

文章编号: 1000-6893(1999)增-0S19-02

# 涡轮冷却器寿命评估的一般方法

齐二民

(贵航集团永红机械厂设计所, 贵州 贵阳 550009)

COMMON METHOD OF THE LIFE EVALUATION FOR THE TURBINE COOLER

QI Er-min

(The Design Institute, Yonghong Machinery Factory, Guizhou Aviation Industry Group, Guiyang 550009, China)

**摘要:** 阐述了涡轮冷却器依据威布尔分布运用最小二乘法进行寿命评估的基本程序和计算方法。涡轮冷却器(以下简称涡轮)是飞机环控系统的重要机载设备,属高速旋转的叶片机械。由于涡轮长期处在高速且变载荷的工作状态(转速可高达 100 000r/min),要对其进行寿命评估较为困难。涡轮寿命的薄弱环节主要是滚动轴承的磨损,它是在特定环境条件下,随着时间的延续而出现失效的随机现象。因为通过大量的长期的厂内试验而找出产品寿命的统计规律极不经济也不现实,所以采取的主要技术途径是外场信息法。外场信息的子样数大,环境条件逼真,可信度高。统计了大量外场数据,经过处理及对产品薄弱环节分析论证,证实涡轮的寿命主要服从威布尔分布。

**关键词:** 寿命评估; 涡轮; 冷却器

**中图分类号:** V245.3 **文献标识码:** A

**Abstract:** This article elaborates the basic program and the counting method of the life evaluation with least squares according to Weibull distribution for the turbine cooler. The turbine cooler (thereinafter for short turbine) is a rotation part of high speed for the airplane environment control system. It is difficult to evaluate the life of the turbine as it always works with high speed and variable load (the speed can be 100,000 r/min). The main negative influence on the turbine life is the wear-out of lapse roll bearing which is a stochastic phenomenon with continuation of time under a special condition. It is not economical nor practical to find the life evaluation through abundant and long-term sampling test. So the primary technical approach is the outfield information, which has advantages of numerous sub-samples life like environment condition and high reliability with a large number of outfield date statistics diagnosing the weakness of products. It is confirmed that the turbine life is in accordance with Weibull distribution.

**Key words:** life evaluation; turbine; coolers

## 1 外场信息统计

(1) 将外场统计的样品工作时间划分为若干个时间间隔  $t_i$ , 各间隔内工作样品数为  $n_i$ , 在此期间失效的样品数为  $S_{r_i}$ , 正常工作样品数为  $k_i$ 。

(2) 用残存比例法处理外场信息

1 计算公式<sup>[1]</sup>

$$\text{总样品数: } \sum_{i=1}^n n_i = N;$$

删除样品数:  $K_i$ ;

$$\text{残存样品数: } n_s(t_i) = \sum_{i=1}^n n_i - \sum_{j=1}^i S_{r_j} - \sum_{j=1}^i K_j;$$

$$\text{失效比率: } X(t_i) = S_{r_i} / [n_s(t_{i-1})];$$

残存比例:  $S(t_i) = 1 - X(t_i)$ ;

可靠度:  $R(t_i) = R(t_{i-1}) \cdot S(t_i)$ 。

由外场信息统计进行计算, 结果列入表 1。

表 1 外场信息统计计算结果

$t_i$	$K_i$	$S_{r_i}$	$n_s(t_i)$	$X(t_i)$	$S(t_i)$	$R(t_i)$
0	0	0	N	0	1	1
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:

## 2 涡轮可靠性寿命评估

(1) 评估涡轮寿命为  $t$  时的可靠度  $R(t)$

1 威布尔分布函数的基本公式

分布函数  $F(t) = 1 - e^{-t^m/t_0^m}$  (1)

则  $\frac{1}{1 - F(t)} = e^{m \ln t / t_0}$

$$\text{设: } y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} \quad (2)$$

$$x = \ln t \quad (3)$$

$$B = \ln t_0 \quad (4)$$

在  $x-y$  直角坐标系上  $y = mx - B$  为一直线方程, 斜率为  $m$ ,  $y$  轴上的截距为  $-B$ 。

° 用最小二乘法配置回归直线 假设已知一系列数据  $(x_i, y_i)$ , 要求其各点所形成的直线  $y = mx - b$  与已配置的直线  $y = mx - B$  偏差最小, 则此直线的形状参数  $m$  的估计值为

$$\hat{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (5)$$

截距  $b$  的估计值为

$$\hat{b} = \frac{1}{n} \left( - \sum_{i=1}^n y_i + \hat{m} \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (6)$$

