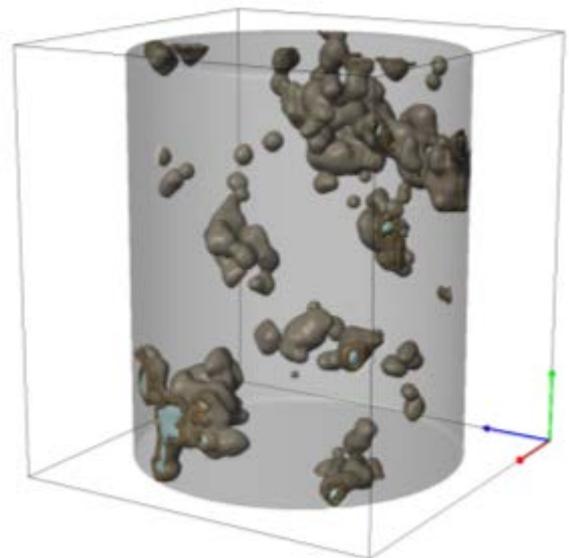
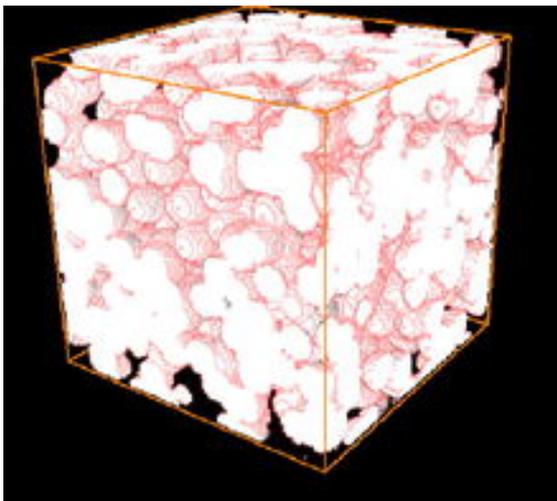


## 中仿 Simpleware 多孔介质建模解决方案



## 一、概述

多孔介质是由多相物质所占据的共同空间，也是多相物质共存的一种组合体，没有固体骨架的那部分空间叫做孔隙，由液体或气体或气液两相共同占有，相对于其中一相来说，其他相都弥散在其中，并以固相为固体骨架，构成空隙空间的某些空洞相互连通。

目前世界地质勘探、石油与天然气、材料科学、土木工程等领域对于多孔介质的研究都有迫切的需求。渗流力学多孔介质理论是研究多孔介质的主要理论，应用于研究多孔介质材料的结构与特性，如孔隙度、浸润性、毛细管压力和渗透率等。在应用渗流力学的各个领域，一般用达西定律来描述流体的渗流规律，达西定律将压力场中势的分布与运动参数联系起来，在实际应用中发挥着重要作用。

## 二、当前多孔介质研究的难点

达西定律是建立在宏观实验的基础上，只能从宏观尺度表征流体的运动，无法从微观上描述流体的运动规律，此外，微观尺度流动的渗流理论和实验室条件有限，很难从微观上深入研究流体的运动规律。

有必要从微观尺度对多孔介质的孔隙结构进行数字化，建立能够反映岩石微观结构性质的多孔介质模型，在此基础上，通过数值模拟方法研究流体的微观运动规律。

## 三、多孔介质建模全球高端解决方案 Simpleware

基于上述多孔介质研究的难题，有必要从微观尺度对多孔介质的孔隙结构进行数字化，建立能够反映岩石微观结构性质的多孔介质模型，在此基础上，通过数值模拟方法研究流体的微观运动规律。中仿 Simpleware 软件，它致力于为 CAD、CAE 以及 3D 打印领域提供世界领先的三维图像处理、分析以及建模和服务，已在世界范围内被业界广泛采用。2014 年中仿科技应邀参加北京力学学会第 20 届学术年会，讨论了多孔介质球体颗粒模型传热传质数值模拟及分析的发展与应用，会议期间展示了中仿 Simpleware 软件的功能及特点并解答了参会代表提出的技术问题，得到了与会人员一致的认可。

