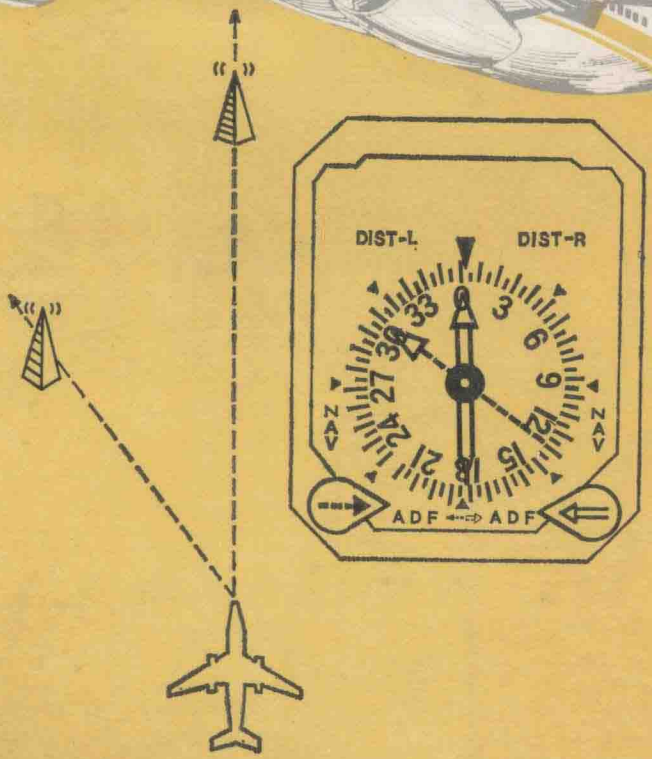
自 动 定 向 机

现代飞机电子设备知识丛书

XIANDAI FEIJI DIANZISHEBEI ZHISHI CONGSHU

主编 郑连兴 陆芝平





现代飞机电子

自动定向机

主编　郑连兴　陆芝平

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

自动定向机/郑连兴,陆芝平主编. —北京：国防工业出版社,1993
(现代飞机电子设备知识丛书)
ISBN 7-118-01115-0

Ⅰ.自…
Ⅱ.①郑… ②陆…
Ⅲ.①无线电导航-导航设备 ②航向指示器
Ⅳ.V241.6

现代飞机电子设备知识丛书
自 动 定 向 机
主编 郑连兴 陆芝平
*
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 100011)
新华书店经售
北京市怀柔县王史山印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 印张 6 1/4 160 千字
1993 年 10 月第一版 1993 年 10 月第一次印刷 印数:0001-3000 册

ISBN 7-118-01115-0/V·95 定价:6.50 元

《现代飞机电子设备知识丛书》

编 辑 委 员 会

主 任 委 员

李 钊

副主任委员 陆家沂 莫 及 王维民
李振达 刘得一 钦庆生

委 员 （以姓氏笔划为序）
马士忠 王长昇 王章铸 李 煊（常务）
陆芝平 祁元福 杨颂伟（常务） 张永生
张德馨 周其焕 周宝魁 周瑞琏 郑连兴
高 柱（常务） 翟建平 蔡成仁 黎廷璋

主编单位 中国民用航空局运航司
中国民用航空局科教司
中国民航学院
中国民用航空局第一研究所

责任编辑 马征宇

出 版 说 明

随着近代电子技术的迅速发展，现代飞机采用了大量新型的先进电子设备。近几年，我国民航使用了许多新型现代飞机，为了帮助从事航空电子技术的广大工程技术人员系统地了解和学习现代飞机电子设备所涉及的新知识、新理论和新技术，为了适应广大航空电子技术爱好者对新技术的了解和自学的需要，我们组织编写了这套《现代飞机电子设备知识丛书》。

本丛书不同于一般现代航空电子技术专著，也不同于民航院校的教科书，而是一套较通俗易懂的丛书，着重于内容的科学性、知识性、趣味性、启发性和实用性，主要介绍现代飞机上所采用的具体设备和系统的功能、作用、原理和结构。考虑到实际工作的需要，本丛书保留了少量英制单位，全书的单位一律采用中文名称。

