

# ADVANTAGE

2018年 | 第3期



“当我们提出想要利用3D打印来制造火箭时，大多数人都认为我们太疯狂了。”

聚焦增材制造



ANSYS官方微信

了解更多精彩内容：

<http://www.ansys.com/zh-CN/About-ANSYS/advantage-magazine>



欲了解ANSYS最新网络培训，最多线下活动，最全行业解决方案，可以加入：

官方微信：ANSYS

官方微博：ANSYS中国

咨询电话：400 819 8999

咨询邮件：[info-china@ansys.com](mailto:info-china@ansys.com)

官方网站：[www.ansys.com.cn](http://www.ansys.com.cn)

## ANSYS中国分公司

### 北京办公室地址：

北京市海淀区科学院南路2号融科资讯中心C座北楼601-03室(100190)

### 上海办公室地址：

上海市黄浦区南京西路128号永新广场20楼(200002)

### 成都办公室地址：

成都市人民南路二段1号仁恒置地广场3104单元(610016)

### 深圳办公室地址：

深圳市福田区金田路4028号荣超经贸中心1009室(518048)

全国统一售前咨询热线：400 819 8999

全国统一咨询邮箱：[info-china@ansys.com](mailto:info-china@ansys.com)

# 仿真技术助力实现成功的增材制造



作者：**Shane Emswiler**  
ANSYS电子、流体与机械产品  
副总裁兼总经理

**增**材制造又称为3D打印，获得了全球各个行业的广泛关注与期待，制造高度定制化部件的功能，不仅有望大幅降低生产成本和减少材料浪费，同时提高客户满意度和利润率。此外，增材制造还可以促进产品创新和提高市场响应度，因为设计方案只需短短几分钟就能够从数字文件转变成成品。

在当今竞争日益白热化的环境中，许多商业巨头都致力于通过满足客户的独特需求来赢得销售额。增材制造允许工程师轻松调整基本设计，设计出针对性的功能或者使用不同的材料组合，从而能够支持大规模定制。这样不但能够帮助消费类产品企业以低成本研发定制产品，而且比如在医疗行业中，这意味着医疗设备

能够轻松装配到患者体内，以提高疗效。

虽然金属增材制造在实现战略与财务收益方面的潜力无限，但是目前该技术的主要用户局限于具备成熟产品设计的大型企业，如：航空航天公司。这些公司需要设计的产品不仅具有极其复杂的几何结构、而且采用非常耐用的材料混合物，因此自然而然地会率先采用增材制造技术。

然而，由于进入成本降低——主要得益于金属增材制造设备的成本较低——更多公司将希望探索3D打印技术的优势。在此过程中，他们必

须要解决众多实际挑战。这些挑战包括采纳新的工作流程、调节不熟悉的生产参数以及消除生产错误和浪费。最后一个同样很重要的挑战是：增材制造粉末的成本目前远远高于传统材料。打印任务失败会产生惊人的代价。

术，工程师现在不但能够确定其产品设计在现实条件下的性能，而且还能够精确了解设计方案在具体机器上将如何打印。参与生产过程的每个人——从设计人员到机器操作员——都能够借助通用平台进行协作，并共享有关增材制造结果的全面信息。

为了实现这种愿景，ANSYS针对其面向增材产品设计的旗舰仿真解决方案进行了扩展，另外引入了专门用于优化增材制造相关工程与设计过程的新工具。ANSYS客户可以低风险地进入增材制造的世界。因为他们在使用熟悉的行业领先技术，

**“利用仿真技术，工程师现在不但能够确定其产品设计在现实条件下的性能，而且还能够精确了解设计方案在具体机器上将如何打印。”**

而且借助经过验证的强大仿真功能保护利润率。

本期《ANSYS Advantage》杂志主要介绍了一些支持金属增材制造的新仿真功能以及已经发挥这种新生产方法优势的客户的成功案例。我们希望这本杂志能够帮助您思考基于仿真的增材制造如何成为贵企业的竞争优势。▲

而且借助经过验证的强大仿真功能保护利润率。

本期《ANSYS Advantage》杂志主要介绍了一些支持金属增材制造的新仿真功能以及已经发挥这种新生产方法优势的客户的成功案例。我们希望这本杂志能够帮助您思考基于仿真的增材制造如何成为贵企业的竞争优势。▲

# 目录

## 聚焦增材制造

### 4

最佳实践

#### 增材制造：仿真新前沿

利用仿真技术，工程师现在不但能够确定产品设计的性能，而且还能够了解设计方案将如何打印。

### 10

航空航天

#### 打破常规

Relativity Space正在利用增材制造和仿真技术来设计火箭。



### 14

工业设备

#### 在增材制造工作流程中发挥仿真优势

Croft Filters公司解决了选区激光熔化增材制造过程中的翘曲问题。

### 17

思想领导者

#### 逐层掌握增材制造

如果工程师能够跳出传统思维，增材制造能够对社会的各个方面产生影响。

### 19

解决方案

#### 确保增材制造获得成功

AM专用仿真工具便是成功制造的唯一可靠途径。



### 22

解决方案

#### 利用ANSYS Additive Print可成功实现金属3D打印首次即成功

ANSYS Additive解决方案可确保客户能够迅速获得即用型增材制造部件。

#### 关于封面

Relativity Space致力于实现一个独特的愿景：把利用增材制造技术3D打印的火箭发射到太空。  
欢迎阅读第10页了解更多信息。



### 24

航空航天与国防

#### 填补孔洞

ANSYS合作伙伴已研发出一套能将CT图像转换成有限元模型的新流程，可用于预测成品部件的机械特性。

### 28

航空航天与国防

#### 利用仿真对增材制造的火箭部件进行认证

ArianeGroup创建了基于仿真的工作流程，不仅能预测部件质量，而且还有望大幅减少传统方法所需的过程时间。



## 32

思想领导者

## 塑造未来

增材制造仍具有众多未实现的潜能，而仿真技术在发掘其潜能的过程中将起到至关重要的作用。

## SIMULATION@WORK

## 34

汽车

## 极速轻量级摩托车设计

为了研发一款轻量级摩托车，工程师开展了拓扑优化和疲劳分析。



## 37

汽车

## 打造更稳固的支架

Kyungshin公司借助ANSYS Mechanical的拓扑优化功能，设计出了更坚硬且更轻量化的支架，从而不仅能支撑其智能接线盒，同时还可降低相关风险。

## 40

医疗保健

## 个性化植入物让患者重展笑颜

OMX Solutions采用增材制造和仿真技术生产出适合每位患者并且只需更少手术的植入物。

## 44

高科技

## 抑制DDR系统电源噪声

STMicroelectronics工程师采用ANSYS工具确定并纠正了复杂DDR系统设计中的电源完整性问题。



## 48

汽车

## 去除制动踏板中的金属材料

KSR International采用拓扑优化将汽车制动踏板的重量降低了21%，结构优化时间从7天缩短至2天。

## 部门

## 51

新闻

## 仿真新闻

与仿真有关的新闻集锦。

## 网络独家报道

思想领导者

## 快速变革的汽车行业 — 思想领袖的观点

汽车行业专家Burkhard Goeschel教授分享了他对正在颠覆汽车行业的变革趋势的真知灼见。

思想领导者

## 电动汽车 — 思想领袖的观点

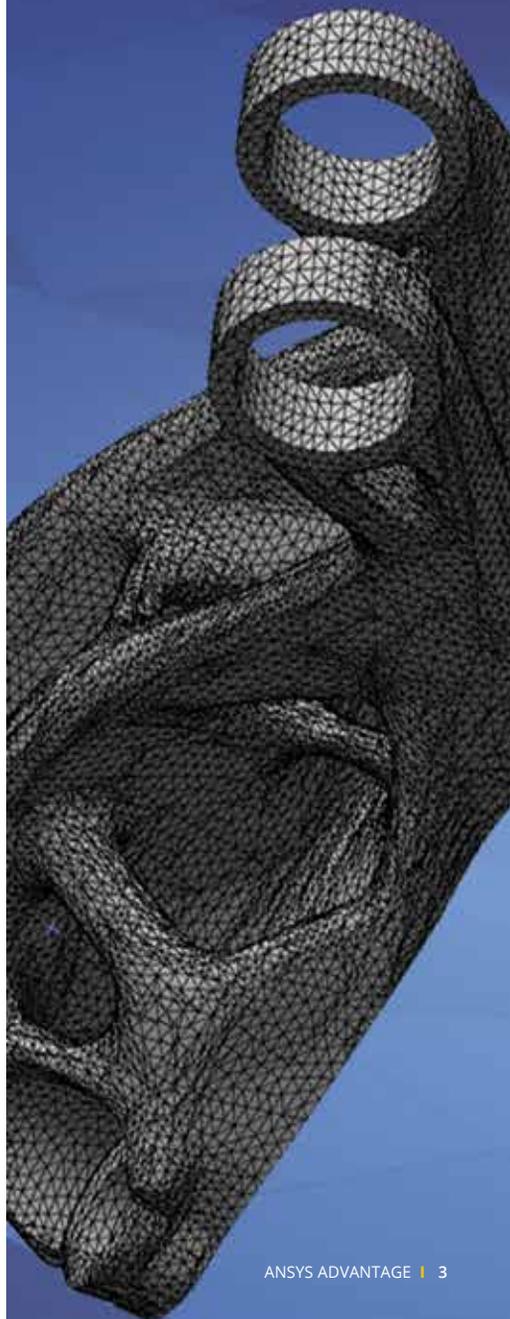
汽车行业专家分享了他对电动汽车技术和市场的真知灼见。

加入仿真对话

[ansys.com/Social](https://www.ansys.com/Social)

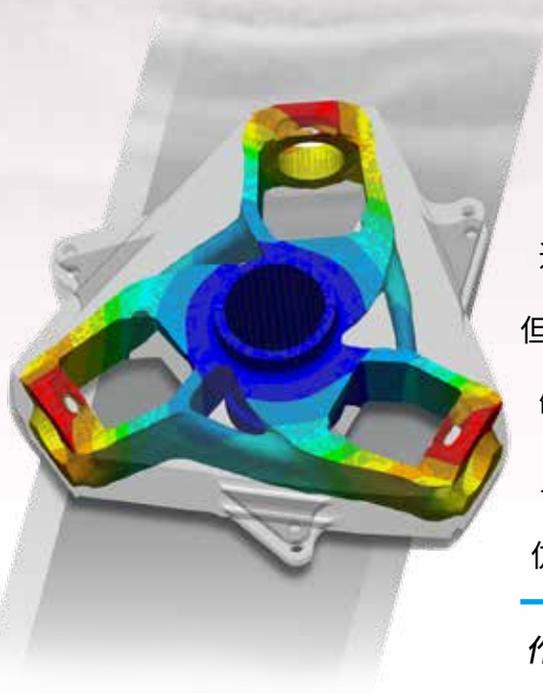


2019 R1  
RELEASE





## 增材制造： 仿真新前沿



**增材制造**，即广为人知的3D打印技术，有望同时为工程与生产带来变革。由于能够把数字设计方案快速转变成实际产品，增材制造可以实现大规模定制并快速响应产品开发。但是高昂的材料成本要求产品研发人员每次都能够一次成功，完成最佳的设计方案。《ANSYS Advantage》最近与ANSYS的两名专家探讨了仿真如何最大限度地提高成效和降低风险。

---

作者：ANSYS员工

# “增材制造应当作为更大规模 产品研发与制造战略的组成部分， 从而发挥战略作用。”

**《ANSYS Advantage》：**到底什么是增材制造？另外，业界为什么对它如此感兴趣？

**Brent Stucker：**增材制造是一种通过逐层构造而生产三维部件的技术。该技术由于不断增加材料层而得名，刚好与某些其他生产工艺的过程相反。之所以被称为3D打印，因为它需要把数字设计方案发送到机器，后者可以快速制造产品。

增材制造一开始是用于快速制作原型，但是，由于具有众多超出传统工艺的优势，因此它作为一种新的生产形式得到了更广泛的普及。显然，它能够帮助企业把数字文件迅速转变为成品。不过它也能生产极其复杂的形状，以及满足特定客户需求的“一次性”设计。与此同时，客户还有望研发出高度定制的材料混合物，以实现预期的性能特征。

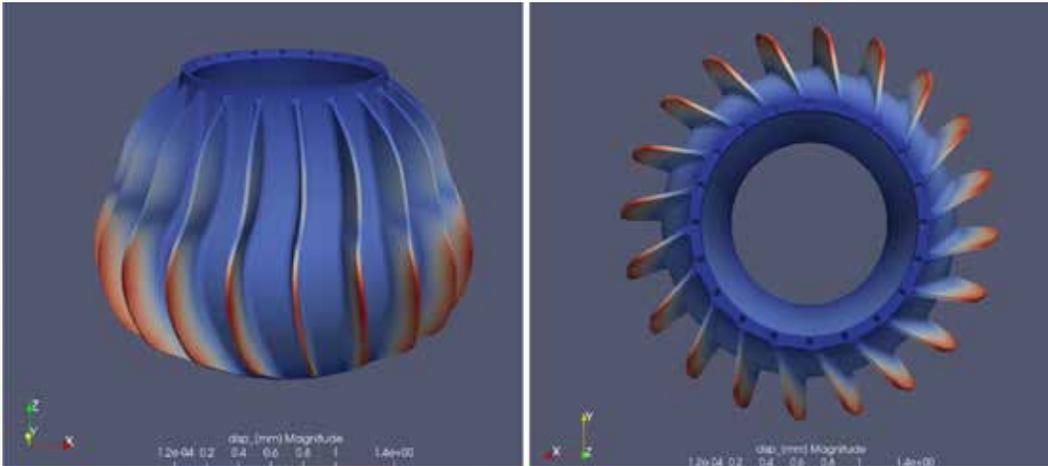
**Dave Conover：**认识到这种新技术的潜力之后，ANSYS研发了面向金属增材制造过程的仿真

工具。我们目前正致力于研发有关金属材料，不过我们也计划在未来增加更多材料。目前我们专注于金属材料，是因为这正是我们的客户积极投资并且非常看好的领域。另外这个领域的试错成本代价最大，因此金属增材仿真工具不久将对企业成本控制具有非常大的影响。

**AA：**目前金属增材制造的应用范围有多广？未来的潜力有多大？

**BS：**目前，率先采用金属增材制造的企业通常拥有高度复杂、需要承受极端工况的部件，如：航空航天企业。增材制造的进入门槛很高，因为需要购置非常昂贵的新生产设备。生产人员需要掌握新的专业知识。另外生产失败会导致巨大风险，因为金属粉末和其他3D打印材料的成本很高。





ANSYS正在与行业领先的工程和科学技术公司Renishaw合作，旨在研究仿真技术如何有效预测增材制造(AM)过程中的残余应力。经过ANSYS Additive Print预测，这些非常精密的涡轮机叶尖（每个只有1.3毫米左右）在AM过程中会由于较高的热应力而产生变形。（红色区域代表高应力区域。）仿真使设计人员和机器操作人员能够调整部件几何结构或者机器参数，以尽可能降低代价高昂的打印错误的风险。

**DC：**因此，这就是为什么航空航天等行业在金属增材制造方面一路领先，他们从该技术中获得的相关利益让他们值得克服上述挑战。不过，随着我们一起努力研发相关解决方案，以攻克这些共同挑战，增材制造最终会适用于任何行业中除了航天航空之外所有的制造企业。

**AA：**工程仿真对于解决这些挑战有什么作用？

**DC：**当你考虑这些高成本和高风险的挑战时，需要认识到工程仿真对于那些希望探索增材制造战略的公司意义重大。其意义在于，仿真经过40多年的验证，能够最大限度提高确定性和降低风险。利用仿真技术，企业

在象征性地按下“打印”按钮之前，即可预测某个数字设计是否能够成功制造。

**BS：**仿真的魅力在于它能够分析整个增材制造过程——从最早期的设计到成品。企业

不但可以依赖传统仿真工具，以确保最终产品满足性能标准，而且他们现在还可以借助新的过程仿真解决方案模拟生产过程。他们能够回答这些关键问题，如：“我应该把设计发送到哪台机器？”，以及“哪种材料微结构非常适合这个设计方案？”

**AA：**仿真技术如何帮助那些刚开始探索增材制造的企业？

**“增材制造意味着包括金属粉末在内的新材料、新设计、新生产工作流程和新的物理约束条件。”**

**BS:** 产品研发团队在过去可利用仿真技术来优化关键产品特征，而现在专业工具可以帮助他们针对新的增材制造环境优化设计方案。工程师可以逐层查看变形与应力。他们可以研究部件容差与构建失效，这些是增材制造的主要风险。通过增材制造技术生产的部件的特性与铸造或锻造部件的特性大相径庭，而仿真可以帮助工程师了解和解决这些关键差异。

**DC:** 正如Brent在前面所说的，这些公司需要投资新的生产设备。目前有一些专业仿真工具能够与这些机器交互。工程师和3D打印机操作员可以在试错之前，共同确定最佳机器与材料参数。他们可以将预测的机器行为、预测的部件特征与打印过程实际发生的情况对比，从而不断学习和改进。他们可以减少打印失败次数以及所需的原型数量。

虽然增材制造仿真是一门新技术，但是它与仿真一直以来所提供的价值定位相契合：最大限度降低风险，减少时间与成本，以及最大限度提高产品创新。

**AA:** 有哪些具体的仿真功能可以适用于增材制造工艺？

**DC:** 有一些适用于增材制造的仿真功能已经广泛用于解决传统的产品研发挑战。例如，数十年来工程师一直在仿真不同的材料成分。他们过去一直在优化产品拓扑以及处理几何结构，以便同时优化生产过程和实际性能。他们过去一直在进行热与结构分析。工程师过去需

要研究部件形状、变形与应力。现在令人振奋的是，新的专业工具可以根据增材制造（3D打印）的独特条件而考虑所有这些方面。增材制造意味着包括金属粉末在内的新材料、新设计、新生产工作流程和新的物理约束条件。不过，通过提供新一代解决方案以作为我们传统软件包的功能扩展，ANSYS让这些变革变得易如反掌。

