

固体废弃物处置回转窑的高温结渣行为

胡万鹏, 罗义英¹, 周佳伟²

1. 化学工程研究所, 建筑工程学院, 嘉兴学院, 浙江, 嘉兴

2. 嘉兴市固体废弃物处置中心, 浙江, 嘉兴

简介: 采用回转窑处理工业废弃物已有多年历史。工业废弃物里含有的有机物在高温下挥发、气化、裂解和燃烧, 最后残留下含有硅、钙、铁等无机物, 无机物构成了高温的具有一定粘度的炉渣。从工业现场采集炉渣样品, 获取了炉渣的微观结构。计算机模拟的过程揭示炉渣结构形成的过程。



图 1. 工业回转窑及其炉渣

计算方法: 几何模型采用非对称结构, 选用层流水平集, 两相流物理场接口。数学模型如下:

1) 在粘性流体中气泡运动的动量和质量守恒原理遵守 Navier-Stokes 方程, 源项附加力项代表炉渣的表面张力:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \right) - \nabla \cdot (\mu (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)) + \nabla p = F_{st}$$

2) 考虑了不可压缩的情况:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

3) 用水平集方法表示流动中两个不可压缩流体界面的行为, 界面运动遵循对流方程:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = \gamma \nabla \cdot \left[\varepsilon \nabla \phi - \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right]$$

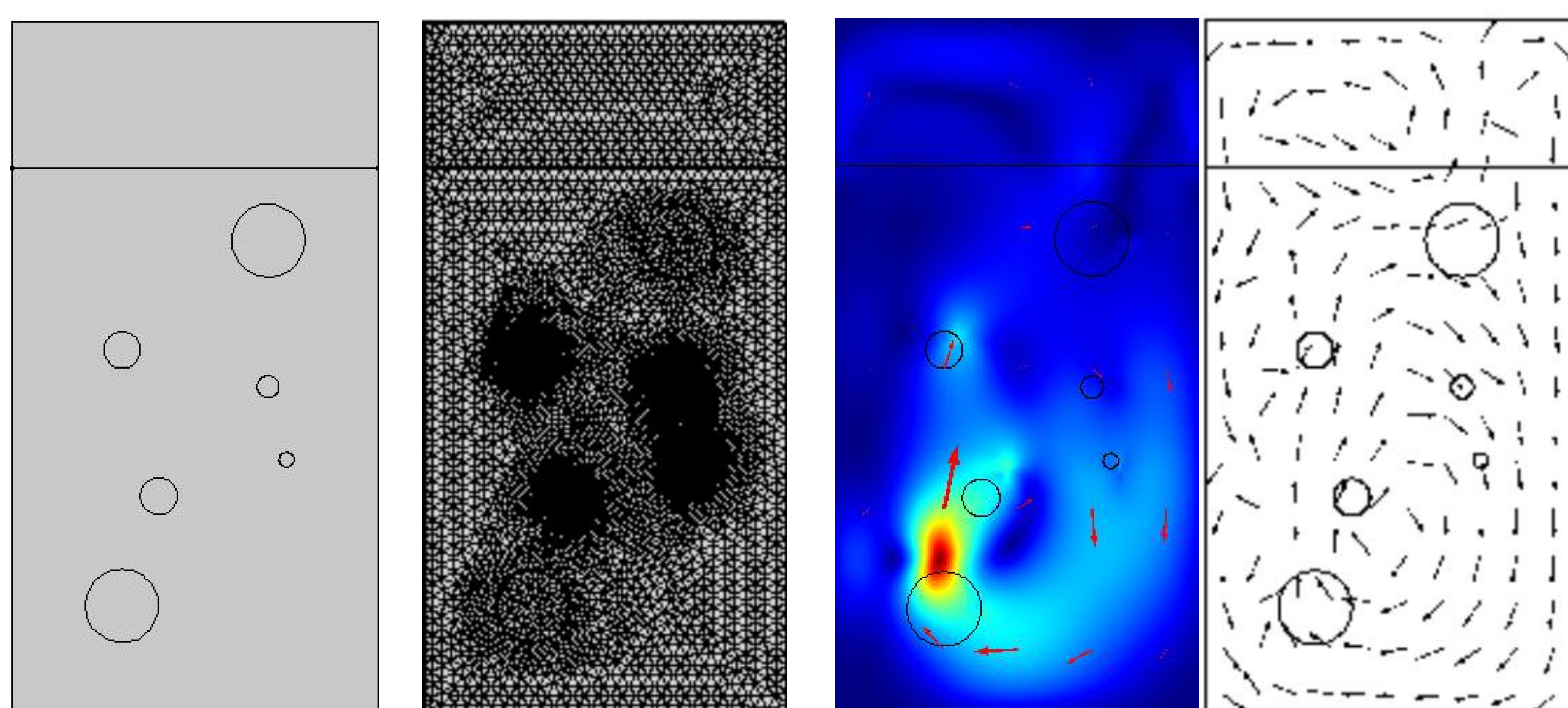


图 2 几何模型 网格剖分 炉渣流场

物性参数:

