

# 基于聚类分析的飞机结构局部 环境谱编制技术研究

金 平 王国才<sup>1</sup> 谭晓明

(海军航空工程学院青岛分院航空机械系, 青岛 266041; 海军驻景德镇航空军事代表室<sup>1</sup>, 景德镇 333000)

**摘 要** 根据实测得到的某型飞机典型结构温、湿度数据, 采用模糊聚类方法对飞机结构类型进行归并分析。取模糊矩阵阈值为 0.7 时, 飞机结构可归为开式、半开式、封闭式三类典型结构。选取典型开式结构, 使用回归法建立开式结构温、湿度预测模型, 根据预测模型计算结果对某机场环境谱进行修正计算, 编制了开式结构局部环境谱。

**关键词** 飞机结构 模糊聚类分析 局部环境谱

**中图法分类号** V251.5;

**文献标志码** A

飞机在服役过程中所遭受的环境谱是造成其金属结构材料腐蚀损伤的主要原因, 环境谱通常指飞机结构件所遭到的介质、温度、湿度、应力等因素和时间的联合作用及每种环境因素的强度、持续时间、发生频率以及它们组合, 环境谱是开展飞机结构日历寿命、腐蚀疲劳寿命评定及腐蚀防护研究的重要基础。

飞机的机场停放腐蚀环境根据地理条件、使用情况、结构形式等因素可划分为总体腐蚀环境、局部腐蚀环境。总体腐蚀环境就是整架飞机各个部位均可能遇到的腐蚀环境, 其是引起飞机腐蚀的总体环境原因; 飞机上某一局部的部件、组合件所处的腐蚀环境条件称为局部环境。由于飞机结构在设计、密封、排水等方面不同造成局部腐蚀环境谱不同于总体腐蚀环境谱, 局部环境谱对飞机具体结构腐蚀起决定作用。这就是为什么同一架飞机上有的部位发生腐蚀, 而有的部位没有发生腐蚀的缘故。因而局部环境谱对研究飞机结构腐蚀损伤至关重要。

目前, 相关文献[1—5]对机场环境谱的编制方法、编制过程进行了深入研究, 而由于飞机结构局部环境数据资源以及相关研究资料欠缺, 对局部环

境谱的研究还非常有限<sup>[6—7]</sup>。本文根据实测某型机典型结构局部环境数据, 采用聚类法和回归法, 以右主起舱开式结构为例, 进行局部环境谱编制方法研究。

## 1 飞机结构聚类分析

飞机结构千差万别, 在编制局部环境谱时, 工程上不可能对每一结构局部环境进行分析。因此, 编制典型结构局部环境谱之前, 首先应对飞机结构进行聚类分析, 将飞机结构归并为几种主要类型。

选取某飞机典型结构共 15 个, 位置及编号见表 1, 采用温、湿测量仪对表 1 中各个位置的温、湿度每隔一小时测量记录一次, 共记录两个月的测量数据, 部分数据见表 2。其中将测量编号为 2、位置为右翼尖测量点的温、湿度数据视为机场环境温、湿度数据。通过实测数据发现, 不同结构的温、湿度数据变化较大, 所以本文以机场环境及各个结构的温、湿度数据为依据进行飞机结构聚类分析。

表 1 测量舱室位置及编号

编号	位置	编号	位置
1	主起舱(右)	9	升降舵操纵摇臂(机头)
2	右翼尖	10	中、外翼对接处检查口盖
3	机务舱	11	(右)
4	驾驶舱	12	尾舱
5	领航舱	13	发动机排气孔(右)
6	发动机进气道(右)	14	(停机坪)右机翼尖后部
7	前起舱	15	(外)
8	油量表传感器检查口(后主油箱)	16	主起落架收放作动筒检查口盖(右)
			炸弹舱
			液压油箱检查窗口

表 2 典型结构部分温、湿度实测数据

$T_2$	$H_2$	$T_1$	$H_1$	$T_3$	$H_3$	...	...	$T_{14}$	$H_{14}$	$T_{15}$	$H_{15}$	$T_{16}$	$H_{16}$
7	57	7	77	...	...	...	...	7	73	10	61	4	73
7	58	7	78	...	...	...	...	7	74	9	62	3	76
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	39	9	67	...	...	...	...	8	73	9	69	10	62
12	39	12	67	...	...	...	...	10	73	11	65	21	40

