



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111305801 A

(43)申请公布日 2020.06.19

(21)申请号 202010159577.2

E21B 49/00(2006.01)

(22)申请日 2020.03.09

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 257000 山东省东营市东营区济南路
125号

申请人 中国石油化工股份有限公司胜利油
田分公司勘探开发研究院

(72)发明人 杨勇 杜玉山 张世明 吕广忠
于金彪 曹伟东 董亚娟 赵莹莹
王杰 张波

(74)专利代理机构 济南日新专利代理事务所
(普通合伙) 37224

代理人 刘亚宁

(51)Int.Cl.

E21B 43/16(2006.01)

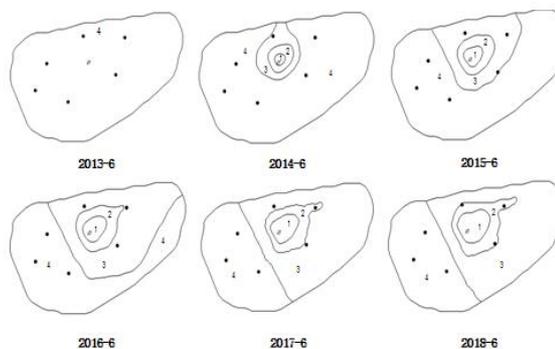
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种二氧化碳驱前缘描述方法

(57)摘要

本发明涉及油藏开发技术领域,具体涉及一种二氧化碳驱前缘描述方法。所述方法包括以下步骤:(1)确定二氧化碳驱油过程中混相压力前缘、二氧化碳组分前缘和二氧化碳气相前缘;(2)根据步骤(1)确定的三个前缘,将油藏划分为二氧化碳气区、混相区、混相潜力区、未波及区四个区域;(3)记录不同时间点步骤(1)所述三个前缘位置的变化情况,并计算三个前缘的移动速度;根据不同前缘的移动情况,定量描述四个区域的变化情况,判识二氧化碳驱过程中的混相状态的动态变化情况。该方法结合试井监测等技术,能够实现对地下油气驱替作用情况的准确拟合和预测,为防治二氧化碳气窜、提高驱油效果提供技术支持。



1. 一种二氧化碳驱前缘描述方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 确定二氧化碳驱油过程中混相压力前缘、二氧化碳组分前缘和二氧化碳气相前缘;

(2) 根据步骤(1)确定的三个前缘,将油藏划分为二氧化碳气区、混相区、混相潜力区、未波及区四个区域;

(3) 记录不同时间点步骤(1)所述三个前缘位置的变化情况,并计算三个前缘的移动速度;根据不同前缘的移动情况,定量描述四个区域的变化情况,判识二氧化碳驱过程中的混相状态的动态变化情况。

2. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,混相压力前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的地层压力分布,将每一个模拟层中地层压力大于最小混相压力的区域的外边界确定为混相压力前缘。

3. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,二氧化碳组分前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的组分摩尔分数分布,将每一个模拟层中二氧化碳组分摩尔分数大于0的区域的外边界确定,二氧化碳组分前缘。

4. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,二氧化碳气相前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的气相饱和度分布,将每一个模拟层中气相饱和度大于0的区域的外边界确定为二氧化碳气相前缘。

5. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,二氧化碳气区为注气井和二氧化碳气相前缘之间的区域;

优选地,所述二氧化碳气区,该区域油藏压力大于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度大于0,二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

6. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,混相区为二氧化碳气相前缘与二氧化碳组分前缘之间的区域;

优选地,所述混相区,该区域内二氧化碳与原油发生混相,油藏压力大于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

7. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,混相潜力区二氧化碳组分前缘与混相压力前缘之间;

优选地,所述混相潜力区,该区域内油藏压力大于混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

8. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,未波及区为混相压力前缘与生产井或油藏边界之间的区域;

优选地,所述未波及区,该区域内油藏压力低于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

9. 根据权利要求1所述方法,其特征在于,根据三个前缘,将油藏区域划分为四个不同的区域,根据不同时刻前缘的位置,计算各个前缘移动速度,从而得到四个区域变化速度,实现对四个区域变化情况的定量描述。

