

飞行数据/话音记录器——黑匣子

现代飞机电子设备知识丛书

XIANDAI FEIJI DIANZISHEBEI

ZHISHI CONGSHU

肖建德 编



3 1 8 2 1 2 0 3

V244

07

现代飞机电子设备知识丛书

飞行数据/话音记录器——黑匣子

肖建德 编



C0157922

国防工业出版社

V244

(京)新登字 106 号

图书在版编目 (CIP) 数据

飞行数据/话音记录器——黑匣子/肖建德编. —北京:
国防工业出版社, 1993

(现代飞机电子设备知识丛书)

ISBN 7-118-01212-2

I. 飞…

II. 肖…

III. ①飞行数据记录器 ②磁记录器-磁带

IV. V241.8

现代飞机电子设备知识丛书

飞行数据/话音记录器——黑匣子

肖建德 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

北京怀柔王史山胶印厂印刷

*

850×1168 毫米 32 开本 印张 4% 116 千字

1993 年 9 月第一版 1993 年 9 月第一次印刷 印数: 0001-5,000 册

ISBN 7-118-01212-2/V·104

定价: 4.80 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	王章绮	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	周瑞璉	郑连兴
高 柱 (常务)	翟建平	蔡成仁	黎廷璋	

主编单位 中国民用航空总局适航司
中国民用航空总局科教司
中国民航学院
中国民用航空总局第一研究所

责任编辑 何曼庆

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。

杨志峰 1989

前 言

探讨飞行安全问题是一项复杂的系统工程，它涉及到飞机和发动机运动的各个环节，这就需要及时、全面地对飞机和发动机的工作状态参数进行监控。

飞行数据记录器按照时间顺序记录大量数据信息，为发现事故隐患、查找事故原因提供可靠依据，为训练飞行员和进行飞机设计提供必要的真实参数。所以，飞行数据记录器是不可缺少的机载设备之一。

话音记录器所记录的驾驶舱声音和机组人员的话音，对发生飞行事故后的调查、分析、判断事故原因起着重要作用。

本书是在参考了大量国内、外有关书籍和维修手册、训练手册等的基础上编写而成的。全书着重于飞行数据记录器的数据采集、数据记录/重放及数据监控等几个方面，并注意了选材的先进性和系统性，其内容基本上反映了飞行数据记录器的发展趋向。本书叙述循序渐进，深入浅出，通俗易懂。

中国民用航空学院翟建平同志对原稿进行了全面的审校，并作了一些修改，编者在此表示衷心的感谢。

由于本人经验和水平所限，书中差错和遗漏在所难免，敬请读者批评指正。

肖建德

目 录

第一章 概 述	(1)
1.1 飞行数据记录器的发展史	(1)
1.2 国际民航组织关于飞行记录的约定	(4)
1.2.1 国际商业运输机	(4)
1.2.2 直升飞机	(5)
1.3 飞行记录系统的配置概况	(9)
1.3.1 飞行数据记录器 (FDR)	(9)
1.3.2 综合数据记录系统 (AIDS)	(10)
1.4 飞行数据记录器的发展方向	(13)
1.5 对飞行数据记录器的基本性能要求	(13)
1.5.1 飞行数据记录器的一般要求	(14)
1.5.2 飞行数据记录器的校验	(16)
1.5.3 记录系统的标准输入/输出信号	(21)
第二章 磁带记录器原理	(26)
2.1 磁带记录器的基本结构	(26)
2.1.1 记录放大器和重放放大器	(26)
2.1.2 磁头的种类	(27)
2.1.3 磁带和磁带传动机构	(27)
2.2 磁带记录器的特点	(27)
2.3 磁头和磁带的工作原理	(28)
2.3.1 磁头	(28)
2.3.2 磁带	(33)
2.4 磁带的记录方式	(35)
2.4.1 模拟式记录方式	(35)
2.4.2 数字式记录方式	(41)
2.5 机载磁带记录器的数据格式	(45)
2.5.1 ARINC542 格式	(45)
2.5.2 ARINC573 格式	(46)

