

飞行事故调查与分析

# 飞行事故 调查与分析设备

FEIXING SHIGU DIAOCHA YU FENXI SHEBEI



武维新 张楠 编著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

《飞行事故调查与分析》

# 飞行事故 调查与分析设备

武维新 张楠 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

飞行事故调查与分析设备 / 武维新, 张楠编著. —北京: 国防工业出版社, 2010. 12

ISBN 978 - 7 - 118 - 07366 - 9

I. ①飞... II. ①武... ②张... III. ①飞行事故 - 调查 ②飞行事故 - 事故分析 IV. ①V328. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 029620 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850 × 1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{8}$  字数 166 千字

2010 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 28.00 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

100 多年前飞机的诞生彻底地改变了人类的生活,我们的世界因此变成了一个“地球村”。民用航空经过 100 年的发展,已经成为最安全的交通工具。据统计,世界民航每亿客千米死亡 0.05 人,形象地比喻,相当于一个人每天乘飞机飞行 10000km,550 年才会遇到一次导致死亡的飞行事故。中国航空安全工作在党和政府的高度关注指导下,也保持了较好的安全形势。

尽管飞行事故概率是如此之低,但是,一旦发生飞行事故,将造成人身伤亡和重大财产损失,影响到人民群众切身利益,也影响到社会稳定与和谐发展。随着航空事业的迅猛发展,航空安全工作迎来了新的发展机遇和挑战。如何对飞行事故进行调查和分析、找到确实的事故原因、给出客观公正合理的结论、采取有效的解决措施以避免今后重复发生同类飞行事故,这是一个极其重大的研究课题。

飞行事故调查与分析是一项技术性很强的复杂工作,涉及到人、设备和环境,不但要求从业人员具备深厚的专业理论知识、丰富的实践经验,而且要求具有高度的责任感、独立的个人品格。我们根据长期从事飞行事故调查与分析的工作经验,编写了《飞行事故调查与分析》丛书,包括《飞行事故调查与分析导论》、《典型飞行事故调查与分析方法》、《飞行事故调查与分

#### IV

析设备》三部著作。

本书为第三册《飞行事故调查与分析设备》，主要介绍了飞行事故调查与分析过程中常用的航空数据记录器、无损检测分析设备、失效分析设备和油液检测分析设备。当然，还会用到其他仪器设备，由于篇幅所限没有一一介绍。

本书编写过程中，得到了北京航空工程技术研究中心董伟凡、陈荣、宋兰琪、郑勇、齐共金等同志的帮助，在此表示衷心感谢。

作者期望本套丛书的出版，有助于掌握飞行事故调查与分析规律，规范飞行事故调查与分析工作，普及飞行事故调查与分析知识。由于作者水平所限，缺点和不足在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2010年12月

# 目 录

<b>第 1 章 航空数据记录器</b> .....	1
1.1 磁带式飞行数据记录器 .....	2
1.1.1 基本工作原理 .....	3
1.1.2 举例 .....	5
1.2 固态式飞行数据记录器 .....	21
1.2.1 基本工作原理 .....	21
1.2.2 操作使用方法 .....	24
1.2.3 举例 .....	27
1.3 座舱音频记录器 .....	76
1.3.1 系统组成及基本工作原理 .....	76
1.3.2 举例 .....	81
<b>第 2 章 无损检测分析设备</b> .....	88
2.1 工业 CT .....	88
2.1.1 基本工作原理 .....	89
2.1.2 操作使用方法 .....	93
2.1.3 失效分析实例 .....	94
2.2 声发射系统 .....	97
2.2.1 基本工作原理 .....	97
2.2.2 操作使用方法 .....	103
2.2.3 失效分析实例 .....	106
2.3 便携式 X 光机 .....	107
2.3.1 基本工作原理 .....	108
2.3.2 操作使用方法 .....	114