10. 根据权利要求9所述方法,其特征在于,二氧化碳气区的变化速度用二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示,混相区的变化速度用二氧化碳组分前缘的移动速度减去二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示,混相潜力区的变化速度用混相压力前缘的移动速度减去二氧化碳组分前缘的移动速度表示,未波及区的变化速度用混相压力前缘的移动速度

来表示；

优选地，前缘移动速度通过不同时刻前缘所包括区域面积的等效半径变化来反映，即：

$$V_f = \frac{\sqrt{\frac{S_{t_2}}{\pi}} - \sqrt{\frac{S_{t_1}}{\pi}}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

其中 S_{t_1} 、 S_{t_2} 分别表示 t_1 、 t_2 时刻某个前缘所包括的区域面积， V_f 表示前缘移动速度。

一种二氧化碳驱前缘描述方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油藏开发技术领域,具体涉及一种二氧化碳驱前缘描述方法。

背景技术

[0002] 二氧化碳驱是一种重要的提高原油采收率的方法,尤其对低渗透油藏,由于水难以注入,而二氧化碳在地下一般能够达到超临界状态,具有液体的密度和气体的粘度,容易注入,并且易与原油混相大幅度提高驱油效率。在二氧化碳驱油过程中,二氧化碳气体一次接触溶于原油,使原油体积膨胀,粘度降低,随着二氧化碳气体向生产井逐步移动,二氧化碳气体萃取或汽化原油的轻质组分,形成多次接触混相或近混相,油气界面张力降低,地层压力、二氧化碳组分浓度、原油粘度和二氧化碳气相饱和度随着二氧化碳的持续注入发生变化。

[0003] 王志国等人应用CMG-GEM软件对二氧化碳驱油过程进行了数值模拟,分析了储层、流体性质等因素对CO₂驱油效果的影响,并对计算结果进行综合分析,得出了CO₂驱油效果的影响因素及其规律,为实际应用提供技术依据(王志国,张雷,宋永臣,et al.二氧化碳驱油机理及数值模拟研究[C].中国工程热物理学会工程热力学与能源利用学术年会.2012.)。

[0004] 吴忠宝等人对二氧化碳混相驱油机理和影响因素进行了系统研究,对比了注水和注二氧化碳开发的效果。结果表明,注二氧化碳提高采收率的驱油机理是,二氧化碳溶于油相中增加了油藏流度,其与油相组分交换达混相,从而达到提高驱油效率的目的。注二氧化碳开发单井产油量可达注水开发的2倍以上,最终采收率提高14%以上,为研究区及同类低渗透油藏注二氧化碳混相驱开发提供了理论指导,为现场方案的实施提供了重要依据(吴忠宝,甘俊奇,曾倩.低渗透油藏二氧化碳混相驱油机理数值模拟[J].油气地质与采收率,2012(3):67-70.)。

[0005] 孟凡坤等人对低渗透油藏CO₂非混相驱前缘移动规律进行了研究,主要是考虑了油相启动压力梯度的影响对流动方程进行修正,确立了CO₂驱替前缘移动速度和饱和度剖面计算方法。其中对于CO₂驱替前缘,主要通过含气饱和度来确定。(孟凡坤,雷群,苏玉亮,et al.低渗透油藏CO₂非混相驱前缘移动规律研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2018(3).)

[0006] 从目前的文献报道来看,对于CO₂混相驱的研究主要集中在其混相机理的定性研究方面,定量判断二氧化碳的混相条件,主要通过计算二氧化碳在地下运移过程中油、气界面张力的变化而确定。而在实际油藏模拟中,单一的界面张力指标是难以确定二氧化碳的混相状态的,并且仅通过气相饱和度确定的二氧化碳驱替前缘,无法全面、系统地确定二氧化碳驱替过程中油藏各个区域处于何种状态,各种状态如何实时的变化与转换。为此建立了本发明中的技术方法,能够综合利用数值模拟计算的常用指标或数据场来准确、直观地反映二氧化碳混相程度或混相前缘的描述方法。

