

充满信心地重新设计： 物理仿真的重要作用

作者：Robert Harwood 博士，
ANSYS 公司航空航天与国防行业市场营销总监

随着西方国家军事采购不断下滑、预算不确定的时代到来，军事项目及相关国防承包商所面临的风险变得前所未有的高。随着大量经历战火洗礼的装备退役，众多老化装备需要整修或更换，只有那些既能满足军方对有效载荷、性能和防护的要求，又能均衡成本与时间目标的供应商才能始终立于不败之地。这不止意味着可直接获得合同，更包含价值数十亿美元的后续项目。

如果项目、项目管理者及承包商无法达到时间、预算及质量的关键绩效指标，他们的未来将充满非常大的不确定性。

智能工程带来可量化的增值

人们经常引用温斯顿丘吉尔的话：“先生们，我们没钱了。现在我们必须想想。”已退役的美国空军中将 Lawrence Farrell 最近在讨论国家债务对国防预算的影响时也引用了这句话 [1]。面对当今的跨领域资本重组及整修项目，这句话尤其贴切。例如，陆军有一支配备 16 万辆高机动多功能轮式运输车的部队需要实现现代化装备改造。该计划是把一部分高机动多功能轮式运输车升级为高性能防爆车，其余部分则用全新的卡车取代。

该计划引起了业界极大的关注，因为赢得整修合同的厂商后续将获得数十亿美元的业务。不仅是陆军，业务还将涉及到海军陆战队。但问题是现有部队是否能利用比购置新卡车更低的成本完成现代化装备改造。

陆军上校 David Bassett 是陆军战术车辆项目负责人，他认为解决这一难题的答案就在于工程工作。“整个行业都已明白：没有什么高招，只有智能工程。”我们相信意识到这一点的企业将能够为有效地竞争做好准备 [2]。”

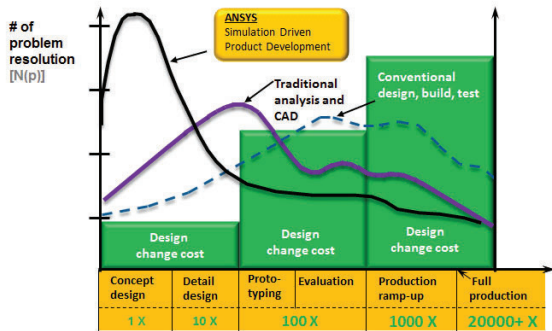
智能工程想必能够帮助企业以更低的预算在更短的时间内完成项目，而且不会影响最终产品所需的质量与性能。但什么能带来更智能的工程呢？什么技术和特征能让智能工程从无法实现时间、成本和质量目标的工程方法中脱颖而出呢？

“先生们，我们没钱了。现在我们必须想想。”

——温斯顿丘吉尔

“没有高招，只有智能工程。”

陆军上校 David Bassett
美国陆军战术车辆项目经理



尽早在设计流程中使用基于物理场的仿真并系统地将其部署在组织机构中，是智能工程的决定性因素。

Aberdeen Group 进行的一项研究中，根据时间、成本和质量等关键绩效指标对 620 多家工程公司的绩效进行了测评，从而发现了让业界一流公司在竞争中脱颖而出的策略。绩效差异是非常明显的 [3]。

通过评估业界一流公司与其它公司之间有巨大差别的策略，Aberdeen Group 发现：在工程流程中尽早系统化地使用基于物理场的工程仿真工具是一个突出的因素。

具体而言，Aberdeen Group 得出的结论是一流企业能够：

- 在 91% 的时间里达到质量目标，相比之下行业平均水平为 79%
- 在 86% 的时间里达到成本目标，相比之下行业平均水平为 76%
- 在 86% 的时间里按时推出产品，相比之下行业平均百分比为 69%

此外，这一断言也在美国国防部开展的一项为期三年的研究中得到进一步验证 [4]。研究发现，“对支持仿真的软件和计算基础设施投资的每一美元而言，投资回报在 6.78 到 12.92 美元之间。”

