

小型无人机用整体油箱的研制

张元明 赵鹏飞

(西北工业大学第365研究所,西安 710072)

摘要 介绍小型无人机整体油箱的研制。以小型无人机机体结构作为油箱舱体,内壁涂覆聚氨酯弹性体防渗漏涂层,从而形成整体油箱。此整体油箱已经在两种无人机上得到应用,其特点是重量代价低,死油少,有效载油量

关键词 无人机 整体油箱 聚氨酯弹性体涂层 设计

无人机的有效载油量直接影响其续航时间指标。在飞机设计中,基于飞机机重和外形的限制,燃油箱设计力求充分利用有限的结构空间,付出较小的重量代价,减少余油量,从而满足续航时间指标所需的有效燃油量要求。

在我国以往的无人机设计中,使用较多的是橡胶软油箱。但橡胶软油箱的制造工序繁琐、复杂,成本高,使用寿命较短(不超过3年),重量代价大。特别是结构空间相对复杂的油箱,由于棱角的增多、形状的复杂使得油箱的可靠性降低,漏油、渗油现象时有发生。另外,橡胶油箱因材料较厚、棱角较硬致使油箱舱结构空间的容积利用率不高,而且实际使用结果显示油箱的余油量大。显然,这些缺陷在一定程度上影响了无人机的性能。

整体油箱在飞机上的应用可以追溯到20世纪60年代^[1],较多应用在大飞机的机翼结构中。整体油箱的应用减少了油箱舱的重量代价,提高了有效载油量。国外的一些无人机也使用了整体油箱技术,但至今尚未有关于无人机整体油箱技术的详细报道。

1 飞机整体油箱简介

飞机整体油箱是将机翼或机身承力结构的一部分设计成可储存燃油的结构油箱,既可充分利用结构容积来多装燃油,增加飞机的航程和续航时间,还可减少飞机重量代价。在大型载人飞机上,整体油箱通常用铝合金或钛合金制作刚性较好的整体加强壁板和骨架,通过密封性连接来构成。

由于整体油箱兼具结构承力和储存燃油两种功能,因此其设计既要满足结构的强度、刚度要求,还要满足密封性和使用维护性的要求。

根据飞机总体布置的要求,油箱舱通常设置在飞机重心附近^[2],目的是为了尽可能减少飞行过程中燃油的消耗对飞机重心的影响。对于典型的上单

翼布局的无人机来说,油箱舱的具体位置在机翼与机身的结合部位(如图1所示),主要设置在机身内,如ASN-105、ASN-7等无人机,另有一些无人机如ASN-206等在机翼中也设置了油箱舱。

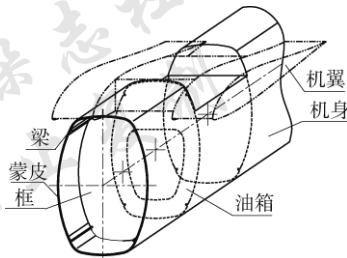


图1 无人机典型布局的油箱舱位置示意图

2 无人机整体油箱

2.1 无人机结构特点

无人机机身外形沿纵向呈流线形变化,横截面为圆形或由不同曲率的弧线形成的准矩形。无人机机身较多采用梁式结构,主要由纵向梁凸缘、蒙皮和横向框组成。依据载荷情况,在机身截面周围合理布置若干(通常为4根)纵向凸缘,凸缘与蒙皮胶接连接。机身蒙皮通常采用复合材料蜂窝或泡沫塑料夹层结构,横向框采用木质层板结构或复合材料夹层结构。

在小型无人机结构中,夹层结构是应用最多的亚结构之一,其优点是质轻、弯曲刚度。无人机约90%以上的外形面(翼面、机身外形面等)是由复合材料夹层结构构成。这种夹层结构的面板一般很薄,通常设计成非对称型式,即外形面板相对较厚,而内面板较薄。为了保证飞机外形面的精度,机身蒙皮的复合材料夹层结构一般采用阴模制造,制出的蒙皮外形面光滑平整,而内形面往往凹凸不平。

油箱舱区域的结构相对较复杂。首先上单翼布局的无人机较多采用机翼翼盒穿过机身的结构布局

型式,即左右机翼为一整体,机翼主受力盒段整体贯通穿过机身。显然机翼占去机身的上部空间使得此处机身的扭曲刚度降低,而机翼机身的对接结构也增加了此处结构的复杂性。

2.2 复合材料舱体的整体油箱

由无人机结构特点可知,无人机油箱舱体的机体结构大面积为非对称面板的复合材料蜂窝或泡沫塑料夹层结构,内面板很薄。对此,仅靠机体结构本身或采取增加内面板材料厚度的方法是很难实现油箱舱的密封要求的,因此基于无人机结构的整体油箱的设计主要需解决复合材料油箱舱体的防渗漏问题。分析认为,在油箱舱体的内表面涂覆耐油的防燃油渗漏涂层是一种有效的途径。

