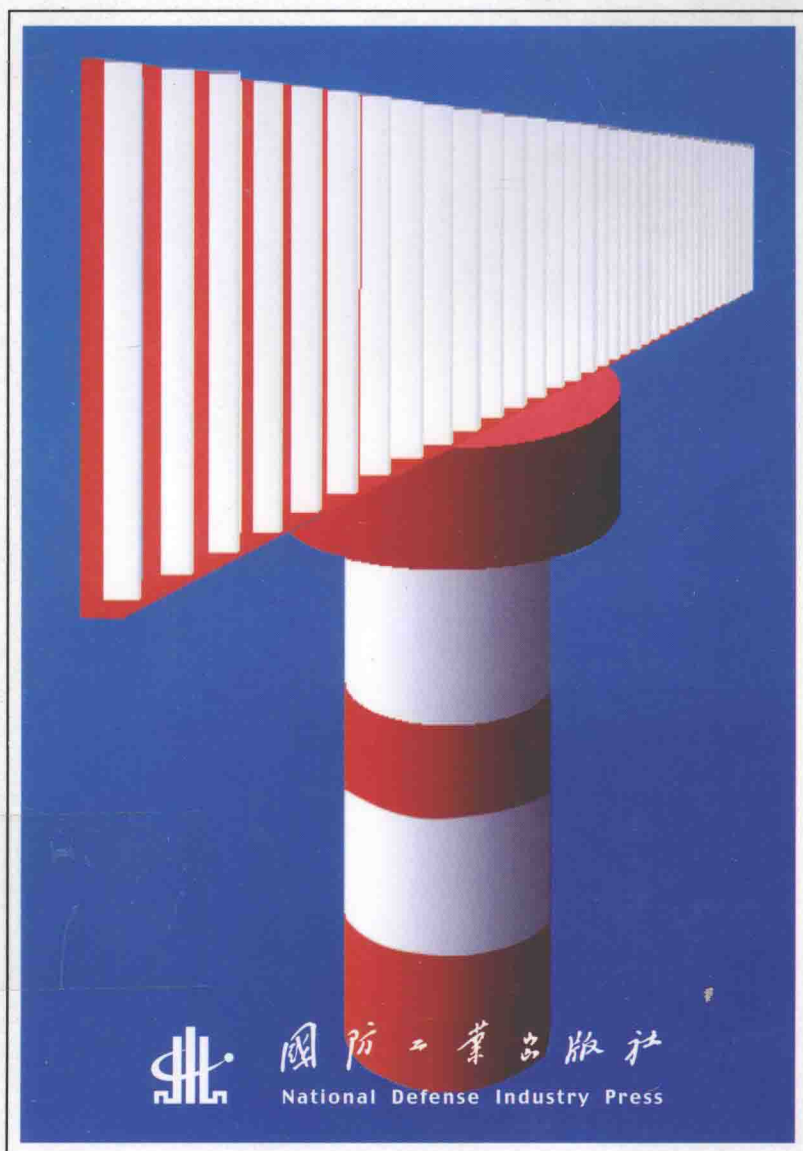


二次雷达原理

ERCI LEIDA YUANLI

张尉 主编 徐炎祥 主审



二次雷达原理

张 尉 主编
徐炎祥 主审

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书较全面地介绍了二次雷达的基本原理、系统的组成、实际应用中的主要技术等。全书共分 11 章。第一章介绍空中交通管制系统的发展及二次雷达在空中交通管制系统中所起的作用。第二章介绍二次雷达发现飞机、识别飞机、测量其位置参数等原理;介绍询问/应答信号的格式;介绍系统的组成及典型性能指标。第三、四章分别介绍地面站的天线、发射/接收系统。第五章讨论询问/应答信号的多路径传输和各种干扰问题。第六章介绍经典的滑窗点迹录取方法。第七章介绍现代的单脉冲点迹录取方法。第八章分析二次雷达的系统性能,并介绍性能监视设备。第九章介绍机载应答机。第十章专门介绍正在推广应用的 S 模式。第十一章介绍了空管二次雷达的两个实例。

本书内容全面,论述简明,由浅入深,注重基本理论与实际应用的联系,可作为大专院校电子工程等有关专业的教科书和技术培训教材,也可作为二次雷达工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

二次雷达原理/张尉主编. —北京:国防工业出版社,
2009.5 重印
ISBN 978-7-118-05361-6

I. 二... II. 张... III. 二次雷达—理论 IV. TN958.96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 140587 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12¼ 字数 276 千字

2009 年 5 月第 2 次印刷 印数 5051—8050 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《二次雷达原理》