(注: $T_2$ 、 $H_2$  分别代表机场环境温、湿度,单位分别为℃和%; $T_1$ 、 $H_1$  分别代表舱室 1—右主起舱温度和相对湿度,其余以此类推)

依据模糊聚类算法原理<sup>[7]</sup>,根据实测数据计算可得等价模糊聚类矩阵  $R^*$  为:

$$R^* = \begin{bmatrix} 1 & 0.9 & 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ & 1 & 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ & & 1 & 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.8 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ & & & 1 & 0.6 & 0.8 & 0.8 & 0.7 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ & & & & 1 & 0.8 & 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.9 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.7 & 0.7 \\ & & & & & 1 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ & & & & & & 1 & 0.9 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ & & & & & & & 1 & 0.6 & 0.8 & 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.7 \\ & & & & & & & & 1 & 0.7 & 0.8 & 0.8 & 0.7 & 0.9 & 0.6 & 0.6 \\ & & & & & & & & & 1 & 0.9 & 0.7 & 0.8 & 0.6 & 0.7 & 0.7 \\ & & & & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.9 & 0.8 & 0.6 & 0.6 \\ & & & & & & & & & & & 1 & 0.9 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ & & & & & & & & & & & & 1 & 0.8 & 0.7 & 0.7 \\ & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.7 & 0.7 \\ & & & & & & & & & & & & & & 1 & 0.6 \\ & & & & & & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}。$$

从上式可知,飞机结构聚类分析阈值  $\lambda$  可取四个值,分别为 0.6、0.7、0.8、0.9。阈值由小到大变化,聚类由粗变细,本文选取的 15 个典型结构聚类结果随阈值变化见表 3。

表 3 不同阈值下舱室聚类结果

阈值 $\lambda$	聚类结果
0.6	{1,2,...,15,16}
0.7	{1,6,16}、{7,8,10,13,14}、{3,4,5,9,11,12,15}
0.8	{1,6,16}、{10,13,14}、{7,8}、{3,4,12}、{5,9,11}、{15}
0.9	{1}、{2},...{15}、{16}

其中当阈值  $\lambda = 0.7$  时,飞机结构聚类分析结果较为合理,飞机结构可压缩、简化为三类,根据结

构实际构造情况,依次称为开式、半开式、封闭式结构。

2 飞机典型结构温、湿度回归预测模型建立

从表 2 知,飞机结构类型不同时,其局部温、湿度数据较机场的温、湿度会发生相应变化。在进行局部环境谱编制时,不可能花费大量时间与精力对飞机局部结构环境数据进行测量。因而考虑以实测获得的机场环境温、湿度为自变量,实测获得的典型局部结构环境温、湿度为因变量,建立典型局部结构温、湿度回归预测模型。本文以右主起舱所在的开式结构为例进行分析,根据模型计算结果对

机场地面环境谱进行修正计算编制局部环境谱。

2.1 开式结构温、湿度回归模型适用条件检验

通常,进行线性回归自变量、因变量数据要满足相关性要求,实测的温、湿度数据样本数分别为 673 个,属于小样本问题,相关性可以由温、湿度数据散点图进行观测分析,如图 1 所示。 $t_1$ 、 $h_1$  与  $t_2$ 、 $h_2$  分别表示右主起舱、机场的温、湿度。

