第３３卷 第２期

２０１８年 ２月

## 航空动力学报

ＪｏｕｒｎａｌｏｆＡｅｒｏｓｐａｃｅＰｏｗｅｒ

Ｖｏｌ．３３ Ｎｏ．２ Ｆｅｂ．２０１８



文章编号：１０００－８０５５（２０１８）０２－０４４０－０８ ｄｏｉ：１０．１３２２４／ｊ．ｃｎｋｉ．ｊａｓｐ．２０１８．０２．０２２

生物航煤的管理、验证标准及验证流程

杨智渊１，曾 萍１，杨晓奕２，钱 璟１，汪必耀１

（１．中国民用航空局 第二研究所，成都６１００４１；

２．北京航天航空大学 能源与动力工程学院，北京１００１９１）

摘 要：为了创建自主认定航空替代燃料的审定办法，介绍了国外适航局对替代燃料的管理流程及标准

ＡＳＴＭ Ｄ４０５４和 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６，以及中国适航局依据符合性验证方法制定的《含合成烃民用航空喷气燃料》

（ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１）标准。详细介绍了标准中规定的生物航煤生产工艺、最低性能标准以及获得批准书需要通过的理化性能和特定性能试验，包括发动机台架和试飞验证。标准中提出了采用技术标准规定批准书（ＣＴ－ ＳＯＡ）的形式对生物航煤进行申请和批准。在比较国内外生物航煤管理、标准及验证流程技术基础上，总结了 中国生物航煤性能验证技术、发动机台架和试飞要求，以及依据此验证技术进行了中国石化１号航煤的认证， 为形成一套有别于其他国家的特定的审定办法提供了技术支持。

关 键 词：生物航煤；验证流程；技术标准规定；理化性能；特定性能；适航管理

中图分类号：Ｖ３２１ 文献标志码：Ａ

# Ｍａｎａｇｅｍｅｎｔ，ｖｅｒｉｆｉｃａｔｉｏｎｓｔａｎｄａｒｄｓａｎｄｖａｌｉｄａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓｏｆ ａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌ

## ＹＡＮＧＺｈｉｙｕａｎ１，ＺＥＮＧＰｉｎｇ１，ＹＡＮＧ Ｘｉａｏｙｉ２， ＱＩＡＮＪｉｎｇ１， ＷＡＮＧＢｉｙａｏ１

（１．ＴｈｅＳｅｃｏｎｄＲｅｓｅａｒｃｈＩｎｓｔｉｔｕｔｅ， ＣｉｖｉｌＡｖｉａｔｉｏｎＡｄｍｉｎｉｓｔｒａｔｉｏｎｏｆＣｈｉｎａ，Ｃｈｅｎｇｄｕ６１００４１，Ｃｈｉｎａ； ２．ＳｃｈｏｏｌｏｆＥｎｅｒｇｙａｎｄＰｏｗｅｒＥｎｇｉｎｅｅｒｉｎｇ， Ｂｅｉｊｉｎｇ ＵｎｉｖｅｒｓｉｔｙｏｆＡｅｒｏｎａｕｔｉｃｓａｎｄＡｓｔｒｏｎａｕｔｉｃｓ，Ｂｅｉｊｉｎｇ１００１９１，Ｃｈｉｎａ）

Ａｂｓｔｒａｃｔ：Ｆｏｒｅｓｔａｂｌｉｓｈｉｎｇｔｈｅｓｅｌｆ－ｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓｏｆｎｏｎ－ｐｅｔｒｏｌｅｕｍ ｂａｓｅｄａｖｉａｔｉｏｎ ｆｕｅｌ，ｔｈｅｓｐｅｃｉｆｉｃａｔｉｏｎＡＳＴＭ Ｄ４０５４ａｎｄＡＳＴＭ Ｄ７５６６ｉｓｓｕｅｄｔｏｇｕａｒａｎｔｅｅｔｈｅｕｔｉｌｉｚａｔｉｏｎｏｆ ａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌｂｙｆｏｒｅｉｇｎａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓａｕｔｈｏｒｉｔｉｅｓｗｅｒｅｉｎｔｒｏｄｕｃｅｄ．“ＣｉｖｉｌＡｖｉａｔｉｏｎＪｅｔＦｕ－ ｅｌＣｏｎｔａｉｎｉｎｇ Ｓｙｎｔｈｅｓｉｚｅｄ Ｈｙｄｒｏｃａｒｂｏｎｓ” （ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１）ｗａｓｉｓｓｕｅｄ，ｗｈｉｃｈ ｄｅｆｉｎｅｄｔｈｅ ｐｒｏｃｅｓｓａｎｄｍｉｎｉｍｕｍｓｔａｎｄａｒｄｓｏｆａｌｔｅｒｎａｔｉｖｅｆｕｅｌｓｂｙｒｅｆｅｒｅｎｃｅｔｏｔｈｅｃｏｍｐｌｉａｎｃｅｃｅｒｔｉｆｉｃａ－ ｔｉｏｎ ｍｅｔｈｏｄ．Ａｃｃｏｒｄｉｎｇｌｙ，ｔｈｅ Ｃｈｉｎｅｓｅａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓａｕｔｈｏｒｉｔｉｅｓｔｏｏｋ Ｃｈｉｎｅｓｅ Ｔｅｃｈｎｉｃａｌ ＳｔａｎｄａｒｄＯｒｄｅｒＡｐｐｒｏｖａｌ（ＣＴＳＯＡ）ｔｏａｐｐｒｏｖｅｔｈｅｕｓｅｏｆａｌｔｅｒｎａｔｉｖｅａｖｉａｔｉｏｎｆｕｅｌ．Ｆｏｒｏｂ－

