

# 面向航空发动机疲劳试验的静电监测方法研究



韦东豪<sup>1</sup>, 文振华<sup>1\*</sup>, 郭霄<sup>1</sup>, 陈蔚蔚<sup>2</sup>

1. 郑州航空工业管理学院, 河南 郑州 450015

2. 中国航发四川燃气涡轮研究院, 四川 成都 610500

**摘要:** 针对航空发动机原型机在疲劳试验阶段故障频发、监测手段落后的问题, 本文引入一种新型气路静电监测技术对航空发动机状态进行在线监测。在开展某型涡扇发动机原型机地面台架疲劳试验中, 使用自主研发的静电传感器完成尾气静电数据采集, 进一步通过静电监测原始信号分析探测到故障信息。以气路部件整体作为疲劳试验对象, 过程中发现气路部件产生的故障颗粒引起感应电荷量增长约 100%; 基于特征提取分析了静电信号特征参数的自相关系数, 相同工况下活动水平的相关系数最大值为 0.816, 表明活动水平具有较强的鲁棒性; 不同工况下活动水平的相关系数最大值为 0.396, 表明活动水平对于工况变化的灵敏度较高。结果表明, 静电监测技术能够有效感知航空发动机原型机在疲劳试验过程中的状态信息, 可以有效地降低原型机损坏的风险并初步预警早期故障状态。

**关键词:** 航空发动机; 疲劳试验; 静电监测; 早期故障; 相关分析

中图分类号: V216

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2022.10.005

航空发动机气路部件所处的工作环境恶劣, 长时间的高压、高温、强烈振动容易使部件产生不同程度的疲劳损坏, 进而成为航空发动机主要的故障源<sup>[1]</sup>。相关资料显示, 气路故障占到了发动机整体故障的 90%<sup>[2]</sup>, 严重的气路故障会使发动机工作性能下降, 引起空中停车等重大飞行事故, 造成无法挽回的后果。

随着航空器对发动机动力的需求不断提高, 研制新型号发动机时趋向于采用轻量化设计来提高推重比、提升发动机的性能, 势必会给发动机气路部件带来更严苛的性能要求<sup>[3]</sup>。一台航空发动机的设计与研制需要历经技术验证机、工程验证机和原型机三个阶段, 研制周期较长<sup>[4]</sup>。原型机作为发动机试飞前的最后一个阶段, 需经过大量的地面台架试验来验证其设计的可靠性<sup>[5]</sup>, 为保证试车安全, 在试验过程中对发动机原型机进行实时有效的在线监测是不可或缺的技术环节。传统的温度监测、振动监测<sup>[6]</sup>等技术手段通常获取的是间接信息, 只有在发动机故障恶化到一定程度时, 能够在监测数据上有所体现, 具有一定的滞后

性, 不具备故障早期预警能力。因此, 在新型号发动机的研制过程中, 亟须一些新的监测技术提供故障早期预警, 保障试车安全, 规避原型机损坏的风险。

近年来, 气路静电监测技术作为一种新型的航空发动机在线监测手段, 能够监测发动机性能退化, 具备故障早期预警能力, 受到了广泛关注。在航空发动机试验方面, 该技术得到了广泛的实际验证。孙见忠等<sup>[7]</sup>对发动机试车台试验所得数据进行分析, 证实了静电信号与发动机的工作状态和健康状态有关; 付宇等<sup>[8]</sup>开展了涡轮喷气发动机静电监测台架试验, 获得了 140 个完整试车阶段的试验数据, 融合静电监测信号和气路参数评估发动机性能; 殷逸冰等<sup>[9]</sup>应用静电传感器监测发动机试车循环过程, 验证了静电监测技术具备机载化的可能性。

尽管学者们已经在多类发动机的试车试验中开展了验证性的工作, 但其主要针对型号成熟的发动机开展台架试验, 在原型机试车阶段的发动机监测应用未见报道。新型号发动机的研制通常采用大量的新技术、新材料、新结构、

收稿日期: 2022-03-24; 退修日期: 2022-05-19; 录用日期: 2022-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(51975539); 河南省科技攻关项目(222102210050); 河南省青年人才托举工程(2021HYTP017)

引用格式: Wei Donghao, Wen Zhenhua, Guo Xiao, et al. Research on electrostatic monitoring method for aeroengine fatigue test[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33(10): 38-44. 韦东豪, 文振华, 郭霄, 等. 面向航空发动机疲劳试验的静电监测方法研究[J]. 航空科学技术, 2022, 33(10): 38-44.

