

小型无人机用热塑性聚氨酯薄膜软油箱的研制

张元明 赵鹏飞 杨嘉涛

(西北工业大学第365研究所,西安 710072)

摘要 针对小型无人机燃油系统的设计要求,经过分析和试验,选择耐油性、耐高低温性和耐老化性能良好的热塑性聚氨酯(PUR-T)薄膜作为燃油箱材料。详细介绍了PUR-T薄膜在小型无人机燃油箱上的应用研究,包括材料选择、材料的适应性试验等。PUR-T薄膜软油箱采用高频热压熔合方法制造,工艺简单,易于实现。PUR-T薄膜软油箱在多个无人机系统中已经被成功地应用,使用效果良好。

关键词 热塑性聚氨酯薄膜 无人机 油箱 成型工艺

热塑性聚氨酯(PUR-T)弹性体具有极好的耐磨性、耐油性和耐寒性,对氧、臭氧和辐射等具有足够的抵抗能力,同时具有很高的拉伸强度和断裂伸长率,还兼具压缩永久变形小、承载能力大等优良性能。近年来,PUR-T已在国民经济的许多领域如制鞋、医疗卫生、服装面料和国防用品等行业得到了广泛的应用^[1]。

PUR-T薄膜具有其它塑料和橡胶薄膜无法比拟的高强度、高韧性、耐老化、环保无毒等优良特性,同时又具有防水透湿、抗菌、抗紫外线等优异性能,在国防工业得到了较多的应用。首先应用在一些野战后勤装备中,如野战睡袋、野战帐篷、野战衣服、野战水袋等^[2],后逐步发展到用其胶布制作高强度、高气密、耐磨型的囊体,如飞艇、气垫船和围油栏等^[3]。

另外,PUR-T因其良好的弹性、弯曲性、耐疲劳、耐油脂等特性,在汽车的燃油系统中得到应用,用PUR-T制成的汽车薄膜油箱,工艺简单、壁薄、质量轻、使用寿命长^[4]。

1 PUR-T在小型无人机中的应用发展

近年来,无人驾驶飞机(简称无人机)呈现出一种快速发展的趋势,与其相关的技术也在不断地提升。无人机的应用逐步从单一的军事用途向气象探测、电力巡线、水文监测等民用用途发展,无论是军事需求还是民用需求,都对无人机提出了更高的设计要求,如高性能、高可靠性、良好的维修性和保障性等。

作为无人机系统之一的燃油系统肩负着为发动机供给燃料的重任,其性能直接影响到发动机的工作稳定性,进而影响到系统的可靠性。

小型无人机燃油系统中的油箱材料经历了一个比较漫长的发展过程。初期的燃油箱均采用橡胶材

料制作,质量大、故障率高、贮存期短,而且供油过程中的剩余油量大。为了改善燃油箱的性能,在20世纪90年代,基于油罐内涂敷用的PUR涂料,在小型无人机上发展了整体油箱技术,即在油箱舱内壁涂敷弹性PUR涂料^[5],整体油箱结构质量轻、贮存期长、剩余油量少。但其涂敷工艺加长了无人机的制造周期,而且涂敷层的质量一致性和稳定性较难控制。

20世纪90年代后期,用于囊体材料的涂敷PUR-T弹性体的胶布引起了无人机工程师的关注,被用作燃油箱材料,这种软油箱保留了PUR涂敷整体油箱的优点,解决了存在的缺陷。但经过几年的使用,暴露出新的问题,即PUR-T涂层与其附着体之间容易出现脱离。

本世纪初,基于某型无人机燃油系统的特殊设计要求,PUR-T薄膜以其优良的性能,即高强度、高韧性、耐油、耐老化和贮存期长被作为燃油箱的优选材料,经过了一系列的材料分析、材料试验和产品验证试验,PUR-T薄膜软油箱满足了系统的设计要求。之后,PUR-T薄膜材料就被广泛应用于各种型号的小型无人机的燃油系统,取得了良好的应用效果。与此同时,PUR-T软管也在小型无人机燃油系统中得到了普遍的应用。

2 PUR-T薄膜软油箱

2.1 材料选择

无人机燃油箱的设计要求为:

(1) 耐油性要求 对93[#]和97[#]汽油有良好的耐油性,长期浸泡下材料不硬化、不开裂、不渗漏,而且无析出物。

(2) 结构要求 要求结构质量小、强度高,材料

柔韧性好,油箱易于抽真空。此外还需要良好的加工工艺性。

(3) 环境适应性要求 温度 $-50 \sim 55^{\circ}\text{C}$, 湿度 90% (35%)。

(4) 贮存期 贮存期必须大于 10 a。

(5) 良好的抗菌能力。

PUR-T 弹性体的拉伸强度一般为 $20 \sim 50 \text{ MPa}$, 其断裂伸长率为 $500\% \sim 700\%$, 具有良好的耐油和耐溶剂性。PUR-T 薄膜的厚度选择范围较宽, 在 $0.015 \sim 5.0 \text{ mm}$ 之间可选, 是无人机燃油箱很好的选择材料。

PUR-T 弹性体分聚酯型与聚醚型两类, 从物理性能来说, 一般低硬度弹性体以聚酯型的性能较好, 而聚醚型较差; 高硬度的弹性体则以聚醚型为优。相对来讲, 聚酯型的耐油性、耐热性及与金属的粘接性都较好, 而耐水解性、耐寒性及抗菌性等性能则以聚醚型为好。一般 PUR-T 弹性体连续长期使用的温度为 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$, 短时间可到 120°C 。从低温特性来讲, 聚酯型的脆化温度为 -40°C , 聚醚型可达 $-80 \sim -70^{\circ}\text{C}$ [6]。

基于材料性能、温度特性及抗菌性等方面综合分析, 优选聚醚型 PUR-T 薄膜为小型无人机燃油箱用材料。所需的材料厚度为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$, 拉伸强度大于 25 MPa , 断裂伸长率不小于 500% 。

2.2 材料适应性试验

尽管经过材料分析, 基本选定了聚醚型 PUR-T 薄膜作为油箱材料。但在材料适应性试验过程中, 为了进行对比, 对聚醚型和聚酯型均同时进行了相关的试验。

(1) 耐油性试验

试验采用的溶剂有 93# 汽油和 97# 汽油。

试验中将聚醚型和聚酯型 PUR-T 薄膜的样品分别放入容器中, 并完全浸泡于溶剂中, 浸泡时间半个月, 每两天观察一次, 记录状态。

试验结果显示, 两种 PUR-T 薄膜的耐油性均可满足无人机燃油箱设计要求。

(2) 环境试验

针对无人机燃油箱设计要求来分析, 显然 PUR-T 弹性体的高温特性远远高于设计要求, 而低温特性相对较差。因此试验中主要关注其低温特性和湿度环境特性。

低温试验在环境试验箱中进行。试验中分别将聚醚型和聚酯型 PUR-T 薄膜的样品折叠后同时放

入环境试验箱中, 并用重物将折缝处平压。试验条件是在 -50°C 下冷冻 24 h。

湿度试验在环境试验箱中进行, 加严试验条件, 试验状态为湿度 95% (50°C)。

试验结果显示, 经低温试验后, 聚酯型 PUR-T 薄膜折缝处已出现断裂迹象, 而聚醚型 PUR-T 薄膜折缝处状态没有变化; 经湿度试验后, 聚酯型 PUR-T 薄膜的断裂伸长率明显下降, 聚醚型的状态良好。

(3) 霉菌试验

霉菌试验按照国家军用标准的要求进行。试验结果显示, 聚醚型 PUR-T 薄膜的抗霉菌能力基本能满足设计要求, 而聚酯型 PUR-T 薄膜的抗霉菌能力较差。

综合分析试验结果, 可以看出聚醚型 PUR-T 薄膜用于小型无人机燃油箱可以满足其设计要求。

2.3 油箱制作工艺

无人机燃油箱的主体结构是一种密封囊体, 外带一个或数个进出油口。囊体一般由数片 PUR-T 薄膜连接制成, 薄膜的数量依油箱结构的复杂程度而不同。

根据 PUR-T 弹性体的特点, 采用高频热压熔合的加工方法来制作油箱, 即各片 PUR-T 薄膜之间的接缝通过热熔, 然后加压使得两片薄膜之间的材料完全熔为一体。整个高频热压熔合过程是在热压机上自动完成。油箱的进出油口均采用与薄膜完全相同牌号的原材料浇注而成, 与油箱主体结构之间也是采用高频热压熔合的方法结合。无人机燃油箱的加工工艺如图 1 所示。