本丛书约 24 分册，各册内容独立，自成体系，陆续分册出版。

本丛书将为目前从事航空电子设备的科研、设计、制造、使用和维修工作的广大专业人员提供适合其工作特点的理论参考书，可作为大、中专院校有关专业的师生在开阔视野方面的一套参考读物。本丛书还可供在航空部门工作的其他同志阅读。

序　言

自本世纪初人类首次实现了具有动力并可由人控制的飞行以来，民用航空已获得了惊人的发展。

我国民航在实现社会主义现代化进程中，其发展速度为国际民航界所瞩目。1984～1987 年航空运输总周转量和旅客运输量年递增率分别为 30.0%和 33.2%。近年我国民航事业为适应国民经济建设的需要，推进技术装备现代化，加快民航生产力发展，先后淘汰了一批适航性差的老旧飞机，增添了一批现代化飞机。仅在 1985～1988 年 4 年间，就新增大、中型运输机 126 架。

这些现代飞机的电子设备有了飞跃的发展，普遍采用了计算机、数据传输和屏幕显示等新技术，实现了自动飞行控制。这就对民航广大技术人员提出了更高的要求。

科技的发展，经济的振兴乃至整个社会的进步，都取决于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。科学技术的进步和管理水平的提高，将从根本上推动我国民航事业的现代化建设进程。我希望这套《现代飞机电子设备知识丛书》的出版，对促进我国民用航空事业的发展起到有益的作用。

前　言

自动定向机(ADF),也称为无线电罗盘,是飞机上最早使用的一种无线电导航设备。在飞机无线电导航中,它具有广泛的用途,不仅能连续、直观地测量出飞机与地面导航台的相对方位,而且还可以确定飞机的位置,引导飞机着陆等。由于它具有结构简单、使用方便、用途广泛等优点,所以至今仍作为各种民用、军用飞机以及直升机的一种必备的无线电导航设备。

随着科学技术的进步,特别是电子技术的发展,数字技术和微型计算机的应用,自动定向机的电路、采用的部件以及结构等都有了很大的发展和变化。本书首先根据天线的方向性特征,深入浅出地介绍了无线电自动定向的基本原理,定向中的干扰影响和误差分析,并较系统地介绍了目前最新式自动定向机及我国现有的几种自动定向机的工作原理、功能、组成和构造,同时介绍了自动定向机在飞行中的使用和检查。

全书由张德馨、高柱同志校审,并作了重要的修改和补充。中国民航局适航司、科教司,中国民航局第一研究所,中国国际航空公司北京维修基地,中国民航成都飞机维修工程公司,中国民航华北、西南管理局适航处、通信处,中国西南航空公司修理厂和中国民航第七飞行大队等单位对本书的编写给予了大力支持,编者在此一并表示感谢!

由于航空电子技术发展日新月异,编者学识水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指出。

编者

1992.6

目　录

第一章　自动定向机综述…… 1

1.1　引言 …… 1
1.2　自动定向机的功用 …… 3
1.3　自动定向机系统 …… 5
1.4　现代自动定向机的主要特征 …… 19

第二章　自动定向原理 …… 22

2.1　天线的方向性 …… 23
2.2　环形天线的方向性 …… 26
2.3　心脏形方向性图 …… 29
2.4　旋转环形天线移相式自动定向 …… 33
2.5　旋转测角器非移相式自动定向 …… 39
2.6　无测角器固定环形天线式自动定向 …… 45

第三章　自动定向机的使用 …… 51

3.1　飞行中的使用和检查…… 51
3.2　归航和偏流修正 …… 53
3.3　飞机的空中定位 …… 56
3.4　测量飞机到地面电台的距离和时间 …… 56
3.5　进近和穿云着陆 …… 61
3.6　在机场上空作等待飞行 …… 65
3.7　ADF 使用问答 …… 66

