

全向信标和仪表着陆系统

现代飞机电子设备知识丛书

XIANDAI FEIJI DIANZISHEBEI
ZHISHI CONGSHU

陆芝平 郑德华 编



现代飞机电子设备知识丛书

全向信标和仪表着陆系统

陆芝平 郑德华 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是《现代飞机电子设备知识丛书》之一，共分六章：第一章介绍全向信标和仪表着陆系统(VOR/ILS)的现状和发展，第二、三章主要介绍 VOR/ILS 设备的组成和基本原理，第四章介绍VOR/ILS 系统的使用和简单的维修方法，第五章重点介绍波音747、737型飞机上使用的51RV-4B型导航接收机的工作原理、组成安装、部件功能和典型线路原理，第六章简介 VOR/ILS 系统维修知识。

本书适于航空部门飞行、调度、通信、导航以及其他专业人员、各级业务领导和广大航空爱好者阅读，也可作为航空大专院校、中专、技校的教学参考书。

现代飞机电子设备知识丛书 全 向 信 标 和 仪 表 着 陆 系 统

陆芝平 郑德华 编

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张5 $\frac{1}{2}$ 141千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷 印数：0,001—3,000册

ISBN 7-118-00657-2/V·56 定价：4.20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 王章猗 李 煊
 陆芝平 宋闻礼 祁元福 杨颂伟
 金国忠 周其焕 周宝魁 张德馨
 郑连兴 高 柱 翟建平 蔡成仁
 黎廷璋

主编单位： 中国民用航空局适航司
 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： 周烈强

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。

《现代飞机电子设备知识丛书》编辑委员会

序 言

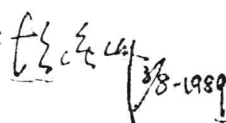
自本世纪初人类首次实现了具有动力并可由人控制的飞行以来，民用航空已获得了惊人的发展。

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。

中国民用航空局局长


38-1989

前 言

本书是根据《现代飞机电子设备知识丛书》的统一要求而编写的, 全书较系统地介绍了VOR全向信标系统、ILS仪表着陆系统和指点标信号系统的工作原理, 详细阐述了VOR地面发射系统基本相位信号和可变相位信号的形成, 以及仪表着陆系统中比相制和比幅制的区别和应用, 并重点介绍了VOR机载接收系统的定向特性、电路原理、技术参数和测试检修方法。本书最后还介绍了有关VOR/ILS系统的几项新的维修知识。

全书是在编者多年从事飞机电子设备维护工作的基础上, 综合波音737等飞机维修手册导航系统部分以及美国柯林斯(Collins)公司有关VOR/ILS、51RV-4B型导航接收机的资料而编写成的。这是目前我国系统介绍全向信标和仪表着陆系统知识的第一本普及性读物。

高级工程师张德馨同志对本书进行了审校并提出了重要的修改补充意见。中国民用航空局适航司、科教司和第一研究所, 民航103厂、西南航空公司、中国国际航空公司北京维修基地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, 编者学识和水平有限, 书中缺点和错误在所难免, 恳请广大读者指正。

1989. 4

目 录

第一章 概 述

1.1 引言	1
1.2 全向信标系统	2
1.3 仪表着陆系统	3
1.4 指点标系统	6
1.5 VOR/ILS 发展简史	6

第二章 全向信标系统作用原理

2.1 全向信标系统的基本原理	12
2.2 地面全向信标台	16
2.3 机载全向信标接收系统	25
2.4 VOR/ILS 系统频率的分配	29

第三章 仪表着陆系统

3.1 进近和着陆	32
3.2 仪表着陆系统的两种制度	33
3.3 比相制仪表着陆系统	33
3.4 比幅制仪表着陆系统	36
3.5 仪表着陆系统的地面设施	39
3.6 机载仪表着陆系统	42
3.7 仪表着陆系统怎样工作	45
3.8 地面指点标台	46
3.9 机载指点标接收系统	48

