

# 某型飞机襟翼系统可靠性分析

孙海龙, 郭书祥, 贾永安

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:**根据某型教练机襟翼收放系统的具体情况,分析了该系统的可能故障模式,并以襟翼不能放下为顶事件建立了该系统的故障树。利用一种系统可靠性分析的新算法对该系统进行了可靠性定量计算,找出了该襟翼系统的薄弱环节,为外场检查维护工作提供了依据。

**关键词:**故障树;故障模式;襟翼收放系统;重要度

**中图分类号:** V251.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0008-03

襟翼收放系统是喷气式飞机必不可少的部分,主要用以增加升力,缩短起飞着陆滑跑距离。如果襟翼系统出现故障,在飞行训练中将可能出现飞机滑出跑道的事故征候甚至等级事故,因此,襟翼收放系统是用于飞机飞行控制的重要系统之一,如出现故障则直接危及飞行安全。

## 1 系统的可靠性计算方法

在系统的可靠性计算时,由于系统的最小割集间有可能是相容事件,所以当系统最小割集数量较大时,就会产生所谓的“组合爆炸”问题<sup>[1]</sup>,这将不利于系统可靠性的计算。传统的计算方法是利用集合运算规则,将最小割集的相交和化为不交和,即进行不交化运算,再利用不交集进行故障概率的计算。文献[2]提出了一种直接通过各故障模式的故障概率和故障模式之间的相关度综合确定系统故障概率和可靠度的方法。利用此方法计算可靠性指标,可以略去对故障模式进行不交化计算的繁琐工作,直接利用具有可能相关性的故障模式进行可靠性的定量计算,大量节省计算机时。

### 1.1 故障概率计算方法

设系统有  $m$  个故障模式,分别记为  $K_1, K_2, \dots, K_m$ ,由文[2]可知系统的故障概率可按下式计算:

$$P_f = P(K_1 + K_2 + \dots + K_m) = P(K_1) + \sum_{i=2}^m (1 - d_i)P(K_i) \quad (1)$$

$$d_i = P(q_{1i} + q_{2i} + \dots + q_{i-1,i}) \quad (2) \quad q_{ki} = K_k \cap \bar{K}_i = K_k \bar{K}_i \quad (k = 1, 2, \dots, i-1) \quad (3)$$

式中:  $d_i$  为各故障模式的相关度,即第  $i$  个故障模式的补集分别与前  $i-1$  个故障模式的交集之和的概率值;  $\bar{K}_i$  为故障模式  $K_i$  的补集。

### 1.2 底事件的重要度

重要度的分类很多,各自从不同的角度反映了部件或底事件对顶事件影响的大小,工程实际中常用到关键重要度列出系统中部件诊断检查的顺序表来指导系统设计和维修。根据关键重要度的定义及式(1)可得各部件的关键重要度为

$$I_i^{cr} = \frac{P_i}{P_{fs}} \left( \sum_{k=1}^m \frac{\partial F_k}{\partial P_i} - \sum_{k=1}^m \left( \frac{\partial d_k}{\partial P_i} F_k + \frac{\partial F_k}{\partial P_i} d_k \right) \right) \quad (4)$$

当  $K_i$  中含有  $P_i$  时,上式可简化为

收稿日期:2004-01-05

基金项目:中国博士后基金资助项目(2003034410)

作者简介:孙海龙(1978-),男,山西运城人,工程师,主要从事飞行器可靠性工程和综合优化设计研究;

郭书祥(1964-),男,陕西商州人,教授,博士生导师,,主要从事飞行器可靠性工程和综合优化设计研究。

$$I_i^{pr} = \frac{P_i}{P_{fs}} \left( \frac{\partial F_1}{\partial P_i} + \sum_{k=2}^m (1 - d_k) \frac{F_k}{P_i} \right) \quad (5)$$

式中:  $K_i$  为故障模式;  $P_i$  为第  $i$  个底事件的发生概率;  $P_{fs}$  为系统故障概率;  $F_k$  为各故障模式的概率函数。

## 2 襟翼收放系统的可靠性分析

### 2.1 襟翼收放系统工作原理

襟翼收放系统的功用是控制襟翼的收放达到规定位置,缩短飞机起飞、着陆滑跑距离。该系统工作原理见图1。

本文着重讨论襟翼系统不能放下的故障概率的计算,故只着重介绍襟翼放下过程的工作原理:襟翼收放系统为带有应急放下系统的冗余系统。按下起飞按钮,电磁活门1右边的电磁铁通电,油液从电磁活门1的放下接头流出,经应急活门3到双向液压锁外侧开锁。与此同时,油液还经双向液压锁4内侧进入襟翼收放作动筒9的放下腔,将襟翼放下。作动筒另一腔的油液通过双向液压锁4外侧、限流活门5等量协调活门6和电磁活门的收上接头流回油箱。当襟翼放到位时,微动电门断开电磁活门的电路,停止向作动筒供油。襟翼在双向液压锁的作用下,被锁闭在位置上。当正常系统故障时,可使用应急放下系统,过程是应急油液通过电磁活门2到应急活门3,下面过程同前述的襟翼放下过程相同。

