

民航行业标准  
《航空油料材料相容性试验方法 第 1  
部分：民用航空喷气燃料与非金属材料》  
(征求意见稿)

# 编制说明

《航空油料材料相容性试验方法》编制组

2025 年 10 月

## 一、工作简况

### （一）任务来源

《航空油料材料相容性试验方法 第1部分：民用航空喷气燃料与非金属材料》为2023年标准计划内项目，标准编制周期为24个月。该标准由民航局航空器适航审定司（以下简称“民航局适航司”）提出，牵头起草单位为中国民用航空总局第二研究所。

### （二）主要起草单位和编制组成员

主要起草单位：中国民用航空总局第二研究所。

编制组成员：曾萍等。

### （三）标准制定的背景、目的和意义

#### 1. 研究背景

飞机/发动机触油材料与航空油料长期接触，极有可能发生性能变化。如密封材料发生性能变化，导致出现油料泄漏，出现混油的危害；非金属材料发生性能变化，影响材料结构强度，造成安全隐患，直接影响着航空飞行的安全。

为判定航空油料对飞机/发动机触油材料的影响，服务和指导航空油料的适航审定工作，民航局起草发布的技术标准规定CTSO-2C701a《含合成烃的民用航空喷气燃料》、CTSO-2C702a《民用航空喷气燃料》均要求开展航空喷气燃料与飞机/发动机触油材料的相容性试验。目前国际上并无针对航空喷气燃料与材料的相容性试验标准，对含合成烃的航空喷气燃料与材料的相容性试验也仅在油料的产品

标准中有对试验条件的简单描述，缺乏相关测试标准和大量试验细节。

## 2. 研究目的和意义

随着国产大飞机 C919 和国产发动机 CJ1000 适航验证工作快速推动，急需采用合适的方式表明飞机/发动机触油材料与航空喷气燃料的适用性和耐久性。如何表明触油材料对规章相关条款的符合性，在国内并没有明确的试验方法和标准。因此，随着国家“两机专项”的持续推进，有必要尽快开展飞机/发动机触油材料与航空喷气燃料的相容性研究，制定航空喷气燃料与非金属材料的相容性试验的行业标准。这不仅是打破瓶颈，实现 CTSO-2C701a 和 CTSO-2C702a 中相容性试验标准化，有效弥补当前缺陷，同时本项目也是第一次将所有航空油料与飞机/发动机非金属触油材料的相容性试验形成一个系列标准，实现对国外检测方法的全面替代与领先，增强我国立法定标能力。

国外关于民用航空喷气燃料与非金属材料相容性测试的检测标准对浸泡装置规定不清晰，非金属材料试验件未覆盖国产发动机全部触油材料，为申请人参照国外检测标准开展相关测试工作带来不便。制定民用航空喷气燃料与非金属材料相容性测试规范，将促进我国民用航空喷气燃料适航审定工作的标准化，也将服务于国内油料生产商和飞机发动机制造商，提升我国航空油料的研制水平和飞机/发动机材料选型设计工作的准确性。

## （四）主要工作过程

## 1. 组建编制组

2023 年 1 月工作启动，成立标准编制组，通过组织协调、研制框架、方案细化，内容编写，技术测试等工作，开展标准初稿编制。

## 2. 调研

(1) 2023 年 4 月完成研究国内外民用航空喷气燃料 CTSO-2C701 、 CTSO-2C702 、 ASTM D4054 《Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives》等标准要求，初步梳理航空油料与材料的相容性试验参数和指标要求；研究 ASTM D4054 涉及的 ASTM D471 《Standard Test Method for Rubber Property—Effect of Liquids》、ASTM D1414 《Standard Test Methods for Rubber O-Rings》、GB/T 1690 《硫化橡胶或热塑性橡胶耐液体试验方法》、GB/T 5720 《O 形橡胶 O 形圈试验方法》等测试标准，对比其对材料性能的测试要求与适用性差异、分析自主测试装置与国外标准相似性及差异性。

(2) 2024 年 5 月，调研主机厂（商发商飞等）发动机实际触油非金属试验件情况，研究自主方法试验件选型方案。

## 3. 开题评审

2023 年 6 月 19 日，中国民航科学技术研究院（以下简称“航科院”）组织召开了标准开题评审会。编制组从项目背景、研究内容、技术路线、实施方案和经费说明 5 个方面进行了汇报，评审组对项目的研究内容、研究方法、研

