

纳米多孔介质中考虑角流效应的近混相相对渗透率模型

张敏, 张园

中国地质大学(北京) 能源学院

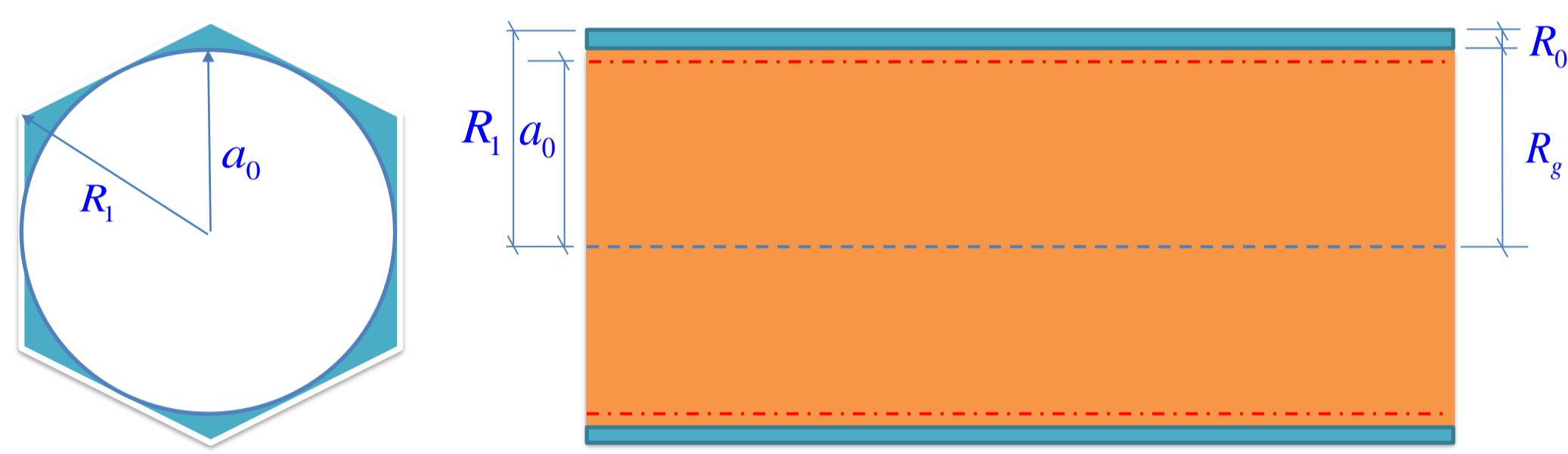
E-mail: zhangmin_0627@163.com

摘要

致密储层低孔、低渗, 微纳米孔喉发育, 孔隙中流体流动规律的准确描述对于揭示流动机理以及产量预测具有重要意义。然而, 现有的相对渗透率模型大多忽略了微纳米孔隙限域效应的影响。因此, 本章提出一种考虑角流效应的近混相相对渗透率模型, 揭示多相流体在微纳米孔隙中的渗流特征。

理论模型

角流模型



考虑边界滑移的流速:

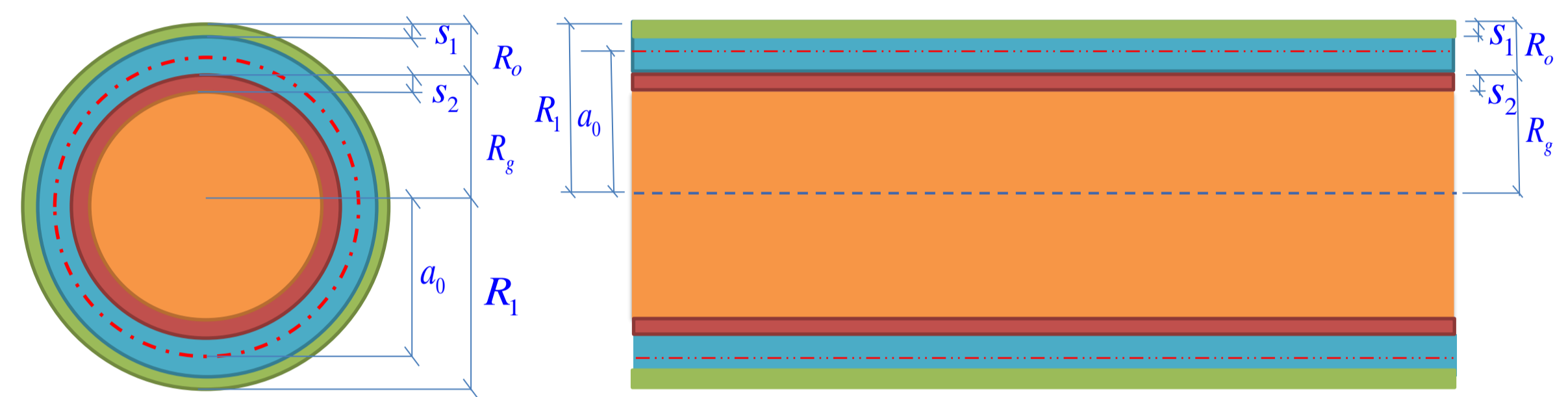
$$v_{slip} = \frac{D_s}{W_A} \Delta p$$

气、液相的流速:

$$v_o = u = \frac{a^2 \Delta p}{\beta \mu_o L} + C_1$$

$$v_g = \frac{R_1^2 - r^2}{4\mu_g} \frac{\Delta p}{L} + C_2$$

管流模型



吸附油相和油相流速:

$$v_{oa} = \frac{R_1^2 - r^2}{4u_{oa}} \frac{\Delta p}{L} + C_1' \quad (R_1 - s_1 < r \leq R_1),$$

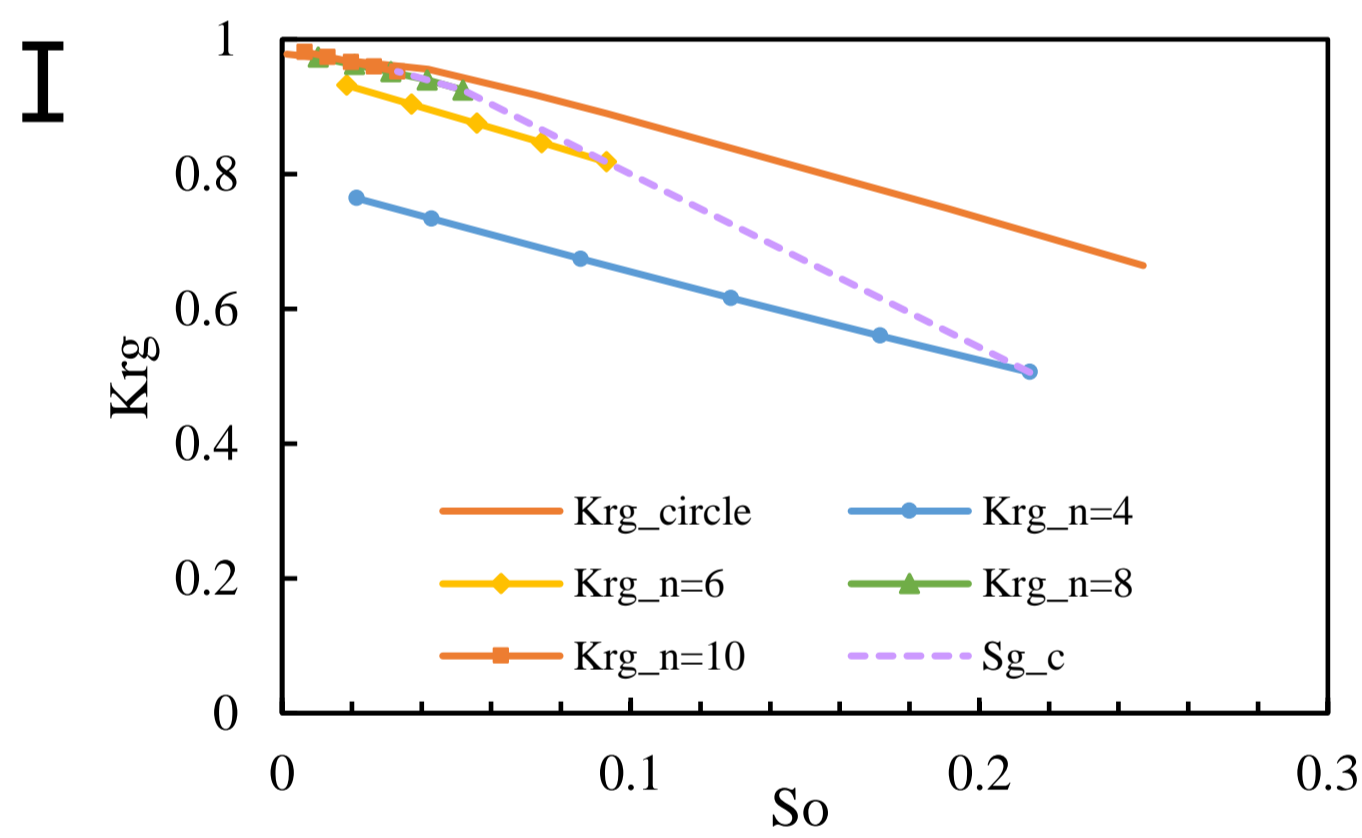
$$v_o = \frac{R_1^2 - r^2}{4u_o} \frac{\Delta p}{L} + C_2' \quad (R_g < r \leq R_1 - s_1),$$

