

# 某型直升机滑油压力表指示误差的诊断与排除

邱亚洲<sup>1</sup> 申江江<sup>1,2</sup>

(1. 海军航空工程学院青岛校区 青岛 266041; 2. 海军航空工程学院航空训练基地 青岛 266109)

**摘要:**滑油压力是飞机润滑系统工作状态的重要参数。针对某型直升机换装新型飞参信号适配器后出现机上减速器滑油压力表数值显示偏大的故障,从系统内部结构原理出发,综合现代电路测试技术和正确的分析思路,指出故障现象是由内部运算放大电路设计缺陷导致过压损坏引起的。经过机理分析、故障复现与确认后,参考相关电路设计文献后对运算放大电路重新进行了设计,并进行了实验及实装可靠性验证,排除了故障现象,避免了盲目的分解检查,确保了飞行安全。

**关键词:**滑油压力表;指示误差;故障诊断;故障复现

**中图分类号:** TN72 TH89 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.30

## Oil pressure indicator misdirection diagnosis and removal of a helicopter

Di Yazhou<sup>1</sup> Shen Jiangjiang<sup>1,2</sup>

(1. Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;

2. Aeronautical Training Center of Naval Aeronautical Engineering Institute, Qingdao 266109, China)

**Abstract:** Oil pressure is a valuable parameter indicating condition of aircraft lubrication system problem of reducer oil pressure indicator's value is larger was proposed after installing a new flight data signal adapter and it was pointed out that it was caused by design defect of internal amplifier circuit which led to overvoltage damage. The conclusion was made from internal system structure theory, combining modern electronic testing technology and correct analysis method. Fault phenomenon was removed by redesign of amplifier circuit after mechanism analysis, fault reproduction and validation, referring to relevant literature on the circuit design and experimental and mounting reliability verification. Blind decomposition inspection was avoided, and flying safety was guaranteed.

**Keywords:** oil pressure indicator; misdirection; fault diagnosis; fault recurrence

### 1 引言

滑油压力表用来测量飞机各部分润滑系统的滑油压力,是飞机润滑系统工作状态的重要参数,滑油压力大小直接影响零部件工作时的发热及磨损程度,必须准确测量滑油压力<sup>[1-3]</sup>。

某型飞机在试车过程中发现,换装新型飞参信号适配器后机上减速器滑油压力表数值显示偏大,当断开飞参信号适配器时,减速器滑油压力表数值显示正常。初步判断新型飞参信号适配器影响了滑油压力表正常数值显示。

目前电子线路集成化程度高,能否采用合适的方法对故障进行定位查找是故障检测的关键。现代故障检测方法主要包括观察法、测量法、跟踪法、替换法及开机自检等,目前越来越向智能化检测发展。当系统出现故障或读

数误差后,分析时要遵循由外而内的原则,综合运用多种方法灵活的进行检测。本文从系统原理出发,采用多种故障检测方法 & 检测理念,在内场对故障进行复现,剖析研究了该型适配器引起滑油压力表指示误差的故障原因。研究表明,综合现代电路测试技术和正确的分析思路可以快速准确地对故障进行定位,避免盲目的分解检查,故障原因分析及结果可以举一反三,为相关故障及现象提供可借鉴的案例。

### 2 系统组成及故障排查

#### 2.1 系统组成及连接关系

机上减速器滑油压力表、飞参信号适配器和飞参采集器形成的系统连接关系如图1所示。其中,飞参信号适配器包括接口电路、信号采集电路和电源3大部分。从图1

可以看出:机上压力传感器的信号分两路输出,一路送给滑油压力表,另一路送给飞参信号适配器。压力传感器信号通过机上电缆与飞参信号适配器内部电缆相连,再由内部电缆进入接口电路开始信号转换。其中,每路滑油压力接口电路由信号接口电路和电源接口电路组成。

