

含胶预成型体渗透特性

Permeability of Preform With Resin

北京航空航天大学 孙 静 段跃新 李 翔 肇 研

[摘要] 通过单向流动法对含胶预成型体进行了渗透率的测试。分别研究了含胶量、铺层角度、注射压力以及注射温度对渗透特性的影响规律。结果表明,含胶量对渗透特性有影响,且不同的铺层结构有不同的影响规律。对于玻璃纤维(0,90)经编织物,渗透率随含胶量的增加呈先增后减再增的趋势,而注射压力与注射温度的影响不大,可以忽略。

关键词: 复合材料 含胶预成型体 渗透特性 含胶量

[ABSTRACT] An experimental investigation is carried out to deal with the permeability of preform with resin by applying the unidirectional saturated flow method. Several factors which affect the permeability are studied, including the rate of resin in preform, the ply stacking sequence, the injection pressure and the temperature. The results indicate that the rate of resin in preform influence the permeability, and the laws for different ply stacking sequence are not the same. For glass fabric of (0,90), the permeability increases first, then decreases, and finally increases as the increasing of resin. The injection pressure and the temperature do not have remarkable effect on the permeability.

Keywords: Composites Preform with resin Permeability Rate of resin

先进复合材料具有质轻、比强度高、比模量高、延展性好、抗腐蚀、导热、隔热、隔音、减振、耐高(低)温、耐烧蚀性独特、透电磁波、吸波隐蔽性、材料性能的可设计性、制备的灵活性和易加工性等特点^[1],在航空航天、军事和民品领域应用比较广泛。但因其成本高,影响了应用领域的发展和扩大。因此,降低成本成为复合材料的研究方向之一^[2-3]。

在低成本制造工艺方面,最值得注意的是树脂传递模塑成型工艺(Resin Transfer Molding, RTM)。其工艺流程是将液态热固性树脂及固化剂,由计量设备(树脂泵)分别从储桶内抽出,经静态混合器混合均匀后,由注射枪注入事先铺有玻璃纤维增强材料的密封模内,经

固化、脱模、后加工而成制品^[4]。RTM工艺具有以下优点:制件尺寸精度高,外观质量高,一般不需要再加工,可以制造两面光的制品;工艺环节少,成型效率高;不污染环境,操作者劳动条件好;原材料及能源消耗少等^[5]。

在RTM工艺中有一个重要的环节就是预成型体的制备。预成型是采用定型剂或缝纫的方法将增强材料固定成与制品相同形状的过程,所制备的制品叫预成型体^[6]。RTM工艺过程中,闭模中铺放的各种增强材料(体)均处于无外力作用而相互独立的状态下,其在合模和注入树脂时容易发生滑移错位和(或)内部屈曲等缺陷,破坏按结构、力学要求设计的铺层,造成复合材料制品性能下降及性能的不可预知,尤其是形状复杂的制品^[7]。因此,定型剂的使用在预成型体制备过程中占据很重要的地位,但定型剂这种特殊组分的引入对复合材料的性能有比较复杂的影响,且定型剂用量对复合材料力学性能的影响规律和定型剂的最佳用量均对增强材料织态结构有着很强的依赖性^[8]。基于以上考虑,研究中采用本体树脂替代定位胶粘剂。由于等量本体树脂的定型效果不如定位胶粘剂,因此需要在纤维铺层中加入较多的本体树脂才能达到定位要求。这种含胶的预成型体在室温下处于固态。充模时,温度升高,本体树脂粘度迅速下降,直至液态。因此,本体树脂的加入并不会影响预成型体的浸润效果,但可能影响充模过程的渗透特性。

在复合材料制造过程中,纤维渗透率是影响树脂流动状态的重要因素之一,它由纤维的物理特性及纤维层的内部结构决定,反映了树脂在纤维层中流动的难易程度。在RTM和热压成型等工艺中,树脂在纤维中的流动是一个非常重要的过程,在很大程度上影响了最终制件的性能^[9-10]。

本课题重点研究了各种影响因素对含胶预成型体渗透特性的影响规律,对实际工程有着重要的指导意义。

1 试验

1.1 试验材料

平纹玻璃布:九江玻璃纤维厂,面密度为0.015

g/cm^2 ; (0,90) 经编织物: 常州宏发纵横新材料有限公司, 面密度为 $0.041g/cm^2$; 小康生活花生原香调和油: 天津市聚龙粮油有限公司; 3266 树脂。