3.8 自动定向机与全向信标机 …… 68

第四章 误差与干扰 …… 72

4.1 象限误差的形成 …… 72
4.2 象限误差修正器 …… 75
4.3 ADF-700 自动定向机的象限误差修正 …… 78
4.4 电波传播误差 …… 84
4.5 设备误差 …… 87

第五章 ADF-700 型自动定向机 …… 88

5.1 主要技术性能 …… 88
5.2 700 型自动定向机系统的组成 …… 90
5.3 系统各组件的安装与连接 …… 92
5.4 ADF-700 接收机工作原理 …… 94
5.5 维护故障监视器 …… 112

第六章 DF-206 自动定向系统 …… 120

6.1 概述 …… 120
6.2 DF-206 系统的组成 …… 120
6.3 51Y-7 接收机的工作原理 …… 126
6.4 频率合成器 …… 134
6.5 频率自动微调 …… 140
6.6 五中取二法频率控制的转换 …… 141

第七章 APK-15M 型自动定向机 …… 143

7.1 概述 …… 143

7.2 主要技术性能 …… 143
7.3 天线 …… 145
7.4 控制盒 …… 147
7.5 方位指示器 …… 150
7.6 接收机 …… 151

第八章 二种仍在使用的自动定向机 …… 155

8.1 WL-7-6A 型自动定向机 …… 155
8.2 APK-11 型自动定向机 …… 159
8.3 几种电路分析 …… 169

附录一 缩略词英汉、俄汉对照表 …… 183
附录二 逻辑符号对照表 …… 187
附录三 ADF 设备装机表 …… 188
参考文献 …… 189

第一章　自动定向机综述

1.1　引　　言

自动定向机(ADF)也称无线电罗盘,是一种利用无线电技术进行测向的设备。它与地面无线电台配合,可测量无线电波的来波方向。这种设备通常装在飞机或舰船等航行体上,所以,人们利用这种设备就可以确定飞机或舰船等航行体的航行方向。

在导航领域中,无线电测向设备是最先使用的设备,早在20世纪初无线电测向仪(人工手动无线电罗盘)就已开始为导航服务。早期的无线电测向设备是由人工转动、具有方向性的环形天线,当环形天线平面对准地面无线电台的方向时,无线电测向设备的接收机接收到的无线电信号强度最小,因此,接收机输出的音频信号强度最弱,称做"哑点"。如测向设备在飞机上,那么,环形天线从飞机纵轴的机头方向顺时针所转过的角度称为"飞机到地面无线电台的相对方位角"(以下简称为相对方位角),即从飞机纵轴的机头方向顺时针转至地面无线电台与飞机连线之间的夹角θ,如图1-1所示。飞机驾驶员便可根据无线电测向设备所测得的相对方位确定飞机的飞行方向,引导飞机沿某一航线飞行,并可完成其他导航任务。

实际上,这种人工手动的无线电测向设备最先只在航海的舰船上使用,而不适宜在高速飞行的飞机上使用,因此,必须对它进行改进。随着科学技术的不断发展,无线电测向的理论与技术也在不断发展与完善,相继出现了无线电半自动罗盘、无线电自动罗盘即今天的自动定向机(ADF)。它们在采用的元件、电路结构、选择地面无线电台频率的方法、天线结构及其功能上都在不断地改进