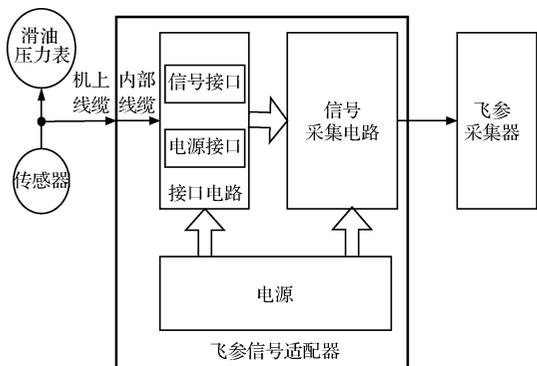


图1 系统连接关系

经分析,机上减速器滑油压力表数值显示偏大的故障树如图2所示。

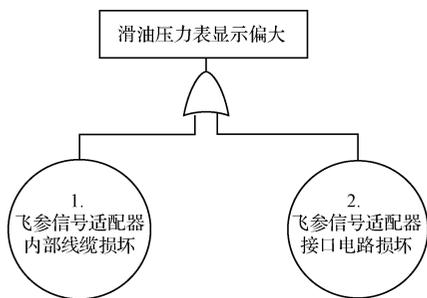


图2 故障树

从故障树可以看出,机上减速器滑油压力表数值显示偏大的原因可能有两个:1)飞参信号适配器内部线缆损坏,2)飞参信号适配器内部接口电路损坏。内部线缆损坏是因为振动、磨损等原因在其导线束之间出现了时断时续的短路现象,接口电路损坏是因为外部输入干扰等原因造成内部电路输入阻抗降低的现象。电源电路、信号采集电路和机上传感器没有直接的电气连接关系,只会造成接口电路的后级故障,而不会影响到与机上传感器相连的前级,不能影响减速器滑油压力表的显示,所以没有列入故障树中。

## 2.2 故障排查

为了准确定位故障原因,对造成现场故障的飞参信号适配器采用多种故障检测进行测试并进行如下排查。

### 1) 内部线缆排查

首先,检查线缆外观和连接器管脚,未发现明显破损现象。其次,根据《飞参信号适配器接线表》文件,对内部线缆各管脚用万用表进行通断测量,未发现不合文件要求的现象;最后,将该线缆换到另外一套正常的飞参信号适

配器上,进行出厂测试依然正常。综上所述,排除内部线缆故障。

### 2) 接口电路排查

为了准确判断接口电路是否有问题,把正常接口电路和故障接口电路进行对比分析。信号接口电路和电源接口电路原理如图3和图4所示。AD628芯片内部电路结构如图5所示<sup>[4-6]</sup>。

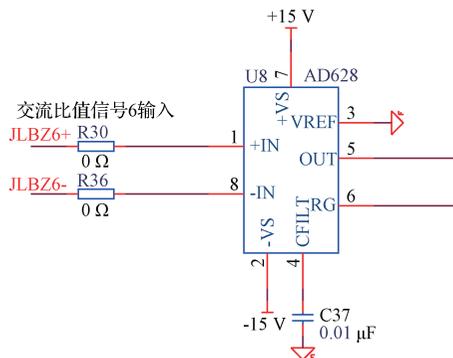


图3 信号接口电路原理

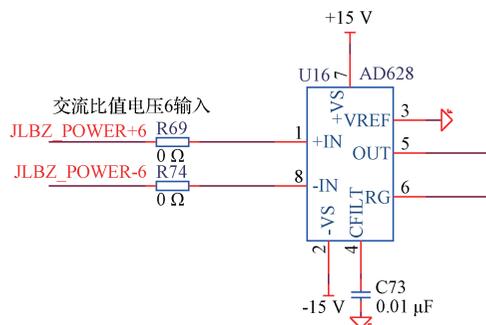


图4 电源接口电路原理

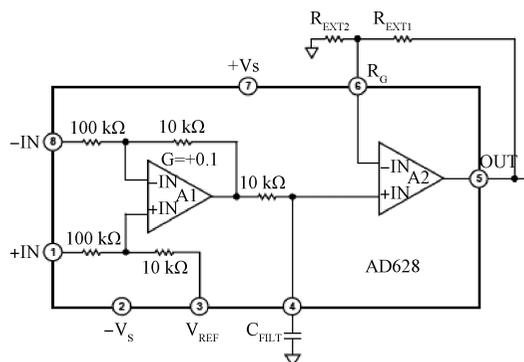


图5 AD628芯片内部电路

图3和图4中,电阻R30和R36、R69和R74的阻值均为0Ω。正常情况下,运算放大器U8和U16的管脚8对地阻值理论值为120kΩ,管脚1对地阻值理论值为110kΩ。在正常情况下,运算放大器U16的管脚8对地阻值理论值为120kΩ,管脚1对地阻值理论值为110kΩ。