### （一）软件相关模块简介

Simpleware 软件帮助您全面处理 3D 图像数据（MRI，CT，显微 CT，FIB-SEM.....），并导出适用于 CAD、CAE、以及 3D 印刷的模型。使用图像处理模块（ScanIP）对数据进行可视化，分析，量化和处理，并输出模型或网格。

利用有限元模块（+FE Module）生成 CAE 网格；利用全新的物理模块：固体力学模块（+SOLID Module）、流体分析模块（+FLOW Module）以及多学科分析模块（+LAPLACE Module），通过均质化技术计算扫描样品的有效材料属性。

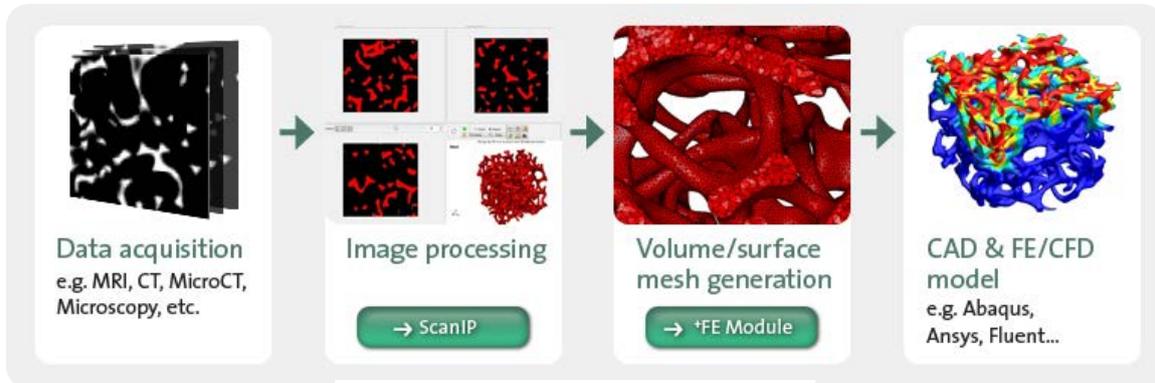


图 3-1.1 simpleware 工作流程

Simpleware 软件基于核心的图像处理平台——ScanIP，结合可选模块，实现 FE/CFD 网格生成、CAD 一体化以及有效材料属性的计算。

Simpleware 三维图像建模软件的主要模块如下：

- **ScanIP Software:** 核心图像处理平台
- **+FE Module:** 网格生成模块
- **+NURBS:** 曲面建模模块
- **+CAD Module:** CAD 模块
- **Physics Modules:** 物理模块
  - **+SOLID Module:** 结构力学模块
  - **+FLOW Module:** 流体分析模块
  - **+LAPLACE Module:** 多学科分析模块

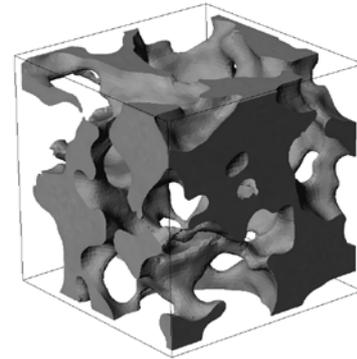
## 1、核心图像处理平台 ScanIP

ScanIP 为 3D 图像数据的图像可视化、测量和处理工具提供了宽泛的选择。处理后的图像可导出为 STL 或点云文件，应用于 CAD 分析、求解、和 3D 打印领域。

ScanIP 为 3D 图像数据（MIR, CT, micro-CT, FIB-SEM...）的综合处理提供了软件环境。软件为用户提供了功能强大的数据可视化、分析、分割、以及量化工具。

ScanIP 易于学习和使用，内置视频录制功能，并能基于处理后的数据导出可用于 CAD 或 3D 打印的曲面模型/网格。附加模块可用于通过扫描数据导出 CAE 网格、整合图像数据、建模、导出 NURBS 曲面、计算有效材料属性的功能。

