



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107575214 B

(45)授权公告日 2020.06.09

(21)申请号 201610519332.X

E21B 47/07(2012.01)

(22)申请日 2016.07.04

审查员 兰起超

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107575214 A

(43)申请公布日 2018.01.12

(73)专利权人 中国石油天然气股份有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

(72)发明人 张雪峰 陈龙 潘竟军 胡承军

张辉 姚满仓 雷德荣

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 赵囡囡 吴贵明

(51)Int.Cl.

E21B 47/06(2012.01)

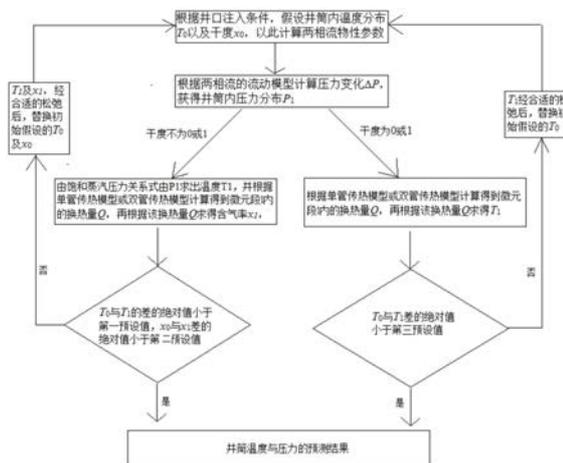
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法

(57)摘要

本发明提供了一种用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法,该方法,包括:两相流的物性参数;获得井筒内压力分布P1;步骤S3:若干度不为0或1,计算得到微元段1内的换热量Q,再根据该换热量Q求得含气率x1,由T1及x1,经合适的松弛后,替换初始假设的T0及x0,然后重复步骤S1,直至T0与T1的差的绝对值小于第一预设值,以及x0与x1差的绝对值小于第二预设值;若干度为0或1,计算得到微元段1内的换热量Q,再根据该换热量Q求得T1,经合适的松弛后,替换初始假设的T0,然后重复步骤S1,直至T0与T1差的绝对值小于第三预设值。本发明便于对复杂管柱结构注采过程中的井筒内温度与压力进行预测。



1. 一种用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,包括:

步骤S1:根据井口注入条件,假设井筒内温度分布为 T_0 以及干度为 x_0 ,并计算两相流的物性参数;

步骤S2:根据两相流的流动模型计算井筒内压力变化 ΔP ,从而获得井筒内压力分布 P_1 ;

步骤S3:若干度不为0或1,则由饱和蒸汽压力关系式由 P_1 求出温度 T_1 ,并根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得含气率 x_1 ,由 T_1 及 x_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 及 x_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 的差的绝对值小于第一预设值,以及 x_0 与 x_1 差的绝对值小于第二预设值;

若干度为0或1,则根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得 T_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 差的绝对值小于第三预设值。

2. 根据权利要求1所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,所述流动模型为:

$$\Delta P = dP = dP_f + dP_g + dP_a$$

其中,摩阻压差 $dP_f = \frac{2f}{D} \left(\frac{G}{A} \right)^2 [v_l + x(v_g - v_l)] dz$,式中 D 为管道直径, G 为总质量流量, dz 为微元段长度, x 为干度, v_g 和 v_l 分别为气体和液体的比体积, f 为范宁摩擦因子,默认值为 $\lambda/4$, λ 的值与管道粗糙情况相关;

$$\text{重力压差 } dP_g = \frac{g \sin \theta}{v_l + x(v_g - v_l)} dz, \text{ 其中 } \theta \text{ 为管道流向与水平面夹角;}$$

$$\text{加速度压差 } dP_a = \left(\frac{G}{A} \right)^2 (v_g - v_l) dx。$$

3. 根据权利要求2所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,对于粗糙管道, λ 由以下公式确定:

$$\lambda = \frac{1}{4 \left(\lg 3.7 \frac{D}{K} \right)^2}$$

其中, K 是管道内壁的粗糙度大小。

4. 根据权利要求2所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,对于光滑管道, λ 由以下公式确定:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

其中, Re 为雷诺数。

5. 根据权利要求1所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,若干度不为0或1时,注入段总吸热量 Q_1 由以下公式确定:

$$Q_1 = Q_{e1} + Q_{31}$$

式中, Q_{e1} 为地层向注入管的散热量, Q_{31} 为产出段向注入段的散热量。

6. 根据权利要求5所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,地层向注入管的散热量 Q_{e1} 由如下公式确定:

$$Q_{e1} = \frac{T_e - 0.5(T_{I1,i+1} - T_{I1,i})}{R_{e1}}$$

其中, T_e 为对应网格点的无穷远处地层温度; $T_{I1,i}$ 为注汽管双管处节点压力; $T_{I1,i+1}$ 注汽管双管处下一节点压力; R_{e1} 为无穷远与注入段前部之间的等效热阻。

