





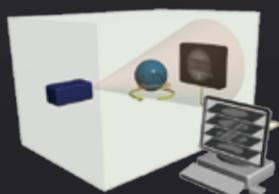
工业计算机断层扫描

原理与应用



X射线计算机断层扫描原理

利用不同密度物质对 X 射线吸收率不同，从而对被测工件进行透射，依据外部投影数据重建物体内部结构图像的无损检测技术。



计算机断层扫描原理

X 射线是什么？

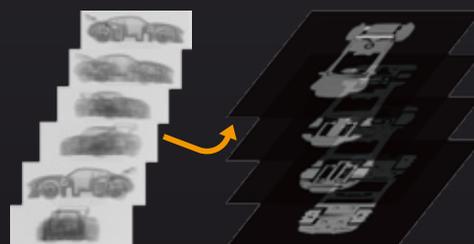
一种高频电磁辐射，可以与物质发生相互作用，对人体有害。



计算机断层扫描需要两个步骤：

采集：记录样品在旋转状态时的数百个射线成像（或投影）

重建：使用大量切片通过计算机处理进行零件 3D 重构



样品射线成像

断层扫描切片

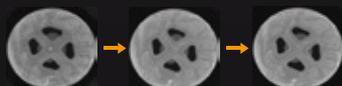
影响图像质量的因素

投影数



CT扫描持续时间和采集质量与投影数直接相关。如果我们增加投影数量，图像质量会更好。

平均值



图像噪声会影响可观察细节的质量等级，从而影响采集的准确性。增加扫描的平均时间可降低噪声水平并提高信噪比：使成像效果更好。

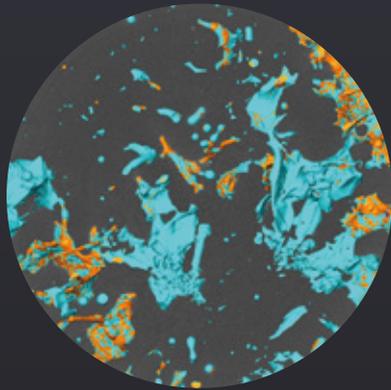
分辨率



分辨率定义了图像中可观察细节的尺寸级别。然而，非常高的分辨率需要更长的扫描时间。在小型的样品上，RXSolutions CT 系统的分辨率可达数百纳米。

计算机断层扫描应用

计算机断层扫描可用于许多应用中，例如研发、产品开发、制造工艺优化……



铝合金
分辨率: $0.4 \mu\text{m}$

材料微观结构分析

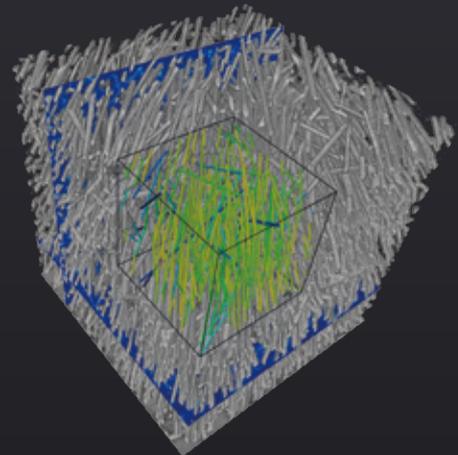
- 使用非常高的分辨率对材料的内部结构进行亚微米分析
在此样品中，我们可以观察到铜和铁的金属间化合物
- 领域：材料科学、地质学、研发阶段等等
- 能够用于拉伸试验和原位疲劳试验

尺寸测量：计量学

- 整个样品外表面和内表面的尺寸测量
- 领域：汽车、航空航天、模塑业、机械、电子等多种行业
- 计算机断层扫描是唯一一种以简单方式监控产品表面尺寸的技术，即使产品有复杂且难以接近的样式