新工艺等措施,与成熟型号的发动机相比,原型机要在保证可靠性的同时,提升自身的性能。然而,原型机设计以及装备技术尚不成熟,疲劳试验过程中极易发生不可预见的故障,导致原型机损坏,从而严重影响研制的进度,加大研制成本投入<sup>[10]</sup>。因此,本文在某型涡扇发动机原型机的地面台架疲劳试验中引入静电监测技术,开展对发动机原型机气路部件状态的在线监测试验,成功监测到发动机原型机早期故障信号并做出预警,发动机及时停车,避免了故障传播造成发动机原型机健康状况二次恶化,降低了原型机损坏的风险,验证了静电监测技术对于原型机的有效性。

## 1 气路静电监测技术原理

气路静电监测技术通过对发动机尾气中整体电荷水平进行实时在线监测来感知发动机的状态。在发动机正常工作时,尾气排放颗粒环境较为平稳,因此气路静电电荷量维持在相对稳定的水平<sup>[11]</sup>。发动机气路部件发生故障或性能出现严重退化时,气流通道中会产生粒径较大的异常颗粒,通常在40 $\mu\text{m}$ 以上,由于不同颗粒粒径大小的差异导致颗粒所携带的电荷量不同,因此,异常颗粒物会引起气路中静电水平的变化。

静电传感器安装在发动机尾喷管后侧,发动机启动后,带电颗粒在气流的带动下经过静电传感器的探测区间,基于静电感应原理,传感器的感应探极表面的电荷会重新排布,使探极内部产生感应电流,经数据采集系统中的信号调理单元转换、放大后形成电压信号,然后反馈到计算机的分析处理单元,经过特征提取和数据融合后实时评估发动机的健康状态,以便提供发动机初始故障状态的早期预警信息。

在发动机原型机的疲劳试验中,因原型机在一定程度上不够成熟,气路部件经常会出现碰摩、烧蚀等故障,静电监测技术用于监测发动机原型机在疲劳试验过程中气路故障的直接产物,能够根据发动机原型机的实时状态有效地进行故障早期预警。

## 2 静电信号的特征参数提取与分析

静电传感器输出的电压信号与传感器探极表面电荷随时间的变化率成正比<sup>[12]</sup>,其测量模型可等效为

$$U(t) = RQ'(t) \quad (1)$$

式中, $U$ 为感应电压信号; $Q$ 为感应电荷量; $R$ 为测量电路等效电阻;感应电压信号 $U$ 反映了静电传感器探极灵敏空间内电荷量的变化情况。

传感器输出的感应电压信号经过积分处理得到感应电

荷后,进行以下特征值提取。

(1) 活动水平(AL)用来衡量在时间 $T$ 内尾气中连续出现微小颗粒的数量,其实质为感应电荷量的均方根值(RMS)<sup>[13]</sup>。

$$AL = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Q_n^2} \quad (2)$$

式中, $Q_n$ 为静电传感器输出静电监测电压信号的积分值,即感应电荷信号; $N$ 为时间 $T$ 内总采样点数。

(2) 事件率(ER)是一个百分比,用来表示时间 $T$ 内尾气中异常大颗粒所占比重,根据感应电荷的正、负极性不同计算得到正事件率( $ER_p$ )和负事件率( $ER_N$ )<sup>[14]</sup>。在数值上,事件率等于正事件率与负事件率之和。

$$ER = \frac{M}{N} \times 100\% \quad (3)$$

式中, $M$ 为时间 $T$ 内事件发生的次数( $|Q_n| > K \cdot AL$ ), $K$ 通常可取值2~4,本次计算时选用 $K=2$ 。

(3) 利用相关系数对不同工况下静电信号的特征参数进行相关性计算,以此来反映特征参数表征发动机工况变化的能力,为衡量特征参数的性能提供一个技术指标。计算公式如下

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2}} \quad (4)$$

式中, $r$ 为相关系数,表示特征参数之间的相关程度; $a_i$ 、 $b_i$ 表示某一特征参数; $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$ 为 $n$ 个特征参数的平均值。