编审委员会

主 编 张 尉

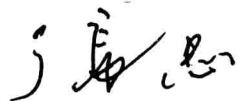
主 审 徐炎祥

编审人员 米慈中 许绍杰 舒 明 林 强 张 兵
熊记宁 周升响 张 斌 范国生 倪 俊
王华彬 郭建明 任 敏 刘才贵 李金星
姚北国 申正义 李 浩 顾春平 李海军
曾湘洪

序 言

20 世纪 50 年代中期,敌我识别雷达技术应用于空中交通管制领域,出现了二次雷达系统,它是空中交通管制最重大的技术进展。空中交通管制员可以从雷达屏幕上看到飞机的代码、空间位置、速度、上升下降等参数,并向驾驶员提供飞机相互之间的相对位置信息,驾驶员能有比较充裕的时间来判断和避免可能发生的相撞,从而消除潜在的事故。在二次雷达中引入单脉冲技术和大垂直口径询问机天线后,使二次雷达的性能有了极大提高。目前,二次雷达已发展为具有 S 模式能力的第三代,雷达已由监视的工具变为空中交通管制的手段。

我国的二次雷达技术和装备水平正处于快速发展时期,雷达管制也在逐步推广过程中,空军司令部电子对抗雷达部组织有关人员编写《二次雷达原理》,对二次雷达的概念、组成和工作原理、二次雷达的工作环境等进行了全面、深入地论述,并兼顾了二次雷达的新技术进展。《二次雷达原理》的出版,将为我国从事二次雷达教学、科研、生产、使用和维修等各方面人员提供一本优良的参考书,为推动我国雷达事业的发展贡献一份力量。



2007 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 民用航空的出现和发展	1
1.2 空中交通管制	1
1.3 国际民航组织及协议	4
1.4 航空器活动的空间	5
1.5 空中交通管制间隔标准	8
1.6 空管雷达系统	9
1.7 二次雷达	11
第二章 二次雷达工作原理	16
2.1 二次雷达探测飞机的原理	16
2.1.1 发现飞机	16
2.1.2 测方位角	16
2.1.3 测距	21
2.1.4 测高	21
2.1.5 识别	22
2.1.6 测速	22
2.1.7 飞机点迹/航迹显示	23
2.1.8 二次雷达探测存在的多径和干扰问题及对策	23
2.2 二次雷达系统组成及工作过程	24
2.3 二次雷达的询问信号和应答信号	25
2.3.1 询问模式和信号	25
2.3.2 应答信号	27
2.3.3 模式交错序列	30
2.4 典型地面设备性能指标	31
第三章 地面天线系统	34
3.1 水平特性	34
3.1.1 询问波束	35
3.1.2 控制波束	35
3.1.3 差波束	36
3.2 垂直特性	39
3.2.1 地面反射引起波瓣分裂	39
3.2.2 高仰角处的增益	40

3.3	尾瓣	40
3.4	射频通道	42
3.4.1	射频开关	42
3.4.2	转动铰链	42
3.4.3	射频电缆	43
3.5	与一次雷达的合装	43
3.5.1	顶端安装	43
3.5.2	背部安装	44
3.5.3	双天线背对背安装	44
3.5.4	集成馈电系统	44
3.6	天线罩	45
第四章	询问机	49
4.1	模式产生器	49
4.1.1	发射机脉冲规范	49
4.1.2	用于外部的触发	49
4.2	发射机	50
4.2.1	频率控制	50
4.2.2	调制器	51
4.2.3	功率输出级	51
4.2.4	发射机边带谱和输出滤波	52
4.3	标准接收机	54
4.3.1	接收机灵敏度	54
4.3.2	接收机带宽	55
4.3.3	脉冲信号的放大处理	57
4.3.4	增益时间控制	58
4.3.5	接收机中天线副瓣脉冲的抑制或标记	59
4.4	单脉冲接收机	60
第五章	多径和干扰	63
5.1	多径	63
5.1.1	同一垂直平面内的多径信号	64
5.1.2	小水平夹角间的多径信号	67
5.1.3	大水平夹角间的多径信号	73
5.1.4	采用改进型天线的实例	75
5.2	干扰	77
5.2.1	无用信号的干扰	77
5.2.2	有用信号的丢失	80
第六章	滑窗点迹录取	82
6.1	应答译码器	82
6.1.1	脉冲检测	82