汽车零件
分辨率: $127 \mu\text{m}$



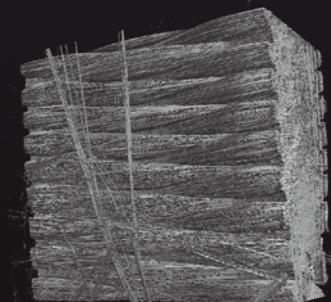
复合材料
分辨率: $0.7 \mu\text{m}$

缺陷分析：气孔、夹杂、裂缝……

- 计算机断层扫描允许获得样品的 3D 体数据，其中包含所有缺陷
采用颜色代码，我们可以通过形状、尺寸等来区分气泡或夹杂
- 领域：航空、汽车、材料科学、铝和注塑或电子电气行业
- 计算机断层扫描提供了量化样品内气孔、夹杂、裂缝或凹坑的机会，而无需切割或破坏样品

内部结构分析——纤维取向

- 纤维取向分析对于复合材料的开发和制造过程非常有用
有了计算机断层扫描技术，纤维结构清晰可见
- 领域：航空、汽车、材料科学、复合材料等
- 计算机断层扫描提供了量化工件纤维机械和物理性能的能力



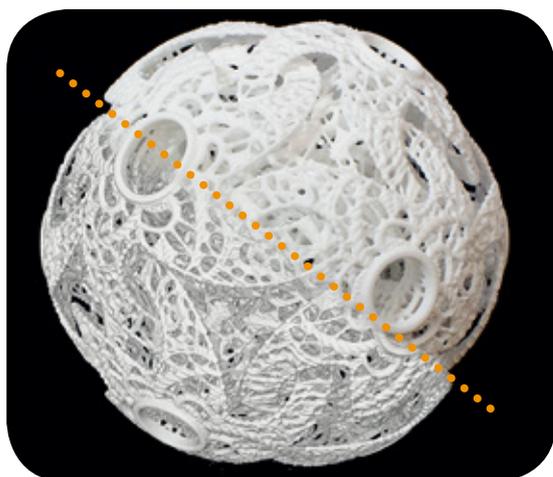
复合材料
分辨率: $64 \mu\text{m}$

计算机断层扫描，是能看到您样品内部的唯一无损检测技术！

采用增材制造获得的工件在整个生产过程中需要大量的控制和检查工作。计算机断层扫描（CT）是一种强大的无损检测技术，可以轻松地对每个样品进行检验，也是唯一能够看到物质内部的技术。



3D 渲染



INITIAL
DESIGN & PRODUCTION
PRODWAYS

真实材料

Initial生产的增材制造零件，经RX Solutions CT扫描而得
Hamilton de Oliveira - 由Linlin & Pierre-Yves Jacques设计



计算机断层扫描：掌握 3D 打印技术

增材制造开辟了一种新的经济实惠的方式，可快速设计无法使用传统检测方法控制和验证的复杂零件。

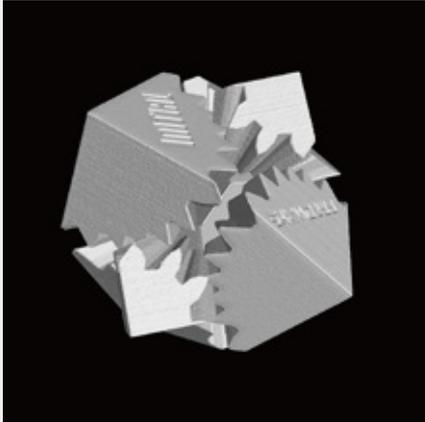
工业 CT 扫描技术是唯一能够以简单的方式识别增材制造零件每个内部特征、能够提供对整个样品的精确测量的检测技术。可以通过单个 CT 数据集评估增材制造零件的每个结构和尺寸方面。



结构分析：质量控制验证

对 3D 打印零件进行工业 CT 扫描可以快速准确地检查零件的内部结构。RX Solutions CT 设备的分辨率高达 5 μm ，可以验证 3D 打印样品的微小细节。

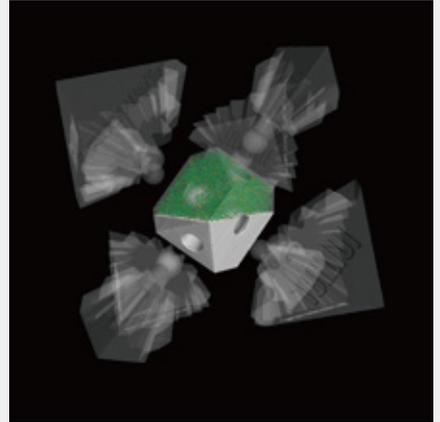
即使在复杂的打印零件上，也可以导出精确的样品 3D 模型，以便测量简单或多材料印刷零件的内部和外部几何形状。