物理仿真工具的众多作用

基于物理场的仿真工具充分发挥了计算机的作用，能够求解基本物理方程式。设计人员和分析师可使用软件创建和测试组件、子组件以及完整系统的虚拟表示形式（或至少极为相近的近似值），这样他们无需实际构建任何东西就能确定性能范围。当设计从一个阶段进入到另一个阶段时，能更好地量化设计风险，而且还能检查非设计点，确保最终设计具有鲁棒性并符合要求。此外，还可评估非标准设计点上的性能，这样就能提前确定有望应对未来威胁的性能。

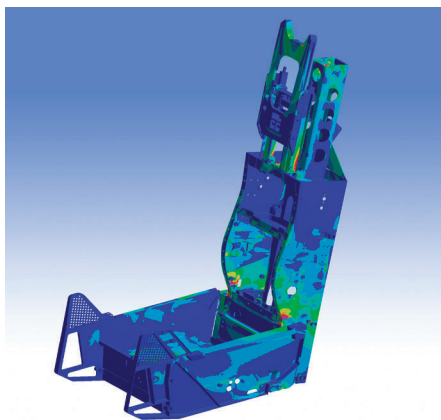
基于物理场的仿真可部署于各种应用领域，提升工程与设计流程的效率及效果。后续的案例研究将突出介绍几种对于重要军事重组计划具有重要价值的技术方法。

“不使用工程仿真软件，将无法取得这样的杰出成果。”

Park O. Cover, Jr.
Concurrent Technologies
公司高级机械工程师



ACES 5 座椅首次弹射表现完美。



ACES II 弹射座椅携带飞行员离开飞机。照片由美国空军参谋中士 Bennie J. Davis III 提供。

案例研究：在 14 个月内研发更安全、更轻便的弹射座椅

军方的先进概念弹射座椅 ACES II 是美国空军历史上最成功的飞行员逃生系统之一，自 1976 年投入使用以来已拯救过 450 多人的生命。

Goodrich Aircraft Interiors 和 Concurrent Technologies 公司面临着一项艰巨任务，即在新一代 ACES 5 座椅中对这款经实践检验的设计进行重新设计，以便整合到 F-35 联合打击战斗机（JSF）中。新座椅经过优化，能够：

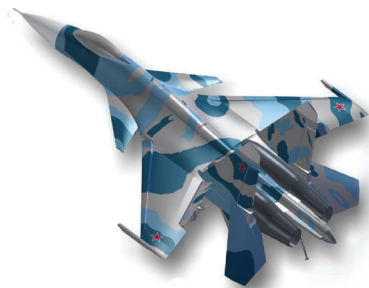
- 增强飞行员的安全性
- 缩短维护停飞时间
- 减轻重量
- 与 F-35 座舱进行完美整合

然而，最大的挑战则是在不足 14 个月的时间内研发和交付全新的座椅结构。

设计与分析分三个阶段进行。首先是概念设计研发。在这个阶段工程师不仅设计出了符合功能性要求的座椅结构，同时还通过物理仿真在单独考虑每个组件的基础上验证了结构的合理性，并优化了重量。在第二阶段，创建了整套座椅系统的物理仿真。座椅的单个线性静态结构分析可在 30 分钟内求解完成。这一快速周转时间帮助工程团队迅速评估了各种假设的设计场景。他们对重要区域执行了更加精细的子建模，从而确保了结构不会在极端条件下发生故障。

在经历 10 个月的研发后，开始了第三阶段，这也是最后一个阶段。构建了五款供测试的原型座椅，其中 ACES 5 F-35 JSF 座椅的首次弹射测试是在项目开始后仅 14 个月内进行的。该座椅首次弹射表现完美。

Concurrent Technologies 高级机械工程师 Park Cover, Jr. 表示：“这一卓越的性能表现是 Goodrich 和 Concurrent Technologies 团队间辛苦合作的成果，如果不使用基于物理场的工程仿真软件，将无法取得这样的杰出成果 [5]。”



