

COMSOL
MULTIPHYSICS®
COMSOL
SERVER™

The image displays the COMSOL Multiphysics software interface, specifically the 'APP 开发者' (App Developer) environment. The main window shows a project titled 'forced_air_cooling_with_heat_sink.mph'. The interface includes a menu bar, a toolbar, and a model tree on the left. The central workspace is divided into several panels: '输入和结果' (Input and Results) on the left, '图形' (Graphics) on the right, and a central 3D model of a heat sink. The 3D model is color-coded to show velocity magnitude, with a color scale ranging from 0.2 to 1.4 m/s. The 'APP 开发者' window is overlaid on top, showing a 'Input and Results' panel with various parameters and a 'Graphics' panel showing the 3D model. The 'Input and Results' panel includes sections for '几何' (Geometry), '操作条件' (Operating Conditions), '操作条件' (Operating Conditions), '结果' (Results), and '信息' (Information). The 'Graphics' panel shows a 3D model of the heat sink with a color-coded velocity field. The velocity scale is shown on the right side of the 3D model, ranging from 0.2 to 1.4 m/s. The 'APP 开发者' window also includes a '关于' (About) button at the bottom right.

从模型到仿真 App 应用程序 引领每个人走进多物理场仿真的世界

COMSOL® 为仿真专业人员提供各种工具来部署仿真相关工作, 范围涵盖从设计、开发到生产和测试的各个阶段, 以此实现在组织内部促进合作的愿景。我们的理念非常简单: 让一体化构建模型, 创建并运行仿真 App 应用程序成为可能。

这正是 COMSOL Multiphysics® 和 COMSOL Server™ 通过其完全集成的建模、仿真及 App 设计环境所提供的强大功能。

工程师在产品周期中的各个阶段都可以使用最强大的计算工具和即时可用的定制化 App, 在整个组织内, 从设计到生产的各个环节推动技术创新并提高生产效率。

您准备好创建自己的 App 了吗? COMSOL Multiphysics® 和 COMSOL Server™ 将带您轻松步入多物理场仿真的世界。

目录

产品库	10
COMSOL MULTIPHYSICS	12
COMSOL SERVER	22
以应用为导向的产品	
电磁	26
结构 & 声学	40
流体 & 传热	54
化工	68
多功能	78
接口	84
用户支持	97
许可证选项	98

absorptive_muffler_designer.mph - COMSOL Multiphysics

文件 主屏幕 定义 几何 材料 物理场 网格 研究 结果

模型数据访问
App 开发者
记录新方法
测试 App

组件: Component 1 (comp1)
增加组件
模型

P1 参数
a= 变量
f(x) 函数
定义

全部构建
cp LiveLink

增加材料
材料

压力声学, 频域: Pressure Acoustics, Frequency Domain (acpr)
物理场

增加物理场

构建网格
网格: Mesh 1
网格

计算
研究: Study 2
增加研究
研究

一维绘图组: Transmission Loss
结果

模型开发者

- 根: absorptive_muffler_designer.mph (root)
 - 全局定义
 - P1 参数: 参数
 - 材料: Materials
 - 组件: Component 1 (comp1)
 - 定义
 - 几何: Geometry 1
 - 材料
 - 压力声学, 频域: Pressure Acoustics, Frequency Domain (acpr)
 - 压力声学: Pressure Acoustics 1
 - 硬声场边界 (墙): Sound Hard Boundary (Wall) 1
 - 初始值: Initial Values 1
 - 平面波辐射: Plane Wave Radiation 1
 - 多孔声学: Poroacoustics 1
 - 网格: Mesh 1
 - 研究: Study 1
 - 研究: Study 2
 - 结果: Results

设定

多孔声学

多孔声学模型: Delany-Bazley-Miki

流体属性

多孔基体属性

孔隙弹性材料: 域材料

流阻率: Rf 用户定义

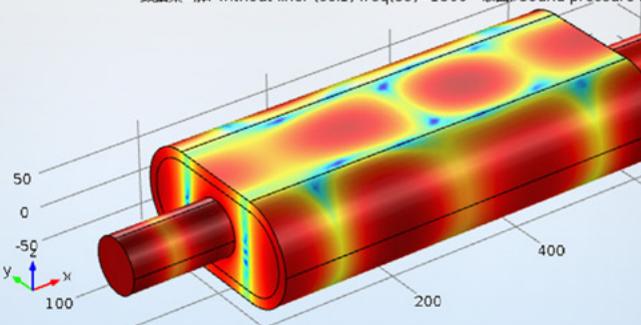
Rf: Mesh 1 Pa·s/m²

常数: Delany-Bazley

C1 = 0.0978
C2 = 0.7

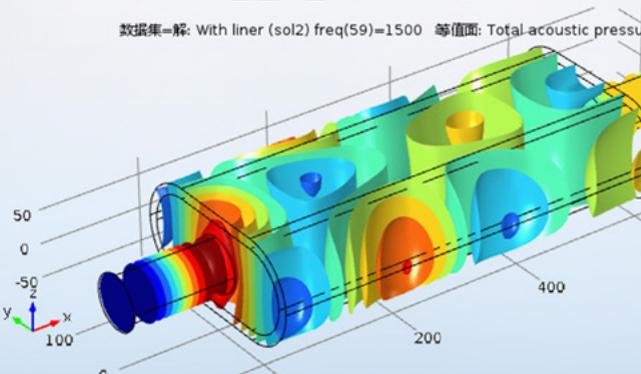
绘制 3

数据集=解: Without liner (sol1) freq(59)=1500 表面: Sound pressure level



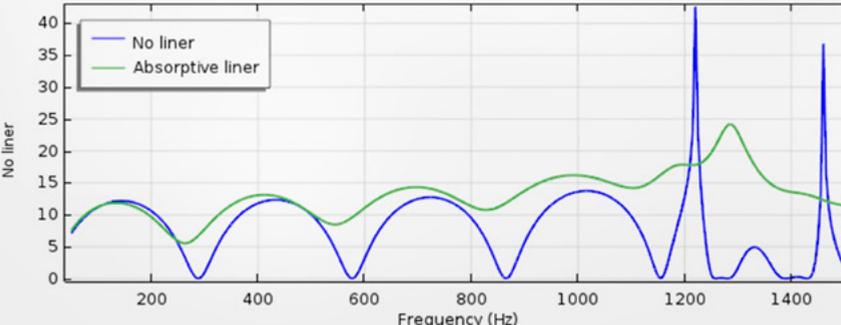
绘制 1

数据集=解: With liner (sol2) freq(59)=1500 等值面: Total acoustic pressure



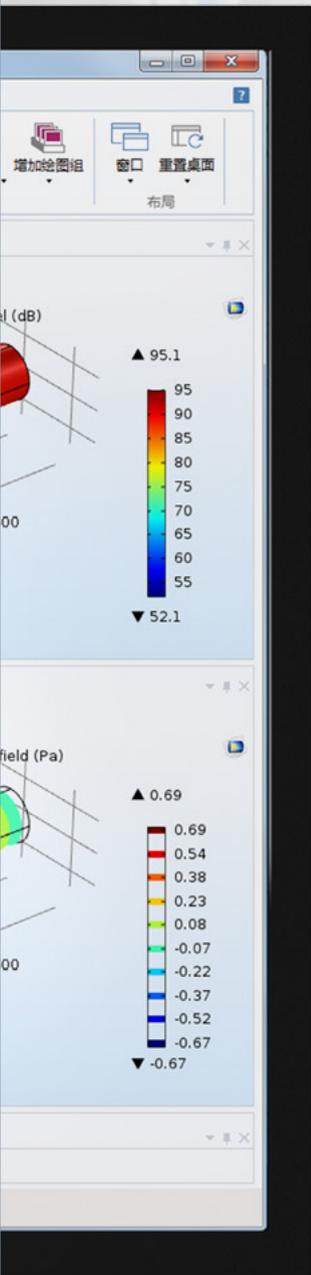
绘制 2

全局: No liner



信息 进度 日志

1.18 GB | 1.39 GB



如何实现您的创新设计，
沟通您的设计灵感？

absorptive_muffler_designer.mph - COMSOL Multiphysics

Application Builder

Geometrical Dimensions

Linear thickness (L):	15 mm	Muffler length (L):	800 mm
Inlet and outlet radius (R_{in}):	40 mm	Muffler height (H):	150 mm
Inlet and outlet length (L_{in}):	150 mm	Muffler width (W):	300 mm

Physics Settings

Ambient temperature:	20 °C	Mean fiber diameter (d_{mf}):	10 μm
Ambient pressure:	1 atm	Apparent density of glass wool (ρ_{gw}):	12 kg/m ³

Flow Turbulence

Enter manually

Calculate scaling

$$P_{in} = 2.18 \cdot 10^{14} \frac{L^3}{d_{mf}^3} \cdot \rho_{gw}$$

Physics Matrix Constant: Delany-Bacley

```

1 // stores the current range in case the new range is invalid
2 String tempRange = sStudyRange;
3
4 // sets the new range for study1 to test if it is valid
5 sStudyRange = range("varfreqLowSaved","varfreqHighSaved");
6 model.study("stst1").feature("freq").set("plist", sStudyRange);
7
8 // get the resulting study steps
9 double[] range = model.study("stst1").feature("freq").getDoubleArray("plist");
10 if (range.length == 0) {
11 // if the range is empty the defIneo range is invalid and the range for study1 is reset to the previous range
12 model.study("stst1").feature("freq").set("plist", tempRange);
13 sStudyRange = tempRange;
14 error("Invalid frequency range.");
15 } else {
16 // if the new range contains values the range for study2 is also updated
17 model.study("stst2").feature("freq").set("plist", sStudyRange);
18 // the maximum mesh element size is updated about the midpoint of the studied frequency range in case it was

```

Settings

Form

Name: Geometry

Title: Design

Size

Initial size: Manual

Width: 452

Height: 300

Margins

Horizontal: 0

Vertical: 0

Display Settings

Show changes: On request

Icon: None

Resizable:

Section Settings

Expandable:

Initially collapsed:

Appearance

Grid Layout for Combined Form Objects:

Test color: Default

Background color: Transparent

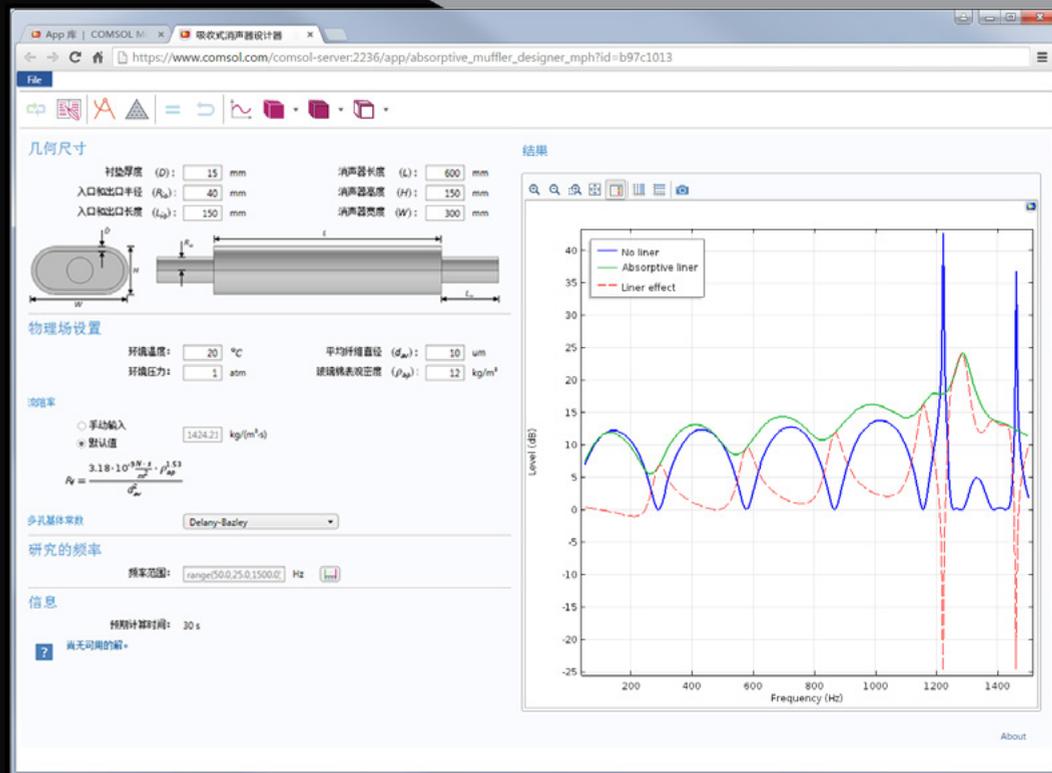
Background image: None

Events

On load: None

On close: None

通过强大的数值仿真工具



借助可在全球部署的仿真 App

COMSOL Multiphysics®

COMSOL Server™



产品库

COMSOL Multiphysics®	12
COMSOL Server™	22

电磁

AC/DC 模块	26
RF 模块	28
波动光学模块	30
射线光学模块	32
等离子体模块	34
半导体模块	36
MEMS 模块	38

结构 & 声学

结构力学模块	40
非线性结构材料模块	42
岩土力学模块	44
疲劳模块	46
多体动力学模块	48
转子动力学模块	50
声学模块	52

流体 & 传热

CFD 模块	54
搅拌器模块	56
地下水流动模块	58
管道流模块	60
微流体模块	62
分子流模块	64
传热模块	66

化工

化学反应工程模块	68
电池与燃料电池模块	70
电镀模块	72
腐蚀模块	74
电化学模块	76

多功能

优化模块	78
材料库	80
粒子追踪模块	82

接口

CAD 导入模块	84
File Import for CATIA® V5	84
设计模块	86
LiveLink™ for SOLIDWORKS®	87
LiveLink™ for Inventor®	88
LiveLink™ for AutoCAD®	89
LiveLink™ for Revit®	90
LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™	91
LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®	92
LiveLink™ for Solid Edge®	93
ECAD 导入模块	94
LiveLink™ for MATLAB®	95
LiveLink™ for Excel®	96

COMSOL Multiphysics®

COMSOL Multiphysics® 软件环境可以针对建模流程中的所有环节——从建立几何结构、网格剖分、物理场定义、计算求解到计算结果的可视化。它还是运行附加模块、开发仿真 App 应用程序的平台。众多附加模块提供了丰富的物理场接口,是对 COMSOL Multiphysics 核心建模功能的有力补充。

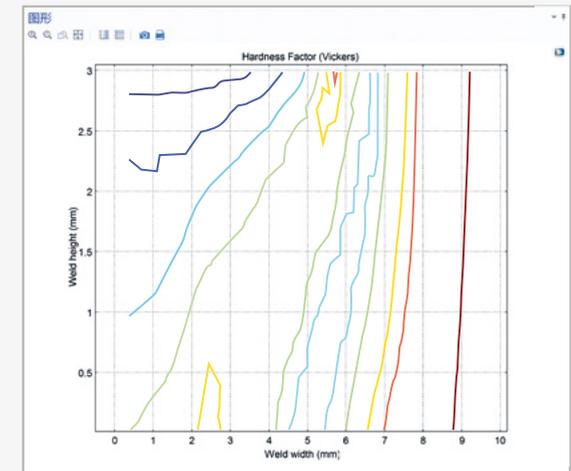
COMSOL Multiphysics 内置了一系列预定义物理场接口,涉及流体流动、传热、结构力学和静电学等众多领域,友好的界面和丰富的功能使建模变得简单且便捷。这些物理场接口可以根据具体需求自由组合,还可以与其他专业模块耦合使用,轻松实现多物理场仿真。

COMSOL Multiphysics 用户界面提供了用户自定义偏微分或常微分方程接口,用户可以将这些方程与其他物理场接口耦合使用,无需编写代码。当与 CAD 导入模块或者其他 LiveLink™ 产品结合使用时,对众多行业标准格式的 CAD 模型,可以很方便地实现定制化的建模仿真。

焊接

摩擦搅拌焊接是英国焊接学会 (TWI) 在 20 世纪 90 年代开发出的一种固相焊接专利技术。自发明之后,该工艺就受到了全世界的关注,广泛应用于生产中,特别是铝合金焊接。

下图所示的模型耦合分析了流体流动、摩擦与传热,展示了温度分布,以及由模型计算得到的焊接区域的硬度系数。

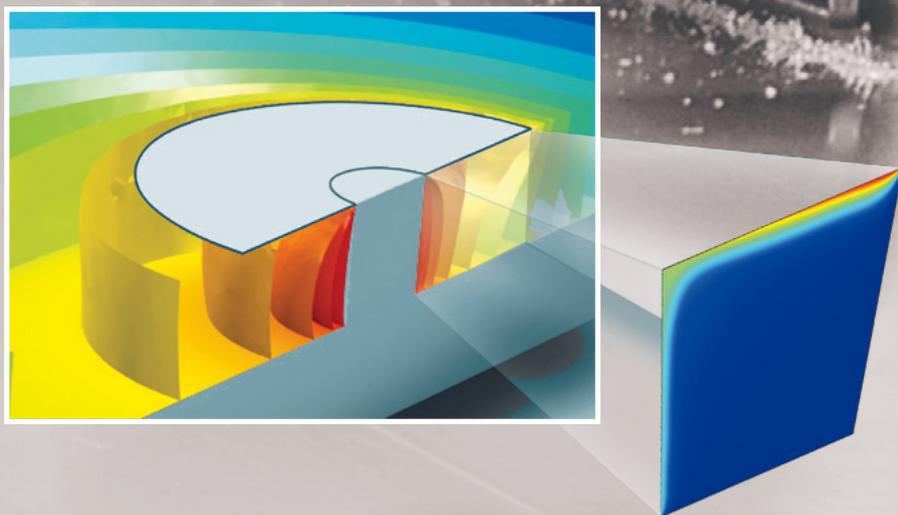


亮点

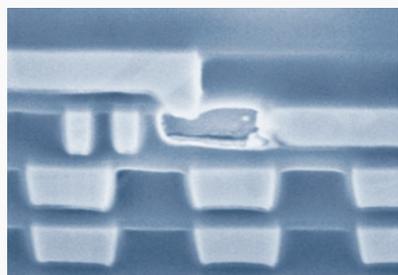
- 模型开发器
- App 开发器
- 动画、图像和数据导出
- 自动、扫掠和边界层网格剖分
- 边界和体积分
- 链接一维、二维和三维模型组件的组件耦合
- 核心物理场接口
- 快速傅立叶变换 (FFT)
- 导入一维、二维和三维数据集的插值表
- 线性和高阶有限元
- 网格导入
- 移动和变形网格
- 参数化几何建模
- 偏/常微分方程组用户接口
- 探针和探针图
- 随时间、空间变化的物理属性和边界条件表达式
- 先进的多核求解器
- 用户定义的线性和非线性材料
- 丰富的可视化工具, 包括箭头、等值线、线、带、切面、流线、表面和体绘图

App 示例

- 承受动载荷的梁
- 螺旋型静态混合器
- 传输线参数计算器
- 管式反应器
- 音叉



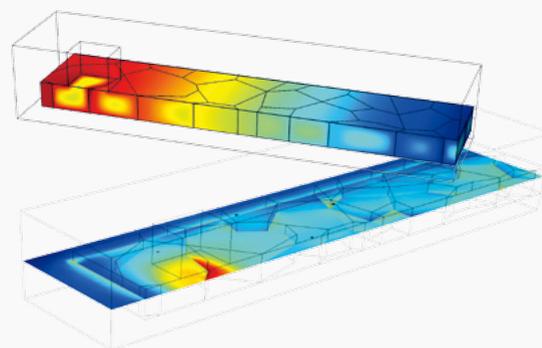
模型由英国克兰菲尔德大学 (位于克兰菲尔德) 的 Paul Colegrove 博士提供; 图片由英国焊接学会 (TWI, 位于剑桥) 提供。



电气

模型预测铜线互联的失效。仿真结果显示了空位浓度以及由此产生的 von Mises 应力。

模型由法国 STMicroelectronics 公司 (位于克罗莱) 的 F. Cacho 和 V. Fiori 提供。



COMSOL DESKTOP®

理想的实用型仿真软件，不仅需要具备强大的功能，还应简单易用，不论是初学者还是经验丰富的建模专业人员，都可以通过仿真软件实现预期的目标。COMSOL Desktop® 环境就具备了所有这些特质。

COMSOL Multiphysics® 架构简明，其中 COMSOL Desktop 拥有流畅的用户界面，方便您全面了解并控制建模过程。整个工作流程完整而直观，能够引导您快速建立仿真模型与 App。

不论针对哪个物理场或应用方向的仿真分析，COMSOL Desktop 架构都是统一的，这一方式大幅促进了工程团队间的跨学科合作，能够让工程师和研究人员更快地开发出更好的模型。

“COMSOL Multiphysics® 版本 5 中包含一系列直观的工具，可实现绘图、网格剖分、材料明细表、有限元分析、后处理和图形显示等操作，现已成为最受欢迎的多物理场仿真分析工具之一。”

Bill Vetterling, ZINK Imaging, 美国马萨诸塞州贝德福德市。

模型向导

在模型向导中选择一个或多个物理场接口，快速完成模型设置。

案例库

案例库涵盖了各个工程与科学领域的仿真案例和仿真 App，并附有相关说明文档。

模型开发器

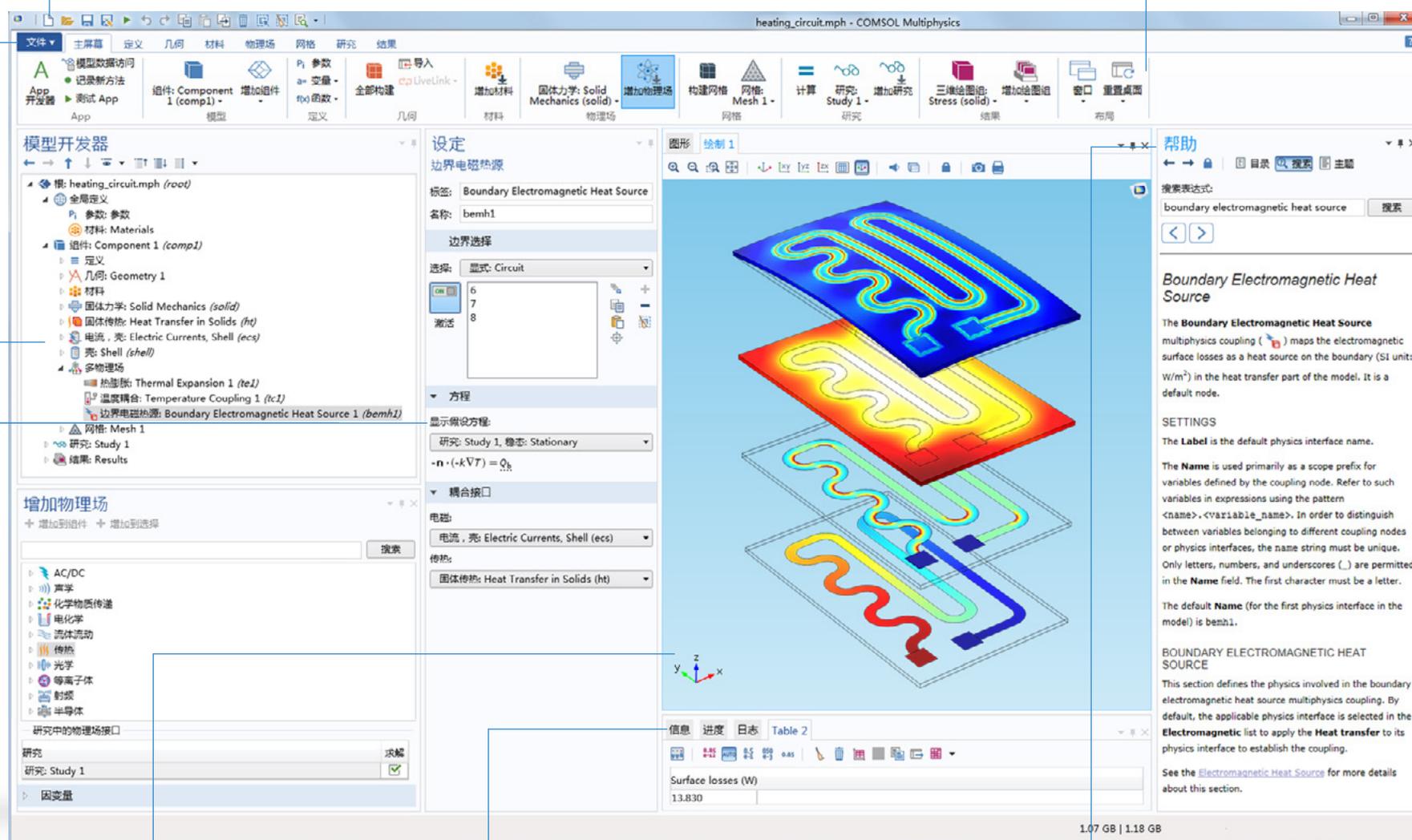
通过模型开发器访问模型设定的任何部分。

设置

您可以在设定窗口轻松地输入、验证以及更新各种设定和模型参数。

功能区

通过功能区选项卡中的按钮和下拉菜单控制所有建模步骤。



图形窗口

超快的图形展示、炫目的可视化效果以及丰富的绘图类型选项。

信息窗口

在仿真过程中,信息窗口将显示模型的重要信息,如求解时间和进度、网格统计信息、求解器日志以及结果表。

动态帮助

用户可通过帮助窗口的扩展搜索功能轻松地进行浏览,还可访问持续更新的在线知识库和案例下载。

模型开发器

从构思设想到一步步实现, COMSOL® 软件将自然地跟随您的思路开展工作。您可以通过模型开发器控制整个建模工作流程, 为您的模型构建一个合理而灵活的结构。

您可以按照模型树内各个结构分支的顺序来开发模型, 从参数定义开始, 到几何结构的创建, 一直到仿真结果的可视化, 也可以随时根据需要添加节点, 推敲和改进模型, 直到它能真实描绘您的设计。

模型开发器支持即时访问模型设定的任意部分; 因此在建模的任何阶段, 用户都可以研究、改进和优化模型特征。这使得模型开发器成为参数化分析、优化以及定制仿真流程的全方位图形化建模工具。

“COMSOL 使我们能通过非常友好和便捷的方式来耦合不同的机理, 从而理解其中的耦合效应。这才是仿真的真正优势。”

Roberto Suarez-Rivera 博士, Schlumberger 公司, 美国犹他州盐湖城。

定义

您可以通过定义分支轻松控制您的参数、函数、探针以及图形显示。

几何

在几何分支下, 您可以使用内置的绘图工具创建几何, 或者从 CAD 软件中直接导入几何。

材料

材料分支中支持通过表达式和函数指定材料属性, 或从库中导入材料。

物理场

定义物理场, 选择材料模型、边界条件、载荷和源。

网格

自动生成和定制网格, 实现最优化的分辨率和求解。

研究

运行仿真、配置参数化研究和各种求解器序列。

模型树

您可以在模型树中纵览整个模型;树形结构提供了创建模型和分析结果所需的全部功能与操作。

The screenshot displays the COMSOL Multiphysics software interface for a shell and tube heat exchanger model. The main window shows a 3D visualization of the heat exchanger with velocity streamlines and temperature contours. The Model Builder (模型树) on the left shows the hierarchical structure of the model, including Geometry, Materials, Physics, Mesh, and Results. The Settings (设置) panel in the middle shows the configuration for the Turbulent Flow, k-ε physics interface. The 2D plot window (绘制 2) shows a pressure profile along the x-coordinate. The Table 2 window at the bottom right shows the pressure value of 33.045 Pa.

Table 2

Pressure (Pa)
33.045

结果

计算结果的分析 and 图形化显示、探针设置和收敛图。可以综合几个绘图窗口来同时显示多个结果。

App 开发器

Windows® 版 COMSOL Multiphysics® 软件中内置的 App 开发器提供了用于开发和运行仿真 App 所需的全部工具。通过 App 开发器的用户界面，您可以将任何 COMSOL Multiphysics 模型转换为带有定制界面的仿真 App 应用程序。

App 开发器包含两个不同的 App 创建工具：表单编辑器和方法编辑器。表单编辑器支持通过拖放一系列的表单对象来创建定制化的用户界面，例如输入框、图形窗口和按钮等。

方法编辑器用于实现定制化的功能，以增强仿真 App 的用户体验。它是一个编程环境，支持您通过编写 Java® 代码来修改表示 COMSOL Multiphysics 模型的数据结构。

App 设计树状结构

您可以在 App 设计树状结构中纵览 App 内使用的表单、事件、声明、方法和库。

“App 开发器是 COMSOL 迄今推出的最具革命性的产品。我们预测，通过帮助同事开发 App，能将我们花在为他们提供计算服务上的时间减少 30% 到 40%，这将同时提升我们双方的工作效率。”

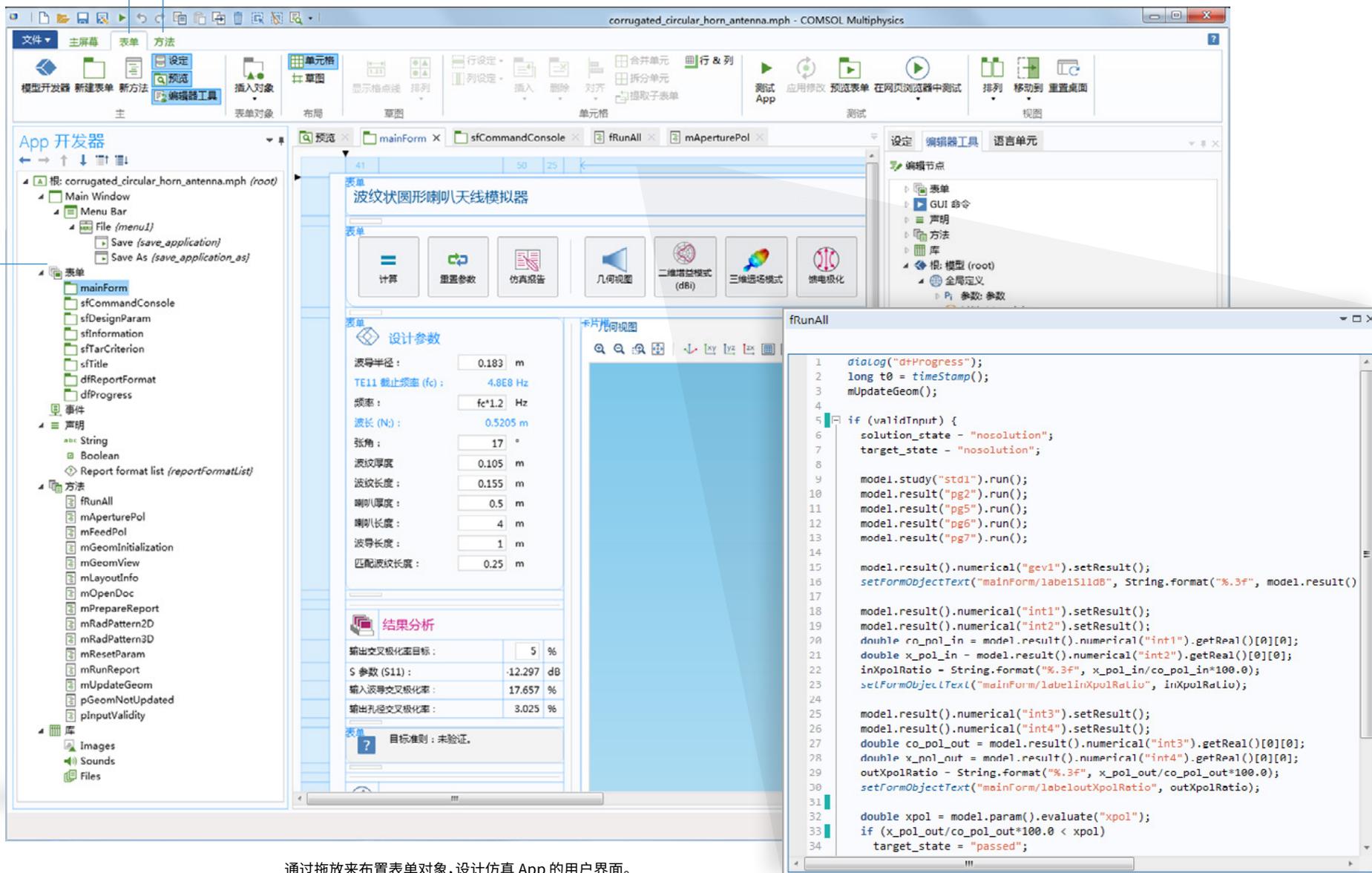
Massimo Bechis, Prysmian, 意大利米兰。

表单编辑器

使用输入框、图形和按钮等表单对象来布置仿真 App 的用户界面。

方法编辑器

通过编写方法实现模型树节点的标准功能以外的操作。



通过拖放来布置表单对象，设计仿真 App 的用户界面。

例如，用户可以编写一个包含 for-循环、过程输入和输出，以及由 App 发出消息和通知的方法。

COMSOL App

COMSOL App 是利用 App 开发器创建的带有定制化用户界面的模型, 可以通过 COMSOL Multiphysics® 或 COMSOL Server™ 许可证运行。

拥有 COMSOL Multiphysics 许可证的用户可以通过多种方式在 COMSOL Desktop 中运行仿真 App。开发仿真 App 时, 可以直接在 App 开发器中快速进行测试, 确保表单和方法能按预期执行; 仿真 App 发布后, 可直接通过 COMSOL Desktop 的文件菜单运行 App, 还可为 App 设置密码保护。

软件提供了超过 70 个仿真 App 示例, 用户可以很方便地进行查看和编辑, 并能以此为起点开始设计自己的 App。

使用 COMSOL Server 许可证的用户则可通过各类操作系统与硬件平台上的主流网页浏览器来部署、管理和运行 App。在 Windows® 系统中, 您还可以通过易于安装的 COMSOL Client 连接 COMSOL Server, 并运行 App。



仿真 App 的分发

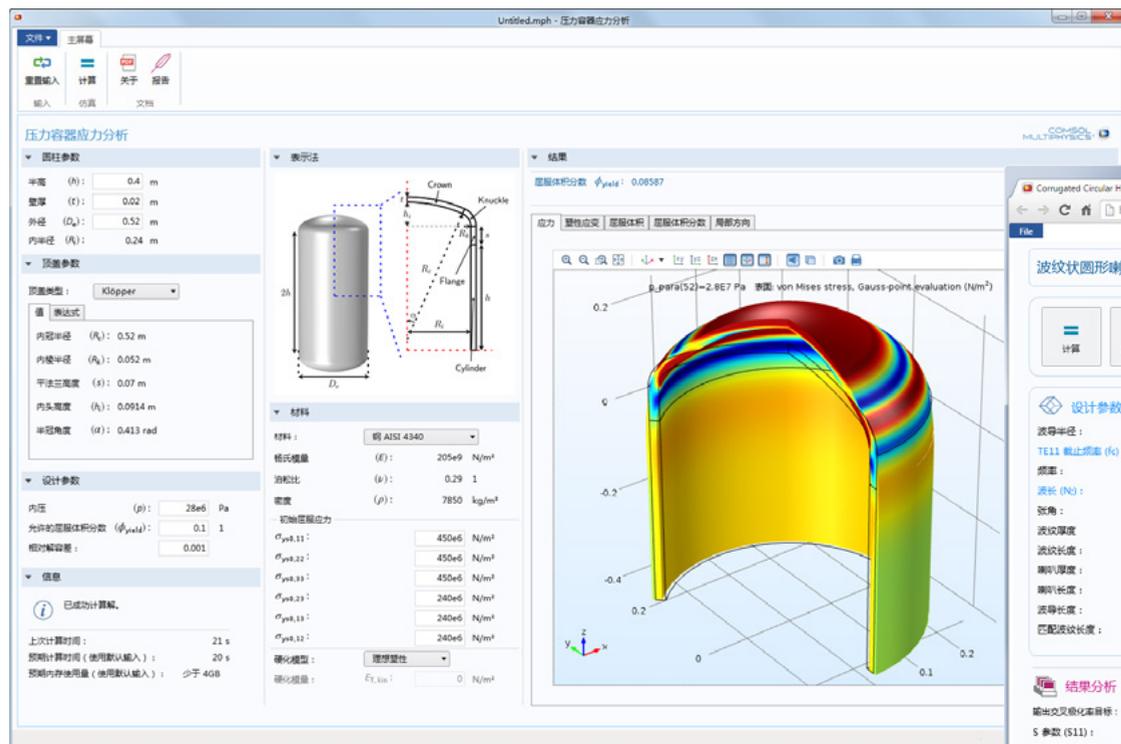
利用 App 开发器创建的仿真 App 可通过用户本地安装的 COMSOL Server™ 在组织或世界范围内访问与使用。

“创建 COMSOL 模型之后, 您可以轻松地使用 App 开发器将其转换为仿真 App, 并通过 COMSOL Server™ 进行分发, 很多 Wolfspeed 的工程师都从中获益。”

Brice McPherson, Wolfspeed, 美国阿肯色州费耶特维尔。

案例库中的 App 示例

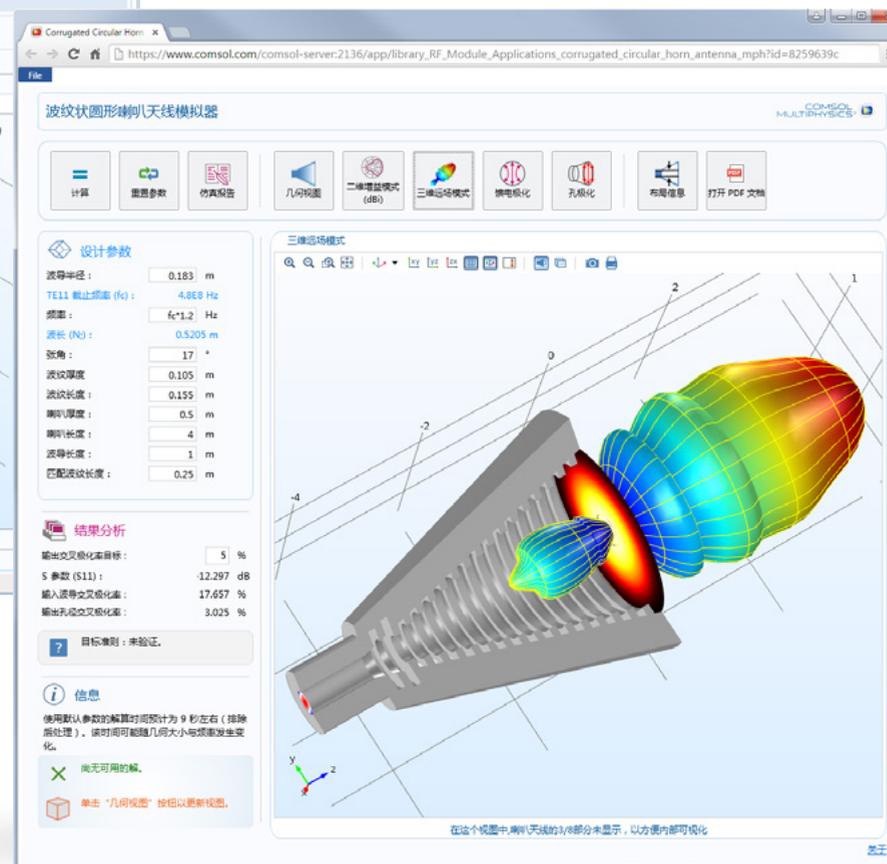
使用 Windows® 版 COMSOL Client 连接 COMSOL Server™ 运行 App



压力容器应力分析

仿真 App 分析了给定几何的压力容器能否在不超过材料屈服体积分数的情况下维持内压。用户可通过更改几何参数与材料属性来分析容器的各种设计。

通过网页浏览器连接 COMSOL Server™ 运行 App



波纹状圆形喇叭天线

App 用户可以通过修改波纹状圆形喇叭天线的几何来优化天线在工作频率的辐射特征及孔径交叉极化比。

COMSOL Server™

用户可通过 COMSOL Server™ 软件运行 COSMOL App，管理其部署、分发和使用。使用 COMSOL Multiphysics® 及 App 开发器创建仿真 App 之后，您将能通过 COMSOL Server 这种解决方案，经济而有效地在组织内外全球范围管理 App 的使用。

COMSOL Server™ 可以安装在公司网络或云中，方便设计部门、产品部门和其他部门的用户访问和使用 App。仿真 App 可以通过 Windows® 版的 COMSOL Client 或各主流网页浏览器运行，例如 Google Chrome™、Firefox®、Internet Explorer® 和 Safari®。

COMSOL Server 支持随时面向所有用户实时更新仿真 App。新版本的仿真 App 上传后，用户将能即时访问最新版的 App。

案例库

上传 App，显示可供运行的 App 列表。

监视器

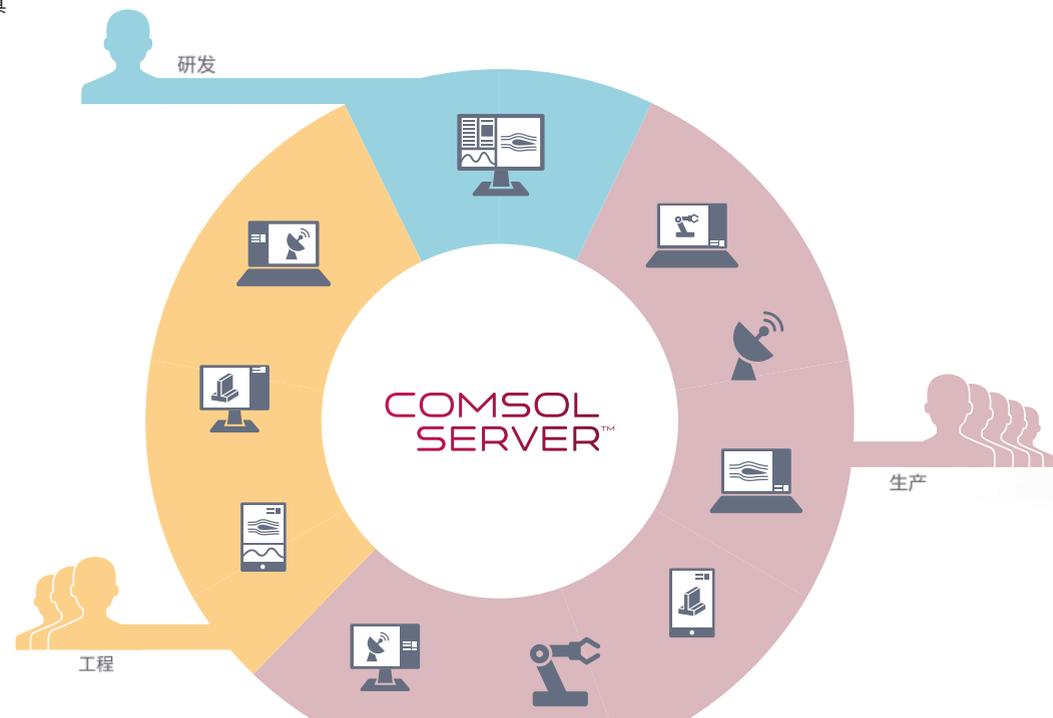
获取启动与运行时间、CPU 和内存用量，以及正在运行的 App 会话等相关信息。

