



雷达管制实务

Practice in Radar Control

主编 孙传军

编者 汤隆方 孙松波 郭娟 涂争光



国防工业出版社

National Defense Industry Press

雷达管制实务

Practice in Radar Control

主编 孙传军

编者 汤隆方 孙松波

郭娟 涂争光

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

雷达管制实务/孙传军主编. —北京:国防工业出版社,
2008. 11

ISBN 978-7-118-05895-6

I. 雷... II. 孙... III. 雷达—管制 IV. TN954

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119388 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 850 × 1168 1/32 印张 8 $\frac{1}{2}$ 字数 218 千字

2008 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价:25.00 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

前言

空中交通管制是指对飞机等航空器飞行活动进行的管理和控制行为。其目的是防止航空器与航空器相撞,防止航空器与障碍物相撞,维持并加速空中交通的有秩序的活动。管制方式有两种,即程序管制和雷达管制。雷达管制是指直接使用雷达信息为航空器提供空中交通管制服务,是一种基于自动化空中交通管制系统的空中交通管制方法。与程序管制条件下通过飞行员报告、领航计算、雷达标图等方法掌握航空器的航行诸元不同,雷达管制条件下,空中交通管制员直接使用雷达位置信息和雷达数据信息,及时、准确地掌握航空器的位置及飞行状态,从而使航空器之间的安全水平间隔大大缩小,飞行密度和空中交通流量大大增加。

新中国成立后,我国空管事业随之诞生。随着航空事业的快速发展,我国将向全部实现雷达管制迈进,这是我国空管建设的基本目标。积极推动雷达管制,将加大空中交通流量,为我国航空事业的发

展带来新的活力。

空中交通管制是保障国家领空安全和航空事业健康发展的重要基础。近来,由于空管原因引起的飞行不安全事件连续出现,如何提高雷达管制员的指挥技能,如何加强雷达管制员的培训教育,提高从业人员的综合素质,已成为摆在我们面前的一个不容忽视的课题。此外,鉴于空中交通管制工作具有国际性,国际民航组织将英语作为国际无线电陆空通话的通用语言,这对母语非英语的管制员无疑提出了更高的要求。

雷达管制只是一个技术平台,其本身并不代表良好的管制服务,决定雷达管制成功与否的因素是管制人员的专业技能和主动管制意识。管制人员能力和素质的高低将直接影响到管制工作的质量,影响到航空安全乃至国家的声誉。再先进的设备也需要人来操控。因此,人才是飞行安全、正常的最终保障。

本书主要是为培养和复训空中交通管制员编写的。全书共十二章,第一章至第四章介绍雷达及相关基础知识,以便读者对雷达技术、通信导航、航空管制有初步的了解。第五章至第十二章介绍雷达管制,全面、系统地阐述了雷达管制理论、应用及发展。读者通过此书可以具备雷达管制业务基础知识和管制工作的基本技能,熟悉雷达管制工作的任务及要求,掌握飞行组织与实施的程序。附录选用了国际民航组织 4444 文件的相关内容,以便读者较全面地了解、掌握相关的国际规范。

本书较好地实现了雷达管制理论、雷达管制工

作程序、航空管制自动化系统工作程序和方法的统一。本书选材合理,内容先进,图文并茂,富于创新,并与相关学科相呼应,较好地反映了目前雷达管制的新理论、新技术,能够满足航空管制人员、飞行员和飞行相关人员学习雷达管制的需要。本书可作为空军、民航航空飞行院校空中交通管制专业的教材,同时,也适合在职空中交通管制人员及航空运行、飞行保障人员学习和参考。

本书由空军航空大学飞行训练基地主任孙传军主编,空军航空大学飞行训练基地航管科科长汤隆方、空军航空管制系教授孙松波、讲师郭娟、涂争光等参加了编写和校对工作。

由于编者水平有限,书中难免有一些错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 雷 达

第一节 雷达概论	1
第二节 新体制雷达介绍	11
第三节 空中交通管制雷达	15

第二章 通信与导航

第一节 通信概论	26
第二节 导航概论	34
第三节 无线电导航系统	36
第四节 卫星导航系统	52
第五节 惯性导航系统	58

第三章 机 载 设 备

第一节 交通警告防撞系统	61
第二节 近地警告系统	67
第三节 应答机系统	70

第四章 航 空 管 制

第一节 航空管制职能及体制	72
---------------	----

第二节 空域管理

74

第五章 雷达管制程序

第一节	实施雷达管制对雷达系统的 要求	84
第二节	雷达管制的实施	85
第三节	工作前检查	87
第四节	雷达信息显示	88
第五节	雷达识别	94
第六节	雷达识别移交	97
第七节	位置信息	99
第八节	雷达引导和助航	101