### 2.2 故障模式分析

假设:各部件只有完好和故障两种状态,而没有其他中间状态;各部件之间相互独立。

以  $x_i$  表示系统中第  $i$  个部件故障,其中  $i = 1, 2, \dots, 9$  为上述各部件的编号,例如  $x_1$  表示三位四通型电磁活门故障。该系统中的正常收放系统为一串联系统,而应急系统只在正常系统故障时起应急放下作用,即电磁活门2是电磁活门1的一个冷备件。当襟翼不能放下时,系统中有两种可能事件发生:一是正常放下电磁活门1和应急放下电磁活门2都故障,系统中根本没有液压油进入;二是虽然系统中有油液进入,但是由于系统中其他部件为串联关系,当其中任一部件故障时,系统中液压油的流动将不能形成循环,襟翼收放作动筒活塞杆运动受阻,以致襟翼不能放下。故以襟翼不能放下为顶事件可建立故障树见图2。

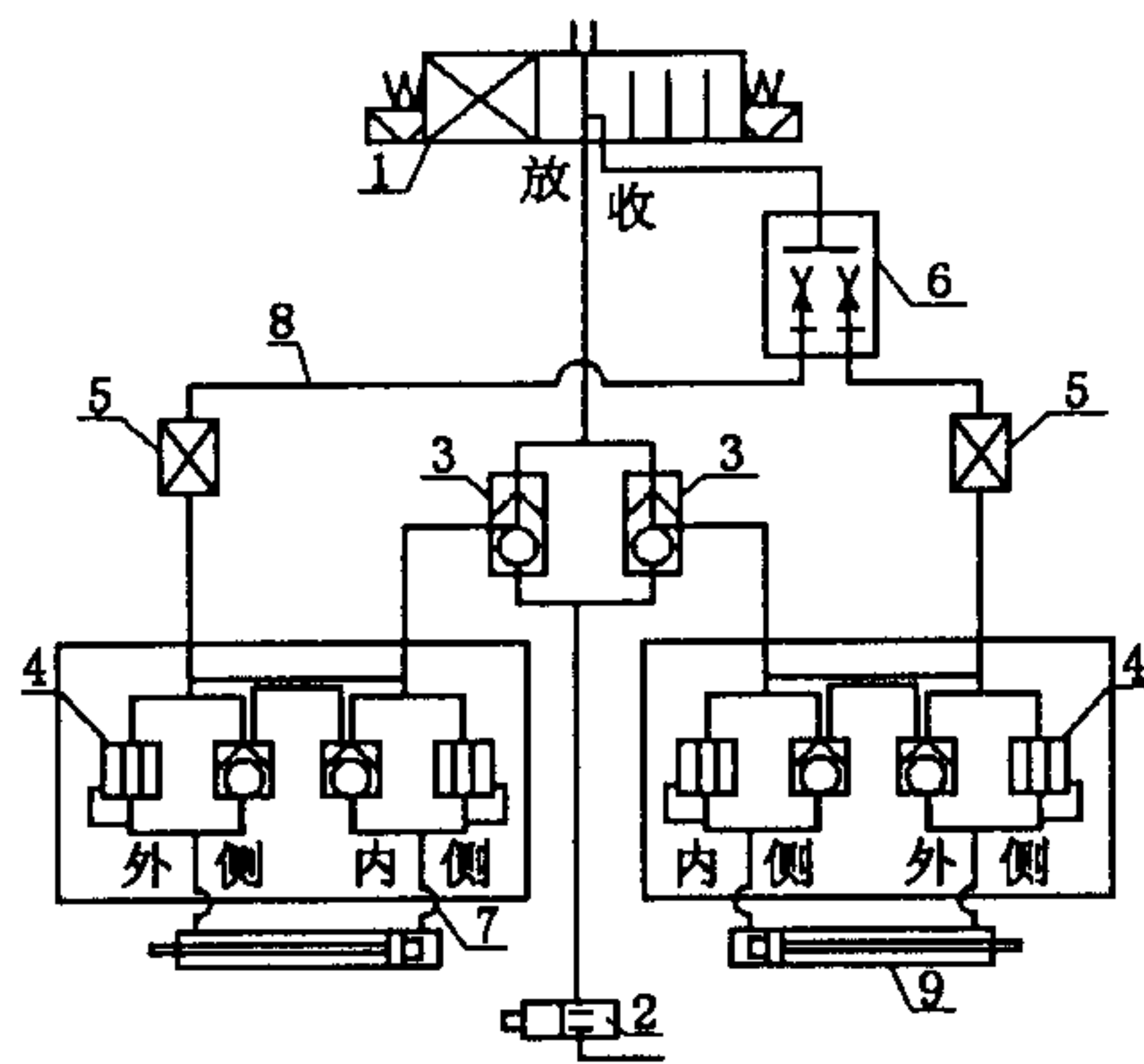


图1 襟翼收放系统工作原理

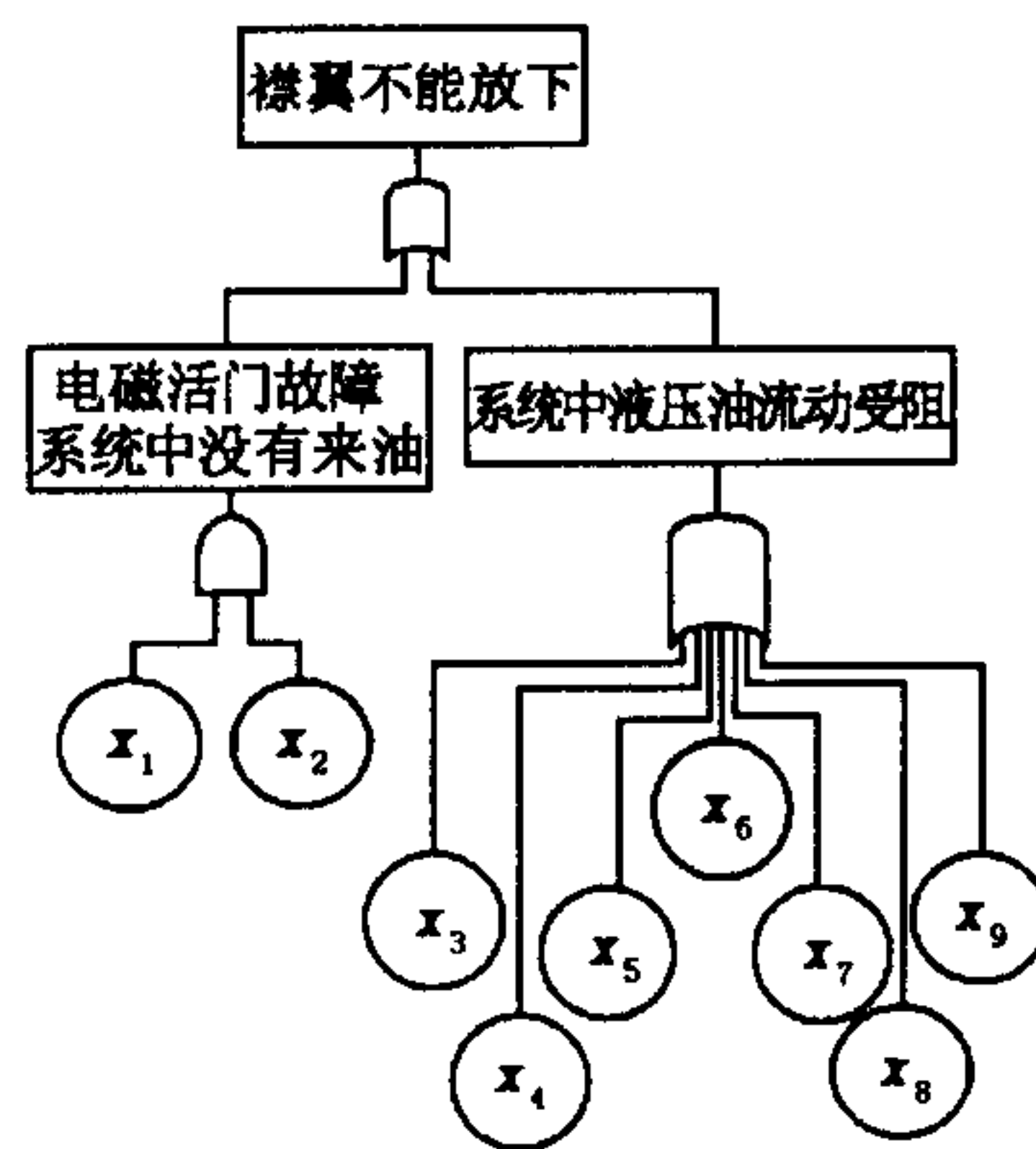


图2 襟翼不能放下故障树

利用故障树分析法可得该故障树的最小割集即系统的故障模式为:  $K_1 = \{x_3\}$ ,  $K_2 = \{x_4\}$ ,  $K_3 = \{x_5\}$ ,  $K_4 = \{x_6\}$ ,  $K_5 = \{x_7\}$ ,  $K_6 = \{x_8\}$ ,  $K_7 = \{x_9\}$ ,  $K_8 = \{x_1, x_2\}$ 。