油气混相和气相流速:

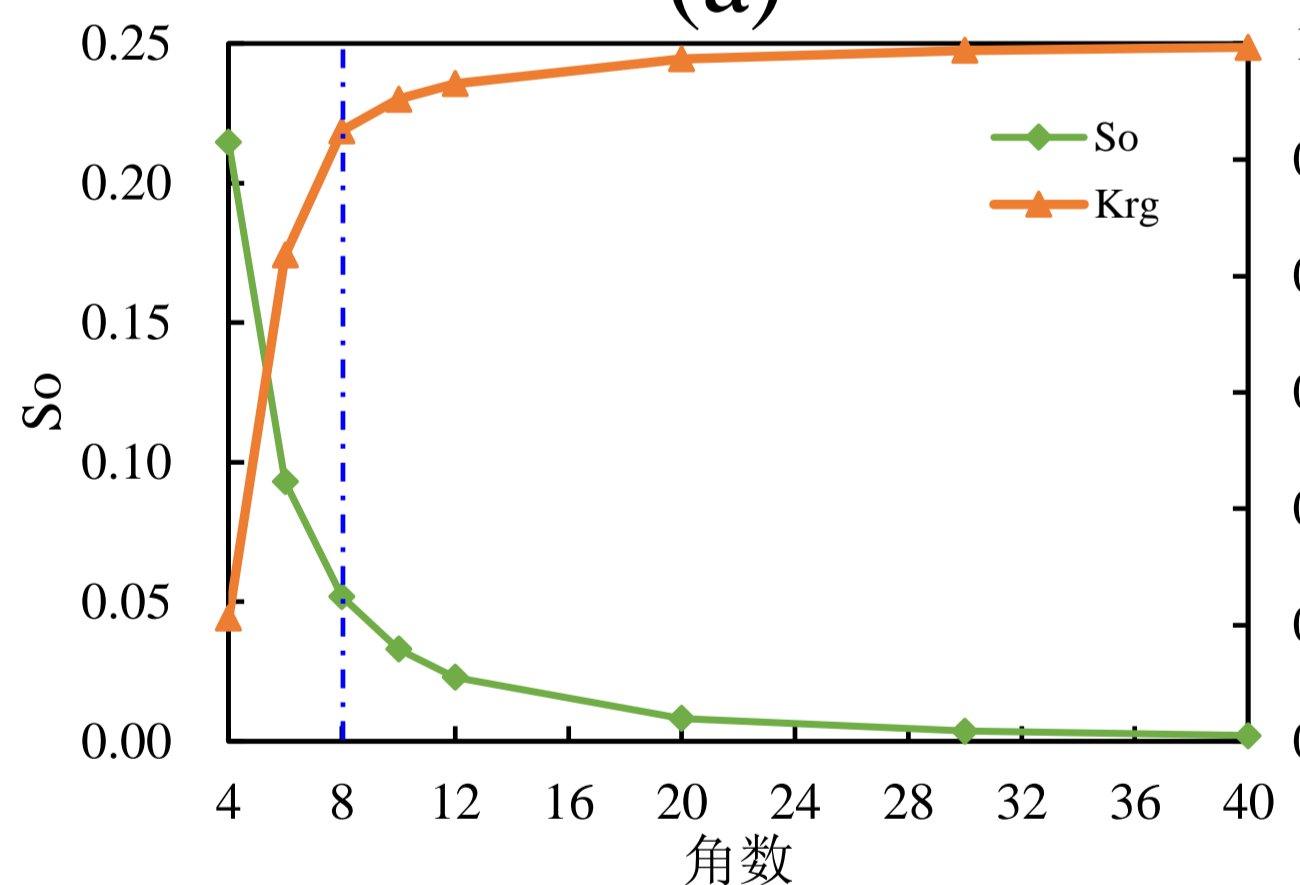
$$v_{og} = \frac{R_1^2 - r^2}{4u_{og}} \frac{\Delta p}{L} + C_3 \quad (R_g - s_2 < r \leq R_g),$$

$$v_g = \frac{R_1^2 - r^2}{4u_g} \frac{\Delta p}{L} + C_4 \quad (0 < r \leq R_g - s_2).$$