第六章 雷达引导方法

第一节	航向引导方法	106
第二节	起落航线引导方法	108
第三节	归航引导方法	114
第四节	延迟引导方法	116
第五节	最后进近位置的确定	123

第七章 雷达在航空管制中的使用

第一节	二次监视雷达信息的作用	127
第二节	雷达显示信息的作用	133
第三节	雷达间隔最低标准	137
第四节	雷达管制移交	146

第八章 雷达在进近管制中的使用

第一节	雷达信息在进近管制中的作用	151
第二节	雷达引导进近程序	156

第九章 雷达在机场管制和飞行情报中的使用

第一节	雷达在机场管制中的使用	167
-----	-------------	-----

第二节	雷达在飞行情报中的使用	169
-----	-------------	-----

第十章 特殊情况处置

第一节	紧急情况	171
-----	------	-----

第二节	飞行冲突	175
-----	------	-----

第三节	设备失效	176
-----	------	-----

第四节	飞行管制意外事故的处理	178
-----	-------------	-----

第十一章 空中交通管制放行许可

第一节	空中交通管制放行许可的	
-----	-------------	--

适用范围	182
------	-----

第二节	空中交通管制放行许可的内	
-----	--------------	--

容及签发	183
------	-----

第三节	空中交通管制放行许可举例	187
-----	--------------	-----

第十二章 飞行进程单和二次雷达代码的使用

第一节	飞行进程单的使用	192
-----	----------	-----

第二节	二次雷达代码的管理与使用	204
-----	--------------	-----

附录一	信号	209
-----	----	-----

附录二	民用航空器的拦截	224
-----	----------	-----

附录三	巡航高度层表	227
-----	--------	-----

附录四	无人驾驶自由气球	229
-----	----------	-----

附录五	空中规则	236
-----	------	-----

第一章 雷 达

【Abstract】A radar system will normally consist of a number of integrated elements, including radar sensor(s), radar data transmission lines, radar data processing system, radar displays. Radar systems used in the provision of air traffic services shall have a very high level of reliability, availability and integrity. The possibility of system failures or significant system degradations which may cause complete or partial interruptions of service shall be very remote. Back-up facilities shall be provided.

第一节 雷达概论

一、雷达的工作原理

雷达是英文“radar”的音译,源于 radio detection and ranging 的缩写,原意是“无线电检测和测距”。目前,雷达已成为一种通过接收反射信号、应答信号及自然辐射的电磁波,并从中获得目标信息的设备。随着雷达技术的发展,雷达的任务不仅是测量目标的距离、方位和仰角,而且还包括测量目标的速度,以及从目标回波中获取更多有关目标的信息,雷达的应用也日益广泛。在现代战争中,可以说几乎所有的新式武器都是利用雷达来实现控制的。在民用和科学研究方面,如空中交通管制、气象观测、射电天文、地形测绘、卫星跟踪等,都广泛地使用了雷达。

(一) 雷达的任务

雷达的基本任务,一是发现目标的存在;二是测量目标的参

数。前者称为雷达检测,后者称为雷达参数提取或雷达参数估值。

目标在空间、陆地或海面上的位置,可以用多种坐标系来表示。最常见的是直角坐标系,即空间任一点目标 P 的位置可用 x 、 y 、 z 来确定。在雷达应用中,测定目标坐标常用极(球)坐标系,如图 1-1 所示。图中,空间任一目标 P 所在位置可用下列三个坐标确定:

目标斜距 R ——雷达到达目标的直线距离 OP ;

方位角 ε ——目标的斜距 R 在水平面上的投影 OB 与某一规定的起始方向(正北、正南或其他参考方向)在水平面上的夹角;