- 优势
  - 直观的用户界面
    - ➔ 易学易用
  - 生成高质量的多部分 STL 和曲面模型
    - ➔ 无需手动修正或重剖网格
  - 脚本
    - ➔ 自动执行可重复的任务及操作
  - 直接进行图像到曲面的转换，曲面输出及可视化
    - ➔ 准确、高质量地重构数据



- 重要特征
  - 支持导入多种文件格式
  - 提供具有多个 2D/3D 视角的可定制化工作区
  - 背景图像及蒙片的立体渲染
  - 动画录制和视频文件导出
  - 综合测量和统计工具
  - 功能强大的半自动分割工具
  - 确保多部分面网格/STL 的一致性

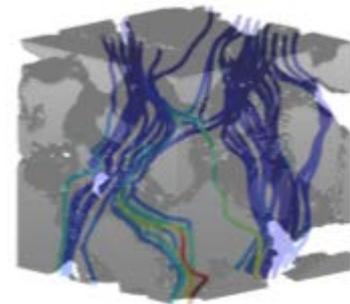


图 3-1.2 CT 数据提取和可视化

## 2、网格生成模块+FE

Simpleware<sup>+</sup>FE模块具有强大的基于图像的网络剖分能力，提供高质量解决方案，将分割后的 3D 图像数据转换为多部分的体积网格，导出并应用于有限元(FE)或计算流体力学(CFD)软件包。

生成的网格具有一致的接口和共享节点，可指定材料属性、定义接触、节点集和壳单元，并定义 CFD 边界条件，通过减少在其他软件重划网格的步骤加快用户的工作流程。

- 优势
  - 自动、高效、快速
    - ➔ 几分钟即可完成从图像分割到分析模型的生成
  - 一般的个人电脑”进行处理生成复杂的网格
    - ➔ 完成复杂模型不依赖于高性能计算机
  - 仅取决于图像质量的拓扑/形态学精确度

→分割与平滑图像过程中保持图像精度不变

- FEA 和 CFD 网格一致，尤其适用于流固耦合分析

→强大的多部分模型避免间隙和重叠

● 重要特征

- 可基于任意形状的复杂几何体生成网格
- 用户可选择基本网格或自由网格
- 根据图像信号强度分配材料属性
- 具有拓扑保留和体保留的光滑算法
- 可对感兴趣的多结构/区域进行网格划分
- 可保证接触的表面/界面的一致性
- 生成用户自定义的自适应网格

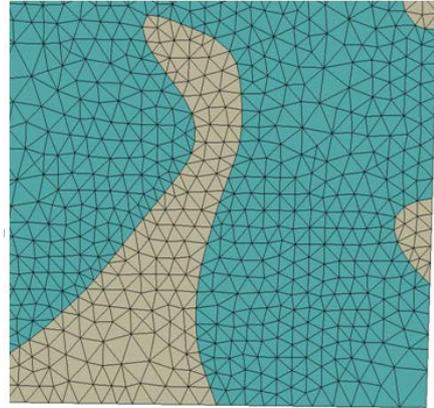


图 3-1.3 不同结构的网格划分

### 3、URBS 曲面建模模块

+NURBS 曲面建模模块提供了，一种从图像到 CAD 数据转换的一种途径，通过创建 NURBS（Non-Uniform Rational B-Splines）模型。

该集成模块运用自动拟合和表面生成技术，将 ROI（regions of interest）感兴趣区域，转换为 NURBS IGES 文件，转换后可导入至 CAD 软件中。

● 优势

- 完全自动化补片拟合 NURBS 模型
  - 只需几分钟即可完成图像到 CAD 模型的转换
- 高精度保留几何及拓扑结构
  - 从分割到模型保存无特征损失
- 控制补片布局和控制点
  - 最优化补片布局根据原始几何形状

