

先进的树脂模注工艺仿真软件——RTM-Worx

一、前言

近年来，RTM（Resin Transfer Moulding）和 CVI（Controlled Vacuum Infusion）等树脂模注工艺技术由于其生产过程中很低的有机物挥发量、良好的可设计性及适合于成型中批量大型整体复杂构件等优点，被越来越广泛地应用于高性能复合材料成型制造领域。然而，这些工艺技术需要在生产之前设计、加工出合适的模具设备。如何在较低的成本和周期下设计出既能满足生产工艺需要，又能保证产品质量要求的模具一直是业界积极探索的热点之一。传统的方法是凭经验进行试制，其不仅耗时耗力，而且难以保证产品质量，已经很难满足现代复合材料模具设计生产的需要。在模具设计和制造过程中采用数字化技术进行仿真模拟，是提高模具开发效率，降低生产成本和提高产品质量的有效途径之一。Polyworx 公司早在十几年前就已经致力于这方面的研究，并且已经取得了骄人的成绩。

Polyworx 公司是荷兰一家致力于开发先进模注工艺流动仿真软件的公司，其旗下的主打软件产品 RTM-Worx 是树脂模注工艺领域内具有世界领先地位的数字化仿真分析软件，该软件于 1991 年开始开发，已经历十余年的历程。最初的微机版本名为 $\pi 7$ ，RTM-Worx 在其基础上进行了多项改进，使得操作更为简便，显示更为清晰，计算更为快捷，功能更为强大。目前，RTM-Worx 已在世界各地被广泛应用于航空，风力发电机，航海，军工，游艇，材料加工以及建筑等各个行业的复合材料结构设计制造领域，备受用户好评，在国际市场上占有极高的市场份额，充分确立了其在在该领域内的领先地位。