发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种二氧化碳驱的前缘描述方法，

[0008] 为实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

[0009] 本发明提供一种二氧化碳驱前缘描述方法，所述方法包括：以下步骤：

[0010] (1) 确定二氧化碳驱油过程中混相压力前缘、二氧化碳组分前缘和二氧化碳气相前缘；

[0011] (2) 根据步骤(1)确定的三个前缘，将油藏划分为二氧化碳气区、混相区、混相潜力区、未波及区四个区域；

[0012] (3) 记录不同时间点步骤(1)所述三个前缘位置的变化情况，并计算三个前缘的移动速度；根据不同前缘的移动情况，定量描述四个区域的变化情况，判识二氧化碳驱过程中的混相状态的动态变化情况。

[0013] 优选地，混相压力前缘的确定方法为：根据数值模拟计算结果得到的地层压力分布，将每一个模拟层中地层压力大于最小混相压力的区域的外边界确定为混相压力前缘。

[0014] 优选地，二氧化碳组分前缘的确定方法为：根据数值模拟计算结果得到的组分摩尔分数分布，将每一个模拟层中二氧化碳组分摩尔分数大于0的区域的外边界确定，二氧化碳组分前缘。

[0015] 优选地，二氧化碳气相前缘的确定方法为：根据数值模拟计算结果得到的气相饱和度分布，将每一个模拟层中气相饱和度大于0的区域的外边界确定为二氧化碳气相前缘。

[0016] 优选地，二氧化碳气区为注气井和二氧化碳气相前缘之间的区域；该区域油藏压力大于最小混相压力，二氧化碳气体饱和度大于0，二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

[0017] 优选地，混相区为二氧化碳气相前缘与二氧化碳组分前缘之间的区域；该区域内二氧化碳与原油发生混相，油藏压力大于最小混相压力，二氧化碳气体饱和度等于0，二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

[0018] 优选地，混相潜力区二氧化碳组分前缘与混相压力前缘之间。该区域内油藏压力大于混相压力，二氧化碳气体饱和度等于0，二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

[0019] 优选地，未波及区为混相压力前缘与生产井或油藏边界之间的区域。该区域内油藏压力低于最小混相压力，二氧化碳气体饱和度等于0，二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

[0020] 优选地，根据三个前缘，将油藏区域划分为四个不同的区域，根据不同时刻前缘的位置，计算各个前缘移动速度，从而得到四个区域变化速度，实现对四个区域变化情况的定量描述。

[0021] 优选地，根据三个前缘，将油藏区域划分为四个不同的区域，根据不同时刻前缘的位置，计算各个前缘移动速度，从而得到四个区域变化速度，实现对四个区域变化情况的定量描述。

[0022] 优选地，二氧化碳气区的变化速度用二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示，混相区的变化速度用二氧化碳组分前缘的移动速度减去二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示，混相潜力区的变化速度用混相压力前缘的移动速度减去二氧化碳组分前缘的移动速度表示，未波及区的变化速度用混相压力前缘的移动速度来表示。

[0023] 优选地，前缘移动速度通过不同时刻前缘所包括区域面积的等效半径变化来反映，即：

$$[0024] \quad V_f = \frac{\sqrt{\frac{S_{t_2}}{\pi}} - \sqrt{\frac{S_{t_1}}{\pi}}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

[0025] 其中 S_{t_1} 、 S_{t_2} 分别表示 t_1 、 t_2 时刻某个前缘所包括的区域面积, V_f 表示前缘移动速度。

[0026] 通过对四个区域变化情况的定量描述, 可以确定不同时刻四个区域相互转化的情况, 如当未波及区的部分区域地层压力升高到最小混相压力, 则这部分区域转化为混相潜力区, 混相潜力区的部分区域的二氧化碳组分摩尔分数大于 5% 时, 这部分区域转化为混相区, 混相区的部分区域气相饱和度大于 0 时, 这部分区域转化为二氧化碳气区。即通过四个区域的判断条件, 能够实现对二氧化碳混相状态的动态判识。

