



**SIEMENS**

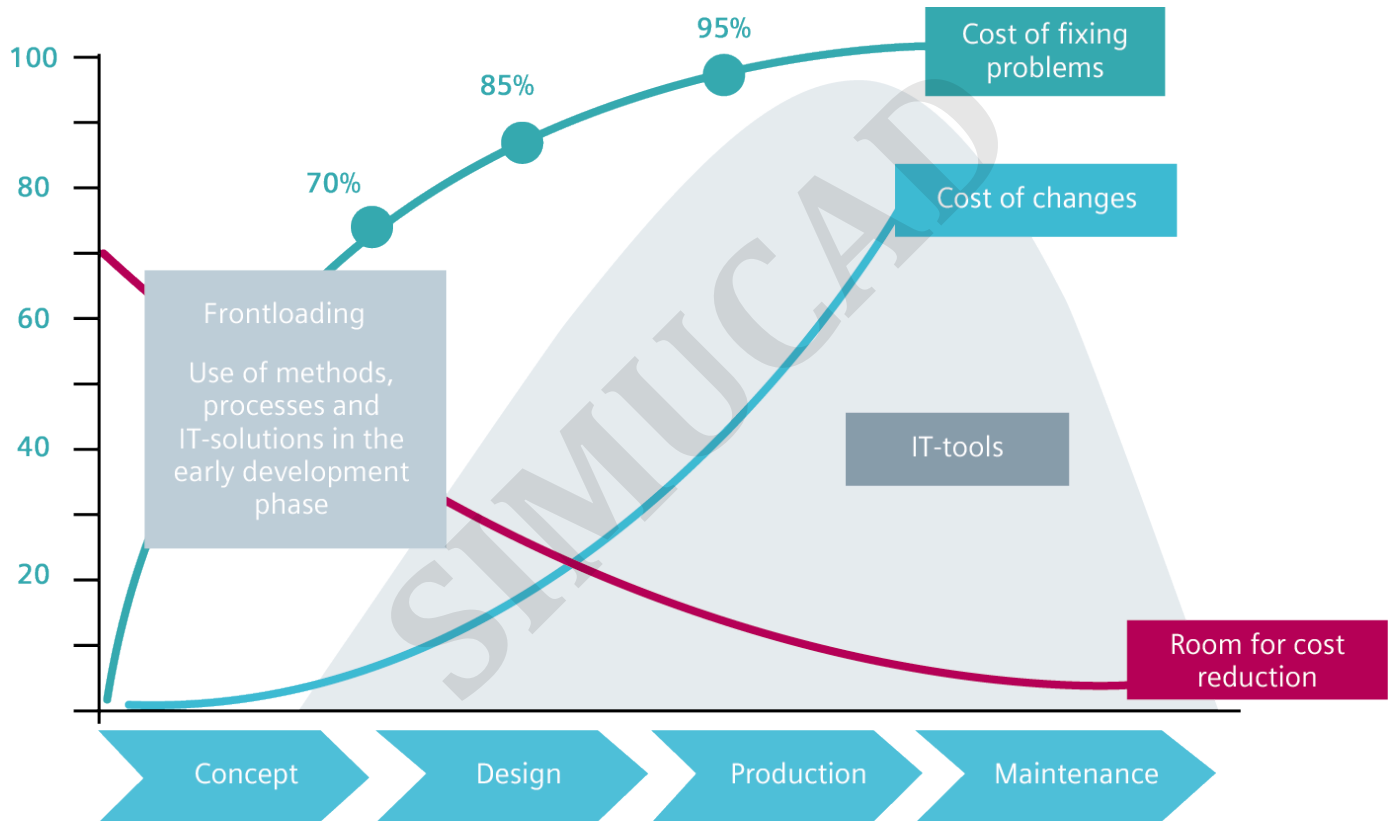
*Ingenuity for life*

Siemens Digital Industries Software

# 您在学校里学不到的热 传导知识

机械分析

# 简介



Source: Prof. Dr. Martin Eigner VPE TU Kaiserslautern

图 1：仿真前端装载有助于降低成本。

像大多数事物一样，热量也喜欢走阻力最小的路径。但是，并非所有地方都待见热量。有时候，热量就是“寇仇”，比如在消费类电子产品设计中，功能强大的芯片被挤入到越来越紧密的空间中。电子产品产生的热量需要从其外壳中排出，以免热量积聚而损坏内部元器件。对于智能手机来说，机巧的设计人员甚至考虑到我们的身体可以充当散热器。当您使用手机时，热量通过与身体的接触传导出去。