第四章 VOR/ILS 的使用和检修

4.1 VOR 在航线上的使用	50
4.2 ILS 在进近着陆时的使用	50
4.3 指点标机的使用	51
4.4 VOR/ILS 的检修	52
4.5 VOR/ILS 应用问答	54

第五章 51RV-4B型导航接收机	62
5.1 概述	62
5.2 接收机的用途和框图	63
5.3 组成和安装	67
5.4 各部件的功用	68
5.5 主要技术数据	82
5.6 典型电路原理	88
第六章 几项新的维修知识	107
6.1 静电敏感器件	107
6.2 自动测试设备简介	115
6.3 数模转换器和模数转换器	123
6.4 其他类型的转换器	135
6.5 ARINC 429 数字信息的传输规范	138
附录一 缩略词英汉对照表	164
附录二 逻辑符号对照表	167
附录三 VOR/ILS设备装机表	168

第一章 概 述

1.1 引 言

近年来,我国民航从国外引进了一批现代化大型客机,如波音737、747、757、767,麦道MD-82,空中客车A310,苏联的图-154等,也引进了一些中、小型客机,如英国的BAe146、肖特360和法国的贝尔直升机等。这些飞机都装备了当代比较先进的航空电子设备,如近期研制成功的IRS激光惯性导航系统,FMCS飞行管理计算机系统,DFCS数字式飞行控制系统等,还装备有先进的阴极电子显示仪表、彩色气象雷达和GPWS近地警告装置等。这些先进设备不仅使飞机更安全可靠,而且使飞机具有操纵简便、节油等优点。本书介绍的VOR全向信标系统和ILS仪表着陆系统也是其中一种新型的航空电子设备。图1-1示出了一架装有先进VOR/ILS系统电子设备的波音737-300型飞机的照片。



图1-1 波音737-300型飞机

VOR 全向信标系统和 ILS 仪表着陆系统国外早已普遍使用,在我国也已在一些主要航线和机场上使用,它同现代飞机的飞行管理计算机系统和数字式飞行控制系统(一种组合型自动驾驶仪)配合一起工作,增强了飞行安全的保障能力。通常所说的全天候飞行和全自动着陆就是依靠本系统和其他一些有关的系统协同完成任务的。

VOR/ILS 系统由三部分组成:甚高频全向信标系统 VHF OMNIDIRECTIONAL RANGE(简称 VOR,俄语简称 BOP),仪表着陆系统 INSTRUMENT LANDING SYSTEM(简称 ILS,俄语简称 ИЛС)和指点标系统 MARKER BEACON(简称 MB,俄语简称 МК)。它们各有独特的功能。另外,它们还设有相应的地面设备,如地面全向信标台(VOR台),地面航向信标台(LOC台),地面下滑信标台(GS台)和地面指点标台(MB台)等。这些设备与飞机上的接收设备一起用来完成整个飞行引导工作。

1.2 全向信标系统

全向信标系统(VOR)是一种区域性导航设备,它由地面的电台向空中的飞机提供方位信息,以使航路上的飞机可以确定相对于地面电台的方位。这个方位以磁北(用N表示)为基准,它通过直接读出电台的磁方位角来确定飞机的所在位置,或者在空中给飞机提供一条“空中道路”,以引导飞机沿着预定的航道飞行。在现代飞机上,可以预先把沿航线的各个VOR台的地理位置(经纬度)、发射频率、应飞的航道等逐个输入计算机(飞行管理系统和自动飞行系统),在计算机的控制下,飞机就按输入的数据自动飞行,并最后到达目的地。