7. 根据权利要求6所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,注入段向产出段的散热量 Q_{13} 由如下公式确定:

$$Q_{13} = -Q_{31} = \frac{0.5(T_{I1,i+1} - T_{I1,i}) - 0.5(T_{3,i+1} - T_{3,i})}{R_{13}}$$

其中, Q_{31} 为产出段向注入段的散热量。

8. 根据权利要求7所述的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,其特征在于,注入管双管处干度 $x_{I1,i+1}$ 由以下公式确定:

$$x_{I1,i+1} - x_{I1,i} = \frac{Q_1}{h_{lv}} - \frac{(c_{p,v}T_{I1,i+1}x_{I1,i+1} - c_{p,v}T_{I1,i}x_{I1,i})}{h_{lv}} - \frac{[c_{p,l}T_{I1,i+1}(1-x_{I1,i+1}) - c_{p,l}T_{I1,i}(1-x_{I1,i})]}{h_{lv}}$$

其中, h_{lv} 为注入工质的潜热; $c_{p,v}$ 和 $c_{p,l}$ 分别是注入工质气相和液相的比热。

用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及空调技术领域,具体而言,涉及一种用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法。

背景技术

[0002] 自1978年加拿大在阿尔伯塔省冷湖油田钻成第一口稠油热采水平井以来,水平井技术得到越来越广泛的重视与应用,并不断发展成为稠油开采行之有效的方法。采用水平井技术能够显著增加井筒与油层之间的接触和渗流面积,提高单井产量和采收率。水平井稠油热采技术应用主要有水平井蒸汽吞吐与蒸汽驱、水平井蒸汽辅助重力泄油、水平井火驱开采等,这些技术开采过程中都需要向地层进行注汽,以达到有效加热地层降低原油粘度使其具有流动性的目的。当蒸汽在水平段流动时,井筒与油层之间不仅有热量交换,伴随着蒸汽不断进入油层也存在着质量交换,蒸汽的温度、干度和压力都将沿水平段发生显著变化,导致注汽均匀性变差,对预热效率及后续生产造成不利影响,导致产油量及采收率下降。

[0003] 为改善均匀注汽、有效提高热效率,国内外多采用长管2和短管1双管的管柱结构形式,如图1所示。为有效、快速对循环预热管柱结构、关键操作参数及调控方法进行优化设计,需要应用数值模拟技术通过系统计算考察各影响因素对井筒内温度、压力、流量分布的作用规律,结合现场应用条件分析制定出合理的完井方案及操控流程。而已有的计算模型虽考虑了井筒与油层之间的热质耦合传递规律,但模型均为单程注入或产出过程,并没有结合实际注入或产出管柱结构将返液或注入过程考虑到模型中。

发明内容

[0004] 本发明的主要目的在于提供一种用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法,便于对复杂管柱结构注采过程中的井筒内温度与压力进行预测。

[0005] 为了实现上述目的,根据本发明的一个方面,提供了一种用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,包括:步骤S1:根据井口注入条件,假设井筒内温度分布为 T_0 以及干度为 x_0 ,并计算两相流的物性参数;步骤S2:根据两相流的流动模型计算井筒内压力变化 ΔP ,从而获得井筒内压力分布 P_1 ;步骤S3:若干度不为0或1,则由饱和蒸汽压力关系式由 P_1 求出温度 T_1 ,并根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得含气率 x_1 ,由 T_1 及 x_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 及 x_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 的差的绝对值小于第一预设值,以及 x_0 与 x_1 差的绝对值小于第二预设值;若干度为0或1,则根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得 T_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 差的绝对值小于第三预设值。

[0006] 进一步地,所述流动模型为:

[0007] $\Delta P = dP = dP_f + dP_g + dP_a$

[0008] 其中,摩阻压差 $dP_f = \frac{2f}{D} \left(\frac{G}{A} \right)^2 [v_l + x(v_g - v_l)] dz$, 式中D为管道直径,G为总质量流量,dz为微元段长度,x为干度, v_g 和 v_l 分别为气体和液体的比体积,f为范宁摩擦因子,默认值为 $\lambda/4$, λ 的值与管道粗糙情况相关;

[0009] 重力压差 $dP_g = \frac{g \sin \theta}{v_l + x(v_g - v_l)} dz$,其中 θ 为管道流向与水平面夹角;

