

《火山灰单粒子多耦合撞击行为测量方法》  
(送审稿) 编制说明

《火山灰单粒子多耦合撞击行为测量方法》  
团体标准  
起草工作组  
二〇二六年二月

# 《火山灰单粒子多耦合撞击行为测量方法》

## （送审稿）编制说明

### 一、工作简况

#### 1.1 项目背景

航空发动机作为现代航空器的核心部件，其安全性、可靠性和性能表现直接决定了飞行器的安全运行与运行效率。热障涂层(Thermal Barrier Coatings, TBCs)有效降低了航空发动机叶片基底合金的工作温度，保障了发动机在极端工况下的正常运行。然而，在实际服役过程中，航空发动机尤其是其热端部件长期暴露于高温、高压及复杂颗粒物环境中，其中火山灰的侵蚀已成为制约发动机安全与高效运行的重要因素之一。近年来的多起航空事故调查表明，火山灰粒子通过吸入燃烧空气进入发动机内部，在高温条件下熔融后附着于热障涂层及其气膜冷却孔表面，引起涂层损伤、冷却通道堵塞及结构腐蚀，进而导致发动机性能显著下降，甚至引发灾难性事故。

当火山灰被吸入发动机，将在超过 1200°C 的高温涡轮部件上熔化、沉积、渗透。熔融态的火山灰对 TBCs 具有极强的润湿性和渗透性，它们会渗入涂层的多孔微观结构，在冷却过程中凝固，产生巨大的热应力，导致涂层开裂和剥落。同时，火山灰会与 TBCs 材料发生剧烈的化学腐蚀反应，降低其隔热性能，而在发生渗透和腐蚀之前是熔融火山灰液滴与热障涂层的高温高速撞击过程。已有大量研究表明，液滴撞击后的铺展动力学不仅受液滴自身性质(如黏度、表面张力、液滴尺寸)影响，同时还显著受到撞击基板性质的制约。基板的润湿性、表面粗糙度、黏附特性以及动静摩擦性质等参数均会极大地改变液滴撞击时的铺展形态、铺展速度、最大铺展直径及液滴的弹跳行为。所以研究火山灰液滴与热障涂层之间的撞击过程可以明晰具有不同熔融特性的火山灰粒子在不同表面性质的涂层多耦合撞击行为的差异，及其影响规律，将为开发更为有效的抗火山灰涂层提供坚实基础。

而常规的静态熔融渗透或浸润测试难以真实反映航空发动机高速、高温颗粒撞击条件下复杂的动态过程。虽然数值模拟可以在一定程度上弥补实验的不足，但由于缺乏真实、准确的实验数据，数值模拟结果的可信度和准确性尚存在较大局限。发展能够精确模拟实际服役工况的实验手段，并建立一套科学、统一、可靠的测试与评价标准，以便对火山灰颗粒的动态撞击与侵蚀行为开展系统的研究，从而热障涂层抗火山灰性能的深入研究与精准设计。

## 1.2 主要工作过程

### 1.2.1 准备阶段

2025年10月，完成了《民用飞机发动机火山灰高温撞击行为测试方法》立项。成立标准编制组，标准主持人结合工作情况，对标准起草工作按工作内容、时间进度进行了安排部署。

### 1.2.1 调研阶段

2025年10月至11月，标准编制组开展广泛、深入的调研，收集、整理了国内外相关标准、科研成果、专著、论文等，以及专家的意见与建议并进行了分析与探讨。同时，研究工程应用情况。

