

# 机载设备隐蔽故障及维修策略

## Hidden Failure and Maintenance Strategy on Airborne Equipment

中国民航大学航空工程学院 苏义

**[摘要]** 飞机上有许多机载设备为了保证其自身功能的可靠性,大量地使用冗余、备份、保护、应急装置等技术。这些设备平时不发挥作用,其故障也就是隐蔽的。本文针对隐蔽故障的故障管理策略,选择氧气系统使用可用度模型来确定故障检查间隔期,保证这些机载设备的可用度。

**关键词:** 隐蔽故障 RCM 可用度模型 氧气系统

**[ABSTRACT]** To ensure reliability of a great deal of airborne equipment, techniques such as redundancy, copy, safeguard and emergency are used. This equipment doesn't operate usually, so their defects are hidden. With the maintenance strategy of latent defect, to ensure the availability, oxygen system is chosen and availability model is used to make sure interval of inspection and to ensure the availability of airborne equipment.

**Keywords:** Hidden failure RCM Availability model Oxygen system

现代企业往往是资产密集型的高新技术企业,其核心竞争力就是通过有效的管理,实现资产效率的最大化和成本的最低化。设备是企业资产的主要表现形式,随着科学技术突飞猛进的发展,设备的现代化水平不断提高:越来越大型化、高速化、电子化,结构也更加复杂化。因此,任何设备在使用过程中,故障在所难免。

RCM技术是目前国际上通用的、用以确定资产预防性维修要求、优化维修制度的一种系统工程方法。它的基本思路是对系统进行功能与故障分析,明确系统内各故障发生的后果,用规范化的逻辑决断方法,确定各类故障后果的预防性对策,通过现场故障统计、专家评估和量化建模等手段,在保证安全性和完好性的前提下,以维修停机损失最小为目标,优化系统的维修策略。

## 1 故障和故障管理

### 1.1 故障<sup>[1]</sup>

在RCM分析中,产品的故障定义为:产品或产品的一部分不能或将不能完成预定功能的事件或状态,对某些产品(如电子元器件、弹药等)称为失效。

从上面定义看,故障是对产品的非正常技术状态的

统称,是一个比较宽泛的概念,它可以指产品本身,也可以指产品的一部分;可以是不能完成预定功能的状态,也可以是即将不能完成预定功能的状态。为了便于提出维修对策,RCM对故障进行了明确分类。

### 1.2 隐蔽故障

从故障后果的评估与分析角度出发,按故障模式的发生相对于资产的使用人员是否明显,可将故障分为隐蔽故障和明显故障。

有些故障发生时,人们并不知道它已处于故障状态,除非其他的故障或不正常事件也发生了,这种故障即隐蔽故障。当该故障模式单独发生时,在正常的情况下,其故障影响对资产的使用人员而言是不明显的。它们必须在装备停机时作检查或测试后才能发现。

隐蔽功能故障包括2种情况:(1)正常使用情况下,产品是工作的,其功能故障(不工作或不能完成规定功能)对履行正常职责的操作人员来说是不明显的;(2)正常使用情况下,产品是不工作并处于备用状态的,其功能故障(不能工作)在需要使用这种功能前,履行正常职责的使用人员是发现不了的。

例如,一些飞机动力装置的老式火警探测系统属于第一种情况。这个系统只要发动机在使用,它就工作,但是系统的功能对操作人员是不明显的,因为其传感器功能是隐蔽的,除非它探测到了火灾;如果它出了某种故障,则该故障就是隐蔽的。配合火警探测系统的灭火系统属于第二种情况。除非探测到了火警,否则灭火系统是不工作的,没有火警不需要灭火时也表现不出它的功能,只有当需要使用它时,使用人员才能发现它能否工作。如果这些隐蔽功能故障没有及时发现和排除,最终就可能造成严重的后果。

一个产品可能有若干种功能。如果在这些功能中,有一种功能的丧失是“不明显的”,这种功能称为隐蔽功能,该产品也称为隐蔽功能产品。反之,这种功能称为明显功能,该产品也称为明显功能产品。

