

某型飞机数字防滑刹车控制盒可靠性分析与设计*

Reliability Analysis and Design of Aircraft Anti-Skid Brake Controller

中南大学信息科学与工程学院 吴华伟 陈特放

中南大学粉末冶金国家重点实验室 刘文胜 丁晓力

[摘要] 对某型飞机数字防滑刹车控制盒的可靠性进行了分析,利用工程加权法对控制盒进行了可靠性分配,并通过元器件可靠性预计法对控制盒的可靠性进行预计。对比及验证表明,控制盒可靠性设计合理,满足主机及系统要求。

关键词: 防滑刹车控制盒 可靠性分配 可靠性预计

[ABSTRACT] The reliability of anti-skid brake controller for an aircraft is analyzed,the reliability of the controller is allocated by using engineering weighting factor assignment method,and the reliability of controller is predicted by using component reliability prediction method. By comparison and verification,the reliability design of controller is reasonable,and the controller meets the system requirements.

Keywords: Anti-skid brake controller Reliability allocation Reliability prediction

1 控制盒功能介绍

防滑刹车控制盒是飞机刹车系统核心控制部件,对整个飞机起飞、着陆的安全性有重要的影响。

控制盒主要根据飞行员发出刹车指令输出刹车信号,并根据机轮速度传感器输入的速度,准确判断机轮的打滑情况,自动调整刹车电流,使刹车压力达到最高效率、安全平稳地刹停飞机。其主要功能有刹车控制、防滑控制、交叉保护、故障检测、接地保护、起落架收上刹车、起飞线刹车、停机刹车、静刹保护等。控制盒原理见图1。

2 控制盒可靠性分析

控制盒主要由壳体、电源板(PW)、输入板(IN)、控制板(CTR)、

输出板(OUT)、基板(JB)、航空插头等部件组成一个串联系统,图2为控制盒结构图。

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

控制盒的航空插头担负控制盒所有测控信号和电源的对外连接,其可靠性取决于产品的固有特性。

基板是一块PCB板,是控制盒内外信号交联的通路,该板上基本没有电子元器件,仅由4个印制板矩形连接器组成,其可靠性基本由印制板和焊点可靠性决定。

电源板负责为整个控制盒提高安全可靠的电源,设计时采用高可靠性、指标效率高的军用电源模块及滤波模块。查产品手册可知电源模块在85℃下的MTFB时间为225000h,因此对其失效率可预设为 $\lambda_c = 5 \times 10^{-6}/h$ 。滤波模块的MTFB时间为360000h,可预设为 $\lambda_c = 3 \times 10^{-6}/h$ 。

输入板负责对系统输入信号的调理,其可靠性主要由集成芯片、电阻、电容、二极管、印制板、焊点等决定。

控制板是控制盒的核心,负责信号的采集、运算、输出等。其可靠性主要由集成芯片、电阻、电容、二极管、印制板、焊点等决定。

输出板负责系统对外交联及控制信号。其可靠性

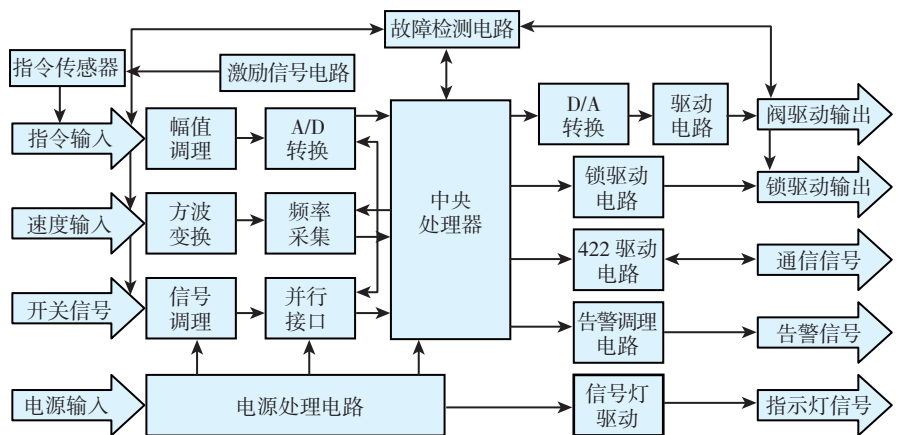


图1 控制盒原理图

Fig.1 Principle diagram of controller

* 国家863重点项目“高承载自适应机轮刹车系统研究(2009 AA034302)”资助。

主要由集成运放、电阻、电容、二极管、晶体管、印制板、焊点等决定。

控制盒环境要求：据主机要求，控制盒工作环境温度为： $-55 \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，短期为 90°C 。按国军标 GJB / Z299C—2006《电子设备可靠性预计手册》为飞机无人舱内 A_{UF} ：处于高温、高压、强烈冲击与振动等恶劣条件下。

