

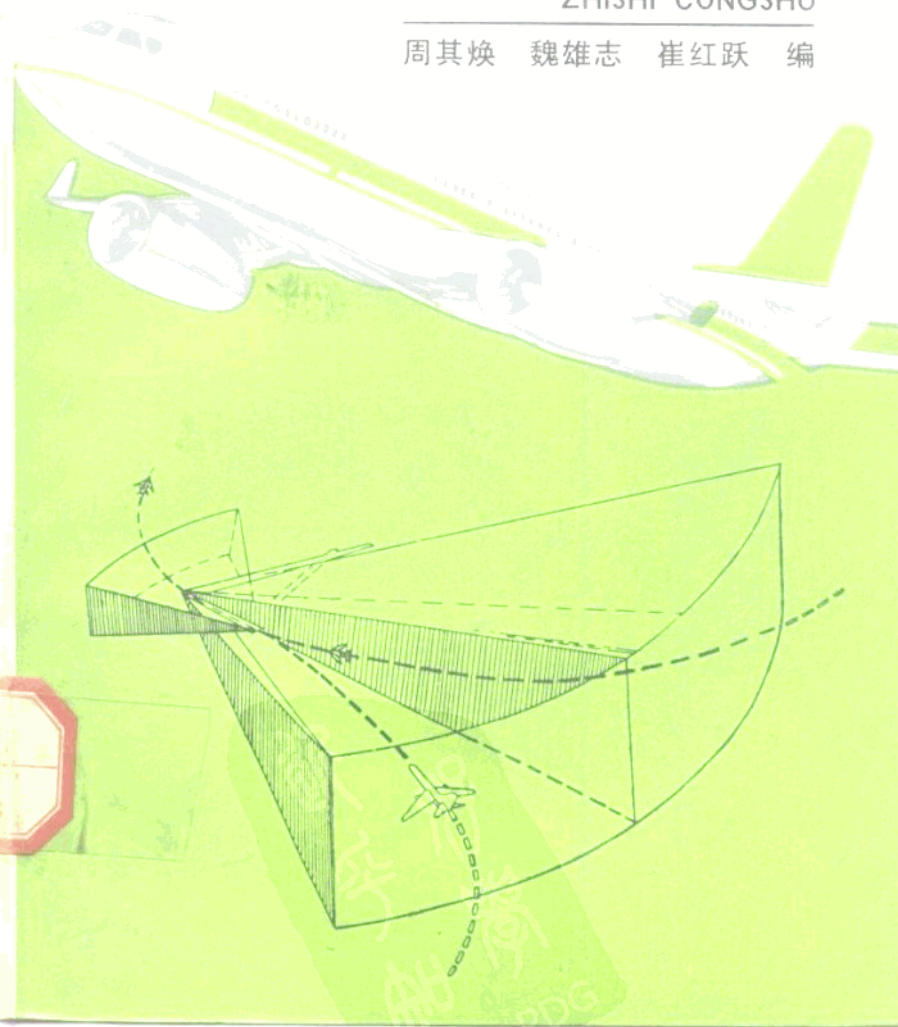
微波着陆系统

现代飞机电子设备知识丛书

XIANDAI FEIJI DIANZISHEBEI

ZHISHI CONGSHU

周其焕 魏雄志 崔红跃 编



363920

现代飞机电子设备知识丛书

微波着陆系统

周其焕 魏雄志 崔红跃 编



国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书是《现代飞机电子设备知识丛书》之一，共分四章，第一章介绍微波着陆系统的发展过程及今后实现计划，第二章介绍方位和仰角测量系统的基本原理、信号格式、结构特点、精度要求和误差分析，第三章介绍精密测距系统的基本原理、脉冲波形及其处理上的特点、典型结构及误差分析，第四章为应用知识，介绍场地布局安装、一般和特殊运用方式、飞行程序和飞行应用、如何配合自动着陆、对空中交通服务的影响等。

本书适于航空部门飞行、签派、管制、通信、导航、航空机务电子从业人员、各级业务领导和广大航空爱好者阅读，也可作为航空类大中专院校的教学参考书。

现代飞机电子设备知识丛书

微波着陆系统

周其焕 魏雄志 崔红跃 编

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 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168毫米 32开本 印张9⁸/₈ 242千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷 印数：0001—3000册

ISBN 7-118-00959-8/V·74 定价：9.35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	王章铸	王长昇	李煜(常务)
陆芝平	祁元福	杨颂伟(常务)	
张永生	张德馨	周其煊	周宝魁
周瑞珪	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：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。

