



SIEMENS
Ingenuity for life

Siemens Digital Industries Software

下一代飞机设计

采用全新方法实现飞机工程

高层摘要

飞机制造业迫切需要行业转型，以避免因旅客客流量增加而带来的二氧化碳排放量激增，其中实现推进系统电气化是重中之重。但是，其所需的超大功率密度势必会产生多种热力学问题和电气系统集成难题，加剧各种不同物理系统之间的相互作用。要解决这些复杂性难题，飞机集成企业需要升级其产品开发流程，从以往孤立、静态、基于文档的工程设计模式转向动态、基于模型的工程设计模式。西门子的 Simcenter™ 解决方案组合提供一整套综合性、可扩展、便于协同的工具，支持动态、基于模型的性能工程设计模式，将从概念设计到成果认证的所有流程集成到同一个平台上，且具有完全可追溯性。这样就可以在整个设计周期中实现一致、准确的行为验证与确认。

目录

- 摘要.....3
- 当今的航空业现状.....3
 - 航空业：全球化的基石.....3
 - 环境问题.....3
 - 燃油消耗与运营成本.....4
 - 机场运营.....5
 - 安全飞行.....5
- 未来飞机的电气化趋势.....6
 - 技术工程挑战.....6
 - 开发流程相关挑战.....7
- 飞机工程设计的全新方法.....10
 - 采用基于模型的系统工程消除孤岛效应.....11
 - 利用现成的航空模型.....11
 - 根据工程需要灵活缩放模型.....12
 - 深入涵盖各种应用程序.....13
 - 充分利用仿真模型.....13
 - 充分发挥仿真与测试的协同作用.....13
- 结论.....14
- 参考信息.....14

摘要

化石燃料对环境带来的危害和影响已经成为所有交通运输业的热议话题，同时也使电气化成为人们重点关注的领域之一。飞机电气化设计需要多种创新型技术和全新的开发流程。在本白皮书中，我们列举了飞机电气化设计所面临的种种挑战，详细阐述了基于模型的工程设计方法如何帮助飞机制造企业及其供应商部署全面的数字化双胞胎，打

造真正的性能工程设计。该方法通过对真实场景的虚拟仿真来进行相关行为的验证和确认；通过消除不同学科和应用之间的孤岛效应来有效解决设计中的复杂性难题，可以大幅缩短开发时间并降低设计风险；再加上数字线程的灵活运用，出色完美的项目执行得以实现。

当今的航空业现状

航空业：全球化的基石

要准确预测一个时代可能出现什么样的重大变革，绝对不是一件容易的事。在过去 50 年间，全球化无疑是最重要的发展趋势之一。如今，世界上人与人之间、社会和企业之间的联系日益紧密，关系日益和谐，这得益于诸多领域取得的巨大进步。例如，许多国家不仅国内局势稳定，对外关系友好，教育水平和公共福利也有了显著提升。我们看到，通信技术的革命性创新大多源于航空航天事业所取得的巨大成就，或者与之息息相关。

当然，不可否认的是，全球化的最重要推动力量是人们日益增强的实现全球范围内面对面交流的能力。而航空旅行正是将人们（和货物）快速送到世界各地的重要方式。而仅仅在 50 年前，航空旅行还只是大型跨国企业和少数有钱人的专利。如今，飞机和航空企业扮演着人与企业之间联系纽带的关键角色。

与此同时，无论是商务旅行还是休闲旅行，航空旅客的客流量均保持稳定增长的态势。据空中客车公司《全球市场预测》¹ 和波音公司《商业市场展望》² 报告显示，旅客客流量有望在 2017 - 2032 年翻一番。新冠疫情可能会减缓这一速度，但对十五年的历史跨度来说，这种严峻形势可能只是暂时的。航空旅客的出行人数和频率大幅增加的主要原因则是亚洲地区居民的收入大幅增加。

航空旅行已经成为过去 50 年全球化的基石，未来它将继续扮演这一角色，发挥其应有的作用。

环境问题

但与此同时，也不乏批评的声音。全球化以及由此延伸出来的工业化主要采用化石燃料作为驱动力，这为地球带来了巨大的环境压力。在这一点上，人们已经达成科学共识：如果不立即采取有效行动，则将造成无法弥补和

挽回的环境破坏。全球气候变暖问题已经促使国际组织达成了多项有关人为二氧化碳排放的国际协议，以及各国针对所有交通运输行业出台的多项法律法规。所有交通运输行业加起来占全球温室气体总排放量的 15%³。尽管航空业占比相对较小（约占总排放量的 2%、交通运输行业排放量的 12%）⁴，但也给人们留下了相当负面的印象。

飞机制造业已经意识到，他们亟需要采用高新技术让航空旅行更清洁和更可持续，以此来扭转其糟糕的生态足迹和负面形象。在图 1 中，国际航空运输协会 (IATA) 描述了在预计客流增长速度保持不变的情况下，各领域二氧化碳排放量在 2010 - 2050 年间的变化趋势。如果再不采取任何针对性措施，碳排放量就会直接翻一番。因此，飞机制造和推进系统制造企业一直在努力寻找种种解决方案。除了不断减轻飞机重量外，还应在增强现有飞机发动机性能或者优化基础设施和企业运营这两个方面寻求进一步改进。但是，任何对现有技术的演化更新都无法帮助实现减排目标。因此，亟需采用高新科技来实现到 2050 年碳排放量减少 50% 的目标。除了大量采用生物燃料和氢燃料外，替