### 2.3 系统可靠性计算

系统中三位四通型电磁活门1、二位二通型电磁活门2及襟翼收放作动筒9的寿命服从Weibull分布,各参数值见文献[3],其余各附件、导管寿命近似服从指数分布。这样即可得到任意时刻各部件的故障概率<sup>[5]</sup>。

襟翼系统在飞行训练中为一非连续工作部件,只有在飞机起飞着陆过程中才使用。在飞行训练中,完成一个完整的起落过程,襟翼系统的工作时间  $t$  只需30 s左右。现取  $t = 30$  s,则根据文献[3]可得襟翼系统在一个定检周期内的总工作时间为

$$T = F_H(S/F)C_o(t/3\ 600) = 300 \times 1.39 \times 4.8 \times 130/3\ 600 = 16.68(\text{h}) \quad (6)$$

式中:  $F_H$  为飞机定检周期;  $S/F$  为次数运行比;  $C_o$  为折算系数。  $F_H$  值可查飞机维护规程得到。现以  $T = 17$  h 进

行计算,定量计算结果在表1中给出。

表1 计算结果

序号	$P(x_i)$	$P(K_i)$	$d_i$	$I_i^{cr}$
1	1.504 5e-4	1.685 6e-2		1.820 0e-7
2	1.504 5e-4	8.464 0e-3	1.685 6e-2	1.820 0e-7
3	1.685 6e-2	6.776 9e-3	2.532 0e-2	1.421 5e-1
4	8.464 0e-3	4.584 1e-3	3.209 7e-2	7.071 4e-2
5	6.776 9e-3	6.574 0e-2	3.668 1e-2	5.651 3e-2
6	4.584 1e-3	3.630 5e-3	1.024 2e-1	3.813 3e-2
7	6.574 0e-2	5.135 3e-3	1.060 5e-1	5.843 0e-1
8	3.630 5e-3	2.200 0e-8	1.118 7e-1	3.016 9e-2
9	5.135 3e-3			4.274 5e-2

系统故障概率:  $P_{fs} = 1.0739e-1$

利用拉格朗日插值法对文献[4]中的预计数据进行插值计算,得  $T = 17$  h 小时时系统的失效概率。由此可见利用本文方法所得计算结果与文献[3]预计值基本吻合。

关键重要度确定了各部件触发系统故障的概率大小,从而为系统故障诊断检查提供了依据,有利于用最快速度排除故障。从上表计算结果可知该系统诊断检查的顺序为7,3,4,5,9,6,8,1,2。此结果可用于指导外场检查维护过程中确定重点检查部位,加强对易损部件的检查。

### 3 结论

- 1) 本文对军用某型教练机襟翼收放系统进行了故障模式分析,利用一种网络系统可靠性新算法,对该系统的故障概率进行了定量计算。计算结果表明该算法在一般系统可靠性计算中也能得到理想的结果。
- 2) 通过对襟翼系统的定量计算,确定了系统的故障诊断顺序及维护检查的重点部位,为飞机外场维护工作提供了指导。
- 3) 本文方法也可用于其他系统的故障概率计算。

#### 参考文献:

- [1] 郭波,武小悦. 系统可靠性分析[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002.
- [2] 郭书祥,李友仙,张陵. 网络系统可靠性计算的一种快速有效方法[J]. 系统工程与电子技术,2005,(4):744-747.
- [3] 王小文. I8型飞机襟翼收放系统可靠性验证试验及寿命试验研究[D]. 西安:西北工业大学,2000.
- [4] Cui W,Blockley B I. On the Bounds for Structural System Reliability[J]. Structural Safety,1991,9(4):247-259.
- [5] 张净敏. 可修复系统可靠性统计分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(4):62-64.

(编辑:姚树峰)

## Reliability Analysis of the Flap System of a Certain Type of Aircraft

SUN Hai-long, GUO Shu-xiang, JIA Yong-an

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

**Abstract:** The fault modes and system reliability of the flap control system of a certain type of military trainer are studied in the paper. Some possible fault modes of the system are analyzed in detail. The fault tree of the system is built by considering that the flap cannot be laid down. The fault probability of the system and the degrees of importance of elements are computed by means of a new algorithm proposed for network systems in a previous paper. All the results provide a foundation for the maintenance crew in their practical maintenance work.

**Key words:** fault tree; fault mode; flap control system; degree of importance