分析和讨论

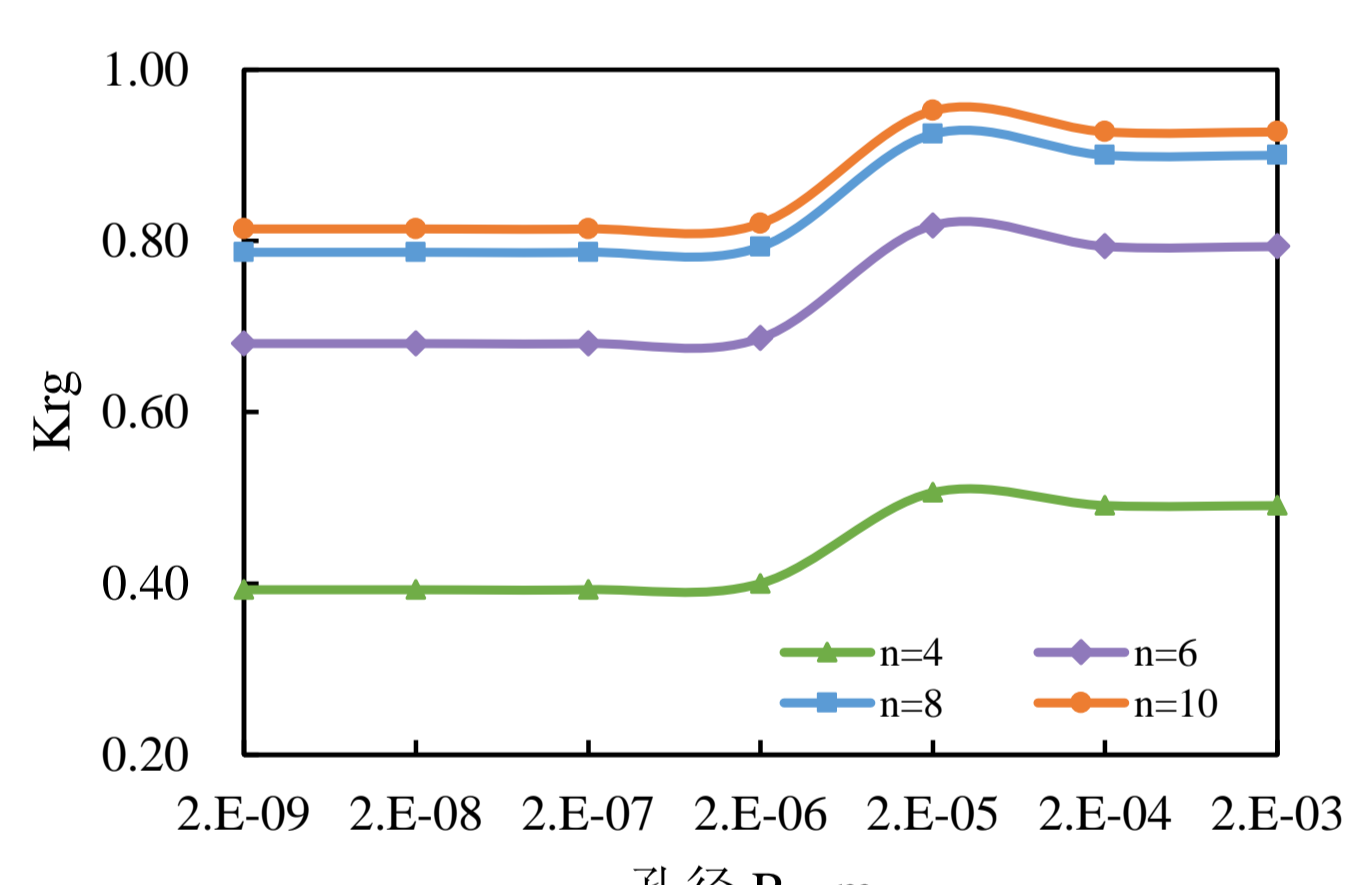


(a)



(b)