2.3.3	失效分析实例 .....	120
2.4	超声波探伤仪 .....	121
2.4.1	基本工作原理 .....	122
2.4.2	操作使用方法 .....	126
2.4.3	失效分析实例 .....	128
2.5	涡流探伤仪 .....	129
2.5.1	基本工作原理 .....	129
2.5.2	操作使用方法 .....	132
2.5.3	失效分析实例 .....	134
<b>第3章</b>	<b>失效分析设备 .....</b>	<b>137</b>
3.1	扫描电子显微镜 .....	137
3.1.1	基本工作原理 .....	137
3.1.2	操作使用方法 .....	147
3.1.3	失效分析实例 .....	149
3.2	X射线能谱仪 .....	158
3.2.1	基本工作原理 .....	158
3.2.2	操作使用方法 .....	163
3.2.3	失效分析实例 .....	164
3.3	光学显微镜 .....	167
3.3.1	基本工作原理 .....	167
3.3.2	操作使用方法 .....	171
3.3.3	失效分析实例 .....	174
3.4	透射电子显微镜 .....	178
3.4.1	基本工作原理 .....	178
3.4.2	操作使用方法 .....	181
3.4.3	失效分析实例 .....	185
<b>第4章</b>	<b>油液检测分析设备 .....</b>	<b>187</b>
4.1	原子发射光谱仪 .....	187
4.1.1	基本工作原理 .....	187

4.1.2	操作使用方法	191
4.1.3	失效分析实例	192
4.2	FT-IR 红外光谱仪	195
4.2.1	基本工作原理	195
4.2.2	主要操作方法	198
4.2.3	在失效分析中的应用	201
4.3	X 荧光光谱仪	204
4.3.1	基本工作原理	204
4.3.2	操作使用方法	207
4.3.3	在失效分析中的应用	207
<b>参考文献</b>		<b>211</b>



# 第 1 章 航空数据记录器

航空数据记录器是飞行数据记录器概念的外延和扩大。传统的飞行数据记录器是一种用于记录飞行状态、操纵状态和飞机/直升机、发动机有关信息的机载自动记录装置。航空数据记录器按用途可以分为事故型记录器和状态监控型记录器;按记录信息类型可以分为飞行数据记录器、座舱音频记录器、视频记录器以及空中交通管理系统记录器等;按工作原理可以分成划痕式、磁记录方式、微电子学方式记录器等;按记录介质可以分为胶片式、金属箔式、钢丝式、磁带式、磁泡式、光盘式、半导体存储芯片式等。事故型记录器是一种具有抗毁保护壳体的飞行数据记录器,该装置有一定抗冲击、耐高温、抗化学腐蚀的保护能力,以便在飞机发生事故后获取所记录的各种信息。座舱音频记录器是一种用于记录飞行人员无线电通话和舱内谈话以及各种音响的机载自动记录装置。视频记录器记录包括驾驶舱内环境、乘员活动情况、仪表及控制面板情况的图像信息。交通管理信息系统记录器记录与航迹对应的信息以及通过数据链传播的非语音指令信息。事故型记录器包括飞行数据记录器、座舱音频记录器、视频记录器和交通管理信息系统记录器等。事故型记录器主要为飞行事故调查取证提供有关飞机及其系统工作状态,以及飞机乘员状态的信息。状态监控型记录器是没有抗毁能力的飞行数据记录器,与事故型记录器相比,记录容量较大,其主要用途是为飞行人员提供飞机飞行过程中的飞行品质信息,以及为机务维护人员提供飞机及其系统的工作状态信息。随着科学技术的发展,有些记录器的功能实现了合并,

出现了组合式记录器。

## 1.1 磁带式飞行数据记录器

磁带式飞行数据记录器以磁带作为记录介质,该项技术的应用始于20世纪60年代末期和70年代初期。

美国航空无线电设备公司(ARINC)随着技术的不断发展,为磁带数据记录器的数据传输和记录制定了规范,如ARINC 542/542A记录器规范、ARINC 573飞机综合数据系统规范、ARINC717飞机数据获取和记录系统规范等。

按ARINC 542/542A规范生产的飞行数据记录器内部装有数据采集组件,可以引入各种模拟信号和离散信号。由于传输线和接口的限制,记录参数较少,一般只能记录18个参数,即使是扩展型也只能记录30个左右参数,只能满足事故分析的最低要求。

