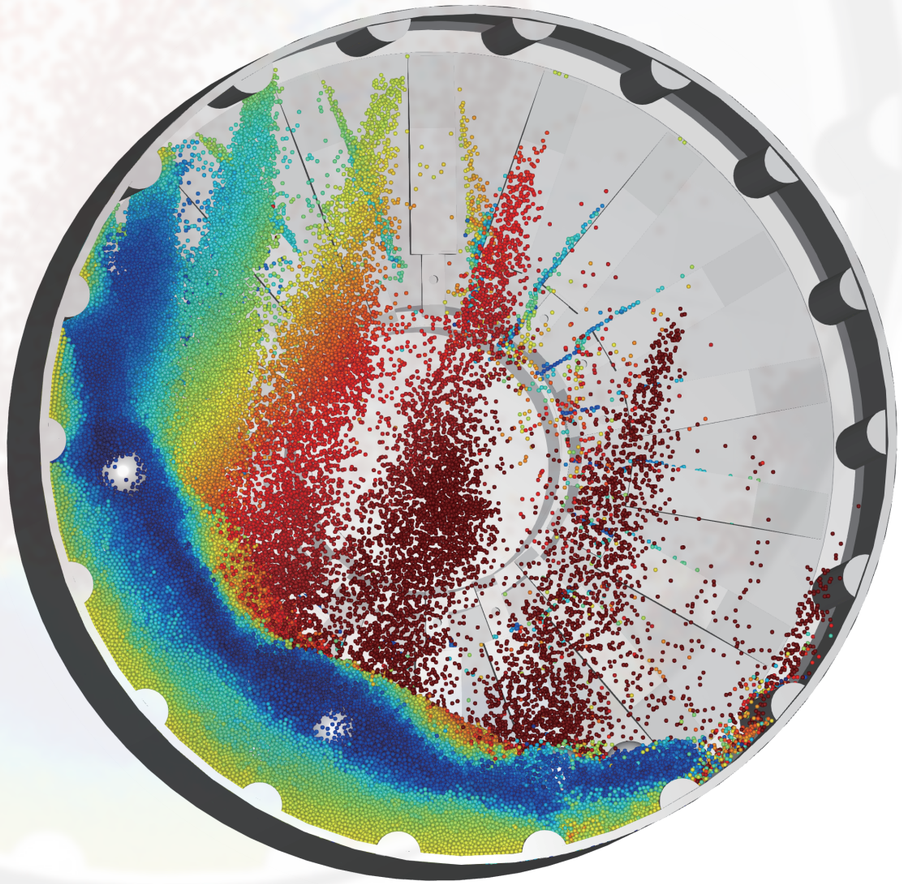
TenFong 十沣

TF-DEM
通用颗粒系统仿真分析软件

产品宣传册



深 圳 十 沣 科 技 有 限 公 司

地　址：深圳市南山区学苑大道1001号南山智园
D1栋23、24楼
电　话：0755-86961672 (深圳总部)
邮　箱：info@tenfong.cn
网　站：www.tenfong.cn
售　后：400-996-8696
公众号：

Copyright© 十沣科技 版权所有

奉献工业AI的盛宴

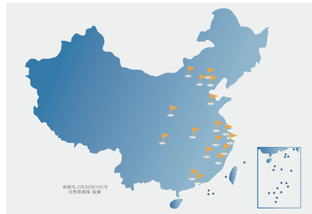
FEAST

公司概况

深圳十沣科技有限公司（以下简称“十沣”）成立于2020年，围绕“CAE+AI+数字孪生”技术路线，专注于自主可控多物理场CAE求解器、AI+CAE融合技术及工业AI平台的研发与产业化，构建面向制造业的物理AI引擎和工业AI应用平台。十沣是国家级专精特新“小巨人”企业，也是国内少数同时具备高端工业软件关键核心技术攻关能力与工业AI融合创新能力的企业之一。

面向国家战略性新兴产业和先进制造业智能化升级需求，十沣坚持以客户需求和产业应用为导向，持续打造覆盖研发设计、仿真分析、工艺优化、生产制造和运行运维等环节的工业智能化解决方案。目前，公司产品和服务已广泛应用于航空航天、汽车交通、船舶与海洋工程、电子电器、装备制造、能源动力等9大行业，累计服务500余家企业用户，形成从底层仿真求解器、工业数据与模型，到物理AI和智能化应用解决方案的完整技术体系和规模化产业交付能力。

面向未来，十沣将以“自主CAE规模化国产替代+工业AI新业务快速放量”为双轮驱动，持续推动自主CAE、物理AI、工业大模型与工业智能体深度融合，加快从自主工业软件领先企业向具有全球竞争力的工业AI平台型企业跃迁。



270+ 计算机软件著作权	45+ 已获授权专利	500+ 企业客户	25+ 行业链主企业战略合作
20+ 区域产业化基地	25+ 产学研合作	30+ 国家级、省级攻关项目	70%+ 硕博人员占比

奉献工业AI的盛宴

Accurate 精准
物理约束保障预测可信

Easy to use 便捷
智能交互降低使用门槛

Specialized 专业
深度融合行业工程知识

FEAST

Fast 高效
AI加速仿真与设计迭代

Total Solution 全面
贯通工业全流程应用

自主软件体系

工业AI应用

数字智能化平台

- **TF-AIDEA** 人工智能仿真平台
- **TF-Pandroid** 仿真数据管理系统
- **TF-AIMDO** 多学科优化
- **TF-ClouDESIGN** 工程仿真云平台

