



SIEMENS

Ingenuity for life

Siemens PLM Software

Simcenter 新闻

航空航天专刊

2018 年 6 月

[siemens.com/simcenter](https://www.siemens.com/simcenter)

阔步迈向数字化双胞胎



Jan Leuridan
高级副总裁
仿真和测试解决方案

欢迎查阅 Simcenter 新闻航空航天专刊。众所周知，航空航天工业正处于创新鼎盛时期。在过去的几年里，Simcenter™ 产品组合在辅助航空航天设计和流程改进方面发挥了至关重要的作用，为此我们深表荣幸。在此次长达 68 页的专刊中，我们将尽最大可能提供最全面的客户成功案例，这也是迄今为止航空航天专刊出版页数最长的一次。关于封面故事，我们想致敬皮拉图斯 PC-24 成功案例背后的工程师们。皮拉图斯开发团队不仅通过生产驱动型数字化双胞胎在历史最短时间内创建并验证了这款全新的超级多功能飞机，他们还彻底改变了飞机开发和认证过程；而这一切要归功于我们的预测性工程分析，它使这一领域的数字化双胞胎支持成为现实。

在本期新闻刊物中，我们将继续领略西门子电动飞机项目带来的奇幻电子飞行世界。德国埃朗根团队正在兢兢业业地使用全套 Simcenter 仿真和测试工具以及 Teamcenter® 软件和 NX™ 软件优化模型，确保接下来的一系列试验能够以最高效的方式进行。

在更多商业故事中，还有一个关于空客的精彩故事，他们使用 Simcenter™ STAR-CCM+™ 软件解决方案进行计算流体力学 (CFD) 分析，改进客舱舒适度。长期以来，空客直升机团队一直是基于模型系统工程 (MBSE) 领域的先驱，他们也与我们分享了使用 Simcenter Amesim™ 软件的心得。我们也热烈欢迎您阅读有关中国商用飞机项目 COMAC C919 的

故事，看看他们如何使用 Simcenter 3D 帮助完成中国民用航空上海航空器适航审定中心 (SAACC) 的认证工作。

航空航天专刊离开航天话题就算不上完整了。空客航天和防务团队将介绍 Simcenter 环境动力测试解决方案如何帮助欧洲航天局 (ESA) 成功启动 GAIA 天文望远镜，而 Orbital ATK 公司决定将 Simcenter 3D 集成到 Teamcenter 和 NX 进程中，以此改进它对美国国家航空航天局 (NASA) 太空发射系统 (SLS) 的设计方案。无论您是希望探索未来飞机背后的工具和技术，还是希望了解数字化双胞胎和数据分析对于改变飞机开发流程所起到的作用，都可以随身携带此专刊。我们保证，即使您在飞机上阅读此专刊，也一定会乐在其中。 ■



期刊内容

Simcenter：数字化双胞胎会帮助我们踏上火星吗？	6-7
皮拉图斯 PC-24	8-13
皮拉图斯：数字化之旅访谈	14-17
西门子电动飞机项目	18-23
空客直升机	24-31
吉凯恩航宇福克起落架	32-35
阳光动力	36-39
SAACC 和 COMAC C919	40-43
巴西航空技术研究所	44-47
空客舱内舒适度	48-51
Orbital ATK 和 NASA	52-54
Joby Aviation	56-59
空客航天和防务以及 GAIA	60-63
专家解说	64-65
空客、罗尔斯罗伊斯和西门子：携手合作 E-Fan X	66

超音速飞机创新的无限可能...

如今，航空航天工程师似乎正在超越音速。纵观航空航天领域，从皮拉图斯 PC-24 超级多功能飞机到西门子电动飞机项目，一切都处于创新鼎盛时期。

这股创新浪潮势必不断推动技术进步，带来 CityAirbus 城市通勤展示机（图示）这样的无人驾驶验证机，以及在不久的未来即将飞向天空的空中客车 E-Fan X。如果谈论这种未来的交通方式为时过早，那么请至少跟上行业先驱的思想步伐。皮拉图斯 PC-24 的设计初衷是要用第一个生产模型重新定义私人飞机市场，而中国政府也已经准备紧随波音和空客进行 COMAC C919 的近期认证。

所以，航空和航天迷们，无论您是有幸体验了世界上第一架超音速协和式飞机的穿越大西洋的飞行，还是计划搭乘 2030 年的第一架电动民航飞机，抑或满怀激情地期待欧洲航天局 GAIA 天文望远镜在绘制宇宙地图方面的进展，都可以和我们一起领略如今航空航天世界的宏伟蓝图。

尽情寻梦吧！

- ✧ 皮拉图斯 - 第 8 页
- ✧ 西门子电动飞机 - 第 18 页
- ✧ COMAC C919 - 第 40 页
- ✧ 空客航空和防务 - 第 60 页







Simcenter

数字化双胞胎会帮助我们踏上火星吗？

2015 年 3 月 27 日，在哈萨克斯坦的拜科努尔航天发射基地，联盟号宇宙飞船发射成功，搭载 NASA 宇航员斯科特·凯利和俄罗斯联邦航天局航天员米哈伊尔·科尔尼延科进入国际空间站 (ISS)，开始为期一年的服役。他们的任务是什么呢？与所有其他 ISS 旅程一样收集科学数据，但这一次，他们还有另外一项任务，那就是担当科学研究的实验对象，检测长期太空旅行对于人体的影响。

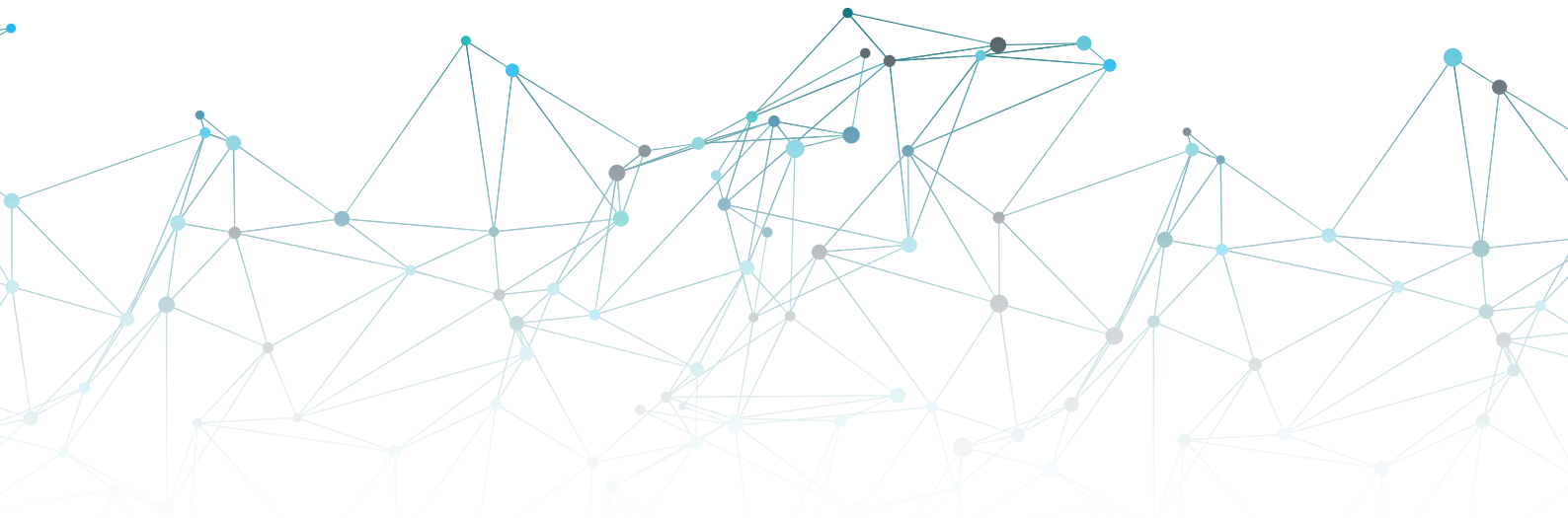
NASA 挑选凯利绝非偶然，这名宇航员之前已经参与过三项太空任务。然而这一次，他的参与还有另一项特殊意义：斯科特有一位孪生兄弟马克，他也是一名宇航员。这就让 NASA 拥有了一次特殊的机会，可以比较两个基因完全相同的个体：一个在太空里，另一个在地球上。NASA 双胞胎研究计划就这样应运而生。截至我们撰稿的时候，研究人员正打算公布研究结果。这些特殊研究结果会让我们的长期太空探索向前迈进一步，譬如 NASA 计划在 2030 年左右将人类带上火星。

然而，在人类进行下一步重要飞跃之前，凯利双胞胎兄弟并不会孤军作战。要实现这一全新的人类历史飞跃，各行各业都需要史无前例的技术改革，譬如全新的推进方法、更好的电讯系统、革新性的电子设备、超轻耐用结构和材料等等。在这众多创新中，有一项却是肯定不变的。这样满怀抱负的任务无论采用哪种宇宙飞船，都必须比如今的飞机更轻、能够在更长的时间内承受更多极限环境并且更加自动化。要满

足这样严苛的要求，传统的设计、验证和维护方法必须转向下一代模式：数字化双胞胎。

关于使用数字化双胞胎，最好的概括方式就是构建和维护大量超现实模型和数据，它们最好能通过实时仿真预测整个生命周期内的产品行为。这些模型根据不同应用情况分几种比例和实例构建，融合多个方面，包含最佳和物理描述，镜像真实产品寿命。当数字化双胞胎部署到完整范围时，它会跟踪影响产品运作的所有参数信息。其中包含初始设计和进一步的改进、与制造相关的偏差、修改、不确定性、更新，以及机载一体化车辆健康管理 (IVHM) 系统的传感器数据、维护历史记录和数据挖掘可以获取的所有历史数据和航空数据。

数字化双胞胎方法带来的好处将帮助我们克服目前面临的种种困难，带领我们踏上那颗红色星球。首先，它会帮助工程师在开发和制造过程中变得更加精确。超现实建模可以让工程师的设计公差更小、制造不确定性更轻微、产品使用的随机变化更少。这种方法还会导致重量大幅减轻、更有机会满足航天任务的燃料需求以及更精确地查看耐久性。最重要的是，一旦任务开始，数字化双胞胎将允许系统不断给设计团队发送反馈，这样工程师们就能评估性能和运行情况，确认所有工作都与计划一致，并在必要时采取纠正措施。最终，数字化双胞胎会让产品变得智能而自动化，具体途径包括启用自动修复机构，或是采用能够使任务配置自动适应载荷、性能和能耗的系统。对于登陆火星这样的任务，数字化双胞



胎更能极大提高成功几率。

➤ [siemens.com/simcenter](https://www.siemens.com/simcenter)

作为产品生命周期管理 (PLM) 和制造运营管理 (MOM) 解决方案的领导企业, Siemens PLM Software 帮助不同行业数以千计的公司实现创新, 包括帮助他们优化从规划、开发、加工和生产到产品使用生命周期结束这整个过程。将数字化双胞胎理念转换为实际解决方案基础架构, 本质上正迎合了这些任务。Siemens PLM Software 希望能够为工程师提供最为综合的先进解决方案集, 以此来构建和维护数字化双胞胎。

尽管我们仍然任重道远, 但数字化双胞胎概念已经在众多方面证明其价值所在。譬如好奇号火星探测车, 它就是通过 Siemens PLM Software 解算方案虚拟测试的, 可以在人为干涉之前执行数以百计的复杂步骤, 最终使得登陆“红色星球”安然无恙。如今, 我们发现数字化双胞胎过程在航空航天行业已经遍地开花, 希望您也能喜欢本期刊中登出的一些示例。尽管如此, 航空和航天制造商仍然希望在未来的几十年里, 新方法和新发展能够扩大数字化双胞胎的当前范围, 尤其是在真实建模、计算能力和强大的数据管理方面。

Siemens PLM Software 员工正在调整开发主力, 不断满足这一需求。我们新推出的 Simcenter™ 软件产品组合正是希望能够为工程师提供全面的前沿技术, 在整个开发周期辅助他们, 帮助他们更加高效、更加自信地实现复杂产品创新。使用 Simcenter 软件, 您可以在受管环境中集成 1D 仿真、3D 计算机辅助工程 (CAE)、控制、物理测试、可视化、多学科设计探索 and 数据分析。它广泛汲取并融合了众多闻名遐迩的产品经验, 譬如 Simcenter Testlab™ 软件、Simcenter Amesim (即之前的 LMS Imagine.Lab Amesim™ 软件)、Simcenter™ Nastran® 软件、Femap™ 软件、Simcenter STAR-CCM+™ 软件、HEEDS™ 软件等等。它以 Simcenter 3D 作为融合 NX CAE、LMS Virtual.Lab™ 软件和 LMS Samtech™ 软件的继承者。通过将 Simcenter 连接到 Teamcenter aits 及其底层数据管理系统, 西门子将有望打破设计和产品交货后寿命这两者间的壁垒。

这些就能将人类带上火星了吗? 不。这么说就抹杀了我们客户夜以继日的创新思考。但正如斯科特·凯利和马克·凯利为 NASA 双胞胎研究计划所作的贡献一样, Simcenter 数字化双胞胎很有可能提供完成此项任务所需的重要信息。 ■



瑞士打造的 超级多功能飞机



2010 年，皮拉图斯 PC-24 还不过是一纸空文。正如工程师们所说的那样，当时它只是一张白纸。2018 年 2 月，在短短的八年时间里，第一架 PC-24 飞机顺利通过欧洲航空安全局 (EASA) 和美国联邦航空管理局 (FAA) 认证，如期交付给第一位客户——美国分时租用飞机服务提供商 PlaneSense。

真正让 PC-24 独一无二的因素还有还多方面。当然，它享有皮拉图斯的美誉、随处着陆和短跑道起飞着陆性能，这些都是皮拉图斯的特性。

它还沿袭了皮拉图斯 PC-12 的成功经验，采用的货舱门尺寸足够乘客轻松打包所有行李，甚至包括摩托车。

与其粗犷的小兄弟、著名的 PC-6 和广泛使用的涡轮螺旋桨飞机 PC-12 不同的是，具有双发动机的 PC-24 为皮拉图斯家族喷气机增添了浓墨重彩的一笔：宽大、定制的机舱，轻型飞机的超长航程，能够在超过 20,000 个机场上着陆，包括未铺设的高空跑道。

但这些是怎么做到的呢？让我们一起与瑞士施坦斯市阿尔卑斯小镇的开发团队成员一起，探寻其中的奥秘。 ■

PC-24 的问世

如果你有机会与皮拉图斯 PC-24 的两位设计师尼古拉·巴诺莫和阿莱桑德罗·斯科蒂交流，令你印象最深刻的，一定是他们的热情，他们已经在这架飞机上花费了八年的时间。





由三百多位技术精湛的工程师组建的开发团队被任命设计皮拉图斯的下一代杰作 PC-24。我们采访了设计团队的两名成员尼古拉·巴诺莫和阿莱桑德罗·斯科蒂。巴诺莫是意大利籍载荷与动力学首席工程师，他于 1999 年入职，是皮拉图斯当时唯一的载荷工程师。如今，该团队已经有七名专家。“我研究的第一架飞机是 PC-21，随后是 PC-9、PC-7、PC-12 和现在的 PC-24。概括起来，这就是我的职业生涯。十九年。时光荏苒。”

斯科蒂来自意大利米兰，他是载荷和颤振方面的专家。八年前他加入皮拉图斯，开始 PC-21 颤振测试方面的载荷数据计算工作。他也加入了 PC-24 团队，协助巴诺莫开发气动弹性仿真模型，目的就是齐心协力设计 PC-24 这样复杂的飞机。

“起初我们开始设计 PC-24 的时候，曾经试图将 PC-12 的灵活性带入 PC-24 设计，”巴诺莫说。“我们知道客户想要一架飞得更快、更远的飞机，同时保留与皮拉图斯 PC-12 一样的特性，譬如货舱门、灵活的起飞和降落性能。我们当时就在设想，希望搭乘者能够在飞机尾部装入摩托车。当然，实现这一切也并非轻而易举之事。”

通向成功最明确的道路

与航空航天行业其他企业不同的是，皮拉图斯是私人公司，并不获取公共资助。所以巴诺莫、斯科蒂和他们的团队始终在寻求通向成功最明确的道路。队员们首先从概念设计阶段开始，然后转向初步设计，最后是细化设计。最初，团队只是使用原来的工具获得了计算数据的大致起点。

“将正确的数据用于测试的速度越快，开发过程中每个人的信心就会越大。这说起来是最轻松的任务，实际上也是最复杂的任务，”

阿莱桑德罗·斯科蒂
皮拉图斯载荷和颤振专家



版权：Pilatus Aircraft Ltd

装备了额外传感器并经过一系列认证之后，PC-24 飞机的首航情景，它身后就是强大的设计和支持团队。



版权：Piaggio Aircraft Ltd

数字化之旅访谈

数字化双胞胎的先驱布鲁诺·切尔维亚当之无愧，他是真正的历史见证者。起初，他担任空气动力学家和颤振专家，负责编写自己的模型分析代码，并使用传统的机翼测试方法。

如今，切尔维亚是皮拉图斯研发副总裁兼执行总裁 (DCEO)，他带领皮拉图斯 PC-24 团队大刀阔斧地进行了飞机开发过程改革。这让皮拉图斯成功创建了行业内的第一个精确数字化双胞胎，并将新开发的 PC-24 在历史最短时间内送上蓝天。

是什么让皮拉图斯如此不同寻常？

皮拉图斯的公司规模大小恰到好处。我们比小型 OEM 规模大，能够承担正确工具和流程所需的开支。同时，我们的规模也不是太大。起先，我们只有 800 名员工，如今我们有 2,000 名员工。有了这 2,000 名员工，我们可以将所有核心业务都留在瑞士施坦斯。我们具备研发、生产、客户服务、飞行测试和机场。这些形成了一个巨大的优势，我们可以和空客或者波音公司一样使用顶级工具，与此同时，我们所有学科之间的沟通过程非常简洁。我们具备多学科的人才。

几十年前，您就开始使用数字化双胞胎了，对吗？

32 年前，我从事 PC-12 的风洞测试工作，当时我们使用麦道公司的 Unigraphics，也就是 NX 的前身。那是我们首次尝试创建 PC-12 的数字化双胞胎。我们制作 PC-12 的 CAD 模型并使用网格来创建流体动力学计算，以此运行气动弹性模型。这可以称为数字化双胞胎的雏形。当时使用的都是基础工具，与如今的工具相比而言甚至有些原始。

这听起来就像一段奇妙的旅行。您如何解释如今的成就？

在皮拉图斯，我们经常说的就是：大处着眼。小处着手。我们最初就抱有宏伟的愿景，这些年很荣幸能够与现在归属西门子公司的这些工具并行开发我们的产品。平心而论，我们的主要合作最早就是与西门子公司进行的。西门子公司相信皮拉图斯是展开并行开发的理想企业。

你们的生产和开发是在同一场所进行的。这对数字化双胞胎进程有什么影响？

三十年前，我们开始数字化双胞胎的 CAD 和 CAM 两方面。这些数字化双胞胎工具从开始就卓有成效，这确实是我们成功的关键。

现在回想当初的情形，不禁觉得这真的是一段美好的经历。当然，那时的工具与计算空气动力学或气动弹性计算还没有关联，而是只与应力分析有些简单的关联。当时使用 Nastran 的时候，我们还不具备 CAD 模块的主要接口。

西门子深知掌握数字化双胞胎技术的重要性，因此开始从不同供应商收购工具，譬如有限元建模、气动弹性分析、起落装置的动态分析，并且最近还从 Mentor Graphics 收购了电子和电缆组件工具。

