

整体结构设计与真空灌注在风管成型工艺改进中的应用

方洲 谭朝元 梁馨 谭珏 罗丽娟

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 风管作为调节密封腔体内的温度、湿度和压力的结构,需要具有良好的保温、气密等性能。风管原为热压罐分段成型,气密性不足,成本高。针对风管现有的缺点进行改进,将分段成型结构改进设计为整体成型结构,将热压罐成型工艺改进为真空灌注工艺,并对改进前后的风管进行了气密试验。结果表明:整体结构的风管具有更加优良的气密性,可以满足使用要求。对采用热压罐成型和真空灌注成型工艺的材料进行了力学性能测试,结果显示两种工艺成型的材料力学性能相近,说明采用更为简便的真空灌注工艺成型的材料同样满足力学性能要求,同时该工艺可以将生产周期缩短50%。

关键词 真空灌注成型,整体结构,风管,成型工艺

中图分类号:TB332

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.04.019

Improvement in Air Duct Processing by Whole Structural Design and Vacuum Assisted Infusion

FANG Zhou TAN Zhaoyuan LIANG Xin TAN Jue LUO Lijuan

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Air duct is a structure for adjusting the temperature, humidity and pressure inner the sealed chamber, which requires the air duct has good thermal insulating property and pressure tightness. The air duct had subsection structure, which made it difficult to ensure the dimension and pressure tightness. The air duct was made by autoclave molding, which required high cost and long period. To solve the problems, the subsection structure of the air duct was improved to a whole structure, so the air duct had better pressure tightness. Vacuum assisted resin infusion (VARI) was chosen instead of autoclave molding to manufacture the air duct. The results of mechanical properties of composite made by the two processing methods showed little different, which indicated that the mechanical properties can meet the requirements with VARI processing, and the production cost and cycle can be reduced.

Key words Vacuum assisted infusion, Whole structure, Air duct, Processing

0 引言

轻质泡沫夹层结构具有比强度高、保温性能好等优点,通常被用于汽车、建筑等行业中的保温壁板、通风管道等部件上。其中玻璃钢/聚氨酯泡沫夹层结构具有密度低、材料成熟度高、成型工艺简单等优点,广泛应用于航空航天工业中。

目前航空航天领域密封腔体内的温度、湿度和压力一般通过风管结构进行调节,需要风管具有良好的保温、气密等性能。风管为泡沫夹层结构,内、外蒙皮均为玻璃钢蒙皮,中间夹层为聚氨酯泡沫,通过预留的通风口与密封腔体相连。该结构具有较高的力学

性能和较低的整体密度,同时内部的低热导率泡沫也有利于保温。

现有风管的结构为分瓣成型,然后通过数量众多的结构件粘接组合,不容易保证最终产品的直线度和平面度;同时较多的粘接缝存在漏气隐患,不能满足对风管气密性的要求。而且风管的成型工艺为热压罐成型工艺,该工艺生产成本较高,周期较长,不利于批产阶段降低成本、提高效率。为了解决上述问题,本文通过优化结构,采用整体结构设计,减少了对接、粘接部位,在解决了产品外观问题,减少了成型工序的前提下,提高了风管的气密性能。本文还将玻璃钢

收稿日期:2016-04-27

作者简介:方洲,1988年出生,助理工程师,主要从事复合材料相关的研究工作。E-mail:ffzxbk@163.com

蒙皮的树脂基体由环氧基型改为乙烯基型,将成型工艺由热压罐成型改为真空灌注成型,从而提高了生产效率、降低了生产成本。同时对比了不同工艺状态产品的力学性能。

1 实验

1.1 原材料

SW280-90a/610 预浸料,自制;SW280-90a 玻璃布,南京玻璃纤维研究设计院;905-2 乙烯基树脂,上海泰滨商贸有限公司;聚氨酯泡沫,自制。

1.2 性能测试

采用特制的气密测试设备,风管内部初始充气压力为 2 kPa,密封并室温放置 1 h 后测试内部剩余气压。采用 MTS 电子万能试验机测试玻璃钢蒙皮的拉伸强度,AGX-300 电子万能试验机测试玻璃钢蒙皮的压缩强度,CMT5205 电子万能试验机测试玻璃钢蒙皮的弯曲和层剪强度。拉伸、压缩、弯曲和层剪性能分别按 GB/T1447—2005、QJ1403A—2004、GB/T1449—2005、DqES81—98 进行测试。

2 结果与讨论

2.1 风管气密性

风管产品气密性要求较高,需对实际产品进行气密试验,要求 1 h 后风管内剩余气压高于 1.8 kPa。风管的气密试验结果见图 1。结果表明,1# 风管初始内部气体压力 2 kPa,保持 1 h 后降低至 1.773 kPa,