行业智能化应用

- **TF-Thermal** 热仿真
- **TF-Turbo** 叶轮机械仿真
- **TF-SimFARM** 风资源仿真
- **TF-SimCITY** 低空风场
- **AIDEA-Aero** 汽车气动智能体
- **TF-ShipL** 船舶吊装工艺仿真

TenFong 十沣

物理AI引擎

流体仿真引擎

- **TF-QFLUX** 通用流体力学
- **TF-Lattice** LBM流体力学
- **TF-CFlow** 空气动力学
- **TF-SPH** 光滑粒子动力学

固体仿真引擎

- **TF-Struct** 通用结构力学
- **TF-Dyna** 显式动力学
- **TF-DCAMS** 机械系统动力学

多物理仿真引擎

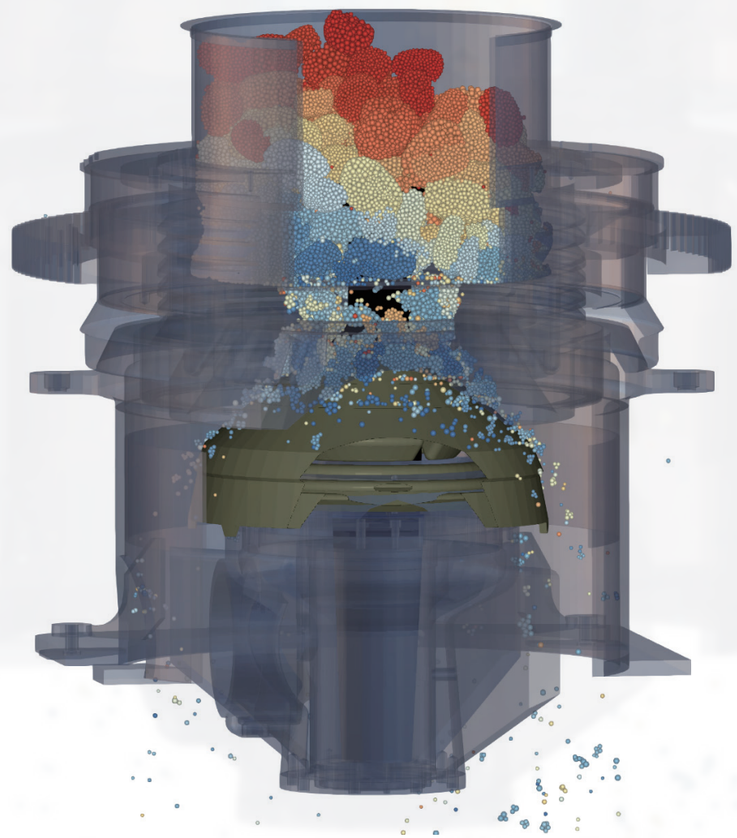
- **TF-eMag** 电磁仿真
- **TF-Acoustics** 声学仿真
- **TF-DEM** 通用颗粒系统
- **ZF-Grid** 通用前处理

产品简介

TF-DEM 通用颗粒系统仿真分析软件

TF-DEM软件是一款基于离散单元法的通用颗粒系统仿真分析软件。TF-DEM采用GPU并行加速，具备模型创建、前处理、求解器和后处理一体化的仿真流程，具备完善的交互操作环境与可视化功能，面向以散体物料为主要处理对象的自然和工业过程，如矿冶、制药、化工、能源和先进制造等工程领域的颗粒和颗粒-流体多相系统。

TF-DEM支持多分散颗粒性质（材料、形状、尺寸）、内置高密度颗粒生成算法和丰富的壁面运动边界条件，能够提供颗粒尺度的详细信息，包括颗粒间相互作用力、堆积结构、接触力链、颗粒材料与机械结构间相互作用力等传统实验难以获取的数据。TF-DEM具备丰富的数值模型和结果后处理能力，可模拟球形、非球形颗粒，预测设备磨损、颗粒-流体相互作用，是助力实现工业过程智能化的有效工具。



TF-DEM 功能清单

TF-DEM软件配备了简单高效的前后处理器，支持导入几何模型并快速完成工况配置，界面操作简单便捷，用户可以快速掌握和使用软件。

模型创建
- 复杂模型导入
- 简单几何创建
- 网格细分
- 几何变换等

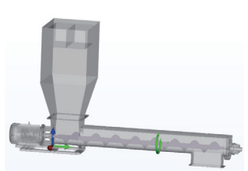
颗粒形状
- 颗粒形状库
- 非球形颗粒形状拟合
- 颗粒物性、尺寸、形状分布

后处理
- 分域统计
- 平均化处理
- 可视化
- 绘制力链
- 绘制图表
- 点拾取
- 剖面视图等

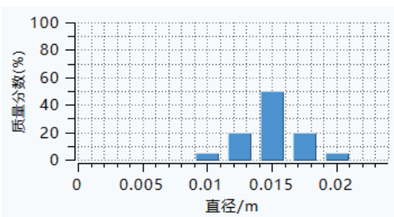
核心求解器
- 完全GPU并行
- 多种物理模型
- 多重网格搜索
- 分域计算
- 移动计算域
- 重启动
- 多体耦合
- 流体耦合

