

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.05.011

# 引擎盖 VARTM 成型充模流动模拟及优化<sup>\*</sup>

张彦飞,王芳芳,秦泽云,赵贵哲

(中北大学山西省高分子复合材料工程技术研究中心,中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

**摘要:**利用 RTM-worx 仿真模拟软件对引擎盖模型真空辅助树脂传递模塑(VARTM)成型工艺过程进行充模流动模拟,根据引擎盖模型的充模流动模拟结果,确定最终注射方案,并与引擎盖模型的 VARTM 成型工艺过程相比较。试验结果表明,VARTM 成型过程与充模流动结果吻合较好,RTM-worx 仿真模拟软件能够有效地对引擎盖模型进行充模流动模拟及优化。

**关键词:**RTM-worx; 汽车引擎盖; VARTM 工艺; 充模流动模拟

**中图分类号:**TQ327.1,327.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2012)05-0046-04

## Flow Simulation and Optimization of the Car Hood by VARTM Process

Zhang Yanfei, Wang Fangfang, Qin Zeyun, Zhao Guizhe

(The Research Center for Engineering Technology of Polymeric Composites of Shanxi Province, College of Material Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract :** Flow process of the car hood model with VARTM process was simulated by the software of the RTM-worx. The final injection scheme was decided by the simulation results, and then compared with the actual VARTM filling process. It was found that the simulation by RTM-worx showed a good agreement with the experimental result, the RTM-worx software could effectively simulate and optimize the flow process of the car hood model.

**Keywords :** RTM-worx ; car hood ; VARTM process ; flow simulation

汽车工业是现代工业中首先形成全球产业的典型代表,近年来汽车工业正向着轻量化方向发展,要求节省燃油,提高时速,增加耐用性、舒适性和安全性,因此汽车制造材料的选择起着至关重要的作用<sup>[1-4]</sup>。复合材料以其轻质高强、性能优异、投资少、成本低和见效快等特点被广泛应用于汽车行业,如可用于制造引擎盖、保险杠、发动机罩、挡泥板等,甚至于制造整个车身壳体<sup>[5-6]</sup>。

随着复合材料制备技术的发展和人们环保意识的提高,以及能源、船舶工业对整体成型复合材料制件需求的增加,适合于大尺寸制件整体成型的低成本、环保型复合材料成型技术成为近年来复合材料领域研究的热点。真空辅助树脂传递模塑(VARTM)因其具有低成本、环保和适于大型制件一次整体成型等优点受到复合材料领域的关注以及能源、汽车、船舶等民用工业的青睐,并逐渐成为民用和国防工业大规模使用的既经济又有效的工艺方法,是风电叶片、船体、汽车零部件和机舱罩等制件的首选工艺<sup>[7-10]</sup>。

VARTM 成型工艺中,工艺参数如注射压力、注

射温度、注射口和排气口的位置、纤维含量和结构、树脂的性能、成型时的真空度大小和后固化等都会影响到复合材料的性能。但是仅靠试验的方法会极大地增加成本并造成资源和时间的浪费,因此有必要对 VARTM 工艺过程进行计算机仿真模拟,其对于预测整个成型过程具有重要的意义<sup>[11-13]</sup>。RTM-worx 是一种基于有限元方法来计算树脂在多孔介质中的流动方程,进而对成型工艺进行仿真分析的软件,可直观方便地设置注射口、排气口和工艺参数,操作简单,能够模拟复杂边界制件的树脂充模流动过程、显示充模过程中任意时刻模腔内压力的分布情况、流动前峰位置和预测充模时间及可能的干斑缺陷位置等,为 VARTM 工艺设计与优化提供了有效技术手段<sup>[14-16]</sup>。

笔者利用 RTM-worx 软件对引擎盖模型的 VARTM 工艺过程进行充模流动模拟并优化,确定

<sup>\*</sup> 山西省科技创新计划项目(2009101004)

联系人:张彦飞,博士研究生,讲师,主要从事聚合物基复合材料成型工艺的研究

收稿日期:2012-04-08

最佳方案,并据此制备引擎盖产品。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

环氧树脂:2511-A/2511-B,上纬(天津)风电材料有限公司;