RCM评估故障后果的方法,从将故障分为隐蔽故障和明显故障开始。对现代复杂的设备而言,隐蔽故障的数量要占故障模式总数的一半以上。因此,处理隐蔽故障时要特别小心。

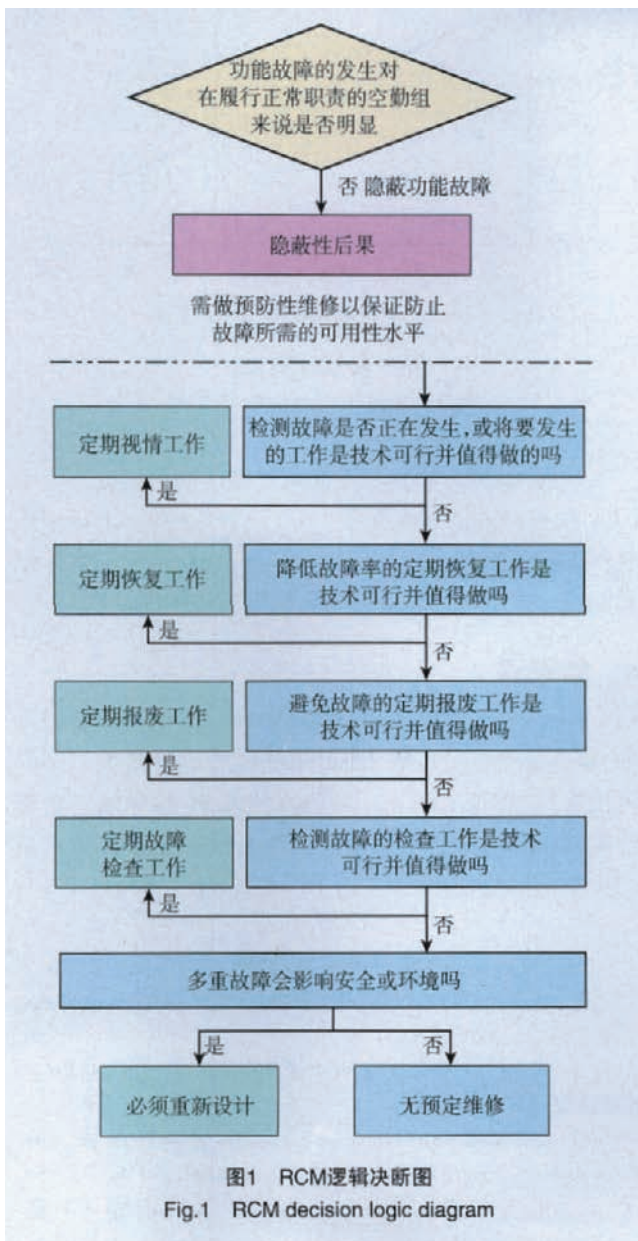
### 1.3 故障管理策略<sup>[1]</sup>

故障管理策略,顾名思义,就是故障的处理方式。通常分为2类:

(1)主动性维修工作。为了防止产品到达故障状态,而在故障前所采取的工作为主动维修工作。它包括定期恢复、定期报废和视情维修3种工作类型。采用主动性维修工作的故障管理策略,SAEJA1011又将其称为主故障管理策略。

(2)非主动性对策。当不可能选择有效的主动性工作时,所选择的故障管理策略为非主动性对策。其内容包括:故障检查、重新设计和故障后修理。定期恢复、定期报废、视情维修和故障检查这4种维修工作中的2种或2种以上的组合。它主要用于有安全性或环境性影响的故障模式。

RCM将维修工作类型划分为以下5类:定期恢复、定期报废、视情维修、故障检查、维修工作组合。



因此,故障管理策略除上述5种维修工作类型之外,还包括:重新设计和故障后修理这2项内容。

图1是针对隐蔽故障的故障管理策略逻辑决断图<sup>[1]</sup>,并且本文认为故障检查这一维修策略对于预防隐蔽故障是有效的。

## 2 可用度模型<sup>[2]</sup>

### 2.1 假设和参数

(1)假设:

①系统平时不工作,只有在 $t_i (i=1,2,3,\dots)$ 时进行的定期检查才能发现其故障,检查间隔期 $T$ 为常数( $t_i - t_{i-1} = T, i > 0 (t_0 = 0)$ );

②检查时系统不退化或故障;

③检查是完善的,有故障即能发现;

④检查发现故障后,系统立即更新;

⑤检查和更换时间忽略不计。

(2)参数:

① $T$ : 检查间隔期;

② $MTTF, f(t), F(t)$ : 分别为平均故障前时间、故障时间密度函数、故障时间分布函数;

③ $A_a(T)$ : 给定检查间隔期下系统的期望可用度;

④ $A_r$ : 可用度要求;

⑤ $ED$ : 一个寿命周期内期望停机时间;

⑥ $EL$ : 系统的期望寿命周期;

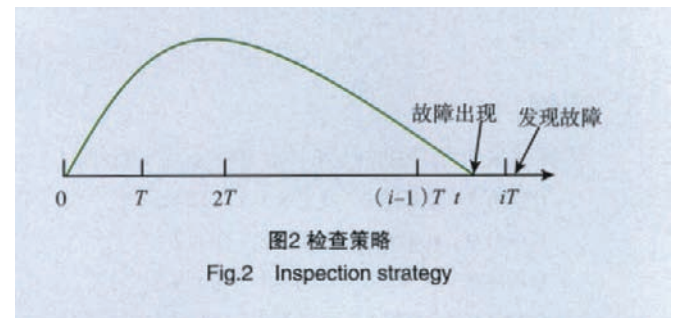
⑦ $T_L, T_U$ : 检查间隔期 $T$ 的下限和上限。

### 2.2 可用度模型的一般形式

长时期使用的系统的期望可用度可以表示为

$$A_m(T) = \frac{EL - ED}{EL}$$

式中 $ED$ 为一个寿命周期内的期望停机时间; $EL$ 为期望寿命周期。



设系统在2次检查 $[(i-1)T, iT]$ 之间的 $(t, t+dt)$ 上发生故障,故障在 $iT$ 时被发现,如图2所示。系统从出现故障到被发现的时间长度是 $(iT-t)$ 。系统在 $t$ 时刻故障的概率为 $f(t)dt$ 。因此,系统期望的寿命周期为

$$EL = \sum_{i=1}^{\infty} \int_{(i-1)T}^{iT} iT f(t) dt =$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} iT[\bar{F}((i-1)T) - \bar{F}(iT)] = \sum_{i=0}^{\infty} T\bar{F}(iT)。$$

其中  $\bar{F}(\square) = 1 - F(\square)$ ,

$$\begin{aligned} EL &= \sum_{i=1}^{\infty} iTf(t)dt \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} iT[\bar{F}((i-1)T) - \bar{F}(iT)] = \sum_{i=0}^{\infty} T\bar{F}(iT)。$$

从故障出现到故障被发现的期望停机时间为

$$\begin{aligned} ED &= \sum_{i=1}^{\infty} \int_{(i-1)T}^{iT} (iT-t)f(t)dt \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \int_{(i-1)T}^{iT} iTf(t)dt - \int_0^{\infty} tf(t)dt = EL - MTTF。 \end{aligned}$$

其中,  $MTTF$  为系统平均故障时间,

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt。$$

因此, 可用度模型的基本公式为

$$A_{av}(T) = \frac{MTTF}{EL}。 \quad (1)$$

$EL$  随  $T$  的增长而增长, 其最小值为  $MTTF$ , 因为

$$\begin{aligned} \lim_{T \rightarrow \infty} T \sum_{i=0}^{\infty} \bar{F}(iT) &\rightarrow \infty, \\ \lim_{T \rightarrow \infty} T \sum_{i=0}^{\infty} \bar{F}(iT) &= \int_0^{\infty} \bar{F}(t)dt = MTTF。 \end{aligned}$$