[0010] 加速度压差 $dP_a = \left(\frac{G}{A} \right)^2 (v_g - v_l) dx$ 。

[0011] 进一步地,对于粗糙管道, λ 由以下公式确定:

$$[0012] \quad \lambda = \frac{1}{4 \left(\lg 3.7 \frac{D}{K} \right)^2}$$

[0013] 其中,K是管道内壁的粗糙度大小。

[0014] 进一步地,对于光滑管道, λ 由以下公式确定:

$$[0015] \quad \lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

[0016] 其中,Re为雷诺数。

[0017] 进一步地,若干度不为0或1时,注入段总吸热量 Q_1 由以下公式确定:

$$[0018] \quad Q_1 = Q_{e1} + Q_{31}$$

[0019] 式中, Q_{e1} 为地层向注入管的散热量, Q_{31} 为产出段向注入段的散热量。

[0020] 进一步地,地层向注入管的散热量 Q_{e1} 由如下公式确定:

$$[0021] \quad Q_{e1} = \frac{T_e - 0.5(T_{I1,i+1} - T_{I1,i})}{R_{e1}}$$

[0022] 其中, T_e 为对应网格点的无穷远处地层温度; $T_{I1,i}$ 为注汽管双管处节点压力; $T_{I1,i+1}$ 注汽管双管处下一节点压力; R_{e1} 为无穷远与注入段前部之间的等效热阻。

[0023] 进一步地,注入段向产出段的散热量 Q_{13} 由如下公式确定:

$$[0024] \quad Q_{13} = -Q_{31} = \frac{0.5(T_{I1,i+1} - T_{I1,i}) - 0.5(T_{3,i+1} - T_{3,i})}{R_{13}}$$

[0025] 其中, Q_{31} 为产出段向注入段的散热量。

[0026] 进一步地,注入管双管处干度 $x_{I1,i+1}$ 由以下公式确定:

$$[0027] \quad x_{I1,i+1} - x_{I1,i} = \frac{Q_1}{h_{lv}} - \frac{(c_{p,v} T_{I1,i+1} x_{I1,i+1} - c_{p,v} T_{I1,i} x_{I1,i})}{h_{lv}} - \frac{[c_{p,l} T_{I1,i+1} (1 - x_{I1,i+1}) - c_{p,l} T_{I1,i} (1 - x_{I1,i})]}{h_{lv}}$$

[0028] 其中, h_{lv} 为注入工质的潜热; $c_{p,v}$ 和 $c_{p,l}$ 分别是注入工质气相和液相的比热。

[0029] 应用本发明的技术方案,本发明的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,不仅适用于水平注采井,也同样适用于垂直注采井,可计算出井筒内流体温度和压力分布

情况,解决复杂注采管柱内温度剖面无法预测的难题,为控制井筒内流体温度提供有利依据。

附图说明

[0030] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0031] 图1示意性示出了长管和短管双管的管柱结构的主视图;

[0032] 图2示意性示出了本发明的用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法的流程图;

[0033] 图3示意性示出了本发明的双管截面的传热模型图;

[0034] 图4示意性示出了本发明的单管截面的传热模型图;

[0035] 图5示意性示出了采用本发明的方法预测得到的井筒内温度与压力预测结果与现场测试数据的对比。

[0036] 附图标记说明:1、短管;2、长管;10、注入段;20、环空段;30、产出段。

具体实施方式

[0037] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0038] 本发明的一种用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法。本发明的用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法适用于复杂管柱结构的注采过程的井筒内温度与压力的预测。

[0039] 需要说明的是,本实施例中所说的复杂管柱结构为一种区别于油井内单根套管与单根油管组成的简单管柱结构而根据特殊工艺需求,在单一套管内下入多根油管实现不同目的管柱结构称之为复杂管柱结构。比如,为了保证稠油热采对地层循环预热的效果,通常在单个套管内下入一长一短两根油管实施注汽,该种情况下的管柱结构即为复杂管柱结构。当然,复杂管柱结构也不仅限于此种情况,凡是有别于单根套管与单根油管组成的管柱结构均称作复杂管柱结构。

[0040] 本实施例中的所说的注采过程是指注入和开采过程,简称注采过程。

[0041] 本发明实施例提供了一种用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法,不仅适用于水平注采井,也同样适用于垂直注采井,本发明以水平注采井实施过程为例进行阐述,包括:

[0042] 根据微积分的思想,以图1注采过程为例,将复杂管柱依据管柱结构不同分为注入段10、环空段20与产出段30三段求解,每段分别划分出n段,每一段流动长度为1,针对每一个微元体的建立描述复杂管柱结构内流动的数理模型;

[0043] 在每一段根据不同的管柱截面情况分别建立双管截面与单管截面传热模型,如图3和图4所示,对于图1中的注采管柱结构,环空段20全部和注入段10后部对应于图4中的单管传热模型,而产出段30与注入段10前部对应于图3中的双管模型。

[0044] 下面结合图2具体介绍本实施例中的用于注采过程的井筒内温度与压力的预测方法的具体过程如下:

[0045] 根据井口注入条件,假设井筒内温度分布为 T_0 以及干度为 x_0 ,并计算两相流的物性参数,在这个过程中,井口注入条件包括水、水蒸汽、气体的流量、温度、压力等信息,结合所述描述复杂管柱结构内流动与传热模型,建立井筒内温度与压力预测模型;获取注采过程中井的油层参数、井轨迹数据及流体物性数据,根据建立的井筒内温度与压力预测模型计算出井筒内温度与压力值。为让本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附图式,作详细说明如下。

[0046] 如图2所示,该方法包括如下步骤:

[0047] 步骤S1:根据井口注入条件,假设井筒内温度分布为 T_0 以及干度为 x_0 ,并计算两相流的物性参数,具体包括黏度、导热系数、比热容等参数的计算。

[0048] 步骤S2:根据两相流的流动模型计算压力变化 ΔP ,获得井筒内压力分布 P_1 ,计算中考虑三方面压降影响:摩阻压降,重力压降以及加速度压降。

[0049] 步骤S3:若干度不为0或1,则由饱和蒸汽压力关系式由 P_1 求出温度 T_1 ,并根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得含气率 x_1 ,由 T_1 及 x_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 及 x_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 的差的绝对值小于第一预设值,以及 x_0 与 x_1 差的绝对值小于第二预设值,此时得到的温度和压力即为井筒内的温度和压力;若干度为0或1,则根据单管传热模型或双管传热模型计算得到微元段1内的换热量 Q ,再根据该换热量 Q 求得 T_1 ,经合适的松弛后,替换初始假设的 T_0 ,然后重复步骤S1,直至 T_0 与 T_1 差的绝对值小于第三预设值,此时得到的温度和压力即为井筒内的温度和压力。

[0050] 下面分别叙述各模型的建立方法:

[0051] (1) 流动模型

$$[0052] \quad \Delta P = dP = dP_f + dP_g + dP_a \quad (1)$$

[0053] a) 摩阻压差:

$$[0054] \quad dP_f = \frac{2f}{D} \left(\frac{G}{A} \right)^2 \left[v_l + x(v_g - v_l) \right] dz \quad (2)$$

[0055] 公式(2)中左侧为摩阻压差,右侧中 D 为管道直径, G 为总质量流量, dz 为微元段长度, x 为干度, v_g 和 v_l 分别为气体和液体的比体积, f 为范宁摩擦因子,默认值为 $\lambda/4$, λ 的值与管道粗糙情况相关。对于粗糙管采用式(3)计算,其中 K 是管道内壁的粗糙度大小,单位 m ,依据实际管道来定。对于光滑管,采用式(4)进行计算,式中 Re 为雷诺数。

$$[0056] \quad \lambda = \frac{1}{4 \left(\lg 3.7 \frac{D}{K} \right)^2} \quad (3)$$

$$[0057] \quad \lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (4)$$

[0058] b) 重力压差:

$$[0059] \quad dP_g = \frac{g \sin \theta}{v_l + x(v_g - v_l)} dz \quad (5)$$

[0060] 式(5)为重力压差的计算表达式,其中 θ 为管道流向与水平面夹角。

[0061] c) 加速度压差:

[0062] 加速度压差采用式 (6) 进行计算,对于一般的气液两相混合输送管道来说,流动速度一般较低,加速压差常常远小于摩阻压差和重位压差,一般情况下可以忽略不计。

$$[0063] \quad dP_a = \left(\frac{G}{A} \right)^2 (v_g - v_l) dx \quad (6)$$

[0064] (2) 双管传热模型

[0065] a) 干度不为0或1(饱和状态)

[0066] 注入段10前部温度与传热量的求解:

[0067] 如图3所示,井口参数已知,可采用向后差分方法离散模型,计算中由于处于饱和状态,在已知注汽管双管处节点压力 $P_{I1,i}$ 时根据流动方程求解出下一段的 $P_{I1,i+1}$,进而根据注汽管双管处节点压力 $T_{I1,i}$ 结合水的温度与压力饱和关系求解下一节点 $T_{I1,i+1}$,无穷远向注入段10前部(编号I1)的传热量,单位为(W/m)(负值为散热,正值为吸热)由式(7)求得, T_e 为对应该网格点的无穷远处地层温度。

$$[0068] \quad Q_{e1} = \frac{T_e - 0.5(T_{I1,i+1} - T_{I1,i})}{R_{e1}} \quad (7)$$