2.5.3 ARINC717 格式	(47)
2.6 当前中国民航飞机所用的飞行数据记录器	(51)
第三章 通用型飞行数据记录器	(52)
3.1 基本结构	(52)
3.1.1 基本型	(52)
3.1.2 附加装置	(53)
3.1.3 产品的识别	(54)
3.2 主要指标	(56)
3.2.1 机械指标	(56)
3.2.2 电气指标	(56)
3.2.3 记录指标	(56)
3.2.4 环境指标	(57)
3.3 基本工作原理	(57)
3.3.1 数据输入	(57)
3.3.2 数据处理	(57)
3.4 记录器的特点	(59)
3.4.1 磁道	(59)
3.4.2 记录冲程	(61)
3.4.3 系统工作状态和维护状态监控	(63)
3.5 工作方式	(65)
3.5.1 飞行记录方式	(65)
3.5.2 人工操纵方式	(66)
3.5.3 保持(待用)方式	(67)
3.6 组成部件的工作原理	(68)
3.6.1 数据采集系统(DAS)	(68)
3.6.2 记录系统控制器(RSC)	(77)
3.6.3 读/写(R/W)接口电路	(82)
3.6.4 传输接口(XPORT)	(85)
3.6.5 飞机连线接口(AWI)	(88)
3.6.6 磁带驱动机构	(90)
3.6.7 电源组件 A1	(93)
3.7 记录器的工作流程	(94)
3.8 飞行数据记录系统	(99)
3.8.1 系统组成	(99)
3.8.2 系统维护注意事项	(102)

第四章 数据恢复和分析	(103)
4.1 译码设备	(103)
4.1.1 记录器与译码设备的连接和转录方式	(104)
4.1.2 记录格式和译码解码的匹配	(105)
4.2 译码数据的校准和标定	(106)
4.3 译码后的数据分析和应用	(107)
4.4 飞机数据恢复/分析系统 (ADRAS)	(107)
4.4.1 基本型 ADRAS 硬件设备	(108)
4.4.2 ADRAS 的软件特点	(111)
4.4.3 磁带的转录设备	(114)
4.4.4 动态模拟再现	(116)
4.5 记录信息的分析及其应用	(116)
第五章 话音记录器	(121)
5.1 话音记录器控制板	(122)
5.1.1 物理特性	(124)
5.1.2 拾音器 (话筒)	(124)
5.1.3 抹音开关	(124)
5.1.4 监听耳机插孔	(124)
5.1.5 检查指示灯 (红色)	(124)
5.1.6 检查开关 (按钮)	(124)
5.2 话音记录器	(124)
5.2.1 性能参数	(124)
5.2.2 话音记录系统的工作情况	(125)
5.3 水下定位信标机	(131)
5.3.1 海水对声波的吸收	(132)
5.3.2 声波在海水中的传播速度	(132)
附录 缩略词英汉对照表	(134)
参考文献	(137)

第一章 概 述

1.1 飞行数据记录器的发展史

20 世纪 40 年代,人们已经重视对飞机的飞行性能和飞行状态的记录,在飞机上装有简单的记录器。当飞机发生飞行事故时,根据记录的飞行状态参数分析事故原因。故飞机坠毁之后,无论如何要找到飞行记录器。寻找记录器的人可能从事各种职业,不知道什么是飞行记录器,又由于当时的机载设备都是黑色的,所以记者在报道事故时,只能以“黑匣子”为名进行报道。如今,黑匣子不再是黑色的了,而是国际通用的橙红色,但人们仍然习惯地称飞行记录器为“黑匣子”。

记录器的初期阶段,只对少量几个基本参数进行记录,如 K3-63 型记录器,只记录飞行高度、指示空速及飞机的垂直加速度等。飞行记录器中测量高度及空速的原理与一般机械式高度表和空速表原理相同,即利用弹性膜盒的变形,通过传动机构进行测量和记录。垂直加速度的记录是利用弹性平衡的原理进行的,弹簧的弹性力与惯性力相平衡时,利用弹簧的变形量测量惯性力的大小。记录胶带的移动是由电机带动的,胶带移动速度是可变的,在垂直加速度大于 $1g$ 时,移动速度为 $4.2\sim 5.2$ 毫米/秒,垂直加速度小于 $1g$ 时,移动速度为 $4.2\sim 5.2$ 毫米/分,10 米长的记录胶带只能供几次飞行记录使用,所以,需要经常更换胶带。胶带是不需要显影的乳化胶片。

