

发动机飞行任务剖面 Fuzzy 聚类分析

飞行试验研究所 程德金

七十年代后期, 我们开始发动机载荷谱试飞。由于发动机飞行剖面参数变化比较复杂, 虽然采用一些统计方法, 分析剖面参数变化规律, 但始终未能找出剖面分类方法, 在整理发动机一百小时寿命期的载荷时, 仍不得不采用典型任务及其被代表科目统计结果, 这样就形成一个环形问题。发动机任务剖面如何从测试结果中分类才合理, 才有代表性, 也就是曲型任务剖面如何取得, 一直是发动机载荷谱研究一个难题。美国军用规范提出对发动机任务剖面要进行统一化处理, 如何处理始终是一个问号, 几年来我们在探讨此问题。

一、模糊聚类分析方法^[1]

1. 数据矩阵建立 用飞行高度、马赫数、油门杆角度三参数描述发动机飞行任务剖面, 不断读取各种飞行任务测试记录磁带, 就可构成数据矩阵。

$$Z_{tk} = (Z_{t1k}, Z_{t2k}, Z_{t3k}) \quad t = 1, 2, \dots, m \dots; \quad k = 1, 2, \dots, N$$

2. 布尔矩阵的建立 由于不同飞行任务飞行时间长短不同、数据矩阵阶数不相同, 无法比较。为了克服此困难, 将发动机飞行载荷测量所测量飞行任务剖面参数时间历程曲线, 经计算机分别对三参数分区间统计, 高度分八个区间, 马赫数分六个区间, 油门杆角度分十一个区间, 得到不同任务各参数统计分布。(见表 1) 据一定判定条件, 加以模糊化, 并采用布尔代数表示, 构成描述发动机飞行任务剖面的布尔矩阵, 利用布尔代数所具有的特点, 使数值表示式简单化, 消去一些对于飞行任务剖面特征无用的数据, 使各种任务间的相关系数, 依据相似程序不同而拉开之间距离, 提供分类的依据。

3. 样本隶属函数 以样本 (发动机飞行任务) 间广义相似系数作为隶属函数模糊矩阵, 计算中隶属函数采用下面表达式:

$$r_{ij} = |X_i \cdot X_j| / (X_i \cdot X_j)$$

式中 $|X_i \cdot X_j| = X_{i1} \cdot X_{j1} + X_{i2} \cdot X_{j2} + \dots + X_{iN} \cdot X_{jN} = \sum_{k=1}^N X_{ik} \cdot X_{jk}$

$$X_i = \frac{X_{i1}^2 + X_{i2}^2 + \dots + X_{iN}^2}{\sum_{k=1}^N X_{ik}^2}^{0.5}$$
$$X_j = \frac{X_{j1}^2 + X_{j2}^2 + \dots + X_{jN}^2}{\sum_{k=1}^N X_{jk}^2}^{0.5}$$

构成模糊隶属函数矩阵 R 见表 2。

4. 模糊等价关系 定义: 若论 U 上的模糊关系 R 满足条件

表1 各种飞行任务参数统计分布

序号	序号	1	2	3	4	...	36	37	38
	练习号	581	543	541	531	略	16	11	0
1	高度	0.9994	0.3435	0.4830	0.4009		0.3852	0.4163	0.3836
2		0	0.0521	0.2364	0.0446		0.3000	0.4020	0.3396
3		0	0.4625	0.2800	0.1130		0.3118	0.1816	0.2343
4		0	0.1417	0	0.2490		0.0020	0	0.0417
5		0	0	0	0.0138		0	0	0.0001
6~8		0	0	0	0		0	0	0
9	马赫数	0.2721	0.2004	0.2584	0.1694		0.3502	0.2670	0.2686
10		0.6060	0.2087	0.5310	0.4182		0.4582	0.5080	0.5540
11		0.1188	0.5909	0.2165	0.4123		0.1911	0.2250	0.1762
12		0.0029	0	0	0		0.0004	0	0.0007
13		0	0	0	0		0	0	0.0003
14		0	0	0	0		0	0	0
15	油门杆角度	0.0628	0.0200	0.0513	0.0483		0.0046	0.0020	0.1264
16		0.1021	0.1320	0.1237	0.1376		0	0	0.1819
17		0.2760	0.1377	0.1456	0.2383		0	0	0.0134
18		0.2756	0.1377	0.1456	0.2383		0.4768	0.6288	0.0734
19		0.1265	0.1468	0.3232	0.0410		0.0156	0.0240	0.1004
20		0.0417	0.0131	0.1393	0.0810		0.0198	0.0036	0.1269
21		0.0964	0.2235	0.1803	0.0422		0.0232	0.0044	0.0970
22		0.0388	0.0139	0.0301	0.0360		0.4590	0.3372	0.0226
23		0	0	0	0		0.0004	0	0.0001
24		0	0	0	0		0	0	0.0016
25		0	0	0.0422	0.0169		0.0004	0	0.0276

表2 模糊矩阵

	1	2	3	4	...	36	37	38
1	1	0.502	0.753	0	略	0.142	0.087	0
2		1	0.692	0.334		0.196	0.160	0
3			1	0.084		0.131	0.080	0
4				1		0.142	0.174	0.135
⋮	略							
36						1	0.885	0.422
37							1	0.258
38								1

