

低成本设计： 仿真工程的意义

作者：**Robert Harwood** 博士，
ANSYS 公司航空航天与国防工业市场总监



仿真工程(SBE)工具 — 例如有限元分析、计算流体动力学和电磁场求解器 — 已经得到验证，能为国防工业的产品研发过程增加价值。事实上，大量报告显示这类工具在该行业中实现了显著的投资回报。然而，业内往往将重点放在工具的功能上。基本功能固然重要，但是，即便是业界一流的研发机构，要想充分发挥这些工具的价值，仅仅学会基本功能是远远不够的。一般来说，如何使用工具（过程），谁来使用工具（人），这些因素并没有得到广大建模和仿真社群的足够重视，甚至被完全忽略。这就会导致产生低效率因素，成为当前业务和新项目方案的内在成本。

在国防开支紧缩和不确定性增加以及低成本设计(DfA)主导的时代背景下，研发机构必须解决这些低效率因素，才能在不增加成本的前提下做更多事情。

通过对国防建模与仿真领域进行调研，了解全球很多主要的政府机构和承包商如何利用仿真设计，ANSYS 已经找出了造成内部效率低下的三个主要原因：

- 不同工程学科和职能相互分离，造成相互间的数据交换过程存在缺陷
- 数据和知识重用受到限制
- 缺乏对员工培养、培训和任务自动化的重视

本白皮书将探讨仿真工程与低成本设计的关联性并介绍内部效率低下的起因。文中介绍了业界一流的研发机构为解决低效率问题所采用的一些最佳实践。

仿真工程在国防计划中的价值已经得到了充分证明。例如，美国国防部的一份投资回报研究报告显示，投资 SBE 国防计划的平均投资回报率在 6 到 13 倍之间[1]。

“为了降低总体拥有成本并支持 DfA 计划，需要改变设计 ... 并且挑战 15 到 20 年以前做出的(设计)决策。”

— Mike Jones, 高级副总裁
Booz, Allen 和 Hamilton



仿真工程工具支持低成本设计

全世界众多研究已经证明了仿真工程工具在成本、时间进度和质量方面对国防项目的积极作用。例如，美国国防部(DoD)的一份投资回报研究报告显示，投资 SBE 国防项目的平均投资回报率在 6 和 13 倍之间[1]。结论是这些工具的作用得到了业内的普遍认可，并支持低成本设计。因此，这些工具在整个国防产品研发领域得以迅速普及。

针对高级国防技术的低成本设计这个话题，技术咨询公司 Booz, Allen and Hamilton 的高级副总裁 Mike Jones 表示有必要“挑战 15 至 20 年前[项目之初]所做的[设计]决策”并且“改变原有设计”。他补充说，在整个重新设计过程中实施低成本设计，可将采购和维护成本降低 30%[2]。要想利用低成本来挑战设计决策，SBE 工具不失为一种理想之选。

低成本设计要求改善 SBE 过程并提高人员素质

有些报告将仿真工程工具价值放在毋庸置疑的地位，并给出了通常基于过程结果的投资回报率。例如，应用 SBE 工具所产生的价值通常由减少的物理测试数量、缩短的设计周期或减少的产品故障数量来决定。然而，很少对该过程本身的效率或操作人员的效率进行评估。

利用 SBE 技术实现国防产品在成本、研发周期和质量方面的改进已经成为行业标准，那么建模和仿真 SBE 领域应如何迎接低成本设计的挑战，并且在不增加成本的前提下做更多事情呢？

根据对全球国防产品建模与仿真 SBE 领域进行的广泛研究和调研，ANSYS 发现尽管工具性能的增强有助于实现低成本设计，但过程的改善和人员素质的提升能产生更为显著的影响。为了便于理解和联系上下文，有必要回顾一下仿真工程工具的历史发展，并且理解它们的使用环境。

改善国防部项目中的成本管理绩效这个想法由来已久。在上个世纪九十年代中期，国防部（DoD）利用其它行业的项目管理技术推出了集成产品与过程研发(IPPDP)方法，该方法通过集成产品团队来优化设计、制造和可支持性过程。如果执行得当，IPPDP 能对项目成本管理带来显著效益[3]：

