

# 航空领域正推进零部件工艺虚拟验证以优化设计

陈济齐

近日，德国 Simutence 公司和英国 Engenuity 公司展示了一套虚拟工艺流程链，能够评估工艺引起的纤维取向变化，并以此预测复合材料机翼翼肋的结构模拟和失效载荷，优化结构设计。新的 SMC 结构(片状模塑料)模拟方法可验证工艺流程链，为势必锐航空系统公司使用碳纤维 SMC 进行翼肋重新设计提供了重要参考。

SMC 结构专为汽车行业开发，广泛用于中等尺寸结构件的批量生产。它由典型纤维长度约为 25 毫米的短切纤维和热固性树脂组成，并利用压缩成型技术完成制造。新材料的发展和碳纤维的引入，已经使 SMC 的应用从零部件表面层扩展至半结构化零部件设计。

与此同时，航空工业界正在增加产量。SMC 等材料工艺技术对于以较低成本生产更多零部件具有巨大吸引力。由于短纤维的取向在进料流动和成型过程中发生变化，难以预测最终零部件中力学性能的分散性，因此 SMC 在更多结构部件中的使用受到限制。为了克服这个问题，Simutence 公司和 Engenuity 公司开发了一套模拟工艺链，以在基于概率的结构建模仿真中，充分考虑工艺影响并预测纤维取向。通过克服上述问题，碳纤维 SMC (C-SMC) 有望在航空航天领域获得更加全面的应用。

Simutence 和 Engenuity 开发的方法首先使用 SimuFill 通过高精度工艺模拟仿真获得 SMC 纤维取向。其中 SimuFill 是 Simuence 公司研发的适用于 Autodesk Moldflow (一款拥有上万种材料的专业注射成型仿真软件)的附加插件。随后，纤维的取向信息通过 SimuChain 进行处理。SimuChain 同样由 Simutence 开发，它是法国达索公司开发的 Abaqus 有

限元分析 (FEA) 软件的数据处理和绘图工具插件。

经过处理后，这些数据将采用被 Engenuity 称为“随机材料架构失效”(FiRMA) 的概率分析方法，协助设计人员通过预测批次中预期最弱和最强的零部件来优化 SMC 结构。这种能力是通过利用 SimuFill 对分布区域内随机化纤维取向进行多次流动模拟，预测一批零部件中分散的力学性能实现的。

## 示范项目：材料表征

势必锐航空系统公司是一家追求新材料和制造工艺的复合材料翼肋部件一级供应商。势必锐与 Simutence 和 Engenuity 合作，要基于预测复合材料零部件未来产量将大幅度增加而达成的。它们选择了一个翼肋来验证 FiRMA 仿真分析方法。通过英国的国家航空航天技术探索 (NATEP) 计划，FiRMA 目前已升级到新版本 FiRMA Flow，其中包括了对类似压缩成型过程中流动效应的仿真。

验证件使用来自西班牙 Astar 公司的 Carbkid VK03-5750，该乙炔基体中含有 57% 质量分数的短碳纤维。为了获得所有必要的材料数据，对材料进行了工艺和结构模拟表征。针对工艺模拟，SimuFill 与模内表征方法一起使用，以确定变形率为核心的区域以及模具旁边以剪切速率为主的润滑层的特性。在以不同的闭合速度进行成型试验时，使用压力传感器和冲压数据，通过自动评估工具将材料参数与实验数据进行拟合。