入料及边界条件
- 高密度颗粒生成
- 多种壁面运动
- 复杂壁面处理技术

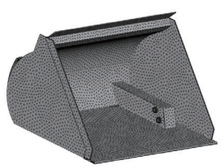
计算监控
- 入料监控
- 边界监控
- 面监控
- 域监控



支持显示运动矢量



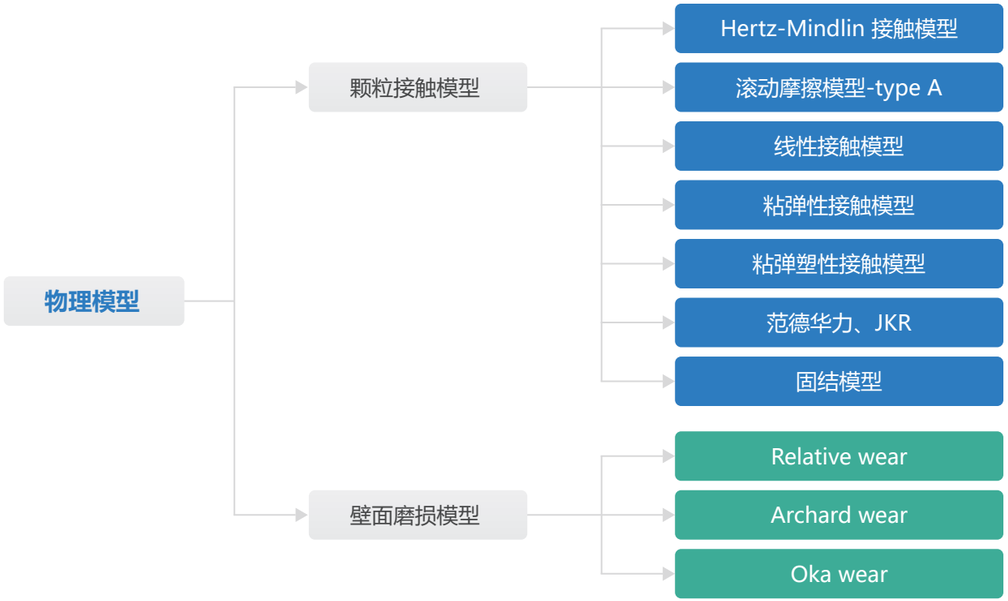
指定颗粒尺寸分布

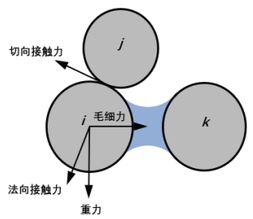


网格细分效果图

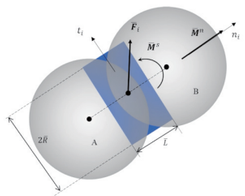
丰富的物理模型

TF-DEM软件涵盖丰富的物理模型，比如颗粒系统中广泛使用的Hertz-Mindlin接触模型、滚动摩擦模型、粘结模型、磨损模型等，用户可针对不同的应用场景，对物理模型进行合理的选择和组合，解决实际工程应用问题。

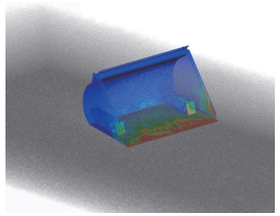




颗粒接触示意图



固结模型

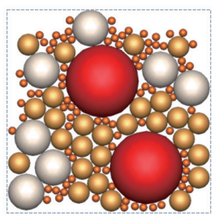


磨损模型

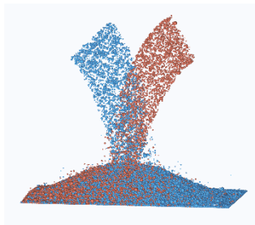
功能亮点

完善颗粒生成功能

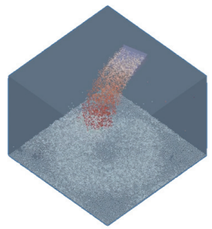
TF-DEM软件内置高密度颗粒生成算法，支持多分散颗粒物性，可指定颗粒物性分布、尺寸分布、形状分布。软件支持连续给料，可设置颗粒的给料时间、区域、质量流率、数量流率、速度等，支持多入口给料，倾斜给料，单入口多种材料给料，定时给料、移动入料等。



高密度颗粒生成



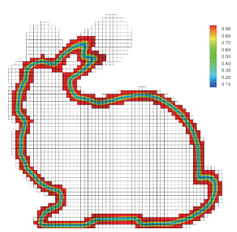
多入口/倾斜入口

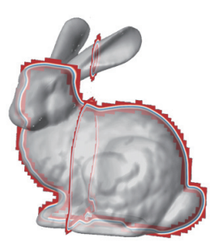


移动动入料口

复杂壁面算法

传统DEM通常采用颗粒-面元接触碰撞算法，判断接触时需要区分点、线、面等不同接触种类，且网格划分需要较大内存开销，在CUDA中计算效率低。TF-DEM开发了基于Level-Set的壁面解析算法，可显著降低GPU显存消耗，有效提升计算效率和规模。

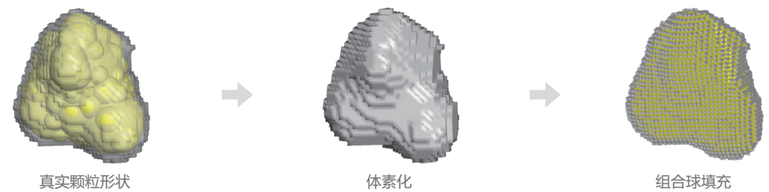




Level-Set网格细分示意图

非球形颗粒建模

TF-DEM支持业界广泛采用的组合球方法进行非球形颗粒建模。该方法基于单元球进行碰撞探测与接触求解，适用性广。为支持非球形颗粒快速建模，TF-DEM开发了非球形颗粒形状拟合工具，可基于导入的颗粒几何，采用一定数量的球元进行几何填充，基于填充率，控制拟合精度。



