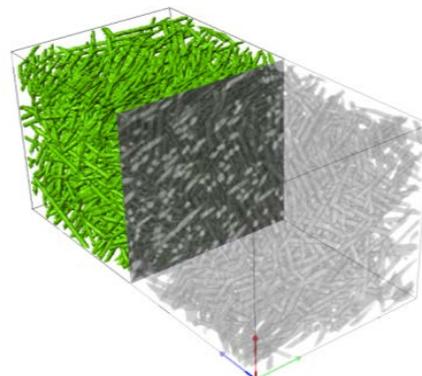
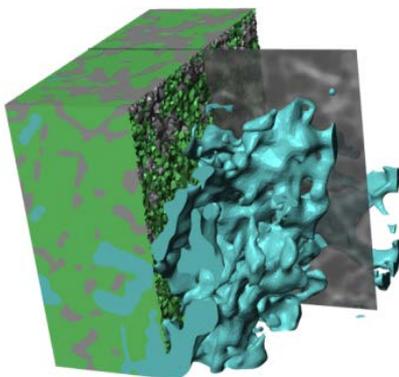
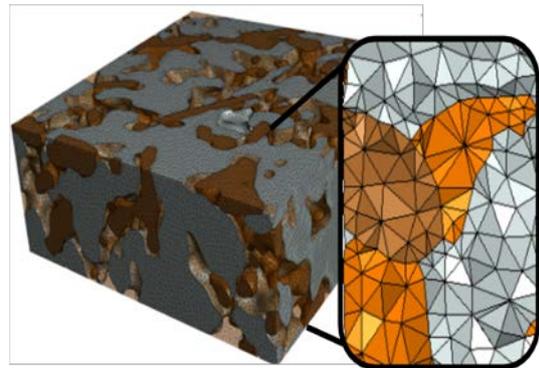
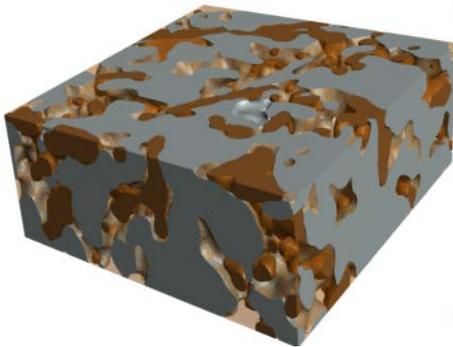


中仿 Simpleware 材料科学研究建模与数值分析解决方案



一、概述

随着社会的进步和工业的发展，人类对产品的质量、性能要求越来越高。而提高产品的质量与性能，就必需充分地了解并应用材料的特性。因此，材料研究的重要性也就不言而喻。材料研究一般分为两个方面：一是微观结构的研究；二是宏观特性的研究。两方面并非相互独立，而是相辅相成。材料微观结构往往对宏观特性起到决定性的作用，而宏观特性也会反映出材料的微观结构。

现代工业，对于材料的综合性能要求越来越高。传统的简单的材料显然那已不能满足需求，对各种综合性能优良的复合材料需求越来越大，所以复合材料的研究也越来越重要。

二、材料研究的问题和需求

随着科学技术的发展，材料研究的方法越来越完善。化学分析、热分析、元素分析、光谱分析、色谱分析等方法可以较为透彻地分析材料微观组织结构。拉伸测试、冲击测试、硬度测试、腐蚀测试、疲劳测试等方法可以对材料性能进行有效的评估。