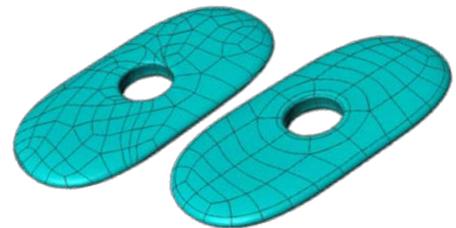


图 3-1.4 自动化 NURBS 曲面

● 重要特征

- +NURBS 模块可以完全集成于 ScanIP
- 从图像到 CAD 数据的转换
- NURBS IGES 文件，可导入至 CAD 软件中

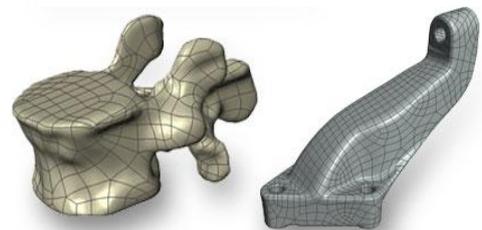


图 3-1.5 NURBS 曲面模型实例

### 4、CAD 模块

+CAD 模块与 ScanIP 模块紧密结合，为 CAD 模型与三维图像的融合提供一系列的

工具。所获得的几何模型能够输出为众多 CAD 文件格式模型，或者利用+FE 模块自动生成众多有限元网格。在 32 位或 64 位 Windows 平台支持多处理器进行 CAD 建模。

● 优势

- 轻松组合图像与 CAD 数据
  - ➔ 避免在 CAD 环境中用到图像
- 为组合图像和 CAD 数据准确生成网格
  - ➔ ScanIP 和 +FE 模块强大的网格算法
- 为外科手术可变性效应简化多网格的生成
  - ➔ 快速，可重复，精确
- 设计外科手术指南和范本，阐述支架/微架构
  - ➔ 完美重现真实场景

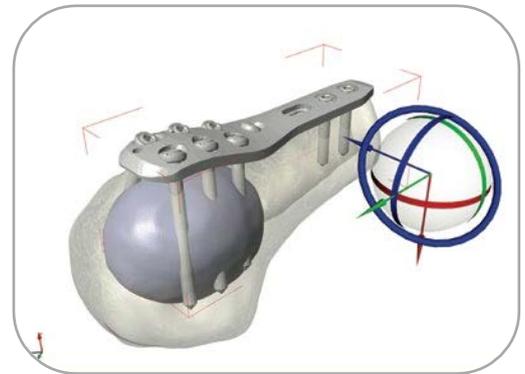


图 3-1.6 骨近端固定骨折后的相对定位+ CAD 模块

● 重要特征

- 将大部分常见 CAD 文件格式直接导入到三维图像
- 根据用户定义提供二维/三维视图
- 利用实时交互式输入和键盘输入进行定位
- 沿着用户定义的矢量进行限定性运动定位
- 重采样的几何保留
- 生成 CAD 为图元的模板生成内部微小结构
- 以 STL 形式导出组合模型或导入 ScanIP 做进一步体网格划分



图 3-1.7 距离测量定位

## 5、物理模块

物理模块包括结构力学模块 (+SOLID Module)、流体分析模块 (+FLOW Module)、以及多学科分析模块 (+LAPLACE Module)。物理模块的主要功能如下：

模块	结构力学模块 (+SOLID Module)	流体分析模块 (+FLOW Module)	多学科分析模块 (+LAPLACE Module)
概述	计算材料有效刚度张量和弹性模量。调用软件内置的有限元求解器或采用基于分割图像的快速半解析法来执行数值均匀化计算。	计算多孔介质渗透率等参数，数值均匀化计算调用软件内置的 Stokes 求解器。	计算由 Laplace 方程控制的材料行为对应的有效材料参数，包括但不限于电导率、介电常数、热传导系数、扩散系数等。采用软件内置的有限元求解器或者基于分割图像的快速半解析法来执行数值均匀化计算。
核心功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>计算有效刚度张量/弹性模量</li> <li>内置有限元求解器</li> <li>多相材料模型构建</li> <li>快速半解析法评估</li> <li>可视化变形、应力应变</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>计算多孔介质渗透率</li> <li>内置有限元求解器</li> <li>可视化速度场和压力场</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>计算有效电导率和介电常数</li> <li>计算热传导系数</li> <li>计算扩散系数</li> <li>内置有限元求解器</li> <li>快速半解析法评估</li> <li>可视化场分布</li> </ul>
特性	结构力学模块 (+SOLID Module)	流体分析模块 (+FLOW Module)	多学科分析模块 (+LAPLACE Module)
生成高质量的体网格 (Hex/Tet 或 Tet)	✓	✓	✓
灰度值材料映射	✓		
计算有效弹性参数	✓		
计算渗透率系数		✓	
计算电参数和热参数			✓
可视化有限元模拟结果	✓	✓	✓