ｔａｉｎｉｎｇｔｈｅａｐｐｒｏｖａｌ，ｔｈｅｐｈｙｓｉｃａｌａｎｄｃｈｅｍｉｃａｌｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓａｎｄｆｉｔ－ｆｏｒ－ｐｕｒｐｏｓｅｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓｔｅｓｔ ｓｈａｌｌｂｅｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｅｄａｆｔｅｒｃｏｍｐｌｅｔｉｏｎｏｆｅｎｇｉｎｅｂｅｎｃｈｔｅｓｔａｎｄｆｌｉｇｈｔｔｅｓｔ．Ｃｏｍｐａｒｅｄｗｉｔｈｔｈｅ ａｖｉａｔｉｏｎｆｕｅｌｍａｎａｇｅｍｅｎｔ，ｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｉｏｎｓｔａｎｄａｒｄａｎｄｐｒｏｃｅｓｓａｔｈｏｍｅａｎｄａｂｒｏａｄ，ｔｈｅｃｅｒｔｉｆｉ－

收稿日期：２０１６－０６－０３

基金项目：国家高技术研究发展计划（２０１２ＡＡ０５２１０２）

作者简介：杨智渊（１９８４－），男，高级工程师，硕士，主要从事航空燃料适航审定及验证方面研究。

引用格式：杨智渊，曾萍，杨晓奕，等．生物航煤的管理、验证标准及验证流 程［Ｊ］．航 空动力学报，２０１８，３３（２）：４４０－４４７．ＹＡＮＧ Ｚｈｉｙｕａｎ，ＺＥＮＧ Ｐｉｎｇ，ＹＡＮＧ Ｘｉａｏｙｉ，ｅｔａｌ．Ｍａｎａｇｅｍｅｎｔ，ｖｅｒｉｆｉｃａｔｉｏｎｓｔａｎｄａｒｄｓａｎｄｖａｌｉｄａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓｏｆａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌ

［Ｊ］．ＪｏｕｒｎａｌｏｆＡｅｒｏｓｐａｃｅＰｏｗｅｒ，２０１８，３３（２）：４４０－４４７．

ｃａｔｉｏｎｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙａｎｄｔｈｅｒｅｑｕｉｒｅｍｅｎｔｓｏｆｅｎｇｉｎｅｂｅｎｃｈｔｅｓｔａｎｄｆｌｉｇｈｔｔｅｓｔｉｎ Ｃｈｉｎａ ｗｅｒｅ ｓｕｍｍｅｒｉｓｅｄ，ａｎｄ Ｓｉｎｏｐｅｃ Ｎｏ．１ ｂｉｏｆｕｅｌｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｉｏｎ ｂａｓｅｄ ｏｎｔｈｉｓｖｅｒｉｆｉｃａｔｉｏｎｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ ｗｅｒｅｈｉｇｈｌｉｇｈｔｅｄｉｎｄｅｔａｉｌ．Ｔｈｅｎｏｖｅｌｍａｎａｇｅｍｅｎｔｐｒｏｃｅｓｓｅｓｆｏｒａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌａｎｄｏｔｈｅｒａｌ－ ｔｅｒｎａｔｉｖｅｆｕｅｌｓｐｒｏｖｉｄｅｄｔｅｃｈｎｉｃａｌｓｕｐｐｏｒｔｆｏｒｓｐｅｃｉａｌａｐｐｒｏｖａｌｉｎＣｈｉｎａ．

Ｋｅｙｗｏｒｄｓ： ａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌ；ｖａｌｉｄａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓ；ｔｅｃｈｎｉｃａｌｓｔａｎｄａｒｄｏｒｄｅｒ； ｐｈｙｓｉｃａｌａｎｄｃｈｅｍｉｃａｌｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ；ｆｉｔ－ｆｏｒ－ｐｕｒｐｏｓｅｐｒｏｐｅｒｔｙ； ａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓｍａｎａｇｅｍｅｎｔ

随着我国民航行业发展，航空燃料的需求量越来越大，已占航空公司运营成本的４０％，是航空器运行的血液。按照来源，航空燃料可分为传统化石基的石油原油、液态天然气、重油、页岩油和油砂的化石燃料，以及生物质、煤和动植物油脂等，通过费托、加氢、发酵等工艺制备合成燃料。生物航煤是合成燃料的一种，是由生物质等可再生原材料加工生产的、可替代传统化石基航空煤油的液体烃基燃料，简称生物航煤。与传统化石基航空煤油相比，生物航煤具有可再生性，并在全生命周期中具有很好地降低二氧化碳和颗粒污染物排放的作用，是一种新型清洁可再生能源。