微观分析的问题

- 扫描仪、电子显微镜等工具输出图像简单，普遍还是二维图像。
- 若要有效地分析计算，对研究人员的专业知识及经验要求较高。
- 手动测量计算误差较大。



图 2.1 扫描电镜

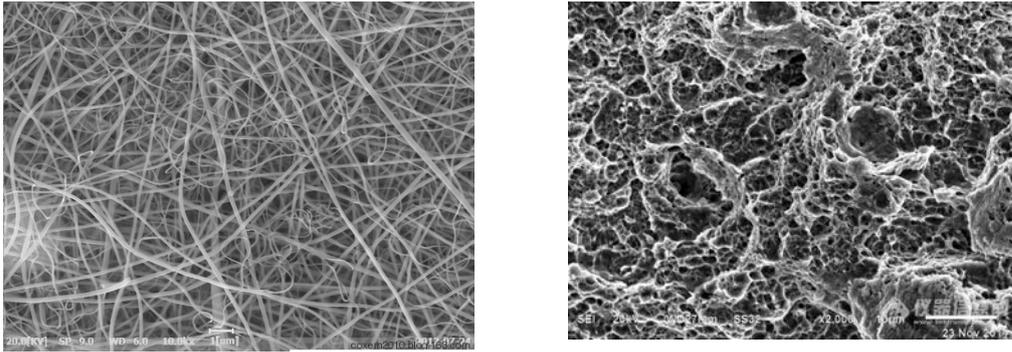


图 2.2 扫描电镜输出二维图像

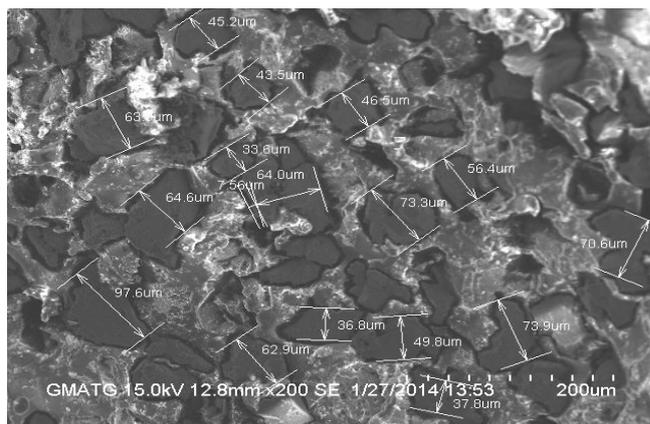


图 2.3 扫描电镜手动测量颗粒直径

扫描电镜微观图像抽象，需要研究者很强的专业知识和经验。测量过程为手动，误差比较大。

材料性能测试的问题

- 操作偶然性对测试结果影响大。
- 测试受环境影响。
- 对样品具有破坏性且需多次测试，样品需求量大，浪费资源。



图 2.4 拉伸强度测试试验机



图 2.5 样品拉伸试验

对于拉伸试验来说，操作过程对实验结果影响巨大，例如装夹样品时样品是否垂直，测试结果就差别巨大。并且一种材料需要多次测试取平均结果。

当今材料研究的需求

- 简单化、自动化 → 图像简单、真实，分析计算自动化。
- 高效、环保 → 减少外部因素影响，节省材料、成本。

三、材料研究数字建模及数值仿真计算全球高端解决方案 Simpleware

基于影像技术和计算机技术的飞速发展，通过基于对材料扫描图像建模并结合有限元分析的方法进行可视化分析研究和仿真模拟测试，上述材料研究的各种问题及需求可以得到完美解决。给大家推荐中仿 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。2015 年 5 月中仿科技应邀参加北京大学 3D 图像数字建模与有限元分析软件 Simpleware 数值仿真技术专题研讨会，详细介绍 Simpleware 软件，并就 Simpleware 在相关领域的应用做详细介绍及案例操作，并得到了与会人员一致的认可。

Simpleware 软件具有扫描图像三维处理功能，其强大而精确的建模功能将材料扫描图像转换为逼真的三维模型，用于材料微观结构的三维立体可视化，利用其物理模块进行准确分析计算，利用其 CAD 模块和网格生成模块进行建模，可用于进一步仿真模拟测试。

（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。

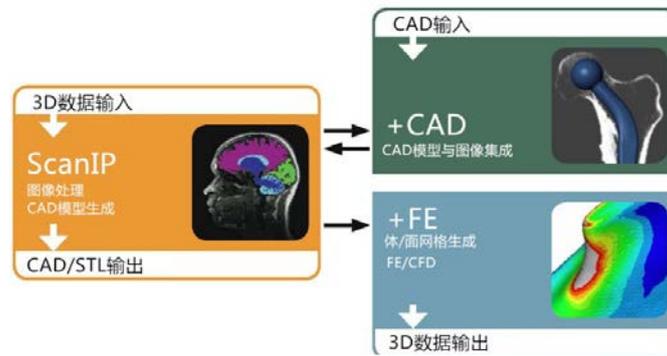


图 3-1.1 simpleware 建模流程

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。

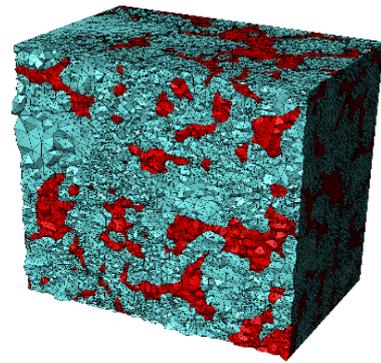
ScanIP 为 3D 图像数据（MIR, CT, micro-CT, FIB-SEM...）的综合处理提供了软件环境。