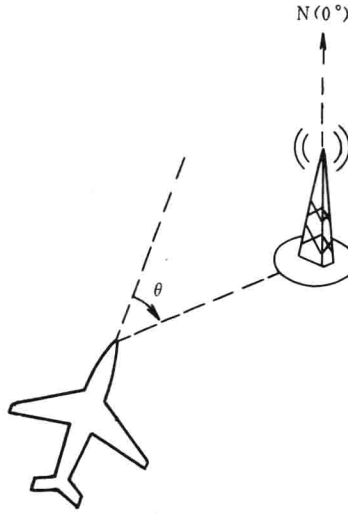


图 1-1　飞机到地面无线电台的相对方位角

和发展。目前，现代自动定向机不仅实现了自动化，而且在定向速度、精度、灵敏度及可靠性等方面都大大提高了，并广泛用于各种飞机和直升机。

自动定向机的发展大致可分为三个阶段。40～50 年代采用电子管电路，对地面无线电台频率采用机械软轴进行调谐，定向天线为单个的旋转式环形天线，其典型设备为 R5/ARN7 和 APK-5 型定向机。60～70 年代采用晶体管电路，频率选择采用粗、细同步器调谐，有些设备使用晶体频率网采用“五中取二”方法调谐，定向天线采用二个正交的旋转式或固定式环形天线，如 APK-11、WL-7-6A 型定向机等。到 80 年代左右，自动定向机基本采用集成电路或大规模集成电路，并使用频率合成器、二—十进制编码数字选频及微处理器，天线系统有了较大的改进，如在 APK-15M，DF-206 型等自动定向机的天线系统中采用旋转测角器来代替环形天线的旋转，而最新式的 700 型自动定向机则采用组合式环形垂直天线，从而在天线系统中取消了任何机械传动部件。

为了便于维护和检修，现代自动定向机还装有故障自动检测电路，以便维修人员能迅速判断和排除设备的故障。

自动定向机不仅具有测量飞机相对方位角的定向功能，而且还可以利用飞机上装用的二套自动定向机分别调谐在二个不同的地面无线电台的频率上，以确定飞机的地理位置(定位)。当然，就飞机定位而言，在现代飞机上可使用磁罗盘、全向信标(VOR)、测距机(DME)、奥米伽(OMEGA)或惯性导航系统(INS)等设备，但最简单的是自动定向机。

自动定向机具有结构简单，使用维护方便，价格低廉等优点，它可以在190～1750千赫频段范围内，利用众多的民用广播电台和专用的无方向性信标(NDB)地面导航台为飞机定向定位，并可与无线电高度表、信标机等设备配合引导飞机进行着陆。所以，自动定向机虽然早在1937年开始就是第一个规定在运输机上使用的无线电导航设备，由于它具有以上优点，至今仍广泛应用于飞机导航，并成为目前各种飞机、直升机的一种常备设备。本章首先就自动定向机的功用、系统组成及主要技术特征等方面作一总体叙述。

1.2 自动定向机的功用

自动定向机是利用无线电技术进行导航测向的设备。无论机上测向还是地面测向，均包括机载设备和地面设备二部分。利用机载自动定向机和地面导航台(或称无方向性信标——NDB)组成的导航系统，可以引导飞机飞向导航台或飞离导航台，以及提供某些导航计算所需要的参数。

自动定向机的主要功用有：

(1)测量飞机纵轴方向(航向)到地面导航台的相对方位角，并显示在方位指示器上。

(2)对飞机进行定位测量。在现代飞机上，一般都装有二部自动定向机，在使用中将它们分别调谐在二个不同方位的已知地面导航台或广播电台的频率上。二部自动定向机所测得的相对方位，分别显示在同一个指示器(无线电磁指示器)上，其中单指针指示

第一部自动定向机所测得的相对方位角，双指针指示第二部自动定向机所测得的相对方位角。根据这二个相对方位角在地图上可画出飞机对地面导航台的二条相应的位置线，二条位置线的交点便是飞机的位置，如图 1-2 所示。