设计工程师如今面临的一大挑战是产品的复杂度与日俱增。制造的产品已演化为包含机械零部件、电子设备和软件的复杂系统，涉及到多个工程学科。日益增长的元器件数量以及随之而来的小型化要求，都需要他们更好地理解这些元器件之间的热交互方式，确保元器件不会出现过热现象。而且，产品常常以多种配置进行营销和出售，这就进一步增加了产品的复杂性，因此设计工程师必须了解每种配置的性能。

热量及其特性相当复杂。我们往往会利用经验法则来使设计或物理样机的热路径可视化，但要知道热量如何传输、速度有多大以及其去向并非易事。正因如此，现如今非常有必要利用以设计为中心的**计算流体动力学 (CFD)** 软件进行建模和仿真，以便真正了解及正确引导热流，而不必构建和测试许多昂贵且耗时的物理样机。

### 通过早期仿真实现最佳投资回报率：设计流程中的前端装载热分析

CFD 软件非常复杂且难以掌握，所以历来都是由 CFD 专家或专业人员在最终样机测试阶段进行使用的。然而，仅在样机制作阶段测试设计是要付出高昂代价的。根据 Lifecycle Insights 的一篇报告 [1]，在此阶段，失败的设计会导致错失项目里程碑，需要进行额外轮次的测试，并且不得不加班加点。不同行业分析师和 CAE 供应商进行的多项调查表明，最成功的公司会在开发的早期阶段评估其设计的性能，并积极推动分析专家与设计工程师之间的协同和知识分享。

减少变更成本并为降低成本创造更多空间，可带来最大的投资回报（图 1）[2]。马丁·艾格纳 (Martin Eigner) 教授提出“前端装载”这一涵盖性术语，指代在设计流程早期使用包括**计算流体力学**在内的一整套软件仿真工具的做法 [2]。

### 前端装载计算流体力学如何改变设计流程

大约 20 年前，应力分析被引入早期设计阶段，并且很快成为开发流程中不可或缺的一步。现在，所有主要 MCAD 软件工具都会提供设计级别的应力仿真。然而，在设计的早期阶段前端装载应力仿真并进行分析，并不意味着制造商不会在验证阶段进行仿真。仿真不过是一种用于甄别趋势和排除不满意设计创意的方法。

不同于验证阶段，在设计阶段，速度至关重要。工程师需要仿真，不仅要尽早仿真，往往还要跟上设计变更的速度。

通过快速迭代，工程师可以摒弃没什么吸引力的想法并做出进一步的创新。一旦对一个设计完成了研究并确定其可行，就可以继续开展验证阶段。

这种做法已推广到其他领域，包括**计算流体力学分析**。我们现在拥有对设计人员非常友好的 CFD 工具，它们可与 CAD 工具融为一体，极为方便。利用这些工具组合可以创建原型数字化双胞胎（产品的一种虚拟表示）。

前端装载 CAD 嵌入式 CFD 的优势包括：

- 更好地匹配产品需求（例如重量更轻、速度更快、特性更复杂等）。
- 减少下游开发延迟和成本（例如减少测试和样机制作、减少变更通知单等）。
- 满足客户合同义务或监管要求。
- 降低产品生命周期成本
- 降低生产成本

### 为何设计人员需要在 CAD 中进行热仿真和分析

传统 CFD 软件程序通常有多个接口：一个用于前处理，一个用于求解，还有一个用于后处理。它们往往还有自己的专用接口，这些接口不会与 CAD 集成；充其量，它们也只是提供数据转换器以将模型从 CAD 转移到 CFD 软件而已。每次模型需要分析时，必须准备好数据并从 CAD 中导出，再导入到 CFD 工具中进行“修复”以供使用。

