



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110761743 A

(43)申请公布日 2020.02.07

(21)申请号 201810842742.7

G06F 30/20(2020.01)

(22)申请日 2018.07.27

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司石油勘
探开发研究院

(72)发明人 石在虹 柯文奇 牛骏 苏建政

张汝生 郑惠光 岑学齐

(74)专利代理机构 北京聿宏知识产权代理有限

公司 11372

代理人 吴大建 何娇

(51)Int.Cl.

E21B 43/00(2006.01)

E21B 43/16(2006.01)

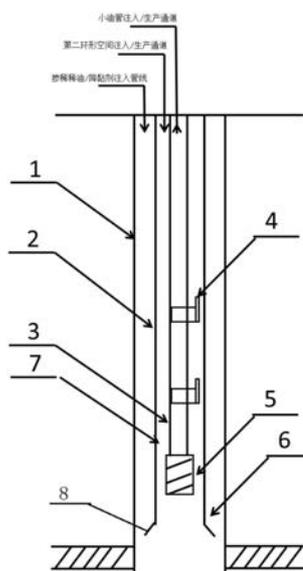
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种稠油掺稀气举工艺管柱及实施方法

(57)摘要

本发明提供了一种稠油掺稀气举工艺管柱,包括设于套管内的双层同心油管柱,所述同心油管柱小油管的管柱上设置有一个或多个气举阀和工作筒,小油管柱底端连接有混配器,套管与同心油管柱的油管之间形成第一环形空间,油管和小油管之间形成第二环形空间。同时,本发明还提供了该稠油掺稀气举工艺管柱的实施方法。本发明的稠油掺稀气举工艺管柱有效利用地层剩余能量,在不压井、不带压的前提下改变生产管柱,提高了掺稀混配效果,利用注入气溶解于原油中,进一步降低了原油密度与粘度,提高稠油井举升效果,降低举升成本,提高了经济效益。



1. 一种稠油掺稀气举工艺管柱,包括设于套管内的双层同心油管柱,其特征在于,所述同心油管柱的小油管的管柱上设置有一个或多个气举阀和工作筒,小油管柱底端连接有混配器,套管与同心油管柱的油管之间形成第一环形空间,油管和小油管之间形成第二环形空间。

2. 根据权利要求1所述的稠油掺稀气举工艺管柱,其特征在于,所述小油管下入深度位于油管管鞋上方。

3. 根据权利要求2所述的稠油掺稀气举工艺管柱,其特征在于,所述第一环形空间为掺稀油/降黏剂注入通道,所述第二环形空间为气举气体注入通道,所述小油管为生产通道或所述第一环形空间为掺稀油/降黏剂注入通道,所述小油管为气举气体注入通道,所述第二环形空间为生产通道。

4. 根据权利要求3所述的稠油掺稀气举工艺管柱,其特征在于,所述套管和油管之间设置有封隔器,所述油管上设置有洗井滑套,所述洗井滑套位于所述封隔器上方。

5. 根据权利要求3或权利要求4所述的稠油掺稀气举工艺管柱,其特征在于,所述掺稀油/降黏剂的用量以及气举气体用量,其确定方法步骤包括:

S1:初步设定注气量范围条件下,模拟分析不同掺稀比、不同注气压力条件下的产量变化情况,优选合理的注气量范围;

S2:在优选的注气压力范围内,模拟分析不同掺稀比、不同注气量和注气深度条件下产量变化情况;

S3:分析吨油成本和掺稀量、注气量之间的关系,优选注气量和掺稀量。

6. 根据权利要求5所述的稠油掺稀气举工艺管柱,其特征在于,所述步骤S1中选取注气量范围在 $20\text{m}^3/\text{h}$ - $1000\text{m}^3/\text{h}$,其中最小注气量确定为:

$$Qg_{min} = \frac{0.9}{\rho_{20}} (Ql * e^{\rho_{20}(-0.0433T + 9.4396)} p^{-0.0007T + 0.8599})$$

其中Q1为日产液量, m^3/h ; ρ_{20} 为 20°C 条件下的密度, g/cm^3 ; T为温度, $^\circ\text{C}$; P为压力,MPa。

7. 一种使用权利要求1至6任一权利要求所述的稠油掺稀气举工艺管柱的稠油掺稀气举工艺实施方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:在油管管鞋起始位置向上2~5m处使用桥塞封堵油气井;

步骤2:向井内下入直径小于油管直径的小油管,小油管下入前按照气举工艺设计参数连接好气举工作筒和气举阀;

步骤3:下入小油管管柱后,由井口向井筒内打压,桥塞堵塞器中心轴下落,联通储层和井筒;

步骤4:向套管与油管之间形成的第一环形空间中注入掺稀油/降粘剂,向油管和小油管之间形成的第二环形空间或小油管内注入气举气体,混合流体由小油管或第二环形空间产出。

8. 根据权利要求7所述的稠油掺稀气举工艺实施方法,其特征在于,所述步骤2中,气举工艺设计参数的确定方法包括:

(1) 确定油管的垂深以及沿着井斜角对应的测深;

(2) 计算井筒的压力分布,并将其确定为对应垂直深度处的压力分布;

(3) 用上一步所得的压力分布,按常规设计方式进行气举设计;