6.1.2	框架检测	83
6.1.3	编码录取	84
6.2	异步干扰的滤波	84
6.3	飞机检测和位置测量	85
6.4	滑窗点迹录取器的不足	86
第七章	单脉冲点迹录取	88
7.1	概述	88
7.2	应答处理	90
7.2.1	询问模式的监测和距离计数器的启动	90
7.2.2	脉冲前沿和后沿的检测	91
7.2.3	框架脉冲检测	91
7.2.4	编码脉冲位置确认	92
7.2.5	S模式前导脉冲的检测	93
7.2.6	脉冲采样	93
7.2.7	应答参考的选择	94
7.2.8	应答译码	94
7.3	应答间处理	97
7.3.1	预处理	98
7.3.2	应答间相关处理	100
7.3.3	原始飞机报告形成	101
7.4	监视处理	101
7.4.1	概述	101
7.4.2	离散编码相关	102
7.4.3	总联合	102
7.4.4	总相关	104
7.4.5	航迹建立	106
7.4.6	飞机报告更新	106
7.4.7	典型的性能结果	106
7.4.8	航迹更新	107
7.4.9	航迹延续和中止	109
7.5	虚假飞机处理	110
7.5.1	虚假飞机测试	111
7.5.2	航迹状态	113
7.5.3	反射表面的确定	113
7.6	应答处理器组成	115
7.7	与一次雷达飞机报告的点迹合并	116
第八章	二次雷达性能分析	118
8.1	二次雷达作用距离	118
8.2	视距公式	119

8.3	大气衰减	120
8.4	大气折射与蒸汽波导	121
8.5	地面反射对雷达威力图的影响	122
8.6	应答与检测概率	125
8.7	发射机脉冲重复询问频率	127
8.8	一次雷达信号与二次雷达信号的交调	128
8.9	二次雷达的性能监视	128
第九章	应答机	131
9.1	应答机组成及工作过程	131
9.2	气压高度表原理	132
9.3	规范文件制定的应答机基本参数	133
9.3.1	接收机灵敏度	134
9.3.2	应答机的抑制及其抑制时间	134
9.3.3	发射功率	134
9.3.4	应答延迟	134
9.3.5	双天线装置	135
9.4	应答机设备基本参数的适应性	135
9.4.1	应答频率的适应性	136
9.4.2	发射功率适应性和接收灵敏度的适应性	136
9.4.3	应答脉冲波形参数的适应性	137
9.4.4	机载天线方向图的适应性	138
9.4.5	应答机抑制特性适应性	139
9.5	应答机性能报告的标记	139
第十章	S 模式	140
10.1	S 模式发展的起源	140
10.2	询问格式	141
10.3	应答格式	144
10.4	校验和地址码	144
10.5	询问类型	146
10.5.1	监视询问	147
10.5.2	通信-A 询问	148
10.5.3	通信-C 询问	148
10.5.4	全呼叫询问	149
10.5.5	广播询问	150
10.6	应答类型	150
10.6.1	监视应答	151
10.6.2	通信-B 应答	152
10.6.3	通信-D 应答	153
10.6.4	全呼叫应答	154

10.7	数据链的应用	155
10.8	S 模式在交通警告和防撞系统中的应用	156
第十一章	二次雷达实例	158
11.1	S 模式单脉冲二次雷达	158
11.1.1	概述	158
11.1.2	S-S 采用单脉冲技术	158
11.1.3	S-S 具有 S 模式能力和交互工作模式	159
11.1.4	S-S 主要特点	159
11.1.5	S-S 主要性能指标	161
11.1.6	S-S 系统组成框图及概略工作过程	162
11.1.7	天线辐射图	164
11.1.8	BITE 机内测试设备	165
11.1.9	控制面板功能	166
11.2	单脉冲二次雷达	168
11.2.1	功能和特点	168
11.2.2	主要性能指标	169
11.2.3	雷达的组成及概略工作过程	170
附录 1	新技术在二次雷达系统中的应用	174
附录 2	利用分布式地基系统对二次雷达 S 模式数据链接的改进	176
附录 3	一种处理二次雷达应答的新方法	180
附录 4	缩略语及技术词汇表	183
参考文献		186

第一章 绪 论

1.1 民用航空的出现和发展

民用航空是指除了军事性质(包括国防、警察和海关)以外的所有航空活动。从1919年到1939年20年间是民用航空初创并发展的年代,民用航空迅速从欧洲发展到北美,然后普及到亚、非、拉各洲,并迅速扩展到全球各地,中国也在1920年开始建立了第1条航线。

1939年第二次世界大战开始后,虽然中断了民航发展的正常进程,但在6年的战争中航空技术取得了飞跃的发展,特别是战争中飞机的大量使用及战争后期喷气飞机的出现,为日后民航的大发展奠定了基础。