究计划、预计成果形式等方面进行了评审，一致认为该项目目标明确、内容全面、技术方案可行、实施计划合理，同意该项目通过开题评审。

#### 4. 起草标准

2023 年 1 月至 2024 年 12 月，开展标准起草工作。编制组分析测试数据、评估自主方法可行性、编制初稿，向行业相关方函询征求意见，编制组对专家提出关于明确非金属材料定义等意见进行整理汇总，并与专家讨论确定修订内容，完成标准初稿。

#### 5. 中期评审

2025 年 8 月 7 日，航科院组织召开了标准中期评审会。编制组从研究进展、实施方案、标准草案和下步计划 4 个方面进行了汇报，评审组对标准进行了评审，会议形成专家意见 3 条，一致同意该标准通过中期评审。

#### 6. 形成标准征求意见稿

2025 年 8 月至 10 月，在评审专家的意见建议基础上，编制组不断修改完善标准文本，同时邀请行业内专家对修改后的标准进行审核，依据审核意见，持续进行修订完善，形成标准征求意见稿。

**二、编写原则和主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、测试方法、测试规则等）的编写论据（包括计算、测试、统计等数据），修订标准时应说明主要技术内容的修改情况**

##### （一）标准编写原则

1. 符合性原则。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》给出的规则起草，遵守《中华人民共和国国家标准化法》《中华人民共和国标准化法实施条例》等标准化法律法规规章要求。

2. 适应性原则。通过调研行业实际现状和迫切需求，坚持问题导向和目标导向，重点在解决规范航空油料材料相容性测试方法涉及试验仪器设备、试验过程、测试项目等方面提出标准建设草案，统筹考虑标准要求的普适性和合理性，推进标准编制。

## （二）标准主要内容

本标准共包括8章正文及附录。

1. 第1、2、3章，为标准的常规性描述，包括范围、规范性引用文件、术语和定义。

2. 第4章概述了方法内容。

3. 第5、6、7章简述方法所需仪器设备、试验浸泡条件与程序以及试验项目。

4. 第8章规定了试验报告要求。

5. 附录A规定了喷气燃料与胶粘剂相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

6. 附录B规定了喷气燃料与涂层相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

7. 附录 C 规定了喷气燃料与密封胶相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

8. 附录 D 规定了喷气燃料与橡胶相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

9. 附录 E 规定了喷气燃料与塑料相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

10. 附录 F 规定了喷气燃料与纤维相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

11. 附录 G 规定了喷气燃料与复合材料相容性试验方法，包括仪器设备、试验件、试验浸泡条件与程序、试验步骤以及试验报告。

### **三、是否涉及专利，涉及专利的，说明专利名称、编号及相关信息**

本标准不涉及专利。

### **四、主要测试或验证的分析、综述报告、技术论证、预期的经济效益和社会效益**

#### **（一）主要测试或验证的分析、综述报告、技术论证**

##### **1. 方法建设**

民用航空喷气燃料与非金属材料相容性测试装置，参考国内外先进标准原理进行设备建设，该方法由试验仪器设备、试验件浸泡程序、试验程序构成。

## 1.1 仪器设备

方法使用仪器设备，相关信息见表 1。

表1 仪器设备详细情况及记录精度要求

序号	测试项目	仪器设备	设备编号	型号	记录精度	计量方式
1	相容性试验	防爆烘箱	TC-E2-384	DGT2006-EX	1 °C	校准
2		防爆烘箱	TC-E4-502-6	DGT2006-EX	1 °C	校准
3		带盖玻璃容器	——	——	——	——
4		压缩形变 夹具 <sup>a</sup>	TC-E2-388-1~8 TC-E2-389-1~9	——	——	——
5	试件制备	哑铃形试验件模 具	TC-E2-398-1	——	——	核查
6		长方形试验件模 具	TC-E2-399-1	——	——	核查
7	体积变化	分析天平	TC-E2-353	梅特勒/MS304S	0.1 mg，具备称量水中样品重量模块	校准
8	硬度	硬度计	TC-E2-404	TIME 5430	0.1	校准
9	硬度	硬度计	TC-E2-355	Digi test II	0.1	核查
10	压缩永久形变	橡胶测厚仪	TC-E2-380	道纯/WH5-20A	0.01 mm	校准
11	拉伸性能	万能材料测试机	TC-E3-172	INSTRON/3369	0.01 N，0.01%	校准
12	剪切强度	万能材料测试机	TC-E3-172	INSTRON/3369	0.01 N，0.01%	校准