代性机身配置、结构和材料技术（例如变形机翼技术、电动和混合电动推进系统）也极具开发潜力。

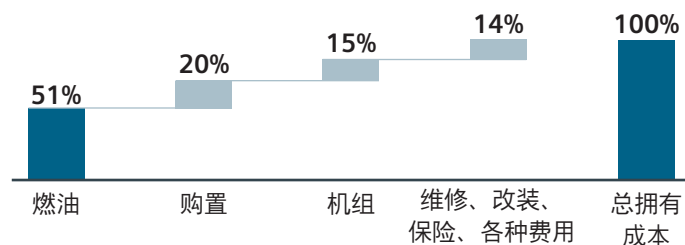


图 2. 典型单通道商用飞机的总拥有成本。⁶

燃油消耗与运营成本

值得一提的是，除了帮助解决这些环境问题外，提高能源效率、减少对化石燃料的依赖还可为航空业（特别是商用飞机）带来更多其他效益。图 2 显示了一架典型波音 737-800 型飞机的总拥有成本 (TCO)，其中 50% 以上的成本与燃料直接相关。由于地缘政治纷争等原因，化石燃料的价格会剧烈波动，这对于飞机运营企业来说无疑是巨大的财务负担，甚至是严重风险。在这一方面的任何改进都

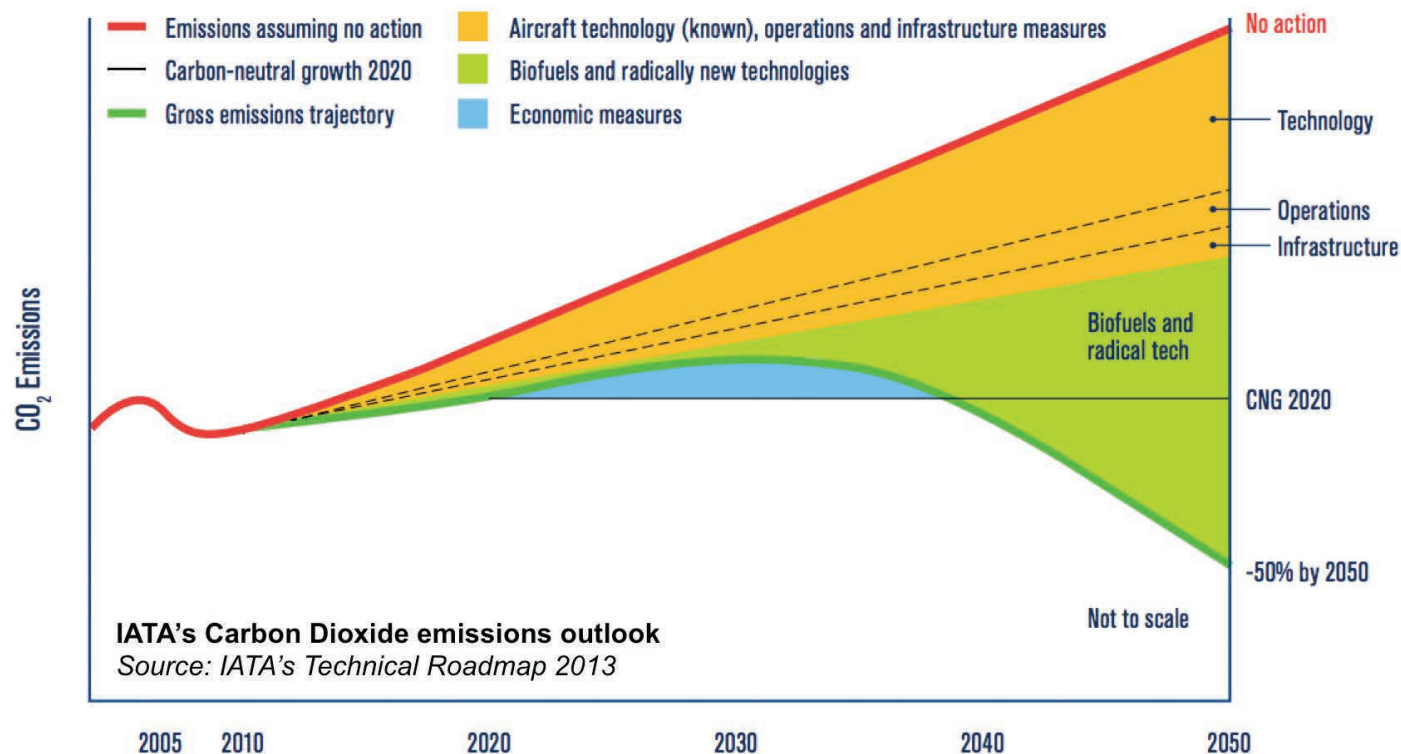


图 1. 二氧化碳排放量随多项技术演进的变化趋势。⁵

可能大量节省航空企业的运营成本。而电气化就是其中一种值得考虑的途径。IATA 指出，混合动力技术可帮助小型飞机（15-20 座）减少 10-40% 的化石燃料消耗（2030 年），可帮助中型飞机（50-100 座）减少 40-80% 的化石燃料消耗（2045 年）。而这仅仅是实现全面电气化的中间一步。

机场运营

除了化石燃油消耗和碳排放外，噪声和空气质量也是航空业对当地环境总体影响的组成部分。例如，噪声是许多地方政府出台法规限制飞机夜间和凌晨飞行的重要原因。在扩建现有机场或规划新机场时，噪声通常也是要考虑的主要障碍因素。为了与机场附近居民和谐共处，实现可持续发展，航空企业必须认真考虑这一因素。在规划实施最新技术时，无论是否需要基础设施更改，飞机制造企业和机场运营企业都必须通力合作，将环境噪声降至可接受水平以下。

此外，实现电气化还可以带来其他优势。电力驱动在保持充足推进力的同时，还可以降低螺旋桨和风扇的转速，进而还可以实现分布式推进的应用。这样，航空工程师就可

以对飞机结构进行试验，将风扇屏蔽到机身结构中，避免噪声直接传播到环境中。

安全飞行

最后，说到航空业不能不提到安全性，它目前仍然是航空设计的第一标准。尽管如今的飞行安全已经大幅提升，但如果无法完全杜绝空难，那么还是应该继续努力改进。尤其是在新闻传播速度堪比光速的今天，即使最小的飞行事故，也足以影响人们对整个航空业的印象。此外，随着飞机自主功能的日益增加，人们反倒越来越担心飞行的安全性。这听着可能有点矛盾。因为通常来说，自动化系统的操控要比任何人工操作可靠得多。但是，这些系统的抽象性似乎降低了人们对错误的容忍度。