## 3 疲劳试车试验

### 3.1 试验环境配置

图1为试验总体结构示意图,试车台整体为L形,主要包括发动机、试验测试段和数据采集系统三个部分,空气由试车台上端经过滤网后进入发动机进气道。试验测试段选用圆筒状钣金件作为静电传感器的安装基座,安装在发动机喷管之后的地面导轨上,与发动机保持同轴。

数据采集系统包括静电传感器、数据采集卡以及采集程序。本试验中使用自主研发的棒状静电传感器,获取气路静电信号并传送到VK702NH-SD型以太网采集卡,数据经采集卡采集、转换后通过以太网线传输至终端,经采集程序预处理后形成尾气静电监测原始信号。由于单个传感器的监测范围有限,难以覆盖整个发动机喷管,因此本试验采用静电传感器阵列对发动机原型机进行在线监测,传感器安装示意图如图2所示。

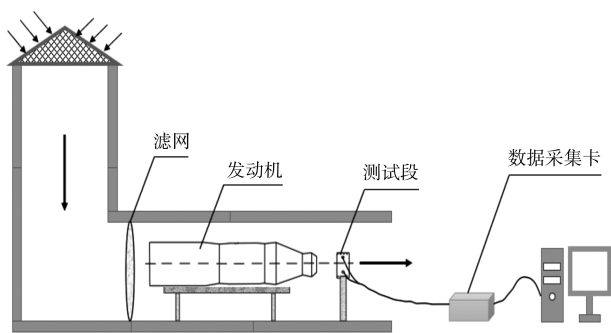


图1 试验总体结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the overall structure of the experiment

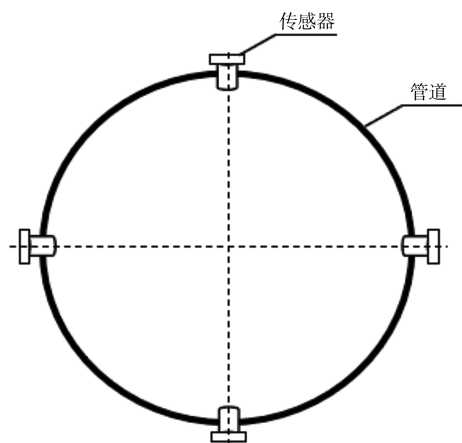


图2 传感器安装示意图

Fig.2 Schematic diagram of sensor installation

### 3.2 试验过程

发动机原型机疲劳试验包括性能试车和疲劳性试车。性能试车过程发动机压气机相对转速(简称转速)变化如图3所示。在发动机冷起动后推动油门,使发动机进入慢车状态并持续2min,此时的转速为67.2%;之后推动油门,使转速增至90%、95%、97%、100.5%,分别持续2min,由此可将性能试车分为5个阶段,总时长10min。

疲劳性试车过程发动机转速变化如图4所示。发动机冷起动后进入慢车状态,保持转速67.2%,时间2min;继续推动油门使转速增至90%,持续2min;转速增至98.1%,维持10min,重复以上过程7次;随后转速降至90%,持续3min;转速增至95%,持续3min;转速增至97%,持续2min,转速增至100.5%,持续2min;转速降至81%,持续2min后发动机停车,整个疲劳性试车循环共22个阶段,总时长110min。