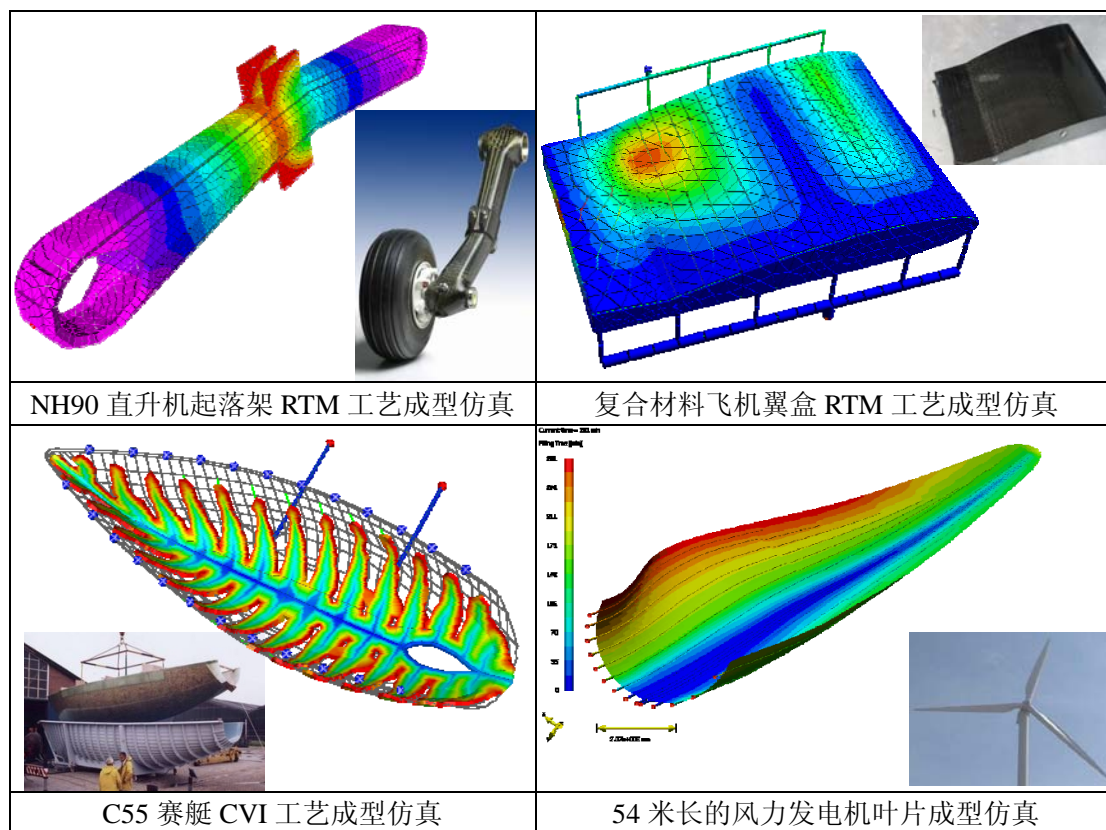


图 1 RTM-Worx 在众多复合材料应用领域被广泛采用

二、RTM-Worx 功能介绍

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 RTM 和 CVI 工艺进行仿真分析的软件。该软件以综合了有限元分析和体积包络计算的算法为核心，该算法快速稳定、功能强大、计算精确，能够确保在很短的时间里为用户提供准确的计算结果。该软件还为用户提供了以模拟目标为中心的直观的用户界面和方便快捷的预处理和后处理系统。RTM-Worx 直观易用，适合那些不熟悉有限元原理但精通掌握树脂模注工艺的工程师对该工艺进行局部或全部过程优化，使用者仅需很短时间的培训和少量技术支持就能充分掌握，被公认为是树脂模注工艺仿真领域内性价比最高的仿真分析软件产品。

下面主要从几何建模、有限元划分、分析计算功能等几个方面对 RTM-Worx 进行简要介绍。

1. 完善的 GUI 界面与几何建模功能

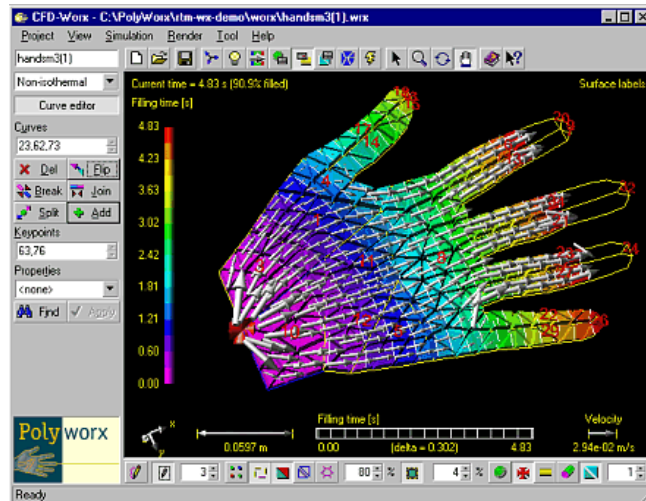


图 2 RTM-Worx 图形化用户界面

RTM-Worx 采用基于强大的 OpenGL 库的三维图形显示技术，其 GUI 界面如图 2 所示，模型显示区的左边是一个控制面板，其上下各有一个工具条，这上面分布有建模和分析计算所需的全部菜单和按钮。使得建模操作更加直观和方便。

RTM-Worx 拥有适用于进行数值仿真分析的三维空间几何建模工具，用户可以轻易建立或修改由控制点、连接控制点的线和由线包围的面组成的三维空间几何模型。在 RTM-Worx 中，三维立体结构以其对称面来描述，在对称面上除了具有几何结构的厚度属性外，还可以设置与仿真分析密切相关的纤维方向、纤维体积含量等属性。

RTM-Worx 也可以直接从其他建模应用软件中直接导入现成的模型数据，目前这项功能支持的文件格式有：

- AutoCAD DXF；包括二维和三维模型文件，最高支持到其 r14 版。
- PATRAN Neutral 格式文件（将单元网格转换为 RTM-Worx 面模型）。
- PATRAN 层压板铺层文件（单独提供）。