如图 1-1 所示,记录高度的敏感元件是真空膜盒,其输出的位移量通过传动机构带动划针在胶片上划出飞行高度的痕迹。记录

空速的敏感元件是感受动压的开口膜盒，其输出的位移量通过传动机构带动划针在胶片上划出空速的痕迹。

高度、空速膜盒的传动装置及输带机构均固定在机架上，电机通过自动换速的联轴盒，带动主动滚筒转动，未记录的胶片卷在被动胶片滚筒上，胶片经过记录后，经主动滚筒卷入装片筒内。

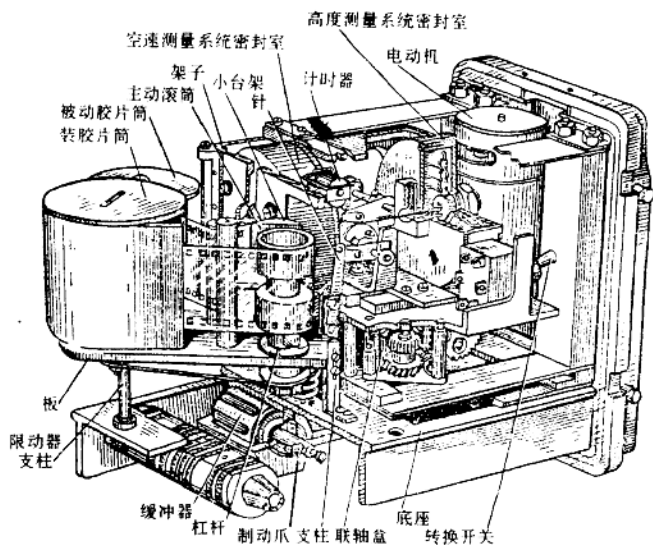


图 1-1 K3-63 型记录器

感受垂直加速度的敏感元件实质上是悬挂在弹簧上的惯性物，惯性物由高度、速度传动机构及卷带机构组成。垂直加速度划针固定在机架的支柱上，胶片随加速度的变化上下移动时，划针便在胶带上划出加速度的痕迹。

由于记录飞行参数是在飞行中实时记录的，所以，记录器由时钟通过制动爪等机构控制带速。

50年代,波音707飞机上装有钢带记录器,它能连续记录高度($-1000\sim 50000$ 英尺)、空速($100\sim 450$ 海里/小时)、垂直加速度($-3\sim +6g$)、航向($0\sim 360^\circ$ 磁航向的二元记录)、航班/日期、事件符号及无线电传呼信号等。为了提高记录精度和划针的驱动力,记录器各信号系统增加了伺服机构,由电机转角反映信号的大小。

无线电传呼信号是由甚高频电台和高频电台提供的,二极管电路输出的直流控制划针线圈的接地线路,当线圈中有电流通过时,划针工作,划出正向波形,表示无线电传呼正常。记录带是5英寸宽的金属带,由不锈钢和镍制作而成,有的采用金属箔带,具有很高的耐机械磨损、耐热和耐腐蚀能力。记录带由驱动电机经传动机构以6英寸/小时的恒速运行,带长150英尺,可以两面记录,每面可记录300小时。

70年代,电子技术发展很快,数字记录和数据译码设备相继出现。数字记录的密度和记录速度都相应提高。一般采用磁带记录器,能保留最近飞行25小时的记录数据,同时磁带可以循环记录,不需要经常更换记录带。

20世纪50年代,在飞行记录中增加了话音记录,这样,飞行记录器包括飞行数据记录器和话音记录器两个设备。

飞行记录器的功用可归纳为以下几方面:

(1) 在飞机设计中,可充分利用样机、原理机上所记录的大量数据(如载荷谱、大气状态对飞机性能的影响、故障及应急状态下的飞行规律等)来指导飞机的设计,使飞机有更好的安全性和经济性能;

(2) 在试飞中,可利用记录的数据分析、排除故障,消除飞机上的各种隐患;

(3) 在飞行员培训中,可利用记录器所记录的数据来评定飞行员的驾驶技术,确保训练质量;