1945年第二次世界大战结束后,民用航空经历了恢复和大发展的时期。1947年成立了国际民航组织(ICAO—International Civil Aviation Organization),从此在世界范围内有了统一的民用航空管理和协调机构,各个国家随即陆续建立起相应的民航主管部门,代表政府参加这一国际组织,民用航空从此变成了有统一规章制度的世界范围的行业,在此基础上国际航空业务迅速发展起来。

从1958年开始,喷气民用飞机进入航运,使民航发展进入到一个“民用喷气时代”。20世纪70年代之后,民航继续朝着大型化和高速度的方向发展,时至今日,民航已经发展成为一个巨大的国际性行业,对世界经济或一个国家的经济发展有着举足轻重的影响,各国的政府和企业都对民航进行了大量投资,把它作为一个有巨大潜力的行业来开拓发展。

1.2 空中交通管制

空管系统的基本要求是安全、迅速和有秩序地将乘客和货物从某一个地点空运到另一个指定地点,空中交通管制就是为达到此目的而建立的重要服务体系。正如地面交通有交通规则一样,空中交通有飞行规则,只有空中交通的使用者和管理者共同遵守和依据这些规则操作,才有可能保证空中交通安全有序地进行。

在20世纪30年代以前的民用航空活动初期,由于飞机数量少,飞机的飞行距离短、速度低,且只在白天和好天气情况下飞行,因此执行的是目视飞行规则。

之后的十几年,随着飞机性能的提高和机上无线电通信和导航设备的应用,各国相继建立了使用仪表完成安全飞行的规则,同时沿航路建立了航路交通管制中心,来接收各航站发来的飞行计划(含后来更新的内容),管制员再根据驾驶员的位置报告将其填写在飞行进程单上,然后确定飞机间的相互位置关系,发布命令、实施管理,于是形成以这种“程

序管制”为核心的空中交通管制(ATC—Air Traffic Control)。程序管制要求管制员在不同的飞行情况下,记住飞机间的相互位置,严格按“相应的程序和相应的间隔标准”来指挥。程序管制条件下的飞机间隔还较大,指挥效率较低,只适用于飞行流量小的情况。

20 世纪 50 年代中期,由于敌我识别(IFF—Identification of Friend or Foe)雷达技术在空中交通管制领域中的应用,出现了 SSR(Secondary Surveillance Radar 二次监视雷达,简称二次雷达)系统,管制员可以从雷达屏幕上看到飞机的代码、空间位置、速度、上升下降等参数,再加上地空通话系统的快速发展,雷达管制逐渐取代了程序管制。我国目前已在飞行流量较大的北京、广州、上海等地区以及京广、京沪、沪广等多条航路上实施了雷达管制。

雷达管制是指管制员利用雷达为已被识别的航空器提供的管制服务。它对雷达设备和陆空通话系统提出了较高的要求,但对航空器比程序管制限制要少。它提出了对雷达和陆空通话系统设备的最低保障要求,以及航空器之间的最小间隔标准,最大限度地利用雷达所提供的各种信息,使管制指挥更加灵活、高效。由于雷达的使用,可以向驾驶员提供飞机相互之间的相对位置信息,从而可消除潜在的相撞事故,这些信息被称为交通建议。驾驶员得到这些信息后,就可以有比较充裕的时间来判断和避免可能发生的事故。

随着二次雷达的计算机化,很多雷达系统装有防撞告警软件,该软件通过计算,在两架飞机航线交叉过程中的垂直、纵向、横向间隔不够时,向管制员发出声音告警,并出现告警文字闪烁,以引起管制员的注意并作及时处理。先进的二次雷达系统可以把控制空域内的地形和障碍物高度存入计算机中,告警软件不断比较飞机的高度和地面障碍物的高度,一旦两架飞机高度的差小于 150m,就发出声音告警,并在该飞机的航迹点旁的数字框中出现闪烁的“LOW ALT”(高度太低)字样,以提醒管制员通知驾驶员,从而避免飞机因高度太低与地面障碍物相撞。