当然，不可否认的是，自动化系统也是人造的，难免会出现故障，并可能给飞机及其开发流程带来全新的复杂性。具体而言，飞机的电气化部署会安装许多新系统，其中会涉及到多种技术。毫无疑问，这样会带来巨大的飞机集成难题，特别是在全球范围内不同利益相关者携手合作的情况下更是如此。

未来飞机的电气化趋势

IATA 发布的《2050 年飞机技术路线图》指出，我们目前正处于对传统的“管状机身和一对后倾机翼”喷气结构进行演进式开发的阶段，有望在 2035 年迎来一轮全新的突破性创新浪潮（前提是经济条件持续向好）。目前我们已经朝着飞机电气化迈出了第一步，同时还涌现了其他创新型结构技术和材料技术。但是，客观地说，我们距离真正的行业转型还有很长的路要走。

尽管电动推进系统的应用前景广阔，并将逐步进入市场，但迄今为止，它们的应用仍仅限于小型通用航空飞机。毫无疑问，目前的最大挑战是电动机重量过大而无法大规模应用于飞机上，另外储电系统的功率密度仍远低于传统的航空煤油。我们将在后文中介绍更多具体的挑战。

不可否认，事情都在发生变化。眼下一个全新的细分市场“城市空中交通”（UAM）正在形成。电动推进装置让不少企业家构想出了能在拥挤区域上空飞行的新型飞机概念，而蓬勃发展的无人机业务则加速了 UAM 这一细分市场的发展。相信它们将很快发展成熟，并且实现载人飞行。他们进入市场势必将促进某些供应商业务发展，并加快相关技术的成熟步伐。

技术工程挑战

高功率电气系统集成

飞机内部中高功率电气系统的集成是相对较新的行业技术。事实上，波音 787 等飞机已经实现了一定程度的电气化。但这些应用也只是采用电力作动系统替代了传统的液压作动系统，或者采用电动泵而非喷气发动机引气系统为环境控制系统（ECS）供气。当然，此类应用已经逐渐为远程宽体客机机载电气系统设立了 1 或 2 兆瓦的电力功率标准。

如今，实施电力推进势必需要大幅度增加电力功率。图 3 显示了不同类型飞机起飞所需的电力功率。一架结构相对

简单、可搭乘 4-6 人、具有垂直起降（VTOL）功能的 UAM，它所需的电力功率与远程宽体客机相同，而近程客机的电力功率则要提高 10-100 倍。这其中包含很多含义。新技术和解决方案必须大幅提高适用于飞机的电压和电流等级。例如，需要采用全新的线束。



图 3. 每种机型所需的电力功率。

功率密度

在飞机设计中，每一千克的重量都至关重要。当今工业电动机的典型功率密度约为 1 千瓦 / 千克，这显然不够用。要成功应用电力推进装置（EPU），该值需要至少增加到 10-15 千瓦 / 千克。除电动机外，该值也适用于逆变器电子系统。



减重是飞机设计的永恒话题。好消息是，目前的电动机和逆变器正在向轻量化发展。但是，要实现这一目标且不对其他设计方面（例如热力学特性）影响太大，也将是个巨大的挑战。在我们目前了解的工业电动机中，其电磁特性、电气特性、结构特性和热力学特性均轻度耦合，减轻重量会导致其发生巨大变化。

例如，减少结构虽可以减轻电动机的重量，但会影响其热容量，会使其在短时间内变热，进而会引起电磁系统热变形，反过来会影响电动机的效率。或者，为防止永磁体消磁，需要对排热提出更严格的要求。

总之，功率密度越高，相关物理领域与工程领域之间的相互作用就越紧密。

热管理

电气系统需要采用与传统电力系统完全不同的排热方式。在当今的飞机中，不同系统之间的热交换以准静态方式进行，可以实现最大的热负荷发展方式。在未来的飞机中，热交换将更加复杂化和动态化，其数值可能要比现在高 5-10 倍。而目前大多数的发展方式都会造成系统超大和飞机超重。

因此，未来热管理系统的设计需要更加智能化和系统化。其中应包括所有具有热源或散热作用的组件，例如推进系统、环境控制系统、电源装置、燃料、甚至是机体结构。这就需要采用系统工程方法，摆脱当前孤立的热处理方法，基于从开发伊始到飞机交付的全过程来定义相应的热管理系统架构。

开发流程相关挑战

我们已经知道，电气化会加剧不同物理领域之间的相互作用，增加飞机开发的复杂性。如前所述，系统自动化、嵌入式软件等新技术的应用也将进一步增加设计复杂性。

如今，由于技术挑战和企业原因，飞机项目很少按时交付和按预算交付。因此，为了确保开发、认证和生产等流程可负担且可预测，就需要对现有的开发流程进行范式转换。

下面，我们简述一下典型飞机开发流程中的某些薄弱环节如何会阻碍或延迟创新技术的应用。

孤立开发会在性能工程中产生盲点

当前飞机开发存在的主要问题是，由于规模庞大和复杂性高，整个项目往往分拆成不同的系统，由世界各地的合作伙伴分别完成。这样的工作划分实际上是把飞机当成了由不同的分离系统组成、可在后期简单装配而成的物件。当然，各利益相关者之间也会经常沟通，但通常是基于互不相干的死数据，即在不同企业或部门之间共享的平面文件。一个典型例子是电气部门和 ECS 部门之间的冷却预算，通常被描述为平面数字。

这种孤立的开发方法永远无法捕捉不同系统之间动态的物理作用。因此，每个部门不得不采用安全设计余量，以弥补系统对接的不确定性，而这样显然增加了不必要的重量。最终，导致飞机的综合性能不佳、集成测试和认证成本增加、操作界面复杂，严重的话还会影响正常飞行任务。下面，我们将通过两个示例来说明这一点。

