

文章编号:1674-8190(2017)01-109-06

# 直升机飞行参数记录系统设计与典型故障分析研究

潘永生<sup>1</sup>, 张凤梅<sup>2</sup>, 张录龙<sup>2</sup>

(1. 海军驻哈尔滨地区航空军事代表室, 哈尔滨 150066)

(2. 哈尔滨飞机工业集团有限公司 工程技术部, 哈尔滨 150066)

**摘要:** 飞行参数记录系统能有效提高飞行训练的安全性。根据直升机飞行安全需要, 结合工程经验, 对直升机加装飞行参数记录系统进行分析研究, 介绍飞行参数记录系统的基本组成和原理、加装原则和相关标准以及飞行参数的校准方法; 对飞行参数记录系统两个典型故障进行诊断分析, 并提出解决方案。飞行参数记录系统相关设计的研究能够为工程技术人员在进行设计应用时提供一种思路和参考。

**关键词:** 飞行参数记录系统; 记录器; 标校; 故障诊断; 直升机

中图分类号: V248.2

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2017.01.017

## Research on the Design of Helicopter Flight Data Recording System and Typical Fault Diagnosis

Pan Yongsheng<sup>1</sup>, Zhang Fengmei<sup>2</sup>, Zhang Lulong<sup>2</sup>

(1. Naval Military Representative Office in Harbin, Harbin 150066, China)

(2. Engineering Department, Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd., Harbin 150066, China)

**Abstract:** The flight data recording system is an efficient way to improve the safety of flight training. According to flight safety requirements of the helicopter, combined with the engineering experiences, the basic composition and principle of the flight data recording system, recording parameters selection principle and flight parameter calibration method are discussed. Two typical fault diagnosis and solution methods in the application of flight data recording system are listed. This research can provide reference for engineers in the design and application of helicopter flight data recording system.

**Key words:** flight data recording system; recorder; calibration; fault diagnosis; helicopter

## 0 引言

直升机飞行参数记录系统(以下简称飞参系统)主要用于监测直升机飞行过程中各系统的状态参数,包括姿态参数、发动机参数、各种告警信号以及飞行员通话信息和座舱语音信息等。在飞行结束后,将记录的飞行数据信息提供给地面信息处理设备,通过信息处理系统为直升机的运行轨迹动态模拟、故障诊断与机务维修<sup>[1]</sup>、发动机性能监控<sup>[2]</sup>、直升机性能管理、直升机飞行安全预测<sup>[3]</sup>、事故调

查与分析、飞行品质监控<sup>[4]</sup>、发动机的变化趋势及寿命预测<sup>[5]</sup>、辅助飞行训练等提供依据。飞参系统能够有效提高飞行训练的安全性<sup>[6]</sup>,并能对日常维护提供参考帮助。

飞参系统由最初记录几个参数发展到目前记录数百乃至上千个参数,记录器的存贮技术发生了翻天覆地的变化。一般记录器的抗坠毁性能达到了3 400 g<sup>[7]</sup>,满足ED-112标准<sup>[8]</sup>,国内的记录器最高可以承受6 000 g以上的冲击。

当前,美国、英国、俄罗斯、澳大利亚等20多个国家正在发展“飞行实时监控系统”,并取得了一定成就。“飞行实时监控系统”能在视距范围内或远距离通过卫星将单架或多架航空飞行器飞行参数

收稿日期:2016-10-11; 修回日期:2016-11-22

通信作者:潘永生,836356439@qq.com

信息及卫星导航定位信息实时、准确地传送回地面塔台或指挥所,在地面实时显示航空飞行器的位置、姿态、航迹以及重要的飞行参数和飞行技术状态参数,辅助指挥员进行指挥和监控飞行训练质量,帮助指挥员实时掌握空中动态,及时指导飞行员正确处置空中特殊情况。同时,该系统还能将飞行全过程的数据同步记录在地面塔台计算机的硬盘上,一旦发生飞行事故,即使“黑匣子”<sup>[9]</sup>损坏或者无法找到,也能为分析调查事故原因提供科学依据。国内制造商也开始生产具有实时数据传递功能的飞参系统,并已经过实际检验,各项指标均达标。

