

# 基于图像视觉作动控制的寿命试验台研制

沈文波<sup>1,2</sup>, 季享文<sup>1</sup>

(1. 中航工业航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳 441003;

2. 航空防护救生技术航空科技重点实验室, 湖北 襄阳 441003)

**摘要:**为实现飞机阻力伞锁寿命试验的自动化检测与控制, 针对产品的结构特点和寿命试验要求, 设计了电液伺服加载装置模拟开伞载荷, 利用特殊设计的作动机构实现锁的自动锁闭, 采用基于 OTSU 全局阈值选取算法的图像分割及特征识别技术, 进行产品锁闭状态的非接触式检测, 以检测结果为驱动信号, 实现了“挂载—锁闭—加载—卸载—开锁”的自动循环控制, 多批次试验应用表明, 系统工作稳定、可靠, 显著提升了长周期寿命试验项目的工作效率和质量控制水平。

**关键词:** 寿命试验; 图像视觉; 作动控制; 阻力伞锁

## Development of Life Test Device Based on Image Visual Motion Controlling

Shen Wenbo<sup>1,2</sup>, Ji Xiangwen<sup>1</sup>

(1. AVIC Aerospace Life-support Industries Co., LTD., Xiangyang 441003, China; 2. Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Life-support Technology, Xiangyang 441003, China)

**Abstract:** In order to realize the automatic test and control of the landing deceleration parachute lock life test for the aircraft, According to the structural characteristics and test requirements, an electro-hydraulic servo loading device is designed to simulate the opening loads of the landing deceleration parachute. The lock is automatically locked by the specially-designed actuator. By applying image visual technology based on OTSU global threshold selection arithmetic, a non-contact detection is carried out for the locking status of the lock, and with the checking result serving as driving signal, an auto circle control of “preloading—locking—loading—offloading—unlocking” is realized. The system is proved to be stable and reliable by batches of testing applications, which significantly improves the operation efficiency and QC level of the long period life test item.

**Keywords:** life test; image visual; motion control; landing deceleration parachute lock

## 0 引言

在产品研制阶段, 航空机载设备有寿件在寿命周期内的可靠性是设备重要的战技性能要求, 在飞机总体以延寿为目标的延寿工程中, 机载设备能否充分发挥其寿命潜力, 实现同步延寿, 也是机群延寿工程中的关键问题<sup>[1-2]</sup>, 寿命试验通过模拟设备实际使用条件, 对设备施加载荷和环境应力, 验证其寿命特征, 并获取延寿的基础数据。

阻力伞锁是飞机着陆减速系统中一个重要的有寿件, 用于飞机着陆时控制阻力伞的释放和解脱, 其寿命试验要求模拟在阻力伞释放及减速后解脱时拉力载荷的作用下, 阻力伞锁历经寿命周期内多次重复使用后, 产品能否保持正常的开启、锁闭功能、工作的可靠性以及机械结构的完好性。2000 年左右, 我国装备研制企业从俄罗斯引进了用于阻力伞锁寿命试验的专用设备, 其开伞模拟载荷的加载、卸载控制, 一个工作循环中锁的开启、锁闭控制, 锁工作状态的检查均依靠人工操作完成, 开展一次产品科研鉴定、交付验收寿命试验项目的周期长达数周, 且过程质量控制水平低下, 明显制约了装备的研制、交付效率, 为此, 开展了自动化检测、控制的寿命试验设备研制工作。

## 1 主要技术要求

### 1.1 被试产品的结构特点

阻力伞锁的结构如图 1 所示。其基本工作原理为: 飞行前, 阻力伞通过挂环连接在处于锁闭状态的受力钩与支撑钩之间, 着陆过程中, 当飞行员发出抛伞指令后, 阻力伞锁电磁机构输出转矩驱动曲臂机构解除受力钩与支撑钩的咬合状态, 实现阻力伞的抛放解脱。

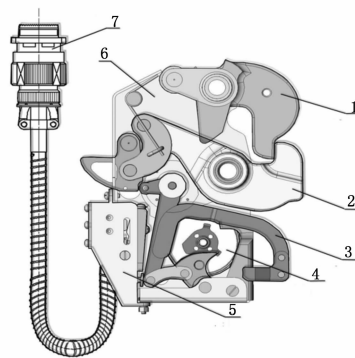


图 1 阻力伞锁结构示意图

### 1.2 单次循环控制过程

如图 2 所示。

### 1.3 控制要求

- 1) 单次循环控制时间: 1 min;
- 2) 加载载荷控制误差:  $\pm 10\%$ ;
- 3) 具有自动计数功能;