由此可见,现代飞机的飞行已不像人们想象的那样复杂,而是变得比较简单和轻松了。图 1-2 所示的是一架由成都飞往北京的飞机由全向信标系统引导在航线上飞行的情况。

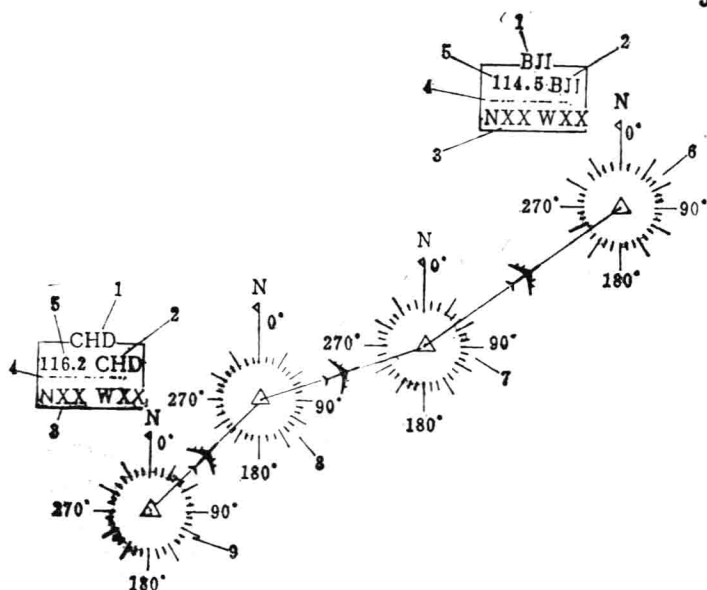


图1-2 由全向信标系统引导飞行的飞机

1—所在地名；2—所在地名代号；3—VOR台所在地理位置经纬度(NXX:WXX)；
4—电台识别电码；5—VOR台频率(兆赫)；6—北京VOR台；7—西安VOR台；8—广
元VOR台；9—成都VOR台。

1.3 仪表着陆系统

仪表着陆系统(ILS)是一种引导飞机进行着陆的设备，它由地面的电台向空中的飞机提供沿跑道横向平面(航向道)和垂直平面(下滑道)着陆的信息。一旦飞机到达目的地机场上空，就需借助地面航向台和下滑台发射的波束引导着陆。图1-3示出的是一架飞机沿着正确的航向道和下滑道波束进行仪表着陆的情况。

由于飞机着陆是在看不见外界的情况下全凭飞行仪表进行的，所以叫仪表着陆系统。

根据地面导航设施的精度和机载接收设备的分辨能力以及机场的净空条件、跑道视距等因素，国际民航组织(ICAO)为借助于仪表着陆系统着陆的各型民航飞机制订了如下几类着陆条件：

I类(cat I)：一套仪表着陆系统(包括地面和飞机)的设施，

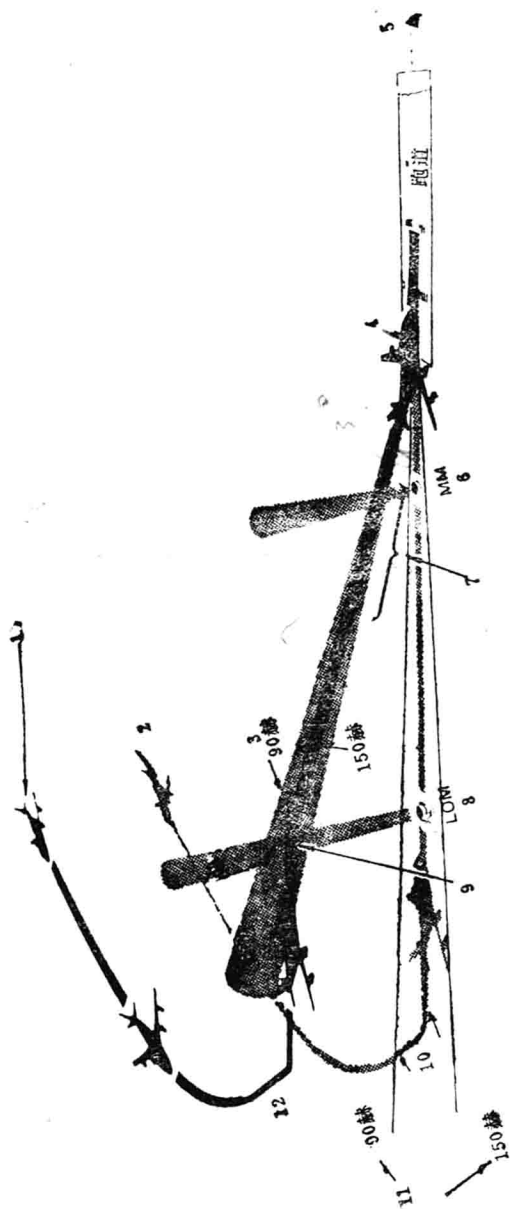


图1-3 飞机在机场上空进行仪表着陆

1—进行仪表着陆的飞机(实线); 2—着陆飞机的投影(灰线); 3—下滑道(上瓣90赫, 下瓣150赫); 4—GS下滑道; 5—LOC航向台; 6—MM中指点标台; 7—决断高度; 8—LOM远指点标台; 9—下滑道截获点; 10—下滑线投影; 11—航向道(左瓣90赫, 右瓣150赫); 12—航向道截获点(航向道截获后, 导航电门置LS)。