非球形颗粒拟合算法

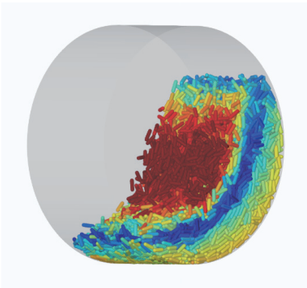
非球形颗粒计算算例

同时，TF-DEM开发了无重叠球元填充算法，适配颗粒固结模型，基于导入的颗粒几何模型，无重叠填入一定数量的球元，球元间引入虚拟的梁单元以仿真颗粒固结和破碎行为。

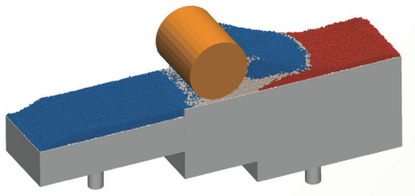
组合颗粒填充示意图

丰富的边界条件

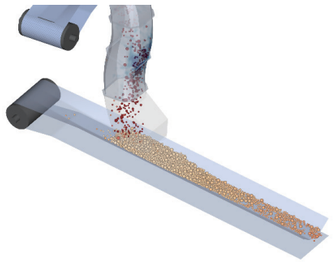
TF-DEM允许设置简单解析边界和导入复杂壁面网格文件，支持多种文件格式，包括stl、step、stp、igs、iges、obj和msh格式等。支持平移、旋转、多轴旋转、随体平移/旋转运动。支持指定平移方向、平移速度、旋转轴、旋转角速度、旋转点、设置循环运动，通过多个运动叠加可实现单刚体复杂运动。



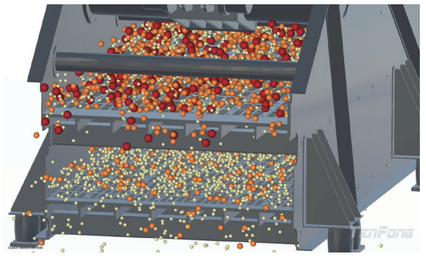
旋转运动



复合运动



输运边界



振动边界

计算加速

TF-DEM完全基于GPU并行，同时开发了多种算法，进一步提高计算效率，包括：

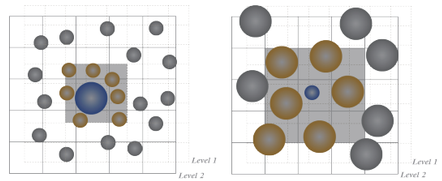
1）适配GPU架构的多重网格搜索算法，以加速具有宽泛粒径分布颗粒系统的邻域粒子搜索过程；

2）粒子属性的内存排序，优化GPU内存合并访问效率；

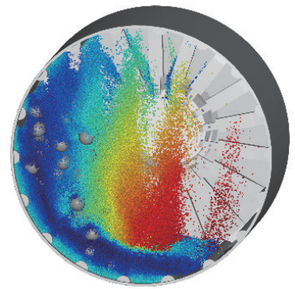
3）溢出粒子动态删除算法；

4）多计算域，通过分域计算减少无效计算区域，提高计算效率；

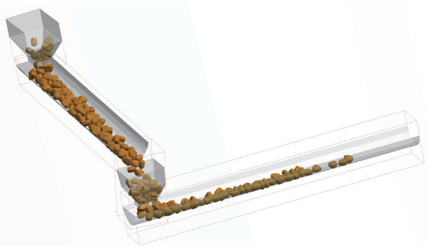
5）移动计算域，计算域可设置随体运动，减少计算区域，提高计算效率。



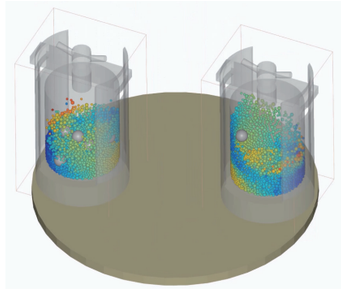
多重网格邻域粒子搜索



球磨机



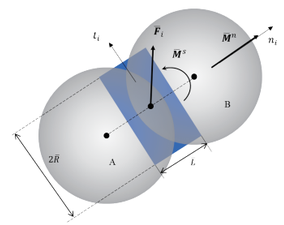
多计算域



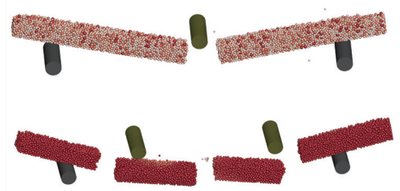
移动计算域

固结模型

固结模型将颗粒间的固结作用视为一组虚拟弹簧，可抵抗颗粒间的弯曲、扭转、拉伸作用，在给定强度准则下实现固结键的断裂。采用固结模型可仿真块体颗粒破碎、预测粉末压块的强度和破碎失效行为。同时，TF-DEM内置了无重叠球元颗粒填充算法，可对非球形颗粒进行快速建模，简化可破碎颗粒的建模流程。



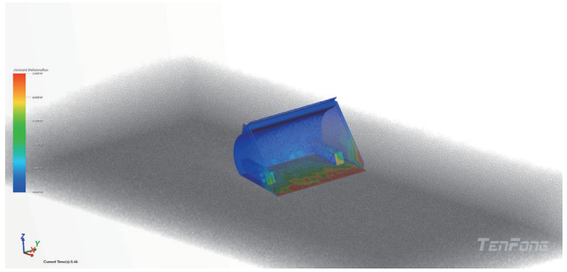
平行粘结示意图



梁弯曲

磨损模型

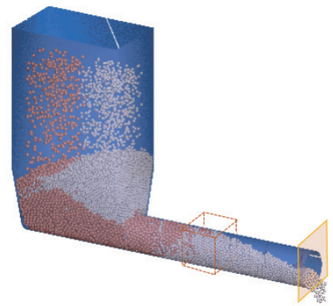
TF-DEM针对颗粒对壁面磨损场景，内置了多种磨损预测模型，包括Relative Wear、Archard Wear和Oka Wear等；磨损模型通过量化和统计颗粒对边界的作用力，可定性和定量地评估壁面的磨损情况。