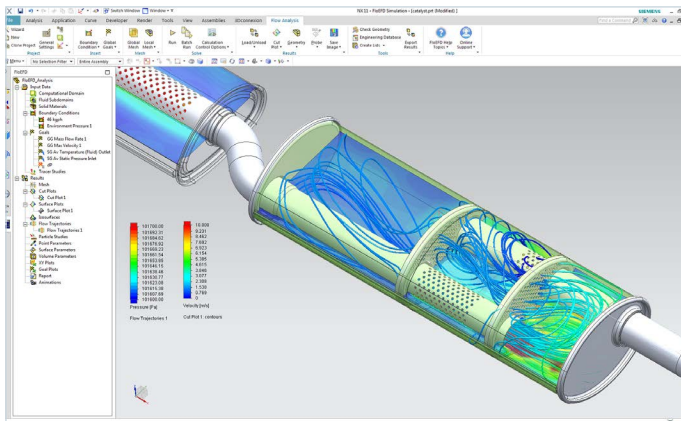
另外，工具涉及各种专业技术，需要经过高级培训和教育方会使用，因此通常会指派专职分析师来执行此任务。例如，大多数传统 CFD 工具支持多种网格类型。工程师必须知道哪一种最适合特定应用。此外，工程师将不得不处理网格，直到获得对模型和应用来说最佳的网格。总之，使用传统 CFD 工具可能非常耗时，并且比设计阶段所期望的要慢。由于这种专业性，设计热方面的分析工作传统上会与设计和开发分开进行，其中设计中与热相关的方面会影响关键产品运行。但是，这种方法工作量很大，常常导致结果不完整，只能获得一些离散位置上的读数，因而难以全面了解和描述底层热特性。

相比之下，以设计为中心的 CFD 解决方案：

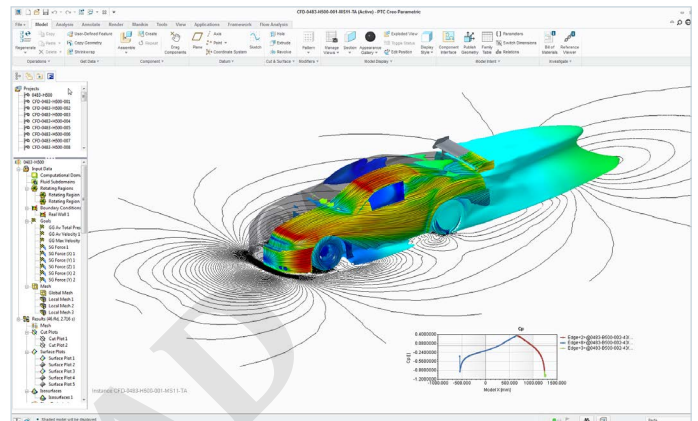
- 必须完全嵌入 CAD 中：这些工具可以在 CAD 程序内部轻松访问，并能使用相同的本地几何形状进行分析。不再需要导出数据并对其进行修复以备分析之用。另外，软件简单易用，也无需学习新的界面。CFD 分析只是 CAD 软件包提供的另一个功能。
- 增加自动化：CAD 嵌入式 CFD 程序需要内置智能自动化，以实现更简单、更快速及更准确的分析。例如在热传导分析中，有时设计人员希望了解密闭空间（流体所在的内部区域）中发生的事情。使用传统 CFD 时，必须创

建额外的几何图形来表示该空腔。但以设计为中心的 CFD 解决方案非常智能，足以辨识该内部区域为流体域，因此不会浪费时间去创建几何形状以适应软件。使用新一代 CFD 工具时，即可省去这一中间步骤。

