



## FEARCE / FEARCE-Vulcan

# 动力总成系统的热与结构有限元分析

[www.realis-simulation.com/products/fearce/](http://www.realis-simulation.com/products/fearce/)

[contact@realis-simulation.com](mailto:contact@realis-simulation.com)

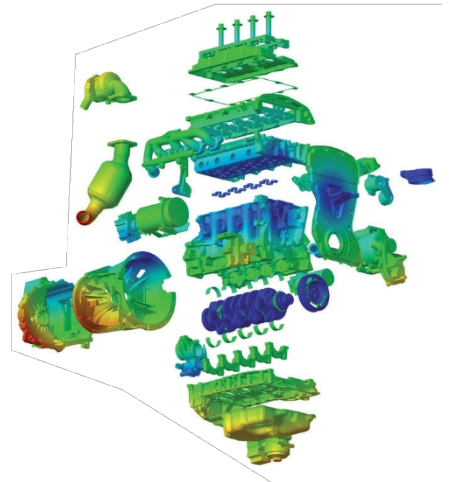
## 什么是 FEARCE?



FEARCE 是一个专门为支持发动机和车辆分析而开发的有限元 (FE) 前处理和后处理环境。FEARCE 作为接口，整合了有限元分析的各个阶段，从将部件模型组装成更大系统，到施加载荷和边界条件，再到求解和结果后处理。FEARCE 通过自动化处理这些关键任务，确保在迭代过程中保持通用流程的一致性，从而能够快速、准确地执行复杂分析。

### 主要特点

- 集成式图形用户界面为每个阶段提供统一的操作环境
- 独特的网络化方法允许用户从部件模型构建复杂的有限元装配体
- 组件间接口的自动连接
- 可应用所有类型的连接，包括接触连接和结构或热间隙等高级非线性接口
- 可使用多点约束连接不同类型的网格
- 所有连接均会自动检查，冲突、修复和警告均会标记并记录
- 可轻松向系统施加力、压力或位移载荷
- 可从外部源自动映射边界条件
- 内置线性求解器和转换器，可为所有主流第三方有限元软件包自动设置求解文件
  - 全套后处理工具，包括
  - 图表和动画
  - 载荷工况组合与系数
  - 孔、轴承和阀门变形研究
  - 耐久性分析
  - NVH 研究



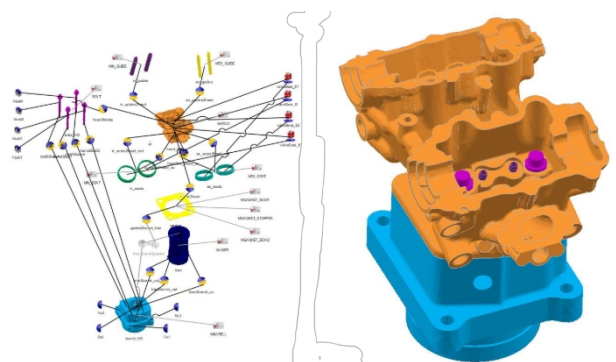
### 模型组装

FEARCE 提供强大的工具，可自动创建由一个或多个独立模型组件构成的系统。预处理图形用户界面 (GUI) 允许用户构建由模型和连接组成的二维网络，同时显示最终装配体的完整三维视图。

接触面之间的连接是通过识别表面几何形状来定义的，而非依赖于模型的各个节点ID。这使得在保持相同物理连接的同时，能够轻松地在装配体中替换组件。配合面可以使用FEARCE图形用户界面定义——或者，如果愿意，也可以使用第三方建模软件包。