热管理

有关这一问题最显著的示例是如今普遍采用的热验证方式。各主要部门的热力工程师显然已经尽了最大努力，包括使用各种工具，例如有限元分析和流体动力学仿真等。但在大多数情况下，只有飞行试验才能表明飞机的结构、系统或子系统是否运行正常。各部门之间通常利用 PDF 数据（见图 4）进行沟通，实际上排除了考虑不同系统对接时动态变化的相互作用。

这样的盲点对于整个飞机开发项目而言会带来很大问题。比如，后期可能需要重新设计来解决相关问题，最坏的情况可能还需要创建新的铁鸟试验台，即“热力铁鸟”。所有这些都可能导致重大项目中断，产生巨大额外成本，严重影响项目顺利执行。

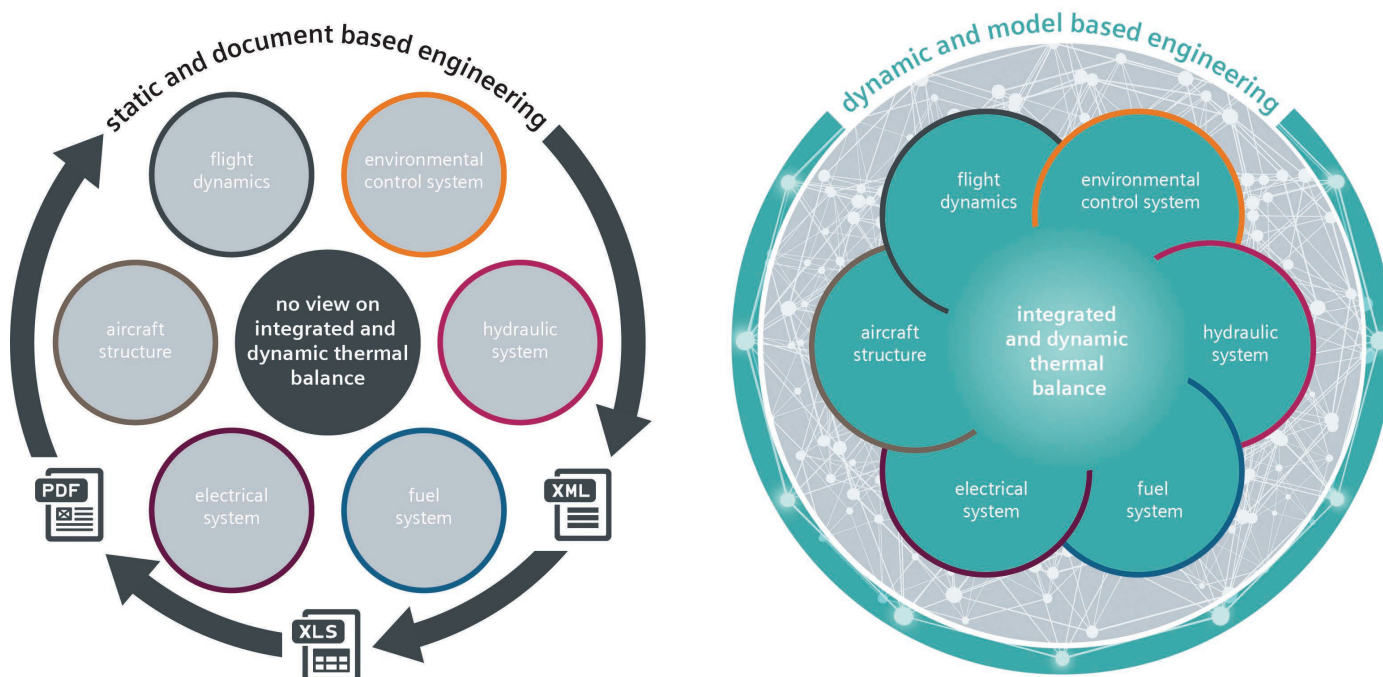


图 4. 孤立的开发方法永远无法捕捉不同系统之间动态的物理作用。动态的基于模型的工程设计方法才能全面综合地进行性能评估。

电气系统集成

第二个示例与电气系统各方面设计有关，之前也说过，这需要更高的功率、电压和电流。目前，电气系统设计、（机械）电气线束设计、性能分析和电气系统集成测试（例如电磁干扰 / 电磁兼容性 (EMI/EMC) 测试）都是孤立进行的。项目经理通常将此视为重大风险。因为您知道工作的起点，却永远不知道工作的终点。

事实上，EMI/EMC 认证往往代价高昂且需要反复试验。如果某个原本已经在原型机实施的设计不符合 EMI/EMC 标准，通常需要重新铺设各分支系统的线束。而这又需要更改电气系统设计，进而更改机械设计，然后才有望提升 EMI/EMC 性能。而这一切经常会陷入一个死循环当中（见图 5）。