» 计算程序 (a) 将表 1 中的  $R(t_i) = 1 - F(t_i)$  值代入式(2), 求出各  $y_i$  值列入表 2; (b) 将表 1 中的  $t_i$  值代入式(3), 求出各  $x_i$  值列入表 2; (c) 将以上  $y_i, x_i$  值代入式(5), 求出形状参数  $m$  的估计值; (d) 将  $y_i, x_i$  值代入式(6), 求出截距  $b$  的估计值; (e) 将  $\hat{b}$  值代入式(4), 求出  $t_0$  的估计值; (f) 将  $\hat{m}, \hat{b}$  值代入式(1), 求出涡轮在时间  $t$  时的  $F(t)$  值; (g) 按照  $R(t) = 1 - f(t)$ , 即可求出涡轮在寿命为  $t$  时的可靠度。

(2) 评估涡轮 MTBF 值

1 按表 1 计算涡轮总工作时间  $T = \sum_{i=1}^n t_i$ ;

° 按表 1 计算总失效数  $r = \sum_{i=1}^i r_i$ ; » 涡轮平均故障间隔时间  $MTBF = T/r$ ;  $\frac{1}{4}$  涡轮偶然失效率  $K = 1/MTBF$ 。

表 2 根据公式求值

序号	$t_i$	$x = \ln t_i$	$R(t_i) = 1 - F(t_i)$	$\frac{1}{1 - F(t_i)}$	$\ln \frac{1}{1 - F(t_i)}$	$y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t_i)}$	$x_i \cdot y_i$	$x_i^2$
1	:	:	:	:	:	:	:	:
2	:	:	:	:	:	:	:	:
合计		$\sum_{i=1}^n x_i$				$\sum_{i=1}^n y_i$	$\sum_{i=1}^n x_i y_i$	$\sum_{i=1}^n x_i^2$

(3) 评估涡轮寿命为  $t$  的任务可靠度 已知  $\hat{m}, \hat{b}, K$  设涡轮在工作  $t$  后再工作  $\$t = 0.5h$ 。

1 威布尔分布的概率密度函数与可靠度函数

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-t^m/t_0^m}$$

$$f(t + \$t) = \frac{m}{t_0} (t + \$t)^{m-1} e^{-(t + \$t)^m/t_0^m}$$

° 涡轮在工作  $t$  后再工作  $\$t$  的可靠度  $R((t + \$t)/t) = e^{-(K_e + K_m) \cdot \$t} = e^{-[K_e \frac{1}{2} \left[ \frac{f(t)}{R(t)} + \frac{f(t + \$t)}{R(t + \$t)} \right]]}^{0.5}$

式中:  $K_e$  为偶然失效率;  $K_e = K$ ;  $K_m$  为  $\$t$  时间内的

平均耗损失效率,  $K_m = \frac{1}{2} \left[ \frac{f(t)}{R(t)} + \frac{f(t + \$t)}{R(t + \$t)} \right]$ 。

» 将  $\hat{m}, \hat{b}, K$  值分别代入以上公式进行计算, 即可得到任务可靠度  $R((t + \$t)/t)$ 。

### 3 结束语

(1) 利用外场信息用残存比例法进行统计

算, 根据最小二乘法原则求出的  $\hat{m}$  与  $\hat{b}$  值, 以此绘出回归直线  $y = \hat{m}x - \hat{b}$  与按照威布尔分布形成的直线  $y = mx - b$  偏差最小。

(2) 利用外场信息对涡轮进行寿命评估的方法可节省人力、物力, 迅速而有效地得出评估结果, 还可发现设计、制造缺陷, 明确改进方向, 此方法不仅适用于涡轮, 同样适用于其它耗损型机载设备, 对工程人员具有一定的应用价值。

### 参 考 文 献

[1] 顾振中, 童心, 曾天翔, 等. 航空机载设备寿命与可靠性评估指南[Z]. 北京: 航空工业部第 301 研究所, 1985.

作者简介:



齐二民 女, 1946年6月生, 高级工程师, 从事航空空气涡轮冷却器的设计及试验。  
联系电话: (0851) 3833177-8669。