序号	测试项目	仪器设备	设备编号	型号	记录精度	计量方式
13	铅笔硬度	铅笔硬度试验机	TC-E2-417	QH-Q-A	——	校准
14	剥离强度	万能材料测试机	TC-E3-172	INSTRON/3369	0.01 N, 0.01%	校准
15	弯曲应力	万能材料测试机	TC-E3-172	INSTRON/3369	0.01 N, 0.01%	校准

### 1.1.1 浸泡装置

浸泡装置使用带盖的玻璃容器，选用塑料瓶盖或金属瓶盖，以保证浸泡装置的密闭性。浸泡装置尺寸保证试验件在不发生任何形变的情况下完全浸入喷气燃料。浸泡装置见图 1 所示。



图 1 浸泡装置

### 1.1.2 压缩形变夹具

压缩永久形变试验采用图 2 所示夹具。夹具由压缩板、螺栓、紧固螺母、挂钩螺栓以及不同尺寸限制块组成。夹具压缩板采用平行、平整、高磨光的镀铬 304 不锈钢板，表面处理后表面粗糙  $0.25\ \mu\text{m}$ 。压缩板尺寸为  $80\ \text{mm} \pm 5\ \text{mm}$  的直径， $12\ \text{mm} \pm 1\ \text{mm}$  的厚度。



图 2 压缩形变夹具

### 1.1.3 裁刀

哑铃型裁刀：用于裁切哑铃型试验件，总长度为 115.01 mm，底部总宽为 24.95 mm，细长段长为 32.99 mm，细长段宽为 6.00 mm，哑铃型裁刀见图 3 所示。



图 3 哑铃型裁刀

长方型裁刀：用于裁切长方型试验件，长度为 49.98 mm，宽度 24.98 mm，长方型裁刀见图 4 所示。



图 4 长方型裁刀

#### 1.1.4 天平

梅特勒天平，感量为  $0.00001\text{ g}$ ，见图 5 所示。



图 5 天平

#### 1.1.5 厚度计

经计量校准满足标准要求，精度为  $0.001\text{ mm}$ ，见图 6 所示。



图 6 厚度计

### 1.1.6 恒温箱

经计量校准满足标准要求，见图 7 所示。



图 7 恒温箱

### 1.1.7 硬度计

邵氏 A 型硬度计：经计量校准满足标准要求，见图 8 所示。



图 8 邵氏 A 型硬度计

邵氏 AM 型硬度计：经计量校准满足标准要求，见图 9 所示。



图 9 邵氏 AM 型硬度计

### 1.1.8 拉力试验机

拉力试验机测力精度、引伸计精度、移动速率经计量校准满足标准要求，见图 10 所示。



图 10 拉力试验机

### 1.1.9 铅笔硬度试验仪器

铅笔硬度试验仪器经计量校准满足标准要求，见图 11 所示。



图 11 铅笔硬度试验仪器

### 1.2 装置控制参数确认

结合测试装置各组成的实际情况，总结影响试验结果的仪器设备。为确认设备上述控制参数的准确性，民航局测试中心委托广电计量（成都）别对试验所使用的仪器设备进行了校准与确认，详见表 2 所示。

表2 仪器设备的校准情况

控制参数	标准要求	计量结果
恒温箱	(71~163) °C±2 °C	满足
天平	0.1 mg	满足
硬度计	符合 GB/T 531.1 中邵氏 A 型、AM 型硬度计的相关规定	满足
橡胶测厚仪	对于硬度大于或等于 35 IRHD 的橡胶施加压力应为 22 kPa ± 5 kPa，对于硬度小于 35 IRHD 的施加压力应为 10 kPa ± 2 kPa	满足
万能材料测试机	至少具有 2 级测力精度，使用的引伸计的精度为 D 级，试验机移动速度满足要求	满足
铅笔硬度试验机	铅笔硬度试验仪器应符合 GB/T 6739 中的规定	满足