断层扫描



后期处理



气孔分析

可以使用 CT 执行许多不同类型的分析

CT 数据集包含样品的全部几何信息，可用于执行不同类型的分析：空洞分析、实际零件与 CAD 比较、零件与零件比较、壁厚分析或逆向工程。

► 材料缺陷分析：气孔、夹杂、实际零件与 CAD 比较

工业 CT 扫描技术可以识别被扫描零件内部的裂缝、气孔或夹杂。缺陷分析提供有关机械性能的重要信息，这些信息会影响部件质量并影响其性能特征。断层扫描提供了检测、使用 3D 表达可视化 and 量化这些缺陷的能力。

此外，可以轻松地进行 CT 数据集和 CAD 标称文件之间的比较，通过显示外部和内部偏差，快速准确地将零件与 CAD 模型进行比较。工业 CT 扫描是检查零件内部几何形状的唯一无损检测方法。

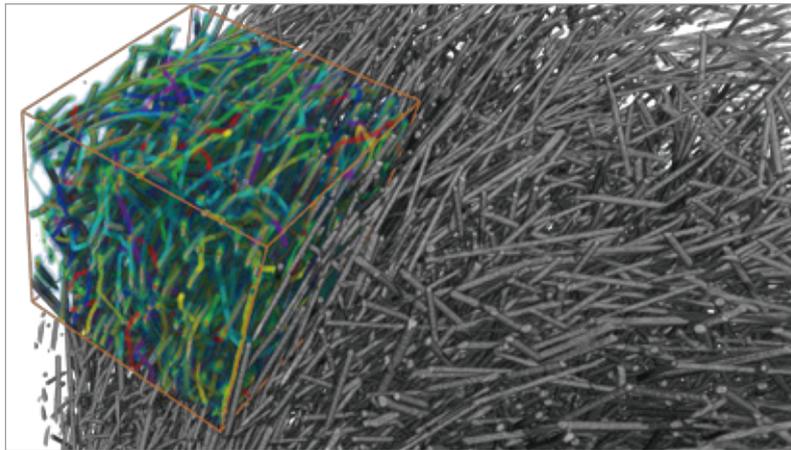
► RX Solutions CT 扫描软件：易于使用且自动化

RX Solutions 提供了一个名为“CT 向导”的软件插件：它通过自动调整所有 CT 工作设置，使 RX Solutions DeskTom 系统非常易于操作。此外，在生产环境环境中，自动化模式将通过自动设置所有 CT 扫描参数来显著缩短控制周期时间。

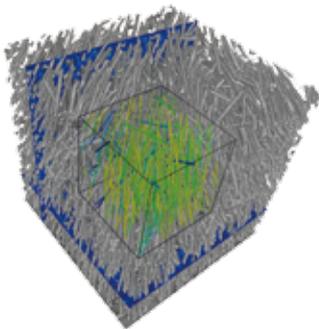
复合材料和纤维

计算机断层扫描，是能看到您样品内部的唯一无损检测技术！

复合材料工件在整个生产过程中需要大量控制和检查工作。计算机断层扫描（CT）是一种功能强大的无损检测技术，可以轻松地检验每个样品，并且是唯一一个能够查看物质内部结构的技术。



