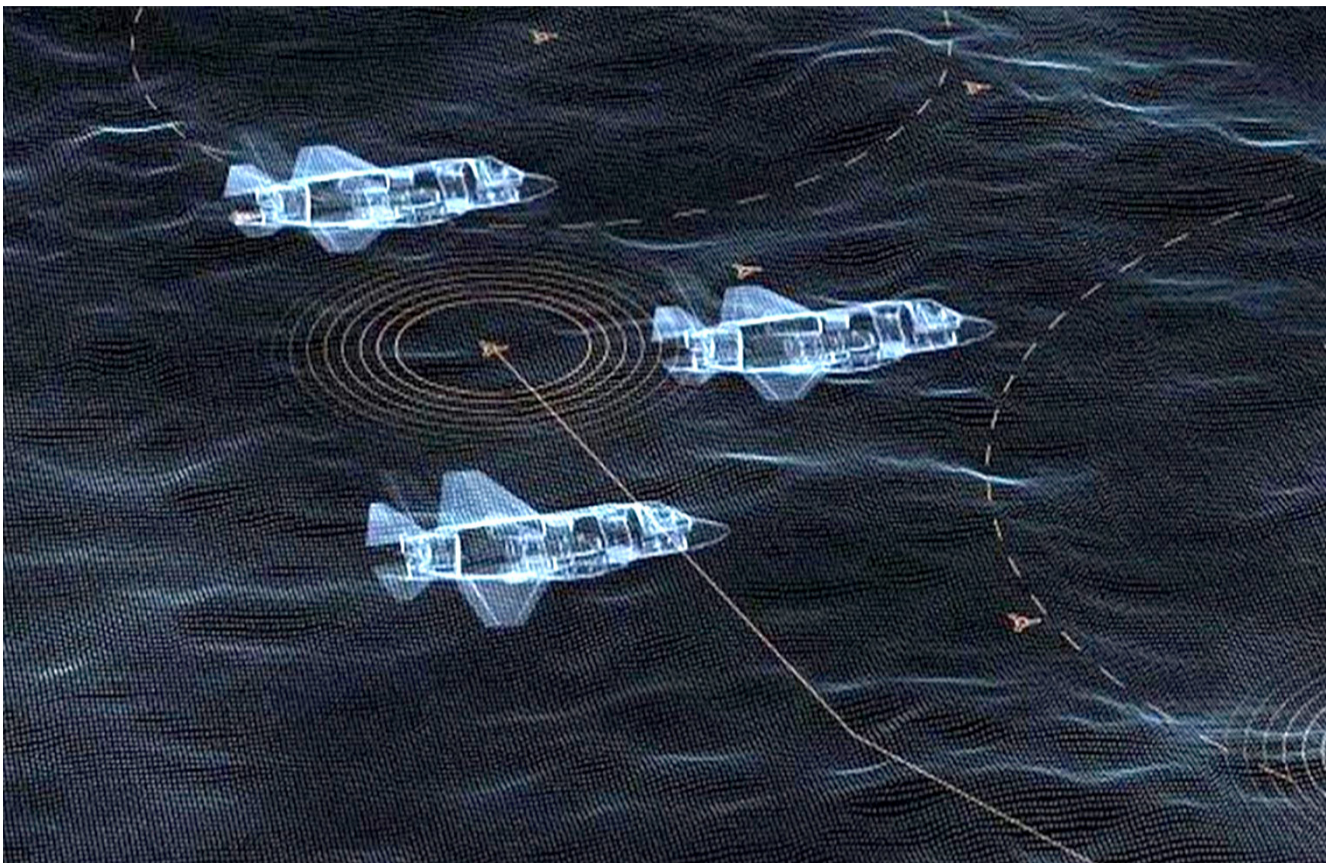


航空制造巨头利用数字工程提速飞机系统设计



刘亚威

大国军事竞争已经从单纯的装备对抗上升到能力体系的对抗，美军发展数字工程就是要升维其敏捷供给能力体系，再辅以断供等手段从供给侧给对手降维打击。美军在装备全生命周期推数字工程，离不开国防制造商的鼎力支持，目前，主要的航空制造巨头都在使用数字工程技术，促进航电等飞机系统的开发和生产。尽管这些企业在应用数字工程的方式上存在差异，但毫无疑问，数字工程对他们而言已变得至关重要。美国空军协会经常组织航空航天研讨会，其中一次的主题大概就是“为什么必须使用数字工程，如何使用数字工程”，行业大佬纷纷发言，本篇就让我们“听其言、观其行”。