**BS:** 同样让人振奋的是，全新的软件工具专门用于优化工程师的设计方案，从而在如今的先进增材制造设备上生产。ANSYS首次研发了专门用于机器操作员的仿真软件。这些

生产专家可以在虚拟环境中准确构建设计，从而能够确信特定产品几何结构能够在特定增材制造设备上成功打印。该软件可以和传统设计软件交互，可以独立运行，也可以作为ANSYS技术平台的组成部分运行，从而确保能够形

成闭环设计构建循环，最大限度地提高成功几率和减少失败。（编者按：如欲了解面向增材制造的ANSYS解决方案，请参阅第19页。）

**AA:** 什么原因促使ANSYS投资研发专门用于增材制造的新解决方案？

**DC:** 今天，由于实现了快速设计和生产，因此功能之间的传统边界正在逐步消失。为了发挥此类技术突破的优势，整个公司需要加强

## “随着增材制造得到更广泛的普及，其能够实现的益处可谓潜力无限。”





资料来源: Renishaw

对于单个涡轮叶片, ANSYS Additive Print经过验证, 其能够非常准确地预测AM过程中的变形, 与实际打印过程十分匹配。通过变形补偿, 最终部件与预期的几何结构非常接近。如果没有补偿, 部件应该被视为一次失败的构建, 从而浪费时间、设备产能和材料成本。ANSYS预计, 对于涡轮机等复杂的几何结构而言, 单次打印失败有可能浪费数万美元。

紧密协作, 而这正是新仿真解决方案的用武之地。ANSYS可在统一的技术平台中提供新工具, 供企业中的不同岗位的工作人员(包括生产操作员和材料工程师)使用。

ANSYS积极肩负起责任, 密切关注行业趋势, 并帮助我们的客户抓住新机遇, 比如增材制造, 它不但可以在工程部门、而且在整个公司都能够增加价值。这只是我们实现无处不在的仿真承诺的一个方面。

**BS:** 增材制造对传统制造企业的影响可谓意义重大。这种技术具有改变格局的潜力。医疗设备可以根据患者特定的几何结构进行生产。而庞大的配件库存? 这些将会成为历史, 因为未来只有在收到订单之后才开始生产替换部件。在石油天然气等行业中, 在极端环境工

作的产品可以采用新的混合材料成分制造, 以提高耐用性。

随着增材制造得到更广泛的普及, 其能够实现的益处可谓潜力无限。它能够促进企业内部的协作——减少设计构建周期的时间与成本, 同时

让工程师能够大胆去创造和实现极具创新的产品。

在未来5到10年, 增材制造将会成为开展竞争的必备利器, 而未采用这种实践方法的公司只能望尘

莫及。

**AA:** 企业如何开始采用增材制造战略?

**BS:** 最常见的误区之一是增材制造属于“全有或全无”的价值定位。我认为, 需要用新增材制造技术替代所有生产设备的预期会让企业望而却步。但是情况并非如此。

## “ANSYS研发了面向金属增材制造过程的仿真工具。”

只有少数产品从头至尾都是采用增材制造进行生产。相反，主要部件进行3D打印，然后与传统方式生产的组件一起装配成兼具两者优势的产品。因此，传统制造商一开始会提出这样的问题，“我们的产品中有哪些部件适用于增材制造？”它们可能是具有复杂几何结构、需要承受特殊应力或者需要高度定制化的部件。

增材制造应当作为包含传统制造功能的更大规模产品研发与制造战略的组成部分，从而发挥战略作用。

**DC:** 同样，企业应当开始增加专门针对增材制造研发的、能够与现有仿真产品组合无缝集成的仿真功能。他们应当向ANSYS这样具有丰富经验的合作伙伴合作，咨询如何针对性地

**“虽然增材制造是一种相对较新的技术，但是业界已经存在最佳行业实践供参考。”**

借助仿真技术、以较低风险和投资进入增材制造领域。

虽然增材制造是一种相对较新的技术，但是业界已经存在最佳实践。ANSYS已经与最早期的采用者开展合作，而且

可以帮助新的采用者实施这些实践，并最大限度地发挥其业务模式的优势。▲



**Brent Stucker**  
增材制造总监



**Dave Conover**  
增材制造首席技术官

**ANSYS**

**2019 R1**  
RELEASE

**NEXT-GENERATION**  
PERVASIVE ENGINEERING SIMULATION

- 基于LEVEL SET算法的拓扑结果曲面造型平滑，因此大大减少后拓扑处理的工作量
- 新开发了针对增材制造的层积四面体网格，相较于传统的标准六面体网格，可以捕获更精细的特征，提高仿真结果准确性。
- 提供不同去应力热处理工艺仿真手段，完善对增材制造全流程仿真
- 提供不同工艺窗口下单道熔池的尺寸计算
- 提供不同工艺窗口下构件的未熔孔隙率仿真

# 打破 常规

自2015年创立起，Relativity Space致力于实现一个独特的愿景：把利用增材制造技术（3D打印）加工的火箭发射到太空。这家位于加州、具有雄心壮志的初创公司志在改变全球的航空航天行业，希望以更快速度、更低成本和更简便的方式制造火箭。Relativity已经开始改写商用卫星发射的规则，希望最终能够在火星上制造出其3D打印火箭，在那里采用这种创新的低成本技术来支持人类移民。

作者：ANSYS员工



Relativity Space志在成为第一家发射完全利用3D打印（增材制造技术）制造的火箭的公司。该公司的Aeon火箭发动机仅包含100个部件，三次打印操作即可完成制造。

**T**im Ellis和Jordan Noone在就读南加州大学时，俩人由于对火箭的共同热爱而成为志同道合的朋友。他们在USC的火箭推进实验室一起工作，该实验室由一群希望成为第一批把火箭发射到太空的大学生创建。

毕业后，Noone加入SpaceX，而Ellis则进入Blue Origin工作。他们二人在2015年重逢，并决定成立一家名为Relativity Space的初创公司。他们的新公司立足于一个全新的概念：通过新兴的3D打印技术（又称为增材制造(AM)）制造火箭。虽然有些其他公司在打印飞行器组件，但是Ellis与Noone希望率先利用AM技术制造整个火箭。

这两个创始人认识到增材制造具有众多优势。火箭结构可以得到简化。采用AM制造的、只包含100个部件的火箭与包含10000个单独部件的火箭相比，前者的结构稳定性要高得多，而且更加牢固。AM技术可以显著优化装配体，而且简化端到端供应链和促进其无缝集成。此外，AM还可以消除对创新几何结构的限制，同时实现更多设计选项。

公司首席技术官Noone表示：“当我们宣布希望以3D打印方式制造火箭时，很多人认为我们太疯狂了，但是行业中经验丰富的人士看到了我们这个创意的潜质。”这些人包括一位亿万富翁投资人Mark Cuban，他投入50万美元帮助Relativity起步。Relativity另外还入选了著名的Y Combinator计划，该计划旨在为初创公司提供资金和战略咨询。

解决了资金和商业计划后，只剩下一个重要问题：Ellis和Noone找不到一台足够大的用来制造火箭的3D打印机。因此二位梦想家打造了自己的专属打印机。

“在管理增材制造操作时没有任何方式比仿真有更高清晰度和置信度。”



高15英尺，直径9英尺，Relativity公司的Stargate是全球最大的3D打印机。该初创公司目前采用ANSYS Additive Suite优化打印机的性能。



“当我们宣布希望以3D打印方式制造火箭时，  
很多人认为我们太疯狂了。”

#### STARGATE：推出新一代AM

直径9英尺，高15英尺，这台名为Stargate的全球最大的3D打印机设备伫立在该公司位于加州洛杉矶的总部。

Stargate打印机的复杂工程过程有一部分是采用仿真技术进行管理。Noone和Ellis在之前的工作中都使用过ANSYS软件，因此他们在成立Relativity Space后的八天内就联系了ANSYS。Noone表示：“ANSYS软件在全球航空航天行业中赢得了良好口碑，它是值得信赖的技术，以超高精度和易用性著称。我们知道，需要ANSYS技术来实现我们的创意。”

Relativity通过ANSYS初创公司计划能够快速获得软件授权。Noone指出：“在前期就与ANSYS合作，对于加快Stargate设计周期以及确保获得正确的物理过程至关重要。例如，我们仿真了打印机内部的计算流体动力学，以便优化实际打印过程中的材料流动。”

虽然设计和制造打印机需要时间和资金，但是与购买固定加工设备和建造制造工厂所需的数千万美元相比，这个投资要低得多。

采用3D打印机还可以最大限度提高工程团队的灵活性，因为它可以实现产品设计迭代。Noone指出：“重组传统制造设施可能需要花费数月时间和数百万美元。但是我们能够在18天内就完成新发动机设计，而且在30天内完成全新飞行器的迭代工作。这让我们能够实现航空航天行业中无可匹敌的灵活性和响应度。”

“我们知道，  
需要ANSYS技术  
来实现我们的  
创意。”

#### AEON：第一台3D打印火箭发动机

此外，Relativity的工程师还依靠ANSYS仿真技术来设计Aeon，这是第一台完全采用增材制造技术生产的火箭发动机。Aeon在发射时能够产生15500磅的推力，它是由镍合金制造而成。由于仅包含三个部件，这款发动机分三次打印制造。

Relativity产品研发团队采用ANSYS Fluent软件对发动机的喷射单元、冷却孔和歧管进行了计

算流体动力学(CFD)仿真。通过优化这些区域的流动性能，工程师能够缩短整个设计周期，同时降低物理测试的高额成本。

此外，该公司的工程师还采用ANSYS Mechanical评估了发射等重要活动过程中Aeon发动机内部的结构应力。100多次试发射已经确认了ANSYS仿真技术能够有效优化Aeon的强度和结构稳定性。

### 利用ANSYS ADDITIVE SUITE优化结果

作为利用3D打印技术制造最大型产品的制造商，Relativity Space自然而然地对ANSYS在2018年发布的ANSYS Additive Suite十分感兴趣。事实上，Relativity是这个新软件系列的第一家正式客户，该软件能够优化从材料成分到机器设置的整个3D打印过程。

Noone表示：“我们认为ANSYS Additive Suite真是太棒了。在实际投入材料进行生产之前，我们可以仿真每次打印操作的结果，从而大幅减少风险。”

Noone指出，采用金属材料制造巨大的部件形状存在非常高昂的试错成本。ANSYS Additive Suite中的新功能使Relativity工程团队能够预测并解决变形区域，确保几何结构精度，消除材料浪费和避免潜在机器损坏等等。Noone表示，“在管理增材制造操作时，没有任何其他方式能够获得如此高的保真度和置信度。”



Relativity公司的Stargate是全球最大的3D打印机。

### 下一站？火星

对于Relativity的Aeon发动机及其命名为Terran的运载火箭，其最初应用将会是商用卫星市场。该公司在这个行业占据独特的利基市场，即为1250公斤（大约一辆小型汽车的大小）范围内的卫星提供按发射付费服务。

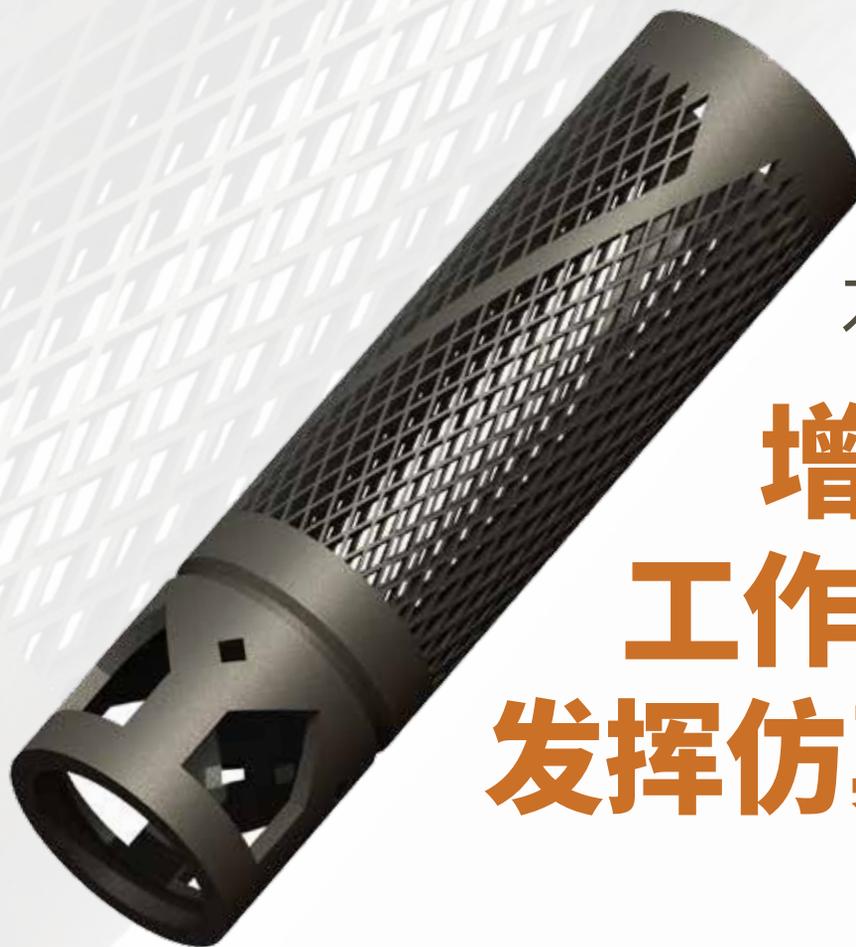
由于能够通过AM技术每60天制造一个新的运载火箭——相比之下采用传统制造方法需要一年的研发时间，因此Relativity希望能够占领这个快速增长的市场领域。Relativity已经与客户签订了计划在2020年进行首次发射的合同。

不过Relativity Space的长期愿景要宏伟得多。这家活力无限的初创公司希望成为第一家能够在火星上制造和发射3D打印火箭的公司。

Noone表示：“我们预想着人类移民在地球和火星上都会兴旺发达。不过，最初火星上的资源会非常匮乏。而AM技术的灵活、相对轻量化特性可以提供一种快速、低成本的方式，比如制造人类生存所需的物品以及返回地球所需的火箭。就工程方面而言，我们所做的一切都是为了这个终极目标。例如，Aeon发动机是由氧气与甲烷这两种在火星上非常容易生产的推进剂驱动。”

Noone总结道：“我们承认这个愿望听起来野心勃勃，但是我们希望激励更多初创公司加入到实现人类多星球移民的努力中来。因为小公司也可以有大梦想。” 



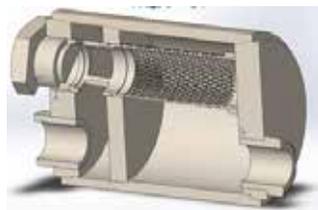


# 在 增材制造 工作流程中 发挥仿真优势

作者：**Louise Geekie**  
英国沃灵顿Croft Filters  
公司项目经理

在设计新款工业过滤器时，Croft Filters公司需要解决选区激光熔化增材制造过程中的翘曲问题。通过在设计打印的工作流程中利用ANSYS Additive Print增材制造仿真解决方案，工程师能够快速生成适合增材加工的设计方案，并避免多次试错产生的构件失败，从而把产品上市时间和原型构建费用减少了50%。

**为**了研发一款按照工业最终用户需求减少抽运能量的新型过滤器，Croft公司的工程师推断出，让过滤器孔与流量保持一致可以降低驱动流体所需的抽运能量。这种过滤器设计需要极其复杂的内部轮廓，无法通过传统制造方法制造，因此Croft转而采用金属增材制造技



外壳中显示的、采用增材制造技术生产的过滤器主体

术。Croft采用的选区激光熔化(SLM)增材制造工艺利用移动激光束按顺序熔化粉末床的微小区域，从而生产部件。

在每个熔化区域冷却的过程中，它会经受压缩力和张力，但同时会受到附近固体区域的附着力的约束。最终的残余应力有可能导致部件翘曲。过去，Croft工程师通过试错方法消除翘曲，或者至少把它降低到可以满足尺寸公差的程度。通过采用ANSYS Additive Print解决方案帮助解决变形问题，Croft工程师把解决时间和原型构建费用减少了50%。

### 采用SLM工艺制造的过滤器

在SLM工艺中，一个刮板会推着一层薄的金属粉末（本例中为316L不锈钢）在打印床上移动，而激光光束扫描粉末层以熔化该层的相应区域，从而构成部件截面。在每层完成之后，另一层粉末则打印到未完成的部件上，同时激光器熔化新的截面。这个循环一直持续到部件完工。

随着顶层部件的每个区域冷却，凝固的底层可以抵抗热收缩，从而对顶层施加拉伸应力。同样，顶层对其下面的固态区域施加抗压应力。部件的几何结构以及增加用于支撑悬垂部分和传导热量的辅助结构将会对残余应力产生十分重要却难以预测的影响。运动自由度较高的区域具有较低的残余应力，而限制运动的区域具有较高的残余应力。在本例中，成品部件并未达到制造公差要求，因为残余应力在x与y平面导致多处变形，而且在z平面导致延伸。

Croft工程师过去一直依靠试错法，以确定如何改变部件定向、支撑结构、机器参数、材料规范以及组件设计方案来满足制造公差。采用这种方法一般需要四个星期的时间才能获得令人满意的部件，而且要消耗大量资源（包括工程时间）才能生成新的设计迭代。另外在增材制造系统上需要花费更多的打印时间，而且制造额外的原型需要更多的金属粉末材料。

### 采用仿真解决增材制造问题

在本项目中，仿真实现了一种更快速而且更低成本的方法。Croft工程师把原始STL文件上传到了Additive Print。Additive Print提供了图形可视化功能，以反映整个构建部件上的逐层应力积累和高应变区域。软件预测了构建部件的变形与残余应力，包括显示了原始几何结构、未变形几何结构、最终变形几何结构之间以及从支撑移除前后的差异。这些结果提供了通过其他方式无法获得的诊断信息。

仿真结果显示，变形主要是由于高强度顶部部件（固体环），其在滤网的较薄弱上层部分引起了残余应力。工程师通过仿真带和不带顶部部件



采用增材制造技术首次尝试制作部件产生了明显变形。



原始设计方案的ANSYS增材制造仿真结果与实际部件所示的变形匹配。





Croft工程师首先进行仿真，然后创建了拆除顶部后的部件的原型（在此显示），以诊断相关问题。



经过重新设计将支架与滤网合并的部件的CAD模型



支架与变形补偿结合在一起能够消除变形问题。

的过滤器，对这种假设进行了测试。如果没有顶部部件，则结果显示没有任何变形。Croft工程师制造了无顶部部件以证实这些发现，而结果与仿真相匹配。顶环是保持部件结构完整性的重要组件，但是工程师发现它在制造过程中会产生变形，这个信息对于设计过程非常宝贵。