为了表征力学性能，使用专门开发的表征程序，可根据不同的几何形状和负载条件，创建具有刚度和强度数据的材料验证卡。该方法旨在产生一种不受尺寸限制并代表

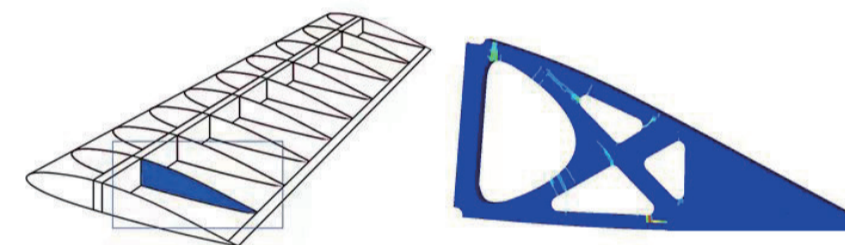
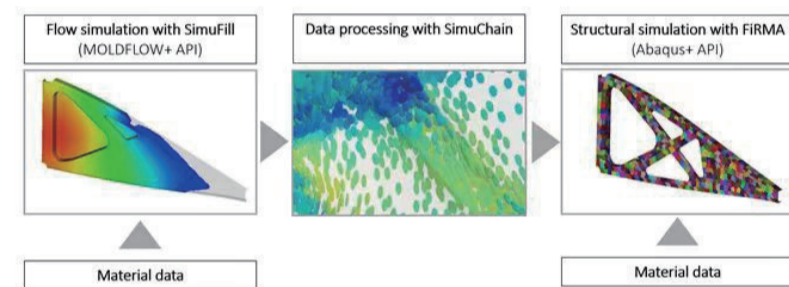
SMC 本身拥有的载荷路径冗余水平的建模方法。通过迭代优化过程，建模方法可以应用于任何尺度的零部件。

## 定义设计

在为工艺和结构模拟生成可靠的材料验证数据卡后，可开始进一步设计翼肋验证件。势必锐公司提供了可参考的结构几何外形和相应的载荷工况。其他边界条件也包括保留布线孔/通道孔径以及蒙皮凸缘和翼梁尺寸。最相关的负载情况，被确定为当机翼后缘受到升力时固定在一侧的零部件受力情况。现有的翼肋设计在关键弯曲载荷情况下进行评估，并为 SMC 翼

肋后续优化设计提供了依据。

从原始设计开始，使用 FiRMA 软件对 27 个设计选项进行了研究、评估和优化，以满足负载条件，同时实现尽可能轻的重量。在反复设计迭代过程中，研究人员进行了多个确定性结构模拟，根据工艺模拟的指导对局部纤维取向情况进行多次修正，以表征真实 C-SMC 内部结构的随机性程度。这种工作方式将产生一系列模拟结果，但最终仅按照最差的模拟结果开展后续评估工作。这种基于纤维取向分散的最坏情况进行结构设计的方式，进一步确保了安全设计，保证所有零部件确实能够满足负载要求，这



点对于航空航天领域应用至关重要。在此基础上，可以进一步对零部件设计进行优化。

## 过程模拟

为了提高效率，SMC 成型工艺模拟仅针对最终的翼肋设计迭代进行。为了避免零部件内出现任何焊缝，这种设计中为方便线缆穿过、使结构轻

量化而计划的打孔，是在零部件成型后创建的。因此，模制零部件仍具有全封闭结构表面。

为了确定最佳的初始电荷分布，研究人员从 1500 毫米宽的卷材中选取 C-SMC 材料，并重点考虑了其高使用率和低报废率 2 种不同类型的材料，并模拟评估了其初始电荷分布。通过各种优化，确定了这 2 种初始电荷分布在零部件内的最佳位置，以确保零部件的可制造性。

基于这 2 种 C-SMC 电荷分布的模拟结果，识别出的纤维取向被导出并在 Simutence 公司的 SimuChain 软件新开发的模块中进行处理——这就是图中概述的虚拟工艺流程链的第二步。最终结果将作为使用 FiRMA Flow 工作流程的输入。

## 最终虚拟验证

在获取了最终设计以及基于 2 种不同初始电荷分布预测的纤维取向后，就可以应用 FiRMA Flow 工作流程。最终 FE 仿真模型在经历 27 个设计选项的优化迭代后进行了修正，便于使



用基于工艺仿真结果预测的纤维取向偏差，而不是在初始设计阶段就使用通用模型。通过这种方式，生成了全新的概率结果，然后通过模拟分散的纤维取向和由此产生的力学性能，有助于进一步优化结构设计。