ARINC 573飞机综合数据系统规范使数据采集成为一个独立部分,飞行数据记录系统分为数据采集和记录两个组件,即飞行数据获取组件(FDAU)和飞行数据记录器(FDR),基本格式为每4s组成1帧,每帧有4个副帧,每副帧有64个字,每个字可以记录12位。这种每秒64字的记录格式,记录参数不超过100个。ARINC 717格式是ARINC 573的扩展型,采用超级帧记录和提高记录速度的方法,由每秒64字提高到每秒128字或256字,参数记录量增加到数百个。

20世纪80年代早期出现了数字式航空电子系统,ARINC 429数字式数据总线和ARINC 717数字式飞行数据获取组件(DFDAU),大大增强了FDR的记录能力。飞机绝大多数系统的数据经数据总线传递给数字式飞行数据记录器(DFDR),按哈佛双相编码,以数字形式记录在磁带上。这种记录器可记录更多的

飞行参数。能保留最后 25h 的飞行数据,循环记录而无需经常更换磁带,同时还满足了坠毁和火烧环境下保护记录介质的更高要求。

## 1.1.1 基本工作原理

### 1.1.1.1 磁带记录器的基本结构

磁带记录器(亦称磁带机),主要由三部分组成。

#### 1. 记录和重放

磁带机记录时,通过记录放大器将输入信号放大,并调理成适于记录的信号格式,送记录磁头。提供给记录磁头的信号可以是模拟量形式,也可以是数字量形式,以模拟量形式记录的称为模拟磁带记录器,以数字量形式记录的称为数字磁带记录器。磁带机重放时,重放放大器将重放磁头读出的信号放大,并且调理为所需要的格式,形成输出信号。

#### 2. 磁头

磁头通常包括记录磁头、重放磁头和消磁磁头。记录磁头的功能是将输入的电信号转换成磁通,使磁带处于相应的磁化状态,实现电磁转换,从而实现将信号存储于磁带上。重放磁头在重放过程中将磁带磁化状态复原成电信号,实现磁电转换。当需要将磁带上存储的信号抹除时,可利用消磁磁头(亦称抹磁磁头)抹去磁带上信号。

#### 3. 磁带及其传动机构

磁带通常由聚酯塑料薄带为带基,带基的一面用黏结剂粘上磁性物质。也有的磁带以冷轧钢带作为带基。

磁带传动结构应保证磁带作匀速运动和稳定的增减速运动。

### 1.1.1.2 磁带的记录方式

如前所述,按照记录信息的类型分类,磁带的记录方式可以分为模拟式记录方式和数字式记录方式。

### 1. 模拟式记录方式

模拟式记录方式又可分为直接记录方式、调频记录方式和脉宽调制记录方式。

#### 1) 直接记录方式(DR)

直接记录方式是一种最简单、应用最早和最普遍的记录方式。直接记录方式的优点是:结构简单、成本比较低、工作频带宽度一般为50Hz~2MHz。缺点是:信号幅值变化较大;低频响应较差,通常不能用于记录50Hz以下的信号。

直接记录方式适合用于频带宽度要求比较高和幅值变化要求比较低的场合。

#### 2) 调频记录方式(FM)

调频记录方式(亦称频率调制方式)是目前磁带记录器中应用较多的一种记录方式。

调频记录的优点是:可以记录静态过程,信号衰减小,频率变化对相位偏移的影响极小,重放波形精确。它的缺点是:结构比直接记录方式复杂,成本较高,且工作频带比直接记录方式窄,信息记录密度也比直接记录方式小。

#### 3) 脉宽调制记录方式(PWM)

脉宽调制记录方式适用于记录多路低频信号。

脉宽调制记录方式的优点是便于对多路信号进行记录。它的缺点是工作频带窄。

### 2. 数字式记录方式

数字式磁带记录器的特点是,被记录的信号只是二进制的“0”和“1”,磁带的数字记录是基于磁带上的磁性层的正或负方向的饱和磁化,可以不考虑磁性介质的线性要求。数据以一连串脉冲形式存储在磁带上,将脉冲转换成相应的饱和磁化而进行记录。