(4) 航空公司对飞机的使用和维护过程中,可利用飞行记录器所记录的数据,快速准确地判明飞机的故障、飞机性能及发动

机性能的变化趋势,以便制定合理的维修周期和维修重点,进行“视情维修”。

(5) 飞机坠毁后,根据所记录的数据分析事故原因。

由此可见,充分发挥飞行记录系统的作用,可使我国的飞行安全保障工作提高到一个新水平。

1.2 国际民航组织关于飞行记录的约定

为了正确地分析事故原因,正确地分析飞机性能(包括发动机性能)及飞行技术,合理地解决国家之间或航空公司之间的意见分歧,国际民航组织对飞行记录作了统一的约定。

1.2.1 国际商业运输机

飞行记录器包括两个系统:飞行数据记录器和驾驶舱话音记录器。飞机上应同时装备两个系统。

1. 飞行数据记录器的类型

I型飞行数据记录器所记录的飞行参数应能准确地确定飞机的航迹、速度、发动机功率(及状态)和操纵状态。

II型和II_A型飞行数据记录器所记录的参数应能准确地确定飞机的航迹、速度、发动机功率(及状态)以及增升(或增阻)装置的工作状态^①。

2. 连续记录的时间

除II_A型飞行数据记录器至少保留最近记录的30分钟信息外,所有飞行数据记录器应保留最近记录的25小时信息。

3. 飞行记录器的配置

1989年1月1日或以后首次颁发适航证的飞机,如最大起飞

● I型飞行数据记录器——非弹射型记录器;II型飞行数据记录器——非弹射型记录器,装机位置被限定在远离穿过机身的主翼结构,并离开任一燃油箱、距离大于翼根弦长 $\frac{1}{4}$ 的任一位置;II型飞行数据记录器——可弹射型记录器,考虑到弹射方向及为减轻冲击而采取了措施,所以,不限定装机位置。

全重超过 27000 公斤，应装有 I 型飞行数据记录器；最大起飞全重在 5700~27000 公斤的飞机，应装有 II 型飞行数据记录器；所有装涡轮发动机、最大起飞全重超过 5700 公斤的飞机，应装有一个可记录时间、高度、空速、加速度和航向的飞行数据记录器；装配有涡轮发动机、最大起飞全重超过 27000 公斤的飞机，其原型机于 1969 年 9 月 30 日以后取得有关国家当局适航证的，应装有 II 型飞行数据记录器。

国际民航组织建议所有装配涡轮发动机、最大起飞全重超过 27000 公斤、原型机于 1969 年 9 月 30 日以后由有关国家当局颁发适航证的飞机，飞行数据记录器除应记录时间、高度、空速、加速度、航向外，还需增加记录如下参数：

(1) 飞行中的实际飞机姿态；

(2) 使飞机达到预选航迹时作用在飞机上的基本的力，以及这些力的来源，并且应装有驾驶舱话音记录器，话音记录器应连续记录，至少保留近 30 分钟的信息。

4. 飞行记录器要有保护结构

飞行记录器在结构、安装和定位装置等方面应具有最大的自我保护能力，以便记录的信息能够被保存、复原和转录。

5. 通用航空运输机飞行记录参数表（见表 1-1）。

表 1-1 中，32 个参数满足 I 型飞行数据记录器要求，而前 15 个参数满足 II 型和 II_A 型飞行数据记录器要求。

1.2.2 直升飞机

直升飞机安装 N 型飞行数据记录器，应能准确地确定直升飞机的航迹、速度、高度、发动机功率和操纵状态，或安装 V 型飞行数据记录器，准确地记录直升飞机的航迹、速度、高度和发动机功率。N 型和 V 型飞行数据记录器能连续记录，至少保留最近工作的 10 小时信息。

1989 年 1 月 1 日首发适航证的飞机，最大起飞全重超过 7000 公斤的直升飞机，应安装 N 型飞行数据记录器；最大起飞全重在 2700~7000 公斤的直升飞机，应安装 V 型飞行数据记录器。