仰角 β ——斜距 R 与它在水平面上的投影 OB 在铅垂面上的夹角,有时也称为倾角或者高低角。

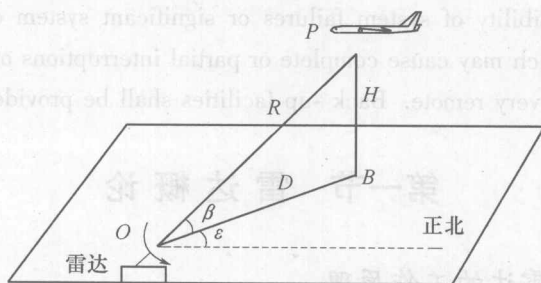


图 1-1 目标的位置

如需要知道目标的高度和水平距离,那么利用圆柱坐标系就比较方便。在这种系统中,目标的位置由以下三个坐标来确定:水平距离 D ;方位角 ε ;高度 H 。

这两种坐标系之间的关系如下:

$$D = R \cos \beta; H = R \sin \beta; \varepsilon = \varepsilon$$

上述这些关系仅在目标的距离不太远时是正确的,当距离较远时,由于地球曲率的影响,必须作适当的修正。

(二) 雷达工作的物理基础

1. 无线电波的反射——雷达发现目标的基础

无线电波和光波一样,遇到物体也会反射。反射回来的无线电波就称为反射波或回波。雷达检测目标是否存在就是通过“观察”回波来断定的,存在着回波就意味着空间有目标,不存在回波就表示空间没有目标。

2. 无线电波在均匀介质中的匀速直线运动——测定目标距离的依据

无线电波在空间以光的速度传播,这是测定目标距离的依据。由于光的传播速度是已知的定值,因此测量目标的距离时,只要测出电波由雷达发射到达目标和由目标反射回到雷达所需要的时间,就可以算出雷达到目标的距离。

3. 无线电波的定向辐射和接收——测定目标角度的依据

雷达辐射出去的无线电波不是向各个方向都有,而是聚集成束,集中起来定向辐射。当天线旋转时,波束也随之旋转。只有天线转到目标所在的方位,并且波束扫描到目标时,才有反射波回来,雷达才能显示目标的回波。因此,根据雷达发现回波时天线所指的方位便可知道目标所在的方位。

4. 多普勒效应——测定目标径向速度的依据

当目标与雷达站之间存在相对径向运动时,接收到回波信号的频率相对于发射信号的频率产生一个频移。这个频移在物理学上称为多普勒频率。当目标向着雷达站运动时,回波频率提高;反之,回波频率降低。雷达只要能够测量出回波信号的多普勒频率,就可以确定目标与雷达站之间的相对速度。

(三) 雷达回波中的信息

1. 目标斜距的测量

利用无线电波测定目标距离的原理,同利用回声测定目标距离的原理是一样的。雷达工作时,发射机经天线向空间发射一串重复周期一定的高频脉冲。如果在电磁波传播的途径上有目标存在,那么雷达就可以接收到由目标反射回来的回波。由于回波信号往返于雷达与目标之间,它将滞后于发射脉冲一个时间 t 。电磁波是以光速传播的,设目标的距离为 R ,则传播的距离等于光速乘

以时间间隔,即

$$R = \frac{1}{2}ct$$

式中, R 为目标到雷达的距离; t 为电磁波往返于目标与雷达之间的时间间隔; c 为电磁波的传播速度,即光速。

2. 目标角度的测量

目标角度指方位角或仰角,在雷达技术中测量这两个角基本上都是利用天线的方向性来实现的。雷达天线将电磁能量汇集在窄波束内,当天线波束轴对准目标时,回波信号最强;当目标偏离天线波束轴时,回波信号减弱。根据接收回波强弱来确定目标方向的方法称为振幅法。它又可分为最大信号法和等信号法两大类。

单脉冲自动测角属于同时波瓣测角法。在一个角平面内,两个相同的波束部分重叠,其交叠方向即为等信号轴。将这两个波束同时的回波信号进行比较,就可取得目标在这个平面上的角误差信号,然后将误差电压放大变换后加到驱动电动机控制天线向减小误差的方向运动。因为波束同时存在,故单脉冲测角误差信息的时间可以很短,理论上只要分析一个回波脉冲就可以确定角误差,所以叫“单脉冲”。

