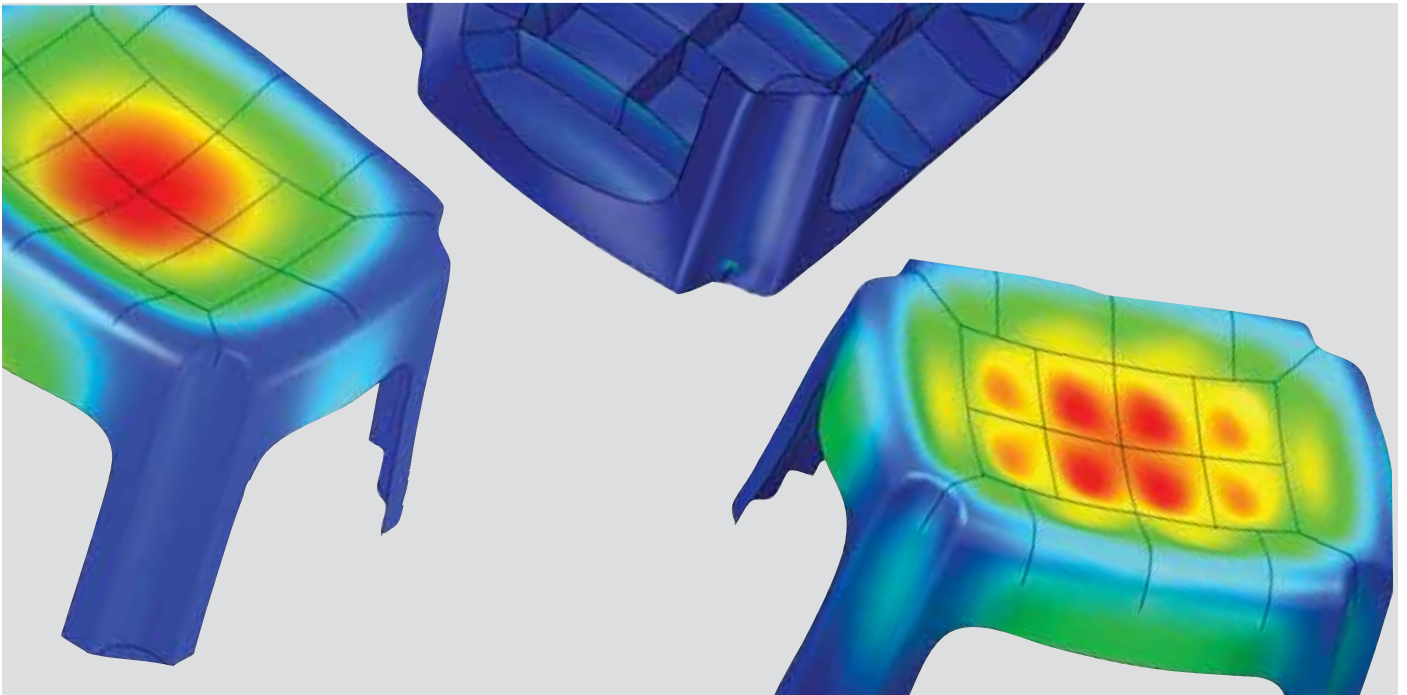


# 借助 SOLIDWORKS SIMULATION 推动更出色的产品设计

## 摘要

SolidWorks® Simulation 套件提供了加快产品上市时间所需的先进功能，设计师可以更快地发现错误，快速更改流程，以更低成本打造性能更出色的产品。



## 简介

### 仿真技术如何改进设计流程？

对于要成为业内领先的公司来说，仿真软件是非常有价值的工具，甚至在产品开发的早期阶段也很有用。仿真技术可在合适的时间为设计工程师提供合适的工具、合适的硬件，帮助他们作出更好的决策。最终结果会怎样呢：结果就是产品更出色，成本更低并且能加快上市时间。

当管理者和设计团队负责人在早期就能够参与到开发流程中，他们就能深入了解情况。通过更好地了解基于有限元分析 (FEA) 的仿真，他们可以为改进产品开发流程提供帮助。本白皮书介绍仿真技术作为产品和流程的设计推动器的价值，并就如何成功实施这一技术提出一些建议。