从对上述控制参数的校准结果可知，装置的测试参数均得到精确控制，所有参数均在标准要求范围内，设备具备开展方法验证测试的前提条件。

### 1.3 试验浸泡条件

#### 1.3.1 浸泡温度

各试验件的浸泡温度可进行按表 3 选择，也可按照飞机、发动机实际使用工况定义浸泡温度。

表3 试验件的种类和浸泡条件

序号	试验件种类	试验件材料	浸泡温度/℃	浸泡周期/h
1	胶粘剂	乙烯基酚醛类、环氧树脂类、丁腈酚醛类、甲基丙烯酸酯类	93 ± 2	672 ± 2 (浸泡 336 h ± 1 h 后应更换新鲜喷气燃料)
2	涂层	环氧-聚酰胺类	49 ± 2	
		丁腈类、聚氨酯类、环氧类	93 ± 2	
3	密封胶	聚硫化物类、聚硫醚类、氟硅类、聚氨酯类	93 ± 2	
4	橡胶	丁腈类	71 ± 2	
		氟硅类	107 ± 2	
		氟碳类	153 ± 2	
		低温氟碳类	163 ± 2	
5	塑料	特氟龙类、尼龙类、聚乙烯类	71 ± 2	
		聚酰亚胺类	93 ± 2	
6	纤维	化学纤维类	依据实际情况定义	
7	复合材料	纤维增强类、填充增强类	依据实际情况定义	

### 1.3.2 浸泡程序

浸泡程序如下。

每组试验需不少于 3 个试验件。可用线或棒将试验件吊入并浸没于喷气燃料中；可使用玻璃球或其他间隔物，所用材料不应与喷气燃料及试样发生反应。确保试验件与试验件之间不接触，且试验件与浸泡装置内壁不接触。

将浸泡装置放入已达到浸泡温度的恒温箱中。浸泡结束后，取出浸泡装置，取出试验件并快速放入新鲜喷气燃料中，在室温下冷却 30 min ~ 60 min。

开展试验件性能试验前，应将试验件短暂浸入无水乙醇等挥发性液体中，迅速取出并擦干。



将试验件从喷气燃料中取出，至开展性能试验，不应超过以下时间：

体积变化：1 min；

硬度变化：1 min；

拉伸性能：3 min；

剪切强度：3 min；

铅笔硬度：5 min；

附着力：5 min；

剥离强度：5 min；

弯曲应力：5 min。

短梁剪切强度：5 min。

## 2. 方法对比验证

为确保方法的有效性和适用性，采用与 ASTM D4054 附录 A3 中规定的试验方法进行对比试验验证，以证明新方法的技术可行性和结果一致性。本节选取了典型的喷气燃料，包括传统喷气燃料（满足 CTSO 2C702）和含合成烃的喷气燃料（满足 CTSO 2C701）等作为试验液体，发动机触油部件常用非金属材料作为研究对象，分别按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序，以及标准方法规定浸泡程序，分别进行试验。通过对比两种方法浸泡后材料的性能指标或变化结果，以此来验证方法的准确性与可靠性。

### 2.1 体积变化方法验证

选取 3 号喷气燃料、JET A-1 以及含合成烃的喷气燃料作为试验液体，试验件种类为橡胶（片材），试验件材料

为氟碳橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行体积变化试验，比对试验结果数据见表 4。

表4 橡胶（片材）体积变化试验结果

序号	体积变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/%
1	3 号喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	5.4
2				新标准方法	5.5
3	JET A-1	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	5.3
4				新标准方法	5.1
5	含合成烃的喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	4.2
6				新标准方法	4.6

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为橡胶（O 形圈），试验件材料为氟硅橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液

体)，浸泡结束后分别进行体积变化试验，比对试验结果数据见表 5。

表5 橡胶（O 形圈）体积变化试验结果

序号	体积变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/%
1	HEFA-SPK	O 形圈	氟硅橡胶	ASTM D4054	6.5
2				新标准方法	6.5