对航空业来说，节能减排是面临的一个重大的挑战。为了实现清洁、低排放和可持续发展等目标，同时降低能源的成本压力，要求航空企业采取节能减排等有效措施［１］。根据有关部门数据统计得知，整个航空业的二氧化碳排放量占人类活动排放量的２％，占全球交通运输燃料二氧化碳排放量的１３％［２］。从统计数据上来看，排放的比例并不大，然而飞机在万米左右的高空飞行，发动机所排放的气体会直接进入臭氧层，对气候影响更大。２００８年，航空业也正式被纳入了欧盟温室气体排放交易体系（ＥＵ－ＥＴＳ），进出欧盟以及在欧盟内部航线飞行的飞机排放的温室气体均须纳入欧盟排放交易体系［３］，给我国航空业发展带来了巨大的压力。２００９年，在哥本哈根联合国气候变化框架公约会议上，国际航协（ＩＡＴＡ）设定了实现２０２０ 年“碳中和”及２０５０ 年碳排放比２００５年减半的规划［４］。面对国际上节能减排的压力，在民航“十二五”规划中，中国首次对节能减排的主要目标提出了“量化”要求：即吨公里的能耗和二氧化碳排放量，五年平均比“十一五”下降３％ 以上，并且按照规划，我国民航２０２０ 年单位产出的能耗要比２００５年下降２２％。在相当长一段时期的技术条件下，很多新能源如电能、太阳能、氢能、核能等尚无法用于商业飞行，要实现这一减排目标，生物航煤成为目前航空业能选择的唯一可

替代能源。

航空油料是航空器上使用最为频繁的航空产品，如果使用不合格或受污染的生物航煤，可能导致航空器或发动机出现性能恶化、腐蚀，从而使用寿命缩短；燃油存积物会造成发动机操纵部件卡滞，水污染会形成“水塞”，严重时会出现空中停车，甚至 飞行事故，其 质量直接影响航空器安全［５］。因此，世界各民航当局均认为，航油作为航空器更换最为频繁的重要部件，应当确保其处于适航状态才能保证飞行安全［６］。生物航煤属于航空油料的一种，与其他航空产品一样，使用在航空器上应经过适航验证，满足飞机和发动机的操作限制以及性能要求，即适航要求［７－８］。由于生物航煤是一种全新的航空燃料，尚未积累运行过程中的使用数据，为了确保生物航煤的安全性，需要对生物航煤的产品性能进行适航验证。

# １ 国外生物航煤的管理、验证标准

及验证流程

一种新的燃料用于飞机和发动机上，为保证其安全，必须要满足飞机和发动机使用限制和性能要求，同时与飞机、发动机材料有良好的相容 性。以国际上两个重要的管理民航适航当局：美国联邦航空局（ＦＡＡ）和欧洲航空安全局（ＥＡＳＡ）为例，ＦＡＡ 和 ＥＡＳＡ 高度重视生物航煤的应用安全性，建立了一套生物航煤的管理办法。ＦＡＡ 和ＥＡＳＡ 并不直接对生物航煤进行审批，而是主要借助行业协会，如美国材料与试验协会（ＡＳＴＭ）等行业协会的平台，采用技术标准的管理方式进行管理，适航当局通过对飞机或发动机的型号进行审定，将批准的生物航煤技术标准列入飞机或发动机的型号数据清单中（ＴＣＤＳ），在使用时则按 照飞机和发动机型号数据清单来选用合适的生物航煤。

１．１ 国外管理当局对新燃料的管理

国外主要适航管理当局对于一种新燃料的管

理，主要根据是否改变飞机和发动机的使用限制， 可分两种路径，如图１所示。图１ 是ＦＡＡ 对新燃料的认证流程，从图中可以看出，对于一种新燃料， 首先由工业界行业协会制定一个新燃料的技术标 准，该技术标准包括该燃料的组分、生产工艺以及 理化性能等要求。随后，由 ＦＡＡ、飞机制造商、发动机制造商对该技术标准进行评估，以确认其是否 改变现有飞机和发动机的使用限制。如果评估结 果显示，该技术标准规定的新燃料仍满足现有燃料

的技术要求，不会改变飞机和发动机任何的使用限制，则勿需对飞机和发动机进行任何的改装和变更，则认为该燃料是即用型（ｄｒｏｐ－ｉｎ）燃料，可直接使用。如果评估结果表明，使用该燃料需要改变飞机和发动机的使用限制，则该燃料被认定为一种非即用型（ｎｏｎｄｒｏｐ－ｉｎ）燃料，应作为一种全新燃料进行管理，需重新经过ＦＡＡ 审定，并进行发动机试验和飞机飞行试验验证合格后才能使用。对于全新的燃料，主要评估依据是 ＡＳＴＭ Ｄ４０５４［９］。



图１ ＦＡＡ 对新燃料的认证流程（图片来源于 ＦＡＡ）

Ｆｉｇ．１ ＮｅｗｆｕｅｌｑｕａｌｉｆｉｃａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓｂｙＦＡＡ （ｏｒｉｇｉｎａｌｆｒｏｍ ＦＡＡ）