压力降低了 11.35%,不满足气密要求;2#、3# 风管虽然满足气密要求,但最终内部气压仍然偏低,分别降低了 9.5%和 7.15%;而 4#、5#、6# 产品最终内部气压保持较好,分别只降低了 1.2%、1.6%和 0.65%。实验过程中发现,漏气部位集中在原分段结构的连接框粘接部位,而采用整体结构的产品则没有发生该现象。

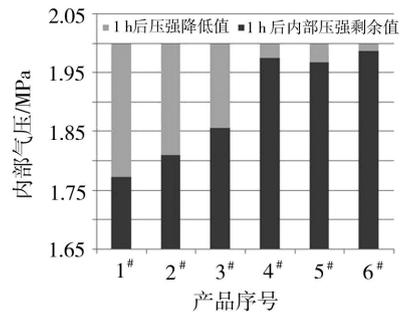


图 1 气密试验结果

Fig.1 Results of gas tightness of air duct

改进前的风管原始结构侧视剖面图如图 2 所示。原始分段结构设计中,风管由 2 件端头本体与 1 件直风管通过连接框对接组合成一体,连接部位缠绕玻璃布补强。端头本体部分需分别成型连接框、内蒙皮(包括内蒙皮 1、3)、外蒙皮上瓣(包括外蒙皮 1-1、1-3)、外蒙皮下瓣(包括外蒙皮 2-1、2-3)等零件;直风管部分需分别成型内蒙皮(内蒙皮 2)、外蒙皮上瓣(外蒙皮 1-2)、外蒙皮下瓣(外蒙皮 2-2)等零件,如图 3 所示。

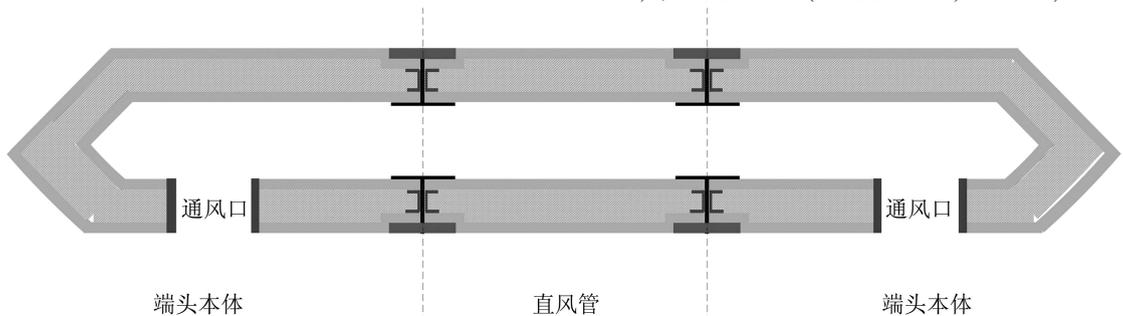


图 2 风管原始结构示意图

Fig.2 Original structure of the air duct

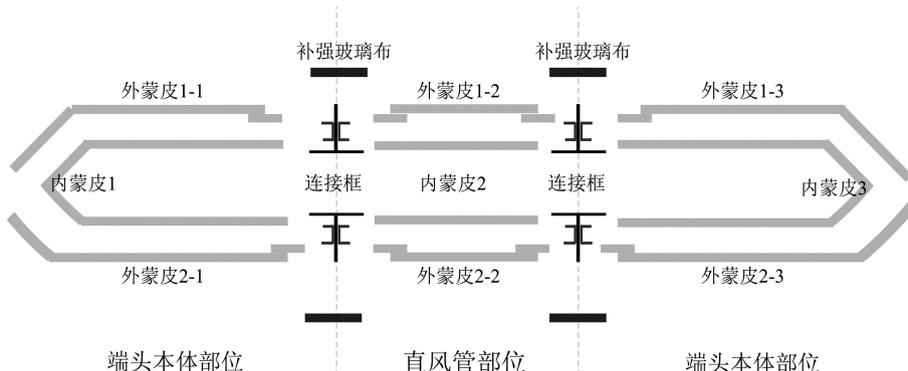


图 3 风管原始结构分解示意图

Fig.3 Exploded original structure of the air duct

所有内、外蒙皮通过连接框连接,并用胶黏剂粘接在一起,连接区域外部需缠绕玻璃布补强,最后在端头本体下部开通风口。该分段成型方法的粘接部位多达 10 处存在漏气隐患,难以保证产品气密性。且该工艺方法的成型零件多、零件间尺寸配合关系多,最终平面度和尺寸难以保证,导致成型和机加装配时间较长。改进后的风管结构如图 4 所示。主要改进点为:将三段外蒙皮上瓣(外蒙皮 1-1、1-2、1-