收稿日期: 2015-01-02; 修回日期: 2015-03-24。

作者简介: 沈文波(1973-), 男, 湖北襄阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事航空装备试验测试技术研究。

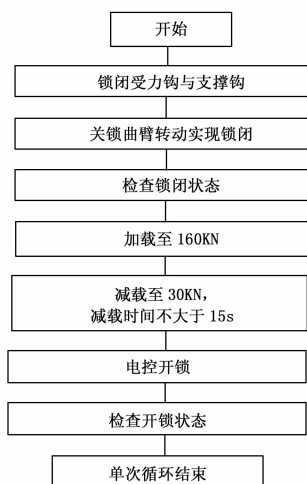


图 2 单次循环控制过程

- 4) 具有故障报警功能, 在没有正常开锁、锁闭以及设备故障的情况下必须停止循环;
- 5) 连续工作时间: 不少于 4 小时/天;
- 6) 寿命试验循环次数: 约 8000 次。

## 2 系统总体方案

寿命试验台由主工作平台、电液伺服加载系统、图像视觉检测装置、锁闭作动机构、锁安装夹具等五部分组成, 系统结构如图 3 所示。

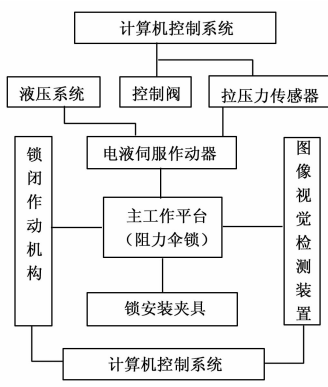


图 3 系统结构图

主工作平台采用双立柱框架式结构, 是系统的主承力结构, 用于安装电液伺服作动器和固定试验对象的夹具; 图像视觉检测系统通过成像系统采集锁的锁闭状态图像, 利用分析软件对图像进行边缘提取后分析其特征, 判断锁钩的锁闭、开启状态, 与采用位置反馈<sup>[3-4]</sup>的方式相比较, 这种非接触式的检测方式对于结构精密的试验对象体现出显著的优势; 计算机控制系统用于实现模拟载荷的加载、保持、卸载控制, 锁闭状态图像特征的分析、判定以及控制锁闭作动机构执行闭锁动作, 按照图 2 所示的工作循环程序, 实现规定次数的寿命试验。

## 3 关键技术实现

### 3.1 图像视觉检测技术

基于图像的视觉检测技术被广泛应用于机器人的伺服控制<sup>[5-6]</sup>, 本系统研制中, 由于试验载荷较大, 锁处于非正常闭合情况下的加载会带来设备、人员的安全风险, 由于试验对象的结构紧凑, 难以在有限的空间内安装位置开关或位置传感器

进行锁钩闭合状态的检测, 非接触式的图像视觉检测技术成为系统研制的关键技术, 其设计思想如下。

#### 1) 图像的二值化:

通过成像系统拍摄锁闭位置的图像, 利用 OTSU 全局阈值选取算法对图像进行二值化, 确定最佳阈值  $T$ :

设图像的总像素数为  $N$ :

$$N = \sum_{i=0}^m n_i$$

其中:  $m$  为图像灰度等级;  $n_i$  为灰度值为  $i$  ( $0 \sim m$ ) 的像素。

将灰度值分为:

$$c_0 = \{0 \sim k\}, c_1 = \{k+1 \sim m\}$$

各自的出现概率分别为:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^k p_i = \omega(k) \tag{1}$$

$$\omega_1 = \sum_{i=k+1}^m p_i = 1 - \omega(k) \tag{2}$$

阈值为  $k$  时的灰度平均值为:

$$u(k) = \sum_{i=0}^k i p_i \tag{3}$$

整体图像的灰度平均值为:

$$u = \sum_{i=0}^m i p_i \tag{4}$$

两组间的方差为:

$$\begin{aligned} \sigma^2(k) &= \omega_0(u - u_0)^2 + \omega_1(u_1 - u)^2 = \\ &= \omega_0 \omega_1 (u_1 - u_0)^2 = \\ &= [u \omega(k) - u(k)]^2 / \{\omega(k)[1 - \omega(k)]\} \end{aligned} \tag{5}$$

在  $0 \sim m$  之间对  $k$  值进行改变, 通过式 (5) 求得的最大值  $\max \sigma(k)$ , 其对应的  $k$  值即为最佳阈值  $T$ 。

#### 2) 锁扣轮廓特征提取:

在二值化图像中, 利用圆的定位算法分割出锁的锁闭状态图像, 对图像进行边缘提取后主要的形态特征有区域面积、边界周长和圆形态:

区域面积和边界周长用来判断特征的大小:

$$Area = \sum_{(x,y) \in R} L; R \text{ 为特征区域};$$

$$Circle = \sum_{(x,y) \in C} L; C \text{ 为特征边界};$$

圆形态用来区分轮廓特征的类别:

$$C = \frac{4\pi A}{P^2};$$

其中:

$A$  为区域的面积,

$P$  为特征区域的周长

#### 3) 闭合状态判定:

对分割出来的图像以及模板图像进行傅里叶变换, 通过计算两幅图像的傅里叶描述子的归一化的欧氏距离来判断锁的状态。

对于分割后提取出的图像轮廓点坐标序列,  $P = \{n=0, 1, 2, \dots, N-1 \mid (x_n, y_n)\}$  将其坐标用复数形式表示:

$$s_n = x_n + j * y_n$$

一维序列的离散傅里叶系数定义为:

$$f(k) = \frac{1}{N} * \sum_{n=0}^{N-1} s_n e^{-\frac{j * 2\pi * k * n}{N}}, k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

复系数  $f(k)$  称为傅里叶描述子, 将傅里叶描述子序列  $\{f(k)\}$  进行反变换可以重构出原轮廓曲线, 即:

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f(k) * e^{\frac{j * 2\pi * k * n}{N}}, k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

傅里叶描述子与形状的尺度、方向和曲线的起始点位置有关, 为了识别具有旋转、平移和尺度不变性的轮廓, 需要对傅里叶描述子进行归一化。根据傅里叶性质, 将形状旋转  $\alpha$  角度, 平移  $a$  长度, 伸缩  $t$  倍, 可以得到新的傅里叶变换系数序列  $f'(k)$ , 表 1 表示了傅里叶描述子在旋转、伸缩、平移和起点变化后与原傅里叶描述子的数学关系。

表 1 傅里叶描述子

变换类型	轮廓描绘	傅里叶描述子
原轮廓	$s_n$	$f_k$
旋转	$s'_n = s_n * e^{j * \alpha}$	$f'_k = f_k * e^{j * \alpha}$
平移	$s'_n = s_n + \alpha_{x,y}$	$f'_k = f_k + \alpha_{x,y} * \delta_k$
伸缩	$s'_n = t * s_n$	$f'_k = t * f_k$
起点变化	$s'_n = s_{n-ko}$	$f'_k = f_k * e^{-\frac{j * 2\pi * ko * k}{N}}$

由表 1 可以看出, 用傅里叶描述子描述形状时, 系数幅值序列  $|f(k)|$  不受旋转、平移和起点变换的影响。第 1 个傅里叶描述子  $f(0)$  表示轮廓曲线点的均值坐标 (以复数的形式表示), 它即为轮廓的质心坐标; 第 2 个傅里叶描述子  $f(1)$  表示最能拟合轮廓的圆的半径。将  $f(k)$  除以  $f(1)$  得到归一化后的傅里叶描述子  $D(k)$  不会随着轮廓尺度的变化而变化, 即:

$$D(k) = \frac{f(k)}{f(1)}, k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

计算两幅图像轮廓傅里叶描述子系数幅值序列归一化  $|D_1(k)|$  和  $|D_2(k)|$  之间的欧式距离:

$$d = \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} (|D_1(k)| - |D_2(k)|)^2}$$

欧式距离  $d$  越小, 表示两幅图像越匹配; 欧式距离  $d$  越大, 表示两幅图像的轮廓差异越明显。因此可以利用欧氏距离的值  $d$  来对图像进行分类和判断。

3.2 模拟加载及控制技术

主工作平台是加载装置、试验件、检测装置、作动机构的安装平台, 在大载荷周期往复作用下, 对其强度和疲劳性能提出了较高的要求, 采用龙门式的支撑结构, 具有很强的承载能力, 保证测试过程有足够的操作空间, 龙门式结构的双支撑柱同时可以作为导向轨, 对加载方向进行导向控制, 其结构如图 4 所示。

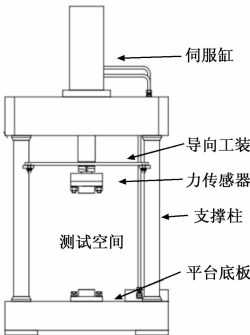


图 4 主工作平台

电液伺服加载系统由液压站、伺服阀、伺服缸、拉力传感器、位移传感器和控制器组成。加载时, 控制器采集拉力传感器的数值作为闭环控制的反馈信号, 根据其设定值的偏差和加载时间控制要求, 控制伺服阀的开度和维持时间, 通过伺服缸产生预期的载荷; 位移传感器作为位移闭环控制的反馈, 测量加载过程中的行程变化, 防止被试产品断裂或变形过大, 保护设备的安全。