- 变更单减少 50%
- 设计时间缩短 40%
- 制造成本降低 30%
- 不良率和返工率减少 75%

自推出以来，IPPDP 经演变包括了多种技术，例如并行工程、全面质量管理以及六西格玛精益与设计——但是由总工程师和项目经理管理的基本矩阵组织保持不变。

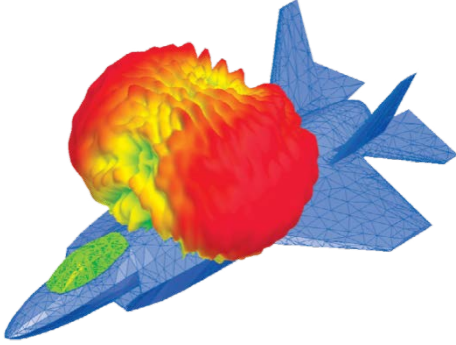
SBE 工具的历史演变过程存在内部效率低下问题

软件工程仿真出现后，SBE 工具比较注重物理类型和功能，但求解领域通常比较狭窄。工具的易用性常常不会引起关注，因为用户通常是代码的研发者。这就导致少数专业用户研发的工具只能在他们自己的工程功能圈子中使用，例如专业空气动力学软件只由空气动力学团队使用，热学软件只针对热学团队，电气学软件只针对电气部门，结构软件只能由应力工程师使用。

鉴于当时的硬件还比较初级，因此这些工具多是用来求解简单硬件上复杂程度要小得多的问题(以现在的标准衡量)，以作为传统工作流程的补充来使用。随后，商业 SBE 工具开始出现（有些由原始内部软件演变而来），并继续服务于特定的工程需求。如今，占主导的是单学科商用 SBE 工具以及少数原有的内部专业工具。

这种状况下，其固有的低效率因素就会对低成本设计的实施造成影响：

- 工具的选择和使用只能符合特定的工程功能，而**无法满足**项目对于不同功能组合的广泛需求。尽管这种使用过程就单个学科而言可能比较高效，但由于项目的使用需求更为广泛，所以这种狭窄的视角会比较不利。
- 工具采购通常是从工程功能而不是项目的角度来进行。从项目的角度来看，考虑到成本和功能因素，根据单个功能选出来的工具组合可能并不够理想。
- SBE 工具的使用经常局限于某些固定领域的专家。因此，这些专家经常要用很大一部分时间来完成非专业性的任务，例如模型准备或者变量化研究的反复设置。此外，其它工程团队无法利用该技术优势。
- 随着产品越来越复杂和相互依赖性越来越高，利用只局限于某单个工程学科的工具会增大系统集成过程中失败的风险，因为它们无法考虑到更广泛的相互作用和干扰。



350 MHz 天线在 F-35 联合攻击战斗机上的安装选择，以及相应的辐射图

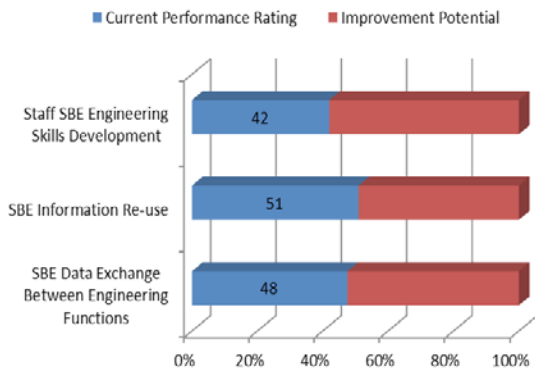
- 在并行设计过程中，针对某一种工程功能进行复杂仿真得到的输出需要作为其它功能的输入。针对不同功能的多种工具之间的不兼容会降低保真度(数据被平均或内插)和增加时间(必须使用脚本或内部插值方案)。
- 相同的操作必须在每个工程功能中反复执行，因为每种工具都需要对基本几何模型进行解释和修改。这不仅效率低，还会导致工程功能在产品研发周期中变得不同步，因为一个团队更新的内容无法在另一个团队的分析中捕捉到。
- 很多机构没有正式的 SBE 知识捕捉过程。尽管数据和文件以结构的方式存档，但是从数据中综合出来的知识和工程意图往往会丢失。这会导致在不同的项目中需要反复解决类似的问题。产品生命周期管理这样的工具能为产品研发过程提供很大优势；然而，它们关注的是产品的实际方面，例如材料清单，但是所列出的问题重点在于理解产品的行为属性，因此无法通过这类工具来解决。

财务约束会阻碍专业研发

在人员方面，国防产品研发领域面临的第一个挑战是找到能力足够强的员工来支持增长，或者替换数量越来越多的退休人员。招募新员工后，大多数机构都没有针对建模与仿真技能制定正式的发展与培训计划。尽管有效使用这些技能对项目来说至关重要，但是培训仍然是非正式的，而且经常是由工程师自发组织进行。在财务紧张的时期，最先砍掉的管理预算往往是培训费用和/或参加培训所需的差旅费用。机构往往能认识到仿真工程的价值，但却不愿意对正式的员工发展与培训进行投资，这二者之间存在很大的差距。