我们与西门子携手，砥砺前行。我们深切感受到了与西门子之间的合作。这种合作是长期的，是以信任和互惠为基础的。

显然，数字化双胞胎并非一蹴而就。可以分享一些关键的里程碑吗？

起先，我们的 3D 数字化双胞胎主要用于加工组件。随着时间的推移，我们将其应用到了更广泛的领域。当时很多 3D 曲面方面的功能都有待开发。这是我们能否从建模方面以及工装和加工方面以自由曲面形式高效使用 CAD 模型的关键步骤。

下一步就是引入 Fibersim 和其他现在同属数字化双胞胎产品中的复合材料。这样我们就能进行激光定位和正确的分层。我们可以因此增加复合材料的使用。这是一项巨大的优势。

在我们构建 PC-21 的时候，第一次将电缆融入数字化双胞胎。在那之前，我们只是绘制电路图，这是远远不够的。我们必须优化机身的线缆位置。我们开始探索这方面的数字化双胞胎，最终在 PC-24 中完全利用了 Mentor Graphics 解决方案的数字化双胞胎电缆功能。

可以分享一些测试方面的经验吗？

如果我没记错的话，30 年前我们在 PC-9 上运行了气动弹性颤振测试，随后是 PC-12。我编写了数据采集程序，所以在进行机体传统测试时，我很激动，希望看看加速计与绘图是否匹配，用于模态分析的模态基本都是我自己制作的。那确实很有趣，但千万别忘了，我们当时开发的是亚声速飞机，根本无法获得超音速认证。

PC-24 一定变化很大吧？

对于 PC-24，我们完全运用了 Simcenter Testlab 和 Simcenter 3D 解算方案。通过 GVT 数据，我们可以实现 Simcenter 有限元模型的完全相关性。对于超音速飞机，这是至关重要的。超音速有点淘气。它并非完全可预测。空气动力学的完全非线性行为、冲击波与边界层之间的交互作用、复杂的结构、模态分析：这一切都不允许出错。结构的气动弹性行为必须能够准确预测。

这一切为什么不同寻常呢？

使用 Simcenter Testlab 的主要优势在于，可以在飞行测试中实时执行模态分析。我们之前也尝试过，但当时只能单独查看每个加速计，然后将这些数据转换成频域中的真实时间，并在遥测室里查看图表。这更像艺术，而非科学。

到了 PC-24，得益于 Simcenter 软件和我们工程师的经验，我们可以执行实时的多重输入/多重输出分析。这不仅带来了快速的开发周期，更带来了安全的开发周期。可以设想，试飞、程序或者声誉出现问题意味着什么。企业第一次运行超音速范围程序时，这无疑巨大的风险。

试飞员对于新的测试过程观点如何？

实际上，试飞员也参与了这个过程。他们与工程师和相关专家一起合作。他们可以查看模型，查看甚至是感受模态形状和结构的弯曲。这给飞行测试团队带来了强大的信心。如果相关项目艰难而要求严格，这无疑是一



研发副总裁兼执行总裁布鲁诺·切尔维亚与适航性和服务总监 Othmar Ziörjen 一起，手持 PC-24 证书。



摄影：Phabus Aircraft Ltd

种积极体验。通常而言，飞行试验可以无间断、一致而无缝地进行。无需停下来分析数据。对于这种价值 5 亿瑞士法郎的项目，每一天的飞行试验都价值非凡，因为客户们都在期待着飞机就绪。

你们获得了欧洲航空安全局 (EASA) 和美国联邦航空局 (FAA) 的联合认证。测试结果对认证过程存在哪些影响？

对于任何新项目而言，最大的挑战莫过于认证。我们有几个竞争对手的认证过程拖延了好几年，这一点就足以证明认证的难度。认证过程必须验证原型并展示原型的合格性。换言之，认证飞机时，必须证明测试物品与想要认证的物品完全符合。我们必须证明当时飞行的 PC-24 与提交给认证机构的模型和图纸吻合，而认证机构会审查项目和所有飞行测试结果，才能授予我们认证。

数字化双胞胎在认证过程中起到了哪些作用？

如果要认证产品，必须确保数字化双胞胎 100% 的准确度。在这样复杂的环境中，任何元素都可能影响飞行测试的结果，因此需要准确的可预测性。

我们的数字化双胞胎不是梦。它不是深藏在工程部门、由一组令人讨厌的科学家运行的独立数字化双胞胎；不，我们的数字化双胞胎是与其背后设计和生产机构真正一对一的数字化双胞胎。每个人都称自己的模型为数字化双胞胎，但我更希望称之为“数字化表兄弟”。很多人都会将“数字化表兄弟”与数字化双胞胎混淆。

为什么需要 100% 的准确度呢？

这在整个过程中大有裨益。人们经常说，这个软件功能比另一个好，或者说这款软件更为用户友好。这只是最后 10% 的因素。最重要的 90% 在于设计和产品之间的完全吻合。而这绝非易事。

我们无形中给西门子带来了巨大的压力，要他们证明自己的产品并将物料清单 (BOM) 融入到数字化双胞胎过程中。这一切只许成功，不许失败。最欣慰的就是收到了 EASA 和 FAA 两家认证。只要认证机构相信我们的测试物品完全吻合，一切就轻松多了。

所以掌握物料清单很重要吗？

这是一项不可思议的艰巨任务。我们拥有全世界最好的西门子专家支持。我们以一种格外动态化的项目管理方式查看了数以千计的零件，考虑有多少次的原型更改是由于生产问题和飞行测试中实施的改进造成的。

Teamcenter 是否也发挥了作用？

皮拉图斯有两个支柱软件。一个是西门子公司的 Teamcenter，我们的生产界面。另一个是 SAP，用于物流和生产规划。

如今，我们的瓶颈就是管理大量数据和信息。单纯 PC-24 的物料清单数量就不可思议，它比 PC-12 的数量还要多四倍。我们需要花费一些时间来优化工具，这样才能运行更大的装配和更多的数据。

下一步的计划如何？

作为合作伙伴，我们要更多考虑大数据。PC-24 如今已在运行，产生的数据数量庞大。我必须管理这些数据并从飞机上实时收到反馈。飞机飞行时，我希望能够了解相关情况。我们要在整个生命周期中管理数字化双胞胎。

这项任务对于我们而言是一项重大的承诺。我们的客户群都在期待着产品性能。这是一种非同寻常的体验，我们已经收到了第一批客户正面反馈。

当然，我们还不得不将公司基础设施翻番。开发项目本身花费了超过 50 万瑞士法郎，而新生产基础设施花费了 2.5 亿。



“我们的数字化双胞胎是与其背后设计和生产机构真正一对一的数字化双胞胎。”

布鲁诺·切尔维亚
皮拉图斯研发副总裁
兼副执行总裁

我们不能冒险。

因此，对于西门子给予的帮助，我们深表感激。顺便说一句，在未来的很多年里，我们打算每年销售 50 架 PC-24 超级多功能飞机。 ■

埃尔朗根团队精神

专家预测，2030 年我们将可以有望搭乘混合动力飞机。随着一系列电动飞机项目的不断进展，西门子埃尔朗根团队已经研制出多种展示机管道推进系统，包括与空客和罗尔斯罗伊斯合作的空中客车 E-Fan X，当然还包括即将继续研发的 Extra 330LE 飞机。所以请系好安全带，电动飞机问世的速度比想象中快得多。





电气化代表势不可挡的创新，对于全球航空制造业而言都是一则令人兴奋的消息，尤其是对行业可持续发展、环保、噪声和污染方面。但也许最令人惊叹的还是时机问题。不到十年前，即 2011 年，世界上第一架混合动力飞机 DA36 eStar 首航。这架特别的飞机集成了德国埃尔朗根西门子驱动技术部开发的全新传动系统。

从德国埃尔朗根电动飞机项目迸发出的创新精神如今一直保持着破纪录的速度。在短短的三年时间里，年轻而热情的专家团队已经从电气概念阶段演进到开发真正可行的数字化双胞胎和双人座飞机 Extra 330LE 阶段。

Extra 330LE 重量约为 1,000 千克 (kg)，是全新电驱动系统的展示机和测试平台。由于它是特技飞机，因此特别适合考虑系统极限以测试和改进设计。目前，试飞需要大约 20 分钟，包括起飞、爬升和五分钟的全性能飞行。Extra 330LE 于 2016 年 7 月 4 日在德国丁斯拉肯市完成首航。它是历史上第一架以四分之一兆瓦性能级别飞行的电动飞机。这是一项意义重大的事件，为多个座椅的混合动力飞机发展铺平了道路。

电机重量仅为 50 kg，却能供应 260 千瓦的永久电力，是类似驱动系统的五倍。其底层技术为多个电动飞机合作伙伴提供了基础，包括空中客车和 E-Fan X。

电力驱动的魅力在于可扩展性。
 西门子立志到 2030 年研制出第一架可以搭乘 100 名乘客、里程可以达到大约 1,000 公里的混合动力飞机。 ■



Siemens AG

德国埃尔朗根西门子电动飞机团队的幕后故事

2018年1月初，我们在德国埃尔朗根西门子园区32号楼组建了数字化双胞胎开发团队。经过门卫安检之后，沿着街道步行一会儿，穿过一片非常令人喜爱的池塘，就可以来到西门子电动飞机项目中心。

众所周知，Simcenter 在西门子助力的 Extra 330LE 成功案例中起着至关重要的作用。但是关键问题是，它到底是如何起作用的？概括而言，工程师创建精确的数字化双胞胎，这样他们就可以在现实构建之前通过虚拟世界设计所有对象。但是 Simcenter 的魅力在于，从工程设计角度而言，它

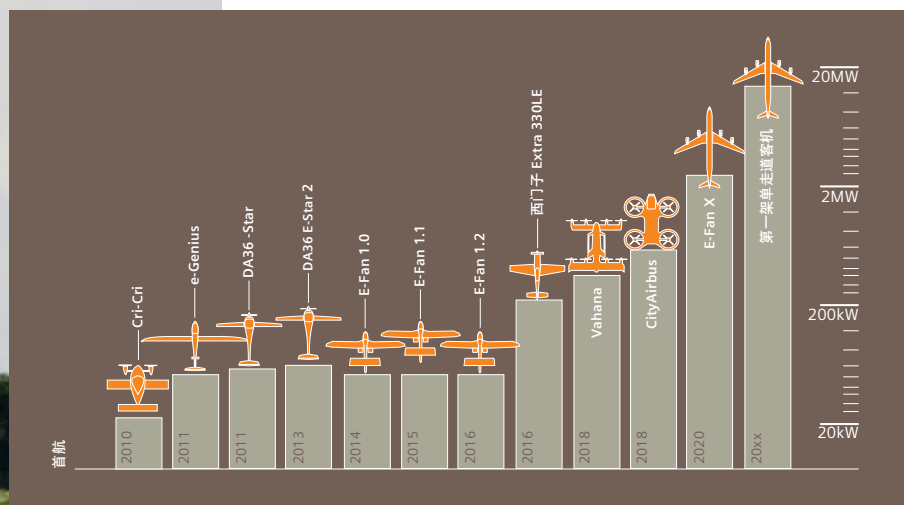
应有尽有。

“设置非常特别，因为所有软件都是互联的，”西门子电动飞机团队的工程师 Toni Amende 阐述道。“所以，我们可以从保存数据的 Teamcenter 转至 NX CAD 应用模块，然后再从这个应用模块转至 CAE，也就是我们进行热仿真的模块。在这个应用模块，我们还可以实现与 Simcenter STAR-CCM+ 的双向访问。这让我们在处理大型模型时，可以使用更多的 CFD 功能、对所有系统进行仿真，并且还能获得更准确的详细信息。”

尽管如今团队更多地是在关注细节信息，但项目刚开始的时候，Simcenter 是一项关键工具，尤其适合处理西门子电动飞机所需的总重减轻问题。在开发早期，团队使用 Simcenter 中的拓扑优化工具来研究哪种类型的结构最为理想。

西门子电动飞机总工程师 Gunar Reinicke 博士解释道，“我们一直热衷于使用最轻的组件来满足我们的需求。Simcenter 是详细开发、研究和理解产品以及按时交付产品的不二之选。”

团队改革过程的另一方面是使用 Simcenter Amesim 软件这一独特的建模和分析多域系统工具套件进行系统架构工程设计。使用包含预定义的不同物理域组件在内的一系列库，系统架构师



各种电动飞机不仅在大小方面持续不断演进，同时在功率方面也在不断进步，而这一切都是在极短的时间内实现的。

可以对 Extra 330LE 中的机械系统性能进行建模、分析和预测。

“我需要了解很多不同的架构和配置。为此，我必须能够迅速重新安排模型。如果使用我们之前采用的内部代码和 3D 仿真工具，这需要花费好几周的时间；而采用 Simcenter Amesim，我们能在几天之内完成，”西门子电动飞机团队系统架构师 Marcus Sons 阐述道。

如今，团队在使用 1D 解算方案 Simcenter Amesim 分别对 Simcenter Amesim 中每个物理组件周围的组件进行仿真，以此测试每个组件。

“所以，我们执行了硬件在环和软件在环测试。我们只需要准备一个物理组件即可，其余都交给 Simcenter Amesim。对我而言，1D 仿真主要就是关于速度和灵活性这两方面，”Sons 补充道。

团队开始最终测试和飞行认证时，Simcenter 产品组合中的行业标准测试解算方案会帮助确认和验证西门子电动飞机。这项挑战尤为困难，因为尽管几个世纪以来，人们已经确定了飞机测试程序，但对于电动飞机并非如此。由于认证标准尚未最终确立，因此恰当的测试工具就显得尤为重要。

“Simcenter SCADAS XS 很不错，它既小又轻。我们只要考虑将传感器放入机

架即可，”集成项目经理安东·迪尔切说道。Simcenter SCADAS XS 几乎可以放置在任何地方。将此软件与 Simcenter Testlab 系统组合起来，就能够在飞行之后立即迅速地查看测试数据，从而确保数据正确、完好。同时，这也是一款非常强大的工具，我们在回到办公室以后，仍然可以用其进行详细分析。”

“这就是真正的秘密所在。只有在一致的环境中同时对决定此类机械设计的所有效应进行仿真，才能向前迈出一大步。Simcenter 就是这样帮我们实现了飞跃，”西门子电动飞机总负责人弗兰克·安东总结说。 ■



航空世界正在电动化

西门子为何会涉足 电动飞机项目？

安东博士：起先，我在 2010 年左右第一次与空客前 CEO 吉恩·鲍迪讨论了这个问题。我们都觉得电力推进系统可行。最先尝试的是非常小型的试飞：仅 60 千瓦的电动滑翔机。我们从中发现了比预期更大的潜力。如今，西门子、空客和罗尔斯罗伊斯公司已经开始更大的合作项目 E-Fan X，希望到 2020 年能够使用更强大的支线飞机机载两兆瓦发电机。

西门子电动飞机对于航空 新概念有哪些影响？

Leuridan 博士：西门子电动飞机实际上非常具有革新性。这种飞机会演进到不同结构，譬如混合机翼结构和更为分布式的推进系统。从新技术角度而言，这也会推动集成在飞机中的各种系统。从生产角度而言，增材制造和新材料也会有所进步，譬如组件。新式飞机设计还会利用互联功能，例如物联网和云计算。这可以在飞机服役时优化生命周期管理。这些信息也会用于下一阶段的开发。

电力推进系统面临 哪些调整？

安东博士：面临着两大挑战。第一项挑战是，功率密度必须

比普通传动系统高一个数量级。例如，一千克的机械重量通常需要一千瓦，但是对于电力推进系统，我们需要考虑 10 千瓦，甚至更高。这是第一大挑战。第二大挑战是认证。飞机制造业需要保证绝对的安全。所有子系统和组件都必须经过认证。这就是我们面临的第二大，也许是最大的挑战。

从工程师的角度出发， 还需要哪些努力？

Leuridan 博士：显然，我们还需要进一步将系统工程集成到设计过程。通过将系统工程融入产品生命周期，我们可以提供从需求到功能分析和逻辑系统设计的端到端可跟踪性。这对于遵照安全性标准而言，同样至关重要。

西门子电动飞机的成功秘诀是什么？

安东博士：经常有人问我这个问题：这架飞机有什么秘诀？是否使用了最佳材料？是的，我们当然使用了目前最好的材料。我们还使用了最好的技术。最重要的是，我们对电力传动的所有效应都进行了仿真，包括机械、电力电子系统、磁效应、应力-应变平衡、冷却，也就是 Simcenter 环境中同时存在的所有对象。这是众所周知的秘密。

绝大部分的设计工作都在数字化双胞胎上进行，而非物理原

型之上，对吗？

安东博士：数字化双胞胎也一直在变化。工程师想到更好的创意时，我们会在数字化双胞胎上测试这些创意，看看它们是不是真的够好。

最后，我们有了最终的数字化双胞胎和真实的原型，这里就是西门子电动飞机。从这一点而言，开发工作是并行的。我们使用 Simcenter 产品组合来准备数字化双胞胎和物理测试阶段。

随着行业转向仿真，
测试会怎样？

Leuridan 博士：显而易见，在完成详尽的认证过程之前，飞机绝不会启航。在这一过程中，测试将继续扮演重要角色。在 Simcenter 产品组合中，我们的一部分解算方案已经在业界广泛用于认证，譬如地面振动测试 (GVT) 和颤振测试。

当然，西门子电动飞机的飞行噪声要另当别论，它是行业目前的一大挑战。我们一直在与安东博士的团队一起合作；我觉得我们已经对电动飞机进行了世界上第一次飞行噪声测量。

西门子电动飞机何时才会真正实现民用，
可行的目的地是哪儿呢？

安东博士：我们和空客公司的愿景规划是，截至 2030 年混合动力飞机将搭载 100 到 150 名乘客进行短途飞行，大致距离为 500 到 600 公里，或者甚至达到 1,000 公里。这项发展非常迅速。

我个人的设想是，在我的有生之年，买一张纽伦堡到巴黎的混合动力飞机机票。我会和其他 50 名购票的乘客目的一样，只是体验一下混合动力飞机从一个城市到另一个城市，并确认这一切再正常不过了。■



“最重要的是，我们对所有效应都进行了仿真，在同一个 *Simcenter* 环境中同时仿真所有对象。这是众所周知的秘密。”

弗兰克·安东博士
Siemens AG 电动飞机总负责人



缩短上市时间

空客直升机使用 Simcenter Amesim 和 Simcenter 工程设计实现从组件和系统设计到实时仿真

1993 年，空客、莱昂纳多直升机和福克飞机结构公司的合资企业 NHIndustries 开始设计重型军用直升机 NH90。十三年后，此机型开始服役。如今，竞争如此激烈以致直升机制造商通常只有不到四年的时间来开发最复杂的机型。

技术进步的步伐大幅扩大。因此，制造商在设计不断复杂化的系统时，必须做出正确的选择。他们必须在整个设计周期中通过应用协同式建模方法尽早开发过程中验证系统集成。

此外，旋翼飞机制造商还必须向客户提供可靠的飞行员培训方案。但是，飞行模拟器往往必须在生产出第一架直升机之前提供。D 级全飞行模拟器 (FFS) 是当前标准模拟器，配有综合高保真空气动力学和系统建模功能，其需求不断增强，尤其是对最近的空客直升机 H160 这款中型双引擎直升机。

仿真投入

空客直升机作为空客集团的一部分，是欧洲完全整合的航空领导企业，以其高性能、高性价比、安全舒适的直升机闻名，譬如 H160。

为保持领先地位，企业在开发周期中投入了虚拟测试来满足多方需求，例如快速原型、桌面仿真、实时人机闭环仿真、试验装置开发和培训解决方案。空客直升机的仿真策略规定，如果可行，要为 V 循环中的每个组件使用专门的模型。为了将这种仿真方法应用到物理系统建模，空客直升机需要一种高度可预测的工具，这种工具应能轻松将模型集成到实时环境中。公司在 Siemens PLM Software 的 Simcenter Amesim 软件中找到了这样的工具。