玻璃纤维三轴向布( $0^\circ/-45^\circ/+45^\circ$ ): TLX1200,浙江成如旦新能源科技有限公司。

### 1.2 模拟软件及参数设定

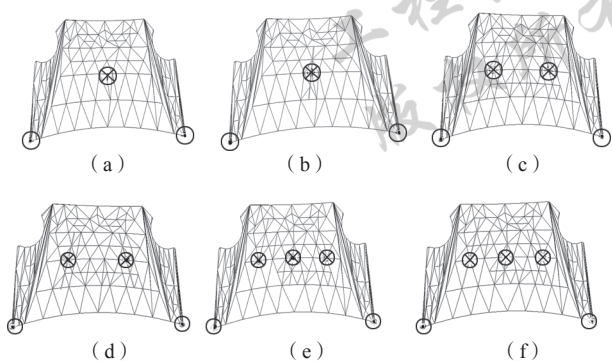
采用荷兰 Polyworx 公司开发的 RTM-worx 软件。

引擎盖模型的尺寸为  $1120\text{ mm} \times 700\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 。主要模拟参数设定如下:产品的厚度( $H$ )= $3\text{ mm}$ ,玻璃纤维体积分数( $V_f$ )= $60\%$ ,主流道的直径( $D$ )= $12\text{ mm}$ , $X$ 方向的渗透率( $K_{11}$ )= $6.51 \times 10^{-10}\text{ m}^2$ , $Y$ 方向的渗透率( $K_{22}$ )= $3.51 \times 10^{-10}\text{ m}^2$ ,注射压力( $P_i$ )= $101\text{ kPa}$ ,树脂的粘度( $\eta$ )= $410\text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

## 2 引擎盖充模模拟

### 2.1 充模流动模拟方案

根据引擎盖模型的结构特征,初步制定了6种模拟方案,具体如图1所示。



a~f—方案1~方案6

图1 引擎盖模型的充模流动模拟方案

图1中,“ $\otimes$ ”代表注射口,“ $\odot$ ”代表排气口,粗线代表主流道。依据如下原则设计方案:

(1)注射口在模具上的位置主要有3种情况:模具中心、模具某一边缘和模具外围周边。注射口位于模具中心时,注射口为点状,树脂从模具中心向外以辐射状流动充满整个模腔;注射口位于模具某一边缘时,树脂充模从模具一端流向另一端充满模腔;注射口位于模具周边时,树脂从外围向内充满模腔,此时需在模具中心设置排气口,以充分排出气泡。注射口位置不同,树脂注射方式不同,树脂的流动速度和充模时间也不同。

(2)排气口的设计要保证树脂能够流到模腔的每个角落,完全浸透增强材料。排气口的位置应该是距离注射口最远的位置,根据模腔形状的不同可以设计多个注射口和排气口,在容易出现“干斑”的位置需要设置排气口以消除干斑。