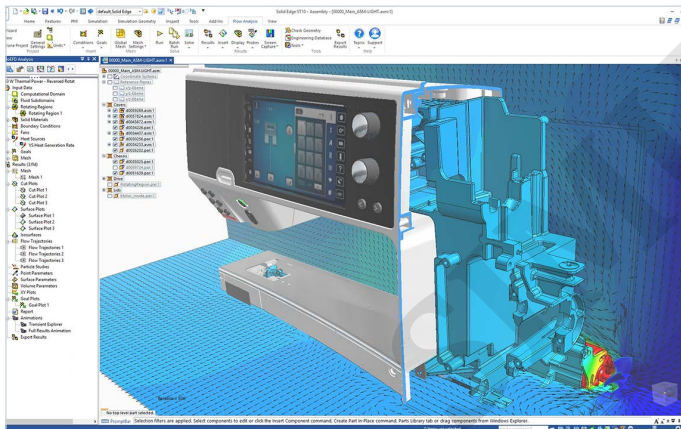
- 另外，在开始分析之前，必须对模型进行网格划分。使用传统 CFD 时，工程师必须熟稔哪种网格划分方法最能描绘具体流动现象。而对设计人员友好的 CFD 则使用了全自动网格生成器，可自动为相关问题生成最佳网格。
- 速度和精度兼具：真正能在 CAD 内部使用并在设计流程中前端装载的 CFD 解决方案，可大大缩短分析时间——有些组织报告可压缩 75% 的时间。之所以能够实现这一减少，要拜自动化以及显著降低的模型准备和前处理需求所赐。



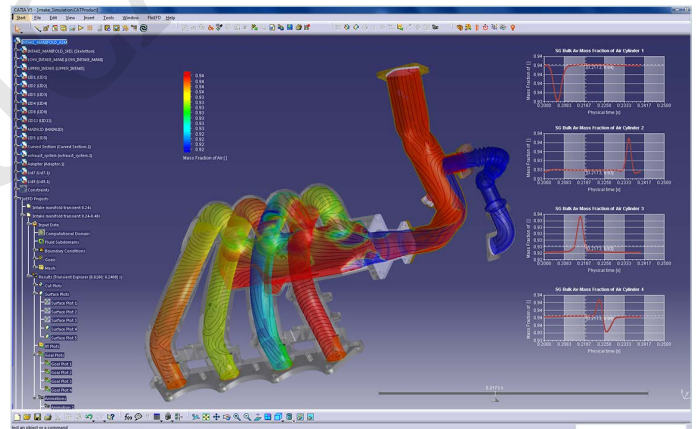
Simcenter FLOEFD for NX



Simcenter FLOEFD for PTC Creo



Simcenter FLOEFD for Solid Edge



Simcenter FLOEFD for CATIA V5

图 2： 嵌入于流行 MCAD 程序中的 Simcenter FLOEFD。

### CAD 嵌入式 CFD 解决方案

Simcenter FLOEFD™ 软件可嵌入 MCAD 工具集中, 如 CATIA® V5、Creo™ Elements/Pro™、NX 和 Solid Edge。它能为执行热传导和流体流动评估提供一个完整的环境。从实体建模到问题设置、求解、结果可视化、设计优化和报告生成, 所有的分析阶段都集中在一个包中。

利用 Simcenter FLOEFD, 设计人员可以集中精力详细分析产品的流体和实体区域中的温度分布。您可以运行“假设分析”情形来分析复杂的物理过程, 如热传导、热对流、流体和周围实体材料之间的耦合热传导、热辐射、焦耳加热等等, 然后在 MCAD 工具中快速修改和优化设计的几何形状 (图 2)。

Simcenter FLOEFD 以三维方式求解所有三种模式的热传导问题 (传导、对流和辐射), 这正是它能分析广泛应用的原因。典型的温度分析应用包括换热器、注塑模冷却、太阳塔、激光系统、制动器设计, 以及其他应用。以换热器为例, 设计人员不仅能看到其热方面的效率, 还能预测换热器引起的压降。将这些参数合并到单个模型中有助于更早设计出更好的产品。

要使用 Simcenter FLOEFD 软件, 只需要在 MCAD 系统中安装它并了解产品的物理特性即可。运行完整 CFD 流分析所需的全部菜单和命令都会安装到 CAD 菜单中。平均而言, 大多数设计人员在接受不到 8 小时的培训后就可以开始对其设计使用 Simcenter FLOEFD。