用户数据库

在服务器数据库管理用户和组。

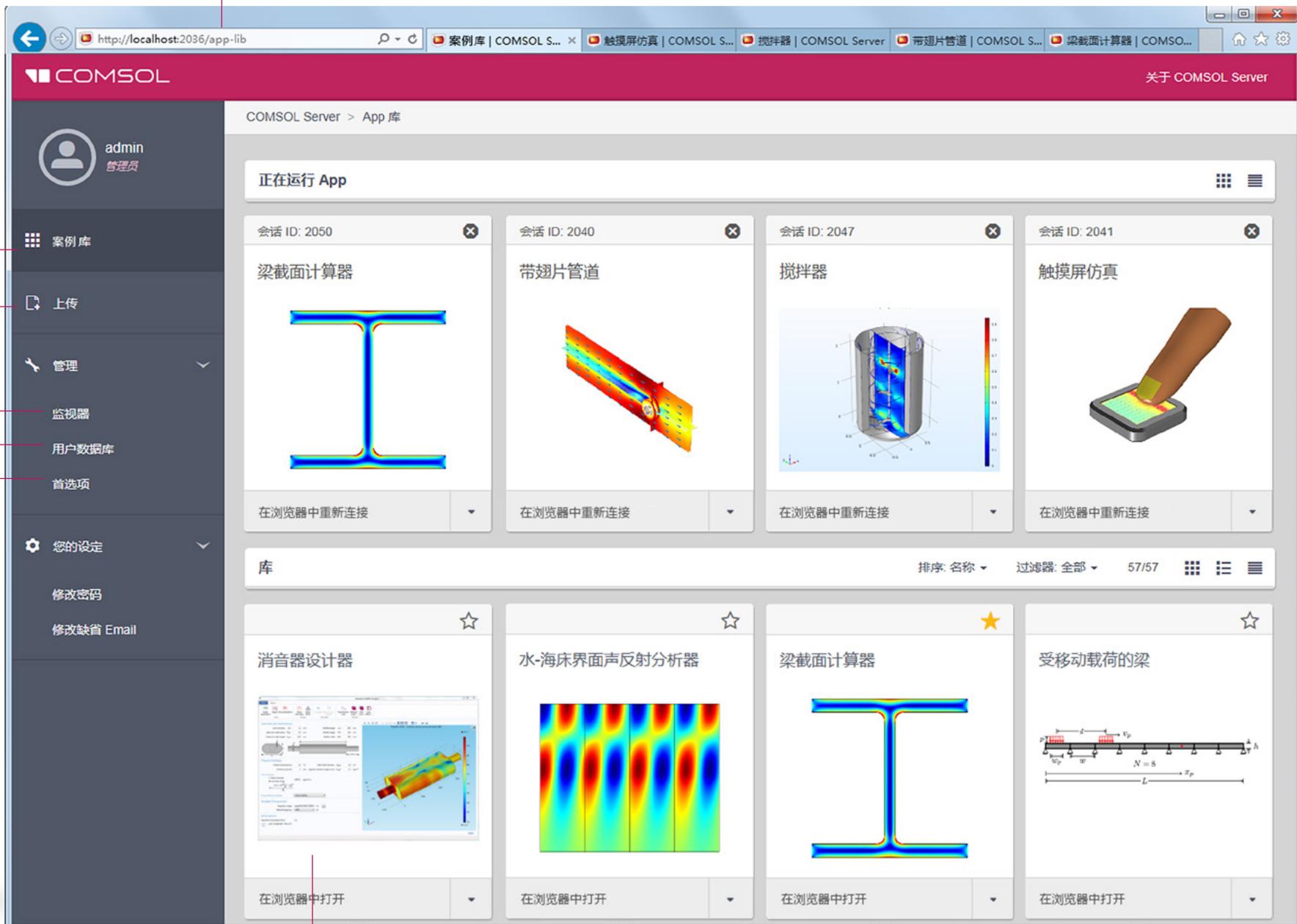
首选项

访问服务器的管理首选项和设置，例如语言、文件夹、图像渲染、安全、会话以及多核处理。



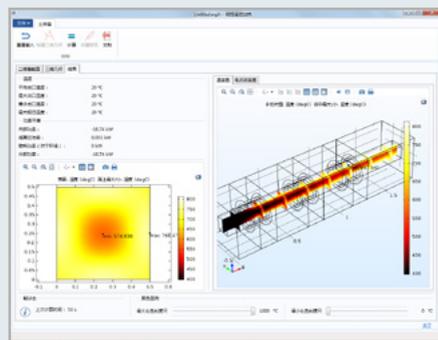
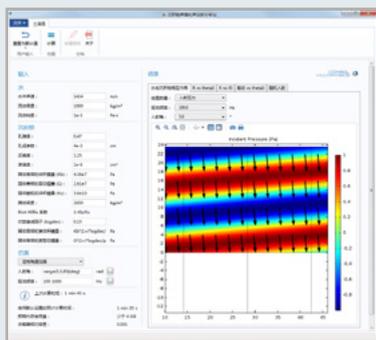
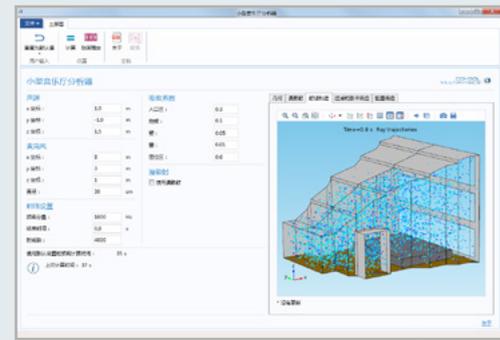
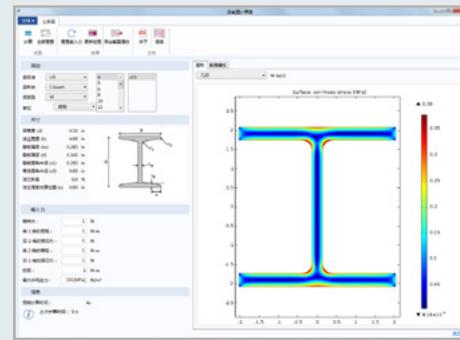
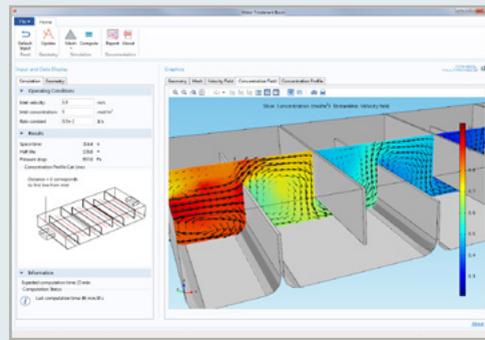
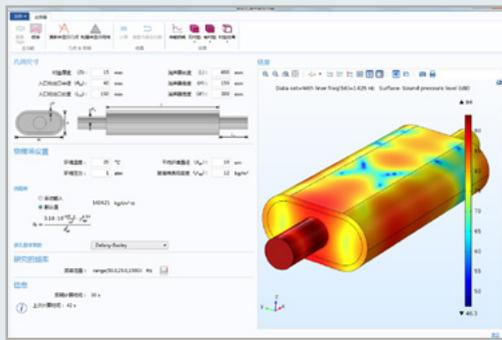
正在运行的 App

用户可以在新的选项卡及窗口中运行 App。在本示例中,用户通过网页浏览器连接至在本地安装的 COMSOL Server™,同时运行了 4 个 仿真 App。

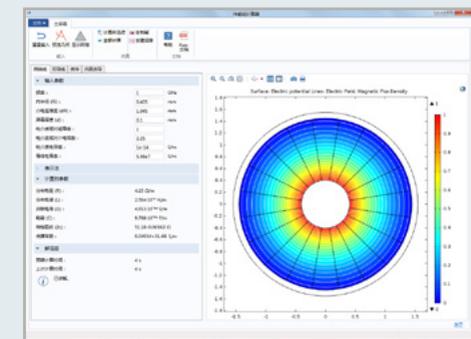
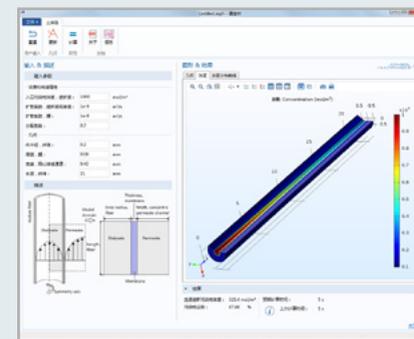
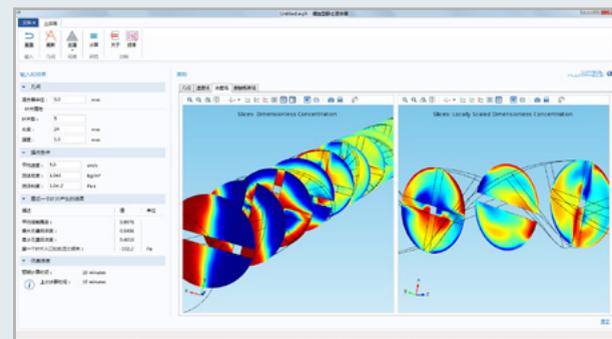
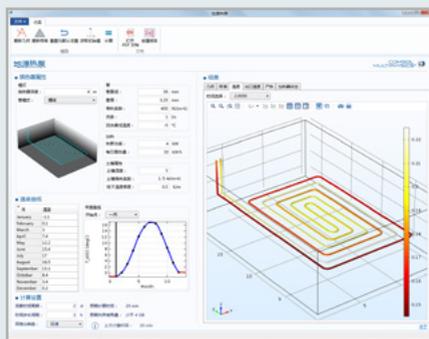
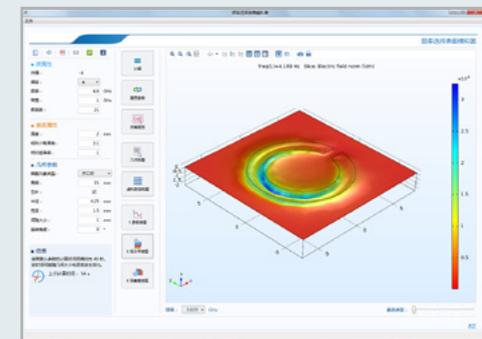
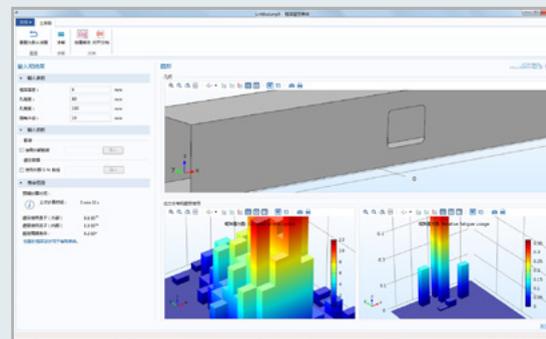
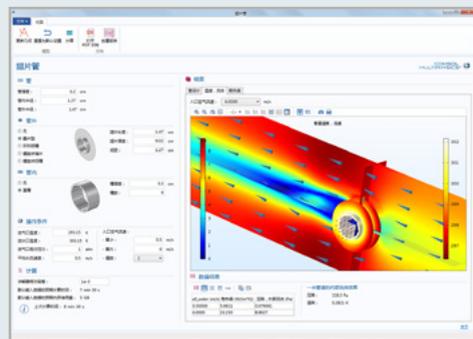
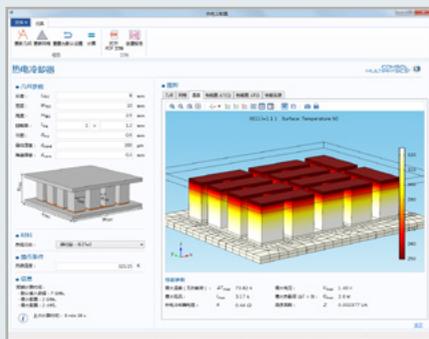
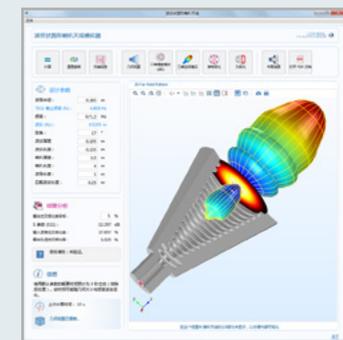
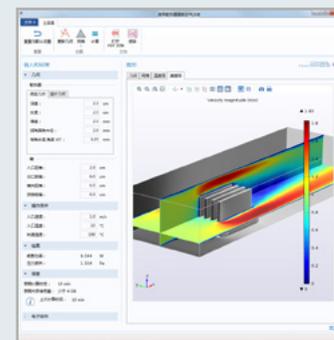


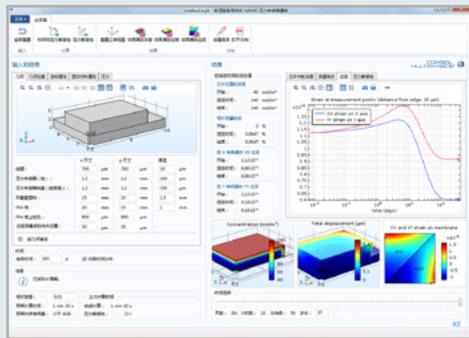
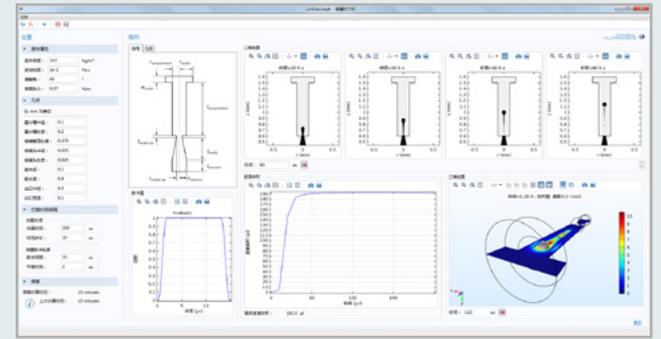
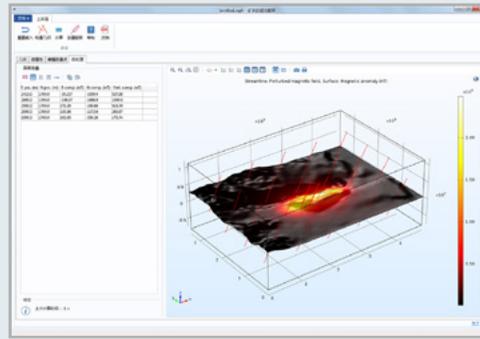
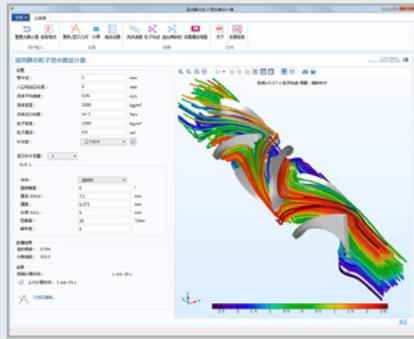
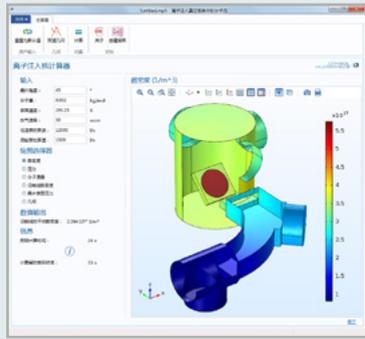
App 卡片

编辑和显示常用信息,收藏和启动 App。

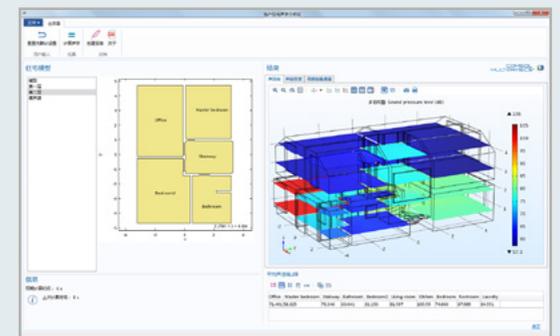
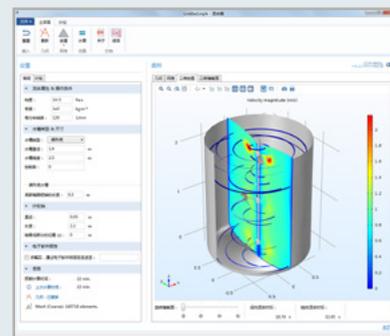
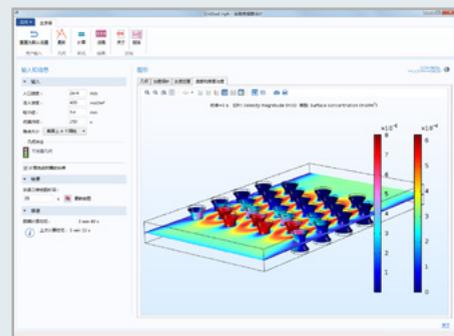
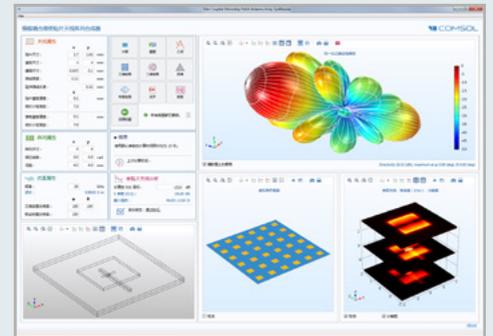
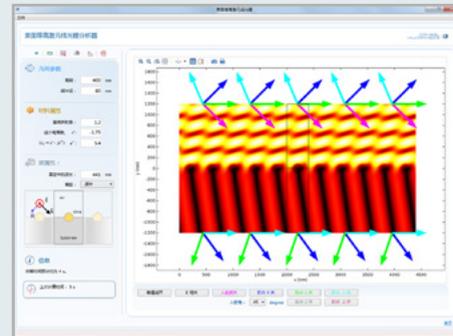
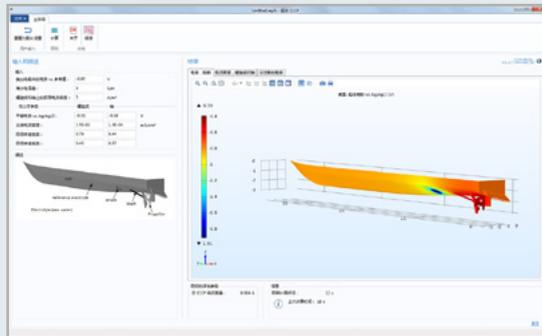
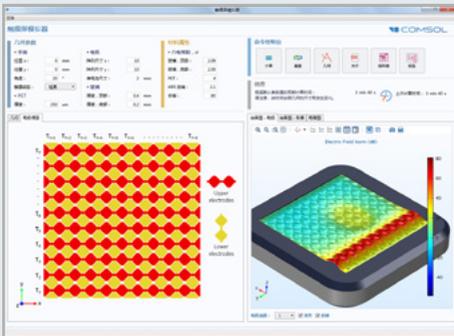
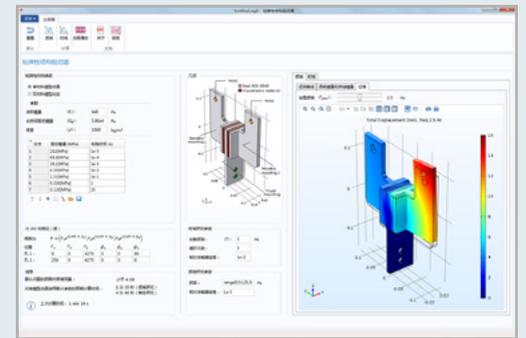
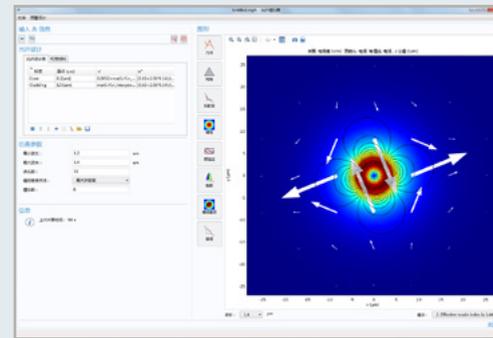


从模型 到仿真App





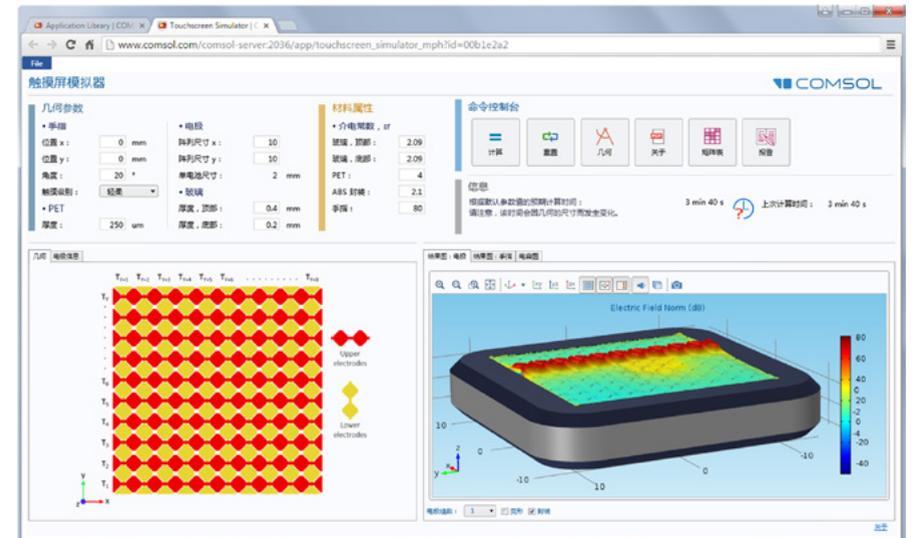
人人可用的 多物理场仿真



AC/DC 模块

AC/DC 模块主要用于模拟电容器、电感器、电机以及微传感器等器件的性能。虽然这些器件的主要工作原理是电磁效应，但它们也常常受其他物理效应的影响。例如，热效应会改变材料的电气属性；设计电机时，也应充分考虑设备中机电形变和振动的影响。

AC/DC 模块的功能涵盖静电、静磁和准静态电磁模拟，支持访问所有的派生场量，以及与其他物理场的自由耦合。当需要将电子器件作为电气系统中的一个组件来考虑时，AC/DC 模块提供了包含一系列 SPICE 电路元件的电路分析接口，支持进一步的电路模拟。通过这种超越常规的做法，您可以将集总分析与高精度的器件模拟耦合在同一个仿真分析中。



电容触摸屏模拟器

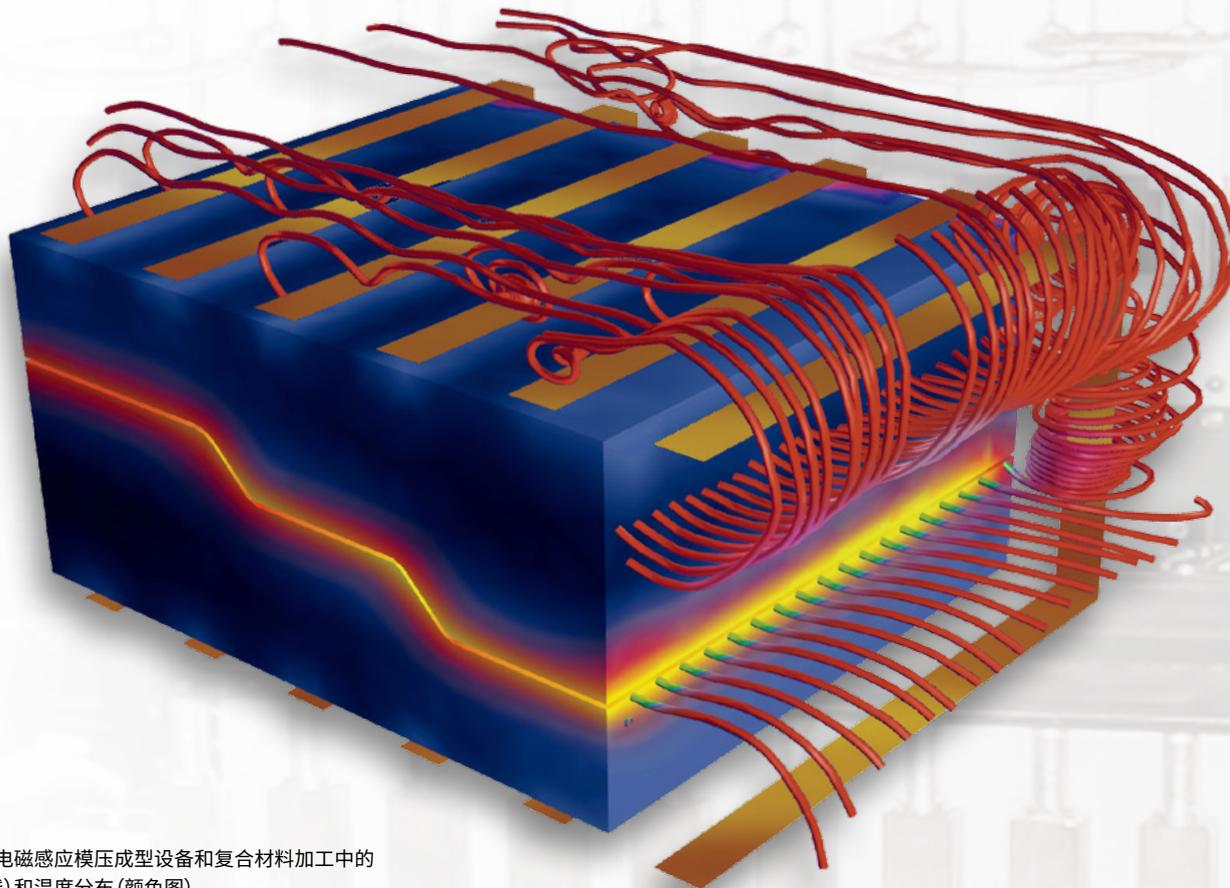
基于触摸屏模型开发的专业仿真 App。用户可以控制手指触碰屏幕时的位置和方向，并计算电容矩阵。

亮点

- 直流/交流电流和电场分布
- 生物热
- 线圈和螺线管
- 耦合 SPICE 电路和电磁场仿真
- 接触电阻
- EMC 和 EMI
- 电磁力和扭矩
- 电磁屏蔽
- 机电变形
- 霍尔传感器
- 绝缘子、电容和介电材料
- 电机、发电机和其他电气机械设备
- 非线性材料
- 寄生电容和电感
- 永磁体和电磁体
- 多孔材料
- 电阻和感应加热
- 传感器
- 超导体
- 变压器和电感器

App 示例

- 钢坯感应加热
- 等效非线性磁曲线计算器
- 矿藏磁法勘探
- 触摸屏模拟器



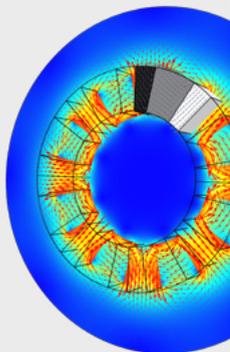
感应加热

模型显示了电磁感应模压成型设备和复合材料加工中的磁通量(流线)和温度分布(颜色图)。

模型及图片由 RocTool 公司(位于法国滨湖勒布尔歌)的 José Feigenblum 提供。

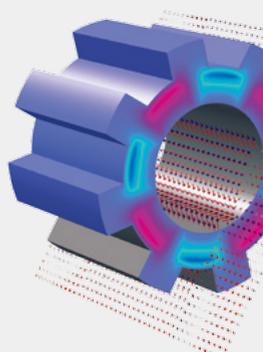
HALBACH 转子

对 16 段、4 极对 Halbach 转子的仿真。结果显示了磁通密度的分布。



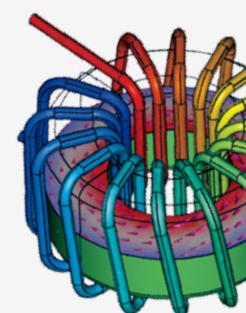
电力工程

发电机的稳态三维仿真, 转子由退火中碳钢制成, 这是一种非线性铁磁体材料, 将在很高的磁通密度下达到饱和。图为发电机内部和周围的磁场。



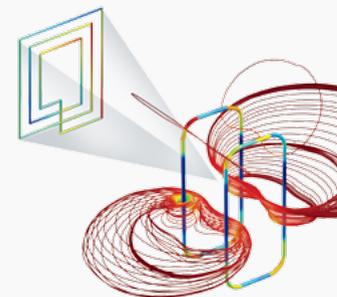
电磁感应器

电感器模拟, 器件包含铁芯及其上缠绕的导线, 模型计算了设备的电感。外加电压产生电流, 电流感应出磁场。图为磁通密度分布。



RFID 标签

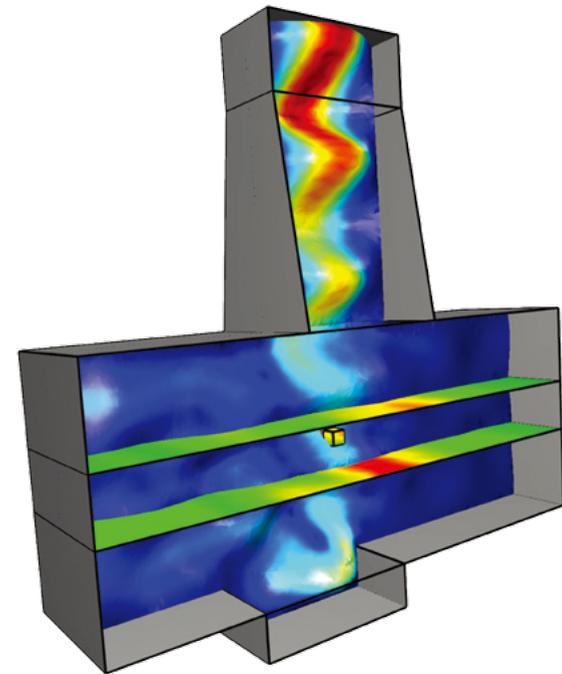
射频标签 (RFID) 中包含带有 PCB 天线的标签或接收器, 以及一个读卡器天线(右)。这将产生电磁场, 并激发标签中的 IC 电路。图为磁通密度分布。



RF 模块

在 RF 和微波领域的仿真中,需要模拟电磁波在结构内以及结构周围的传播,这些结构可能由金属、介电、旋磁、甚至具有工程属性的超材料构成。RF 模块为您提供了解决这些挑战的工具,其中包括端口和散射边界条件、含复数值且可随空间变化的各向异性材料模型、完美匹配层以及一系列性能优秀的求解器,帮助您轻松模拟天线、波导以及微波组件等。

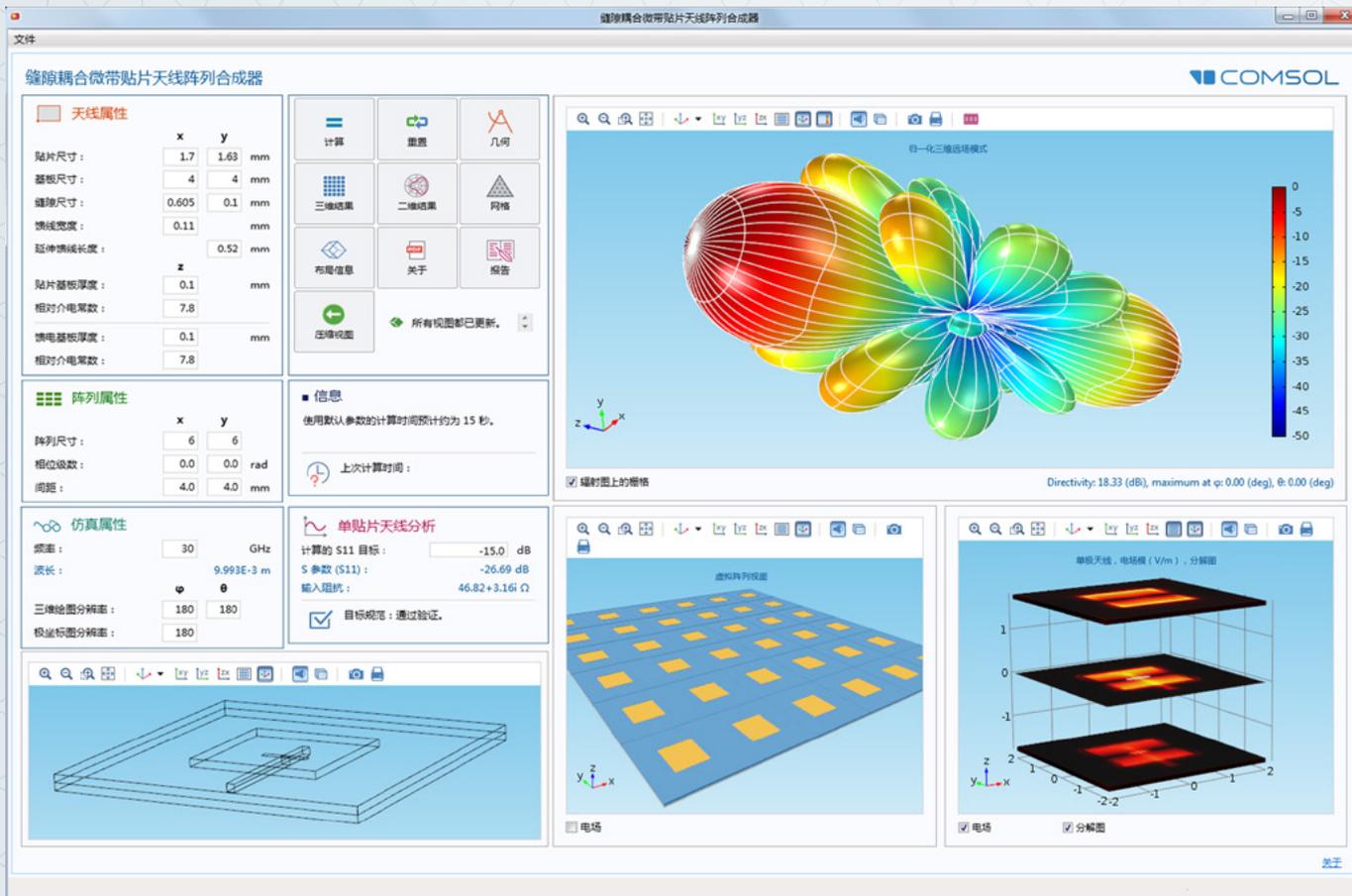
RF 模块支持 S 参数计算和远场分析,借助于 COMSOL Multiphysics® 卓越的多物理场建模功能,它还可轻松地与其他物理场耦合,分析诸如电磁波加热、应力和变形等效应,为您提供了解决电磁波仿真领域领先的多物理场解决方案。



微波选矿

通过施加微波辐射,原矿中的矿物颗粒被有选择地加热,产生局部热膨胀,并释放出矿物颗粒。该工艺过程的能耗远低于传统粉碎和分离原矿法。模型求解了分矿器内的微波腔,体积为几个立方米,微波腔内包裹的矿物颗粒被加热,而这些微粒的尺寸只有数十微米。

模型由英国 e2v 公司(位于切姆斯福德)的 Jan Przybyla 提供。



缝隙耦合微带贴片天线阵列合成器

App 模拟了一个在多层低温共烧陶瓷 (LTCC) 基片上制作的单缝耦合微带贴片天线。用户可以控制诸如单片天线的属性和阵列几何等输入, 得到天线阵列的远场辐射模式和方向性等结果。

亮点

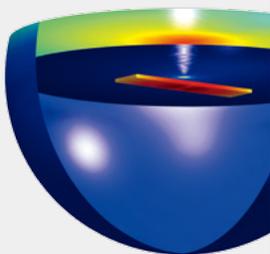
- 天线、波导和腔体
- Bloch-Floquet 周期性阵列和结构
- 环形器和定向耦合器
- 高速互连线
- 超材料
- 微波和射频加热
- 微波设备
- 微波烧结
- 石油勘探和可控源电磁 (CSEM) 勘探
- 表面等离子激元
- 多孔材料
- 谐振线圈设计
- 射频和微波生物热
- RCS 散射场方程和散射问题
- 天线的 S 参数分析
- 天线和波导的热-结构效应
- 传输线

App 示例

- 波纹状圆形喇叭天线
- 频率选择表面模拟器
- 微带贴片天线阵列合成器
- 表面等离子激元线光栅

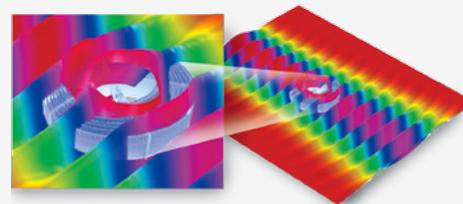
石油勘探

CSEM 方法在石油勘探中的应用日益广泛。模型中, 一个水平的 1 Hz 电偶极天线被拖曳到距海平面 150 米的高度, 其中的接收器负责测量由源和高阻油藏反射或导向的传输能量产生的电场。



材料科学

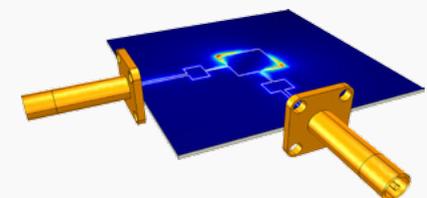
电磁超材料的空间解析度小于电磁波长, 因此会在一个窄波段产生“隐形”效果。模型中, 位于结构中心处的物体相对微波辐射就是隐形的。

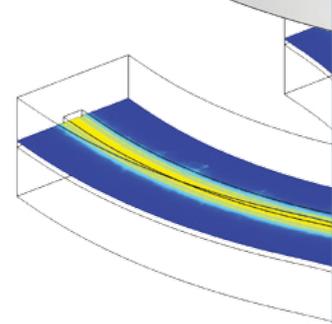


模型由美国杜克大学 (位于北卡罗莱那州达勒姆市) 的 Cummer 和 Schurig 提供。

天线

两个同轴电缆协同工作, 为贴片天线提供一个平衡的馈给。模型通过计算天线效率找出了最佳的工作频率, 即 6.3 GHz。

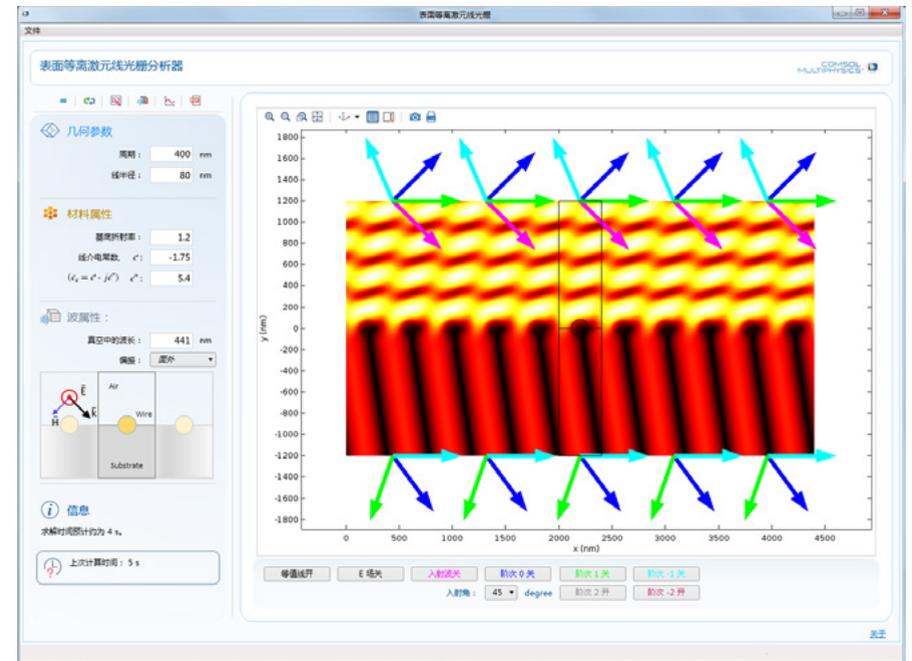




波动光学模块

波动光学模块是分析电磁波在线性和非线性光学介质中传播的专业工具,可实现精确的器件仿真和设计优化。它采用了创新的电磁全波传播波束包络方法,打破了依赖于直接离散 Maxwell 方程组的传统近似法的局限,支持精确模拟几何尺寸远大于波长、且不适合采用光线近似的大型光学系统。模块还提供了一系列基于传统电磁全波传播方法的仿真功能。

波动光学模块支持使用具有各向异性的折射率、介电常数或渗透率张量,因此能够模拟诸如旋磁材料或具有工程特性的超材料等光学介质。在波动光学模块中可以进行二维和三维形式的特征频率模式分析、频域以及时域电磁场仿真。