### 满足设计规范

Croft工程师尝试为滤网增加支架。这些支架与顶环连接，以提高过滤器顶部滤网区域的强度。他们尝试采用两种螺旋支架几何结构，旨在避免限制流体而且不增加太多的材料和制造时间。此外，他们把入口的形状改变成五边形，以增加

入口面积，同时保持孔口自支撑和减少所需的支撑材料。当他们仿真新设计时，结果证明变形得到大幅改善，但是仍然不符合此产品要求。

工程师然后使用了Additive Print中的自动补偿功能，其可以调节几何结构，以补偿变形。此功能使部件壁面向变形的相反方向移动，以实现原始设计几何结构。他们仿真了变形补偿模型，发现变形被过度补偿，从而导致了与原始几何结构中发现的变形方向相反的少量变形。因此，他们使用Additive Print创建了新的几何结构，并将变形补偿比例设置为原始数值的0.75、0.50和0.25。所有这些模型的仿真结果仍然显示变形补偿不足。工程师最后创建了变形补偿比例为0.90的模型。此设计几乎消除了变形，而且满足设计规范的要求。

增材制造技术使企业能够打印出传统减材制造方法无法生产或者制造成本非常高的部件。但是，努力把增材制造融入现实制造工艺的企业往往需要实施多次试错过程，才能顺利生产出高保真度部件。仿真可以指导工程师顺利创建部件和过程，而费用和研发周期仅为试错方法所需的几分之一。Croft工程师仿真了增材制造过程，以确定最佳部件设计和机器工艺参数，同时最大限度减少物理原型数量。此部件的设计已经完成，并准备用于产品投放。▲

“Croft过滤器的解决时间和原型构建费用减少了50%。”

# 逐层掌握 增材制造

作者：Jamie J. Gooch, 《数字工程》杂志编辑主任

图片来源：匹兹堡大学Albert To博士

**我**们通过祖先制造工具的方式来划分不同的历史时期，从石器、青铜器、铁器、工业革命直至信息时代。工具制造技术的每次突破都引领了人类活动的技术创新。因此，这也解释了为什么增材制造让我们感到振奋不已。它能够对社会的各个方面产生影响，有些影响甚至超出了想象。

然而仔细想想，你会发现历史突破有时候是千年一遇。人类在6000年前开始锻造金属，但是直到蒸汽机的发明才真正开启了飞跃式发展过程。相比而言，问世不到40年的增材制造技术很快扩展到工业应用。几乎每周

我们都会听到有关工业增材制造的新应用、新方法和/或新投资。

## 加速发展

许多创新一同推动了增材制造的快速发展，如：材料、机器人与传感器等。但是，真正让增材制造从研究室进入工厂应用的动力来自软件。

# “许多创新一同推动了 增材制造的快速发展， 如：材料、机器人与 传感器等。”



图片来源：匹兹堡大学Albert To博士

开展面向增材制造的设计时，需要遵循与传统制造工艺不同的思路。从诸如悬垂、支撑结构布置、摆放方向等细节到诸如增材制造是否是给定应用的理想选择、需要使用哪些材料或者如何整合和优化部件等更重要的决策，都会让人感到无所适从。

对于数十年来一直熟悉研磨或者注射成型的设计工程团队而言，如果缺乏合适的工具和培训，他们就会裹足不前。或者更糟糕的是，他们可能因为听信按钮式生产的传闻而开始尝试增材制造，不料结果是失望透顶，然后则浅尝辄止。

## 建立文化关联

软件非常重要，它可帮助我们与硬件建立联系、了解各种控制参数对结果的影响，并把增材制造融入现有的产品设计、研发和制造流程。相关工具已经填补了增材制造过程的许多空白，它们专门可用于准备现有文件、从头开始增材制造设计、确定何时向服务供应商采购、确保打印床空间的有效利用、仿真具体增材过程以及了解设计变更如何影响构建等。

增材制造软件需要经过不断的改进，才能和其他制造工艺所用的软件一样成熟。不过，我们的设计工程团队已经从询问“为什么没有软件可以帮助我们完成这项工作”

转变为询问“我应该选择哪个软件完成这项工作？”

与连续构建一样，增材制造在软硬件层面不断改进，而且熟悉使用方法的用户也在不断增长，未来繁华指日可待。如果您还没有加入这个行业，那么请仔细考虑一下增材制造。过去几年软件层的发展可能会让您感到惊讶，而未来几年的发展将会让您望洋兴叹。▲

.....

Gooch现任《数字工程》杂志 (digitaleng.news)的编辑主任，该杂志面向的读者包括设计工程团队成员，他们希望了解相关技术，以优化产品设计和研发过程。

# 确保增材 制造获得 成功

随着设计人员积极探索增材制造(AM)带来的精彩新世界，他们不但要攻克创新设计的新挑战，还需要确保制造过程中能够精确地打印出所需部件。AM专用仿真工具便是成功制造的唯一可靠途径。

作者：**Masha V. Petrova**，ANSYS增材解决方案首席产品营销经理



ANSYS Workbench Additive—  
面向增材制造的无缝工作流程  
[ansys.com/am-workflow](https://ansys.com/am-workflow)

## 哪怕最伟大的创意也会因执行不良而毁于一旦。

随着增材制造技术日渐成熟，并普及形成商用规模的制造工艺，我们正亲身见证科幻作品中的事物走进现实。我们能够打造以前无法实现的有机形状、大胆地采用具备全新特性的先进材料，将打印机和金属粉末耗材运往世界（甚至宇宙）偏远角落，就能根据需要现场生产出各种复杂的部件，而这仅只是AM深厚优势的一部分。

### AM成功路上的挑战

不过，机遇和挑战共存。在我们把打印设备送往太空，助力构建移民火星的基础设施之前，必须先解决一个大问题。部件在打印过程中会出现变形。尤其是在粉末床金属AM工艺中，温度较低的金属先受到激光的剧烈照射，再经历相对快速的冷却，然后铺上一层新粉末再次用激光照射。这一温度反复变化的过程会产生热应力，有可能造成部件变形，损坏打印床，甚至促使部件在昂贵的金属AM设备内爆炸。



## “设计人员如何避免出色的设计方案在AM制造过程中受到破坏？”

面向增材制造的设计(DfAM)属于一大新兴热门设计领域。借助拓扑优化和设计探索工具，工程设计流程正在突破传统CAD有限图形种类的局限。AM的巨大潜能也激发了设计人员的创造力，制造出业界前所未见的形状，比如模仿受力弯曲的树枝，或者蝴蝶的翅脉等形状。此类新奇形状现已用于航空航天换热器、汽车中的支架和定制膝关节置换假体。

但是，这种快速增长也带来了更多的问题。在AM美好前景的激励下，设计人员创造出了诸多精妙设计方案，并采用了大量有机形态的通道和错综复杂的歧管，但很多设计人员并未认识到，AM工艺本身的复杂性使这些奇思妙想很难成形，他们不得不反复重新设计相关部件，以便打印出符合规范要求的部件。

因此，设计人员如何防止出色的设计方案在AM制造过程中受到破坏？答案就是仿真。

如果设计增材制造产品的设计人员能够利用仿真工具，在制造之前就了解部件能否精确地打印成型，那么他们就能够自主掌控其设计，并且确保设计方案即使在打印过程中也能保持形体不变。

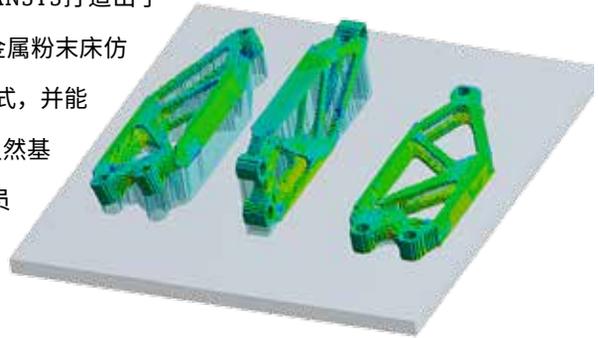
### 面向增材制造的仿真

由于每个工程师的工作方式不尽相同，而且需要能够无缝融入其工作流程的工具，因此ANSYS提供了一系列针对不同需求的增材制造解决方案。经



ANSYS Additive Print可预测热交换器中的热力置换。图片由Additive Industries提供。

过充分考虑DfAM设计人员和AM机器操作员的需求，ANSYS打造出了Additive Print这套独立解决方案。Additive Print逐层金属粉末床仿真工具是避免打印失败的关键，有助于淘汰物理试错方式，并能够轻松地融入设计人员和AM设备操作员的工作流程。虽然基础的求解器很复杂，但是用户界面却很简单。设计人员可将包括STL在内的CAD设计文件导入Additive Print，利用比打印物理部件更快的速度运行仿真，查看设计方案在打印过程中的情况，以及相应调整支撑或设计。



ANSYS Workbench Additive

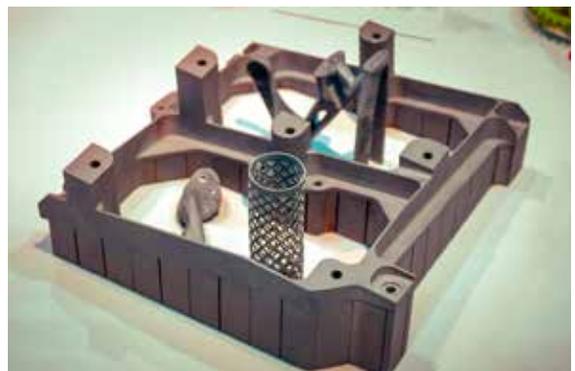
## “增材制造正在开启设计师与分析师的创意之门。”

与Additive Print一样，ANSYS Workbench Additive也可以仿真金属粉末床打印过程，但它是在用户所熟悉的Workbench环境中工作。它可以帮助用户杜绝打印失败现象，并能通过可视化方式查看打印过程中产生的变形与热应力。但是，与Additive Print不同的是，Workbench Additive面向工程分析人员，这样他们在整个仿真过程中仍然可以使用ANSYS Workbench环境。

### 工作原理

例如，航空航天工程师可将由数千个部件构成的复杂CAD几何结构导入Workbench，然后采用ANSYS SpaceClaim清理几何结构，并针对单个部件或者整个装配体建立完整分析文件。之后他可以执行完整瞬态热传递仿真以及全面的结构和/或热分析，以确定需要哪些几何结构变更，一切操作全部都在Workbench环境中进行。此外，他还能够执行CFD分析，以了解几何结构变化如何影响压降等情况。工程师还可以执行拓扑结构或者晶格优化分析，然后重新执行任何结构、CFD或者模态分析——所有操作都无需离开ANSYS Workbench。

在工程师确定了相关部件能够按照要求运行之后，即可运行Workbench Additive，以确定如何打印部件。是否存在热应力积聚？是否存在变形？支撑部分是否需要调整？部件是否必须重新设计和重新分析？完成打印仿真之后，还可以仿真从底板拆除以及热处理等后处理工作——所有操作均在ANSYS Mechanical中完成。ANSYS Workbench支持工程师开展疲劳分析，以了解相关部件或装配体（无论是打印还是采用传统方式制造）能否耐受磨损，而且还能执行各种优化。



增材制造正在开启设计师与分析师的创意之门。未来几年内将不断涌现出许多绝妙的设计创意。仿真技术将助力攻克增材制造工艺的相关挑战，确保此类创意能够落地开花。▲

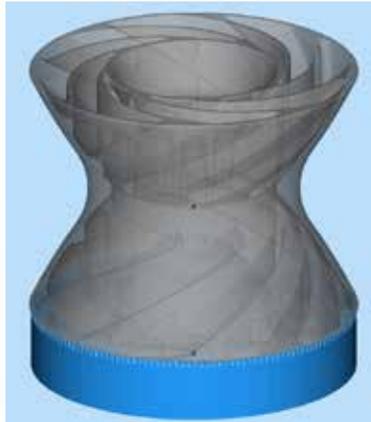
# 利用 ANSYS Additive Print 可成功实现金属3D打印首次即成功

随着增材制造的优势日益突显，企业积极探索能改进3D打印工艺的方法。ANSYS渠道合作伙伴PADT凭借其广泛的快速原型构建服务，长期位居增材制造的前沿地位。为了确保客户能迅速获得即用型增材制造部件，PADT的团队最近一直都采用ANSYS Additive解决方案进行设计。

作者：**Eric Miller**，美国菲尼克斯市PADT公司总裁兼共同所有人。

**金** 属增材制造是增长速度最快的制造领域之一。据《沃勒斯报告》(Wohlers Report)的统计数据，2017年金属制品销售额增长了80%。众多行业的企业都希望能充分利用3D打印的速度和灵活性创建其金属组件。最常见的工艺是利用激光粉末床熔化成型技术逐层构建金属部件。在此过程中，激光首先会熔化金属粉末，然后金属变成固化。但是，这个过程会产生热应力，而热应力又会造成变形。最好的结果是部件不完全符合CAD模型尺寸，但是在允许的公差范围内。由于变形的部件在打印过程中会干扰打印机，最差的结果是在粉末刮板碰到部件的突出部分时，会损坏非常昂贵的机器。

PADT在大约25年前购买了第一台3D打印机，此后一直在添加新设备。他们在该领域能向客户



ANSYS Additive Print已经确认小型燃气轮机的部件无需额外支架。制成的产品证实该部件正确无误。

供应六种不同的增材制造技术，而且每月可加工成百上千个部件。一年多以来，PADT一直在应用一种最新的技术，那就是：金属的激光粉末熔化成型技术。在此过程中，工程师首先发现了残余应力及变形问题。有些部件变形并不严重，但另外一些却出现了像炸土豆片一样的翘曲。在大多数情况下，公司的工程团队都会设计薄的金属结构，以作为突

出部位的支撑和对部件的约束，直到其经过热处理之后消除这些应力。不过，PADT此前仅考虑到需要哪些支撑，因而往往造成过度设计。其团队目前采用ANSYS Additive Print不仅能优化支撑，同时还能补偿变形进而避免刮板损坏。这就节省了大量时间。

团队首先采用ANSYS Additive Print处理Monarch Power公司提供的部件——该公司正研发一种能

让用户自行发电的创新型太阳能产品。在他们的新产品中，有一种配备有向心螺旋叶片压缩机、内燃室和向心螺旋叶片膨胀机的小型燃气轮机，非常适合采用增材制造，因为所有这些元件以及内置轴向磁通发电机都可以进行打印制造。它采用自支撑方式，不存在突出的几何结构，而且外表面可以对所有内部结构形成约束，因而只有部件底部需要采用支架。ANSYS Additive Print预测了最小变形，并确定无需支撑件。根据Additive Print的建议，PADT制造了不带支架的部件。实际构建的成品验证了ANSYS模型。通过避免不必要的支架对部件产生的过度约束，PADT为客户节省了大量时间与材料。

在设计用于增材制造的T型管时，仿真的替代方法是试错法，这种方法即使花费数周时间以及数万美元的打印、后处理与工程费用也只能得到与仿真相同的结果。此外，试错法还会浪费材料和损坏粉末刮板。PADT轻松就证实了该模型非常适合涡轮机模型，然后还确定了用于纠正T型管打印错误的几何结构。

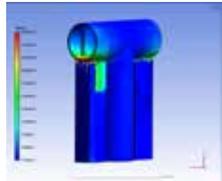
仿真过程既简单又直观，而且制造助理人员在ANSYS Additive Print中完成了所有建模操作。Additive Print将构成未来金属3D打印项目的组成部分，不仅能节省迭代次数和材料，同时还能更快地为PADT客户提供精确的部件成品。▲

本文所述工作由PADT生产技术部 Paraic O'Kelly与Anna Hayes完成。

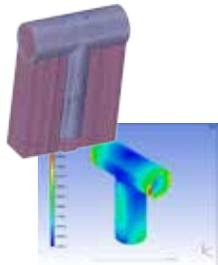
## T型管的增材制造



公司的团队决定通过仿真和制造PADT已生产数十年的T型管模型对ANSYS Additive Print进行测试，以确定支撑结构以及塑料与金属3D打印的精度。



在采用PADT的标准3D打印前处理工具生成支架之后，团队在Additive Print中执行了快速假设应变分析，并发现了模型没有得到正确支撑。水平管底部前几层严重变形，因而如果部件打印出来，这些层就有可能损坏支架并且造成机器破损。



PADT员工采用ANSYS Additive Print设计了支架。软件预测出有0.4毫米的变形，而标准支撑是3.0毫米。

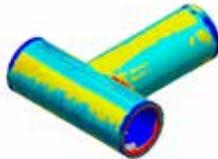
然后，他们采用ANSYS Additive Print的变形补偿功能计算了局部变形，并修改了相关几何结构，以使最终打印的形状更接近预期尺寸。



部件（包括支架）是在Concept Laser MLab激光粉末熔融机器中采用17-4PH不锈钢打印而成。



PADT扫描团队采用ZEISS结构光扫描仪对拆除支架后的部件进行了检验。测量结果显示，与额定CAD模型之间存在大约0.38毫米的偏差，这对于极易产生变形的部件而言已是不错的结果。



在对比了扫描结果与最终几何结构后，工作人员发现支撑材料拆除后表面的粗糙（而非热变形）导致了大部分的偏差。支撑附件粗糙表面之外的区域只有大约0.13毫米的变形，这表明优化后的支架以及ANSYS Additive Print的变形补偿功能打印出了