无人机整体油箱的典型结构形式如图 2 所示,主要由环氧树脂基复合材料油箱舱体和防渗漏涂层两部分组成。

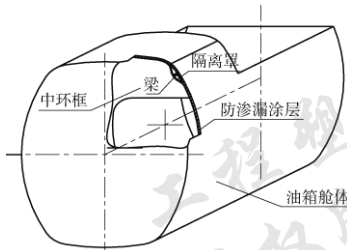


图 2 整体油箱结构

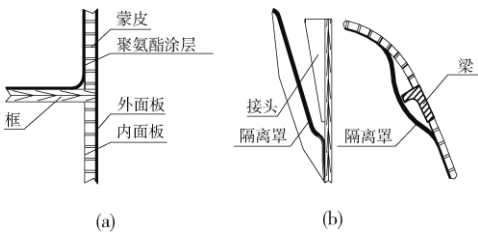
整体油箱的舱体基本上是基于机体复合材料承力结构上的改进设计。为了提高舱体的密封效果,在进行机体油箱舱部位的结构设计时,需综合考虑密封性设计^[1],主要措施包括:(1)尽可能采用整体部件,减少油箱舱的连接环节和结合孔数量;(2)改善部件之间的连接结构,以利于密封;(3)根据需要,可在局部增加密封隔板。这样可减少漏油的可能性,提高整体油箱的使用可靠性。

基于上述密封设计思想,可对复合材料油箱舱体进行特殊的密封细节设计(见图 3),包括梁凸缘在夹层结构蒙皮成型过程中与蒙皮共固化胶接;框板采用镶嵌式胶接(见图 3a);对有连接螺钉的部位采用玻璃纤维复合材料进行局部隔离式密封的结构(见图 3b)。另外对由多个框组成的油箱舱体,中间框采用环框形式,而作为油箱舱体外壁的框则采用整体框。

基于维护、修理的需要,整体油箱舱设置工艺维修口盖,通常为不受力口盖。

2.3 涂层材料选择

选择耐油且可防渗漏的整体油箱内壁涂层材料



a—镶嵌式胶接结构; b—隔离式密封结构

图 3 整体油箱的典型密封结构

是整体油箱技术的关键之一。针对无人机的使用状态和要求,涂层材料需满足以下要求:(1)优异的耐燃油性能;(2)对复合材料具有良好的附着性;(3)良好的弹性,以适应飞行过程中因冲击、振动引起的结构变形;(4)良好的工艺性,适宜于室温操作成型;(5)具有良好的温度特性,满足在-40~65℃范围内长期使用与贮存。满足上述要求的油箱涂层宜选用聚氨酯(PUR)弹性体或耐油橡胶类材料。

根据无人机整体油箱的结构与使用特点,选择PUR涂料来制备油箱内侧具有耐油和防渗漏性能的弹性体涂层。该涂层在宽广的硬度范围内仍能保持较好的弹性,涂膜对环氧树脂基复合材料具有优异的附着力,并具有较全面的耐化学药品性能,尤其是优异的耐油性。PUR弹性体在油中的使用温度可达110~121℃,在低温-72~-62℃不脆^[3,4]。

经综合分析,最终选用PU82型PUR涂料制备油箱涂层。该涂料由耐油、防渗漏性能好的面层涂料和耐水性能好、与底材附着力强的底层涂料组成。该涂料可在温度不低于10℃、相对湿度不大于90%的环境条件下施工,其面层涂料的涂膜性能见表1。

表 1 面层涂料涂膜性能

项 目	数值(性能)
固 体 分 1%	≥70
粘 度 /s(涂 4 杯,25℃)	100~200
有效使用时间/h(25℃)	2
干燥性/h(25℃、相对湿度90%以下)	24
剥离力/N·(25mm) ⁻¹ (与底层涂膜)	≥49
扯断延伸率/%	500±100
扯断强度/MPa	≥20
涂层外观	平整、光滑
伸长 化系数(70℃,144h)	0.97
(150℃,144h)	0.92
伸长耐寒系数(-45℃)	0.15
脆化温度/℃	-69

3 整体油箱成型工艺

整体油箱成型过程主要包括复合材料油箱舱体成型和内壁涂层成型两部分。

复合材料油箱舱体的主要部分是随着飞机机体

结构同时成型的,油箱附件如加油口、输油管、通气孔等在结构合拢时安装。油箱舱体的专用零部件如隔离罩、舱口封闭体等通常是由用湿法成型的玻璃纤维复合材料(FRP)制成,然后与机体中的油箱舱体部分胶接,最后形成完整的复合材料油箱舱体。