20 世纪 70 年代初开始实现了空管雷达联网全自动化,它将计算机技术和雷达完美地结合起来。图 1.2.1 为典型的空管控制中心组成示意图。图中本地一次、二次雷达探测到的飞机数据经过光纤传输,送到多雷达数据接口;异地一次、二次雷达探测到的飞机数据则经过卫星等传输,也送到多雷达数据接口;它们都经过相应的格式变换(不同的雷达型号其数据格式可能不同,必须变换成统一格式)。然后,所有的雷达数据经过多雷达数据处理器,进行坐标变换(将异地雷达以当地雷达站为中心的坐标改为以本地雷达站为中心的坐标)、多雷达数据融合等处理,传送到与 LAN(局域网)连接的各雷达显示器,将雷达图像提供给各管制人员。空管控制中心工作人员之间通过内话系统(内话系统包括电话和对空甚高频指挥)互相交接、指挥飞机;塔台管制员负责飞机的起飞/降落管制,以及地面滑行安全;区域管制员负责高空飞机的飞行管制;飞行报告室人员负责飞机起飞/降落时间确定、航班调配等飞行计划的制定、更新和实施。用户的飞行计划数据通过转报中心在各空管控制中心完成交换。飞行计划数据被用于和飞机的雷达航迹相关处理,可自动链接上该飞机的相关信息。管制员和飞机驾驶员利用地空通信系统(甚高频或特高频)传送命令和请求。各空管控制中心通过联网,交换飞机计划数据和飞机的雷达数据等,可以形成雷达和通信系统的多重覆盖,减少单一雷达和通信系统故障对单一指挥中心的影响,构成了完整的空中交通管制系统。

在雷达管制出现的同一时期,另一个大的进展是出现了仪表着陆系统(ILS—Instru-

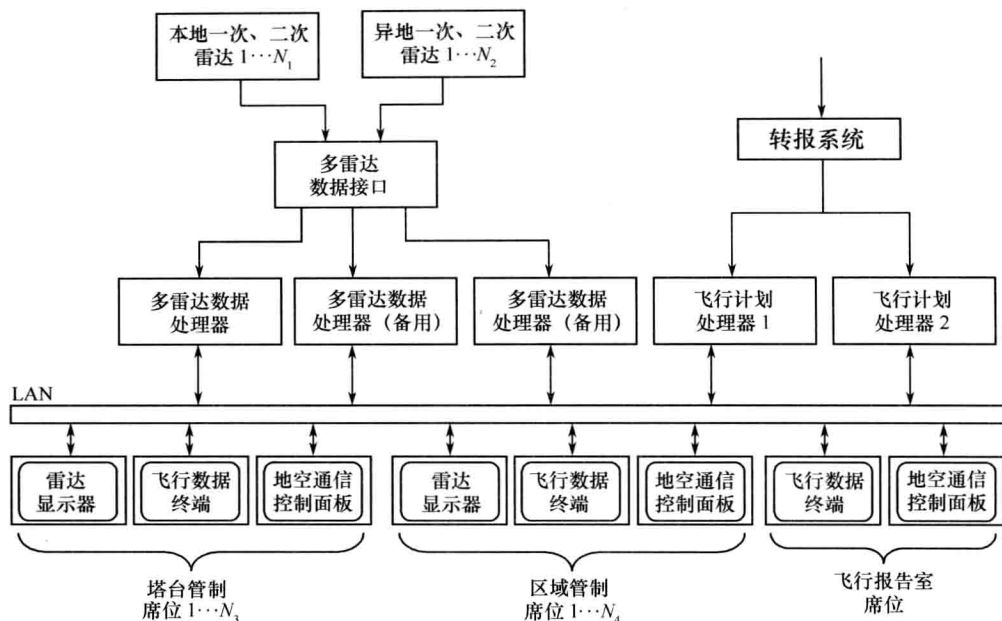


图 1.2.1 空管控制中心组成示意图

ment Landing System), 该系统使用了无线电信号引导, 飞机可在能见度和云底高度很低的情况下着陆, 极大地提高了航班正常性和飞行安全性, 并使航空运输进一步摆脱了天气的限制。

从 20 世纪 80 年代开始, 一方面电子技术的飞速发展和计算机在机载设备和空中管制地面设施上的广泛应用, 以及卫星通信和定位技术的成熟; 另一方面, 空中交通流量增长引起的飞行冲突、航班延误等日益突出, 传统的陆基航行系统已经不能适应全球民用航空的高速增长。ICAO 提出了新航行系统 CNS/ATM 的综合概念, 以取代空中交通管制。新航行系统由通信 (C)、导航 (N)、监视 (S) 和空中交通管理 (ATM—Air Traffic Management) 4 部分组成, 空中交通管理又包括空域管理 (ASM—Air Space Management)、空中交通服务 (ATS—Air Traffic Service) 和空中交通流量管理 (ATFM—Air Traffic Flow Management)。通信、导航和监视系统是基础设施, 空中交通管理是管理体制、配套设施及其应用软件的组合。新航行系统的技术基础是卫星技术、数据链技术和计算机网络技术。ICAO 希望通过星基导航系统解决陆基导航系统传播距离近、精度差的缺点; 希望通过陆空数据链解决传统话音通信速度慢、易出错的缺点; 希望通过空中交通管理的空域管理、空中交通流量管理提高空域利用率, 增大空中交通流量。在新航行系统的监视系统中, 繁忙空域仍采用二次雷达监视, 其他空域采用自动相关监视 (ADS—Automatic Dependent Surveillance), 并将二者的数据融合。通过自动相关监视, 可以克服海洋/荒漠等空域航线少、飞机间隔大的缺点, 提高空域利用率。