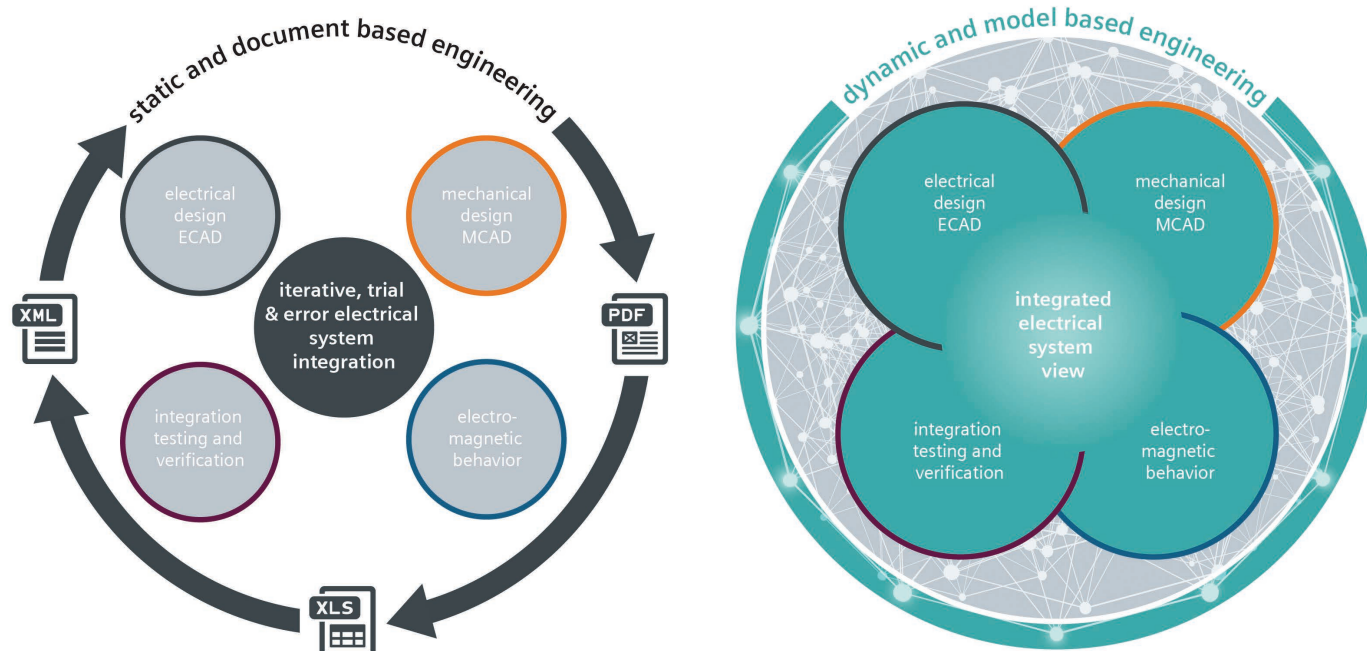


图 5. 目前，电气系统设计、电气线束设计、性能分析和电气系统集成测试都是孤立进行的。而这一切经常会陷入一个死循环当中。动态的基于模型的工程设计方法才能全面综合地进行性能评估。

飞机工程实现的全新方法

我们提到的这些技术挑战和流程挑战是当前的飞机开发流程、甚至未来的电气化转型流程所固有的，而且只能通过各个方面普遍采用数字化方式来加以解决。

- 在技术方面，需要采用具有预测能力的设计方法以实现突破性的功率密度，需要对全新的飞机配置和架构进行试验，需要具备成功解决所有热力问题的能力。在流程方面，需要创建一个囊括所有相关学科和物理领域的平台，同时有效追踪开发工作流程、工程设计决策和所采取的验证措施。我们谈起过全面的数字化双胞胎和数字线程（见图 6）。在本节中，我们将详细介绍如何使用西门子的综合性、集成式软件和服务产品组合 Xcelerator 来帮助部署必要的基础架构和解决方案。

西门子产品组合中的数字化双胞胎和数字线程解决方案在显著改善航空航天项目执行方面拥有久经市场验证的业绩记录。作为全球行业领导者，西门子非常注重技术创新，致力于为客户提供可帮助整个运输行业（包括航空业）深化数字化转型的解决方案。通过大量投资研发、建立战略合作伙伴关系和聘请拥有数十年航空工程专业技能的技术先驱，西门子已经成功实现了这一目标。

Simcenter 软件和硬件解决方案组合中的一个重要组成部分，就是将虚拟仿真与各种性能工程测试工具及服务完美结合的综合性平台。Simcenter 可让航空工程师通过建模仿真、深入了解并优化未来飞机所有组件的物理行为，包括结构开发、流体与传热、系统开发、热管理、机舱舒适性、