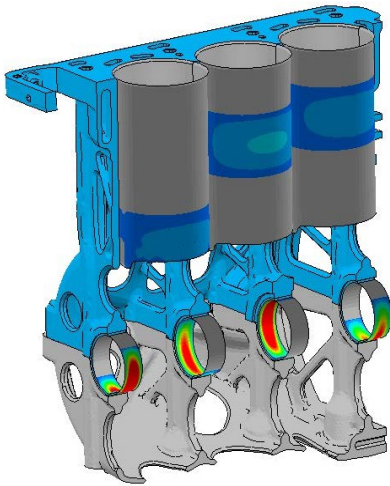
FEARCE 提供了自动生成螺栓的工具。用户可通过简化梁模型完成此操作，在该模型中，用户需定义螺栓头和螺纹接触区域，以及螺栓杆径和材料。

- 从不同来源导入部件模型
- 为装配进行模型缩放、平移和变换
- 支持复制重复部件（如阀座）以减少建模工作量
- 连接基于配合面而非节点编号，便于轻松进行更改
- 可自动生成多种类型的连接（例如滑动、接触、焊接、热间隙和结构间隙）
- 使用多点约束自动连接异构网格
- 自动检查装配体，并标记冲突、修复和警告



## 载荷施加

FEARCE 集成了多种功能，可协助工程师向有限元结构和装配体施加载荷。用户只需选择一个命名区域，选择所需的载荷类型，FEARCE 就会自动将压力分布到整个表面，确保各个节点获得正确的力分量。



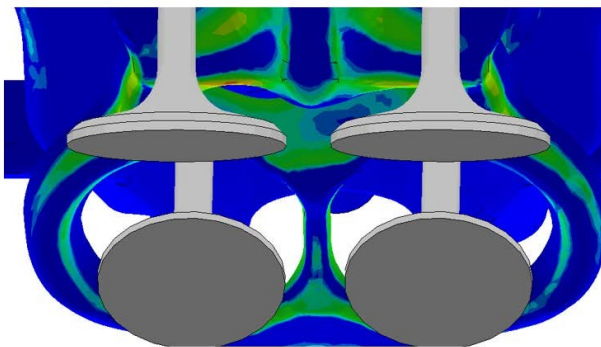
- 通过自动化施加载荷，缩短预处理时间
- 由于载荷被显式定义，且所有转换（例如压力转换为力）均由 FEARCE 自动完成，从而提高了精度
- 载荷区域定义为命名区域，而非依赖单个节点 ID——从而便于替换部件模型
- 轴承模型允许自动添加精确的轮廓，而与网格分布无关
- 模型之间的载荷映射

## 耐久性分析

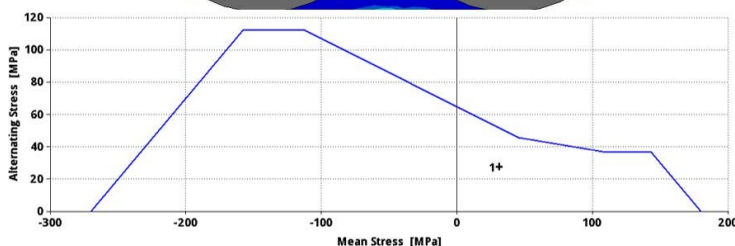
FEARCE 集成了一个疲劳模块，其中包含大量线性和非线性耐久性算法。线性算法包括古德曼（Goodman）和格伯（Gerber）方法。多轴算法包括 Dang Van、McDiarmid 和多轴 Goodman 方法。对于非线性分析，可采用 SWT、Brown-Miller 和 Fatemi-Socie 方法。该工具集还提供了从主应力计算应力张量的替代方法；其中包括 Von Mises（带符号和不带符号）、最大主应力法、P1 主应力法和 ASME 法。

FEARCE 包含的另一种疲劳算法是 FKM 法，该方法考虑了应力梯度和材料缺口敏感度效应。FEARCE 将基于无限寿命或限定寿命，为定义区域计算疲劳安全系数。所有结果均可作为数值或彩色等值线显示在实际有限元模型上。