本丛书将是目前从事航空电子设备的科研、设计、制造、使用和维护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。

林志林
3/8-1989

前 言

本书根据《现代飞机电子设备知识丛书》的要求，力求系统地介绍现代微波着陆系统的基本知识，内容深入浅出，覆盖面广泛，联系叙述与之结合使用的其他有关系统。内容包括整体综述、系统组成、地面设备和机载设备的配合工作和使用方法，从基本原理、信号传送、数据输出到技术要求、精度问题，从地面布局、飞行程序到空中交通管制上的配合，从基本使用方法到特殊功能的应用等都作了必要的阐述。因此本书适于航空器生产制造、运行维修、飞行管理、空中交通管制等航空从业人员阅读。书中的大部分内容，凡初具航空知识者或航空院校学生均能自学理解掌握。

微波着陆系统（MLS）是国际上正在试用和准备推广的新系统，国内目前尚未正式使用，但其过渡和实现计划已在制订，因此有必要预先学习，为早日实际使用作好准备。但公开出版的MLS资料很少，实物尚未见到，产品仍在发展中尚未定型，不论技术规范、使用方法、产品规格上都常有改变和修改。书中力求采集最新的具有权威性的资料作为依据。由于编者学识水平有限，错误难免，恳请读者批评指正。

全书分为四章。第一章综述从仪表着陆系统（ILS）到微波着陆系统（MLS）的历史发展进程。第二和第三章分别介绍MLS的测角和测距二大系统。这里介绍了微波着陆系统工作原理、功能实现、性能和精度保证方面的核心问题。第四章是飞行程序和应用。这里介绍了有关运行和使用方法上的实用知识，预先展示了未来的应用前景。只有通过对这些实际使用上的理解，才能反过来领悟到微波着陆系统在结构原理、设计目标和性能要求上的因果关系，真正掌握住它的本质和特色。

微波着陆系统要按预期那样，迅速地在全世界推广使用，还存在一些经济上、技术上的世界性合作和协调上的问题。本书的出版，走在了应用的前面。

全书由周其焕选材、编排、调整。第一、二章由魏雄志执笔，第三章由崔红跃执笔，第四章由周其焕执笔。全书由郑连兴审校。本书编写过程中，承蒙中国民用航空局适航司陆家沂提供了大量最新的、权威性的资料，并提出一些宝贵的意见，协助查询解答一些问题，成为本书编写顾问，在此谨表深深的谢意。此外，在编写过程中，还承蒙中国民用航空局航行司金焕章、周阿荣和中国民用航空学院“MLS应用预行研究”课题组的薛文安、陈惠萍以及电子系张弘、航行系何其忱等同志给予大力支持和帮助，在此一并向他们表示衷心的感谢。

编者 1990年5月

目 录

第一章 从仪表着陆系统到微波着陆系统	1
1.1 仪表着陆系统及其局限性	1
1.2 微波着陆系统的体制选择	4
1.3 国际民航组织制定的微波着陆系统过渡计划	8
1.4 全球实现微波着陆系统的进展	10
1.4.1 MLS过渡计划推行中遇到的问题	10
1.4.2 ICAO第27届大会对MLS的讨论情况	12
第二章 测角系统	13
2.1 组成和技术特点	13
2.1.1 组成	13
2.1.2 技术特点	19
2.2 空间信号格式	21
2.3 角度制导功能和数据字结构	24
2.3.1 前导信号	26
2.3.2 扇区信号	27
2.3.3 方位制导	32
2.3.4 余隙制导信号	34
2.3.5 仰角制导	36
2.3.6 高速率方位制导	37
2.3.7 角度测量的计算	40
2.3.8 数据字结构	42
2.3.9 前导结构和数据字的可靠性	46
2.4 地面设备	46
2.4.1 概述	46
2.4.2 地面设备的组成	47
2.4.3 射频单元和功率放大器	49
2.4.4 天线系统	51
2.4.5 方位制导台	53
2.4.6 仰角制导台	57