降低液压系统原型成本

空客直升机自 2007 年以来就开始使用 Simcenter Amesim 进行液压和空调系统仿真。2009 年，公司将 Simcenter

Amesim 的使用延伸到了热压组件和系统建模。

在采用 Simcenter Amesim 之前，空客直升机的液压和飞行控制部门专家只能获得液压系统的准静态表示。绝大部分参数只能在原型测试阶段决定。此外，液压模型与更广泛的协同仿真环境无法兼容。为了在实时仿真中考虑液压回路行为，空客直升机之前使用液压专家为供应商准备的参数规格构建了另一个模型。但是，这些仿真不具备预测性，并且需要液压工程师的介入。使用 Simcenter Amesim 软件，液压设计工程师可以从准静态转向动态世界。现在，他们不仅可以对液压系统和子系统建模，譬如泵、传动机构和燃料箱，还可以在与热、机械或电气系统交互时使用相同的模型获得系统行为认知。

“通过使用 Simcenter Amesim 进行液压系统设计，我们预计可以将优化时间减少三分之一，将原型成本减少四分之一，”空客直升机研发中心液压和飞行控制部门的前分析和仿真专家蒂鲍特·马杰尔说。“我们制造的第一个原型是为了调整 Simcenter Amesim 模型。系统优化是通过虚拟方式进行的。这推进了新原型的创建，让我们非常接近优化性能。”

提供顶尖服务

Siemens PLM Software 还帮助空客直升机找到了执行实时仿真的解算方案，此方案支持系统工程、试验装置和全飞行模拟器设计。

Simcenter 工程和咨询服务人员运用其开发方法经验，为空客直升机提供了最佳支持，将 Simcenter Amesim 中构建的液压回路工厂模型转换成实时兼容模型。这些模型随后用于空客直升机的专用实时仿真平台，进行空客直升机 H175 的研发。

首先，Simcenter 工程和咨询服务人员分析了现有液压模型所需的计

算机处理单元 (CPU) 时间，帮助空客直升机优化其模型，考虑潜在的功能障碍，譬如损坏的液压泵、传动机构泄漏或无意的备用泵启动。随后，公司使用专用模型，以便理解多种情况下系统的热动力行为。最后，简化模型，只保留与实时、固定步长求解频率兼容的现象。

借助于几个标准 Simcenter Amesim 库、功能和工具，此项目变得切实可行。其中包括 Simcenter Amesim 液压库、Simcenter Amesim 液压组件设计库、Simcenter Amesim 信号控制库和 Simcenter Amesim 机械库，以及超级组件功能、活动索引、线性分析和性能分析工具。

飞行测试时间减半

在成功使用 Simcenter Amesim 液压系统设计和验证之后，公司决定启动基准测试项目，试图将此仿真方法扩展到燃料系统。燃料系统与 H160 的集成主要在密集的试验装置阶段和飞行测试中通过验证。即使 H160 当时已经接近服务阶段，此试验项目的目标仍然是验证此仿真方法以供未来直升机模型使用，并使空客直升机的燃料系统测试周期减少二分之一。

此外，设计过程还存在改进空间：之前，除燃料专家开发的物理模型以外，集成专家还开发了实时模型，从而为燃料系统相对其它组件的目测行为提供输入。倘若不是两个小组之间不断协同合作，就很难高效解决复杂的工程挑战，譬如阀门和管道尺寸、复杂形状的油箱设计、依赖于直升机姿势和加速度的燃料输送分析，以及取决于温度或压力之类

“作为飞行测试工程师，我需要向设计部门提供信息，这样才能调整仿真模型并不断改进工作方式，”空客直升机飞行测试工程师 Nicolas Certain 说。“仿真不仅可以缩短测试周期，还可以让我们更多关注与飞行性能相关的重要问题。”

“Simcenter Amesim 允许集成专家轻松创建易于理解、可以在公司内部共享的模型，”空客直升机仿真和工具负责人弗朗克·尼古拉斯解释说。“我们可以根据分析目标调整专用模型，用于系统设计、控制验证、模拟器和试验装置。”

适应客户需要

这个基准测试项目让空客直升机能够构建预测模型，根据仿真和测试比较结果进行验证。

“这种新方法目前已经在设计阶段用于创新性概念，帮助我们将燃料系统设计阶段缩短 12 个月，将集成阶段缩短 9 个月，”尼古拉斯阐述道。“为了定义分布式实时方法来实现所需的性能，我们与 Simcenter 工程和咨询服务团队一起合作了三个月，燃料仿真专家坚信应该将此方法延伸到所有实时燃料模型。”

此项目让空客直升机找到了改进仿真过程的新机会。由于相同模型会在设计周期中重用并优化，开发专家现在不仅关注系统性能，还会关注与其他系统的交互方式。

这让他们可以评估不同情况和模态下的系统性能，并在集成到直升机之前预测系统的意外行为。

“能够预测问题是成本和风险缩减的重要来源，”工程理事会仿真部门的仿真专家尼古拉斯·达米亚尼说。“此方法让我们可以掌控开发周期和交货时间，并减少此类项目经常面临的与燃料开发和集成活动相关的风险。”

空客直升机正在研究此过程扩展到其他系统的可能性，并且这种方法已经吸引了其他空客机构。

“使用 Simcenter Amesim，只是更大范围基于模型和仿真系统工程方法的一部分，目的在于尽早设计周期中检测参数规格和设计错误，”空客直升机基于模型系统工程 (MBSE) 方法和工具流负责人 Pascal Paper 说。“基于模型系统工程是空客不同机构之间进行需求验证、知识资本化和多学科协同的主要促成者。” ■

“Simcenter Amesim 允许集成专家轻松创建易于理解、可以在公司内部共享的模型。”

弗朗克·尼古拉斯
空客直升机仿真和工具负责人

环境因素的物理液体特性分析。

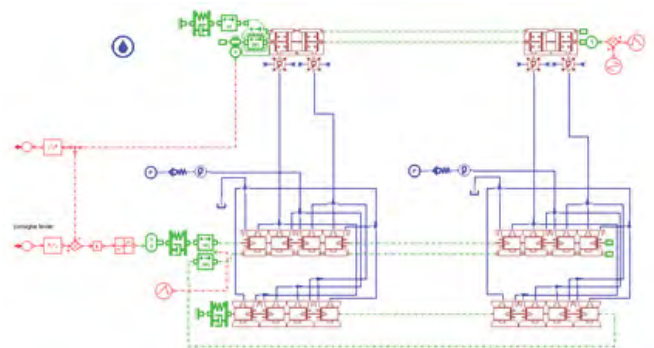
验证燃油表的位置以精确预测每个油箱中剩余的燃料（经过各种不同飞行任务类型以及直升机姿势之后），这一点至关重要，同时也便于燃料系统与航空电子设备的集成，因而能够在剩余飞行任务过程中向机组人员提供可靠的信息。

“使用 Simcenter Amesim 的热、液压、机械和燃料设备功能，可以创建模型，从而准确预测燃料系统行为，”空客直升机的仿真工程师 Stéphane Amerio 说。“对真实测试平台执行这种分析将会产生高额成本和风险。”



Copyright Airbus Helicopters

试验项目的目标是在 H160 中验证仿真方法，以使未来直升机模型的燃料系统测试周期减少二分之一。



Simcenter Amesim 让空客直升机可以分析详细瞬态液压传动机构行为。

数字化双胞胎之路

法国马里尼亚纳空客直升机研发中心仿真部门的仿真与运行分析专家尼古拉斯·达米亚尼已经在数字化行业工作超过 28 年。如今，他在空客直升机做研发支持工作。今年早些时候，他曾经谈论了不断变化的仿真世界，以及空客直升机为何致力于发展数字化双胞胎，或是业界专家的习惯叫法“虚拟铁鸟”。



尼古拉斯，如今您在空客直升机的职责是什么？

作为数字化和仿真方面的专家，我的职责比较多。我需要密切注意各项标准和总体仿真架构。我还会在不同项目团队需要帮助的时候提供支持，以及为将来的仿真技术做一些准备工作。总的说来，我需要确保整体仿真工作可以收获成功的产品，也就是按时、按成本预算、按质量要求交付我们的直升机。

仿真作用在空客直升机有哪些变化？

我有幸亲眼目睹了过去 28 年仿真领域的变革。从最初简单的问题解决和故障排除项目工作，到使用 Simcenter Amesim 带来的突破性模型开发，可以说，我见证了仿真领域一点一滴的演进。几十年前，仿真主要用于人机界面和一些研究的 V 循环上半段。

如今，可靠的仿真策略和模型架构已经成形，仿真在产品开发中起到了举足轻重的作用。我们的仿真产品如今已成为执行确认和认证活动的测试方式。它还不够完美，但仍在不断完善中。

仿真为什么会如此举足轻重呢？

模拟直升机行为是一项格外复杂的任务。随着嵌入软件和相关利益方数量的增长，包括供应商的大幅增加，这项任务更为复杂。尽管如此，随着特定系统和子系统模型的不断成熟，仿真架构仍在逐步发展。

与其他公司一样，空客直升机不仅使用仿真解决开发问题，而且仿真还在确保按时、按成本预算交付产品方面起到了至关重要的作用。在我们这个行业，缩短开发周期并尽早检测到设计不一致问题，是决定成功与否的关键因素。仿真恰好满足了我们对于上市时间和设计成本的要求。

在您看来，贵公司的模型成熟度如何？

我们的仿真模型从总体看来，可以说非常精确。当然，在总体构架上，某些方面也比其他企业更为成熟。说到我们的仿真模型，人们可能会忘记，它其实是包含了 400 到 500 个单独模型、实时在验证环境中协作的庞大复杂模型。

这里需要的计算能力一定非常巨大。

我们很幸运，计算世界越来越迅速，也越来越节约成本。在我们运行全模拟时，使用了大约 24 个 CPU。虽然没有用完我们所有的容量，但也基本差不多了。

如今，空客直升机最显著的趋势是什么？

随着仿真模型精度的不断提高，我们真正踏上了仿真世界的预测性工程之路。如果仔细查看我们这个由 400 到 500 个单独验证过的模型组成的大尺寸模型，就会发现它真的是系统之中套着系统。设想一下这样的模型起初需要的所有原始代码。这真的堪称巨大无边。所有原始代码都已经验证。它们嵌套在模型里，无需审核。毋庸置疑，它们就是精确的。

空客直升机的下一项挑战就是要在仿真环境中执行联合开发，逐渐用虚拟验证替代物理验证，而这一切都寄托在仿真之上。

有没有什么特定领域是你们重点关注的？

当然，和其他企业一样，我们格外关注燃料效率。在我们的开发过程中，通过使用 Simcenter Amesim，我们可以在液压、燃料和电气子系统的建模过程中尽早考虑这个问题。例如，实际模型物理场无论是在压力还是泵动机构中，都会在 Simcenter Amesim 中验证。在整个过程中尽早进行此类验证，就可以通过仿真预测性地回答燃料效率这样更大的问题。我们通过 Simcenter Amesim 和 Simcenter 工程设计周期开发的燃料效率系统解算方案已经开花结果。

此模型还用于哪些方面？

我们的模型对于确认我们称之为 Helicopter Zero 的原型质量，有着重要作用。在首航之前，我们已经开始用它进行供应链验证。我们的供应商越来越多地参与其中，使用验证过的模型创建适用于工作的部件和组件。

未来五年，您会重点关注哪些方面？



空客直升机研发中心仿真部门的
仿真与运行分析专家尼古拉斯·达
米亚尼。

考虑到直升机研发的无比复杂性，我的工作确实任重道远。也许还会有很多意外或者错误发生。如今，飞机不可能在不经过仿真的情况下飞行，这种仿真贯穿于建模阶段、人机闭环阶段、原型制作阶段、验证阶段、飞行模拟和培训阶段。仿真对于整个开发链至关重要；未来几年里，我最大的顾虑就是在更多工程师大步跨入直升机设计的新型数字化方式过程中，为他们提供支持。

最典型的仿真应用就是众所周知的飞行模拟器。两者之间有关联吗？

经过这么多年的时间，令人惊讶的是，答案是肯定的。最近几年，由于模型或工具共享受限，工程仿真和培训仿真之间的仿真世界被隔断。总体说来，培训仿真（譬如飞行模拟器）是通过重用一小部分的工程仿真在直升机认证之后进行的（尽管客户希望在收到第一架直升机之前就安排培训）。如今，同样的仿真产品不断从初始设计阶段完善到认证阶段。任何时候，我们都可以从工程仿真产品中派生培训仿真产品（与直升机交货不存在冲突）。

这个问题可能比较难回答：

最终会有真正虚拟的测试基准吗？

目前，我们格外关注虚拟测试。如果我们之前对于 Helicopter Zero 和物理铁鸟的工作方式，就会发现一切已经大不相同！如今，测试的重心在于 Helicopter Zero，以后就会是仿真。使用实时验证模型和虚拟铁鸟 (VIB) 解决方案，我们当然可以单纯在虚拟世界里对直升机进行极为准确的工程设计。

未来的直升机航空业会是什么样的？

大量的技术，但是作为这方面的专家，我们有义务做出正确的选择。这方面的技术很多，专家们需要谨慎做出正确选择，特别是在智能技术和人工智能方面。

智能技术的其中一个方面就在于人工智能，机器真的会自我学习。我们不能掉以轻心。开弓没有回头箭。 ■

“我们通过 Simcenter Amesim 和 Simcenter 工程设计开发的燃料效率系统解算方案已经开花结果。”

尼古拉斯·达米亚尼

所以，开发模型可以轻松关联至最终产品或飞行模拟器。换言之，数字化双胞胎可以由其他应用途径循环利用？

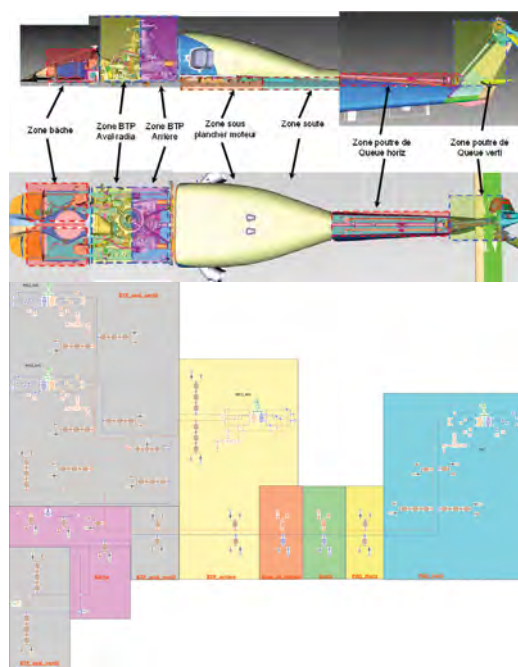
仿真的魅力在于，它可以与各种其他类型的仿真融合。只要有代码就可以。这意味着虚拟飞行模拟器以及人机闭环开发可以实际关联到任何应用场景。这可能会影响飞行测试、维护计划之类协同仿真，甚至是其他内部开发程序。存在无限可能。

Simcenter 平台为空客直升机的大量关键工程设计过程提供支持，帮助工程师从组件级别到系统集成验证进行热和结构方面的评估。例如，从初始直升机开发程序到服役运作的整个生命周期中，动力学和振动分析都是一大挑战。从舒适度和安全性两方面而言，空客直升机依赖 Simcenter 仿真和测试产品组合中的多种产品来开发精确数字化双胞胎。例如，使用 Simcenter 3D 软件包和专门的 Simcenter Testlab 和 Simcenter SCADAS 解算方案，专家们可以评估传动系统中的精确载荷、执行预测性有限元模型、评估飞行中的结构和声学性能，以及执行地面振动测试来收集模型相关性方面的数据。将来，数字化双胞胎甚至可以通过飞行运作中捕获的数据分析进一步扩充。

Copyright Airbus Helicopters



法国马里尼亚纳空客直升机研发中心的空中客车 H160 虚拟铁鸟测试设施。





降低重量而不影响性能

吉凯恩航宇福克起落架公司运用
Simcenter 设计安全可靠的起落架

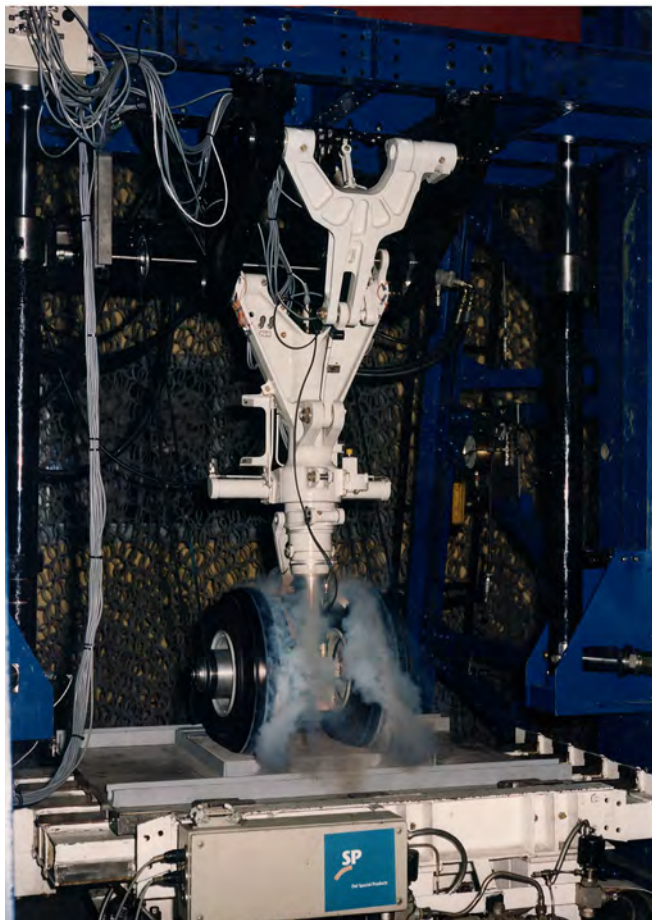


搭载巨大的“机械鸟”飞行，是人类历史上的一大壮举。当我们说到飞机时，人们往往会想到机翼、发动机、机身或者机尾。鸟儿如果没有强壮的双腿就无法安全接触地面，飞机也一样，牢固而可靠的起落架是它不可或缺的一部分。起落架设计可以有多种不同的形状和尺寸。由于特定配置选择会在很大程度上影响整个飞机的众多总体行为，起落架必须与结构其他部分一同设计。

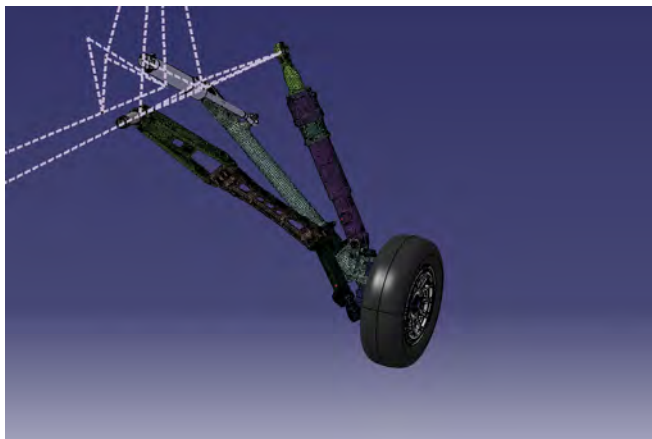
起落系统的主要用途在于通过吸收和消散动能，减少冲击载荷。但是飞机在停机坪上滑行的时候，起落系统还必须提供减震悬挂以及转弯操纵和刹车装置。绝大部分起落架系

统，尤其对于速度较快的飞机而言，都是可收放的，这样就可以在飞行中减少气动阻力。但这种起落架往往更重，甚至可能达到飞机总重的 3%。尤其对于军用起落架而言，设计工程师必须确保总重符合飞机接口规定的体积限制。