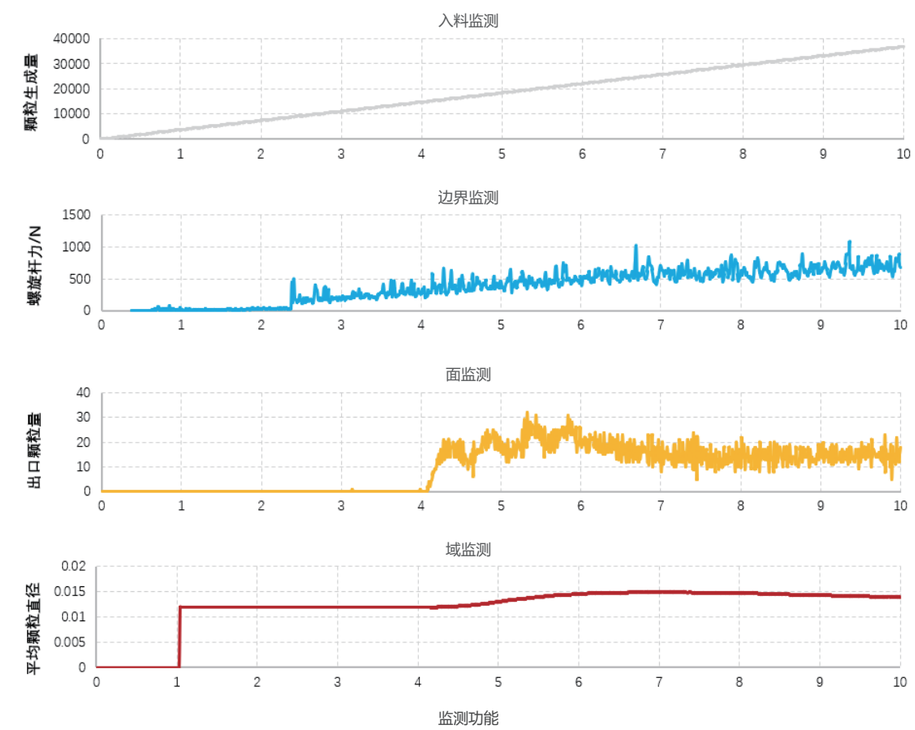
铲斗磨损

监控功能

TF-DEM具备丰富的计算监控功能，可监控物料入料情况、边界受力变化、面流量波动、域局部体积平均物理量，协助用户全面分析仿真过程中的关键参数和变化趋势，及时发现问题并进行调整和优化，为研究和工程应用提供可靠的数据支持。

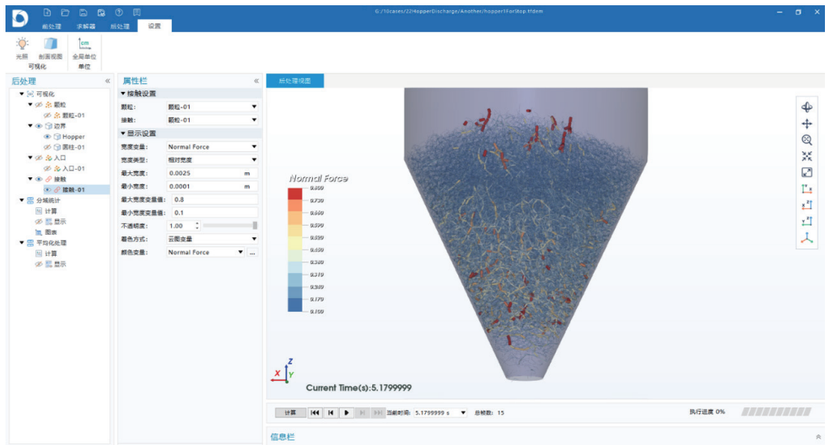


螺旋输送机

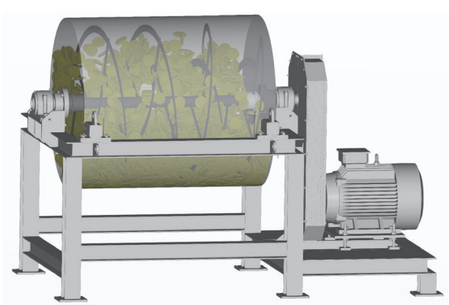


丰富后处理功能

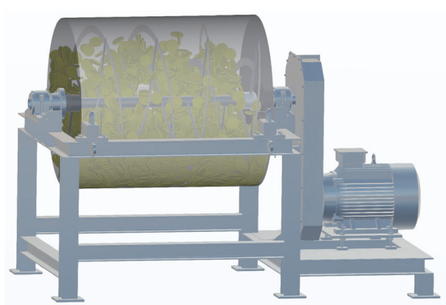
TF-DEM具有丰富的后处理功能，软件支持颗粒和边界的可视化，支持绘制不同的变量云图；支持力链显示，可以调整力链的颜色和粗细；支持phong光照模型和基于物理的渲染(Physically Based Rendering, PBR)功能，可以对边界和颗粒进行材质渲染，包括不锈钢、塑料等；支持点标识标记点坐标、计算两点距离；支持绘制图表、导出不同像素的图片和动画；支持数据导出和颗粒网格导出；支持剖面视图等功能。