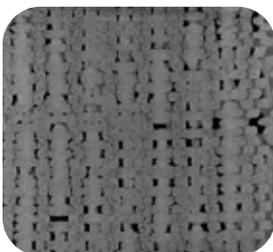
采用RX Solutions扫描，可实现复合材料样品纤维分布状况的三维可视化。



计算机断层扫描：探索复合材料部件

复合材料部件品类多样，并广泛应用于各种工业领域，例如航空航天、汽车或海军工业中。它们具有复杂的材料特性，呈现一系列失效模式。

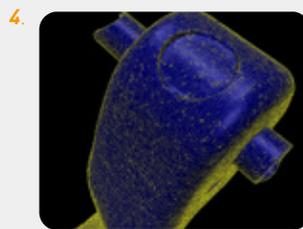
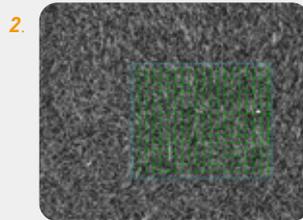
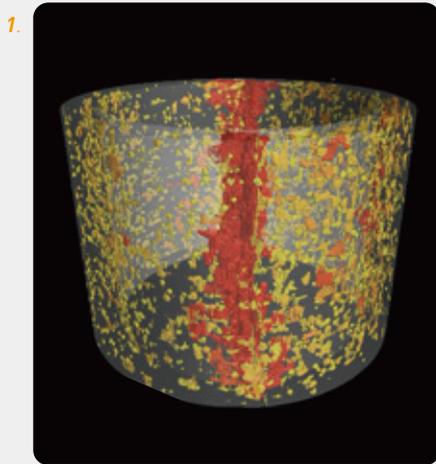
工业 CT 扫描技术是唯一能够以简单的方式表征复合材料部件整体材料结构的检测技术。CT 可以提供整个样品的精确测量，从整体结构级别到单个纤维级别。复合材料零件的每个结构和尺寸方面都可以通过一个 CT 数据集进行评估。



结构分析：质量控制验证

工业 CT 扫描可以快速准确地检查零件的内部和外部结构。凭借高达 $5\ \mu\text{m}$ 的分辨率，RX Solutions CT 设备可以验证复合材料部件的微小细节。

可以定义和导出精确的样品 3D 模型，以测量简单或多材料零件的内部和外部几何形状。



1. 复合材料部件的气孔
2. 可视化复合材料部件内部的局部纤维取向
3. 纤维分析：表示纤维取向分布的直方图
4. STL文件格式表示复合材料叶片的表面

可以使用 CT 执行许多不同类型的分析

CT 数据集包含整个样品几何信息，可用于执行不同类型的分析：空洞分析、实际零件与 CAD 比较、零件与零件比较、壁厚分析或逆向工程。

► 结构分析：纤维分布、CAD 与 CT 比较

工业 CT 扫描技术可以量化部件内的纤维取向和分布。它提供了重要的信息，因为分布会影响工件的机械和物理特性，例如它的强度、内应力或疲劳特性。强大的分析软件可以通过将每根纤维表示为张量来了解纤维分布的各向同性和均匀性。