表面等离子激元线光栅分析器

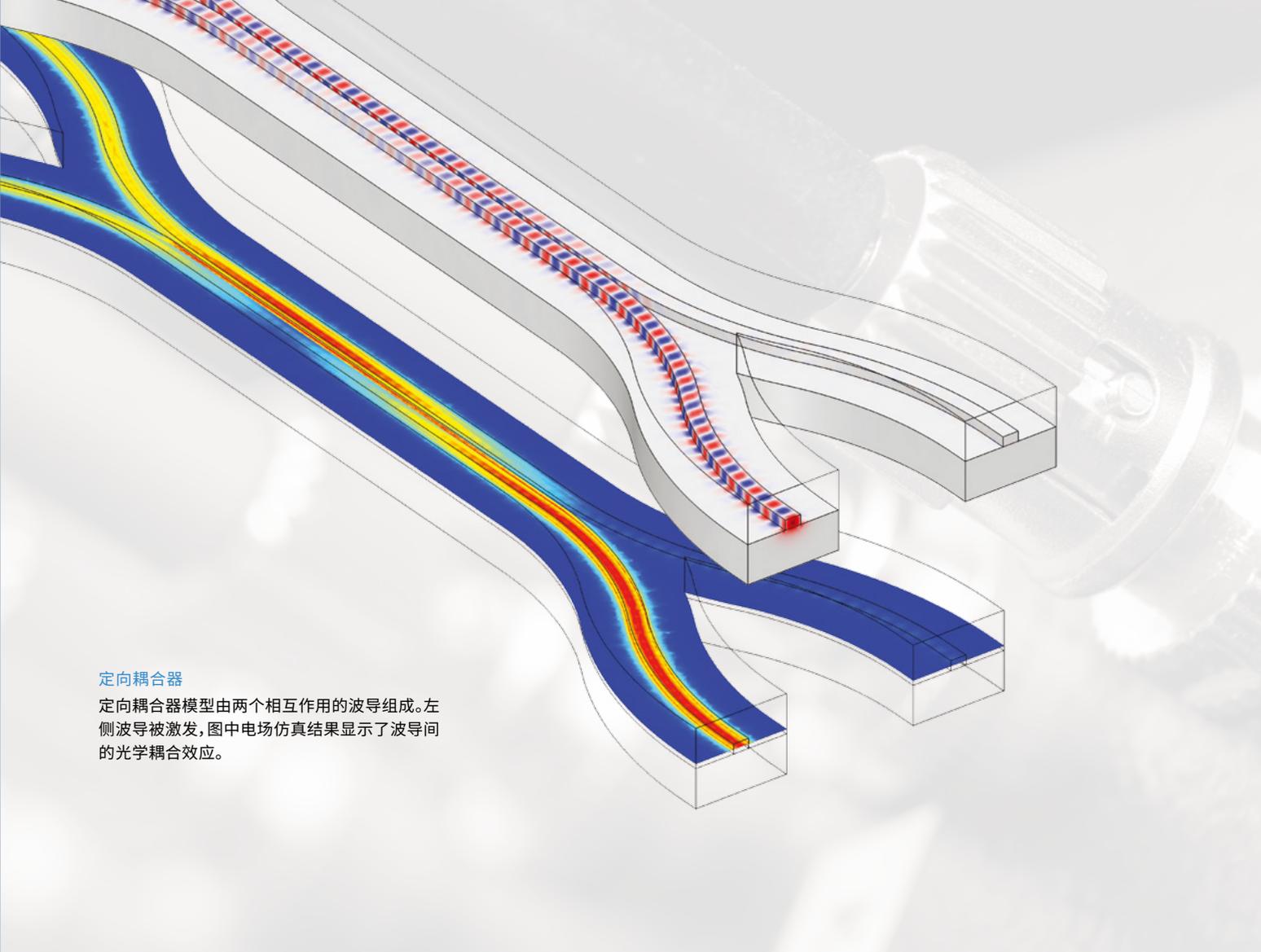
App 用户可以生成一份包含给定入射角下的电场模、反射率和透射率的结果报告。底层模型计算了与电介质基材上的线光栅发生相互作用的反射波和透射波的衍射效率。

亮点

- 耦合器
- 光纤布拉格光栅
- 光纤
- 谐波发生和混频
- 集成光学
- 激光和放大器
- 激光加热
- 超材料
- 非线性光学
- 光学制版
- 光散射
- 光学传感器
- 光电子学
- 光子晶体光纤
- 光子元件
- 棒、板和盘状激光器设计
- 纳米颗粒散射
- 半导体激光
- 表面散射
- 应力-光效应
- 波导

App 示例

- 光纤模拟器
- 表面等离子元线光栅
- 偏振光束分光器

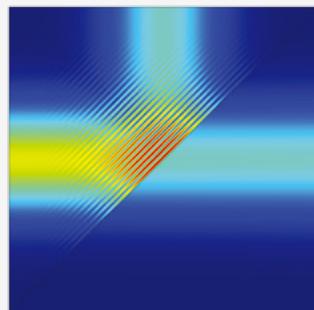


定向耦合器

定向耦合器模型由两个相互作用的波导组成。左侧波导被激发，图中电场仿真结果显示了波导间的光学耦合效应。

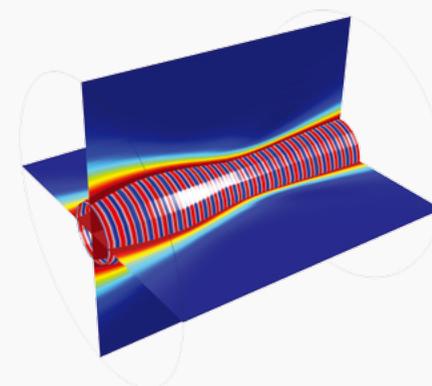
分光器

分光器可将一束光分裂成两束。制作分光器的方法之一是在两个玻璃棱镜之间镀上一层薄金属层。光束在该金属层中发生轻微衰减，并分裂为两个传播路径。模型利用过渡边界条件模拟该薄金属层，降低了内存需求，还计算了金属层中的损耗。



自聚焦

一束高斯光束入射到 BK-7 光学玻璃，这是一种折射率会随光强改变的玻璃材料。光束中央的折射率最大，由此产生的折射率曲线抵消了衍射效应，并产生了光聚焦效果。自聚焦是设计高能激光系统的重要环节。

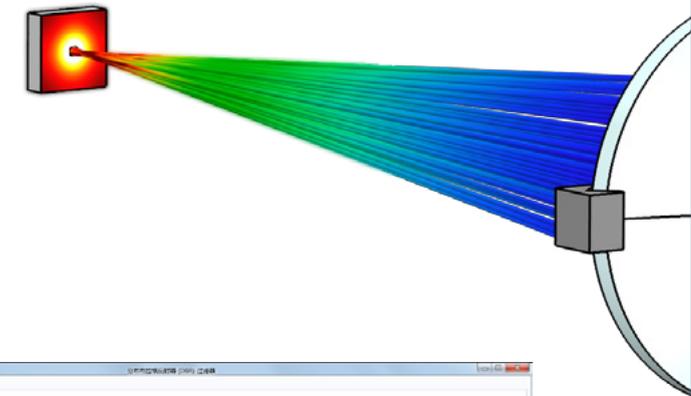


射线光学模块

在波长远小于模型中最小几何尺寸的系统,可使用射线光学模块模拟电磁波的传播,通常可以将电磁波看作是在均匀或渐变介质中传输的射线。由于无需在有限元网格中解析波长,因此可以在较低的计算成本下计算较长距离中的射线轨迹。

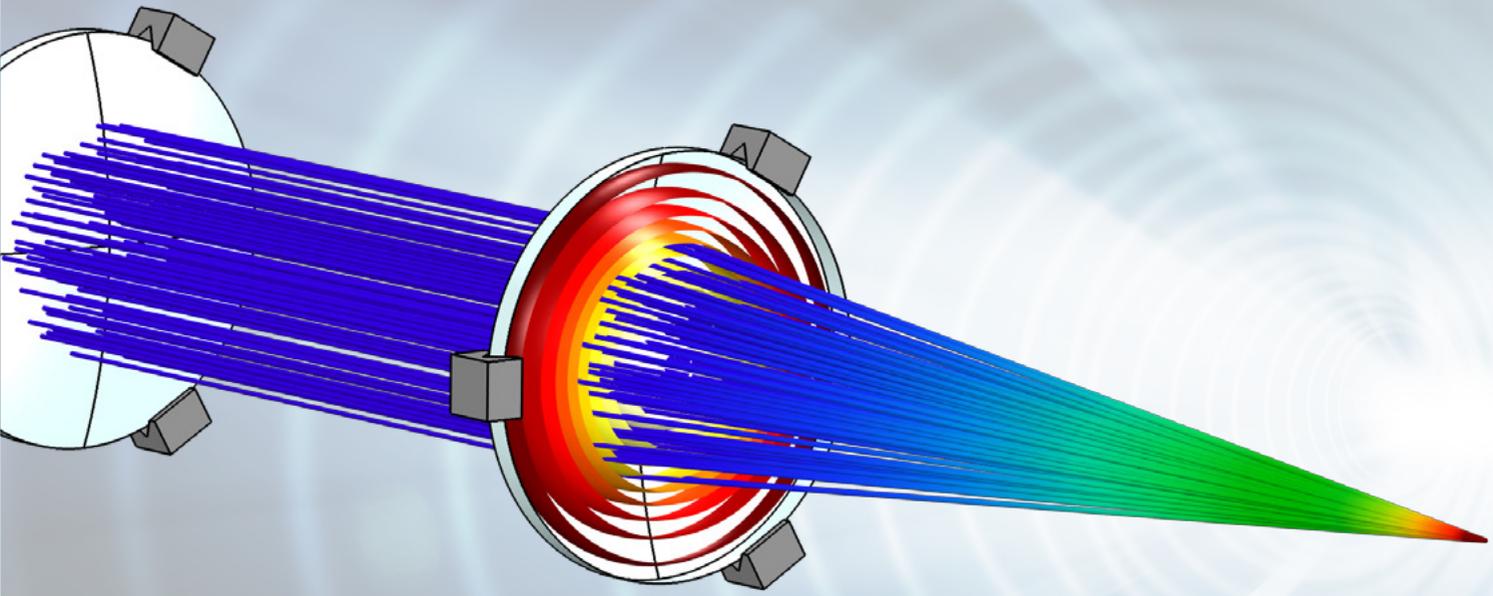
射线会在不同介质分界面上产生反射和折射。射线光学模块内置了各种边界条件,其中包括镜面和漫反射组合。模块支持在域内、边界处或均匀格点处释放射线;并提供了专业的释放特征,支持模拟太阳辐射以及由照射面的反射或折射带来的光线发射。

射线光学模块包含专用的后处理工具,为您提供了多种分析光线轨迹、计算多条光线上的表达式以及可视化干涉图的方法。此外,模块还内置了一系列专业的物理场接口设定,例如可添加额外的变量,基于 Stokes 参数计算光强,并支持对偏振、部分相干或非偏振辐射的模拟。



分布式布拉格反射器滤波器

此 App 通过 COMSOL Multiphysics 中的 App 开发器创建,应用程序基于两个分布式布拉格发射器之间的腔体三明治结构,研究光学陷波滤波器的反射率。



热致焦距偏移

高能工业光纤激光系统模型。用户可以分析透镜中产生的热，热会诱发热变形和材料折射率的变化，进而改变光的轨迹。

亮点

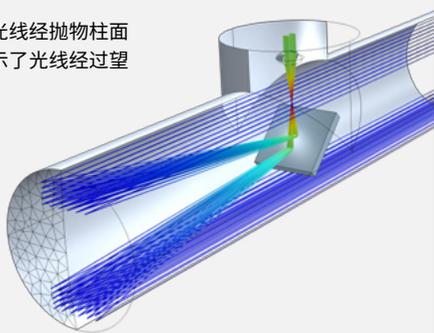
- 吸收介质
- 抗反射涂层
- 照相机
- 焦散面可视化
- 强吸收介质的修正
- 介电膜
- 衍射光栅
- 干涉仪
- 强度计算
- 朗伯反射和镜面反射
- 激光
- 透镜系统
- 单色器
- Mueller 矩阵
- 光路长度计算
- 偏光镜和波延迟器
- 多色光
- 渐变介质中的射线追踪
- 射线加热的自治模拟
- 太阳能收集
- 斑点图
- Stokes 参数
- 热透镜
- 非偏振和部分偏振辐射

App 示例

- 分布式布拉格反射器滤波器

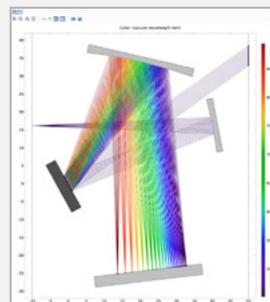
牛顿望远镜

牛顿望远镜的模拟，其中光线经抛物柱面镜和平面镜反射。结果显示了光线经过望远镜和焦平面时的轨迹。



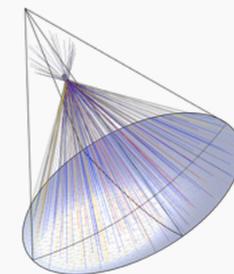
CZERNY-TURNER 单色器

Czerny-Turner 单色器用于将多色光分解为单色光。仿真结果显示了不同波长下的射线轨迹，并量化了器件的解析度。



碟形太阳能接收器

抛物面形的碟形太阳能接收器通过收集太阳辐射发电。仿真结果追踪了经碟面反射后的光线轨迹及光线在热接收器上的聚焦。



等离子体模块

低温等离子体是多种物理现象的耦合,其中包含流体力学、反应工程、物理动力学、传热、传质以及电磁学。等离子体模块包含专业化的工具,可模拟诸多工程领域发生的平衡和非平衡放电现象。模块针对最常见的等离子体反应器类型预置了专业的模拟接口,包括电感耦合等离子体(ICP)、直流放电、波动加热放电(微波等离子体)以及电容耦合等离子体(CCP)等。

要全面理解放电特征,对等离子体与外接电路之间相互作用的模拟非常重要。等离子体模块提供了直接向模型中添加电路元件或导入现有 SPICE 网表文件的工具。您可以通过从文件中导入一组碰撞截面,或向模型开发者中增加反应和物质来描述等离子体化学。物理场接口会自动处理构成等离子体的不同物理场之间的复杂耦合关系。可以说,等离子体模块是专门为等离子体科学领域的研究人员、工程师和实验人员而设计的实用仿真工具。



亮点

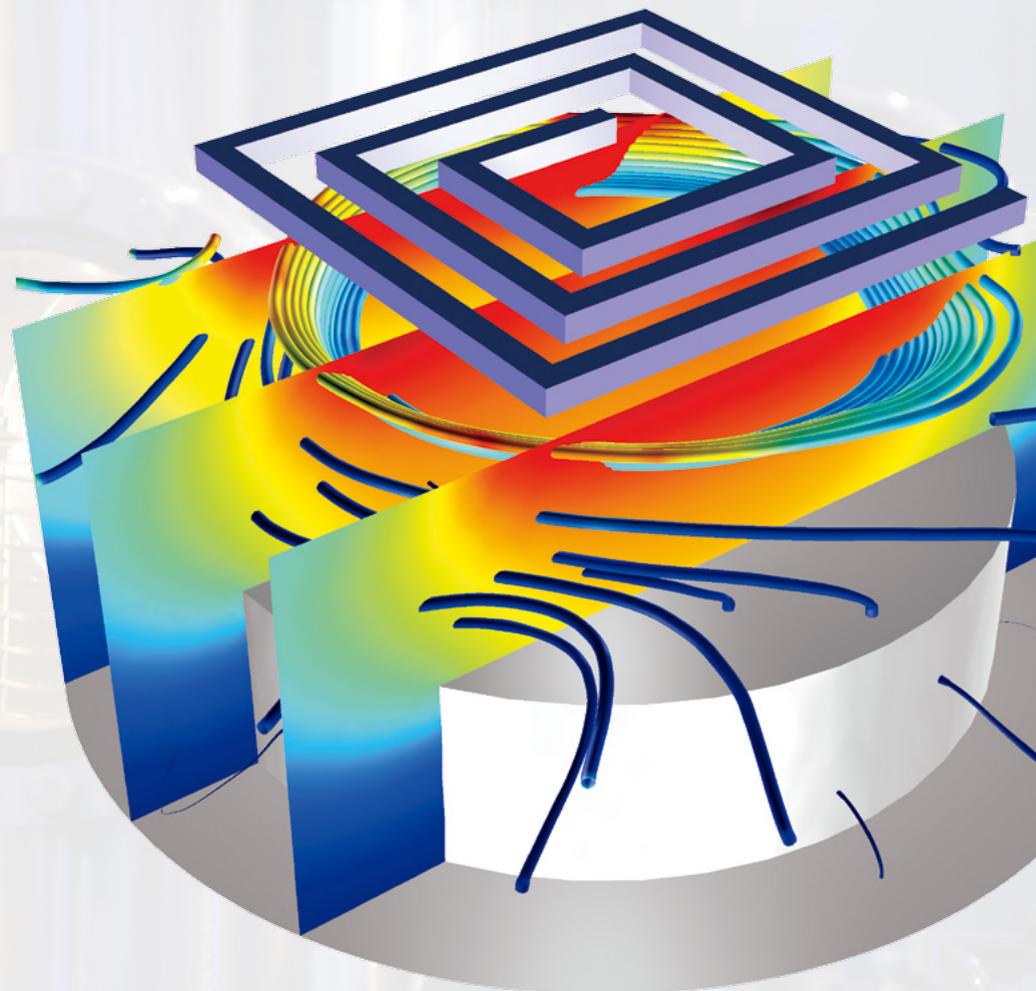
- 容性耦合等离子体 (CCP)
- CVD 和 PECVD
- 直流放电
- 介质阻挡放电
- ECR 源
- 刻蚀
- 有害气体处理
- ICP 炬*
- 感应耦合等离子体 (ICP)*
- 离子源
- 材料加工
- 微波等离子体**
- 臭氧生成
- 等离子体化学
- 等离子体显示面板
- 等离子体源
- 电力系统
- 半导体加工
- 推进器

* 与 AC/DC 模块结合使用

** 与 RF 模块结合使用

App 示例

- 容性耦合等离子体

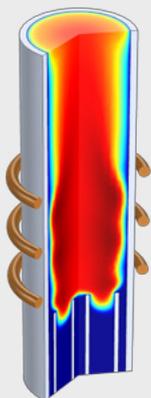


非对称三维 ICP 反应器模型

绘图显示了 ICP 反应器中的平均电能(切面)和电流密度(流线)。

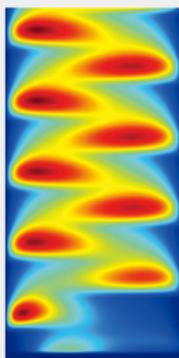
ICP 炬

大气压下的电感耦合等离子体 (ICP) 炬模型, 仿真结果显示了 ICP 炬中的电和热特征。



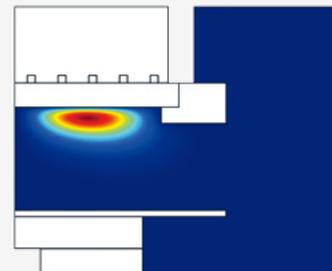
介质阻挡放电

激发态的氩原子会自发地跃迁回基态, 释放出一个紫外光谱波段的光子。右图显示了介质阻挡放电过程中激发态氩原子的浓度。



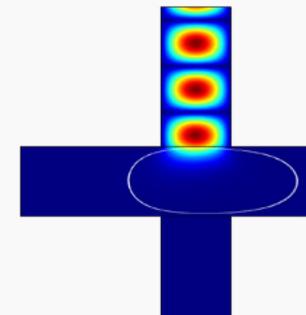
电感耦合等离子体

绘图显示了氩化学 GEC 电感耦合等离子体反应器中的功率沉积。由于集肤效应, 功率朝向反应器的顶部形成沉积鞘层。



TE 模式微波放电

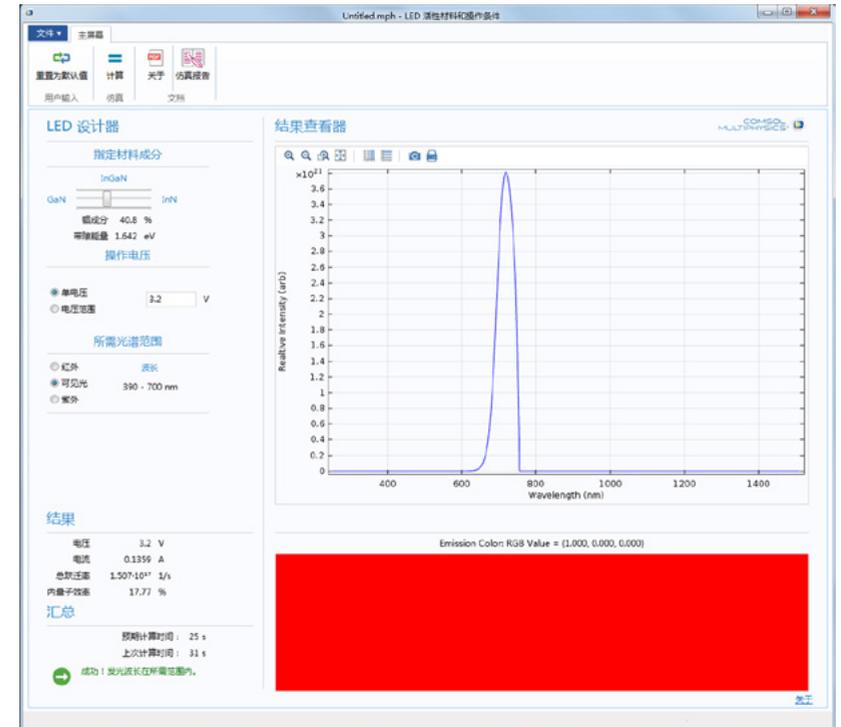
表面颜色图显示了高频电场的幅值, 它从波导向下传播, 进入等离子体。等值线表示电子密度等于临界等离子体密度的位置。



半导体模块

半导体模块可以帮助用户从基本原理层面对半导体设备进行详细分析。模块基于等温和非等温传递模型的漂移-扩散方程, 用户可借助功能强大且操作简单的物理场接口轻松设定掺杂分布, 指定物理场和边界条件。

模块提供了半导体和绝缘材料模型, 支持一系列的重组机制, 其中包含对域阱的详细模拟; 同时还提供了多个迁移率模型, 这些预定义模型可以相互耦合, 甚至支持与用户定义的迁移率模型进行耦合。光跃迁可单独模拟, 或与针对电磁波传播的波动光学仿真相耦合。模块支持模拟诸如电致发光、光吸收、自发和受激发射, 以及光生载流子等现象; 并提供了一系列的边界条件, 支持模拟金属接触(欧姆接触和 Schottky 接触)、栅极、表面阱以及 Fowler-Nordheim 隧穿。



LED 设计器

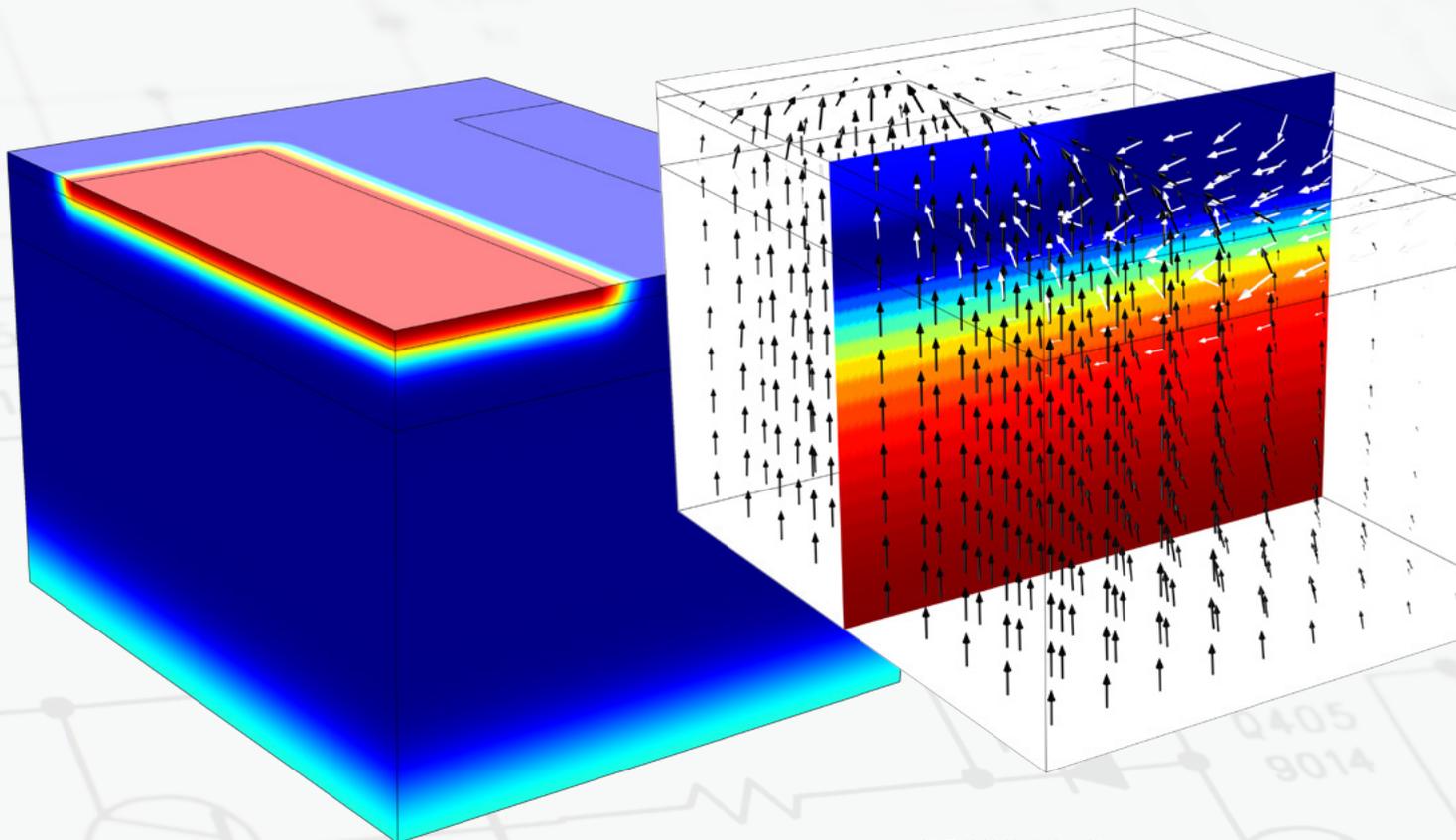
此仿真 App 通过 COMSOL Multiphysics 中的 App 开发器创建, 主要用于分析 LED 的发射光, App 用户可以修改半导体材料的成分并生成结果报告。研究结果包含电流、发射强度和内量子效率; 并使用 RGB 图显示 LED 发出的颜色。

亮点

- 双极晶体管
- 体激光器
- EEPROM
- LED
- 金属氧化物半导体场效应管 (MOSFET)
- 金属半导体场效应管 (MESFET)
- 光电二极管
- P-N 结
- 肖特基二极管
- 太阳能电池
- 表面和体阱
- 晶闸管

App 示例

- 硅太阳能电池和射线光学
- 波长可调的 LED

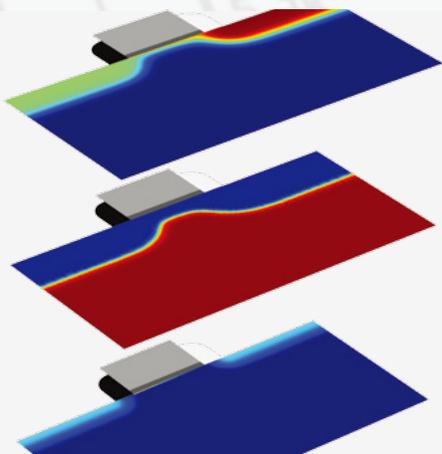


双极晶体管的三维分析

模型模拟了在共发射极态下工作的器件。

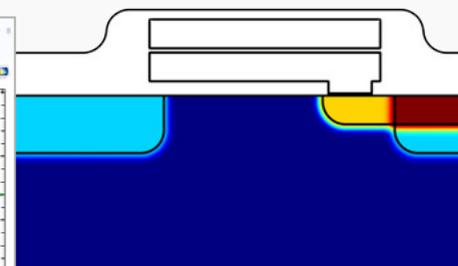
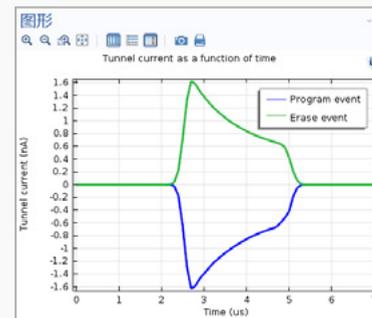
半导体设计

MOSFET 晶体管的二维模型。仿真结果显示了当施加栅极电压将器件变为开路状态时，晶体管的工作情况确定了饱和和漏电流。图中从上向下分别显示了电势、空穴密度和电子密度结果。



浮栅 EEPROM 器件的编程

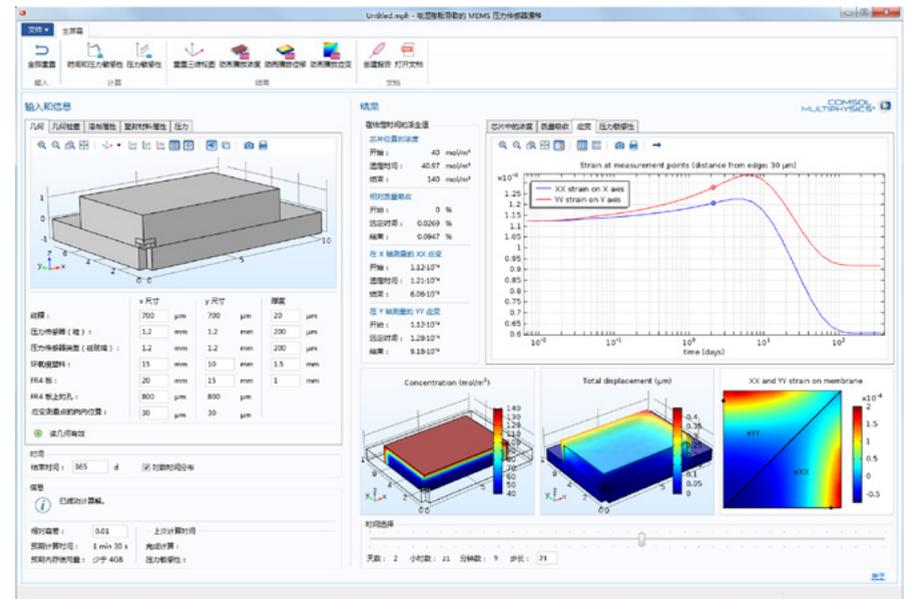
模型计算了浮栅电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM) 中的电流和电荷特征。图中以时间函数的形式显示了编程和擦除事件中的隧道电流和带符号掺杂剂的浓度。



MEMS 模块

微机电系统 (MEMS) 的设计和模拟是一个独特的工程领域。在很小的长度尺寸上设计传感器和执行器时, 必须考虑多个物理现象间的耦合效应。MEMS 模块包含用于电磁-结构、热-结构或流固耦合分析的物理场接口, 其中还可以引入一系列的阻尼现象: 薄膜气体阻尼、固体和压电材料的各向异性损耗因子、热弹性阻尼以及锚阻尼。此外, 模块还针对弹性振动和波提供了完美匹配层 (PML) 特征, 采用了先进的向外传播弹性能的吸收方法。

MEMS 模块包含一流的压电和压阻分析工具, 可用于模拟任何压电-弹性-介电材料复合结构。模块支持静态、瞬态以及全耦合的特征频率、参数化、准静态和频率响应分析。用户可以轻松地提取电容、阻抗、导纳等集总参数, 还可以将模型与电路相连接。可以通过电路接口手动定义电路, 或者直接从 SPICE 网表中导入电路。MEMS 模块与 COMSOL Multiphysics® 的核心功能配合, 可用于在微观尺度上对力学相关的任意现象进行虚拟分析。



MEMS 压力传感器由于吸湿膨胀产生的漂移

此仿真 App 用于计算 MEMS 压力传感器由于吸湿膨胀产生的压力测量值的漂移。App 用户可以控制传感器的几何设计、溶剂属性及环氧模塑化合物 (EMS) 的材料属性, 计算不同情况下的漂移。

压电谐振器

由压电驱动的单晶硅板状谐振器的特征模式。

模型及图片由芬兰VTTMicrotechnologies and Sensors/Mikroteknolgiat ja Anturit 公司的 A. Jaakkola 提供。

亮点

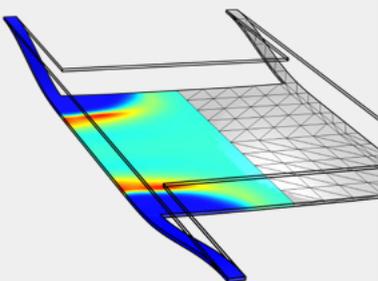
- 加速度计
- 执行器
- 锚阻尼
- 体声波 (BAW) 器件
- 悬臂梁
- 流固耦合 (FSI)
- 损耗系数
- MEMS 电容, MEMS 陀螺仪, MEMS 谐振, MEMS 热器件
- 压电器件
- 压阻器件
- RF MEMS 器件
- 传感器
- 机械接触和摩擦
- 表面声波 (SAW) 器件
- 热弹性阻尼
- 薄膜气体阻尼
- 用户定义材料模型

App 示例

- MEMS 压力传感器膨胀
- 微电阻梁

RF MEMS 开关的吸合分析

悬浮于介电层上的薄微型力学桥模型。结果显示了当器件受到牵引时的接触力和位移。



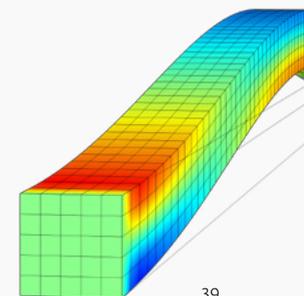
执行器和传感器

双臂执行器由热膨胀驱动, 在变形结果图中绘制了温度的分布。模型通过微悬臂梁的翘曲计算了血液凝固过程中相对粘弹性的变化。



MEMS 谐振器

模型分析了当材料受到循环应力时热弹性阻尼的上升。结果显示了当谐振器在 63.3 kHz 的特征频率下工作时, 横梁中的振型以及对应的温度分布。计算得到的品质因子为 10,700。

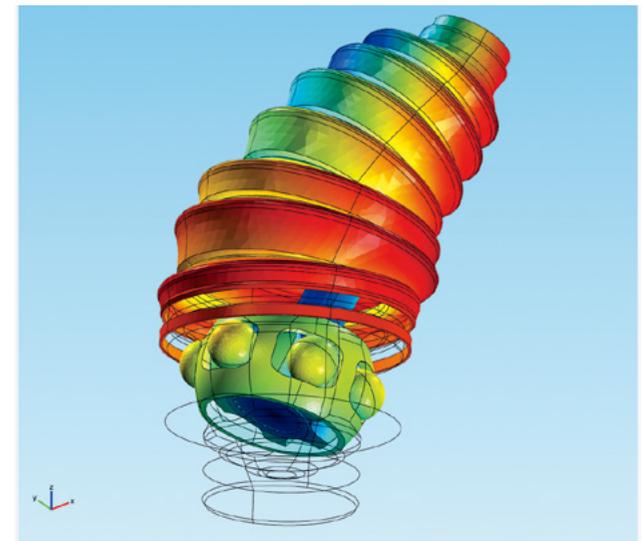


结构力学模块

结构力学模块可用于分析计算零件和子系统在载荷作用下产生的变形, 模块提供了用于模拟板、壳、膜、梁、桁架等分析的专业用户接口。

结构力学模块适用于多种分析类型, 包括静态、瞬态、特征模态、参数化、准静态、频率响应和屈曲分析。用户接口支持几何非线性分析和机械接触模拟。借助模块预定义的传热、声学、流体流动以及静电等多物理场耦合功能, 您能够轻松地模拟压电材料、流固耦合 (FSI) 以及热应变等应用。

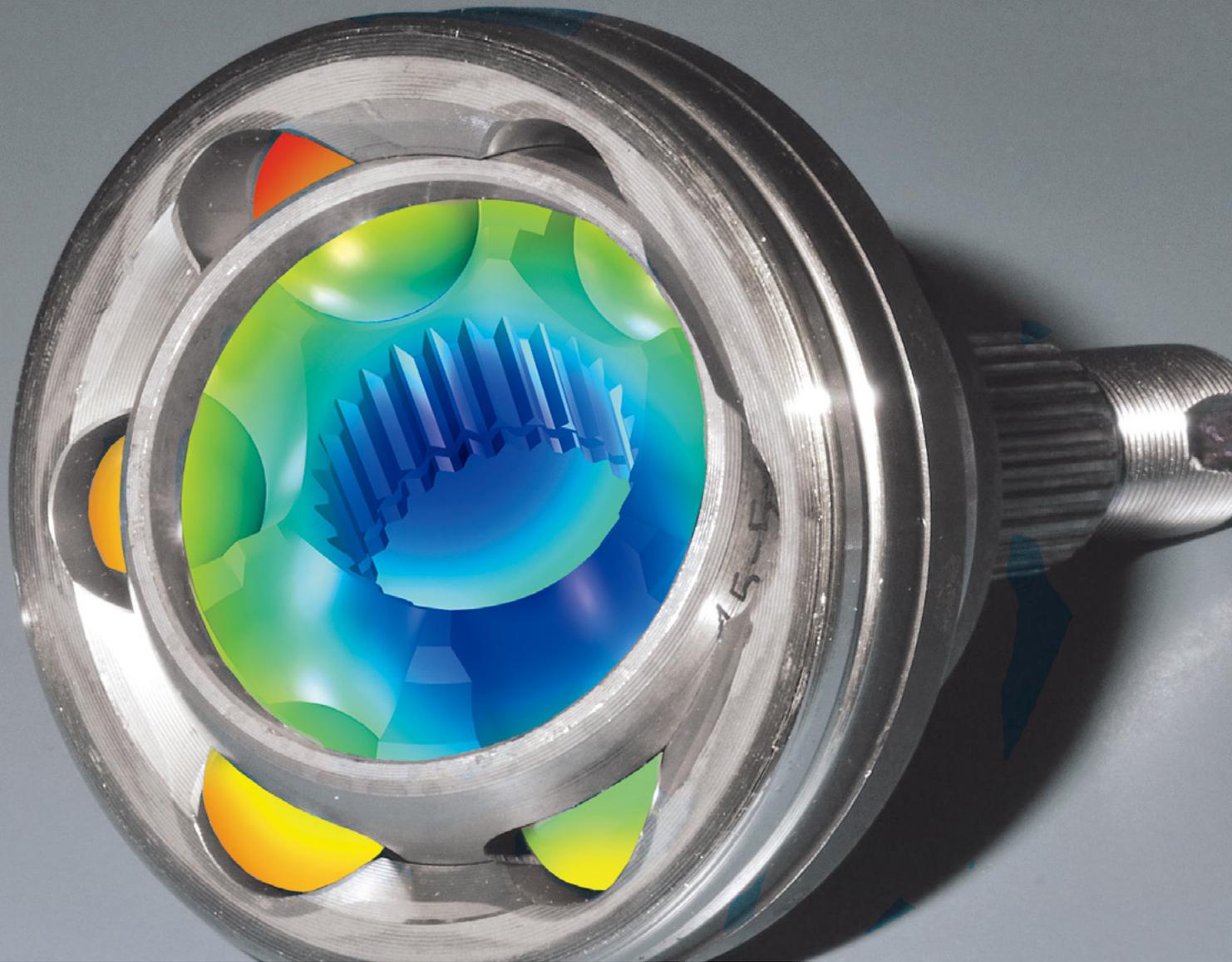
结构力学模块包含四个附加模块: 非线性结构材料模块、岩土力学模块、疲劳模块以及多体动力学模块。模块还支持与 COMSOL Multiphysics® 及其他各专业模块的耦合, 分析涉及结构形变的多物理场问题。



CV 万向节

连续速度 (CV) 万向节的球轴承、保持架和橡胶密封圈处的 von Mises 应力和变形。

模型由意大利 Metelli S.p.A 公司 (位于博洛尼亚市) 的 Fabio Gatelli 提供。



亮点

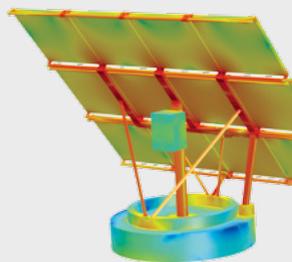
- 螺栓预紧力
- 屈曲和后屈曲
- 实体、壳与梁之间的内置关联
- 离心力、科里奥利力和欧拉力
- 接触和摩擦
- 预应力结构的动态分析
- 弹性波
- 欧拉和铁摩辛柯梁
- 流固耦合 (FSI)
- 几何非线性
- 吸湿膨胀
- 无限元、PML 和低反射边界
- 润滑和弹性流体力学*
- 模态分析
- 周期性边界条件
- 压电器件
- 刚性域
- 弹簧和阻尼器
- 应力-光学效应
- 结构振动
- 热应力
- 用户定义材料模型
- 粘弹性
- 电线电缆

* 与 CFD 模块结合使用

App 示例

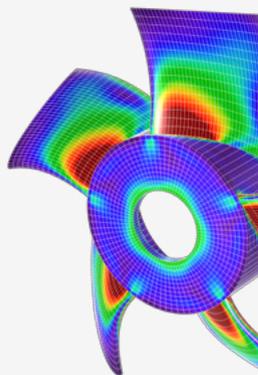
- 梁截面计算器
- 车架分析器
- 过盈配合
- MEMS 压力传感器膨胀
- 桁架桥设计器
- 桁架塔屈曲
- 粘弹性结构阻尼器