通过使产品团队能够作出更好的设计决策，公司可以加快产品的开发步伐，减少错误，提高利润率。

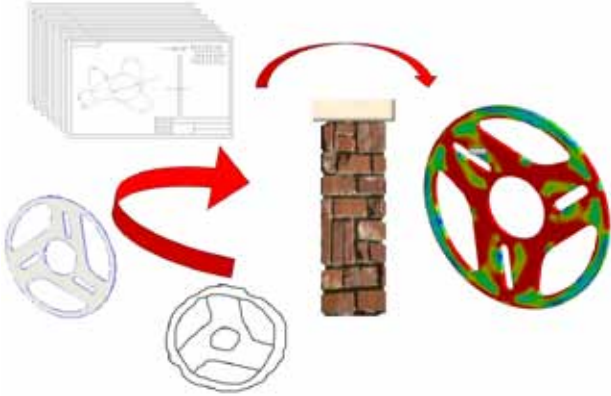


图 1: 传统的产品开发流程

### SolidWorks Simulation 如何简化产品的开发？

在过去八年中，在提高传统分析工具的易用性、使之更容易为设计工程师所掌握方面，CAD/CAE（计算机辅助设计/计算机辅助工程）行业取得了不小的进步。但工作流一直都是“先设计再分析”，强调任务的顺序性（图 1）。

然而，如果将设计与分析（或仿真）明确分开，就无法得到使这两项任务共享和迭代所产生的好处。事实上，这些都可以在设计中完成。通过使产品团队能够作出更好的设计决策，公司可以加快产品的开发步伐，减少错误，提高利润率。为了实现这一目标，设计人员必须就形状、拟合情况和功能作出决策，并在整个设计过程中通过执行小的步骤进行确认。

图 2 说明了在一副新型虚拟 3D 护目镜的实际开发流程中，决策如何起到关键性的作用。

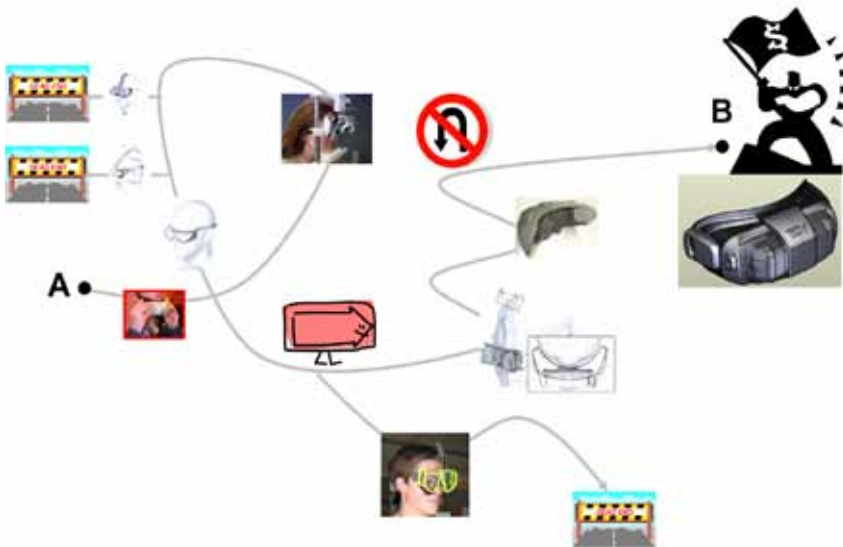


图 2: 实际的产品开发过程图

很明显，设计不是一个线性的过程，而是由一系列决策和调整组成。因此，产品开发过程中之所以有危险或风险存在，是因为作出了太多决策而不知道它们是否是最佳决策。

要尽可能高效地从 A 点到达 B 点，需要满足一些目标，如最低性能、上市时间和制造成本。遗憾的是，当设计师测试创意，进行调整，重新开始，进行探究和确认时，许多答案又会生出更多的问题。