按照飞机飞行的整个过程, 目前的空中交通管制一般分为 3 个阶段: 机场管制、进近管制和航路 (区域) 管制。

(1) 机场管制由机场管制塔台 (TWR—Tower) 提供, 因此管制员也称为塔台管制员。塔台管制员在塔台楼的高层上, 视野开阔, 这个区域中主要使用目视飞行规则, 管制的对

象多半是目视可见的飞机。机场地面监视雷达的使用使管制员的工作质量和效率有很大提高。机场管制服务的范围为:航空器在机场管制区的空中飞行;航空器的起飞/降落;航空器在机坪上的运动;防止飞机在运动中与地面车辆和地面障碍物的碰撞。机场管制的区域范围是机场以及起落航线(半径不超过 25n mile)。

(2) 进近管制由进近(APP—Approach)管制室提供,也称终端管制。这个区域中主要使用仪表飞行规则,管制的对象是仪表飞行的飞机。因而进近管制员是依靠无线电通信和雷达设备来监控飞机,不需要看到飞机。进近管制室一般设置在塔台楼的下部,便于和机场管制协调,根据繁忙程度,可与机场管制合为一个单位。进近管制的范围为中间环节,下接机场管制区,上接航路管制区。由于交接的需要,这几个区域之间是部分重叠的,一般范围大约在以机场为中心的 90km 半径之内,高度 5000m 以下。

(3) 航路(区域)管制的区域范围是在高度 6000m 以上大范围飞行的航空器,这些航空器绝大多数是喷气式飞机。我国划分了 27 个高空管制区,将按照行政大区建设 9 个大的区域管制中心(ACC—Area Control Center),每个管制中心负责在整个区域内的空中交通管制。区域管制员的任务是根据飞机的飞行计划,批准飞机在其管区内的飞行,保证飞行的间隔,调配飞行冲突,然后把飞机移交到相邻空域,或把到达目的地的飞机移交给进近管制。区域管制员依靠空地通信、地面通信和远程雷达设备来确定飞机的位置,按照规定的程序调度飞机,保持飞行的间隔和顺序。

1.3 国际民航组织及协议

ICAO 是由各国政府参加组成的国际航空运输机构。1944 年在芝加哥有 52 个国家参加的国际民航会议上签订了“国际民用航空公约”,决定设立国际民航组织。1947 年“国际民航组织”正式成立,并成为联合国的专门机构,总部设在加拿大的蒙特利尔,到 1990 年它已有 161 个成员国。最高权力机构是该组织的大会,每 3 年召开一次。我国是该组织的成员国、理事国。理事会每年开 3 次会议,下设航空技术、航空运输、法律、导航设备、财务和防止非法干扰国际民航等 6 个委员会,日常办事机构设有航空技术局、航空运输局、法律局、技术援助局、行政服务局和对外关系办公室。在全世界设立 7 个地区办事处,分管地区事务,这 7 个地区是西非和中非区、欧洲区、亚太区、中东区、东非和南非区、北美中美和加勒比区、南美区。

这个组织的主要任务是:①确保全世界国际民航事业安全而有秩序的发展;②满足全世界人民对安全、正常、有效和经济的航空运输的需要;③鼓励各国为发展国际民航事业的航路、航站和助航设备而作的努力;④鼓励为和平用途改进航空器的设计和操作技术;⑤确保各缔约国的权利充分得到尊重,在国际民航上获得平等的机会;⑥避免各国国际民航的恶性竞争;⑦避免缔约国间的差别待遇;⑧促进国际民用航空器的飞行安全。

这个组织的主要活动内容是:①通过制定“国际民用航空公约”的 18 个技术业务附件以及召开各种技术会议,逐步统一国际民航的技术业务标准和管理国际航路的工作制度;②通过双边通航协定的登记、运力、运价的研讨、机场手续的简化、统计资料的编辑出版来促进国际航空运输的发展;③通过派遣专家、建立训练中心、举办训练班等形式执行联合国开发计划署对缔约国的技术援助;④研究国际航空法,拟订或修改涉及国际民航的