1.2 试验仪器与设备

MH-2 型真空泵: 常州市华东真空泵厂; JJ-200 精密电子天平: 分度值 $0.01g$, 美国双杰兄弟集团有限公司生产; DZF-6050 型真空干燥箱: 上海精密实验设备有限公司; 专业秒表: 分度值 $0.01s$, 深圳惠通天贸有限公司; NDJ-1 型旋转粘度计: 上海天平仪器厂生产; 自制测纤维渗透率模具。

1.3 试验内容

1.3.1 模具准备

图 1 所示为含胶预成型体渗透率测试的上模具, 通过一排贯穿上模具的圆孔观察树脂的溢出情况, 标定流动前锋的位置。

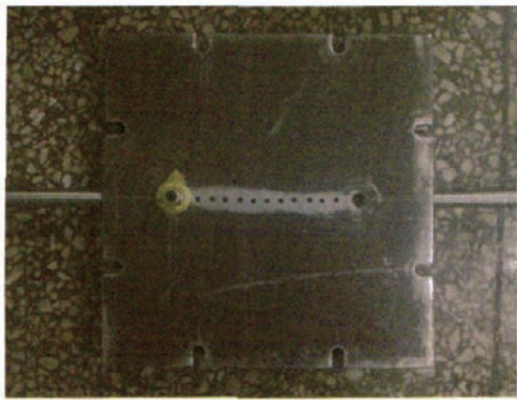


图1 纤维渗透率测定试验装置
Fig.1 Fiber permeability testing device

1.3.2 油粘度及树脂粘度的测定试验

试验过程中用色拉油代替了树脂进行渗透过程的模拟。用旋转粘度计测定色拉油的粘度(见图 2), 此后的每次试验都测定当时温度下的色拉油粘度。

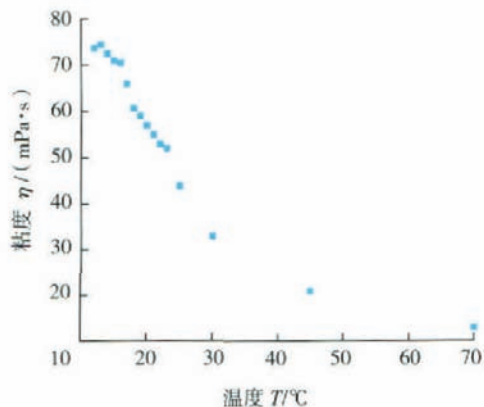


图2 试验中不同温度下的色拉油粘度
Fig.2 Viscosity of oil at different temperatures

1.3.3 含胶预成型体渗透率的测试

用 1.3.1 中的模具测试渗透率, 通过上模具通孔中树脂的溢出标定流动前锋的位置, 记录对应的时间, 通过达西定律计算渗透率的数值。

2 结果与讨论

2.1 含胶量对渗透特性的影响

为了研究含胶量对渗透特性对影响, 针对同一种铺层结构 [(0,90)]_n 的不同纤维体积, 测量每种纤维体积含量下不同含胶量的渗透率。本研究中含胶量 R 用树脂体积 V_{resin} 与纯纤维体积 V_f 之比来表征, 即含胶量 $R = V_{\text{resin}}/V_f \times 100\%$ 。所得结果如图 3 所示。

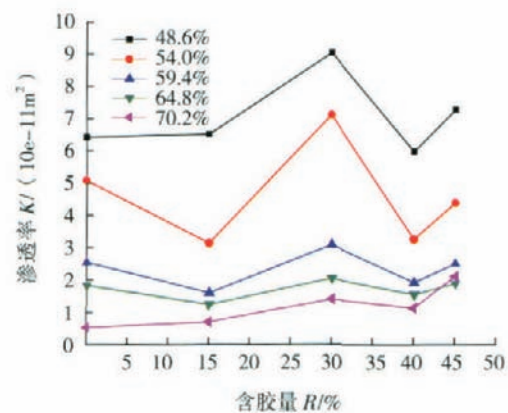


图3 不同纤维体积含量[(0,90)]_n 铺层渗透率随含胶量的变化曲线
Fig.3 [(0,90)]_n ply variation curve of the permeability with resin rate increased in different fiber rates