力链绘制



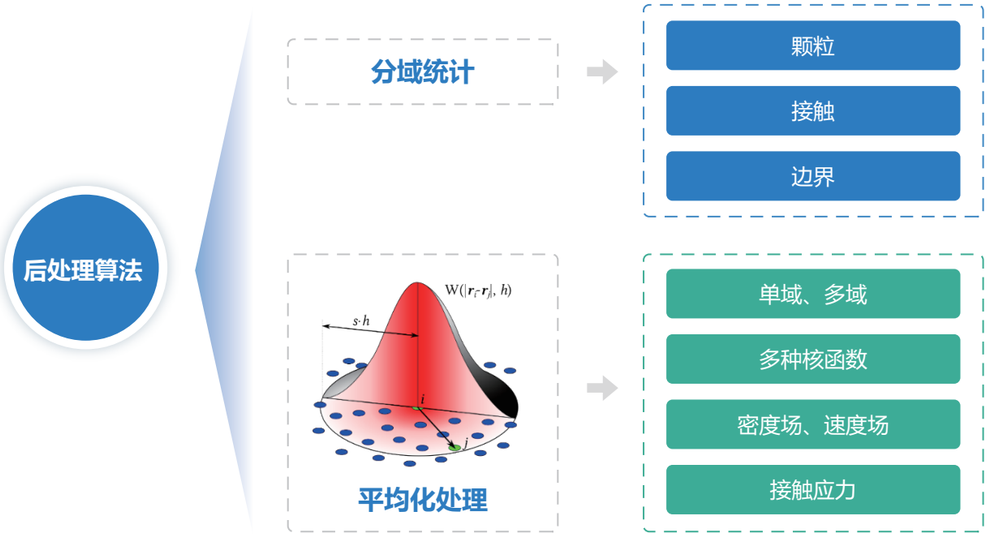
phone渲染效果图

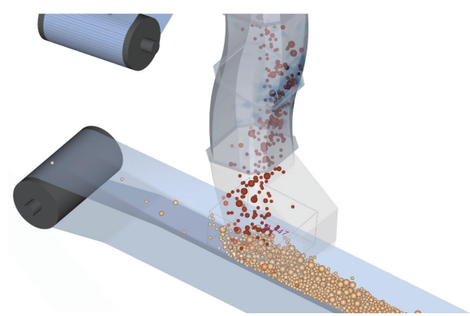


基于物理的渲染效果图

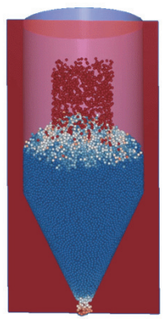
丰富后处理功能

分域统计和平均化处理是TF-DEM后处理的特色功能。通过分域统计可对数据进行二次处理，提取区域内变量值，如速度、质量、压力、能量等，并在视图框中进行显示。软件的平均化处理可对计算域整体或局部进行平均化计算，获得密度场和速度场等信息，并可在视图中获得不同位置的切片云图。

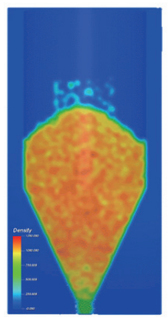




统计区域速度



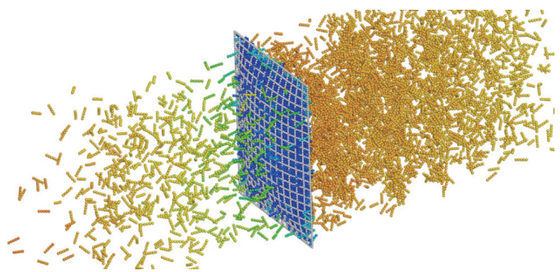
料斗卸料过程



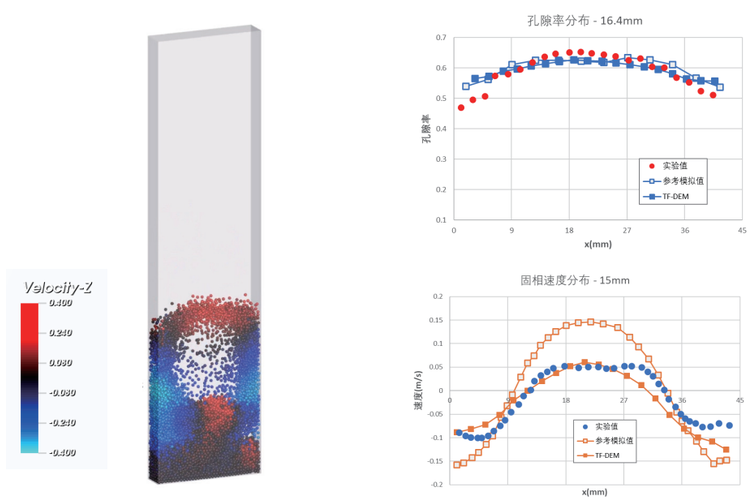
密度云图

多物理场耦合

颗粒-流体系统广泛存在工业和自然过程中，如矿冶、化工、能源和先进制造等领域。耦合计算流体动力学（CFD）和离散单元法（DEM）是实现颗粒-流体系统高保真数值仿真的一种关键技术手段。在CFD-DEM耦合方法中，CFD主要用于模拟流体的流动，而DEM则用于描述颗粒运动及颗粒间的相互作用。相比基于欧拉模型的连续介质方法，CFD-DEM耦合方法可以显式地描述流体-颗粒间的相互作用，无需全局性假设，为用户提供颗粒尺度的详细信息。



