算已飞距离和未飞距离。也可用平均真空速替代地速进行计算。

3.5.3 全面检查

在复杂的条件下飞行,单独检查方向或距离是不够的,需要对两者同时进行检查。全面检查采用的方法有按地标全面检查和按航迹、地速全面检查。

1. 1:60 经验法则

在飞行中,复杂的计算会增加飞行员的工作负荷,因而需要使用一些经验法则帮助飞行员进行快速计算。1:60 经验法则是用于求解直角三角形中角与边的近似关系,使用方法如下:

(1) 如图 3-11(a)所示,在直角三角形中,如果短边为 1 km,长边为 60 km,那么短边所对角为 1° 。

(2) 如图 3-11(b)所示,当短边所对角小于 15° 时,可以推广为:短边为 α ,长边为 60,则短边所对角为 α (单位 $^\circ$)。其中短边和长边的单位为距离单位,且两者一致。

(3) 直角三角形中短边所对角的度数等于短边比长边乘以 60。

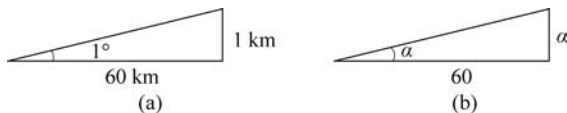


图 3-11 1:60 经验法则示意图

【例 3-8】 飞机由 A 地出发飞往 B 地,飞行 20 km 后,飞机偏在航线右侧 3 km,问飞机的偏航角是多少?

解: 如图 3-12(a)所示, $TE = 3 \text{ km} / 20 \text{ km} \times 60 = 9$,偏航角为 9° 。

【例 3-9】 飞机由 A 地出发飞往 B 地,飞行 30 km 后,发现飞机的偏航角为 -2° ,问飞机的偏航距离是多少?

解: 如图 3-12(b)所示,由 $TE = \text{偏航距离} / 30 \text{ km} \times 60 = 2$,可得偏航距离为 1 km。

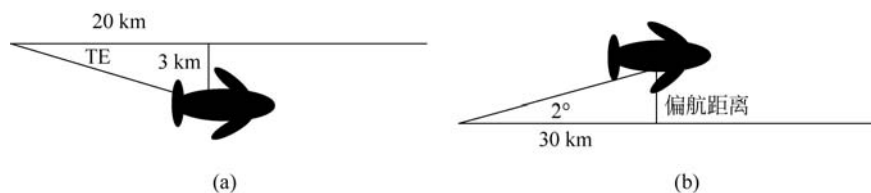


图 3-12 1:60 经验法则举例示意图

2. 按地标全面检查

用地图对照地面,确定飞机位置。根据飞机位置,检查方向和距离。

例如,如图 3-13 所示,在磁差为 $+2^\circ$ 的地区飞行,飞机于 11:00 飞过 A 地,磁航线角为 080° ,11:15 到达 B 地上空。根据地标确定飞机位置,在地图上量出偏航距离为 $+7 \text{ km}$,已飞距离为 70 km。根据已飞距离和飞行时间,可以计算出地速为 280 km/h。根据已飞距离和偏航距离,可计算出偏航角为 $+6^\circ$,磁航迹角为 086° ,飞机偏右。注意,地图上的方向为真方向,故图 3-13 使用了真航线和真航迹线进行作图示意。

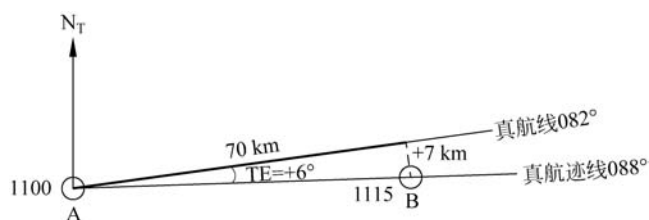


图 3-13 按地标全面检查举例示意图

3. 按航迹、地速全面检查

根据平均航向、平均偏流、平均地速和时间,计算航迹角和已飞距离,在地图上画出航迹线,量出距离,确定飞机位置。

【例 3-10】 在磁差为 $+2^\circ$ 的地区飞行,飞机于 11:00 飞过 A 地,由 A 地飞向 B 地的平均磁航向为 075° ,测得的平均偏流为 $+8^\circ$,平均地速为 160 km/h ,求 11:15 飞机的位置。