由图 3 可以看出, 对于同一种铺层, 在不同的纤维体积含量下, 其渗透率随着含胶量的增加呈现先上升、后下降、再上升的规律, 即存在拐点。产生上述现象的原因经分析为树脂浸润纤维后的润滑作用、树脂堵塞孔隙的阻碍作用, 以及这种测试方法带来的流动前锋的前移共同作用的结果。在树脂含量较低时 (<30%), 润滑作用占主导地位, 树脂大多附着在纤维表面, 其润滑作用随着含胶量的增加而增强, 渗透率增加; 当树脂含量增加到 30% 之后, 树脂堵塞孔隙的阻碍作用占据主导地位, 且随着含胶量的增加, 堵塞的孔隙越来越多, 渗透率降低; 而当含胶量增加到 40% 时, 由于测试中流动前锋的位置是由树脂流出模具表面的位置来表征的, 而流出的树脂是注射口注入的树脂与预成型体中原有树脂的混合物, 原有树脂含量越大, 其总树脂溢出的时间越短, 流动前锋位置的标定越提前, 故渗透率数值越大。

2.2 铺层角度对渗透特性的影响

将 [(0,90)]_n 和 [(0,90)/(+45,-45)]_n 两种铺层纤维体积含量 $V_f=59.4\%$ 的预成型体 K -含胶量关系曲线进行对比, 得到图 4 中的 2 条渗透率-含胶量关系曲线。

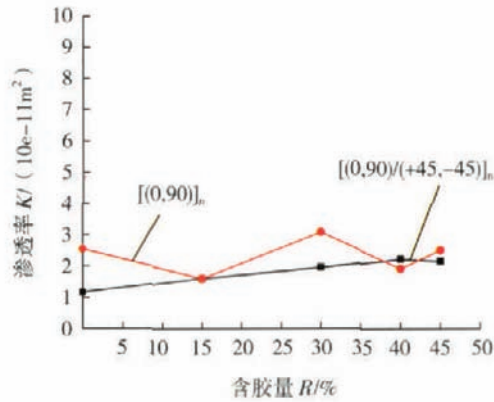


图4 不同铺层 $V_f=59.4\%$ 时预成型体渗透率随含胶量变化的曲线
Fig.4 Permeability with resin rate increased in 59.4% fiber rate

由图4可得, $[(0,90)]_n$ 和 $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 两种铺层情况下, K -含胶量关系曲线的曲线形式相差较大。其中, $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 铺层中含胶量对 K 的影响程度明显不如 $[(0,90)]_n$ 铺层中含胶量对 K 的影响程度大。可以认为, 在 $[(0,90)]_n$ 和 $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 两种铺层情况下, K 随含胶量的变化规律不相同。

从图4中可以看出, 在同一含胶量数值情况下, $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 铺层渗透率在总体上小于 $[(0,90)]_n$ 铺层。这是因为在 $[(0,90)]_n$ 铺层中, 充模时 0 方向的纤维束对树脂的流动几乎没有阻碍作用, 而 90 方向的纤维束对树脂流动的阻碍作用却十分明显, 树脂在两个方向纤维束所在平面上的流动速度差距较大, 厚度方向相互渗透速度可以忽略不计; 而在准各向同性的 $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 铺层中, 有 +45、-45 方向的纤维束, 这些方向的纤维束对充模时树脂的阻碍作用介于 0、90 方向之间, 使得树脂在各方向纤维束所在平面上的流动速度趋于一致, 沿厚度方向的相互渗透作用不可忽略, 树脂在 $[(0,90)/(+45,-45)]_n$ 铺层中的流动速度也较慢, K 相对较小。

2.3 工艺参数 (注射温度 T 、注射压力 P) 对渗透特性的影响

针对同种铺层 $[(0,90)]_n$, 相同纤维体积含量 $V_f=59.6\%$ 和含胶量 30% 的预成型体, 在同样的注射压力 0.1MPa 条件下, 测得其渗透率随注射温度的变化如图5所示。模具温度与注射温度相同; 在同样的注射温度 25℃ 条件下, 测得其渗透率随注射压力的变化如图6所示。

由图5、图6可以看出, 渗透率随注射温度、注射压力的变化均不大, 属于误差范围, 工程中可以将其忽略。这与反映达西定律的干态预成型体的规律是一致的, 即渗透率与注射温度、注射压力无关。