在跑道视距(能见度)大于 800 米的情况下, 能将飞机引导至决断高度 60 米, 且进近成功概率高, 则称为 I 类着陆条件。

II 类 (cat II): 一套仪表着陆系统的设施, 在跑道视距大于 400 米的情况下, 能将飞机引导至决断高度 30 米, 且进近成功概率高, 则称为 II 类着陆条件。

II_A类 (cat II_A): 一套仪表着陆系统的设施, 在跑道视距大于 200 米的情况下, 无决断高度限制, 利用外界目视参考, 最后沿着跑道表面着陆的, 称为 II_A类着陆条件。

II_B类 (cat II_B): 一套仪表着陆系统的设施, 在跑道视距大于 50 米, 无决断高度限制, 不依靠外界目视参考, 能沿着跑道表面着陆和滑行的, 称为 II_B类着陆条件。

II_C类 (cat II_C): 一套仪表着陆系统的设施, 在跑道视距小于 50 米, 无决断高度限制, 不依靠外界目视参考, 能沿着跑道表面着陆和滑行的, 称为 II_C类着陆条件。

以上仪表着陆的分类条件可以简单归纳为表 1-1。

表1-1 各类着陆条件

类 别	跑道视距RVR(米)	决断高度DH(米)
I	800	60
II	400	30
II _A	200	0
II _B	50	0
II _C	50以内	0

由以上条件可以看出, 如果机场设施和机载设备能达到 II_B或 II_C类着陆条件, 飞行就可以完全实现所谓的全天候飞行、全自动着陆。也就是说, 在气象条件不好, 能见度很低的情况下, 无需人的参与就可以引导飞机安全降落在跑道上。在这样的条件下, 飞行员的主要任务就是监视飞行仪表和飞机、发动机的操作系统是否按照规定的程序工作。

近年我国民航引进的现代化客机的电子设备, 一般都能达到 II_B类着陆条件。

1.4 指点标系统

指点标系统是一种地面电台向空中飞机提供地标位置信息的设备。在进行仪表着陆时，机载指点标接收系统通常与仪表着陆系统协同工作。当飞机飞经指点标台上空时，接收系统一旦接收到地面指点标台的信号，即发出相应的音响和灯光信号，以便使飞行员能够正确判断飞机的位置，适时调整着陆航向、飞行高度和飞行的速度，顺利完成仪表穿云和着陆任务。

地面指点标台一般安装在机场跑道入口端的中心延长线上。根据现代飞机的特点，要求机场安装两个或三个指点标台，即 LOM 远指点标台、MM 中指点标台和 INNER 近指点标台。通常，远指点标台和中指点标台安装在中、长波导航台远台和近台的同一点上，以便于同时检查无线电自动定向机的过台情况。每个指点标台距跑道入口端的距离是固定的，指点标台规定了各自的电码识别信号和音频调制频率(见图 1-4)。

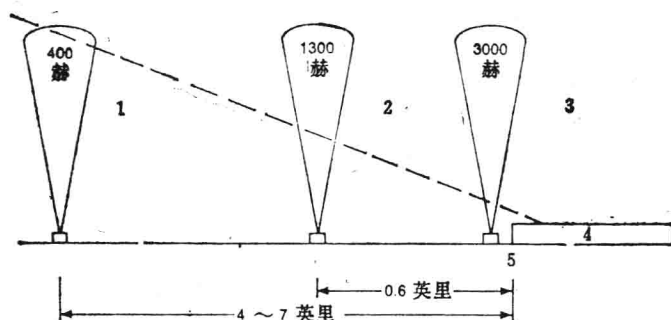


图1-4 航站指点标台的发射波束

1—远指点标台；2—中指点标台；3—近指点标台；4—跑道；5—跑道入口端。

1.5 VOR/ILS 发展简史

我国四大发明之一指南针，现在已发展成为飞机、船舶和其他航运设备上的磁罗盘系统。但是，磁罗盘只能指示飞机与磁北

的方向，而不能指出飞机所在的地理位置。到了 40 年代，研制成功并开始使用无线电自动定向机(无线电罗盘)。这是一种以地面电台位置为基础的无线电罗盘，但它只能读出飞机与电台的相对方位，不能直接确定飞机的地理位置。飞机的地理位置需要已知两个以上电台的方位才能计算出来。如图 1-5 所示，飞机与导航台(ADF) 1 的相对方位为 76° (粗针)，与导航台 2 的相对方位