整合的组织：隔离的 SBE 工具

国防产品研发组织通常以矩阵的结构运行，包含功能不同的工程学科，并服务于共同的产品研发项目。这种矩阵系统产生了多种变体，其中包括集成产品与过程研发(IPPDP)、全面质量管理(TQM)和并行工程。实施此类框架的目的是为了降低项目成本，加快项目进度和交付更高质量的产品。



国防产品行业中最具改进潜力的三个 SBE 实践
信息来源：ANSYS 公司专有调查数据

很多研究都论证了这种方法所带来的优势。然而，记住前面介绍的仿真工程工具的演变，以及由此导致的仿真工具在不同学科间的隔离问题。很多组织并没有像在整体产品研发过程中那样，在 SBE 工具使用中应用相同的集成化原则，因此无法获得这些优势。

建模与仿真 SBE 领域已经找出了三个最需要改进的方面

考虑到以上这些因素，ANSYS 对国防产品建模与仿真 SBE 行业进行了广泛的调研。这些研究结果，包含了 50 多家领先的国防产品承包商和政府机构提供的反馈，并具有高度的一致性和说服力。

国防领域中最具改进潜力的三个方面是：

- 以员工仿真为基础的工程技能发展、培训和过程自动化
- SBE 数据重用和知识获取
- 工程功能之间的 SBE 数据交换

注意，SBE 工具的功能并没有进入改进潜力最大的前五名。为加强低成本设计的支持，改进的重点应放在仿真工程过程和操作人员上。

国防产品行业可采取什么最佳实践来提高员工的仿真工程技能？

根据 ANSYS 的观察，业界一流的研究机构往往专注于两个重要的最佳实践，下表列出了相关属性。

提高现有工程师的生产力	• 将例行过程自动化，让工程师有更多时间关注复杂问题 • 协调好 SBE 和 IT 投资战略，以确保硬件和软件需求相互匹配 • 参数化建模与优化 • 与 SBE 工具供应商建立战略合作伙伴关系，而非客户-厂商的关系
在研究机构中普及 SBE 的使用	• 定制 SBE 工具接口与功能，以便于经验不足的工程师或生疏用户使用 • 通过直接建模以实现在 CAD 阶段之前执行分析 • 正式的培训流程和得到充分保障的培训预算

总之，在国防行业中，建模与仿真 **SBE** 领域还处于采用开放式协作平台的初期阶段。因此，有必要向其它行业借鉴和学习，了解这种方法在不同领域中的价值体现。

在汽车行业，**MANN+HUMMEL** 是一家价值数十亿美元的过滤器技术供应商，该公司在其重要产品的研发过程中大量使用建模和仿真。该公司将其采用的开放式协作平台概念视为最佳实践。

“我们遍布各地的工程师经常需要进行实时协作。数据管理功能使我们的工程师能够方便地对在典型设计与分析过程中创建的不同版本的文件进行组织和跟踪。”

— **Martin Lehmann** 博士，滤芯单元仿真主管
MANN+HUMMEL



在能源行业，**Petrobras** 是一家领先的全球化联营公司，需要对高度工程化，长生命周期的复杂系统投入大量资本。这类系统的设计与研发过程需要进行大量的建模和仿真。借助开放式协作平台重复应用以前的建模和仿真数据，使得 **Petrobras** 能够缩短和减少仿真过程的时间和不确定性。



国防行业可采取什么最佳方法来提高重用和知识获取？

业界一流的研发机构，都已建立了开放式协作仿真平台，除了用于存储数据外，还便于获取和共享知识。虽然国防项目固有的安全属性带来了许多约束条件，但这些机构仍然做到了这点。

最佳实践	业界一流的研发机构的典型特征
开放式协作平台	• 用于仿真数据管理的专用工程架构 • 集中式仿真数据管理解决方案 • 数据管理的云(内部或外部)部署 • 数据管理解决方案与 PLM 系统的集成 • 针对建模和仿真改变管理与控制 • 产品特性与性能数据的全局可见性 • 管理与项目管理协议 • 具备审计跟踪和 IP 安全的可追溯性 • 防护技术的组合 • 高数据量与高数据价值 • 供应链的交互与管理

国防行业可采取什么最佳方法来工程功能改进之间的数据交换？

人们普遍认为相互独立的工程功能之间的数据/信息交换能力存在不足，为了改善这种性能差距，业界一流的机构实施了一种全面的综合性多物理场仿真解决方案。该解决方案包含了不同等级的规模和保真度，以应用在产品研发过程的不同阶段。