油箱涂层由底层和面层构成。用乙酸乙酯擦拭舱体内壁,先刷涂2遍底层涂料,再刷涂6~8遍面层涂料,每遍间隔时间应大于6 h,同时应保证环境温度与湿度符合施工条件的要求。形成的面层涂膜厚度为0.5~0.7 mm,涂刷最后1道涂料后需经过7 d方能进行48 h的装油试验。

整体油箱的制作过程如图4所示。

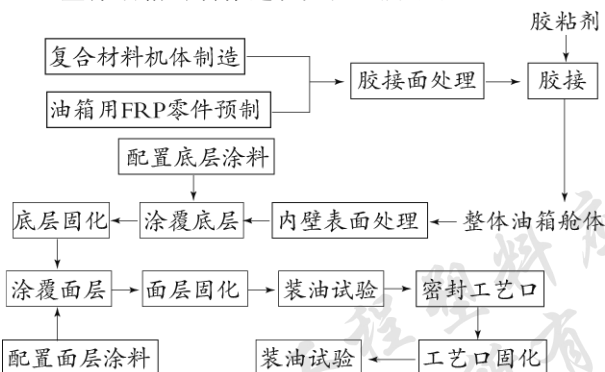


图4 整体油箱制作过程框图

若在装油试验过程中发生渗漏油现象,则通过工艺口查找漏油位置,然后在清理干净内表面的情况下补涂面层涂料,直至完全通过装油试验。

4 应用实例

上述整体油箱技术已经在两种型号的无人机上得到成功应用。

ASN-7无人机最初采用橡胶软油箱,因存在不可避免的较硬棱角、与舱体内形的吻合度较差,以及油箱前后部分因联接造成间距较大,因而不使油箱舱体容积的利用率不高,仅能装载约9.5 kg燃油,且死油量多达1.5 kg,其结果续航时间仅为40 min,无法满足飞行续航时间不小于1 h的战技指标要求,而且这种软油箱还经常出现较严重的渗漏。

ASN-7无人机的油箱舱由FRP蜂窝夹层结构

机身蒙皮、航空层板框组成。利用整体油箱技术,经过对油箱舱上部进行封闭设计(见图5)、机翼机身对接接头进行隔离处理,然后在舱体内形面涂覆弹性PUR涂料而形成整体油箱,其装载油量达到12 kg,死油仅为0.5 kg,从而满足了续航时间的战技指标要求,而且整体油箱的箱重仅为原橡胶软油箱的2/3,而成本仅为原橡胶软油箱的1/3~1/2。该机现已完成定型,并交付部队两批次,共计飞行约上百架次,最长的使用时间已达8 a,使用可靠性高。

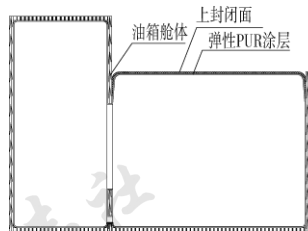


图5 ASN-7的整体油箱示意图

在某型舰载侦察无人机上也应用了整体油箱。该机的机身蒙皮采用FRP蒙皮泡沫塑料夹层结构。整体油箱技术的采用满足了飞机有效载油量的要求。此型无人机也已交付部队使用,经受住了海上使用环境的考验,满足了“三防”要求。

5 结语

基于无人机复合材料机体结构而设计的封闭型油箱舱体,内壁涂覆弹性聚氨酯防渗漏涂层而形成的整体油箱,具有制造工艺简单、质量轻和成本低的特点。在两种型号无人机上的使用结果证明,此整体油箱的装载油量大、死油少,而且使用可靠性高,可满足比较恶劣的使用环境的要求。

参考文献

- 1 陶梅贞,孙秦,艾剑良,等.现代飞机结构综合设计.西安:西北工业大学出版社,2001.
- 2 顾诵芬,解思适,李天,等.飞机总体设计.北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- 3 山西省化工研究所.聚氨酯弹性体.北京:化学工业出版社,1985.
- 4 傅明源,孙经超.聚氨酯弹性体及其应用.北京:化学工业出版社,1994.

DESIGN OF UNITARY FUEL TANK FOR SMALL UAV

Zhang Yuanming, Zhao Pengfei

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

ABSTRACT The design of a unitary fuel tank for small UAV is presented. It is consisted of airframe structure as fuel tank room and polyurethane elastomer coat adhered to the inside-walls. This unitary fuel tank has been applied in two kinds of small UAVs successfully, it shows that the fuel tank weight is light, useless fuel is little, effective fuel loading is more and reliability is high.

KEYWORDS UAV, unitary fuel tank, polyurethane elastomer coat, design