选取 3 号喷气燃料作为试验液体，试验件种类为密封胶，试验件材料为聚硫化物。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行体积变化试验，比对试验结果数据见表 6。

表6 密封胶体积变化试验结果

序号	体积变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/%
1	3 号喷气燃料	密封胶	聚硫化物	ASTM D4054	-3.6
2				新标准方法	-3.7

以上多组数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件体积变化的影响。

## 2.2 硬度变化方法验证

选取 3 号喷气燃料、JET A-1 以及含合成烃的喷气燃料作为试验液体，试验件种类为橡胶（片材），试验件材料为氟碳橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行硬度变化试验，比对试验结果数据见表 7。

表7 橡胶（片材）硬度变化试验结果

序号	硬度变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据
1	3 号喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	-2
2				新标准方法	-2
3	JET A-1	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	-1
4				新标准方法	-2
5	含合成烃的喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	-1
6				新标准方法	-2

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为橡胶（O 形圈），试验件材料为氟硅橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中

浸泡 14 天更换新鲜试验液体) 以及方法规定浸泡程序 (浸泡温度 107 °C, 浸泡 28 天, 其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体), 浸泡结束后分别进行硬度变化试验, 比对试验结果数据见表 8。

表8 橡胶 (O 形圈) 硬度变化试验结果

序号	硬度变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据
1	HEFA-SPK	O 形圈	氟硅橡胶	ASTM D4054	-3
2				新标准方法	-3

选取 3 号喷气燃料作为试验液体, 试验件种类为密封胶, 试验件材料为聚硫化物。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序 (浸泡温度 93 °C, 浸泡 28 天, 其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体) 以及方法规定浸泡程序 (浸泡温度 93 °C, 浸泡 28 天, 其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体), 浸泡结束后分别进行硬度变化试验, 比对试验结果数据见表 9。

表9 密封胶硬度变化试验结果

序号	硬度变化试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据
1	3 号喷气燃料	密封胶	聚硫化物	ASTM D4054	6
2				新标准方法	8

以上多组数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

### 2.3 拉伸性能方法验证

选取 3 号喷气燃料、JET A-1 以及含合成烃的喷气燃料作为试验液体，试验件种类为橡胶（片材），试验件材料为氟碳橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 153℃，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 153℃，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行拉伸性能试验，比对试验结果数据见表 10。

表10 橡胶（片材）拉伸性能试验结果

序号	拉伸性能试验结果					
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	检测结果 /MPa	检测结果 /%
1	3 号喷气燃料	橡胶（片材）	氟碳橡胶	ASTM D4054	12.5	217
2				新标准方法	12.4	212
3	JET A-1	橡胶（片材）	氟碳橡胶	ASTM D4054	12.3	211
4				新标准方法	12.7	220
5	含合成烃的喷气燃料	橡胶（片材）	氟碳橡胶	ASTM D4054	12.5	229
6				新标准方法	12.7	210

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为橡胶（O 形圈），试验件材料为氟硅橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行拉伸性能试验，比对试验结果数据见表 11。

表11 橡胶（O 形圈）拉伸性能试验结果

序号	拉伸性能试验结果					
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	检测结果 /MPa	检测结果 /%
1	HEFA-SPK	橡胶（O 形圈）	氟硅橡胶	ASTM D4054	5.6	174
2				新标准方法	5.8	179

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为塑料，试验件材料为聚四氟乙烯。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行拉伸性能试验，比对试验结果数据见表 12。

表12 塑料拉伸性能试验结果

序号	拉伸性能试验结果					
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	检测结果 /MPa	检测结果 /%
1	HEFA- SPK	塑料	聚四氟乙烯	ASTM D4054	25.9	232
2				新标准方法	25.4	228

选取 3 号喷气燃料作为试验液体，试验件种类为塑料（薄膜），试验件材料为聚酰亚胺。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行拉伸性能试验，比对试验结果数据见表 13。

表13 塑料（薄膜）拉伸性能试验结果

序号	拉伸性能试验结果					
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	检测结果 /MPa	检测结果 /%
1	3 号喷气 燃料	薄膜	聚酰亚胺	ASTM D4054	159.3	23
2				新标准方法	160.0	27