各种公约;⑤通过大会、理事会、地区会议讨论和决定涉及国际航空安全和发展的问题。

芝加哥公约的附件正式名称是“国际标准和建议措施”,它是在国际民航组织逐年的讨论和修订上形成的具有约束力的技术文件。这些文件在理事会以上以 2/3 多数通过,通过后 3 个月内生效。到现在为止已经制定了 18 个技术附件,它们是:人员执照的颁发;空中规则;国际航空气象服务;航图;空中和地面运行中使用的计量单位;航空器的运行;航空器的注册国籍和标志;航空器的适航性;简化手续;航空通信(卷一和卷二);空中交通服务;搜寻和救援;航空器失事调查;机场;航行情报服务;环境保护(卷一和卷二);防止对国际民用航空进行非法干扰行为的安全保卫;危险品的安全航空运输。

国际民航组织利用附件这种形式还制定了一系列航行服务程序,各种手册,通过修订、补充和制定新的附件,覆盖了民航领域的各个方面,使国际航空规则趋向统一和不断更新,保证国际航空安全、高效运行,极大地推动了国际空运的发展。

ICAO 附件 10 描述了所有航空辅助设备的规范,是二次雷达系统最重要的文献。最新版本是 1998 年 7 月通过的。ICAO 附件 10 的 3.8 节定义了二次雷达的询问和应答脉冲,以及脉冲的上升沿、下降沿、脉冲宽度、脉冲间隔和公差,还包括对发射机功率电平的建议,以使二次雷达间(也许不属于一个国家)的相互干扰达到最小。北大西洋公约组织(NATO—North Atlantic Treaty Organization)出版了一个与 ICAO 附件 10 类似的文献—STANAG4193(Standardization Agreement 标准化协定)。这份文献描述了有关军用 1、2、3 模式,以及 4 模式的规范。

尽管 ICAO 附件 10 中描述了二次雷达应答机的性能指标,但它没有定义应答机的尺寸、质量、附件、连接、控制、插头和插座等。这些内容由航空无线电公司(ARINC—Aeronautical Radio Incorporated)出版的《特性》作了描述,该公司是由航空公司建立和经营的组织,目的是保证不同生产商生产的设备之间可以相互通用。

美国航空无线电技术委员会(RTCA—Radio Technical Commission for Aeronautics)和欧洲民航电子组织(European Organization for Civil Aviation Electronics European)两个准政府组织密切合作共同出版了文献《最低使用性能标准(MOPS—Minimum Operational Performance Standards)》,这两个团体包含了国际民用航空的权威、设备生产商和科研机构的代表。《最低使用性能标准》定义了设备在 ICAO 附件 10 中最基本的要求,同样重要的是,它还描述了如何测试雷达设备是否满足这些要求的方法和程序。

航空无线电公司出版的《特性》和航空无线电技术委员会与欧洲民航电子组织出版的《最低使用性能标准》被广泛接受为国际应用规范。

有关二次雷达的技术、设备及使用等都要符合 ICAO 附件 10 的规范。本书将在各章节具体给出有关的规范内容。

敌我识别系统由于需要保密,各国均有自己的技术规范和相应设备,不受上述规范的限制。

1.4 航空器活动的空间

大气层紧紧包围着地球,一般认为在大气层的 150km~200km 之内分为对流层(变温层)、平流层(同温层)、电离层和逸散层,在此之外,空气已经十分稀薄,就进入了宇宙空

间。航空器活动在对流层和平流层中,从地面算起到 18000m 高度之内,没有增压座舱的飞机和小型的喷气飞机在 7000m 以下的对流层中飞行;大型和高速的喷气客机装有增压装置,在 7000m ~13000m 的对流层顶部和平流层中飞行,这里的大气没有垂直方向的运动,飞机飞得平稳,而且空气稀薄,飞行阻力小,因而飞机可以较高的速度飞行,节约燃料,经济性好。现代民航运输的大部分活动在这一层的空中进行,超声速飞机和一些高速军用飞机,为了减少阻力,巡航在 13500m ~18000m 的高空。对流层和平流层中的各种现象和空气动力对航空器的活动有重要影响,因此我们要对其性质和它内部的各种现象有基本了解。

1. 对流层(变温层)

离地面最近的一层,从海平面算起平均高度为 11km,在赤道上空高约 17km 而在极地上空为 8km 左右,对流层的高度由于地区不同、季节不同而不同,这一层大气密度最大,压力也最高,其中包含了大量水蒸气。由于地面吸收的热量加热了空气,热气流要上升,在这一层中空气不仅水平流动而且垂直流动,所以称为对流层。地球上的各种天气变化如云、雾、雨、风、雪等都出现在这一层内,给航空器的飞行带来了困难,这一层是航空器活动的主要区域。

2. 平流层(同温层)

