

教练机发动机转速次循环分布规律

南京航空航天大学 宋迎东 尚伟钧

【摘要】 在大量的外场统计和空测的基础上,对某教练机发动机的外场使用载荷进行了分析研究,得出其转速次循环服从威布尔分布,并计算了其分布的密度函数。

主题词: 教练机 航空发动机 载荷谱 统计分析

分类号: V231.9

1 转速剖面的雨流计数结果

对空测的发动机 7 个典型飞行任务剖面进行雨流循环计数处理^[1],取无效幅值为 150 r/min。表 1 为统计出的 7 个剖面乘上任务混频后的循环均、幅值矩阵。

表 1 典型科目的转速循环均幅值短阵(均幅值单位: $\times 10^2$ r/min)

幅值	上限	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
	下限	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
45- 48		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48- 51		11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51- 54		64	49	33	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54- 57		19	11	0	67	59	7	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57- 60		299	801	657	423	251	224	132	91	60	42	19	11	7	0	0	0	0	107	42	62

从表 1 可见,转速循环主要分布在两个区域,一是高均值与高幅值的主循环区,即表中的 107、42 和 62 三项;一是中低幅值和高均值的次循环区。主、次循环的频次分布属于不同的母体,应区别对待。

2 转速次循环的分布规律

表 1 中的次循环的均值的大小是各不相同的,因此次循环的频次分布是随均值和幅值变化的二元分布函数,但在实际应用中通常将其简化为一元随机变量,采用波动中心法编谱^[2],从而确定次循环频次随幅值的变化规律。

图 1 为转速次循环的频次直方图,可见其呈现威布尔分布规律,下面对分布的密度函数进行计算与检验。

将表 2 中的数据代入威布尔分布的密度函数数学表达式^[3],

$$f(X_a) = \frac{m}{X_0}(X_a - v)^{(m-1)} \exp\left[-\frac{(X_a - v)^m}{X_0}\right], X_a > X_0$$

表 2 次循环的幅值与频次
(幅值单位: $\times 10^2 \text{ r/min}$; 总的次循环数为 3401)

序号	次循环	实测频次	实测频率	理论频次
i	幅值范围	v_i	n_i	p_i
1	[0, 3)	393	0. 1156	384
2	[3, 6)	861	0. 2532	867
3	[6, 9)	690	0. 2029	708
4	[9, 12)	490	0. 1441	512
5	[12, 15)	358	0. 1052	347
6	[15, 18)	231	0. 0679	225
7	[18, 21)	148	0. 0435	141
8	[21, 24)	91	0. 0268	86
9	[24, 27)	60	0. 0176	51
10	[27, 30)	42	0. 0123	30
11	[30, 33)	19	0. 0056	17
12	[33, 36)	11	0. 0032	9
13	[36, 39)	7	0. 0021	5

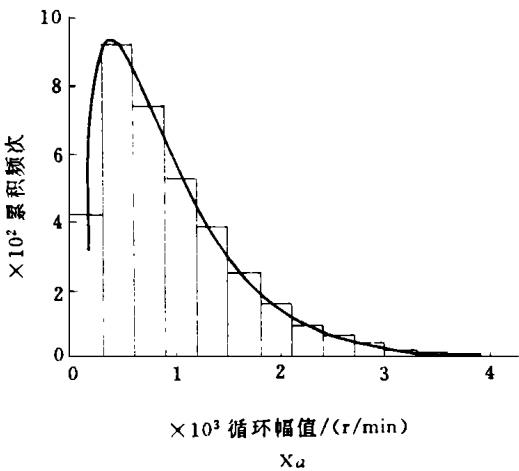


图 1 频次直方图与理论频率曲线

其中: m 为形状系数; X_0 为尺度系数; v 为位置参数; X_a 为循环幅值。可以计算得到: $m = 1.2325$, $X_0 = 4076.8560$, $v = 146.8936$ 。将 m 、 X_0 、 v 代入 $f(X_a)$ 的表达式, 计算出理论频次也列入表 2 中。将理论频率曲线画在频次直方图(图 1)中, 以便比较。根据表 2 求得 χ^2 统计量 η 为:

$$\eta = \sum_{i=1}^{13} \frac{v_i^2}{p_i} - N = 13.21006$$

取显著性水平为 0.05, 自由度为 $13 - 1 - 3 = 9$ 时, $\chi^2(0.05) = 16.919$, 故有: $\eta < \chi^2(0.05)$, 因此该发动机次循环频次随幅值的分布为威布尔分布。

3 结 论

该发动机的转速次循环频次分布为威布尔分布, 其密度函数为:

$$f(X_a) = \frac{1.2325}{4076.8460} (X_a - 146.8936)^{0.2325} \exp \left[- \frac{(X_a - 146.8936)^{1.2325}}{4076.8460} \right], X_a > 146.8936$$

参 考 文 献

- 宋迎东. 航空发动机设计任务循环预测研究: [学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 1994
- 高镇同. 应用疲劳统计学. 北京: 国防工业出版社, 1986
- Abernethy R B, 宋兆鸿译. 威布尔分析手册. 北京: 北京航空航天大学印刷厂, 1991

(责任编辑 王震华)