### 1.2.3 起草阶段

2025年11月，标准编制组经过多次研究和讨论，充分听取各单位的意见并研究相关资料，形成标准草案稿。

### 1.2.4 草案稿研讨阶段

2025年11月，标准编制组内部开展针对标准框架、标准定位、技术内容的内部研讨。

### 1.2.5 征求意见阶段

2026年1月至2月，标准组织进行意见征求，并完成《民用飞机发动机火山灰高温撞击行为测试方法》征求意见稿。

### 1.2.6 送审阶段

标准编制组根据各方意见与建议对标准内容进行修改和改善，形成送审稿，拟定2026年2月召开审查会。

### 1.2.7 报批

标准编制组根据审查专家的意见与建议对标准内容进行修改和完善，拟定2026年2月底形成报批稿。

### 1.2.8 发布

拟定2026年3月发布。

## 二、标准编制原则

## 2.1 一致性

本标准的编制一定程度上考虑了在我国现行法律、政策环境下对《民用飞机发动机火山灰高温撞击行为测试方法》团体标准施行的可操作性，同时对国内外相关方面的现行标准给予了应有的关注，以确保本标准与有关法律法规、其他标准的兼容性和一致性，且确保与国家标准、行业标准中的术语和词汇保持一致，采用国家标准中规定的术语和广大用户熟悉的词汇。

## 2.2 科学合理性

本标准在编制过程中，对相关术语、定义和技术指标等内容的叙述尽可能清楚、确切、规范，并通过标准的应用实践对所拟标准进行印证，同时考虑实际工作过程可能产生的问题以及其他类似应用的实际情况，使本标准执行起来尽可能易实现和可操作，充分满足使用要求。

## 2.3 可扩充性

本标准编制过程中，针对有关技术内容方面，注意加强与其他标准的兼容和协调，在科学性、适用性的前提下，尽量保持与现有相关规范的一致性。

## 2.4 规范性原则

本标准按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

## 三、标准主要内容和相关依据

本标准的适用范围：适用于民用飞机发动机火山灰高温渗透性测试的规划及实施。

主要技术内容：1 使用范围；2 规范性引用文件；3 术语与定义；4 符号、代号和缩略语；5 民用飞机发动机火山灰高温撞击行为测试方法测试原理及实验设备；6 民用飞机发动机火山灰高温撞击测试实验方法；7 数据采集及处理。

本标准依据浙江省“尖兵领雁”研发计划项目开展编制研究，并参考现行国家或行业规程规范标准。

本规范编制过程中，局部参考了以下标准或文件：

《表面抗润湿性能的检测和评价》（GB/T 42694-2023）

《用悬滴法测定液体的表面张力》（NF T30-131-3-2020）。

#### 四、本标准预期的经济效益和社会效益

通过提供统一、可靠的测试方法，可大幅减少因测试方案不一导致的重复试验、数据无效等资源浪费，将新材料、新工艺的研发验证周期缩短 20%以上，直接降低研发成本。基于本标准的测试方法可以在模拟真实航空发动机服役环境下测试具有不同熔融特性和飞行特性的火山灰粒子在不同表面性质的涂层之间的多耦合撞击行为，直观评判热障涂层对火山灰的物理防护性能。基于本标准筛选出的高性能抗腐蚀涂层，能有效延长发动机热端部件的检修间隔和使用寿命，为航空公司节约高额的部件更换与维修费用。三是保障产业链稳定，为国内涂层材料供应商提供公平、一致的性能评价准绳，提升合格产品供应效率，支撑国产航空发动机产业的健康发展。

本标准首先为评估和预防火山灰环境下的发动机故障提供了科学手段，直接服务于民机飞行安全，具有重大的公共安全价值。二是实现技术自主可控，填补国内空白，打破国外在该领域的技术与标准垄断，提升我国航空工业的核心竞争力。三是形成标准引领，带动相关测试设备、材料研发等高技术产业发展，为我国从航空大国向航空强国转变提供坚实的技术基础。

#### 五、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

本标准制定过程中，未检索到国际标准或国外先进标准，标准水平达到国内先进水平。

#### 六、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准符合现有的法律、法规。

#### 七、重大分歧意见的处理经过和依据

目前，没有分歧意见。

#### 八、贯标的措施和建议

本标准为团体标准，建议按照国家有关团体标准管理规定和中国科技产业促进会团体标准管理要求，在协会会员中推广采用本标准，鼓励社会各有关方面企业自愿采用该标准。

## 九、废止现行有关标准的建议

无。

## 十、其他应予说明的事项

无。