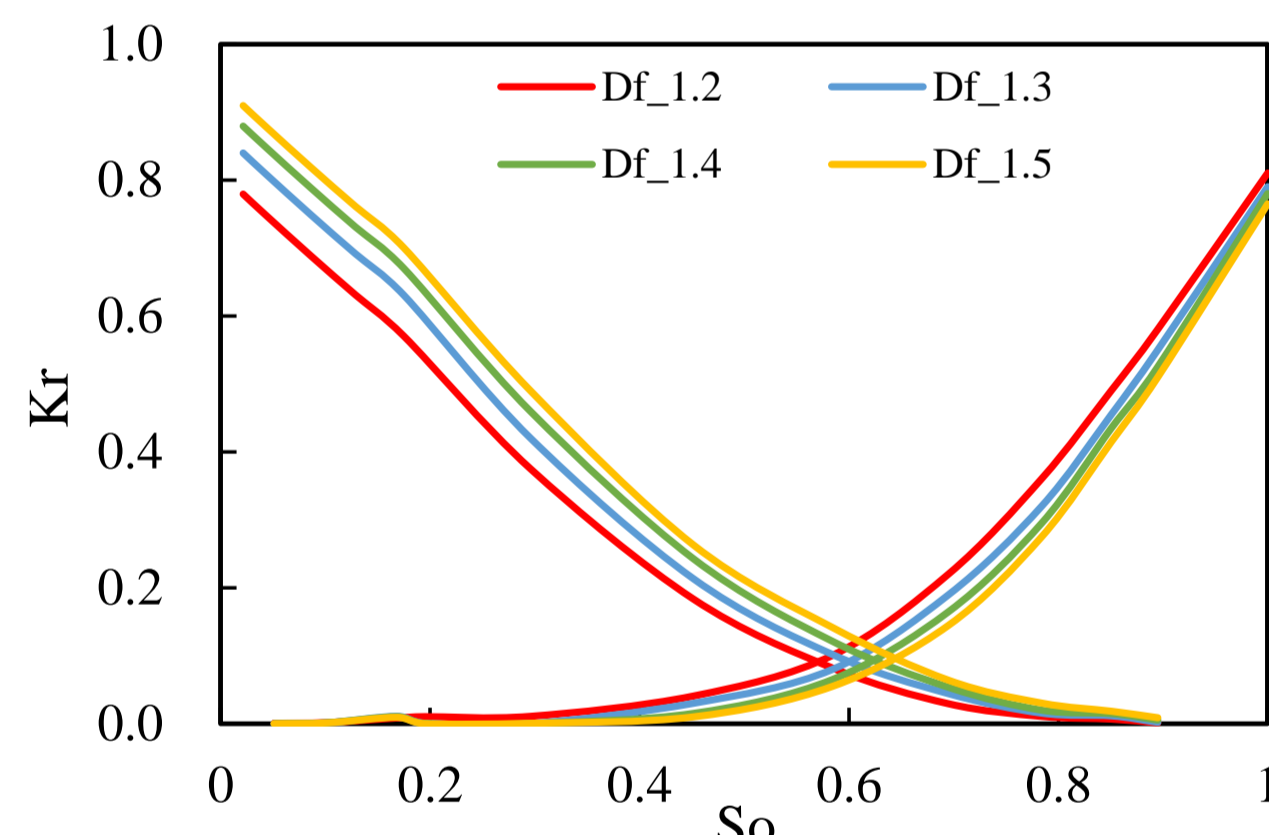
I. (a) 随着角数的增加, 临界含油饱和度逐渐降低, 气相相对渗透率增加当角数为8时, 逐渐趋近于圆形流; (b) 当角数大于8时, 含油饱和度小于0.05, 气体相对渗透率大于0.9。饱和度和相对渗透率的变化很小, 表明角流效应可以忽略不计; (c) 当孔隙半径 R_1 达到 2×10^{-5} m附近时, 气体相对渗透率有一个极大值, 说明气体相对渗透率存在一个最佳孔径尺寸。



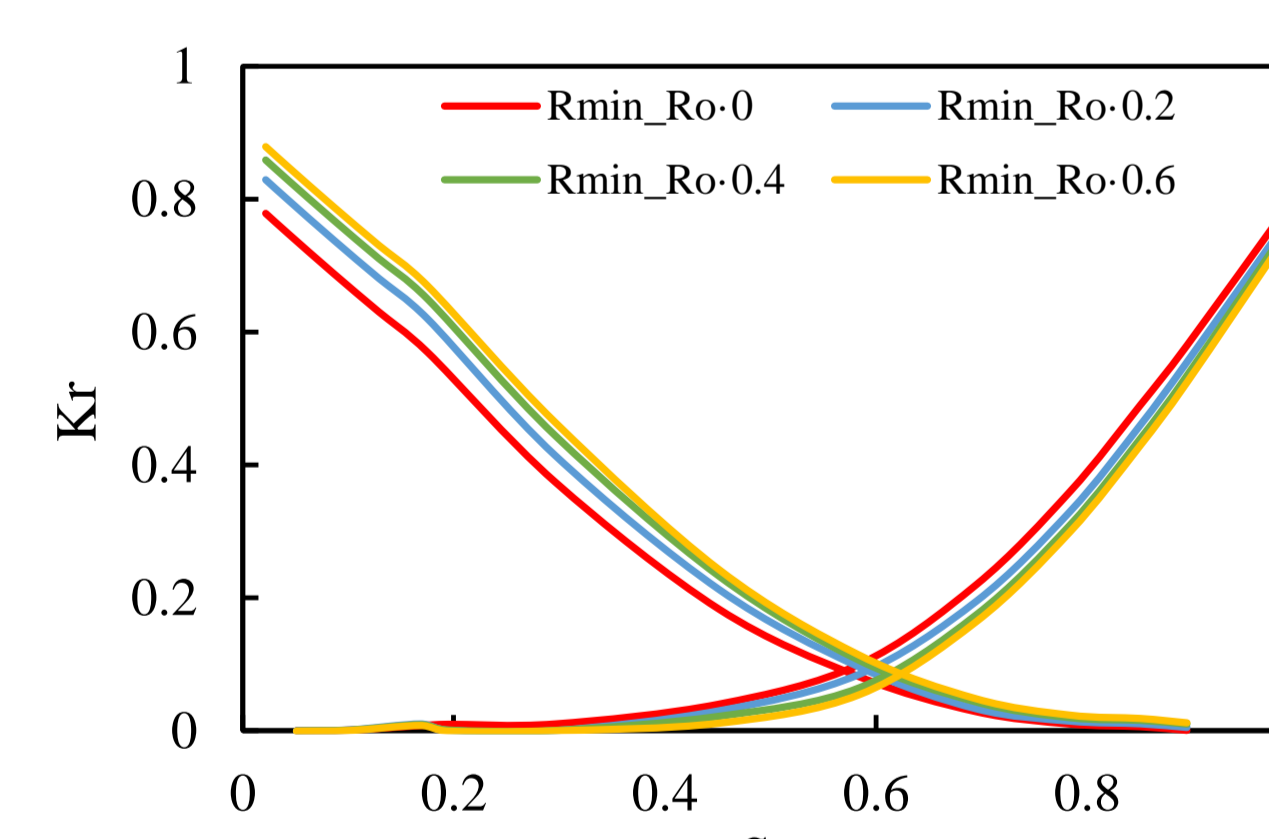
(c)