此外，通过显示内部纤维偏差，可以方便地进行 CT 数据集和 CAD 标称文件之间的比较，以快速准确地将零件与 CAD 模型进行比较。

► 缺陷分析：裂缝、气孔、夹杂

工业 CT 扫描技术可以识别被扫描零件内部的裂缝、气孔或夹杂。使用后处理软件可以计算样品中气孔的体积分数及其空间分布，并用不同的颜色突出显示。

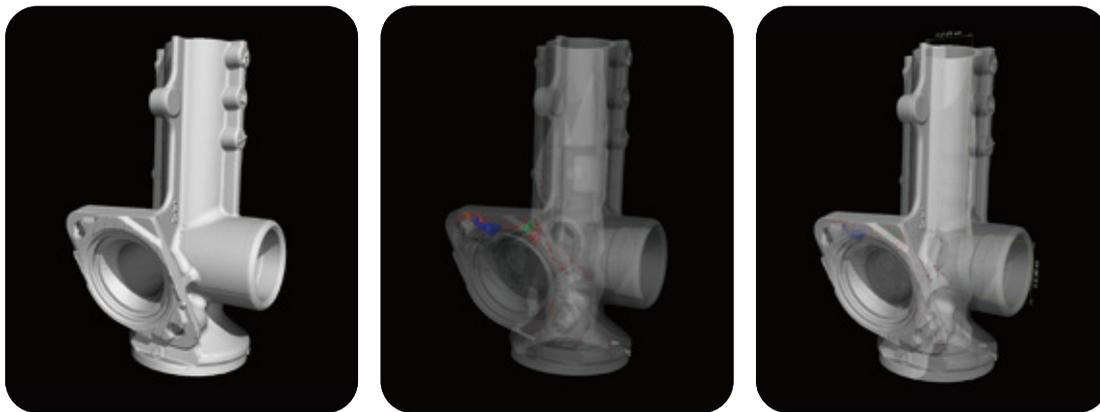
► RX Solutions CT 扫描软件：易于使用且自动化

RX Solutions 提供了一个名为“CT 向导”的软件插件：它通过自动调整所有 CT 工作设置，使 RX Solutions DeskTom 系统非常易于操作。此外，在生产环境环境中，自动化模式将通过自动设置所有 CT 扫描参数来显著缩短控制周期时间。

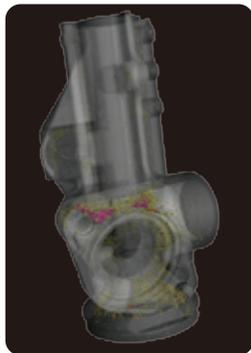
材料检验：铸造和焊接

计算机断层扫描，是能看到您样品内部的唯一无损检测技术！

铸造部件在整个生产过程中需要大量的控制和检查工作。计算机断层扫描（CT）是一种强大的无损检测技术，可以轻松地检查每个样品，是唯一能够查看物质内部的技术。



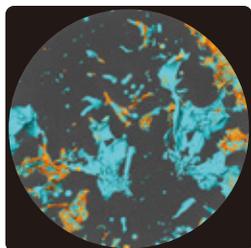
采用RX Solutions扫描的汽车部件显示了气孔分析和尺寸测量
颜色强调每种气孔的不同尺寸
体素尺寸：127 μm



计算机断层扫描：探索铸造部件

铸造部件品类多样，并且广泛用于各种工业领域，例如汽车或海军工业。它们具有复杂的材料行为，显示一系列失效模式。

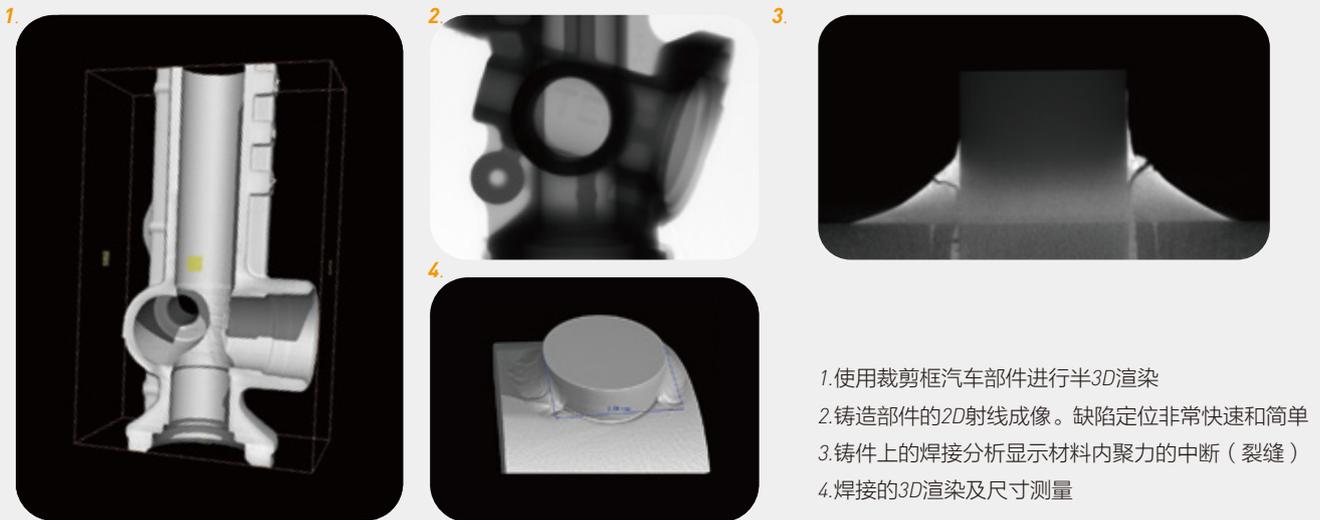
工业 CT 扫描技术是唯一能够以简单的方式表征铸造部件整体材料结构的检测技术。CT 扫描提供整个样品的精确测量，从整体结构级别到单个气孔级别。铸件的每个结构和尺寸方面可以通过一个 CT 数据集评估。