１．２ 国外生物航煤的技术标准

目前，国外生物航煤的技术标准是由 ＡＳＴＭ 制定，该协会主要由政府部门、油料生产商、飞机 发动机制造商以及部分测试和研究机构组成。ＡＳＴＭ 在２００９ 年６ 月２６ 日宣布通过了新的合成燃料标准 《含 合成烃航空涡轮燃料》（ＡＳＴＭ Ｄ７５６６），并在 ２０１１ 年、２０１２ 年、２０１３ 年和 ２０１４年进行了多次修订［１０］。该标准规定了合成燃料的生产工艺、纯生物航煤性能要求以及与传统化石油品调合比例、调合后产品的性能要求。目前 合成燃料的来源主要包括生物质、天然气、煤以及 各类生物衍生的油类，通过脱氧、加氢、异构化和 裂解制备而成，与常规化石燃料混合体积比可高达５０％，主要的生产工艺包括费托合成工艺（Ｆ－ Ｔ）、酯类和脂肪酸类加氢（ＨＥＦＡ）工艺以及糖发酵加氢制备异构烷烃（ＳＩＰ）工艺等，其中大多数生物航煤是由酯类和脂肪酸类加氢工艺生产［１１］。在 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６ 经 ＦＡＡ、发动机制造厂家和飞机制造商评估后，一致认为该标准燃料仍然符合传统燃料的技术标准（ＡＳＴＭ Ｄ１６５５［１２］）要求，并不改变飞机和发动机的使用限制，可视为即用型

（ｄｒｏｐ－ｉｎ）燃料，批准该标准燃料写入发动机和飞机的 ＴＣＤＳ中，符合该标准的燃料可直接使用。

１．３ 生物航煤的验证流程

鉴于国外对生物航煤的管理是技术标准管理的模式，因此在制定标准过程中，对生物航煤进行了性能验证。ＦＡＡ 等适航当局、飞机和发动机制造商参与到了 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６的制定过程中，如图２所示。整个标准制定过程主要分为了两个部分：一是性能验证部分；另一部分是标准审核部分。其中性能验证部分又为四个阶段：第一阶段，对燃料的理化性能进行试验，确定燃料的理化指标等技术参数；第二阶段，进行与飞机、发动机以及油路系统材料的特定性能试验，验证与飞机、发动机、油路系统材料的相容性；第三阶段，进行燃烧室等部件／台架试验，验证燃料在燃烧室和部件中的燃烧性能；第四阶段，进行发动机试车，验证发动机性能、耐久性等情况。所有试验完成后，形成一份详细的研究报告提交给飞机发动机原始设备生产商（ＯＥＭ）和管理机构，进入标准审核环节。由ＦＡＡ 和波音、空中客车、普惠公司（Ｐ＆Ｗ）、罗尔斯－罗伊斯发动机公司（Ｒ－Ｒ）、ＧＥ 航空发动机公司等技术专家对研究



图２ 生物航煤标准制定过程和验证流程

Ｆｉｇ．２ Ａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌｖｅｒｉｆｉｃａｔｉｏｎａｎｄｖａｌｉｄａｔｉｏｎｐｒｏｃｅｓｓ

报告进行评估和批准，通过后提交 ＡＳＴＭ 投票通过后，最终形成了产品的标准。完成后整个产品验证，最终形成产品标准，在使用环节用产品标准来约束生物燃料的性能。

# ２ 国内生物燃料的管理、验证标准

及验证流程

２．１ 管理模式

与国外的管理模式不同，我国对生物燃料的管理采取了一套特色的管理模式。２０１２ 年，对中国石化１号生物航煤审定之前，我国民航行业并未对生物航煤进行系统管理。鉴于我国并没有类似于 ＡＳＴＭ 的行业协会，为确保生物航煤的使用安全，在对１号生物航煤的审定中，我国采取了一 套有别于其他国家的特色的审定办法，把航空油料视为航空器上使用最为频繁的重要“零部件”，参考零部件的审定，采用技术标准规定批准书

（ＣＴＳＯＡ）的 方式进行审定［１３］。技 术标准规定

（ＣＴＳＯ）是民航局颁布，规定装于民用航空器上的材料、零部件和机载设备的最低性能标准。技术标准项目批准书（ＣＴＳＯＡ）是批准技术标准规定项目的制造人的设计和生产的凭证。

我国民航适航部门制定了《含合成烃民用航空喷气燃料》（ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１）［１４］，规定了生物航煤的生产工艺、最低性能标准，作为生物航煤使用验证的基础。

２．２ 生物航煤适航验证标准

为确保生物航煤安全使用在航空器上，满足飞机和发动机的性能要求，应从理化性能、特定性能、发动机台架和试验飞行等几个方面对生物航煤进行验证。验证标准依据《含合成烃民用航空喷气燃料》（ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１）。

２．２．１ 理化性能验证

目前生物航煤的最高使用体积比例不能超过５０％，必须与传统化石航煤以不高于５０／５０ 的体积比例进行调合后方能使用，此 条款与 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６一致。因此，调合理化性能包含三部分要求，纯生物航煤组分性能要求、传统航煤组分性能要求以及两者调合后性能要求。具体要求如下： １）对纯生物航煤，目前民航局仅批准了采用

酯类和脂肪酸类加氢工艺生产的合成烃，其组分性能应符合 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６附录 Ａ２的要求。

２）用于调合的传统化石航煤，ＪｅｔＡ－１ 应符

合 ＡＳＴＭ Ｄ１６５５或 ＤＥＦＳＴＡＮ９１－９１ 的要求，３

号喷气燃料应符合 ＧＢ６５３７的要求。

３）调合后生物航煤和传统航煤混合燃料要求：① 与 Ｊｅｔ Ａ－１ 调 合，调合后燃料应符合 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６ 表 １［１０］ 的 要 求，添 加 剂 应 符 合 ＡＳＴＭ Ｄ７５６６ 表 ２［１０］的 要求；② 与 ３ 号喷气燃料调合，调合燃料应符 合 ＧＢ６５３７ 表 １［１５］中 民用航空燃料的要求，添加剂也符合 ＧＢ６５３７［１５］附录的要求。另外还要求芳烃体积分数不低于