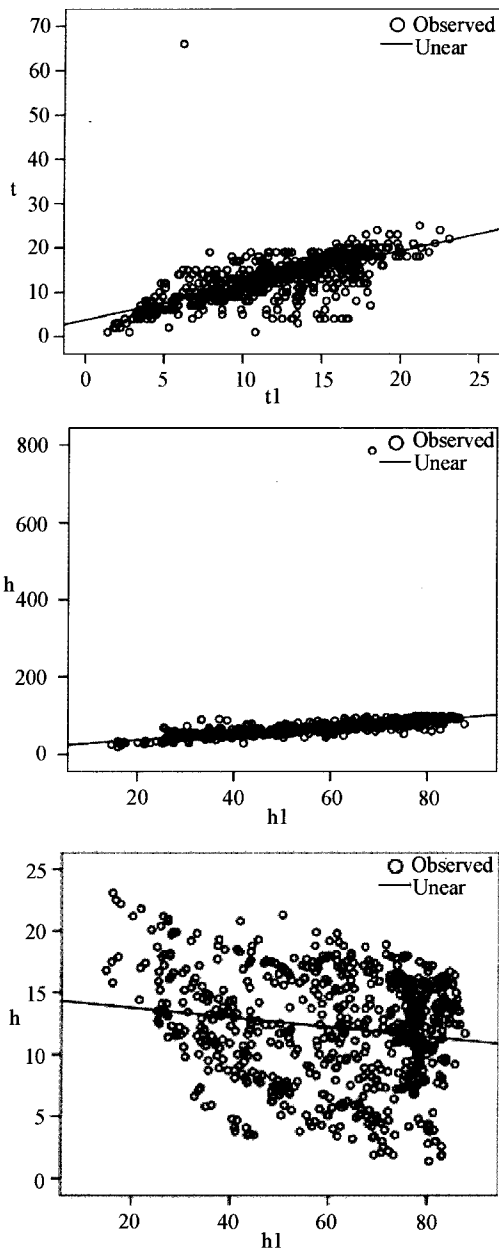


图 1 右主起舱温、湿度散点图

从图 1 中可见, $t_1$  与  $t_2$  及  $h_1$ 、 $h_2$  之间存在明显的线性关系,而  $t_1$  与  $h_1$  之间明显不相关。表 4 列出了右主起舱温、湿度数据与地面温、湿度数据相关系数。从表 4 可以看出,地面温、湿度与右主起舱的温、湿度相关系数都大于 0.9,说明其相关性较好。

表 4 右主起舱温、湿度与机场温、湿度相关性

变量	样本数	显著度	相关系数 $R$
$t_2$ v $t_1$	673	0.01	0.97
$h_2$ v $h_1$	673	0.01	0.905
$t_1$ v $h_1$	673	0.01	-0.129

2.2 开式结构温、湿度回归模型建立

使用 SPSS 统计软件对右主起舱测量点和机场地面温、湿度测量数据进行回归分析,得到右主起舱结构温、湿度回归预测模型为:

$$\bar{t}_1 = 4.67 + 0.57 t_2 \quad (1)$$

$$\bar{h}_1 = 41.91 + 0.52 h_2 \quad (2)$$

其中  $\bar{t}_1$  为右主起舱温度回归预测值,  $t_2$  为机场环境温度;  $\bar{h}_1$  为右主起舱湿度回归预测值,  $h_2$  为机场环境湿度。

2.3 开式结构温、湿度回归预测模型检验

回归模型是否可靠,还需要使用标准化残差直方图与正态  $P-P$  图对模型进行检验。检验结果如图 2 至图 5 所示,残差直方图和  $P-P$  图都具有正态分布的趋势,因此认为上述回归模型是可靠的。