降低重量和体积而不影响操作性能和安全性，这着实是一大难题。起落架的开发不能延缓飞机的总体设计，因此制造商们都希望能够找到一种解决方案，帮助他们在最短的时间内研究尽可能多的备选方案。



起落架跌落试验。



起落架的多体仿真。

超过 30 年的历程

对于向航空原始设备制造商 (OEM) 提供安全、可靠的起落架，荷兰赫尔蒙德的吉凯恩航空福克起落架公司工程师们深谙其道。在过去超过 30 年的时间里，专家们掌握了设计、开发和生产，以及维护和修理直升机和飞机起落架系统的技术。吉凯恩起落架通过定制设计、优化开发过程、严苛的认证标准、先进的生产技术、维护、维修和运营 (MRO) 功能为客户创造了卓越的价值。他们目前从事的项目涉及很多赫赫有名的飞机，譬如洛克希德·马丁 F-35 闪电 II 联合攻击机这样的军用飞机和波音阿帕奇 AH-64 直升机。吉凯恩起落架目前正在大力研发 (R&D)，希望能够尽快推出用于起落架的第一种承载负荷的复合材料零件。

动力学工程开发专家伯特·费尔贝克博士和吉凯恩起落架商务总监古斯·可斯特尔一起携手合作了很多年。在很多情况下，他们都体会到了经验对于 OEM 在选择可靠合作伙伴方面发挥的重要作用。但在过去的十年里，他们也感受到了时间和预算压力的激增，行业计划也愈发紧迫。这些趋势都在很大程度上影响了产品设计。“与消费品不同的是，起落架销售不会规模庞大，”可斯特尔说。“因此，我们在开发方面花费的时间和预算对于商业成功与否有着重大影响。根本就没什么尝试和出错的空间。”

可信度提高和 30% 的时间收益

提供强大的软件工具和高效的仿真解算方案是 Siemens PLM Software 的核心业务目标。很多年以来，Simcenter 产品组合中的软件解算方案都一直是吉凯恩起落架标准开发过程的一份子。其中包括用于 3D 多体动力学分析的 LMS Virtual.Lab™ Motion 软件（现在属于 Simcenter 3D 软件）、用于 1D 多物理场仿真的 LMS Imagine.Lab Amesim 软件（现在称为 Simcenter Amesim）。

费尔贝克是吉凯恩起落架和西门子成功展开协同以来的第一批工程师之一。“之前我们的 3D 多体机构仿真软件包不太一样，我们需要将大量阻尼模型的用户编程与其他系统结合起来，”他说。“这个过程非常耗时，而且容易出错。另外，向团队新成员传授相关知识也很麻烦，而这一切现在都可以通过 Simcenter Amesim 改善。我们需要的是更加专业、简化的流程。这不仅让我们的工作更加容易，而且还提高了我们的可信度以及与行业合作伙伴协同的能力。”

Simcenter 3D 和 Simcenter Amesim 在航空市场反响激烈，市场接受度在产品选择方面肯定是非常重要的评判标准。“由于起落架开发需要与结构其他部分并行，我们必须能够与合作伙伴高效交换信息和创意，”费尔贝克说道。“我们的客户向我们提供计算地面和接口载荷所需的信息，我们为他们提供模型来优化全飞行模拟。如果我们在相似的平台，或者至少相互之间可以进行良好沟通的软件包上工作，这一切就会容易得多。此外，当我们在项目过程中碰面进行创意或初步结

果交流时，如果我们可以向他们展示我们正在使用高知名度的专业解算方案、以他们熟悉的格式呈现数据，这样就能提高我们的可信度。”

部署一种新的解算方案并不容易。用户需要接受培训并花费精力来熟悉新的图形用户界面 (GUI)、创建新一批的模型，并使用验证过的组件构建数据库。“Siemens PLM Software 的专业支持人员帮助我们了解如何在日常工作中使用相关软件，”费尔贝克斯解释说。“此外，我们还与他们的研发团队一起进行了一些小项目，以此提高特定零件的建模精度。”

在这种全新的软件环境中，与 Siemens PLM Software 工程师的高效协同取得了令人惊叹的时间收益。“如果拿现在使用 Simcenter 的流程与之前的流程对比，我们可以肯定节省的时间高达 30%”，“费尔贝克斯确认说。”“我们可以使用这些时间进一步验证和改进模型中的物理参数并进行更多仿真。对于大部分重要起落架配置，我们都在研究参数化 3D 模型；对

虑到我们大约有三到四个截然不同的 3D 布局可以分别组合到几个减震器模型，我的粗略估计是，实现自动化之后，我们可以同时研究大约 15 到 20 个设计布局，”他说道。 ■

“如果拿现在使用 *Simcenter* 的流程与之前的流程对比，我们可以肯定节省的时间高达 30%。”

伯特·费尔贝克斯博士
吉凯恩起落架动力学工程开发专家

于减震器和轮胎，我们也在研究参数化 1D 库。”

自动化优化过程

目前，工程师们安装了整个仿真程序，该程序运行顺畅，包括各种不同软件之间的接口以及参数化模型和性能、重量、成本的优化循环。如今，公司想要跨上新的台阶，使整个过程自动化。为此，他们再一次与 Siemens PLM Software 展开合作。“首先，我们进一步扩展并改进了零件库，”费尔贝克斯说。“我们为减震器创建了更多 1D 模型，以及 3D 多体模型和计算机辅助设计 (CAD) 零件。我们还探索了一些新的摆振系统建模选项。其次，我们打算编写新的脚本，在整个仿真过程运行中无需用户交互。这是我们与 Siemens PLM Software 专家正在合作的另一个项目。”

工程师们坚信，这项额外工作会进一步大幅提高工作效率。“将原有过程转移到专业软件环境，我们已经节省了大约 30% 的时间，但我们希望从这种自动化中收获更多，”费尔贝克斯说。“在目前的过程中，我们实际仍然只评估预先选择的一种配置，因为我们没有时间构建更多配置。这就意味着，我们仍然需要大量依赖直觉和经验。相信自动化脚本就绪之后，这种情况一定会改变。”可斯特尔也对这种结果充满信心。“考

未来的飞机能源

1999 年 3 月 21 日，埃及沙漠一角。伯特兰·皮卡德刚刚成功驾驶百年灵热气球 3 号完成环球飞行。但他知道，自己还要走得更远。下一次，他决定不用燃料飞行。这也是“阳光动力”的设计初衷。



如今，大部分人都知道 2016 年 7 月 26 日在阿布扎比结束的飞行壮举。“阳光动力 2 号”在超过 40,000 公里的飞行，历经 16 次停站后打破了 8 项世界纪录，与它的飞行员皮卡德和安德烈·博尔施伯格一起创造了新的航空历史。他们也改变了人们对于未来飞机能源的认知。

驾驶 Simcenter 产品组合设计的 太阳能飞机环游世界

对于不了解这段故事的人，让我们一起来回顾一下：“阳光动力”是一个太阳能飞机项目，创始人是曾经协助驾乘热气球第一次实现不停站环球飞行的瑞士精神病学家兼热气球驾驶员皮卡德和瑞士工程师兼企业家博尔施伯格。这个项目的目标是驾驶纯太阳能固定机翼飞机环航世界。这次飞行于 2015 年 3 月 9 日在阿布扎比启航。

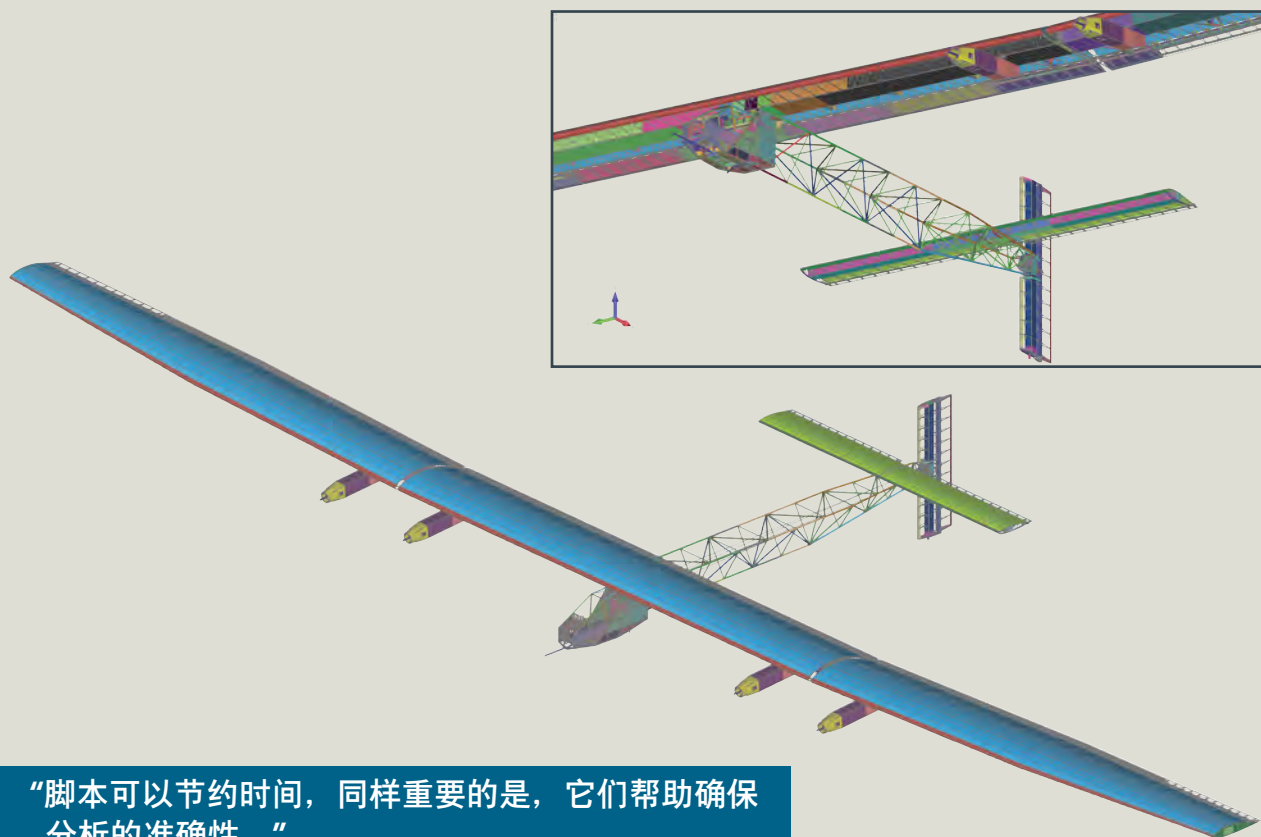
“阳光动力 2 号”在瑞士的飞机注册号为 HB-SIB。其前身 HB-SIA 于 2009 年首航，整整飞行了一个太阳活动周，包括将近九小时的夜间飞行以及 2010 年 7 月间长达 26 小时的飞行。

根据 HB-SIA 的经验，“阳光动力 2 号”的翼展加长，达到 71.9 米/236 英尺，只比世界上最大的客机空客 A380 短一点。其驾驶舱却大了三倍，以便满足长期横穿大陆和大洋的飞行需求。

“阳光动力 2 号”最不可思议的方面在于，即使拥有如此庞大的翼展和众多电池（633 千克），其总重只比普通汽车多出一点点（2,300 千克）。显而易见，最小化的重量是设计的一大难点。

“这架飞机需要大量电池，电池自然很重，”阳光动力号飞机结构分析主管盖瑞·皮勒解释说。“但是飞机从太阳能电池获得的能量很少，所以飞机必须足够轻。”





“脚本可以节约时间，同样重要的是，它们帮助确保分析的准确性。”

盖瑞·皮勒
阳光动力号结构分析主管

一种有限元分析解算方案用于多种分析

皮勒的结构分析团队由皮勒和其他四名工程师组成，他们使用了 Femap™ 软件，以 NX™ Nastran® 软件作为求解器，利用部分 Simcenter 产品组合作为有限元分析 (FEA) 解算方案进行 HB-SIA 和 HB-SIB 的设计。

皮勒之所以选择 Femap 搭配 NX Nastran 用于阳光动力号项目，是因为该软件为瑞士工程公司和 Siemens PLM Software 合作伙伴 AeroFEM 所用，阳光动力号订约用其执行气动弹性和转子动力学之类特殊分析。使用 Femap 搭配 NX Nastran，支持阳光动力号项目所需的所有类型分析（强度、屈曲、大变形等），选择此解算方案让这两个团队可以无缝协同。

“AeroFEM 工程师就像我的团队成员一样，”皮勒说道。“我们之间的协同合作真的太棒了。”

设置分析和解析结果的强大功能

阳光动力号设计团队之前在 CATIA® 软件中以 STEP 或 IGES 格式创建的几何体能够在 Femap 中使用。这些几何体成为有限元 (FE) 模型的基础。Femap 还具备自己的建模功能；皮勒认为该功能非常易用，尤其是对于组成飞机大部分结构的复合材料而言。“层片定义真的很容易，”他说。“使用 Femap，我们可以非常迅速地进行定义。”

为了举例说明分析员如何使用 Femap 中导入的几何体和建模工具，皮勒描述了飞机机翼结构上的一些工作。分析员首先使用 CATIA 生成的机翼外表面几何体创建简单分析模型以查看载荷路径。随后使用 Femap 添加 3D 实体单元表示 Kevlar® 芳纶纸蜂窝芯，以此进行局部和全局屈曲这样的详细分析。

飞机金属组件的有限元模型涉及 50,000 到 500,000 个元素。主机翼结构模型包含两百万个元素。通常而言，分析员评估 10 到 20 个载荷工况，但耐久性分析可能要考虑 160 个。

皮勒团队利用了 Femap 应用程序编程接口 (API) 的优势来编写脚本，从而使得部分分析工作实现自动化。其中一个非常有用的脚本应用了公司自己编制的复合材料强度准则，帮助实现自动化层合板确认。另一个脚本运行复合零件分析，自动根据最高应力层片评估结果，迅速显示层合板或夹层结构中的失效点。“这些脚本可以节约时间，同样重要的是，它们帮助确保分析的准确性，”皮勒说道。

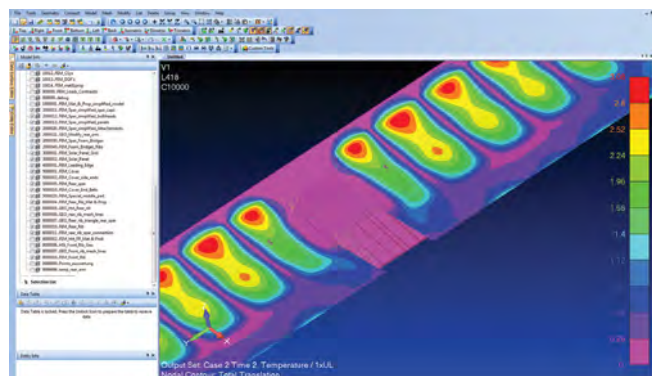
分析员经常使用 Femap 数据表作为快速总结和解析分析结果的方式。例如，数据排序功能可以迅速显示最小和最大应力值。“我们经常使用这个功能；另外非常有用的是，我们可以将输出集组合起来，”皮勒说。

确定如何将重量最小化

体现 Simcenter 解算方案价值的一个具体示例就是飞机的驾驶舱，有限元分析解算方案在减少重量方面起到了重要作用。单座驾驶舱很小（3.8 立方米/134 立方英尺），但它却是第一架阳光动力号飞机的三倍。（实际上，阳光动力 2 号的驾驶舱如此宽敞，以至于阳光动力号网站戏称公司将飞机升级到了商务级。）尽管 2 号飞机的驾驶舱大了三倍，其重量却是原有机型的不到两倍（新式驾驶舱为 60 千克/132 磅，而原有机型为 42 千克/93 磅）。

机翼结构是 Simcenter 解算方案对重量大幅减轻做出重要贡献的另一方面。机翼由 Kevlar 蜂窝芯材组成，其原料为高级碳纤维。分析员使用 Femap 优化碳纤维层片的数量，这样就能在增加最少重量的前提下满足所需的负载条件。他们最终从每平方米 100 克的材料重量减轻到每平方米 25 克，大幅降低了重量。类似地，阳光动力 2 号的电动吊舱负载更多，但增加的重量却被控制到最小，一部分是通过将带有整流片的机身机构更改为夹层结构，另一部分是使用有限元分析优化端面和翼梁缘条之类组件。

通过在此项目中使用 Femap，皮勒和他的同事们能够迅速决定如何能够使飞机重量最小化，同时满足环行世界这样的严苛要求。“使用 Femap，我们可以迅速明确工作方向以及优化目标，”皮勒说道。■



通过在此项目中使用 Femap，皮勒和他的同事们能够迅速决定如何能够使飞机重量最小化，同时满足环行世界这样的严苛要求。

“使用 Femap，我们可以迅速明确工作方向以及优化目标。”

盖瑞·皮勒
阳光动力号结构分析主管





中国航空霸主的崛起

SAACC 中国认证中心使用 Simcenter
支持 COMAC C919 开发

中国目前已成为世界上大型飞机八大研制国之一。其他七个国家分别为：美国、俄罗斯、巴西、加拿大、英国、法国和德国。但是研发大型商用客机和获得认证是两码事。中国航空界似乎深知这一点，因此极为谨慎地对待 COMAC C919 认证过程。六架计划好的试验飞机中的第二架 C919 AC102 于 2017 年 12 月成功完成首航。在未来的几年里，六架试验飞机需要完成超过 1,000 项符合性验证试验以及一系列地面振动试验活动，包括整个飞机的静态和疲劳测试。

对于全球航空行业而言，安全是第一要务。任何飞机机型都必须通过具备相应资质的飞机适航性认证机构的认证，这是它们服役之前必须满足的前提条件。鉴于适航性认证工作的技术难度，只有少数几个具备丰富航空技术的国家设有权威适航性认证机构。其中包括美国联邦航空局 (FAA) 和欧洲航空安全局 (EASA)。在中国，这项重要的使命由中

国民用航空局 (CAAC) 下属的适航审定中心担负。该审定中心由五个认证机构组成，其中包括上海航空器适航审定中心 (SAACC)，这是中国最早成立的航空器适航审定机构之一。所有民用喷气式飞机在进入中国市场之前，都必须经过 SAACC 的适航审定，包括波音、空客和其他外国飞机机型。其他几个机构负责国产 COMAC ARJ21-700 资质认证的认证后管理，以及大型消防/水上救助水陆两用飞机和 COMAC C919 这样大型飞机的适航审定。

这些使命给 SAACC 带来了巨大的挑战。考虑到新技术变化迅速并且应用场景日益复杂，这些挑战包括如何及时定义适航审定方法和认证内容，以及如何改进适航审定工作的效率和质量，同时确保安全性。SAACC 还必须支持和鼓励飞机制造商开创不同的认证技术。

工程挑战

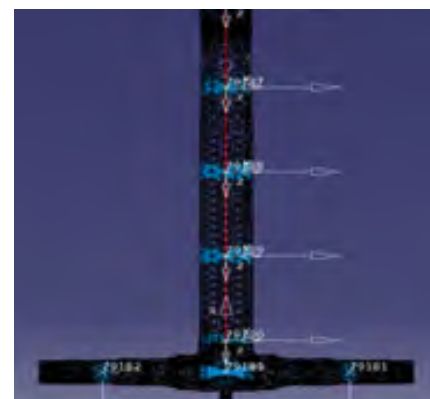
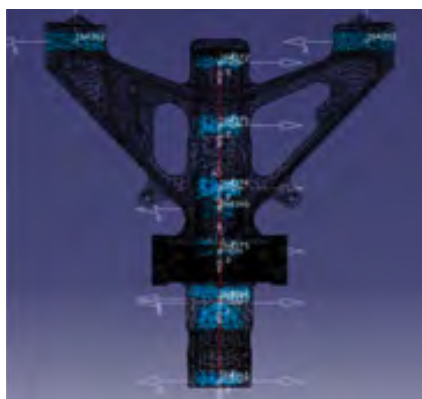
在飞机适航审定过程中，飞机制造商必须根据适航审定机构规定的符合性验证方法，提供不同认证条目的支持文档。上表列出了常规适航审定认证方法和所需的对应文档。