此外,国内外一些企业开始采用云计算等新兴手段,将“黑匣子”数据实时发送到云数据库中,形成“云匣子”,只需要直接从服务器中查询,就可以查看航空飞行器上的各种参数。虽然在航空业内对于“云匣子”没有统一的定义,但已经达成共识——“云匣子”方案通过云计算将原本记录在“黑匣子”中的数据通过卫星实时传输到地面并记录,而不再使用记录器,相信不久就会出现“云匣子”<sup>[10]</sup>。

鉴于飞参系统对于航空飞行器的重要性,国内直升机也都普遍加装了飞参系统,因此本文对飞参系统的工作原理、设计依据的标准规范以及实际生产加装时遇到的故障问题进行总结与研究,以期为飞参系统设计提供参考。

## 1 系统组成与工作原理

### 1.1 系统组成

国外生产飞参系统的公司很多,例如美国的L3公司、Honeywell公司、洛克希德·马丁公司、联信公司,英国的史密斯公司等。不论是国外还是国内的飞参系统,其原理基本一致,组成相似。飞参系统由机载设备、地面维护设备以及专用采集处理软件组成。机载设备包括飞行参数采集器、记录器、快取记录器和音频监控器,地面维护设备包括卸载校验器和地面站。

### 1.2 系统工作原理

飞参系统的原理图如图1所示。飞参系统采用大规模集成电路、固态存贮及抗坠毁等技术,可以完成机上模拟量、开关量、数字量、频率/周期量

等信号的采集,这些参数经过采编器进行采样、量化,并按照一定的帧格式对信号进行编码,所有信号以数字量(ARINC717或HDLC)的形式存入记录器和快取记录器中。存储在记录器和快取记录器内的参数信息,由卸载校验器读取,通过数据回放译码设备,即地面站将原始码还原成物理量,以数据表格、曲线、图形报表和三维仿真等方式显示或打印输出,供飞行相关人员分析使用。

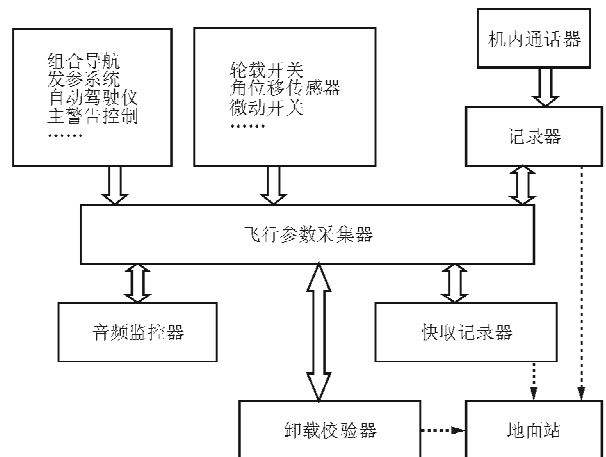


图1 飞参系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of flight data recording system

## 2 飞参系统加装基本原则及相关标准

国外的固定翼飞机和直升机最先应用飞参系统,随着国内直升机交付用户数量的增多,军、民用市场的拓展,直升机在国防力量建设和生产、生活中发挥越来越重要的作用。随着使用的频繁,事故征候、等级事故不断发生,造成很大损失,若不加装飞参系统,事故真正原因将难以查证。

### 2.1 飞参系统加装原则

不同用户对直升机的飞行参数记录系统使用需求也不尽相同。民用航空用户按需求需要对直升机强制加装,部队用户使用的直升机需满足国家军用标准要求,特殊用户使用的直升机必须满足用户提出的额外加装要求。

#### 2.1.1 国际民用航空组织强制要求

国际权威机构例如英国民航局(CAA)和美国航空管理局(FAA)已分别立法,要求民用航空运输机(包括直升机)装配飞参系统和座舱音频记录

系统,并作为民用航空运输机适航认证或注册的依据。1995 年国际民用航空组织(ICAO)要求所有起飞质量超过 2 700 kg 的旋翼机装配飞参系统和座舱音频记录系统。