很明显，设计不是一个线性的过程，而是由一系列决策和调整组成。因此，产品开发过程中之所以有危险或风险存在，是因为作出了太多决策而不知道它们是否是最佳决策。如果在设计过程的后期发现问题，那就需要付出艰难的努力才能快速修复或以很低的代价修复。但如果定期确认设计是沿着正确（即最佳）的方向进行，就可以尽量降低这种风险。

如果有一种技术、工具或流程可以提供更直接的反馈，将会怎样呢：假如有一种用于产品开发的 GPS（全球定位系统）在设计师作出决策后立即反馈说：“这很可能不是一个好主意”。这会减少“转错方向”的风险，避免在后续设计阶段产生更多错误。您将能够作出一些小的持续修正来理顺流程开发路线，而不是先作出一系列决策，然后又花费巨大的精力来进行修正。图 3 说明了在打印机墨盒锁栓的设计中这种小规模修正（实线）的结果，这种设计路线远比用虚线表示的错误设计路线高效。

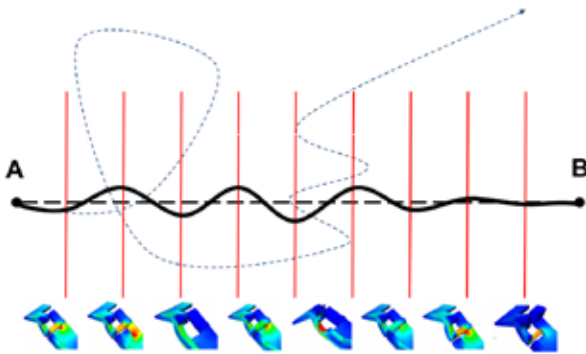


图 3：使产品开发线性化以便提高效率

开发过程的线性程度越高，就越高效。通过降低设计成本，可以有更多机会创造出最优的产品（而不仅仅是“足够好”的产品）。

专家们说，在产品开发期间要管理的重要事情是发现这些错误的速度，因为这种本领直接关系到效率的高低。大多数决策都是互为基础，彼此关联的。越快发现错误、追踪其根源并加以修正，在存在根本性错误的创意上枉费钱财的几率就越小。这是上图所示“线性”程度更高的过程自然而然产生的副产品。

## 对设计决策的影响

在作出决策后尽快地进行“路线修正”是至关重要的。这可以有效地回答一个问题：“设计师如何知道作出的决策是正确的？”

下面是一个实际设计决策工作流的例子。图 4 显示的是一个现有的塑料凳子。目标是开发出一款可满足以下两个主要设计要求的新凳子：(1) 必须能承受 200 磅重的人站在上面，(2) 价格必须尽可能低。



图 4：建议的凳子设计

大多数决策都是互为基础，彼此关联的。越快地发现错误、追踪其根源并加以修正，在存在根本性错误的创意上枉费钱财的几率就越小。

图 5 显示了三种可能的方法。一种可行的方法是，采用没有加强筋的均匀壁设计，并采用成型过程允许的最小厚度。“第一遍”仅使用 24 立方英寸的塑料。添加加强筋会增加产品成本，但也将提高结构性能。SolidWorks Simulation 模型显示，添加“几条筋”会使成本提高 10%，而最后一个更为保守的可选方案（使用尽可能深的筋，而不更改总体样式）会使成本提高 30%。



图 5: 建议的加强筋可选方案

考虑这三个可选方案，“不加筋”方案似乎是最高风险的决策，因而很可能不具有可行性。同时，采用深筋设计很可能是最坚固的。这种思考过程同时提供了高风险和低风险两种可选方案。如果没有进一步的信息，为保守起见，大多数设计工程师都会选择采用较深筋的可选方案。

从直觉判断，公司选择采纳的是成本高昂且耗时的工模具，而且可能还不满足这种特定的筋设计。同时，此产品的设计可能超出了设计要求，因而与项目的成本目标背道而驰。

现在，请考虑依据每个概念的实际性能数据来作出这项决策，这样做会将风险降低到可接受的水平。图 6 显示了 SolidWorks Simulation 套件计算出来的每种可选方案的结果。