太阳能电池板
太阳能电池板的支撑支架在风力作用下产生的应力。



风扇装配

使用带有悬挂节点的非一致性网格对风扇装配进行振动分析。在所有域中应用扫描网格，剖分出由六面体单元和棱柱单元组合而成的混合网格。



阻尼单元

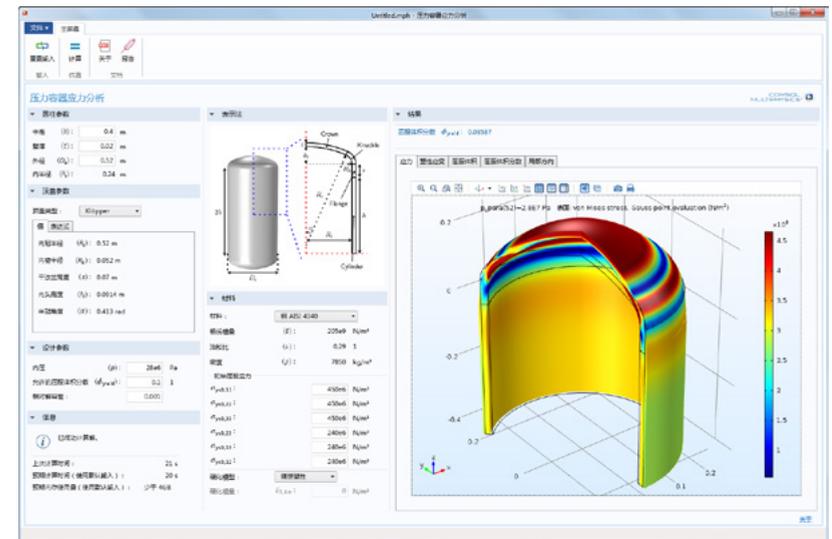
针对用来加固高层建筑粘弹性阻尼单元的结构分析。通过颜色图和变形图显示了位移。



非线性结构材料模块

非线性结构材料模块中所含的非线性材料模型进一步增强了结构力学模块和 MEMS 模块的力学分析功能。当结构中的机械应力增大时,由于材料属性中存在非线性,将不适合继续使用线性材料模型。在一些特殊的工艺条件下,如高温环境等,也常常会出现类似的情况。

模块增加了弹塑性、粘塑性、蠕变、非线性弹性、超弹性材料模型和大应变塑性变形。基于模块内置的本构定律,用户还可以非常便捷地直接在用户界面中根据应变不变量、流动定律和蠕变定律自定义材料模型。这些材料模型同样可以耦合以及引入多物理场效应。模块的教学案例包含蠕变、弹塑性、热致蠕变和粘塑性等相关模型,以此演示模块的相关功能。

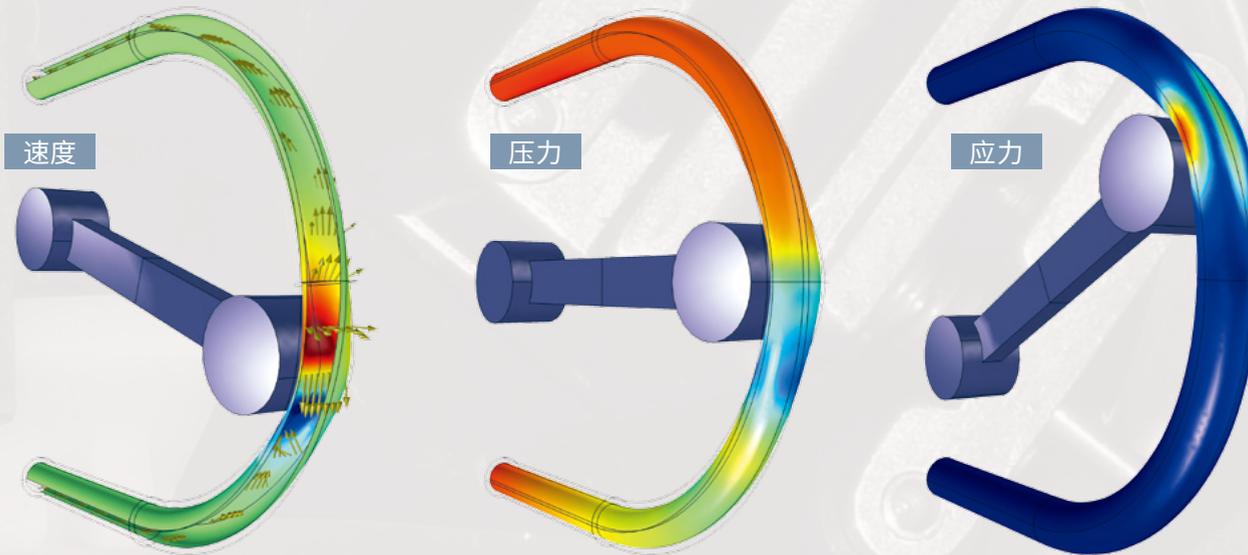


压力容器应力分析

这个仿真 App 分析了给定几何的压力容器能否在不超过材料屈服体积分数的情况下维持内压。支持通过更改几何参数与材料来分析容器的各种设计。

泵

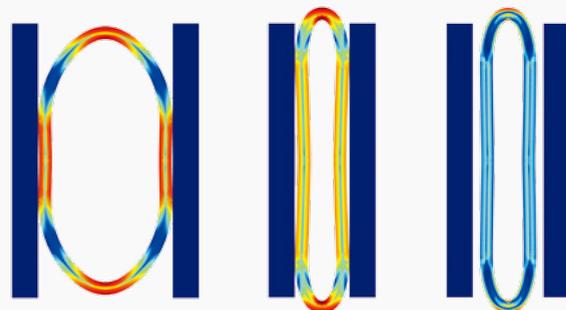
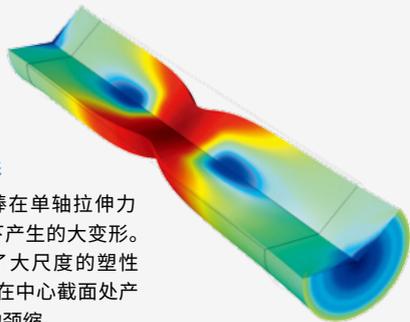
蠕动泵模型解释了由于辊子挤压管壁产生的流固耦合,以及管道内由于流体流动所产生的压力。模型考虑了大形变、接触以及管道材料的超弹性行为,使用 Arruda-Boyce 材料模型进行模拟。图为三个时段的 von Mises 应力、流体压力以及速度方向和大小。



模型图片由美国 Veryst Engineering 公司 (位于马萨诸塞州尼德姆市) 的 Nagi Elabbasi 提供。蠕动泵模型的图片最初由 Andy Dingley 制作。

塑性变形

一根圆棒在单轴拉伸力的作用下产生的大变形。棒经历了大尺度的塑性变形,并在中心截面处产生明显的颈缩。



夹紧

模型显示了一根管受压变平过程中的 von Mises 应力。材料模型假设存在大应变弹塑性变形。

亮点

- Anand 粘塑性
- 生物力学
- 蠕变材料模型
 - Coble
 - Deviatoric
 - Garofalo
 - Nabarro-Herring
 - Norton
 - Norton-Bailey
- 弹性体
- 弹塑性
- 超弹性材料模型
 - Arruda-Boyce
 - Blatz-Ko
 - Gao
 - Gent
 - Mooney-Rivlin
 - Murnaghan
 - St. Venant-Kirchhoff
 - Storakers
 - Varga
 - Yeoh
- 各向同性、动力学和完美塑性硬化
- 大变形 & 大应变塑性
- 非线性弹性模型
 - 双线弹性
 - 单轴数据
 - Ramberg-Osgood
 - 幂律
- 聚合物
- 橡胶
- 温度相关的塑性
- Tresca、von Mises 和 Hill 正交异性塑性
- 用户定义蠕变、超弹性、非线性弹性和塑性

App 示例

- 压力容器应力分析

岩土力学模块

岩土力学模块是结构力学模块的辅助模块，专门用于模拟岩土工程领域的各类应用，例如隧道、开挖、边坡稳定以及挡土结构等。模块中定制的材料模型可用于研究土壤和岩石的变形、蠕变、塑性和破裂，以及分析它们与混凝土和人造结构之间的相互作用。模块收录的土壤材料模型包括剑桥粘土模型、Drucker-Prager、Mohr-Coulomb、Matsuoka-Nakai 和 Lade-Duncan。此外，模块还提供了非线性弹性材料模型（如 Ramberg-Osgood）、双曲定律模型（如 Duncan-Chang 和 Duncan-Selig）和 Hardin-Drnevich 土壤模型。

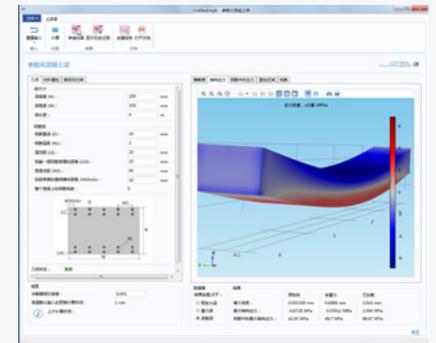
除了内置的塑性模型，用户还可以通过 COMSOL Multiphysics® 环境中灵活的用户接口来自定义屈服函数，材料定义中还可包含与温度场或其他场量计算结果的函数关系。

岩土力学模块还提供了用于分析混凝土和岩石材料的强大工具，内置 Willam-Warnke、Bresler-Pister、Ottosen 和 Hoek-Brown 等材料模型，这些模型还可进一步适配和扩展为更加通用的脆性材料模型。用户可以轻松耦合岩土力学模块与其他模块的分析功能，例如地下水流模块的多孔介质流动、多孔弹性以及溶质运移功能等进行多物理场建模。



堤岸沉降

在道路和铁路等的设计和建设中，面临着粘土的长期沉降这一工程挑战，目前较常见的做法是使用石灰胶结料来提供支撑。这里构建了一个测试地点进行评估，重点考察支柱和周围粘土的变形属性。模型中显示了支柱内竖直方向的应力以及周围环境的位移（背景边界表面图）。

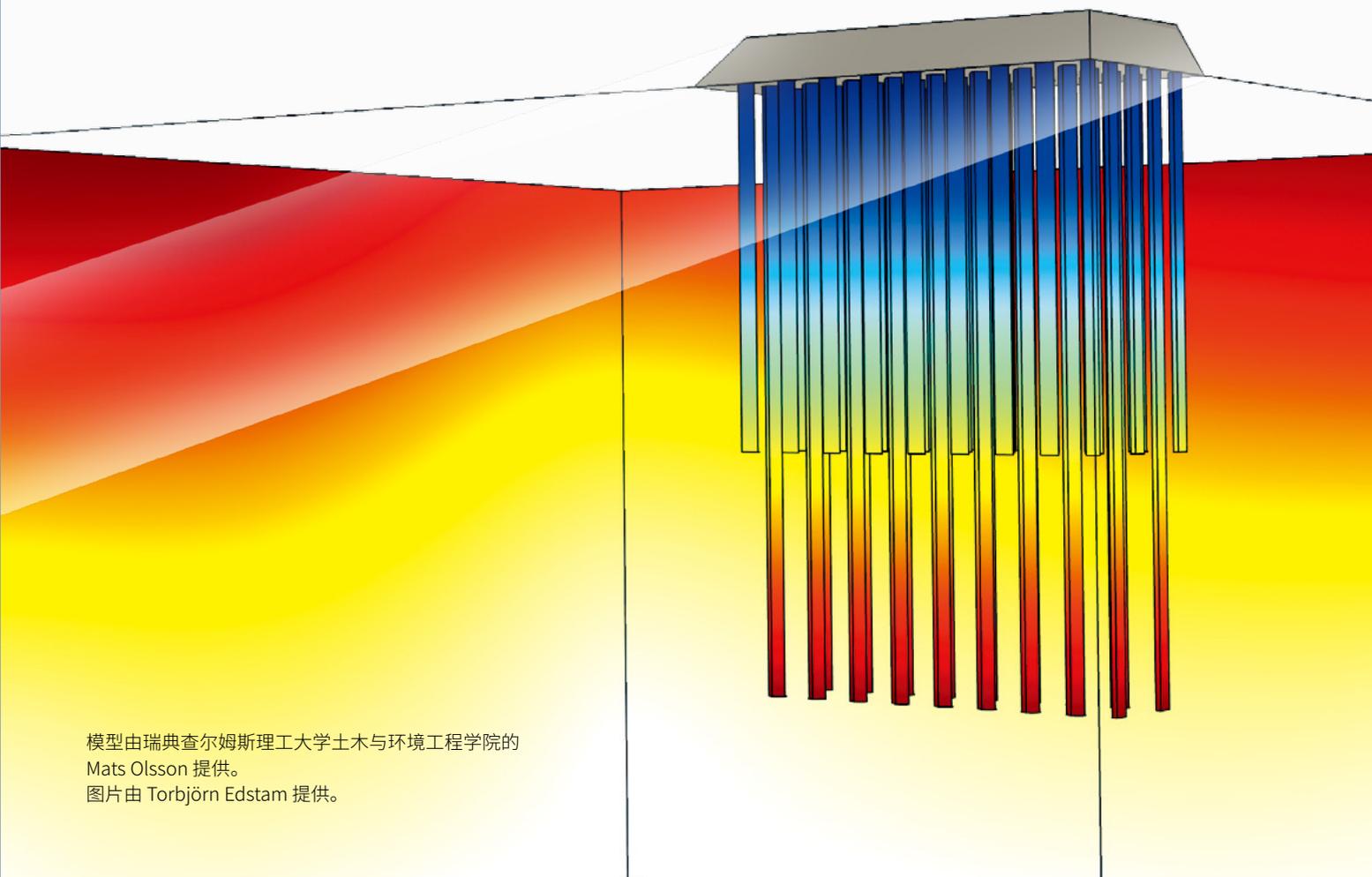


亮点

- Bresler-Pister, Ottosen 和 Willam-Warneke 混凝土模型
- 混凝土和脆性材料
- 蠕变
- 柔性材料和饱和土壤
- 堤防
- 开挖
- 地基
- Hoek-Brown 岩石模型
- 核废料存储
- 挡土结构和加固
- 道路
- 路面
- 边坡稳定性
- 土壤模型
 - Drucker-Prager
 - Duncan-Chang
 - Lade-Duncan
 - Matsuoka-Nakai
 - 修正 Cam-Clay
 - Mohr-Coulomb
 - Ramberg-Osgood
- 土壤和岩石模拟
- 隧道
- 用户定义土壤、岩石和混凝土材料

App 示例

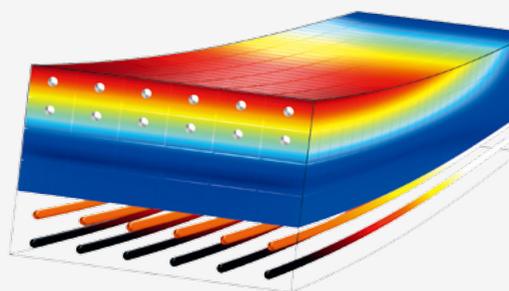
- 参数化混凝土梁



模型由瑞典查尔姆斯理工大学土木与环境工程学院的 Mats Olsson 提供。
图片由 Torbjörn Edstam 提供。

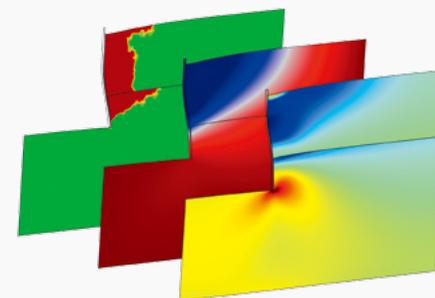
参数化混凝土梁

App 支持用户计算钢筋混凝土梁中的轴向应力和挠曲。用户可以通过更改输入参数分析各类混凝土梁配置，比如几何、材料属性、载荷条件和钢筋的分布。



开挖

土壤开挖模型中水平应力、变形和塑性区分布结果。仿真使用了 Drucker Prager 土壤模型。

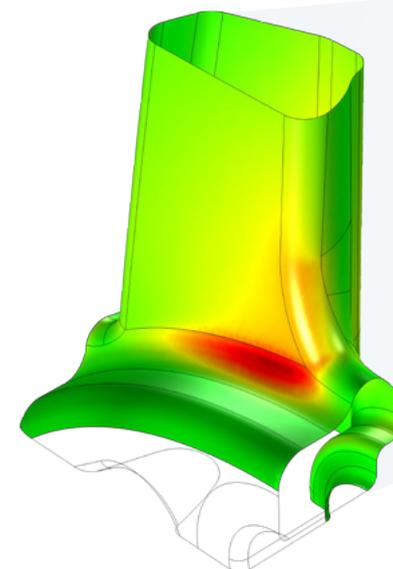


疲劳模块

当结构经受重复性的载荷加载和卸载时，材料疲劳会使零件在远低于静态临界值的情况下出现故障。在 COMSOL Multiphysics 环境中，用户可借助疲劳模块进行虚拟疲劳分析，它是结构力学模块的一个辅助模块。

应力寿命和应变寿命模型可用于分析受等比载荷的结构中的疲劳情况；基于应力和应变的模型则适用于非等比载荷。您可以通过这些模型进行高周和低周疲劳分析。在涉及非线性材料的应用时，您可以使用能量法和基于应变的方法进行模拟，比如热疲劳。当涉及可变载荷时，您可以通过载荷历史和疲劳极限来计算累积损伤。

模块支持模拟实体、板、壳、多体动力学模型、涉及热应力和变形的应用，以及压电器件中的疲劳载荷循环。计算表面下或由表面引发的疲劳时，您可以在域、边界、线和点上进行疲劳计算，提高计算效率。



车轮的高周疲劳分析

针对包含十个轮辐的车轮执行高周应力疲劳分析。最大应力出现在轮辐与轮毂相连的圆角附近。结果显示了整个车轮上的 von Mises 应力分布 (右上图)，以及根据 Findley 准则得到的疲劳使用因子 (上图)。

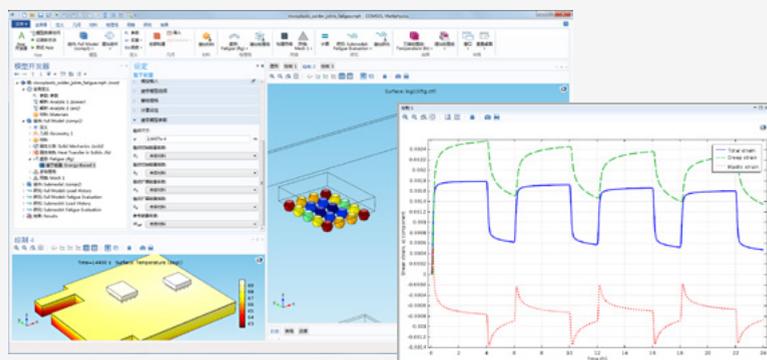


亮点

- 累积损伤分析
 - Palmgren-Miner 线性累积损伤准则
 - 雨流计数
- 能量法疲劳分析
 - Darveaux 准则
 - Morrow 准则
- 疲劳使用因子计算
- 高周疲劳和低周疲劳
- 基于应变的疲劳
 - Fatemi-Socie 准则
 - 平均应力校正
 - 缺口近似
 - Smith-Watson-Topper (SWT) 准则
 - Wang-Brown 准则
- 应变寿命模型
 - Coffin-Manson 准则
 - Basquin & Coffin-Manson 组合准则
 - E-N 曲线准则
- 基于应力的疲劳
 - Findley 准则
 - Mataka 准则
 - 法向应力准则
- 应力寿命模型
 - Basquin 准则
 - S-N 曲线准则和近似 S-N 准则

App 示例

- 框架疲劳寿命

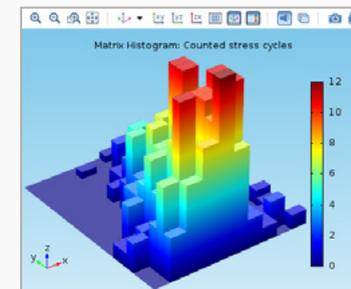


热疲劳评估

连续的功率切换会在微电子组件中造成热循环。使用基于能量的模型预测了两个球栅阵列之间粘塑性焊点的疲劳。左侧两图(从左至右)分别显示了温度场、焊点的寿命对数,以及全端变和弹性应变分量的变化过程。

随机载荷的累积损伤分析

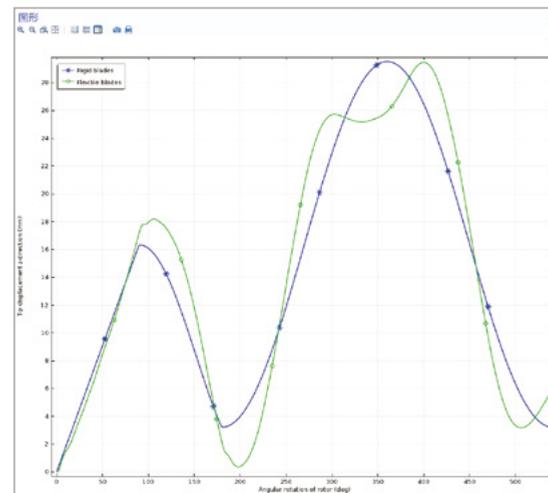
在一个中心有缺口的承载梁上施加一个随机非比例载荷,并对梁执行疲劳响应分析,得到最大疲劳使用下的载荷分布,结果使用雨流直方图显示。



多体动力学模块

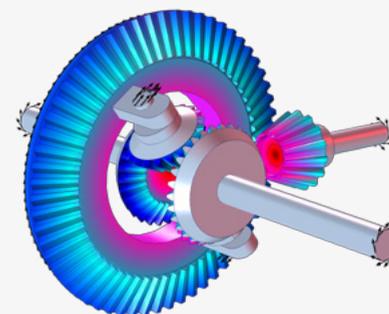
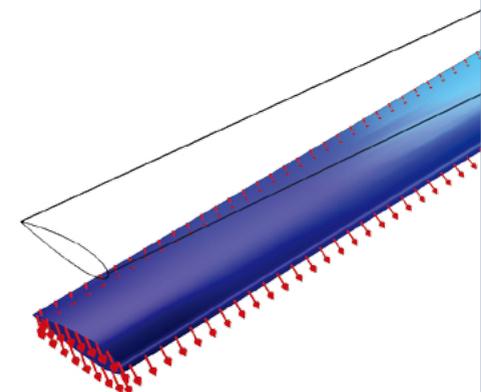
作为结构力学模块的一个辅助模块，多体动力学模块提供了一系列先进的工具，支持通过有限元分析来设计和优化多体系统。模块支持模拟由柔体和刚体构成的混合体系，其中的每个体都可能存在很大的旋转和平动位移。可以通过指定关节上的旋转和平移约束来限制每个体的相对运动。

多体结构力学模型的所有体默认为弹性材料，用户可以通过刚性域属性将其中的体设置为刚性。柔体边界或其中的部分边界也可以设为刚性。通过耦合多体动力学模块与非线性结构材料模块，可以将多体系统中的柔体设定为非线性结构材料属性。模块支持瞬态、频域、特征频率以及稳态等多体动力学分析；同时支持将关节指定为带有阻尼属性的平移或扭转弹簧，可指定施加的力和扭矩，并能通过时间函数指定它的运动；还支持在关节上引入摩擦，用于模拟系统的损耗，或分析系统的稳定性。



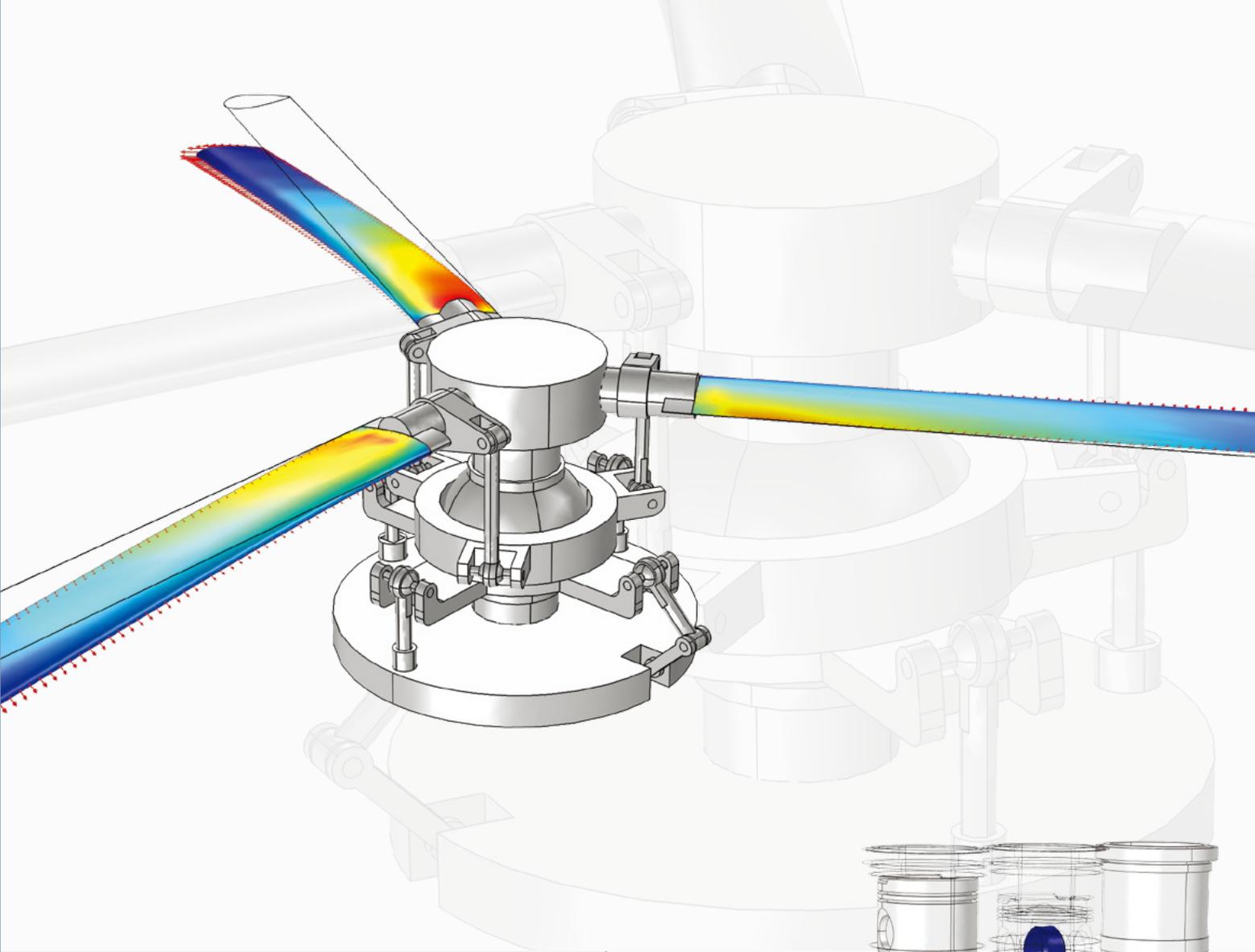
直升机滑盘机构

对桨叶刚性和柔性设计的瞬态仿真，可帮助加深对一些重要性能指标的理解，如桨叶变形和升力。



差动轮系

汽车和其他轮式车辆中使用的差动轮系机构仿真。可以使用软件提供的齿轮齿条建模功能来构建模型，这些齿轮齿条包括直齿轮、斜齿轮、锥齿轮、蜗轮、直齿条和斜齿条等。不同类型的齿轮齿条能够相互连接。还可以通过从“零件库”导入齿轮零件来创建齿轮机构。



亮点

- 应用
 - 汽车和航空航天
 - 生物力学
 - 生物医疗设备
 - 机械和机器人
 - 车辆和发动机动力学
- 关节
 - 球
 - 圆柱
 - 距离
 - 固定
 - 铰链
 - 平面
 - 棱柱
 - 缩进槽
 - 螺纹
 - 槽
 - 万向节
- 结构单元
 - 刚性、弹性、壳和梁
 - 非线性实体、压电

功能

- 提供瞬态分析的协调初值
- 耦合多体系统与其他物理现象
- 柔性多体系统的特征模态
- 关键柔体的疲劳分析*
- 关节反作用力和力矩
- 两个组件之间的相对位移/旋转以及速度
- 静态、瞬态以及频率响应分析
- 柔体中的应力和变形

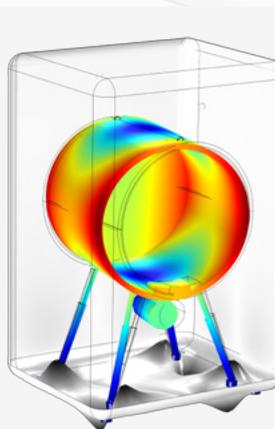
* 与疲劳模块结合使用

App 示例

- 离心调速器模拟器
- 卡车吊机分析器

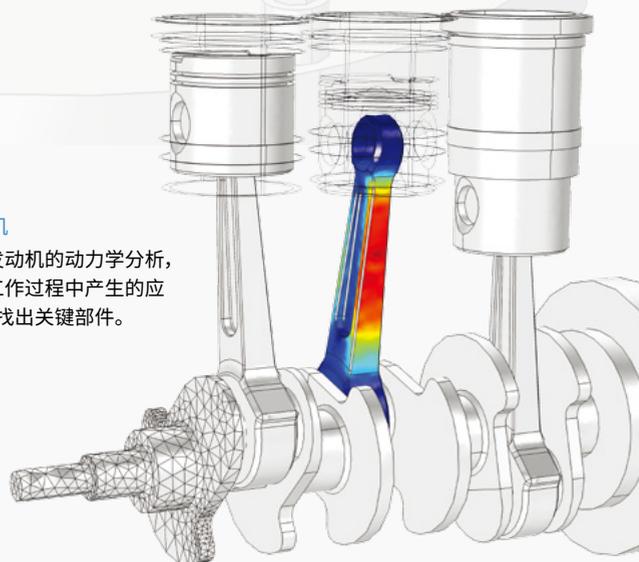
洗衣机装配振动

横轴式便携洗衣机的多体动力学仿真模型,通过特征频率分析计算了整个装配中的固有频率和振型;并通过瞬态分析确定了旋转给洗衣机外壳带来的振动。



往复发动机

三缸往复发动机的动力学分析,研究了它在工作过程中产生的应力,由此可以找出关键部件。

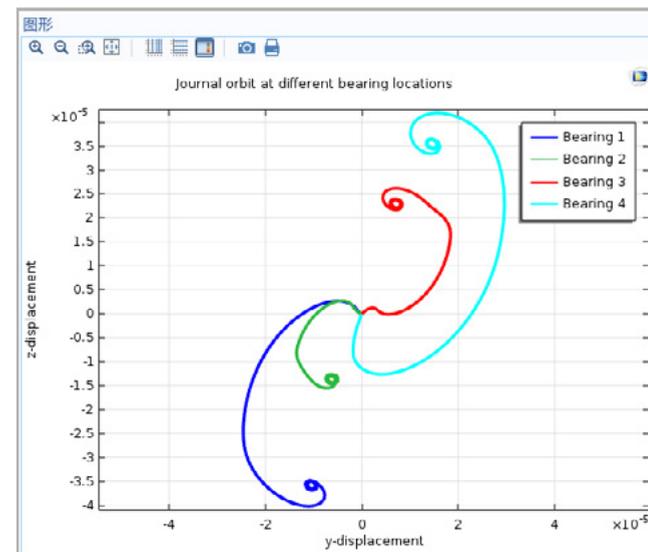


转子动力学模块

旋转机械广泛应用于汽车、航空航天、发电、电力机械和家用电器等众多行业。振动研究对于旋转机械的设计过程至关重要。作为结构力学模块的附加产品，转子动力学模块提供了多种专用工具，通过有限元分析 (FEA) 预测和分析旋转组件中的振动情况。使用此模块，可以分析圆盘、轴承、基座等多个固定和移动转子组件的影响。

用户还可以方便地对仿真结果进行后处理分析，通过坎贝尔图、轨道图、瀑布图和回旋图等多种形式来呈现仿真结果。针对滑动轴承、椭圆轴承、多油叶轴承及可倾瓦轴承等一系列标准轴承类型，模块提供了液体动压轴承的物理场接口，专门用于模拟润滑油膜的压力分布。同时还能模拟轴承颈运动与润滑油膜中的压力分布之间的相互作用，并由此计算出准确的转子振动仿真结果。

转子动力学模块可以与多体动力学模块结合使用，模拟多个由齿轮连接的转子。默认情况下，所有转子组件都具有线弹性特性，并且可设为刚性。用户可以对转子装配执行瞬态、频域、特征频率及稳态分析，还可以通过带 FFT 的瞬态分析生成瀑布图。



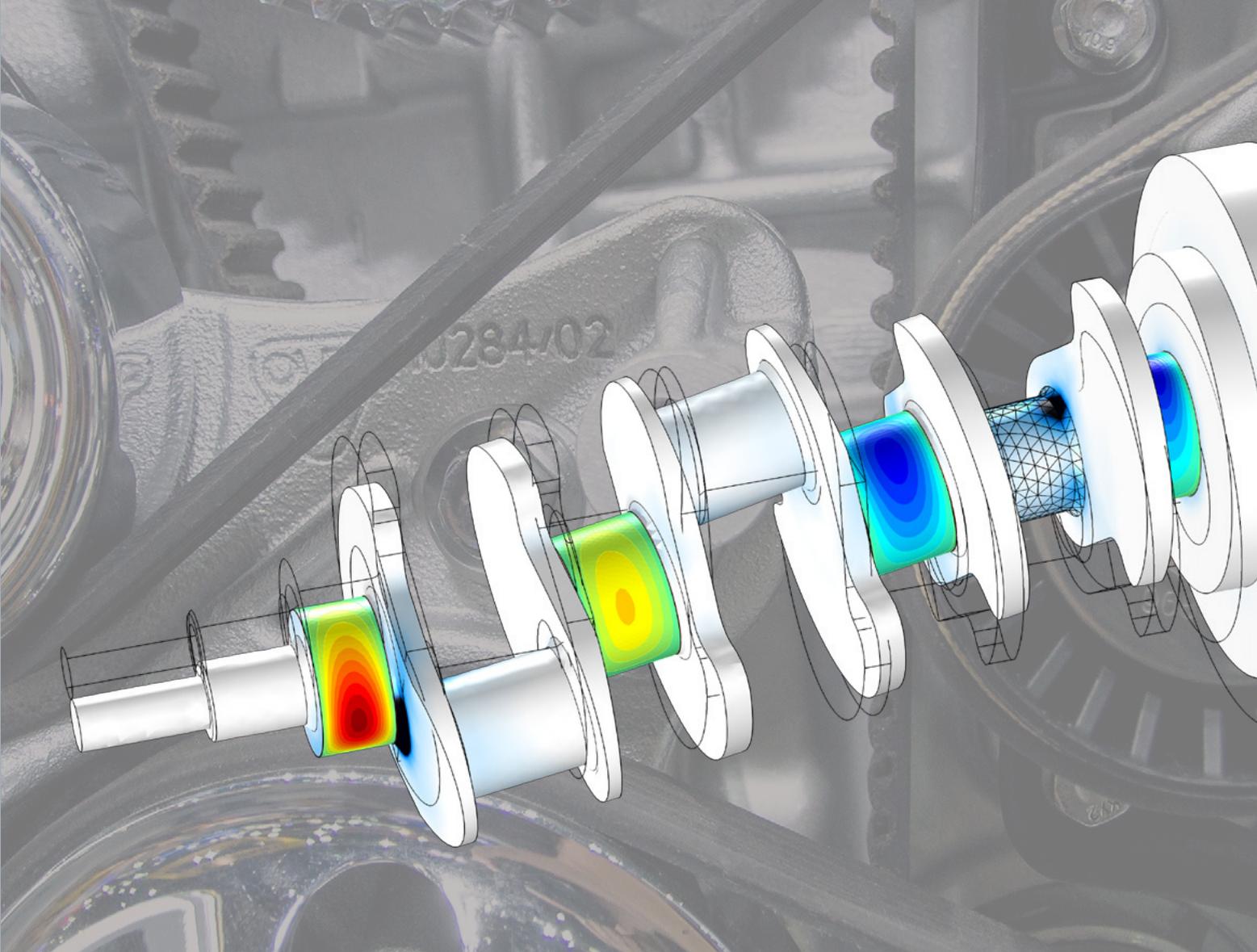
转子动力学分析

在往复式发动机曲轴中，曲柄销的偏心率和平衡质量块会引发自激振动。通过对三缸往复式发动机曲轴的动力学与轴承中的压力分布进行耦合，可以对曲轴进行转子动力学瞬态仿真。绘图显示了轴承颈轨迹(上图)、流体膜中的压力分布，以及曲轴中的应力分布情况(右上)。

亮点

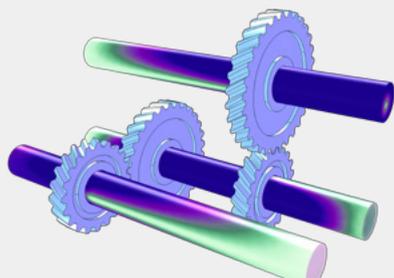
- 实体、梁和刚性单元
- 横向、扭转及轴向振动
- 转子的临界转速
- 阻尼固有频率和稳定性
- 变速分析
- 液体动压轴承
 - 滑动轴承
 - 椭圆轴承
 - 对开轴承
 - 多油叶轴承
 - 可倾瓦轴承
- 齿轮和齿轮副*
 - 直齿轮
 - 斜齿轮
 - 锥齿轮
- 结果
 - 回旋图
 - 瀑布图
 - 坎贝尔图
 - 轨道图

*与“多体动力学模块”结合使用



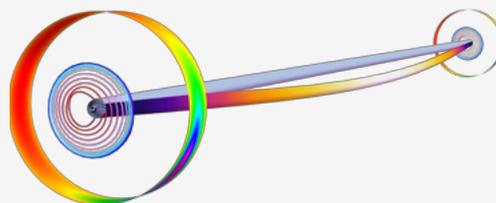
齿轮转子系统

对多个转子执行转子动力学分析，转子之间通过斜齿轮相连接。系统中的齿轮使转子同时产生横向振动和扭转振动。仿真结果显示了转轴中的 von Mises 应力分布。



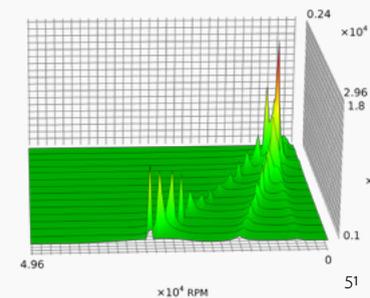
转轴回旋

对重力作用下由两个液体动压径向轴承支撑的均匀轴进行动力学分析。绘图显示了转子应力分布、轴承流体压力以及轴承颈的轨道。



简支转子

对简支转子进行带FFT的瞬态分析。仿真结果显示了轴承在第一个轴承位置由转子频谱和角速度变化引起的绝对垂直位移(瀑布图)。



声学模块

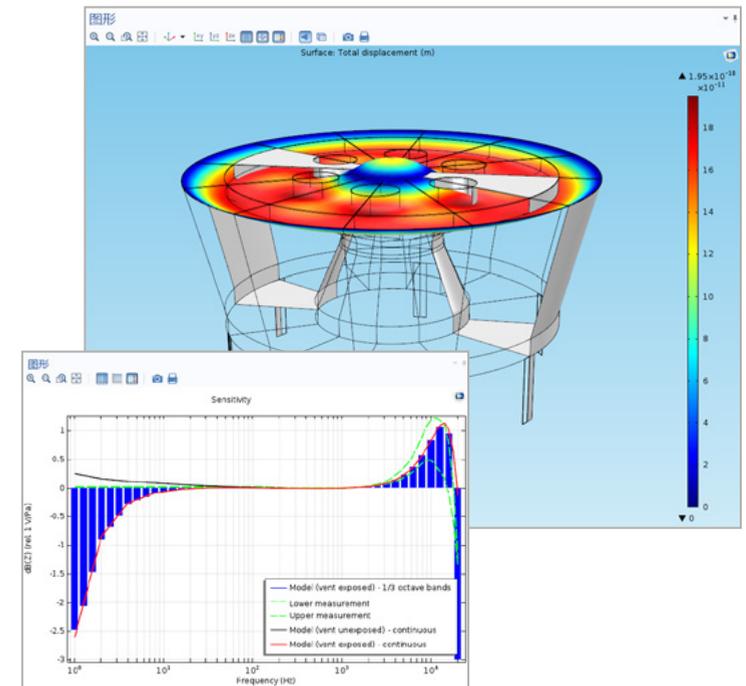
声学模块提供满足声学仿真需求的世界领先的解决方案。模块可模拟用于声波的产生、测试和使用的各类声波器件，应用领域包括扬声器、麦克风、助听器、声呐设备、噪声控制（如消声器、隔音板、散射器和吸声器的设计），以及建筑和室内声学。

简单易用的物理场接口是模拟声压波在空气、水和其他流体中传播的有力工具；模块提供了热粘性声学模拟工具，支持对手持设备中微型喇叭和麦克风的高精度仿真；专业的气动声学接口可用于模拟声波在运动流体中的传播；射线追踪和声扩散接口可用于模拟室内和其他大型空间中的声传播；还可以模拟固体、压电材料以及多孔弹性结构中的振动和弹性波。模块预置了多种简单易用的多物理场耦合，支持模拟声-固、声-壳、声-多孔以及压电现象，可以帮助用户声学仿真的能力提升到一个全新的高度。

B&K 4134 电容式麦克风

针对压力响应型麦克风的机电-声学仿真，主要分析了中音和高音的水平和耦合腔测试。结果显示了灵敏度水平及膜变形。

几何、材料参数和图片由丹麦 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S 公司（位于奈鲁姆）提供。