通常,数字式记录方式包括如下的编码方法:归零制、不归零

制、相位制、延迟调制、哈佛双相制等。

### 1.1.2 举例

通用型飞行数据记录器(UFDR)是美国 Sundstrand 公司生产的一种性能优良、功能较完善的记录器。该种类型记录器为磁带记录介质,具有抗坠毁保护功能,能连续记录 25h 的信息。记录器内部装有数据采集部件,可以引入各种模拟信号和离散信号,也可以通过 ARINC429 总线直接从飞行综合数据系统的数据采集组件获得数字信息。记录器内装有备用的静压和全压传感器,可在无大气数据计算机系统的飞机上自主计算高度和空速。记录器外部安装水下定位装置,当飞机坠入水中后发出救援无线电信号,便可确定飞机坠毁的位置。另外,还装有一个外部设备插头,通过该插头可以与磁带卸载器或检查仪连接。

#### 1.1.2.1 基本结构

记录器封装在一个标准的 ARINC404 1/2ATR 长方形匣中,固定在无减振架的飞机安装架上,图 1.1 是记录器外形图。

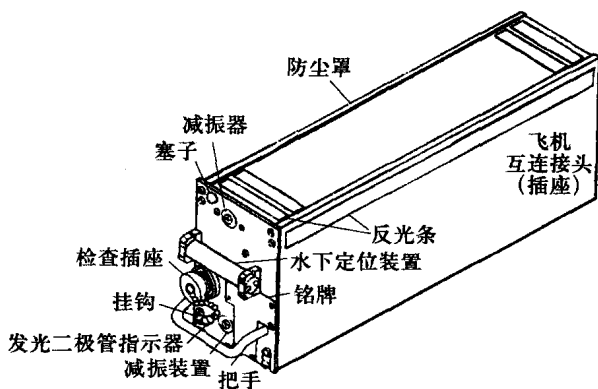


图 1.1 通用型飞行数据记录器外形

### 1. 基本型

如图 1.2 所示,记录器的基本型包括如下部件。

- (1) 外壳。
- (2) 前面板/机架组件。
- (3) 步进电机磁带驱动装置和保护型磁带封闭组件。
- (4) 电源组件 A1。
- (5) 读/写接口 A2。
- (6) 传输装置接口 A3。
- (7) 记录系统控制器 A4。
- (8) 飞机连线接口 A8。
- (9) 水下定位装置(水下定位装置是个独立装置,附加在记录器的前面板上)。

基本型仅有数字式飞行数据记录的功能,必须与飞机上的数据采集组件对接,才能构成 ARINC573/717 方式的飞行数据记录器。

### 2. 附加装置

除了前面所述的(1)~(9)项以外,记录器内还装有数据采集控制部件 A5 和数据采集接口 A6。当该记录器安装在小型飞机上时,由于飞机上无综合数据系统(AIDS),必须利用该记录器内部自备的数据采集系统对各种模拟输入的信号和分离信号进行采集,并转换成数字信号,这就是 ARINC542 方式的飞行数据记录器。

飞行数据记录器 ARINC542 扩展型除了基本型和上述的附加设备外,还加装了数据采集部件的扩展接口 A7,以便引入足够多的信号。

备用的气动组件 A9,仅在大气数据系统失效或无大气数据计算机的飞机上应用。

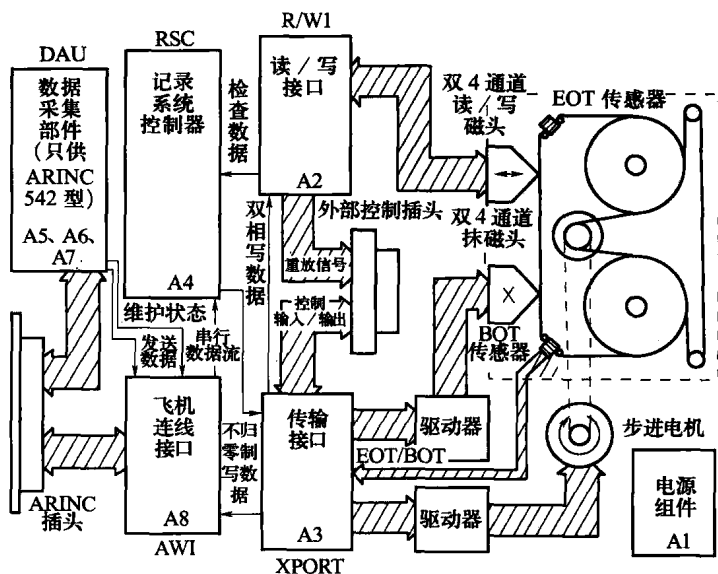


图 1.2 通用飞行数据记录器功能方块图

### 3. 产品的识别

#### 1) 外壳

外壳是一个不锈钢盒子。该盒子上安装了飞机连接插头和前面板部件，整个记录器装在此盒内，外壳起保护作用，防止尘土入内，包括失火在内的意外事件中，保护层能隔离火焰，以增强其隔热性能。