### ● 优势

- 稳定而有效的均质化方法
  - ➔ 复合材料的简化分析
- 基于 3D 扫描的高效仿真分析
  - ➔ 在ScanIP中快速计算有效属性
- 在多种预定义边界条件中进行选择
  - ➔ 基于标准设计进行分析，节约时间
- 高质量数据可视化及动画功能
  - ➔ 与同事分享和探讨仿真结果
- 脚本

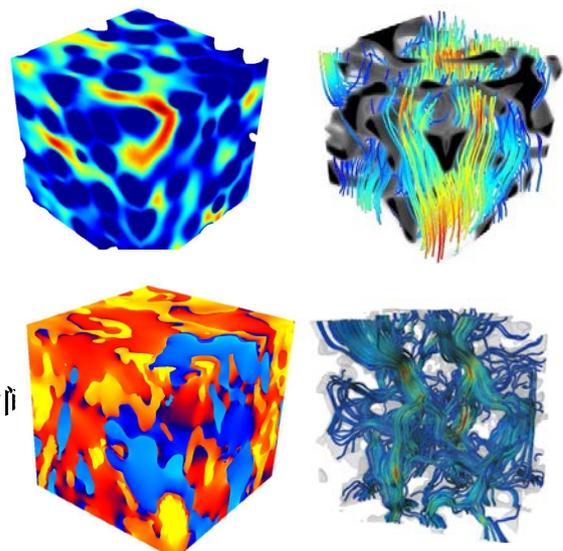


图 3-1.8 多孔材料样品绝对渗透率张量、有效的导电性、透气性、导热性和分子扩散

## →自动重复任务和操作

### ● 重要特征

- 计算有效弹塑性特性（结构模块）、绝对渗透率（流体模块）、电导率和介电常数、导热系数和分子扩散系数（拉普拉斯模块）
- 可在完整的基于有限元的均质化方法和快速半解析法之间进行选择（仅适用于结构模块和拉普拉斯模块）
- 自动计算最适合的各向同性（所有物理模块）、正交各向异性（结构模块）、以及单轴（流体模块和拉普拉斯模块）近似值，以及算有效张量
- 自动测定模型主轴方向
- 计算结果可导出为 text 或 VTK 格式文件

## （二）Simpleware 软件在多孔介质建模领域的应用

Simpleware 软件优秀的多孔介质建模功能，目前在世界地质勘探、石油与天然气、材料科学、土木工程等领域已经被广泛应用。极大促进了多孔介质研究技术的发展。2011 年中仿科技应邀参第十一届全国渗流力学学术大会。详细地介绍了 Simpleware 软件，并就 Simpleware 软件对于多孔介质建模的应用做详细介绍及案例操作。例如多孔介质流动模拟建模、岩石孔隙建模、地层建模等。下面将展示详细的应用案例。

### ● 多孔介质流动仿真

1、粗砂样品的显微 CT 扫描数据用于生成用于流体流动仿真模型。图像数据的分辨率为  $4.3 \mu\text{m}$ ，呈现出砂样的实体和孔隙。生成高品质的四面体网格用于流体流动模拟。