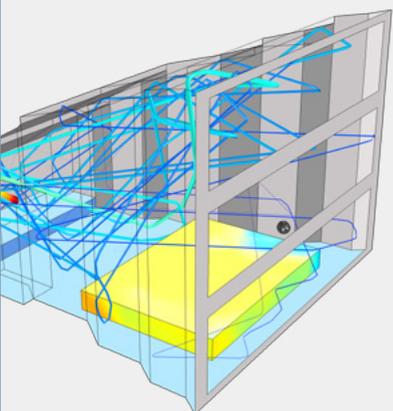


亮点

- 声学扩散方程
- 声-结构相互作用
- Biot 方程组和参数
- 弹性波
- 电声换能器和扬声器
- 助听器
- 线性欧拉方程
- 线性 Navier-Stokes 方程
- 线性势流
- 扬声器和麦克风
- MEMS 声学传感器和麦克风
- 消声器和微粒过滤器
- 机械噪声和振动
- 降噪材料和隔音材料
- 压电声学
- 多孔弹性波
- 射线追踪
- 室内声学
- 声呐设备
- 结构振动
- 热声学和热粘性损耗

App 示例

- 吸收式消声器设计器
- 声反射分析仪
- 家庭住宅声学分析仪
- 风琴管设计
- 小型音乐厅分析器

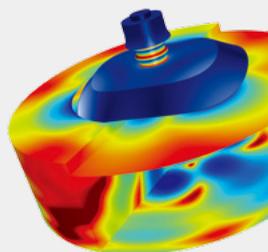


音乐厅

小型音乐厅仿真, 使用射线声学来确定声压和脉冲响应。

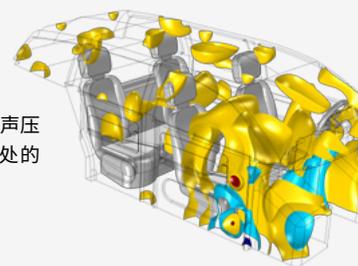
声呐

蘑菇型压电换能器用于实现低频高功率的声音发射。模型显示了压电陶瓷环中的电压分布, 换能器大质量端的变形以及换能器下方的压力场。



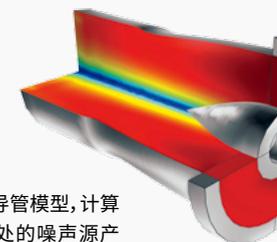
轿车内部声学

模型模拟了轿车内部的声场, 声源位于音响的常见安装位置。结果显示了总声压场和车厢内考察点处的频率响应。



发动机导管

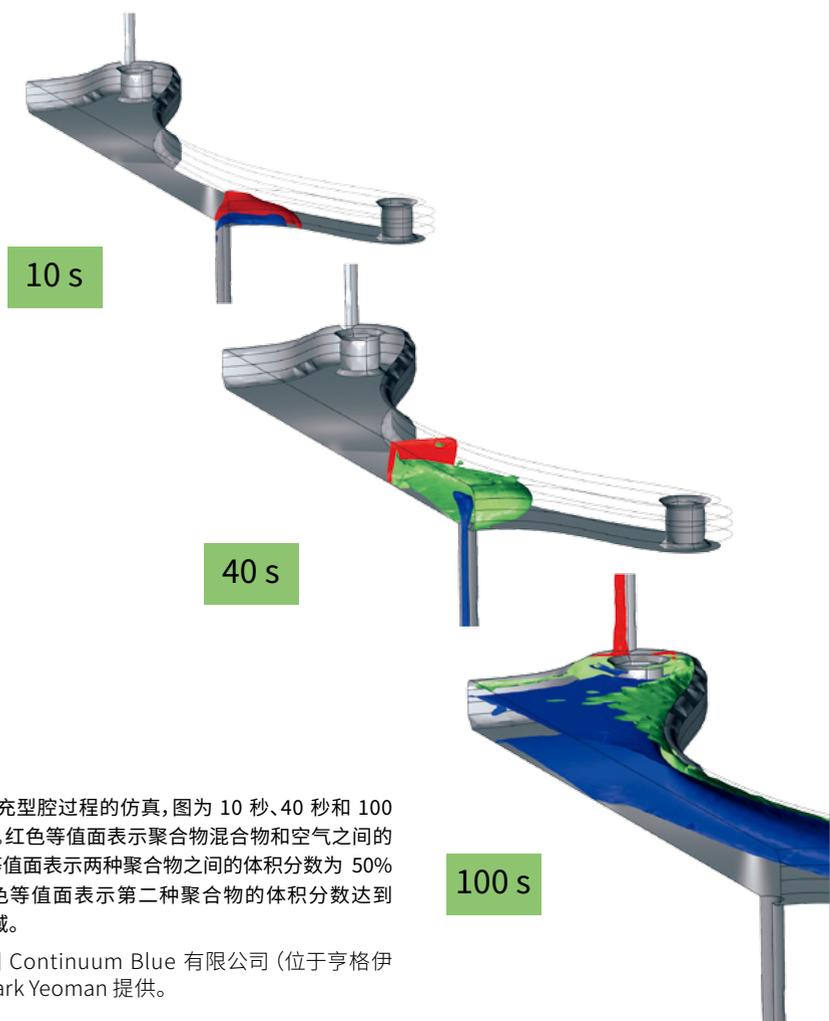
航空发动机导管模型, 计算并显示边界处的噪声源产生的声场。



CFD 模块

CFD 模块是 COMSOL 产品库中用于模拟复杂流体流动的首要工具。模块提供了可压缩和不可压缩流体模型，以及多种高级湍流模型，用于模拟含传热、传质的流体流动。CFD 模块的最大优势是能够精确模拟各种多物理场问题，例如包含共轭传热、粘性耗散的非等温流动、流固耦合、非牛顿流动，以及粘度随物质浓度变化的流体流动等。模块内置的多孔介质流物理场接口支持流体在各向同性或各向异性的介质中的流动模拟，并可自动耦合多孔域和自由流动域。模块还提供了用于模拟带有旋转部件的搅拌器的专业工具。

模块包含专业的反应流模拟接口，支持模拟稀溶液和浓溶液中的化学反应和物质运输。分散两相流接口包含针对悬浮小颗粒系统的混合物模型和 Euler-Euler 模型，以及针对宏观气泡流动的气泡流模型。模块提供了水平集和相场两种方法来追踪两相流界面，以及基于相场方法的三相流接口。



亮点

- 共轭传热
- 旋风分离器、过滤器和分离单元
- 电子冷却
- 风扇、格栅、屏和泵
- 汽车和结构周围的流动
- 管道、阀、关节和喷嘴中的流动
- 流化床和喷雾
- 流固耦合 (FSI)*
- 气泡流和多相流
- 换热器和冷却法兰
- 高马赫数流动
- 润滑和弹性流体动力学
- 医药/生物物理学应用
- 搅拌器和搅拌槽
- 非等温流动
- 非牛顿流
- 聚物流体和粘弹性流动
- 多孔介质流动
- 反应流**
- 沉降、乳剂和悬浮液
- 湍流

* 与结构力学模块或 MEMS 模块结合使用

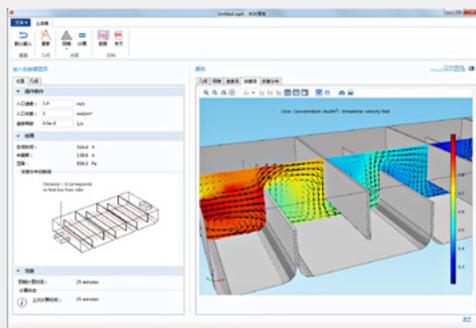
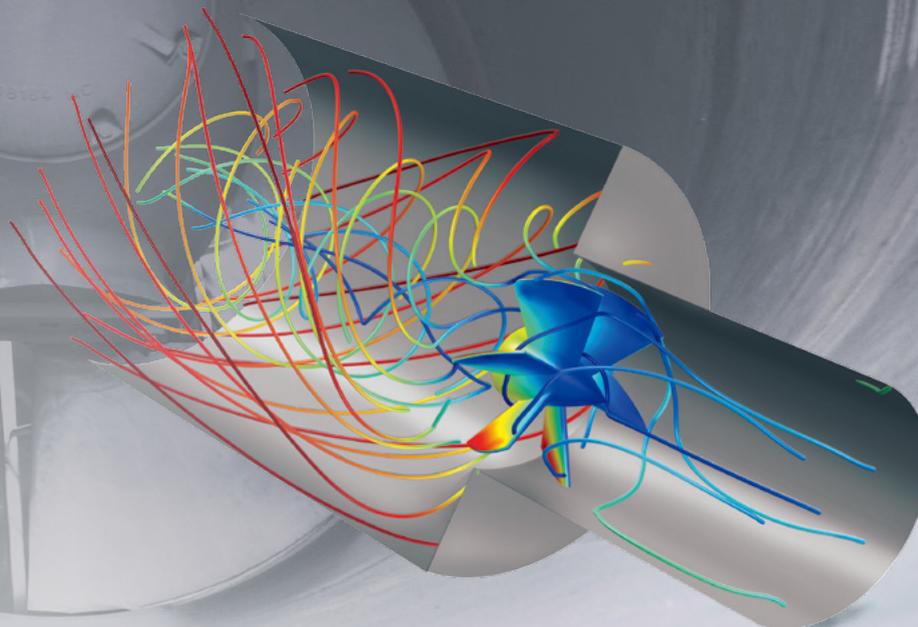
** 与化学反应工程模块结合使用

App 示例

- 喷墨打印机
- NACA 机翼优化
- 水处理池

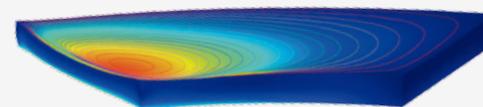
HVAC

流体流过位于管道中的螺旋桨。流线显示了流动的方向和大小，颜色图显示了螺旋桨叶上的压力分布。



水处理池

App 用于模拟水处理过程中的湍流和化学反应。用户可以修改目标工作条件和处理池的几何等输入项，以便测试不同设计。

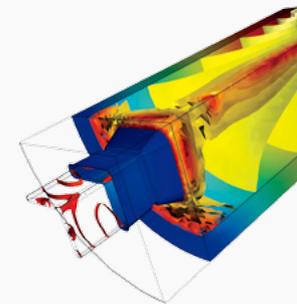


润滑油膜

可倾瓦推力轴承常用于需要承受较大载荷的旋转机械。图为润滑油膜上的压力分布等值线、弹性变形(放大图)和有效应力。

金属成型

铝挤出工艺中铸造和出模阶段的流固耦合 (FSI)。等值面显示了非牛顿铝流体的动力粘度。

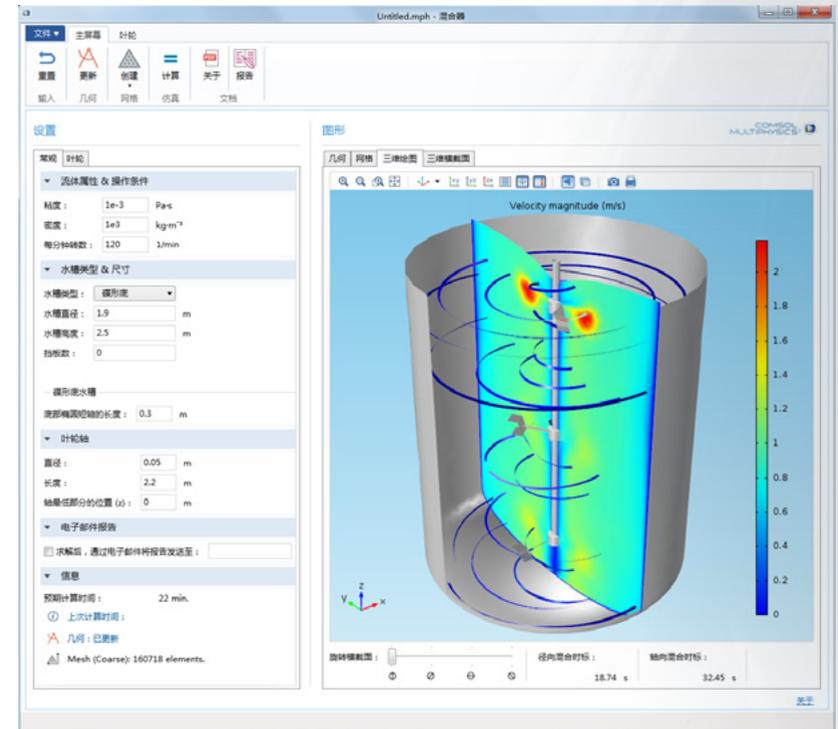


搅拌器模块

作为 CFD 模块的辅助模块, 搅拌器模块可用于模拟流体搅拌器和搅拌反应器。搅拌器模块包含一系列基于流体动量、质量和能量守恒, 以及流体中的物质守恒定律的物理场接口; 可模拟层流和湍流、不可压缩和弱可压缩流动以及非牛顿流在搅拌器中的流动; 还可模拟温度效应、反应物质以及旋转域和固定域中自由表面的变形。

详细描述不同部件随时间的相对运动, 以及旋转机械中的流体受这些运动的影响, 是模拟搅拌过程最精确的方式。COMSOL 定义了一个包含桨叶或转子的建模域, 并在外围定义了另一个求解域, 其中包含壁与类似挡板的障碍物; 之后使用滑移网格方法来耦合两个域中的流动。

搅拌器模块还支持通过冻结转子法模拟旋转流动, 这类研究类型能够显著的减少模拟伪稳态条件所需的计算资源。冻结转子近似适用于模拟无挡板搅拌器、管道或其他拓扑相对旋转零件无变化的几何实体, 以及整个系统都会发生旋转的情况, 例如离心分离。



搅拌器

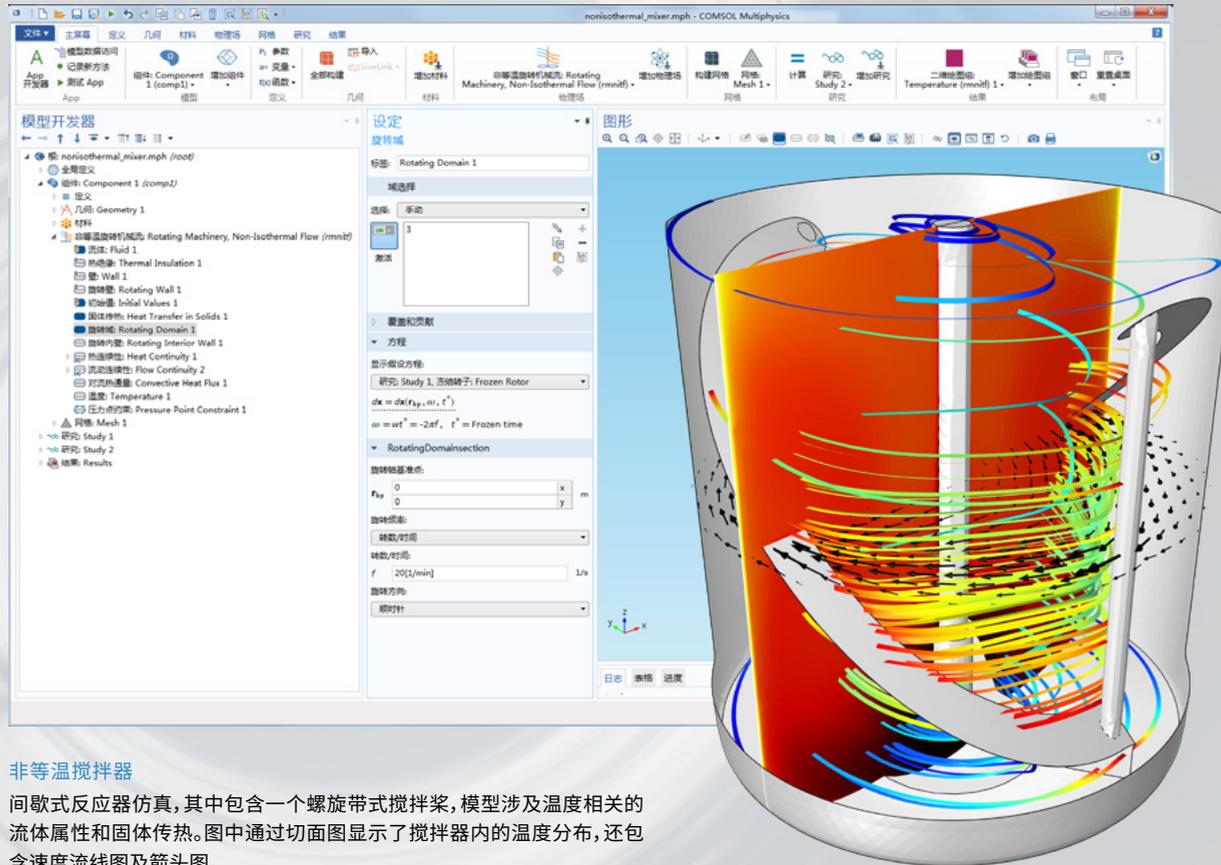
本定制 App 分析了装备轴向或径向桨叶的搅拌器, 可以计算给定几何下的搅拌效率。用户可以在 3 种不同的容器形状及 11 种搅拌桨中进行选择。

亮点

- 二维和三维稳态和瞬态研究
- 间歇式搅拌反应器
- 全混流反应器
- 流体和化学混合
- 包含表面张力和接触角效应的自由流体液面
- 用于模拟旋转桨叶的冻结转子近似
- 层流、湍流、不可压缩和弱可压缩流动
- 浓物质混合
- 非等温流动
- 非牛顿流体流动
- 容器、挡板和桨叶设计的优化
- 预定义的表面张力系数库
- 反应流
- 基于旋转机械的搅拌器
- 描述完全旋转的滑移网格技巧
- 用于湍流仿真的代数 $y+$ 模型、LVEL 模型、 $k-\epsilon$ 模型、 $k-\omega$ 模型、SST 模型、低雷诺数 $k-\epsilon$ 模型和 Spalart-Allmaras 模型

App 示例

- 搅拌器

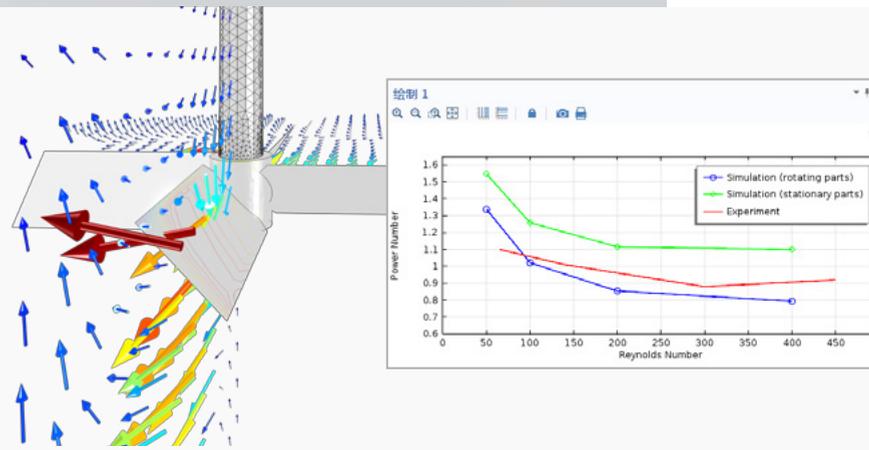


非等温搅拌器

间歇式反应器仿真，其中包含一个螺旋带式搅拌桨，模型涉及温度相关的流体属性和固体传热。图中通过切面图显示了搅拌器内的温度分布，还包含速度流线图及箭头图。

搅拌非牛顿流体

使用冻结转子特征来模拟非牛顿流体的搅拌，箭头代表绕桨叶流动的方向和大小(左图)。幂指数用于预测桨叶设计的功率消耗，使用四个不同的雷诺数进行了计算(右图)。



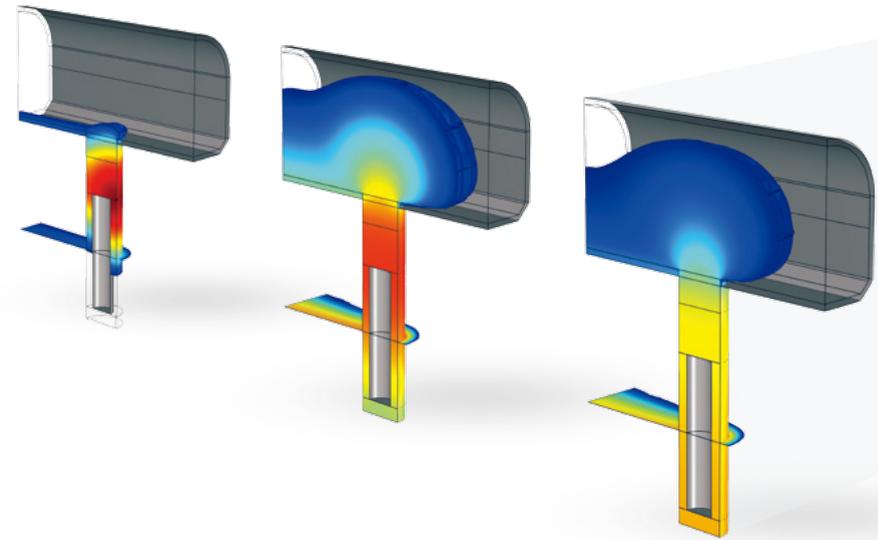
地下水流模块

地下水流模块可用于研究地球物理和环境现象，例如模拟地下水流动、土壤中污染物的扩散，多孔介质中的石油和气体流动等。模块提供的预定义物理场接口中，Richards 方程接口描述了可变饱和和多孔介质中的非线性流动；达西定律接口可用于模拟饱和和多孔介质中的低速流动；Brinkman 方程接口可用于模拟不能忽略剪切的流动；自由 Navier-Stokes 层流可以轻松耦合多孔介质流动，甚至能够耦合薄裂隙中的流动。该模块还可模拟自由、饱和以及部分饱和和多孔介质中的溶质运移。

针对传热模拟，模块提供了背景地热和针对多组分系统有效热属性的自动计算，可用于模拟固体、流体、多孔介质和裂隙中的传热；模块还提供了强大的多孔弹性接口来模拟固结和沉降。用户还可以将地下水流模块与 COMSOL Multiphysics 中的其他任意物理场接口进行耦合，模拟地球科学和环境应用领域中的多物理场耦合问题，例如化学反应动力学和电磁场。

核废料处理

核废料储存库用来存储已使用的核燃料棒，存储期限可能长达数十万年甚至更久，在该领域，人们广泛借助仿真来开展研究。模型假设由于燃料罐出现裂缝，导致核废料泄漏并渗入周围的岩石和上方的隧道回填区。图中显示了经过 20、200 和 2000 年后的浓度分布。

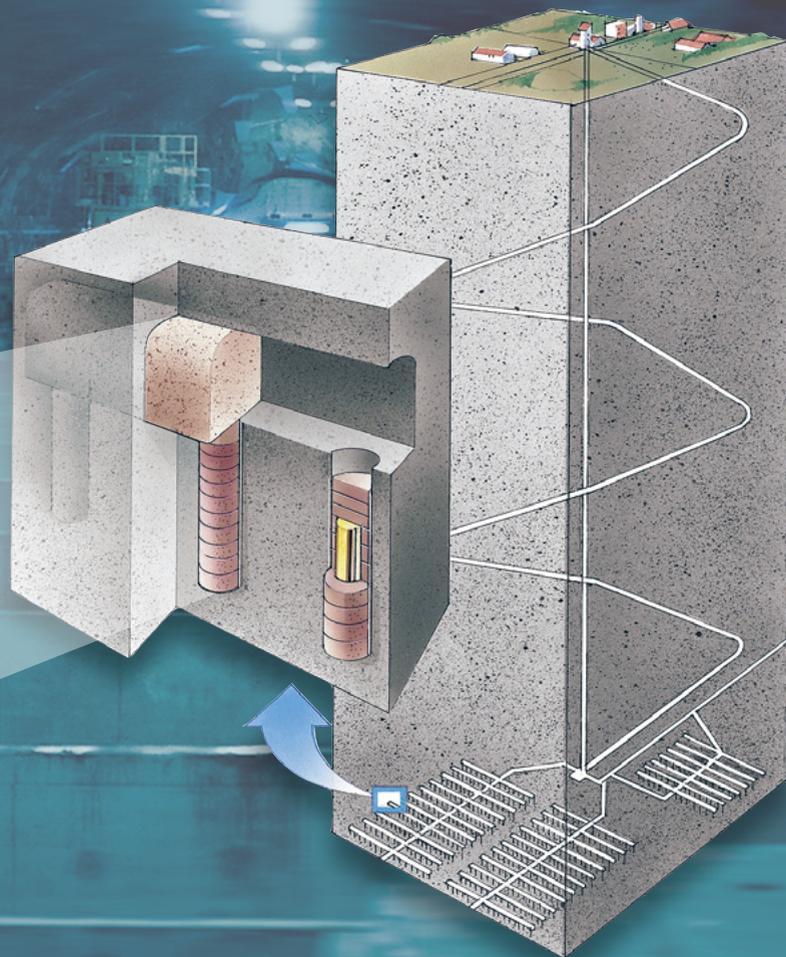


模型由芬兰 VTT 国家技术研究中心的 Veli-Matti Pulkkanen 开发。

图片版权所有：© SKB

插图制作：Jan Illustrationer

摄影：Bengt O Nordin



亮点

- 河口和沿岸分析、流动、对流和扩散
- 气体储存、整治和隔离
- 地下水流和地热系统模拟
- 流体、固体和多孔介质传热
- 导入数字高程模型 (DEM) 文件格式
- 多孔和纤维材料的力学和重力脱水
- 石油开采分析
- 地下、地表以及大气流动中的污染物运移分析
- 多孔弹性固结和沉降
- 多孔弹性应力和失效分析
- 放射性核素经由岩基的迁移
- 饱和与不饱和多孔介质流动
- 浅水流动和泥沙运输
- 多孔介质中的单相和两相流动
- 水表分析和盐水侵入地下水分析
- 井口分析

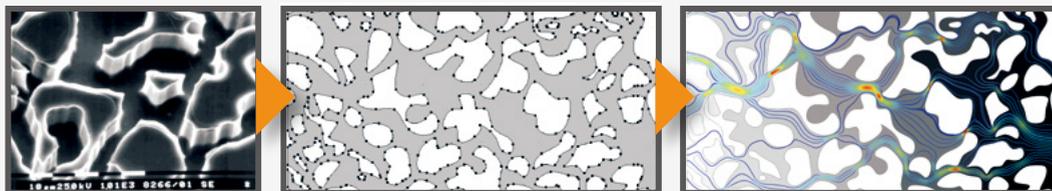
App 示例

- 射孔完井
- 柱中两相流

地下水流

通过扫描电子显微镜图片得到几何，将其导入 COMSOL，以便计算其中的速度和压力分布。

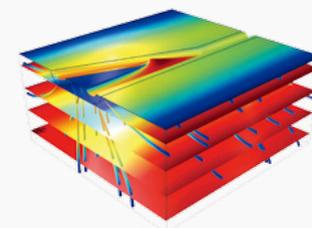
模型由美国加利福尼亚大学 (位于圣巴巴市) 的 Arturo Keller 提供。



油藏力学

模型分析了油藏中由于泵抽取产生的三维固结，以及“开口”多分支井的连接部位被破坏的可能性。

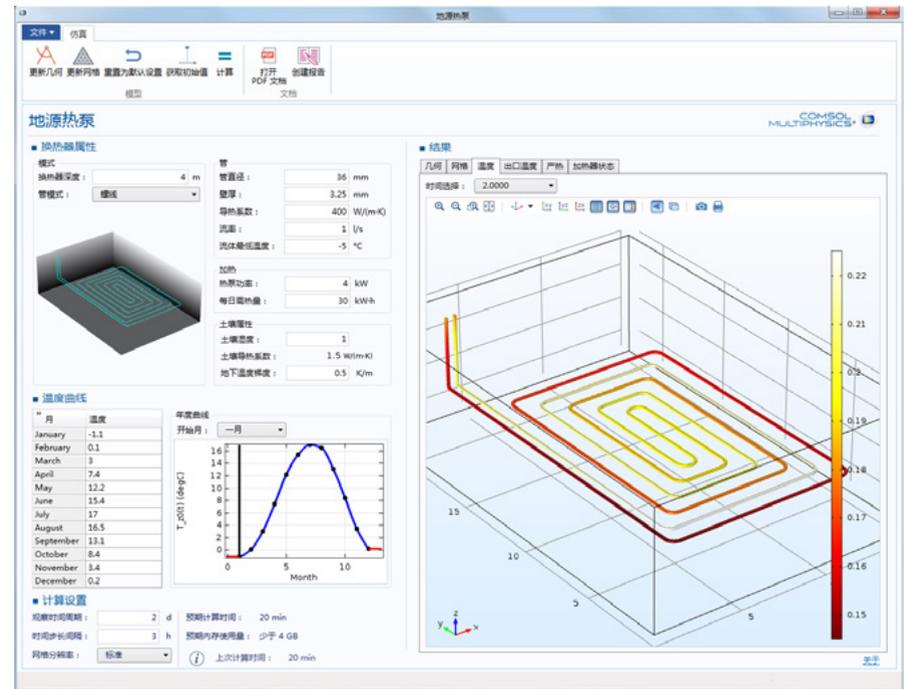
模型创意来自 Schlumberger 公司 (位于美国犹他州盐湖城) 的 Roberto Suarez-Rivera 的仿真。



管道流模块

管道流模块可模拟管道和渠道网络中的流体、传热和传质、水力过渡和声传播等。管道流适用于管道足够长，以致于管道内的流体流动可看作充分发展流，并可用一维近似来表示的情况。可以通过管道流仿真研究速度、压力、浓度、化学反应和温度等参数沿管道的变化。模块还提供了专门的工具，可以连接一维管道流仿真与三维流动区域。

模块可用于设计和优化涡轮机中的复杂冷却系统、建筑物中的通风系统、地热系统、换热器、化工过程中的管道系统以及石油、天然气和矿业中的管线。模块预置的管道组件包括弯头、阀、T型头、收缩/扩张装置和泵；还提供了一个专用的用户接口，可对水锤效应执行瞬态分析。用户可以耦合管道流模块与 CFD 模块或其他包含多物质传递特征的任意模块，进行多物质的传质分析；当耦合声学模块时，还能够用于分析管道中的声波传播。



地热泵

本 App 计算了用于为室内供暖的地下热泵。用户可以控制换热器的属性、周围的土壤和气象条件，以便分析系统在各种环境下的性能。

亮点

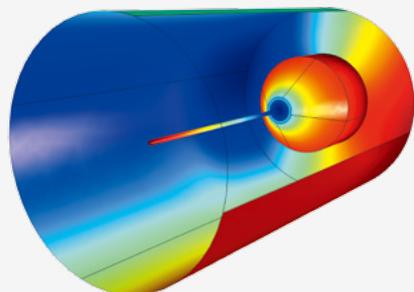
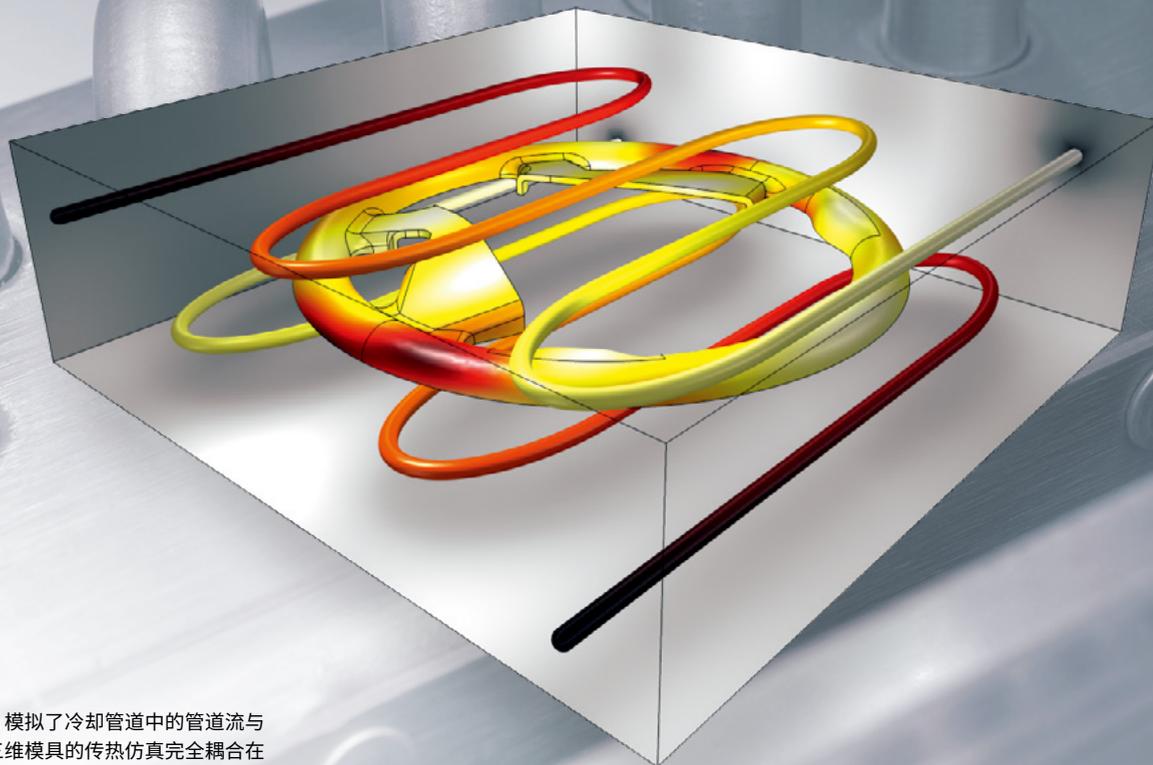
- 冷却系统
- 地热系统
- 换热器和冷却法兰
- 管道热量的传入与传出
- 水力学和水锤
- 润滑
- 管道中的传质和化学反应
- 非等温管道流
- 炼油厂管道系统
- 管道和渠道中的压降计算
- 地暖
- 通风空调系统

App 示例

- 地热泵
- 风琴管设计

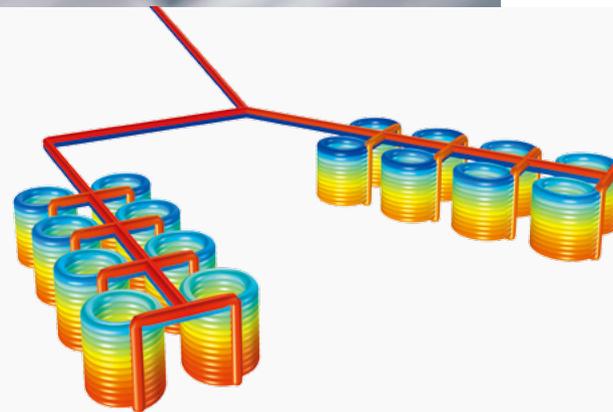
注射成型

方向盘注塑模具的冷却，模拟了冷却管道中的管道流与传热。一维冷却管道与三维模具的传热仿真完全耦合在一起，基于导入的 CAD 几何创建了聚氨酯部件。



麦克风

将探针管连接到麦克风上，通过瞬态分析耦合两个声压域。结果显示了探针尖端和麦克风振膜上的压力。



地热系统

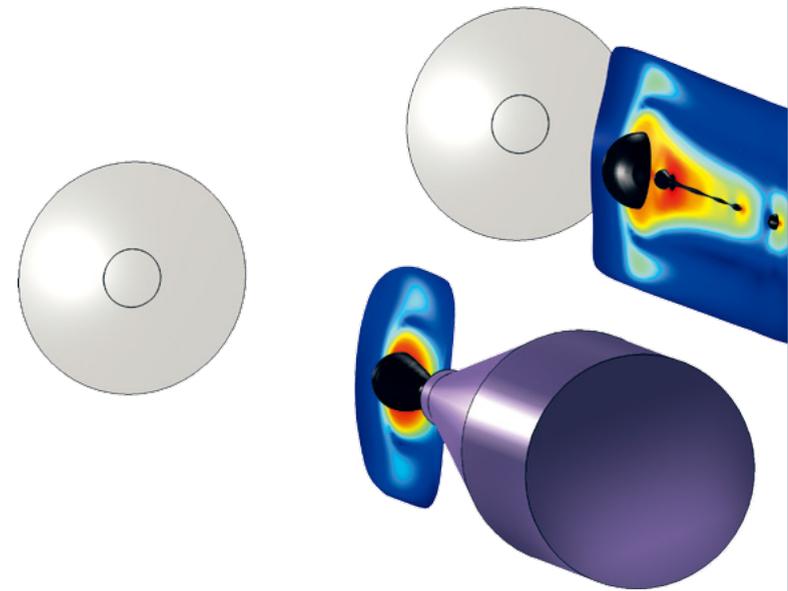
在地热应用中，可以将地热泉和湖泊用作热储。在本示例中，地下水通过封闭的聚乙烯管道系统进行循环。

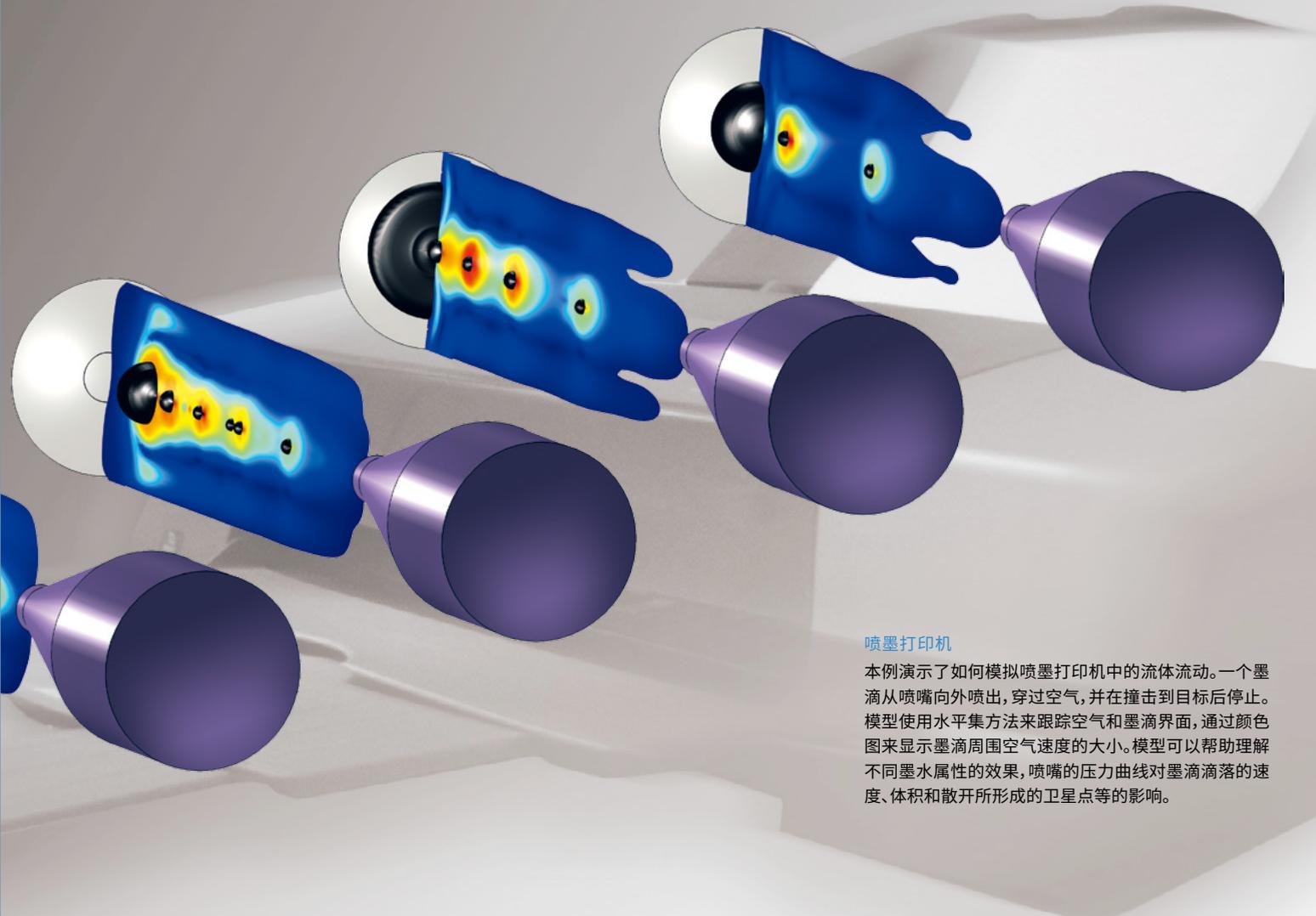
微流体模块

微流体模块提供了简单易用的微流控器件研究工具,主要应用包括片上实验室器件、微型全分析系统、数字微流、电渗流和磁流体器件,以及喷墨打印机等的仿真。

微流体模块提供了专用的单相流接口,以及专业的两相流接口,其中包含水平集、相场和动网格方法。这些接口支持模拟表面张力、毛细管力和马兰戈尼效应。模块还提供了基于相场方法的三相流接口。

COMSOL 通用的多物理场特征使用户可以轻松地模拟电渗流和磁流体,例如电泳、磁泳、介电泳、电渗以及电润湿。模块包含针对稀物质传递的化学扩散和反应接口,可模拟芯片实验室器件中的反应过程。此外,滑移流接口还支持模拟微结构中的气体流动。





喷墨打印机

本例演示了如何模拟喷墨打印机中的流体流动。一个墨滴从喷嘴向外喷出，穿过空气，并在撞击到目标后停止。模型使用水平集方法来跟踪空气和墨滴界面，通过颜色图来显示墨滴周围空气速度的大小。模型可以帮助理解不同墨水属性的效果，喷嘴的压力曲线对墨滴滴落的速度、体积和散开所形成的卫星点等的影响。

亮点

- 毛细管力
- 化学和生化传感器
- 介电泳 (DEP)
- DNA 芯片和芯片实验室
- 电致变色
- 电动流
- 电渗
- 电泳
- 电润湿
- 流固耦合 (FSI)*
- 喷墨打印机
- 磁泳
- 马兰戈尼效应
- 微型全分析系统 (micro TAS)
- 微型反应器、微泵和微型混合器
- 多孔介质流
- 滑移流
- 静态混合器
- 表面张力效应
- 两相流和三相流