为了便于寻找在意外事件中失落的记录器，外壳涂成国际通用的橙红色，并在左右两侧标有较大的黑色字母，有的两侧都是英文“FLIGHT DATA RECORDER DO NOT OPEN”，有些记录器的一侧为英文，另一侧为法文“REGISTREUR DE VOL NE PAS OUVRIER”，通常这些字母都是用黑色耐火材料涂成的。另外，外壳的左侧、右侧、顶部、底部及后部都装有反光条。

## 2) 铭牌

通用飞行数据记录器的基本型是 DFDR, 由于配置的附加部件不同, 所以, 该设备分为不同的型号。在记录器前面板上有一个铭牌, 标注着该记录器的型号, 如图 1.3 所示, 980-4100 加上 4 个字母构成了该设备的编码:

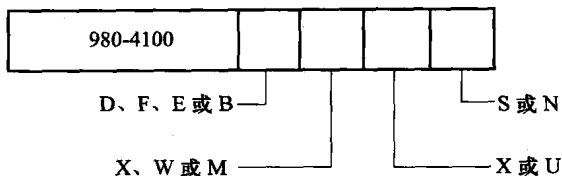


图 1.3 铭牌

D——ARINC573/717。

F——ARINC542。

E——扩展参数的 ARINC542。

B——基本型(与 D 相同)。

X——无传感器组件。

W——装有快速拆卸的传感器组件。

M——装有军用标准的传感器组件。

X——没有装水下定位装置。

U——出厂时已装水下定位装置。

S——标准机壳。

N——非标准机壳。

例如,代号为 980-4100DXUS 时,表示该 UFDR 为 ARINC573/717 型,内部无传感器组件,装有水下定位装置,标准机壳。

## 1.1.2.2 基本工作原理

## 1. 数据输入

记录器无论是从飞机上的综合数据系统获取数字信息,还是从记录器内部的数据采集系统(DAS)获取数字信息,都必须具有



以下特点。

(1) 输入的数据字结构是哈佛双相编码制。

(2) 数据传输速率为每秒 64 个字符,每个字符 12 位。

(3) 每 64 个单字组成一个副帧,4 个副帧组成一个记录帧,64 个单字排列顺序是固定的,如同步字、垂直加速度、航向、俯仰、精高度、(气压)高度、襟翼位置等。

## 2. 数据处理

如图 1.2 所示,由飞机系统的连接插头(ARINC 插头)输入的飞行参数可以是模拟信号,也可以是数字信息。数字信息通过该插头的 ARINC429 总线销钉直接传送到飞机连线接口(AWI)A8,这就是 ARINC573/717 型记录器;如果输入的是模拟信号和离散信号,则通过该插头规定的销钉传送到数据采集部件(A5、A6、A7),这就是 ARINC542 型记录器。

在飞机连线接口 A8 中有一块“机型探测器”可自动探测出该记录器是工作在 ARINC573/717 型还是 ARINC542 型。接口 A8 中有一个维护状态继电器和一个系统状态继电器。在维护状态,隔离飞机来的任何信息(模拟和数字信息),即工作在人工控制状态;在系统状态时记录器处于记录工作状态,此时该接口中的多路调制器对输入的数据源进行选择,选择的数据经 TTL 电平变换电路成为串行二进制编码的数据流,传送到记录系统控制器 A4(RSC)。

数据采集部件包括微处理器、模拟多路调制器、模/数转换器等。微处理器的主要功能是定时和运算,分时获得各飞行参数的数字信息。

记录系统控制器 A4 是以微处理器为核心的控制系统,它主要控制读/写电路的磁道选择、数据的写和读、检查冲程、电机控制逻辑及系统监控等功能。记录系统控制器包括 8 位中央处理机、时钟发生器、总线驱动器、系统定时控制器(STC)、可编程通信接口