马来西亚航空公司“MH370 事件”后,欧洲航空安全局(EASA)对飞行数据记录器提出了更加严格的规定,座舱音频记录时间由 2 小时延长至 20 小时,记录器电池寿命由 30 天延长至 90 天。

### 2.1.2 中国民用航空局强制要求

中国民用航空局(CAAC)响应国际民用航空组织要求,分别在 CCAR-27-R1《正常类旋翼航空器适航规定》<sup>[11]</sup>和 CCAR-29-R1《运输类旋翼航空器适航规定》<sup>[12]</sup>中对安装的记录器作出了一系列强制要求,例如选择最可靠的汇流条为其供电,记录的空速、高度、航向等数据精度等必须满足要求,记录器的颜色为国际橙,记录器的外表面必须带有反射条及水下定位装置等。CCAR-91-R2《一般运行和飞行规则》<sup>[13]</sup>也进行了相关规定,例如自 2005 年 1 月 1 日后首次颁发适航证、最大审定起飞质量超过 3 180 kg 的旋翼机,应安装满足附录 F 规范的 IVA 型飞行数据记录器,所有类型的飞行数据记录器应能保留运行过程中至少最后 10 小时所记录的信息。

### 2.1.3 国家军用标准要求

国家军用标准没有明确要求强制装配飞参系统,但 GJB 2883—1997《机载飞行数据记录器通用规范》<sup>[14]</sup>和 GJB 6346—2008《军用直升机飞行参数采集要求》<sup>[15]</sup>明确了记录参数。

### 2.1.4 用户的特殊使用要求

针对不同用户需求,以及直升机上任务系统的不同,记录参数的选择上稍有差别,有的用户对罗盘等电子设备没有进行数据采集。

## 2.2 飞行参数选取原则

在进行飞参系统设计时,记录参数以 GJB 6346—2008 规定的参数为基础,根据用户的使用需求、直升机状态以及任务系统确定需要记录的飞行参数。记录的飞行参数确保能够满足作战训练和飞行安全要求,满足地面数据回放分析等使用需求,能够为直升机维护提供数据参考。

### 2.2.1 民用航空条例规定

CCAR-91-R2 第 433 条规定:所有 2005 年 1

月 1 日后首次颁发适航证、最大审定起飞质量超过 3 180 kg 的旋翼机,记录的数据应满足附录 F 规范的 IVA 型飞行数据记录器要求。旋翼机 IV 型飞行数据记录器需要记录 30 个/类数据,旋翼机 V 型飞行数据记录器需要记录 15 个/类数据,如果有更多的记录容量,应当考虑记录电子显示系统,例如电子飞行仪表系统(EFIS)、航空器中央电子监视系统(ECAM)、发动机指示和机组告警系统(EICAS)的工作信息等附加信息。

### 2.2.2 国家军用标准规定

GJB 2883—1997 适用于军用固定翼飞机和旋翼机,其附录 B 中规定了军用直升机强制记录参数的种类和可选记录的参数种类。GJB 6346—2008 仅针对直升机有效,综合考虑了各型直升机上可能安装的系统和设备,详细说明了直升机需要记录的飞行参数。GJB 6346—2008 中规定:采集参数的选择,由订购方根据实际需要选取;采集种类和数量可根据不同机型直升机而定。

### 2.2.3 依据用户的使用需求

不论是民用航空条例还是国家军用标准,均没有包含直升机上加装的任务系统参数,根据用户的不同需求,会在民用航空条例或国家军用标准的基础上增加相应的任务系统参数,但新增的任务系统参数不能影响直升机的安全。

## 2.3 飞参系统设备安装要求

- (1) 记录器应安装在坠毁幸存概率最大位置处;
- (2) 快取记录器应安装在便于操作的位置处;
- (3) 音频监控器应安装在易于拾取舱音位置处。

## 3 通道标校及数据处理

飞参系统加装完成后,必须进行数据的标校工作,确保记录的数据可靠、准确。飞行参数采集通道标校通过建立或修正“参数校准曲线”,达到减少飞行参数采集器的采集误差,间接检验每个通道工作是否正常,同时还可以检测同一个传感器通道的仪表指示是否超差,间接判断仪表通道的性能。