2.4.7 系统的监控	60
2.5 机载设备	61
2.5.1 概述	61
2.5.2 天线及其传输线	62
2.5.3 角度制导控制面板	63
2.5.4 接收机-处理器	63
2.5.5 接口装置的实现	66
2.5.6 典型的MLS接收处理器	67
2.6 误差的形成与解决方法	76
2.6.1 误差源和误差产生机理	76
2.6.2 误差的分析方法	78
2.6.3 多径干扰的控制技术	82
2.6.4 多径干扰的运动均化	93
2.7 精度要求和误差概算	96
2.7.1 系统误差成分按频率划分	96
2.7.2 误差的测量方法	98
2.7.3 系统精度的要求	101
2.7.4 系统误差概算	104
2.8 信号功率密度要求和功率概算	110
2.8.1 对信号功率密度的要求	110
2.8.2 功率概算	110
2.9 监控技术与可靠性问题	113
2.9.1 地面监控技术	114
2.9.2 机载设备的监控技术	118
2.9.3 可靠性问题	119
第三章 测距系统	124
3.1 精密测距设备的功能和工作模式	124
3.2 普通测距设备的工作原理	127
3.2.1 测距工作原理	127
3.2.2 国际民航组织对DME/N的要求	129
3.3 影响测距精度的因素	130
3.3.1 多径干扰	130
3.3.2 应答器收到的询问信号幅度强弱不等所产生的误差	135
3.3.3 脉冲幅度、判决门限电平不稳定产生的误差	136
3.3.4 其他一些影响测距精度的因素	139
3.4 双脉冲/双模式的精密测距设备	139
3.4.1 两种精度标准和兼容性要求	139

3.4.2 减小误差的两个措施	140
3.4.3 双脉冲/双模式	140
3.5 脉冲波形及处理特点	145
3.5.1 $\cos/\cos^2$ 波形	145
3.5.2 菲里斯鉴频器	148
3.5.3 延迟衰减比较器	149
3.5.4 导脉冲法	152
3.6 误差源、误差概算和精度要求	153
3.6.1 误差源	153
3.6.2 误差概算	157
3.6.3 精度要求	158
3.7 功率概算和效率	159
3.7.1 功率概算	159
3.7.2 系统效率	160
3.8 技术性能的规定	164
3.9 MLS—DME/P频率配对关系	168
3.10 精密测距设备典型产品介绍	169
3.10.1 DME/P地面应答器	169
3.10.2 DME/P机载询问器	174
第四章 安装运行和飞行应用	178
4.1 地面设备配置和产品类型	178
4.1.1 地面设备配置	178
4.1.2 地面设备的信号覆盖	179
4.1.3 地面设备的产品类型	179
4.1.4 地面设备的典型产品	181
4.2 安装要求和环境影响	181
4.2.1 安装要求	181
4.2.2 MLS和ILS共址安装	189
4.2.3 环境影响	191
4.2.4 跑道附近的关键区和敏感区	192
4.3 机载设备的能力及其等级划分	195
4.3.1 0级——基本能力	198
4.3.2 1级——中心线算出能力	198
4.3.3 2级——分段进近能力	199
4.3.4 3级——曲线进近能力	200
4.3.5 设计中的全功能控制板和显示器	201
4.3.6 机载设备典型产品	202

4.4 飞行程序和飞行应用	204
4.4.1 基本进近程序	204
4.4.2 算出中心线进近程序	205
4.4.3 分段进近程序	205
4.4.4 曲线进近程序	209
4.4.5 分段和曲线进近中的转弯切入方法	211
4.4.6 着陆程序	212
4.4.7 离场程序	213
4.4.8 飞行程序的衔接	213
4.4.9 MLS引导下的飞行操纵方式	215
4.4.10 测距功能的实现	216
4.4.11 覆盖范围内的MLS区域导航	217
4.4.12 超障余度	219
4.5 特殊运用和专有功能的发挥	221
4.5.1 反方位制导台的运用	221
4.5.2 方位台偏置的运用	227
4.5.3 直升机的进近运用	229
4.5.4 多跑道运用	232
4.5.5 解决多机场空域的交通冲突	234
4.5.6 进近着陆飞机之间的排序和间隔调整	234
4.5.7 在降低决断高度下提高着陆成功率	236
4.6 典型的MLS进近程序	240
4.6.1 进近着陆飞行阶段的划分和定义点	240
4.6.2 MLS进近程序的典型例子之一	241
4.6.3 MLS进近程序的典型例子之二	246
4.7 自动着陆及其安全要求	248
4.7.1 自动着陆过程	248
4.7.2 自动着陆系统的组成	249
4.7.3 ILS仪表着陆系统的使用经验	251
4.7.4 自动着陆对地面引导设备的要求	251
4.7.5 自动飞行控制系统的安全等级	254
4.7.6 自动飞行控制系统对余度技术的应用	255
4.8 微波着陆系统和空中交通服务之间的关系	256
4.8.1 MLS进近能力	256
4.8.2 MLS着陆能力	258
4.8.3 起飞/复飞的离场能力	259
4.8.4 数据传递	259
4.8.5 复杂程度的逐步引入和服务能力的逐步提高	259