## 4 试验结果与分析

### 4.1 静电信号测试结果与分析

为检测发动机原型机是否处于正常状态,试验首先进

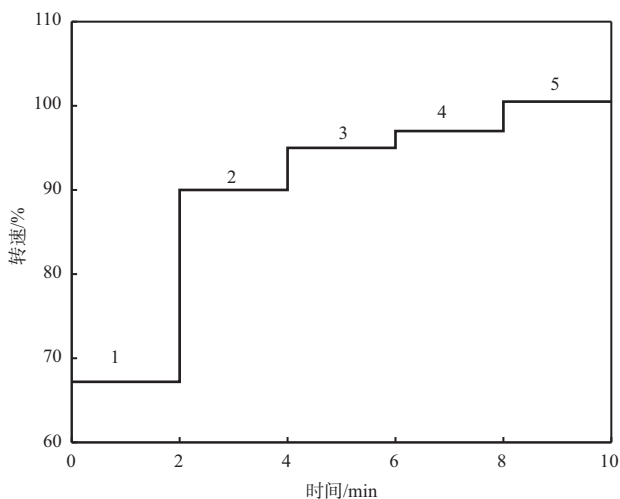


图3 性能试车程序

Fig.3 Program of performance test

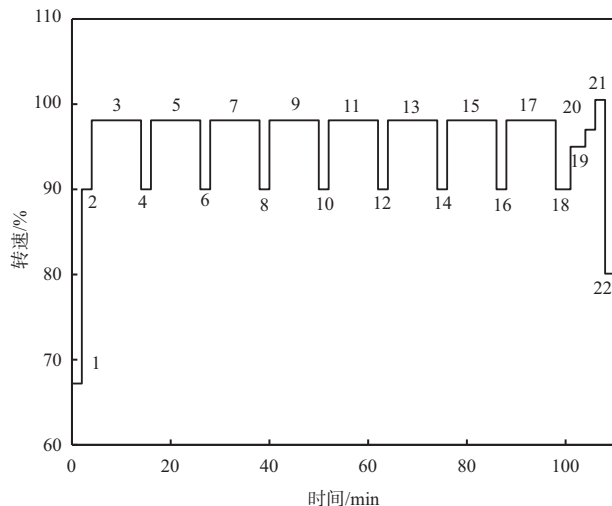


图4 疲劳试车程序

Fig.4 Program of fatigue test

行为期10min的性能试车,其静电信号如图5所示。图中静电信号含有大量脉冲噪声和其他高频噪声,采用小波阈值法<sup>[15]</sup>进行降噪,结果如图6所示。由图6可知,性能试车过程中静电监测数据整体较为平稳,除燃油燃烧产生的少量碳烟颗粒之外,在其他时间段静电信号皆无明显异常变化,表明发动机的状态良好。

图7为发动机疲劳试车阶段的静电信号,同样采用小波阈值方法对原始信号进行降噪处理,结果如图8所示。从图中可以看出,发动机的起动阶段引起了明显的静电信号变化,这是由于发动机点火时的燃油供给量大,燃烧室中的空气不足以将其充分消耗,发生了富油燃烧,燃油未充分燃烧形成大粒径的碳烟颗粒,改变了气路环境整体的静电

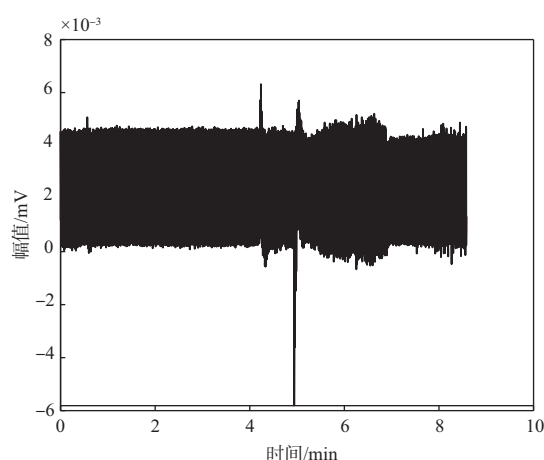


图5 性能试车静电信号

Fig. 5 Electrostatic signal performance test

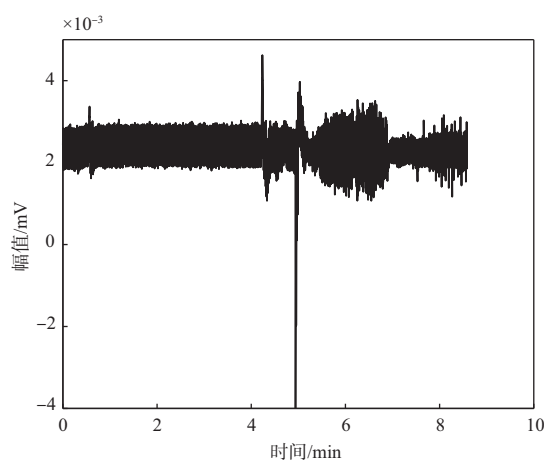


图6 性能试车信号降噪处理

Fig. 6 Noise reduction of electrostatic signal in performance test

荷水平,因而静电信号增幅明显。随着试车的进行,燃油供给量逐渐稳定,静电信号恢复平稳。试车过程中出现几处静电信号幅值异常点位(见标记处),下文将结合发动机的实际工况进行分析。