### 3.1 通道标校方法

飞行参数采集通道标校分为插值点标校和验

证性标校两种方法。

插值点标校是建立飞行参数的物理量工程值与二进制代码之间的关系——参数校准曲线。参数校准曲线是飞行参数记录系统解码的依据。插值点标校主要对象是模拟量参数,例如液压压力、滑油压力、燃油压力、发动机排气温度和大气总温等参数。

验证性标校是根据飞行参数的物理量工程值与二进制代码之间确定的函数关系,例如频率量、开关量、数字量和辅助参数等,检查输入对应的输出。

在实际标校时一定要注意参数值的极性。飞行参数采集通道标校结束后,飞行数据管理人依据“飞参标准工艺卡”按权限修改飞行数据地面站软件相关通道的参数校准曲线,如果发现个别参数标校的数据有异议,需要对相关通道进行重新校准,必要时对直升机相关系统进行技术排查。

### 3.2 通道标校时机

为保证飞参系统正常工作,记录的数据能够真实反映直升机的工作状态,减少误判,一般在下列情况下必须进行校准工作。

- (1) 直升机上首次安装飞参系统;
- (2) 更换、调整传感器;
- (3) 角位移传感器与操纵机构间的传动连接受到破坏或调整后;
- (4) 直升机维护规程规定的期限;
- (5) 飞机大修出厂前;
- (6) 飞参判读怀疑数据不准时。

### 3.3 数据的判读

飞行参数数据判读工作主要由专业人员完成,一个飞行参数数据报表涉及几十个参数,包含1~2小时的飞行数据,如果漫无目的判读,容易产生漏判,因此必须按照一定原则进行判读。

通常是分阶段、分系统进行人工判读,工作量比较大,但是准确性高。一般将直升机的整个飞行过程分为六个阶段:发动机启动阶段、滑跑阶段、起飞离地阶段、空中飞行阶段、着陆阶段和接地阶段。直升机飞行的每个阶段都有一定特点,其飞行数据具有一定的规律性,掌握这些规律能增强判读的效率和准确率,也是判读人员掌握飞行参数数据判读

技术的基础。目前,可以利用专业软件进行快速判读,直接生成报告,能极大地提高效率。无论是哪种数据判读方法都要有所侧重,对关键系统和设备,例如发动机、液压系统的工作状态要进行重点数据分析,以确保直升机的飞行安全。

## 4 典型故障诊断分析

飞参系统在通电检查过程中,会遇到地面联试不易出现的一些问题,下面就两个典型故障进行分析,以便更深入地了解飞参系统。

### 4.1 阻抗不匹配

**故障现象:**未接通飞行参数记录系统断路器前,发动机扭矩表和滑油压力表不指示,接通后指示正常。

**原因分析:**经采集器线路检查和测试分析,扭矩传感器信号和滑油压力传感器信号均为电桥形式的信号输出,在采集器不上电时,采集器模拟采集通道阻抗过低,使扭矩传感器信号和滑油压力传感器信号电桥阻抗不匹配,相应传感器不输出信号,造成了上述故障现象。

**解决措施:**将连线更换到采集器里高阻抗的通道上进行采集,经过地面检查和飞行试验验证,发动机组合仪表上的扭矩和滑油压力显示参数和飞行参数记录系统记录的数据正确,故障排除。

### 4.2 总线信号故障

**故障现象:**发动机发参采集单元(EECU)输出给飞行参数记录系统的 ARINC429 总线信号,不能被其接收到。

**原因分析:**这一故障可能是由于 EECU 负载能力不足、总线数据格式定义不匹配、线路原因或飞行参数记录系统故障造成的。

#### (1) EECU 负载能力不足

EECU 同时与发参显示器和飞行参数采集器通过 ARINC429 总线进行交联,理论上 1 路 ARINC429 总线发送端可以有 20 路接收端,而 ARINC429 总线只有发参显示器和飞行参数采集器这两个接收设备,不存在带载能力问题。