８．０％，馏出温度ｔ５０ －ｔ１０ 不小于１５℃，ｔ９０ －ｔ１０ 不小于１０℃。

２．２．２ 特定性能测试

除了理化性能之外，还应考虑生物航煤在运输、储存、加注和使用环境下燃料的特定性能，应进行表１～ 表 ３ 等试验项目。主要包括化学性质、物理体积性质、电性能以及相容性等项目。表１～表３中，报告项目指的是尚未设定最小或最大的限制值，但需要报告该测试项目数值。

２．２．３ 发动机台架试验验证

除性能验证之外，生物燃料使用前，还要求对生物燃料进行发动机台架试验验证。通过同一发

表１ 特定性能试验项目－化学性质

Ｔａｂｌｅ１ Ｆｉｔ－ｆｏｒ－ｐｕｒｐｏｓｅｐｒｏｐｅｒｔｙｔｅｓｔｉｔｅｍ－ｃｈｅｍｉｓｔｒｙｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ

试验项目 测试方法 备注

正构、异构、环烷烃类、单环、茚、茚类、

碳氢类型 ＡＳＴＭ Ｄ２４２５

ＡＳＴＭ Ｄ１３２９或

四氢化萘、萘、苊、三环芳烃

最小值：０．０８（ＡＳＴＭ Ｄ１３２９）／

０．０８４（ＡＳＴＭ Ｄ６３７９）；

芳烃体积分数

氢体积分数

ＡＳＴＭ Ｄ６３７９

ＡＳＴＭ Ｄ５２９１或

ＡＳＴＭ Ｄ３７０１

最大值：０．２５（ＡＳＴＭ Ｄ１３２９）／

０．２６５（ＡＳＴＭ Ｄ６３７９）

见测试报告

痕量有机物质

痕量无机物质

微量

羟基类质量分数 Ｅ４１１ 见测试报告

醇类质量分数 ＥＰＡ８０１５ 见测试报告

醚类质量浓度／（ｍｇ／Ｌ） ＥＰＡ８２６０ 见测试报告

酚类质量浓度／（ｍｇ／Ｌ） ＥＰＡ８２７０ 见测试报告

Ｎ 质量分数 ＡＳＴＭ Ｄ４６２９ 见测试报告

Ｃｕ质量分数／１０－８ ＡＳＴＭ Ｄ６７３２ ＜２

元素 Ｚｎ，Ｆｅ，Ｖ，Ｃａ，Ｌｉ，Ｐｂ，Ｐ，Ｎａ，Ｍｎ，

Ｍｇ，Ｋ，Ｎｉ，Ｓｉ质量分数

ＡＳＴＭ Ｄ７１１１

见测试报告

表２ 特定性能试验项目－物理体积性质

Ｔａｂｌｅ２ Ｆｉｔ－ｆｏｒ－ｐｕｒｐｏｓｅｐｒｏｐｅｒｔｙｔｅｓｔｉｔｅｍ－ｂｕｌｋｐｈｙｓｉｃａｌｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ

试验项目 测试方法 备注

初馏点 见测试报告

１０％ 回收温度（ｔ１０）／℃ １５０～２０５

２０％ 回收温度（ｔ２０）／℃ 见测试报告

３０％ 回收温度（ｔ３０）／℃ 见测试报告

４０％ 回收温度（ｔ４０）／℃ 见测试报告

５０％ 回收温度（ｔ５０）／℃ １６５～２２９

６０％ 回收温度（ｔ６０）／℃ ＡＳＴＭ Ｄ８６ 见测试报告

７０％ 回收温度（ｔ７０）／℃ 见测试报告

８０％ 回收温度（ｔ８０）／℃ 见测试报告

９０％ 回收温度（ｔ９０）／℃ １９０～２６２

终馏点／℃ 最大值：３００

（ｔ５０ －ｔ１０）／℃ 最小值相差１５

（ｔ９０ －ｔ１０）／℃ 最小值相差１０

模拟蒸馏 ＡＳＴＭ Ｄ２８８７ 报告全馏程温度

蒸气压力与温度关系 ＡＳＴＭ Ｄ６３７８ 报告－２８，１２，２５，３８，７８，２００℃ 的值热氧化安定性，破点 ＡＳＴＭ Ｄ３２４１ 注①

磨痕直径（润滑性）／ｍｍ ＡＳＴＭ Ｄ５００１ 最大值：０．８５

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 续表 |  |
| 试验项目 | 测试方法 | 备注 |
| 磨痕直径（对抗磨添加剂耐受性）／ｍｍ | ＡＳＴＭ Ｄ５００１ |  |
| 运动黏度／（ｍｍ２／ｓ） | ＡＳＴＭ Ｄ４４５ | 注① |
| 比热容／（ｋＪ／（ｋｇ·Ｋ）） | ＡＳＴＭ Ｅ１２６９ | 注① |
| 密度／（ｋｇ／ｍ３） | ＡＳＴＭ Ｄ４０５２ | 注① |
| 表面张力／（ｍＮ／ｍ） | ＡＳＴＭ Ｄ１３３１ | 注① |
| 弹性模量／ＭＰａ | ＡＳＴＭ Ｄ６７９３ | 最大值：６９０ |
| 热导率／（Ｗ／（ｍ·Ｋ）） | ＡＳＴＭ Ｄ２７１７ | 注① |
| 水溶解度 | ＡＳＴＭ Ｄ６３０４ | 注① |
| 闪点／℃ | ＡＳＴＭ Ｄ５６／Ｄ３８２８ | 最大值：６８ |