结构分析：铸造产品验证

工业 CT 扫描可以快速准确地检查零件的内部和外部结构。凭借高达 5 μm 的分辨率，RX Solutions CT 设备可以验证铸件的微小细节。可以定义和导出样品的精确 3D 模型，以测量简单或多材料零件的内部和外部几何形状。

在工业研究领域，纳米检测被广泛使用，以观察和表征铸造部件。了解微观结构的作用有助于防止可以通过金属间相扩展的裂缝。



可以使用 CT 执行许多不同类型的分析

CT 数据集包含样品的全部几何信息，可用于执行不同类型的分析：空洞分析、实际零件与 CAD 比较、零件与零件比较、壁厚分析或逆向工程。

► 结构分析：焊接分析、CAD 与 CT 比较

大量铸造部件包含大量焊缝，这些连接必须是完美的。很多时候，焊缝沿线未熔合（LOF）会导致材料内聚力的中断。焊缝必须承受高机械和热约束，LOF 会在部件使用过程中带来失效。CT，尤其是分层成像模式是轻松快速地检测多个焊缝的最好技术。

此外，通过显示内部纤维偏差，可以方便地进行 CT 数据集和 CAD 标称文件之间的比较，以快速准确地将零件与 CAD 模型进行比较。

► 缺陷分析：裂缝、气孔、夹杂

工业 CT 扫描技术可以识别扫描部分内部的裂缝、气孔或夹杂。使用后处理软件可以计算样品中气孔的体积分数及其空间分布，并用不同的颜色突出显示。

► X Solutions CT 扫描软件：易于使用且自动化

RX Solutions 提供了一个名为“CT 向导”的软件插件：通过自动调整所有 CT 工作设置，使 RX Solutions DeskTom 系统非常易于操作。此外，在生产环境环境中，自动化模式通过自动设置所有 CT 扫描参数，将大大缩短控制周期时间。

EasyTom S

3D X 射线微米计算机断层扫描系统

最佳性能

- ▶ 微焦点发生器：出色的CT分辨率2 μm
- ▶ 高速探测器：最快扫描6秒

灵活性高

- ▶ 检测体积大（直径 \times 高度）：185mm \times 390mm
- ▶ 易于集成：占地面积小，即插即用
- ▶ 专为多种应用而设计：提供不同的配置

效率最高

- ▶ 增强的机械性能：能够长期稳定工作的花岗岩轴
自动化扫描重建和检验工作流程
- ▶ 多种采集模式：常规、螺旋、移位、堆积.....
- ▶ 高可用性：低维护停机时间



系统规格

扫描功能

最高分辨率	2 μm (JIMA & QRM 图表)
最大扫描体积 (ØxH) *	185 mm x 390 mm
最大样品重量	5 kg

* 样品尺寸可超过最大扫描体积

机械规格

机柜尺寸 (高x宽x直径)	1865 mm x 1325 mm x 890 mm
系统总重量	1020 kg
垂直轴位移	300 mm
横轴位移	200 mm
缩放轴位移	466 mm
发生器与探测器的间距	590 mm

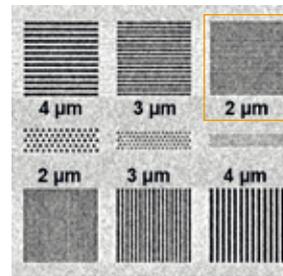
CT 规格

X 射线发生器

微焦点封闭管	选项 1	选项 2	选项 3
最大电压	110 kV	130 kV	150 kV
最大功率	16 W	39 W	75 W
最小焦点尺寸	2 μm	5 μm	5 μm

X 射线探测器

平板探测器 (可根据要求提供其他探测器)	有效区域	20 cm x 25 cm
	像素大小	127 μm
	像素矩阵	1920 x 1536
	帧率	1-60 fps