3 结束语

对含胶预成型体来说, 含胶量对渗透特性有较大影

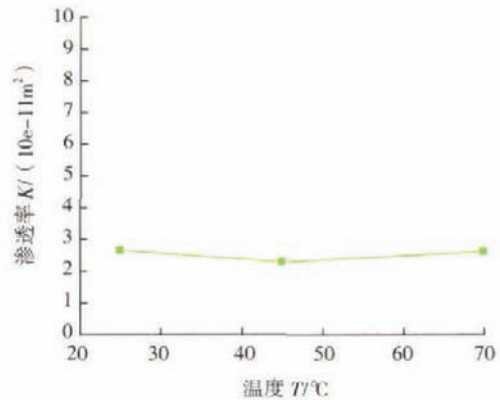


图5 渗透率随注射温度的变化曲线
Fig.5 Permeability with different injection temperatures

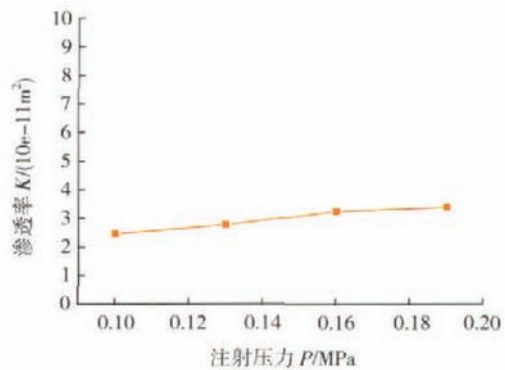


图6 渗透率随注射压力的变化曲线
Fig.6 Permeability with different injection pressures

响。对 $[(0,90)]_n$ 铺层, 渗透率随含胶量呈先增加后减小再增加的趋势, 渗透率在含胶量 30% 左右时为最大值, 40% 左右最低。铺层角度对含胶预成型体渗透特性有影响, 不同的铺层角度呈现的渗透率随含胶量的变化规律不同, 因此, 对铺层角度不同的含胶预成型体应分别研究。注射温度、注射压力对含胶预成型体的渗透特性影响不大, 可以忽略。

该规律对工程有重要的指导意义。制备含胶预成型体时, 在能达到要求定型效果的胶含量范围内, 应尽量避免渗透率较低的区域, 以得到较好的渗透效果。而渗透效果较好的范围, 对于不同的铺层结构应分别研究。

参考文献

- [1] 何东晓. 先进复合材料在航空航天中的应用综述. 高科技纤维与应用, 2006, 31(2): 9-11.
- [2] 赵渠森, 赵攀峰. 真空辅助成型工艺 (VAR) 研究. 高科技纤维与应用, 2002, 27(5): 42-46.
- [3] 赵渠森, 赵攀峰. 真空辅助成型技术 (二). 高科技纤维与应用 (下转第 91 页)