3. 目标高度的测量

目标高度的测量是以测距和测仰角原理为基础的,目标高度 H 同斜距 R 和仰角 β 之间的关系是 $H = R\sin\beta$ 。考虑到地球曲率和大气折射的影响,高度 H 应表示为

$$H = h + R\sin\beta + R^2/(2\rho)$$

式中, h 为雷达天线高度; ρ 为地球曲率半径(8490km);

$$R^2/(2\rho) = h \text{ 修正}$$

4. 目标轨迹的测量

对于运动目标,通过多次测量目标的距离、角度参数,可以描

绘出目标的飞行轨迹。利用目标的轨迹参数,雷达能够预测下一个时刻目标所在的位置。对于弹道目标,可以据此预测其弹着点、弹着时间和发射点。

雷达对空域进行搜索,测定现在各目标的状态数据(如目标的距离、角度、速度等),并存储在计算机中,即用存储器对各个目标建立起“档案”(称目标点迹)。雷达一次又一次地对空间进行扫描,每次扫描时的目标点迹本身是孤立的,它可能是已经被跟踪的目标参数,也可能是干扰引起的。因此,录取的各目标点迹送到计算机后,首先要判别它是上述的哪种情况。如果是属于已建立航迹的目标点迹,还要进一步确定是属于哪一个目标的。这种对点迹与已有航迹之间归属关系的判别,叫航迹相关与结合。如果是新的目标点迹,就对它建立新航迹;若判定为干扰,则应予撤销。这种已有航迹与录取的点迹不断地进行相关,就是对目标的跟踪。

5. 目标尺寸和形状

如果雷达测量具有足够高的分辨力,就可以提供目标尺寸的测量。由于许多目标的尺寸在数十米量级,因而分辨能力应为数米或更小。这一量级的分辨力在距离坐标上很容易得到。对于常规雷达天线和通常的作用距离而言,角度分辨力远低于距离分辨力,用增加天线的实际孔径来解决此问题是不现实的。然而当雷达和目标的各个部分有相对运动时,就可以利用多普勒频率的分辨力来获得角度分辨力。

(四) 雷达的工作频段

雷达常用工作频段用字符来标识。这些字符表示的波段名称在雷达领域是通用且唯一的。最初的代码(如 P、L、S、X 和 K)是在第二次世界大战期间为保密引入的,目前尽管不再需要保密,但这些代码仍沿用至今。由于雷达使用了新的频段,其他的字符是后来增加的(其中 UHF 代替了 P 波段,P 波段不再使用)。雷达频段和对应的频率见表 1-1。

表 1-1 雷达频段和对应的频率表

频段名称	频 率	国际电信联盟分配的雷达频段
UHF 波段	300MHz ~ 1000MHz	420MHz ~ 450MHz, 890MHz ~ 940MHz
L 波段	1000MHz ~ 2000MHz	1215MHz ~ 1400MHz
S 波段	2000MHz ~ 4000MHz	2300MHz ~ 2500MHz
C 波段	4000MHz ~ 8000MHz	2700MHz ~ 3700MHz
X 波段	8000MHz ~ 12000MHz	5250MHz ~ 5925MHz
KU 波段	12.0GHz ~ 18GHz	8500MHz ~ 10680MHz
K 波段	18GHz ~ 27GHz	13.4GHz ~ 14GHz, 15.7GHz ~ 17.7GHz
KA 波段	27GHz ~ 40GHz	24.05GHz ~ 24.25GHz
MM 波段	40GHz ~ 300GHz	33.4GHz ~ 36GHz

(五) 雷达的基本组成

以典型单基地脉冲雷达为例来说明雷达的基本组成及其作用。如图 1-2 所示,它主要由天线、发射机、接收机、信号处理机和终端设备组成。发射机产生辐射所需强度的脉冲功率,其波形是脉冲宽度为 τ 而重复周期为 T_r 的高频脉冲串。发射机现有两种类型:一种是直接振荡式(如磁控管振荡器),它在脉冲调制器控制下产生的高频脉冲功率被直接馈送到天线;另一种是功率放大式(主振放大式),它是由高稳定度的频率源(频率综合器)作为频率基准,在低功率电平上形成所需波形的高频脉冲串作为激励信号,在发射机中予以放大并驱动末级功放而获得大的脉冲功率来反馈给天线的。功率放大式发射机的优点是频率稳定度高且每次辐射是相参的,这便于对回波信号作相参处理,同时也可以产生各种所需的复杂脉冲波形。发射机输出的功率馈送到天线,而后经天线辐射到空间。

脉冲雷达天线一般具有很强的方向性,以便集中辐射能量来获得较大的观测距离。同时,天线的方向性越强,天线波瓣宽度越窄,雷达测向的精度和分辨力就越高。常用的微波雷达的天线是抛物面反射体,馈源放置在焦点上,天线反射体将高频能量聚成窄波束。天线波束在空间的扫描常采用机械转动天线而得到,由天