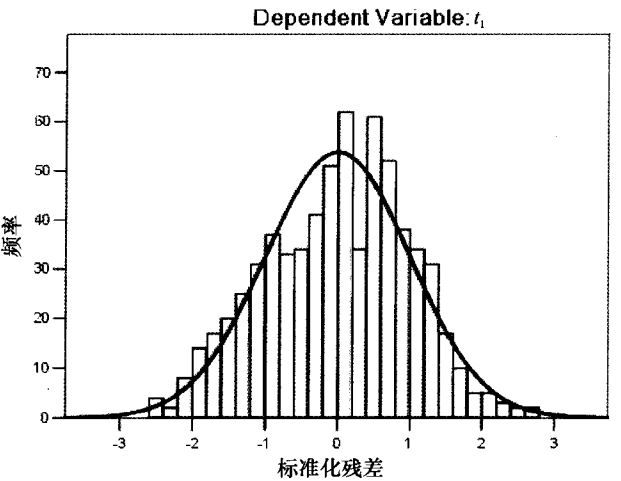


图 2 右主起舱温度标准化残差直方图

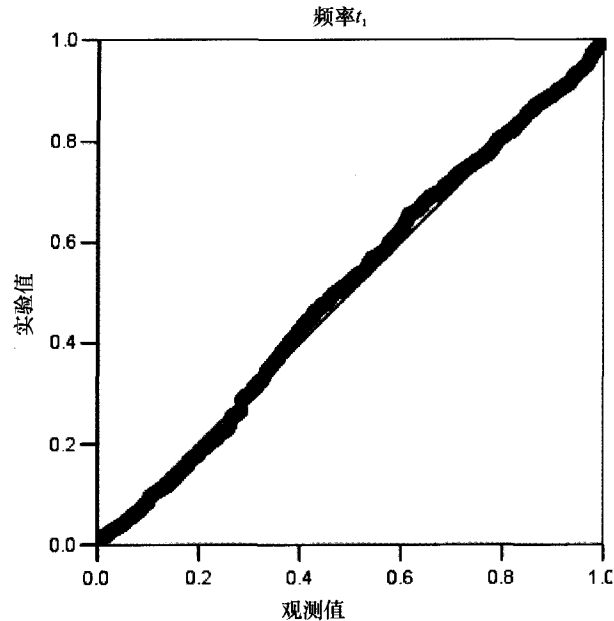


图3 右主起舱温度正态 P—P 图

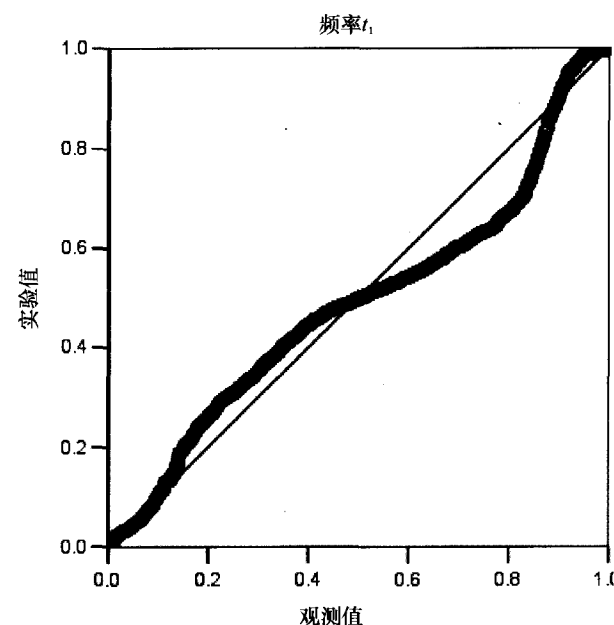


图5 右主起舱湿度正态 P—P 图

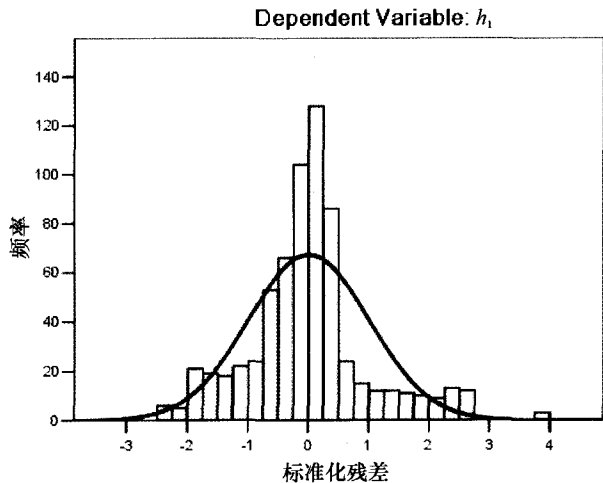


图4 右主起舱湿度标准化残差直方图

3 飞机典型结构局部环境谱编制

利用温、湿度回归预测模型对某机场地面环境谱<sup>[2]</sup>进行修正计算来编制某型机开式结构局部环境谱。

当机场温度作用级别在 5℃ ~ 30℃ 范围内时,经式(1)计算右主起舱温度级别在 8℃ ~ 22℃ 范围

之间,其作用强度等同于机场环境温度在 5℃ ~ 30℃ 范围的作用强度;当机场环境湿度作用级别在 60% ~ 90% 时,经式(2)计算右主起舱湿度级别在 73% ~ 89% 范围之间,其作用强度等同于机场环境相对湿度在 60% ~ 90% 范围的作用强度。将相对湿度超过 70% 时的大气视为潮湿空气,因而潮湿空气作用强度包括以下几部分:

(1) 11.1% + 1.62% = 12.72%。其中 11.1% 为机场环境相对湿度在 60% ~ 90% 时作用强度(% 为占全年作用时间比例,其他含义与此相同),1.62% 为机场环境相对湿度在 50% ~ 70% 之间时作用强度,其经过回归模型计算后作用级别为 70% ~ 78%。

