

一种新型的飞机油箱催化惰化系统

A New Fuel Tank Catalytically Inerting System

刘凤春 邱献双 / 南京机电液压工程研究中心

摘要:介绍了一种新型油箱催化惰化系统及其工作原理与发展现状,并与其他油箱惰化系统进行对比,提出了新系统的优势和技术难点。

关键词: 油箱惰化; 催化; 绿色机载惰性气体发生系统

Keywords: fuel tank inerting; catalyze; GOBIGGS

0 引言

燃油箱防爆问题一直是飞机适航与安全关注的焦点。目前,国内外飞机使用的油箱惰化的方法主要有向油箱内充填网状泡沫或铝箔网、液氮、海伦1301、燃油催化惰化以及机载惰性气体发生系统(OBIGGS)等。而最近比较热门的方法是空心纤维膜式OBIGGS,洛克希德·马丁公司的F/A-22以及波音787均采用了这种系统。

空心纤维膜式OBIGGS使用膜分离装置,将引自发动机的空气分为富氮气体和富氧气体,然后将富氮气体充入油箱,置换油箱中的空气,将油箱空间内氧气含量降至9%以下,从而达到防火防爆的目的。这种OBIGGS系统在整个飞行过程可不断地提供惰性气体,不受存储容量限制,寿命周期成本较其他方法具有明显的优势,但也有一定的局限性,例如从发动机引气产生了额外的油耗,对发动机性能有一定的影响;额外增加飞机的重量;分离装置部件昂贵等。除此之外,它还将油箱空间内的挥发性有机混合物气体排入大气,造成环境污染。

美国Phyre公司在2004年为空军研发了一种新型燃油除氧系统,用于去

除液体燃油中溶解的氧气,并由此开发出了一种经济、高效、环保的油箱惰化系统。它不需要使用发动机引气,系统除一个低压泵外,无任何运动部件,因此功耗低、结构紧凑,重量轻。不但能够解决空心纤维膜式OBIGGS存在的如使用发动机引气和额外功耗大的问题,而且不像纤维膜式系统一样,需要排放污染性气体,而是在内部消耗掉,因而被称作“绿色机载惰性气体发生系统(GOBIGGS)”。目前,这项技术还处于试验阶段。一旦技术成熟,GOBIGGS有望成为与纤维膜式OBIGGS相媲美甚至更优秀的OBIGGS。

1 GOBIGGS系统的研发背景

位于美国加利福尼亚州圣地亚哥的Phyre公司成立于2003年,主要研究除氧、热稳定性和防火技术。Phyre公司的GOBIGGS(TM)是为大型客机开发的首款环保型油箱安全系

统,系统在2007年5月通过了FAA大西洋城市技术中心的验证,并于2010年4月13日获得了美国专利(USP7694916)。该系统既可用于商业和军用飞机,也可应用于船舶和地面贮存设备。未来,Phyre公司还计划开发液体除氧技术,即去除水、燃油中溶解的氧气,从而减少对系统部件的腐蚀。