适航审定

认证方法

关于起落架系统的适航审定，过去的仿真方式并未得到完全确认和认证，因此 SAACC 必须要求申请者采用实验室试验、地面试验和飞行试验之类验证方法。整个认证过程成本高昂且十分耗时。大部分试验需要飞机制造商和海外供应商密切合作，这往往会产生大量沟通成本。

起落架系统认证涉及多个学科，例如飞机的总体设计、起落架结构设计、控制系统设计和液压传动系统设计，而且认证会受到各种环境因素的影响（包括轮胎和跑道材料），因此全面评判设计和



使用 Simcenter 3D 建立的参数化起落架仿真模型。

常规适航符合性验证方法

符合性验证工作	方法编码	符合性验证方法	相应的文件
工程评审	M C0	符合性声明	型号设计文件符合性记录单
		- 试述型号设计文件 - 公式、系数的选择 - 定义	
实验	M C1	说明性文件	说明、图纸、技术文件
	M C2	分析/计算	综合说明和实验报告
	M C3	安全评估	安全性分析
	M C4	实验室实验	试验任务书
	M C5	地面试验	试验大纲
	M C6	试飞	实验报告
	M C8	模拟器实验	实验结果分析
检查	M C7	航空器检查	观察/检查报告制造符合性检查记录
设备鉴定	M C9	设备合格性	设备鉴定过程可能包括前面所有的符合性验证方法

外部环境因素的影响是起落架适航认证工作的重要组成部分。考虑到如此复杂的工程问题，物理测试方法明显受限。必须广泛使用仿真技术来根据分析和计算确定完整、高效的参数化分析模型和符合性验证方法。

SAACC 的选择

在几个合作伙伴的推荐下，2014 年 SAACC 引入了 LMS Virtual.Lab Motion 软件，即现在的 Simcenter 3D Motion；它是 Simcenter 产品组合的一部分，是解决上述问题的重要工具。借助 Siemens PLM Software 的专业技术支持，SAACC 成功确立了起落架系统的刚柔多体动力学仿真模型。此模型完全参数化，因此能够快速适应不同机型的起落架系统，从而帮助认证专家改进分析确认和适航审定效率。该模型还考虑了各种复杂设计参数和环境参数，使得适航审定专家能够模拟很多试验条件下难以重现的情况，从而大幅改进检验工作的认证效率和信心。

第一个在中国研发的适航审定方法

使用仿真解算方案，SAACC 根据分析和计算结果成功制定了起落架适航符合性验证方法，并于 2016 年成功完成了中国首个适航审定方法“大型客机摆振适航审定技术研究”。

使用此方法，SAACC 成功推进了国产大型消防/水上救助水陆两用飞机和大型飞

机的适航符合性验证方法，为相关项目的后续分析和试验认证提供了重要指导方针。

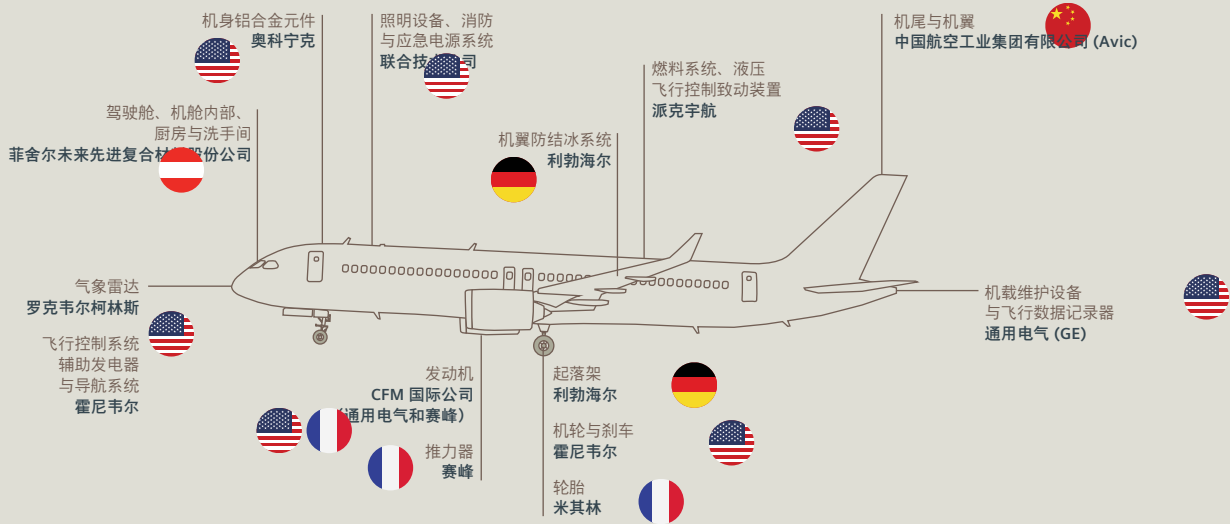
“Simcenter 在我们的起落架适航符合性验证研究和开发中发挥了重要作用，能够帮助我们进行符合性判定，”SAACC 起落架适航审查代表何绪飞博士说。“该方法的案例分析计算部分以该软件为基础。其易用性和算法的可靠性是我们选择的关键。未来我们还将考虑 Simcenter 中的其它仿真工具。我们相信与 Siemens PLM Software 的合作将大力帮助我们进一步提升适航审定工作的效率和质量，帮助民机制造商实现创新，实现民航新型飞机的预期安全性，为乘坐飞机的广大旅客提供安全保障。”

■

						
	中国商飞 C919	庞巴迪 CS300	伊尔库特 MC-21-300	波音 737-800	空客 A320	巴航工业 E195
服役年份	2019	2016	2016	1998	1988	2004
座位数量	168	160	180	162-189	150	122
长度	38.9m	38.7m	42.3m	39.5m	37.5m	38.6m
翼展	35.8m	35.1	35.9	34.3m	34.1m	28.7m
里程	5,555km	6,112km	5,900km	5,765km	5,700km	4,077km

资料来源：庞巴迪、联合飞机制造公司、波音、空客、巴西航空工业公司

COMAC 919 供应链概览



资料来源：彭博、美国全球投资者、Airframer.com



解除创新束缚

Simcenter Amesim 帮助巴西航空技术研究所培养航空业工程师

与全世界许多国家一样，巴西希望改善工程科学教育与行业需求之间的联系。在过去的十年里，他们大力推进教育改革。这段时间里，工程科学领域的毕业生总数翻倍。与其他新兴国家的趋势相比而言，巴西的未来发展稳居前列。

这种推进改革还让巴西加强了科研和行业之间的联系。科研机构与行业之间密切联系的一个典型示例就是巴西航空业。其中一项重大合作就是巴西航空工业公司总部 São José dos Campos 与巴西高等教育和航空领域先进研究最强机构——航空技术研究所 (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA) 之间的合作。

ITA 机械工程部门在鲁伊兹·高艾斯教授的带领下，展开了当前行业需求相关主题研究。其中一个主题是正常和失效模式下的刹车系统性能与防滑技术。

不断改进飞机刹车系统性能

刹车系统对于飞机的安全运作无疑是至关重要的。但是，随着飞机着陆总重和速度的大幅提高，可接受性能和可靠性的定义在过去的几十年里却越发严格，法规机构也提高了安全飞行方面的认证要求。

因此，刹车系统设计、架构和功能这些年不断改进；防滑系统作为刹车系统的一部分，自二十世纪四十年代以来也取得长足发展；这一切都是行业中的重要里程碑。除了防止制动轮刹死这一主要功能以外，防滑系统往往还负责刹车系统中的其他辅助功能。

航空原始设备制造商 (OEM) 和供应商采用成熟可靠的刹车系统技术。尽管如此，考虑所有可能影响刹车系统性能和防滑功能的典型故障以及系统如何应对和补偿这些损失，仍然至关重要。

ITA 使用系统仿真

为提供备选方案，ITA 机械工程研究部门，尤其以高艾斯和博士生马里奥·迈亚·内托为代表，对此问题展开了研究。他们提出了互补方法，让航空工程师对影响飞机刹车系统行为的典型故障进行排除，以此更快完成初步评估。

通过执行台架试验和飞行试验活动，进行传统形式的刹车系统性能评估。但此过程耗费人力、时间，并且成本高昂。因此，内托和高艾斯根据飞机液压刹车系统的计算仿真研究新型方法。他们的学术研究旨在证明设计系统仿真的用途并验

证液压刹车系统的模型，以此评估系统相关变量在正常运作下的行为以及典型故障对于系统性能的潜在影响。系统设计活动辅以安全和可靠性评估，更符合行业需求。

高效建模工具

内托和高艾斯使用 Simcenter Amesim 对刹车系统的液压设计进行建模。在对完整液压刹车系统建模之前，内托和高艾斯必须了解系统组成部分和工作原理。这样他们才能将其转换为正确的模型并实现正确的设计求解方案。

内托和高艾斯的研究以刹车系统类别为依据。此刹车系统的动力源为飞机液压力系统，此动力系统随后设计为两个，以分别为每个刹车组件提供液压力。每个子系统都安装液压蓄压器，以允许紧急情况或主液压系统关闭时刹车。防滑活门和计量活门为系统架构必需，负责调整飞行员发出的制动需求，安装在专用活门组件内。计量活门由控制压力活门组成；其输出压力与飞行员施加在刹车踏板上的力成正比。

一旦收到防滑系统控制单元的输入信号，防滑活门的两个部分就会建立新的力平衡，从而控制刹车组件中的液压。最后，每个刹车组件由两个液压子系统提供动力源，两个活塞室完全隔离，由刹车组件内部的每个子系统操控。

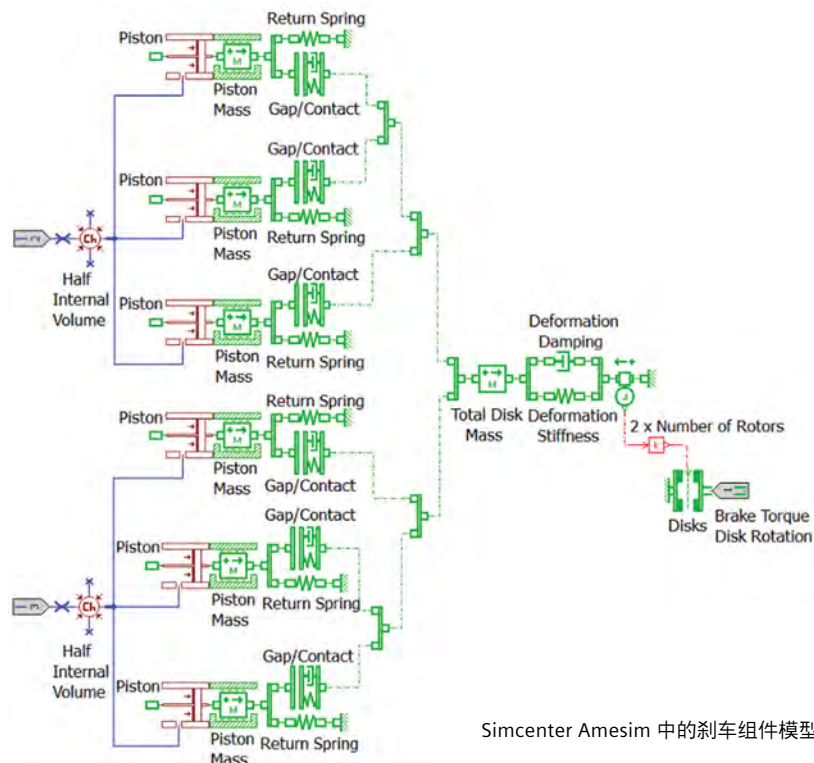
下一步是使用 Simcenter Amesim 对系统进行建模。模型由边界定义明确的三种元素组成：活门组件、刹车组件和输入块。与液压生成和分布系统相关的组件，由动力源装置、液压油箱、蓄压器、油管、软管和止回阀表示，也是模型的一部分。

内托说：“Simcenter Amesim 是快速创建系统模型的绝佳工具，主要在于其方便处理库中找到的物理块。可以对系统行为进行初步评估，就像工程师可以加强我们对于设计解决方案决策的信心一样。”

预测典型故障下的系统行为

一旦模型设计和验证之后，内托和高艾斯会任意选择三种主要故障中的一种。预测这些故障情况可以让用户评估实施哪些策略来补偿故障带来的影响，因此防滑刹车可以继续行使其主要职责。

内托说：“使用 Simcenter Amesim 帮助我们制定飞机液压刹车系统的计算参数化模型，从而在正常运作情况和模拟典型



Simcenter Amesim 中的刹车组件模型。

故障时评估相关变量行为。

“得益于 Simcenter Amesim 这类物理建模软件的迅速仿真，当前方法可以作为特定情况下快速进行系统行为初步评估的理想解决方案。”

其中一个示例就是由于作用于制动盘的刹车组件活塞部分的卡死。在 Simcenter Amesim 模型中实施这种失效模式非常简单。实际上，通过更改组件参数的数值即可实现。

之后，内托比较了两种仿真模式的行为并尝试找到解决由于失效模式造成性能损失的正确途径。研究人员发现，活塞卡死情况可能会导致刹车组件扭矩减少（扭矩值损失 16.5%），并且刹车组件上可能存在残余扭矩。因此，飞机着陆时的总制动距离可能会首当其冲地受到影响，随后称为拖滞的不利情况将成为第二方面的影响。

拖滞情况最终会导致意外偏航，甚至轮胎可能因为摩擦生成的热而爆炸。此计算方法最后一步的策略在于，定义后续操作以维持所需的系统级别，譬如对当前设计进行迭代并引入具体维护任务。

内托对于 Simcenter Amesim 平台的使用非常满意，他解释说：“采用 Simcenter Amesim 构建的物理模型易于实施。系统允许点击、拖动和连接几个库中的物理块，这样创建复杂模型时就不需要为模型中的每个子系统编写整个数学公式。其内在因果推理、数值算法编译和执行也非常迅速。”

确保性能分析

由内托带头的工作包括学术研究，旨在解决液压机械工程问题，其价值无法衡量。但是，内托解释道：

“相关文献突出介绍了在产品开发周期中使用仿真模型的一些定性收益，譬如缩短飞机系统开发周期、帮助预测系统运作问题并支持故障排除活动以找到现场实际问题的根本原因。

“在当前环境中，建模和仿真能够改进几项设计开发活动的执行，譬如系统架构研究、需求验证、性能分析和优化、安全性和评估、故障检测和诊断。”

巴西寄希望于未来并对此进行投资，以加强其行业竞争优势并重点关注工程科学教育。其中一项策略涉及对于行业对手使用的主要工程工具的管理。这是 ITA 提出的观点，得到了高艾斯的支持：

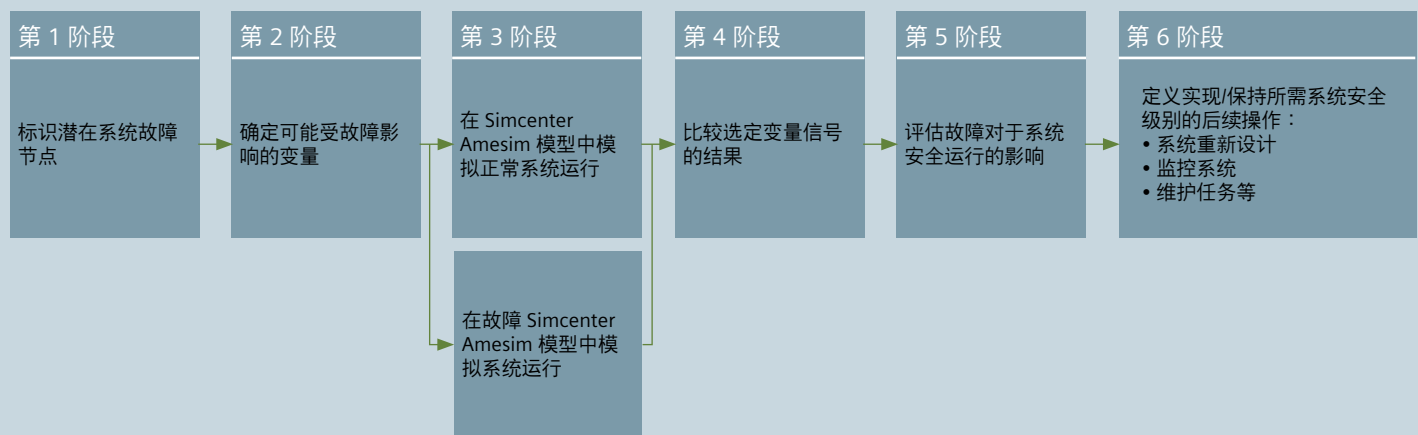
“在 ITA，我们的使命是要为将来工程师所要面临的职业生涯挑战做好准备，尤其是在航空这样充满挑战的行业。我们相信，为巴西航空工业公司的未来工程师们准备专业知识，已经显著提高了公司生产率，并使产品在全球市场更安全、更具竞争性。”

ITA 和巴西航空工业公司于 2000 年展开合作，开发专业级项目，用作航空和航天工程师满足巴西航空工业公司需求的途径。这需要专门的培训才能确保未来毕业生可以管理巴西航空工业公司使用的软件，譬如 Simcenter Amesim。“具备开发系统模型和运行仿真的能力，就能帮助学生改进对于系统行为的了解，并进行后续活动来帮助他们在未来开发更好的产品和系统，例如系统优化和灵敏度分析，”高艾斯说。

高艾斯赞赏 ITA 和 Siemens PLM Software 之间的合作，他说：“为学生们提供 Simcenter Amesim 之类先进软件工具大有帮助。Simcenter Amesim 学生版提供多物理场能量端口环境仿真基本功能的开放式访问，已经成为 Siemens PLM Software 向学生们引入先进仿真技术重要功能的绝佳途径。”



系统运行中基于模型的故障评估方法



悠游自在地享受飞行



© Airbus S.A.S. - Photo by master films / H. Goussé

空客 A320 neo 飞机的引气系统

进气口

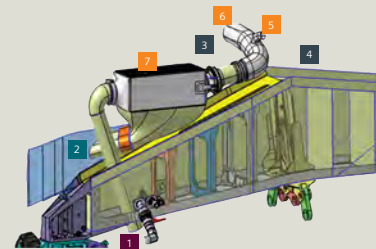
- 1 从发动机压缩机吸入的热混合空气
- 2 从发动机风扇吸入的冷却空气

硬件

- 3 静态搅拌器
- 4 温度传感器

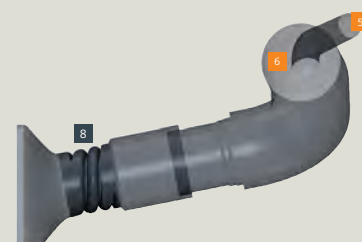
输出

- 5 至机翼防冰
- 6 至空调系统
- 7 冷却空气排气口



螺旋混合器的设计概念 用于初始优化过程

- 8 螺旋混合器



曾有多少次，人类为极端环境下在远离地面 30,000 英尺的高空搭乘温控“金属管”环行世界而叹为观止？要在外部温度为 -40 度到 -60 华氏度 (F) 的情况下提供舒适的内舱气候，这是一项涉及空气调节系统和内舱压力系统的复杂任务。而更具挑战性的在于航空电子学和防冰系统预置气流的额外要求。此外，日益严苛的环保法规要求系统高效，能够改进燃料效率并减少排放，因为空中交通总量每年都会增加 5%。