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

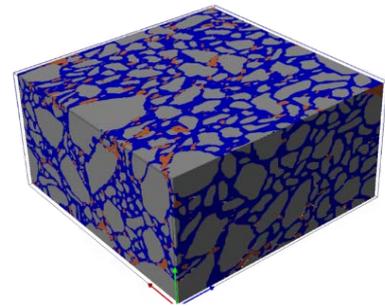


图 3-1.2 复合材料扫描图像的可视化和分析

2、网格生成模块+FE

Simpleware⁺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

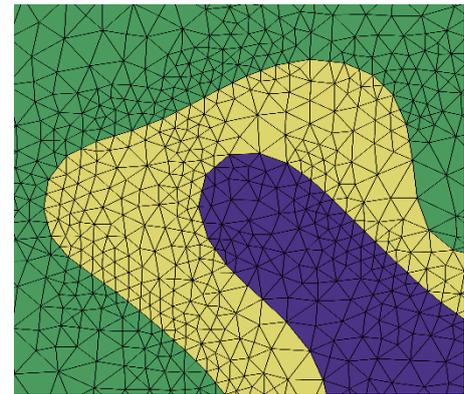


图 3-1.3 基于特征
的网格细化

- 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

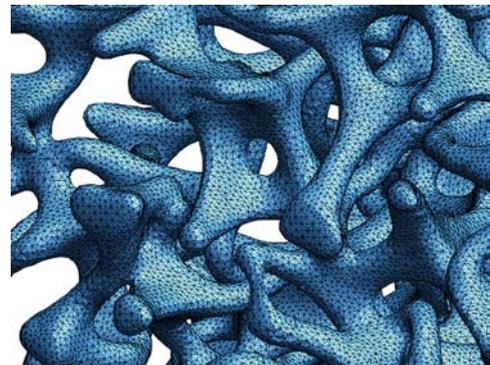


图 3-1.4 材料网格模型

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

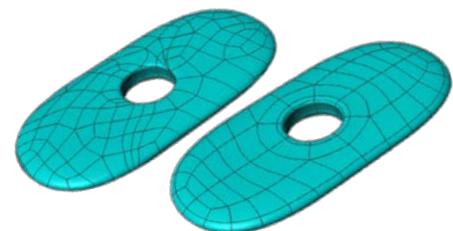


图 3-1.5 自动拟合 NURBS 曲面

→ 最优化补片布局根据原始几何形状

● 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

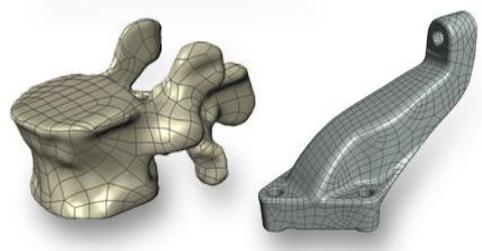


图 3-1.6 NURBS 曲面模型实例

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

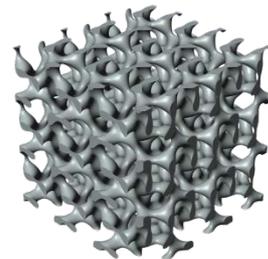
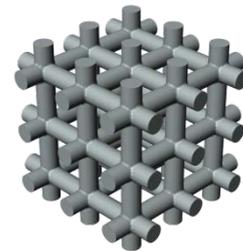


图 3-1.7 材料样本内部结构

● 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

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"> 计算有效刚度张量/弹性模量 内置有限元求解器 多相材料模型构建 快速半解析法评估 可视化变形、应力应变 	<ul style="list-style-type: none"> 计算多孔介质渗透率 内置有限元求解器 可视化速度场和压力场 	<ul style="list-style-type: none"> 计算有效电导率和介电常数 计算热传导系数 计算扩散系数 内置有限元求解器 快速半解析法评估 可视化场分布
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
 - ➔ 自动重复任务和操作