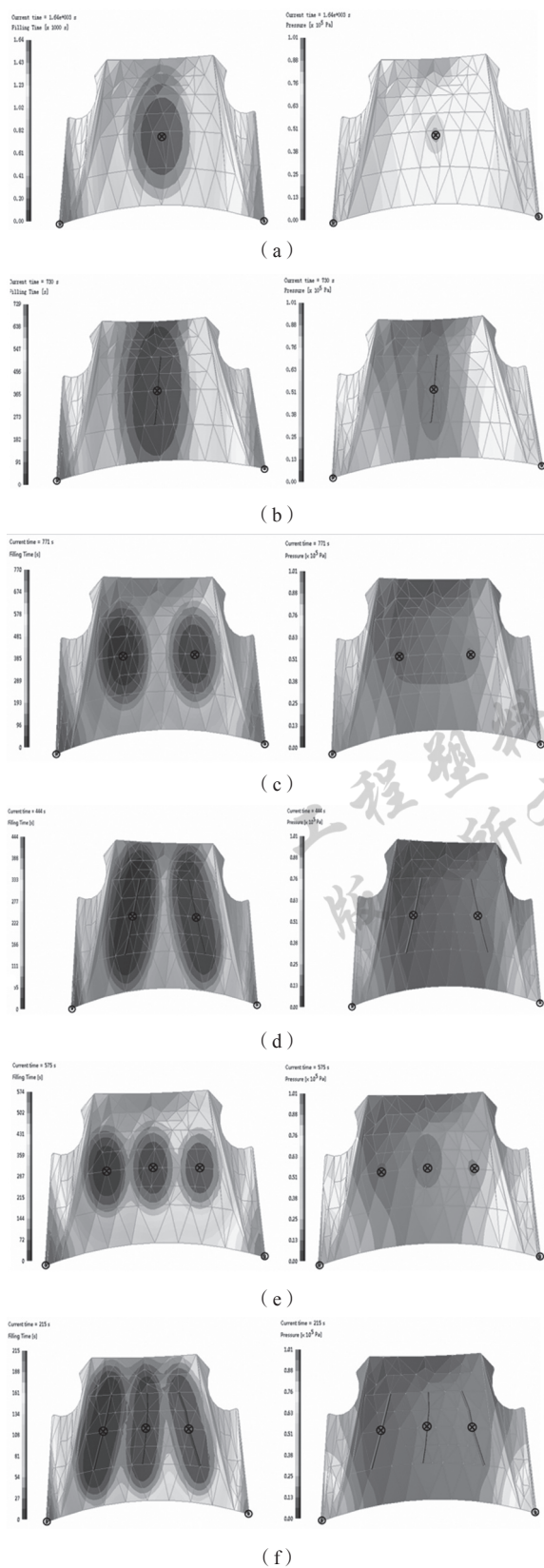
(3)流道的布置。树脂流动通道分为主流道和分散流道。主流道由导胶管组成,是主要的导流通道,其作用是将树脂引到分散流道。分散流道主要是指导流介质,其作用是将主流道的流体分散到增强材料表面并使其完全浸润。

### 2.2 充模流动模拟结果对比与分析

6种方案的充模流动模拟结果如图2所示。根据模拟结果,6种方案的充模流动时间如表1所示。

从图2和表1可以看出,在注射口数量相同的情况下,线注射相比于点注射充模时间明显缩短,说明采用线注射是缩短充模时间的有效手段。如方案1和2,注射口数量为1,而点注射充模时间为1640 s,线注射充模时间为730 s,明显缩短。对采用点注射的方案1,3,5进行比较,可知注射口数量对充模时间有明显的影响,随着注射口数量的增加,相同时间段内流入模腔树脂量增加,从而整体充模速度加快,充模时间减少。线注射方案2,4,6也呈现同样的趋势,充模时间依次为730,444,215 s。图2中各方案的充模时间:从模型中心的注射口或注射线经深色区域到浅色区域,再到边缘的深色区域,树脂依次注满模腔,边缘处的深色区域是树脂充模流动的终点,可见在引擎盖两角设置排气口,有利于空气的排出,从而减少模腔内的气泡,提高产品质量。

图2中各方案的模腔内压力:从模型中心的注射口或注射线附近的深色区域到浅色区域,再到边缘的较深区域压力依次降低。比较点注射和线注射的压力分布,从方案1和方案2的压力分布图可以看出,方案1的高压主要集中于注射口,距注射口越远,压力降越大,这造成方案1充模过程中注射速度随时间趋于缓慢。而在方案2中,注射压力沿流道分布,并逐渐降低。比较两种注射方式的压力分布可以看出,线注射高压区域明显多于点注射,从而促进了树脂的充模流动,缩短注射时间。同时线注射方式压力前沿分布较为均匀,在充模流动过程中,有利于提高树脂对增强体的浸润性,提升了充模流动速率。



a~f—方案1~方案6

图2 6种方案的充模流动模拟结果(每个方案中左图为充模流动时间图,右图为压力分布图)

表1 6种方案的充模流动模拟结果对比

| 方案 | 注射口数/个 | 排气口数/个 | 流道数/个 | 充模时间/s |
|----|--------|--------|-------|--------|
| 1  | 1      | 2      | 0     | 1640   |
| 2  | 1      | 2      | 1     | 730    |
| 3  | 2      | 2      | 0     | 771    |
| 4  | 2      | 2      | 2     | 444    |
| 5  | 3      | 2      | 0     | 575    |
| 6  | 3      | 2      | 3     | 215    |