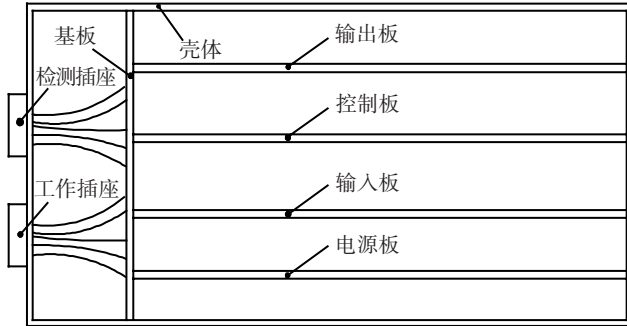


图2 控制盒结构图
Fig.2 Structure of controller

3 可靠性分配

根据系统要求控制盒的 $MTBF_{\text{规定值}} \geq 1500\text{h}$ ，在进行 $MTBF$ 值分配时，采用工程加权分配法，应用公式：

$$MTBF_i = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{k_i} MTBF \quad (1)$$

式中， $n=6$ （只给控制盒中的6个关键部件分配可靠性指标）； $MTBF_i$ 为分配给第 i 个产品的平均故障间隔时间； k_i 为第 i 个产品总的工程加权因子。分配过程中，一般考虑下述6个加权因子，即：

$$k_i = \prod_{j=1}^6 k_{ij} \quad (2)$$

其中， k_{i1} 为复杂因子，反映该产品在整个系统中的复杂程度，取值越大，则该产品越复杂； k_{i2} 为重要性因子，反映产品在系统中的重要程度，取值越大，则该产品越重要； k_{i3} 为环境因子，反映产品工作环境的恶劣程度，控制盒外壳装在仪表舱内，而其他部件装在在控制盒内； k_{i4} 为工作时间因子，反映产品工作时间长短的因子，工作时间长，取值较大； k_{i5} 为维修因子，反映零部件维修难易程度； k_{i6} 为器材质量因子，反映零部件由多少零件组成。

利用公式(2)和表1中控制盒加权分配的结果，当 $MTBF_{\text{规定值}} \geq 1500\text{h}$ ，计算控制盒的6个部件的 $MTBF$ 最低分配值如下。

控制板： $MTBF_1=3286\text{h}$ ，

输入板： $MTBF_2=11670\text{h}$ ，

基板： $MTBF_3=96281\text{h}$ ，

输出板： $MTBF_4=8558\text{h}$ ，

电源板： $MTBF_5=6864\text{h}$ ，

表1 控制盒加权分配表

因子	部件					
	CTR	IN	JB	OUT	PW	圆型连接 LJ
k_{i1}	2.5	2.0	1.0	2.0	2.0	0.5
k_{i2}	2.5	2.0	1.0	2.0	2.5	1.0
k_{i3}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5
k_{i4}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
k_{i5}	1.5	1.1	0.8	1.2	1.2	0.5
k_{i6}	2.0	1.2	0.8	1.5	1.5	0.5
$k_i = \prod_{j=1}^6 k_{ij}$	42.19	11.88	1.44	16.2	20.25	0.47
$\sum_{i=1}^5 k_i$	92.43					

圆形连接器： $MTBF_6=294989\text{h}$ 。

4 可靠性预计

根据 GJB/Z 299C—2006《电子设备可靠性预计手册》中可靠性预计方法——元器件应力分析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及部分元器件应力分析可靠性预计法。

元器件计数可靠性预计法模型为：

$$\lambda_{GS} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{Gi} \pi_{Qi} \quad (3)$$

其中， λ_{GS} 为设备总的失效率， $10^{-6}/\text{h}$ ； λ_{Gi} 为第 i 种元器件通用失效率， $10^{-6}/\text{h}$ ； π_{Qi} 为第 i 种元器件通用质量系数； N_i 为第 i 种元器件的数量； n 为设备中所有元器件种类数量。

质量等级：B1及以上。在选取质量等级系数时，按最低要求 B1 选取。主机要求装机产品电子元器件质量等级在 B1 及 B1 级以上。而实际中绝大部分元器件均为 A 级。