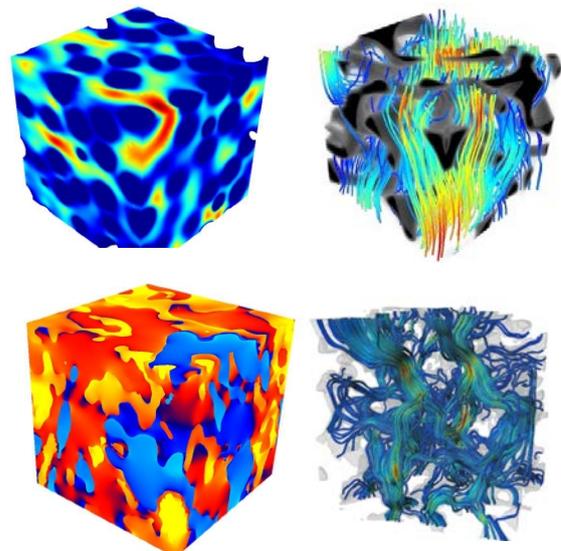


图 3-1.8 多孔材料样品绝对渗透率张量、有效的导电性、透气性、导热性和分子扩散

- 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 软件应用于材料研究案例

- 合成石墨的孔隙率研究

研究孔隙率对合成石墨弹性性能的影响，提高钢炉电极的使用寿命。



图 3-2.1 炼钢炉电极

1、输入 CT 图像并处理

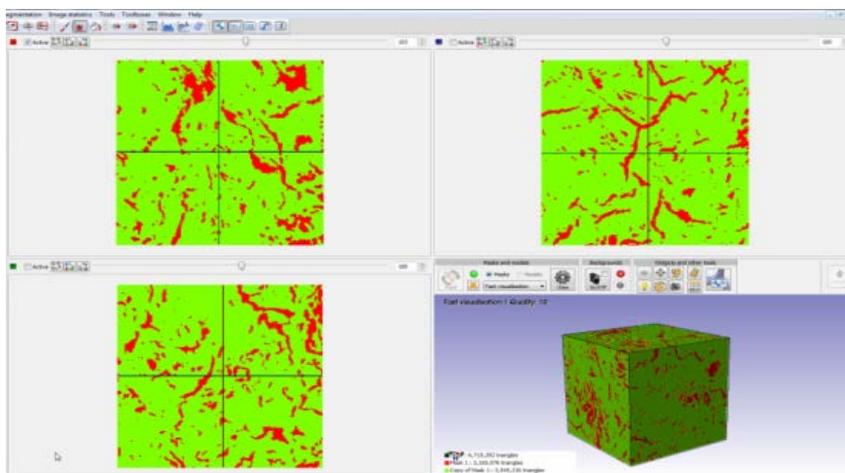


图 3-2.2 Simpleware 图像处理界

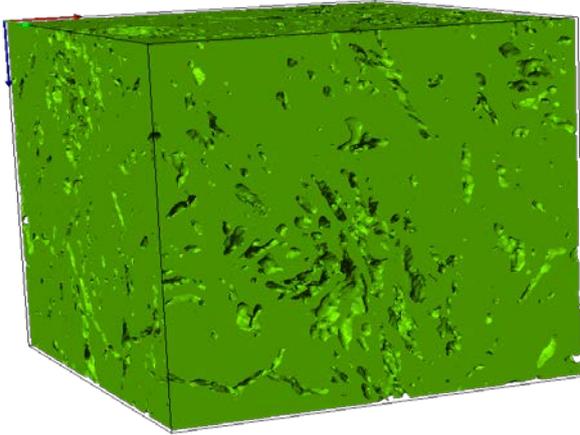
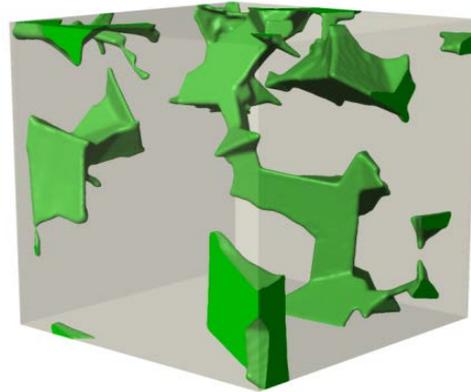