FEARCE 还能通过定义所有材料属性和载荷的标准偏差来执行可靠性计算。这使得能够计算给定寿命周期内的失效次数。



- 丰富的线性与非线性疲劳算法库
- 等效单轴应力计算的灵活性
- 自动生成海格图
- 结果直接显示在模型上
- 失效次数预测

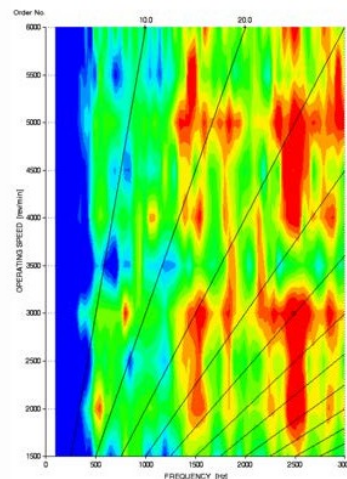
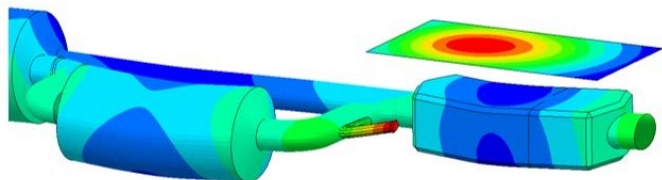


## 噪声、振动与粗糙度 (NVH)

FEARCE 包含一个用于振动和声学预测的高级 NVH 模块。

FEARCE NVH 模块在完成模态分析后，通过执行受迫响应对模型进行振动分析。正弦激励函数作为傅里叶载荷施加在频域中各个节点的模态形状上。随后求解该载荷，以计算每个模态的贡献。最后，将各模态的贡献组合起来，得出每个激励频率的复振动水平。输出结果可以是时域或频域形式。计算值包括节点位移、速度和加速度谱。

- 直接与间接振动求解
- 瑞利法与BEM求解方法
- 自动生成BEM网格



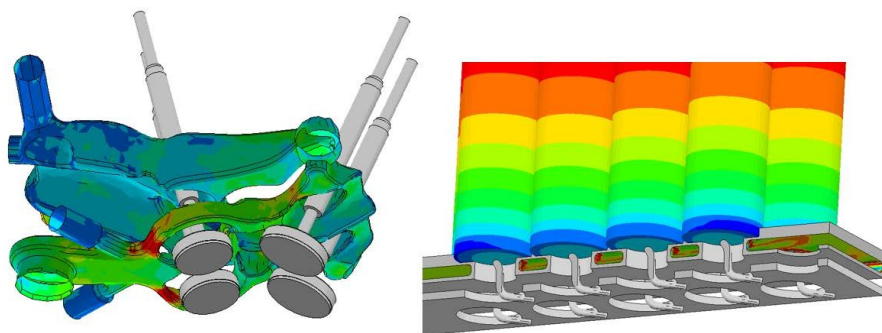
## 热边界条件

FEARCE在预测燃烧系统温度方面具有独特能力。在动力总成分析中，准确确定关键工况下的温度分布对于部件设计至关重要。FEARCE正是为满足这些需求而专门开发的，因此提供了多种工具，用于将热边界条件应用于有限元分析。

对于冷却液侧的边界条件，FEARCE能够快速高效地将 CFD 分析得到的流体温度和传热系数 (HTC) 映射到有限元模型中相应的冷却液表面。这可以通过直接连接 Realis 的 VECTIS CFD 代码来实现，也可以通过映射任何主流 CFD 求解器输出的坐标温度和 HTC 值的 ASCII 表格来实现。

除了直接连接 VECTIS 提取结果外，FEARCE 图形用户界面 (GUI) 还可以显示 VECTIS 模型，使工程师能够将 CFD 结果与加载的 FE 模型并排可视化。作为迭代求解的一部分，可以利用依赖于壁面温度的传热系数映射来模拟核沸腾效应。