冰点测试方法－对手动与自动相变化的响应

ＡＳＴＭ Ｄ２３８６

注①

与 ＡＳＴＭ Ｄ５９７２

注：① 满足典型的飞机发动机经验值和变化曲线。

表３ 特定性能试验项目－安全性能

Ｔａｂｌｅ３ Ｆｉｔ－ｆｏｒ－ｐｕｒｐｏｓｅｐｒｏｐｅｒｔｙｔｅｓｔｉｔｅｍ－ｓａｆｅｔｙｐｒｏｐｅｒｔｉｅｓ

电性能

地面装卸性质

试验项目 测试方法 备注

介电常数 ＡＳＴＭ Ｄ９２４ 注①电导率／（ｐＳ／ｍ） ＡＳＴＭ Ｄ２６２４

白土过滤效果

及安全性

过滤监控器

ＡＳＴＭ Ｄ３９４８ 与ＪｅｔＡ－１相比无影响

存储稳定性

过氧化物质量分数／１０－６ ＡＳＴＭ Ｄ３７０３ ８

潜在胶质质量浓度／（ｍｇ／ｍＬ） ＡＳＴＭ Ｄ５３０４ ７．０

抗氧化剂、抗腐蚀添加剂、燃料防冰剂、

相容性试验

与被批准添加剂的相容性 ＡＳＴＭ Ｄ４０５４附录 Ａ２

抗静电添加剂，无可见的分离，浑浊， 固体或颜色的昏暗；

与其他批准燃料的相容性 ＡＳＴＭ Ｄ４０５４附录 Ａ２ 无可见的分离，浑浊，固体或颜色的昏暗；

与发动机及飞机密封、

涂层及金属件的相容性

注：① 满足典型的飞机发动机经验值和变化曲线。

ＡＳＴＭ Ｄ４０５４附录 Ａ３

动机分别使用传统３ 号喷气燃料以及生物燃料， 对试验发动机功能和性能参数进行比较。

对用于试验验证的发动机要求如下：发动机试车台应处于可用状态；且用于台架验证试车的发动机要求为刚完成性能恢复修理，等待车台试车的发动机；台架验证试车程序遵循发动机状态监控与故障诊断系统（ＥＳＭ）功能检查以及性能检查程序。在试车前，应对发动机进行孔探检查热端部件，金属屑探测器（ＭＣＤ）检查以及更换油滤常规检查。

首先使用传统的３ 号喷气燃料完成 ＥＳＭ 试

车００２程序（发动机性能试车验证程序）以及００３程序（发动机功能试车验证程序），孔探检查发动机热端部件，并录像记录，然后使用生物燃料进行ＥＳＭ 试车００２ 以及００３ 程序，试车完成后，孔探检查发动机，清空发动机和管路的生物燃料。

试车过程中，对发动机的转速、燃料流量、贫油熄火性能（ｌｅａｎｂｌｏｗ ｏｕｔ，ＬＢＯ）、加速时间、推力、排气温度（ｅｘｈａｕｓｔｇａｓｔｅｍｐｅｒａｔｕｒｅ，ＥＧＴ）、冷起动、热起动等关键技术参数进行了记录。对比３号喷气燃料和生物燃料的试车数据，以能否达到发动机修理放行标准作为判定试验结果的

依据。

２．２．４ 部分科目试飞验证

对新工艺和原材料生产的生物燃料，在完成了台架测试之后，还应进行部分科目的试验飞行。根据飞机不同机型和试飞的空域，选择不同的试飞流程。２０１３年４月，中国东方航空公司在上海虹桥，使用中国石化生产的１ 号生物航煤试飞主要按照Ｄ 检出场试飞流程进行试飞，试飞科目包括地面滑行、慢车、起飞、爬升至６ｋｍ 以及飞机升限高度时记录发动机各项数据以及油箱温度，试飞前后对发动机进行孔探检测，试飞完成后，抽干 油箱的生物航煤并进行理化性能指标分析。

２．３ 生物燃料适航认证流程

航空生物燃料的适航审定包括设计、生产质量控制体系和证后监管三部分。设计评审是对燃料性能、工艺等进行评审，确保其与已批准的审定基础等技术文件的符合性。对性能评审包括了生物航煤的理化性能试验、特定性能试验、燃烧室部件对比试验、发动机试验、试飞验证等五个部分。生产质量控制体系评审，参照《含合成烃民用

航空喷气燃料》，进行 资料评审和现场符合性评审。

证后监管是指项目批准书颁发后，民航局将在批准书持有人单位授权委任的航油航化代表负责对该项目批准书持有人进行日常管理，其职责和权限应符合 ＣＣＡＲ－１８３［１６］和有关程序的规定。