物质	炉渣	气体
动力粘度(Pa*s)	200-400	2e-5
密度(kg/m ³)	2000	1.3

结果: 展示仿真研究的结果。可以用图片或表格的形式对结果进行呈现。

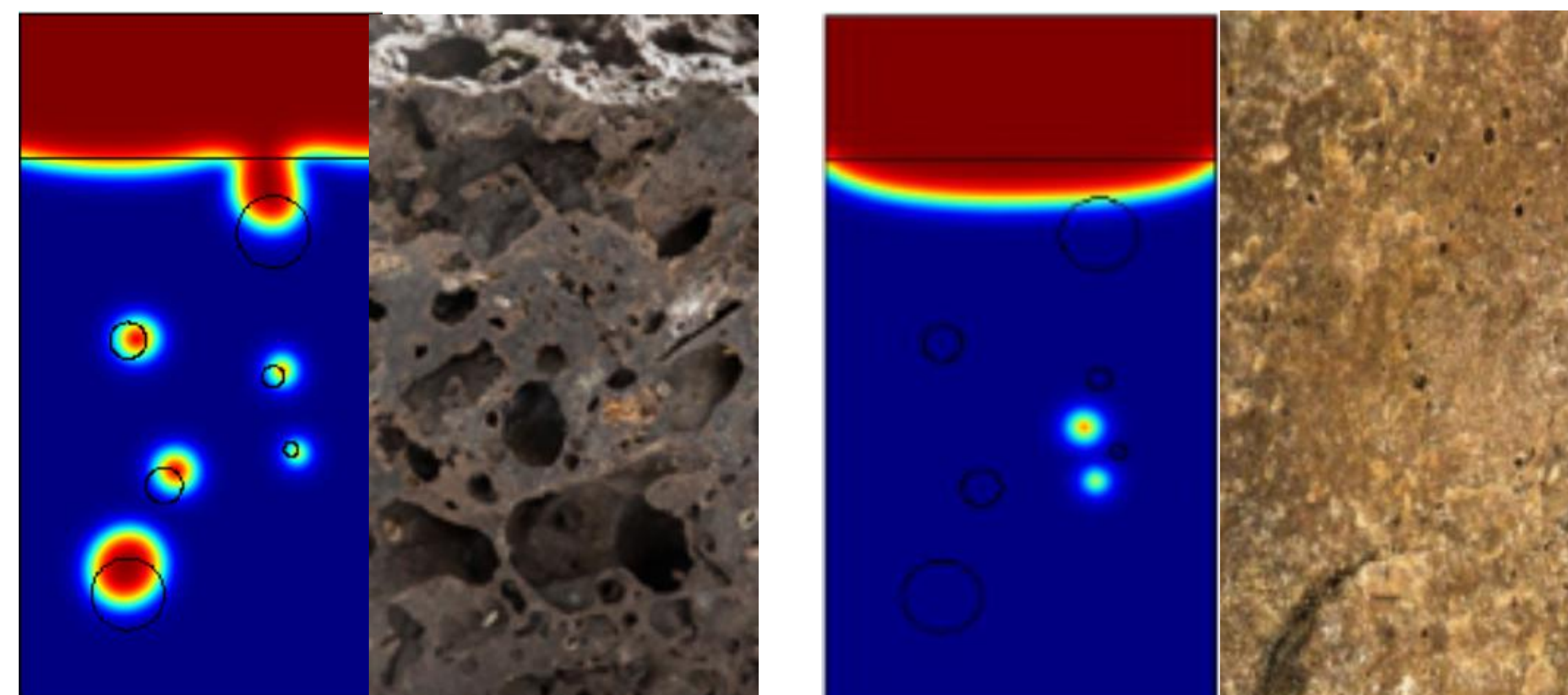


图 3. 高温炉渣中气泡的流动

图 4. 致密气孔的形成

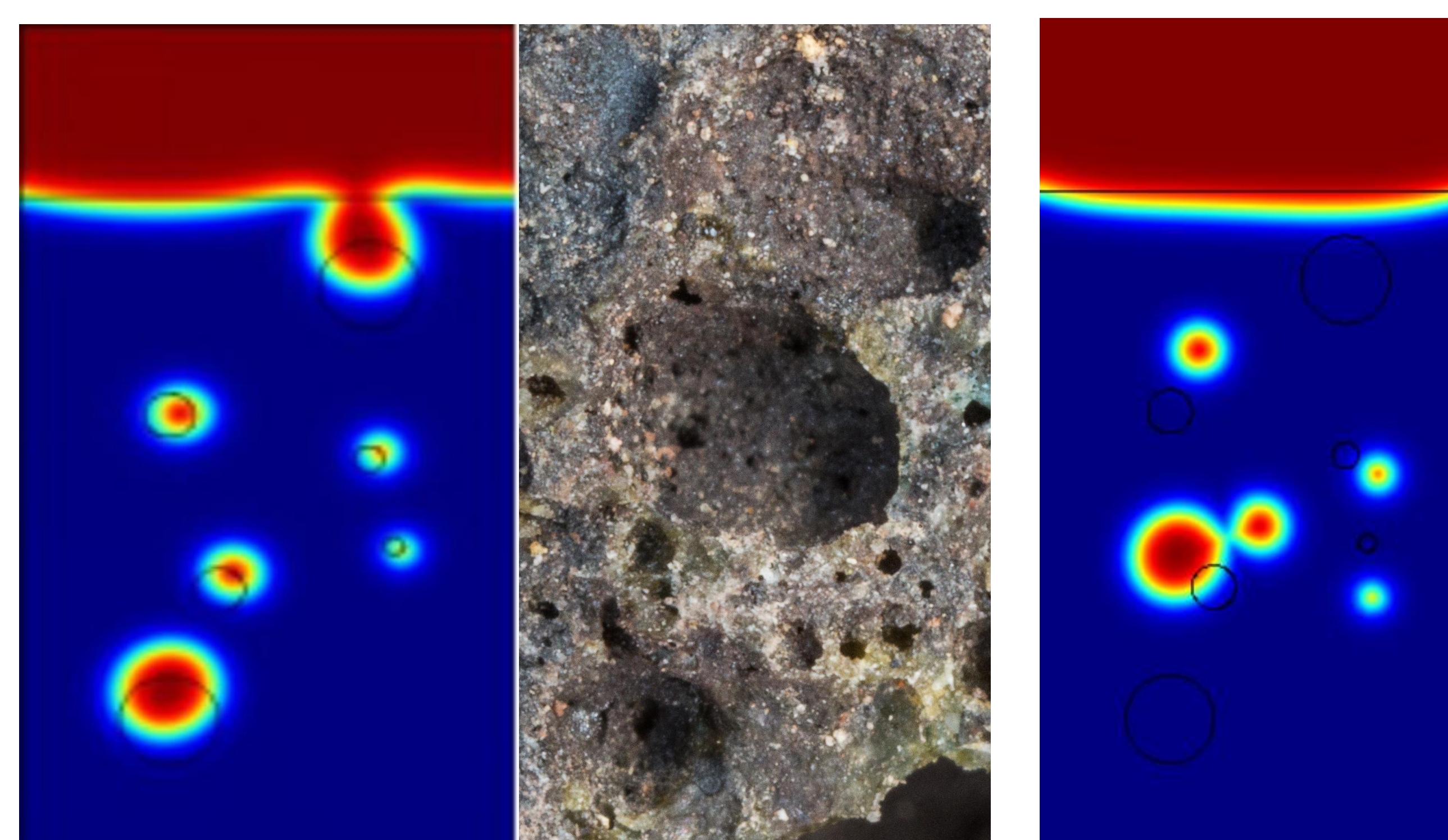


图 4. 气泡炸裂造成炉渣表面隆起

图 5. 气泡并聚

结论: 采用 COMSOL Multiphysics 流体力学模块和传递模块, 二维非对称结构能够有效模拟高温炉渣的流动过程, 解释了炉渣的形貌的形成过程。结果显示, 气泡炸裂的瞬间造成炉渣液面的不规则波动。直径大的气泡上升, 小气泡会被高温高粘的炉渣流体裹挟向下移动, 二者形成方向不同的流场。气泡在流动过程中, 受周围高粘流体的剪切力的影响, 呈现不规则的非正圆形状。此外, 两个气泡在流动的过程中可能会发生并聚。大量的气泡向上流动, 炸裂, 释放出气体, 少量的微小气泡向下流动, 最终形成了炉渣的致密结构。

参考文献:

1. Robert H.Perry. Perry's Chemical Engineers' Handbook[M]. McGraw-Hill Education; 8 edition, 2007
2. 彭 霖等. SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO 四元矿渣棉体系的表面张力测定与模型预报[J]. 北京科技大学学报, 2014,36(10):1335-1340

致谢: 本项目受嘉兴市科技计划项目 (2016AY23111) 资助