由式(1)可知,静电信号积分后可得到传感器感应探极上的感应电荷量,图9为感应电荷与发动机转速的关系曲线图,图中感应电荷量随着发动机工况变化而变化。试车1、2阶段,气路中的静电场变化率较大,感应电荷量在负半轴上增幅较大,传感器感应电极上产生的感应电荷的极性为负,气路中产生带有正电荷的异常颗粒,此时燃烧室中发生富油燃烧,产生了带有正电荷的大粒径碳烟颗粒,同时感应电荷量正半轴幅值也有变化,表示伴有少量的负极性的小粒径碳烟颗粒,但整体以大粒径碳烟颗粒为主;随后3~17阶段燃烧反应平稳,工况相对稳定,感应电荷以正电荷为

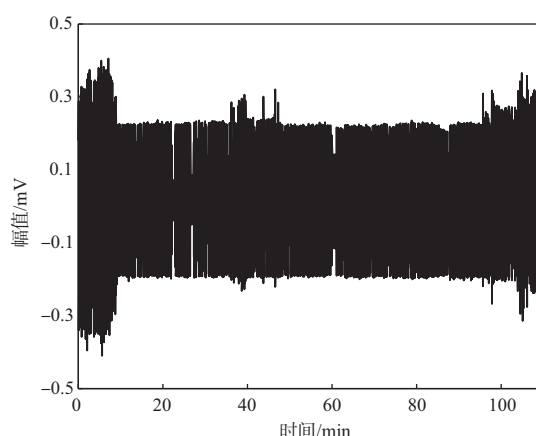


图7 疲劳试车静电信号

Fig. 7 Electrostatic signal of fatigue test

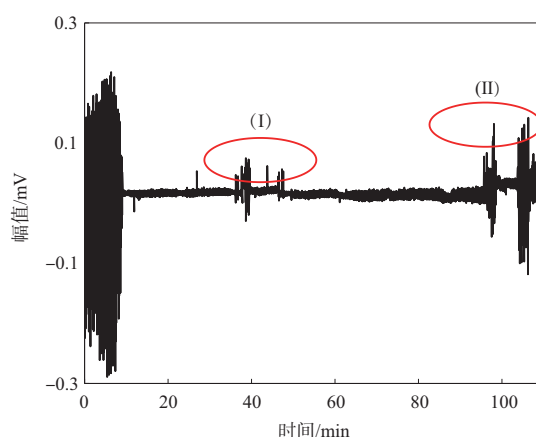


图8 疲劳试车信号降噪处理

Fig. 8 Noise reduction of fatigue test signal

主,幅值较小且在一定的范围内波动,此时气路中的颗粒种类为极性为负的小粒径碳烟颗粒,图8中标记(I)处的感应电荷量激增是由于发动机转速增大,燃油快速且充分燃烧,产生了细小的碳烟颗粒,随着功率的降低,感应电荷量逐渐恢复平稳;标记(II)处于试车18~22阶段,此时发动机的转速由90%增至100.5%,感应电荷量由0.02pC增至约0.04pC,增幅接近100%,且持续时间较长。

#### 4.2 信号特征值分析

为进一步探究发动机是否发生故障,对静电信号进行了特征参数提取,图10所示为静电信号的事件率,由图10可知,在发动机刚刚启动时静电信号的ER幅值迅速增大,且 $ER_p$ 、 $ER_N$ 图像均增幅明显,这表明气路中产生了分别携带正、负两种极性的异常碳烟颗粒物;除发动机起动阶段, $ER_p$ 时有变化,但从整个试车过程来看,事件率随发动机转速的变化不明显,不能够有效地反映发动机工况变化。



