

某飞机APU进/排气门控制盒可靠性研究

王欣

(中国人民解放军95961部队71分队,北京100195)

摘要:对某飞机APU进/排气门控制盒的可靠性进行了分析,综合考虑器件、环境、电路设计等可靠性因素,依据国军标GJB/Z299C-2006《电子设备可靠性预计手册》中提供的方法,通过元器件可靠性预计法对控制盒的可靠性进行预计,并根据一般原理对提高控制盒可靠性的方法进行了探讨。对比及验证表明,控制盒设计合理,可靠性满足主机及系统要求。

关键词:APU进/排气门控制盒;可靠性预计;可靠性分析;国军标GJB/Z299C-2006

中图分类号:TN911.7-34

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2014)15-0164-03

Study on reliability of controller for APU inlet/exhaust valves

WANG Xin

(Detachment 71, Unit 95961 of PLA, Beijing 100195, China)

Abstract: The reliability of controller the APU inlet/exhaust valves for an aircraft is analyzed. In consideration of the devices' reliability factors such as components, environment and circuit design, and according to the methods provided by the military specifications GJB/Z299C-2006 "Electronic Equipment Reliability Prediction Handbook", reliability of the controller is predicted. The method improving the reliability of the controller is discussed according to general principles. The comparison and verification results show that the design of the controller is reasonable, and the reliability of the controller can meet the system requirements.

Keywords: controller of APU inlet/exhaust valve; reliability prediction; reliability analysis; GJB/Z299C-2006

1 控制盒功能介绍

APU进/排气门控制盒是飞机APU进/排气门的核心部件,它的好坏与否直接关系到APU进/排气门的工作状态。只有在控制盒工作稳定、可靠的前提下,才能保证APU进/排气门顺利的打开/关闭。

APU进/排气门控制盒主要由驱动电路,逻辑保护电路,故障检测保护电路组成。控制盒根据电子控制器发送的指令信号,控制电机的正反转,从而决定舱门的开启和关闭两种状态。当舱门开启或关闭到位时,通过机构上的微动开关信号实现位置信号的反馈,来修正电机的工作状态,实现电机控制盒关闭在低功耗工作模式。

控制盒的原理图如图1所示。

2 控制盒可靠性分析

控制盒主要由控制板、航空电插头、航空接插件、壳体等部分组成一个串联系统。

控制盒的结构图如图2所示。

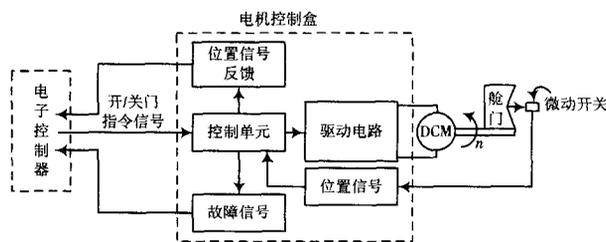


图1 控制盒的原理图

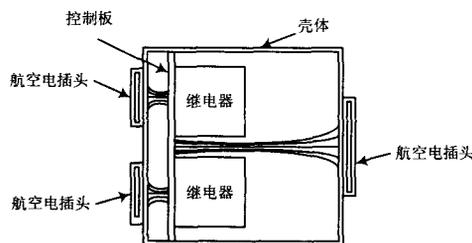


图2 控制盒的结构图

控制板是控制盒的核心,负责信号的采集、输入、输出等。其可靠性主要由印刷板、继电器、电阻、电容、二极管等决定。

控制盒的航空电插头、航空接插件负责控制盒指令信号、故障信号、位置反馈信号与电子控制器的连接,其可靠性取决于产品的固有特性。

外壳起着承重、屏蔽、保护作用,其可靠性完全由器件的本身机械特性所决定,基本与电气部分无关。因此在可靠性分析时忽略不计。

控制盒环境要求:根据主机要求,控制盒的工作环境温度为:-55~70 ℃。按照国军标 GJB/Z299C-2006《电子设备可靠性预计手册》为飞机无人舱内 A_{UF}:有高温、高压、强烈的冲击与振动等恶劣环境条件。

3 控制盒的可靠性预计

根据国军标 GJB/Z299C-2006《电子设备可靠性预计手册》中可靠性预计的方法:元器件应力可靠性预计

法和元器件计数可靠性预计法。本文主要采用元器件计数可靠性预计法。

元器件计数可靠性预计法模型为:

$$\lambda_{CS} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Gi} \pi_{Qi} \quad (1)$$

式中: λ_{CS} 为设备总失效率, $10^{-6}/h$; N_i 为第 i 种元器件的数量; λ_{Gi} 为第 i 种元器件的通用失效率, $10^{-6}/h$; π_{Qi} 为第 i 种元器件的通用质量系数; n 为设备所用元器件的种类数目。