以上多组数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

当前 ASTM D4054 等国外现行标准对民用喷气燃料与飞机/发动机燃油复合材料的相容性试验存在显著局限性。



其国外标准现有试验方法中，只关注复合材料弯曲性能，这种单一指标评估难以全面反映复合材料在实际工况下的性能。拉伸性能可反映材料在喷气燃料相容性试验后的抗拉强度和延展性，也是承受动态载荷的结构部件关键指标。飞机燃油系统中的部件可能在振动或压力变化下承受拉伸应力，如果材料在燃油环境中拉伸性能下降，因轴向应力集中导致开裂或失效。因此，在标准中新增复合材料拉伸性能测试具有重要意义。

经调研国内飞机、发动机制造商，材料生产商等，针对飞机/发动机燃油复合材料应用场景，将复合材料按复合材料（填充增强塑料）以及复合材料（纤维增强塑料）进行分类，并差异化确定拉伸试验标准。GB/T 1040.2《塑料拉伸性能的测定 第2部分：模塑和挤塑塑料的试验条件》是塑料拉伸性能试验的核心标准之一，标准中明确涵盖填充类材料。在GB/T 1040.2标准中规定了试验件形状和尺寸以及要求通过注塑、压塑或机加工制备试样表面无缺陷。对于填充增强塑料强调，不应使用机加工减少试样厚度。强调表面经过机加工的试样与未经机加工的试样，其试验结果不具有可比性。同时附录B中提供了多种材料的精密度试验数据，支持试验结果可靠性。GB/T 1447《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》是专门针对纤维增强塑料（如玻璃纤维、碳纤维等增强复合材料）拉伸性能试验的标准。在GB/T 1447标准中涵盖三种试样类型（I型哑铃试样、II型加强片试样、III型模压试样）、明确试验机及特定试验件

夹具的规范性要求。区分常规与仲裁试验的加载速度设置，细化试样制备、详述试验步骤，并给出拉伸应力和断裂伸长率的通用计算公式。通过差异化确定标准更精确反映不同复合材料特性，同时避免因通用方法而导致不适用以及系统误差，确保数据可比性，为相容性试验提供可靠依据。

当前 ASTM D4054 等国外现行标准对民用喷气燃料与非金属材料的相容性试验存在不足，其试验方法并未全面将纳入纺织纤维等非金属材料的试验范畴，与飞机/发动机触油材料实际应用场景存在偏差。基于此，在民用喷气燃料与非金属材料的相容性试验中增加纺织纤维作为试验件种类，重点评估喷气燃料与纤维相容性浸泡后拉伸性能（包括拉伸性能、拉伸强度）演变。引入 GB/T 3923.1《纺织品 织物拉伸性能 第1部分：断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)》作为纤维拉伸性能测试。GB/T 3923.1 规定了采用条样法测定机织纤维及其他技术生产的纤维的拉伸性能，明确了试样的取样要求，强调试样需具有代表性，应避免存在褶皱、褶皱或靠近布边的区域。标准对试验仪器的精度要求、运行速度范围及夹持方式进行了规范，并详细规定了试样的尺寸标准、制备流程及状态调节方法，为纤维拉伸性能的准确评估喷气燃料相容性试验分析提供了依据。

## 2.4 压缩永久形变方法验证

选取 3 号喷气燃料、JET A-1 以及含合成烃的喷气燃料作为试验液体，试验件种类为片材，试验件材料为氟碳橡

胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 153 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行压缩永久形变试验，比对试验结果数据见表 14。

表14 片材压缩永久形变试验结果

序号	压缩永久形变试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/%
1	3 号喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	25
2				新标准方法	23
3	JET A-1	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	24
4				新标准方法	23
5	含合成烃的喷气燃料	片材	氟碳橡胶	ASTM D4054	26
6				新标准方法	24

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为 O 形圈，试验件材料为氟硅橡胶。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 107 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），

浸泡结束后分别进行压缩永久形变试验，比对试验结果数据表 15。

表15 O 形圈压缩永久形变试验结果

序号	压缩永久形变试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/%
1	HEFA-SPK	O 形圈	氟硅橡胶	ASTM D4054	9
2				新标准方法	11