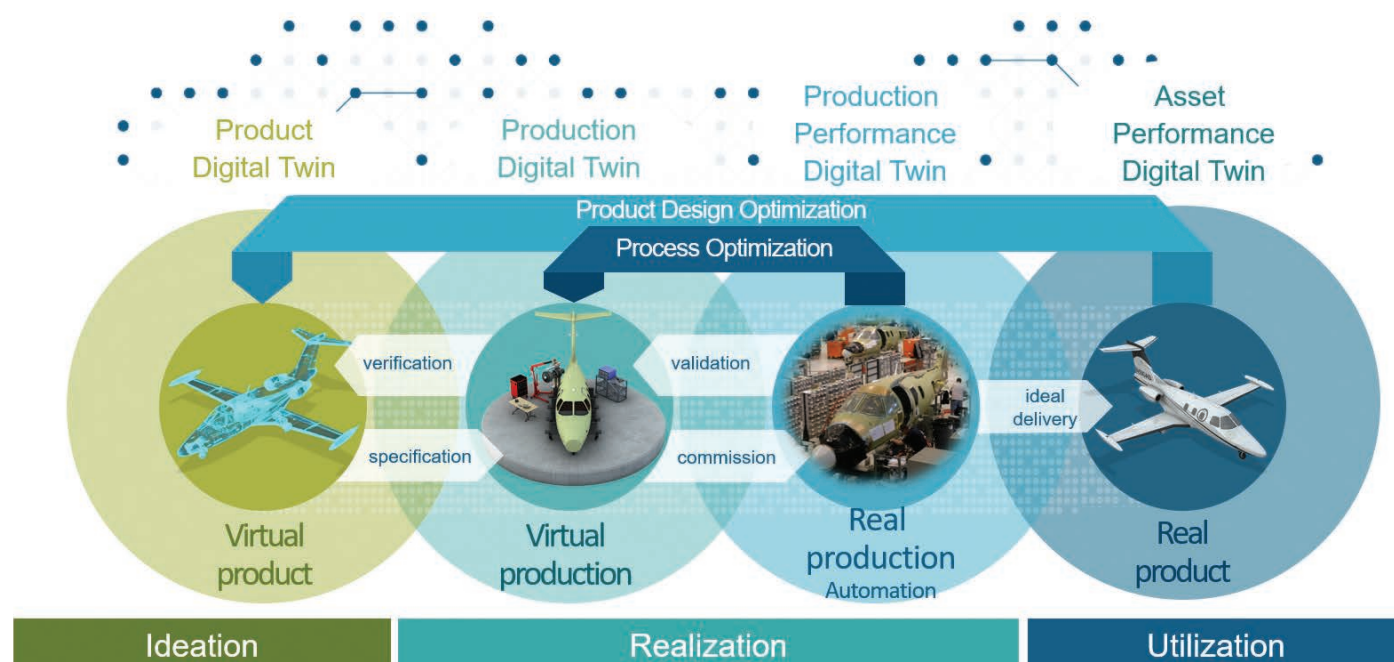


图 6. 西门子数字化双胞胎和数字线程平台。

电磁与集成、验证和认证测试等。Simcenter 环境中集成了多种解决方案，可提供各种可扩展的建模方法，从组件级别到集成后的整机级别，从低保真到高保真表现，应有尽有。因此，Simcenter 可支持从概念设计、权衡研究、详细设计到验证阶段的整个开发流程，涵盖涉及的所有物理领域和学科，且完全支持数字化双胞胎 / 数字线程范式。

图 7 显示了 Simcenter 可以发挥作用的重点区域。在后面章节中，我们会重点介绍它对于未来飞机性能工程的重要意义。

采用基于模型的系统工程消除孤岛效应

前面所列举的热管理和电气系统集成示例已经证明，孤立开发方法会严重影响甚至威胁整个项目的成功。因此，我们必须尽早了解集成飞机的各种动态行为特性，特别是在电气化和其他新技术带来更多复杂性和多物理场的情况下尤其如此。在当前的飞机开发流程中，集成方面的问题往往在飞行测试阶段才发现，此时可能为时已晚。为了控制未来飞机的开发成本，必须要改变这一点。从初步设计阶段开始，我们就必须对飞机有个整体认识。

为此，所有以前的孤岛都必须换用行为模型，并加强彼此间的协作，制定实施统一的标准，包括如何构建模型、如何表现模型及如何通过明确定义的接口与相邻系统或其他学科进行交互。设计中还涉及了众多子模型，包括大量的物理学和数学原理，因此如何选用正确的工具和方法进行集成式综合显得至关重要。为此，西门子的 Simcenter 提供了专用的虚拟集成飞机 (VIA) 和虚拟铁鸟 (VIB) 策略。在接下来的段落中，我们将介绍这些解决方案的性质和范围。

利用现成的航空模型

构建 VIA 本身就是一项巨大工程。毫无疑问，花在模型分析上的时间远比花在对飞机各单个系统的物理模型进行编程上的时间更有价值。在建立仿真时，工程师经常会浪费大量时间重构机轮，而实际上，他们只需在现有的虚拟模型表示上做些微调即可。Simcenter 本身就附带许多典型飞机系统的模型库，并且都已经过了主要飞机集成企业、供应商和学术合作伙伴的验证。对于电气系统、气动系统、液压系统、飞行控制、起落架等组件，模型库提供完备齐全模型，可轻松应对全新的飞机配置需要，例如混合电力推进系统。

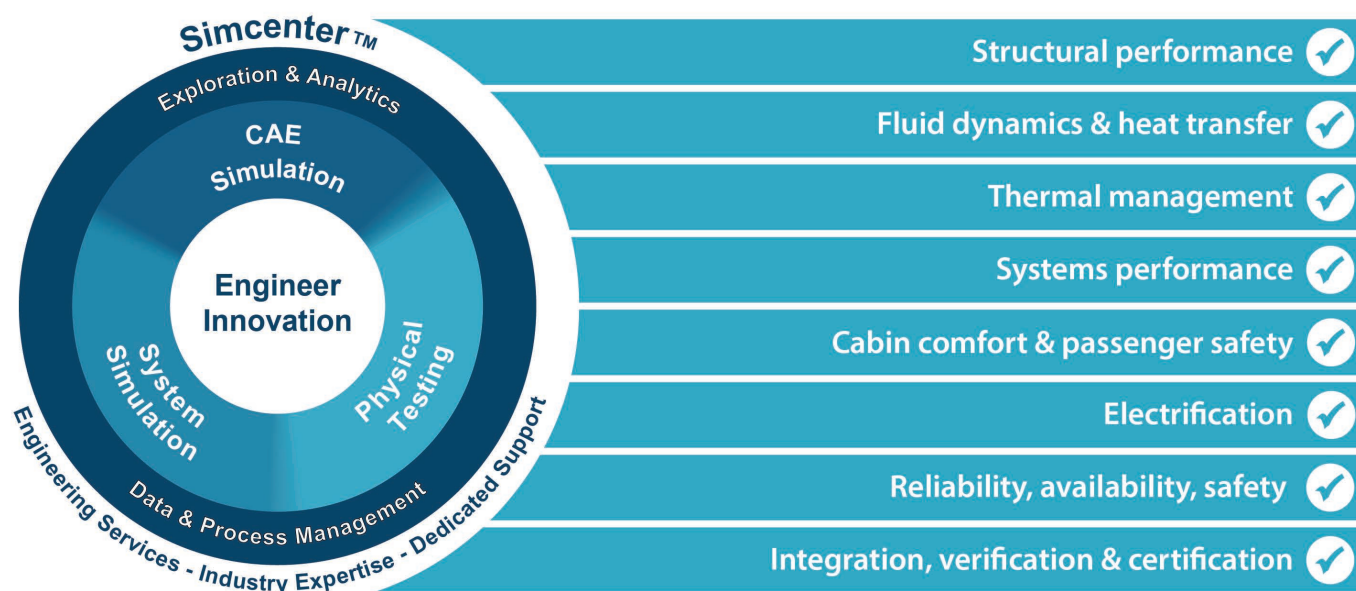


图 7. Simcenter 飞机性能工程解决方案。

借助这些模型库，飞机设计工程师可将全部精力投入到产品设计中，而不是浪费在物理模型编程上。您可以更早更好地开展权衡研究，深入分析未来飞机到底需要什么样的最佳结构和系统架构。在大型项目中，这一点的重要性不可低估。更早、更好、更深入地了解集成飞机，您就会做出更有利的选择，从而显著降低项目风险、减少整个项目周期累积的返工。更重要的是，Simcenter 是一个开放型平台，可以无缝输入其他行业标准工具的数据。因此，航空工程师可以轻松地将标准库中的组件与他们现有的模型相结合，最大限度提高设计工作效率。