非常符合验收公差的部件成品。

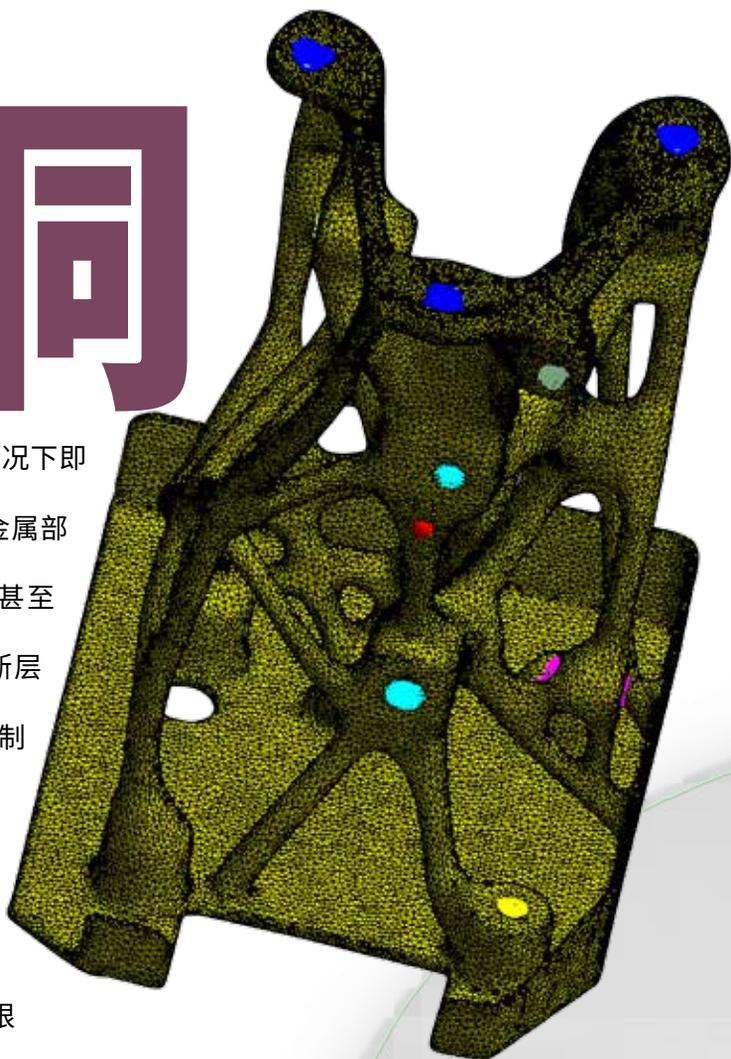
打印的部件 >



推出专用于金属增材制造的强大仿真解决方案  
[ansys.com/intro-metal-am](https://www.ansys.com/intro-metal-am)

# 填补 孔洞

金属增材制造能在无需昂贵工具的情况下即可制造出符合机械特性规范的复杂金属部件。另外，还可小批量制造部件，甚至“单件”制造。工程师可将计算机断层摄影(CT)扫描用于确定通过金属增材制造技术生产的部件中是否存在孔洞或杂物等缺陷，但在过去却无法确定此类副产品会如何影响性能。业界已研发出一套能将CT图像转换成有限元模型的新流程，可用于预测成品部件的机械特性。



作者：**Matthew Nixon**，英国埃克塞特Synopsys公司Simpleware产品部应用工程师；**David Harman**，Synopsys公司客户经理；**Julien Uzanu**，法国Labege ELEMCA公司研发工程师；**Jérémie Dhennin**，ELEMCA公司CEO；以及**Jean-Michel Desmarres**，法国图卢兹CNES材料专家

## 在

生产专用于航空航天和国防应用的关键组件时，首先必须对相关材料和工艺进行正式认证，才能证明这些组件是否可以发挥预期的功能。金属增材制造技术的日益广泛应用带来了验证难题，因为在这种一层一层逐步制造部件的增量过程中有可能产生不一致性风险，而传统的制造方法则不会存在这种问题。微小缺陷通常可采用CT扫描进行检测，这就带来了以下问题——它们对部件性能会产生哪些影响？根据CT扫描数据仿真成品部件性能这一新方法，正被用于对TARANIS航天器的太阳组件传感器(SAS)支架进行验证。

在距离地面20到100千米高度的大气层中，一直存在着2000多处活跃雷暴。这些瞬态发光事件最近才得以发现，其中每个都能在每秒产

# “根据CT扫描数据来仿真成品 部件性能这一新方法， 正被用于对TARANIS航天器的 支架进行验证。”

生50到100次闪电，因此现有知识仅限于从地面观察发光情况。为了更深入地了解雷暴区域对地球大气层、电离层和磁层的影响，负责制定和实施法国太空政策的法国国家太空研究中心(CNES)将发射一颗TARANIS微卫星，以从700公里的高度观测这些雷暴区域。

TARANIS微卫星的高度与轨道控制系统(AOCS)将能精确确定和控制卫星的定位。AOCS采用SAS来探测太阳方位。SAS支架可为传感器提供180度清晰视图。它安装在用于旋转传感器的装置上，从而在任何卫星方位都能够观察到太阳。传感器在装置中的位置加上支架的杠杆作用使得传感器对于火箭在发射过程中产生的动态环境非常敏感。因此，支架需要满足一项最重要的结构要求：其刚度必须足以维持超过350Hz的主模态频率。低于该值



TARANIS卫星将用于研究高空雷暴。

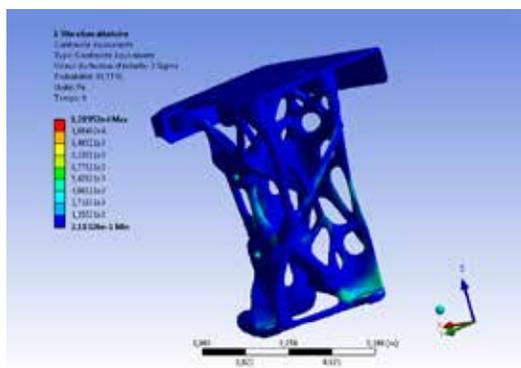
的模态频率有可能影响发射器和航空器主模式并且损坏传感器。



太阳组件传感器支架的CAD模型

## 增材制造技术能显著减重

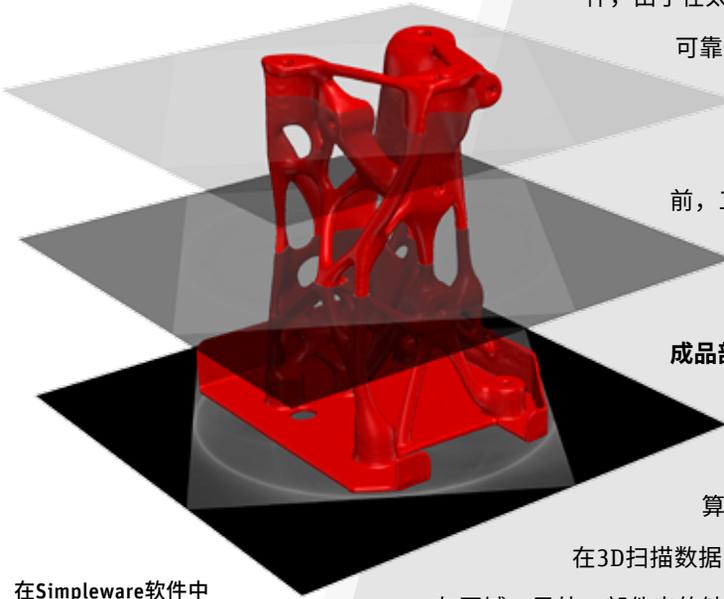
增材制造之所以有望成为生产SAS支架的制造方法，原因在于它能消除传统减材制造工艺的可制造性设计约束。工程师采用拓扑优化功能，以充分发挥增材制造带来的设计自由度，首先从空白空间开始，然后迭代优化后的设计，并同时修改部件的基本形状与尺寸。通过将支架内部的组件从11个减少到仅剩1个，工程师最终获得了能降低制造与装配成本的设计方案。与此同时，支架重量减轻了30%，因而能以同等程度提高航空器的有效载荷。



在ANSYS软件中，有限元分析模型根据实体部件的CT扫描创建的Von Mises应力图



ANSYS在增材制造领域的  
仿真驱动产品研发愿景  
[ansys.com/am-vision](https://www.ansys.com/am-vision)



在Simpleware软件中从CT扫描数据分割的SAS支架

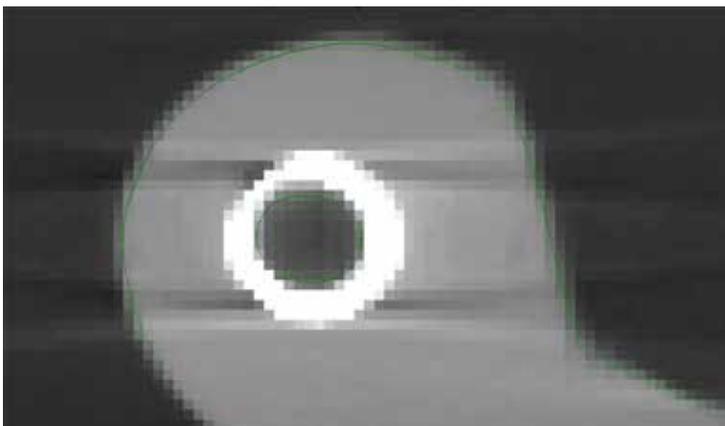
我们不能假定增材制造技术生产的部件没有内部缺陷。业界刚开始针对航空航天应用评估三维(3D)打印部件，由于在太空无法进行维修，因而需要充分验证部件的可靠性。目前，CT扫描是一种评估增材制造部件合规性的最常用方法，因为它能在不破坏部件的情况下检测内部缺陷。不久之前，工程师还只能利用CT扫描检测缺陷；他们无法量化这些缺陷对成品部件特性的影响。

### 成品部件仿真

在这个项目中共生成了1300张关于SAS支架的CT图像，而且工程师采用数学算法合成了这些图像，最终重建了部件体积。

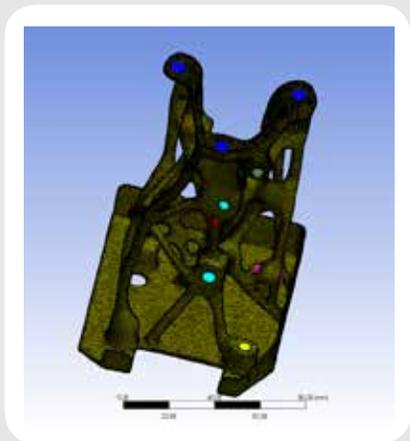
在3D扫描数据中，空隙显示为深灰区域，而杂质显示为浅灰区域。另外，部件中的钛螺丝显示为浅色人工制品。在处理扫描数据的过程中，Simpleware和ELEMCA工程师采用Simpleware的ScanIP图像处理平台导入了扫描数据。通过设置阈值来区分部件和周围环境，并将后者排除在外，工程师采用ScanIP检测立体像素（在3D空间中与2D空间像素类似的网格的值），并分割了相关结构。他们采用手动分割方法进一步改善了扫描数据，例如：确定螺丝孔并去除螺丝。工程师采用Simpleware的FE模块来划分几何结构的网格，以自动生成粗糙网格，同时增强梯度较高的细节。然后，导出了包含大约45万个单元的最终模型，以作为有限元分析的本地ANSYS模型。

在ANSYS Workbench中设置的边界条件与用于创建原始设计的结构仿真相同。



在Simpleware软件中分割SAS支架

# “CT扫描与有限元(FE)分析结合在一起， 可对成品部件进行结构仿真， 从而更准确地预测部件性能。”



Simpleware FE模块生成的ANSYS模型

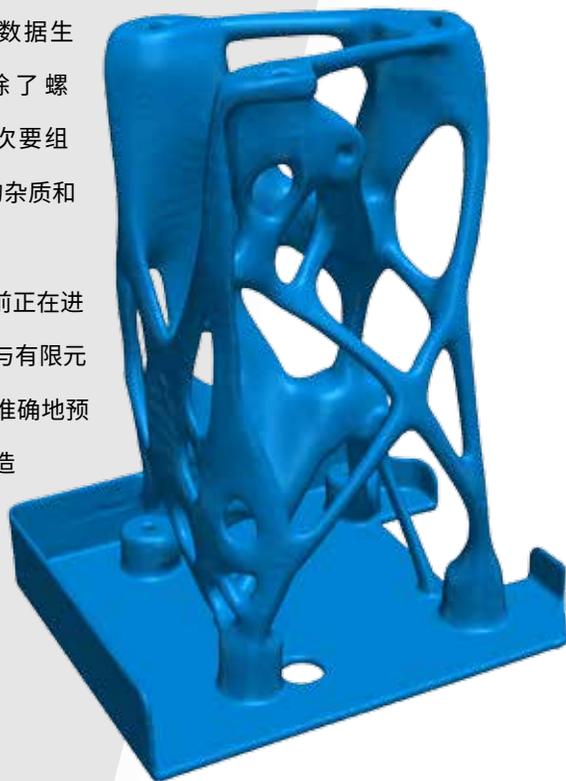
他们加入了位于基座上的固定支架、支架的质点质量以及位于接头处代表SAS的质点质量。ANSYS Mechanical的结果表明，增材制造产生的设计符合主要的飞行要求，而且模态频率远远低于临界值。成品部件的Von Mises应力值稍微低于在CAD模型的结构仿真中获得的值。ELEMCA工程师认为应力降低的原因是：根据CT扫描数据生成的模型中移除了螺丝以及其他几个次要组件。关键是部件的杂质和

空隙非常小，这对性能的影响微不足道。

仿真在验证此部件的过程中发挥了重要作用，该部件目前正在进行物理测试，有望用于太空任务。它可以证明如何将CT扫描与有限元(FE)分析结合在一起，以对成品部件进行结构仿真，从而更准确地预测部件性能。在针对关键的航空航天与国防应用验证增材制造部件时，这种技术进步应当有助于应对艰巨挑战。通过使用Simpleware软件研发成品模型以及采用ANSYS软件执行虚拟测试，ELEMCA充分发挥了增材制造技术的潜力，不仅能够制造出更轻量化、具有卓越机械特性的复杂机械部件，而且还避免了产生昂贵的加工费用。▲

## 参考文献

Uzanu, J.; Dhennin, J.; Nixon, M.; Harman, D.; Desmarres, J-M. Quality Control of a Metallic Additive Layer Manufacturing Part Thanks to X-ray Computerized Tomography and Finite Element Modeling, 14th European Conference on Spacecraft Structures, Materials and Environmental Testing, Toulouse, France, September 27-30, 2016.

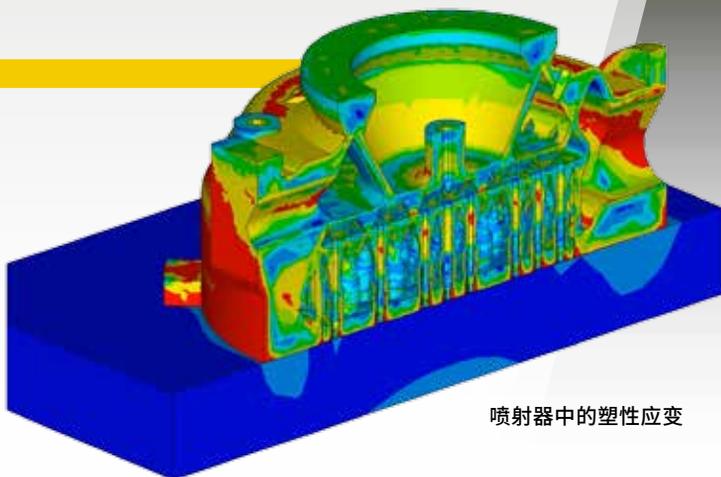


在Simpleware软件中从CT扫描数据分割的SAS支架

# 利用仿真对增材制造的火箭部件进行认证

随着航空航天行业开始采用增材制造，工程师必须验证组件是否能够在严苛的环境中正常工作，因为运载火箭中哪怕出现一个故障就有可能导致太空任务中止。当引入新的生产技术时，由于在满足目标质量之前必须生产和验证众多部件，因此传统的试错验证过程不仅非常耗时而且成本高昂。ArianeGroup采用ANSYS和Dynardo软件创建了基于仿真的工作流程，不仅能预测部件质量，而且还有望大幅减少传统方法所需的过程时间。

作者：**Dieter Hummel**，  
德国奥托布伦ArianeGroup  
公司热力学工程师；以及  
**Roger Schlegel**，德国魏玛  
Dynardo公司咨询总监



喷射器中的塑性应变

# 避

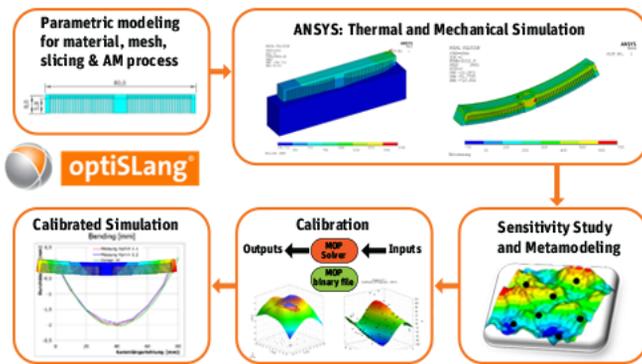
免任务失败是运载火箭的首要要求。每次失败都会浪费大约1.5亿美元的发射费用，而且可能会损失价值数亿美元、需要耗时数年才能建造的卫星。从2003年4月到2017年12月，ArianeGroup的Ariane 5重型运载火箭已连续82次成功地将有效载荷发射到地球同步转移轨道(GTO)或近地轨道(LEO)，成功率100%！ArianeGroup目前正在研发新一代Ariane 6运载火箭，其性能可与Ariane 5媲美，但制造成本与发射费用更低。Ariane 6采用金属增材制造技术，不但可降低制造成本和缩短研制周期，同时还能减少部件重量和缩小容纳部件所需的空

在该公司的液体推进工程部门中，有一个部门专门负责燃烧装置，这是用于处理高温气体的所有发动机组件的统称，如：气体发生器、发动机组和主推力燃烧室。ArianeGroup采用成本高昂的试错过程验证了第一批使用增材制

造的部件，这个过程需要打印并测试原型，才能确定部件性能。为了仿真增材制造过程，燃烧装置部门的热力学团队最近采用ANSYS Mechanical研发了自动化工作流程。在研发新组件的过程中，工程师利用仿真对温度、应力和应变演化情况进行预测，以确定打印过程中的风险。ANSYS optiSLang使得团队能够自动执行该过程并校正模型，最终以现有硬件试错方法所需的一小部分成本优化了生产工艺参数。