在飞机行业，环境控制系统 (ECS) 通常是指用于为飞机商载（包括人员、航空电子和其他机载系统）提供舒适环境的系统和设备。环保系统 (EPS) 涉及防护外部条件的系统，包括极端温度和压力、结冰等。设计精良的飞机 ECS 和 EPS 不仅可以给乘客带来舒适的飞行体验，还可以帮助改进燃料效率，因为 ECS 是继推力之后的第二大发动机能量消耗者。随着飞机舒适性和燃料效率方面的竞争和要求不断提高，ECS 和 EPS 的设计在飞机能否成功上市方面起着关键作用。

在空客公司，创新从未间断，与先进技术解决方案一起携手，打造更好、更高效的飞行方式。空中客车运营有限责任公司下设的 ECS 团队对此毫不陌生，他们一直在不断追求更好、更快设计最佳 ECS 的方式。利用硬件资源和数值模拟的技术改进，ECS 团队在很多领域部署了数值模拟，帮助理解并以比昂贵的物理测试更快的速度改进系统和子组件。仿真，尤其是计算流体力学 (CFD) 工具助力的一些领域包括驾驶舱设计、航空电子冷却、管道混合和压力损失以及内舱温度舒适性。最近，ECS 团队一直在生产环境中使用设计空间探索，旨在改进未来飞机的引气系统。

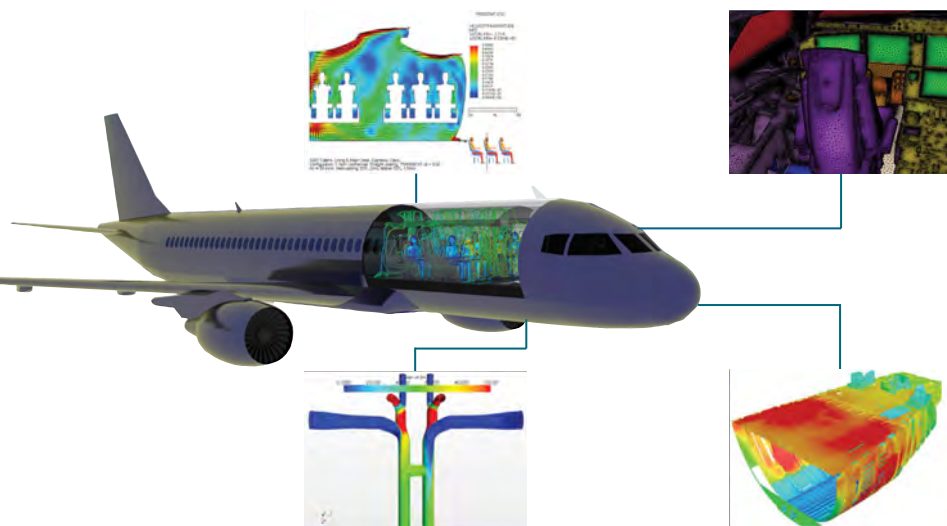
静态空气搅拌器

从发动机风扇和压缩机部分引气，用于为主机舱提供正常压力和热量，同时为飞机的防冰系统提供热气。空中客车 320 新发动机选型 (neo) 的典型引气系统位于机翼下面的吊架中。此系统提供设定温度和压力下的预置空气，用于内舱空气调节系统和机翼防冰。从发动机压缩机吸入的热混合空气和从发动机风扇吸入的冷空气通过增压室进入热交换机。混合空气在在热交换机中冷却到约 200 摄氏度 (°C)。核心和旁路空气的均匀、彻底混合通过静态搅拌器实现，对于维持子系统性能起着至关重要的作用。静态搅拌器中的混合空气温度在传送到不同系统之前由温度传感器监控。优化的静态搅拌器性能使得系统运作更好，以更高的效率提供空气调节功能。

空客的一项目标就是要改进当前静态搅拌器设计并实现设计目标，包括预冷器和温度传感器之间的总体压力损失小于 5 千帕 (kPa)、传感器位置的温度变化范围小于 12 开氏度 (K)。

初始优化过程

如果最佳设计可以认定为设计周期的一部分，找到最佳设计和冲突目标之间的最优折中方案至关重要。这不仅会节约时间和成本，还会让最佳可行设计进入真正的生产。不过，挑战在于找到和部署适合生产周期要求的有效优化过程。从初始几何体到最佳设计涉及多种步骤，包括试验设计、3D 几何体建模、低保真度 CFD 建模、代理建模、帕累托前沿识别和后处理。评估的第一个优化工作流涉及执行这些任务所需的商用和内部工具混合。螺旋式混合器概念被优化，用以评估此过程的可行性。优化过程中使用了三种设计参数：螺旋通



空客 ECS 团队将仿真用于驾驶舱、航空电子、导管和内舱热舒适度。

道的曲率半径、导管的切削深度和螺旋切削的宽度。

由于基础设施和不同工具之间的通信问题，整个工作流充满挑战性；因此，由于时间关系，优化过程只使用了两种设计参数。优化研究发现了一种设计方案，能够在传感器位置实现 5,000 帕 (Pa) 的压降和 45 K 的温差。初始项目的总周转时间为六个月。最终设计改进了温差，但不够接近设计目标。问题仍然存在：如何能在最好地符合设计目标的同时减少周转时间，以使此过程在生产环境中可行？为解决这些问题，空客决定与 Siemens PLM Software 合作探求新过程。

采用同心搅拌叶片概念

缩短设计优化周转时间的解决方案是 Simcenter STAR-CCM+ 软件。使用 Simcenter STAR-CCM+，用户可以通过数值模拟准确预测产品性能，从而方便分析和探索真实世界问题。Simcenter STAR-CCM+ 的插件 Optimate+ 提供另一项西门子多学科设计优化工具 HEEDS 软件 SHERPA 搜索算法的设计探索和优化功能。SHERPA 算法智能调整搜索策略，在分配时间内使用混合、自适应搜索技术查找最佳解决方案。此新过程消除了使用不同工具通信的必要，将整个设计优化过程带入一个环境之中。

为满足设计目标，同心搅拌叶片设计被选中用来代替螺旋混合器。此设计包括两行同心搅拌叶片。选定用于优化研究的设计参数共计 11 项。此设计概念被选中用于为设计空间提供最大灵活性和直接优化技术而无需简化设计空间。CATIA 中创建的几何模型使用 Optimate+ 软件根据设计参数修改。

借助 Simcenter STAR-CCM+ 的自动化工作流，Optimate+ 被用来根据独立参数的变化评估 211 个设计变量。每次仿真都会自动生成多面体网格，单元总数可达 240 万到 350 万。分离流求解器用于恒定密度空气和剪应力传输 (SST) k - ω 湍流模型。所有仿真都从基线设计的收敛求解开始。超过 1,000 次迭代后的平均压降在 50 Pa 内，而最大温差在 4 K 内，则表示成功实现收敛。15,000 次迭代之后不收敛的设计将被弃用。

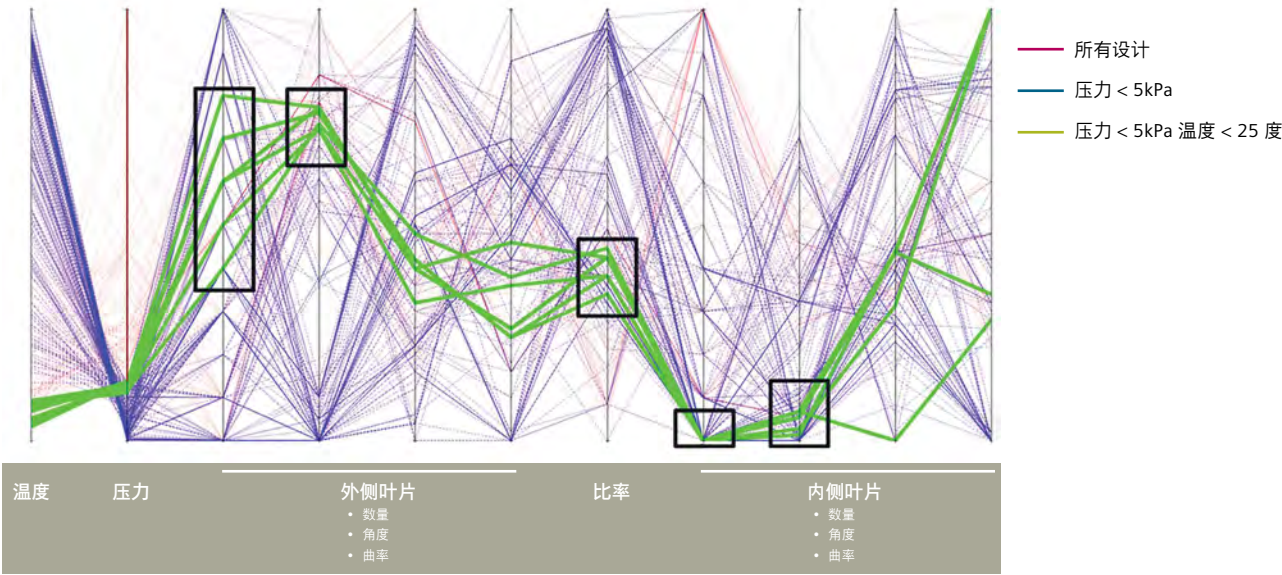
两周内优化设计

基线设计实现 996 Pa 的压降和 153 K 的温差。通过使用

SHERPA 算法，Optimate+ 插件能够从 211 个设计迭代中查找冲突设计目标之间的最佳折中方案。表现最佳的设计实现了 4,775 Pa 的压降和 16.4 K 的温差。根据结果绘制的帕累托优化图表明，表现最佳的设计显然具备较少数量的叶片和更小的曲率。以此信息为依托，对于最佳设计又执行了 57 个额外设计迭代，以进一步使温差降至最低。Optimate+ 中的绘图可以比较所有设计和单独设计参数的温度和压降。红线显示所有设计迭代，蓝线显示实现所需压降目标的设计。同时实现两种目标的最佳设计以绿色显示。从绘图中可以找到不同设计参数对于最佳设计的影响。最佳设计的外侧叶片数量较多，内侧叶片数量较少，外侧曲率更高，而内部叶片的曲率更低。最佳设计的直径比约为 0.5。

优化最佳设计在 62° 曲率时有九个外部叶片，25% 弦长时为中等曲率，5° 曲率时有三个内部叶片，48% 弦长时为较低曲率。4,961 帕的压降和 13.6 K 的温差得以实现。最佳设计的总周转时间为两周。

Simcenter STAR-CCM+ 和 Optimate+ 带来的新优化过程减少了 90% 的周转时间。此方法将在未来设计周期中部署，帮助空客更快找到更好的 ECS 设计。改进的 ECS 系统具有更好的混合效果，缩短了上市时间，减少了测试，提高了能源效率，改善了用户体验。总而言之，未来当您搭载空客飞机在 30,000 英尺的高空自在翱翔时，别忘了 Simcenter STAR-CCM+ 这一大功臣。 ■



绘图显示不同设计参数的影响。

	压降 (Pa)	温差 (C)	周转时间 (周)
螺旋混合器	5,000	25	25
同心叶片双目标	4,775	9.11	2
同心叶片单目标	4,961	7.56	

优化结果比较。

集成式设计和分析在 NASA 下一代运载火箭中大放异彩

在 Teamcenter 托管的集成过程中使用 Simcenter 3D 进行运动和有限元分析，可以帮助工程师确保大型喷嘴在发射过程中不会碰撞发射台结构。

ATK 目前开展的一个项目涉及太空发射系统 (SLS)，也就是航天飞机的继承者。NASA 对此 SLS 的评价为“有史以来最大、功能最强的火箭，可以冲出地球轨道执行全新的人类探索活动。”此 SLS 将成为继土星 5 号运载火箭 40 多年前运送美国宇航员登上月球以来的第一艘探索级火箭，但是此 SLS 会将宇航员运送到更远的太空，最终包括登上火星。其首航预计将于 2019 年 12 月进行。

ATK 的工作包括 SLS 的固体火箭助推器、芯级两侧的外部孪生结构，这可以为前两分钟的飞行提供额外推力。早期 SLS 任务将使用 ATK 也参与设计的改良型航天飞机固体火箭助推器。但是 ATK 的目前工作包括设计先进的助推器，使推力更大并用于后续载重更大的 SLS 任务。ATK 大约十年前就开始使用 Siemens PLM Software 的产品生命周期 (PLM) 技术，包括使用 NX 软件进行设计、Simcenter 产品组合进行性能仿真以及 Teamcenter 软件管理产品信息和流程。

“我们与 Siemens PLM Software 有着悠久的历史，”ATK 工程流程和工具团队的一名高级工程师拉梅什·克利斯南说。“这种合作让我们在集成系统收益方面处于前瞻性的领导地位。”

最近几年，该团队一直致力于更好地将分析集成到设计阶段。“我们的挑战在于要让 CAE（计算机辅助工程）工程师在产品开发早期介入产品设计，”ATK 工程工具和分析团队高级经理内森·克利斯滕森说。“考虑到工程师本身的职责和工具集的复杂性，这可能比较棘手。”SLS 项目与高级助推器火箭喷嘴相关的工作有力地证明了他们是如何应对这项挑战的。

“要让发动机获得更好的性能，需要将喷嘴大小增加很多，”克利斯滕森解释说。“喷嘴较大的结构很可能在发射时碰撞发射台。”

火箭尾部有一个后裙段，它附着在发射架上，发射架可以将火箭固定在发射台上。ATK 想要设计伸缩式发射架，这对于 ATK 而言是全新的挑战；此发射架在火箭发射时必须收缩，这样才不会碰撞喷嘴。

借助于 NX 软件，ATK 对助推器的尾部进行建模，包括后裙段和伸缩式发射架装配。该数字化几何体随后用于两种不同类型的分析：运动分析和有限元分析 (FEA)。

ATK 还使用了 Simcenter 3D Motion 来对火箭发射时的发射架运动进行仿真。“为配合火箭速度，我们将曲线输入 Excel，然后将运动仿真速度关联到电子表格，”克利斯滕森解释说。“这就是推力与时间的关系曲线，效果非常理想。火箭以恰当的加速度起飞。

“此项目的工程师之前没有使用过 Simcenter

3D Motion，但他上手很快，很快就掌握了软件的使用并在几天之内就完成了所有模型仿真。”他创建的仿真甚至还包括发射架上长 4 英寸的螺栓，此螺栓会在发射时由于螺母易碎而脱落。通过运动仿真，ATK 很快找到了发射架正确收缩的要点。“主要目标在于借助 Simcenter 3D Motion 来捕获火箭起飞和伸缩式发射架收缩的时间序列，我们做到了，”他阐述道。

接下来，团队开始 FEA。ATK 之前拥有大量 FEA 前处理器和求解器。鉴于更好集成分析和设计的目标，ATK 希望整合 CAE 工具，让 Simcenter 3D 和 NX Nastran 软件成为标准应用程序，只在必要是补充其他解算方案。“这样，工程师们就可以遵循公司标准，而不是根据个人喜好，”克利斯滕森解释说。“现在，我们的很多工具都具备类似功能，统一之后就可以降低维护支持成本，并且不同分析员之间的工作交接也更为轻松。”

从设计几何体开始，ATK 就使用 Simcenter 3D 准备助推器火箭尾部装配的有限元模型。“许多有限元建模包都无法很好地处理装配，但是 Simcenter 3D 可以，”克利斯滕森解释说。在他看来，使用 Simcenter 3D 的最大好处就在于，装配模型所作的更改能够保留在有限元模型中。“在建模部分所作的修改可以传递到 FEA 中，这一点真的很棒，”克利斯滕森说道。“这真的是无缝式的。网格自动更新，非常方便。而且，关联性也得以保留。装配中的所有关联会一直保持到 FEA 中。在 FEA 中，无需移动任何对象。

ATK 员工还很喜欢 Simcenter 3D 创建几何体的简易性。“我们可以非常迅速地对螺栓建模，就像梁单元和蛛网单元一样，这让人格外喜欢，”克利斯滕森解释说。“我们可以收集在太空中自由浮动的零件，将它们通过可以选择所有螺栓孔曲面和边的工具捆绑在一起，软件会自动创建梁单元。这无疑节省了大量时间。”

尽管 ATK 进行了一些有限元分析来确定发射架是否坚固到足够处理载重，更多的有限元分析是用来确定后裙段以及火箭和发射台之间的接口，它们必须能够承受火箭的重量（不装燃料时轴向载重为两百万英镑，装满燃料为七百万英镑）以及风力载荷（飓风级）。这其中涉及的载重巨大无比。“我们之前从未处理过后裙段上如此巨大的载重，”克利斯滕森说。

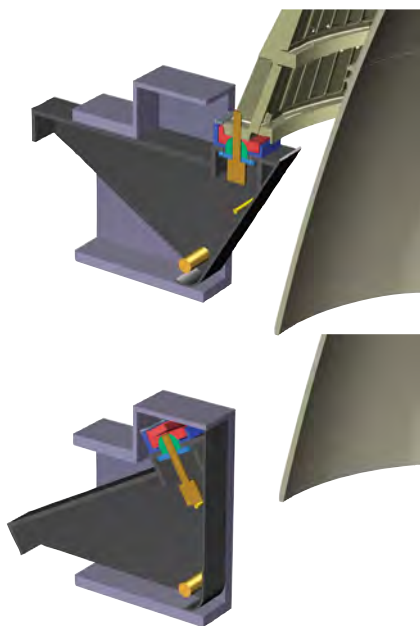
除节省时间以外，NX 设计和 Simcenter 3D 分析的集成让 ATK 对于模型准确性更有信心。“我们相信，使用 NX 绘制的模型会转移到有限元软件包中供我们进行分析，”克利斯滕森解释说。得益于这一功能，ATK 花费在检查分析模型上的时间减少。“此外，大型有限元装配接触建模的一大问题在于，必须确保装配行逐一匹配。有了 Simcenter 3D，从一

开始装配行就逐一匹配。不存在保持接触和确保所有对象处于正确位置方面的担忧。一切都有条不紊。”此外，该过程总体上很少出错，因为不存在软件包之间的转换。

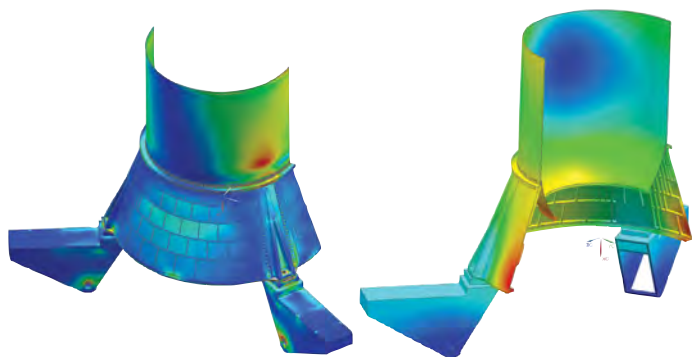
将分析集成到设计阶段包括使用 Teamcenter 管理 CAE 工作流，使用 Teamcenter 数据库存储 CAE 模型、结果、报告和产品结构关联。“这可以确保我们不会分析错误的零件或配置，并且分析员可以与设计更改保持同步，减少 CAE 返工，”克里斯滕森阐述道。在公司的设计过程中，Teamcenter 还用于追踪分析项目。Teamcenter 用于报告和分析方面的解决方案可以追踪项目状态（按时、预计延迟、延迟）、周期时间

和第一次通过合格率。

克里斯滕森对标准化 Simcenter 3D 分析和更好集成分析和设计的效果总结如下：“在产品开发早期集成 CAE 工具可以缩短设计周期，让我们可以专注于总体设计周期时间而非分析周期时间。此外，我们坚信，显著的成本节约和生产力增益可以通过谨慎的战略性 CAE 工具标准化实现。最重要的是，CAE 如果尽早介入设计团队，则效率最高。” ■