图 3-2.3 合成石墨样品 CT
图像复杂拓扑的分割与重构



Mask statistics						
Update state: <input checked="" type="checkbox"/> Update on the fly						
Name	Voxel count	Volume (mm ³)	Surface area (mm ²)	OBB-Major Extent (mm)	OBB-Major Axis Angle To X-Axis (Degrees)	
Solid	26,820,000	26.86e3	538e3	300	0.00	
Pores02	733,913	734e3	220e3	339	83.6	
Pores07	194,206	194e3	47.1e3	184	20.0	
Pores08	80,615	80.6e3	20.7e3	140	62.4	
Pores03	40,007	40.0e3	16.0e3	127	79.3	
Pores09	8,217	8.22e3	4.04e3	45.8	11.0	
Pores06	6,132	6.13e3	3.42e3	30.4	41.1	
Pores01	5,899	5.90e3	5.36e3	97.5	87.3	
Pores05	2,289	2.29e3	2.13e3	91.5	58.4	
Pores10	1,825	1.83e3	1.51e3	46.4	75.3	
Pores04	1,110	1.11e3	1.96e3	10.6	20.7	
Grand total						
Stats (13 items)	27,664,263	27.66e3	866e3	1.41e3		87%

图 3-2.4 孔隙度、孔径和分布的测量

运用图像处理模块（ScanIP）处理合成石墨样品的CT扫描图像，对图像复杂的拓扑结构进行分割与重构，并进行孔隙度、孔径和分布的测量与统计。

2、构建网格模型

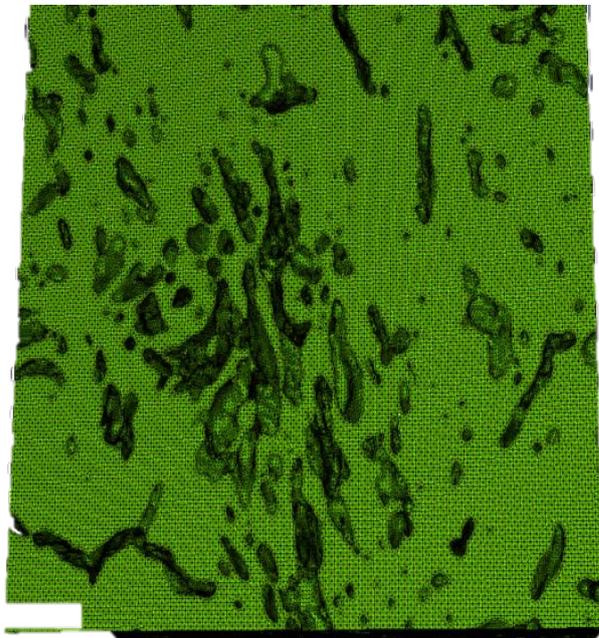


图 3-2.5 生成高质量的网格模型

3.分析计算

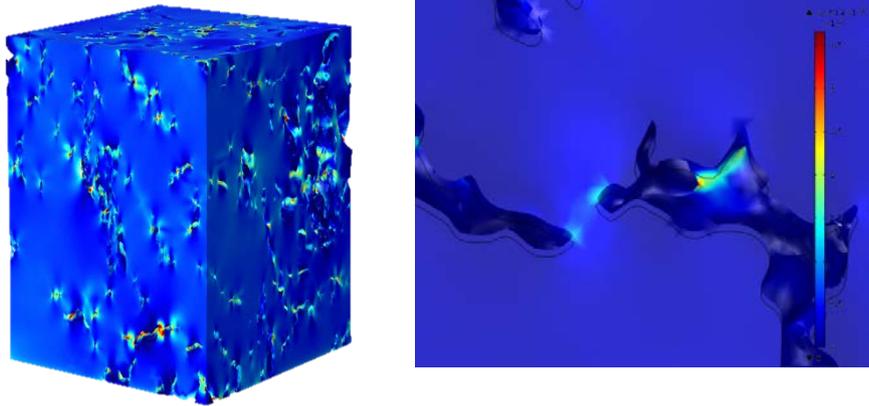


图 3-2.6 分析计算泊松比和弹性模量

网格生成模块+FE 构建的一个高质量的体网格；物理模块计算结果，相比理想材料的情况下泊松比减少 1%~8%，弹性模量降低 18%~62%。

- 泡沫材料研究分析

通过 Simpleware 软件对泡沫材料扫描图像进行三维建模，并分析计算，最终输出模型进行仿真实验



图 3-2.7 原材料

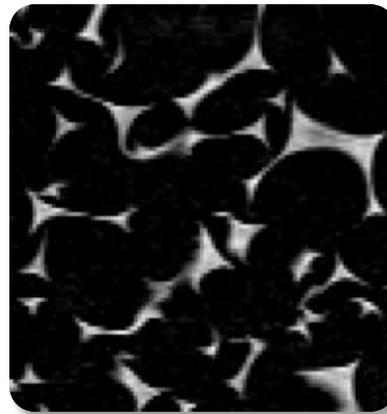


图 3-2.8 同步到 XMT

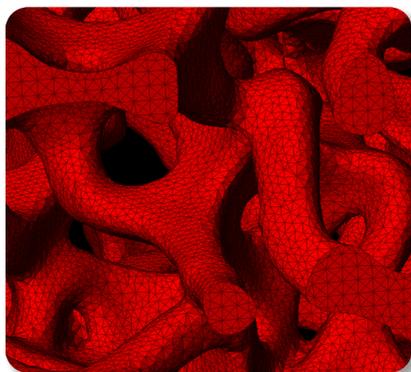