## 传统验证过程

粉末床金属增材制造过程是在打印床上铺一层薄薄的金属粉末。激光扫过打印床时，有选择性地熔化很小区域的粉末，以形成部件的其中一层。在每个部分的冷却过程中会收缩，但是下面的固体层会抵抗这种收缩，从而产生残余应力。这些残余应



工作流程采用ANSYS Mechanical和ANSYS optiSLang校正仿真模型。

力会导致成品部件的变形（塑性应变），而且最糟糕的情况是会产生无法检测到的裂纹，因为它们会被部件的其他部分遮挡。燃烧装置是太空任务取得成功的关键所在，因此采用新的生产工艺需要证明这

种新工艺不会导致裂纹和其他缺陷。

在批准Ariane 6使用增材制造部件之前，ArianeGroup工程师必须了解相关工艺，才能确定主要工艺参数对部件质量有怎样的影响，并且还需要研发一种能满足最终质量要求（包括工艺参数可变性）的生产工艺。

## 仿真增材制造过程

为了研发一套可提升速度和降低验证费用的工作流程，ArianeGroup和Dynardo工程师首先创建了较简单部件的模型。他们采用ANSYS Mechanical有限元分析软件仿真了增材制造过程，并研发了一个ANSYS参数化设计语言(APDL)脚本，以将整个结果分成多个单





Ariane 6火箭

独的层来模拟金属增材制造过程。然后，通过EALIVE命令激活打印层的单元，其可以设置制造部件所用材料的融化温度。此脚本可以一次性激活整个层，逐步激活一层中的矩形单元，也可按顺序激活一层中的角形Swath。然后再让这些单元自然冷却，同时追踪各个单元中的残余应力。最后，按照与前一层相同的方法激活模型中的另一层单元。脚本可仿真构建部件的完整过程，并追踪各个单元的残余应力和变形。

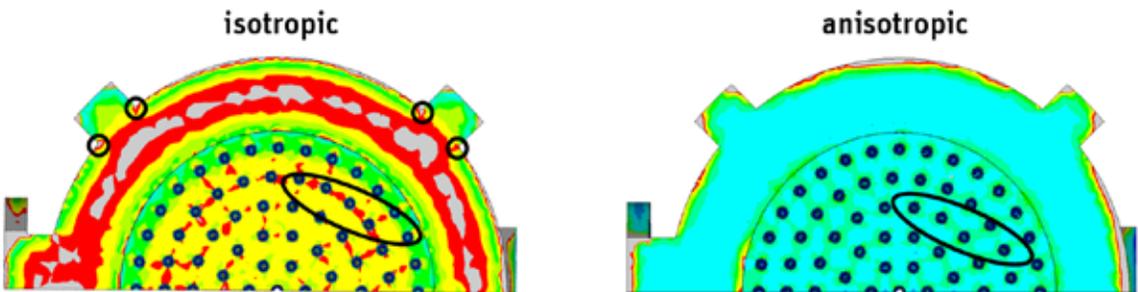
### 轻松实现增材制造仿真

ANSYS最近发布了ANSYS Additive Suite，不仅可以减少用户的APDL脚本研发需求，支持模型的参数化，而且还能优化求解器设置。如欲了解相关功能的更多信息，敬请参阅《确保增材制造大获成功》一文。

活不同尺寸的单个矩形单元或者激活一层中的一个角形Swath)、到熔化下一个部分层的时间以及到铺好下一层粉末的时间)。

制造材料的测量结果表明存在各向异性变形和强度行为，因此工程师采用Dynardo的multiPlas (ANSYS Mechanical中的一种定制各向异性多面弹塑性材料模型) 匹配了这种各向异性行为，同时将它整合到增材制造模型中。在对比了各向同性与各向异性弹塑性材料模型之后，团队发现在打印方向上具有更低的屈服强度和极限强度(面内方向强度的

### Plastic Strain



各向同性与各向异性弹塑性材料模型对比。各向异性会对塑性应变预测具有显著影响。

### 校正仿真模型

为了证明仿真模型的质量，工程师制作了测试结构，同时参考测量所得的变形和残余应力对模型进行了校正。在校正过程中，工程师通过试验设计(DoE)扫描了材料参数、工艺参数和离散化参数的变化空间。optiSLang由此创建了最佳预测元模型(MOP)。此元模型显示了工艺变化如何影响相关结果。然后，MOP可用于校正仿真模型参数，以匹配部件的物理测量结果。在校正过程中采用的关键参数包括x、y及z轴单元尺寸、激光路径(激活完整一层、一次激

80%~90%)对塑性应变演化会产生显著的影响。通过采用这类各向异性材料模型，工程师校正了有限元模型，以较高准确度预测了物理构件。

在校正了测试结构的工艺参数之后，仿真流程已准备就绪，可用于预测待认证部件的变形、应力和裂纹。ArianeGroup和Dynardo工程师对更复杂部件(即：用于研发原型的喷射器)的构建过程进行了仿

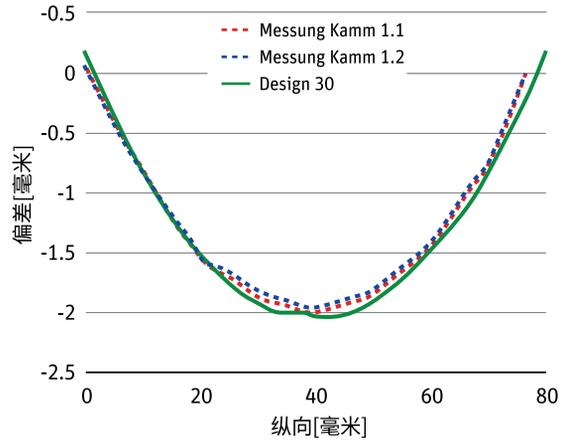

**ANSYS optiSLang**  
[ansys.com/optislang](https://ansys.com/optislang)

真。有限元模型具有1,065,000个节点和620,000个二次体积单元。在配备4个中央处理器的个人电脑上完成热分析需要7个小时，而完成机械分析则需要32个小时。基于各向异性材料模型的预测非常符合打印喷射器的测量结果。

### 优化部件几何结构与制造过程

接下来，工程师需要扩展工作流程，以研究部件几何结构变化和关键增材制造工艺参数变化对成品部件的残余应力、塑性应变和变形的影响。他们创建了一个完全自动化的工作流程，以确定部件质量对各个设计与工艺参数的敏感性。可将这些参数整合到用于创建预测元模型的试验设计中。此工作流程能够同时优化部件几何结构和增材制造过程。

在竞争极其激烈的航空航天行业中，失败会造成非常高昂的代价，因此在采纳新技术之前进行彻底的验证过程至关重要。在过去，这意味着需要漫长的试错过程来验证新的制造工艺。仿真可以与更小体积的物理测试结合在一起，在不降低太空任务安全性的情



校正后的仿真模型预测的变形非常匹配物理测量结果。

况下验证与采用新技术。例如，这个新工作流程可显著减少验证新部件所需的时间，因此有可能只需两次构建即可优化部件几何结构和增材制造过程：一次构建用于验证仿真模型，另一次构建则用于验证优化后的部件设计与过程。ArianeGroup工程师计划在验证新的Ariane 6运载火箭时采用此过程，以降低所需的时间与成本。▲



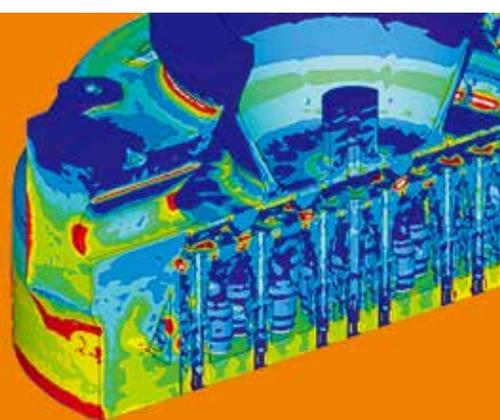
dynardo®  
dynamic software & engineering

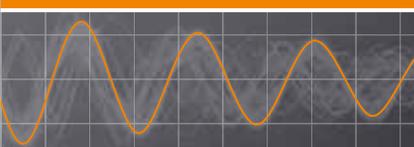
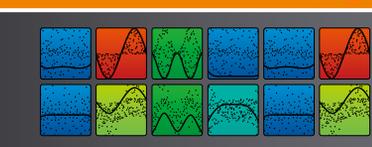
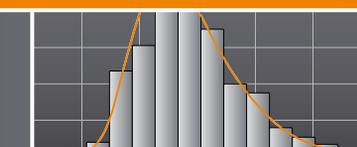
**CAE软件与咨询**

## ANSYS® optiSlang®

这是一款通用工具，可针对以下方面利用基于CAE的设计点实现变量分析：

- 敏感度分析
- 参考物理测试结果的虚拟模型校正
- 数据探索与元建模
- 产品性能优化
- 产品鲁棒性与可靠性的量化
- 鲁棒性设计优化与六西格玛设计



Dynardo GmbH | Steubenstraße 25 | 9423 Weimar | Germany | Phone +49 (0) 3643 9008-30 | contact@dynardo.de | www.dynardo.de

# 塑造未来

增材制造自30年前问世以来，经历了漫长的发展过程，不但抓住了公众的想象力，而且还成功引起了制造商日益浓厚的兴趣。但是，这种技术仍具有众多未实现的潜能，而仿真技术在发掘其潜能的过程中将起到至关重要的作用。

作者：**Brent Stucker**  
ANSYS增材制造总监

25年前，在我读博士期间，担负的任务是针对一种名为增材制造(AM)的全新理念研究相关材料和生产概念。我的朋友或家人都对我的工作不甚了解。如今，“3D打印”一词已家喻户晓，我也不用再逢人就得解释自己的工作内容了。2017年，金属3D打印机的销量增长了80%，增材制造的热潮势不可挡。



图片来源：匹兹堡大学Albert To博士

不过，虽然有几家先驱公司在利用AM的强大功能实现部件的大规模生产，但增材制造的大部分潜能仍未实现。

实际原因有几个：设备与材料的成本如此之高，让许多企业望而却步；刚刚投资AM技术的企业在

设计产品和定义机器参数时无所适从，而且业界也缺少具有AM经验的专业人士；打印错误不但代价高昂而且耗时，而这一切对于那些努力紧跟趋势的企业来说可谓司空见惯。

## 仿真：让愿景变为现实

我认为工程仿真将能够使越来越多的企业实现低成本的3D打印。

这正是我当时加盟ANSYS的原因。

在当今众多企业看来，AM需要成本高昂的试错过程，而仿真则可显著减少这个过程。企业无需在试验操作中冒着风险浪费昂贵的粉末以及宝贵的设备容量与研发时间，而是在启动AM机器之前就可以预测打印操作结果。他们能在虚拟环境中确定热或结构应力区域，并修改设计方案，从而消除打印过程中的实际变形。它将发挥改变行业格局的作用。

材料科学家借助仿真，不仅可以测试材料成分，而且还能针对实际产品用途以及3D打印的物理环境对材料进行微调。分析人员同样能够预测产品的性能，包括承受生产应力和面对实际操作环境时的几何变形。

在设计方案投产之后，产品设计人员和机器操作员可以采用仿真进行调整，以最大限度改善打印结果。不仅可将生产意外减至最少，而且也能相应降低风险，从而轻松可靠地发挥增材制造的优势。

## 例证：部件合并

仿真究竟如何帮助实现目标？我们可以看一下部件合并的潜力。关于3D打印的许多新闻重点讨论了这种技术能够制造单个合并部件，

而不用单独制造比如12个部件，然后再通过机械方式把它们连接在一起。

大家谈论最多的例子可能是GE用于喷气式发动机的革命性单部件喷嘴，不过目前许多企业也在探索这种理念，希望借助增材制造技术生产单个高度复杂的形状。部件合并不但可以节约数百万美元的生产与材料成本，而且还可通过降低总重量、消除脆弱物理接点和避免系统集成问题来显著提高产品性能。

# “增材制造的大部分潜能仍未实现。”

不过，对工程师而言，部件合并是一种高风险任务。单部件几何结构必然很复杂，一般会包含复杂的拓扑结构、内部支撑的复杂晶格以及材料成分中的全新微结构。他们通常需要在实际打印过程中采用定制框架（支撑结构）来确保结构完整性。

设计这些部件、构建支撑结构、使其承受AM的严格考验，假如这一切顺利，那么还需进行物理测试，这是每一个步骤都具有高复杂性和高失败风险的过程。借助仿真，部件合并从一个无法实现的梦想变成现实——因为所有上述操作

都是在无风险、低成本的虚拟设计空间进行。

## ANSYS：普及增材制造

目前，金属3D打印被视为少数精英企业的专属领地，而在企业抢夺技能人才以开展增材制造工作的过程中，业界对AM专业技能的需求与日俱增。

目前，金属3D打印被视为少数精英企业的专属领地，而在企业抢夺技能人才以开展增材制造工作的过程中，业界对AM专业技能的需求与日俱增。利用完整系列的AM仿真解决方案，ANSYS能够让企业员工成为3D打印专家，从而使小型公司等在内的更多企业发挥这种技术的优势。

无论从材料科学家、物理场分析专家还是到车间机器操作员，ANSYS始终致力于实现AM仿真的普及，让3D打印走进每一家企业。这是我们秉承的理念，因为我们坚信，仿真技术将为企业和行业普及增材制造铺平道路的最后一段。作为ANSYS增材制造总监，我在AM领域以及在全球普及AM方面积累了25年经验，对此我倍感荣幸。我希望让未来的设计人员、工程师和创造者能够利用仿真技术将AM提升到前所未有的高度。▲

# 极速轻量级 摩托车 设计

为了实现精彩绝伦的轻量级设计Vins Duecinquanta摩托车的单体车架、轮辋、车叉与车身均采用碳纤维复合材料。铝质前节点位于把手下方的摩托车中心，并与发动机、车架、油箱、散热器和悬挂相连。Asotech工程师采用ANSYS Mechanical拓扑优化功能研发了一款高度优化的设计方案，同时还对基本形状和部件尺寸进行了更改，从而将重量锐减56%。随后，为了确保摩托车在经受长期重复应力情况下不发生故障，工程师还采用ANSYS Mechanical疲劳分析功能实现了完美的产品完整性平衡。

作者：Davide Mavillonio，  
意大利雷焦艾米利亚  
Asotech srl仿真工程师



工程师采用ANSYS结构分析功能修改了形状，并让结构问题也迎刃而解。



# 在

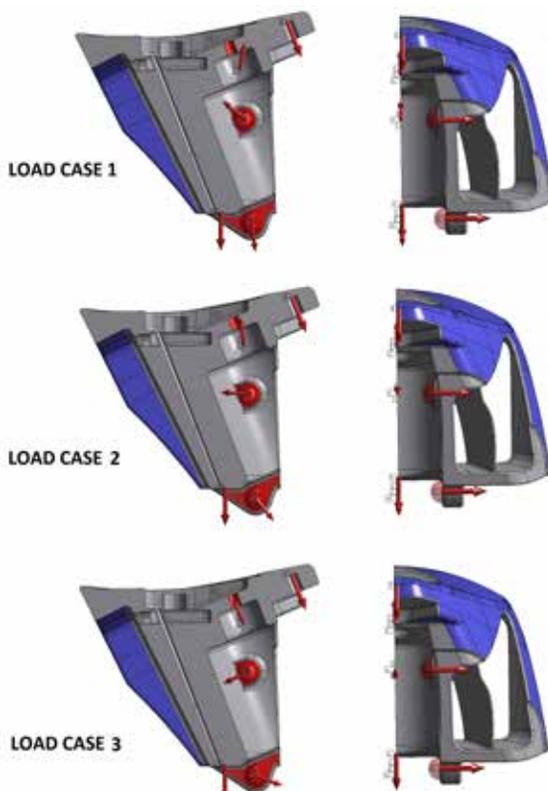
评论这款全新的摩托车时，*New Atlas*

指出：“Vins Duecinquanta (250)的重量减轻到了我们在公路机车中前所未见的程度。”新款摩托车配备60马力的发动机，整车重量仅209磅（95千克），售价为40000欧元（49621美元），速度高达120mph（299km/h），而且能满足最新的排放法规要求。Asotech工程师采用ANSYS Mechanical拓扑优化功能将前节点重量从40磅（18千克）锐降至18磅（8千克），从而实现了显著减重。另外，他们还采用ANSYS Mechanical疲劳分析功能来确保节点符合欧洲疲劳寿命要求。

## 高性能摩托车

Duecinquanta采用电喷90°夹角的V形双缸二行程发动机。摩托车通过符合空气动力学性能的方式将散热器整合在一起，因此进入气流能通过空心车架流经散热器和背部，而气流则通过尾部和摇臂从车架排出。作为赛道版的Duecinquanta Competizione消除了道路版所需的装备，从而一举将重量锐减至187磅（85千克）。它不仅拥有满满的80马力，极速更是高达149mph（240 km/h）。赛道版售价为50,000欧元（62,029美元）。Vins计划每年制造20~30辆新款摩托车。

Vins工程团队主要由法拉利研发团队前成员组成，都拥有碳纤维复合材料的专业知识。由于前节点是这款摩托车最



利用结构仿真分析的载荷工况

重要的金属部件之一，因而Vins寻求了意大利机械工程领先企业Asotech的帮助。Asotech拥有110名工程师，每年可提供20多万个小时的服务，同时还专注于汽车、摩托车、游乐园和自动化机械市场。

如果采用传统设计方法处理该部件，需要首先设计正多面体形状，才能提供所需的安装面。然后，工程师开始执行设计仿真，并寻找可去除材料的低应力区域。对设计方案逐个进行探试并以这种方式手动改变其尺寸，也能够实现大幅减重，但所需时间多得惊人。即使这样，工程师也无法将重量降