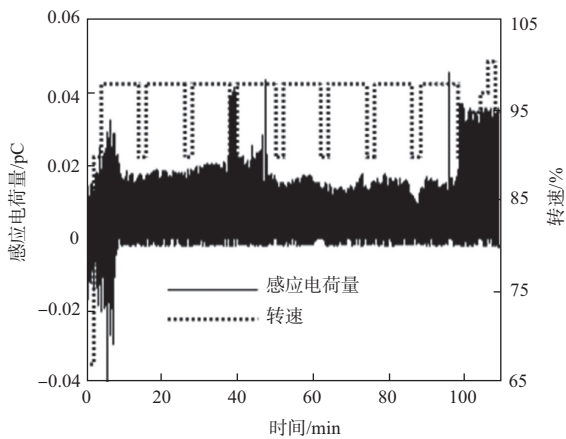


图9 发动机转速与感应电荷的关系

Fig. 9 The relationship between the engine speed and the induced charge

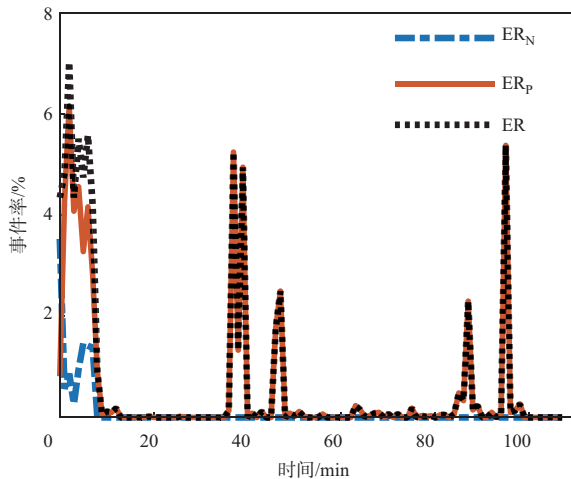


图10 事件率

Fig. 10 The event rate

提取信号的活动水平特征如图11所示,在试车进行到100min时刻,气路中的活动水平幅值出现了明显增大,且维持至试车结束,由活动水平这一参数的表征特点可知,此时小粒径的带电颗粒持续进入发动机的气流通道,影响了气流通道中的静电荷水平,可初步判断发动机产生了早期故障。碰摩故障是一类常见的发动机气路故障,通常发生于叶片与封严材料或机匣之间,摩擦刚开始阶段,持续产生粒径较小的带电颗粒物,静电信号的感应电荷量增多,活动水平的变化率较大<sup>[16]</sup>。对比本试验的静电信号以及活动水平,故障信号特征较为符合上述发动机早期碰摩故障产生故障颗粒的特点。试车结束后,对发动机进行孔探检测,结果证实了发动机涡轮叶片与机匣之间产生了一定程度的碰摩。

为探究静电信号特征参数的性能,利用式(4)对活动水

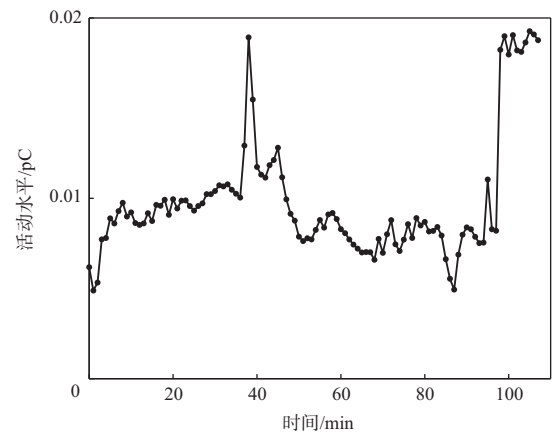


图11 活动水平

Fig. 11 Activity level

平进行相关性计算。疲劳试车阶段静电信号的活动水平作为一个整体,阶段(6、7)的活动水平记为AL(6、7),选取与阶段(6、7)工况相同的阶段,将所选几个阶段的活动水平分别与阶段(6、7)进行相关计算,如AL(6、7)和AL(8、9)。结果见表1。

表1 相同工况活动水平的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of activity level for the same work condition

| 活动水平    |           | 相关系数  |
|---------|-----------|-------|
| AL(6,7) | AL(8,9)   | 0.796 |
|         | AL(10,11) | 0.816 |
|         | AL(12,13) | 0.571 |
|         | AL(16,17) | 0.537 |

由表1中分析结果可知,在发动机工况相同的试车阶段,其静电信号的活动水平之间的相关系数介于0.537和0.816之间,最大值为0.816。相关系数的大小反映了活动水平的关联程度,发动机工况稳定时,活动水平关联程度高,即活动水平同样较为稳定,受到其他因素的影响不大,具有较强的鲁棒性。

选取与阶段(18~22)工况不同的阶段,同理,将二者活动水平进行相关性计算,结果见表2。

表2 不同工况活动水平的相关系数

Table 2 The correlation coefficient of activity level for different work condition

| 活动水平      |           | 相关系数  |
|-----------|-----------|-------|
| AL(18~22) | AL(8,9)   | 0.097 |
|           | AL(10,11) | 0.199 |
|           | AL(12,13) | 0.396 |
|           | AL(16,17) | 0.338 |