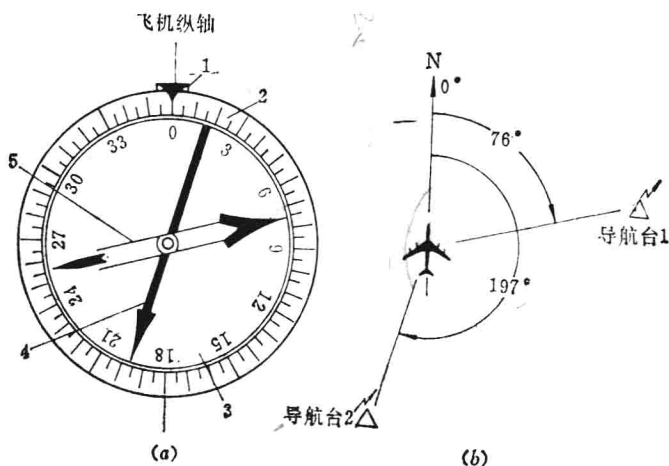


图1-5 自动定向机利用两个已知电台确定飞机位置

(a) 无线电磁罗盘指示器RMI; (b) 指示器指示的相对方位和磁方位。1—代表飞机纵轴的指标; 2—固定刻度; 3—活动的磁罗盘刻度; 4—No. 1 ADF 指针; 5—No. 2 ADF 指针。

为 197° (细针)，两个方位角的交接处即为飞机的所在位置。使用无线电定向机的另一个缺点是，在作归航台使用时，飞行中如果不观察磁航向，一旦遇到强大侧风，飞机也会偏离航道。图 1-6 所示的就是一架由西向东飞行的飞机遇到北侧风时偏航的情况。

由于上述原因，人们一直希望能将无线电罗盘与磁罗盘合并，使在一个仪表上既能看到磁航向和电台的相对方位，又能及时读出电台的磁方位角，从而迅速确定飞机的位置。50 年代后期出现的磁航向系统满足了上述要求。这种磁航向系统称为无线电磁

罗盘指示器RMI。一般来说，地面导航台发射的无线电波是没有方向性的，所以还不能直接确定电台的磁方位角，于是就产生了VOR全向信标系统。

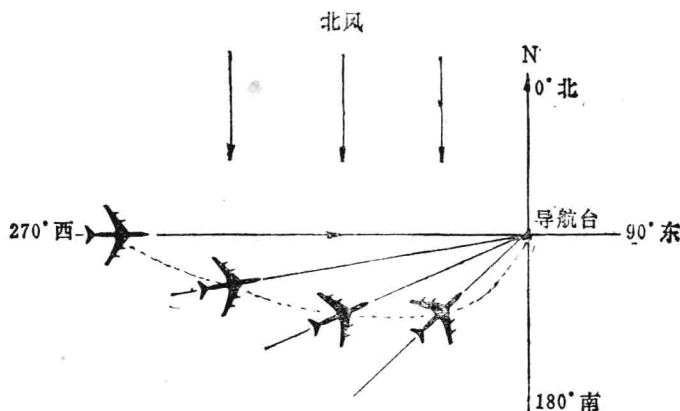


图1-6 侧风引起的偏航

40年代初期的VOR系统是较为原始的，它用甚高频全向信标台发射一个以 360° /分旋转的心形波束，并在心形哑点经过磁北 0° 时发射一个基准信号。

飞机接收到这个基准信号时，按下秒表开始计时，而当飞机接收到旋转着的心形波束哑点时，则停秒表，将秒表的读数乘以6，就得到飞机当时的磁方位。图1-7所示的 120° 就是这样计算出来的。这个很原始的方法对今天理解VOR可变信号的形成很有帮助。

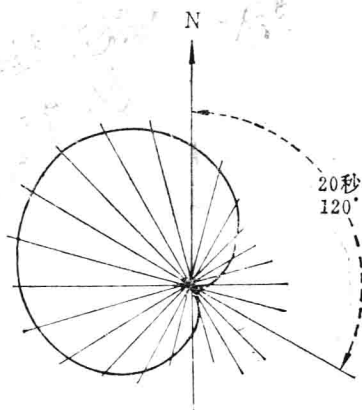


图1-7 原始的VOR以秒表计时读出角度

60年代出现了以电子管为基础的第一代VOR/ILS机件，如子爵号飞机上的SR34/35导航系统。不过，那时的可变信号旋转