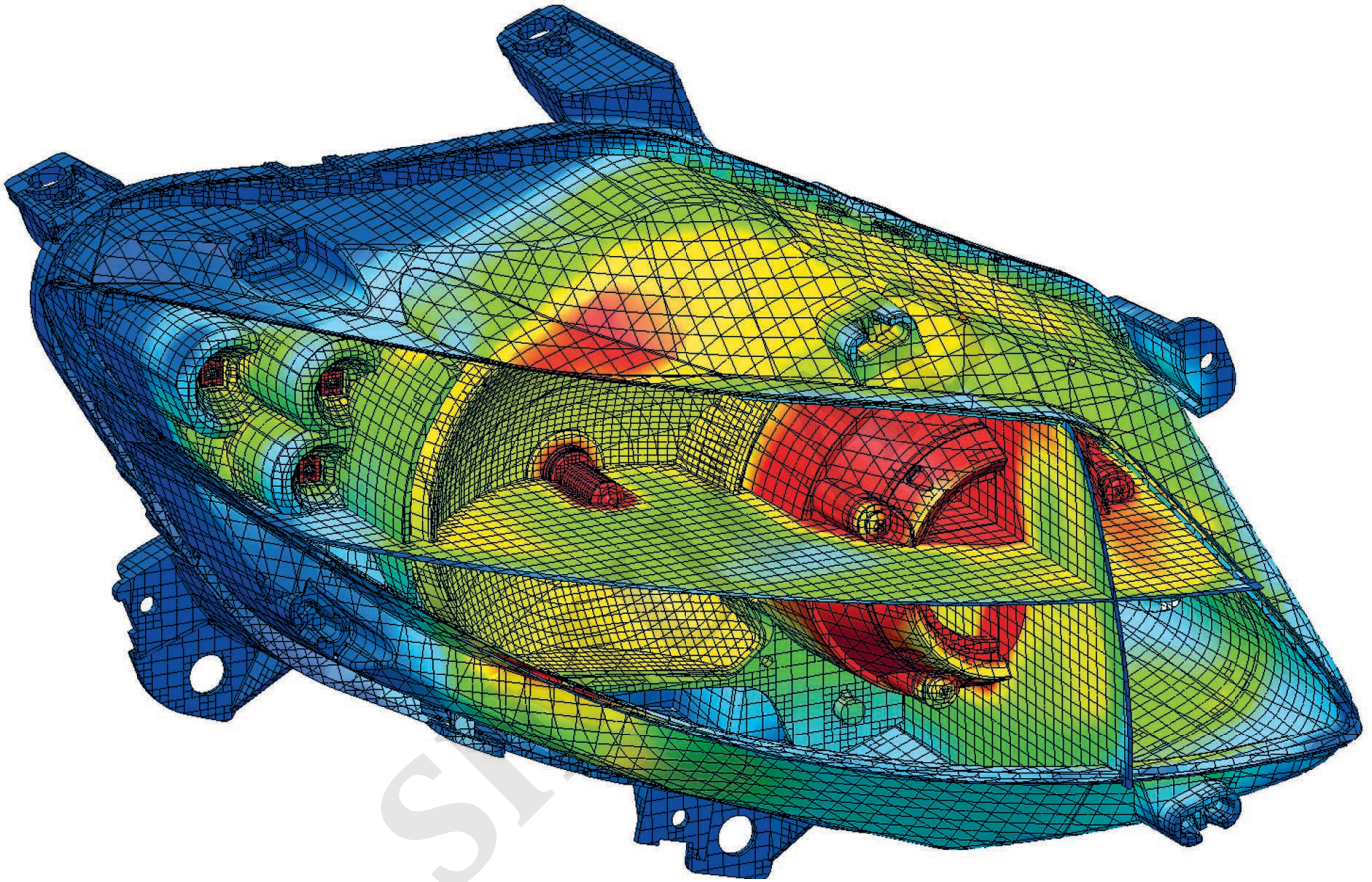


图 3：Simcenter FLOEFD SmartCells 技术可提供精准的分析结果。

任何热传导分析的起点都是定义问题的总体边界条件。Simcenter FLOEFD 有一个向导来指导用户完成设置，包括材料属性的选择。Simcenter FLOEFD 允许使用现有 MCAD 模型进行分析，而不必导出或导入其他几何形状。

嵌入式 Simcenter FLOEFD 工具集可使用新创建的或现有的三维 CAD 几何形状和实体模型信息，在真实条件下对设计进行仿真。

一旦创建项目并应用边界条件，就需要对模型进行网格划分，即必须建立一个计算网格。在以前，生成网格 CFD 专家保留的重要技能之一。Simcenter FLOEFD 在几分钟内就能自动创建网格。CAD 程序中嵌入的 CFD 会创建一个单元尺寸更小（在必要时）、分析分辨率更高的自适应网格，以确保在模型的复杂区域中获得更精确的仿真结果（图 3）。