环境分类： A_{UF} （战斗机无人舱内）。

根据文献 [1]GJB/Z 299C—2006《电子设备可靠性预计手册》中提供的数据，可得出控制盒元器件质量等级系数及通用失效率，见表2。

印制板失效模型为：

$$\lambda_p = (\lambda_{b1}n + \lambda_{b2}) \pi_E \pi_Q \pi_C \quad (4)$$

表2 控制盒元器件统计表

种类	π_Q	名称	λ_G	PW	IN	CTR	OUT	JB
集成电路	0.5	单片微处理器, CMOS	8.356			1		
		计数, CMOS	1.827			2		
		编程, CMOS	1.827			2		
		AD/DA, CMOS	1.827			2		
		收发器, TTL 双极性	1.732				2	
		运放, MOS	1.284		4	2	4	
		54LS 系列, 双极性	1.403			2		
		4000 系列, CMOS	1.284		2			
晶体管	0.4	小功率管	1.394				16	
		大功率管	4.005				2	
普通二极管	0.4		0.788	2	14	4	28	
稳压二极管	0.5		2.499	2	4		4	
抑制二极管	0.5		6.661	1				
整流二极管	0.5		2.499	1			12	
发光二极管	0.5		0.213				65	
电阻器	0.6		0.0424	10	63	8		
电容器	0.5	钽	0.5974	6	2	2		
		瓷介	0.3138	5	8	8	6	
连接器	0.7	圆形	0.267					
		印制板	0.744	1	1	1	1	4
振荡器	1		8.4			1		
电感	1		0.062	2				
线绕电阻	0.5		1.1271	2				
电源模块		查产品手册 可取 $\lambda_G=5$		2				
滤波组件		查产品手册 可取 $\lambda_G=3$		1				
焊点数				189	433	581	454	256
过孔数				2	23	25	28	17

其中, λ_{b1} 、 λ_{b2} 为基本失效率, $10^{-6}/h$, 取值分别为 0.00017、0.0011; n 为使用金属化孔数; π_E 为环境系数, A_{UF} 取值为 20; π_Q 为质量系数, 符合 GJB36A, 取值 0.3; π_C 为复杂度系数, 取值 1.3。

焊点失效模型为:

$$\lambda_p = N\lambda_b\pi_E\pi_Q, \quad (5)$$

其中, λ_p 为工作失效率, $10^{-6}/h$; λ_b 为基本失效率, $10^{-6}/h$, 采用回流焊取值 0.00007; N 为焊点; π_E 为环境系数, A_{UF} 取值为 11; π_Q 为质量系数, 按 B 级, 取值 1;

由公式(3)~(5)及表1可计算出各自的失效率 λ_{cpu} 、 $\lambda_{集1}$ 、 $\lambda_{集2}$ 、 $\lambda_{集3}$ 、 $\lambda_{集4}$ 、 $\lambda_{集5}$ 、 $\lambda_{二}$ 、 $\lambda_{铝电容}$ 、 $\lambda_{普通电容}$ 、 $\lambda_{连}$ 、 $\lambda_{电阻}$ 、 $\lambda_{晶}$ 、 $\lambda_{印}$ 、 $\lambda_{焊点}$ 。所以控制板总的失效率为以上各失效率之和, $\lambda_{CTR} = 22.29334$ 。

该板子的 $MTFB=1/\lambda_G = 44856h$ 。

同理可以推算出其他板子的失效率 λ 及平均无故障时间 $MTFB$ 分别为:

电源板: $\lambda_{PW}=25.46686$, $MTFB_{PW}=39266h$;

输入板: $\lambda_{IN}=28.033888$, $MTFB_{IN}=35671h$;

输出板: $\lambda_{OUT}=55.36868$, $MTFB_{OUT}=18060h$;

基板: $\lambda_{JB}=2.311442$, $MTFB_{JB}=432630h$;

控制盒对外的圆形连接器:

$\lambda_{IJ}=0.7 \times 0.267 \times 2=0.3738$,

$MTFB_{IJ}=1/\lambda_{IJ}=2675227h$ 。

控制盒总体:

$\lambda_{总}=22.29334+25.46686+28.033888+55.36868+2.311442+0.3738=133.84801$, $MTFB=1/\lambda_{总}=7471h$ 。

从表3中可以看出,控制盒的各部件的可靠性预测值均大于分配值,该设计满足可靠性分配值要求。

即便按2倍余量设计,控制盒可达到的平均无故障时间为: $MTFB=7471/2=3735h$,远大于系统最低1500h的要求。

5 其他可靠性保障手段

5.1 元器件质量保证

控制器所用器件严格按主机优选目录,采用军档元器件,所用元器件100%进行二次筛选,并留有较大的功率、电压和电流裕量,尽量采用CMOS集成电路,减少功耗。对于失效率较大的器件,设计和选型时尽量采用带可靠性指标的器件。

5.2 软硬件抗干扰技术

合理布局PCB上的元件分布;严格区分大、小信号线和电源线;数字地线、模拟地线(下转第84页)

表3 可靠性分配与预计值对照表

名称	总体	电源板	输入板	控制板	输出板	基板	圆形连接器
可靠性分配值	1500	6864	11670	3286	8558	96281	294989
可靠性预计值	7471	39266	35671	44856	18060	432630	2675227