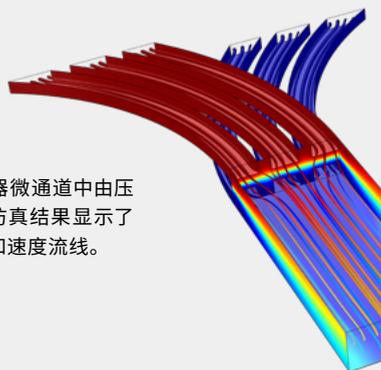
* 需要与结构力学模块或 MEMS 模块结合使用

App 示例

- 喷墨打印机
- 红细胞分离

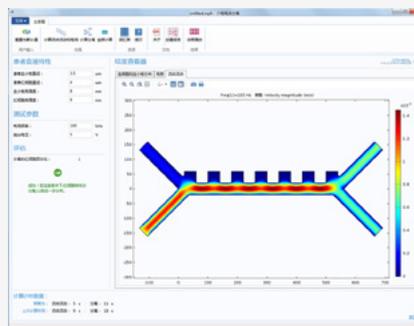
微流体混合器

模型模拟了薄片混合器微通道中由压力驱动的分层流动。仿真结果显示了混合器中的溶液浓度和速度流线。



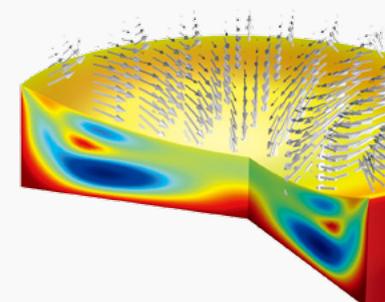
红细胞分离

App 支持用户计算血样中的血小板和红细胞流经过滤设备时的轨迹。仿真结果显示了电势、过滤系统中的流体流动分布及粒子位置。



电浸润

模拟微型相机变焦过程中的可变焦液体。透镜由两种液体之间的相界面构成。



分子流模块

分子流模块可用于设计和模拟真空系统中的低压气体流动。但是由于气体分子的平均自由程与流动的长度尺度相当,热力学效应的影响非常明显。因此,通过常规的流体动力学工具不易得到精确的模型。

分子流模块采用快速角系数法来模拟自由分子流动;支持模拟等温和非等温流动,还可以计算气体分子的热通量贡献。模块还针对过渡流引入了一个基于离散速度方法的接口。

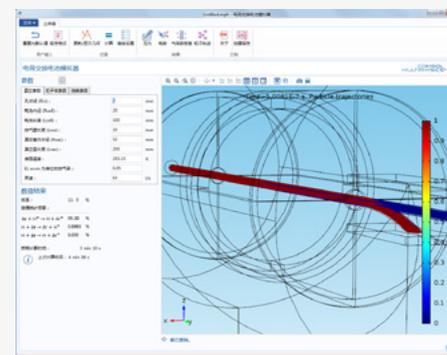
分子流模块是模拟真空系统的理想工具,可模拟半导体加工、粒子加速器和质谱仪等应用,并支持微小管道内流体流动的相关模拟。

借助于定义吸附/解吸和沉积的相关特征,用户可以设计和优化类似气室抽气和薄膜生长等过程。由于模块支持仅对表面进行网格剖分,所以复杂 CAD 几何结构的网络剖分得到了极大的简化。模块还支持对流动几何结构内任意位置的数密度进行计算。

流动类型	Knudsen 数
连续流	$Kn < 0.01$
滑移流	$0.01 < Kn < 0.1$
过渡流	$0.1 < Kn < 10$
自由分子流	$Kn > 10$

流态可按照 Knudsen 数 (Kn) 进行定量分类,Kn 数是分子平均自由程与流动几何尺寸的比值。

微流体模块和 CFD 模块可用于模拟滑移和连续流;分子流模块则可用于精确模拟自由分子流和过渡流态中的流动。



电荷交换室

本 App 计算了电离氢原子在经过填充有氩气的电荷交换室时发生的高能碰撞。用户可以控制诸如几何、工作条件等参数,以便计算器件内的压力、粒子轨迹、电势分布、效率及碰撞统计信息。

亮点

- 气体池
- 高稀薄流动
- 质谱仪
- 材料加工设备
- 纳米孔流动
- 粒子加速器
- 半导体加工设备
- 真空系统

App 示例

- 电荷交换室模拟器
- 离子注入机计算器

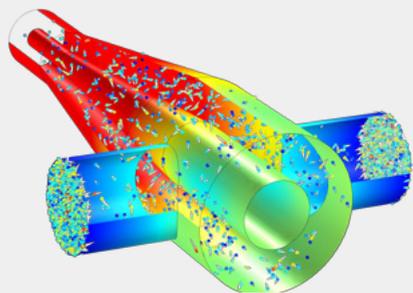


镀膜

图中显示了蒸发室中样品和内表面上的热蒸发金膜的厚度,通过瞬态仿真计算了厚度随时间的变化。

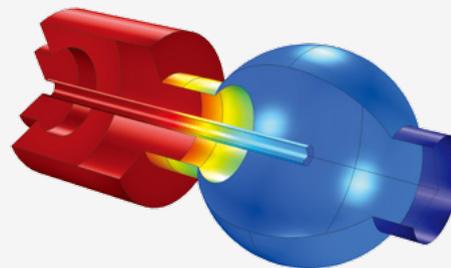
RF 耦合器

模型计算了 RF 耦合器的透射概率。



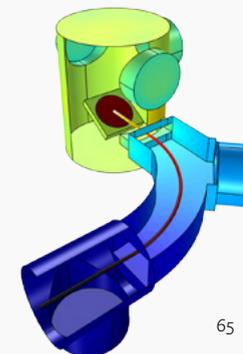
负载锁定真空系统

对低压真空系统内水吸附和解吸的瞬态仿真。当负载锁定装置的阀门被打开时,水被引入到系统中,模型模拟了这之后的水迁移和泵入过程。



离子注入真空系统

在离子注入系统中,排气分子与离子束相互作用并产生了多余物质。模拟了排气分子沿离子束的平均数密度,仿真结果可用作评估设计的品质因数。

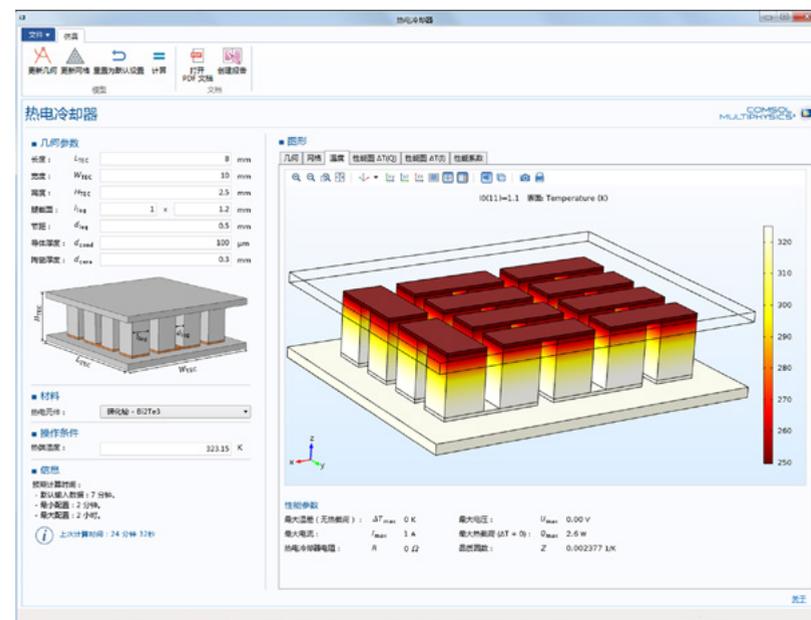


传热模块

几乎所有的加工过程和产品设计，都涉及到热效应的影响。传热模块提供一系列专门用于模拟传导、对流和辐射传热的接口，以及与其他物理场接口进行耦合分析的功能。

传热模块包含专用的物理场接口，支持模拟自由和强制对流、热传导、多孔介质、相变、透明和半透明参与介质中的辐射传热以及这些效应间的耦合；模块还提供了描述对流和辐射效应、接触阻抗以及薄结构中的传热（壳、膜、裂隙和杆）等的专用功能，可轻松模拟从“粗略计算”的简单模型到考虑所有相关效应的完整模型。模型还包含生物组织加热的相关专业方程，能够满足对该领域感兴趣的用户的需求。

由于所有材料属性都可以描述为温度的函数，可以把传热模型与其他物理场模型耦合在一起。此外，还可以通过 COMSOL 将其他任何物理场中产生的热量引入传热模型。



热电冷却器

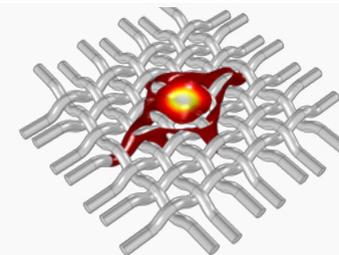
使用定制 App 分析单级热电冷却器的设计。用户可以测试不同的几何、热电偶属性和材料选择，进而确定具体应用的最理想冷却方案，或通过优化设计来改进性能。

亮点

- 复合材料中的各向异性传热
- 生物热处理和组织坏死
- 铸造和热处理
- 共轭传热
- 刹车盘
- 干燥和冷冻干燥
- 食品加工、烹饪和杀菌
- 炉灶及燃烧器设计
- 热湿传递
- 换热器和冷却法兰
- 多孔介质传热
- 激光和摩擦搅拌焊接
- 材料热处理
- 电力电子学和电子冷却
- 辐射传热
- 电阻热、感应加热和激光加热
- 热接触和摩擦
- 结构热性能
- 热电效应 (Seebeck, Peltier 和 Thomson 效应)

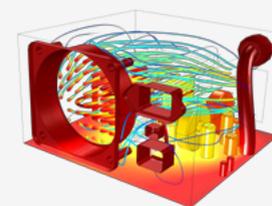
App 示例

- 同心管式换热器
- 周期性微结构的等效属性
- 带翅片管道
- 激光闪射法
- 散热器强制空气冷却
- 管线感应加热器
- 阳伞和太阳辐射
- 热电冷却器



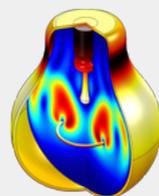
碳纤维

热性能各向异性碳纤维毡的传热分析。



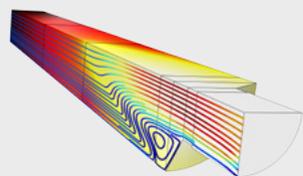
电源冷却

对封闭式计算机电源单元热行为的模拟。风扇通过抽取设备内的空气提供强制对流冷却。



灯泡

发光灯泡内部由于辐射和自然对流形成的温度分布。



连铸

模拟连铸过程中的传热以及由液态向固态转变的流动，分析了熔体向固体转变的相变过程。



模型由捷克共和国 Continental Corporation 公司 (位于弗伦什塔特) 的 Martin Sás 提供。

温度传感器

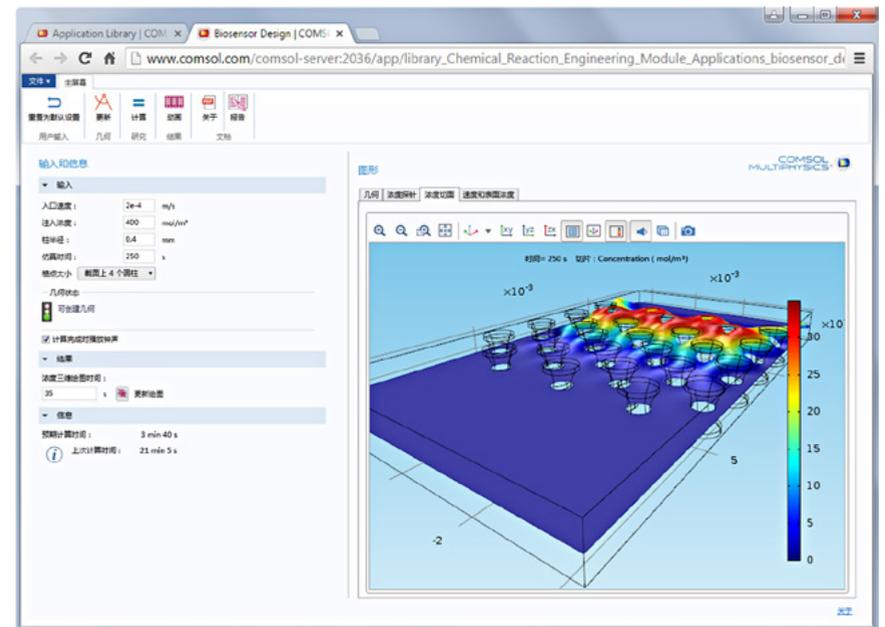
上: 器件的 X 射线照片。

右: 温度传感器内及帽内传感单元处温度分布照片及模型图像。

化学反应工程模块

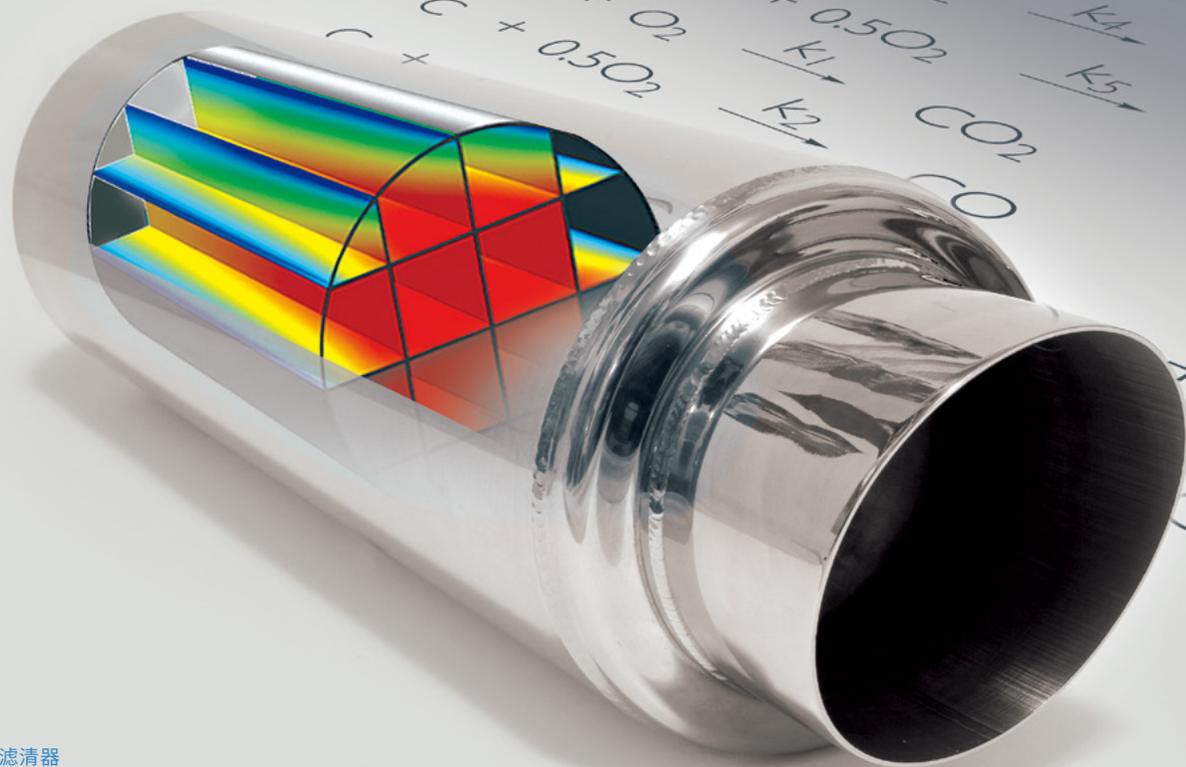
化学反应工程模块用于模拟反应器、过滤和分离单元以及其他化工和相关行业中的各种常见设备，可轻松耦合化学反应动力学与流体流动、质量和能量的传递来求解化学反应工程中的常见问题。用户可首先使用化学反应式来创建反应体系模型，之后求解系统中的材料和能量平衡，以及对组分和温度会随时间和/或空间变化的反应动力学进行求解。

化学反应工程模块可与 COMSOL Multiphysics® 的强大功能无缝结合，支持耦合建模以及基于方程建模；因此可以在材料属性、传递和反应动力学方程中引入任意表达式、函数和源项。还可以通过 CHEMKIN® 文件导入特征和化学反应工程模块的热力学接口来访问各种热力学和物理属性数据。



生物传感器

本 App 支持用户更改诸如生物传感器内的栅格间距、入口流速及柱直径等参数，以便分析不同设计对检测结果的影响。



柴油机滤清器

柴油机的滤清系统包含在滤清器壁上生成的烟灰层，该烟灰层随后会在反应器体积及移动表面上发生的催化和非催化反应中被氧化。所有反应速率均依赖于温度，并受到传递的限制。图中的颜色表示一氧化氮沿催化装置的转化。

亮点

- 吸附、吸收和沉积
- 间歇式、平推流/管式和釜式反应器
- 生化和食品科学
- 催化转化器和重整
- 层析和电泳
- 旋风分离器、分离器、洗涤器和浸出装置
- 尾气后处理和排放控制
- 发酵罐和结晶器
- 过滤和沉淀
- 层流和湍流流型
- 微流体和芯片实验室
- 多组分和膜传递
- 药物合成
- 塑料和聚合物制造
- 预热器和内燃机
- 填充床反应器
- 反应动力学模拟
- 反应器尺寸调整和优化
- 半导体加工和 CVD
- 表面动力学
- 通过扩散、对流和离子迁移进行物质传递

App 示例

- 生物传感器设计
- 液相色谱分析
- 膜透析



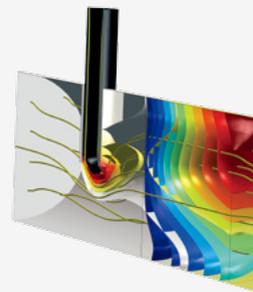
平板反应器

平板反应器中的流动流线和浓度分布。在反应器的入口引入一种物质，在中间引入另一种物质。

图片版权所有：© Alfa Laval AB 公司（位于瑞典通巴）

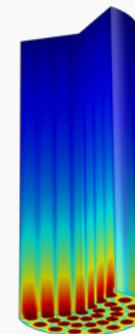
多孔反应器

从反应器的不同入口引入两种物质，它们将在反应器内的多孔部分发生反应。图中用流线图表示流动，并使用等值面表示其中一种反应物和生成物的浓度。



多尺度三维填充床反应器

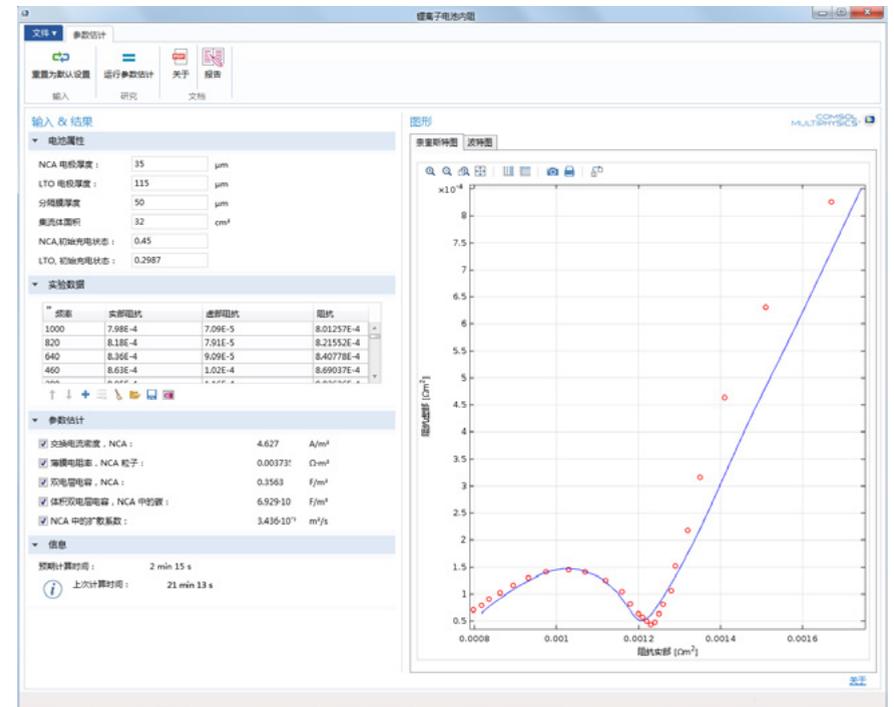
模型有效求解了双峰孔分布异构系统中的多尺度问题，其中综合了宏观尺度与微尺度。仿真结果包含填充颗粒内部及周围流体中的浓度分布。



电池与燃料电池模块

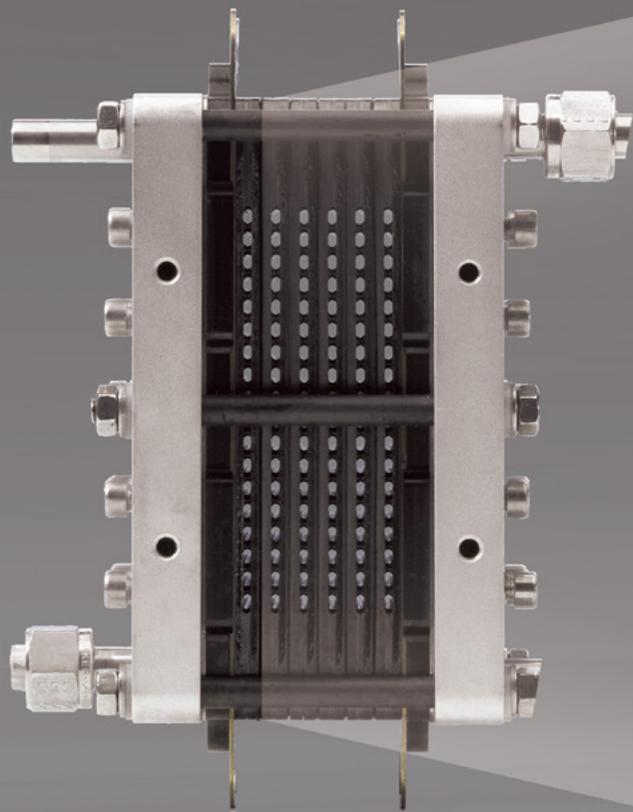
电池与燃料电池模块包含全套易用的工具,可用于模拟锂离子电池、镍氢电池、液流电池、固体氧化物燃料电池和质子交换膜燃料电池中的电极和电解质。借助于这些工具,用户可以快速准确地研究不同材料、几何结构和工艺条件对电池性能的影响。

电池与燃料电池模块包含定制化的接口,可用于研究电化学电池中的一次、二次和三次电流分布。电极反应可与电池内的传递现象全面耦合,能够对电极动力学进行完整描述,包括其中的活化和浓度过电位。模块支持固体或多孔电极,稀或浓电解质的模拟。此外,借助 COMSOL Multiphysics® 强大的多物理场耦合功能,用户还能将电池与燃料电池中的电化学反应和传质与其他现象进行耦合,例如传热和对流。



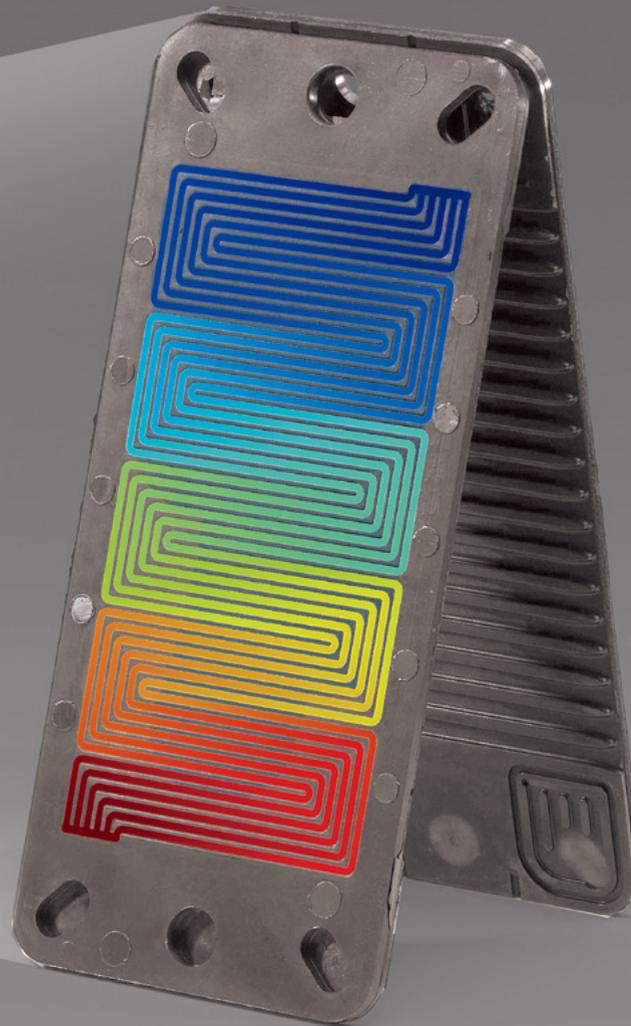
锂离子电池阻抗分析

App 用户可以对锂离子电池的特征进行评估;并能通过电化学阻抗谱 (EIS) 计算确定交换电流密度和电阻层的属性等结果。



PEMFC
双极板管道中的氢浓度分布(考虑边效应)。

模型由德国 Center for Fuel Cell Technology (ZBT 集团, 位于杜伊斯堡) 公司的 Christian Siegel 提供。

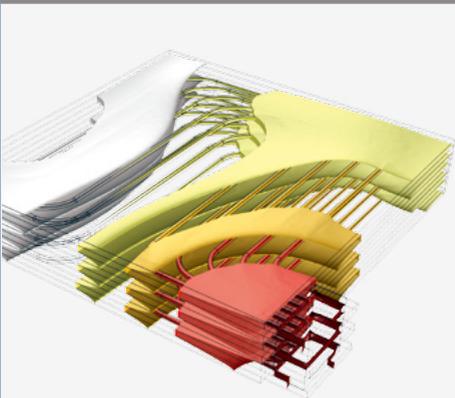


亮点

- 燃料电池
 - 碱性
 - 直接甲醇
 - 熔融碳酸盐
 - 质子交换膜
 - 固体氧化物
- 电池
 - 铅酸
 - 锂空气
 - 锂离子
 - 镍氢
 - 固体锂
- 液流电池
 - 可溶铅
 - 钒

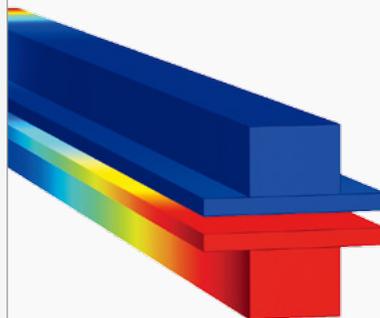
功能

- 由结构、热和化学效应引起的老化机理
- 电池负荷循环、内部电阻和倍率性能仿真
- 浓缩电解质和支持电解质
- 电池的全面电化学分析
- 针对电极动力学和老化机理的预置阻抗谱研究
- 一次、二次和三次电流分布
- 电池短路
- 热管理
- 电池热失控



电堆

图片为车载电堆内冷却管道和电池中的温度场。模型提供了对电池的详细电化学分析, 并将其与针对电堆中电池和部件的热分析以及冷却管道中的流体流动进行了耦合。



SOFC

固体氧化物燃料电池中反应物的密度。模型中完全耦合了阳极和阴极处的多孔电极反应和质量守恒、气体通道中的动量守恒、多孔电极中的气体流动、氧离子携带的离子流平衡和电流平衡。

App 示例

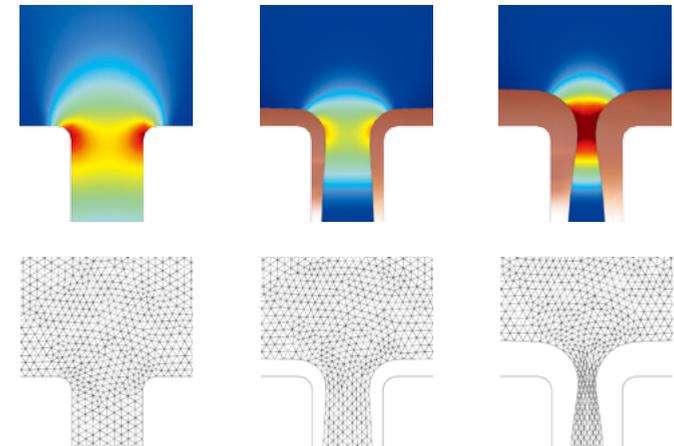
- 循环伏安法
- 电化学阻抗谱
- 锂离子电池阻抗分析

电镀模块

模拟与仿真为理解、优化和控制电镀工艺提供了一种低成本解决方案。用户可以通过仿真获取电极表面的电流分布、镀层厚度和成分，并能基于这些结果研究一些重要的电镀参数，例如电镀池几何、电解质成分、电极动力学、工作电压和电流以及温度效应等。

电镀模块将 COMSOL Multiphysics® 的强大功能带入电镀工艺的仿真中。用户可借助模块简单易用的物理场接口创建一次、二次和三次电流分布模型，并能以模型参数的形式加入对镀层形成的精确几何表征。模块的变形几何接口还支持模拟电极形状变化。

电镀模块支持模拟各类应用，包括电子和电气零件的金属电镀、腐蚀和磨损防护、装饰性电镀、超薄和复杂结构零件的电铸成型以及金属电解。



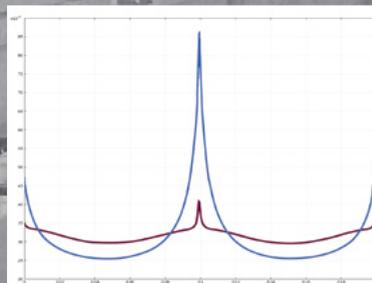
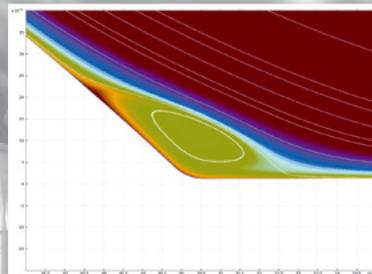
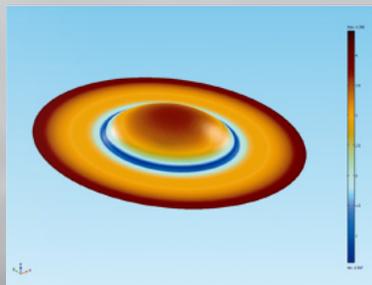
电镀

模型演示了变形几何对电路板中电镀铜的影响。这是一个瞬态模型，结果清晰地显示了窄深孔开口处由于非均匀镀铜产生的缩孔效果。

工业电镀

汽车工业使用的金触点电镀模型,使用电镀在一条穿过电镀单元的条带上镀上需要的触点。三维图显示了触点上金镀层的厚度,结果显示触点顶部最厚,弯曲部位最薄。二维图放大了弯曲部位,显示此处形成了回流,并发生了二次反应。曲线图(右下)来自另一个应用,研究了经过铜带的锡层厚度,分别为使用屏蔽(红线)和不使用屏蔽(蓝线)时的曲线。

模型及图片由法国 PEM 公司(位于西奥盖)的 Philippe Gendre 提供。

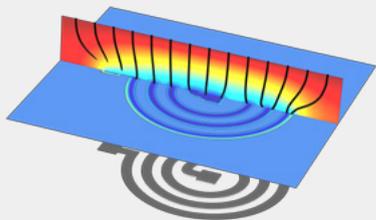


亮点

- 阳极化
- 平板镀铬
- 镀铬
- 电化学加工
- 电涂
- 电子上色
- 采矿应用中的电镀
- PCB 制造中的电镀
- 电铸
- 电镀
- 功能性电镀
- 耐磨涂层

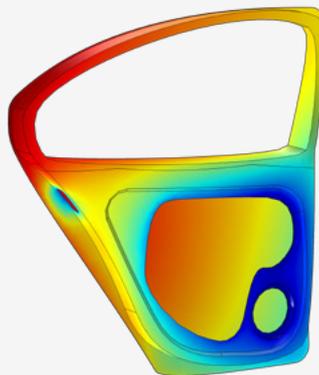
App 示例

- 循环伏安法
- 电化学阻抗谱



电感线圈

对使用薄光刻胶掩膜完成电镀的电感线圈的仿真。

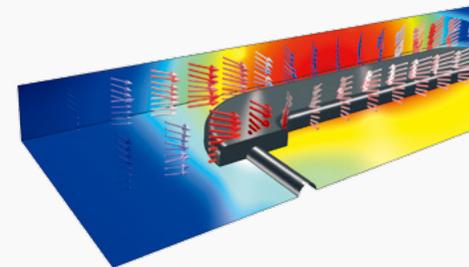


汽车门

对经电泳涂漆的汽车门中漆层厚度的仿真。

装饰性电镀

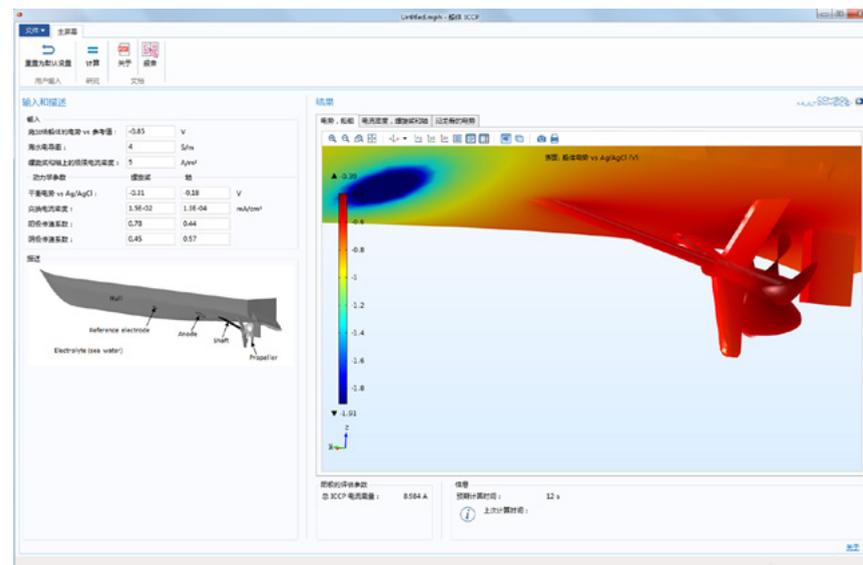
在本示例中,阳极为平板电极,且会发生溶解,阴极为家具的五金配件,通过镀上溶解的金属进行装饰。模型采用全 Butler-Volmer 动力学方程来假定阳极和阴极上的二次电流分布。



腐蚀模块

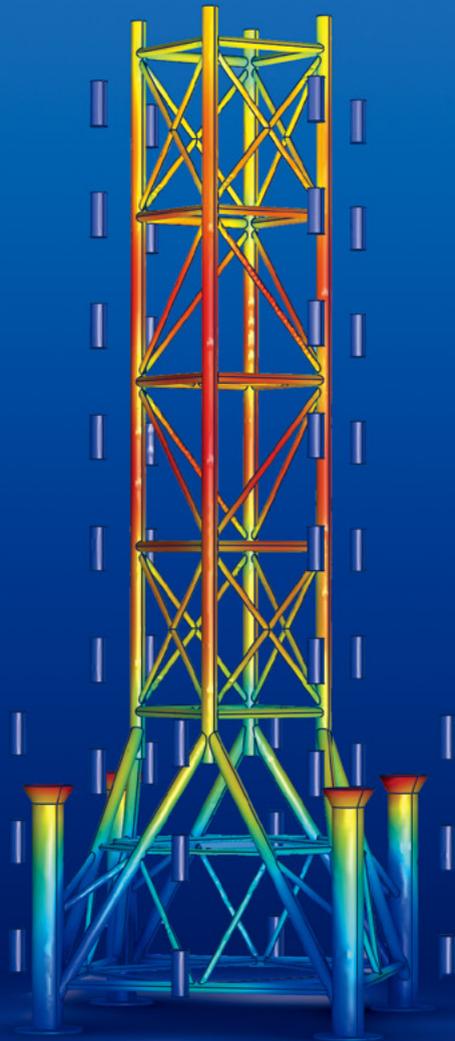
腐蚀模块支持工程师通过有限元或边界元方法模拟金属结构的电化学腐蚀和腐蚀防护。您可以建立一维、二维和三维的模型来分析电解质内部及金属表面发生的腐蚀和其他反应，通常模型还涉及溶液中的离子和中性物质的传递、金属结构中的电流传导以及流体流动和传热等其他现象。

借助腐蚀模块仿真，您将能深入理解如何避免腐蚀的发生，并设计和优化腐蚀防护方案。模块支持微观仿真分析，例如缝隙腐蚀和点蚀，通常在这类问题中局部浓度对电荷转移反应影响显著；也支持宏观仿真分析，例如优化牺牲阳极在结构周围的放置位置。还可实现这两种尺度仿真的耦合。



船体外加电流阴极保护

本专业 App 计算了船体(含涂层螺旋桨)的外加电流阴极防护需求。结果显示了电解质中的电势分布。



腐蚀防护

海水环境中的石油钻井结构，由 40 个牺牲铝阳极提供腐蚀防护。布置这些阳极之前，先通过仿真优化了它们的放置位置，以便提供最大的腐蚀防护。图示为结构表面的电解质电势。

亮点

- 阳极保护
- 大气腐蚀
- Butler-Volmer 方程
- 阴极保护
- 腐蚀
- 腐蚀防护
- 缝隙腐蚀
- 电偶腐蚀
- 外加电流阴极保护 (ICCP)
- Nernst-Planck 方程
- 钝化
- 点蚀
- 一次电流分布
- 二次电流分布
- Tafel 方程
- 三次电流分布

功能

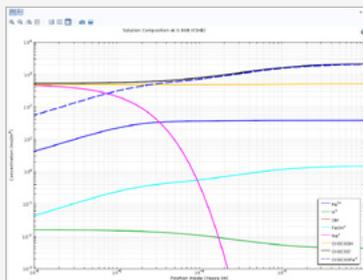
- 边界元法 (BEM)
- 有限元法 (FEM)

App 示例

- 循环伏安法
- 电化学阻抗谱
- 船体外加电流阴极保护

缝隙腐蚀

0.844 V (SHE) 下的乙酸/乙酸钠溶液中铁缝隙内的浓度分布。



电偶腐蚀

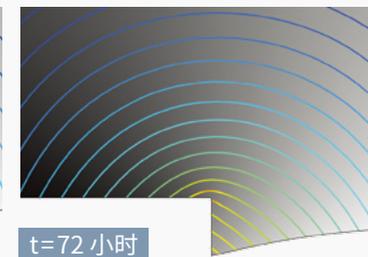
盐水溶液中，连接至低碳钢的镁合金 (AE44) 中的腐蚀。模型模拟了电极材料的溶解，在此类仿真中，这是一个相当重要的变量。



t=0 小时



t=28 小时



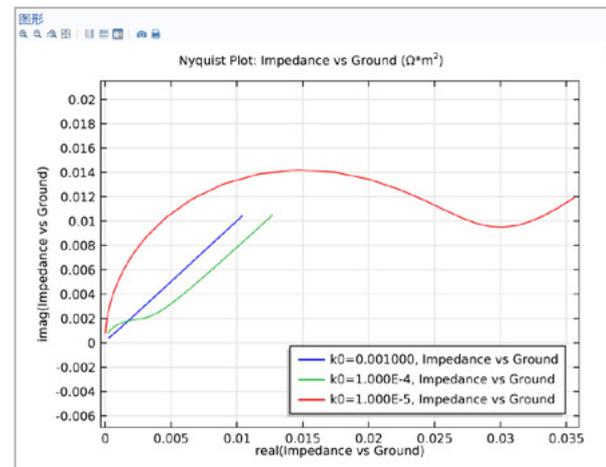
t=72 小时

电化学模块

电化学模块提供了精确的电化学仿真功能,扩展了我们理解、设计和优化电化学系统的可能性,是实验室研究人员和化工工程师的一大有力工具。模块支持模拟电流密度分布、电化学反应以及传质,可高效地模拟诸如电解、电化学传感器、电渗析、电分析和生物电化学等的应用。

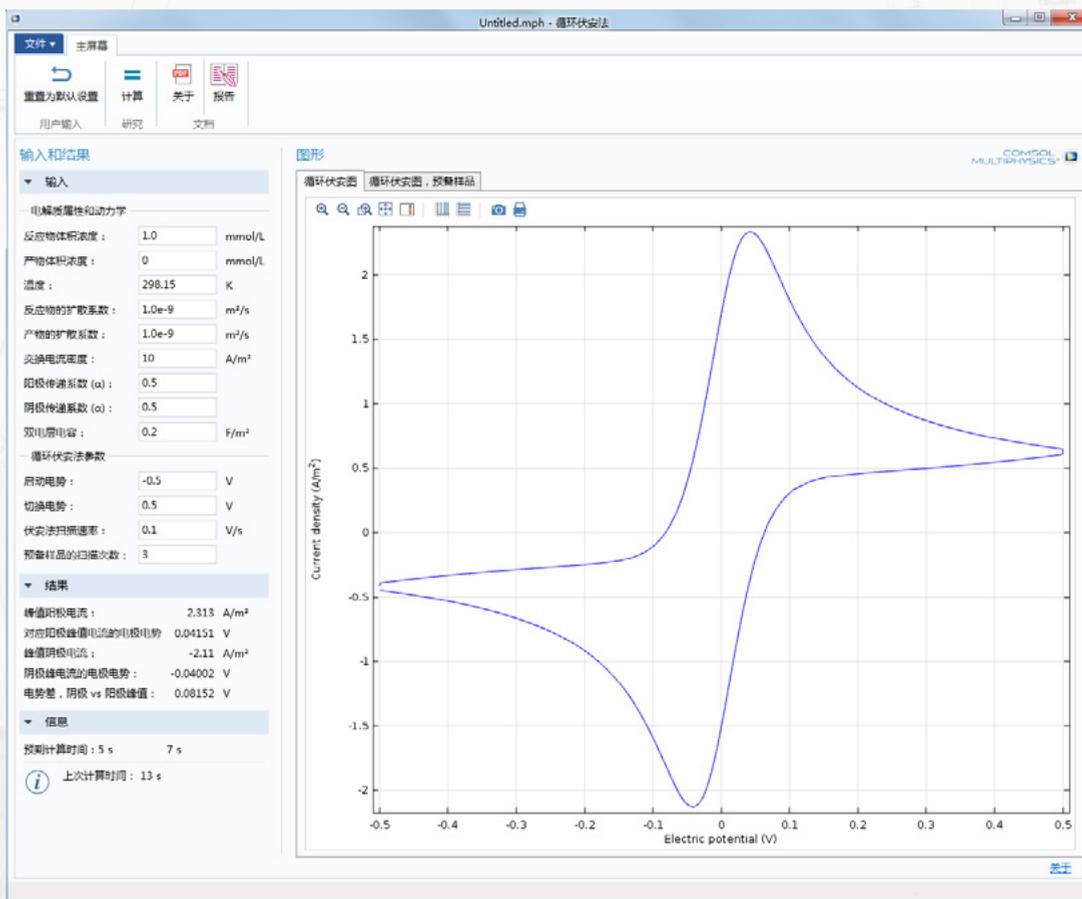
电化学模块包含专门的接口,支持定义伏安法、电流测定法、电位测定法、电化学阻抗以及电量测定法等。通过结合实验和仿真结果,还可确定交换电流密度和活化过电势。