美国波音公司

波音可以说是产品全三维设计和基于模型定义（MBD）的全球开拓者，进入数字工程时代，它自然也敢为人先，像融合数字孪生的系统工程“宝石”模型概念就是波音在2018年提出的。美军2016年展示“工程韧初系统”的效果时，波音也凭借CH-47F、“灰鹰”无人机、“低成本可消耗飞行器”等项目成为标杆。当然最值得称道的，还是空军两个数字工程“探路者”项目——T-7A“红鹰”高教机和F-15EX战斗机。

波音T-7A的总工程师盖尔·米勒表示，缩短开发周期对于跟上技术创新步伐和威胁变化态势很重要，以前波音新机器的开发周期大约是10年，现在需要压缩到3年！“绝对不能超过10年，否则我们还在生产产品的时候，威胁就已经改变了。”波音在T-7A上使用数字工程来跟踪新的方式方法，比如使用经数字工程方法组织好的飞机维修数据。米勒举了例子，通过“大家都熟悉”的数字孪生概念，让每架不同尾号的飞机都有一个数字孪生，从而能够了解每架飞机的状态。而且，每个地面训练系统和每个模拟器也都将拥有这个信息，今后在操作使用和从数据中学习这方面，我们将打破常规。

波音对外宣称，T-7A教练机研制中依托数字工程方法流程，使得不到200人的设计、制造和测试团队，仅用时36个月就实现了从全新设计到验证机首飞，并将首批验证机的工程质量提高75%，装配工时减少80%，软件开发和验证时间缩短50%。

波音正在使用数字工程实施“权威的虚拟化”。一旦我们达到这一点，即数字模型来表达复杂系统和系统之系统中的各种系统，并且拥有足够精确的水平，就可以开始取代传统的模拟式积木方法。所以对我们来说，需要了解如何以及由什么造就一个经确认的模型。这对于权威的虚拟化非常重要，因为如果不是所有人都同意模型得到了引用、结束引用和确认，那么永远也不会有权威的虚拟化条件。米勒还“凡尔赛”了一下，“T-7A

是波音可以与公众分享其数字工程成果的领域，一般不这么做”。这句话很有意思，因为波音在“数字化百系列”飞机或F-15EX上可也是将数字工程当卖点的，还制作了一堆视频说明其先进性。其中一点就是不再用传统的模拟式积木方法，而是“数字式乐高”。F-15EX是基于数字线索建造的，在飞机设计和制造阶段使用仿真技术，可更迅速地测试所有能力并植入新能力。通过数字工程和模块化开放式系统架构，可以快速建造并演进为不同的型别，可快速融入新技术，“从第一天起就不断进化”。此外，F-15EX之前的机型在训练、使用和保障上的通用性很高，因此首飞36天后就交付空军！

美国洛马公司

洛克希德·马丁公司（下称洛马公司）作为主承包商的F-35项目被空军视为基于模型的系统工程（MBSE）的开山之作，洛马与“数字工程”的缘分也最深。2009年，F-35项目就提出了“打造闭环的数字线索”，随后又提出了扩展数字线索的“数字织锦”概念，其含义为一个人、流程、工具和数据的框架，集成了整个产品生命周期和所有学科。2017年，奥融工厂进一步提出“产品数字世界”概念，其含义为集成了人、流程、工具、物料、环境和数据的框架，跨产品生命周期和所有学科连接物理和数字领域。当年，洛马公司将数字孪生列为2018年的六大技术趋势之首，而数字空间镜像物理世界，是“万事万物”的完整数字孪生。

洛马奥融工厂集成系统总监雷妮·帕斯曼表示，公司正在努力使用数字工程来缩短对技术进行测试和确认的时间。“如果我们不能更快地完成这些工作，那么就无法搞定世界上所有的工程并部署世界上所有的飞机，数字工程或数字线索和数字孪生是实现这一目标的关键。”奥融工厂还发布了一段保密的“竞速者”无人机项目视频，提到项目的重点并非开发无人机系统的最终能力，而是展示如何使用全新的“星驱动”数字工程工具集实现系统的快速原型开发和全生命周期支持。奥融工厂是军事领域快速原型和概念开发的先驱，是使用高逼真度建模和其他数字技术将纸面概念快速发展为飞行器原型的领导者。

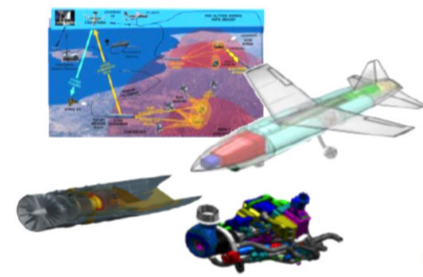
“星驱动”集成了先进的计算机辅助设计和产品全生命周期管理工具，既加快了设计速度，又可以更广泛地使用机器人、增材制造和自动化质量检测技术。从视频中可以看到，“星驱动”这个工具集实际上已经在奥融工厂开发X-59“静音超声速飞机”过程中使用。使用数字工程的好处在于只有一套数据，尽管工程流程中的许多部分还在用他们自己的工具集进行开发，但是每个工具集都连接到同样的核心信息。而这正是“打造闭环的数字线索”的概念，即面向单一真相源，在一个虚拟环境中连接工程、制造和供应链。可以说，“星驱动”正在

