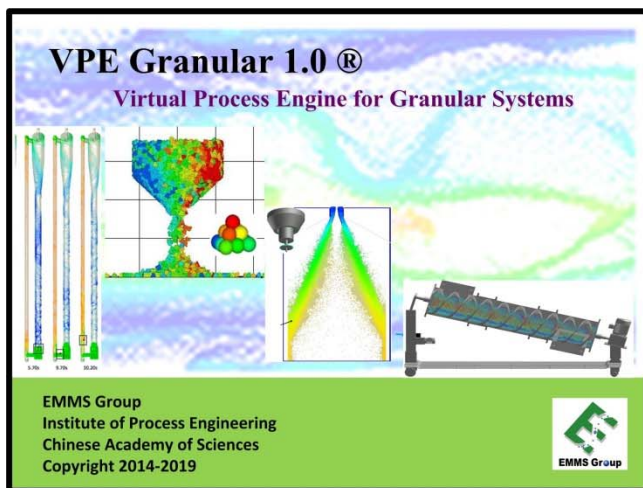


虚拟过程之散料模拟器

VPE Granular 1.0



随着工业4.0的逐步实施，建立实际过程的数字双胞胎正成为过程工业绿色化与智能化转型升级的重要手段。散料是过程工业中仅次于水的第二大物料，但目前的商用和开源软件很难实现相关过程的大规模、准实时交互模拟，即虚拟过程。这已成为构建数字双胞胎的一个技术瓶颈。基于中国科学院过程工程研究所在离散模拟的模型、算法和工业应用等方面的长期积累推出的本软件，为突破该瓶颈提供了新的可能。



应用领域

化工、冶金、采矿、能源、动力、医药、航空航天等领域中涉及的散料体系

功能特点

通用：支持非规则刚性和柔性颗粒建模，粘附性颗粒，流固耦合

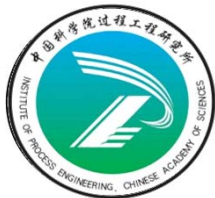
实用：支持多粒径分布、粗粒化处理、传热传质与定制化反应模型的耦合

规模：能有效模拟工业规模装置与万亿量级颗粒系统（采用粗粒化模型）

精确：采用适应于不同颗粒体系的多种模型，并支持模型定制

高效：支持大规模多级异构并行、便捷的用户定制并行计算、GPU加速

便捷：支持云计算、远程计算、多终端可视化与在线交互



虚拟过程工程之散料模拟器

VPE Granular 1.0



应用实例

(工业应用因保密与知识产权原因暂不展示)



单颗粒

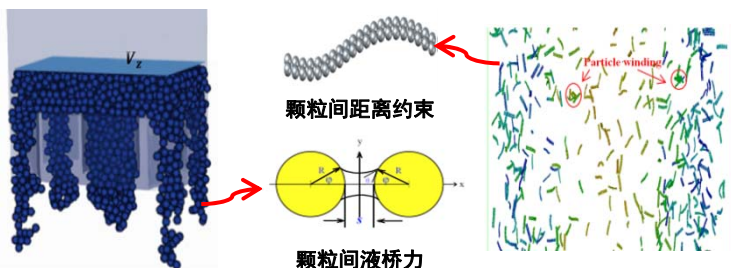
边壁颗粒数: 61,363
移动颗粒数: 120,331
Cundall数: 7.5e6

非规则形状颗粒: 金字塔形颗粒在L型管中的落料过程

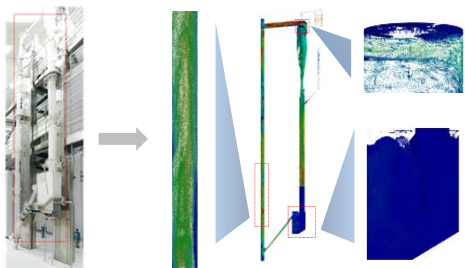
边界由几何边界和颗粒边界耦合构成, 内部螺旋部件由颗粒构成, 上面有两个进口, 右下角有出料口, 进料口和出料口的边壁由颗粒构成, 其他边界由几何描述边壁建模, 颗粒数 $>10^7$ 。

颗粒间复杂作用: 柔性与粘性颗粒

通过在球形颗粒间建立距离约束的方法, 实现可变形柔性颗粒的流态化模拟。引入动态液桥力 (Viscous force) 和静态液桥力 (Capillary force), 模拟浸湿颗粒的流动、黏连等行为特征。



实验



模拟

复杂边界颗粒-流体系统: 循环流化床全回路离散模拟

采用EMMS-DPM模型, 实现实验室尺度循环流化床全回路的模拟。体系中含有 1.27×10^8 个颗粒团, 代表约 1.27×10^{11} 个真实颗粒。应用270个CPU核计算气相, 135块K80 GPU卡计算颗粒, 当颗粒与流体的计算时间步长分别为 5.0×10^{-7} s与 1.0×10^{-5} s时, 每天可以计算1.2秒的物理过程。

部分相关论文

Ji Xu, Xingchi Liu, et al. 2019. *J. of Adv. Manufact. and Proc.* 1(1-2):1-17
Wei Ge, Li Guo, et al. 2019. *Comput. & Chem. Eng.* 126:68-82
Fuhai Yu, Shuai Zhang, et al. 2018. *Powder Technol.* 336:415-425
戚华彪, 徐骥, 宋文立, 葛蔚. 2018. *化工学报* 69(1):371-380
Xinxin Ren, Guangzheng Zhou, et al. 2016. *Particuology* 29: 95-102
徐骥, 卢利强, 葛蔚, 李静海. 2016. *化工学报* 67:14-16.
Fuhai Yu, Guangzheng Zhou, et al. 2015. *Powder Technol.* 286:276-287
Huabiao Qi, Ji Xu, et al. 2015. *Particuology* 22:119-127

计算机软件著作权

DEM粒子模拟GPU软件V1.0, 登记号: 2011SRBJ4930
DEM粒子模拟GPU软件V2.0, 登记号: 2013SRBJ0125
DEM粒子模拟GPU软件V3.0, 登记号: 2014SRBJ0786
基于浸入边界方法的流固耦合模拟软件V1.0, 登记号: 2014SRBJ0787
DEM粒子模拟GPU软件V4.0, 登记号: 2018SRBJ0477
基于云计算的虚拟流化床服务端系统 V1.0, 登记号: 2018SRBJ1040
虚拟流化床移动端系统 V1.0, 登记号: 2018SRBJ1042

服务模式

购买: 30 CPU核或GPU卡 2.68万; 每增加30进程加1万元; 1年内免费升级, 赠送1次在京培训; 如使用本软件发表论文, 可酌情优惠

租用: 2.0元/(CPU核+GPU卡)/小时, 最低1万元起租

合作: 与用户共同开发基于本软件的教学培训、工程设计与优化方面的虚拟过程应用, 具体合作方式协商确定

联系: 徐骥 中国科学院过程工程研究所
地址: 北京市海淀区中关村北二街1号

电话: 010-8254 4940
邮箱: xuji@ipe.ac.cn