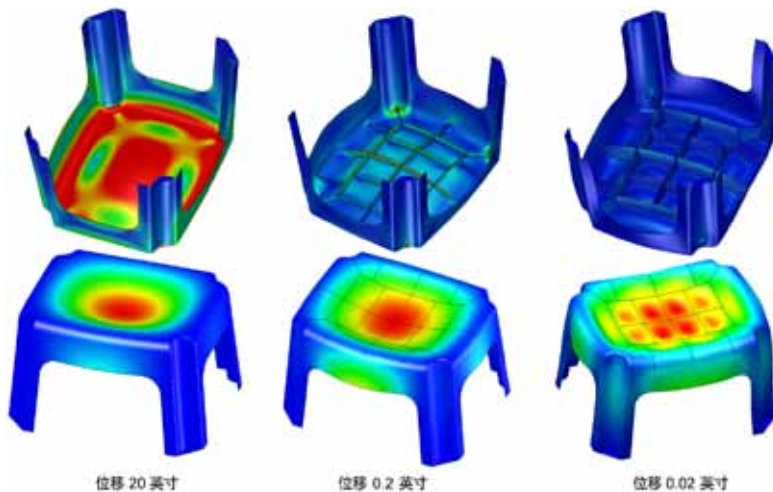


图 6: 三种可选方案的仿真结果

即使是没有经验的设计师也能看出不进行加强的设计委实堪忧。不过，从“直觉”上看两个加筋设计的结果与最佳方案矛盾。仿真显示，采用浅筋的方案实际上确实可以满足结构方面的要求，而再增添额外材料来增加筋深度对设计无益，只会增加设计成本。

就直觉设计而言，这意味着什么：尽管大多数设计师做对了的次数要比做错了的次数多，但究竟何谓“对”值得澄清。选择保守的方法后，测试会表明它确实可以承受一个 200 磅重的成年人，然后所有人都会按照这种方法继续工作。很显然它“足够好”。然而，人们从来都不会知道，采用这种工作流时，它的设计超出了设计要求，无谓地增加了 20% 的材料成本。有任何公司能够承受得起这种经营方式吗？

仿真显示，采用浅筋的方案实际上确实可以满足结构方面的要求，而再增添额外材料来增加筋深度对设计无益，只会增加设计成本。

## 产品开发过程中的问题

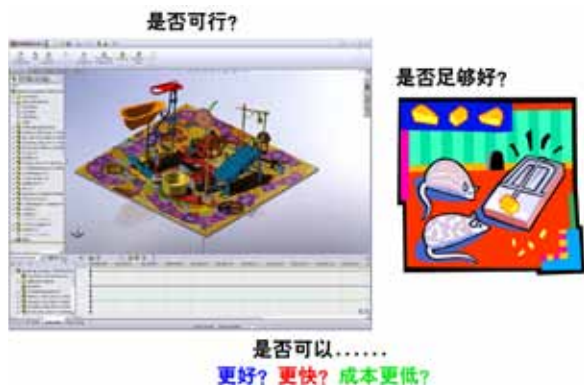


图 7: 三种类别的设计问题

在上一个示例以及大多数产品开发工作中，作出切实的设计决策所依据的问题可以分为三类（图 7）：

1. 是否可行?
2. 是否足够好?
3. 是否能更好：更快：成本更低?

大多数设计都能依次通过前两个步骤。只要第 1 个问题的回答为“是”，就会将设计详细信息与规格和成本目标进行比较，以评估第 2 个问题。大多数设计在通过传统的成型方法确认其“足够好”之后，就会交付生产。

但是，将“更好、更快、成本更低”纳入决策过程中，对提高公司效率和设计流程的可靠性十分重要。可是，随着缩短上市时间的压力加大，设计师如何能在不增加开发时间或成本的情况下，从传统任务中挖掘更多价值：答案就在这句古谚里面：“干得苦不如干得巧”。仿真的唯一目的就是提供这种竞争优势，以追求“更好、更快、成本更低”。

### 仿真的定义是什么？

仿真是今天的通才型设计工程师可掌握和使用的一项技术，通才型设计工程师是站在第一线、提出最多问题并作出最多决策的人。此外，对于努力在行业内保持竞争力的公司，仿真技术已成为业务必需品。