3.3 锁闭作动机构设计

锁闭作动机构是实现阻力伞锁寿命试验自动控制的关键部件。阻力伞锁的打开可以通过电气控制功能实现, 但阻力伞锁的闭合只能通过机械推动的方式。作动机构设计了一个小型液压缸, 当需要执行锁闭动作时, 液压缸接受控制指令后, 沿导向轨向上拉动传动轴承, 带动关锁曲臂转动, 实现阻力伞锁的关闭。

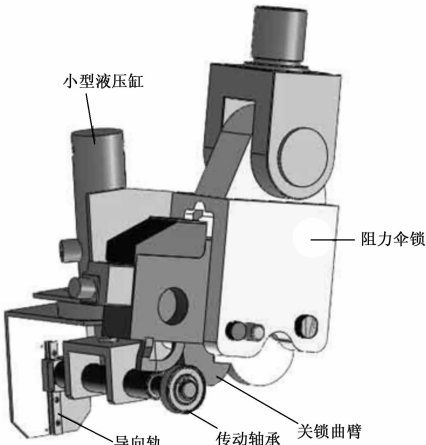


图 5 锁闭作动机构

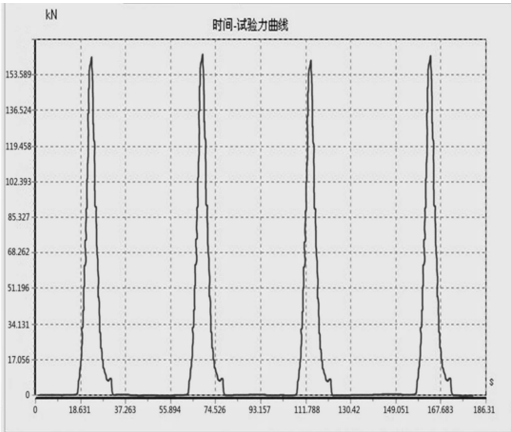


图 6 试验控制曲线

4 结果与分析

按照寿命试验的循环控制程序, 对处于锁闭状态的阻力伞锁沿轴向加载至 160 kN 后, 在 15 s 内减载至 30 kN 时电控开锁, 以模拟飞机阻力伞开伞后的载荷变化及伞释放过程, 并在 1 min 内实现单次循环, 试验过程的控制曲线如图 7 所示。

在单次循环控制过程中, 需要进行两次受力钩与支撑钩锁闭状态的检查。结果如图 7 所示: 将闭合状态下的图作为模板图, 利用 3.1 节所述算法计算待测图与模板图的欧氏距离, 从而判断待测图当前的状态。

结果表明, 待测图 1 与模板图的欧式距离较小, 判断此图



对应的轮廓分割结果图  
图 7 图像处理

为闭合状态;待测图 2 与模板图的欧式距离较大,判断此图为断开状态。

表 2 图像处理结果

	待测图 1	待测图 2
模板图	0.014 2	0.245
状态判断	闭合	断开

5 结论

本文采用图像视觉检测技术判断结构件内部的机械机构锁

(上接第 2428 页)

过发送虚拟机输入窗口 Virtual Terminal—T 输入短息信息 Open the air conditioner and AllerAir, 此信息通过串口发送给单片机, 经过处理在接收虚拟机显示窗口 Virtual Terminal—R 显示出来, 如图 3 所示。由于此时室内温湿度分别为 33.0℃和 45.0 RH, 不在设定的舒适温湿度范围之内, 因此虚拟机接收到开启空调和加湿器信息后, 空调和加湿器启动, 此时空调制冷功能, 且 LED—Green 亮; 加湿器启动, 此处用 LED—Yellow 点亮代替。采用滑动变阻器 Rv2 代替 PM2.5 粉尘颗粒检测传感器 DSM501, 变阻器上面不同电压表示不同的 PM2.5 的值, 图 3 中, 此时电压值为 4.57 V, 处在污染较严重的范