低到他们理想的目标。

## 拓扑优化功能最大限度减重

Asotech工程师采用能与ANSYS Mechanical结构软件实现无缝集成的ANSYS拓扑优化功能，让减重难题迎刃而解。Vins工程师为前节点提供了四种载荷工况：1)发动机、乘客与横向静态载荷；2)发动机、乘客、横向静态载荷、与道路适度颠簸相关的载荷；3)发动机、乘客、横向静态载荷、与道路最大颠簸相关的载荷；以及4)综合上述三种载荷工况之后获得的疲劳应力状态。Asotech工程师随后定义了最终设计必须保持的特性，如：外边界和安装面。他们确定了最小化部件重量以及根据材料特性将应力保持到最大指定值的优化目标。

之后，Asotech工程师实施了6个小时的拓扑优化。在对优化后的设计进行检查后，工程师发现了一些可通过改变几何约束



前节点位于摩托车中心。

“Asotech工程师采用能与ANSYS Mechanical结构软件实现无缝集成的ANSYS拓扑优化功能，让减重难题迎刃而解。”

### 前节点

条件获得改善的区域。他们进行了相应修改，并再次执行了优化，不过这次是从之前优化过的设计方案入手。此外，工程师又执行了多次迭代——修改约束条件并从之前的起点再次进行优化，直至获得令人满意的设计。

随后，Asotech团队不仅将拓扑密度分布导入ANSYS SpaceClaim Direct Modeler (SCDM)，而且还利用它调整了最终设计。SCDM让编辑和优化经拓扑优化的复杂模型变得简单易行。它可帮助用户无缝添加或删除

数据、数据流和参数，而且采用应力-使用寿命方法对疲劳载荷工况进行了综合疲劳分析。疲劳分析表明，设计方案能够承受500万个疲劳周期，从而超过了200万个周期的疲劳寿命要求。根据上述结果，工程师又执行了一次拓扑优化，进一步减轻了部件的重量。

英国莲花汽车创始人Colin Chapman表示：“增大功率可提高直道速度，而减重却能在任何地方提升速度。”Vins在Duecinquanta摩托车上已将这一哲理发挥到极致。Asotech采用ANSYS拓扑优化和疲劳寿命



ANSYS拓扑优化结果

除几何结构，使粗糙表面变得平滑，也可收缩包装模型的区域，去除不需要的特性与特征。

### 疲劳分析可确保耐用性

为了确定最终设计是否能够承受Vins指定的静态载荷，Asotech工程师在ANSYS Mechanical中对其进行仿真。接下来，根据欧洲规范结构设计标准，工程师采用ANSYS疲劳分析软件计算出了高周疲劳安全系数。他们导入了来自疲劳模型的静态应力，并将相关结果与材料模型和对产品在运行过程中可能经历的重复载荷的描述结合在一起。ANSYS疲劳模型获取了相关

分析不仅降低了重量，同时还确保了重要组件的耐用性，这在设计该款超高性能摩托车的过程中发挥着至关重要的作用。▲

### 参考资料

New Atlas, Vins Carbon-Forked, Two-Stroke Duecinquanta Sportbike is the New Definition of Lightweight. [newatlas.com/vins-duecinquanta-2-stroke-road-motorcycle/52773/](http://newatlas.com/vins-duecinquanta-2-stroke-road-motorcycle/52773/) (12/29/2017)

Lotus, [www.lotuscars.com/about-us/lotus-philosophy](http://www.lotuscars.com/about-us/lotus-philosophy) (03/28/2018)

Asotech, [www.asotech.com/en/](http://www.asotech.com/en/)

Asotech Structural FEM Computation

[www.asotech.com/en/structural-fem-computation/](http://www.asotech.com/en/structural-fem-computation/)

# 打造 更稳固的 支架

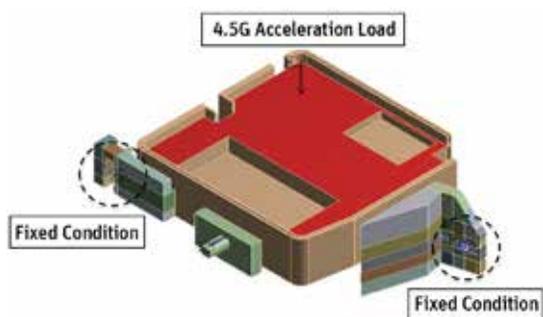
在汽车的发动机舱中，高温和剧烈震动都非常容易造成部件故障。Kyungshin公司借助ANSYS Mechanical的拓扑优化功能，设计出了更坚硬且更轻量化的支架，从而不仅能支撑其智能接线盒，同时还可降低相关风险。拓扑优化功能可将研发时间缩短一半，同时还能延长支架的使用寿命且最大限度降低材料的成本。

作者：Kim Byeongwoo，韩国仁川Kyungshin公司设计组主管

## 智

智能接线盒相当于汽车的中枢神经系统。接线盒的PCB负责控制电力并为汽车的所有部件配电，因而它是现代化汽车至关重要的组件。由于发动机舱会产生振动和高温，因而接线盒以及用于连接接线盒和底盘的支架必须具备较高的刚度，才能防止出现破裂和振动疲劳。长期以来，支架设计通常采用构建测试法，这样做不但缓慢且成本高昂。另外，为了确保较高的刚度，工程师以前还倾向于使用不必要的材料，这就增加了原材料的成本。

为了避免发生此类过度设计问题，同时也为了研发出具有最佳尺寸且能保持必要刚度的塑料接线盒支架，Kyungshin工程师采用了ANSYS Mechanical的拓扑优化功能设计出了耐用的轻量化支架。仿真软件具备

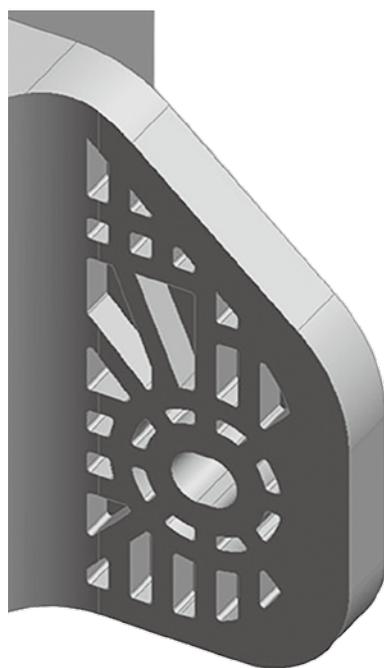


定义振动仿真条件

拓扑优化功能，一旦工程师指定在什么材料位置放置支架和载荷即能自动确定最佳形状。例如，执行拓扑优化功能时用户可能会发现，具有挡边和



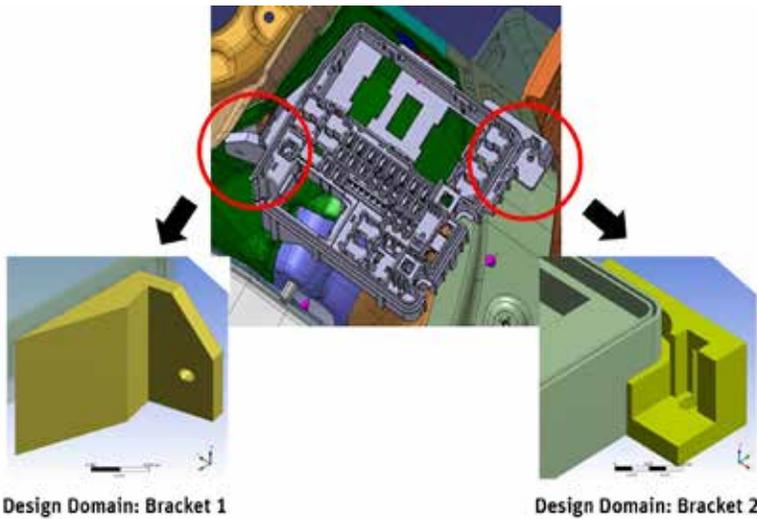
初始模型



最佳模型

基于最佳设计值的最佳支架模型

## “利用仿真技术，Kyungshin工程师将新支架的研发周期从六个月缩短到三个月，从而显著降低了研发成本。”



Design Domain: Bracket 1

Design Domain: Bracket 2

拓扑仿真优化区域

空隙空间的轻量化设计能在不采用连续的实心支架情况下生产出符合所有机械要求的支架。在本例中，为了确定最佳的支架形状、挡边形状和位置，工程师利用ANSYS Mechanical的拓扑优化功能进行了数字探索。

### 确保成功的三个步骤

在设计流程的第一步，Kyungshin

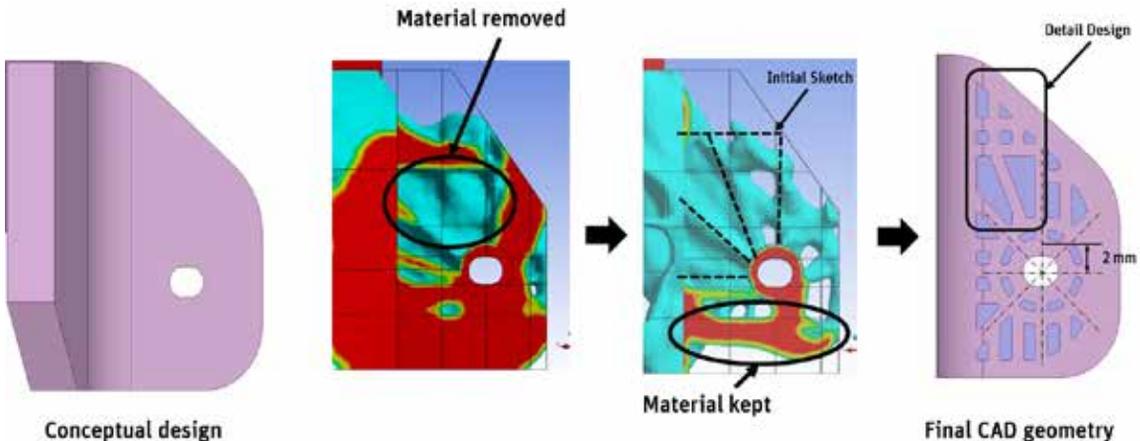
工程师不仅需要定义支架在正常工况下的载荷条件，确定设计参数的裕量范围，而且还需采用拓扑优化功能并根据支架的密度分布生成初始设计。由于不能干扰发动机舱中的任何邻近部件，支架尺寸受到可用空间的限制。通过指定设计中的固定点以及由于振动而导致的加速度载荷(4.5 G)，工程师定义了支架的振动仿真条

件。接下来，他们采用拓扑优化功能并根据密度分布分析生成了初始支架布局。工程师探索了密度分布分别为20%、50%和80%的支架，并验证了每种情况下能够提供预期刚度的支架形状。

第二步是根据第一步所建立的50%密度分布模型进行支架形状优化。Kyungshin工程师针对每个定义的设计要素（包括左右侧支架宽度、高度、角度和中心半径）生成具有最小和最大尺寸的参数模型。

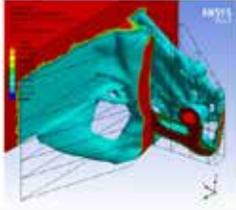
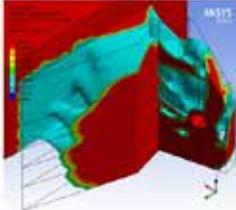
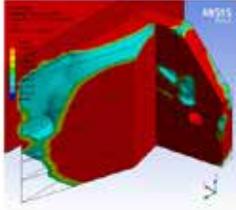
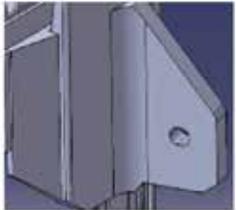
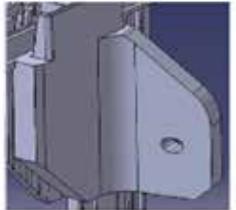
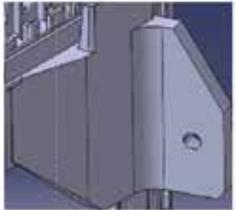
然后，他们采用ANSYS OptiSlang中的手动中心复合设计(CCD)算法自动执行了试验设计(DoE)仿真，以获取每个参数的最佳值，并最终设计出了用于替代旧支架的更轻量、硬度更高的支架。

最后，工程师采用振动疲劳仿真验证了所推荐最佳支架的性能。仿真可在三分钟内将振动加速度从4.5G降至3.0G，同时还可将振动频



Conceptual design  
支架挡边的初始布局形状

Final CAD geometry

	CASE 1 Density 80%	CASE 2 Density 50%	CASE 3 Density 20%
Density Distribution			
Model			

支架1的密度分布结果

**“通过拓扑优化功能创建的设计，使用最少量的材料即可满足所要求的机械标准，同时还能延长产品使用寿命，从而有助于确保节约成本。”**



用于振动疲劳仿真的FEA模型

率从20-50Hz (4.5G时) 的范围提升到50-200Hz (3.0G时) 的范围。另外，仿真过程还需要在24小时内将温度从90摄氏度降到-30摄氏度，然后再升高到90摄氏度，才能确保支架能够承受发动机舱内的温度变化。

### 更出色的支架

振动疲劳仿真发现，最佳模型的断裂使用寿命达到2,259个工

作小时，相比之下，原始支架模型的却只有1,544个小时。这意味着产品使用寿命实现了46%的巨大改进。此外，新支架的重量更轻，因为比原始连续实心支架少用了16%的塑性材料。在上述过程中，Kyungshin工程师将新支架的研发周期从六个月缩短到三个月，显著降低了研发成本。另外，他们还采用ANSYS Workbench中运行的ANSYS Mechanical创建了新的热-振动-疲劳仿真过程，以预测接线盒支架的断裂情况，这可用于预防性检修计划。

通过用仿真取代基于工程师经验和现有设计标准的传统方法，Kyungshin工程师将支架性能验证分析次数减少了一半，从

8次锐减到4次。由于每次验证分析的费用约为5000万~1亿韩元(45000~90000美元)，可谓实现了显著的成本节约。另外，他们还创建了可重复使用的模型，以便于在其基础上设计未来的各种接线盒支架。采用ANSYS拓扑优化功能创建的新模型，可提供高度灵活的设计方案，因而工程师能够在未来针对需要制造的任何其他组件对方案进行相应修改。通过拓扑优化功能创建的设计，使用最少量的材料即可满足所要求的机械标准，同时还能延长产品的使用寿命，从而有助于确保节约成本。▲



# 个性化植入物 让患者 重展笑颜

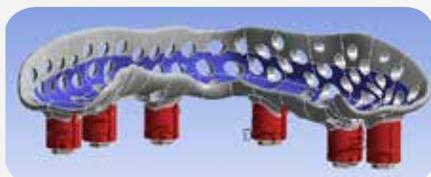
作者：Sarah Fink  
和Aaron Atkinson，  
澳大利亚墨尔本  
OMX Solutions公司  
设计工程师

如果缺失多颗牙齿和大块口腔骨骼结构，就不适合安装标准种植牙。针对这种情况，通常的处理方式是骨移植，这需要多次分期进行手术，一般耗时一年以上才能完成。借助ANSYS Mechanical，OMX Solutions采用增材制造技术生产出匹配颌部和面部轮廓且只需单次手术的植入物。患者可有效恢复其面貌，并能在手术之后立即进食。



# 大

多数人都感觉接受牙科手术特别难受。与置换多颗牙齿及大块骨骼相比，补牙、种植牙或根管填充就显得微不足道，前者由众多疾病所致，如外伤、骨折、肿瘤、退行性骨骼疾病等。通常在治疗严重的



Osseo-Frame的CAD模型

骨缺损时，需从患者的肋骨或腓骨（位于腿部）获取骨骼，并且需要持续时间长达12~18个月的至少三次创伤手术。这些问题以及骨关节炎和其他疾病可能需要置换颞颌关节(TMJ)，其通常被称为颌关节。颌关节可利用现成部件进行置换，但其往往让患者感到不适且会降低功能性。作为专为手术难题提供数字解决方案的全球领先者，OMX Solutions通过采用数字设计和增材制造技术已



之前



之后

## “仿真不仅能确定组件间相互作用时存在的潜在问题， 而且还能指出潜在故障点。”

成功研发了更完善的解决方案，能制造出可完美适应患者现有骨骼的定制植入物。OMX Solutions 采用ANSYS Mechanical对骨骼和植入物作为一个整体进行仿真，在经过物理测试确认之后，能确保植入物可以承受与咀嚼相关的力量。最终获得的定制化面部和颌部植入物，不仅能够改善手术效果，提高生活质量，而且还可大幅降低所需的手术次数以及消除供体部位的疼痛和病状。

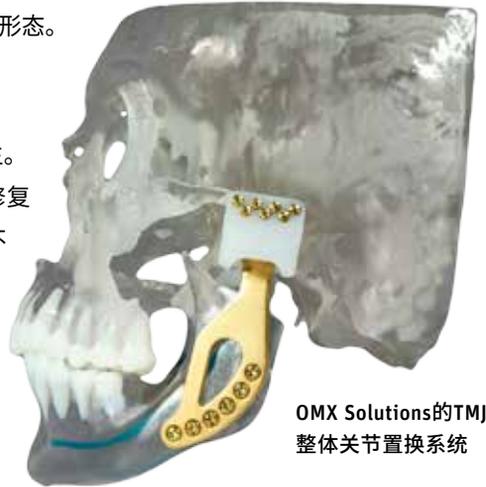
### 传统植入物的局限

在缺失大量骨骼和多颗牙齿的情况下，传统牙科植入物无法提供足够的稳定性来承受咬合力。另一种选择是暂时性可摘义齿，但这种义齿既不舒服也不稳定。为了解决上述问题，外科医生通常会执行从供体部位摘除骨骼并将其植入颌部的手术。而植牙需要额外的手术。患者在分期手术之间需要很长的时间恢复，而且完成修复所需要的总时间会超过一年。由于骨移植过程非常复杂，因此很难匹配患者的面部轮廓，所以患者术后的面部往往会不对称。另外，疼痛和供体部位感染也非常常见。