这一层在对流层之上(通常把平流层和对流层的分界线定为 11000m),它的顶部距地面约 50km。空气在这一层几乎没有垂直流动,因而叫平流层。但水平方向由于地球自转上层空气摩擦力小而落后于下层空气的运动,形成了与地球自转方向相反的运动。由于没有水蒸气,这一层内,除风外没有其他天气现象,这一层的下部温度基本保持不变,约为 -56°C ,因而这一层也叫同温层。

大气的各种物理参数随着地理位置、地形、季节的不同而不同,因此航空器的飞行性能在不同的地点、季节、高度会有不同的表现,这使航空器的制造和使用在不同的条件下有不同的结果,给使用者带来麻烦。因此必须有一个统一标准在世界范围内统一比较、计算。为此,ICAO 将 1954 年第十届国际计量大会决议规定的国际标准大气压(ISA—International Standard Atmosphere)作为航空器设计和制造的统一标准,也作为航空器使用者在使用航空器时的共用标准。它的优点是不受大气环境变化的影响,从而避免了因各地气压不同而带来的高度表数据的偏差,保证了飞行安全。这个国际标准大气压为

$$1 \text{ 标准大气压} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (1.4.1)$$

国际标准大气压以北半球中纬度地区的大气物理性质的平均值作为基础,并假设空气为理想气体,标准气压的平面作为高度平面基准。由于这个高度不随温度和湿度的影响而变化,它和真实的海平面高度不完全一致。

确定航空器在空间的垂直位置需要两个要素:测量基准面和从该基准面到航空器的垂直距离。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。飞机上的高度表有两类:气压高度表和无线电高度表,后者一般只用于测量低高度。飞机的气压高度表是根据气压来确定高度的,因而就出现了以什么地方的气压作为标准来确定高度的问题。实际上,在飞行的不同阶段,按规定应使用不同的气压标准来确定高度。图 1.4.1 为以不同的测量基准面所定义的高度,这些定义如下:

- (1) 真实高度:指飞机和它正下方地面之间的垂直距离。
- (2) 绝对高度:指飞机到当地海平面之间的高度,也称为海平面气压高度(或修正海平面气压高度)。
- (3) 标准气压高度:指飞机到标准气压平面之间的高度。
- (4) 相对高度:指飞机对某一指定的机场(如降落机场)地面之间的高度,对一些难以直接测量到海拔高度的机场,相对高度由标准气压高度减去机场的标高而得到。

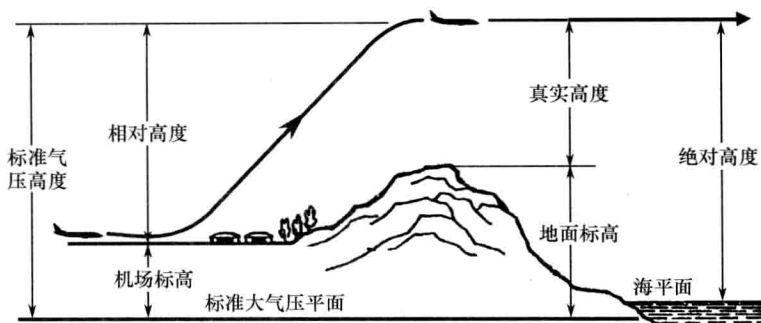


图 1.4.1 飞行高度

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当地海平面的垂直距离。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。因此,2001 年以后在全国民用机场统一使用修正海平面气压拨正值代替现行的场面气压拨正值和“零点高度”。具体规定改为:在机场地区应使用修正海平面气压作为航空器的高度表气压基准。按照气象部门给出的海平面气压数据作为高度的基准面,这时,高度表上得出的是飞机的实际海拔高度,也就是绝对高度,想要得到飞机与下方地面之间的真实高度,就用海平面气压高度减去由航图上查到的这一位置的标高。航空器着陆在跑道上时高度表指示机场标高。

国际民航组织规定:当飞机进入航线后,为了保持飞机之间的间隔,一律使用标准气压高度。即在巡航阶段,所有飞机都必须把高度表设定在标准气压,这时飞机上的高度表都统一表示标准气压高度,这样就避免了各飞机之间的高度指示出现分歧。

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,全国民用机场统一规定: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) 过渡高度是指一个特定的修正海平面气压高度,在此高度(含)以下,航空器的垂直位置按照修正海平面气压高度表示,以外使用标准大气压。机场标高 1200m(含)以下时,过渡高度 3000m;机场标高 1200m(含)~2400m(含)时,过渡高度 4200m……。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(300m)。

(2) 以机场的甚高频全向无线电信标/测距装置(VOR—Very High Frequency Omnidirectional Range / DME—Distance Measuring Equipment)为圆心,半径 55km(30n mile)以内