(4) 凡尔分布可按常规方式进行,每级凡尔垂直深度具有一个对应测量深度。

9. 根据权利要求8所述的稠油掺稀气举工艺实施方法,其特征在于,所述步骤(2)中,油管内压力通过多相管流压力计算方法Beggs-Brill公式计算得到:

$$-\frac{dp}{dz} = \frac{[\rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l)]g \sin \theta + \frac{\lambda G v}{2DA}}{1 - [\rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l)]v_{sg}/p}$$

式中: p 为管道的平均绝对压力,Pa; z 为轴向流动的距离,m; ρ_l 为液相的密度, kg/m^3 ; ρ_g 为气相的密度, kg/m^3 ; H_l 为持液率, m^3/m^3 ,持液率为管段与水平线夹角的函数; g 为重力加速度, m/s^2 ; θ 为管道与水平的夹角, $(^\circ)$; λ 为两相流动的沿程阻力系数,无量纲; G 为混合物的质量流量, kg/s ; v 为混合物的平均流速, m/s ; v_{sg} 为气相的折算速度, m/s ; D 为管子的直径,m; A 为管子的截面积, m^2 。

10. 根据权利要求9所述的稠油掺稀气举工艺实施方法,其特征在于,所述步骤(2)中压力分布计算方法步骤包括:

- ①根据给定目标产量和地面生产注气压力,确定出注气点深度和注气量;
- ②从井口压力起,利用多相管流压力计算方法绘制出到注气点处的油管压力分布曲线;
- ③假定井筒内充满压井液,由地面注气压力、井口压力及静液梯度确定出第一级气举阀位置;
- ④从第一级气举阀位置点作向左水平线与油管压力分布曲线相交,交点对应压力即为第一级阀生产时油管压力;
- ⑤将地面注气压力降,作一条平行于注气压力梯度曲线的平行线,压力值范围为0.2~0.5MPa;
- ⑥从第一级阀生产时油管压力处开始作压井液梯度曲线与减去的注气压力梯度曲线相交,交点对应深度为第二级阀位置;
- ⑦从第二级阀位置向左作水平线与最小油管压力线相交,交点压力即为第二级阀生产时油管压力;
- ⑧将地面注气压力降低,作注气压力梯度曲线的平行线,重复⑤~⑦,确定以下各级阀的位置,一直计算到注气点深度以下为止。

一种稠油掺稀气举工艺管柱及实施方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油气田开采技术领域,尤其涉及一种稠油掺稀气举工艺管柱及实施方法。

背景技术

[0002] 我国拥有丰富的稠油资源,是继美国、加拿大和委内瑞拉之后的世界第四大稠油生产国。随着常规油藏逐渐枯竭,各大油田进入高产水甚至超高产水期,稠油的开采将对我国原油产量的保持和增长起到重要支撑作用。然而稠油具有重质组分含量高,温敏性极强,在上千米井筒流动过程中,随着井筒温度逐渐降低,原油粘度极大增加,流动性变差,生产变得困难。通过向井筒中掺入稀油、油溶性、水溶性降粘剂一直是主要的降粘方式,降粘后利用抽油机、电泵、螺杆泵等举升工艺将原油举升至地面。但随着油田增产要求不断提高,稠油产量的稳步上升,掺稀难度加大,掺稀稀油量增加,稀油供应缺口巨大。而化学降黏剂受原油性质和成本的影响,难以具有广泛的适应性。与此同时,伴随着地层压力的下降需要采用抽油机、电泵等将降黏后的稠油举升到地面。

[0003] 由于目前气举采油技术和稠油举升技术对应用于稠油举升中均存在掺稀效率低、稀油用量大,工艺不适应等问题。如何降低掺稀抽油、降黏剂的用量,降低稠油举升成本是实现稠油开采的重点。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种能够有效利用地层能量,降低掺稀稀油用量的稠油掺稀气举工艺管柱及实施方法。

[0005] 本发明的稠油掺稀气举工艺管柱,包括设于套管内的双层同心油管柱,所述同心油管柱小油管的管柱上设置有一个或多个气举阀和工作筒,小油管柱底端连接有混配器,套管与同心油管柱的油管之间形成第一环形空间,油管和小油管之间形成第二环形空间。

[0006] 优选的,所述小油管下入深度位于油管柱管鞋上方。

[0007] 进一步地,所述第一环形空间为掺稀稀油/降黏剂注入通道,所述第二环形空间为气举气体注入通道,所述小油管为生产通道或所述第一环形空间为掺稀稀油/降黏剂注入通道,所述小油管为气举气体注入通道,所述第二环形空间为生产通道。

[0008] 优选的,所述掺稀稀油/降黏剂由油管管鞋处与稠油混合,并流经混配器提高混合效果,气举气体然气由气举阀进入小油管与混合流体进一步混合,并由小油管或第二环形空间产出流体。

[0009] 进一步地,所述套管和油管之间设置有封隔器,所述油管上设置有洗井滑套,所述洗井滑套位于所述封隔器上方。

[0010] 进一步地,所述掺稀稀油/降黏剂的用量以及气举气体用量,其确定方法步骤包括:

[0011] S1:初步设定注气量范围条件下,模拟分析不同掺稀比、不同注气压力条件下的产

量变化情况,优选合理的注气量范围,选取的注气量范围一般在 $20\text{m}^3/\text{h}$ - $1000\text{m}^3/\text{h}$,为保证其效果最小注气量确定为:

$$[0012] \quad Qg_{min} = \frac{0.9}{\rho_{20}} (Ql * e^{\rho_{20}} (-0.0433T + 9.4396)p^{-0.0007T+0.8599})$$