借助于 NX 软件，ATK 对助推器的尾部进行建模，包括伸缩式发射架装配。



使用 Simcenter 3D 准备助推器火箭尾部装配的有限元模型。

改进机架结构认证的重要工具

航空航天领导企业依赖数字化仿真进行节约成本的有效性能工程。但是开发更高效飞机、改进安全性、降低排放和采用轻量化复合材料以及全球采购的法规越来越严格，竞争压力越来越大，这些都显著影响了新式飞机项目的结构认证。此外，为使投资回报最大化，客户希望产品服务寿命可以长达 50 年。这些现实情况对于机架结构分析工作流程和生成用于确保认证的仿真数据有着重要影响。

飞机结构认证要求飞机结构必须调整尺寸，其中涉及对于结构、紧固螺栓和连接件的详细失效分析。认证要求完整的过程记录：输入数据、所用方法和关联的安全裕度 (MoS) 结果。结构开发占据了民用飞机开发成本的 60%、军用飞机开发成本的近 30%。

根据波音公司的数据，每磅飞机结构的非重复性结构分析时间增长了十倍，航空航天领域每个分析员配有五个设计师的观点已经演变为一或两个设计师。

结构团队执行数百万项分析来可靠地预测每个组件的安全性。预估结构组件的 MoS 涉及设计师生成 CAD 数据的理想化、仿真模型的准备、结构载荷的计算、几种内部或商用现货 (COTS) 结构求解器的采用以及使用内部或传统分析方法确定的 MoS。执行这些任务的团队往往分散在世界各地。这为航空航天企业带来了特有的挑战，譬如确保广大的团队成员使用正确的方法和流程进行 MoS 计算、保持输入的可追踪性、改进效率并降低飞机项目的非重复性成本。

飞机开发项目中的任何延迟都会对制造商的声誉、盈利和未来发展产生不利影响。决策周期的缩短、MoS 评估一致性的

缺乏、从设计到认证过程中不同工程部门的协同欠缺，导致项目效率受到阻碍，航空企业可能要为此花费数十亿美元。

结构认证的延迟亟需飞机结构尺寸调整过程中的无障碍协同。航空航天结构开发项目促进了飞机结构尺寸调整的集成式解决方案，为嵌入 COTS 和内部 MoS 方法提供了开放式可扩展解决方案，实现数据可追踪性和认证一致性，通过 CAD/CAE 关联性有效管理设计变更。

利用全球航空航天企业几十年的仿真、测试和数据管理经验，西门子引进了飞机结构尺寸调整专用解决方案。

作为 Simcenter 3D 多学科仿真应用模块的一部分，Simcenter 3D Aerostructure 可让您同时协调多种载荷工况的安全裕度计算。开放式可扩展解决方案允许您在集成式仿真环境中融合自己喜爱的 FEA 求解器、MoS 方法和流程，对其进行部署并简化从设计到结构认证的分析工作流。借助内置可定制金属和复合材料结构失效方法、协同式工作空间和自动报告生成功能，软件可使人为错误最少化，并且还可以加快飞机结构认证过程。

Simcenter 3D Aerostructure 具有一致性，能够使飞机结构开发周期中需要执行的数百万项 FEA 分析自动化。与 Teamcenter 软件一起用于仿真数据和过程管理时，可以存储并精确追踪认证和维护过程中使用的验证方法。 ■

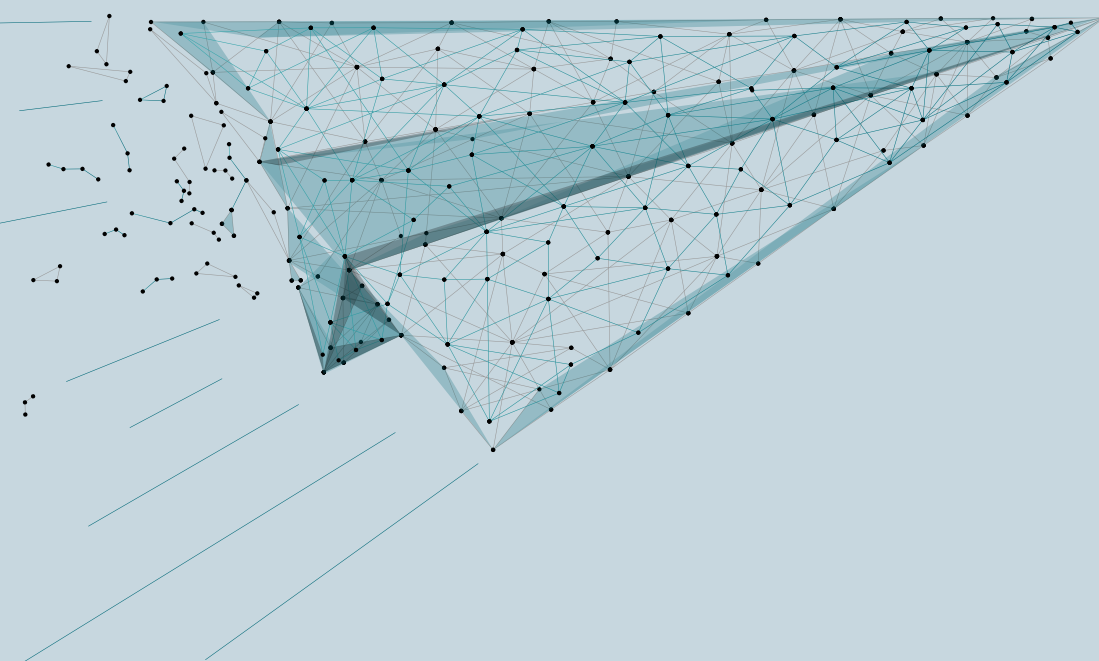




Image Courtesy: Port of Felixstowe

电力推进概念设计

Joby Aviation 借助 Simcenter STAR-CCM+ CFD 解算方案铺设未来电力推进之路

如果行业消息准确，电力推进技术即将引发飞机喷气式发动机历史上最巨大的变革。乍看之下，如今电池重量过大，可能限制了电动飞机的市场发展。然而，电力推进技术和传统燃烧动力相比较而言的不同属性，伴随着最近的技术进步，注定会显著减少大量飞机配置的典型设计约束，从而让之前不可行的飞机类型成为可能。这对于短程飞机设计而言尤为如此，这种飞机传统上较小，由活塞提供动力。

为何采用电力推进？

由于活塞式发动机的尺寸、重量和维护要求，大部分设计都受到为数不多的发动机可行位置较少的局限。这就是二十世纪五十年代以来大部分现代通用飞机和直升机设计相似的原因。

相反，电动动力系统小很多，轻很多，并且简单程度超出想象。有些只有一个运动零件，而活塞式发动机则相对复杂，包括冷却系统、电气系统、液压系统、燃油系统等等。这种复杂性的降低，也带来了维护需求的极大降低。

内燃机引擎体积越小，功率质量比和能效越低，而电动引擎的性能则基本与大小没有直接关系。这就意味着 1-kW 电机与 1000-kW 电机的功率质量比与能效几乎没有太大差别。电动动力系统的效率也大约等于内燃机的三倍。电动引擎每分钟转速 (RPM) 的有效范围更大，并且可以相对较快地改变

RPM。电动动力系统明显比内燃机动力系统噪音更小，见过电动汽车的人一定都感同身受。

尽管用电动引擎代替内燃机会使噪音减少、动力系统效率更高，从头设计飞机的电力推进系统所能带来的收益远不止这些。电力推进系统的属性意味着，飞机可以高效运用大量小型引擎，而不会导致复杂性和维护成本意外增加，也不会牺牲引擎重量和性能。因其重量相对较轻、体积较小，这些引擎可以安装在更多飞机位置上。此外，由于此类引擎较轻，携带引擎只能用于起飞和降落这些部分飞行的缺点也几乎可以忽视。

尽管传统推进系统安装通常会影飞机性能，电力推进系统的灵活性却让推进系统的安装有利于空气动力交互。相应的一个示例是，放置在翼尖的螺旋桨可以重新捕获翼尖涡流损失的部分能量。

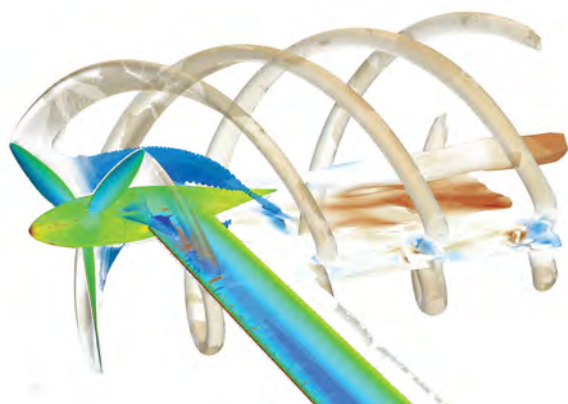
借助电动引擎和制造、高保真度空气动力分析和复合材料机架设计和制造方面的技术，Joby Aviation 大力投资这种新型技术，以开发几款具有突破性功能的飞机。但是，由于这些交互操作本身的复杂特性和可以推论的先前设计的缺乏，设计过程中执行了大量高阶空气动力学分析。因此，Joby Aviation 在其新式设计开发过程中更加注重 Simcenter STAR-CCM+ 中的 CFD 分析。

JOBY S2

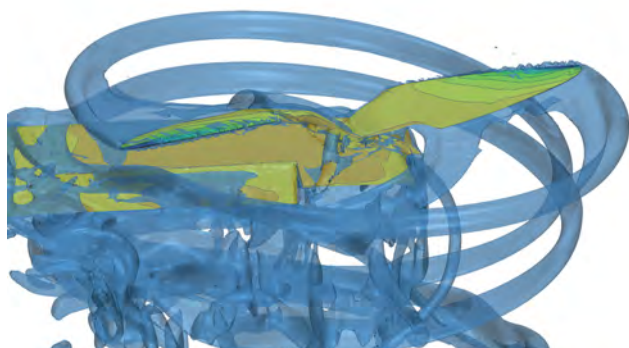
Joby Aviation 的开发重点是 S2 垂直起落 (VTOL) 飞机，解决



图片来源: Joby Aviation



翼尖螺旋桨的 CFD 模拟。



Lotus 翼尖螺旋桨起飞时的 CFD 分析。

了诸多问题,包括噪音大、运行成本高、速度低、安全级别相对较低,这些严重限制了类似直升机尺寸的传统 VTOL 飞机的发展。S2 采用了多个起飞和降落螺旋桨,通过冗余增加安全性。巡航过程中,大部分螺旋桨折叠在引擎机舱中,以减少阻力。这些螺旋桨叶片的设计正体现了螺旋桨性能和折叠叶片引擎机舱阻力之间的折中,高阶工具才能正确分析这种折中方案。Simcenter STAR-CCM+ 评估了多种运行条件下的不同螺旋桨设计并使用 γ -Re θ 转换模型分析了引擎机舱在巡航中的配置。结果表明,改变螺旋桨叶片形状可以增加层流、减少巡航阻力。

Joby Lotus

Joby Aviation 公司另一个项目的研发对象是 Lotus 飞机,公司会通过一款重约 55 磅的无人机 (UAV) 探索创新 VTOL 飞机配置。飞机的每个翼尖上都配备 2 个螺旋桨,可为飞机的垂直起飞提供推力。一旦飞机累积到一定程度的前向速度,足够提升机翼,2 个一组的叶片就会相互交叉起来,而每个独立叶片也会成为翼尖的延续,形成一种剪刀型分列式翼尖。机尾倾斜的尾桨则可以在起降过程中提供节距控制,并推动飞机向前方行驶。可以想象,设计翼尖叶片要考虑跨度、翼型选择、扭转分布、弦分布及节距等各种参数,整个过程就是在螺旋桨和翼尖性能之间做出平衡。在巡航配置下,Joby 公司通过交叉组合这些设计参数,进行了十多项 CFD 模拟,以期在满足配置要求的前提下,取得最大化飞机巡航性能。同时,公司还通过 CFD 工具分析了螺旋桨配置中的叶片性能,以验证低阶设计方法的结论。

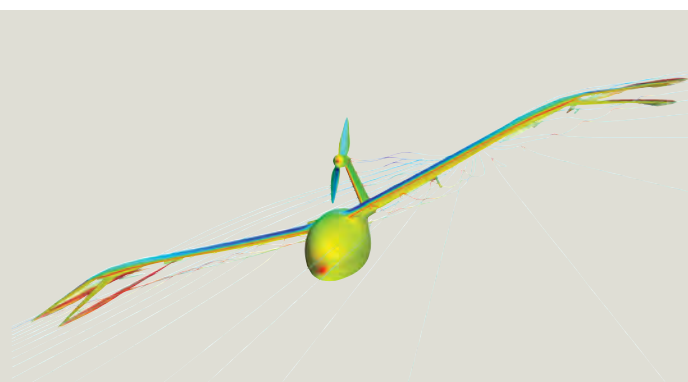
LEAPTECH

Joby Aviation 公司的第三个项目是与 NASA 和 Empirical Systems Aerospace 公司合作进行的 LEAPTech (前缘异步螺旋桨技术) 研究。该项目的目标是研究电力推进系统可能给传统固定翼飞机带来的潜在提升。研发人员会在机翼前缘安装一组小型螺旋桨,从而在起降过程中增加机翼的速度,提升动压。这种设计可以增加机翼产生的提升,从而在相同的失速速度要求下,使用更小的机翼。很多小型飞机为了达到失速速度要求,而不得不采用较大的机翼,但较大的机翼会在巡航过程中影响飞机的性能,因此由于允许使用更小的机翼,这种设计能够提高飞机巡航阶段的能源效率。

此外，由于机翼的负载更大，机上人员的驾乘体验也能得到大幅提升。不过，低阶工具很难分析这种吹气机翼的性能，特别是多数所需的分析均发生在失速阶段。因此，Joby 公司在设计过程中进行了大量 CFD 模拟，分析研究了不同螺旋桨尺寸、功率、展弦比和冲角等参数的组合。为了缩减计算的成本，公司在使用 Simcenter STAR-CCM+ 工具时，将螺旋桨处理为具有螺旋桨体积力的驱动盘，从而减少叶片实际几何形状对分析的影响，大幅降低了所需的网格尺寸。

在该配置的测试中，Joby 公司首先要建立一套全尺寸机翼、螺旋桨和电机，并将这些部件安装在一个改装的拖挂车上。接着，这辆拖挂车将在 NASA 阿姆斯特朗飞行研究中心的跑道上，以飞机起飞的速度行驶。与 S2 上的螺旋桨一样，该配置下的前缘螺旋桨在起降阶段之外，也会保持折叠收缩的状态，而上文中提到的翼尖螺旋桨则会负责给飞机提供推力。虽然公司在评估这些螺旋桨可能对翼尖涡流造成的阻力和能效影响时，的确采用了低阶分析法，但事实证明，CFD 仍是迄今最可靠的分析法。一系列设计参数都已经过分析。

Joby Aviation 正以其革命性电力推进概念昂首阔步地迈向通用航空飞机的新未来，仿真在理解这一先进理念的复杂性、在创新性概念的设计和开发中不可或缺。S2、Lotus 和 LEAPTech 概念设计展现了飞机电力推进技术的无限希望，而这在从前仿佛就是天方夜谭。 ■



巡航配置装配中的 Lotus（左侧）和 CFD 分析（右侧）。

绘制星际地图，探索宇宙奥秘

致敬空中客车防务与航天公司对 Simcenter
专用环境动力测试解算方案的采纳

星际梦想

Gaia 卫星于 2013 年 12 月在位于法国圭亚那的欧空局发射，任务就是测量近十亿颗恒星的精确位置以及最亮的 1.5 亿颗天体的视向速度。Gaia 卫星的预计工作寿命截止 2019 年，甚至可能延长至 2023 年，负责向地球发送我们所居住的星系——银河系的结构、形成与演化信息。

科学家们希望这次任务提供的数据能够解开人们对于太空的一些基本谜题。Gaia 对这十亿颗恒星的光谱光度测量结果将帮助确定银河系、太阳系、行星系、类星体甚至小行星的起源、结构和演化。

Gaia 由空中客车防务与航天公司制造给欧洲空间局 (ESA)，这个重达两吨的卫星配备了复杂的仪表仪器，包括具有十亿像素阵列的两架天文望远镜、原子钟和 10 米长的遮阳帆布。此卫星在距离地球 150 万公里的轨道运行，它发回的数据可能揭开宇宙之谜。

Gaia 和其他价值连城的航天设备是如何从发射台飞向太空深处而完好无损并正常工作的呢？对于空中客车防务与航天公司研发 (R&D) 和环境工程试验项目负责人保罗·艾瑞克·杜普伊和他在法国图卢兹环境工程试验中心的成员而言，却是真相昭然：在最先进的工程试验机构与世界上最有经验的人以及客户一起使

用最新的仿真和试验解算方案。

超过 30 年的经验

空中客车防务与航天公司在图卢兹拥有一个顶尖环境工程试验中心，之前称为法国宇航环境工程试验中心。该团队具有超过 30 年的经验，自 1983 年起一直致力于国际空间试验科学。这个占据 20,000 平方米的试验中心与空中客车防务与航天公司的卫星一站式实验室直接相连。

自 2000 开始，该试验中心的投资已超过 1150 万欧元，吸引了法国航空航天界以外的关注，包括美国。美国 DIRECTV 15 卫星就是在该中心试验并于 2015 年在法国圭亚那发射的。

越来越多的卫星集成商和组件制造商都依赖该团队的经验来试验和验证其价值数百万美元的航天设备，因此该试验中心经常忙得不可开交。空中客车防务与航天公司采用 Simcenter 解算方案，包括 Simcenter SCADAS 硬件和 Simcenter Testlab 软件。

“我的团队拥有很多振动器，采用两种信息收集系统来运行试验，”空中客车防务与航天公司机械测试经理卡琳娜·庞特说。“较小的那个配有 128 通道 Simcenter SCADAS 硬件控制系统，一年大约要使用 10 到 12 次。较大的多谐振动系统振动器上的 96 通道

Simcenter SCADAS 控制系统每周都要使用。我们的试验活动也并非仅限于大型卫星。试验子系统，譬如通信卫星发射器，也是我们的主要工作之一。最近，我们兴奋不已，因为我们刚刚完成了 CHEOPS 任务天文望远镜的试验工作。”

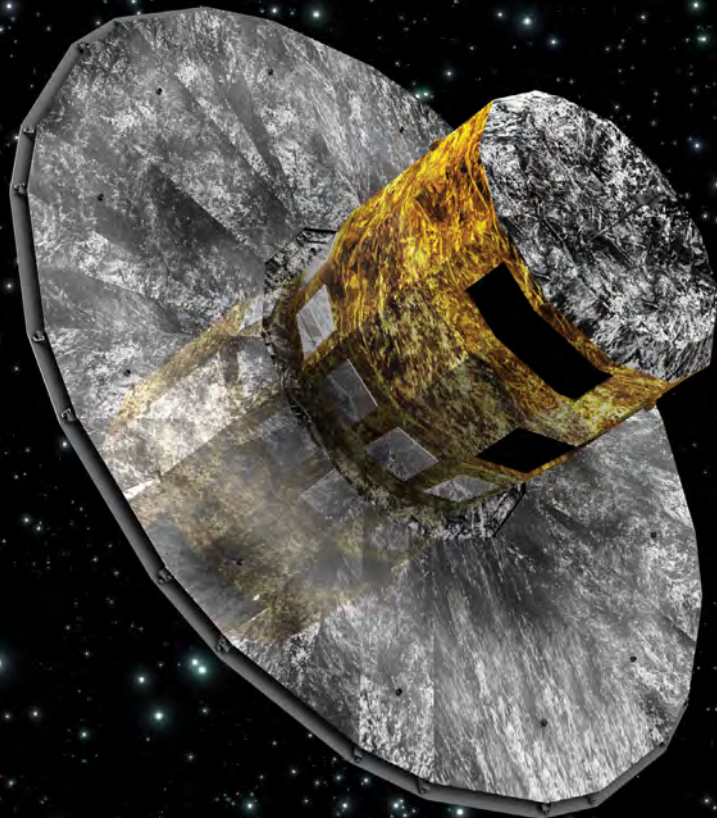
空中客车防务与航天公司的这个团队当之无愧。CHEOPS（表征系外行星卫星）是空客西班牙公司领导的特殊项目，其天文望远镜由 ESA 和瑞士宇航局负责。CHEOPS 计划于 2018 年发射，此卫星只装配了 Almatech 公司研发的里奇-克莱琴望远镜。其运行轨道在距离地球大约 800 公里的高度，旨在研究与我们相似的外太阳系行星的形成。