图 3-2.9 快速生成网格

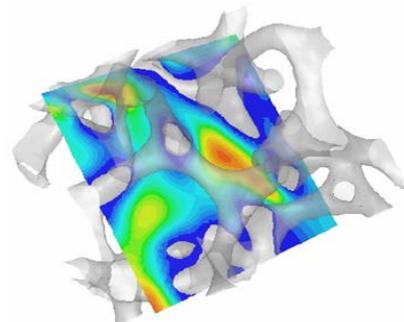


图 3-2.10 液态下流体力学计算，通过双重网格流动分析流体与结构的相互作用

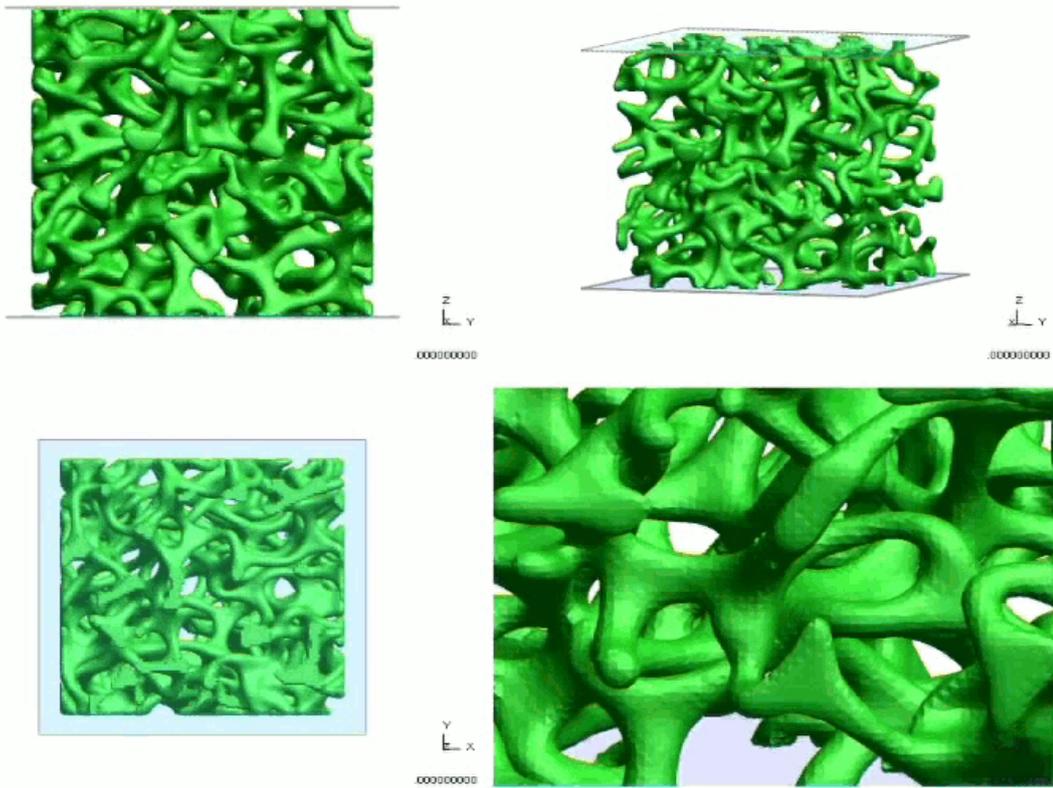


图 3-2.11 在 LS-DYNA 里挤压仿真

● 对烧结芯流体热传输特性的仿真

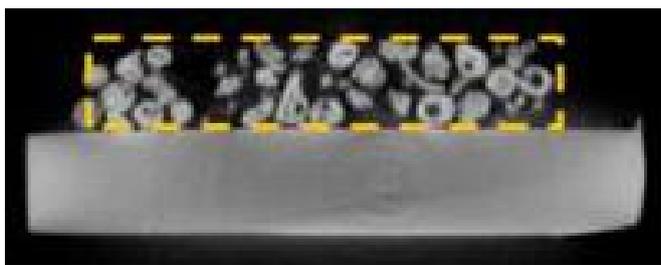


图 3-2.12 多孔烧结体扫描图像

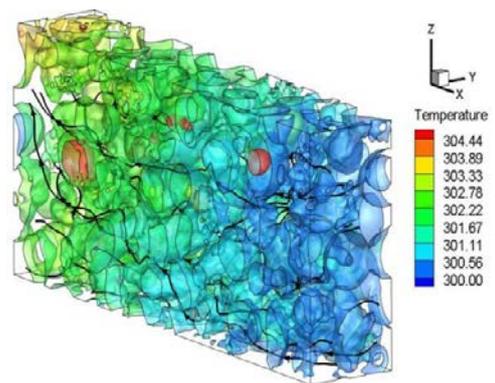


图 3-2.13 颗粒流动分析

多孔烧结微观结构的微扫描，5.5 μ 米分辨率。ScanIP 对固体和孔隙空间的分割，物理模块流体力学仿真计算静态有效导热系数、摩擦系数、渗透率和界面传热。输出流体轨迹图。

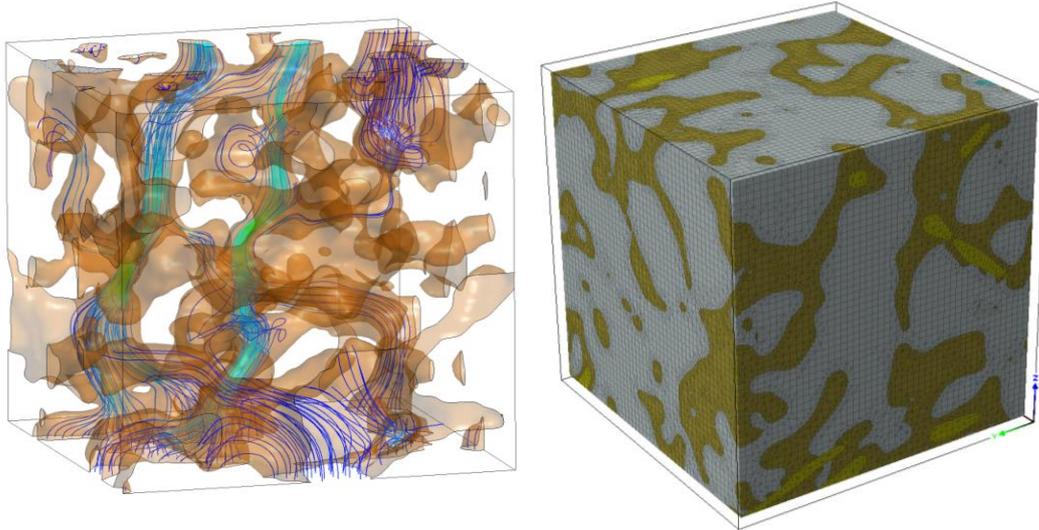


图 3-2.14 分割粒子与孔隙，生成复合网状网格

XMT 扫描砂样品，平均直径为 0.55 毫米的粗砂， 4.3μ 米分辨率。Simpleware 图像处理模块分割的粒子和孔隙，重采样到 $0.81 \times 0.81 \times 0.81$ 毫米。网格模型生成复合网状的网格，输出到 COMSOL 中进行有限元模拟。模拟在 Z 方向上的颗粒流动轨迹图。