对信号接口电路进行实际测量。用万用表测量U8

运算放大器 AD628 的两个输入端(管脚 8 和管脚 1)的对地静态阻值。管脚 8 实测值为 119.6 kΩ, 和理论值 120 kΩ 近似相等, 属于正常状态。管脚 1 实测值为 4.01 kΩ, 远小于理论值 110 kΩ, 表明该管脚内部电路已经损坏。电阻 R30 和 R36 的阻值均为零欧姆, 和标称值一致, 属于正常状态。对电源接口电路进行实际测量。用万用表测量 U16 运算放大器 AD628 的两个输入端(管脚 8 和管脚 1)的对地静态阻值。管脚 8 实测值为 119.8 kΩ, 和理论值 120 kΩ 近似相等, 属于正常状态。管脚 1 实测值为 109.7 kΩ, 和理论值 110 kΩ 近似相等, 属于正常状态。电阻 R69 和 R74 的阻值均为 0 Ω, 和标称值一致, 属于正常状态。

### 2.3 故障结论

排查结果表明, 机上减速器滑油压力表数值显示偏大故障是由适配器内部的信号接口电路损坏造成的, 具体是信号接口电路中的 U8 芯片 AD628 的 1 脚对地阻值变小引起的。运算放大器的损坏是由于设计电路时没有充分考虑到机上减速器滑油压力接口与飞参适配器采集接口之间的输入保护问题, 属于设计缺陷。

## 3 机理分析

由滑油压力表、传感器和飞参信号适配器接口电路组成的等效电路如图 6 所示。

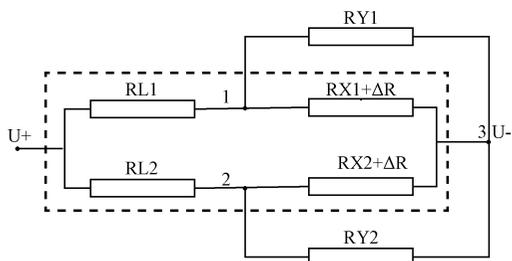


图 6 等效电路

传感器等效电阻为  $R_{X1} + \Delta R$  和  $R_{X2} + \Delta R$ , 滑油压力表两等效电阻分别为  $R_{L1}$  和  $R_{L2}$ , 飞参信号适配器接口电路的等效内阻为  $R_{Y1}$  和  $R_{Y2}$ 。传感器的内阻和飞参信号适配器接口电路内阻为  $R_{X1} + \Delta R // R_{Y1}$  和  $R_{X2} + \Delta R // R_{Y2}$ 。当  $R_{Y1}$  足够大时, 对  $R_{X1} + \Delta R$  和  $R_{Y1}$  的并联阻值影响较小, 不会导致滑油表显示异常。当  $R_{Y1}$  较小时, 会使  $R_{X1} + \Delta R$  和  $R_{Y1}$  的并联阻值减小, 导致滑油表显示偏大。当  $R_{Y2}$  足够大时, 不会影响  $R_{X2} + \Delta R$  和  $R_{Y2}$  的并联阻值, 故不会导致滑油表显示异常。当  $R_{Y2}$  较小时, 就会影响  $R_{X2} + \Delta R$  和  $R_{Y2}$  的并联阻值, 导致滑油表显示偏大。飞参信号适配器等效内阻  $R$  变小的原因是输入电压过高或长期的电压积累超过了 AD628 芯片的最高耐受电压, 造成输入端损坏。传感器在正常工作时, 不可避免地会产生突发较高的尖峰信号。当信号幅度超过 AD628 芯片的正常输入范围就会烧毁片内电路结构, 使其片内的集成电阻接近短路。