对于常见的电化学系统,电化学模块支持通过一次、二次电流接口以及基于 Nernst-Planck 和 Butler-Volmer 方程的三次电流接口建模。与其他接口的耦合,例如电流、自由和多孔介质流动、传热、表面和均质化学反应,以及稀物质和多孔介质中物质传递等,为电化学模块带来了更广泛的应用。



阻抗谱

电化学阻抗谱 (EIS) 是电化学分析中的一种常用技巧。在仿真中,电极电势交流部分的频率不断变化,同时记录了电极电流的密度。结果提供了有关电极-电解质界面以及电解质中传质的信息。

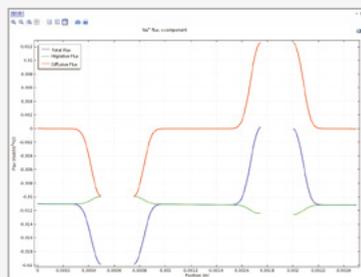


循环伏安法

本 App 模拟了用于确定化学工艺中信息的循环伏安法。

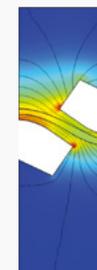
电渗析

模拟了从水溶液(稀)脱除氯化钠到另一个溶液(浓)的过程。这类应用常见于工业生产液流的脱盐, 食品和饮料生产以及生物医学工程等。



氯碱薄膜电池

通过增加内部对流、减少欧姆损耗和改进薄膜设计来优化薄膜电池的设计, 从而能在小幅提高电池电压的情况下, 显著增加电流密度。现代薄膜电池设计中的一个重要参数是电极表面的电流密度分布。模型描述了氯碱薄膜电池内真实阳极和阴极结构中的电流密度分布。



亮点

- 生物电化学
- 氯碱电解
- 生物医药厂中的电化学反应控制
- 海水脱盐
- 电化学分析
- 电化学传感器
- 电渗析
- 电解
- 电解质废料处理
- 气体传感器
- 葡萄糖传感器
- 氢气和氧气的生产
- 流质食品的 pH 控制
- 超纯净水生产

App 示例

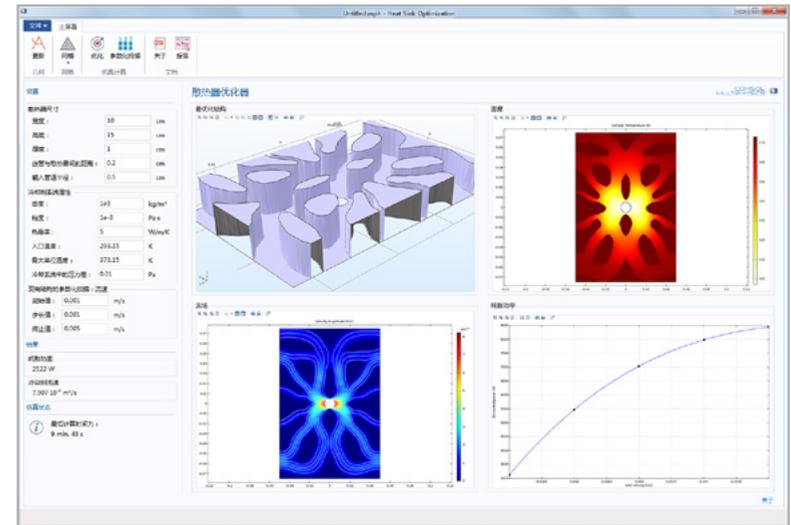
- 循环伏安法
- 电化学阻抗谱

优化模块

不论身处哪个工程领域, 针对产品或工艺过程开发模型之后, 用户一定希望能持续改进模型。优化模块支持与 COMSOL Multiphysics 产品库中各类模块的完美耦合, 能帮助求解各类工程问题的最优解。所有模型输入都可以作为模块的设计变量, 包括几何尺寸、部件形状、材料属性以及材料分布; 同时, 所有模型输出又可以作为目标函数。

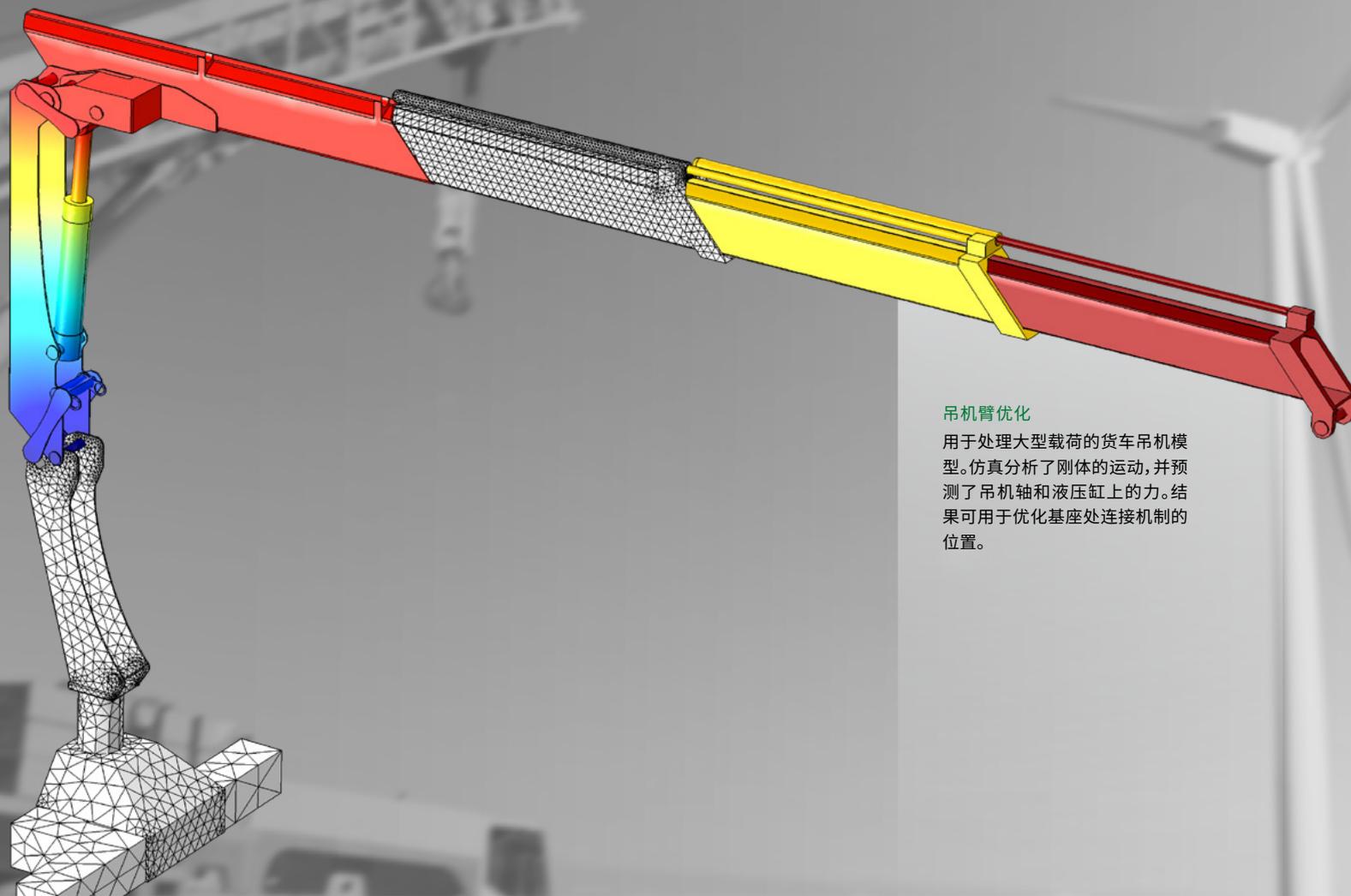
优化模块提供微分型和非微分型优化方法, 可用于各类常见的优化分析。模块提供了以下微分型优化方法: SNOPT、MMA 和 Levenberg-Marquardt; 同时还包含以下非微分型方法: 坐标搜索、Nelder-Mead、COBYLA 和 BOBYQA。

优化模块支持求解形状、尺寸和拓扑优化问题, 类似参数估算的逆问题, 以及稳态和瞬态优化问题。借助优化模块的通用接口, 可以将其与 COMSOL 的其他模块进行任意耦合。



散热器优化器

用于优化平板散热器中流道拓扑的专业 App, 冷却剂入口管位于散热器中部。App 基于给定压降和被冷却器件的最高允许温度, 执行流道拓扑优化。

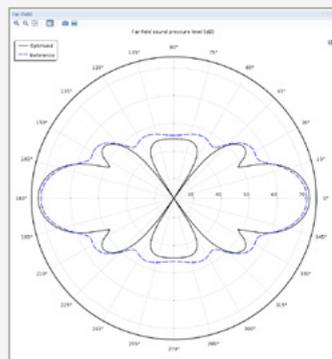
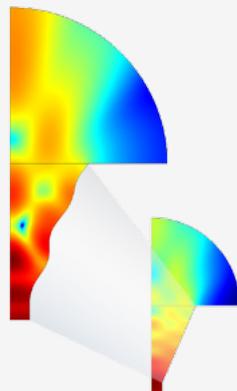


吊机臂优化

用于处理大型载荷的货车吊机模型。仿真分析了刚体的运动，并预测了吊机轴和液压缸上的力。结果可用于优化基座处连接机制的位置。

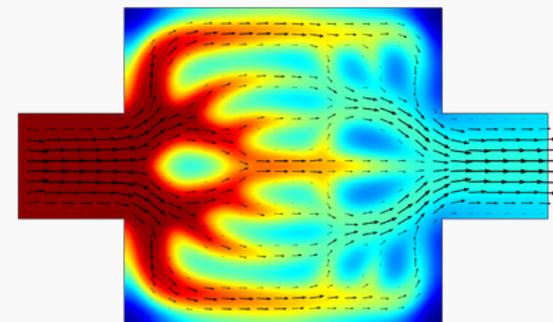
喇叭形状优化

喇叭的最初形状是一个呈轴对称的直边圆锥，根据远场声压级优化了这一设计。图中显示了新的内部边界形状，并对比了优化形状和初始参考设计中的远场声压级。



反应器优化

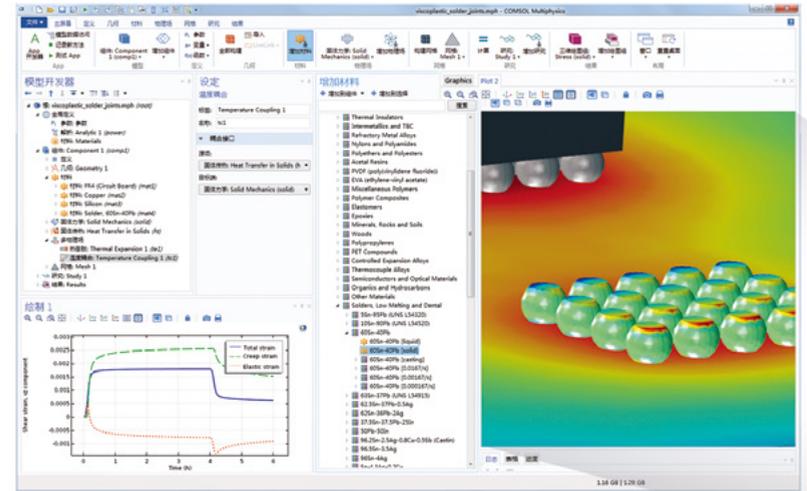
模型确定了一个最优的催化剂布置方案，在给定催化床总压差下实现了最高的反应速率。



材料库

通过 COMSOL Multiphysics® 的“模型开发器”和“材料浏览器”，可以全面控制对材料及材料属性的定义和使用，还能在“材料浏览器”中统一管理模型中的材料，并能通过材料库进行补充。

材料库中包含超过 2700 种材料，涉及各类元素、矿物、金属合金、热绝缘体、半导体和压电材料等。每种材料给出了多达 31 种关键属性的参考函数，这些函数的变量通常为温度或其他变量。用户可以绘制并查看这些函数，也可以在此基础上自行修改或添加新的函数。还可以将这些属性函数与其他涉及这些函数的物理场耦合起来，进行多物理场仿真分析。

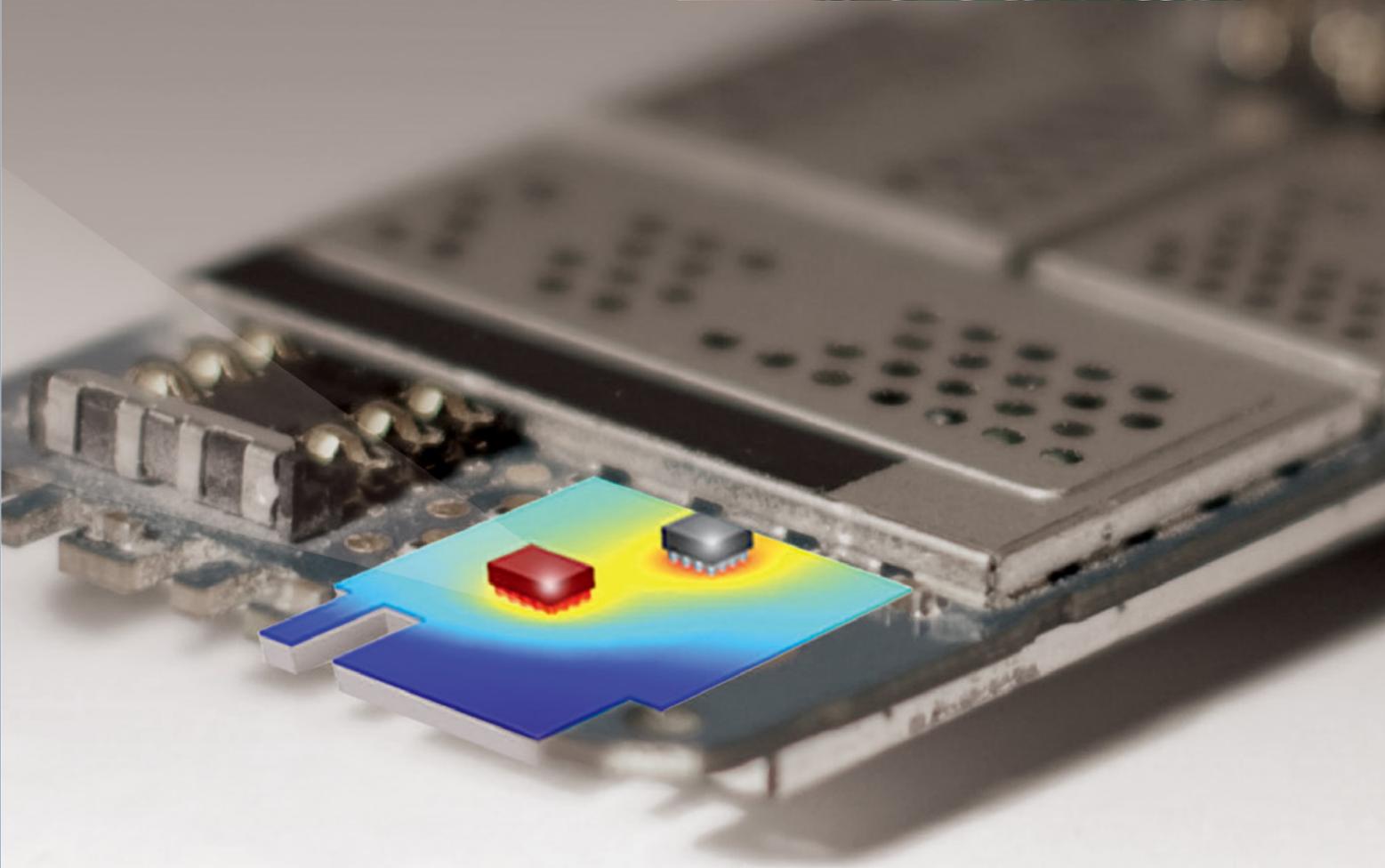
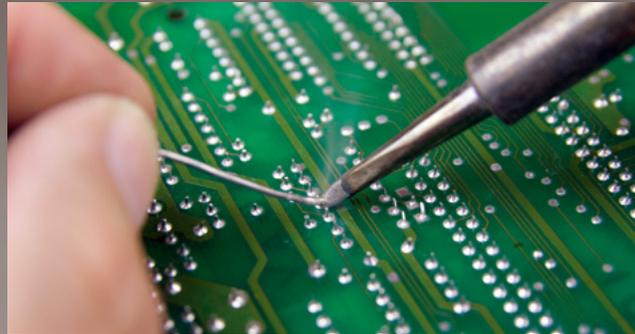


焊点

本示例研究了焊点在热载荷作用下的粘塑性蠕变，焊点用于将两个芯片连接到手机的电路板上。电路板包含两层：薄金属铜层和略厚的 FR4 材料层，芯片由硅制成。通过材料库获取模型中依赖于温度的材料属性。绘图显示连续施加 40 秒的热载荷后，出现了明显的塑性流动。模型结果给出了有关电路板上温度分布和焊点塑性应变的放大图。

可选材料

- 缩醛、PVDF 和 EVA
- 铝和铜合金
- 碳化物、陶瓷和工具钢
- 碳和热绝缘体
- 铸铁和模具材料
- 可控膨胀和热电偶合金
- 弹性体和环氧树脂
- 元素
- 铁和镍合金
- 玻璃、金属玻璃、氮化物和钨化物
- 金属间化合物、TBC 和耐火材料
- 金属基和陶瓷基复合材料
- 镁和钛合金
- 矿物、岩石、土壤和木材
- 其他聚合物和聚合物复合材料
- 氧化物
- 尼龙和聚酯
- 聚丙烯和 PET
- 电阻和磁性合金
- 盐、燃料电池、电池和电陶瓷
- 半导体、光学和相关材料
- 硅化物和硼化物
- 焊料、牙齿和钴合金



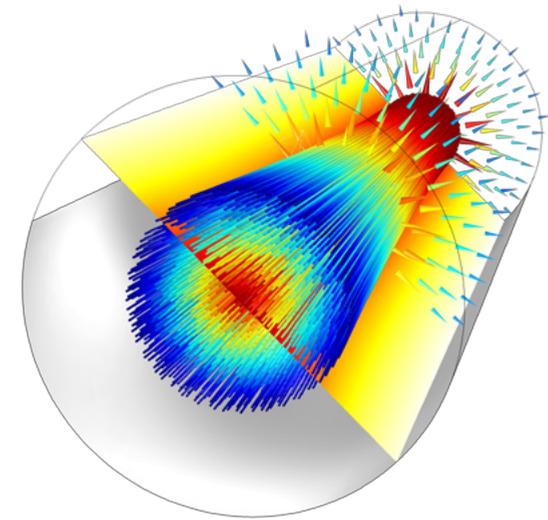
粒子追踪模块

粒子追踪模块进一步拓展了 COMSOL Multiphysics® 的仿真功能, 可用于计算流体或电磁场中的粒子轨迹, 还可包含粒子-粒子和粒子-场的相互作用。粒子追踪模块可与所有专业模块无缝耦合, 为用户提供额外的建模工具, 以及驱动粒子运动的场量。

可以基于内置的粒子质量和温度函数, 描述粒子与周围环境的质量或能量交换; 模块支持通过助变量定义其他物理量, 例如粒子的自旋; 当粒子撞击壁面时, 还可以通过各种壁条件来定义粒子的停止、消失、镜面反射或漫反射, 或根据用户定义的表达式描述粒子运动轨迹的改变。模块支持通过逻辑表达式或粘附可能性指定粒子-壁间相互作用的条件; 支持粒子的二次发射模拟, 此时发射可基于入射速度和能量。粒子可以无质量或带质量, 其运动将由牛顿、拉格朗日或哈密尔顿等经典力学定律决定。可以在每个网格单元内均匀释放粒子, 也可以通过栅格或根据用户定义表达式进行释放。对于高度定制的仿真, 模块还支持访问底层数学公式。

化学气相沉积 (CVD) 室

粒子追踪模块提供了多种指定粒子初始位置及速度的方法。支持在选定的域、表面或边释放粒子, 粒子分布可以基于用户定义表达式或底层有限元网格。支持通过选定几何中的点、输入坐标列表或从文件导入初始位置实现在具体位置释放粒子。粒子速度可以通过用户定义表达式进行初始化、通过 Maxwellian 分布进行取样, 或在半球、球或圆锥内均匀释放。在本示例中, 通过在圆锥内的一组点上释放粒子, 模拟粒子喷雾进入 CVD 室的情形。粒子轨迹的颜色表征了粒子的速度。最初, 粒子按照各自的初始速度矢量沿一条近线性轨迹运动, 随后逐渐损失动量, 其运动轨迹最终取决于周围流体产生的拖曳力。



粒子-场的相互作用

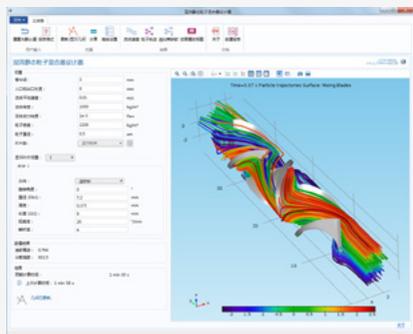
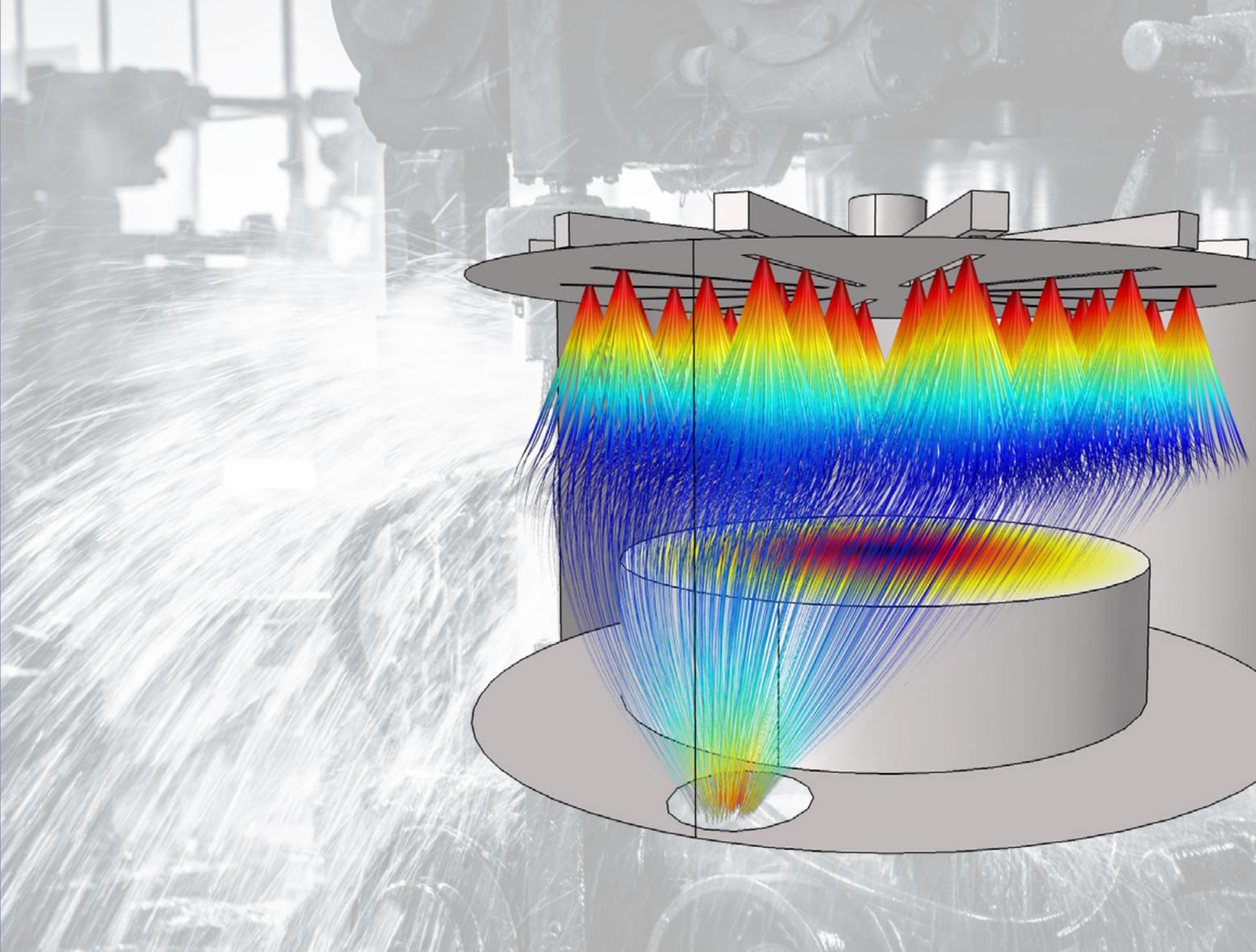
带电粒子追踪接口可模拟电子束由于自身所带的空间电荷而发散的过程。其中迭代计算过程支持对粒子轨迹及电子束电势进行自洽计算。在上图中, 对粒子轨迹进行着色以表征每个粒子相对其初始位置的径向位移。切面图代表了电子束电势, 矢量场表示电子束电势在每个电子上产生的力。

亮点

- 声泳
- 气溶胶动力学
- 束流物理
- 布朗运动
- 经典力学
- 介电泳和磁泳
- 电推进
- 侵蚀
- 刻蚀
- 流体流动可视化
- 流体-粒子相互作用
- 连续介质中的几何光学
- 离子能分布函数可视化
- 离子迁移谱
- 离子光学
- 质谱仪
- 混合器
- 电子倍增
- 粒子加速器
- 稀薄气体动力学
- 二次发射
- 喷雾
- 分离和过滤

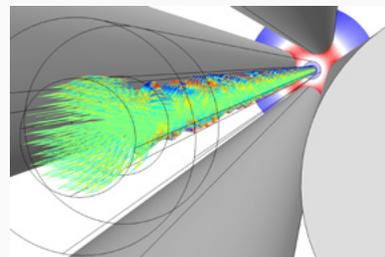
App 示例

- 电荷交换室模拟器
- 层流静态粒子混合器设计器
- 红细胞分离



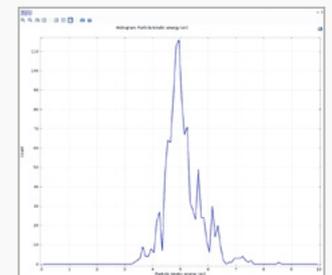
层流静态粒子混合器设计器

本 App 研究了静态混合器的性能。用户可以更改粒子属性和混合器的几何结构,分析不同配置对混合过程的影响。



质谱仪

模拟了四极质谱仪中氦离子的运动轨迹。电场同时包含直流和交流部分,将在离子上施加作用力。二者的耦合是保证质谱仪正常工作的必要条件。图形显示了质谱仪收集器中离子能的分布函数。



CAD 导入模块

借助 COMSOL 的 CAD 兼容工具, 设计团队将能更轻松地开展内部合作。CAD 导入模块支持所有主流的 CAD 文件格式在 COMSOL Desktop® 环境中的直接导入, 这使得用户可以根据真实世界的多物理场仿真来精确模拟自己的设计。通过引入 Parasolid® 软件几何引擎, CAD 导入模块支持在 COMSOL Desktop® 中对复杂的 CAD 模型执行更高级的几何操作。交互式的修复特征确保在仿真中使用导入的几何结构模型时, 其数学描述准确; 特征去除工具可用于移除圆角、小面、长条面、尖峰和短边。

CAD 的 LiveLink™ 模块

LiveLink™ 产品除了包含 CAD 导入模块的全部功能外, 还支持 CAD 设计与多物理场仿真的无缝集成, 具体 CAD 产品包括 SOLIDWORKS®、Autodesk® Inventor®、Autodesk® AutoCAD®、Autodesk® Revit®、PTC® Creo® Parametric™、PTC® Pro/ENGINEER® 和 Solid Edge® CAD 系统。在这些模块的帮助下, 用户对 CAD 和 BIM 设计特征的修改将同步更新在 COMSOL Multiphysics® 中, 同时保持物理场设置不变。因此, 用户能够执行涉及几何参数扫描的仿真, 并在 COMSOL Multiphysics 中直接优化自己的设计。

Powered by
PARASOLID



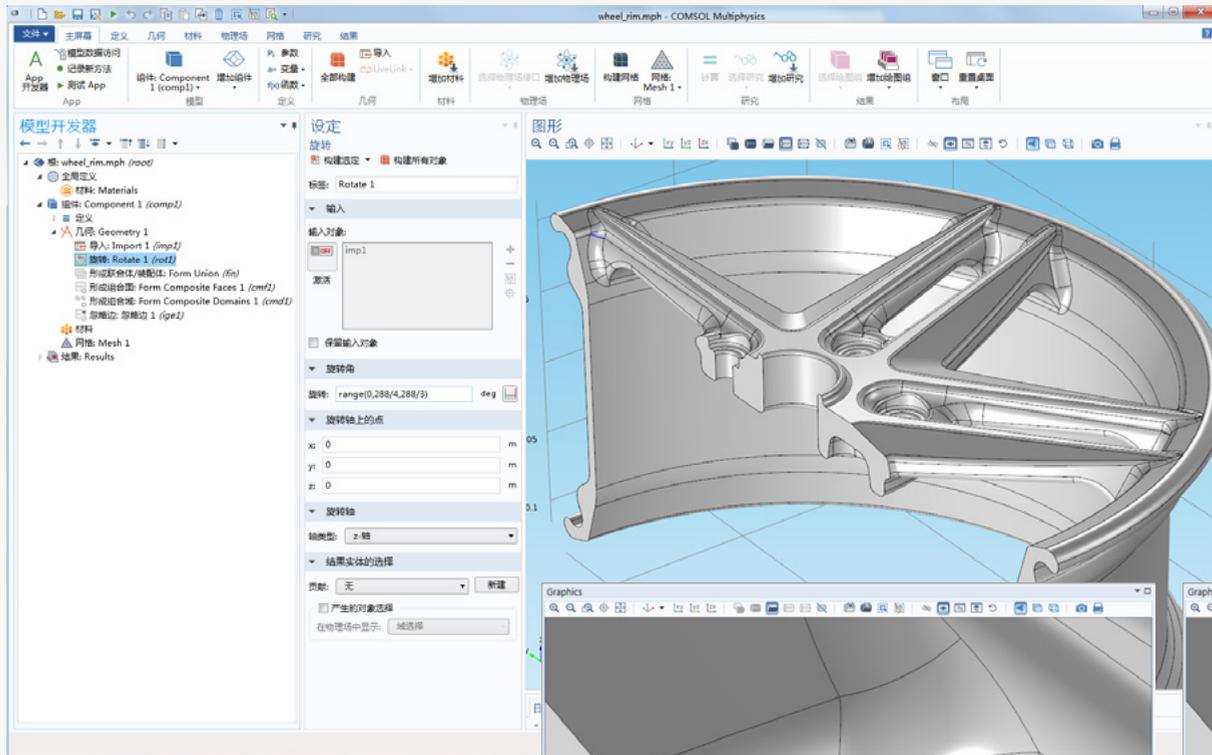
支持的 CAD 文件格式

ACIS® (.sat, .sab, .asat, .asab)
AutoCAD® (.dwg, .dxf)
CATIA® V5 (.CATPart, .CATProduct) *
IGES (.iges, .igs)
Inventor® (.ipt, .iam)
NX® (.prt)
Parasolid® (.x_t, .xmt_txt, .x_b, .xmt_bin)
PTC® Creo® Parametric™ (.prt, .asm)
PTC® Creo® Elements/Pro® (.prt, .asm)
PTC® Pro/ENGINEER® (.prt, .asm)
Revit® 和 Revit® Architecture (.rvt)
SOLIDWORKS® (.sldprt, .sldasm)
STEP (.step, .stp)
STL (.stl)
VRML, v1 (.vrm, .wrl)

* 需要 File Import for CATIA® V5。

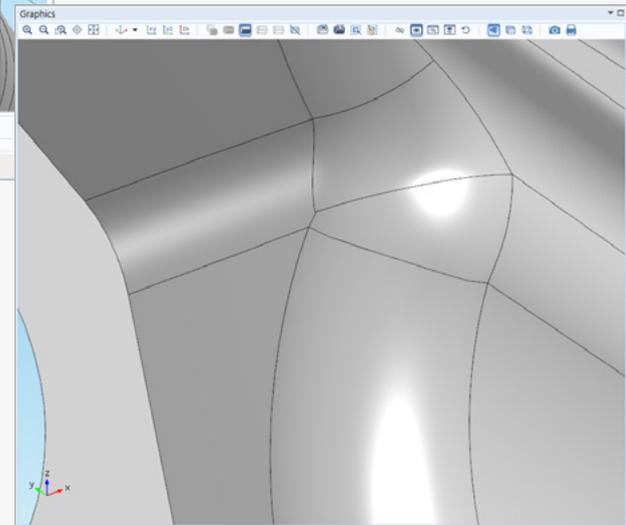
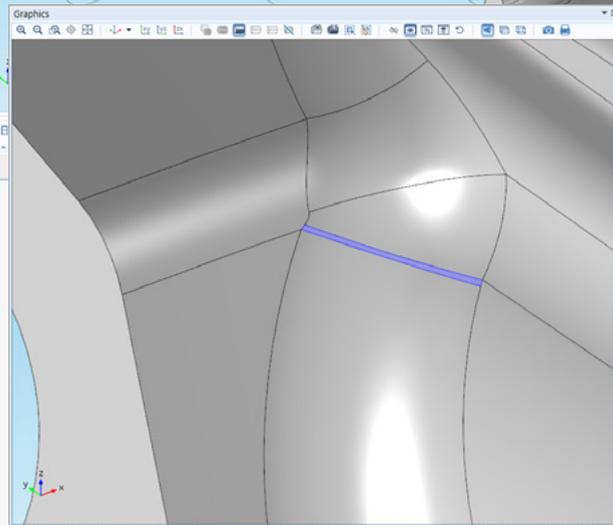
支持的操作

修复和特征去除
端盖面



特征去除

放大辐条周围的区域, 将发现存在一个很小的长条面。该几何实体可以通过塌陷成一条边来去除特征。右图显示了去除特征后的几何。



设计模块

设计模块简化了仿真中的几何建模准备步骤，模块工具可用于创建几何结构及导入各种 CAD 文件格式。模块支持基于横截面轮廓创建放样对象，还包括诸如倒圆角、倒斜角、中面和加厚等操作。例如，通过放样工具，可以基于从 MRI 扫描中获取的切面或等值线来创建几何结构。

设计模块基于 COMSOL Multiphysics® 中成熟的几何结构参数化建模框架，采用了业界标准的 Parasolid® 几何内核。用户可以借助设计模块修改或从头开始创建 CAD 设计，并与其他工具共享设计。

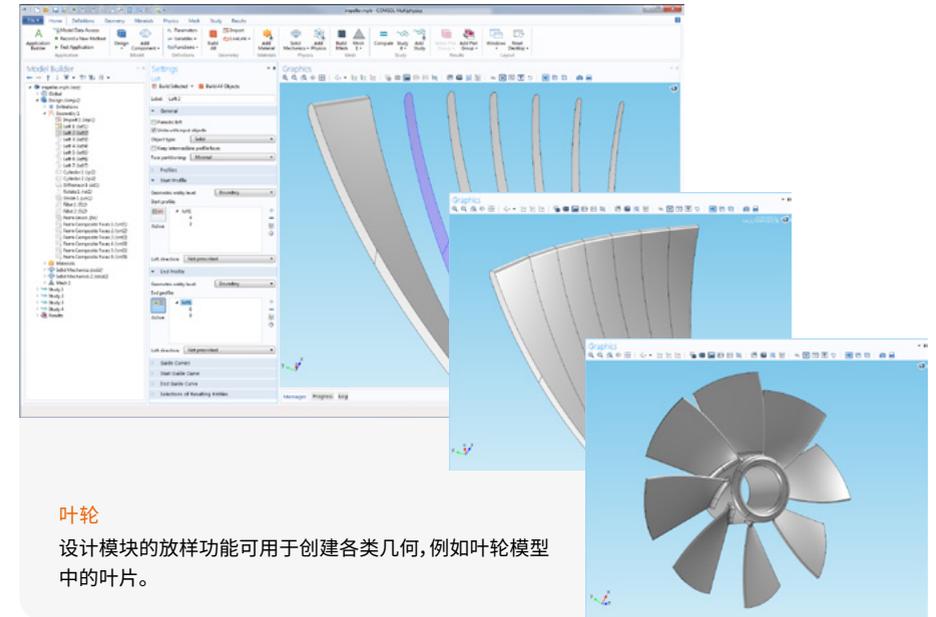
设计模块还包含 CAD 导入模块的全部功能。

支持的 CAD 文件格式

参见 CAD 导入模块

支持的操作

修复和特征去除	三维倒角
端盖面	加厚
放样	中面
三维圆角	



Powered by
PARASOLID

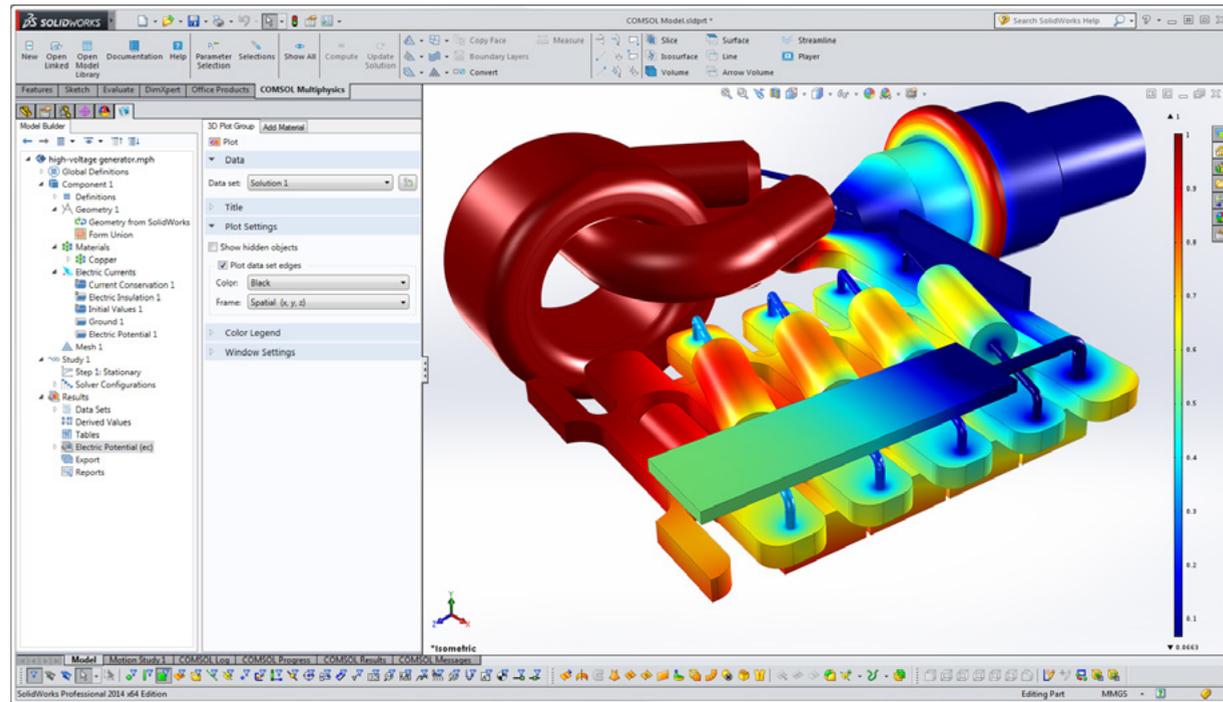


Parasolid 是 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 或其子公司在美国和其他国家或地区的商标或注册商标。

LiveLink™ for SOLIDWORKS®

共窗口界面

SOLIDWORKS® CAD 系统中的 LiveLink™ 接口已扩展为共窗口界面。SOLIDWORKS® 软件用户可以直接在 CAD 平台中进行多物理场仿真, 通过该共窗口界面使用 COMSOL Multiphysics® 中的所有模拟工具, 对几何的更改也将在这两个软件之间同步更新。



高压发生器

针对X射线装置中高压发生器的电磁场仿真。在 SOLIDWORKS® 软件 CAD 系统中设计几何, 并通过 LiveLink™ 接口将几何导入 COMSOL Multiphysics®。导入完成后, 将可以在 SOLIDWORKS® 内选择不同的零件、定义物理场属性, 并求解模型。