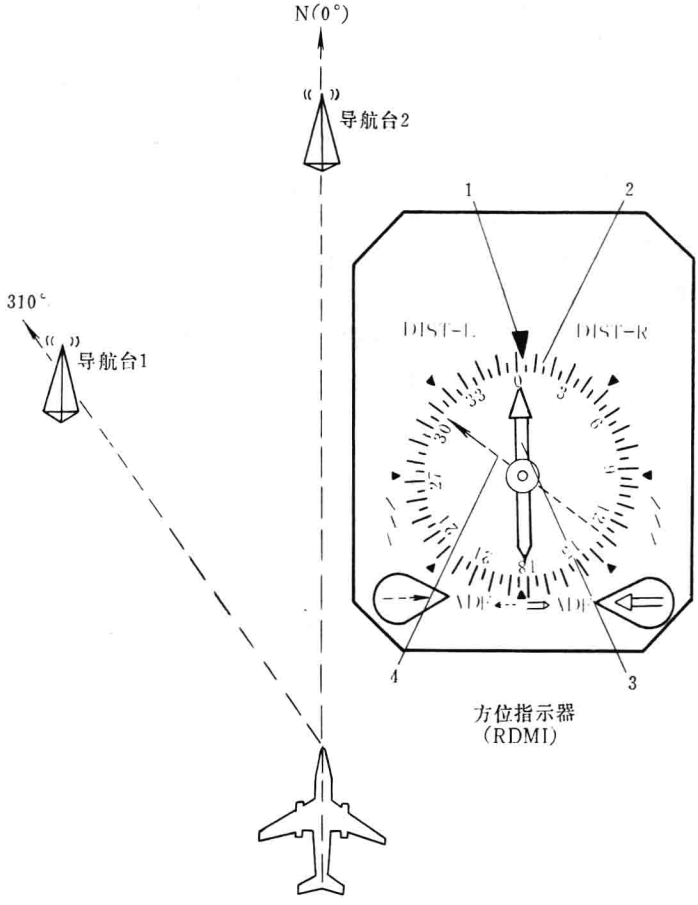


图 1-2　利用两个地面导航台为飞机定位

1—航向标记；2—罗牌；3—ADF-2 方位指针；4—ADF-1 方位指针。

(3)利用自动定向机判断飞机飞越导航台的时间。当飞机飞向导航台时，可根据相对方位角的变化来判断飞越导航台的时间。如

当方位指示器的指针由 0°转向 180°的瞬间即为飞机飞越导航台的时间，如图 1-3 所示。

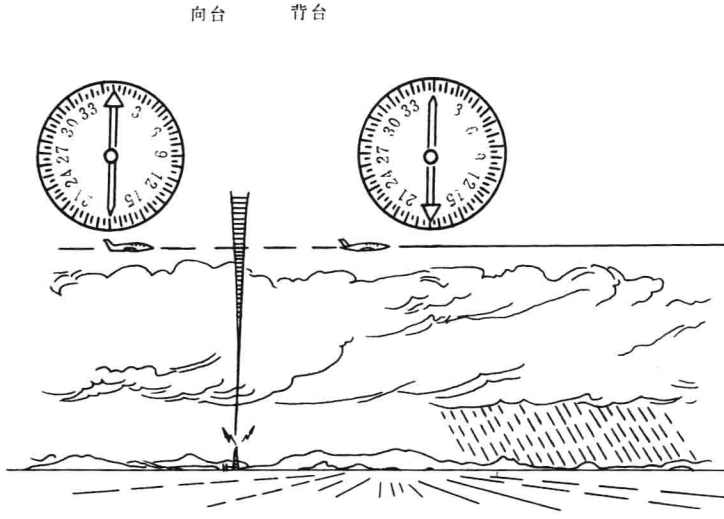


图 1-3　判断飞机飞越导航台的时间

(4)当飞机飞越导航台后，可利用自动定向机的方位指示保持沿预定航线飞行，即背台飞行。向台(对准导航台)飞行或背台飞行时，还可以求出偏流修正航迹。

驾驶员利用向台或背台飞行，可操作飞机切入预定航线。同时可进行穿云着陆和等待飞行。

(5)此外，由于自动定向机一般工作在 190～1750 千赫的中长波段范围内，因此可以接收民用广播电台的信号，并可用于定向；还可收听 500 千赫的遇险信号(700 型自动定向机可收听 2182 千赫的另一海岸遇险信号)，并确定遇险方位。