- STL 文件，包括二进制和 ASCII 格式。
- C-Mold 网格文件 (*.fem, 将单元网格转换为 RTM-Worx 面模型)。
- SEPRAN 网格文件 (*.msh)，包括连接单元。
- 全面支持 $\pi 7$ 模型数据文件 (.pi7)。

2. 快速的有限元网格划分技术

RTM-Worx 应用有限元法仿真分析树脂注塑过程，该软件能够快速自动地将几何模型划分为有限元网格，其中导流槽划分为一维单元，模型的平面结构被划分为二维三角元，在 P4 电脑中几秒钟就可以划分出上万个三角元。单元网格的划分密度除了可以由最大单元尺寸、最小单元尺寸和控制点密度等参数控制之外，RTM-Worx 还提供如下有限元网格工具：

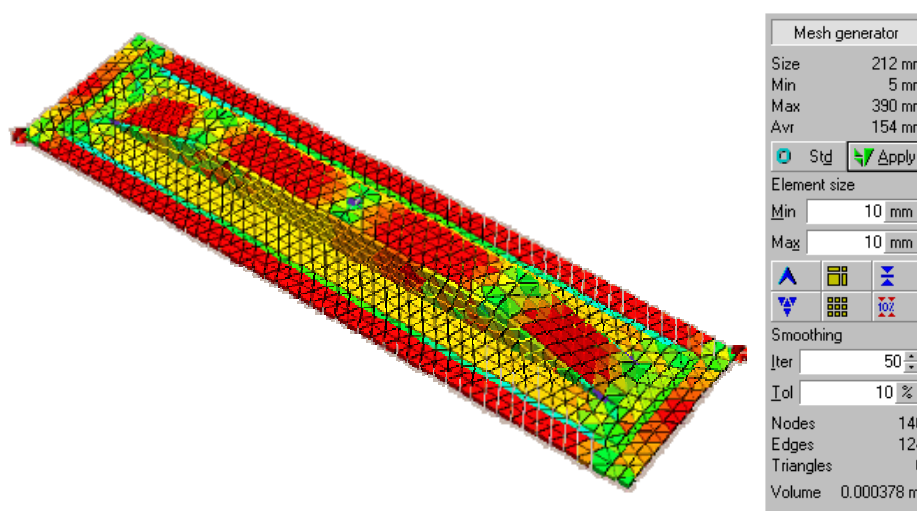


图 3 RTM-Worx 有限元网格划分

- Coarse mesh. 稀疏网格，生成尽可能少的网格数目，主要用于粗略分析。
- Uniform mesh. 等大小网格，生成所有网格的尺寸几近相等。
- 10% of model. 最大网格尺寸为包裹整个几何模型圆球半径的 10%。
- Double minimum size. 将最小单元尺寸增加一倍。
- Halve maximum size. 将最大单元尺寸缩小一倍。

通过调整上述各个参数，加之 RTM-Worx 计算速度相当迅速，使用者方便得修改有限元单元尺寸以便调整计算精度。

3. 专业的材料和工艺参数设置

RTM-Worx 是专门用于树脂模注的仿真软件，因此需要定义材料参数和工艺参数。在 RTM-Worx 中，不需要单独定义增强材料参数，只需在平面单元属性中定义厚度、孔隙率、渗透率、纤维方向等参数即可，厚度为零则表示此区域无需注塑树脂，除厚度外不定义其他参数则表示该区域内为空腔。树脂参数只需一个，即树脂粘度。RTM-Worx 能够自动生成优

化的典型注胶和出胶口，使用者只需稍微改动就能得到满意的结果。用户也可以在任何一个几何控制点上设置注射口或溢料口，设置注射口时同时设置注射压力或树脂流量。RTM-Worx 还提供了根据模腔填充百分率来控制注射口和溢料口开闭的功能。这样可以非常好的模拟多注射口、多溢料口的填充过程。