根据工程需要灵活缩放模型

VIA 并非一个全包式模型，而是各种组件模型、数据和参数的集合，它们的表现方式各不相同，而且在整个开发周期中还会不断发生变化。良好的 VIA 平台可以让工程师以最合适项目需求的形式或规模选择并组合各类子系统。

Simcenter 提供一系列兼容的解决方案，是 VIA 可扩展平台的理想之选。

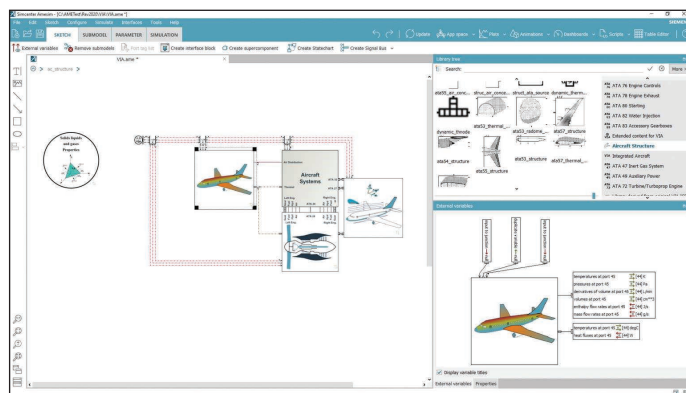


图 8. 所有以前的孤岛都必须换用行为模型，并加强彼此间的协作，制定实施统一的标准，包括如何构建模型、如何表现模型及如何通过明确定义的接口与相邻系统或其他学科进行交互。为此，西门子的 Simcenter 提供了专用的虚拟集成飞机 (VIA) 和虚拟铁鸟 (VIB) 策略。

从粗略模型到详细开发

在早期的架构权衡研究中，工程师往往无从得知详细的设计参数，故而不得不使用粗略模型做出初始决策。到了开发后期，在掌握了更多物理场详细信息时，您就可以通过深度仿真进一步完善这些决策。

在此期间，应用程序也在模型选择上发挥着一定的作用。在运行计算时，模型中的详细信息量不能过大，也不能过小，既要保证足够的精确度，又要避免过多的计算次数。当然，这方面的要求视具体的应用程序而定。因此，选择最适用的工具就显得至关重要，既要能够根据项目需要轻松调整详细信息的量，同时又要确保使用相同的基本模型。Simcenter 在这方面具有极大的灵活性。

从组件级别到集成飞机级别

各种仿真功能和模型库本身既是飞机各系统及其组件建模必不可少的组成部分，同时也是集成飞机的重要部分。这可能需要这些组件和参数采用各不相同的表现形式或抽象级别。例如，了解飞机制动伺服阀的详细物理行为非常重要。但同样重要的是，我们可能需要选取该模型并将其向上一级集成到制动系统中；然后再向上一级集成到起落架中。我们的最终目的是了解伺服阀如何在飞机级别成功中断飞机起飞。

在 Simcenter 中，工程师可以查找各种嵌入式应用程序知识以及行业专业知识，帮助他们为每种应用程序选择最合适的模型表示。

从早期概念设计到成果验证阶段

仿真的范围并不局限于飞机的开发。实践证明，如果能够将数据连续性一直延续到验证阶段之前，则通过仿真还可以帮助降低相关认证成本。这一点既适用于结构性和系统性认证，也适用于控制策略和软件验证方案的认证，例如模型在环 (MiL)、软件在环 (SiL)、硬件在环 (HiL) 和飞行员在环测试。因此，通常需要对物理模型（无论是详细模型或是粗略模型）进行调整以适应测试需要。通常，需要精简模型以使其实时运行，从而确保模型在整个 V 循环中的连续性。

Simcenter 是一款兼具仿真和测试功能的平台，提供许多让工程师在验证阶段有效使用模型的技术和方法。显然，这些模型的配置需要与待认证的设计思想保持完全一致。为此，Simcenter 还提供了一套验证流程，包括多种在托管环境中加快数据集对比速度的方法，通过保持验证管理数字线程来确保可追溯性。

深入涵盖各种应用程序

如前所述，在未来的飞机开发中，功率密度和热管理等方面的技术挑战不容小觑。成功的创新合作伙伴不可能精通所有学科。恰恰相反，您应将重点放在消除孤岛效应和提供全面解决方案上，确保为每个学科提供最先进的解决方案。

为此，西门子投资了多家技术公司，整合了一系列应用程序必需的预处理和后处理功能以及功能强大的高性能求解器，并将它们全部内置到了 Simcenter 平台中。

充分利用仿真模型

建立精确的仿真模型是一项巨大工程。因此，一旦模型建立完成，就要有效发挥它们的最大潜力。但在大多数情况下，人们将模型仅用于完善和验证特定的预选设计项目，而不是用于助力决策。

现在，借助最先进的技术，工程师可以采用完全参数化的方式进行产品定义，将基于仿真的性能分析轻松应用于设计工作，从而进行全面的设计探索。在流程中不断添加全新的创成式设计选项，例如拓扑优化、架构方法、集成系统选择，就可以在概念设计、规模预设和详细设计等方面带来极大便利。