解: 第一步,计算磁航迹角:

$$\text{MTK} = \text{MH} + \text{DA} = 075^\circ + 8^\circ = 083^\circ$$

第二步,修正磁差,计算得到真航迹角和真航向:

$$\text{TTK} = \text{MTK} + \text{VAR} = 083^\circ + (+2^\circ) = 085^\circ$$

$$\text{TH}_平 = \text{MH}_平 + \text{VAR} = 075^\circ + (+2^\circ) = 077^\circ$$

第三步,计算已飞时间 $T_已$ 和已飞距离 $D_已$:

$$T_已 = 11:15 - 11:00 = 15 \text{ min} = 0.25 \text{ h}$$

$$D_已 = \text{GS} \times T_已 = 160 \text{ km/h} \times 0.25 \text{ h} = 40 \text{ km}$$

第四步,图上作业: 在地图上按真航迹角画出航迹线,并在所画的航迹线上量取 40 km , 40 km 处的点即为飞机位置,如图 3-14 所示。

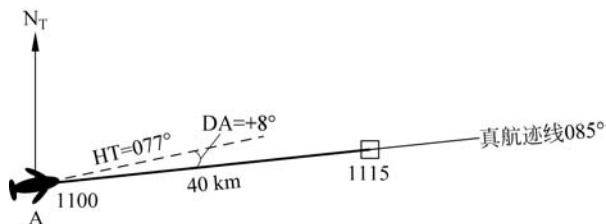


图 3-14 按航迹、地速全面检查举例示意图

3.6 修正航迹

检查航迹后,如果飞机发生偏航,就需要及时修正,使飞机回到预定航线上。修正航迹时,以航迹检查点为新航线的起点,检查点与下一个预定点的连线为新航线,求出检查时的应飞航向,即使飞机沿新航线飞行的航向。在求应飞航向时,一般可利用偏离角或航迹修正角进行计算,这样修正航迹的方法可分为按偏离角修正以及按航迹修正角修正。

1. 按偏离角修正航迹

如图 3-15 所示,偏离角是新航线与预定航线的夹角,用 CA 表示。飞机偏在原航线右侧,偏离角为正;飞机偏在原航线左侧,偏离角为负。

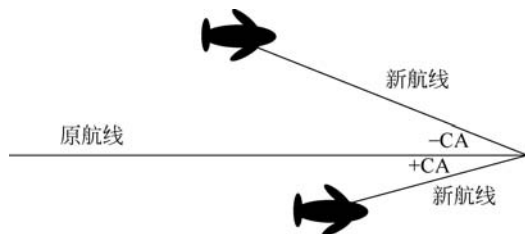


图 3-15 偏离角

按偏离角修正航迹的步骤如下:

- (1) 确定飞机位置,判断偏航距离。
- (2) 根据已飞距离和未飞距离,计算偏航角和偏离角。
- (3) 根据偏航角计算出航迹角和偏流。
- (4) 根据偏离角计算出新航线角。
- (5) 在新航线角基础上修正实际偏流,求沿新航线飞行的应飞航向。

【例 3-11】 如图 3-16 所示,AB 两地相距 205 km。飞机从 A 地出发飞往 B 地,保持平均磁航向 122° 和预定空速在指定高度层飞行。到达检查点 C 时,飞机从 C 点的右侧通过,偏航距离为 5 km。如果此时飞行员从偏航点直飞 B 地的话,求应飞航向。

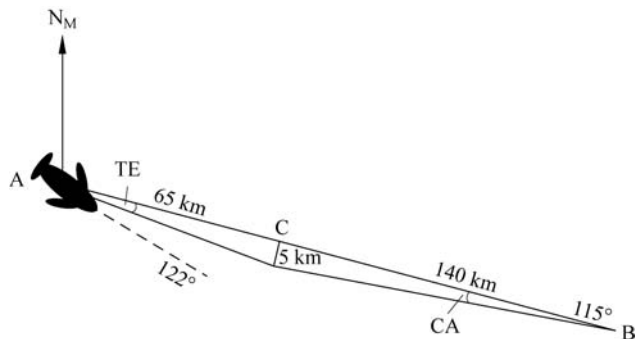


图 3-16 按偏离角修正航迹

解: 第一步,求偏航距离,为 +5 km。

第二步,计算偏航角和偏离角:

已知 $D_{已} = 65 \text{ km}$, $D_{未} = 140 \text{ km}$, 利用 1:60 法则可得

$$TE = \text{偏航距离} / D_{已} \times 60 = 5 \text{ km} / 65 \text{ km} \times 60 = +5^\circ$$

$$CA = \text{偏航距离} / D_{未} \times 60 = 5 \text{ km} / 140 \text{ km} \times 60 = +2^\circ$$

第三步,计算航迹角和偏流:

已知 $MH_{平} = 122^\circ$, $MC = 115^\circ$, 计算可得

$$MTK = MC + TE = 115^\circ + (+5^\circ) = 120^\circ$$

$$DA = MTK - MH_{平} = 120^\circ - 122^\circ = -2^\circ$$

第三步,计算新航线角:

已知 $MC_{原} = 115^\circ$, 则

$$MC_{新} = MC_{原} - CA = 115^\circ - 2^\circ = 113^\circ$$

第四步,计算应飞航向:

根据前面已计算的 $MC_{新}$ 和 DA , 可得

$$MH_{应} = MC_{新} - DA = 113 - (-2^\circ) = 115^\circ$$

按偏离角修正航迹,只需知道飞机的准确位置和偏流,不需要考虑飞过的航迹和偏航的远近,因此,这种方法常用于偏航较远、风变化较大或飞过航迹不规则的飞行。

2. 按航迹修正角修正航迹

如图 3-17 所示,航迹修正角(ΔTK)是航迹延长线与新航线的夹角,在数值上,航迹修正角等于偏航角 TE 与偏离角 CA 之和。同时规定,当飞机偏在航线右侧时,航迹修正角为正;当飞机偏在航线左侧时,航迹修正角为负。

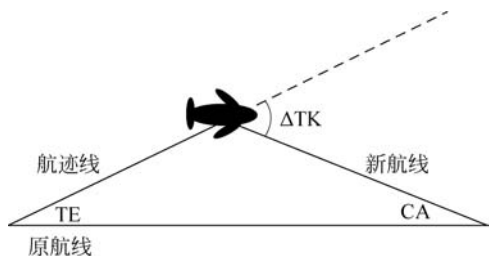


图 3-17 航迹修正角

按航迹修正角修正航迹的原理是:当航向改变不大(不超过 20°)时,偏流的变化很小,这样可以认为航向改变多少,航迹角就改变多少。当航迹需要改变 ΔTK ,则可通过改变航向来实现。按航迹修正角修正方向就是在原来所保持的平均磁航向 $MH_{平}$ 的基础上修正航迹修正角 ΔTK ,求出应飞航向。

按航迹修正角修正航迹的步骤如下:

- (1) 记录平均航向,飞行中要注意罗盘指示记录平均的航向。
- (2) 确定飞机位置,判断偏航距离,并将飞机位置标记在地图上,记下时刻。
- (3) 计算偏航角、偏离角以及航迹修正角。
- (4) 在原来平均磁航向的基础上修正一个航迹修正角,即可得出沿新航线飞行的应飞航向。

【例 3-12】 如图 3-18 所示,AB 两地相距 205 km。飞机从 A 地出发飞往 B 地,保持平均磁航向 122° 和预定空速在指定高度层飞行。到达检查点 C 时,飞机从 C 点的右侧通过,偏航距离为 5 km。如果此时飞行员从偏航点直飞 B 地,求应飞航向。

解: 第一步,记录平均磁航向: $MH_{平} = 122^\circ$ 。

第二步,确定飞机位置,判断偏航距离为 +5 km。

第三步,计算 TE 、 CA 和 ΔTK :

已知 $D_{已} = 65$ km, $D_{未} = 140$ km,利用 1:60 法则可得

$$TE = 5 \text{ km} / 65 \text{ km} \times 60 = +5^\circ$$

$$CA = 5 \text{ km} / 140 \text{ km} \times 60 = +2^\circ$$

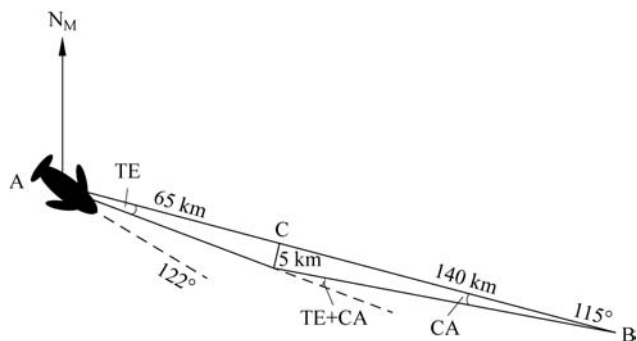


图 3-18 按航迹修正角修正航迹

则

$$\Delta TK = TE + CA = 7^\circ$$

第四步,计算应飞航向:

已知 $MH_{\text{平}} = 122^\circ$, 由于 ΔTK 为正, 可知飞机偏右, 应向左修正航向, 这样航向减小, 因此可计算出

$$MH_{\text{应}} = MH_{\text{平}} - \Delta TK = 122^\circ - 7^\circ = 115^\circ$$

所以, 飞机改航沿新航线直飞 B 地的应飞航向为 115° 。

按航迹修正角修正航迹完全可以避开偏流, 如果确定的位置、记录的平均航向准确, 空中风又比较稳定, 那么这种方法的修正效果较好。但它不适用于因不规则改变航向而不易记准平均航向、风的变化较大以及航迹修正角过大的情况。

3. 按实测偏流修正航迹

飞行中, 如果偏流发生变化, 航迹就会偏离航线。这种方法就是根据新的偏流, 重新计算应飞航向, 修正航迹, 使航迹和航线平行。具体步骤如下:

(1) 计算新偏流与修正前偏流之差, 即 $\Delta DA = DA_{\text{新}} - DA_{\text{原}}$ 。

(2) 用修正偏流差的方法, 计算新的应飞航向, 即 $MH_{\text{新}} = MH_{\text{原}} - \Delta DA$ 。

【例 3-13】 修正航迹前测得偏流是 $+5^\circ$, 修正航迹后的应飞航向是 068° , 测得的偏流是 $+7^\circ$, 求新的应飞航向。

解: 第一步, 计算偏流差 ΔDA :

$$\Delta DA = DA_{\text{新}} - DA_{\text{原}} = (+7^\circ) - (+5^\circ) = +2^\circ$$

第二步, 计算新的应飞航向 $MH_{\text{新}}$:

$$MH_{\text{新}} = 068^\circ - (+2^\circ) = 066^\circ$$

可见, 按实测偏流修正航迹是一种方便、简单的方法, 通过偏流的改变量可以快速计算出新的应飞航向。它常用于地标稀少、地标位置不准和风的变化较大的情况下。这种方法的不足在于修正后航迹与航线平行, 因而不能消除偏航误差, 使飞机回到预定航线上。

3.7 航线下降

航线飞行是指按飞行计划在固定或者非固定航线上的飞行。下降和进场着陆是航线飞行的最后阶段, 其目的是修正航向直飞着陆机场的过程中, 按一定的时间和下降率 (rate of

descend, RD), 调整发动机功率, 沿航线下降, 直至到达着陆机场或按指定高度飞越导航台。

在下降过程中, 由于高度层、真空速、风是在不断地变化, 因此, 平飞地速和下降过程中的平均地速一般不一致。为了取得较准确的预达时刻, 应在平飞地速计算至目的地的时间上增减时间。

开始下降时刻应按如下程序进行:

(1) 根据平飞高度和目的地(指定的过台或机场)高度, 按下降率计算下降高度所需的时间, 即

$$\text{下降高度} = \text{平飞高度} - \text{指定的过台(或机场)高度}$$

$$\text{下降高度所需的时间} = \frac{\text{下降高度}}{\text{下降率}}$$

(2) 计算下降时刻。如果已知目的地的预达时刻, 可以根据预达时刻计算开始下降时刻, 即

$$\text{开始下降时刻} = \text{预达时刻} - \text{下降高度所需的时间}$$

也可以根据其他条件进行计算。

【例 3-14】 由 A 地飞往 B 地, 巡航高度为 9 000 ft, 预计 11:35 到达 B 地, 指定 1 800 ft 通过机场(机场标高 1 200 ft), 用 400 fpm 的下降率下降, 问飞机何时下降高度?

解: 第一步, 计算下降高度 H 和下降高度所需的时间 ΔT :

$$H = 9\,000 \text{ ft} - (1\,800 \text{ ft} + 1\,200 \text{ ft}) = 6\,000 \text{ ft}$$

$$\Delta T = 6\,000 \text{ ft} / 400 \text{ fpm} = 15 \text{ min}$$

第二步, 计算开始下降时刻 T :

$$T = 11:35 - 0:15 = 11:20$$

计算结果: 飞机预计于 11:20 开始下降高度

【例 3-15】 如图 3-19 所示, 10:32 UTC, 一架飞机在距离平均海平面 8 000 ft 的高度上巡航, 地速为 150 kn, 距离目的地机场 80 n mile。已知机场标高 1 000 ft, 下降率 500 fpm, 下降时的地速 162 kn。为使飞机按时到达机场上空 1 500 ft 加入起落航线, 预计飞机何时开始下降?