重新设计在完全集成的数字工程环境中运行所需的文化和、流程和工具，在短时间内满足所有的开发需求来加快开发过程。

美国雷神技术公司和普惠公司

雷神与联合技术公司合并为雷神技术公司后，数字工程推进突飞猛进。就在6月公司首席技术官马尔科·拉塞尔表示，他与空军和国防部长办公室的代表进行了频繁的会晤，讨论了公司对使用数字线索方法缩短周期的关注。“向数字线索方法的转变代表了整个行业的聚变”，这种方法的好处就在于缩短周期，空军正在寻找一种更快的方法来获取公司从导弹到雷达的产品。雷神正在整个企业组织实施这一方法，以使公司将设计到交付的时间缩短一半。

雷神导弹与防务系统公司空中力

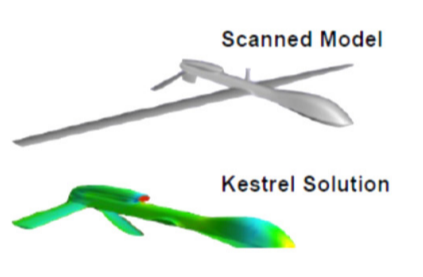


量副总裁保罗·费拉罗表示，以任何形式采用数字工程的需求都不仅仅是锦上添花，而是当务之急。作为工业合作伙伴，我们必须保持竞争力，但更重要的是，必须以更快的速度设计和交付武器系统并提供给作战人员。雷神技术公司首席执行官格蕾格·海

耶斯强调，数字线索概念是公司正在进行的“重大努力”，这意味着我们所做的一切都整合到一个单一的数字平台中从通过“开发、安全和运维一体化”（DevSecOps）方式进行软件开发时开始，然后是使用和供应链环节，最后是持续保障。将所有这些整合到一个单一数字足迹中的能力可以使我们将开发时间缩短一半，可以缩减费用从而降低客户成本。海耶斯认为雷神使用数字线索的最好例子是他对低空和导弹防御传感器的使用方法，由于部署了数字工具，从需求到可实用的模型只需要9个月！

雷神情报与太空公司总裁罗伊·阿泽维多表示，将以三种方式使用数字能力——改变产品、改变工作方式、优化运营。数字工程使用单一的公共参考数据集来完成整个产品交付过程，从而尽可能减少人工交接，公司的工程师们正在拥抱数字工程的概念，以快速开发构成下一代飞机系统的创新技术他们在新的射频子系统上使用了数字工程——在根据政府要求设计了系统之后，他们发现等待开发中的组件将使该项目延迟达6个月，而切换到现有零件即可满足操作要求，小小的改动仍然满足客户的需求，但是大大降低了项目的总体风险。

雷神的一位技术人员生动描述了他参与实施的雷达数字工程流程：想象一下使用正在设计的系统来玩视频游戏，如果我们构建雷达，我们可以在模拟的世界中将其安装在飞机上，以确保在执行完所有硬件设计之前，它首先能够探测到我们想要的东西。我们之前已经完成了计划性能数据的演示验证，现在可以将其用于所模拟性能的可视化，这使我们能够向客户展示我们可以构建它，并且解决方案按预期的方式执行。性能并不是数字工程能够调整的唯一变量，连接数据与模型的数字线索让工程师更好地了解一个小的设计更改在多年以后会如何影响成本和进度。我们还可以清晰地显示充分定义产生不确定性的“接触点”，这是系统设计中的隐性成本，一笔非常大的支出。可以使用数字工



程来暴露、自动化分析并消除这些接触点，从而使工程师可以专注于更具创造性的工作，总体上讲，数字工程可以减少实施工程的人工。

雷神情报与太空公司高级任务总工程师赫福提·康克林认为，开发一个全新的系统并准确预测何时能够投

入使用是非常困难的。当我们从头开始时，从工程开发和设计到制造，再到最终部署，其成本和周期在前期都是很确定的。但是，数字工程使我们对成本和性能之间的权衡等因素有了新的认识，对于执行项目计划来讲这非常重要。数字工程还可以减少很多繁重的工作。以往在一个项目开始之前，要预先花费大量时间和精力编写详细的需求，而通过数字工程，我们尝试在启动日再开始编代码，使用编码经验来告知需求。公司已经理解了数字工程真正应有的广度，这是一个端到端的真相源，这意味着它不仅项目的早期就实施，还贯穿整个项目，并且仅在系统停用后才结束。