#### (2) 总线数据源端与目标端格式不一致

借用发动机 EECU 检测设备,从 EECU 的输出端测量发出的数据,结果显示数据正常,并按照

接口控制文件中的规定,详细核对目标接收端的定义,确定源端与目标端格式一致。

### (3) 线路原因

如果机上的导线未按照图纸进行施工,将飞行参数采集器的信号线连接到别的位置,也会产生这个故障。断开飞行参数采集器、EECU、发参显示器插头,使用万用表按照图纸进行导通测量,机上线路符合图纸要求。

### (4) 与飞参系统相交联产品质量问题

由于飞参系统内的元器件差异、内部电路设计缺陷,或者与其相交联的产品有设计缺陷和质量问题时也会产生这种故障现象。连接 EECU 插头,并接通机上电源,使飞行参数采集器 ARINC429 总线输入端的单端对地,用示波器测量波形如图 2 所示,可以看出:单端对地波形正常。

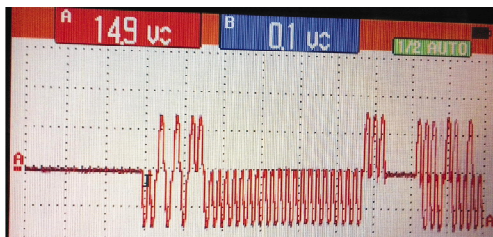


图 2 单端对地波形图

Fig. 2 Single end to ground waveform

用示波器测量两端之间的波形,波形如图 3 所示。



图 3 两端之间的波形

Fig. 3 Waveform between two ends

从图 3 可以看出:两端之间只有正半周波形,负半周波形缺失或处于无序状态,其电压接近 0,此情况下导致无法进行曼彻斯特码校验,标准 ARINC429 接收设备无法解析 EECU 数据。为了进一步分析,用数字万用表二极管档位测量单线到地电压时,有 0.7 V 的压降。由此判断在 ARINC-429 传输线路上有二极管接地。

鉴于上述情况,经核对交联状态,发现 EECU 除了与发参显示器、飞行参数采集器相交联外,还与超速告警装置交联,断开超速告警装置插头后,重新测量飞行参数采集器 ARINC429 总线两端之间的波形,波形如图 4 所示,可以看出没有失真和缺失现象。最终故障定位到超速告警装置上,经查资料其内部电路设计未按照标准 ARINC429 总线前置电路进行设计,导致飞行参数采集器不能正常接收数据。

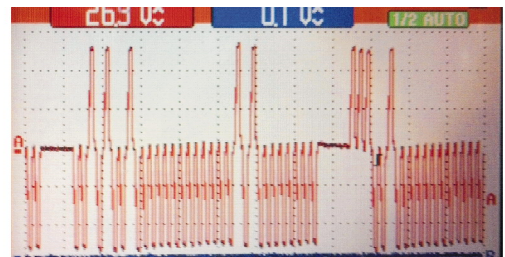


图 4 两端之间正常波形

Fig. 4 Normal waveform between two ends

解决方案:对超速告警装置重新进行内部电路设计,故障排除。

## 5 结束语

通过对直升机加装飞参系统的研究以及在某型直升机上的实际应用,验证了飞行参数系统设计时依据的标准规范、飞行参数的标校方法、飞行参数数据的判读方法等满足飞参系统设计、生产及日常维护保障的需求;通过对飞参系统故障分析及解决,改进了飞参系统的技术设计方案,提高了飞参系统加装在直升机上的适应性,同时为工程技术人员设计及加装飞参系统提供了一定的帮助和指导。

### 参考文献

- [1] Feng Xiaorong, Feng Xingjie. Analyzing QAR data using K-PCA[C]//Proceedings of the 2008 Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, Washington: IEEE Computer Society, 2008: 195-198.
- [2] 徐晓东, 杨宗金, 程广义. QAR 在飞行品质监控分析中的状况分析[J]. 民航科技, 2002(5): 73-78.  
Xu Xiaodong, Yang Zongjin, Cheng Guangyi. QAR application in flight quality control analysis[J]. Civil Aviation Science and Technology, 2002(5): 73-78. (in Chinese)
- [3] Roelne A L C. The development of aviation safety performance indicators: an exploratory study[M]. Netherlands: National Aerospace laboratory, 1998: 12-16.