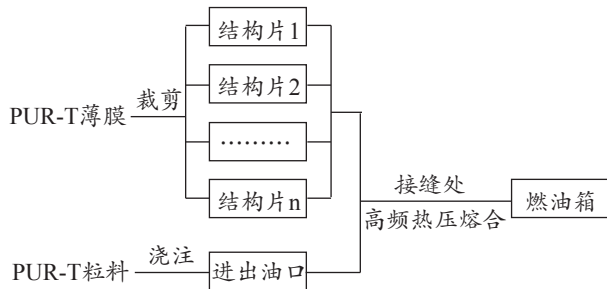


图1 燃油箱加工工艺流程图

完成后的无人机燃油箱的检验包括气密性检验和渗油检验。

3 应用实例

PUR-T 薄膜软油箱已在本单位多个无人机型号的燃油系统中得到成功应用。以某型无人机系统的燃油箱为例。其燃油箱的材料选用台湾鼎基的聚醚型 PUR-T 薄膜 (FT5079), 材料特性如表 1 所示。

表 1 聚醚型 PUR-T 薄膜(FT5079) 材料的特性

项 目	数 值
厚度 /mm	0.5
拉伸强度 /MPa	31
断裂伸长率 /%	615
硬度(邵氏 A)	80 ±3
相对体积质量	1.11
撕裂强度 /kg · cm ⁻¹	105
熔融成型温度 /℃	180 ~195
贮存期 /a	12

采用上述材料制作的燃油箱经过了各种鉴定试验,已经随无人机系统飞行了上百个架次,超过 800 飞行小时,并随无人机系统装备部队,经受了各种环境条件的考验。结果表明,用聚醚型 PUR-T 薄膜制作的燃油箱质量轻、可靠性高、贮存期长,而且在供油过程中基本不残留余油,供油效率高,能很好地满足无人机系统的设计要求。

另外,为了验证燃油箱的寿命,在 2002 年第一批生产的燃油箱中任选了一副,按照使用状态进行装油、抽油和放置试验,并每年进行跟踪检查,截至目前,燃油箱除了颜色改变(越来越深)之外,其余状态基本良好,仍然满足使用要求。

STUDY ON PUR-T FILM SOFT FUEL-TANK FOR UAV

Zhang Yuanming, Zhao Pengfei, Yang Jiatao

(365 Institute, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT Aiming at the design requirment of UAV fuel system, the thermoplastic polyurethane (PUR-T) film which could resist gasoline and have good weather, aging properties was selected as fuel-tank material. The study related to application of PUR-T film in UAV fuel-feed system was introduced including material choices and applicability tests and so on. The PUR-T film soft fuel-tank was made by hot-press fusion with high frequency electric current, this method was realizable. The PUR-T film soft fuel-tank was applied to a UAV successfully, and the effect was all right.

KEYWORDS thermoplastic polyurethane film, UAV, soft fuel-tank, manufacture method

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位的材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡

No. _____

读者姓名 _____ 单位 _____ 邮政编码 _____

通讯地址 _____ 电话 _____ E-mail: _____

欲获得《工程塑料应用》 _____ 年第 _____ 期第 _____ 页 _____

广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社

邮政编码: 250031

4 结论

(1) 聚醚型 PUR-T 弹性体薄膜具有耐油性好、环境适应能力强及高强度、高韧性等特点,是无人机燃油箱的优选材料。

(2) 用 PUR-T 薄膜制作的燃油箱质量轻、可靠性高、贮存期长,而且在供油过程中基本不残留余油。

(3) PUR-T 薄膜软油箱的成型工艺性好,易于制造。

参 考 文 献

[1] 刘丛丛,伍社毛,张立群.热塑性弹性体的研究进展[J].化工新型材料,2008,36(8):17-21.

[2] 黄茂松.TPU 和 PUE 原材料发展近况[J].聚氨酯,2007(62):77-91.

[3] 李鹏.TPU 胶布及其在充气囊体材料中的应用[J].聚氨酯工业,2006,21(4):32-35.

[4] 黄茂松.聚氨酯弹性体国内市场与技术进展浅析[J].化工新型材料,2006,34(1):1-4.

[5] 张元明,赵鹏飞.小型无人机用整体油箱的研制[J].工程塑料应用,2004,32(3):45-47.

[6] 张玉龙,孙敏.橡胶品种与性能手册[M].北京:化学工业出版社,2007:308-372.