3)合为整体外蒙皮上瓣;将三段外蒙皮下瓣(外蒙皮 2-1、2-2、2-3)合为整体外蒙皮下瓣;将内蒙皮 1、2、3 合为整体内蒙皮 1 和整体内蒙皮 2 两段;同时取消了连接框,如图 5 所示。2 件内蒙皮对接成整体内蒙皮,并在对接处用胶黏剂和补强玻璃布粘接密封,内部发泡后直接将 2 件外蒙皮对接,并用胶黏剂进行粘接。局部仍保留补强玻璃布,以满足该处安装其他零件的强度要求。

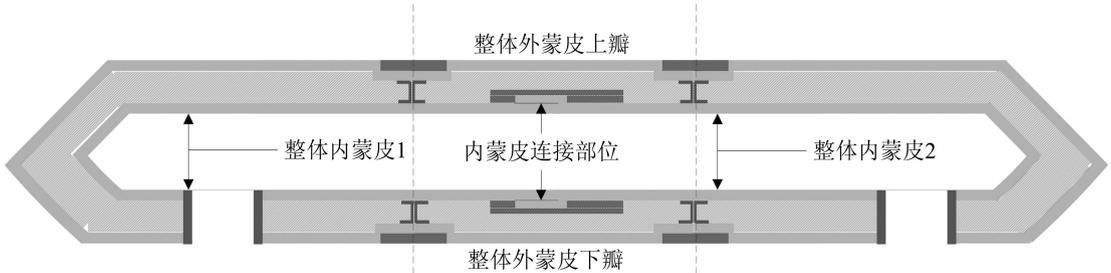


图 4 改进后风管结构示意图

Fig.4 Improved structure of the air duct

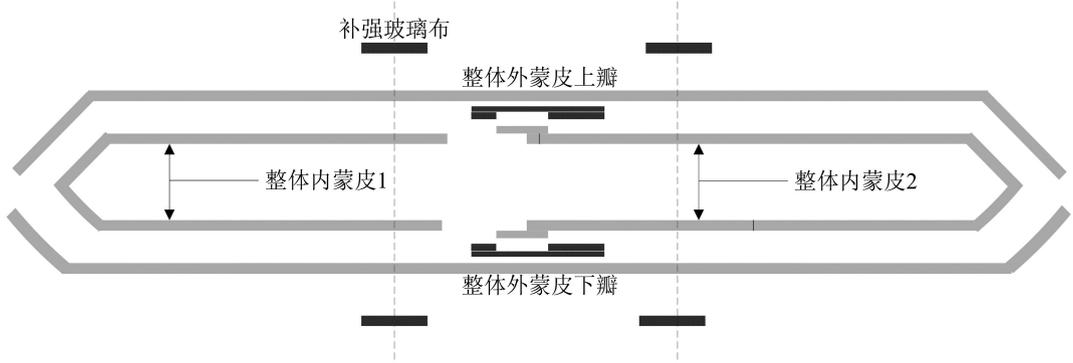


图 5 改进后风管结构分解示意图

Fig.5 Exploded improved structure of the air duct

改进后的风管结构,将原本的蒙皮粘接部位由 10 处减少为 4 处,粘接数量的减少不仅降低了粘接工序的复杂性,还减少了气体从连接框位置处漏气的隐患;同时内、外蒙皮粘接位置相互错开,进一步保证了风管内气密性。针对整体外蒙皮新制了阴模模具,外蒙皮由原来的三瓣对接改为整体成型,避免了原工艺中因为采用连接框对接产生的总长尺寸难以保证的缺点,保证了产品的外形尺寸和表面平面度。

由气密试验结果可知,采用整体结构的产品气密性较好。产品内部气体主要从粘接处溢出,因此风管主要靠蒙皮的粘接密封来保证内部气密性。采用整体结构后,蒙皮的粘接面由原来的 10 处减少为 4 处,内、外蒙皮的粘接缝由原来的相互临近改进为相互错开,漏气通道不仅距离增加,而且有更多的闭孔聚氨酯泡沫阻挡。蒙皮粘接面数量的减少降低了因为胶黏剂未完全充满粘接面而产生漏气通道的几率,内、宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2016 年 第 4 期

外蒙皮粘接面距离的增加又进一步阻滞了漏气通道,两者共同作用,提高了产品的气密性。

2.2 不同成型工艺产品力学性能

复合材料成型工艺通常有对模成型(包括模压成型、RTM、注射成型等),接触成型(包括手糊成型、热压罐成型等)和其他方法(包括缠绕成型、拉挤成型等)^[1]。由于成型工艺通常占总制造成本的 70%,而原材料成本并不占主要部分^[2],因此改进成型工艺可以大幅降低产品制造成本。针对风管的外形特点和原材料的使用要求,热压罐成型和真空灌注成型方案的比较如表 1 所示。由表 1 可知,真空灌注较热压罐成型工艺具有成本低、效率高等优势,但产品性能通常较差。真空灌注工艺不需要加热,既避免了较厚的复合材料层板在加热时,由于自身热导率较低导致的热阻问题^[3],又避免了为释放产品固化时的内