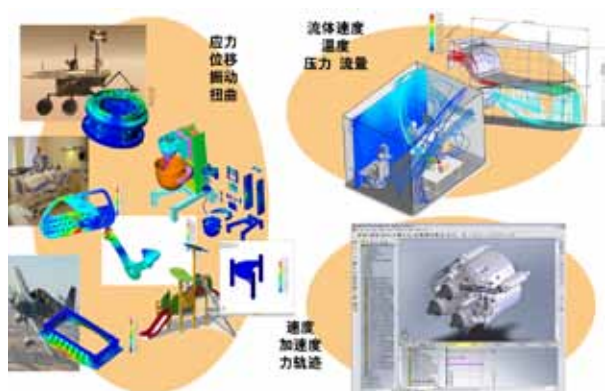


图 8: 三种类别的仿真

作为日常决策不可或缺的一部分，仿真是可以有效实现设计过程线性化的极少数工具之一。仿真能够精确地解答问题，并对后续决策提供最佳指导。

对于机械产品设计，仿真通常分为三个领域（图 8）：

- 结构仿真用于预测零件或系统是否将断裂、过度折弯（如凳子）、抖动、扭曲或解体。
- 液流软件显示了系统如何对内部或外部的气流或水流等条件作出响应，从而确定流体速度、压力和温度。
- 机构或动态分析用于综合连接关系以及查找力、速度和加速度。

在仿真软件行业，通常会将这些功能划分成各个不同的产品。SolidWorks Simulation 套件就是专门按这种方式打包的：SolidWorks Simulation 解答结构方面的问题，SolidWorks Flow Simulation 处理流体问题，SolidWorks Motion 解决机构问题。

作为日常决策不可或缺的一部分时，仿真是可以有效实现设计过程线性化的极少数工具之一。仿真能够精确地解答问题，并对后续决策提供最佳指导。

### 当前工程师如何获得答案？

关于在未采用仿真的标准设计过程中采用何种方法，全球的产品设计师和经理们的描述非常一致。

#### “我们参考了以往奏效的方法，然后对它进行扩展/简化。”

尽管许多成功的设计决策实际上都是建立在以前的产品版本和经验基础之上，但这种方法通常无法说明如何做得更好。它只是指导了如何实现更多相同的东西。这种新产品或许确实“足够好”，但可能没有着手解决如何做到“更好、更快、成本更低”的问题。

#### “我们采用电子表格或手算。”

手算是沿袭了几个世纪的传统方法，其结果的有效性为历史所证明。大多数工程师都习惯采用手算，他们感到手算比不熟悉的仿真工具更为可靠和准确。不过，现实的情况是，手算需要在几何体、尺寸公差、负荷和材料属性方面进行大量的假设和简化。事实上，由于手算需要的抽象层次，通常得到的结果值只是在预先选择的相关领域极为粗略的估计值。

同样，基于 FEA 的仿真产生的输出非常丰富，因而通常能指出某些简化方法的局限性，而在手算得到的数字或 XY 图输出中，则不能明显地发现这些局限性。然而，仿真技术的有效性受到质疑，而“行之有效”的手算则为人所接受。

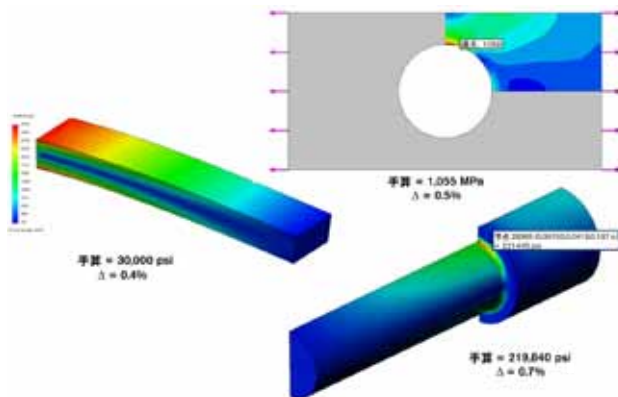


图 9：比较手算与仿真

一项简单的测试证实，在相同的简化和抽象条件下，仿真产生的局部结果与手算完全相同，如图 9 中所示。但从该图中还可以看出，即使是在这些高度抽象的常见情况中，设计师也能初步了解整个零件中负荷或应力的流向，并能获得进一步的了解。