最佳实践	业界一流的研发机构的典型特征
全面的综合性多物理场	• 基于物理学的仿真工具，可以实现不同等级保真度的无缝相互作用（例如，从线性到非线性，从稳态到瞬态）



采用高效多物理场实践方法的最佳属性，其作用不只停留在理论上。业内领导型企业正在取得成果，并对低成本设计产生了显著影响：Space Exploration Technologies (也称 SpaceX) 的高级工程师 Andy Sadwhani 说，通过高效多物理场实现的耦合仿真能带来诸多优势：

- 将系统重量减轻 10 至 15%
- 增加负载量
- 将研发时间缩短 50%

全面的综合性多物理场(接上页)	• 基于物理学的仿真工具，能在通用工作环境中以最少的手动干预实现跨学科的无缝交互（例如，在通用仿真环境中航空负载直接转换为应力分析） • 基于物理学的仿真工具，直接连接到功能和架构的系统级模型上 • 通用几何模型服务于隔离的功能工程团队 • 仿真功能由项目要求而非单个功能要求确定 • 包含在开放式的协作平台中（见上表） • 该框架支持分散的工程团队进行访问 • 能够跨越多个物理学科利用高性能计算资源 • 在通用环境中集成商用和内部仿真工具
-----------------	---

ANSYS 如何发挥作用？

经证明，仿真工程工具能够为国防项目实现显著的投资回报和成本削减。然而，国防产品领域进入了一个财务审查更严、不确定性更大的时期，因此，业界一流的研发机构都将重点放在如何实现更高效的投资回报上，以便更好地支持低成本设计。为此，他们正针对 SBE 过程和人员这两方面实施最佳实践。

除了提供行业领先的 SBE 工具以外，ANSYS 还研发了相应的解决方案，以帮助公司实施这些以过程和人员为导向的最佳实践。

ANSYS 的国防领域客户积极地将以过程和人员为导向的绩效与本白皮书中总结的基准调研数据进行比较，直接得到切实可行的步骤，以提高效率并影响低成本设计。我们欢迎并邀请您一同参与行动。

参考资料

[1] Determining the Value to the Warfighter, A 3 Year ROI Study. DoD HPCMO, 2010.

[2] Transcript from interview posted on booz website
<http://www.youtube.com/watch?v=ceTEqRI3Jx0>.

[3] Integrated Product and Process Development (Version 1.0), US DOD, 1996

关于 ANSYS

ANSYS 致力于确保国防领域的客户利用仿真工程优势实现低成本设计目标。公司研发出了具体技术来解决关键领域的低效率问题。

ANSYS®多物理场

ANSYS 多物理场解决方案自动将两个或更多相互关联的物理现象的作用结合在同一环境中。当与 ANSYS Workbench™环境相结合时，耦合分析的执行时间不仅会显著缩短，还能实现更高的求解精度，并且允许用户在给定时间内探索更广泛的工程参数范围，以促进多物理场设计的创新。

ANSYS EKM™

ANSYS 工程知识管理解决方案是一款端到端的支持系统，特别强调 CAE 的规模、范围和用途。它能促进在整个组织机构内实现最佳实践的标准化，整合分散的团队，并满足法规要求。

ANSYS 的定制化、支持、服务与培训

无论您是刚接触工程仿真的新手还是经验丰富的仿真专家，ANSYS 都能为您提供所需的培训、服务与支持，帮助您研发全新的重要产品。实时电话支持和客户门户网站便于您提交请求和咨询问题。因此，无论何时何地，您和您的团队都能获得最有价值的服务。

ANSYS 中国
全国免费电话：
400819899
咨询邮件：
info-china@ansys.com

作为全球工程仿真领域的领先企业，ANSYS 在众多产品的创造过程中都扮演着至关重要的角色。无论是火箭发射、飞机翱翔长空、汽车高速驰骋、电脑和移动设备的便捷使用、桥梁虹跨江河还是可穿戴产品的贴心使用，ANSYS 技术都尽显卓越。我们帮助全球最具创新性的企业推出投其客户所好的出色产品，通过业界性能最佳、最丰富的工程仿真软件产品组合帮助客户解决最复杂的仿真难题，我们让工程产品充分发挥想象的力量。欢迎与我们全球 75 个战略部门的近 3000 名专业人士合作，共同在工程仿真和产品开发领域彰显非凡！如欲了解更多详情，敬请访问：www.ansys.com。

© 2013 年 ANSYS, Inc.
版权所有。
保留所有权利。