2 GOBIGGS系统的工作原理

2.1 燃油除氧系统的工作原理

燃油除氧系统的工作原理如图1所

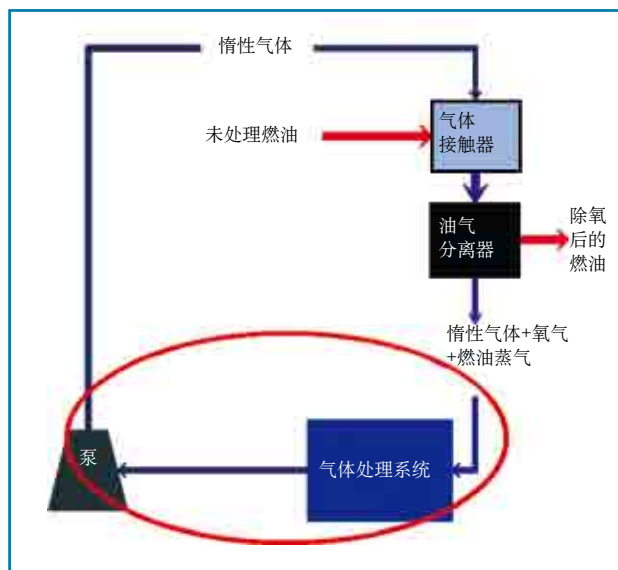


图1 新型燃油除氧系统工作原理图

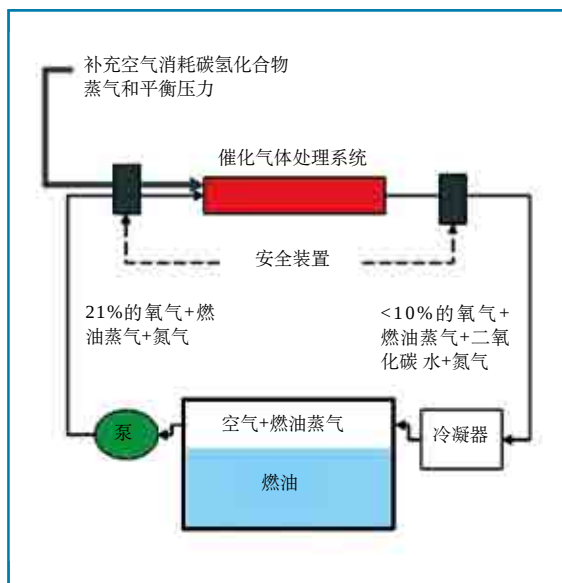


图2 绿色OBIGGS工作原理图

示。首先是采用一种多孔透水物质作为接触器,使用一台泵将惰性气体(氮气)输送到气体接触器中,并使燃油通过该接触器实现燃油与惰性气体的完全混合。这样,燃油中溶解的氧气便会逸出,然后经过油气分离器将燃油和气体分离,即可实现除氧;然后,将分离出的含有氧气、氮气和燃油蒸气的混合气体引入一个温度为 $176\sim 204^{\circ}\text{C}$ 的催化反应室中,在催化剂作用下燃油蒸气与氧气反应,生成 CO_2 和水蒸汽,通过冷凝将水滤出,得到含有 CO_2 的惰性气体;最后,将这些惰性气体压缩,使其继续参与除氧循环。

试验结果表明,这种装置可将燃油中溶解的氧气浓度降至百万分之一以下。研究证明,将氧气降低至这一水平可有效提高燃油的热稳定性,防止燃油沉淀物的生成,减少燃油部件的维护工作量,改善系统的保障性。

系统中可用的催化剂有贵金属(铂、钯、金、银等)、过渡金属、金属氧化物、稀土元素、氮化物、碳化物、酶等,或者两种或两种以上上述物质的混合物。这些物质在高温气流和多余的氧气存

在的条件下可以产生适当的活性,将不完全燃烧的碳氢化合物或 CO 氧化。多孔介质的材料可由一些惰性的金属、陶瓷、塑料、玻璃或其他有机或无机固体材料制成。

2.2 GOBIGGS的工作原理

通过对系统催化除氧原理的理解和探索,研究人员认为可以按照上述原理设计出一种新型的油箱惰化系统GOBIGGS,其中的气体处理环节(如图1中圈出部分)相同,即使油箱

内的燃油蒸气与氧气发生反应,达到降低油箱空间空气氧气含量的目的。整个系统的工作原理如图2所示。图中的安全装置用于防止反应产物从气体处理系统泄漏返回油箱。该系统完全使用催化产生的 CO_2 和油箱空间空气中的氮气作为惰性气体,可以说是一种自产自销的闭式循环系统,所谓闭式是指燃油的反应产物返回油箱,而不是排出去,但并不是绝对的闭式,因为还需要补充空气以平衡压力和保证燃油蒸气充分氧化及除去水蒸汽等。