Simcenter 囊括了用于设计探索的各种工具，并且提供了一个仿真方法与通用设计功能耦合的平台，可帮助航空工程师建立最有效的高性能设计流程。

充分发挥仿真与测试的协同作用

最后，实现电气化以及引入包括软件和电子系统在内的创新技术将大幅增加参数数量，从而大幅增加飞机设计进行优化和认证的复杂性。尽管这些工作可能需要进行更多的

模拟仿真，但同时也会持续增加测试部门的工作量。这听起来可能有点矛盾，尤其是在采用数字化双胞胎和数字线程等先进技术的情况下，但其实一点也不矛盾。恰恰相反，测试工作是全面数字化双胞胎系统的重要组成部分，贯穿整个产品设计和认证期间。仿真与测试流程的紧密集成对于作为预测方法的全面数字化双胞胎的成功至关重要。



图 9. Simcenter 提供了非常独特的环境，因为它是目前市场上唯一一款直接将物理测试与系统仿真、3D 计算机辅助工程 (CAE) 和 3D 计算流体力学 (CFD) 结合到一起的产品组合。

在早期开发阶段，数字化双胞胎的价值在很大程度上取决于建模真实感的实现程度。因此，在此期间，真实测量数据对于确认建模精度至关重要。逼真的仿真需要对各个组件、材料、边界条件等进行连续测试，这远远超出了用于标准结构相关性分析和模型更新所进行的精确数据测量的范围。测试工作可让航空工程师进一步探索未知的设计领域，并深入了解有关新材料以及机电一体化组件随附的其他参数，而这通常又要涉及多种物理学科，并且需要采用创新的测试方法。

在开发周期结束时，尤其是在认证过程中，情况会有所不同，因为测试工作通常成了工作重心。与此同时，各种压力也会日益增加。原型机和测试用基础设施成本高昂，后期发

现的缺陷更会直接影响飞机的上市进程。随着飞机复杂性日益增加，包括交付后的变动更新，再加上各种产品变型、参数，操作要点等，进一步加大了这一领域的工作份额。在此阶段，仿真可以为传统的测试流程提供很大助力。

实际上，虚拟测试在认证过程中的作用日益突出。但是在获颁适航证方面仍然存在不少限制，管理部门会始终要求飞机集成企业提供相关证明，证实其仿真模拟中的建模假设正确无误。因此，西门子坚信，应加强研究如何将物理测试和虚拟测试完美结合，以及如何通过两者的协同作用

实现更经济、效果更好的验证和认证流程。例如，虚拟仿真可以帮助定义最佳的测试配置。而通常，采用模拟元素可以简化物理测试台并补充物理测试的不足部分。这样可以减少测试设置成本，降低测试风险。这仅是其中一个例子。

从这个意义上讲，Simcenter 提供了非常独特的环境，因为它是目前市场上唯一一款直接将物理测试与系统仿真、3D 计算机辅助工程 (CAE) 和 3D 计算流体力学 (CFD) 结合到一起的产品组合。

结论

作为 Xcelerator 的一部分，西门子的 Simcenter™ 解决方案组合提供一整套综合性、可扩展、便于协同的工具，支持动态、基于模型的性能工程设计模式，将从概念设计到成果认证的所有飞机开发流程集成到同一个平台上，且具有完全可追溯性。

从开发周期的初始阶段，Simcenter 即鼓励用户为完整飞机创建全面的数字化双胞胎或 VIA，从而避免孤立式开发工作。所有模型均可随意扩展，且可随着数据不断增多或根据特定仿真需求进一步完善。在后期阶段，当开发工作进入到详细的性能工程和需求验证阶段时，Simcenter 会为所有涉及的学科提供最新的、特定于应用的解决方案。这些可以与其他高性能测试解决方案结合使用，进行模型验证或提高模型的真实感。最终，Simcenter 仿真模型可以作为飞机认证甚至后续虚拟测试和辅助物理测试的基础。

由于所有这些解决方案均集成在同一个与设计相连的平台中，因此可以使用 Simcenter 创建跨越整个开发周期的数字线程。这样有助于进行更深入的设计探索，并提供诸如拓扑优化、创成式设计等方法，用于体系架构和集成系统的选择。至此，Simcenter 即可将以验证为中心的传统开发过程转变成为以预测为中心的全面数字化双胞胎开发过程。借助 Simcenter，工程师可以实现仿真效益最大化。

参考信息

1. Global Market Forecast – Cities, Airports & Aircraft 2019-2038, Airbus, 2019.
2. Commercial Market Outlook 2019-2038, Boeing, 2019.
3. <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
4. <https://www.atag.org/facts-figures/>
5. Aircraft Technology Roadmap to 2050, IATA, 2020
6. "Electric and Hybrid-Electric Aircraft: A pragmatic view." CEC/ICMC Conference 2019, Plenary Talk, 23.07.2019 – Connecticut Convention Center, Dr. Mykhaylo Filipenko
7. <https://news.aviation-safety.net/2019/01/01/>

Siemens Digital Industries Software

总部

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 972 987 3000

美洲

Granite Park One
5800 Granite Parkway
Suite 600
Plano, TX 75024
USA
+1 314 264 8499

欧洲

Stephenson House
Sir William Siemens Square
Frimley, Camberley
Surrey, GU16 8QD
+44 (0) 1276 413200

亚太地区

Unit 901-902, 9/F
Tower B, Manulife Financial Centre
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong
Kowloon, Hong Kong
+852 2230 3333

关于 Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software 不断推动数字化企业转型，让工程、制造业和电子设计遇见未来。Xcelerator 产品组合助力各种规模的企业打造数字化双胞胎，带来新的洞察、新的改进机遇和新的自动化水平，让技术创新如虎添翼。如需了解有关 Siemens Digital Industries Software 产品和服务的详细信息，请访问 siemens.com/software 或关注我们的[领英](#)、[推特](#)、[脸书](#)和[照片墙](#)帐号。Siemens Digital Industries Software – 数智今日，同塑未来

siemens.com/software

© 2020 Siemens. 可在[此处](#)查看相关西门子商标列表。其他商标属于其各自持有方。
82126-83374-C5-ZH 1/21 LOC