[0027] 其中, 最小混相压力可以通过室内实验采用长细管混相仪或者升泡混相仪测定得到。地层压力、二氧化碳组分摩尔分数、二氧化碳气相饱和度可以通过以下的方程组及相应的边界条件、初始条件和一致性条件联立求解得到:

$$[0028] \quad \frac{\partial}{\partial t} [\phi (C_{io} \rho_o S_o + C_{ig} \rho_g S_g)] + \text{div}(\rho_o C_{io} V_o + \rho_g C_{ig} V_g) = q_i, \quad (i=1,3,4, \dots, N_c) \quad (2)$$

$$[0029] \quad \frac{\partial}{\partial t} [\phi (C_{2o} \rho_o S_o + C_{2g} \rho_g S_g + C_{2w} \rho_w S_w)] + \text{div}(\rho_o C_{2o} V_o + \rho_g C_{2g} V_g + \rho_w C_{2w} V_w) = q_2 \quad (3)$$

$$[0030] \quad \frac{\partial}{\partial t} [\phi (\rho_w S_w)] + \text{div}(\rho_w V_w) = q_w \quad (4)$$

$$[0031] \quad V_l = -\frac{K \cdot K_{rl}}{\mu_l} (\nabla P_l - \gamma_l h), \quad l = o, g, w \quad (5)$$

$$[0032] \quad P = -\frac{\sum_{i=1}^N PV \cdot (1 - S_w) P_o}{\sum_{i=1}^N PV \cdot (1 - S_w)} \quad (6)$$

[0033] 其中 ϕ 表示岩石孔隙度, C_{io} 表示中第 i 个烃类组分在油相中的摩尔分数, C_{ig} 表示中第 i 个烃类组分在气相中的摩尔分数, C_{2o} 、 C_{2g} 、 C_{2w} 分别表示中二氧化碳在油相、气相、水相中的摩尔分数, ρ_o 、 ρ_g 、 ρ_w 分别表示中油相、气相、水相的密度, S_o 、 S_g 、 S_w 分别表示中油相、气相、水相的饱和度, V_o 、 V_g 、 V_w 分别表示中油相、气相、水相的渗流速度, P_o 、 P_g 、 P_w 分别表示中油相、气相、水相的压力, γ_o 、 γ_g 、 γ_w 分别表示中油相、气相、水相的相对密度, K_{ro} 、 K_{rg} 、 K_{rw} 分别表示中油相、气相、水相的相对渗透率, μ_o 、 μ_g 、 μ_w 分别表示中油相、气相、水相的粘度, q_i 表示第 i 个组分的注入量或采出量, q_w 表示注水量或产水量, K 表示岩石渗透率, h 表示地层深度, P 表示地层压力, PV 表示网格块或控制单元的孔隙体积, N_c 表示组分个数, N 表示网格块数量。

[0034] 式 (1) - (5) 可以采用通用的数值计算方法求解, 如有限差分方法、有限元方法等, 国内外也有商业化的油藏数值模拟软件提供的组分模拟模块可以进行求解。

[0035] 本发明所述方法通过对数值模拟计算得到的地层压力、二氧化碳组分浓度、二氧

化碳气相饱和度等直接指标,将二氧化碳驱过程的混相状态通过3个前缘(混相压力前缘、二氧化碳组分前缘、二氧化碳气相前缘)和4个区域(二氧化碳气区、混相区、混相潜力区及未波及区)来定量描述,提供了实时预测二氧化碳与原油在地下作用情况的有效技术手段。该方法结合试井监测等技术,能够实现对地下油气驱替作用情况的准确拟合和预测,为防治二氧化碳气窜、提高驱油效果提供技术支撑。

附图说明

[0036] 图1是本发明应用例1所述井组A时刻二氧化碳驱相关参数场分布图:a为地层压力,b为气相饱和度,c为二氧化碳组分浓度;

[0037] 图2是本发明应用例1所述井组B时刻(A时刻后36个月)二氧化碳驱相关参数场分布图:a为地层压力,b为气相饱和度,c为二氧化碳组分浓度;