每次任务后记录战斗机喷气引擎组件的载荷数据。经过验证的 ANSYS 结构力学技术可为了解每次任务的应力及温度提供极为准确的结果。

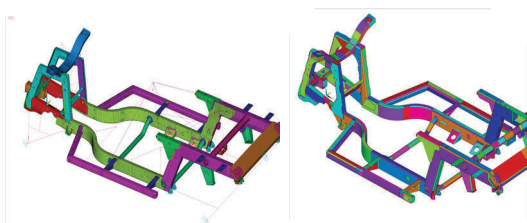


E-Z-GO 多功能运输车可在条件恶劣的地区运送物料。

“就框架上的应力和应变而言，有限元分析模型的行为表现和真实车辆的一样，而且分析只需 30 分钟完成。”

Jing Heng Wen

E-Z-GO 高级项目工程师



原始框架的几何模型（左）；重新设计的、显示焊点的框架（右）

案例研究：跟踪部件磨损，降低维护成本

组件疲劳评估一般基于标准载荷特征。但实际上组件或系统的暴露位置随任务不同会发生明显变化。计算疲劳的载荷特征方法往往会导致部件维护及更换时间提前、维护过于频繁。这会增加成本和不必要的设备停机时间。为了给喷气式发动机部件制定基于条件的更高效维护方案，一家喷气式发动机制造商需将基于物理场的仿真工具与部件的历史性能数据、现役设备监测功能及内部代码完美结合。

所获得的系统可准确跟踪和预测战斗机喷气式发动机组件寿命的损耗情况。在每次任务结束后，将来自飞机的载荷数据发送给服务器，服务器自动将该数据与具体发动机部件匹配。该系统使用 ANSYS 物理仿真软件中的结构及热计算功能，以确定发动机部件的寿命损耗情况。经过验证的 ANSYS 结构力学技术可为了解每次任务的应力及温度提供极为准确的结果。

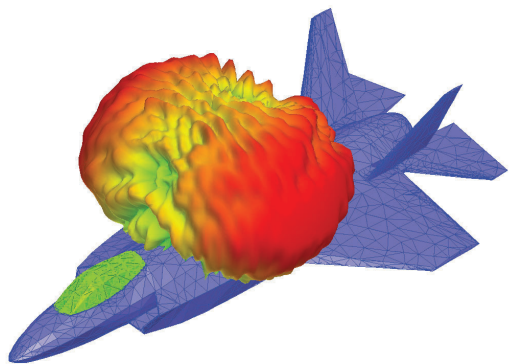
使用该系统，喷气式发动机负责人有效避免了不必要的费用，更换了已超过标准工作周期的部件，最终不仅降低了成本，而且还提高了安全性 [6]。

案例研究：几分钟内完成应力和车辆耐用性测量

设计坚固的多功能车辆，工程师必须在耐用性和时间及成本之间做出权衡。E-Z-GO 是一家位于美国的 Textro 公司，致力于为高尔夫球车、人员运输车等多种越野应用研发高性能的耐用车辆。

E-Z-GO 工程师只花了一个星期就完成了多功能车辆框架的重新设计，消除了会导致制造麻烦的周折。该团队依赖 ANSYS Mechanical™ 强大而灵活的设计优化功能，不仅使用该软件优化了载荷，而且还在重新设计的框架上取得了理想的应力水平。该团队还使用了物理性能测试提供的大量载荷工况，包括静态滚动、在缓冲器上制动、在坑洼中转向以及拐弯等。高级项目工程师 Jing Heng Wen 欣喜地看到“就框架上的应力和应变而言，有限元分析模型的行为表现和真车一样，而且分析只需 30 分钟完成。”

根据有限元分析、疲劳寿命估算及耐用性测试的结果，新的多功能车辆框架设计已投入生产。新设计表现出了不亚于之前设计的可靠性和耐用性，而且制造问题得到了解决。这种方法不仅显著降低了工程成本，而且还帮助 E-Z-GO 加速了新设计的投产进程 [7]。



面向 F-35 联合打击战斗机上的 350MHz 天线的安装选项

案例研究：通过高性能计算求解快速天线布局

随着电子系统的改进以及通信及天线需求的提升，在现有设备上改装新系统会带来巨大的挑战。天线共址等工程问题必须加以解决。过去，当使用基于物理场的工具为地面、空中和海上载具等大型复杂电气结构确定解决方案时，都相当耗时，而且对存储器有高要求。