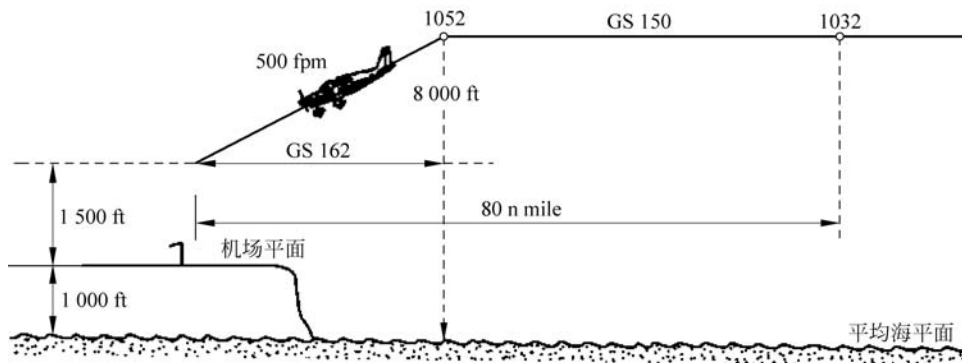


图 3-19 航线下下降

解: 第一步, 计算下降高度 H 和下降高度所需的时间 ΔT :

$$H = 8\,000 \text{ ft} - (1\,500 \text{ ft} + 1\,000 \text{ ft}) = 5\,500 \text{ ft}$$

$$\Delta T = 5\,500 \text{ ft}/500 \text{ fpm} = 11 \text{ min}$$

第二步,计算开始下降时刻 T :

$$T = 10:32 + (80 \text{ n mile} - 162 \text{ kn} \times 11 \text{ min}/60)/150 \times 60 = 10:52$$

计算结果:飞机预计于 10:52 开始下降高度。

航线下降只有根据地标和导航设备确定飞机位置后,并取得空中交通管制员的同意,方可按规定下降高度。进入机场区域后,根据预达时刻,提前搜索和辨认机场,根据该机场使用细则规定和进场程序、进近程序进行进场着陆。

本章小结

地标罗盘领航是地标领航与罗盘领航相结合的一种领航方式。地标是地标领航的基础,分为点状地标、线状地标和面状地标,可用作定位点和位置线,进行飞机定位、地速检查以及偏流估算。对正地图、观察位置、地标定位是确定飞机位置的三个步骤。

为了弥补风的影响,飞行时需要计算应飞航向。飞行前或当飞行速度发生改变时,需要计算或重新推算到达下一个检查点或目的地的预达时刻。利用航迹角和地速、两个飞机实测位置、无风航迹等方法可以推算飞机位置。

目视离场入航的方法主要有直接离场入航和通场离场入航。航迹检查的内容主要有航行方向和飞行距离。方向检查可通过线状地标或航迹角进行。距离检查可按线状地标或速度和时间进行。全面检查则是方向检查和距离检查的综合。修正航迹的方法包括按偏离角修正航迹、按航迹修正角修正航迹和按实测偏流修正航迹。在脱离航线飞行前,根据航行要素计算开始下降时刻。

思考题

1. 什么是地标领航? 什么是罗盘领航?
2. 什么是地标? 地标可分为哪些种类?
3. 什么是定位点? 什么是位置线? 位置线的作用有哪些?
4. 如何利用地标确定飞机位置?
5. 什么是应飞航向? 如何计算?
6. 什么是预达时刻? 如何进行推算?
7. 推算飞机位置的方法有哪些?
8. 目视离场入航的方法有哪些? 适用条件各是什么?
9. 航迹检查的内容和方法有哪些?
10. 什么是偏航角? 如何定义偏航角的方向? 什么是偏航距离?
11. 1:60 经验法则是什么?
12. 修正航迹的方法有哪些? 修正步骤各是什么?
13. 什么是偏离角? 如何定义偏离角的方向?
14. 什么是航迹修正角?

15. 按航迹修正角修正航迹的原理是什么?
16. 如何计算开始下降时刻?

课程思政阅读材料



卫星打卡红色地标 见证祖国发展历程