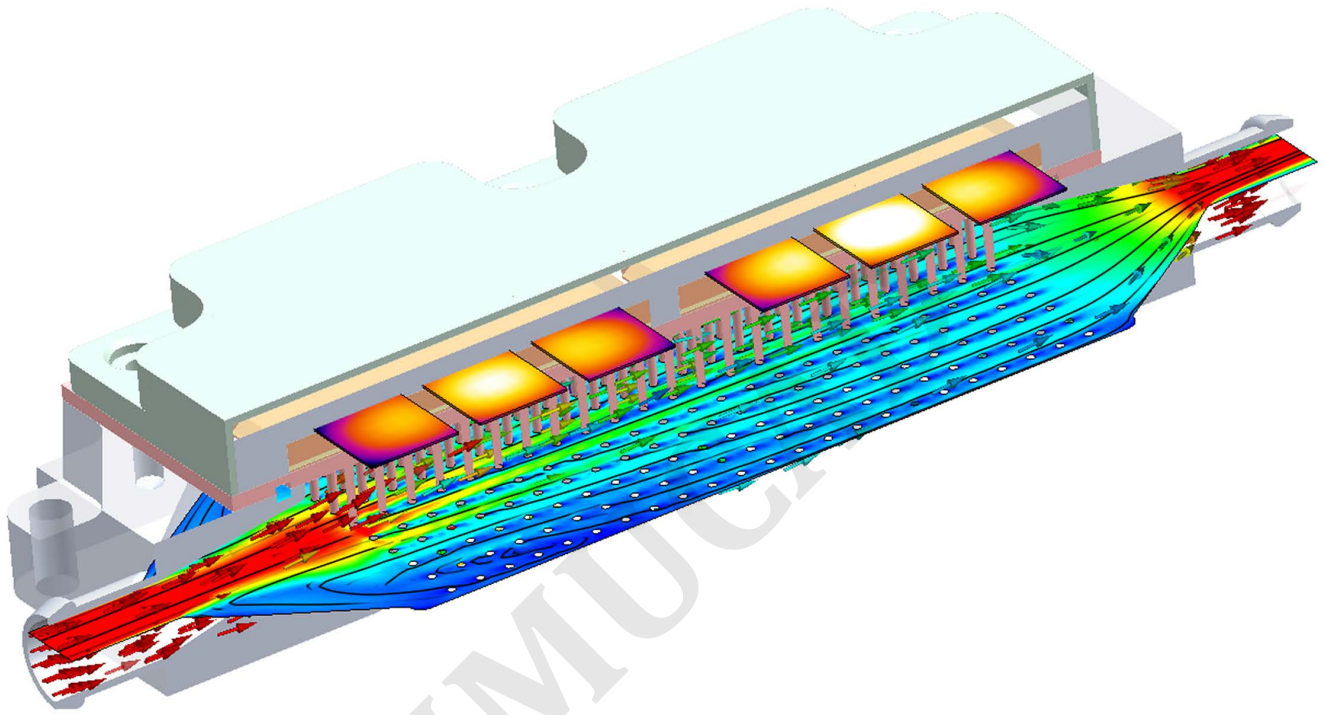


图 4：显示 IGBT 内部流体运动速度及温度的切面图。

#### 设计示例：解决高级热传导挑战

分析热传导时，必须建立一个网格来获取系统或设备的复杂几何形状。网格在概念上很简单，但它却是复杂 CFD 计算的核心。设备的表面被映射为微小的矩形单元，每个单元分为实体和流体体积进行离散分析。随后将产生一个包含所有单元的复合结果。Simcenter FLOEFD 可以直观地显示设计的散热情况，为指导设计决策提供有价值的见解，并支持对设计进行更细致的审查。

研究温度场的方法之一是使用切面图，它描绘一个贯穿模型的平面上的温度分布（图 4）。结果切面图可以显示任意结果参数，并且可以表示为轮廓图、等值线或矢量。切面图也可以利用任意组合来创建，例如速度幅度和速度矢量。除切面图外，它还能轻松显示任意特定面的表面图，或者自动显示整个模型的表面图。