应力而通常采取的减慢降温速率、延长操作周期的问题^[4]。初步分析结果表明采用真空灌注工艺是可行的,但需要将环氧型树脂改为乙烯基型树脂以满足工艺要求。为了测试不同成型工艺的产品性能能否满

足使用要求,针对热压罐和真空灌注成型工艺制备的高强玻璃布层合板进行了力学性能测试,结果如表2所示。

表1 热压罐与真空灌注成型工艺特点对比

Tab.1 Comparison of the forming process between VARI and autoclave molding

成型工艺	材料体系	成型压力/MPa	产品性能	生产效率	成本	应用领域
热压罐成型	需先将增强纤维与树脂制备出预浸料;预浸料要求低温储藏	0.1~0.7	产品批次性能稳定;力学性能好	预浸料使用环境要求高;单层厚度薄,每铺数层之后需要压实一次,铺层效率低;预固化、后固化均需要热压罐	预浸料的制备、运输、存储,需要低温,成本高;产品成型需多次使用热压罐,热压罐使用成本高	多用于航空航天等小批量、高性能的复合材料,如卫星支架
真空灌注成型	树脂选择范围广;增强材料和树脂室温阴凉存储	0.1	产品批次性能稳定;力学性能优于手糊成型,劣于热压罐成型	单层增强材料厚度可选择,铺层效率高;制品可在常温固化	增强材料与树脂的存储运输无特殊要求;产品成型只需常温或烘箱,成本低	多用于批量生产的大型复合材料结构件中,如风机叶片

表2 高强玻璃布层合板力学性能测试结果

Tab.2 Results of mechanical properties of high strength glass fiber reinforced laminate

成型工艺	纵向拉伸强度/MPa	纵向拉伸模量/GPa	主泊松比	纵向压缩强度/MPa	纵向压缩模量/GPa	纵向弯曲强度/MPa	纵向弯曲模量/GPa	纵向层剪强度/MPa
热压罐	576	27.2	0.15	523	33.7	771	23.8	57.4
真空灌注	575	24.5	0.14	419	31.8	834	22	42.5

由表2可知,采用真空灌注成型工艺制备的层合板力学性能与热压罐工艺制备的接近,没有显著差异。这是由于纤维增强复合材料拉伸等性能的主要影响因素为增强纤维,包括增强纤维本身的力学性能、表面状态、排列方式和在复合材料中的相对含量。在不改变上述影响因素的前提下,纤维增强复合材料的拉伸性能不会有太大的变化。该结果也表明采用真空吸附工艺时,基体树脂可将纤维完全浸润,且纤维在成型过程中未受到损伤。

值得注意的是,真空灌注成型层合板压缩强度比热压罐成型层合板压缩强度和纵向层剪强度低,但纵向弯曲强度略高于后者。层剪强度主要取决于基体树脂的强度和界面的粘接性能,因此可知该工艺条件下所选用的乙烯基树脂基体强度略低于环氧树脂基体。选用真空灌注成型代替热压罐成型,基体树脂由高温固化的阻燃610环氧树脂改为室温固化的阻燃型乙烯基树脂,增强纤维仍选用高强玻璃布。实际生产结果表明,采用真空灌注成型工艺可以将产品的成型周期从采用热压罐工艺的90 d缩短至45 d。

3 结论

将风管的结构设计由分瓣式改为整体式,相应的气密试验表明,整体式结构比分瓣式结构具有更优异的气密性,同时整体结构更容易保证产品的外形尺寸,改善了产品的外观。改进了成型工艺,将热压罐成型改为真空灌注成型,针对工艺特性将树脂基体进行了相应的调整。力学性能测试结果表明,使用该工艺方法制备的层合板能够保持力学性能基本不变,同时使得产品的成型周期缩短了50%。

参考文献

- [1] 黄家康.复合材料成型技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [2] 秦伟,张志谦,黄玉东,等.编织增强体液体成形复合材料及其界面的研究[J].纤维复合材料,2000(3):18-20.
- [3] LOOS A C, SPRINGER G S. Curing of epoxy matrix composites [J]. Journal of Composite Materials, 1983, 17(2): 135-169.
- [4] PARK H C, LEE S W. Cure simulation of thick composite structures using the finite method [J]. Journal of Composite Materials, 2001, 35(3):188-201.