由表2可知,相关系数最大值为0.396,此时活动水平关联程度不高,即发动机不同工况下活动水平的变化较大,这表明活动水平对发动机工况变化较为敏感。

综上,活动水平这一特征参数能够较好地反映发动机的实际工况,对于发动机状态的判断具有一定的可靠性。

## 5 结论

本文在某型涡扇发动机原型机疲劳试验中引入静电监测技术,对静电监测信号进行分析后得到以下结论:

(1)在发动机原型机的疲劳试验过程中,气路静电监测技术能够实时在线监测发动机原型机的状态,验证了静电监测技术对于原型机的有效性。

(2)相同发动机工况下,活动水平的自相关系数可达0.816,相关程度很高,活动水平的鲁棒性较强。

(3)不同发动机工况下,活动水平自相关系数最高为0.396,相关程度较低,活动水平反映了工况的变化,具有较好的敏感性。

(4)试车100min时刻,感应电荷量增长约100%,且活动水平维持在较高的数值,初步判断发动机原型机发生了碰摩故障。试车结束后,孔探检测结果表明发动机出现了碰摩故障,发动机及时停车,有效地预防了故障传播及进一步恶化。

AST

## 参考文献

- [1] 黄金泉,王启航,鲁峰. 航空发动机气路故障诊断研究现状与展望[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52(4): 507-522.  
Huang Jinquan, Wang Qihang, Lu Feng. Research status and prospect of aeroengine gas path fault diagnosis[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2020, 52(4): 507-522. (in Chinese)
- [2] 付宇,殷逸冰,左洪福. 航空发动机尾气静电监测及其信号特性分析[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(2): 160-168.  
Fu Yu, Yin Yibing, Zuo Hongfu. Aeroengine exhaust static monitoring and signal characteristic analysis[J]. Journal of instrumentation, 2018, 39(2): 160-168. (in Chinese)
- [3] 许璠璠,杨眉,柴象海,等. 航空发动机燃烧室机匣轻量化设计方法[J]. 航空科学技术, 2021, 32(12): 27-34.  
Xu Fanfan, Yang Mei, Chai Xianghai, et al. Lightweight design method of aeroengine combustor case[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(12): 27-34. (in Chinese)
- [4] 刘庆东,史妍妍,张明. 航空发动机研制中的技术验证机、工程验证机及原型机特点分析[J]. 航空发动机, 2019, 45(3): 39-43.  
Liu Qingdong, Shi Yanyan, Zhang Ming. Technical verifier, engineering verifier and prototype in aeroengine development [J]. Aeroengine, 2019, 45(3): 39-43. (in Chinese)
- [5] 陈益林. 航空发动机试车工艺[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2010.  
Chen Yilin. Aeroengine test process[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2010. (in Chinese)
- [6] Wen Zhenhua, Hou Junxing. Formation mechanism analysis and detection of charged Particles in an aeroengine gas path[J]. International Journal of Aeronautical and Space Sciences, 2015, 16(2): 247-253.
- [7] 孙见忠,左洪福,詹志娟,等. 涡轴发动机尾气静电监测信号影响因素分析[J]. 航空学报, 2012, 33(3): 412-420.  
Sun Jianzhong, Zuo Hongfu, Zhan Zhijuan, et al. Analysis of influencing factors on tail gas electrostatic monitoring signal of turboshaft engine[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2012, 33(3): 412-420. (in Chinese)
- [8] 付宇,殷逸冰,冯正兴,等. 融合静电信号和气路参数的发动机性能评估方法[J]. 推进技术, 2019, 40(2): 449-455.  
Fu Yu, Yin Yibing, Feng Zhengxing, et al. Engine performance evaluation method combining electrostatic signal and gas path parameters[J]. Propulsion Technology, 2019, 40(2): 449-455. (in Chinese)
- [9] 殷逸冰,左洪福,付宇,等. 某型航空涡扇发动机静电传感器机载化监测实验[J]. 航空动力学报, 2016, 31(12): 3054-3063.  
Yin Yibing, Zuo Hongfu, Fu Yu, et al. Airborne monitoring experiment of an aviation turbofan electrostatic sensor[J]. Journal of Aerospace Power, 2016, 31(12): 3054-3063. (in Chinese)
- [10] 刘海年,郑宁,谷艳萍,等. 航空发动机研制过程保证方法研究[J]. 航空科学技术, 2021, 32(6): 36-42.  
Liu Hainian, Zheng Ning, Gu Yanping, et al. Research on the aeroengine development assurance process methods[J]. Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(6): 36-42. (in Chinese)
- [11] Wen Zhenhua, Hou Junxing, Atkin J. A review of electrostatic monitoring technology: The state of the art and future research directions[J]. Progress in Aerospace Sciences, 2017, 94: 1-11.