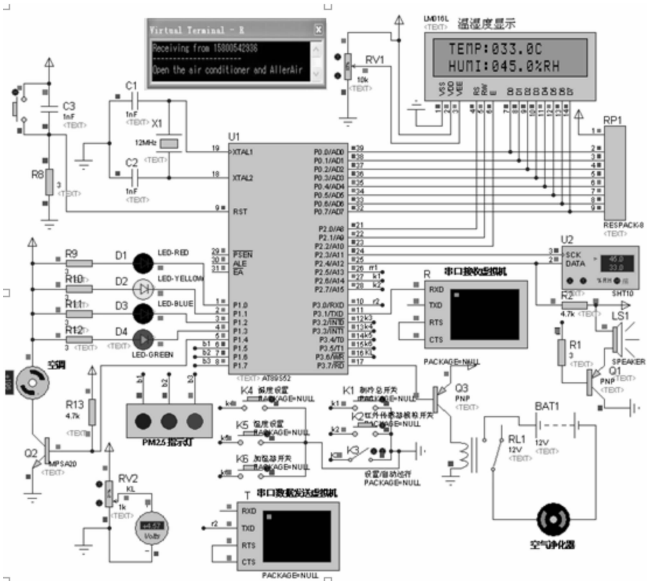


图 3 系统整体仿真图

围, PM2.5 指示灯红灯亮, 同时自动开启和 P3.7 相接的空气净化器, 净化空气质量。当变阻器电压值超过 4 V 时表示 PM2.5 值大于 100, 污染较严重, 红灯亮; 阻值电压大于 2 V 且小于

闭状态, 实现了基于判别信息的寿命试验循环控制, 电液伺服控制方式实现了模拟载荷加载值及时间的高精度控制, 研制的寿命试验设备自动化程度高, 同时降低了因误判带来的试验件非预期失效风险, 设备投入使用两年多以来, 运行稳定可靠, 采用的技术对同类别检测控制设备具有一定的参考意义。

参考文献:

[1] 周丽君. 机载有寿命寿命试验与管理新技术 [J]. 飞机设计, 2013, 33 (4): 55-58.  
[2] 林志博, 王德功, 周俊杰. 某型飞机机载设备寿命控制方法研究 [J]. 飞机设计, 2011, 31 (1): 41-44.  
[3] 齐 明, 谭榕容, 赵 薇, 等. 直升机电动舵机寿命试验系统的研究 [J]. 机电元件, 2013, 33 (4): 16-21.  
[4] 袁海兵. 汽车转向传动轴扭转疲劳寿命试验台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (1): 155-157.  
[5] 方勇纯. 机器人视觉伺服研究综述 [J]. 智能系统学报, 2008, 3 (2): 109-113.  
[6] 贾 林, 顾 爽, 陈启军. 基于图像视觉伺服的移动机器人自主导航实现 [J]. 华中科技大学学报 (自然科学版), 2011, 39 (S): 220-222.

4 V 时对应的 PM2.5 的值在 50~100 范围, 表示空气质量良好, PM2.5 指示灯绿灯亮; 阻值电压在 0~2 V 时, 对应的 PM2.5 的值在 0~50 范围, 表示空气质量优, PM2.5 指示灯绿灯亮。

4 结论

设计了一款智能空调控制系统, 设计了硬件系统和软件系统, 采用单片为中心控制单元, 电路性能稳定、功能强、可靠性高、成本较低。该系统具备自动抽湿、补湿、检测室内粉尘颗粒浓度, 净化室内空气和远程控制等功能。采用 GSM 无线通信技术, 实现了空调远程控制。通过 PROTUES 软件仿真进行了验证, 结果表明该设计方案可行, 具有较高社会应用价值。

参考文献:

[1] 王静霞, 杨宏丽, 刘 俐. 单片机应用技术 (C 语言版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.  
[2] 陈荣保, 曹 军, 李志勇. 基于 SMS 远程控制的汽车防盗系统 [J]. 中国仪器仪表, 2008, (5): 70-72.  
[3] 郭红霞. 基于 GSM 模块 TC35i 的收发短信的无线终端设计 [D]. 南充: 西南石油学院, 2004.  
[4] 王 坚. 基于 GSM 的汽车防盗报警器的设计与实现 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.  
[5] 焦双伟. 基于 TCP \_ IP 网络的智能家居控制系统的设计与实现 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2012.  
[6] 周翼翔. 基于 P87C522 单片机的汽车空调控制系统 [J]. 制造业自动化, 2009, 3 (8): 151-153.  
[7] 吴光永. 刘建新. 基于 PIC 单片机的通用胎压监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2007 (11): 1434-14336.  
[8] 贺 婷. 基于 FPGA 空调控制系统设计 [D]. 茂名: 广东石油化工学院学, 2012.  
[9] 胡万强, 董中奎. 基于 DSP56F805 的数字多联变频空调控制系统设计 [D]. 许昌: 许昌学院, 2012.  
[10] 陈桂友. 增强型 8051 单片机实用开发技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.