当对更加真实、可投入生产的几何体进行测试时，仿真优于同等手算的价值就显而易见了，这一点从图 10 中所示的球形压力容器中可以看出。

基于 FEA 的仿真产生的输出非常丰富，因而通常能指出某些简化方法的局限性，而在手算得到的数字或 XY 图输出中，则不能明显地发现这些局限性。

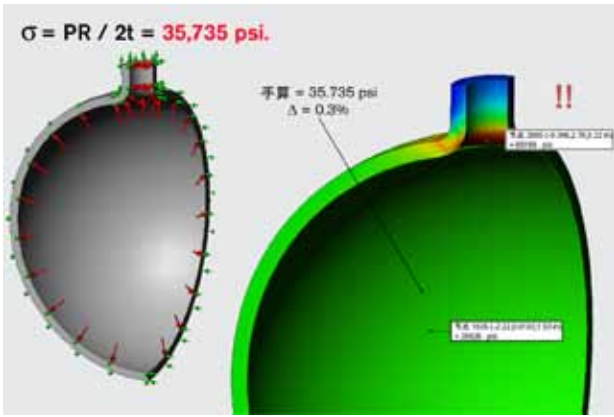


图 10: 球形压力容器的应力结果

假定球体不发生断裂，则通过封闭方程式可以预测容器中的切向应力。但手算忽略了一条极为重要的信息：容器口将首先破裂。关注范围过于狭窄，而且只在方便计算时，才会事先假定这种破裂将会发生。仿真的价值在于，能够着眼于整个系统，发现可能尚未预料到的问题。

那么仿真是否比手算具有更高风险：不。因为任何习惯于手算的人士在使用仿真时都会得到相同的结果，此外，还会获得更全面的了解。即使是处理一些简单的问题，仿真的速度也会比一步一步地进行手算快几个数量级。

#### “我们测试样机。”

测试是否比仿真更加可靠：许多设计工程师相信，就像使用手算一样，仿真是抽象的，而测试是“真实的”。然而，故障测试通常也只提供一个数据点，只能确认零件是否通过一组条件的检验。测试无法说明，零件接下来将在何处断裂，或者如果稍微提高测试负荷，零件是否就要发生故障。同样，测试无法预测，如果测试采用的是用公差范围内另一位置的材料属性或尺寸构造的另一样本，零件是否还会在同一位置发生断裂。

即使只限使用一个样机，通过多次迭代实现可制造性也是成本很高的。而采用仿真时，每次迭代的成本以接近指数级的速度降低。在 SolidWorks Simulation 中构建参数化实体模型后，对环境条件或特征尺寸的更改几乎会立即生效，并且基本上可以重复运行。该软件甚至可以逐一使用一张电子表格中的参数值，以自动运行一系列仿真。

只需几分钟时间，设计师就可以看到在产品开发和制造中造成混乱的所有可变因素的许多种组合，而在以往的物理测试中，评估这么多种组合是根本无法做到的。利用这种功能，设计团队可以提出以往从未提出过的所有那些问题。因此，他们会得到更全面的信息，从而作出更好的决策。

通过在设计过程的前期阶段进行仿真，可以排除风险（而不是引入风险），因此就有时间在“足够好”的水平上更进一步。

#### 我们不需要进行设计仿真.....

那么大家为什么不采用这种方法：工程师乃至管理者给出了以下理由：

- “我们的零件从来不会断裂。”相信这种观点的公司要么不了解足够的信息，要么就是要抱残守缺；那些零件的设计可能大大超出设计要求。如果公司总是在首次尝试零件时就达到要求，他们大多属于可能白白错过赚钱机会的公司。
- “我们总是在第一次尝试时就获得了最佳的设计。”虽然这有可能做到，但不可能在第一次尝试时就知道设计是“最佳的”。只有在经过一系列的设计迭代并且证明所做的改变不会有改进时，才可以证实设计是最佳的。