[0013] 其中 Ql 为日产液量, m^3/d ; ρ_{20} 为 20°C 条件下的密度, g/cm^3 ; T 为温度, $^\circ\text{C}$; P 为压力,MPa。

[0014] S2:在优选的注气压力范围内,模拟分析不同掺稀比、不同注气量和注气深度条件下产量变化情况。

[0015] S3:分析吨油成本和掺稀量、注气量之间的关系,优选注气量和掺稀量。

[0016] 其中,优先选取注气量最低时掺稀量作为对比,通过提高注气量替代掺稀量降低,但掺稀量继续降低过程中注气量迅速增加且掺稀量降低至最小值后不能继续降低。

[0017] 本发明还提供了一种稠油掺稀气举工艺实施方法,包括以下步骤:

[0018] 步骤1:在油套管鞋起始位置向上 $2\sim 5\text{m}$ 处使用桥塞封堵油气井;

[0019] 步骤2:向井内下入直径小于原生产管柱直径的小油管,小油管下入前按照气举工艺设计参数连接好气举工作筒和气举阀;

[0020] 步骤3:下入小油套管柱后,由井口向井筒内打压,桥塞堵塞器中心轴下落,联通储层和井筒;

[0021] 步骤4:向套管与油管之间形成的第一环形空间中注入掺稀油/降粘剂,向油管和小油管之间形成的第二环形空间内注入气举气体,混合流体由小油管生产。

[0022] 进一步地,所述步骤2中,气举工艺设计参数的确定方法包括:

[0023] (1) 确定油管的垂深以及沿着井斜角对应的测深;

[0024] (2) 计算井筒的压力分布,并将其确定为对应垂直深度处的压力分布;

[0025] (3) 用上一步所得的压力分布,按常规设计方式进行气举设计;

[0026] (4) 凡尔分布可按常规方式进行,每级凡尔垂直深度具有一个对应测量深度。

[0027] 进一步地,所述步骤(2)中,油管内压力通过Beggs-Brill公式计算得到:

$$[0028] \quad -\frac{dp}{dz} = \frac{[\rho_l H_l + \rho_g (1-H_l)]g \sin \theta + \frac{\lambda Gv}{2DA}}{1 - \frac{[\rho_l H_l + \rho_g (1-H_l)]v_{sg}}{p}}$$

[0029] 式中: p 为管道的平均压力(绝对),Pa; z 为轴向流动的距离,m; ρ_l 为液相的密度, kg/m^3 ; ρ_g 为气相的密度, kg/m^3 ; H_l 为持液率, m^3/m^3 ,持液率为管段与水平线夹角的函数; g 为重力加速度, m/s^2 ; θ 为管道与水平的夹角, $(^\circ)$; λ 为两相流动的沿程阻力系数,无量纲; G 为混合物的质量流量, kg/s ; v 为混合物的平均流速, m/s ; v_{sg} 为气相的折算速度, m/s ; D 为管子的直径,m; A 为管子的截面积, m^2 。

[0030] 进一步地,所述压力分布计算方法步骤包括:

[0031] ①根据给定目标产量和地面生产注气压力,确定出注气点深度和注气量;

[0032] ②从井口压力起,利用多相管流压力计算方法绘制出到注气点处的油管压力分布曲线;

[0033] ③假定井筒内充满压井液,由地面注气压力、井口压力及静液梯度确定出第一级气举阀位置;

[0034] ④从第一级气举阀位置点作向左水平线与油管压力分布曲线相交,交点对应压力

即为第一级阀生产时油管压力；

[0035] ⑤将地面注气压力降，作一条平行于注气压力梯度曲线的平行线，压力值范围为0.2~0.5MPa；

[0036] ⑥从第一级阀生产时油管压力处开始作压井液梯度曲线与减去的注气压力梯度曲线相交，交点对应深度为第二级阀位置；

[0037] ⑦从第二级阀位置向左作水平线与最小油管压力线相交，交点压力即为第二级阀生产时油管压力；

[0038] ⑧将地面注气压力降低，作注气压力梯度曲线的平行线，重复⑤~⑦，确定以下各级阀的位置，一直计算到注气点深度以下为止。

[0039] 与现有技术相比，本发明的稠油掺稀气举工艺管柱，能够有效利用地层剩余能量，在不压井、不带压的前提下改变生产管柱，提高了掺稀混配效果，利用注入气溶解于原油中，进一步降低了原油密度与粘度，提高稠油井举升效果，降低举升成本，提高了经济效益。

[0040] 上述技术特征可以各种适合的方式组合或由等效的技术特征来替代，只要能达到本发明的目的。

附图说明

[0041] 在下文中将基于仅为非限定性的实施例并参考附图来对本发明进行更详细的描述。其中：

[0042] 图1是本发明的稠油掺稀气举工艺管柱无封隔器时第二环形空间注气小油管采液装置示意图。

[0043] 图2是本发明的稠油掺稀气举工艺管柱无封隔器时小油管注气第二环形空间采液装置示意图。

[0044] 图3是本发明的稠油掺稀气举工艺管柱有封隔器时第二环形空间注气小油管采液装置示意图。

[0045] 图4本发明的稠油掺稀气举工艺管柱有封隔器时小油管注气第二环形空间采液装置示意图。

[0046] 图5是本发明的实施例中注气量与掺稀量的对应变化关系图。

[0047] 图6是本发明的实施例中固定产量条件下注气量与掺稀量的关系示意图。

[0048] 在图中，相同的构件由相同的附图标记标示。附图并未按照实际的比例绘制。

[0049] 图中，附图标记为：

[0050] 1、套管；2、油管；3、小油管；4、气举阀及工作筒；5、混配器；6、第一环形空间；7、第二环形空间；8、管鞋油管；9、洗井滑套；10、封隔器。

具体实施方式

[0051] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。需要说明的是，只要不构成冲突，本发明中的各个实施例以及各实施例中的各个特征可以相互结合，所形成的技术方案均在本发明的保护范围之内。