4 精确快速的计算能力

RTM-Worx 采用基于有限元方法对 RTM 和 CVI 工艺进行仿真分析。该方法综合了有限元分析和体积包络计算，每一个时间步长中都会实时计算各个节点的压强和树脂流动速度，同时跟踪树脂流动的前峰，计算其流动趋势。该算法具有快速稳定，计算精确的特点。提高网格密度能够改善模型的仿真分析精度，但一般的模型只需划分不到 1000 个单元就能得到满意的计算结果（误差一般在 1% 以内），而这样规模的单元模型的计算在不到一分钟的时间里就可以完成。

5 强大的后处理功能

在 RTM-Worx 中可以组合运用云纹图、等值线图、向量图以及数值标注法来显示模型的属性参数，以便对模型进行校核。对于仿真计算生成的大量的数据结果，RTM-Worx 也能够任意组合应用这些图形显示方式和直接标注数值等方法将计算结果直观、清晰地显示出来。

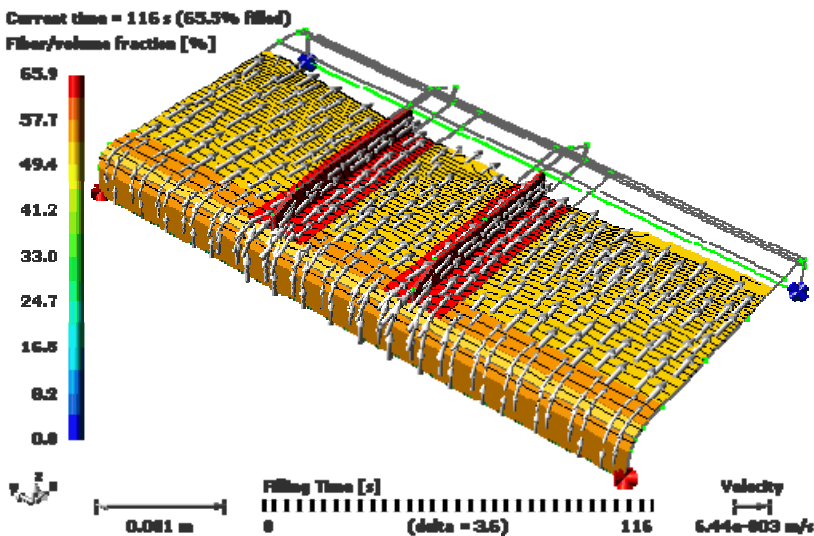


图 图形化结果综合显示

在上图所示的例图中，用云纹图显示结构的不同厚度，用矢量图表示树脂流动方向，用等值线表示树脂填充时间。

三、总结

RTM-Worx 仿真软件具有如下特点：

- 完全支持各向异性材料
- 快速模拟树脂传输流动路径
- 成熟的预处理和后处理系统
- 兼容 STL, DXF 以及 PATRAN 格式输入文件
- 考虑织物材料的 MSC/Patran 层和板模块的交互界面
- 支持非等温反应扩展
- 稳定精确快速的算法
- 内置分级文档系统
- 支持国际单位制和英制单位体系
- 支持任意向量（速度、渗透性）、图层和轮廓线图（流动前沿，压力，各种性能等等）的联合显示
- 非常短的培训时间：一天之内形成生产力！

使用 RTM-Worx 进行树脂模注仿真分析，能够轻松、合理地确定 RTM 和 CVI 模具中的导流槽、注射口和溢料口，从而大大提高模具设计的效率和质量，降低开发成本。还可以估算注胶时间，评估工艺参数影响，确定工艺窗口，通过进行大量不同状况下的仿真分析，辅之以极少量的试验就可以得到高性能的产品。

RTM-Worx 以其出色的表现赢得了世界各地广大用户的普遍赞誉，并在国际市场竞争中占据了领先的地位。如果您想进一步了解 RTM-Worx，请与其中国总代理 CAEDA Ltd. 公司联系，公司网址：www.caeda.com.cn，E-mail: caeda@vip.sina.com。