即使只限使用一个样机，通过多次迭代实现可制造性也是成本很高的。而采用仿真时，每次迭代的成本以接近指数级的速度降低。

通过在设计过程的前期阶段进行仿真，可以排除风险（而不是引入风险），因此就有时间在“足够好”的水平上更进一步。

- “仿真耗费的时间太久。”之所以这样认为，是因为传统的做法是等到设计过程结束时再对所有决策进行验证。模型越复杂，进行网格化、求解、调试和解释所花的时间就越长。如果在设计过程的早期就交互地使用仿真以推动设计，这通常不会成为问题。
- “我们不知道如何使用它，”或“它需要有专家才行。”过去确实存在这些障碍。不过，SolidWorks Simulation 之所以能如此成功地为设计工程师提供仿真工具，其中一个原因就是，正如本白皮书中所述，不需要有专家的帮助就可以使用它。假如它需要专家，那么它只能用作一个最终验证工具，而不能作为质量和创新的推动者。

尽管预先仿真确实带来了能不断修正路线、从而避免作出代价高昂的决策这一好处，但许多分析专家坚持认为主流设计仿真是一种危险的提议。他们担心的是，工程师将构建出“糟糕的”结构分析模型，进而根据它们作出“糟糕的”决策。不过，如果结合大多数公司的实际设计过程来看，这种担心毫无根据。

如果不使用仿真，工程师在设计产品时会根据适用的手算、历史数据或直觉来作出决策。他们将构造出产品并加以测试，然后看它是否可行。这是大家接受的做法。但如果进行仿真，它将建立在完全相同的“直觉”设计基础上。虽然可能会没有发现设计缺陷，或者判断需要进行的修正实际上是不必要的，但一位优秀的设计师不太可能单凭仿真数据就作出激进或违反直觉的更改。

不论仿真或结果解释的质量如何，物理测试仍将证实设计的有效性。但如果能在早期进行分析，则就有机会深入了解（或许能看到原本没有想到的应力或看到违反直觉的折弯），其价值是难以估量的。如果暴露出异常或未充分了解的特征，就很容易证明这项工作的价值。

此过程还有一个更加微妙的好处。当设计工程师随工作进展检查他们的各个决策时，就会明白这些决策为何是有道理的。他们会了解，为什么有 20 年公司经验的工程师总是会在哪里加一根筋或总是使用锁定特征。工程师弄清一项决策的道理后，就无需再对它提出疑问了。

## 哪些商业因素可确保设计仿真成功？

一旦在设计过程中确定了要进行迭代和交互式仿真，工作重心就会转到实施和流程问题上。管理者如何才能使此项技术发挥出最大的价值？

### 管理层必须主动支持仿真

我们说的是要支持仿真，而不仅仅是购买它。许多“冷板凳软件”在公司里面都形同虚设，因为管理层明确下达或暗示的指令是，仿真是一种救急工具，而非主流设计工具。如果公司发现某一仿真产品没有像预期的那样奏效，则管理层需要对它的使用方式进行更全面的重新思考。

支持仿真还意味着要设法将它集成到工作流中。公司会响应管理层给出的提示，因为对于大多数设计工程师来说，如果他们不相信更高层足够了解并重视一项技术，那么他们就不会想方设法地去争取这项技术。

公司会响应管理层给出的提示，因为对于大多数设计工程师来说，如果他们不相信更高层足够了解并重视一项技术，那么他们将不会想方设法地去争取这项技术。

### 抱有现实的期望并确定可测量指标

扼杀仿真提议最快的方式之一就是，对它的成功抱有不现实的期望。应确定对仿真的期望以及如何测量它的进度，这项工作可能需要与外部专家一起开展。

对于初期项目，请选择一个有着详实历史的现有产品，以便将仿真性能与当前数据进行比较。应重点关注不同设计可选方案的趋势行为和相对获益。

### 验证所有“可检查的”决策

任何给定的产品可能都有难以获得的运转数据或预测难度极高的消费者使用行为。可能存在无法测量或难以关联的系统响应。产品存在的这类不确定的方面可能最好还是通过测试进行验证。但可检查、可理解且定义清楚的参数非常适合仿真。成功的公司会识别这些因素，并确保在设计的开发过程中对这些因素进行跟踪。