- 经插值的CFD结果（包括通量、温度、HTC和压力）
- 与 VECTIS 直接连接以提取和可视化结果
- 对瞬态结果进行时间平均以进行稳态分析
- ICE热边界条件模块



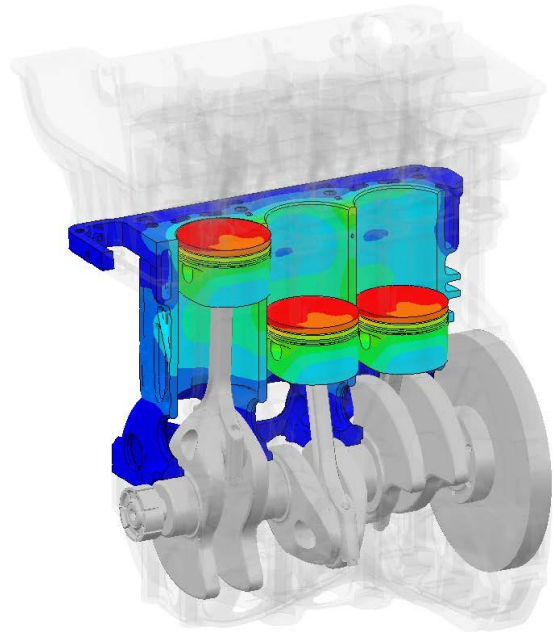
## 缸内热边界条件

针对缸内热边界条件，提供了一个专用的 FEARCE-Vulcan 模块。

该工具利用物理模型和半经验关联式考虑了动力缸的所有热路径，而无需进行 CFD 分析。

此外，还可以导入 VECTIS 或其他 CFD 求解器的结果，以预测燃烧产生的气体侧热负荷。

FEARCE 随后根据导入的完整循环值计算循环平均负荷，从而计算出稳态温度。



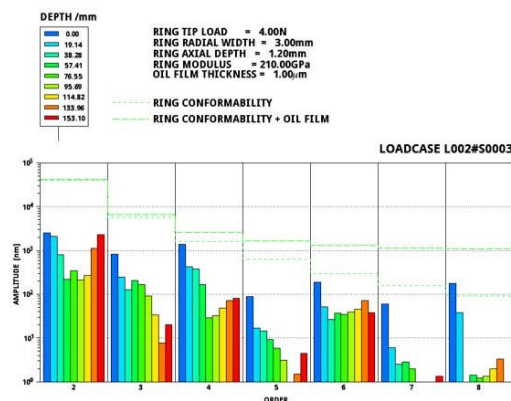
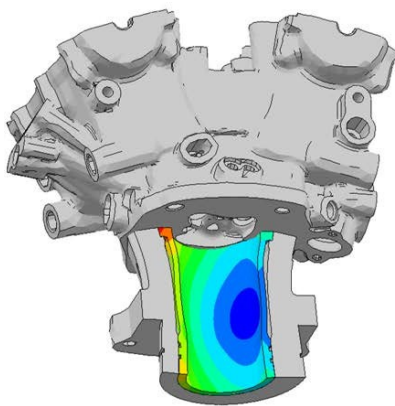
## 求解与后处理

FEARCE 包含其专有的线性求解器。该求解器非常适合热分析——经过基准测试，其精度和速度均优于主流第三方替代方案——可用于多种求解，包括：位移预测、应力预测、模态贡献、受迫响应分析、特征值计算和模型简化。

除了初始求解功能外，FEARCE 还包含大量后处理工具，其中许多是专门针对动力总成和车辆分析的特定需求而开发的。对于线性分析，可以组合并综合不同载荷工况的结果，以创建更复杂的工况。这包括用于考虑装配中螺栓载荷缓解效应的计算。在非线性和求解中，可以识别并绘制节点应力和应变历史曲线。