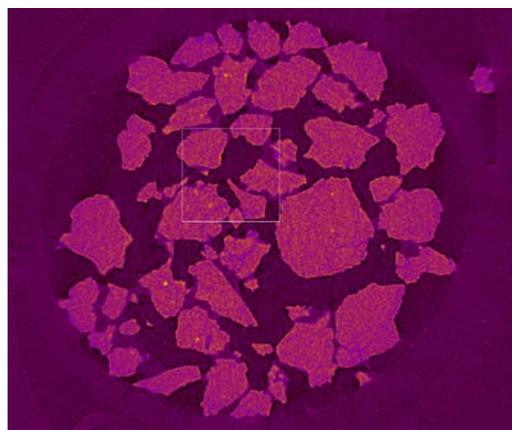


图 3.2-1 砂样的 XMT 扫描图像

2、在研究中所用的土壤是粗砂为 0.55 毫米的平均直径。该图像数据是使用自动阈工具内 SCANIP 分段。半自动化的工具，例如 FloodFill 和水平集方法也可以用于完成分割。

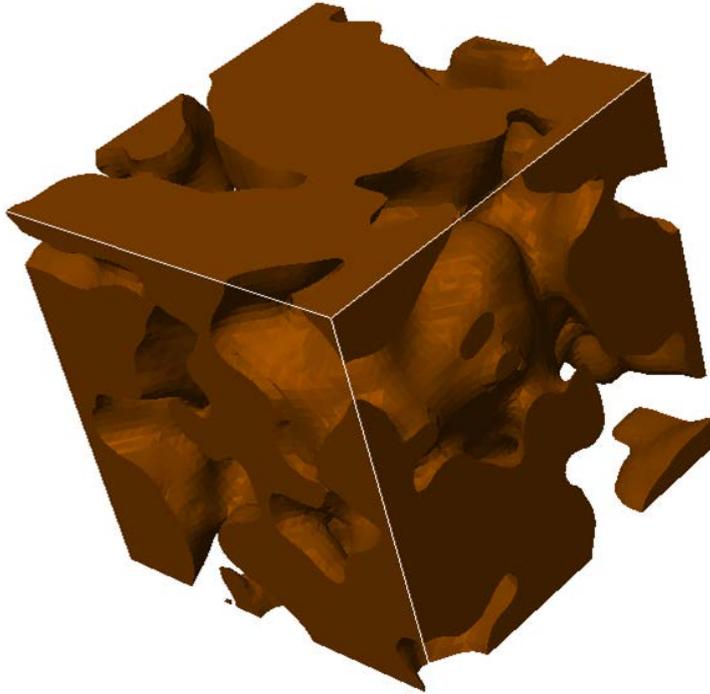


图 3.2-2 图像的立体化处理

3、强大的分段数据啮合，ScanIP 模块和网格生成模块在几分钟就生成网格模型。即使交界处匹配接触，又保证了域的精确。

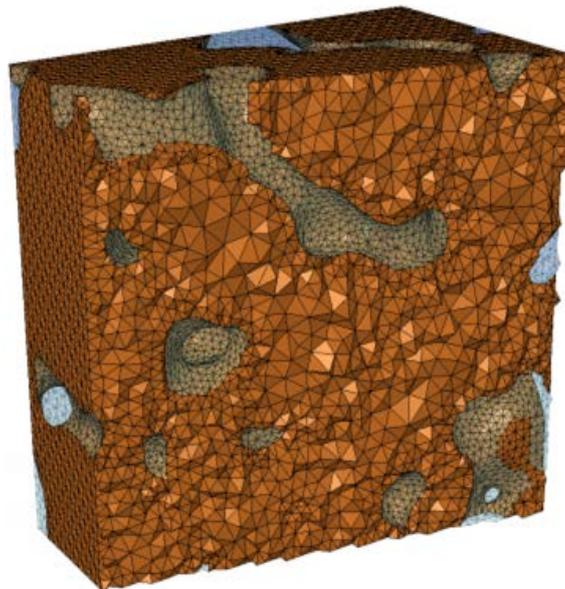


图 3.2-3 样本网格模型

4、流体流动模型输出到 COMSOL Multiphysics 软件中进行流体仿真模拟，由 Navier-Stokes 方程建模，可用于推导达西定律的宏观参数，如水力传导率。该模型可以计算各向同性的、在所有方向上的弯曲度和分散性。