与纤维膜式OBIGGS不断地向油箱充入惰性气体所不同,GOBIGGS的惰性气体是循环使用的,因此降低了氮气的需求量,不需要从发动机引气制氮,从而消除了对发动机性能的影响。其创新点在于,使用催化剂将燃油蒸气氧化,这样既消除了燃油蒸气又达到了除氧的目的,反应生成的 CO_2 还可作为惰性气体循环使用,可谓一举三得,因此系统效率更高、结构紧凑。

2.3 系统性能分析

为了对该惰化系统进行评估,Phyre公司进行了一项模拟试验,使用了一个排气流量为 $2\text{L}/\text{min}$ 、催化床温度为 248°C 的小油箱进行试验。试验证明,系统在几分钟内即可将油箱空间内氧气含量降至5%以下。该试验的局限性是油箱非常小,流量控制能力有限,而且催化剂的体积相对于处理的油箱空间太大,这也是系统能够快速除氧的原因。尽管有这些限制,但试验仍能够证明,使用这种系统去除油箱空间中的氧气是可行的。

图3是一台尺寸为 $30\text{cm} \times 30\text{cm} \times 102\text{cm}$ 的惰化系统样机,其中催化床尺寸为 $12.7\text{ cm} \times 11.4\text{ cm}$ 。油箱空间气体处理能力为 $4250\text{ L}/\text{min}$ 。系统的尺寸由

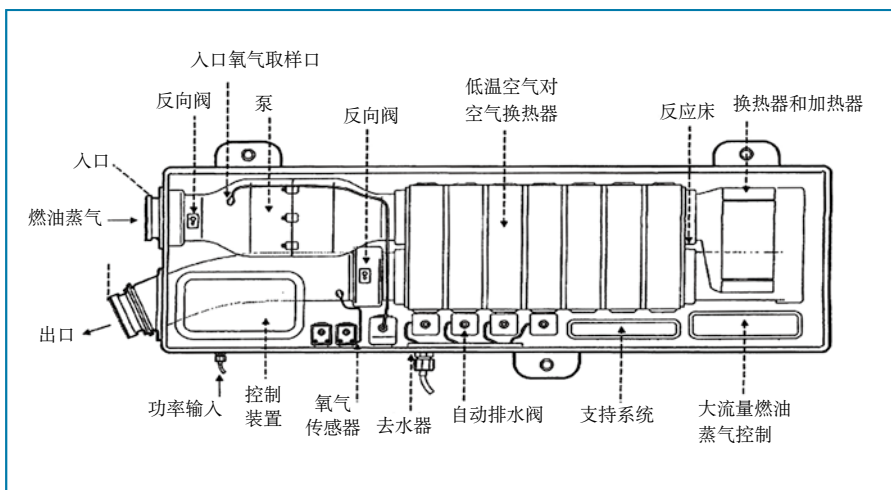


图3 一台惰化系统样机GOBIGGS结构图

处理的蒸气体积和所需的除氧速度决定,换热器尺寸与换热介质和温度梯度等参数有关。催化剂的最佳工作温度为 $100\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 与其他燃油催化惰化方法的对比

以前的燃油催化惰化的方法是从发动机引气,与燃油混合,在高温催化床催化,产生 CO_2 和水,产生的气体除水后充入油箱,置换油箱空间空气,达到惰化的目的。与这种方法相比,GOBIGGS的优势在于,它是闭式循环系统,不需要源源不断地补充惰性气体,也无需使用发动机引气。而且两者使用的催化剂相似,都是铝载铂金黑粉等贵金属材料。

2.5 与汽车尾气处理方法的对比

绿色催化惰化方法与现在汽车上广泛使用的尾气处理方法十分相似。汽车尾气中需要处理的主要成分有残留的未完全燃烧的碳氢化合物、部分燃烧产生的 CO 、 NO_x 和内燃机产生的碳颗粒等。