QRM微图表:
3D经验证的分辨率
2μm

RX SOLUTIONS 软件: X- ACT

射线成像

- 射线成像滤波片增强
- 视频序列采集
- 三维测量

CT 采集

- CT 采集模式: 常规、螺旋、堆叠、分层成像、连续或逐步旋转
- 人体工程学: 适用于非专业人员的向导模式, 单击采集到检测工作流程的自动化模式
- 射线成像滤波片增强、2D 视频序列采集、3D 测量
- 自动黑色和增益校准和样品重新定位

CT 重建

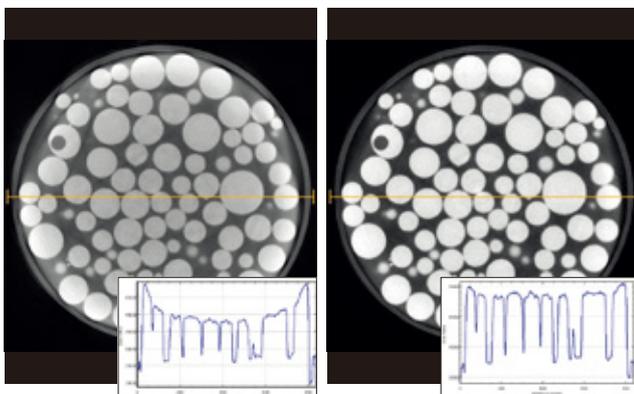
- 实时伪影校正: 焦点漂移、环状伪影、射束硬化、相对比度
- 使用测试切片轻松直观地对重建体积进行 3D 优化
- 对运行中的采集进行即时重建

工作站

系统集成的采集工作站

具有强大 GPU 的独立重建工作站

X-Act: RX Solutions 专有的 X 射线扫描及重建软件



校正前
射束硬化校正

校正后



不用滤波片
射线成像滤波片增强



用滤波片

EasyTom

高分辨率

3D 微米或纳米计算机断层扫描和数字射线成像系统

- ▶ 高分辨率 3D 微米计算机断层扫描
- ▶ 实时高分辨率 2D 数字射线成像
- ▶ 提供微米或纳米版以及双射线源组合版
- ▶ 体素分辨率低至 350 nm / 体素
- ▶ 检测体积大（直径 x 高度：320 mm x 420 mm）
- ▶ 可编程自动控制循环
- ▶ 可用于原位 CT
- ▶ 功能多样，适用于各种各样的应用和产品分析
- ▶ 铅 / 钢结构和 X 射线安全联锁装置，设计符合 X 射线安全标准 NF C74-100 及 17-DC-0591
- ▶ 开放式综合系统，具有可编程自动控制循环



技术规格

- 安全柜**
- ▶ 占地面积: 2100 mm x 1100 mm x 2000 mm (宽 X 长 X 高)
 - ▶ 铅 / 钢结构, X 射线安全联锁, 设计符合 X 射线安全规定
 - ▶ 在 X 射线照射时电动门自动锁定
 - ▶ 扫描体积大 (直径 x 高度): 320 mm x 420 mm

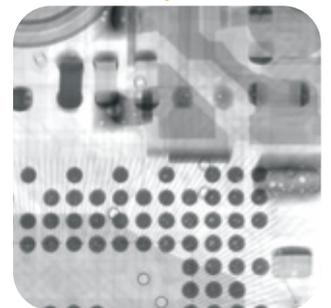
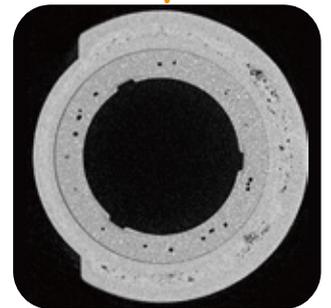
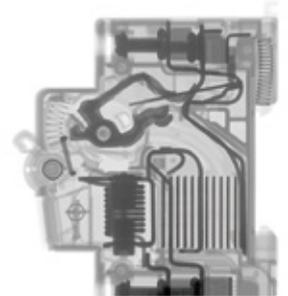
- 机械性能**
- ▶ 配备 5 轴系统, 包含高精度电动旋转和移动平移轴
 - ▶ 探测器可横向移动, 增大视场, 降低环状伪影
 - ▶ 空气轴承旋转台 (可选), 承受更大的样品重量