[0052] 如图1-图4所示，本发明的稠油掺稀气举工艺管柱，包括设于套管1内的双层同心油管柱，同心油管柱小油管3的管柱上设置有一个或多个气举阀和工作筒4，小油管4柱底端

连接有混配器5,套管1与同心油管柱的油管2之间形成第一环形空间6,油管2和小油管3之间形成第二环形空间7。第二环形空间7的大小和小油管3内截面积的大小可以根据产量需求来选择。

[0053] 在一个实施例中,小油管3下入深度位于油管管鞋8上方。本发明中的小油管以及气举阀必须下入到合理的深度,使得气液混合所处的温度压力有利于提高混合效率和气相在原油中的溶解度。

[0054] 如图1或图3所示,在一个实施例中,第一环形空间6为掺稀油/降黏剂注入通道,第二环形空间7为气举气体注入通道,此时小油管3为生产通道。气举气体可以为天然气、氮气等气体。其中掺稀油/降黏剂由油管管鞋8处与稠油混合,并流经混配器5提高混合效果,气举气体由气举阀4进入小油管3与混合流体进一步混合,最后由小油管3产出流体。

[0055] 如图2或图4所示,在一个优选的实施例中,也可以是第一环形空间6为掺稀油/降黏剂注入通道,小油管3为气举气体注入通道,此时第二环形空间7为生产通道。

[0056] 如图3或图4所示,在一个实施例中,套管1和油管2之间设置有封隔器10,油管2上设置有洗井滑套9,洗井滑套9位于封隔器10上方,可下入工具开启洗井滑套9。掺稀油/降黏剂由第一环形空间6注入,经洗井滑套9进入第二环形空间7与稠油混合,混合流体经气举之后由小油管3中产出。

[0057] 同样的,也可以气举气体从小油管3注入,而第二环形空间7为生产通道。

[0058] 在一个实施例中,掺稀油/降黏剂的用量以及气举气体用量,其确定方法步骤包括:

[0059] S1:初步设定注气量范围条件下,模拟分析不同掺稀比、不同注气压力条件下的产量变化情况,优选合理的注气量范围;选取注气量范围一般在 $20\text{m}^3/\text{h}$ - $1000\text{m}^3/\text{h}$,为保证其效果最小注气量确定为:

$$[0060] \quad Qg_{min} = \frac{0.9}{\rho_{20}} (Ql * e^{\rho_{20}(-0.0433T + 9.4396)p^{-0.0007T+0.8599}})$$

[0061] 其中, Ql 为日产液量, m^3/h ; ρ_{20} 为 20°C 条件下的密度, g/cm^3 ; T 为温度, $^\circ\text{C}$; P 为压力,MPa。

[0062] 其中,注气量范围在 $20\sim 200\text{m}^3/\text{h}$ 范围内时,注入气体溶解在油里,其效果是通过降低黏度以降低井筒内的压力损失,当注气量在大于 $200\text{m}^3/\text{h}$ 的范围内时,注入气体无法全部融入油内,其效果是以降低摩擦等方式来降低井筒的压力损失。

[0063] S2:在优选的注气压力范围内,模拟分析不同掺稀比、不同注气量和注气深度条件下产量变化情况。

[0064] S3:分析吨油成本和掺稀量、注气量之间的关系,优选注气量和掺稀量。

[0065] 其中,优先选取注气量最低时(图5中A点)掺稀量作为对比,通过提高注气量替代掺稀量降低(图5中B点),但掺稀量继续降低过程中注气量迅速增加且掺稀量降低至最小值后不能继续降低(图5中C点)。

[0066] 在一个优选的实施例中,按照井深 5600m , $2-7/8''$ 油管下深至 2950m 处掺稀气举,通过优化分析得到固定产量 $8\text{m}^3/\text{d}$ 、 $16\text{m}^3/\text{d}$ 、 $24\text{m}^3/\text{d}$ 、 $32\text{m}^3/\text{d}$ 条件下掺稀量和注气量之间的关系如图6所示,从图6中可以得到优化后掺稀量和注气量对应关系,在生产过程中通过调整注气量和掺稀量关系实现掺稀量有效降低。

[0067] 如图6所示,当掺稀量为 $20\text{m}^3/\text{d}$ 、注气量为 $3600\text{m}^3/\text{d}$ 时,产量为 $16\text{m}^3/\text{d}$ 。当掺稀量为 $10\text{m}^3/\text{d}$ 、注气量为 $5200\text{m}^3/\text{d}$ 时,产量为 $16\text{m}^3/\text{d}$ 。通过提高注气量由 $3600\text{m}^3/\text{d}$ 至 $5200\text{m}^3/\text{d}$ 时,掺稀量由 $20\text{m}^3/\text{d}$ 降低至 $10\text{m}^3/\text{d}$,降低50%。为满足不同产量的需求,可以调整下入的小油管尺寸,优化掺稀油及气举气用量,实现稠油井的高效举升。