在动力总成分析方面，FEARCE 可执行气缸内壁、轴承及气门变形计算，并生成变形、谐波、对中及活塞环贴合度的相应图表。

在车辆分析方面，FEARCE 可进行设计敏感性分析，执行模态验证的快速检查，并提供正在进行碰撞分析的模型之间的瞬态差异图。



- 内置线性求解器
- 支持任何主流第三方有限元软件的求解设置
- 一系列后处理工具
- 载荷工况组合与系数
- 应力与应变历史曲线绘制
- 热电偶和应变片预测
- 孔、支座和阀门变形图
- 设计灵敏度分析
- 耐久性计算

## 什么是 FEARCE-Vulcan?

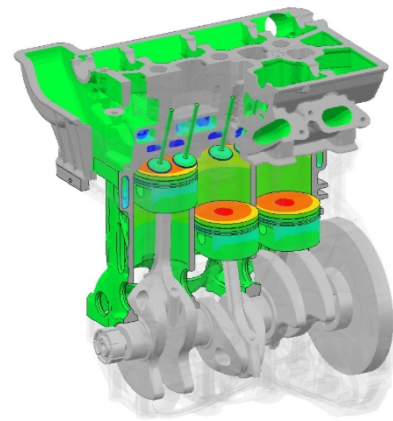


FEARCE-Vulcan 采用独特的迭代有限元 (FE) 求解方法, 详细考虑所有热传导路径, 利用物理模型和半经验关联式计算动力缸部件的热边界条件, 无需进行 CFD 分析。这克服了数据库方法缺乏预测性的局限, 为确凿的结构研究提供了一个可靠且准确的预测工具。

该迭代求解速度足够快, 可针对多种工况评估不同的设计方案。随后, 可利用计算出的温度及相应的变形来预测活塞的二次运动和活塞环动力学, 从而更准确地预测动力缸的摩擦、磨损和油耗, 以及部件的结构耐久性。

### 主要特点

- 全面考虑动力缸的所有热传导路径
- 专用图形用户界面
- 支持柴油、汽油、天然气、氢气、氨气和乙醇燃烧
- 可选的CFD燃烧边界条件
- 自动生成活塞和活塞环的动态模型
- 支持钠冷阀
- 考虑活塞冷却喷嘴 (PCJ) 及带冷却通道的活塞
- 包含气缸孔冷却液侧的核沸腾效应
- 运行管理器 (RDM) 支持并行运行案例
- 在越来越短的时间内开发热效率更高的内燃机

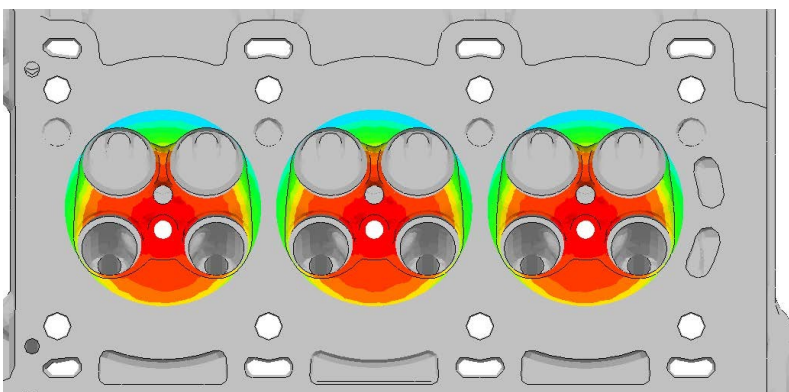


### 对更小、更高效且排放更低的内燃机进行热建模

随着内燃机 (通常在混合动力系统中) 的日益小型化, 为了提高燃油经济性, 需要更高的气缸峰值压力, 这导致气缸内温度升高。需要分析工具来优化设计, 以提供更耐用的组件, 同时最大限度地减少大量测试, 从而降低产品开发成本。