普惠公司首席运营官谢恩·埃迪表示，数字孪生方法将使普惠的技术和管理人员理解从设计直到制造的模型，特别是每一个零件的变化。实际上，能够将数字孪生带入真实使用环境，可以有各种用途，这项工作也是雷神技术公司运营转型的一部分。普惠军用发动机公司军事发展项目总工程师马特·泰克罗兹表示，普惠正在使用数字工程来连接不同的工具并优化自动化的流程，数字工程的真正潜力在于它可以提供跨多个领域的高集成度分析。通过基于模型的系统工程与我们的武器系统承包商建立联系非常关键，这对我们来说是一次真正的机遇。作为F-35项目发动机供应商，普惠的数字工程转型很早就开始了，几年前笔者还报道过他们将一台1939年的测量设备进行了数字化改造，并用于F135发动机的质量保证工作。

美国L3哈里斯技术公司和通用原子航空系统公司

L3哈里斯技术公司也是最近重组而成的巨头，公司精确交战系统总裁大卫·杜干表示，数字工程使他们能够加快产品开发速度，开发团队的规模也得以缩减。“随着图形处理单元GPU等处理技术的飞速发展，我们能够以空前的速度运行这些工具，且就从我们的台式机上。”这为推进全数字环境的整个系统生命周期打开了大门，将数字工程与敏捷开发流程一起使用，可以快速开发新产品和新能力。公司也将这种技术用于虚拟训练。他们为整个系统构建了完整的高逼真度数字3D计算机辅助设计CAD模型，使用项目提供的现有CAD图纸，或者如果系统的某些部分并未建模，他们将使用坐标测量机对其进行扫描以构建这些CAD模型，从而建立这个完整的虚拟系统。运营商使用虚拟现实头盔在虚拟世界中培训人们实施维护任务，任务和这些零件的真实性难以令人置信。

通用原子航空系统公司依靠无人机成功跻身主承包商行列，公司先进项目高级总监迈克尔·阿特伍德表示，公司将此数字工程技术与混合动力推进驱动器一起使用。数字工程正在帮

助他们克服与混合动力推进发展相关的一些关键挑战，包括动力、热管理和电气设计。“这些都是极其艰难的学科……你不仅必须做这些设计和分析，还必须实时地共同优化它们。我们一直在研究设计驱动的基于模型的系统工程，以进行混合动力推进驱动器上风扇叶片的增材制造，这非常令人兴奋。”让结构设计师相信热设计师、相信制造工程师并分享他们的技艺，将产生巨大的力量，但要使这些技艺融合，就需要有意愿和文化上的改变。数字工程通过允许在工业界的不同领域之间建立更多的联系，从而带来了文化上的改变。

英国BAE系统公司和罗罗公司

在美国军事领域摸爬滚打的英国航空制造企业也在大力推进数字工程，特别是追随《数字工程战略》实施转型方案。BAE系统公司正在平台就绪和现代化、C5ISR、情报、赛博与信息技术IT以及太空能力方面使用数字工程工具来开发、集成和维护复杂平台与IT系统，并在生命周期中提供有充分依据的项目决策。其中一个数字工程转型战略是“用于卓越敏捷制造、集成和持续保障的先进集成数据环境”（ADAMS）参考架构，这是一种企业级的集成数字工程环境。公司的虚拟、协同数字工程工具和基础设施旨在驱动创新解决方案，提供最新技术并加快向云迁移，以支持美国政府客户当前和未来的使命。这些工具套件包括：基于模型的系统工程MBSE/数字线索/数字孪生，集成产品生命周期管理和供应链管理，云服务，人工智能与机器学习，虚拟现实/增强现实/混合现实（VR/AR/MR），“开发、安全和运维一体化”DevSecOps。

BAE系统公司在位于华盛顿的数字工程实验室中部署了高逼真度虚拟现实VR和增强现实AR系统，他们正在开发实时的数字孪生技术，在工程上进行协作，执行交互式的系统维护，并提供沉浸式终端用户/支持培训。公司位于犹他州的数字工程能力实验室的系统工程师，基于使用中的飞行试验数据，将基于模型的方法应用于飞行后的分析，他们在客户的基于模型的工程环境中使用基于物理特性的自定义六自由度模型，通过仿真飞行轨迹来研究飞行试验中的异常。

罗罗公司工程数字转型负责人约翰·马特里克表示，他们从使用数字工程中学到的一点是，如何在项目中识别价值、风险、成本和需求，这使他们能够将目标对准集成数字工程中受益最大的领域。“未来就在眼前，但发展不均衡，因此，我们没有试图一次在整个业务中像批发那样的实施集成和数字工程，而是将目标明确并集中在具有最大业务价值和优先级的领域。”