[0068] 本发明的稠油掺稀气举工艺管柱能够有效利用地层剩余能量,在不压井、不带压的前提下改变生产管柱,提高了掺稀混配效果,利用注入气溶解于原油中,进一步降低了原油密度与粘度,保持气液混合柱高速度流动,提高稠油井举升效果,降低举升成本,提高了经济效益。

[0069] 本发明的稠油掺稀气举工艺管柱的稠油掺稀气举工艺实施方法,包括以下步骤:

[0070] 步骤1:在油管管鞋起始位置向上2~5m处使用桥塞封堵油气井;

[0071] 步骤2:向井内下入直径小于油管直径的小油管,小油管下入前按照气举工艺设计参数连接好气举工作筒和气举阀;

[0072] 步骤3:下入小油管管柱后,由井口向井筒内打压,桥塞堵塞器中心轴下落,联通储层和井筒。

[0073] 步骤4:向套管与油管之间形成的第一环形空间中注入掺稀油/降粘剂,向油管和小油管之间形成的第二环形空间或小油管内注入气举气体,混合流体由小油管或第二环形空间产出。

[0074] 在一个实施例中,步骤2中的气举工艺设计参数的确定方法包括:

[0075] (1) 确定油管的垂深以及沿着井斜角对应的测深;

[0076] (2) 计算井筒的压力分布,并将其确定为对应垂直深度处的压力分布;

[0077] 其中,压力分布计算方法步骤包括:

[0078] ①根据给定目标产量和地面生产注气压力,确定出注气点深度和注气量;

[0079] ②从井口压力起,利用多相管流压力计算方法绘制出到注气点处的油管压力分布曲线;

[0080] ③假定井筒内充满压井液,由地面注气压力、井口压力及静液梯度确定出第一级气举阀位置;

[0081] ④从第一级气举阀位置点作向左水平线与油管压力分布曲线相交,交点对应压力即为第一级阀生产时油管压力;

[0082] ⑤将地面注气压力降,作一条平行于注气压力梯度曲线的平行线,压力值范围为 $0.2\sim 0.5\text{MPa}$;

[0083] ⑥从第一级阀生产时油管压力处开始作压井液梯度曲线与减去的注气压力梯度曲线相交,交点对应深度为第二级阀位置;

[0084] ⑦从第二级阀位置向左作水平线与最小油管压力线相交,交点压力即为第二级阀生产时油管压力;

[0085] ⑧将地面注气压力降低,作注气压力梯度曲线的平行线,重复⑤~⑦,确定以下各级阀的位置,一直计算到注气点深度以下为止。

[0086] (3) 用上一步所得的压力分布,按常规设计方式进行气举设计;(4) 凡尔的分布可按常规方式进行,每级凡尔垂直深度具有一个对应测量深度。

[0087] 关于计算压力损失方法,布朗和贝格斯提出了利用标准的多相流公式,标准的相

关式是类似于下列形式的方程：

$$[0088] \quad \left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{总}} = \left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{举高}} + \left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{摩擦}} + \left(\frac{dp}{dz}\right)_{\text{加速度}} \quad (1)$$

[0089] 井筒流动过程中描述为：

$$[0090] \quad \frac{dp}{dz} = \left[\rho_g \cos \theta + \frac{\rho_m v_m dv_m}{dz} + \frac{f_m \rho_m v_m^2}{2d} \right] \quad (2)$$

[0091] 其中气液混合物的密度按下式计算：

$$[0092] \quad \rho_m = \rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l) \quad (3)$$

[0093] 式中 ρ_m 为气液混合物的密度； H_l 为垂直流相关式的液体持液率（即流道中液体所占的分数）； ρ_g 为气体密度； ρ_l 为液体密度。

[0094] 从式(2)中可知，重力分量与距离之乘积等于位能差，由于垂直深度一样，倾斜井与直井位能差相同，动能差也与距离无关，而摩擦项与沿程距离相关。

[0095] 本发明的步骤(2)中，油管内压力通过Beggs-Brill公式计算得到：

$$[0096] \quad -\frac{dp}{dz} = \frac{[\rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l)] g \sin \theta + \frac{\lambda G v}{2DA}}{1 - \frac{[\rho_l H_l + \rho_g (1 - H_l)] v v_{sg}}{p}}$$

[0097] 式中： p 为管道的平均绝对压力，Pa； z 为轴向流动的距离，m； ρ_l 为液相的密度，kg/m³； ρ_g 为气相的密度，kg/m³； H_l 为持液率，m³/m³，持液率为管段与水平线夹角的函数； g 为重力加速度，m/s²； θ 为管道与水平的夹角，(°)； λ 为两相流动的沿程阻力系数，无量纲； G 为混合物的质量流量，kg/s； v 为混合物的平均流速，m/s； v_{sg} 为气相的折算速度，m/s； D 为管子的直径，m； A 为管子的截面积，m²。

[0098] 虽然已经参考优选实施例对本发明进行了描述，但在不脱离本发明的范围的情况下，可以对其进行各种改进并且可以用等效物替换其中的部件。尤其是，只要不存在冲突，各个实施例中所提到的各项技术特征均可以任意方式组合起来。本发明并不局限于文中公开的特定实施例，而是包括落入权利要求的范围内的所有技术方案。