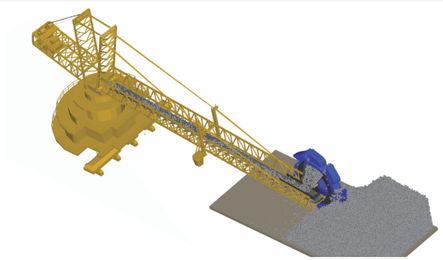
柔性Fiber拦截过程



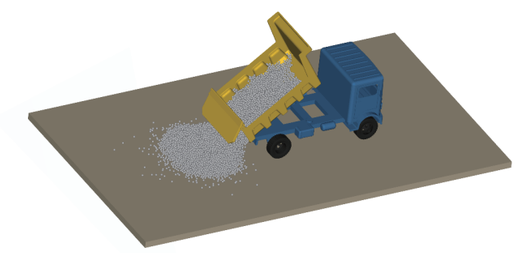
小尺度流化床

多物理场耦合

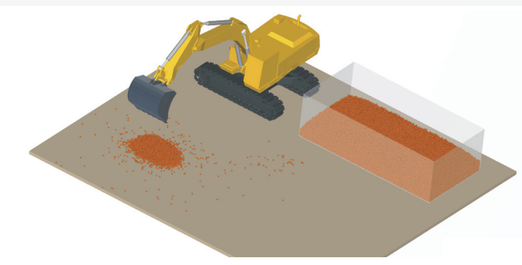
耦合离散单元法和多体动力学方法可同时描述散体物料的微观行为和复杂机械系统的宏观运动，能够更准确地预测颗粒与机械系统的相互作用，在矿冶、农机、建筑等领域中具有广泛的应用场景。DEM-MBD联合仿真可预测设备阻塞、泄露、磨损、能耗，从而优化机械结构和控制系统，进而提高设备的总体性能。TF-DEM可与多体软件耦合，实现颗粒系统与复杂机械系统的联合仿真。



堆取料机



卡车卸料

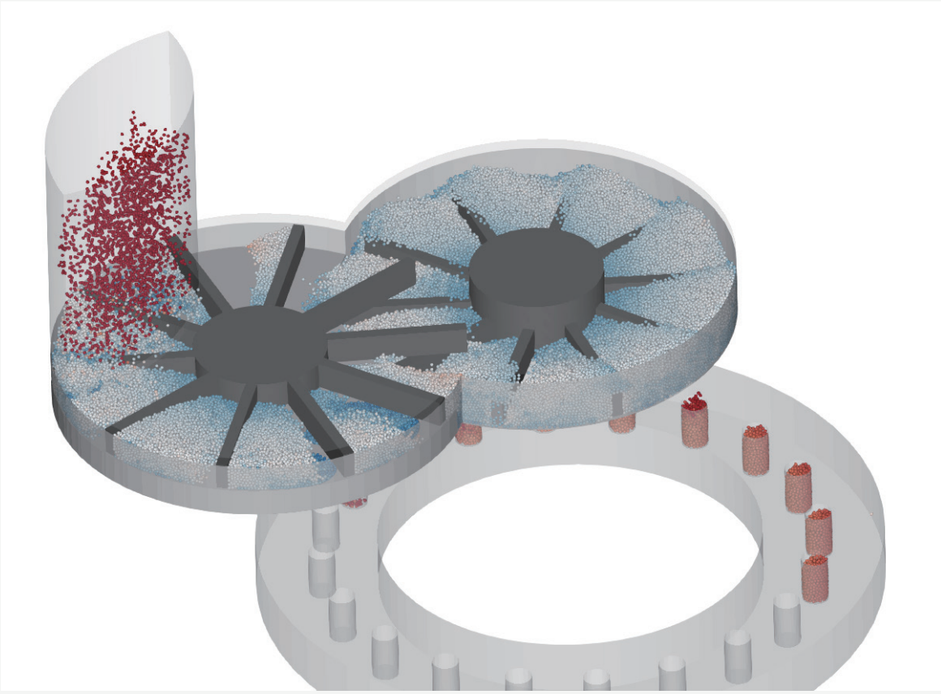


挖掘机

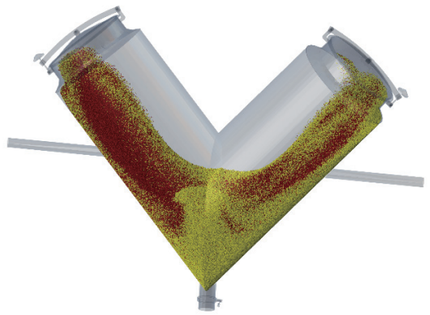
行业应用

制药工程

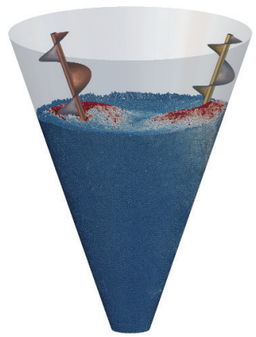
制药行业中药粉具有尺寸小、粘性作用强等特点，仿真中需考虑颗粒间的粘性作用。TF-DEM可以提供实验难以测量的数据，有助于强化工艺认识，减轻实验负担，减少经济投入，建立工艺、几何特征与材料性质的相关性模型，从而改善工艺参数、优化原料配方、减小成分偏析。



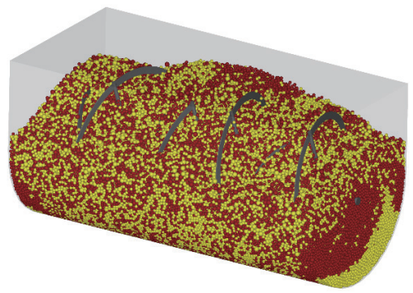
通过TF-DEM仿真计算，可对制药过程的混合过程如双螺杆锥形混合机、V型混合机等进行深入分析，例如，评估不同颗粒在混合过程中的分布，分析混合后的均匀性，帮助优化混合工艺。模拟混合过程中颗粒的运动轨迹，确定达到均匀混合所需的时间，有助于提高生产效率。研究颗粒在混合机中的流动特性，如堆积和流动性，识别潜在的堵塞或不均匀混合问题。通过模拟不同设计参数，如螺杆形状、转速、几何形状等，优化混合设备的设计，以提升混合效率和效果。