## 4 故障复现与确认

为了对故障原因进行进一步确定, 需要重新对故障过程进行复现与确认。由于不具备在飞机上复现故障的条件, 在实验室搭建了模拟测试环境: 一套减速器滑油压力测试设备, 用来模拟飞机上的减速器滑油压力表; 一套校准仪用来产生模拟的传感器压力信号。整个试验步骤分两步进行:

第一步, 通过校准仪模拟传感器产生高压信号击穿接口电路板中的芯片 AD628。连接示意如图 7 所示。

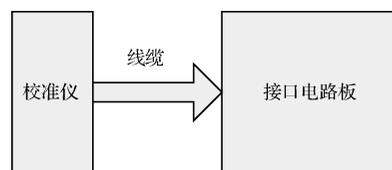


图 7 接口电路输入极限电压试验

取一套正常的飞参信号适配器, 通过校准仪给其接口电路板注入 400 Hz 的交流信号。信号幅度从零不断增加, 每一次改变幅度前断电测量接口芯片 AD628 的输入阻值。当信号幅度增加到 400 V 时, U8 芯片 AD628 的 1 脚对地电阻从 119.7 kΩ 降低到 4 kΩ, 表明芯片已经损坏, 此现象和现场出现故障的芯片状态完全相同。查询 AD628 芯片手册最高耐受电压为 85 V, 此电压(400 V)远远高于芯片手册给出的理论电压 85 V。据此推断, 在飞机试车或飞行过程中, 输入到接口电路的电压出现了较大的干扰尖峰信号导致芯片瞬间损坏或由于长期的电压积累超过了芯片最高耐受电压 85 V 也会导致芯片损坏。

第二步, 将损坏的接口电路板链接到减速器滑油压力测试设备继续试验。连线示意如图 8 所示。通过压力测试设备模拟机上滑油压力, 当施加 3 kgf 的标准压力时, 测试设备中的减速器滑油压力表显示值为 4 kgf, 显示值比实际值高出约 33%。减速器滑油压力测试设备中减速器滑油压力表相比正常显示偏大, 和现场故障情况完全相同。