质量等级: B。

环境分类: A_{UF} 战斗机无人舱。

根据国军标 GJB/Z299C-2006《电子设备可靠性预计手册》中提供的数据,可以得出控制板元器件质量等级系数及通用失效率,见表 1。

表 1 控制板元器件质量等级系数及通用失效率

| 元器件名称 | 型号规格 | 数量 | λ_c (/10 ⁶ /h) | π 系数 | | | | |
|------------|-----------------------|----|--------------------------------------|----------|---------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | | | π_E | π_Q | π_K | π_C | π_{CV} |
| 继电器 | J500-01N(二级) | 2 | 0.253 4 | 31 | 1 | $\pi_{C1}, 4.2$ $\pi_{CVC}, 0.2$ | 5 | $\pi_r, 2$ $\pi_A, 0.4$ |
| 贴片电阻器 | 0805-1.6K±5% | 2 | 0.007 | 14.3 | 1 | $\pi_R, 1$ | | |
| 贴片电阻器 | 0805-10K±5% | 2 | 0.007 | 14.3 | 1 | $\pi_R, 1$ | | |
| 贴片电阻器 | 1206-100K±5% | 1 | 0.007 | 14.3 | 1 | $\pi_R, 1$ | | |
| 贴片电容器 | 1206-105/100 V | 2 | 0.009 14 | 12 | 0.3 | | $\pi_{ch}, 1.5$ | 2.2 |
| 贴片电容器 | 1206-106/100 V | 2 | 0.009 14 | 12 | 0.3 | | $\pi_{ch}, 1.5$ | 2.4 |
| 贴片电容器 | 1206-222/500 V | 4 | 0.009 14 | 12 | 0.3 | | $\pi_{ch}, 1.5$ | 0.75 |
| 二极管 | STPS40M80C | 6 | 0.001 2 | 15 | 3 | $\pi_T, 1.9$ | | $\pi_S, 1$ |
| 二极管 | IN4007 | 3 | 0.164 | 15 | 1 | $\pi_r, 1$ $\pi_A, 1$ | 1 | $\pi_{S2}, 0.20$ |
| 稳压二极管 | BZX384-C12 | 2 | 0.224 | 15 | 1 | $\pi_A, 0.65$ | | |
| 三极管 | CS8550-SOT23 | 2 | 0.422 | 17 | 1 | $\pi_A, 0.7$ $\pi_{S2}, 1.2$ | 1 | $\pi_R, 0.80$ |
| 磁棒Φ3×20 | φ0.6 8T | 1 | 0.06 | 15 | 1 | | | |
| 贴片电感器 | 1206-1 μH | 2 | 0.000 5 | 13 | 1 | $\pi_T, 1.4$ | | |
| 磁环 H10×5×5 | φ0.6 8T | 1 | 0.06 | 15 | 1 | | | |
| 连接器 | J13B-131-010-111-70WA | 1 | 0.120 1 | 16.5 | 0.4 | 2 | 0.3 | $\pi_P, 2.58$ |
| 连接器 | J13B-141-010-223-7100 | 1 | 0.120 1 | 16.5 | 0.4 | 2 | 0.3 | $\pi_P, 2.58$ |
| 连接器 | J13B-131-004-111-70WA | 1 | 0.120 1 | 16.5 | 0.4 | 2 | 0.3 | $\pi_P, 1.72$ |
| 连接器 | J13B-141-004-223-7100 | 1 | 0.120 1 | 16.5 | 0.4 | 2 | 0.3 | $\pi_P, 1.72$ |

继电器的失效模型为:

$$\lambda_K = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{C1} \pi_{CVC} \pi_r \pi_A \pi_C \quad (2)$$

贴片电阻器的失效模型为:

$$\lambda_r = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_R \quad (3)$$

贴片电容器的失效模型为:

$$\lambda_c = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_{CV} \pi_{ch} \quad (4)$$

二极管的失效模型为:

$$\lambda_{D1} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \pi_S \quad (5)$$

$$\lambda_{D2} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_r \pi_A \pi_{S2} \pi_C \quad (6)$$

稳压二极管的失效模型为:

$$\lambda_{D3} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \quad (7)$$

三极管的失效模型为:

$$\lambda_V = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_A \pi_{S2} \pi_r \pi_C \quad (8)$$

磁棒的失效模型为:

$$\lambda_{L1} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (9)$$

贴片电感器的失效模型为:

$$\lambda_{L2} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_T \quad (10)$$

磁环的失效模型为:

$$\lambda_{L3} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (11)$$

连接器的失效模型为:

$$\lambda_{LQ} = \lambda_b \pi_E \pi_Q \pi_P \pi_K \pi_C \quad (12)$$

印刷板的失效率模型为:

$$\lambda_{PCB} = (\lambda_{b1} N + \lambda_{b2}) \pi_E \pi_Q \pi_C \quad (13)$$

其中, λ_{PCB} 为工作失效率, $10^{-6}/h$; λ_{b1} , λ_{b2} 为基本失效率, $10^{-6}/h$, λ_{b1} 取值为 0.000 17, λ_{b2} 取值为 0.001 1; N 为使用的金属化孔数: 142; π_E 为环境系数, A_{UF} 取值为 20; π_Q 为质量系数, 符合 GJB362A, 取值 0.30; π_C 为复杂度系数, 取值 1.0。