- X 射线发生器**
- 提供多种射线管可选, 可组合使用:
- ▶ 封闭或开放式微米级 X 射线管
 - ▶ 开放式纳米级 X 射线管 (160 kV)
 - ▶ 最高电压至 230 kV (有多种选择)
 - ▶ 分辨率低至 350nm/ 体素
 - ▶ 多种靶和灯丝可选

- 成像器**
- 提供多种选项和组合:
- ▶ 高分辨率平板探测器
 - ▶ 大面积平板探测器
 - ▶ CCD 传感器

- 计算机**
- ▶ 提供多种强大的 GPU 配置
 - ▶ PC, 高分辨率显示屏, Windows 10 系统

- 软件**
- RX Solutions X-Act 软件:
- ▶ 配置独立插件, 可驱动射线源、探测器、位移轴
 - ▶ 其他插件可用于: 尺寸测量、视频序列采集、图像滤波和处理、图像导出
- ▶ CT 采集:
- 高级插件 (可选)
- (360° 旋转、螺旋、连续旋转、分层成像
- ▶ 学习 / 宏模式用于自动化工作流程
 - ▶ CT 重建: GPU 实现, 包括多种滤波片
- 后处理软件 (VG): 3D 可视化、计量、CAD 比对、缺陷分析 (可选)



EasyTom XL

高分辨率

3D 微米或纳米计算机断层扫描和数字射线成像系统

- ▶ 高分辨率 3D 微米计算机断层扫描
- ▶ 实时高分辨率 2D 数字射线成像
- ▶ 提供微米版或纳米版以及双射线源组合版
- ▶ 体素分辨率低至 350 nm / 体素
- ▶ 功能多样，适用于各种各样的应用和产品分析
- ▶ 检测体积大（直径 x 高度：320 mm x 720 mm）
- ▶ 可用于原位 CT
- ▶ 可编程自动控制循环
- ▶ 铅 / 钢结构和 X 射线安全联锁装置，设计符合 X 射线安全标准 NF C74-100 及 17-DC-0591
- ▶ 开放式综合系统，具有可编程自动控制循环



技术规格

- 安全柜**
- ▶ 占地面积: 2750 mm x 1850 mm x 2400 mm (宽 X 长 X 高)
 - ▶ 铅 / 钢结构, X 射线安全联锁, 设计符合 X 射线安全规定
 - ▶ 在 X 射线照射时电动门自动锁定
 - ▶ 扫描体积大 (直径 x 高度): 320 mm x 720 mm

- 机械性能**
- ▶ 配备 5 轴系统, 包含高精度电动旋转和平移轴
 - ▶ 成像器横向和垂直移动 (可选), 增大视场, 降低环状伪影
 - ▶ 空气轴承旋转台 (可选), 承受更大的样品重量

- X 射线发生器**
- 提供多种选项和组合:
- ▶ 封闭或开放式微米级 X 射线管 (130 kV, 150kV)
 - ▶ 开放式纳米级 X 射线管 (160 kV)
 - ▶ 最高电压至 230 kV (有多种选择)
 - ▶ 分辨率低至 350nm / 体素
 - ▶ 可提供各种靶和灯丝类型

- 成像器**
- 提供多种选项和组合:
- ▶ 高分辨率平板探测器
 - ▶ 大面积平板探测器
 - ▶ CCD 传感器

- 计算机**
- ▶ 提供各种强大的 GPU 配置
 - ▶ PC, 高分辨率显示屏, Windows 10 系统

- 软件**
- RX Solutions X-Act 软件:
- ▶ 配置独立插件, 可驱动射线源、探测器、位移轴的独立插件
 - ▶ 其他插件可用于: 尺寸测量、视频序列采集、图像滤波和处理、图像导出
 - ▶ CT 采集:
 - 高级插件 (可选)
 - (360°旋转、螺旋、连续旋转、分层成像
 - ▶ 学习 / 宏模式用于自动化工作流程
 - ▶ CT 重建: GPU 实现, 包括多种滤波片
 - 后处理软件 (VG): 3D 可视化、计量、CAD 比较、缺陷分析 (可选)