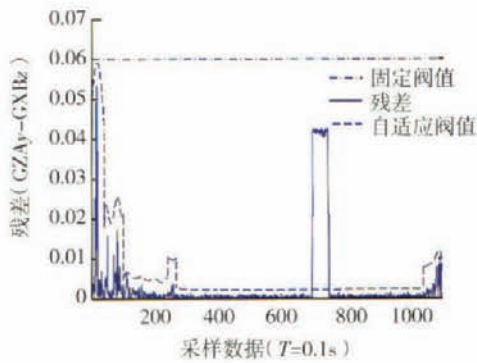


图2 GZAz发生故障1的残差
Fig.2 Fault 1's residual of GZAz

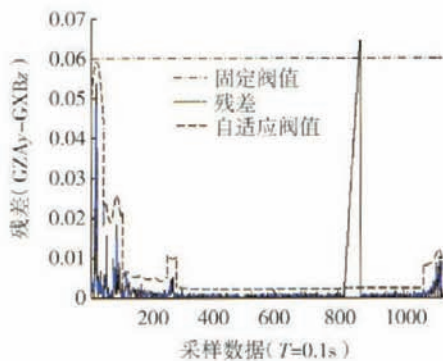


图3 GZAz发生故障2的残差
Fig.3 Fault 2's residual of GZAz

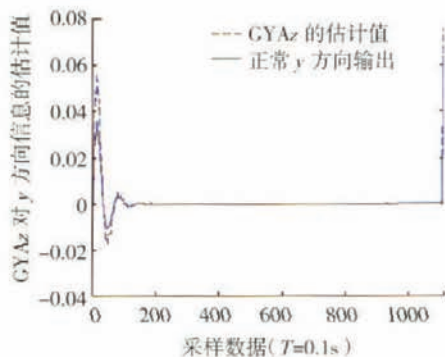


图4 y方向信号估计值
Fig.4 Estimate of signal on y axis

计算机里就可以快速判断故障,限于篇幅,这里只给出GZAz的决策函数: $\Delta_{5,1} \geq \delta_{5,1}, \dots, \Delta_{5,4} \geq \delta_{5,4}, \Delta_{5,6} \geq \delta_{5,6}, \dots, \Delta_{5,12} \geq \delta_{5,12}, \Delta_{1,5} \geq \delta_{1,5}, \dots, \Delta_{4,5} \geq \delta_{4,5}, \Delta_{6,5} \geq \delta_{6,5}, \dots, \Delta_{12,5} \geq \delta_{12,5}$,而其他 $\Delta_{i,j} < \delta_{i,j}$ 。特别要注意每出现一次故障就要更新一次,去掉与之前已经发生故障的陀螺有关的项。

当陀螺GXB出现故障时,y方向上再没有可以使用的信息,利用双捷联控制系统中剩余正常陀螺来估计y方向信息,对y方向的信息进行恢复。目前正常的陀

螺有:GYA、GYB,利用GYAz进行y方向信息恢复,如图4所示。

虽然估计值与无故障无噪声的y方向测量值之间有一定偏差,但尚在设定的允许阈值范围之内,则将其看作真实工作环境下的扰动。

4 结束语

本课题研究了运载火箭双捷联控制系统的故障诊断方法,应用奇偶向量测量值直接比较法和神经网络观测器法相结合的方式对陀螺进行故障诊断,设计了自适应阈值,进行数据恢复。经仿真验证,该方法能够准确判别故障,自适应阈值增强了故障诊断系统的鲁棒性,对小幅值和缓变故障更加敏感。通过使用神经网络,满足了实时性的要求,并且该故障诊断方法使双捷联系统具有了自修复功能,提高了系统的可靠性。综上,该方法是一种非常有效、鲁棒性强、可靠性高,并且具有一定实用价值的方法。

参考文献

- [1] 陈哲. 捷联惯导系统原理. 北京: 宇航出版社, 1986.
- [2] 李伶. 双捷联冗余控制系统中的加速度计及陀螺判别方法研究. 航天控制, 1998(2): 2-9.
- [3] 王霞. 基于神经网络的非线性系统传感器故障诊断研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2002.
- [4] 张学峰. 故障诊断的神经网络观测器法. 航空动力学报, 1997, 12(2): 149-151.
- [5] 董选明. 基于ANN的舵机鲁棒故障检测实验研究. 机床与液压, 1998(5): 69-70, 73.
- [6] 飞思科技产品研发中心. 神经网络与MATLAB7实现. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(责编 小颖)

(上接第71页)

用, 2002, 27(4): 23.

[4] CD 拉德, A C 朗, K N 肯德尔, 等. 复合材料液体模塑成型技术. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[5] 郝元凯, 肖加余. 高性能复合材料学. 北京: 化学工业出版社, 2004.

[6] 乌云其其格, 益小苏. 复合材料低成本成型用预成型体的制备. 高科技纤维与应用, 2005, 30(1): 28-34.

[7] Ferreira M, Rubner M F. Molecular 2 Level processing of conjugated polymers. 1. Layer-by-Layer Manipulation of Conjugated Polyions. Macromolecules, 1995, 28: 7 107-7 114.

[8] 廖勇波, 梁子青, 李玲. 定型剂对复合材料力学性能的影响. 化工新型材料, 2006, 34(10): 62-65.

[9] 简抗抗, 张佐光, 顾铁卓, 等. 不同纤维堆积状态下饱和渗透率实验研究. 复合材料学报, 2006, 23(2): 31-36.

[10] Kris Hoes. New set-up for measurement of permeability properties of fibrous reinforcements for RTM. Composites Part A, 2002(33): 959-969.

(责编 小颖)