- [4] Mitchell K, Sholy B, Stolzer A J. General aviation aircraft flight operations quality assurance: overcoming the obstacles[J]. Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, 2007, 22(6): 9-15.
- [5] Clark G J, Vian J L, West M E. Multi-platform airplane health management[C]. Big Sky; Aerospace Conference, 2007.
- [6] 武维新, 张楠. 飞行事故调查与分析导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008, 9: 20-29.  
Wu Weixin, Zhang Nan. The flight accident investigation and analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008, 9: 20-29. (in Chinese)
- [7] DUROCAE ED-155. Minimum operational performance specification for flight data recorder system[S]. Koln; European Organization for Civil Aviation Equipment, 1990.
- [8] DUROCAE ED-112. Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder system[S]. Koln; European Organization for Civil Aviation Equipment, 2003.
- [9] 肖建德. 飞行数据/语音记录器——黑匣子[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993, 9: 1-13.  
Xiao Jiande. Flight data and voice recorder—the black box [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993, 9: 1-13. (in Chinese)
- [10] 陈凯, 丁芃. 从黑匣子到云匣子[J]. 中国科技术语, 2014, 3: 58-60.  
Chen Kai, Ding Peng. From the “Black Box” to “Cloud Box”[J]. China Terminology, 2014, 3: 58-60. (in Chinese)
- [11] 杨元元. CCAR-27-R1 正常类旋翼航空器适航规定[S]. 北京: 中国民用航空局, 2002.  
Yang Yuanyuan. CCAR-27-R1 Airworthiness regulation for normal class rotor aircraft[S]. Beijing: CAAC, 2002. (in Chinese)
- [12] 刘剑锋. CCAR-29-R1 运输类旋翼航空器适航规定[S]. 北京: 中国民用航空局, 2002.  
Liu Jianfeng. CCAR-29-R1 Airworthiness regulation for transport class rotor aircraft[S]. Beijing: CAAC, 2002. (in Chinese)
- [13] 杨元元. CCAR-91-R2 一般运行和飞行规则[S]. 北京: 中国民用航空局, 2002.  
Yang Yuanyuan. CCAR-91-R2 General operation and flight rules[S]. Beijing: CAAC, 2002. (in Chinese)
- [14] 康中华. GJB 2883—1997 机载飞行数据记录器通用规范[S]. 北京: 中国航空综合技术研究所, 1997.  
Kang Zhonghua. GJB 2883—1997 General specification for aircraft flight data recorder[S]. Beijing: China Aero-poly-technology Establishment, 1997. (in Chinese)
- [15] 吴瑞金. GJB 6346—2008 军用直升机飞行参数采集要求[S]. 北京: 中国航空综合技术研究所, 2008.  
Wu Ruijin. GJB 6346—2008 Requirements of flight parameters acquisition for military helicopters[S]. Beijing: China Aero-polytechnology Establishment, 2008. (in Chinese)

#### 作者简介:

潘永生(1978—),男,硕士,工程师。主要研究方向:直升机设计制造。

张凤梅(1970—),女,高级工程师。主要研究方向:直升机工艺技术。

张录龙(1986—),男,工程师。主要研究方向:直升机工艺技术。

(编辑:赵毓梅)

#### (上接第 77 页)

- Nie Yufeng, Zhang Ling, Wang Huiling. The weighted energy orthogonal relation of combined hybrid Wilson rectangular element[J]. Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition, 2014, 42(6): 26-30. (in Chinese)
- [17] Brezzi F, Fortin M. Mixed and hybrid finite element method [M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1991.
- [18] Macneal R H, Harder R L. A proposed standard set of problems to test finite element accuracy[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 1985, 1(1): 3-20.

#### 作者简介:

张玲(1987—),女,博士研究生。主要研究方向:热力学问题的高效有限元方法。

张伟伟(1986—),女,博士,讲师。主要研究方向:自适应并行有限元方法。

(编辑:赵毓梅)