## 将专家纳入此商业模式

设计层级的仿真与用作最终阶段数字成型工具的分析是有区别的。验证完所有可检查的决策，并且设计已经可以交付成型时，要将设计移交给专家鉴定，可能非常复杂。此人应该能够从设计能否获得通过的立场出发，详细审查生成的大量信息，并就这些数据的含义作出更好的决策。

专家还是极为重要的老师和顾问。最成功的设计仿真公司会借助内部或外部专家来定期更新其设计团队的技能。

## 测试依然是设计有效性的最终决策者

所有公司都设有一道传统的“关卡”，作为可接受性的最终评判程序，这道关卡可以是测试、专家审查或设计代码规范性检查。很少有公司会在仿真技术上进行足够充分的投资，以使用具有同等作用的虚拟方法来取代这些关卡，因为这是真正的专家领域。但进行预先设计仿真后，经过物理或虚拟测试、成本高昂的样机将极有可能通过这一关。

## 设计仿真不止是一个冠以美名的“拼写检查器”

最后，不要将仿真用作“拼写检查器”。不要满足于仿真简单地回答“赞成”或“否决”，“赞成”只是表示“足够好”。仿真工具的价值在于能够让设计师进行探究和试验。不是要问一项决策是好是坏，而是要问如何才能改进这项决策或如何才能使这项决策成为最佳选择。深入了解和创新是仿真过程产生的非常有价值的副产品。

## 总结

通过在工作流中纳入设计仿真，可以帮助设计师更快地发现错误，更改路线，并找到正确的方法来处理问题，然后设计出成本更低、性能更高的产品，从而使公司更快地将产品推向市场。

虽然仿真以往专注于验证产品的“计划用途”方面，但它还在检查“可预料的误用”方面具有其他价值，例如了解零件在发生扭曲或存在离心负荷时将会发生什么情况。由于通过仿真可以用更低的成本检查模型的更多方面，因此与传统成型方法相比，它能检查更多可预料的误用情况。

当管理者和设计团队负责人参与时，他们也能深入了解情况。通过了解仿真技术的基本知识，他们可以就设计师为何要以特定方式提出某一问题或进行特定的近似取值或假设，提出一些高水平的问题。

对于想成为业内领先的公司来说，仿真软件是非常有价值的工具，甚至在产品开发的最早阶段也很有用。仿真技术带来的最大好处是它提供了提出问题的机会，也就是说，可以提出大量与对产品及其运转环境的预期行为相关的问题。仿真软件在合适的时间为设计工程师提供合适的工具和合适的硬件，以使“假设……又将如何”理念成为设计过程的一部分。结果就是“更好、更快、成本更低”。

当设计团队能够作出更好的决策时，最终将创造更出色的产品，而设计仿真是实现此目标的最佳工具。

仿真工具的价值在于能够让设计师进行探究和试验。不是要问一项决策是好是坏，而是要问如何才能改进这项决策或如何才能使这项决策成为最佳选择。深入了解和创新是仿真过程产生的非常有价值的副产品。

对于将设计仿真工具直接集成到设计工程中以驱动流程的公司，Aberdeen Group 针对使用它们展开过一项独立研究。此项研究的联合赞助商 NAFEMS 是一家对仿真质量和教育提供支持的国际非营利组织。咨询顾问们得出结论：所有这类最领先的制造商都在设计阶段使用仿真，相比之下，只有 75% 的公司认为在他们所在的行业中处于落后地位。他们的数据表明，在设计过程中使用仿真对这些公司的总体盈利能力（以上市时间和成本衡量）有着非常积极的影响。



公司总部  
Dassault Systèmes  
SolidWorks Corp.  
300 Baker Avenue  
Concord, MA 01742 USA  
电话: +1-978-371-5011  
电子邮件: info@solidworks.com

亚太地区总部  
电话: +65 6511 7988  
电子邮件: infoap@solidworks.com

大中国区  
电话: 400-818-0016  
电子邮件: infochina@solidworks.com