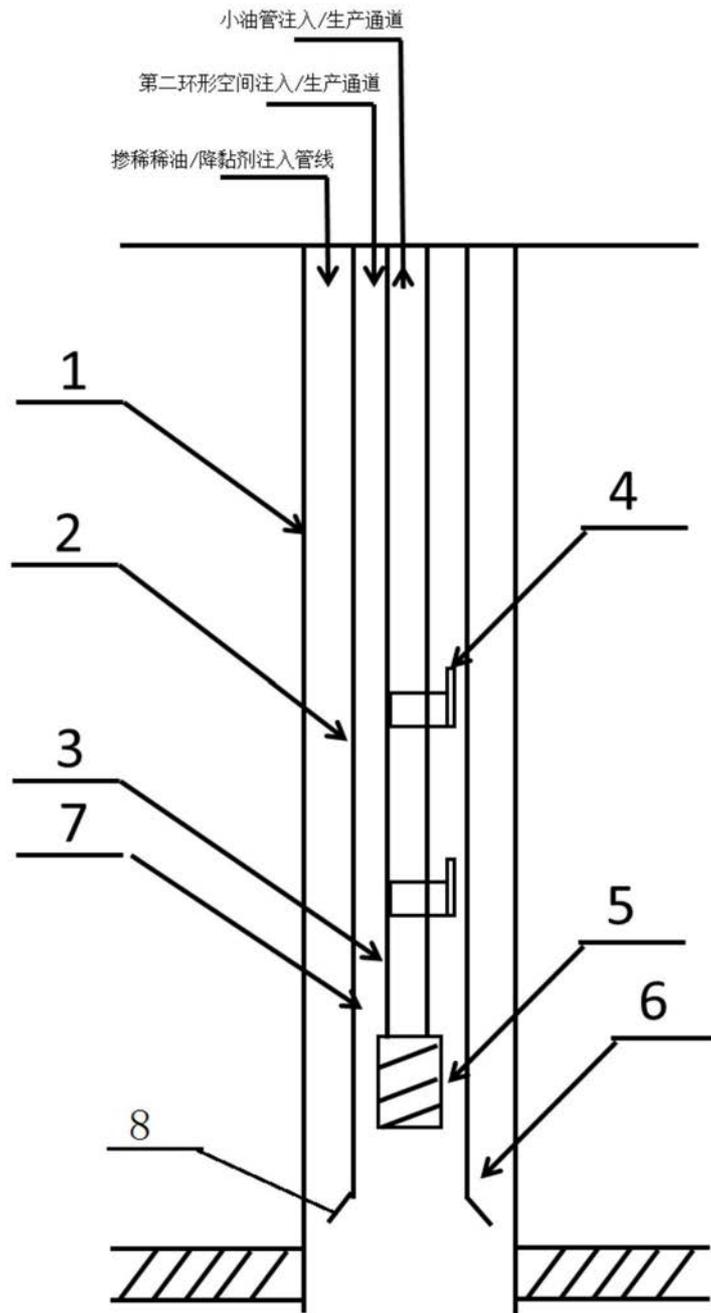


图1

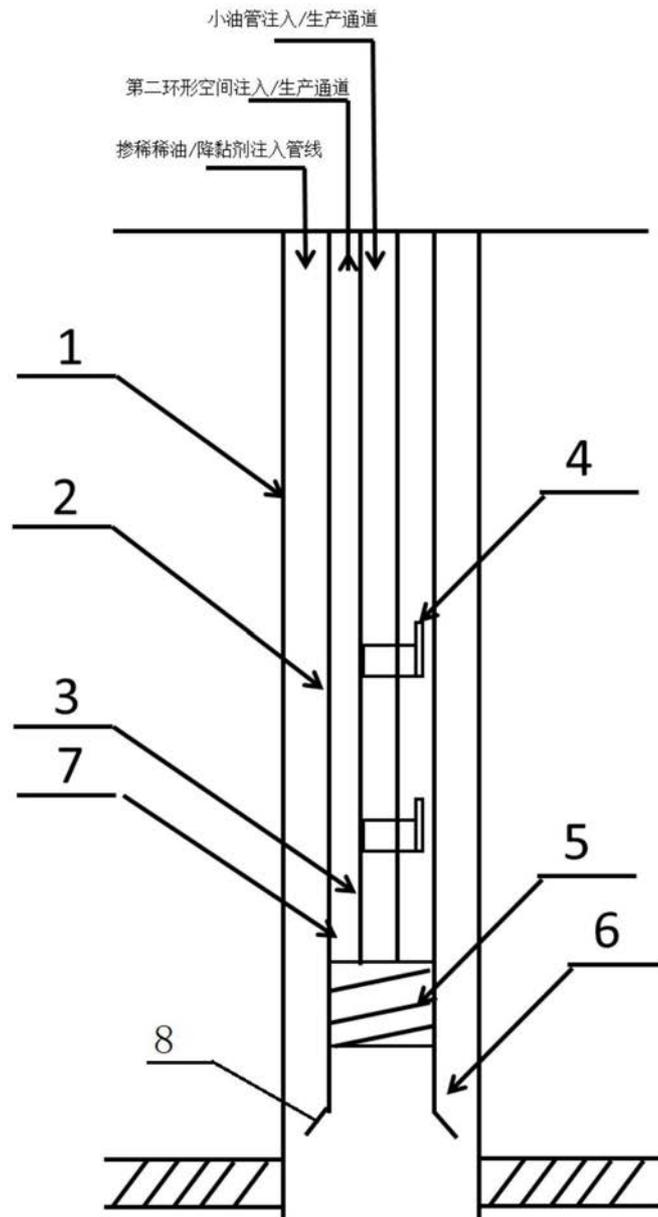


图2