### 2.3 模拟方案优化

通过上述分析,方案6较其他5种方案更为优化,因此,优选三流道的线注射方式作为主要优化对象。同时结合方案6的模拟过程发现,方案6中相邻两流道的树脂在流动过程中会产生交汇现象,交汇处易造成气泡包裹,不利于树脂的浸渍,同时易形成气泡缺陷,影响制件质量。因此,在对方案6进一步模拟优化的基础上,形成优化方案,具体注射方式为:在方案6的基础上,适当控制两侧流道注射口的开闭时间。首先开启中间注射口,开启阶段从0到40%(占树脂总充模量的百分比),然后开启两侧注射口,开启阶段是从40%到100%;同时在两侧增加两个排气口,控制树脂流速,使其同时到达产品边缘。优化方案的充模时间和压力分布如图3所示,其充模时间约为350 s。

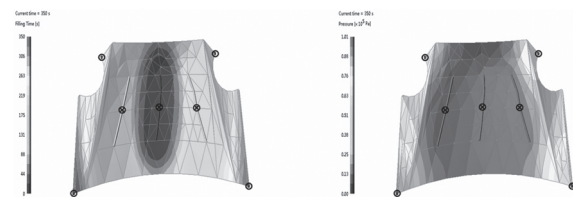


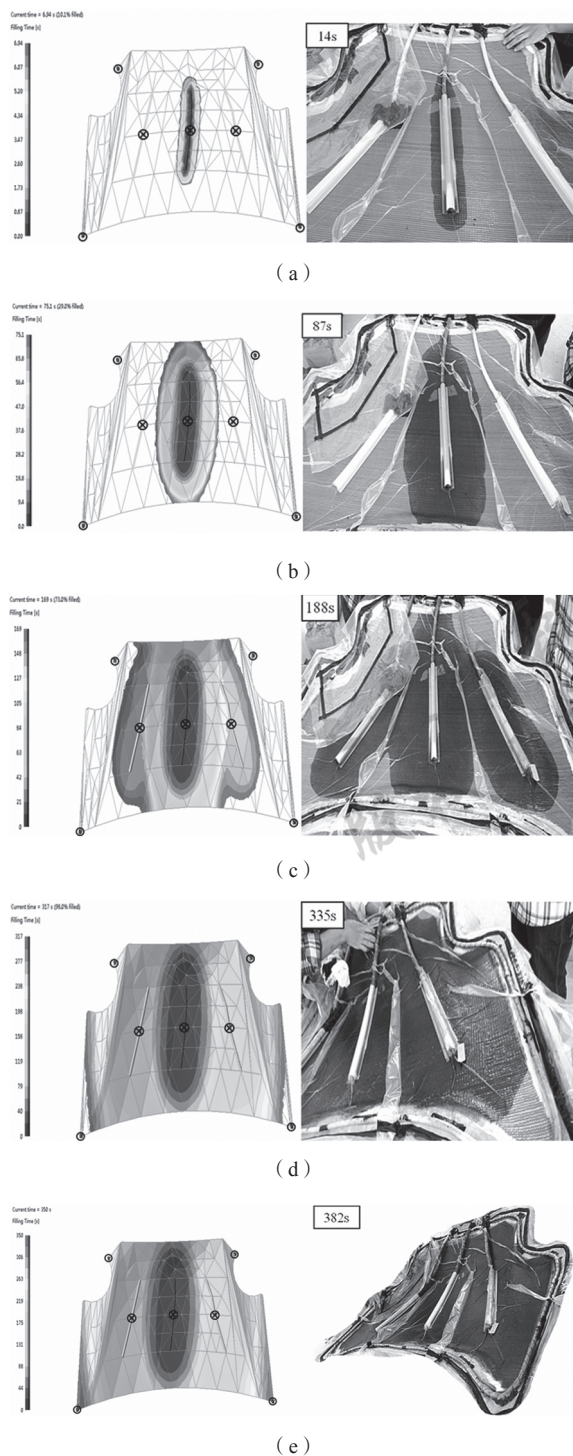
图3 优化方案及其模拟结果(左图为充模流动时间图,右图为压力分布图)

### 3 引擎盖模型 VARTM 成型工艺验证试验

根据优化方案进行汽车引擎盖的 VARTM 成型,模拟充模流动过程与 VARTM 工艺过程的对比结果见图4。由图4可知,汽车引擎盖模型的 VARTM 成型工艺过程与充模流动模拟结果基本吻合,充模过程有较高的相似性,从充模时间看,充模流动模拟时间为350 s, VARTM 工艺充模时间为382 s,验证了 RTM-worx 充模流动模拟的有效性。