将势必锐公司模型转换为 C-SMC 翼肋设计后，使用自动反馈工具，突

出显示 50 次分析运行过程中所有结构故障，使设计能够按照总体分布进行优化。

累积损伤示意图是 C-SMC 设计导致的纤维取向所有变化而形成的，按照 Simutence 进行的工艺模拟作为设计指导。该图可以辅助设计人员根据模拟找到的需要修改区域来改进 C-SMC 设计。

此处的演示验证方法不仅仅是预测单个结构的一次性结果，而是能够预测出比历史分析方法更具代表性的一组结果，这种方式将会增强结构设计安全系数计算。这项工作非常关键，因为航空航天领域要使用 C-SMC，制造出来的结构部件必须具有在所需求安全裕度内的失效载荷。

上述过程主要是通过通过将 Simutence 的 Abaqus FEA 软件虚拟工艺流程链(包括热成型模拟、SMC 冲压成型模拟以及用于映射到成型零件的接口)与 Engenuity 的 FiRMA 相结合，展示并实现了相关功能，可以识别组件群体中最薄弱部分，由此产生的设计优化迭代能够更准确地预

测模制 C-SMC 翼肋演示验证件的安全系数和失效载荷。此次设计优化无需任何原型工具即可完成，从而加快了研发速度并降低了成本。

该项目的下一阶段目标是制造和测试多个翼肋部件，以进一步验证上述分析方法。整个项目结果将于 2024 年发布，旨在展示结构 SMC 零部件向着取消原型件验证的目标迈出坚实一步，为满足未来进一步减少试验验证测试需求，以及缩短研发中通常的迭代试错周期奠定基础。(作者单位系中国航空工业发展研究中心)

## 匈奴航空E190首航北京 搭建中蒙空中新通道

据巴航工业消息，12月3日上午，一架身披蒙古国匈奴航空涂装的E190飞机平稳降落北京大兴国际机场，标志着自即日起乌兰巴托—北京大兴航线正式开通，这也是巴航工业E190飞机首次执飞北京大兴机场定期航线。未来，这条新航线将服务于“一带一路”倡议，并搭建中蒙两国空中新通道。

匈奴航空是蒙古国的主要航空公司之一，自2011年开始经营定期航班，主运营基地为成吉思汗国际机场。2019年，匈奴航空宣布租赁4架巴航工业E190飞机，以扩张其机队规模和航线网络。匈奴航空的E190飞机采用三舱布局，共设98座，包括6个头等舱座位、20个超级经济舱座位和72个经济舱座位。首航E190加入机队后，受益于这款机型的灵活性、经济性和舒适性，匈奴航空占据了有利的时刻资源，为其乘客提供了更多国内、国际航线选择和更加舒适、便捷的乘机体验。

今年9月，匈奴航空迎来第二架E190飞机，并将其用于执飞蒙古往返周边国家和地区的航线，继续推动蒙古国旅游业的发展。

巴航工业E190航程为4450千米，配备电传操纵系统，能够为飞行全程提供



包线保护；同时，该机型拥有完善的飞机导航系统和多年在复杂环境中的安全运营经验。据了解，匈奴航空现有的E190飞机，日均飞行时长可达9.45小时，并多次承担

蒙古国内的重要包机运输任务。巴航工业大中华区总裁及商用飞机副总裁郭青在首航仪式上表示：“今天让我们尤其感到自豪的是，这条航线由巴航生

产的E190飞机执飞，这也是E190飞机首次飞进大兴机场。作为全球重要的飞机制造商之一，我们深刻理解，每一架飞机的起航，不仅是科技与创新的飞跃，更肩负着拉近世界的距离、促进经济融合和文化交流的重要使命。我们的E190飞机在匈奴航空北京新航线的投入使用，不仅展现了双方的深入合作，也承载着重要的责任与承诺。我们将和匈奴航空公司一起携手努力，支持匈奴航空，保障大兴航线的安全高效运营。”