多处理和域分解等新技术正在显著加快求解时间，提升幅度可高达 10 倍。举例来说，在对安装在 F-35 联合打击战斗机上的 350MHz 天线进行仿真时，耗时只是以前的一小部分。曾经极为棘手的问题现已迎刃而解 [8]。

案例研究：在最小化制动踏板重量的同时最大化载荷周期

Pratt & Miller Engineering 是一家全球知名的赛车和高级工程公司。当该团队发现在具体设计配置下，其制动踏板面过早出现裂纹，他们注意到了这件事。调查发现这是因为机械师根据驾驶人员的偏好重新定位了制动踏板的位置。幸好，工程师在事故发生之前发现了这个问题。

因为原始踏板设计并没有考虑到售后市场的修改，Pratt & Miller 工程师打算重新设计这款重要组件。目的是在不影响性能的情况下显著延长疲劳寿命。只过度设计部件并不可取，因为在赛车市场中，重量才是关键考量因素。

为加速重新设计过程，Pratt & Miller 团队采用 ANSYS Mechanical 软件进行结构力学仿真，并开展疲劳分析。该团队在 ANSYS Workbench™ 环境中评估了多种选项。ANSYS Workbench™ 环境允许用户以三倍于其它 FEA 软件的速度设置结构力学模型。ANSYS DesignXplorer™ 软件进行自动设计迭代，在不超出材料限值的情况下确定尽可能最轻的设计。

工程团队检查新设计发现，它显著延长了疲劳寿命——具有远远超过 100 万个最小载荷周期。原始设计预计寿命为 16,567 个周期，而重新设计后的踏板预计寿命超过 1,000 万个周期。

新设计现已投产并已出现在赛道上。通过使用基于物理场的工程仿真工具，该工程团队能够更有信心地一次性成功完成重新设计。实际上，他们通过设计具有更低目标疲劳寿命因子的轻量级部件，击败了竞争对手 [9]。



仿真同等应力发生的制动踏板破裂

工程提供重要优势

毫无疑问，预算和研发周期将不断变得更加紧张。对每个组件及整个系统进行物理测试所需的时间和成本都是军方客户再也无法接受的事情，尤其是在通过改造升级现有装备来应对不断变化的威胁及环境的时候。

幸运的是，使用基于物理场的仿真来评测性能、计算优先选项、判断合适的物料，以及虚拟地解决问题，经过证明已是一种可靠且高效的替代方案。工程师现在能够在几分钟内检查一系列情境，快速方便地确定并深入研究最佳解决方案，从而在空气动力学与隐身、重量与移动、舒适与防护等相互冲突的需求中获得平衡。

关于作者

Robert Harwood 博士现任 ANSYS 公司航空航天与国防行业市场营销总监。ANSYS 公司致力于研发被各行业和学术界的工程师、设计人员、研究人员和学生广泛应用的工程仿真软件及技术。

参考资料

- [1] Farrell, L.P. *National Defense*. November 2011.
- [2] Erwin, S.I. Army Truck Buyers Face Fix or Purchase Dilemma. *National Defense*, November 2011.
- [3] Engineering Executive's Strategic Agenda: Report from Aberdeen Group, June 2008.
- [4] Weatherington, D. *Future of Unmanned Aircraft Systems in a Fiscally Constrained Environment* (11-S-1327): Report for U.S. Department of Defense.
- [5] Conover, P.O. Up, Up and Away. *ANSYS Advantage*, 2009, Volume 3 Issue 2.
- [6] Andersson, M. Tracking Jet Engines. *ANSYS Advantage*, 2011, Volume 5, Issue 3.
- [7] Neely, M.; Heng Wen, J. Driving for Durability. *ANSYS Advantage*, 2010, Volume 4 Issue 1.
- [8] Silvestro, J. HPC Options for HFSS. *ANSYS Advantage*, 2010, Volume 4 Issue 2.
- [9] Latham, G. Getting Out All the Breaks. *ANSYS Advantage*, 2011, Volume 5 Issue 1.

ANSYS 中国

全国免费电话：400819899

咨询邮件：info-china@ansys.com

关于 ANSYS, Inc. 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。