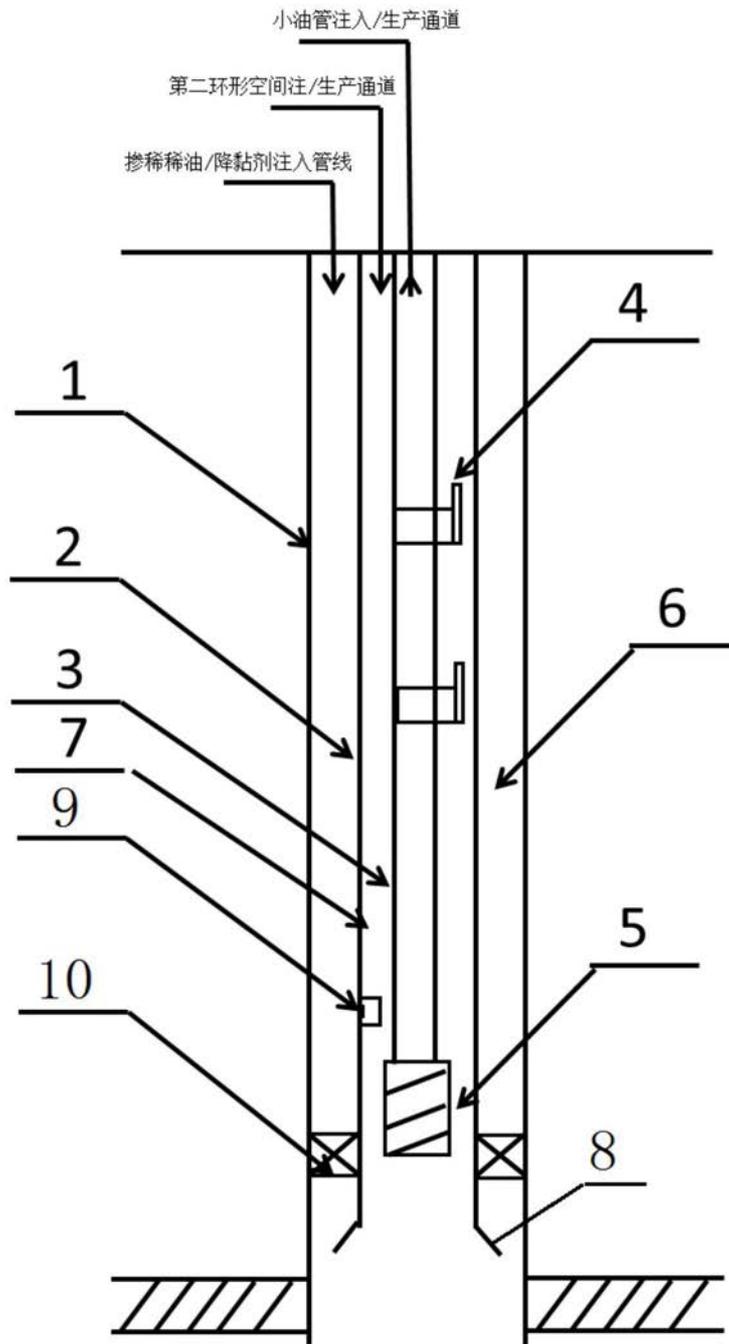


图3

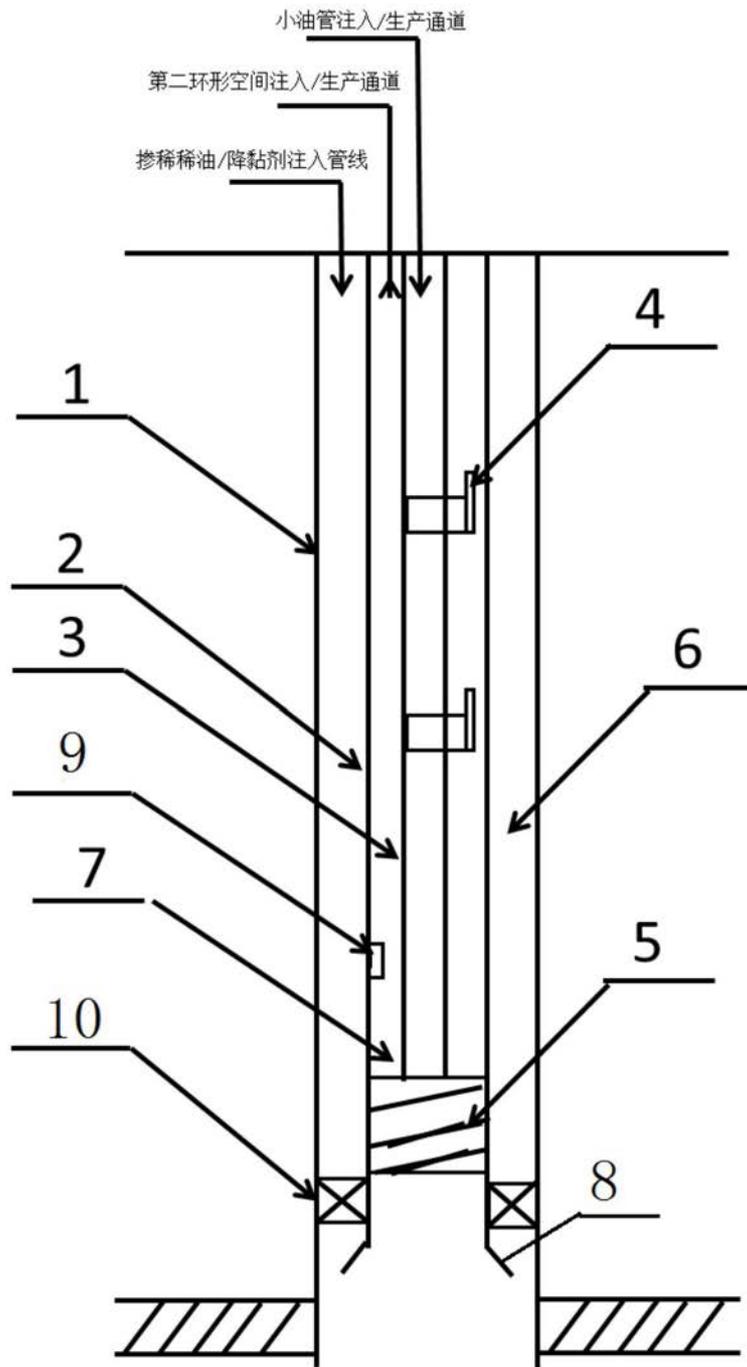


图4