(2) 雨谱作用强度 6.76% / 2 = 3.38%。根据实际情况,由于右主起舱位于右机翼下,对机场环境雨谱做减半修正,6.76% 为机场环境雨谱作用强度。

(3) 雾及凝露对右主起舱作用同机场环境状况相同,作用时间比例为 6.22%。

右主起舱潮湿空气总作用时间比例为:12.72% + 3.38% + 6.22% = 22.32%。

盐雾以及盐雾 + 工业废气的作用时间比例由潮湿空气加权求得。分别为:(1) 盐雾作用时间比例:21.59% × 22.32% = 4.3%;(2) 盐雾 + 工业废

气作用时间比例  $16.85\% \times 22.32\% = 3.38\%$ ;  
 (3) 权系数 21.59% 和 16.85% 含义与机场环境谱时  
 相同<sup>[2]</sup>, 分别为西、西北风以及南风全年作用时间  
 比例。右主起舱局部环境谱见图 6 所示。

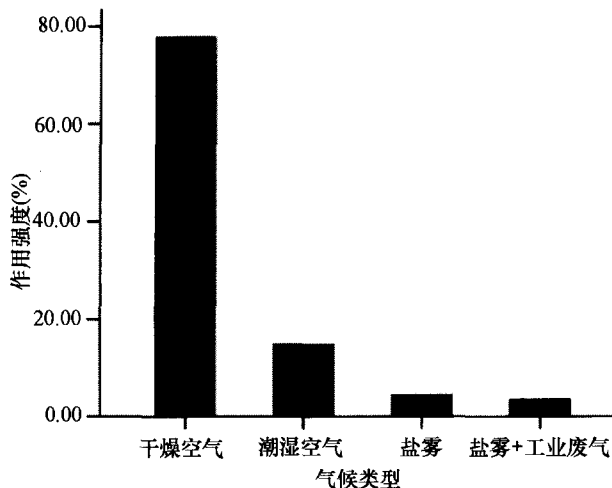


图 6 右主起舱局部环境谱

#### 4 结论

本文采用聚类法和回归法进行飞机结构局部

环境谱编制研究。根据模糊聚类分析结果知, 飞机结构可以归并主要三种类型: 开式、半开式和封闭式结构。选取右主起舱为例, 采用温、湿度回归预测模型对机场环境谱进行修正计算, 编制了开式结构局部环境谱。本文所用方法同样也适用于半开式和封闭式飞机结构的局部环境谱编制。

#### 参 考 文 献

- 1 陈群志. 腐蚀环境下飞机结构日历寿命技术体系研究. 北京: 北京航空航天大学, 1999
- 2 陈群志, 崔常京, 王逾涯, 等. 典型机场地面腐蚀环境数据库研究. 装备环境工程, 2006; 6. 3(3): 47—49
- 3 周希沅. 飞机结构的当量环境谱与加速试验谱. 航空学报, 1996; 17(5): 613—616
- 4 崔常京, 陈群志, 王逾涯, 等. 机场地面腐蚀环境谱编制方法研究. 博新杯中国青年腐蚀与防护研讨会论文. 2005, 4—17
- 5 陈群志, 刘桂良, 崔常京. 军用飞机结构局部环境谱编制的工程方法. 装备环境工程, 2006; 3(2): 53—56
- 6 刘文珽, 李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术. 北京: 航空工业出版社, 2004: 75—78
- 7 卫振彪, 陈明飞, 李 强. 模糊聚类判断在分析柴油机技术状况中的应用. 科学之友, 2008; 6(18): 5—6

## Research on Local Environmental Spectrum of Aircraft Structure Based on Fuzzy Cluster Analysis

JIN Ping, WANG Guo-cai<sup>1</sup>, TAN Xiao-ming

(Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao Branch, Qingdao 266041, P. R. China;

Naval Aeronautical Military Representatives of Jingdezhen<sup>1</sup>, Jingdezhen 330024, P. R. China)

**[Abstract]** Lots of local climate environment data of temperature and relative humidity in ground service are obtained by actual measurement, and based on these data, fuzzy cluster analysis ways are adopt to simplify aircraft structure types, when  $\lambda = 0.7$ , the clustering result is that aircraft structure type is 3 states: open, half open, close. Choose the open type as example; use the liner regression method to erect the forecast model of temperature and humidity of the typical cabin. And use the obtained model to modify the airport environment spectrum to get the typical structure local environment spectrum. The calculation result shows that the proportion of humidity climate type in local environmental spectrum increases 1.78% to the airport environment spectrum.

**[Key words]** aircraft structure fuzzy cluster analysis regression analysis local environmental spectrum