尾气处理的原理是在汽车发动机下游使用催化剂,将不完全燃烧的碳氢化合物、 CO 等氧化以及将 NO_x 还原成 N_2 或 N_2O ,并去除碳颗粒。催化剂载体采用多孔陶瓷晶体,小孔壁上有比表面更大的涂层,催化剂固体颗粒分布在涂层中。采用的催化剂有氧化锰—氧化铜、氧化铬—氧化镍—氧化铜、铂、铈、钡、钴、铜、锰、铁及铈、钨、锆、钕等稀土金属。对于颗粒物,可采取催化燃烧的方法去除,具体方法是先通过催化过滤装置捕集颗粒物,然后催化燃烧,但是温度较低时很难控制。此外,还可采用持续性可再生捕集催化剂,在第一种方法之前添加氧化催化剂以氧化颗粒物中的可挥发组分,同时将 NO 转化为 NO_2 ,以更有效地促进颗粒物的氧化。

对比发现,汽车尾气处理与绿色油

箱惰化系统在气体成分、催化剂成分、结构方面有很多共同点。不同的是,汽车尾气处理是开式系统,处理结果只需满足环保要求,而油箱惰化系统关乎飞机油箱安全,系统可靠性要求更高,而且飞机油箱工作条件复杂,其油箱气体成分远不及汽车尾气尤其是固定空燃比汽车的尾气成分稳定。

3 GOBIGGS系统优势及技术难点

3.1 系统优势

通过上述分析表明,GOBIGGS与传统方法相比具有明显的优势,如果进展顺利,有可能成为下一代OBIGGS解决方案,其主要优点可总结为以下四点。

- 1) 不需要使用发动机引气,消除了对发动机性能的影响;
- 2) 功耗低,除一台低压泵外无任何运动部件;
- 3) 不向机外排放燃油蒸气;
- 4) 体积小,重量轻。

3.2 技术难点

从催化剂在汽车尾气处理中的应用可知,系统的难点在于保证系统可靠性,即飞机在高空或低空、过压或欠压等各种状态下,如何保证始终有足够的燃油蒸气参加氧化反应;如何保证氧气浓度低于要求值;如何保证空燃比变幻不定的油箱空间气体的催化产物的稳定性等问题。

1) 不完全燃烧问题

燃油蒸气氧化时,如果发生不完全氧化,则有可能生成 CO ,对系统部件以及惰化效果的影响有待考察。而且,燃油不完全燃烧将导致焦油和炭的生成,因此需采用过滤装置去除这些杂质。

2) 酸性气体对部件的腐蚀

燃油中的硫成分氧化后将产生 SO_2 ,溶于水对燃油系统部件尤其是铝

合金和铁合金有强腐蚀作用。而喷气式发动机燃油中硫含量最高可达 0.15% ,因此必须在催化装置下游使用吸收装置去除这些气体,或者使用合适的涂层选用抗腐蚀的金属材料。

3) 燃油代偿损失

系统使用燃油催化除氧,当然也是对燃油的一种损失,只是相对于之前的催化方法,这种代偿损失较小,因为惰性气体是个相对封闭的循环,而不是用来置换油箱空气。

4 结论

从GOBIGGS的技术优势可以看出,闭式催化惰化方法是油箱惰化系统发展的一个新方向,它具有不使用发动机引气、结构紧凑、重量轻的优点,具有良好的发展前景。

AST

参考文献

- [1] Morris RW., Miller, Jr. Limaye SY. Fuel deoxygenation and aircraft thermal management[R]. AIAA 2006-4027, 20060626.
- [2] Santosh Limaye, Donald Koenig. Catalytic reactive component reduction system and methods for the use thereof[P]. US7694916, 20100413.
- [3] 刘永莉. 汽车催化剂发展的回顾及展望[J]. 石油化工安全环保技术, 2007(7).

作者简介

刘凤春,主要从事俄语翻译和国际航空军事情报研究。

邱献双,工程师,主要从事情报研究工作。