基于 COMSOL 的岩浆侵入压力输运与相场断裂模拟

韩双飞[1]

[1] 中国地质大学，武汉，湖北，中国

摘要

为研究层状地壳中岩浆侵入的压力输运、裂纹扩展及形态演化机制，建立二维平面应变下的岩浆侵入多物理场模型。模型以底部岩浆质量注入为驱动，在 COMSOL Multiphysics 中耦合 Darcy 定律、固体力学与相场断裂：Darcy 场描述岩浆压力和通量在围岩—损伤通道中的传递；固体力学计算重力、围压及孔隙压力作用下的应力响应；AT2 相场结合 Rankine 拉伸准则刻画裂纹起裂与扩展，并通过“活动头部—成熟尾部”状态区分前缘破裂与后方输运，避免预设岩墙、岩床或固定传播路径。模型注入后源区形成局部高压，压力沿损伤通道向前缘传递；Darcy 通量指向相场前缘，活动头部与破裂载荷集中于通道顶部，相场增量首先出现在初始损伤区两侧和上缘。结果表明，模型呈现“尾部输运—头部破裂”的空间分工：成熟通道传压，活动前缘将局部超压转化为围岩破裂驱动力。当前侵入处于压力积累与早期扩展阶段，后续形态由压力供给、断裂阻力和地层力学差异共同控制。

COMSOL 多物理场模型

Darcy 压力输运

底部质量注入形成压力响应。
围岩与损伤通道的渗透性差异
控制岩浆压力和通量的传递。

固体力学响应

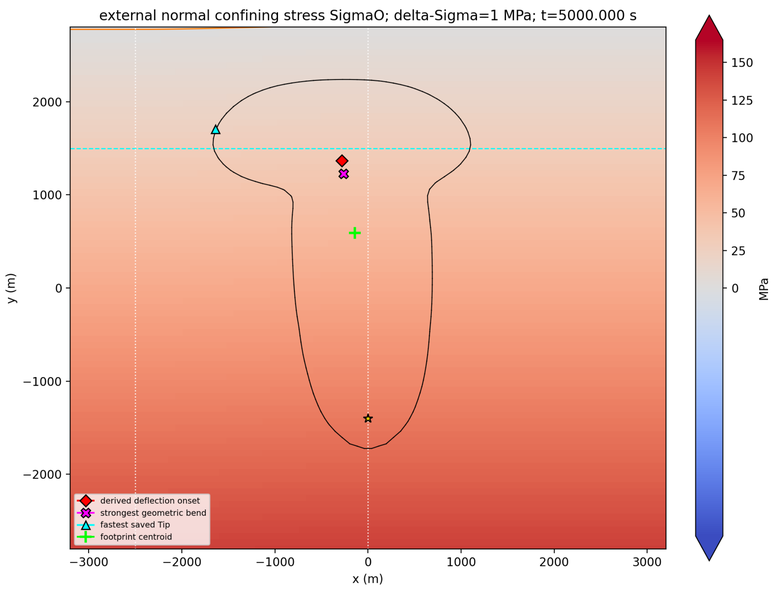
二维平面应变描述围岩变形。
重力、围压及局部压力作用
共同改变围岩应力状态。

相场断裂演化

AT2 相场结合 Rankine 准则。
活动头部承担前缘破裂，
成熟尾部承担后方压力输运。

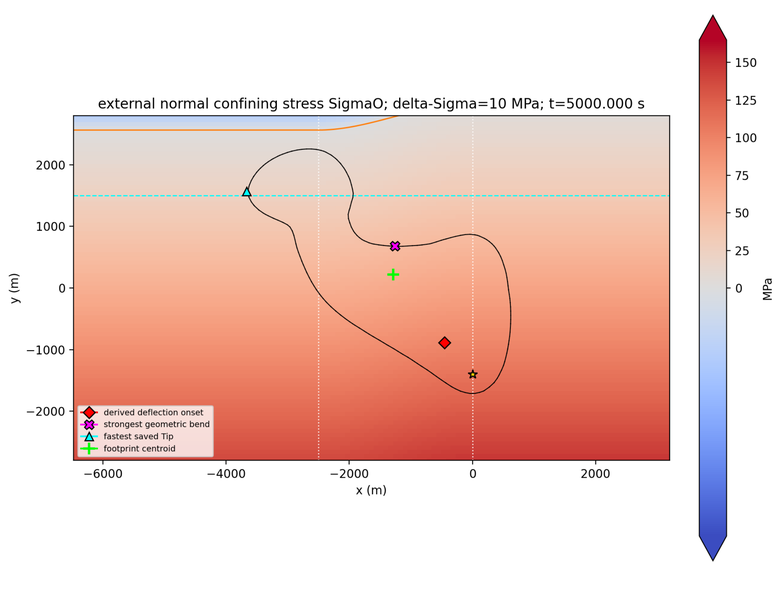
围压差与侵入轮廓对比

ΔΣ = 1 MPa / t = 5000 s



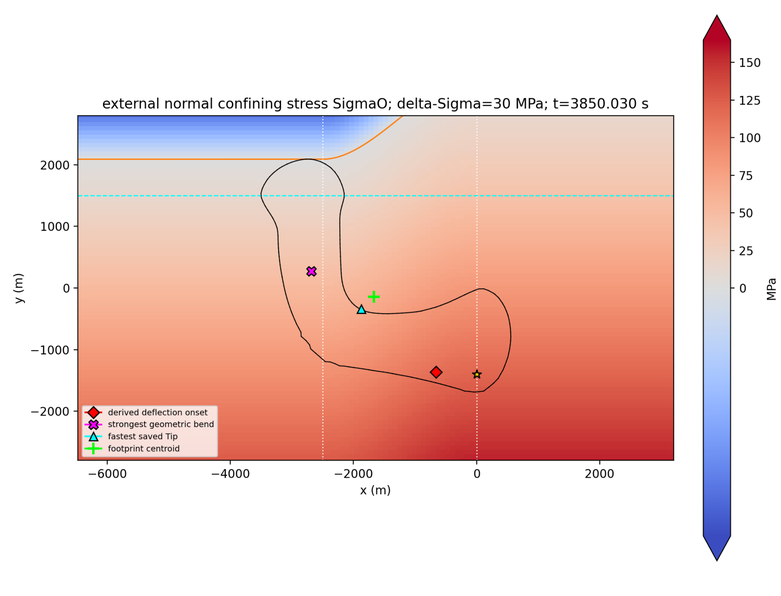
轮廓接近竖直，顶部明显展宽。

ΔΣ = 10 MPa / t = 5000 s



轮廓向左偏移，连接区出现弯曲。

ΔΣ = 30 MPa / t = 3850.03 s



轮廓呈明显非对称，左侧向上延伸。

现象与认识

压力输运与前缘破裂

模型区分成熟通道与活动前缘，
局部可用压力连接流动与破裂过程。

围压背景与几何偏转

所示轮廓由近竖直转为明显非对称。
同一时刻的 10 MPa 图显示更强侧向偏移。

红菱形：几何偏转起点诊断　紫叉：最大几何弯曲诊断　青三角：已保存前缘速度标记　绿十字：轮廓质心