



用耗散粒子动力学模拟化学驱过程中润湿反转现象

李小波* , 刘日武, 盛宏至

中国科学院力学研究所工程科学部, 北京市北四环西路 15 号力学所, 100190

摘 要:大幅度提高石油采收率对于稳定我国东部油田产量具有十分重要的现实意义。依靠地层能量开采的一次采油和以注水为主的二次采油技术所能达到的最终采收率一般不超过 40%, 这意味着水驱后仍有一半以上石油储量未能采出。为了提高原油的最终采收率, 我国石油工业界发展了以化学驱和热力采油为主要代表的三次采油技术。化学驱采油方法在我国油田实践中取得了较好的效果, 但也出现了大量需要解决的理论和工程问题, 这些问题的解决对化学驱方法在油田的进一步推广和应用有着重要意义。

化学驱采油过程中, 通过注入包含聚合物或者表面活性剂等成分的流体体系来提高注入流体的波及系数和洗油效率, 从而达到提高最终采收率的目的。化学驱过程中流体在岩石孔隙中流动十分复杂, 集中反映了复杂流体流动的一个基本特征——从微观分子尺度到连续性尺度上不同物理机制的耦合和关联。例如渗流过程中, 表面活性剂在微观分子间作用力的作用下有两个趋势: 趋向于液液界面和液固界面聚集或者在液体相中聚集成胶束。这一变化改变了流体的界面张力、岩石表面的润湿性等, 进而影响的流体的流动。反之, 流动也影响表面活性剂在流体中的分布或者在岩石表面的吸附。如何把不同尺度下发生的物理现象联系起来是流体力学学科的前沿问题。在连续性尺度上要描述化学驱渗流过程, 需要提出合适的理论模型把诸如乳化、润湿反转等物化现象与流体力学基本方程组联系起来。这条途径存在若干难以回避的不足: 一方面流体的物化现象、本构方程、界面跟踪都难以实现, 另外在渗流过程中, 由于孔隙介质空间有限, 对于分子量上千万的聚合物溶液而言, 连续性假设不成立。在分子尺度上, 理论上可以通过分子动力学的方法来描述真实流体微观粒子的运动。但该方法计算的尺度有限, 在现有的计算条件下用于物理化学渗流问题的研究还不实际。通过一个介于分子尺度和连续性尺度之间的中间尺度(介观尺度)把微观和宏观现象联系起来是一条现实的途径。

耗散粒子动力学(DPD)是新近发展起来的一种粗粒化的粒子动力学方法。采用该方法研究物理化学渗流问题, 可以自然处理吸附、流动和界面变化等问题。连续性尺度上物理化学过程和流动过程复杂的耦合关系在介观层次以简单而自然的方式加以处理。

乳化和润湿反转现象是化学驱过程中两个重要的物理化学现象, 文中采用耗散粒子动力学模拟了这两个现象。通过合理定义粒子间相互作用参数, 模拟了岩石表面润湿性由水湿转油湿和由油湿转水湿两种现象。通过附加长程作用力, 模拟了润湿滞后现象以及油珠在流动剪切作用下从不同润湿性壁上脱离的情况。研究结果表明: 水流作用下, 水湿性表面吸附的油珠倾向于以液珠形式脱离进入流体中运动, 而油湿性表面吸附的油珠倾向于以液膜流动形式运动, 润湿反转的表面存在类似的情况。同时 DPD 方法为研究物理化学渗流问题提供了一条合适的途径, 可被用于研究化学驱强化采油中的机理问题。

关键词: 润湿反转; 耗散粒子动力学; 提高采收率; 化学驱; 介观力学

作者简介: 李小波, 博士生, 渗流力学, Tel: +86-134887661422

刘日武(通讯作者), 男, 博士, 副研, 渗流力学, Tel: +86-13801096537, E-mail: lywu@imech.ac.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 2005CB221304)