以上多组数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.5 剪切强度方法验证

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为胶粘剂，试验件材料为环氧树脂。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行剪切强度试验，比对试验结果数据见表 16。

表16 胶粘剂剪切强度试验结果

序号	剪切强度试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/Mpa
1	HEFA-SPK	胶粘剂	环氧树脂	ASTM D4054	5.8

序号	剪切强度试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/Mpa
2				新标准方法	5.7

以上数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.6 铅笔硬度方法验证

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为涂层，试验件材料为环氧树脂。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行铅笔硬度试验，比对试验结果数据见表 17。

表17 涂层铅笔硬度试验结果

序号	铅笔硬度试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据
1	HEFA-SPK	涂层	环氧树脂	ASTM D4054	6H
2				新标准方法	6H

以上数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.7 附着力方法验证

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为涂层，试验件材料为环氧树脂。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行附着力试验，比对试验结果数据见表 18。

表18 涂层附着力试验结果

序号	附着力试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据
1	HEFA-SPK	涂层	环氧树脂	ASTM D4054	5A
2				新标准方法	5A

以上数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.8 剥离强度方法验证

选取 HEFA-SPK 作为试验液体，试验件种类为密封胶，试验件材料为聚硫化物。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行剥离强度试验，比对试验结果数据见表 19。

表19 密封胶剥离强度试验结果

序号	剥离强度试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据 N/mm
1	HEFA- SPK	密封胶	聚硫化物	ASTM D4054	35
2				新标准方法	35

以上数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.9 弯曲应力

选取含合成烃的喷气燃料作为试验液体，试验件种类为复合材料，试验件材料为聚四氟乙烯。按照 ASTM D4054 附录 A3 的规定的浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体）以及方法规定浸泡程序（浸泡温度 93 °C，浸泡 28 天，其中浸泡 14 天更换新鲜试验液体），浸泡结束后分别进行剥离强度试验，比对试验结果数据见表 20。

表20 密封胶弯曲应力试验结果

序号	剥离强度试验结果				
	试验液体	试验件种类	试验件材料	方法	试验结果数据/Mpa
1	HEFA- SPK	复合材料	聚四氟乙烯	ASTM D4054	18.4
2				新标准方法	18.3

以上数据与 ASTM D4054 结果对比具有一致性，由此可见本方法技术具有可行性，能够评价民用航空喷气燃料对非金属材料试验件的影响。

## 2.10 短梁剪切强度

经调研国内飞机、发动机制造商，材料生产商等，针对飞机/发动机燃油塑料应用场景，新增复合材料短梁剪切强度试验。GB/T 30969《聚合物基复合材料短梁剪切强度试验方法》是复合材料短梁剪切强度试验的核心标准之一。在 GB/T 30969 标准中规定了试验设备、试验件尺寸包括平板试验件、曲板试验件、试验环境条件、试验步骤，试验步骤规定 1 mm/min~2 mm/min 加载速度，对典型失效模式进行详细描述。对于飞机/发动机中由复合材料制成的结构件（如梁、壁板等）而言，层间剪切强度直接决定了其在承受弯曲、扭转和冲击载荷时的结构完整性与损伤容限。通过引入此项测试，能够有效筛查材料工艺缺陷、评估纤维与树脂基体的界面粘结质量，并为复合材料结构的设计选型、工艺优化和服役安全性评定提供至关重要的数据支撑，从而弥补单纯拉伸性能测试的不足，构建更全面的材料性能数据库，为最终产品的结构相容性与可靠性验证提供坚实依据。通过差异化确定标准更精确反映不同复合材料特性，为相容性试验提供可靠依据。

### （二）预期的经济效益

无。

### （三）预期的社会效益



本标准的制定将填补国内民用航空燃料与非金属材料相容性测试标准空白，明确浸泡程序规范及国产发动机触油材料的测试要求，解决国外标准适用性不足等问题。通过统一测试方法，促进民用航空喷气燃料适航审定工作的标准化进程，提升国内油料生产商和飞机发动机制造商的技术实力与国际竞争力，同时，该标准也将助力航空油料研制水平的提升及飞机/发动机材料选型设计的准确性，促进行业进步。