焊点的失效率模型为:

$$\lambda_{sp} = N \lambda_b \pi_E \pi_Q \quad (14)$$

其中, N 为焊点数: 54; λ_{sp} 为工作失效率, $10^{-6}/h$; λ_b 为基本失效率, $10^{-6}/h$, 采用再流焊, 取值 0.000 070; π_E 为环境系数, A_{UF} 取值为 11; π_Q 为质量系数, 质量等级 B, 取值 1.0。

由公式(1)~(14)及表1可以计算出各个元器件的失效率 λ_{PCB} , λ_{sp} , λ_K , λ_r , λ_c , λ_{D1} , λ_{D2} , λ_{D3} , λ_V , λ_{L1} , λ_{L2} , λ_{L3} , λ_{LQ} , 所以控制板总的失效率为以上各失效率之和, 即 $\lambda_{CTR} = 76.093 6 \times 10^{-6} h$, 所以控制板的 $MTBF = 1/\lambda_{CTR} = 13 141 h$ 。

由计算结果可以看出控制板的可靠性预计值远大于系统最低要求 1 500 h。即使按 2 倍余量设计, 控制板可达到的平均无故障时间也远大于系统的最低要求。

4 其他的可靠性保障方法

4.1 器件选用

优先选用高等级的元器件; 压缩元器件品种、规格和供货单位, 考虑可替换性; 最大限度的使用具有可靠性数据的元器件; 选用元器件的质量等级满足单机设计可靠性指标和要求; 在元器件质量和供应满足要求前提下, 当国产元器件与进口元器件性能价格比相当时, 优先选用国产元器件; 设计选用元器件充分考虑其参数的变化范围, 按照相关标准进行容差设计。不使用已知不稳定或可能导致安全性危险或可靠性风险的元器件。

4.2 抗干扰技术

设计中从接地、滤波抑制、壳体抑制以及电路板的电磁干扰抑制等多方面来考虑, 主要有以下措施: 合理布置 PCB 板, 系统采用单点接地, 并尽可能增大地线宽度, 改善电磁噪声; PCB 板的金属化孔都是采用双过孔, 电源线及其接线端点都是双点双线。由于电路工作在

开关状态, 为了减少其电磁能量外泄, 控制器外壳采用全封闭屏蔽结构, 外壳结构件在加工时, 结构件相应的搭接面处均予以保护, 保证导电性良好, 增加屏蔽作用; 固定螺孔尽可能采用盲孔; 从控制器引出的电缆都外加防波套, 其屏蔽层接控制器外壳。

4.3 电路设计

在实现同样功能、性能的方案中, 选用结构简洁, 元器件数量较少的设计方案。针对设计中所使用的两组继电器, 分析了潜在电路, 合理设计互锁, 避免两组继电器同时接通的可能。设计了 BIT 接口, 实现故障实时监控与故障信息反馈, 保证控制盒、线路以及上位机电子控制器在控制盒发生故障的时候不会受到严重的影响。

4.4 环境可靠性实验

按照系统和国军标要求, 进行了高温、低温、温度冲击、温度-高度、湿热、霉菌、沙尘、淋雨、积冰-冻雨、振动、加速度、冲击、噪声、寿命、电磁兼容等试验。控制盒的各项性能指标均满足本身技术及系统要求。

5 结 语

可靠性预计是电子设备可靠性设计的重要环节, 虽然可靠性预计能够提供一些关于失效率和平均故障间隔时间等可靠性指标, 但是数值计算的结果与实际情况还存在比较大的差距, 因而不能根据计算结果单一的来确定控制盒的实际可靠性, 有必要从器件选用、抗干扰、电路设计、环境试验等方面来综合分析控制盒的整体可靠性。通过分析和试验验证, 该控制盒设计合理、运行稳定, 满足主机及系统要求。

参 考 文 献

- [1] 中国人民解放军总装备部. 国军标 GJB/Z299C-2006 电子设备可靠性预计手册[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2007.
- [2] 宋保维, 王晓娟. 系统可靠性设计与分析[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2000.
- [3] O'Connor, P D T. 实用可靠性工程[M]. 李莉, 译. 4版. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 张增照, 潘勇. 电子产品可靠性预计[M]. 北京: 科技出版社, 2007.
- [5] 杨为民. 可靠性·维修性·保障性总论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [6] 张焯, 康劲松, 房立存. 驱动电机系统故障机理及可靠性分析[J]. 机电一体化, 2008, 14(12): 64-68.
- [7] 孙青, 王锡吉. 电子元器件可靠性工程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [8] 朱文冰. 航天产品电子元器件的可靠性控制[J]. 电子工程师, 2006, 32(3): 11-13.
- [9] 恩云飞, 罗宏伟, 来萍. 电子元器件失效分析及技术发展[J]. 失效分析与预防, 2006(1): 40-42.