所以, 期望可用度  $A_{av}(T)$  随检查间隔期的增长而下降, 随检查间隔期的缩短而增大, 这与我们的直觉相符。

式(1)是故障时间任意分布时系统可用度模型的一般表达式。理论上, 如果故障时间分布已知, 给定  $T$  值时的  $A_{av}(T)$  值或满足要求可用度  $A_r$  的  $T$  值均可由式(1)解得。

### 3 实例

某机载氧气系统的故障时间(单位: 万飞行小时)

0.046 3	0.128 2	0.238 1	0.151 5
0.400 0	0.416 7	0.212 8	0.312 5
0.384 6	0.384 6	0.074 1	0.059 5
0.163 9	0.077 5	0.156 3	0.147 1
0.029 4	0.031 2	0.043 1	0.031 5
0.035 2	0.079 4	0.076 9	0.030 2
0.064 5	0.117 6	0.175 4	0.256 4
0.122 0	0.256 4	0.714 3	1.666 7
0.526 3	0.526 3		

使用 matlab 拟合, 机载氧气系统的故障率服从

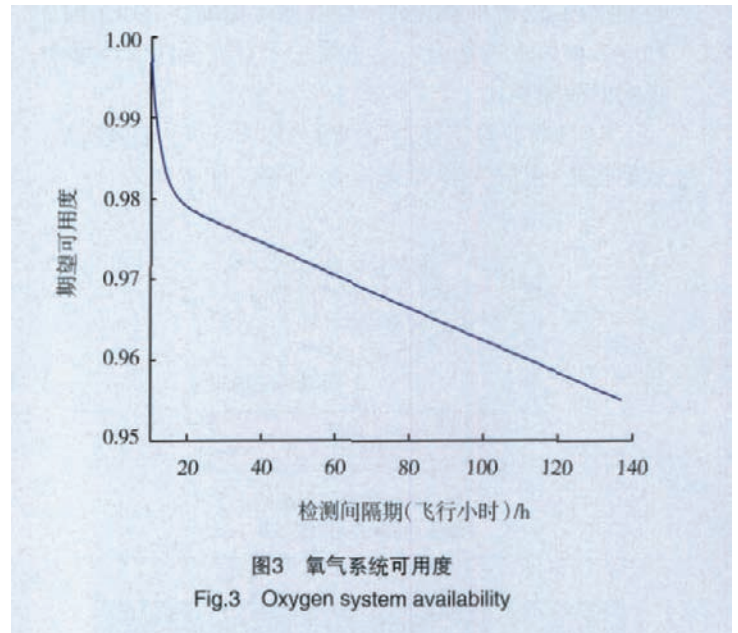
Weibull 分布,  $m=0.979 6, \eta=2 368.01$ , 则

$$\bar{F}(t) = \exp[-(t/\eta)^m],$$

通过式(1), 使用 matlab 编程计算, 系统可用度值  $A_{av}(T)$  所对应的  $T$  均可求得。如表 1 所示, 而具体可用度的分布, 可见图 3。

表1 Weibull分布的  $T$  值计算

$A_{av}(T)$	0.991 9	0.980 2	0.975 1	0.970 0	0.965 0	0.960 0
$T/h$	11	17	37	62	87	112



从表 1 可见, 如果要求的氧气系统的可用度不小于 0.98, 检查间隔期不应大于 17h (飞行小时)。上面诸如氧气系统等设备一般是航后即检查, 理论结果与实际结果相符。这也可以验证可用度模型的适用性。

### 4 结束语

针对隐蔽故障, 使用故障检查这一维修策略进行维护, 保证系统的安全性, 而可用度模型可以量化系统的可用度, 在理论上给出一些检查间隔期, 指导制定实际的维修策略。并且可以通过实际及故障数据的丰富进一步修正模型。

### 参 考 文 献

[1] 莫布雷 J. 以可靠性为中心的维修. 总装备部电子信息基础部技术基础局, 2003:50-57.  
 [2] 贾希胜. 以可靠性为中心的维修决策模型. 北京: 国防工业出版社, 2007:135-141.  
 [3] ATA MSG-3. Air Transport Association of America, Inc. 1301. Pennsylvania Avenue, NW-Suite 1100 Washington, DC 20004-1707 USA.

(责编 小颖)