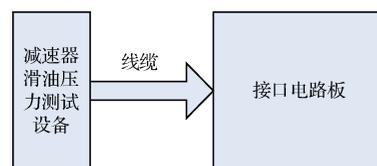


图 8 模拟减速器滑油压力试验

经过以上模拟试验, 使故障得到了复现与确认。

## 5 解决方案设计

### 5.1 解决方案

为解决飞参信号适配器内部接口电路设计缺陷问题, 借鉴其他成熟电路对接口电路原理图进行了修改完

善<sup>[7-14]</sup>。修改后的电路原理如图 9 和图 10 所示。

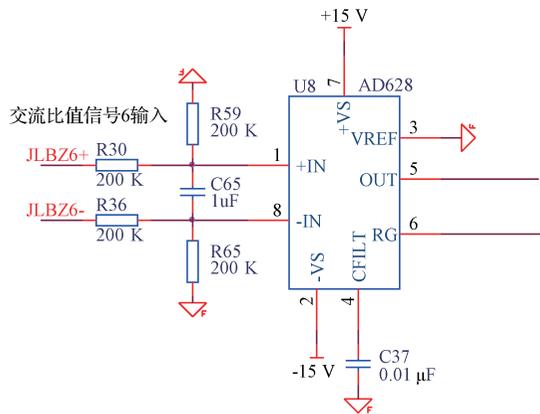


图 9 修改后的信号接口电路

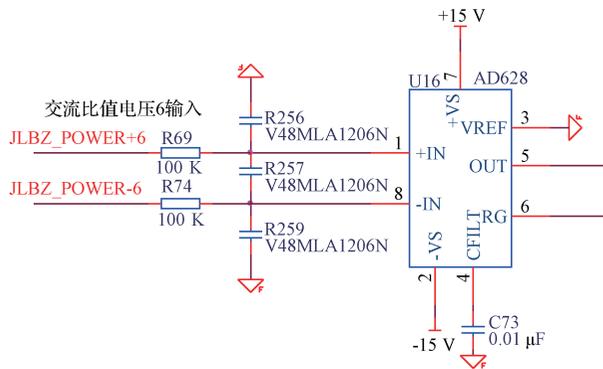


图 10 修改后的电源接口电路

电阻 R30 和 R36 的阻值从  $0\ \Omega$  替换为  $200\ \text{k}\Omega$  以提高输入阻抗,增加分压电阻 R59 和 R65,并联滤波电容 C65 以吸收尖峰电压。把 R69 和 R74 的电阻从  $0\ \Omega$  替换为  $100\ \text{k}\Omega$  以提高输入阻抗。更改后的电路不但提高了耐受尖峰电压的能力,而且在接口电路芯片 AD628 出现损坏时,由于保护电阻 R30、R36、R69 和 R74 的存在可以保证接口电路的输入阻抗不会低于  $200\ \text{k}\Omega$ ,故不会导致机上仪表出现异常。

## 5.2 新方案验证

对修改后的适配器分别进行试验及实装验证。

首先按照图 7 所示方法接线进行测试。校准仪输出电压调节到最大值为  $1\ 000\ \text{V}$  时,接口芯片 AD628 芯片的 1 脚对地阻值仍是  $119.7\ \text{k}\Omega$  没有降低。然后,再按照图 8 所示方法接线,滑油压力表显示正常,没有偏大现象,证明修改后的电路大幅提高了抗尖峰能力。测试过程中,将 AD628 输入端短路以模拟 AD628 损坏的情况,机上仪表未出现异常波动。证明修改后的电路能够有效的保证飞参信号适配器出现异常时也不会对机上仪表带来影响。

将修改后的适配器安装到飞机上进行实际试车,滑油压力表指示正常;为检查系统可靠性,一个月内连续进行

6 次测量后验证了指示系统的正常性。实验及实装结果表明修改后的适配器满足使用要求,故障排除成功。

## 6 结论

新型适配器在换装过程中引起滑油压力表指示误差,借助于现代信号分析测试手段和正确的分析思路及时排除了故障,避免了盲目的分解检查。减速器滑油压力接口电路在修改后,大幅提高了输入端抗尖峰的能力和异常保护能力,能满足机上使用环境要求,不会造成原机滑油压力表数值异常故障。

## 参考文献

- [1] 王述运,林亚军,魏青,等.飞行模拟器滑油压力表仿真器设计[J].自动化与仪表,2012,27(5):13-16.
- [2] 李小刚,曹克强,苏新兵,等.高精度超声波式飞机油量传感器设计[J].现代制造工程,2011(11):101-104.
- [3] 杨军锋,杜军,苏磊,等.滑油压力表信号测量和处理电路设计[J].电子技术应用,2013(2):17-19.
- [4] 张文军.基于 PLC 的自动控制系统的故障检测方法探析[J].装备制造技术,2012(3):38-40.
- [5] 张海,周震.功放设计中的检测及保护电路[J].电子技术,2010,5(1):51-53.
- [6] 杨文举,黄天波.基于软件无线电台综合测试系统研究[J].电子测试,2012(8):74-76.
- [7] 周进,刘卫华.某型长波放大器故障自动检测技术研究[J].计算机与数字工程,2014,42(6):1091-1094.
- [8] 张亚维,史强强,姚锋刚.航空电源测试中馈能式电子负载设计[J].国外电子测量技术,2016,35(5):15-19.
- [9] 许军,吕强,陈圣俭.电路故障诊断方法的研究现状与发展[J].火力与指挥控制,2008,33(6):1-4.
- [10] 张伟,许爱强,陈振林.模拟电路结点电压灵敏度序列故障字典法[J].电子测量与仪器学报,2006,20(4):46-49.
- [11] 许军,吕强,张耀辉.模拟电路故障诊断的结点电压灵敏度比值法[J].微电子学与计算机,2008(1):19-21.
- [12] 许军,曹勇,张新喜,等.基于 EDA 技术的电路板维修测试系统研究[J].火炮发射与控制学报,2007(3):33-35.
- [13] 张弛,崔佩璋,段修生. ASA 技术在电路板故障诊断中的应用研究[J].测控技术,2004,23(6):21-22.
- [14] 李婵娟,傅世强,邵特.用于智能天线测试的低成本可调功分移相电路设计[J].电子测量技术,2016,39(4):101-104.

## 作者简介

邸亚洲,1968 年出生,男,河北石家庄人,副教授,主要研究方向为飞参数据应用。