解决热量分布问题是一个迭代过程。在得到初始分析结果之后，大多数设计人员都希望修改模型，以探索不同的情形。利用 Simcenter FLOEFD 可以轻而易举地进行此类“假设分析”。在详细设计或制作物理样机之前，可以探索其他设计方案，检测设计缺陷，以及优化产品性能。这样就能够快速、轻松地确定哪些设计可能可行，哪些设计不太可能奏效。

针对几何形状的不同变体，可以在 Simcenter FLOEFD 中创建仿真项目的多个克隆，这些克隆会自动保留所有分析数据，如热源和其他边界条件等。

Simcenter FLOEFD 软件可立即操作修改后的几何形状，自动创建新网格和处理先前定义的边界条件，因而极大地加快了从更改几何形状到运行求解器和检查结果步骤。利用其比较配置和参数研究功能，用户可以了解几何形状或边界条件变化对结果的影响。用户可以通过数值、图表和视觉图像 / 动画评估结果，衡量设计范围，进而比较各种

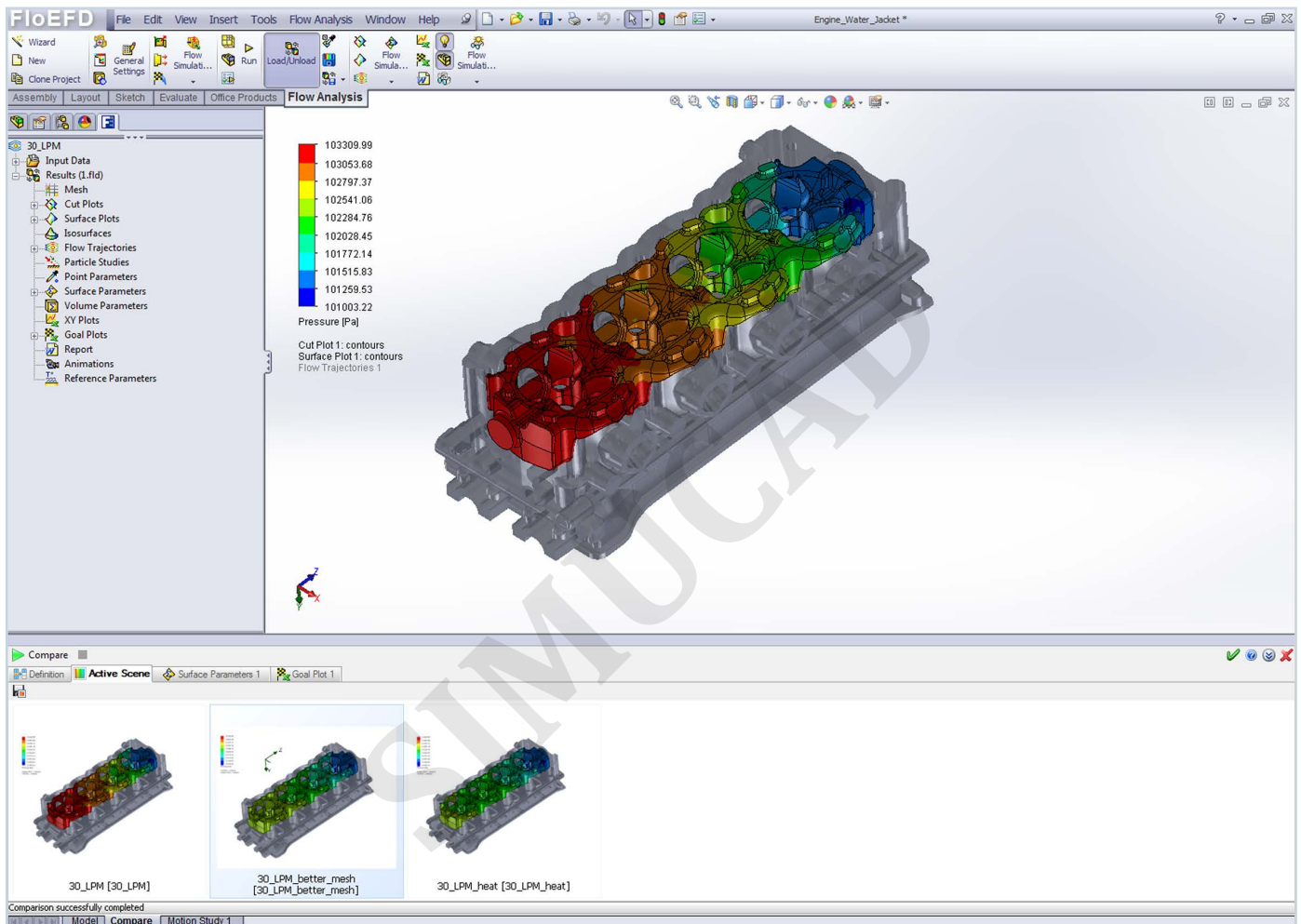


图 5：Simcenter FLOEFD 参数化研究和设计比较功能可帮助工程师快速优化设计。

各样的项目排列组合。通过这些办法，Simcenter FLOEFD 加快了迭代设计流程，使分析中获得的信息能够快速、轻松地整合进来以改进产品。

Simcenter FLOEFD 提供了用于验证设计的强大验证功能。在发布新版 Simcenter FLOEFD 之前，西门子工程师会使用一个包含 300 个测试的套件对新版本进行验证。基于这些严格的验证测试，Simcenter FLOEFD 提供 20 个可以立即使用的教学范例和 32 个验证示例以及相关文档。

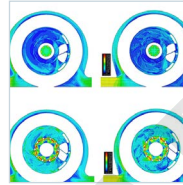
共享结果和研究成果也很简单。Simcenter FLOEFD 与 Microsoft® Word® 和 Excel® 完全集成，工程师可以从任何项目创建报告文档，并以图形方式收集重要数据。此外，它还能自动创建用于概括分析输出结果的 Excel 电子表格。这样，任何分析的最后一步，即创建报告，将毫不费力。Simcenter FLOEFD 还附带一个免费的独立查看器，以便能在交互式三维环境中与客户分享选定的结果图（并非二维图像）。