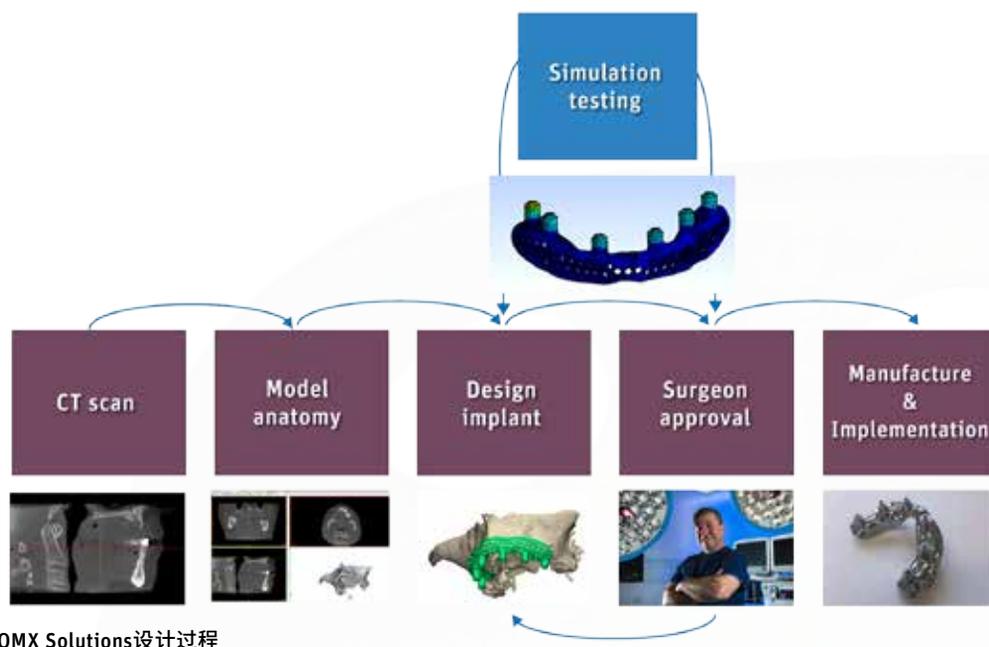
在需要TMJ置换时，数量有限的标准TMJ植入物的现有尺寸无法满足临床实践中遇到的各种颌部与骨缺损构形。如果骨缺损严重，患者相关部位可能会变成畸形而且TMJ功能不良，因为现有植入物无法完全符合患者的病状与形态。

### 新方法采用增材制造技术

为了应对上述状况，OMX Solutions的解决方案应运而生。OMX Solutions的Osseo-Frame是一种颌骨植入物，能为牙修复体提供坚固牢靠的骨骼置换与安装位置。在自身骨骼部位不适合传统牙科植入物的情况下，它可以消除对骨植入物的需求。这种植入物采用数字化设计并通过3D打印而成，以匹配患者的牙槽骨嵴，可确保相关装置能在无需进行骨骼修正的情况下即完美适应自然骨骼。微型螺丝和底座可提供基本稳定性，因而无需漫长的治愈期就能立即安装植入物（和假牙）。



OMX Solutions的TMJ  
整体关节置换系统



OMX Solutions设计过程

OMX Solutions的TMJ整体关节置换能够全面置换患者的颞下颌关节。根据患者的计算机断层扫描(CT)数据，3D打印的钛下颌部件可利用数字化方式确定尺寸并进行调整，以适应每位患者的特定骨骼结构。此外，聚乙烯窝也是通过数字化方式确定尺寸和进行定制，进而采用计算机数值控制(CNC)进行加工。然后，这两者再作为定制安装球（骨节）和牙槽（窝）关节一起工作。

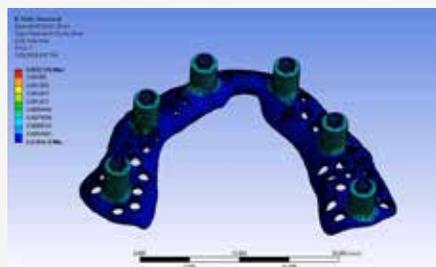
两个系统都配套提供切割、钻孔和定位指南，以提高手术的准确度。

### 定制植入物的设计过程

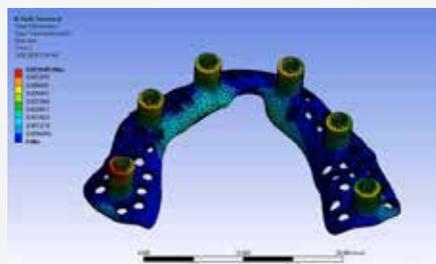
在根据患者的具体骨骼轮廓定制这些装置时，第一步是执行CT扫描，以准确显示患者现有骨骼结构的几何形状。之后，OMX Solutions生产工程师再采用Materialise Mimics®软件将CT扫描输出结果转换成患者骨骼的数字模型，另外还会采用Materialise 3-matic®软件设计一款能紧密匹配患者3D骨骼的植入物。

在设计定制植入物的过程中，OMX Solutions生产工程师必须确保包含骨骼、附件和植入物组件等在内的整套装配体不会失效。如果不采用仿真，就需要打印每个植入物，并对其进行物理测试。若不合格，则需要重新设计、重新制作和重新测试，而这些又会消耗时间和金钱。另外，针对每位患者都实施整套植入物-骨骼装配体的物理测试也不可行。

特定于患者的仿真是OMX Solutions以低成本确保各个植入物的完整性的唯一方法。



图中显示了Osseo-Frame受到的等效应变



图中显示了Osseo-Frame的整体变形

## ANSYS结构仿真

OMX Solutions之所以选择ANSYS产品，是因为其具有直观易用的用户界面。该公司的生产工程师首先运用参考文献中所述的平均咬合力对装置进行了单独仿真。虽然OMX产品的一般患者年龄较高且肌肉力量有所降低，但该值通常是25岁男性的平均咬合力。因此，这些患者的咬合力更低，所以此方法可以提供充分的安全余量。在对装置的完整性建立了信心之后，工程师接下来对完整实体模型进行了仿真，包括从CT扫描获得的骨骼多材料模型和将植入物固定到骨骼的螺丝，一应俱全。所有材料均进行非线性处理。此模型包含骨骼、螺丝和植入物之间的摩擦接触。接触检测可用于记录骨骼模型中各个螺丝每一个面之间的接触，并确定使用过程中可能出现的任何潜在分离，如框架脱离骨骼。在4核个人计算机上运行此项仿真，通常需要2~5个小时。

**“OMX Solutions通过采用数字设计和增材制造技术研发了更完善的解决方案，从而制造出能完美适应患者现有骨骼的定制植入物。”**

此项仿真不仅能够确定组件之间相互作用时存在的潜在问题，而且还能指出潜在故障点。例如，它可以显示出在哪个位置的螺丝有可能因局部应力高而导致骨裂，或在哪个位置的螺丝无法牢固地固定植入物。在OMX Solutions生产工程师确信装配体牢固可靠之后，他们就可将设计方案提交给外科医生进行审查。外科医生有时会根据临床可行性和可用性提出修改建议，在这种情况下就需要另一轮仿真。

一旦获得外科医生批准，OMX Solutions即可将数字设计文件发送给制造部门进行组件生产。Osseo-Frame和TMJ骨节组件通过3D打印、采用64钛合金制造而成；窝部件则通过CNC进行加工，因为相关材料目前无法进行3D打印。从订单到交货，定制植入物生产大约需要4~8个星期，具体取决于相关情况的复杂性以及外科医生的经验。在交付后，这些装置就可随时用于单次手术的安装，从而提供永久解决方案。这种方法不仅比传统方法节省一年的时间、

仅需总体手术费用的一小部分，而且还能显著减轻患者的疼痛和病状。

遭受骨缺损和颌功能降低的患者很难享受美食和获得健康饮食。他们也有可能因为外貌而缺乏自信。OMX Solutions的植入物可以帮助这些患者无

需经历漫长的一系列手术，即可快速恢复以前的牙齿功能并重展笑颜。过去动动下巴就疼痛难忍的患者现在可以开心舒适地进餐和交谈。咀嚼困难且不适合传统植入物的患者现在可以正常饮食。由于骨缺损而存在面部凹陷或面部不对称的患者可以恢复容颜。OMX Solutions的定制植入物能让患者轻松进食、说话和微笑，重拾往日自信。👍



TMJ整体关节置换系统组件包含下颌（上部）和窝（下部）。

# 抑制

# DDR系统 电源噪声

**智能互联产品**需要在更纤小且多变的封装中集成更多功能。随着全局功率预算的降低以及支持丰富功能所需的工作频率不断提升，工程师正面临着如何降低电源噪声这一问题。芯片、封装和印刷电路板都是电源噪声的“罪魁祸首”，因此，为了确保实现无差错性能，必须优化整个系统，才能降低晶体管电压与接地端子之间的噪声。STMicroelectronics工程师采用ANSYS工具确定并纠正了复杂DDR系统设计中的电源完整性问题，有效避免了产品延期发布。

作者：Déborah Cogoni、Laurent Schwarz与David Auchère，  
法国格勒诺布尔市STMicroelectronics公司信号与  
电源完整性工程师

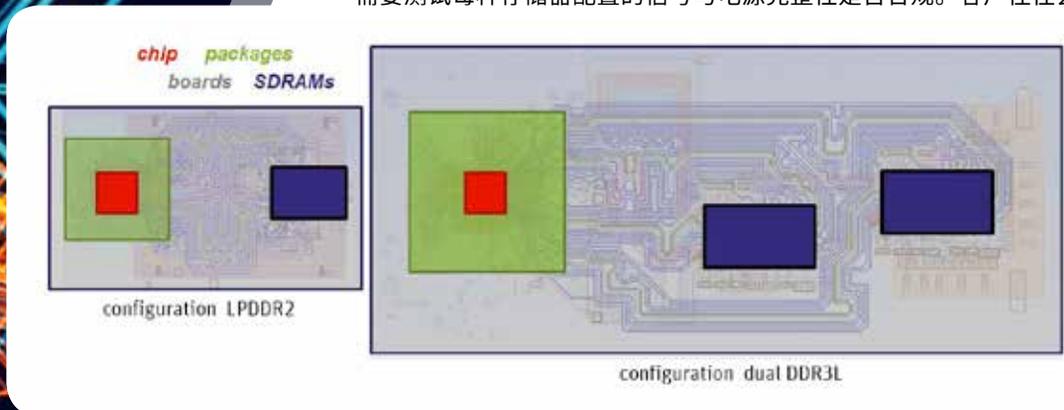
# 在

研发用于最新DDR系统的参考板时，STMicroelectronics工程师需要在紧迫的期限内实现信

号与电源完整性。优化这款设计需要对所有组成部分进行建模，如片上DDR物理器件(PHY)、连接PHY的协议、存储器芯片、封装、印刷电路板(PCB)、解耦电容器等。STMicroelectronics工程师采用ANSYS Electronics Desktop和SIwave在频域和时域中对完整的系统设计进行了仿真，期间他们发现并修复了一个重要问题，如果在设计早期没有检测出这个问题，则可能会需要设计返工。ANSYS信号与电源完整性工具集提供的综合仿真方法将验证多种配置所需的时间从两、三周大幅缩短到一个星期。

## 完整系统仿真

可将DDR系统与单个PHY一起使用，以支持多种存储器配置，包括单个或多个DDR2或DDR3芯片。在设计参考板的过程中，工程师需要测试每种存储器配置的信号与电源完整性是否合规。客户往往会



在新的DDR系统中，单物理接口芯片（红色）可与不同配置（蓝色）连接。

根据参考板设计自己的电路板，而STMicroelectronics利用参考板设计的附属产品则可为客户提供支持。

在开始仿真时，STMicroelectronics工程师首先在SIwave中导入了多种组件：集成片上DDR的电气模型（PHY模型与图案）、设计人员创建的封装与电路板，以及制造商提供的各种存储器芯片模型。然后，工程师对导入的结构进行求解并执行了多次仿真，以计算谐振、迹线特征、不连续反射、接口耦合等。工程师提取了S参数、IBIS互连模型和全波SPICE模型。最后，为了进行时域和频域分析，将它们导入到了SIwave的电路仿真器ANSYS Nexxim中。

“这种方法将DDR系统验证时间缩短了50~66%，并已成为STMicroelectronics的标准工作流程。”

该团队采用Nexxim生成了时域眼图，并检查了数据时序和电压的过冲与抖动。由采用伪随机位序列(PRBS)的IBIS格式的驱动程序对端口激励进行设置，以重新生成实际用例。可将眼图用于指示在接收器端区分来自各个位的许可窗口。接收器的噪声裕量指定了所需的窗口高度。眼图最初显示了字节通道之间的差分偏斜。根据PRBS设置的不同，DQ（数据）信号相互重叠。

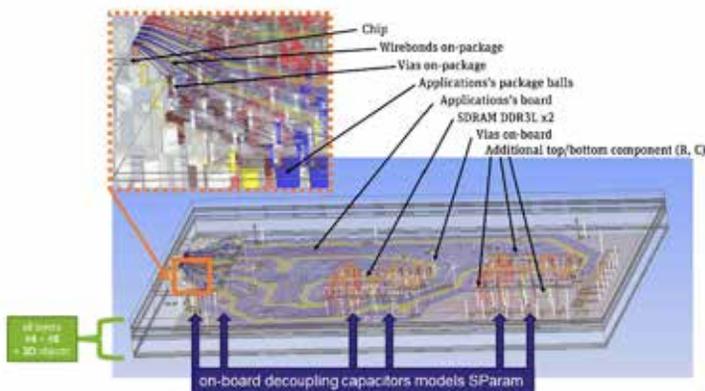
### 诊断问题

为了诊断问题，STMicroelectronics工程师采用ANSYS SIwave分析了完整系统功率输出网络，包括裸片、

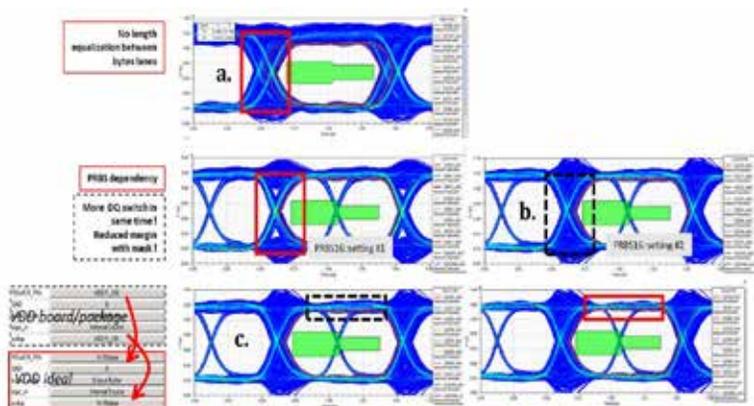
封装、PCB和分立耦合电容器。眼图中显示的边缘速率问题追溯到了电源层噪声。需要根据边缘速率在宽频率范围内供电。解耦电容器必须支持这种频率范围；对于参考板而言，相关数据手册指定了最初的频率范围，这是一种以不变应万变的方法。

根据配备和不配备电容器这两种情况，工程师采用SIwave，将电源层阻抗作为频率的函数进行了计算。结果表明，在不配备解耦电容器的情况下存在大约100欧姆的高峰值阻抗。

在根据数据手册指定解耦电容器的情况下，最高阻抗可降低为7欧姆，仅是初始值的1/14，但是仍然足以导致初始眼图中显示的问题。



完整系统S参数模型



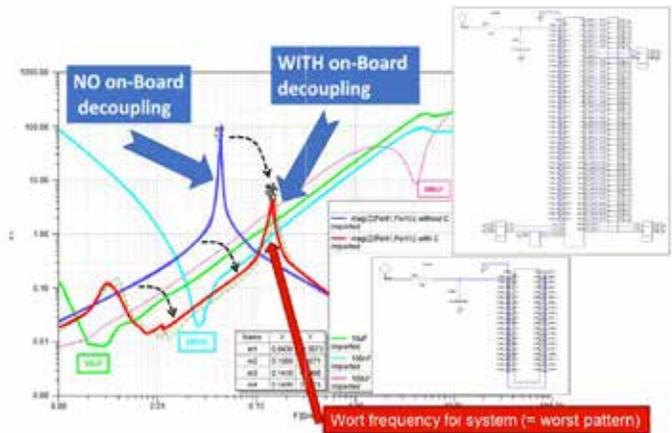
优化设计的眼图结果

## 通过迭代实现优化设计

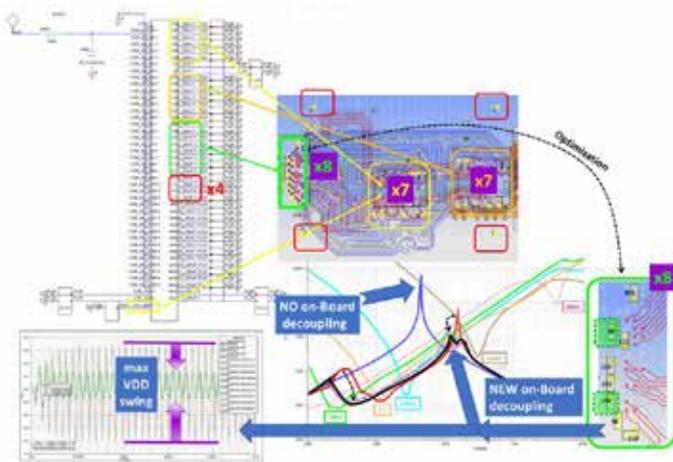
STMicroelectronics工程师接下来运行了SIwave的自动解耦电容器分析，以适当抑制供电网络中的谐振，同时还将解耦电容器寄生电感和安装位置也纳入了考虑范围。SIwave采用遗传算法，可帮助用户约束峰值阻抗以及作为成本函数组成部分的电容器数量、类型与成本。优化算法迭代出采用特定解耦电容器的新设计，其可再次将供电网络在高带宽频率下的峰值阻抗降到1.1欧姆。

仿真表明，漏极电源电压(VDD)摆动非常符合参考板设计所用集成电路的规范要求。最后，STMicroelectronics工程师将新的设计方案导入了Nexxim，并再次运行眼图。优化设计的眼图表明，原始眼图中所示的问题已得到纠正。

根据包含芯片、封装、解耦电容器和PCB的单个全局模型，STMicroelectronics工程师能够检查信号与电源完整性，而且能够确定这两个领域的问题。然后他们进行了纠正，而且验证了优化后的设计。这种方法使DDR系统验证时间缩短了50~66%，并已成为STMicroelectronics的标准工作流程。▲



初始设计中作为频率函数的阻抗



优化设计中作为最差频率函数的阻抗



10倍提升芯片-封装-系统工作  
流程的生产力  
[ansys.com/cps-workflows](https://www.ansys.com/cps-workflows)