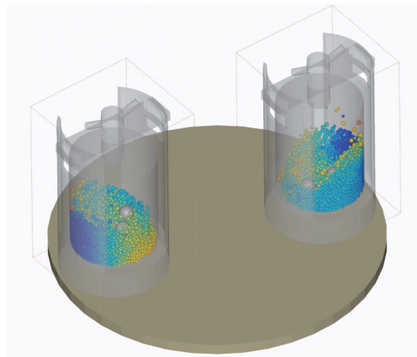
V型混合机



双螺杆混合机



Ribbon混合机



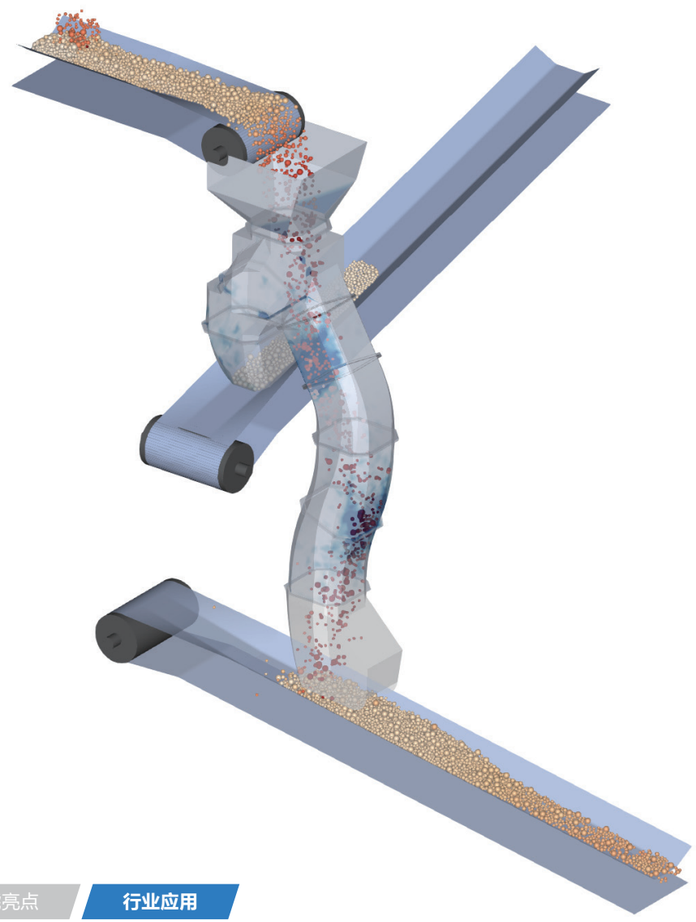
行星球磨机

行业应用

矿冶领域

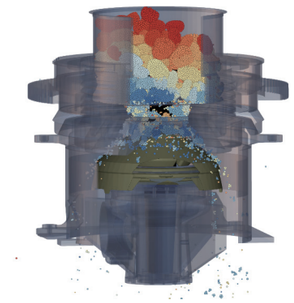
传统矿冶和化工行业流程多且复杂，设备尺寸大，实验样机制造成本高，用户关注设备顺行、使用寿命、能耗比等。TF-DEM内置了多种物理模型，如磨损模型、固结模型，可对输运、破碎、筛分、分选分级等多种过程进行仿真，有利于加深单元操作过程的机理认识，优化工艺、指导设备的制造和选型。

TF-DEM支持多分散物料属性、颗粒尺寸分布和形状分布，设置不同的边界条件，实现多种单元操作的仿真计算。以皮带运输为例，可对非球形颗粒进行建模，获取皮带与物料间的相互作用力，通过磨损模型预测皮带的磨损程度，得到皮带支撑辊的受力情况，优化皮带运行，预测皮带寿命。



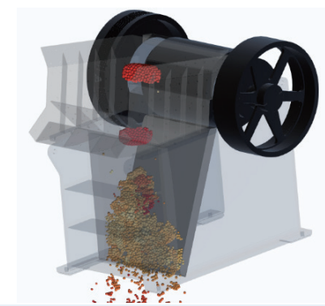
圆锥破碎机

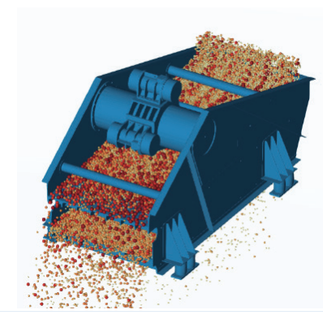
- 圆锥破碎机主要用于中碎和细碎作业，TF-DEM可模拟圆锥破碎腔内的圆锥体和壁面之间的挤压破碎作用，将原材料进行破碎和粉碎。



颚式破碎机

- 颚式破碎机主要用于粗碎和中碎作业，TF-DEM可模拟活动颚板对固定颚板作周期性的往复运动，分析物料的破碎和颚板的磨损。



振动筛分机

- 振动筛分机是用于颗粒或粉末物料分级的设备，通过振动产生的筛面运动使不同粒径的物料分开。TF-DEM可模拟颗粒在筛面上的运动轨迹、速度和加速度，分析不同粒径颗粒的通过率，评估筛网设计和振动参数对筛分效率的影响。