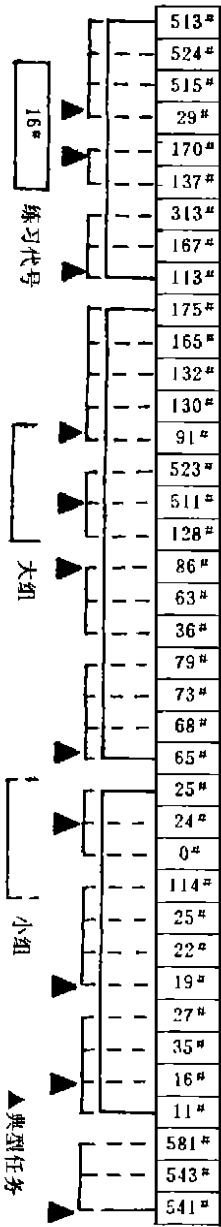


图1 模糊动态聚类分析结果

1. 自返性: $\mu_R(X, X) = 1 \quad \forall x \in U$
 2. 对称性: $\mu_R(X, Y) = \mu_R(Y, X) \quad \forall x, y \in U$
 3. 传递性: $R \circ R = R$
- 则称 R 为模糊等价关系。

一般由相似系数构成隶属函数的模糊矩阵, 由于相似系数特性所决定, 它能满足模糊等价关系前二条要求, 一般只要检验传递性, 经平方法处理后就可以决定是否满足条件, 若能满足传递性, 则可得到模糊等价矩阵。某型发动机飞行任务剖面聚类分析实际计算中, 实测 38 个样本, 构成 38×38 阶模糊隶属函数矩阵, 在第四次平方法处理后 (R^{16}) 才显示出传递性, 当模糊矩阵阶数为 9×9 时, 第三次平方法处理后 (R^8) 就显示传递性。阶数愈高显示愈慢。

5. 对模糊等价矩阵求或阈值的截集 选取不同 λ 阈值, 就可得到不同截集, 某型发动机飞行任务剖面分类, 选取五种 λ 阈值, 从高到低进行计算。分类结果见图 1。

得到分类后, 典型化就不困难, 只要将这五个科目实际统计结果, 根据实际情况, 加以平均化处理, 就可得到发动机典型使用任务。

二、结 论

1. 用 Fuzzy 聚类方法, 对发动机飞行任务剖面分类的突出优点, 在于用数学表达式来表明各种飞行任务之间的相似性, 能定量地用隶属函数表示相似程度, 从而使发动机任务剖面分类编组更加科学化, 更加合理化, 克服以往分类时人的主观臆断作用。

2. 用 Fuzzy 聚类方法, 可以根据分类不同要求, 选用不同参数进行, λ 阈值选取可以做到“粗分”或“细分”, 使用更加灵活。

3. 当样本量大时, 模糊矩阵阶数加大, 计算工作量增加很快, 占用机时较多, 这是模糊聚类一个缺点, 有待今后改进。

参 考 文 献

- [1] 苗东升著, “模糊学导引”, 中国人民大学出版社, 1987 年 2 月。

turbulence generator, in result the examinational pattern was successfully simulated. Practice of its application proves that the simulation poles are simpler, less consumptive in energy and man-hour and more accurate in simulation than the traditional distortion screen.

FUZZY CLUSTERING ANALYSIS OF GAS TURBINE ENGINE MISSION PROFILES

Cheng Dejing (*Chinese Flight Test Establishment*)

ABSTRACT

In order obtain engine mission profiles from a vast amount of flight test, the fuzzy matrix of the membership function of engine mission profile samples is established according to the theory of fuzzy sets and boolean algebra behaviours. The fuzzy matrix is examined by using square method for meeting the equivalent conditions. When it meets equivalent conditions, the dynamic clustering is carried out by selecting various threshold values. The clustering analysis of the mission profiles for an actual engine has been completed by the complicated and enormous fuzzy calculation based on statistical data of the engine loads measured in flight test. The clustering method of three parameters (flight altitude, Mach number and angle of throttle lever) is first employed in the clustering analysis and the results obtained are satisfactory.

AN ACOUSTIC METHOD FOR MEASURING CHARACTERISTICS OF ROTATING STALL IN A COMPRESSOR

Sun Xiaofeng, Hu Xongan, Feng Yucheng, Zhou Sheng

(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

According to analysis of the characteristics of frequency and propagation of the sound generated by the rotating stall, an acoustic measuring method is developed, in which the characteristic parameters, such as the number and propagation speed of stall cells, are measured. Compared with existing methods, this method is a untouched measurement so as to avoid not disturb ance of the flow field . The primary experimental results obtained on a transonic axial-flow compressor facility demonstrate the feasibility of this method.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON JET NOISE

Zheng Keyang and Gui Xingmin (*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

The correlation of sound power with jet velocity is studied in this paper. It is indicated that Both Lighthill's and Lilley's formulas fit experimental data very well when Mach number of jet $Ma_j > 0.4$, but the deviation between the results obtained from the formulas and experimental data is not so negligible as $Ma_j < 0.4$. The authors propose substituting sixth power of the jet velocity instead its eighth power in the formulas. The direction sensitiveness and the frequency spectrum of jet noise have been investigated experimentally.

TECHNIQUE FOR DIGITAL PROCESSING OF COHERENT IMAGES OF PARTICLES