## 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

本标准不存在版权问题。

目前国际上航空油料材料相容性测试方法的标准主要是 ASTM D4054，其中涉及 ASTM D471、ASTM D1414 等测试标准，本标准与以上标准差异在于：

1. 本标准整合分散试验方法，系统规定航空油料材料相容性测试方法的仪器设备要求、不同种类试验件（包括胶粘剂、涂层、橡胶、塑料、纤维、复合材料）构型要求、浸泡条件、浸泡程序、试验件数量要求等。增加复合材料对拉伸性能的考量多维度评价力学性能，促进喷气燃料与非金属材料相容性试验的标准化。在民用喷气燃料与非金属材料的相容性试验中增加纺织纤维作为试验件种类，重点评估喷气燃料与纤维相容性浸泡后拉伸性能（包括拉伸性能、拉伸强度）演变，完善喷气燃料与非金属材料相容性试验体系。

2. 本标准涉及的试验液体为喷气燃料，包括传统喷气燃料和含合成烃的喷气燃料等。

3. 针对体积变化试验，规定从试验液体中取出开展性能测试时间为 1 min。

4. 针对硬度变化试验，规定试验件应进行前处理。将试验件放置在温度  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $50\pm 10\%\text{RH}$  环境中放置至少 24 小时。

5. 针对拉伸性能试验：a) 规定拉力试验机应符合 ISO 5893 中的相关规定，试验机至少具有 2 级测力精度，使用的引伸计的精度为 D 级，试验机至少能在  $1\text{ mm/min}\pm 0.2\text{ mm/min}$ 、 $5\text{ mm/min}\pm 0.5\text{ mm/min}$ 、 $50\text{ mm/min}\pm 2.5\text{ mm/min}$ 、 $500\text{ mm/min}\pm 50\text{ mm/min}$  移动速度下进行；b) 规定橡胶（密封胶、片材、O 形圈）试验件试验机移动速度为  $500\text{ mm/min}\pm 50\text{ mm/min}$ ；c) 规定塑料试验件试验机速度应选择  $5\text{ mm/min}\pm 0.5\text{ mm/min}$ 、 $50\text{ mm/min}\pm 2.5\text{ mm/min}$ 、 $100\text{ mm/min}\pm 10\text{ mm/min}$ 、 $500\text{ mm/min}\pm 50\text{ mm/min}$  中，保证试验件 0.5 ~ 5 分钟断裂的最小速度，也可根据相关材料的相关标准确定试样速度；d) 规定了塑料（薄膜）试验速度可根据断裂伸长率进行选择；e) 规定了纤维、复合材料试验件的拉伸性能测试。

6. 针对压缩永久形变试验，规定试验件应进行前处理。将试验件放置在温度  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $50\pm 10\%\text{RH}$  环境中放置至少 24 小时。规定将装配好的夹具在室温放置不少于 30 分钟，然后浸没于试验液体中。

7. 针对剪切强度试验，规定试验机移动速度为  $1 \text{ mm/min} \pm 0.2 \text{ mm/min}$ 。

8. 针对铅笔硬度试验，规定铅笔硬度试验仪器的要求。

9. 针对附着力试验，规定模板、透明压敏胶带、单刃切割工具的要求以及新建附着力评级标准。

10. 针对剥离强度试验，规定剥离强度试验件形状和尺寸，规范剥离强度试验步骤以及要求试验机移动速度为  $50 \text{ mm/min} \pm 2.5 \text{ mm/min}$ 。

11. 针对短梁剪切强度试验，规定短梁剪切强度试验件尺寸，规范剥离强度试验步骤。

## **六、与有关的现行法律、行政法规、民航规章、国家标准和行业标准的**关系

本标准与国内现行法律、法规和国家标准、行业标准相一致，无冲突。

本标准的制定能够完善中国民用航空技术标准规定 CTSO-2C702 中对民用航空喷气燃料性能测试的参考标准要求。

## **七、重大不同意见的处理和依据**

无。

## **八、贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等）**

建议本标准发布实施后，行业标准化单位及时组织本标准宣贯，强化标准技术内容对后续工作的指导。

## **九、废止现行有关标准的建议**

无。

#### 十、重要内容的解释和其他应说明的事项

无。