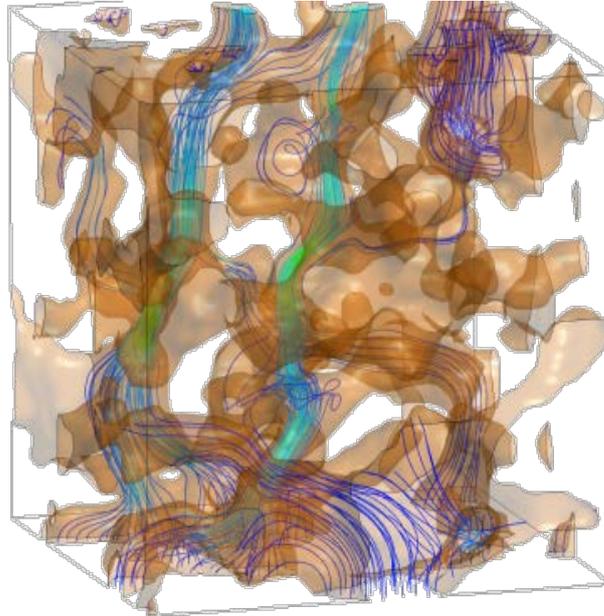


图 3.2-4 在 COMSOL Multiphysics 中流动模拟

#### 中仿 Simpleware 软件的功能优势：

- CT 图像的三维可视化
- 广泛的降噪过滤器
- 简单易用的分割工具以捕捉不同的材料和流体
- 定量分析孔隙率，岩石、原油体积分数，孔隙位置，表面积，质心和连通性
- 测量 – 距离/角度
- 高质量、稳定、自动化表面,体网格
- FEA – 不同载荷条件下的应力分析
- CFD – 流体力学分析
- FSI –流固耦合分析
- 构建地震资料与有限元网格的桥梁
- 可计算从岩石冲刷原油所需速度，分析油/水混合的流动问题
- 无损换样品探测材料特性 – 虚拟测试

## 关于 Simpleware 软件

借助其 image-to-mesh 技术，Simpleware 三维数字图像建模软件已成为图像到数值模型的图像处理先驱者，获得了包括 Queen's Award for Enterprise in Innovation 2012、Institute of Physics' (IOP) Innovation Award 2013 在内的多个国际奖项，为数字图像三维建模的发展做出了重要贡献。2014 年 12 月中仿科技在四川大学举行 Simpleware 三维图像建模与数值分析软件的技术讲座，详细介绍 Simpleware 软件多孔介质建模的方法与特点，并带领参会人员一步步学习操作案例，熟悉软件操作流程。目前 Simpleware 在世界范围内广泛应用于生物医学、材料科学、石油天然气科学、3D 打印等众多领域。

## 关于中仿科技

中仿科技(CnTech)公司成立于 2003 年，是中国领先的仿真分析软件和系统解决方案的提供者。中仿科技依靠自主创新研发拥有自主知识产权的中仿 CAE 系列产品，同时与国际上领先的数值仿真技术公司有长期而紧密的合作关系，具备较强的自主研发能力和创新能力，能够为中国企业和科研机构提供世界一流的仿真技术解决方案。公司总部设在上海，目前在北京、武汉设有分公司。

过去的十多年来，中仿科技一直致力于仿真技术领域最专业的系统实施和项目咨询。目前在中国已有超过 1500 家用户，其中包括中国航天、中国商飞、中石化、中海油、交通部、地震局、国家电网、中广核以及各大高校和中科院所。服务领域涉及高端制造、国防军工、石油化工、水利水电、汽车交通、能源采矿、生物医学、教学科研等。

“仿真智领创新”是中仿企业的核心理念，也是中仿坚持的产品核心价值观。中仿始终遵循“客户满意为止”的服务宗旨，坚持不懈地为国内外客户提供全球最前沿最顶端的科技服务，力争成为仿真技术行业的典范。（了解更多详细信息，请访问：[www.CnTech.com](http://www.CnTech.com)）

全国统一客服热线：400-888-5100      [info@cntech.com](mailto:info@cntech.com)