[0038] 图3是本发明应用例1所述井组二氧化碳驱四个区域的变化图,其中 ϕ 表示注入井,注入井周围的六个黑点代表生产井,图中标号为“1”的区域即为二氧化碳气区,标号为“2”的区域即为混相区,标号为“3”的区域即为混相潜力区,标号为“4”的区域即为未波及区。

具体实施方式

[0039] 应该指出,以下详细说明都是示例性的,旨在对本发明提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0040] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作和/或它们的组合。

[0041] 为了使得本领域技术人员能够更加清楚地了解本发明的技术方案,以下将结合具体的实施例详细说明本发明的技术方案。

[0042] 下述实施例中涉及的仪器、试剂、材料等,若无特别说明,均为现有技术中已有的常规仪器、试剂、材料等,可通过正规商业途径获得。下述实施例中涉及的实验方法,检测方法等,若无特别说明,均为现有技术中已有的常规实验方法,检测方法等。

[0043] 实施例

[0044] 所述方法包括以下步骤:

[0045] (1) 确定二氧化碳驱油过程中混相压力前缘、二氧化碳组分前缘和二氧化碳气相前缘;

[0046] 混相压力前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的地层压力分布,将每一个模拟层中地层压力大于最小混相压力的区域的外边界确定为混相压力前缘。

[0047] 二氧化碳组分前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的组分摩尔分数分布,将每一个模拟层中二氧化碳组分摩尔分数大于0的区域的外边界确定,二氧化碳组分前缘。

[0048] 二氧化碳气相前缘的确定方法为:根据数值模拟计算结果得到的气相饱和度分

布,将每一个模拟层中气相饱和度大于0的区域的外边界确定为二氧化碳气相前缘。

[0049] 地层压力、二氧化碳组分摩尔分数、二氧化碳气相饱和度可以通过以下的方程组及相应的边界条件、初始条件和一致性条件联立求解得到:

$$[0050] \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(C_{i_o} \rho_o S_o + C_{i_g} \rho_g S_g \right) \right] + \text{div} \left(\rho_o C_{i_o} V_o + \rho_g C_{i_g} V_g \right) = q_i, \quad (i=1,3,4, \dots, N_c) \quad (2)$$

$$[0051] \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(C_{2_o} \rho_o S_o + C_{2_g} \rho_g S_g + C_{2_w} \rho_w S_w \right) \right] + \text{div} \left(\rho_o C_{2_o} V_o + \rho_g C_{2_g} V_g + \rho_w C_{2_w} V_w \right) = q_2 \quad (3)$$

$$[0052] \quad \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(\rho_w S_w \right) \right] + \text{div} \left(\rho_w V_w \right) = q_w \quad (4)$$

$$[0053] \quad V_l = -\frac{K \cdot K_{rl}}{\mu_l} (\nabla P_l - \gamma_l h), \quad l = o, g, w \quad (5)$$

$$[0054] \quad P = -\frac{\sum_{i=1}^N PV \cdot (1 - S_w) P_o}{\sum_{i=1}^N PV \cdot (1 - S_w)} \quad (6)$$

[0055] 其中 ϕ 表示岩石孔隙度, C_{i_o} 表示中第 i 个烃类组分在油相中的摩尔分数, C_{i_g} 表示中第 i 个烃类组分在气相中的摩尔分数, C_{2_o} 、 C_{2_g} 、 C_{2_w} 分别表示中二氧化碳在油相、气相、水相中的摩尔分数, ρ_o 、 ρ_g 、 ρ_w 分别表示中油相、气相、水相的密度, S_o 、 S_g 、 S_w 分别表示中油相、气相、水相的饱和度, V_o 、 V_g 、 V_w 分别表示中油相、气相、水相的渗流速度, P_o 、 P_g 、 P_w 分别表示中油相、气相、水相的压力, γ_o 、 γ_g 、 γ_w 分别表示中油相、气相、水相的相对密度, K_{ro} 、 K_{rg} 、 K_{rw} 分别表示中油相、气相、水相的相对渗透率, μ_o 、 μ_g 、 μ_w 分别表示中油相、气相、水相的粘度, q_i 表示第 i 个组分的注入量或采出量, q_w 表示注水量或产水量, K 表示岩石渗透率, h 表示地层深度, P 表示地层压力, PV 表示网格块或控制单元的孔隙体积, N_c 表示组分个数, N 表示网格块数量。