# 结论

## 真实世界中的设计人员和 Simcenter FLOEFD

下面几个实际例子说明，Simcenter FLOEFD 的速度、精度和强大功能有助于设计人员满足紧迫的截止日期，获得更高质量的结果，以及最大限度降低成本。



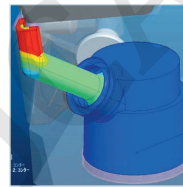
### Koenigsegg

哈尔姆斯塔德大学的一名设计工程师利用 Simcenter FLOEFD 评估跑车的制动散热设计。



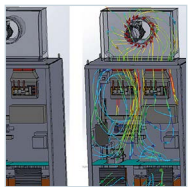
### 雷诺

雷诺工程师采用 Simcenter FLOEFD 设计质量更佳、成本更低的汽车前灯。



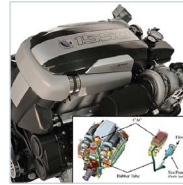
### 三菱综合材料株式会社

东京大学生产技术研究所的及川教授与三菱综合材料株式会社的工程师合作设计一种更好的冷却系统，以延长机床刀具的使用寿命。



### e-Cooling

工程顾问采用 Simcenter FLOEFD 为电力电子设备设计气流和散热解决方案，以帮助其客户向市场推出更可靠的产品。



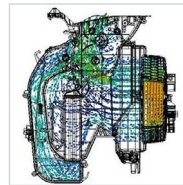
### Mercury Racing

工程师们利用 Simcenter FLOEFD 来帮助他们为摩托艇竞赛引擎设计最新的中冷器过滤器。



### 施耐德博世集团

设计人员采用 Simcenter FLOEFD 来缩短产品开发时间，快速找到合适的设计变型，节省成本，以及向同事和客户解释其乘员舱产品的流体特性。



### 泛亚汽车技术中心

工程师使用 Simcenter FLOEFD 开发汽车暖通空调 (HVAC) 空气处理机组。

## 参考信息

- 1.2013.Driving Design Decisions with Simulation.Lifecycle Insights.
- 2.2010.Eigner, M. Future PLM – Trends aus Forschung und Praxis: University of Kaiserslautern Blog