# 去除制动踏板中的金属材料

传统优化方法在减重方面的作用非常有限；它们虽能更改部件尺寸，但却无法改变部件整体形状。另外，拓扑优化功能可以重新设计部件，不仅能最大限度减轻部件重量，同时还满足设计工程师指定的载荷与其他要求。KSR International采用这种新方法将汽车制动踏板的重量降低了21%，结构优化时间从7天缩短至2天。



作者：**Sachin Hardikar**，  
计算机辅助设计工程师；  
**Ryan Elliott**，工程经理；  
**Shaun Fuller**，工程经理助理；  
**Dave Morrison**，团队主管助理；  
**Ben Hill**，工程专家；  
**Grant Gabriel**，设计人员；  
**Daniel Leem**，技术专家；  
**Derek Jackson**，项目经理；  
加拿大Ridgetown市  
KSR International公司

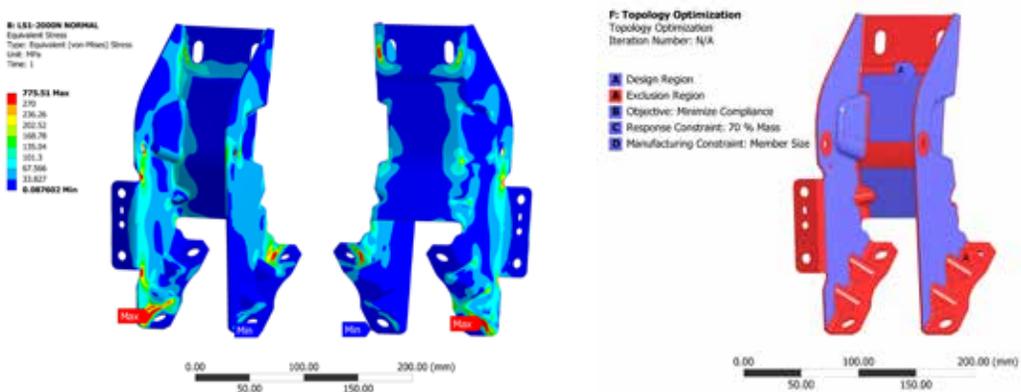
**汽**车行业一直在努力降低车辆的平均油耗与排放。满足这两个目标的最有效方法是降低汽车重量。减轻25%的汽车重量可使油耗降低约10%，而降低25%的空气动力学阻力只能使油耗降低5%。早期的减重工作主要集中在最大、最重的部件上，如：将铸铁发动机缸体变成铝合金缸体。在完成了此类大型部件的减重之后，汽车原始设备制造商(OEM)和供应商目前正集中精力减掉较小型部件的最后一点“赘肉”。KSR International工程师采用ANSYS拓扑优化功能在很大程度上实现了制动踏板重新设计过程的自动化。与传统的设计方法相比，基于拓扑优化的数字探索可将结构优化时间从7天大幅缩短到2天，同时将重量降低21%，这比传统方法所能实现的效果要好得多。

# “在完成了大型部件的减重之后， OEM厂商和供应商目前正集中精力减掉 较小型部件的最后一点‘赘肉’。”

## 制动踏板的作用

KSR International是汽车传感器设计、工程与制造领域的行业领导者，公司产品包括汽车、轻型卡车与全地形车辆(ATV)的油门踏板、电子节气门控制传感器、可调与固定踏板、电动转向控制装置以及电源模块。该公司每年生产1,400多万个固定制动器与离合器踏板模块。制动踏板是驾驶员与制动系统的主要相互作用点，必须能够传递驾驶员在慌乱状况下可能施加的所有正常与异常载荷，同时还要保持完整的功能性。

在本项目中优化的制动踏板需要承受驾驶员施加的超过2,000牛顿的推力以及明显的横向与逆向载荷。采用ANSYS Mechanical执行的有限元分析表明，踏板的众多区域在所有四种载荷工况下都具有较低的应力，这意味着有可能实现减重。如果采用传统的方法减轻踏板重量，需要针对仿真研发新的设计方案，即要么通过手动定义几何结构的方式每次研发一项设计，要么通过参数化改变其尺寸的方式每次研发数十项设计。如果利用这种方法，工程师需要耗费大约1.5周的时间才能实现大幅减重，因为他们需要减少低应力区域的材料，重新执行仿真，然后再根据仿真结果修改相关设计。对于本应用而言，传统方法有可能显著减轻重量，但无法从重量角度全面优化最终设计方案。



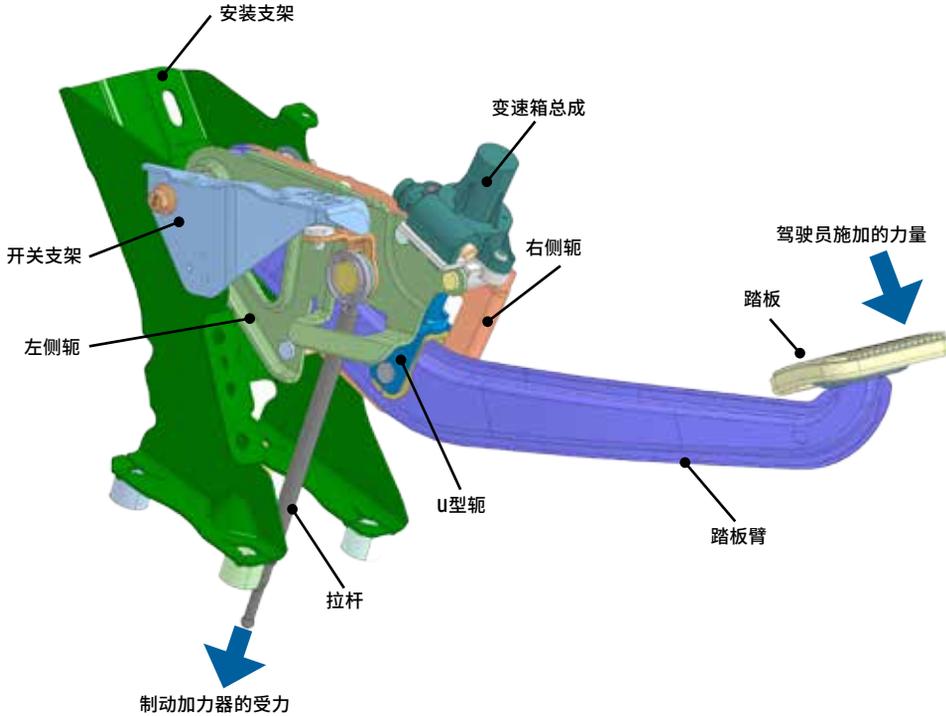
在施加推力载荷的情况下对原始设计进行应力分析，结果表明部件大部分区域（蓝色）的应力较低。

在拓扑优化过程中必须保持红色区域。

## 重新设计部件

ANSYS拓扑优化器不是做渐进式改变，如：调整个别部件的尺寸或厚度，而是“另起炉灶”，重新设计部件，才能满足工程团队指定的目标。工程师可在ANSYS Workbench中将拓扑优化器与ANSYS Mechanical完美集成在一起。KSR工程师定义了最终设计中必须保持的特性，以用作初始设计的外边界和安装面（踏板在此处与其他部件连接）。他们对仿真进行了设置，以使部件整体厚度与此前的设计保持一致，这样才能满足生产踏板时进行冲压操作的可制造性约束。工程师定





在驾驶员踩下制动踏板时，力量从踏板传递到拉杆并触发制动加力器。图中所示的变速箱总成是高端大型车辆所用的可调踏板系统的组成部分，因此驾驶员可在车内将制动踏板（以及油门踏板）调节到方便舒适的位置。

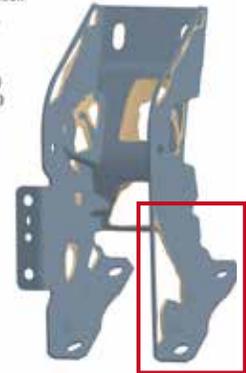


优化的目标是最大限度减轻部件重量，同时根据材料特性将应力保持在指定的最大值。

ANSYS拓扑优化器针对所有四种载荷工况定义了相关几何结构，能以最低可行的重量满足设计要求。接着，KSR工程师又对新设计进行了结构分析。他们确定整个部件应力均能达到容许水平。另外，他们还观察到部件某个边缘沿线的应力非常低，这表明存在进一步减重的可能性。由于最终部件保持整个外边界而导致了这些低应力，因此工程师通过去除该边界就进一步减轻了重量。

F: Topology Optimization  
Topology Density  
Type: Topology Density  
Iteration Number: 7

- Remove (0.0 to 0.4)
- Marginal (0.4 to 0.6)
- Keep (0.6 to 1.0)



通过去除不必要的材料，优化后的初始设计取得了显著的减重效果。在去除红色的薄边界之后，重量得到进一步减少。

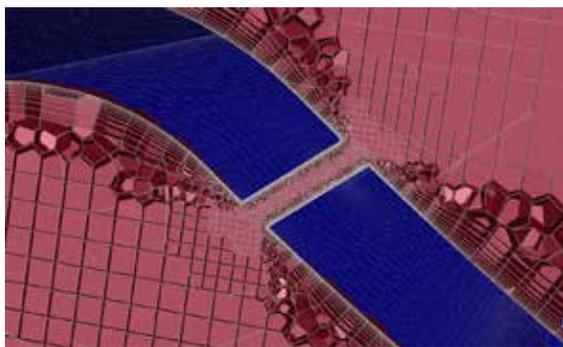
### 减少重量并缩短工程时间

优化后的设计重694克，比原始设计的886克减少了192克。实现这款新设计方案无需任何额外费用，因为只要为新款汽车设计踏板，就必须制作新的冲压模具。完成这些改良仅耗时一天半，远远低于采用传统方法优化设计所需的时间。需要注意的是，这一数据是指满足踏板特定构形的结构要求所需要的时间，而针对特定车辆构形封装踏板则需要额外的时间。采用拓扑优化功能减轻的重量远大于通过手动或自动优化功能修改设计参数而实现的减重。从KSR采购制动踏板的汽车OEM厂商对这种减重效果非常满意。KSR计划将来在不投资大量工程资源的情况下采用拓扑优化功能实现大幅减重。⚠️

# 仿真新闻

## ANSYS 19.2实力钜献，强大功能助力 整个产品组合快速解决问题

**最**新发布的ANSYS19.2致力于帮助客户以前所未有的高速度解决最艰巨的产品研发挑战，从极具创新的流体网格划分技术、到实现安全分析的改进型工作流程、再到创新型系统耦合引擎，无所不包。最新版产品可提供全新的单窗口高效工作流程，而且正在申请专利的高级网格划分技术还可支持计算流体动力学(CFD)，从而能帮助更多用户加速设计过程。此外，ANSYS 19.2还包含多项优势，如面向安全关键性应用的最新嵌入式软件研发过程、大幅提高的计算速度和增强的用户体验等，可满足汽车雷达情境、数字孪生体、3D设计探索和结构建模等需求。

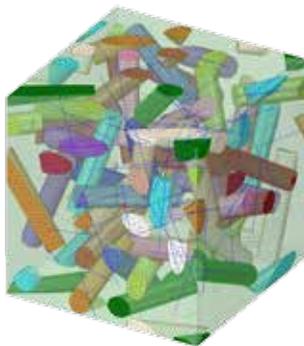


“19.2版的ANSYS Fluent Meshing对我们非常有用，特别是在处理大型复杂的几何时尤为如此，因为其相对于前版而言大大缩短了仿真时间。所得的网格在各方面都满足甚至超过了我们的质量要求。将所有这些功能整合在一起，帮助我们大幅提高了生产力，同时还减少了所需的手动工作量。”

— Vidyanand Kesti, Mann and Hummel 的CFD专家



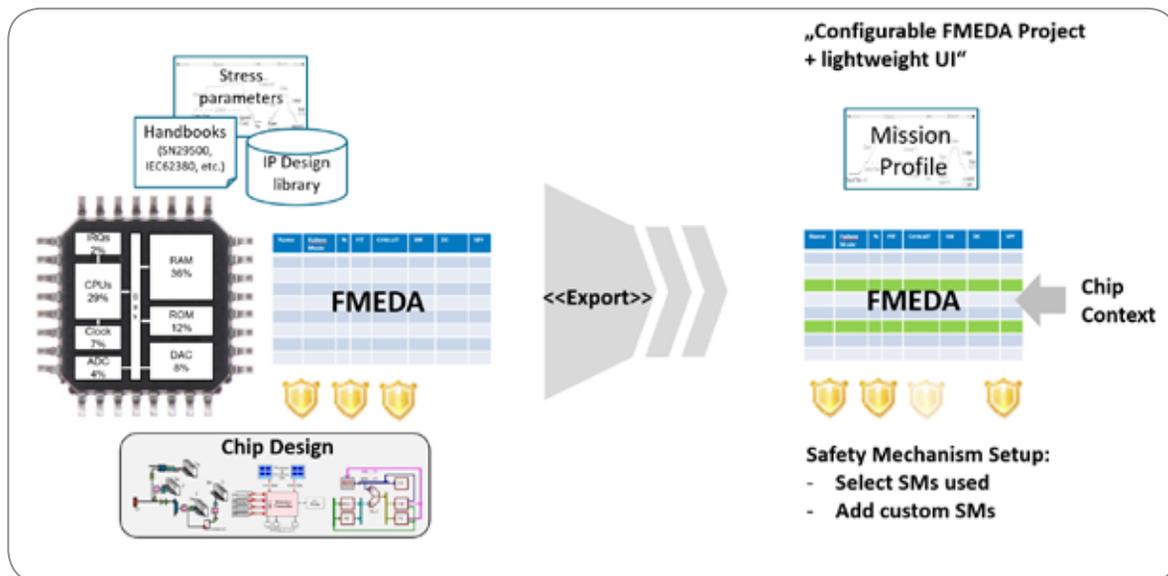
ANSYS VRXPERIENCE将车辆系统的预测验证提升到全新水平，能满足自动驾驶汽车在任何虚拟现实仿真和验证方面的需求。



面向结构仿真的新材料设计工具特性能创建详细的样本材料模型，进而计算更大规模仿真所需的对应属性。



## ANSYS 19.2为整个产品组合带来快速解决问题的功能



“通过使用medini analyze的任务列表和库，Allegro提高了不同业务部门的安全分析质量和标准，同时通过重复使用大幅提升效率。”

— Paul Amons, Allegro MicroSystems的功能安全经理

## 空气动力学仿真技术确定自行车车队中的最佳位置

HPC Wire, 2018年7月

自行车选手在车队中的位置可能影响最终比赛成绩。那么，骑手处于什么位置最有利呢？为了找到问题的答案，在Bert Blocken教授的领导下，英国埃因霍温理工大学和比利时鲁汶大学的研究人员在Cray计算机上



运行了包含30亿个单元的ANSYS Fluent仿真。该研究团队通过确定车队中每位骑手之间的气流模式发现，车队中心位置的骑手所遇到的气流阻力比此前所预想的要小得多。这是体育领域所构建的最大规模的CFD模型。



## ANSYS与SAP携手推进工程与工业运营之间的数字线

《数字工程》，2018年7月

ANSYS将其数字孪生体技术与SAP的云端平台和制造资产管理软件组合进行完美配对，由此打造的平台将提供实时工程信息，从而帮助制造商优化运营和维护。

## ANSYS技术助力大众汽车在派克峰国际爬山赛上勇创计时赛新纪录

Scientific Computing World, 2018年7月

ANSYS仿真解决方案帮助大众汽车赛车运动在派克峰国际爬山赛上勇创纪录。大众汽车赛车运动的首款纯电动赛车I.D.R Pikes Peak在7.57.148分钟内抵达终点线。利用ANSYS解决方案，大众汽车赛车运动的工程师对整个赛事进行了完整虚拟试驾，并精心优化了电池系统的热性能，最终实现了最轻的车身重量和最少的空气动力学阻力损耗。此外，ANSYS解决方案还可帮助工程师复制赛道上的极限驾驶条件。



## ANSYS助力全球领先半导体企业海思推进产品创新

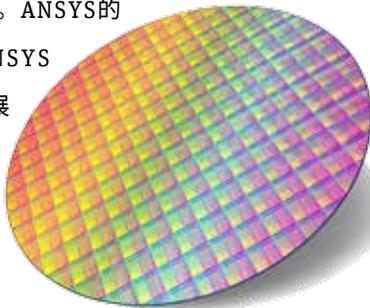
TIE Silicon Valley, 2018年7月

ANSYS电源完整性和可靠性分析解决方案助力全球领先半导体企业海思科技推进移动、网络、人工智能和5G产品的创新。ANSYS的

7nm客户部署ANSYS

RedHawk-SC开展

他们最复杂产品的签核工作和设计。



## ANSYS自发热、电源完整性和电迁移解决方案通过三星代工认证

ANSYS.com, 2018年6月

由于ANSYS电源完整性和可靠性分析解决方案成功获得三星代工的认证和支持，三星代工及ANSYS的客户

将能创建新一代高鲁棒性、高可靠性电子产品。此次认证有助于实现电源和信号网络的提取、静态和动态压降分析、自发热和电迁移分析，从而全面满足三星代工最新7LPP（7nm Low Power Plus）光刻工艺技术的要求。



## ANSYS、SPARC RESEARCH和F1 计算机解决方案协力打造现代化的导弹推进设计

MarketsInsider, 2018年8月

ANSYS与SPARC Research合作利用现代化多物理场分析工具开展火箭及冲压式喷气发动机的设计优化工作。作为ANSYS初创公司计划(ANSYS Startup Program)的成员，SPARC Research希望通过仿真技术缩短从需求生成到原型演示的时间。



ANSYS中国

售前咨询热线：400 819 8999

售前咨询邮箱：info-china@ansys.com

# 无处不在的工程仿真意味着 更高效的材料使用



面对无法打印、安装或运行的部件，  
您感到无所适从？

利用ANSYS面向金属增材制造的综合  
仿真解决方案，您无需采用试错法，  
即可快速无误地制造3D打印部件。



如欲了解更多详情，敬请访问：[ansys.com/additive](https://www.ansys.com/additive)

**ANSYS**