II. (a) 分形维数 D_f 的增加将导致气相相对渗透率的增加和油相相对渗透率的降低; (b) 最小半径的增加导致气体相对渗透率显著增加, 而油相相对渗透率略有下降; (c) 如图所示, 当粘度比在0.5到0.9之间时, 气体相对渗透率增加。气体的高粘度会降低石油的流动性, 因此, 油相的相对渗透率会降低。

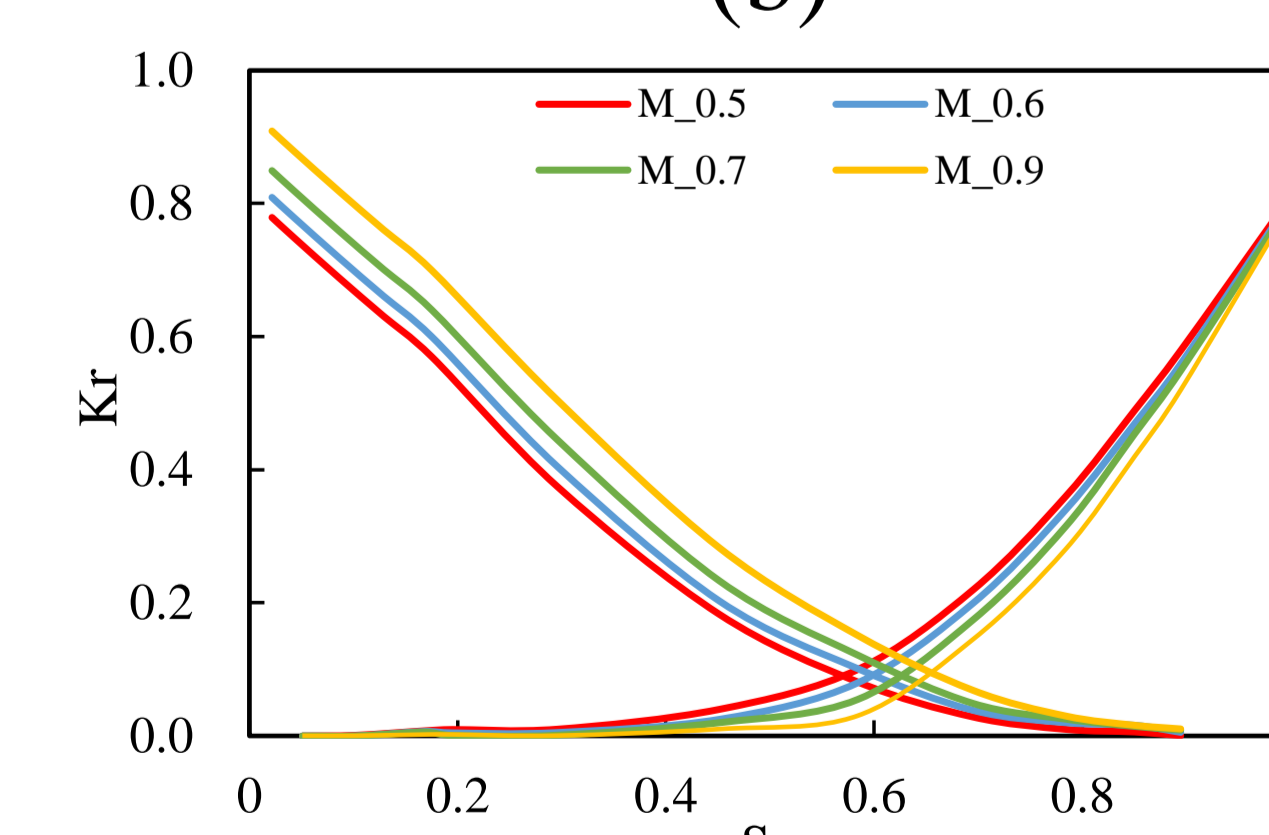
II



(a)