表 1-1 国际商用和通用航空运输机记录参数

序号	参数名称	测量范围	记录间隔 (秒)	精度(传感器输出- 记录器读出之差)
1	时间	24 小时	4	$\pm 0.125\%$ /小时
2	气压高度	-300 米(-1000 英尺)~批准的最大飞机高度加 1500 米(+5000 英尺)	1	$\pm 30 \sim \pm 200$ 米 ($\pm 100 \sim \pm 700$ 英尺)
3	指示空速	95 公里/小时(50 海里/小时)~最大 $v_{so}^{(1)}$ $v_{so} \sim 1.2 v_D^{(2)}$	1	$\pm 5\%$
4	航向	360°	1	$\pm 2^\circ$
5	垂直加速度	-3~+6g	0.125	除最大范围的 1% 外, 基准误差允许 $\pm 5\%$
6	俯仰姿态	$\pm 75^\circ$	1	$\pm 2^\circ$
7	倾斜姿态	$\pm 180^\circ$	1	$\pm 2^\circ$
8	无线电发射键控	接通—断开(分离信号)	1	
9	每台发动机功率 ⁽³⁾	全量程	1(每发)	$\pm 2\%$
10	后缘襟翼或驾驶舱操纵选择	全量程或分离位置	2	$\pm 5\%$ 或按驾驶舱指示器
11	前缘襟翼或驾驶舱操纵选择	全量程或分离位置	2	$\pm 5\%$ 或按驾驶舱指示器
12	反推位置	收起,变换,反推	1(每发)	
13	地面扰流板/速度刹车选择	全量程或分离位置	1	$\pm 2\%$ 除非高精度特别要求
14	外界大气温度	传感器感受范围	2	$\pm 2^\circ\text{C}$
15	自动驾驶/自动油门 AFCS 方式和衔接状态 ⁽⁴⁾ 前 15 个参数是满足 I 型和 I _A 型飞行数据记录器要求	一个相宜的混合分离信号	1	
16	纵向加速度	$\pm 1g$	0.25	除最大范围的 1.5% 外,基准误差允许 $\pm 5\%$
17	侧向加速度	$\pm 1g$	0.25	除最大范围的 1.5% 外,基准误差允许 $\pm 5\%$
18	驾驶员操纵杆位置/或操纵舵面位置 基本操纵(俯仰、倾斜、方向) ⁽⁴⁾	全量程	1	$\pm 2^\circ$,除非高精度特别要求
19	俯仰配平位置	全量程	1	$\pm 3\%$,除非高精度特别要求
20	无线电高度	-6~+750 米(-20~+2500 英尺)	1	± 0.6 米(± 2 英尺) 或在 150 米以下 $\pm 3\%$, 150 米(500 英尺)以上时 $\pm 5\%$

(续表)

序号	参数名称	测量范围	记录间隔 (秒)	精度(传感器输出/ 记录器读出之差)
21	下滑道偏离	信号范围	1	$\pm 3\%$
22	航向道偏离	信号范围	1	$\pm 3\%$
23	通过信标台	分离信号	1	
24	主警告	分离信号	1	
25	导航 1 号/2 号频率 选择 ^⑤	全量程	4	如安装
26	测距机 1 号和 2 号 距离 ^{⑥⑦}	0~370 海里	4	如安装
27	起落架准备电门状态	分离信号	1	
28	近地警告系统	分离信号	1	
29	迎角	全量程	0.5	如安装
30	各液压系统(低压)	分离信号	2	
31	导航数据	(经度/纬度、地速和 偏流角) ^⑦	1	如安装
32	起落架或选择手柄 位置	分离信号	4	如安装

① v_{so} ——失速速度或者陆状态下的最低稳定飞行速度;

② v_D ——设计俯冲速度;

③记录足够的信息以确定发动机功率;

④用常规操纵系统的飞机适用于“或”逻辑,用非机械操纵系统的飞机适用“与”逻辑,利用一个分离信号代替各舵面的状态;

⑤如果是数字格式的信息,可直接使用;

⑥可以任选惯导系统或其他系统来的纬度和经度信息;

⑦如果信息易于接入,可以记录导航数据,在记录容量允许的条件下,可以考虑增加记录飞机电子飞行仪表的信息、一个或多个刹车压力(用以调查冲出跑道和中断起飞)、增加发动机参数(发动机压力比、 N_1 转速、发动机燃气温度、燃油流量)等。

所有直升机应装有驾驶舱话音记录器,如果飞机上没有安装飞行数据记录器,至少利用话音记录器的 1 个磁道记录主旋翼转速。话音记录器应连续工作,至少保留最近工作的 30 分钟信息。

直升机飞行数据记录器所记录的参数见表 1-2。

表 1-2 中,30 个参数适于 IV 型飞行数据记录器,而前 15 个参数适于 V 型飞行数据记录器。