匈奴航空公司董事长孟河贾日格乐表示：“这条新航线的开通，不仅体现了匈奴航空在不断拓展国际航线网络方面的决心和实力，也象征着中蒙两国之间的友谊和合作在新时代得到了进一步的深化和发展。”

匈奴航空乌兰巴托—北京大兴航线每周二、四、六3班。为庆祝新航线开航，匈奴航空将为乘客提供优惠票价。乌兰巴托是蒙古国首都，位于蒙古高原中北部，拥有独特的宗教历史、人文氛围和自然景观。当地较为著名的景点包括蒙古国家历史博物馆、甘丹寺、成吉思汗广场、哈斯台国家公园等。(幸文)

## 卡塔尔航空CEO当选国际航空运输协会理事会成员

卡塔尔航空集团首席执行官巴德尔·穆罕默德·阿米尔当选国际航空运输协会(IATA)理事会成员。

国际航空运输协会作为全球航空公司的行业协会，旗下有近320家航司，占航空运输总量的83%。国际航空运输协会秉持着代表、引领并为航空业服务的使命，致力于保障全球航司的权益。

11月5日，巴德尔·穆罕默德·阿米尔在担任多哈哈马德国际机场首席运营官十余年后，正式履新卡塔尔航空集团首席执行官。哈马德国际机场不仅是卡塔尔的全球枢纽机场，更是其连接世界的重要门户。巴德尔·穆罕默德·阿米尔在领导该机场的重大项目方面发挥了核心作用，包括位于航站楼扩建中心区域的项目——“沙海绿洲”热带室内花园，囊括了世界一流的餐饮和豪华购物商店，重新定义机场体验。该扩建项目是多哈最具挑战性的工程项目之一，已在2022年国际足联卡塔尔世界杯前完工。

自2018年至2020年，巴德尔·穆罕默德·阿米尔曾任国际机场理事会(Airports Council International)亚太地区董事，为未来机场发展与可持续机场建设作出巨大贡献。在他的带领下，哈马德国际机场揽获数项行业殊荣，于2021、2022年被国际航空运输评级机构Skytrax评为“全球最佳机场”。(叶雪)

## 厦门与霍尼韦尔(中国)有限公司签订战略合作备忘录

据霍尼韦尔官网消息，11月17日，厦门市与霍尼韦尔(中国)有限公司签订战略合作备忘录。市委书记崔永辉会见霍尼韦尔中国总裁余锋，就双方扩大合作深入交流，并共同见证签约。厦门市领导黄晓舟、连坤明参加会见和签约。

崔永辉表示，霍尼韦尔是一家在全球多元化和制造业方面处于领先地位的跨国公司，是厦门的老朋友，双方合作历

史悠久、合作成果丰硕。当前，厦门正在着力打造新发展格局节点城市，巩固提升外循环层级，创新增强内循环动力，推动双循环在厦门对接联通、相互促进，实现资源要素在厦门整合汇聚、高效配置。这将为霍尼韦尔深耕厦门、拓展业务提供广阔空间，创造良好条件。厦门产业发展方向与霍尼韦尔业务板块十分契合，希望双方以此次签约为新起点，在深化航空业务

合作基础上，积极拓展合作空间，加强在智能建筑、新能源、新材料等领域对接，力争策划生成更多务实合作项目，推动实现更高水平互利共赢发展。厦门将全面深化改革，持续打造市场化、法治化、国际化的一流营商环境，为企业在厦发展壮大提供优质服务和有力保障。

余锋感谢厦门市委、市政府对企业发展的关心支持，称赞厦门经济蓬勃发展，

城市综合竞争力强，政府服务专业、高效。他表示，在厦门打造新发展格局节点城市的过程中，蕴含很多机遇。希望双方保持密切联系，广泛寻求契合点，切实把机会变成商机、转化为项目，推动双方合作不断向前迈进。(王明)