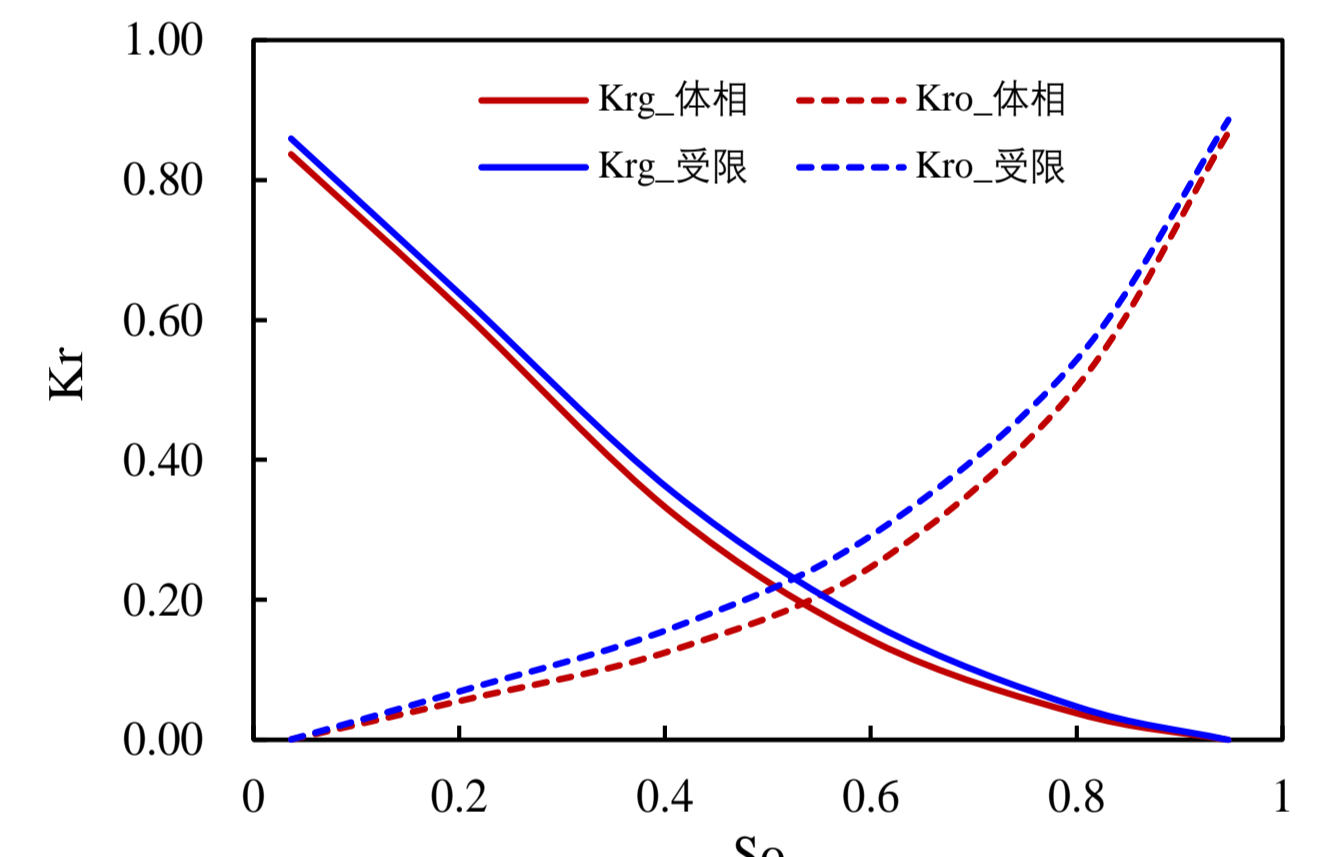


(b)