模型由瑞士 Comet AG 公司 (位于弗拉马特) 提供。

Powered by
PARASOLID

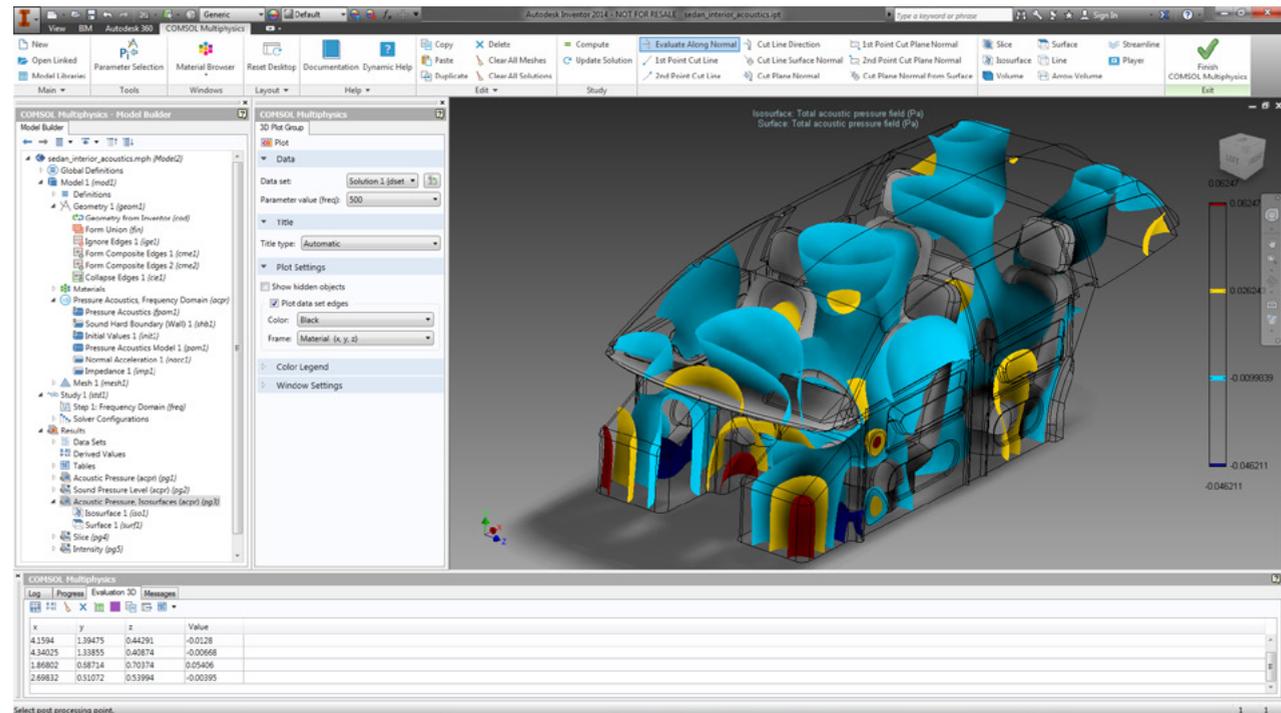


SOLIDWORKS 是 Dassault Systèmes SolidWorks Corp 的注册商标。

LiveLink™ for Inventor®

共窗口界面

Autodesk® Inventor® 软件 CAD 系统的 LiveLink™ 接口已扩展为共窗口界面。Autodesk® Inventor® 软件用户可以直接在 CAD 平台中进行多物理场仿真，通过该共窗口界面使用 COMSOL Multiphysics® 中的所有模拟工具，对几何的更改也将在这两个软件之间同步更新。



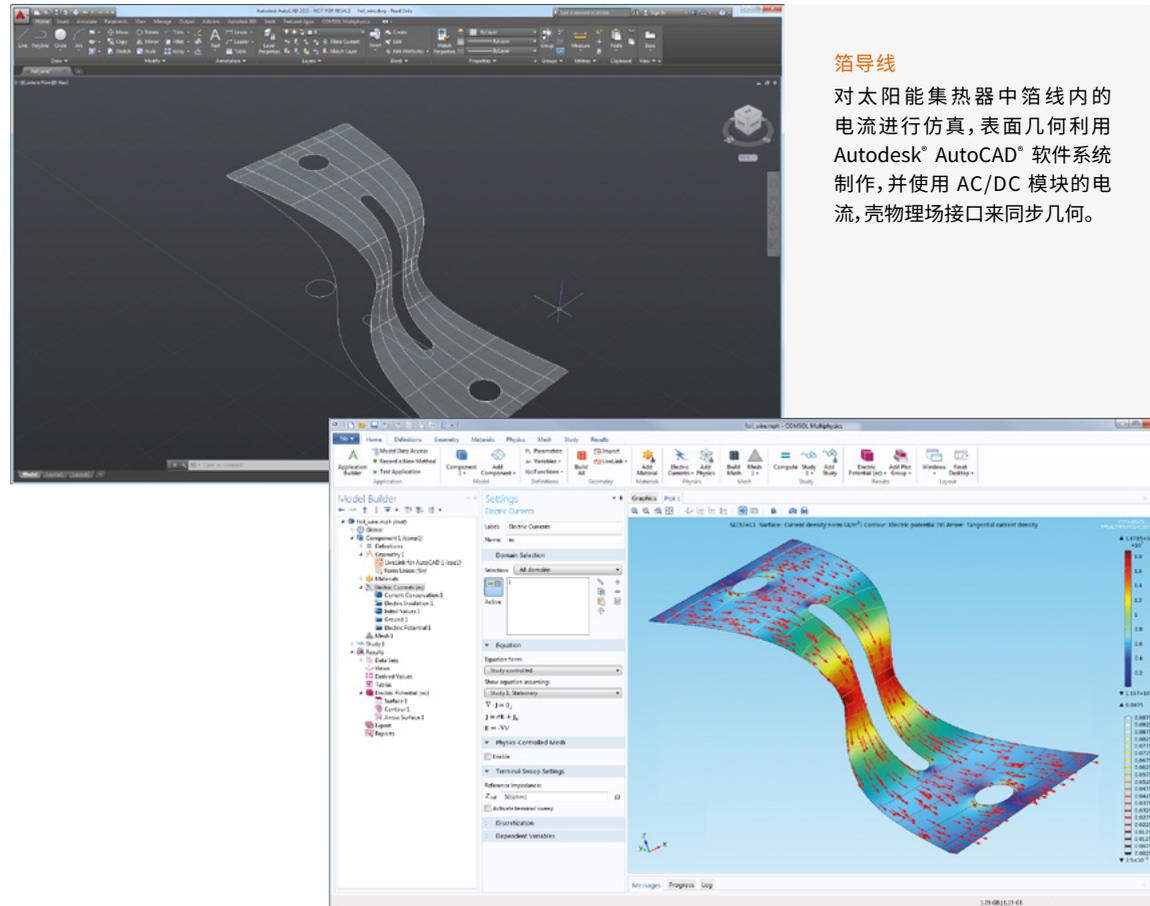
声学分析

仿真结果为汽车内部的声压等值面。在 Autodesk® Inventor® 软件 CAD 系统中创建几何，然后在 COMSOL Multiphysics® 中设置并运行仿真。



Autodesk 和 Inventor 是 Autodesk, Inc. 和/或其子公司和/或分公司在美国和/或其他国家或地区的注册商标或商标。

LiveLink™ for AutoCAD®



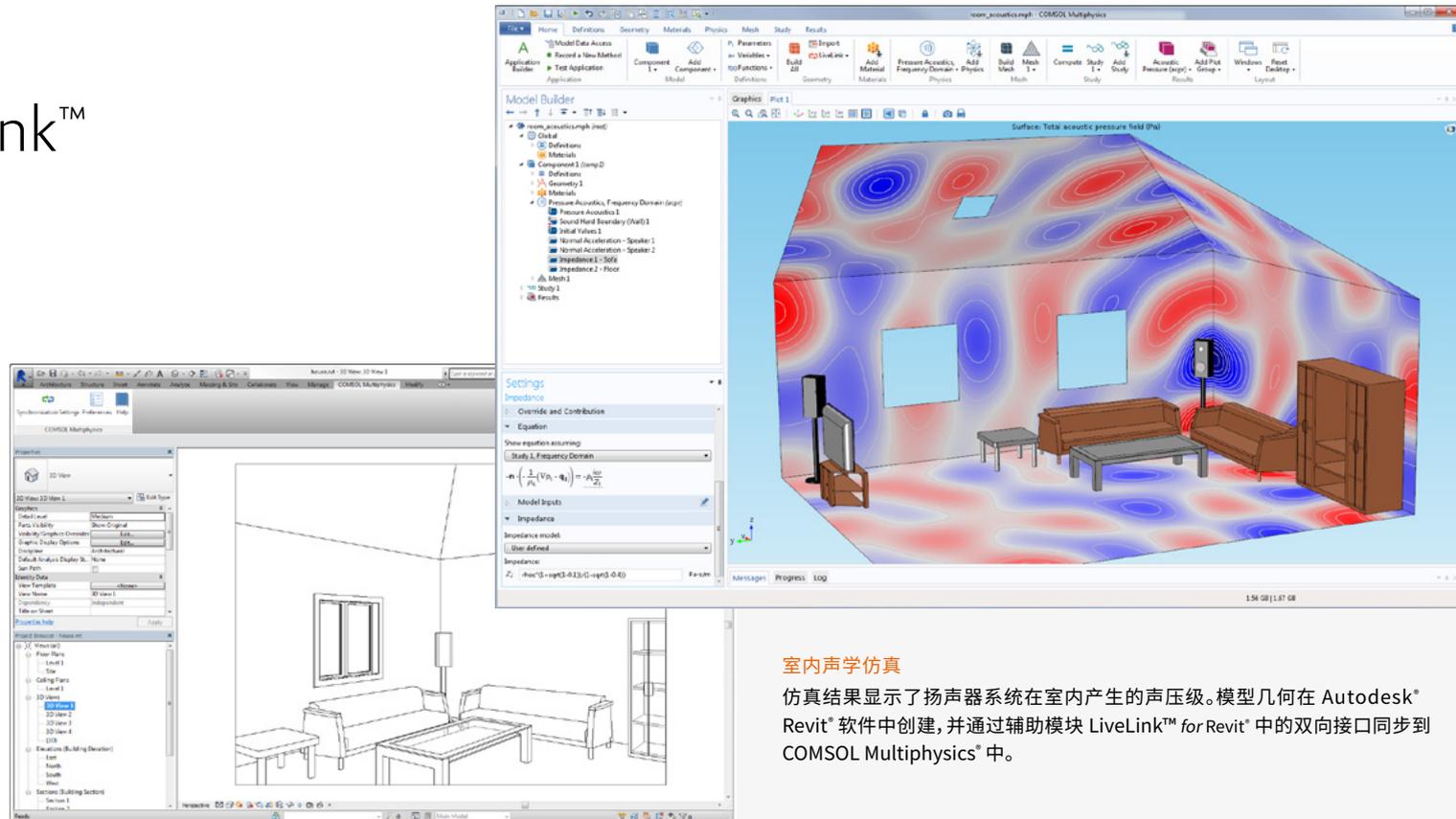
Powered by
PARASOLID

DS
SPATIAL

AUTODESK
Authorized Developer

Autodesk 和 AutoCAD 是 Autodesk, Inc. 和/或其子公司和/或分公司在美国和/或其他国家或地区的注册商标或商标。

LiveLink™ for Revit®



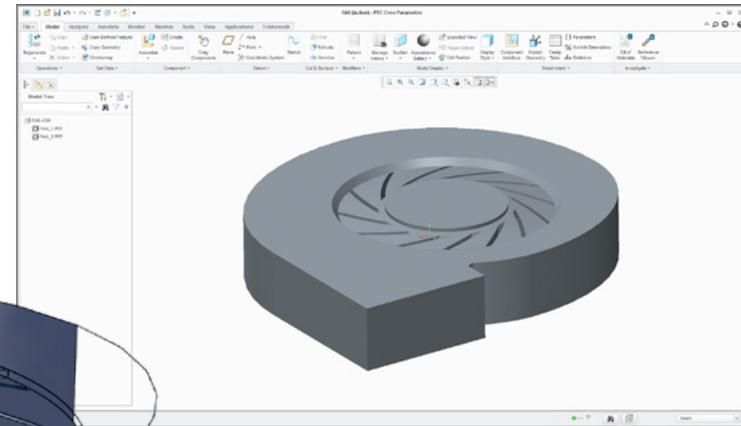
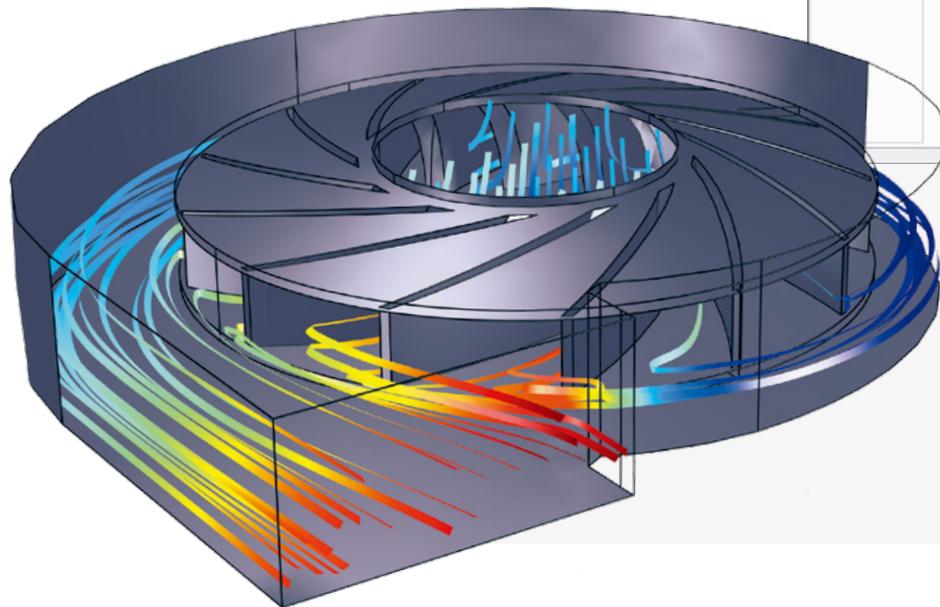
室内声学仿真

仿真结果显示了扬声器系统在室内产生的声压级。模型几何在 Autodesk® Revit® 软件中创建，并通过辅助模块 LiveLink™ for Revit® 中的双向接口同步到 COMSOL Multiphysics® 中。



Autodesk 和 Revit 是 Autodesk, Inc. 和/或其子公司和/或分公司在美国和/或其他国家或地区的注册商标或商标。

LiveLink™ for PTC® Creo® Parametric™



燃烧器排气扇

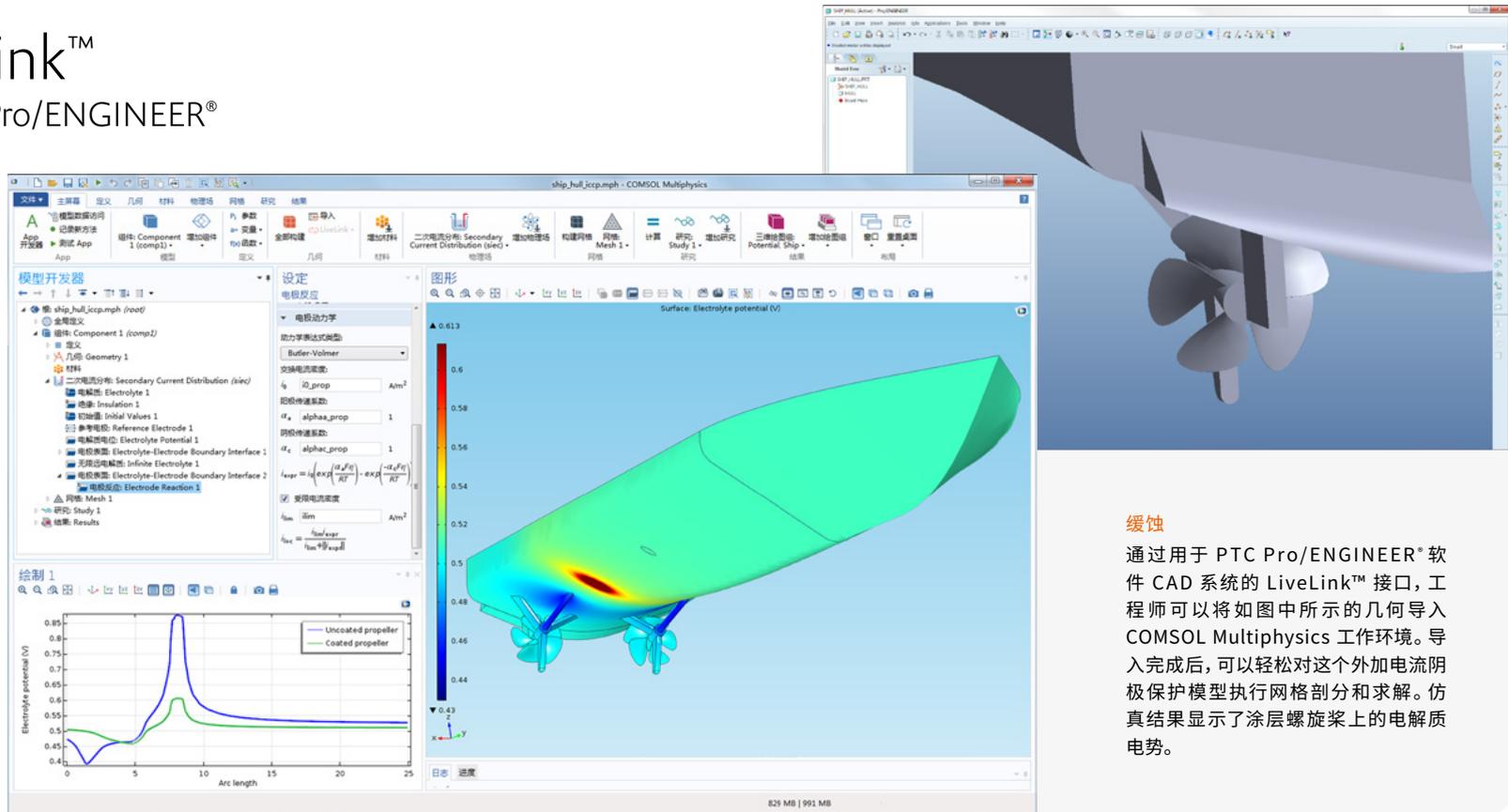
在大功率燃烧器中，风扇耗能占系统运行总耗能的 40% 以上。模型显示了流入叶轮和燃烧器排气扇腔室的流动的速度矢量（流线带）和压降（颜色比例）。风扇的位置与尺寸通过 LiveLink™ 接口更新，仿真几何与 CAD 设计之间的关联可以帮助保持物理场设置不变。

模型由意大利 Riello S.p.A 公司的 Gianluca Argentini 提供。



PTC 和 Creo 是 PTC Inc. 或其子公司在美国和其他国家或地区的商标或注册商标。

LiveLink™ for PTC® Pro/ENGINEER®



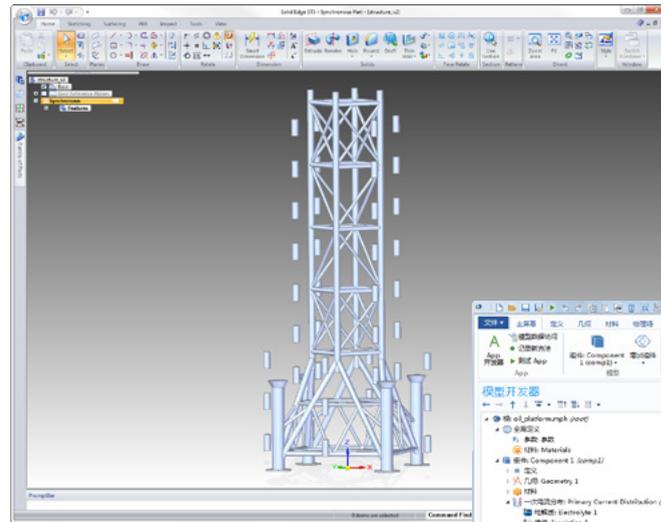
缓蚀

通过用于 PTC Pro/ENGINEER® 软件 CAD 系统的 LiveLink™ 接口, 工程师可以将如图中所示的几何导入 COMSOL Multiphysics 工作环境。导入完成后, 可以轻松对这个外加电流阴极保护模型执行网格剖分和求解。仿真结果显示了涂层螺旋桨上的电解质电势。



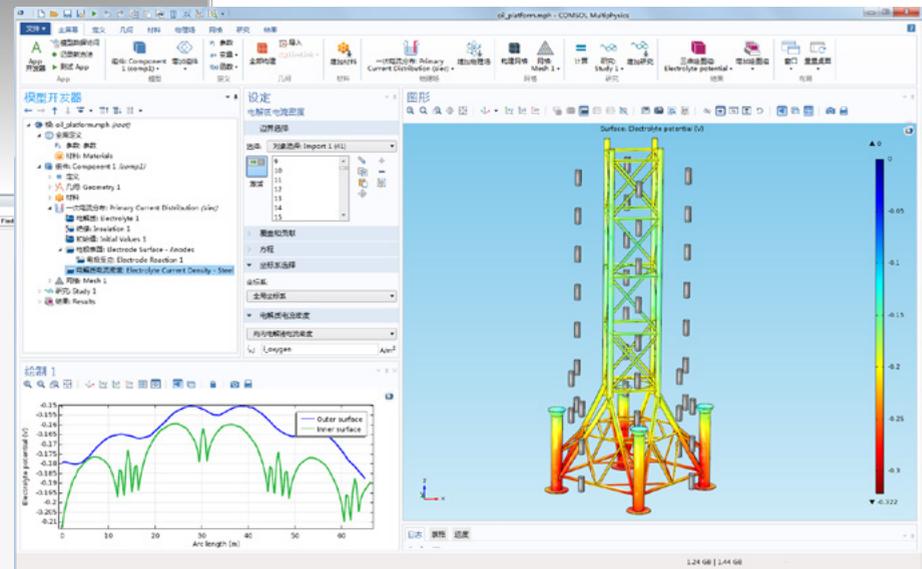
PTC 和 Pro/ENGINEER 是 PTC Inc. 公司或其子公司在美国和其他国家或地区的商标或注册商标。

LiveLink™ for Solid Edge®



腐蚀防护

对浸在海水环境中的石油钻井结构的仿真, 希望优化 40 个牺牲铝阳极的放置位置, 以提供最优的腐蚀防护。使用针对 Solid Edge® 软件 CAD 系统的 LiveLink™ 接口来控制 CAD 设计中的尺寸参数, 进而确定阳极的位置。



Powered by
PARASOLID



Solid Edge 是 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 或其子公司在美国和其他国家或地区的商标或注册商标。Siemens 和 Siemens 徽标是 Siemens AG. 的注册商标。

ECAD 导入模块

使用 ECAD 导入模块可以将 ECAD 文件导入 COMSOL Multiphysics®, 文件所含的二维布局将自动转换为三维 CAD 模型。该功能进一步扩展了仿真的应用范围, 例如集成电路中的元件、由相连 MEMS 器件构成的系统和电子冷却等领域。

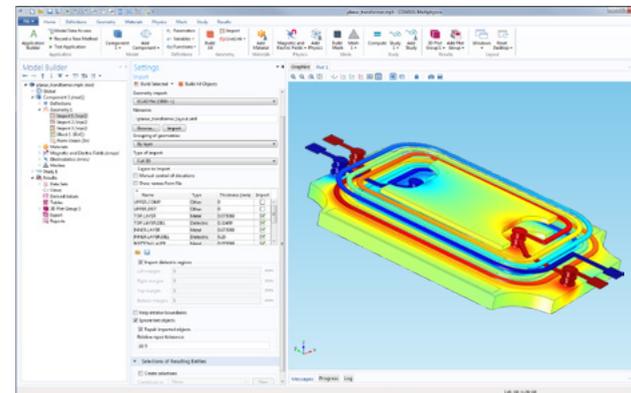
ECAD 导入模块支持常见的 GDSII、ODB++、ODB++(X) 和 NETEX-G 文件格式。在导入过程中, 可以选择需要导入的单元、网表和层子集; 还可以编辑层的厚度, 控制封装线的几何表征, 在导入前或导入后引入选定的介电区域。

二维布局将被自动拉伸并转换为三维 CAD 模型, 之后可以耦合 COMSOL Multiphysics 中的任意模块进行仿真; 可以进一步将三维几何模型用于 COMSOL Multiphysics 中的一般实体建模操作。结合 CAD 导入模块、设计模块或任何 LiveLink™ 模块, 还可以将三维模型导出为 Parasolid® (.x_b, .x_t) 或 ACIS® (.sat) 文件格式, 方便在其他软件上使用。

支持的 ECAD 文件格式

DXF (.dxf)*
GDSII (.gds)
ODB++ (.zip, .tar, .tgz, .tar.gz)
ODB++(X) (.xml)
NETEX-G (.asc)

* 已包含在 COMSOL Multiphysics 中; 相关扩展功能包含在 CAD 导入模块中



电力电子

仿真结果显示了平面变压器表面上的电势, 使用 ECAD 导入模块从 ODB++(X) 文件中导入布局, 并转换为三维几何模型。

Mentor Graphics Corporation 根据《ODB++ 解决方案开发合作关系一般条款和条件》(www.odb-sa.com) 支持实现 ODB++™ 格式。

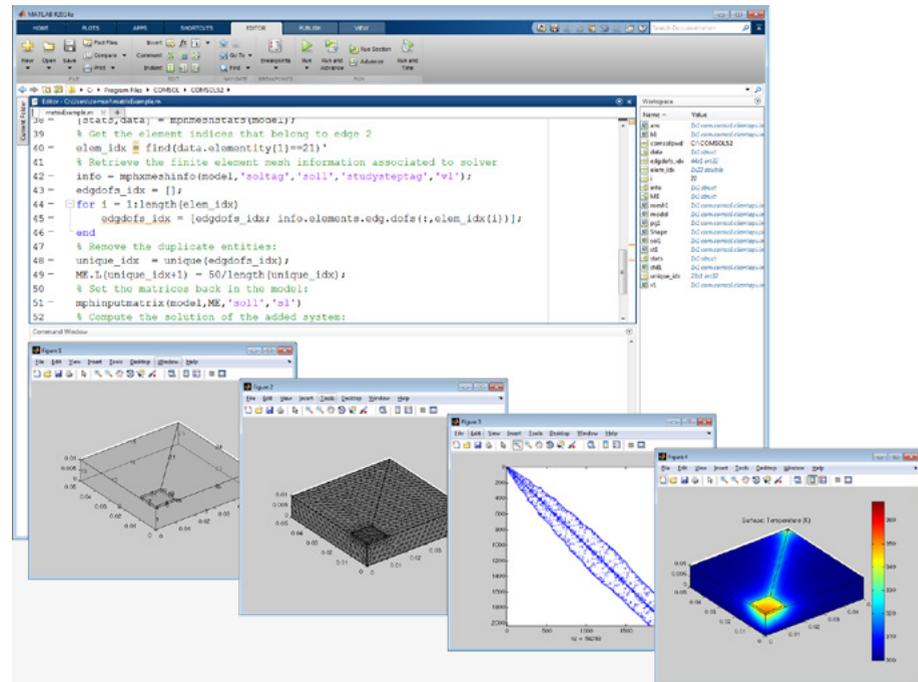
LiveLink™ for MATLAB®

LiveLink™ for MATLAB® 支持用户直接在 MATLAB® 软件代码中控制模型，运行仿真。可以将 MATLAB® 作为脚本语言来更改模型参数或其他设置、求解、提取图形或数值结果。

- 借助强大的多物理场仿真来增强内部 MATLAB® 软件代码
- 使用 MATLAB® 软件脚本开发几何、提取现有几何的属性，例如从 CAD 程序中导入的几何
- 基于仿真结果进行任意统计分析
- 结合多物理场模型进行优化，比如遗传算法或模拟退火算法
- 将 COMSOL 模型导出为状态空间矩阵
- 从 COMSOL Desktop® 中调用 MATLAB® 软件函数
- 与外部库的接口，支持使用 MATLAB® 软件读取或写入来自外部资源的数据，比如网络、文件及数据库



MathWorks 和 MATLAB 是 The MathWorks, Inc. 的注册商标。



传热

使用 LiveLink™ for MATLAB® 接口来修改一个瞬态传热模型。将 COMSOL Multiphysics® 模型中的状态空间矩阵、网格和解数据导出到 MATLAB® 工作环境中，并在 MATLAB® 中运行状态空间模型。图中显示了温度随时间的变化曲线、有限元网格以及稀疏刚度矩阵的形状。

LiveLink™ for Excel®

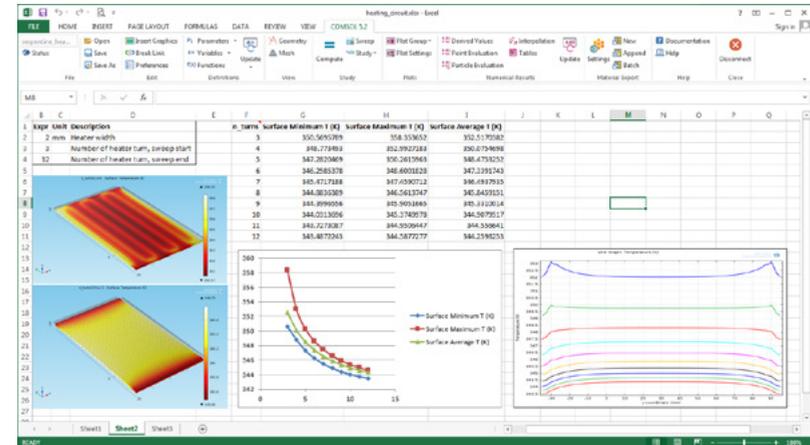
LiveLink™ for Excel® 支持直接通过 Excel 运行 COMSOL Multiphysics®, 进一步扩展了仿真功能。

LiveLink™ for Excel® 在 Excel® 的功能区中添加了 COMSOL Multiphysics® 选项卡, 可用于控制参数、变量和其他模型设置。模型求解完成后, 可以轻松地将结果以图像或数值数据的形式嵌入 Excel® 电子表格, 方便汇报或做进一步分析。

COMSOL API (应用程序编程接口) 支持访问 COMSOL Multiphysics 中的整个建模过程。COMSOL API 可结合 Excel® 中内嵌的 Visual Basic for Application (VBA) 使用, 通过 VBA 更改参数及设置、求解模型以及提取已求解模型的数值数据。

LiveLink™ for Excel® 还支持导入 Excel® 文件作为 COMSOL Desktop® 环境中的参数或变量列表, 或将 COMSOL 中的这些列表导出为 Excel® 文件。各操作平台 (Windows®, Linux® 和 OS X) 下的 COMSOL Multiphysics® 和 COMSOL Server™ 均支持该接口。

目前, 只有 Windows® 操作系统支持在 Excel 中添加 COMSOL Multiphysics® 选项卡和 VBA 功能, 并需要安装 Excel® 2007、2010、2013 或 2016。



参数化研究

使用 LiveLink™ for Excel® 对电路板发热进行参数化多物理场研究, 分析了由直流电流引发的焦耳热、传热以及覆盖在固体玻璃板上的薄电阻层的结构行为。在 Excel® 电子表格中编辑用于控制了几何尺寸及边界条件的参数, 并同步至底层 COMSOL Multiphysics® 模型。用户可以通过 Excel® 程序中添加的功能区选项卡方便地控制参数、变量、函数、几何、网格、求解器和结果。

支持的文件格式

Microsoft Excel® 工作簿 (.xlsx)

Microsoft Excel® 工作簿代码 (.xlsm)

用户支持

✓ 软件订购

当您购买了 COMSOL 永久许可证之后,将自动获得 12 个月的软件升级和技术支持服务。在此期间,您将始终能够享受最新版 COMSOL 软件中的各项功能与操作环境。此外,订购计划中还包含许可证维护服务,包括软件移机、更改指定用户等服务。

✓ 快速的技术响应支持

资深的 COMSOL 技术支持工程师将为您提供专业的 COMSOL 技术支持,您可以通过电话或邮件方便地联系我们。此外,您还可以访问备受广大用户推崇的在线知识库,其中涵盖了您在多物理场仿真中可能遇到的各类问题,您可以随时对它进行访问。

✓ 产品规格表

产品规格表可以引导您找到最适合您工程和科学应用的产品组合。您可以根据这份表格找到针对具体应用的产品,了解各模块耦合 (cn.comsol.com/products/specifications),或者 COMSOL 产品与 CAD 工具的集成 (cn.comsol.com/products/specifications/cad) 所能实现的仿真功能。

✓ 课程培训

我们常年在全球范围内组织各种培训课程,这些培训课程将涵盖 COMSOL 软件基本操作以及特定专业领域仿真,例如电气、力学、流体、化工、优化、粒子追踪和接口等专题。

✓ 视频教程和网络研讨会

COMSOL® 视频中心为您的 COMSOL 学习提供了一个快捷途径,其中的操作类视频将按照具体的建模步骤引导您完成仿真模拟。网络研讨会将在线演示如何通过 COMSOL 软件模拟特定的物理场和应用。您可以访问以下链接浏览视频教程和已归档的网络研讨会:cn.comsol.com/videos。

✓ 在线社区和 COMSOL 博客

COMSOL 在线社区是为方便用户交流而搭建的网络平台,您可以在用户论坛页面 (cn.comsol.com/community/forums)与来自各个科学和工程领域的数以万计的 COMSOL 用户交换仿真心得和技巧。在 COMSOL 博客 (cn.comsol.com/blogs) 页面,您可以阅读到有关电气、力学、流体和化工领域的仿真专题博客。

✓ 认证咨询机构

COMSOL® 认证咨询机构主要为客户提供项目咨询及定制 App 等服务。COMSOL 认证咨询机构汇聚了各仿真领域的知名公司及专家,他们都拥有丰富的项目咨询和 COMSOL Multiphysics 使用经验。

✓ COMSOL 用户年会及 COMSOL 主题日

行业分析师将 COMSOL 用户年会看作一场多物理场仿真的超级盛会。COMSOL 每年都会在全球各大科技中心举办用户年会,这是一场 COMSOL Multiphysics 新老用户都不容错过的盛会。年会上,您会了解到最新的多物理场仿真工具和求解器信息,参加各类专题培训,还能够接触到数百篇用户演示、论文和海报作品。与之相比,COMSOL 主题日更像是年会的精简版本,活动为期一天,您将有机会参加各专题小型课程、聆听特邀嘉宾的演讲,并与 COMSOL 仿真专业人员进行现场交流。

COMSOL Multiphysics® 许可证选项

指定单用户许可证 (NSL): 支持指定 (经姓名指定) 的单用户操作, 每次可运行一个会话; 不支持通过网络使用。

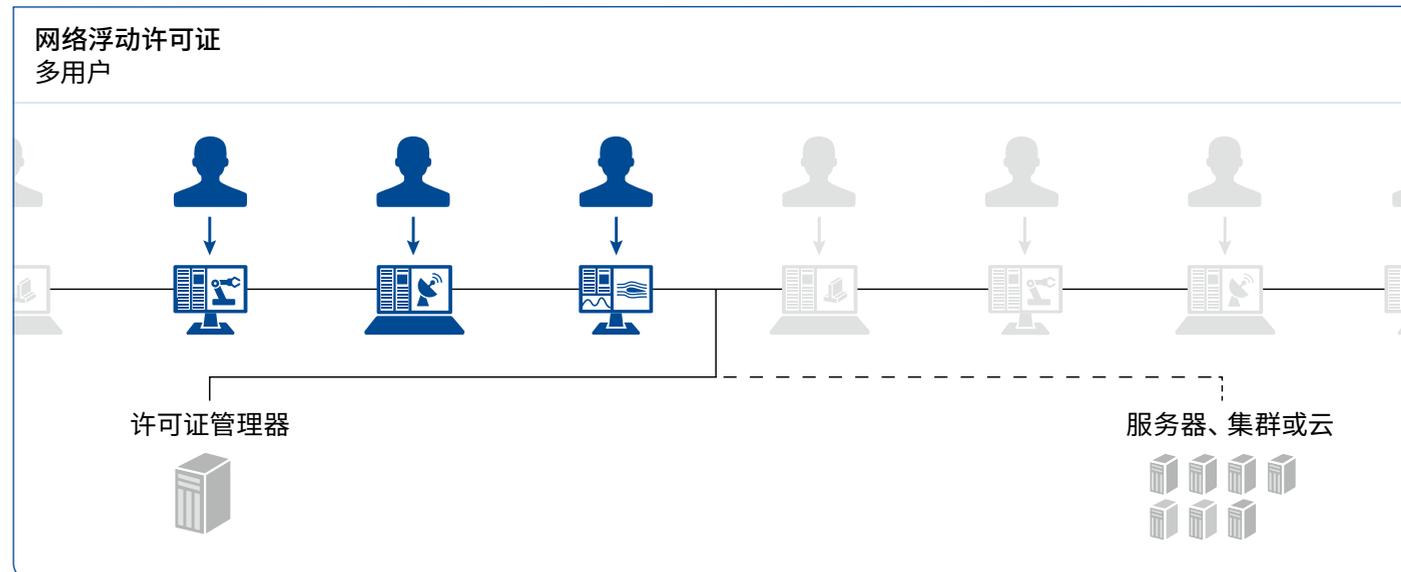
CPU 锁定的单用户许可证: 您可以将 COMSOL 安装在一台指定计算机中, 不同用户可以在这台计算机上使用软件, 每次支持一位用户; 不支持通过网络使用。

网络浮动许可证 (FNL): 针对每个并发用户许可, 可根据需要将 COMSOL 安装到您网络中的任一计算机中。您可以仅使用网络进行许可证认证, 然后在本地计算机上运行 COMSOL, 也可以通过网络远程访问和运行 COMSOL。

课堂许可证套装 (CKL): 最多支持 30 位学生在校网络中同时使用 COMSOL 来进行课堂教学任务; 教师可用它来准备课程材料。

用法	NSL	CPU	FNL
多台计算机	✓		✓
多个操作系统平台	✓		✓
多个用户		✓	✓
客户端/服务器			✓
集群			✓
云计算			✓

支持的操作系统平台: Windows®、Linux®、OS X。



*图为支持三个并发用户的网络浮动许可证。

高性能计算 (HPC): 所有许可证均支持多核计算, 且不限内核数量。

COMSOL Server™ 许可证选项

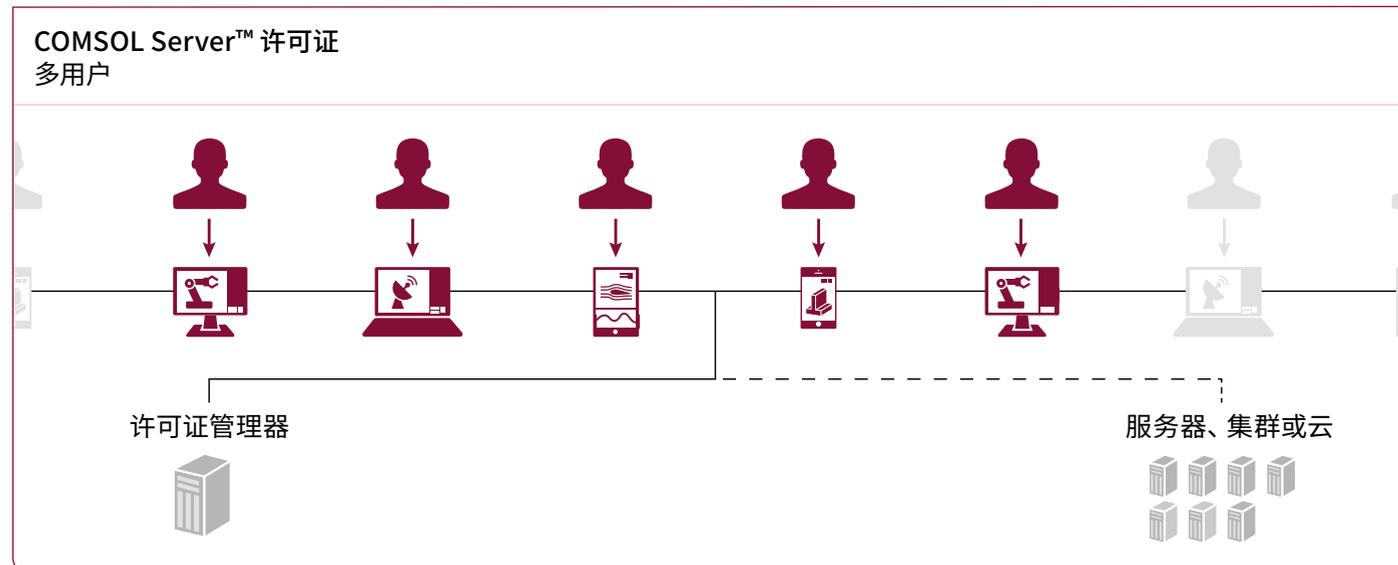
COMSOL Server 许可证 (CSL): 针对每个并发用户许可。1 个并发用户可以同时进行 4 个并发进程。CSL 许可证支持您在本地运行及管理通过 COMSOL Multiphysics 创建的 App 应用程序, 并支持您与组织内外的同事和客户在全球范围内分享您的并发用户席位。

COMSOL Server 教学许可证 (ASL): 针对每 300 个并发用户提供许可证。1 个并发用户可以同时进行 4 个并发进程。ASL 许可证使您可以运行通过 COMSOL Multiphysics 创建的 App 应用程序, 并支持您在本地管理您所在学术机构及其他学术机构的学生和教职员工在全球范围对这些 App 的运行。

可通过各类操作系统中的主流网页浏览器或 COMSOL Client (仅限 Windows® 操作系统) 访问 App。

支持的操作系统平台: Windows®, Linux®, OS X, iOS、Android™。

用法	CSL
多台计算机	✓
多个操作系统平台	✓
多个用户	✓
客户端/服务器	✓
集群	✓
云计算	✓
Worldwide Use	✓



* 图为支持 5 位并发用户的 COMSOL Server™ 许可证; 每个并发用户可同时进行 4 个并发进程。

请阅读《COMSOL 软件许可协议》, 获取更多有关许可证条款及细节的信息。