[0056] (2) 根据步骤(1)确定的三个前缘,将油藏划分为二氧化碳气区、混相区、混相潜力区、未波及区四个区域;

[0057] 二氧化碳气区为注气井和二氧化碳气相前缘之间的区域;该区域油藏压力大于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度大于0,二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

[0058] 混相区为二氧化碳气相前缘与二氧化碳组分前缘之间的区域;该区域内二氧化碳与原油发生混相,油藏压力大于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数大于5%。

[0059] 混相潜力区二氧化碳组分前缘与混相压力前缘之间。该区域内油藏压力大于混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

[0060] 未波及区为混相压力前缘与生产井或油藏边界之间的区域。该区域内油藏压力低于最小混相压力,二氧化碳气体饱和度等于0,二氧化碳组分摩尔分数小于5%。

[0061] (3) 记录不同时间点步骤(1)所述三个前缘位置的变化情况,得到三个前缘的移动速度;根据不同前缘的移动情况,定量描述四个区域的变化情况,判识二氧化碳驱过程中的混相状态的动态变化情况。

[0062] 根据三个前缘,可以将油藏区域划分为四个不同的区域,二氧化碳气区的变化速度用二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示,混相区的变化速度用二氧化碳组分前缘的移动速度减去二氧化碳气相饱和度前缘的移动速度表示,混相潜力区的变化速度用混相压力前缘的移动速度减去二氧化碳组分前缘的移动速度表示,未波及区的变化速度用混相压力前缘的移动速度来表示。

[0063] 前缘移动速度通过不同时刻前缘所包括区域面积的等效半径变化来反映,即:

$$[0064] \quad V_f = \frac{\sqrt{\frac{S_{t_2}}{\pi}} - \sqrt{\frac{S_{t_1}}{\pi}}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

[0065] 其中 S_{t_1} 、 S_{t_2} 分别表示 t_1 、 t_2 时刻某个前缘所包括的区域面积, V_f 表示前缘移动速度。

[0066] 通过对四个区域变化情况的定量描述,可以确定不同时刻四个区域相互转化的情况,如当未波及区的部分区域地层压力升高到最小混相压力,则这部分区域转化为混相潜力区,混相潜力区的部分区域的二氧化碳组分摩尔分数大于5%时,这部分区域转化为混相区,混相区的部分区域气相饱和度大于0时,这部分区域转化为二氧化碳气区。即通过四个区域的判断条件,能够实现对二氧化碳混相状态的动态判识。

[0067] 式(1) - (5)可以采用通用的数值计算方法求解,如有限差分方法、有限元方法等,国内外也有商业化的油藏数值模拟软件提供的组分模拟模块可以进行求解。

[0068] 应用例

[0069] 以胜利油田某矿场实施二氧化碳驱的井组为例,采用实施例1所述方法对二氧化碳驱前缘进行描述。

[0070] 该井组有注气井1口,生产井6口,2013年6月开始注入二氧化碳,2016年9月开始陆续打开生产井采油。由图1、图2可以看出,随着二氧化碳的注入,地层压力不断向前传递,出现明显的压力前缘;二氧化碳波及范围明显扩大,出现明显的二氧化碳组分前缘;过量的二氧化碳在注入井附近以气相的形式出现,形成明显的气相前缘。

[0071] 由图3可以看出,随着3个前缘的不断向前移动,4个区域也发生变化,二氧化碳气区的范围越来越大,混相驱不断向前移动,混相潜力区的范围不断扩大,未波及区越来越小。

[0072] 通过计算3个前缘的移动速度分别为:混相压力前缘的移动速度为0.85m/d,组分前缘的移动速度为0.35m/d,二氧化碳气相前缘的移动速度为0.20m/d,混相压力前缘的移动速度最快,二氧化碳气相前缘的移动速度最慢。