- [12] Wang Chao, Li Yadong, Jia Lin, et al. Design of charge-sensitive and current-sensitive preamplifiers for electrostatic sensor[J]. *Journal of Electrostatics*, 2020, 105: 103449.
- [13] 文振华,侯军兴,左洪福. 基于静电的航空发动机性能监测技术研究[J]. *航空维修与工程*, 2014(3): 79-82.  
Wen Zhenhua, Hou Junxing, Zuo Hongfu. Research on aeroengine performance monitoring technology based on static electricity[J]. *Aviation Maintenance and Engineering*, 2014(3): 79-82. (in Chinese)
- [14] 殷逸冰,左洪福,文振华,等. 航空发动机吸入颗粒物静电感应特性的模拟试验及分析[J]. *航空学报*, 2015, 36(2): 691-702.  
Yin Yibing, Zuo Hongfu, Wen Zhenhua, et al. Simulation experiment and analysis of electrostatic induction characteristics of aeroengine inhaling particulate matter[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2015, 36(2): 691-702. (in Chinese)
- [15] 文振华,左洪福. 基于独立分量分析的航空发动机气路静电信号处理方法[J]. *机械科学与技术*, 2011, 30(11): 1872-1876.  
Wen Zhenhua, Zuo Hongfu. Processing method of aeroengine gas path electrostatic signal based on independent component analysis[J]. *Mechanical Science and Technology*, 2011, 30(11): 1872-1876. (in Chinese)
- [16] 刘鹏鹏,左洪福,付宇,等. 航空发动机碰摩故障在线监测与诊断研究[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(7): 164-169.  
Liu Pengpeng, Zuo Hongfu, Fu Yu, et al. On-line monitoring and diagnosis of aeroengine rub-impact fault [J]. *Journal of Instrumentation*, 2013, 34(7): 164-169. (in Chinese)

## Research on Electrostatic Monitoring Method for Aeroengine Fatigue Test

Wei Donghao<sup>1</sup>, Wen Zhenhua<sup>1</sup>, Guo Xiao<sup>1</sup>, Chen Weiwei<sup>2</sup>

1. Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China

2. AECC Sichuan Gas Turbine Establishment, Chengdu 610500, China

**Abstract:** The electrostatic monitoring technology is introduced as a new technology to monitor the condition of the aeroengine which is aiming at the problems of frequent faults and backward monitoring methods in the fatigue test stage of engine prototype. The self-developed electrostatic sensor has been used to complete exhaust electrostatic data acquisition in fatigue test run on ground bench of a certain turbofan engine which is been further analyzed to get accident details. The whole gas circuit components are taken as the fatigue test object in the experiment. It is found that the fault particles produced by the gas circuit components cause the induced charge to increase by about 100%; further, based on feature extraction, the auto-correlation coefficient of characteristic parameters of electrostatic signal is calculated. Under the same working conditions, the maximum correlation coefficient of the activity level is 0.816, indicating that the activity level has good robustness; the maximum correlation coefficient of activity level under different working conditions is 0.396, indicating that the activity level is highly sensitive to the change of working conditions. The electrostatic monitoring technology can effectively indicate the state information of the aeroengine prototype during the fatigue test process, which can effectively reduce the risk of damage to the prototype and preliminarily warn the early failure state.

**Key Words:** aeroengine; fatigue test; electrostatic monitoring; early failure; correlation analysis

**Received:** 2022-03-24; **Revised:** 2022-05-19; **Accepted:** 2022-07-18

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (51975539); The Scientific and Technology Project in Henan Province(222102210050); The Promotion Project of Young Talents in Henan Province (2021HYTP017)