[0069] 上式中的 Q_{e1} 为地层向注入管的散热量, R_{e1} 为无穷远与注入段10前部之间的等效热阻,由式(8)求得。

$$[0070] \quad R_{e1} = \frac{1}{2\pi\lambda_{Inject}} \ln\left(\frac{OD_{Inject}}{ID_{Inject}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Inject} \alpha_{12}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{Casing}} \ln\left(\frac{OD_{Casing}}{ID_{Casing}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Casing} \alpha_{2\infty}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{earth}} \ln\left(\frac{D_\infty}{OD_{Casing}}\right) \quad (8)$$

[0071] 其中, α_{12} 为双管之间的对流传热系数, λ_{Inject} , λ_{Casing} , λ_{earth} 分别是注入管、套管和地层的导热系数; OD_{Inject} , OD_{Casing} 分别是注入管、套管的外径; ID_{Inject} , ID_{Casing} 分别是注入管、套管的内径; D_∞ 计算设置的无穷远距离大小。

[0072] 注入段10总吸热量 Q_1 由式(9)计算所得,其中的 Q_{31} 代表了产出段30向注入段10的散热量,将在后面给出。

$$[0073] \quad Q_1 = Q_{e1} + Q_{31} \quad (9)$$

[0074] 再根据式(10)应用换热量求得注入管双管处干度 $x_{I1,i+1}$:

$$[0075] \quad x_{I1,i+1} - x_{I1,i} = \frac{Q_1}{h_{lv}} - \frac{(c_{p,v} T_{I1,i+1} x_{I1,i+1} - c_{p,v} T_{I1,i} x_{I1,i})}{h_{lv}} - \frac{[c_{p,l} T_{I1,i+1} (1 - x_{I1,i+1}) - c_{p,l} T_{I1,i} (1 - x_{I1,i})]}{h_{lv}} \quad (10)$$

[0076] 其中, h_{lv} 为注入工质的潜热; $c_{p,v}$ 和 $c_{p,l}$ 分别是注入工质气相和液相的比热。

[0077] 产出段30温度与传热量的求解:

[0078] 计算中由于处于饱和状态,根据流动方程求解出下一段的 $P_{3,i+1}$,进而根据水的温度与压力饱和关系求解 $T_{3,i+1}$,无穷远向产出段30(编号3)的传热量(W/m)(负值为散热,正值为吸热)由式(10)求得,注入管和采出管之间的传热量由式求得。 T_e 为对应该网格点的无穷远处温度,于是可知产出段30从地层的吸热量 Q_{e3} 以及与注入管间的吸热量 Q_{13} (或散热量

Q₃₁)的大小:

$$[0079] \quad Q_{e3} = \frac{T_e - 0.5(T_{3,i+1} - T_{3,i})}{R_{e3}} \quad (10)$$

$$[0080] \quad Q_{13} = -Q_{31} = \frac{0.5(T_{11,i+1} - T_{11,i}) - 0.5(T_{3,i+1} - T_{3,i})}{R_{13}} \quad (11)$$

[0081] 上式中的R_{e3}为无穷远与产出段30之间的等效热阻由式(12)求得,R₁₃为注入段10前部与产出段30之间的等效热阻由式(13)求得。

$$[0082] \quad R_{e1} = \frac{1}{2\pi\lambda_{Product}} \ln\left(\frac{OD_{Product}}{ID_{Product}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Product} \alpha_{32}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{Casing}} \ln\left(\frac{OD_{Casing}}{ID_{Casing}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Casing} \alpha_{2\infty}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{earth}} \ln\left(\frac{D_{\infty}}{OD_{Casing}}\right) \quad (12)$$

$$[0083] \quad R_{13} = \frac{1}{2\pi\lambda_{Inject}} \ln\left(\frac{OD_{Inject}}{ID_{Inject}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Inject} \alpha_{12}} + \frac{1}{\pi OD_{Product} \alpha_{23}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{Product}} \ln\left(\frac{OD_{Product}}{ID_{Product}}\right) \quad (13)$$

[0084] 其中, α_{12} 和 α_{23} 分别为注入管与环空以及产出管与环空间的对流传热系数; $\lambda_{Product}$ 是产出管的导热系数; $OD_{Product}$ 和 $ID_{Product}$ 分别是产出管的外径和内径。

[0085] 产出段30总散热量Q₃由式(14)计算求得。

$$[0086] \quad Q_3 = Q_{e3} + Q_{13} \quad (14)$$

[0087] 再参考式(10)应用换热量求得产出段30干度 $x_{3,i+1}$ 。

[0088] b) 干度为0或1(非饱和状态)

[0089] 注入段10前部温度与传热量的求解:

[0090] 该情况下需首先由 $T_{11,i}$ 求解 $T_{11,i+1}$,其中 q_m 为质量流量, l 为微元段之间的距离,根据能量守恒可得式(15),利用此式反求出 $T_{11,i+1}$ 如式(16)所示,再带入式(9)求得该网格点处的传热量 Q_1 。

$$[0091] \quad \frac{Q_1 l}{q_m} = (T_{11,i+1} - T_{11,i}) c_p \quad (15)$$

$$[0092] \quad T_{11,i+1} = \frac{(q_m c_p R_{e1} - 0.5) T_{11,i} + l T_e - Q_{13} l / q_m}{q_m c_p R_{e1} + 0.5 l} \quad (16)$$

[0093] 产出段30温度与传热量的求解:

[0094] 该情况下需首先由 $T_{3,i}$ 求解 $T_{3,i+1}$,其中 q_m 为质量流量, l 为网格点之间的距离,根据能量守恒可得式(17),利用此式反求出 $T_{3,i+1}$ 如式(18)所示,再带入式(14)求得该网格点处的传热量 Q_3 。

$$[0095] \quad \frac{Q_3 l}{q_m} = (T_{3,i+1} - T_{3,i}) c_p \quad (17)$$

$$[0096] \quad T_{3,i+1} = \frac{R_{e3}lT_{1,i+1} + R_{e3}lT_{1,i} - R_{e3}lT_{3,i} + 2R_{13}lT_e - 2R_{13}lT_{3,i} + 2R_{13}R_{e3}c_p q_m T_{3,i}}{2R_{13}R_{e3}c_p q_m + R_{e3}l + R_{13}l} \quad (18)$$

[0097] (3) 单管传热模型

[0098] a) 干度不为0或1 (饱和状态)

[0099] 注入段10后部温度与传热量的求解:

[0100] 计算方法类似注入段10前部温度与传热量的求解,只需将式(9)改为式(19)。

$$[0101] \quad Q_{12} = Q_{e1} \quad (19)$$

[0102] 环空段20温度与传热量的求解:

[0103] 环空段20(编号2)计算中由于处于饱和状态,根据流动方程求解出下一段的 $P_{2,i+1}$,进而根据水的温度与压力饱和关系求解 $T_{2,i+1}$,无穷远向环空段20的传热量(W/m)(负值为散热,正值为吸热)由式(20)求得,注入段10后部和环空段20之间的传热量由式(21)求得。 T_e 为对应该网格点的无穷远处温度。

$$[0104] \quad Q_{e1} = \frac{T_e - 0.5(T_{2,i+1} - T_{2,i})}{R_{e2}} \quad (20)$$

$$[0105] \quad Q_{12} = \frac{0.5(T_{1,i+1} - T_{1,i}) - 0.5(T_{2,i+1} - T_{2,i})}{R_{12}} \quad (21)$$

[0106] 上式中的 R_{e2} 为无穷远与环空段20之间的等效热阻由式(22)求得, R_{12} 为注入段10后部与环空段20之间的等效热阻由式(23)求得。

$$[0107] \quad R_{e2} = \frac{1}{2\pi\lambda_{Casing}} \ln\left(\frac{OD_{Casing}}{ID_{Casing}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Casing} \alpha_{2\infty}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{earth}} \ln\left(\frac{D_\infty}{OD_{Casing}}\right) \quad (22)$$

$$[0108] \quad R_{12} = \frac{1}{2\pi\lambda_{Inject}} \ln\left(\frac{OD_{Inject}}{ID_{Inject}}\right) + \frac{1}{\pi OD_{Inject} \alpha_{12}} \quad (23)$$

[0109] 总传热量由式(24)计算求得。

$$[0110] \quad Q_2 = Q_{e2} + Q_{12} \quad (24)$$

[0111] 再参考式(10)应用换热量求得干度 $x_{2,i+1}$ 。

[0112] b) 干度为0或1 (非饱和状态)

[0113] 注入段10前部温度与传热量的求解:

[0114] 计算方法类似注入段10前部温度与传热量的求解,只需将式(16)修改为式(25)。

$$[0115] \quad T_{1,i+1} = \frac{(q_m c_p R_{e1} - 0.5)T_{1,i} + T_e l}{q_m c_p R_{e1} + 0.5l} \quad (25)$$

[0116] 环空段20温度与传热量的求解:

[0117] 该情况下需首先由 $T_{2,i}$ 求解 $T_{2,i+1}$,其中 q_m 为质量流量, l 为微元段长度,根据能量守恒可得式(26),利用此式反求出 $T_{1,i+1}$ 如式(27)所示,再带入式(24)求得该网格点处的传热量 Q_2 。

$$[0118] \quad \frac{Q_2 l}{q_m} = (T_{2,i+1} - T_{2,i}) c_p \quad (26)$$

$$[0119] \quad T_{2,i+1} = \frac{R_{e2}lT_{1,i+1} + R_{e2}lT_{1,i} - R_{e2}lT_{2,i} + 2R_{12}lT_e - 2R_{12}lT_{2,i} + 2R_{12}R_{e2}c_pq_mT_{2,i}}{2R_{12}R_{e2}c_pq_m + R_{e2}l + R_{12}l} \quad (27)$$