# ３ 中国石化１号生物航煤的认证

２０１２年，民航局正式受理了中国石化１ 号生物航煤的适航审定申请，开展了对中国石油化工 集团公司研制的１号生物航煤适航审定工作。航 空器适航审定司是归口的管理部门，成立了１ 号生物航煤适航审定委员会以及审查组，对生物航 煤的设计、生产质量控制等环节进行了适航审定。中国石化１号生物航煤的设计生产审定包括以下 几个部分：生物航煤生产工艺审查、性能试验评 审、发动机台架试车试验评审、试飞验证评审以及 对质量体系和现场的审查。经过评审，结果表明 采用酯类和脂肪酸类加氢工艺生产的１号生物航煤组分技术指标符合 ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１ 要求，与３ 号喷气燃料调合后的产品性能仍符合 ＧＢ ６５３７－ ２００６标准３ 号喷气燃料的技术要求。中国石油化工集团建立了一套覆盖了原材料、生产过程控 制、检验和储运等全过程质量控制的质量管理体

系，制定了专门的生物航煤质量管理制度，满足ＣＣＡＲ－２１的要求，能够保证持续生产出合格的生物航煤产品。发动机台架试验和试飞验证的数据表明，１号生物航煤满足发动机和飞机的要求，取得 ＣＴＳＯＡ 的１ 号生物航煤，可安全使用。２０１４年，民航局向中国石化颁发了技术标准规定批准书（ＣＴＳＯＡ）。

# ４ 结 论

生物航煤是航空业节能减排和可持续发展的重要替代能源，发展生物航煤不能忽视安全，在生 物航煤使用之前，应进行性能验证。国外民航管理部门通过行业协会，制定了生物航煤技术标准， 指导生物航煤的使用。我国民航适航部门采用技 术标准规定批准书的形式对生物航煤进行批准， 要求生物航煤在使用前进行理化性能验证、特定性能验证、发动机台架验证以及试飞验证，并完成 了对中国石化１ 号生物航煤的适航审定，颁发了技术标准规定批准书，对中国石化１ 号生物航煤进行了适航批准。下一步还应继续完善生物航煤 的管理模式，建立生物航煤在使用环节的数据库， 积累生物航煤使用数据，保证生物航煤的使用安全。

# 参考文献：

［１］ 李楠，董健康．我国民航业节能减排面临的国际形势与行动对策［Ｊ］．综合运输，２００９（１１）：３２－３４． ＬＩＮａｎ，ＤＯＮＧＪｉａｎｋａｎｇ．Ｔｈｅｆａｃｅｄｉｎｔｅｒｎａｔｉｏｎａｌｓｉｔｕａｔｉｏｎ ａｎｄｂｅｈａｖｉｏｒａｌｓｔｒａｔｅｇｉｅｓｆｏｒＣＡＡＣｅｎｅｒｇｙｓａｖｉｎｇａｎｄｅ－ ｍｉｓｓｉｏｎ ｒｅｄｕｃｔｉｏｎ ［Ｊ］．Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ Ｔｒａｎｓｐｏｒｔａｔｉｏｎ，２００９

（１１）：３２－３４．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［２］ 葛察忠，李晓琼，高树婷．遭遇欧盟排放新政中国航空业将何去何从［Ｊ］．环境保护，２０１１（１９）：４０－４３． ＧＥＣａｚｏｎｇ，ＬＩＸｉａｏｑｉｏｎｇ，ＧＡＯＳｈｕｔｉｎｇ．Ｈｏｗｔｏｍｅｅｔｔｈｅ ｃｈａｌｌｅｎｇｅｗｈｅｎＣｈｉｎｅｓｅａｖｉａｔｉｏｎｉｎｄｕｓｔｒｉｅｓｅｎｃｏｕｎｔｅｒｗｉｔｈ ＥＵ ｅｍｉｓｓｉｏｎ ｎｅｗ ｐｏｌｉｃｙ［Ｊ］．ＥｎｖｉｒｏｎｍｅｎｔａｌＰｒｏｔｅｃｔｉｏｎ， ２０１１（１９）：４０－４３．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［３］ 冯志．解读欧盟航空碳排放交易体系及其影响［Ｊ］．民航管理，２００９（８）：９１－９４． ＦＥＮＧＺｈｉ．ＡｎｉｎｔｅｒｐｒｅｔａｔｉｏｎｏｆｔｈｅＥＵｅｍｉｓｓｉｏｎｓｔｒａｄｉｎｇ ｓｙｓｔｅｍｆｏｒａｖｉａｔｉｏｎａｎｄｉｔｓｉｍｐａｃｔ［Ｊ］．Ａｖｉａｔｉｏｎ Ｍａｎａｇｅ－ ｍｅｎｔ，２００９（８）：９１－９４．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［４］ ＫＲＡＭＭＥＲ Ｐ，ＤＲＡＹ Ｌ，ＫＨＬＥＲ Ｍ Ｏ．Ｃｌｉｍａｔｅ－ｎｅｕ－ ｔｒａｌｉｔｙｖｅｒｓｕｓｃａｒｂｏｎ－ｎｅｕｔｒａｌｉｔｙｆｏｒａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌｐｏｌｉｃｙ

［Ｊ］．ＴｒａｎｓｐｏｒｔａｔｉｏｎＲｅｓｅａｒｃｈＰａｒｔＤ：ＴｒａｎｓｐｏｒｔａｎｄＥｎｖｉ－

ｒｏｎｍｅｎｔ，２０１３，２３：６４－７２．

［５］ 柳华，杨智渊，夏祖西．航空生物燃料的发展及适航审定

［Ｊ］．液态能源与装备，２０１２（９）：９１－９４．

ＬＩＵ Ｈｕａ，ＹＡＮＧ Ｚｈｉｙｕａｎ，ＸＩＡ Ｚｕｘｉ．Ｔｈｅ ｄｅｖｅｌｏｐｍｅｎｔ

ａｎｄａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｉｏｎｏｆａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌｓ［Ｊ］．Ｌｉｑ－ ｕｉｄＥｎｅｒｇｙａｎｄＥｑｕｉｐｍｅｎｔ，２０１２（９）：９１－９４．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［６］ 杨智渊，夏祖西，柳华，等．生物燃料适航审批的探索［Ｊ］．民航科技，２０１２（３）：１３７－１３９． ＹＡＮＧＺｈｉｙｕａｎ，ＸＩＡ Ｚｕｘｉ，ＬＩＵ Ｈｕａ，ｅｔａｌ．Ｄｉｓｃｕｓｓａｂｏｕｔ ａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓｍａｎａｇｅｍｅｎｔｏｆｂｉｏ－ｆｕｅｌｓ［Ｊ］．ＡｖｉａｔｉｏｎＴｅｃｈ－ ｎｏｌｏｇｙ，２０１２（３）：１３７－１３９．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［７］ ＤＥＦＬＯＲＩＯ Ｆ．Ａｉｒｗｏｒｔｈｉｎｅｓｓ，ａｎｉｎｔｒｏｄｕｃｔｉｏｎｔｏａｉｒｃｒａｆｔ ｃｅｒｔｉｆｉｃａｔｉｏｎ［Ｍ］．２ｎｄｅｄ．Ａｍｓｔｅｒｄａｍ：Ｅｌｓｅｖｉｅｒ，２０１０．

［８］ 中国民用航空总局航空器适航司．中国民用航空器适航管理［Ｍ］．北京：中国民航出版社，１９９４．

［９］ ＡＳＴＭ．Ｓｔａｎｄａｒｄｐｒａｃｔｉｃｅｆｏｒｑｕａｌｉｆｉｃａｔｉｏｎａｎｄａｐｐｒｏｖａｌｏｆ ｎｅｗ ａｖｉａｔｉｏｎｔｕｒｂｉｎｅｆｕｅｌｓａｎｄｆｕｅｌａｄｄｉｔｉｖｅｓ：ＡＳＴＭ Ｄ ４０５４［Ｓ］．Ｐｈｉｌａｄｅｌｐｈｉａ，ＵＳ：ＡＳＴＭ，２０１４．

［１０］ ＡＳＴＭ．Ｓｔａｎｄａｒｄ ｓｐｅｃｉｆｉｃａｔｉｏｎ ｆｏｒ ａｖｉａｔｉｏｎ ｔｕｒｂｉｎｅ ｆｕｅｌ ｃｏｎｔａｉｎｉｎｇｓｙｎｔｈｅｓｉｚｅｄ ｈｙｄｒｏｃａｒｂｏｎｓ：ＡＳＴＭ Ｄ７５６６［Ｓ］． Ｐｈｉｌａｄｅｌｐｈｉａ，ＵＳ：ＡＳＴＭ，２０１４．

［１１］ 陈凯，钱璟，杨智渊，等．航空生物燃料生产工艺研究进展

［Ｊ］．石油化工，２０１２，４１（８）：９７４－９７８． ＣＨＥＮ Ｋａｉ，ＱＩＡＮＪｉｎｇ，ＹＡＮＧＺｈｉｙｕａｎ，ｅｔａｌ．Ａｄｖａｎｃｅｓｉｎ ａｖｉａｔｉｏｎｂｉｏｆｕｅｌｐｒｏｄｕｃｔｉｏｎｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ［Ｊ］．Ｐｅｔｒｏｃｈｅｍｉｃａｌ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ，２０１２，４１（８）：９７４－９７８．（ｉｎＣｈｉｎｅｓｅ）

［１２］ ＡＳＴＭ．Ｓｔａｎｄａｒｄｓｐｅｃｉｆｉｃａｔｉｏｎｆｏｒａｖｉａｔｉｏｎｔｕｒｂｉｎｅｆｕｅｌｓ： ＡＳＴＭ Ｄ１６５５［Ｓ］．Ｐｈｉｌａｄｅｌｐｈｉａ，ＵＳ：ＡＳＴＭ，２０１４．

［１３］ 中国民用航空局．民用航空产品和零部件合格审定规定：

ＣＣＡＲ－２１－２００７［Ｓ］．北京：中国民用航空局，２００７：１－８．

［１４］ 中国民用航空局．含合成烃的民用航空喷气燃料技术标准规定：ＣＴＳＯ－２Ｃ７０１－２０１３［Ｓ］．北 京：中 国 民 用 航 空 局， ２０１３：１－８．

［１５］ 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化质量委员会．３号喷气燃料：ＧＢ６５３７－２００６［Ｓ］．北京：中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化质量委员会，２００６：１－８

［１６］ 中国民用航空局．民用航空器适航委任代表和委任单位代表的规定：ＣＣＡＲ－１８３－１９９７［Ｓ］．北 京：中 国民用航空局， １９９７：１－６．

（编辑：陈 越）