热分析测量是发动机开发的重要环节, 通常与CFD结合使用以预测部件温度。然而, 这些测量和分析方法成本高昂, 且耗时费力; 此外, 测量过程还需依赖实体发动机。

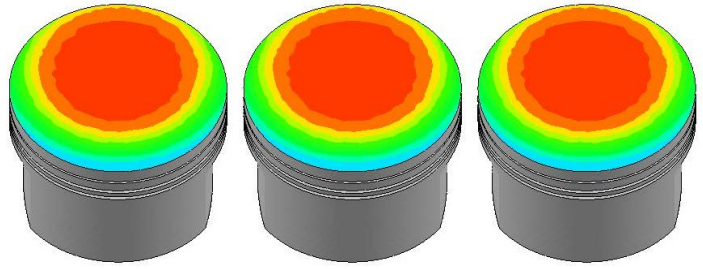
FEARCE-Vulcan可在硬件尚未投入使用的产品开发早期阶段应用, 从而降低CFD和热测量的成本, 使发动机开发周期更加高效。这一新工具还能通过在多种满负荷和部分负荷条件下快速、准确地预测内燃机的热负荷和温度, 应对内燃机设计与开发面临的未来挑战。



### 缸内热建模

缸内模型在生成热边界条件时, 考虑了缸内气体与暴露于缸内气体的周边组件 (即活塞顶、缸壁、缸盖火焰面以及各气门火焰面) 之间的热传递。

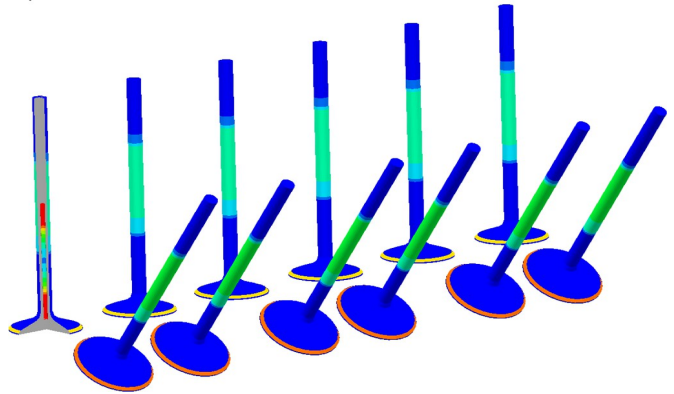
活塞顶面和火焰面的边界条件基于燃烧过程中燃烧气体的传播。通过将平均温度划分为燃烧区和未燃烧区的温度，采用双区燃烧模型来确定气体温度的空间变化，从而计算表面上每个点所暴露于各区的程度。



### 气门建模

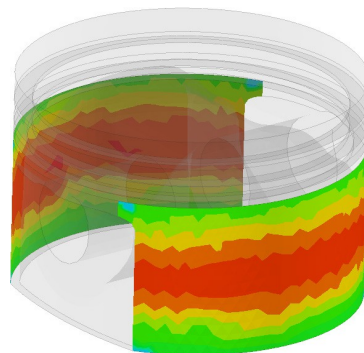
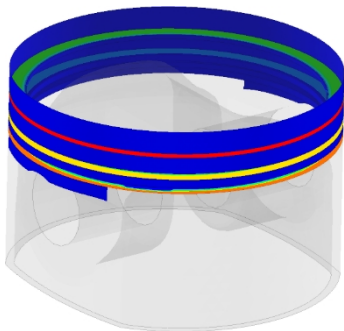
气门模型通过气门、气缸与进排气道气体之间的对流传热，以及接触界面（即气门座圈和导管）之间的传热，生成热边界条件。对于暴露在气缸内气体中的气门表面，气缸内模型会计算热负荷并将其投影到这些暴露的气门表面上。对于钠冷气门，钠温作为迭代求解的一部分进行模拟。