Ⅺ

4.8.6 分段和曲线进近程序的实现	260
4.8.7 MLS在空中交通服务上的改进	265
附录一 ICAO的ILS/MLS过渡计划	267
附录二 DME和MLS频率配对表	276
缩略语英汉对照表	284
参考资料	287

第一章 从仪表着陆系统到微波着陆系统

1.1 仪表着陆系统及其局限性

仪表着陆系统 (ILS) 是在第二次世界大战后出现并得以应用的。1948年, ILS被国际民航组织 (ICAO) 采纳为飞机进近着陆引导的标准设备, 至今已有40多年的历史, 目前在提供 I 类和 II 类仪表进近方面正在充分地发挥着它的效能, 在个别设施完备的机场, ILS也能提供 III 类精密进近和自动着陆引导。它为世界范围的航空事业, 尤其是民用航空事业的发展作出了卓越的贡献, 而且在今后的一段时期内仍将如此。然而, 随着空中交通量的剧增以及空中交通状况的日益复杂, ILS在某些方面暴露出了本身的缺点和局限性。

从原理上来讲, 仪表着陆系统由三个主要部分组成: 航向台、下滑台和指点信标台。航向台一般安装在跑道中心延长线的终端, 工作在VHF频段; 下滑台一般安装在离跑道入口处大约 1000 英尺的一侧, 工作在UHF频段。航向台用来提供进近飞机的水平面内的引导, 而下滑台则提供垂直面内的引导, 这两个信号在空中垂直交错在一起, 为进近飞机建立了一条位于跑道中心延长线上方的下滑道。有效信号的中心下滑道的水平宽为 $\pm 4^\circ$, 垂直宽为 $\pm 0.3^\circ$, 与跑道平面构成的下滑角为 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。对于一个特定的机场而言, 这个下滑角是预先置定的, 恒定不变。指点信标台有两个或三个, 提供进近飞机与跑道入口处之间的距离。指点信标台设置位置是既定的, 所以这些点的距离也是预先置定的。它们工作在75兆赫的固定频率上。ILS的工作原理见图 1-1, 详见本丛书的《全向信标和仪表着陆系统》。

飞机在进近过程中, 与正确的航向道和下滑道之间的偏差信

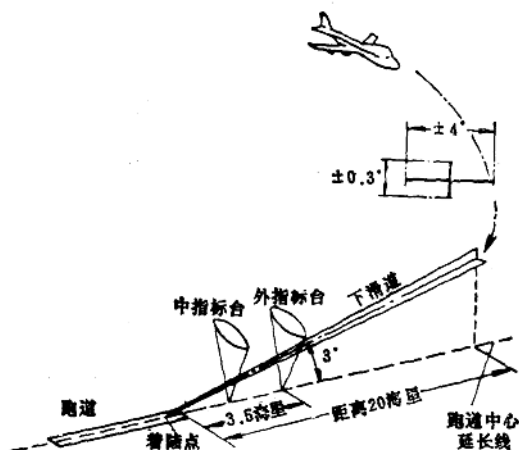


图1-1 ILS工作原理示意图

号在驾驶员前仪表板上的十字指针指示器（或称作零读指示器）上显示出来，供驾驶员校准飞机的飞行路线。在飞越指点信标台上空时，向驾驶员发出特定的信号以识别当时的距离。驾驶员可以根据这些仪表指示按仪表飞行规则（IFR）操纵飞机。这些信号也可以送到飞机的自动驾驶仪中，以进行自动进近，在这种系统中，飞机在最后着陆阶段仍采取目视飞行规则（VFR）飞行。

仪表着陆系统的局限性首先来自它只能提供单一而又固定的下滑道。随着飞机种类的增多、飞机性能的提高和更先进的技术出现，ILS的这种进近方式也显得适应不了发展。由于ILS进近航线规定在跑道中心延长线所在的平面内，下滑角又很小，这无疑会引起大型飞机接近城市和居民区飞行时所产生的低空噪声污染问题。由于进近航线长，对某些机动性能好的飞机而言，用ILS进近，有无谓浪费燃油之嫌；而对于那些具有短距起降（STOL）和垂直起降（VTOL）性能的飞机来说，由于固定的下滑角过小，而不能发挥其优越性。ILS在单一下滑道的前提下，显