由此可见,采用 RTM-worx 流动充模模拟软件,根据产品的使用要求、性能要求及成型工艺参数等,合理地设计注射口、排气口以及流道的数量和位置,可以在较短的时间内确定树脂的充模流动方案,从而节约资源,缩短产品研制周期。对于复杂制件的整体成型,还可以通过观察模拟过程中流动前沿的

变化,预测气泡、干斑等缺陷可能产生的位置,通过改善注射口、排气口、流道等工艺参数改进 VARTM 的成型工艺过程,减少制件缺陷,提高制件的性能。



a~e—充模时间分别为 14, 87, 188, 335, 382s

图 4 引擎盖模型的 VARTM 工艺试验验证

## 4 结论

(1) 采用 RTM-worx 软件对引擎盖模型的几种

注射方式进行充模流动模拟分析,确定以三流道线注射方式为优化方案,其充模过程压力分布较为均匀,充模时间更短,树脂对增强体的浸润更加均匀。

(2) 对选定的最佳方案进行优化,最优注射方式为:首先开启中间注射口,开启阶段从 0 到 40%,再开启两侧注射口,开启阶段从 40% 到 100%。根据此方案进行引擎盖的 VARTM 成型,其充模流动模拟过程与 VARTM 工艺过程基本吻合,很好地验证了 RTM-worx 模拟的有效性,可以用来指导实际生产,以降低研制生产成本,节省资源。

## 参考文献

- [1] 李彦春. 国内外玻璃钢/复合材料在汽车上应用现状及发展趋势[J]. 热固性树脂, 2001, 16(6): 15-18.
- [2] 黄晖, 马翠英. 塑料及其复合材料在汽车上的应用与发展[J]. 机械研究与应用, 2005, 18(6): 7-9.
- [3] 江梅, 陈雨萍. 玻璃纤维增强复合材料在汽车上的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2001(4): 32-33.
- [4] 段成金, 李书乡, 夏向荣, 等. 树脂基复合材料汽车构件的研制[J]. 中国材料进展, 2009, 28(6): 40-44.
- [5] 叶长青, 杨青芳. 树脂基复合材料成型工艺的发展[J]. 粘接, 2009(5): 66-70.
- [6] 乔东, 胡红. 树脂基复合材料成型工艺研究进展[J]. 塑料工业, 2008, 36(s1): 11-13, 17.
- [7] 段华军, 马会茹, 王钧. RTM 工艺国内外研究现状[J]. 玻璃钢/复合材料, 2000(5): 46-48.
- [8] 邱婧婧, 段跃新, 梁志勇. RTM 工艺参数对树脂充模过程影响的模拟与实验研究[J]. 复合材料学报, 2004, 21(6): 70-74.
- [9] 杨金水. 真空导入模塑工艺树脂流动行为研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2007.
- [10] 于延军, 董桂伟, 张娜, 等. 树脂传递模塑(RTM)工艺及计算机技术的应用[J]. 山东机械, 2005(6): 34-41.
- [11] Sun Xiudong, Li Shoujie, Li Liang. Mold filling and curing analysis in vacuum assisted resin transfer molding-SCRIMP[C]//Proceeding of NSF design and manufacturing grantees conference' 99, California: 1999.
- [12] 勾治践, 吴清文, 卢镔. 注射填充过程的计算机模拟[J]. 光学精密工程, 1999, 7(6): 66-70.
- [13] 刘柱. 超薄塑件注塑充模试验与计算机模拟的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [14] Moon Koo Kang, Woo II Lee. A flow front refinement technique for the numerical simulation of the resin transfer molding process[J]. Composites Science and Technology, 1999, 59: 1663-1674.
- [15] 刘宁生. 先进的树脂模注工艺仿真软件—RTM-Worx[J]. 纤维复合材料, 2005, 22(1): 40-42.
- [16] 覃海艺, 王继军. RTM 成型过程的计算机仿真[C]//玻璃钢学会第十六届玻璃钢/复合材料学术年会论文集, 2006: 31-34.