- 阀头上的气体载荷
- 气流流过阀背面的情况
- 阀杆周围的气流
- 油膜向导管传导
- 阀门关闭时的阀座接触
- 阀门开启时气流过阀座



### 活塞与缸套界面建模

活塞与缸套模型考虑了活塞环动力学和活塞二次运动以生成热边界条件，同时考虑了活塞环与缸套之间以及活塞裙部与缸套之间的热传导。



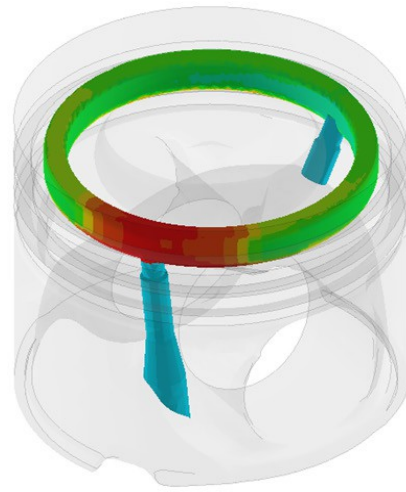
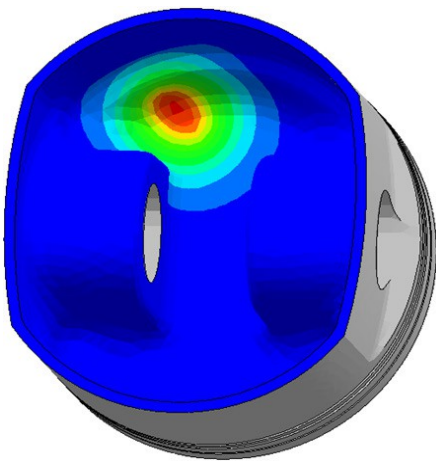
系统会根据提供的几何和有限元数据，自动生成活塞二次动力学模型和活塞环动力学模型，以计算活塞裙部、活塞环、活塞槽与缸套之间的间隙及热传导。热传导数据会被映射到活塞和气缸孔的有限元模型上，并进行循环平均处理。

## 活塞冷却

活塞冷却模型考虑了活塞冷却喷射、通道冷却和曲轴箱机油带来的冷却机制。

活塞冷却喷射模型需要输入每个喷射口的位置、角度以及供油边界条件。该模型通过以下特征推导热边界条件：

- 喷射持续时间
- 因喷射流扩散导致的空间变化
- 冲击位置的变化
- 复合冲击角导致的非对称流动

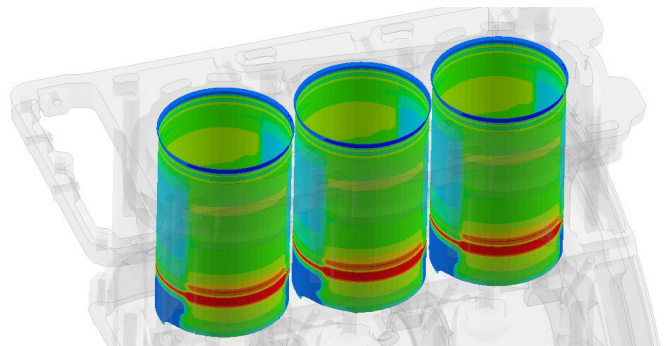


## 气缸内孔

由于缸内燃烧以及活塞通过活塞环组和活塞裙产生的热载荷，加上机油的冷却作用，对气缸内孔应用了循环平均边界条件。

冷却液流动产生的边界条件，要么作为恒定的传热系数和流体温度值应用于定义水套的表面，要么根据冷却液回路的等温 CFD 分析进行映射。

作为迭代求解的一部分，使用依赖于结果壁温的传热系数映射来模拟成核沸腾的影响。在预测结果壁温高于沸点的位置，传热系数将被调整（增加），并用于下一次迭代。



[www.realis-simulation.com/products/fearce/thermal-analysis-for-IC-engines](http://www.realis-simulation.com/products/fearce/thermal-analysis-for-IC-engines)

[contact@realis-simulation.com](mailto:contact@realis-simulation.com)