得缺乏足够的灵活性，所以它从根本上限制了诸如曲线进近、分段进近和大下滑角进近等各种灵活进近方式的使用。

局限性还来自它所采用的工作频率。ILS的航向台和下滑台分别工作在VHF和UHF频段，天线尺寸较大，信号波束也宽，其工作在很大程度上受到机场及其附近建筑物所产生的多径干扰的影响。航向台对其周围建筑物，尤其是近区山峰的信号反射较为敏感，信号波束因容易受到干扰而产生扭曲。下滑台的工作依赖于平坦地面对辐射信号的反射而形成定向波束，它要求天线前方大约在1500英尺范围内有大片平地，这不仅需要大量的土方工程，而且在某些机场也难以实现。另一方面，ILS的工作受到跑道及其周围地面上的降雨和积雪的影响，在恶劣的气象条件下，有些机场只得长时间关闭。

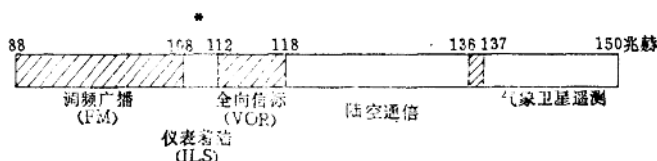


图1-2 频率分配图

(* 为ILS和VOR共用频率，其中小数点后一位为奇数的用于ILS，偶数的用于VOR)

随着各地调频无线电台的增加和升级，处于其低频段的 ILS 航向台的工作频率会受到调频台信号的干扰。下面的频率分配图可以说明这方面的问题。调频台 (FM) 通常工作在 88~108 兆赫，由于无线电信号在发射时所存在的不可避免的对邻近频道的“渗透”问题，在FM高频端的发射有可能影响低频端ILS台的工作。调频台的发射功率一般在 5~100 千瓦之间，明显地“凌驾”于通常只有 5 瓦的ILS的发射信号以上。

从使用上来看，ILS的航向台和下滑台成对提供至多40个有用频道。在某些空中交通比较繁忙的机场和地区，频道拥挤问题已变得日益显著。有些观点认为可以通过压缩ILS频道的间隔，

例如,把目前标准的100千赫间隔减小到50千赫甚至25千赫,或者通过减小ILS台的有效覆盖范围来提高整个ILS频段的可用性。在此,姑且不论这样做在技术上的可行性,有一点是无疑的:即它仍然面临着航空安全和未来发展的挑战。

ILS在技术上和使用上所存在的局限性已不是它自身能够克服的了。由于国情的不同和航空事业发展程度的差异,这些局限性在某些机场或地区没有暴露出来,但它们毕竟是存在的。

1.2 微波着陆系统的体制选择

仪表着陆系统在技术上和使用上所存在的局限性,使微波着陆系统(MLS)得以迅速地发展,以至到本世纪末,MLS将在全球范围内取代ILS。

回顾历史,采用微波频率来设计着陆系统并不是鲜为人知的提法。早在40年代,就有过用微波频率取代ILS的VHF/UHF频率的提法,只是限于当时的微波技术不够成熟而未被采用。到了60年代后期,航空用户要求有一个既能改善对场地的敏感性,工作可靠,又能提供可变下滑道和多路进近的引导设备的呼声越来越高。随之,到70年代初,全球范围内就出现了多达50多种不同的方案,大部分都采用了微波技术,其中有些方案后来被军航采纳。众多的方案带来了新的问题,如果不同的用户都采用各自不同的进近和着陆标准,会迫使航空公司为远程和跨国全天候飞行的飞机装备多套不同标准的机载着陆引导设备,这样势必会对国际间的航空活动和合作带来麻烦。针对这一情况,国际民航组织考虑了建立新的国际标准的进近和着陆设备的迫切性,并在1972年提出了关于新型非目视精密进近和着陆系统的技术要求。而此时,美国、澳大利亚、英国、法国和西德等国都已在研制自己的新系统,并取得了相当的成就。

早在1967年,美国航空无线电技术委员会(RTCA)成立了一个专门的机构SC-117,以进行有关新系统的策略研究。在随后的两年里,该机构提出了一个由政府部门、航空工业界和航空