[0073] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

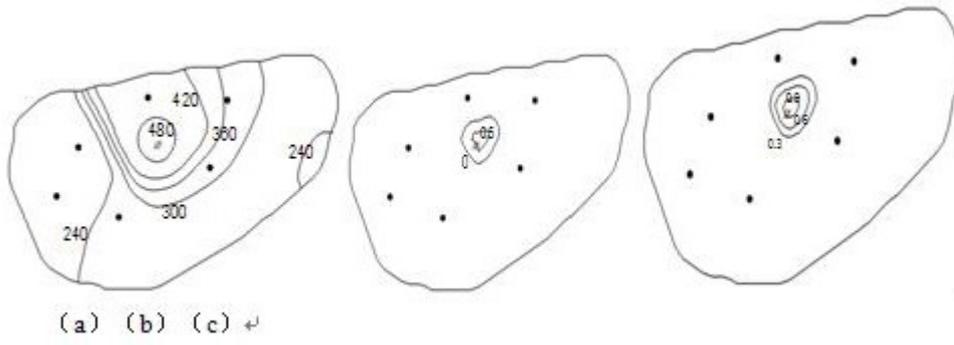


图1

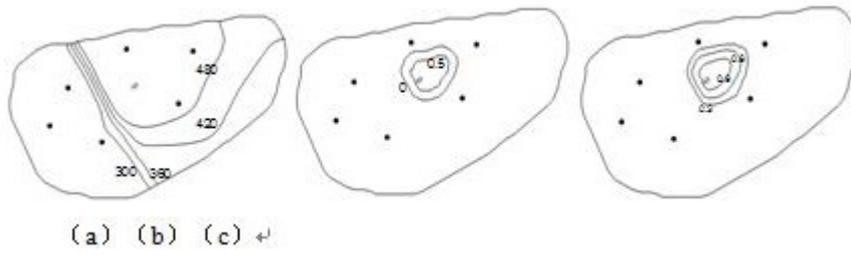


图2

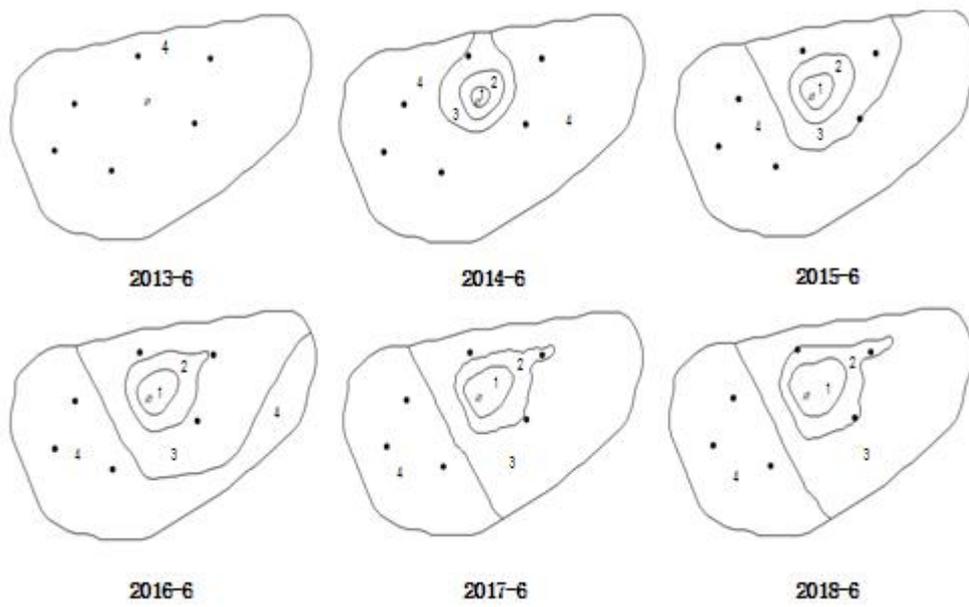


图3