欧洲、北美和更多地区

CHEOPS 望远镜、Gaia 和美国的 DIRECTV 15 卫星只是该试验中心一年处理的部分项目。得益于多年的经验，该中心可以通过高度先进、高效的流程全负荷运行。

“我们自己的软件 DynaWorks 可以帮助我们高效试验，”杜普伊解释说。“这款软件实际上凝聚了我们过去 30 年在航天领域的所有经验。如今，我们流程清晰、工作高效。”

关于解决方案的测试，该团队从 2000 年以来一直使用独一无二的定制系统。



该系统集成到 DynaWorks® 流程中，很长一段时间内都可以高效工作。“几年之后，我们发现维护方面存在一些问题，”杜普伊解释说。

“15 年之后，我们发现自己根本没有备件。供应商不愿意再次投资。”

寻求新试验设备

公司决定去伪存真，找到一种新的试验设备解决方案。旧数据采集系统完全可以编程。整个准备过程和各种传感器设置都可以自动化并通过 DynaWorks 平台追踪。所有这些宝贵的设置信息，包括传感器类型和通道线缆连接，都发送到数据采集站以便对放大器和通道连接编程。运行试验之后，所有收集的信息再发送回 DynaWorks 进行后处理和归档。

效率 and 安全性是试验中心希望通过新硬件选择改进的两方面，但这一次，供应商必须愿意提供支持和必要的备件。对于新系统，这些方面的要求非常严格。

引领行业标准

试验中心联系了超过八家供应商。最后，他们选择了 Simcenter 环境动力试验解算方案，其中配有专用 Simcenter SCADAS 硬件和 Simcenter Testlab 软件。

“Simcenter 如今为我们打开了高效发送

信息和高效试验的一扇正确的大门，”杜普伊声称。“与 DynaWorks 结合使用，它成为市场上最快、最高效的解算方案。之前，我们需要大约 30 分钟的时间才能收回数据，需要大约 20 分钟的时间来为放大器编程。如今却快了很多很多。随着这些方面速度的提高，试验中心可以在一周五个工作日中完成一次完整的试验。这种完整的试验意味着三轴正弦试验和声学试验。我认为其他任何试验中心都无法与之媲美。”

除了高质量工具和高效流程以外，杜普伊还赞扬了试验团队的知识 and 经验。

“我们的试验工程师和技术人员十分优秀，他们一直与客户携手合作，”杜普伊说。“一切和谐共生。我们具备所有设施和一站式试验室，并且深知自己的本职工作。我们拥有这一行业长达三十多年的经验。我们一直努力让所有流程保持最新，为客户提供最佳解决方案。”

高质量可靠工具

庞特和她团队里的 12 名工程师和技术人员最近使用 Simcenter 环境试验解算方案进行了 CHEOPS 望远镜项目，这对于他们实属佳音。“这是我们使用新的 Simcenter 系统进行的第一次试验活动，”庞特说。“我们真的明显感受到了差别。数据采集和编程都非常高效。”

硬件方面的一个显著区别在于，采集板

是统一的，可以轻松附加到任何所需类型的传感器上，并且对采集通道编程也异常简单。

“由于我们专门要求控制系统的 VCF4 数据采集卡具备监控输出的功能，因此可以记录采集系统控制通道的冗余副本。因为设置定义软件支持这一功能，所以设置出错的几率降至最低，”庞特补充说。

Simcenter SCADAS 硬件还是一种紧凑式单模块单元。与其他系统相比而言，它的连接点和综合布线更少。这在总体上改进了质量。

“有了 Simcenter 试验系统，我们的动力范围大出很多，”庞特说。“我们可以执行 0.1 或 0.2g 扫描量级。采用之前的系统无法执行这么低范围的试验。我们对这些结果也非常满意。

“采用旧的采集系统，我们必须等一会儿才能获得时程数据的所有信息，而现在我们在试验之后就可以立即获得。不需要等几分钟，几秒钟就可以了。有了新的 Simcenter 系统，我们可以极为轻松地节省大约十分之一的时间。”

此外在试验过程中，队员们还注意到了其他方面的改进，譬如 Simcenter Testlab 提供的联机实时光谱数据，帮助节省了试验花费的总时间。“有了新的



Gaia 可展开遮阳罩 (DSA) 融合到卫星和图卢兹进行的部署试验中。

Simcenter 测试解算方案，我们的工作变得容易了，“庞特说。“我们遇到的问题变少，整个流程更加顺利，分析团队也能比之前更快收到数据。他们确认这些数据正确，并且他们获得数据的速度比原来快了 10 倍。”

512 通道

空中客车防务与航天公司使用的 Simcenter 环境试验解算方案在 Simcenter SCADAS 硬件设备上共有 512 个通道。此系统于 2015 年 6 月更新并安装，是专门用于振动鉴定试验的最大数据采集系统，包括数据归约和振动控制。

除 512 通道以外，队员们觉得如果 Simcenter SCADAS 数据采集卡能具备额外功能可能更有益处，包括每个通道在输出或电气接地选择中复制模拟信号输入的功能。荷兰布雷达的 Simcenter SCADAS 硬件团队为此需求专门研发了新式浮充电压 4 通道 (VCF4) 卡。

“Simcenter 产品的卓越质量受到了我们每天使用此软件的技术人员的真心推崇，”杜普伊补充道。“Siemens PLM Software 认真考虑了我们的要求，召集了荷兰方面最好的专家，确保产品符合我们的需求，最终开发了这款专用卡。我们认为它和所有 Simcenter SCADAS 产品一样，具有高水平的硬件和软件支持，是一款标准、可用产品。这才是真正商业合作伙伴的价值所在。”

让合作关系踏上新台阶

为支持试验活动，公司开设了软件部门和工程部门。除图卢兹的试验中心和 DynaWorks 平台软件开发以外，空中客车防务与航天公司还因其工程部门闻名于世，该部门具有 25 年的咨询经验，为国际航空航天界提供了大量环境试验业务。

“我们在 25 年前开始为巴西企业提供咨询服务，”杜普伊说。“在过去的两年里，我们在世界各地的试验中心进行了大量咨询工作，因而获得了大量的经验。我们希望将这些经验源源不断地提供给客户。譬如，我们的工程团队参与了阿根廷、哈萨克斯坦、马来西亚、土耳其和韩国等世界各地的多个项目。”

“我们一直推荐，而不是强迫客户使用不同数据采集系统搭配我们的 DynaWorks 软件解决方案来进行自主试验管理活动，”杜普伊说道。“最有用的产品组合就是 Simcenter 试验数据采集解算方案和 DynaWorks。大部分情况下，客户也会请求，实际是坚持使用 Simcenter 解算方案。这对我们而言是最理想的情况，因为我们知道 Simcenter 试验解算方案会显著提升效率并极大降低每项试验活动的风险因素。” ■



Copyright Airbus Defence and Space

空中客车防务与航天公司在法国图卢兹试验中心用于环境试验的 Gaia 卫星模块装置

专家解说

Simcenter 新闻与航空航天与国防策略副总裁戴夫·雷默谈论设计验证发展历程

为何 Simcenter 适合飞机开发历程？

Simcenter 从产品角度出发至关重要，因为我们在设计产品的过程中，需要对其进行分析，并模拟其性能。这对于设计而言不可或缺。通常，在我们设计产品时，我们需要先设计，然后验证设计。有了 Simcenter，我们可以在设计时验证。

这可以缩短开发周期时间，在大型开发项目中可以为企业节省数亿美元。拥有这样的工具集并将其集成到流程其他环节，如设计、规划和制造，同样必不可少。否则，就失去了确保所建设计正常工作的要素。

可以举个例子吗？

进行分析的时候，始终需要考虑结果。让我们以管理仿真数据为例。假设我们是分析团队，有些人的版本保存在笔记本里。我的版本共享在某个文件夹里，你的版本保存在 U 盘里。我们并不知道自己所分析的版本是否正确，对吗？谁有正确版本呢？正确版本在哪里？

这是很多企业如今管理仿真时仍然面临的问题。他们通过共享硬盘或文件夹存储。或者最新版本可能与其他 10 个版本一起存在于共享盘中。我应该调用哪

个版本呢？我一不小心拿了一个错误的版本。这个错误可能导致数百万美元的损失。

这就是仿真模型管理为何如此重要的原因。进行设计更改时，需要确保仿真模型反应最新设计。我应该调用哪些仿真模型来更新呢？哪些版本可以保留不变？PLM 的重要贡献在于，分析员可以和设计师协同，而分析员也可以与其他业务流程人员协同。

具体说来涉及哪些产品？

Teamcenter、NX CAD 和 Simcenter 之间存在着明确的关联。我们可以将 CAD 模型与 CAE 仿真模型同步。设计员提出更改，分析员会收到通知，提示您可能需要更新 CAE 模型。也许更改对您的工作没有影响，又或者您需要重做工作，但至少也要心知肚明。

这一切对于应对航空航天界的挑战存在哪些帮助？

无论是卫星、火箭、飞机还是直升机工作人员，航空航天人员的工作都与人类的生命密切相关。因此，航空航天界的容错率为零。一个小错误就可能要以牺牲别人的生命为代价。无论是民用航空还是军用飞机都一样。所有工作必须精确无误。其中的秘诀就在于，建立一种

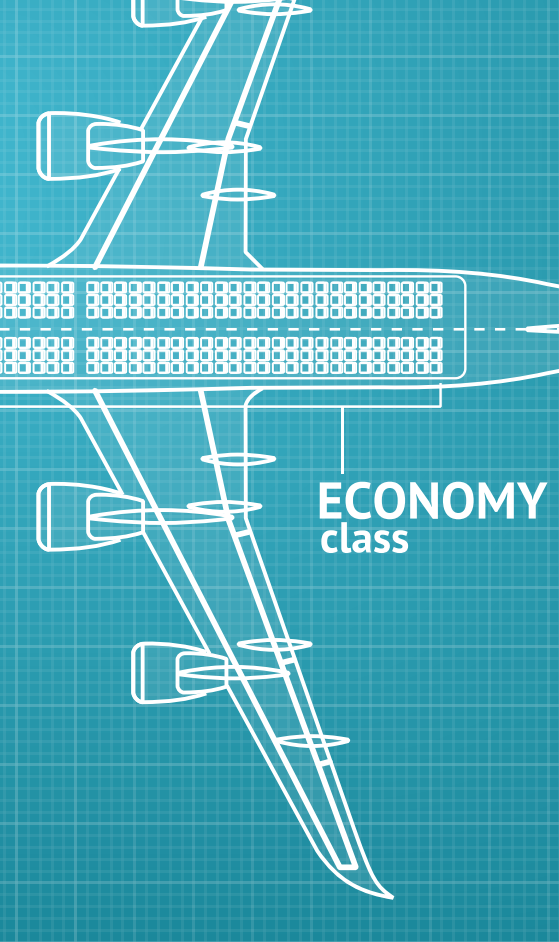
基础，让设计与分析联系起来，确保分析匹配并与其他分析关联。

航空航天业如果没有这样的基础，就需要做大量工作、花费大量时间和大量金钱来确保不会出错。如果 Simcenter 和 Teamcenter 软件可以告诉你哪些对象不同步，何必还要自己花费时间和精力呢？软件会为您提供信息，供您立刻处理。无需花几周的时间来查找正确数据并手动比较。有了 Simcenter，所有答案就在眼前。

验证和认证对于开发过程而言至关重要。Simcenter 试验解算方案在这个过程中起到哪些作用？

我们 Catalyst 解决方案中的验证管理依赖于 Simcenter。其功能在于将需求与试验或仿真验证方法相连。我们可以保留这种关系，这样当我们在生产中提议变更时，可以清楚哪些试验对象涉及变更。如果需要重做或重复试验，这一点将有帮助。对于 CAE 也一样。软件会告诉您相关更改在哪个模型和哪个 CAE 分析中。

记住，航空航天项目的试验和分析可能需要花费几年的时间。在这段时间里，设计很可能发生改变。所以，如果需要



件，我们只是要“刚刚好”。所以简单而言，没有哪个飞机认证能够离开试验。

西门子电动飞机会改变我们的飞行方式吗？

我认为电动飞机一定会实现并将彻底改变世界。电气化将从根本上改变世界。如今，我们依赖燃油。如果开车和搭乘飞机都无需燃油会怎样？这会对世界经济和地缘政治产生哪些影响？与其他技术一样，电动飞机技术也将分步发展。这种技术改变不会一夜之间完成，而可能要大约 20 年的时间。我认为技术本身是可行的。 ■

重做部分试验或分析呢，如何知道哪些试验或分析需要重新运行？也许更改部分对您没有影响，无需重新试验。或者确实存在影响，并且需要重新分析和试验。

所以这些与可追踪性相关吗？

整个流程都有追踪性，甚至硬件也有。我们其中的一项研究就是 Catalyst 验证管理插件，我们称之为自动化测试相关性。所以，现在我们可以使用仿真和 Simcenter SCADAS 硬件以及 Simcenter Testlab 软件来定位仪器。我可以在 NX 中审核仿真分析，选择仪器位置，它会自动创建试验要求，设置加速度，采集数据并在 Simcenter Testlab 中处理数据，校验数据并自动将其显示为试验结果。试验工程师无需浏览所有通道的试验数据就可知道哪些数据用于哪些测量。他们只需创建测量，结果会自动得出。

试验活动的天数统计了吗？

试验天数应该没有统计。我认为通过仿真验证设计的功能将继续提升。我们未知的问题还很多。颤振就是比较好的示例。这就是我们还没有完全搞清楚的问题，仍然需要进一步试验。

挑战在于，我们还不具备“足够好”的条

关于戴夫·雷默

戴夫·雷默是 Siemens PLM Software 航空航天与国防策略副总裁。他在加入 Siemens PLM Software 之前已经从事了 35 年的航空航天与国防职务。在加入西门子之前，雷默担任 ATK 航太系统公司科学和工程集团副总裁，主要负责航空航天系统集团的所有技术项目，包括我首次组织助推器的战神火箭。他还负责了航天飞机可重复使用的固体火箭发动机、导弹防御系统、战略导弹和商业卫星固体火箭助推器的所有工程活动。在加入 ATK 之前，雷默还在雷神飞机公司就职了 27 年。



空客提供的 E-Fan X 图片。

携手合作 E-Fan X

电动航空时代即将到来，并且速度比想象得更快

由空客、罗尔斯罗伊斯和西门子联合开发的 E-Fan X 预计于 2020 年试飞，是旨在验证混合电力推进系统在 100 座客机中的技术可行性的飞行试验飞机（业界专家习惯称之为“验证机”）。目前的计划是使用 100 座的英国宇航公司 (BAe) 146 近程喷气式飞机。第一步是要将 BAe 146 四个燃气涡轮发动机中的一个替换为西门子的两兆瓦电动发动机。

如您所料，这并非西门子首次涉及此领域。配有西门子电动飞机推进系统的创纪录 Extra 330LE 飞机在过去的两年里已经取得了诸多创新突破。Extra 330LE 重量约为 1,000 千克，打破了飞机的世界爬升记录，最高速度可达 337.50 km/h，也是第一架将滑翔机拖至空中的电动飞机。

将传动系统技术推向极限

Extra 330LE 不仅打破了记录，其电驱动系统也是世界记录保持者，勇夺同级别功率重量比桂冠，连续输出功率可达 260 千瓦。电驱动系统重量仅为 50 千克，但功率重量比却前所未有。基于此世界级传动系统的工作经验，西门子打算为 BAe 146 支线飞机开发两兆瓦级电力推进系统。此系统的功率几乎要达到目前 Extra 330LE 驱动系统的八倍。

在第一架飞行验证机中，飞机四个燃气涡轮发动机中的一个将替换为西门子公司提供的两兆瓦级电动发动机。最终的 E-Fan X 将在机翼上安装四到八个电动机，用以驱动飞机的螺旋桨或风扇。电力推进系统能源由机身叶轮机的发电机提供。起飞和爬升均靠 700 千瓦锂离子电池发电。

从技术角度而言，E-Fan X 非常了不起，但是涉及的工作也很繁多。尽管电力推进系统将会应对绝大部分的噪音污染问题，但是所有发动机和电池的重量也不可小觑。尽管高级轻

量型工程和高科技材料不断进步，但是最终的 E-Fan X 必须小而精。将 2020 年的首飞纳入开发周期，一切将会非常棘手。

那我们什么时候能够实现电动飞行呢？

似乎所有的成败在于 Simcenter。西门子电动飞机负责人弗兰克·安东博士声称，成功的秘诀不在于材料或拓扑结构：“我们所讨论的这些超轻推进系统之所以能够开发并最终构成，都要归功于 Siemens PLM Software 仿真套件 Simcenter，它融合了所有已知的物理和技术精华。使用这些技术，我们以迭代方式不断构建数字化双胞胎并最终优化原型。这不仅加快了开发，还让产品功能更加强大。” ■



SIEMENS

Ingenuity for life

今天的梦想需要未来的付出。

Simcenter: 智能创新时代的预测性工程分析。

打造梦想，从来都不是轻而易举之事。如今的产品越来越智能化。制造流程越来越复杂。设计周期却越来越短。有了 Simcenter，所有困难将迎刃而解。Simcenter 特有的多学科仿真组合、先进的测试和数据分析，让您更快探索不同备选方案、更加准确地预测性能并更加自信地打造创新。

siemens.com/simcenter

版权页

出版总监：Peter De Clerck

主编：Jennifer Schlegel

创意总监：Werner Custers

编辑团队和撰稿人：Els Coenen、Karen De Meyer、
Adèle Dolique、Julia Hetz、Olga Korosteleva、Katia Liu、Cindy
Piskor、
Michael Ramirez、Al Robertson、Rajesh Ramaya Selvaraj、
Ganesh Sethuraman、Prashanth Shankara、Raphael Van der Vorst、
Bart Van Lierde 和 Els Van Nieuwenhove。

尽管我们竭尽全力确保 Simcenter 新闻准确，如有勘误，恕不负责。

© 2018 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.

Siemens 和 Siemens 徽标是 Siemens AG 的注册商
标。Simcenter、Simcenter Amesim、Simcenter Samtech Samcef、
Simcenter Samcef Caesam、Simcenter SCADAS、Simcenter SCADAS
XS、Simcenter Smart、Simcenter Testxpress、Simcenter
Soundbrush、Simcenter Sound Camera、Simcenter Testlab 和 LMS
Virtual.Lab 为 Siemens Industry Software NV 或其任何附属公司的商标
或注册商标。Femap、HEEDS、Simcenter 3D 和 Teamcenter 均为
Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 或其附属公司在
美国及其他国家/地区的商标或注册商标。Simcenter STAR-CCM+ 和
Simcenter STAR-CD 是 Siemens Industry Software Computational
Dynamics Ltd. 的商标或注册商标。

SAP 是 SAP SE 的注册商标。

NASTRAN 是 National Aeronautics and Space Administration 的注册商
标。

所有其他商标、注册商标或服务标记均属于
其各自持有方。