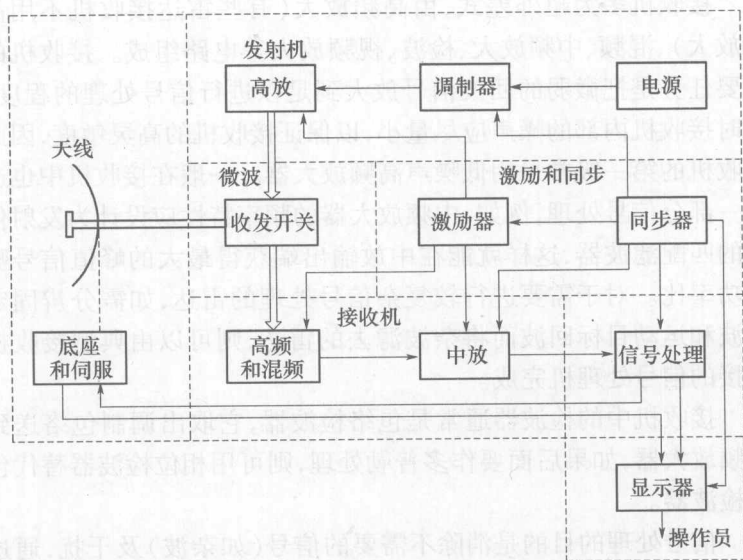


图 1-2 脉冲雷达组成框图

线控制系统来控制天线在空间的扫描,控制系统同时将天线的转动数据送到终端设备,以便取得天线指向的角度数据。根据雷达用途的不同,波束形状可以是扇形波束或针状波束。天线波束的空间扫描也可以采用电子控制的方法,它比机械扫描的速度快、灵活性好,这就是 20 世纪末开始日益广泛使用的平面相控阵天线和电子扫描的阵列天线。前者在方位和仰角两个角度上均实行电扫描,后者则是一维电扫,另一维机械扫描。

脉冲雷达的天线是收发共用的,这需要高速开关装置。在发射时,天线与发射机接通,并与接收机断开,以免强大的发射功率进入接收机把接收机高放混频部分烧毁;接收时,天线与接收机接通,并与发射机断开,以免微弱的接收功率因发射机旁路而减弱。这种装置称为天线收发开关。天线收发开关属于高频馈线中的一部分,通常由高频传输线和放电管组成。也可用环形器或隔离器代替收发开关。

接收机多为超外差式,由高频放大(有些雷达接收机不用高频放大)、混频、中频放大、检波、视频放大等电路组成。接收机的首要任务是把微弱的回波信号放大到足以进行信号处理的程度,同时接收机内部的噪声应尽量小,以保证接收机的高灵敏度,因此接收机的第一级常采用低噪声高频放大器。一般在接收机中也进行一部分信号处理,例如,中频放大器的频率特性应设计为发射信号的匹配滤波器,这样就能在中放输出端获得最大的峰值信号噪声功率比。对于需要进行较复杂信号处理的雷达,如需分辨固定杂波和运动目标回波而将杂波滤去的雷达,则可以由典型接收机后接的信号处理机完成。

接收机中的检波器通常是包络检波器,它取出调制包络送到视频放大器,如果后面要作多普勒处理,则可用相位检波器替代包络检波器。

信号处理的目的是消除不需要的信号(如杂波)及干扰,通过或加强由目标产生的回波信号。信号处理是在做出检测判决之前完成的,它通常包括动目标显示(MTI)和脉冲多普勒雷达中的多普勒滤波器,有时也包括复杂信号的脉冲压缩处理。

许多现代雷达在检测判决之后要进行数据处理。主要的数据处理例子是自动跟踪,而目标识别是另一个例子。性能好的雷达在信号处理中消去了不需要的杂波和干扰,而自动跟踪只需处理检测到的目标回波,输入端如有杂波剩余,可采用恒虚警(CFAR)等技术加以补救。

通常情况下,接收机中放输出并经检波器取出脉冲调制波形,由视频放大器放大后送到终端设备。最简单的终端是显示器。例如,在平面位置显示器(PPI)上可根据目标亮弧的位置,测读目标的距离和方位角这两个坐标。

显示器除了可以直接显示由雷达接收机输出的原始视频外,还可以显示经过处理的信息。例如,由自动检测和跟踪设备(ADT)先将收到的原始视频信号(接收机或信号处理机输出)按距离方位分辨单元分别积累,而后经门限检测,取出较强的回波信