[0120] 如图5所示为进行井筒内温度与压力预测的预测结果与现场测试数据的对比结果。

[0121] 根据本发明的用于注采过程的井筒温度与压力的预测方法,不仅适用于水平注采井,也同样适用于垂直注采井,可计算出井筒内流体温度和压力分布情况,解决复杂注采管柱内温度剖面无法预测的难题,为控制井筒内流体温度提供有利依据。

[0122] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

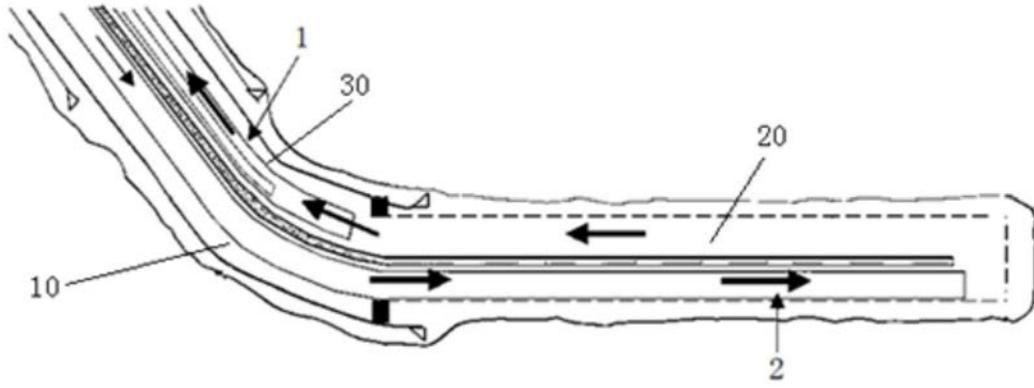


图1

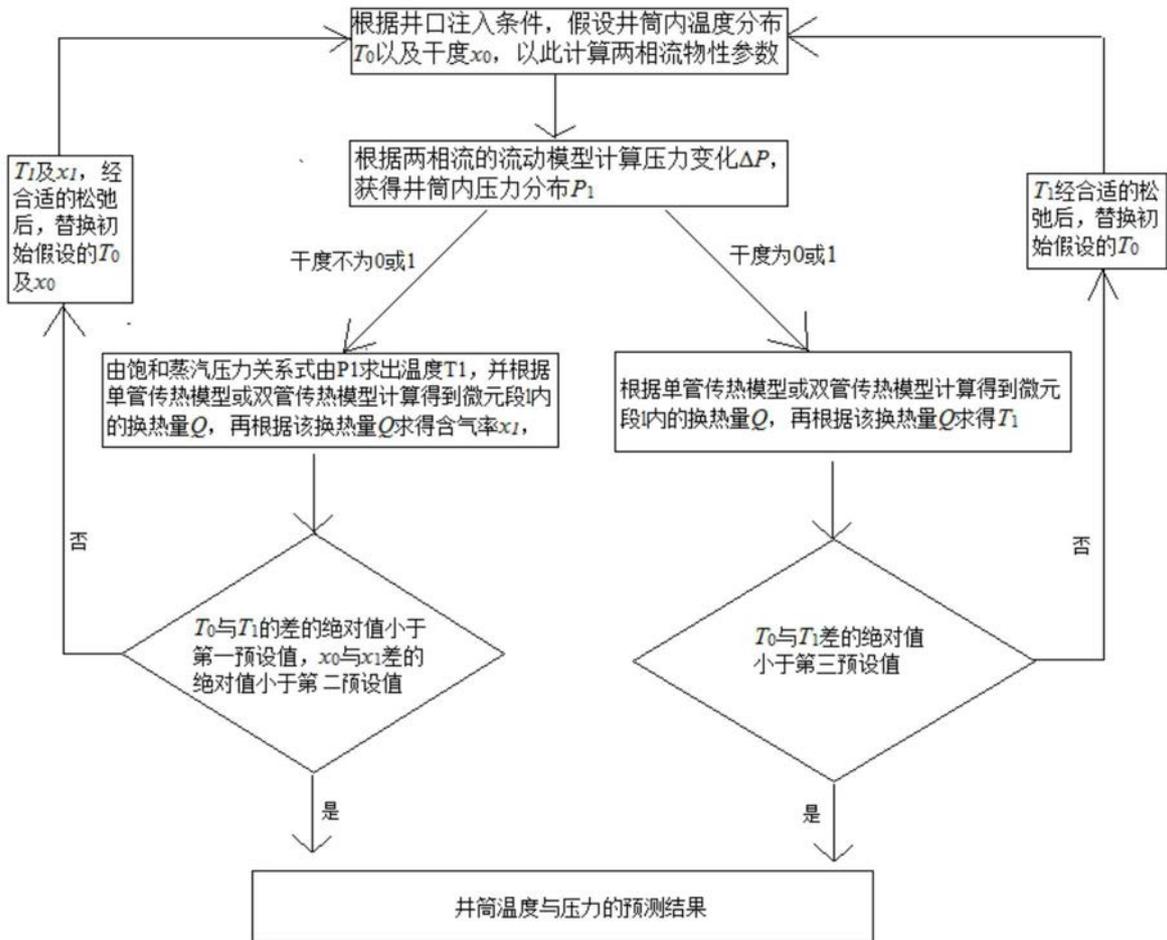


图2

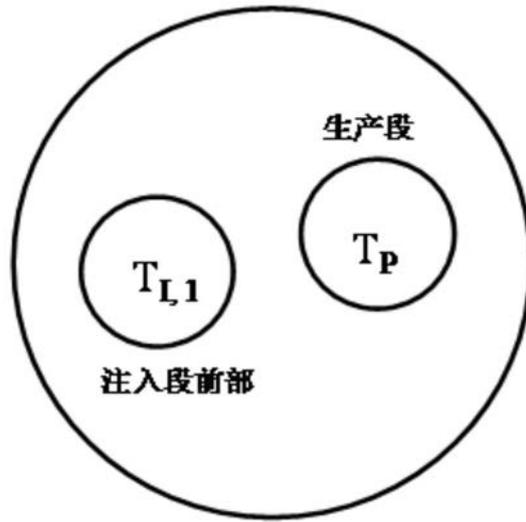


图3

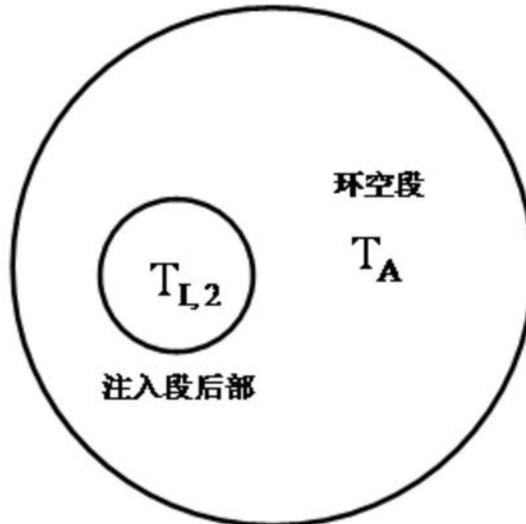


图4

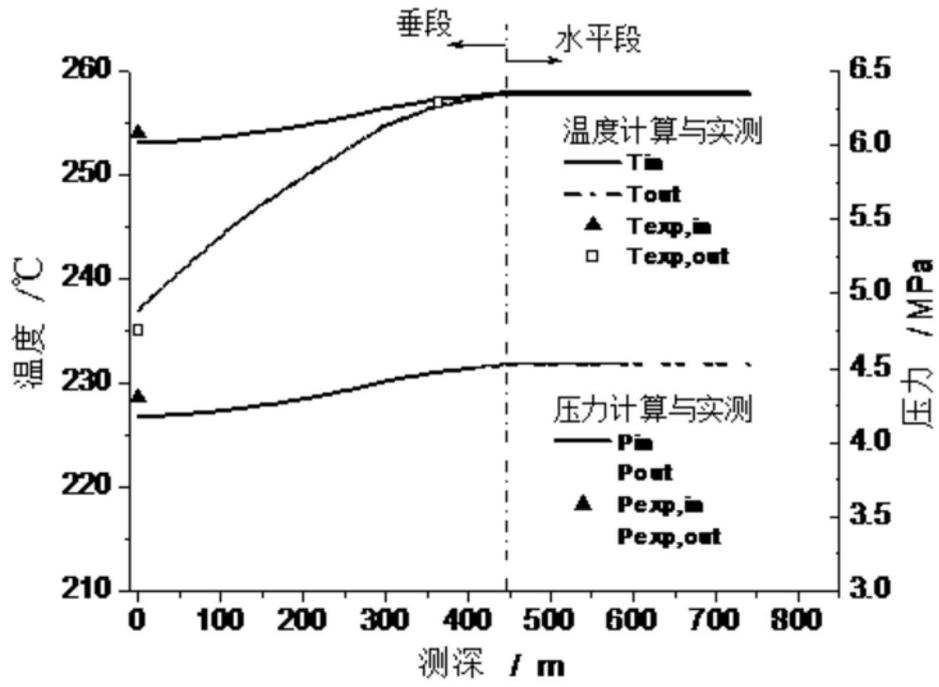


图5