- 基于图像裂纹对材料样本的非破坏性评估

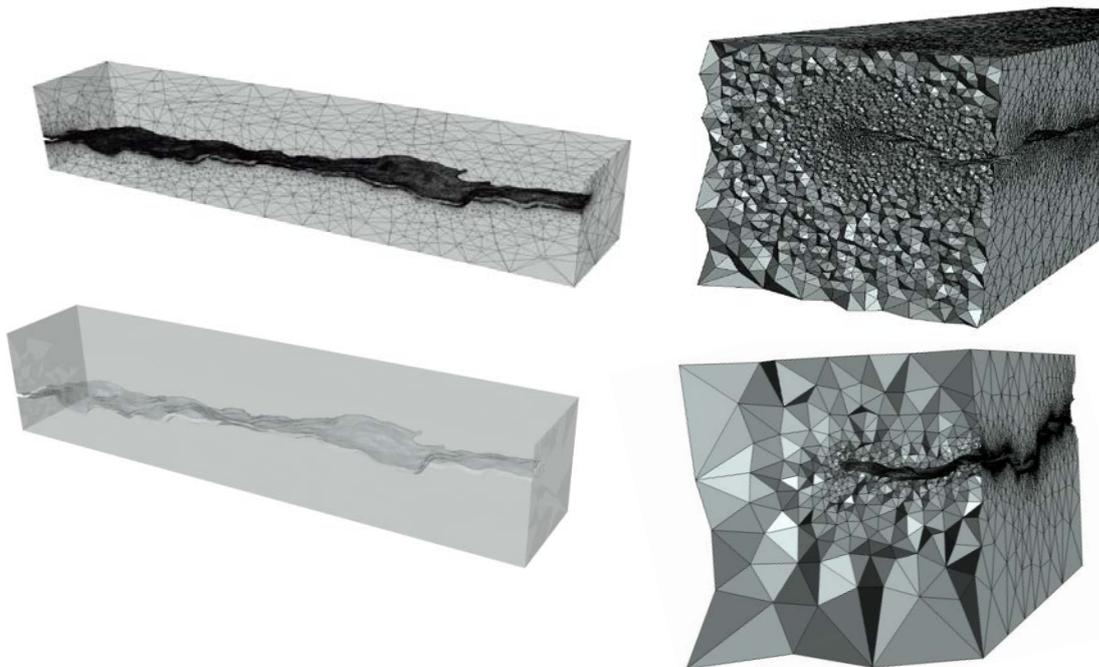


图 3-2.15 根据扫描图像生成和啮合的裂纹模型

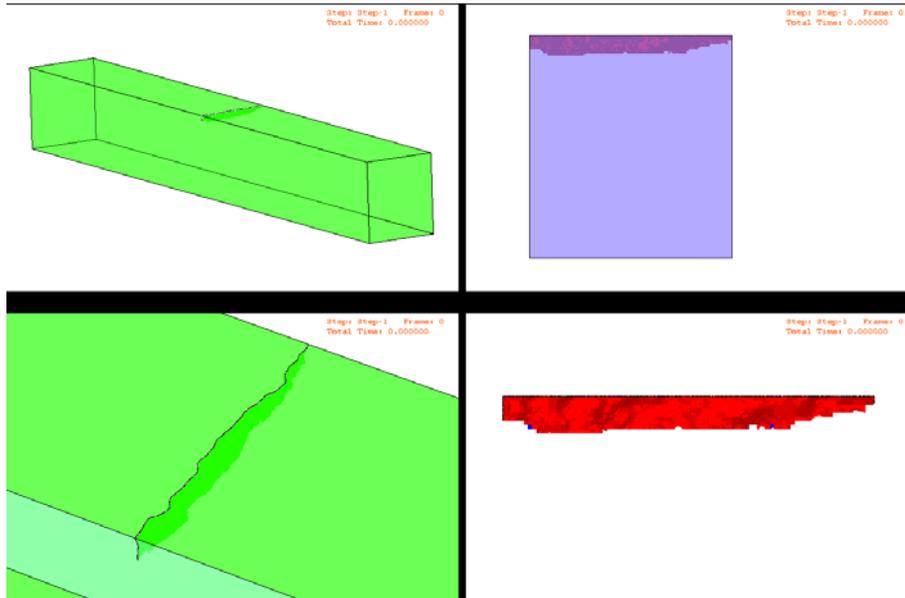


图 3-2.16 裂纹扩展模拟与测试试样相比较

基于样本裂纹图像构建三维模型，通过对模型的仿真模拟实验，评估材料的性能。非破坏性的探测评估，没有人为操作的影响。更精确，更高效，更环保。

Simpleware 的优势：

- 基于二维和三维的 X 射线断层图像建立有限元模型
- 使用 ScanIP 图像处理工具自动分割
- 完整的多个部分的分段数据导出
- 可在 ABAQUS 中进行抗剪切模量测试
- 与实验室结果相比较，更有效性
- 测试样品无损伤，节省成本

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。2015 年 6 月中仿科技在四川大学举行 3D 图像建模软件 Simpleware 技术讲座和操作培训，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）

全国统一客服热线：400-888-5100 info@cntech.com