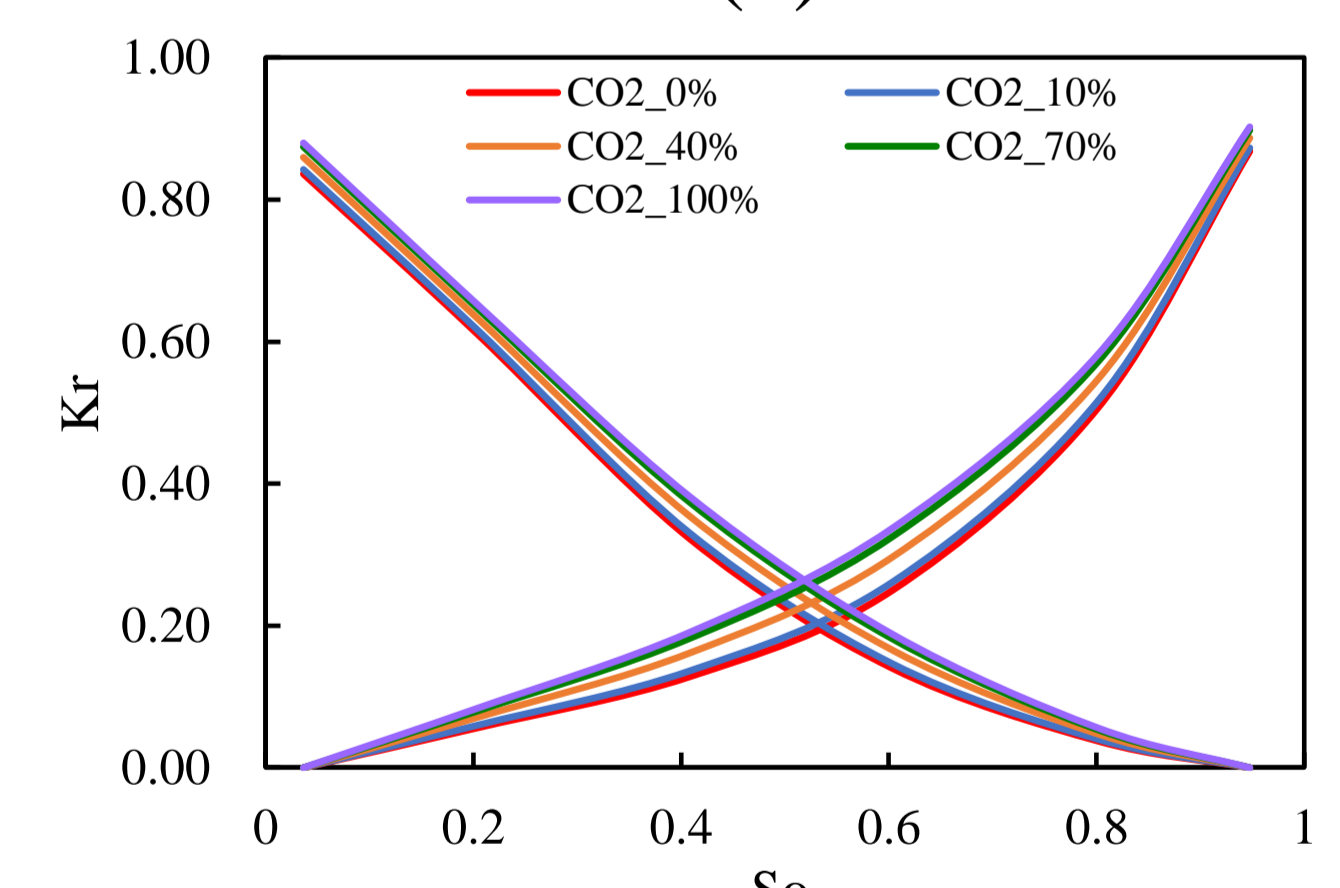


(c)

III



(a)



(b)

III. (a) 考虑近混相流动下的纳米限域效应, 油气相对渗透率普遍增加, 表明纳米约束效应有利于提高近混相相对渗透率; (b) 注入 CO_2 会增加相对渗透率的大小, 提高流动能力。当 CO_2 注入地层时, 因其较强的流动能力, 可扩散到基质中。 CO_2 可与原油混合, 降低原油粘度, 提高近混相相对渗透率。

结论

- 考虑角流效应的影响, 气体相对渗透率随角数的增加而增加。角数越小, 角流效应越明显。当角数大于8时, 角流效应的影响可以忽略。
- 对于固定角数的正多边形孔型横截面, 存在一个最佳孔隙半径 2×10^{-5} m对应于相应的最大的气相相对渗透率。
- 敏感性分析表明, 当分形维数、最小半径和气油粘度比增大时, 气相相对渗透率明显增大, 而油相相对渗透率略有下降, 相对渗透率曲线向右偏移。
- 近混相相对渗透率曲线介于混相和非混相相对渗透率曲线之间。在近混相流动条件下, 纳米限域效应和 CO_2 注入将降低界面张力, 提高相对渗透率。因此, 受限流体比体相流体更容易形成混相, 这有利于致密油藏的开发利用。