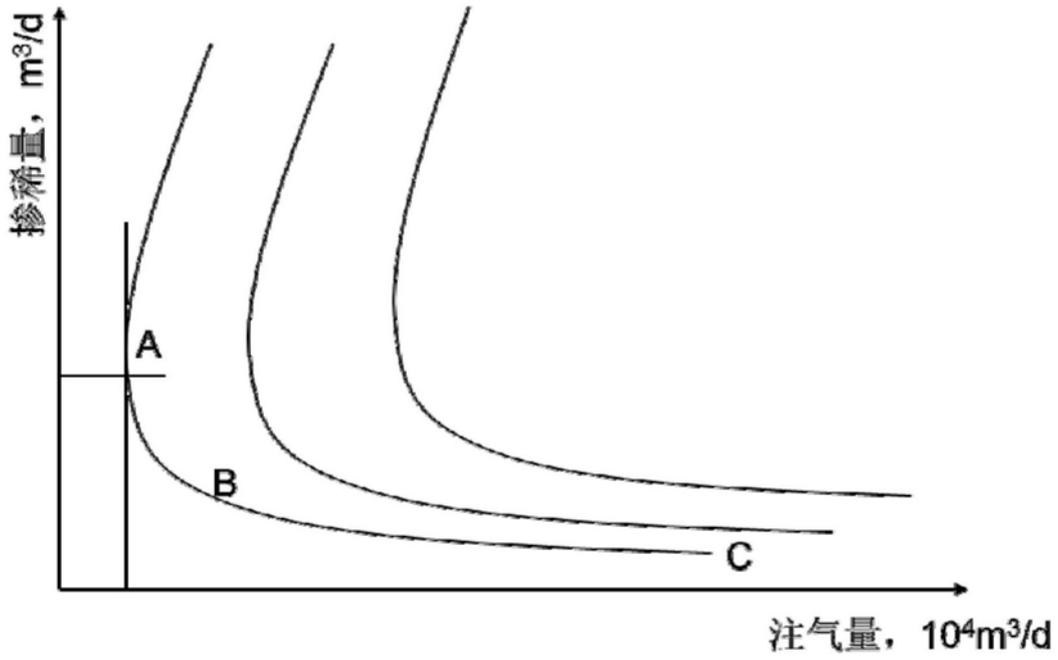


图5

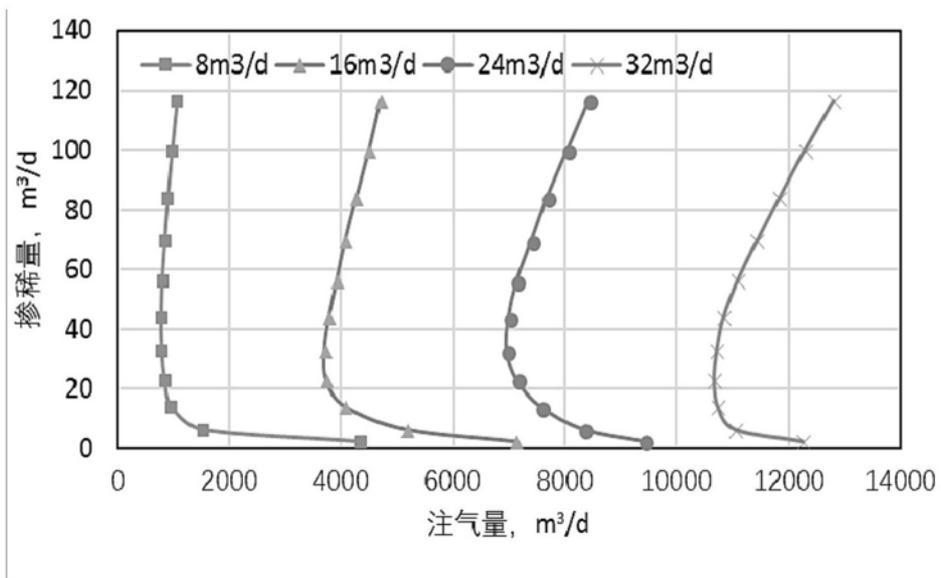


图6