1.3　自动定向机系统

在飞机导航中完成自动定向功能的整个系统包括地面设备和机载自动定向机二大部分。本书重点介绍机载自动定向机，并对地

面设备作一简单说明。

一、地面设备

地面设备主要是地面导航台，它由中波导航机（发射机）、发射天线及一些辅助设备组成，安装在每个航站和航线中的某些检查点上，不断地向空间全方位地发射无线电信号，因此也叫做无方向性信标（NDB）。

根据不同的用途，地面导航台又可分为二种，一种是供飞机在航线上定向和定位使用的，要求发射功率大，作用距离远，通常称为航线导航台；另一种是供飞机在着陆时使用的，安装在飞机着陆方向的跑道延长线上。因为需要二个导航台，所以称为双归航台。

（一）航线导航台

航线导航台工作在190～550千赫的频率范围内，发射功率为400～1000瓦（我国一般用500瓦），有效作用距离不少于150公里。不同的航线导航台使用不同的识别信号，识别信号由2个英文字母组成（如EK），用国际莫尔斯电码拍发，拍发速度为20～30个字母/分，一般用等幅报方式发射识别信号，每隔45秒连续拍发两遍，跟着发一长划（约占30秒），供机载自动定向机定向用；也可以用调幅报方式以相等的间隔发射识别信号，每30秒至少拍发3遍。

航线导航台可用于归航。当飞机要求飞往某导航台时，飞行人员首先调节机载自动定向机接收该导航台的信号，观察指示器所指刻度，然后改变飞机航向，使指针对准指示器的航向标记（即机头方向），并且在飞行中保持航向不变，飞机就能飞到该导航台上空。

驾驶员经常需要了解飞机在飞行中是否偏离了航线？飞机是在某一导航台的哪个方位上飞行？因此航线导航台可以与机载自动定向机配合为飞机定向。

此外，利用二个航线导航台与二部机载自动定向机配合，可确定飞机的地理位置（参见图1-2）。

航线导航台的开放与关闭由航站指挥调度部门控制和掌握。

导航台的值班人员根据指挥调度部门的通知开放和关闭，也有的通过遥控装置直接由调度人员在塔台控制。

（二）双归航台着陆系统

用于飞机着陆的导航台——双归航台，不仅可引导飞机进场，完成机动飞行和保持着陆航向，而且可在夜间或气象条件很坏的白天，利用双归航台和机载自动定向机引导飞机对准跑道，安全地下降到一定高度（一般为 50 米）穿出云层，然后进行目视着陆。

双归航台系统要求安装在主着陆方向的跑道中心延长线上，分为近台和远台，近台离跑道头 1000 米，远台离跑道头 4000 米，近台和远台除有导航台外，还必须配有指点信标台，以便指示飞机过台的时刻（国际民航组织——ICAO 规定要设远、中、近三个导航台）。在大型机场，跑道着陆方向的二端均安装有双归航台，通常称为双向双归航台。

其使用频率范围与航线导航台一样，也在 190～550 千赫之间，一般远台频率和近台频率的间隔不能小于 15 千赫，以保证机载自动定向机在工作中不致互相干扰。

远台一般都兼作航线导航台使用，故发射功率与航线导航台的规定相同，有效作用距离不小于 500 公里。近台发射功率为 100 瓦左右，有效作用距离为 50 公里。

远台发射的识别信号由 2 个英文字母组成，如 DF；近台识别信号用远台的头一个字母，如 D。二台的识别信号均采用国际莫尔斯电码发射，拍发速度为 20～30 个字母/分，拍发次数要求用相同间隔，每分钟拍发 6 遍。

远台和近台都要以调幅报方式发射识别信号，调制频率为 1020 赫。因为在调幅报方式下高频载波是连续发射的，这样可以防止拍发识别信号的过程中引起自动定向机指示器指针的摆动。同时要求远归航台能够发话，以便当飞机上的通信设备发生故障时，驾驶员可用自动定向机来接收地面的指挥信号。

远台和近台所配有的指点标台是一个发射机，发射频率为固定的 75 兆赫，通过一个方向性很强的天线向上垂直发射一个很窄