

The Application of Double Tube Pulse Steam Injection Technology in Girasol Oilfield

Lingjun Kong

SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing
Email: ljkong369@163.com

Received: Oct. 28th, 2018; accepted: Dec. 3rd, 2018; published: Feb. 15th, 2019

Abstract

Horizontal well was an effective technology to improve the production in oil wells. In Girasol heavy oilfield of Mansarovar Energy Colombia Ltd, the length of horizontal section is over 600 m. When the conventional steam injection technology was used, the effective operation radius of steam injection was only at the heel of horizontal well, thus 2/3 of the horizontal section could not be effectively heated. Therefore the effective reserves' producing was low in the oilfield and the effect of oilfield development was influenced. For this reason, a double tube pulse steam injection technology was introduced in Gireasol Oilfield, and downhole steam distribution device and double tube pulse steam injection tubing string were used for steam injection from heel and toe simultaneously of the horizontal well for the realization of even steam injection and even distribution of oil production. This technology has applied in Girasol, Abarco and Under River oilfields, good results are all achieved. It has good promotion value and application prospects in steam injection of long horizontal wells.

Keywords

Horizontal Well, Long Horizontal Section, Heavy Oil Reservoir, Double Tube Pulse, Even Steam Injection Technology

双管脉冲注汽技术在Girasol油田的研究应用

孔令军

中国石化石油工程技术研究院, 北京

作者简介: 孔令军(1969-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油田开发方面的工作。

Email: ljkong369@163.com

收稿日期: 2018年10月28日; 录用日期: 2018年12月3日; 发布日期: 2019年2月15日

摘要

水平井技术是提高油井产量的有效工艺。哥伦比亚圣湖能源公司Girasol的稠油油田, 水平井段在600 m以上。使用常规蒸汽吞吐注入工艺时, 蒸汽的有效作用半径只在水平井跟部, 将近2/3的水平井段蒸汽根本无法有效加热。从而造成油田储量动用程度低, 影响开发效果。油田引入双管脉冲均匀注汽工艺技术, 利用井下蒸汽分配装置和脉冲双管注汽管柱, 使水平井跟部和趾部同时注汽, 实现了整个储层段均匀注汽, 提高了开发效果。该工艺分别在Girasol、Abarco、Under River油田进行了应用, 均取得较好效果, 在同类油田中具有推广价值。

关键词

水平井, 长水平段, 稠油油藏, 双管脉冲, 均匀注汽工艺

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

Girasol 油田储层主要为第三系始新统 - 渐新统河流相砂岩, 油藏中部平均埋深 410 m, 平均孔隙度 27.2%, 平均渗透率 712 mD, 总体上属于高孔中渗、高孔高渗储层。油藏条件下原油黏度为 5000~6000 mPa·s。该油田 2008 年正式投入商业开发, 是圣湖能源公司第一个大规模使用水平井开发的稠油油田。

2. Girasol 油田长水平段蒸汽吞吐现状

研究表明, 水平井注蒸汽过程中, 蒸汽干度和温度随水平段变长不断变小[1]。根据 Girasol 油田现场 PH05-Hz04 井光纤检测结果, 注入蒸汽时, 高温区集中在水平井的斜井段, 水平段处于相对低温区, 受蒸汽影响较小, 至水平段末端温度已降至基线, 基本不受热, 整个水平段蒸汽作用剖面受热严重不均。因此对于 Girasol 油田长达 600 m 的水平井, 注入蒸汽至水平井末端其温度、干度将会降得很低, 末端难以发挥热采效应, 造成单井控制储量动用程度很低。目前区块采出程度只有 5.09%, 而吞吐周期递减率高达 26.7%, 水平井每米井段日产油量只有 0.004 t, 严重影响开发效果。

3. 长水平井段均匀注汽对策研究

在国内水平井稠油开发双管均匀注汽工艺技术的研究基础上[2], 引进了脉冲均匀注汽工艺。该工艺

与常规双管注汽工艺相比,具有 3 个方面的优点:① 结合了双管注汽和多点注汽的特点[3],满足了跟部和趾部的同时注汽,同时利用脉冲管的孔眼进行多点注汽,实现了均匀注汽的目的;② 将常规的地面蒸汽分配器转移到井下,可以实现注采一体化管柱的要求,减少蒸汽吞吐转周施工作业工作量;③ 蒸汽分配器和脉冲管孔眼可根据油藏特点进行设计,实现对蒸汽的有效控制。

3.1. 脉冲均匀注汽工艺原理

脉冲均匀注汽管柱结构示意图如图 1 所示。脉冲均匀注汽管柱主要部件包括井下蒸汽分配器、脉冲注汽管、中心管以及高温皮碗封隔器等。蒸汽分配器用于连接工作筒与中心管,同时还起到分配压力和蒸汽流量的作用。可以通过控制孔的大小来控制蒸汽注入量,并消除储层压力差的影响,是整个管柱中非常重要的部分。脉冲管是实施均匀注汽的主要部件,其管壁上分布着大小和密度不一的孔眼。可根据井况的不同,理论计算出脉冲管上的孔眼和孔径分布,从而达到对注入蒸汽的有效控制,实现均匀注汽。中心管与蒸汽分配器相连,一直延伸到水平段的顶端,经过蒸汽分配器的分流,一定量的蒸汽沿着中心管注入到水平段的前端,以此实现对整个管柱均匀注汽。皮碗封隔器连接于两节脉冲管之间,是具有弹性的密封元件,用于防止套管内的蒸汽窜流,起到稳定管柱和封隔的作用。

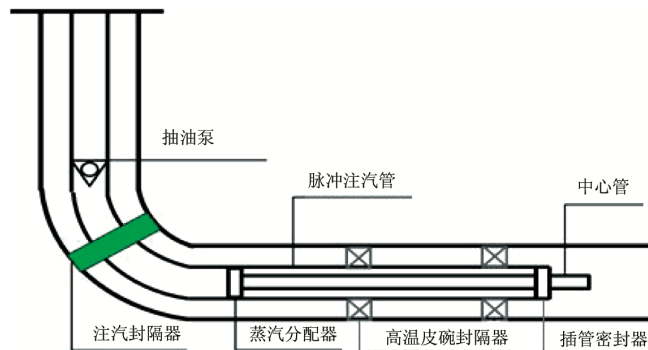


Figure 1. The structure of pulse even steam injection tubing string
图 1. 脉冲均匀注汽管柱结构示意图

蒸汽注入过程中,当蒸汽到达蒸汽分配器时,通过分配器的调节,蒸汽分别进入脉冲管和中心管。进入脉冲管的蒸汽根据管上孔眼的分布频度向储层注汽,进入中心管的蒸汽向趾部进行注汽,从而实现蒸汽同时在水平井跟部和趾部的均匀注汽。

3.2. 脉冲均匀注汽管柱设计

在注汽过程中,井筒与油藏互为边界条件,相互影响,相互制约,构成了一个复杂的井筒-油藏耦合热力学系统。以均衡注汽为目标,建立了水平井均匀注汽工艺优化方法。

3.2.1. 均匀注汽优化原理

通过设计脉冲管泄流孔眼个数来调整蒸汽流经脉冲管时的节流压降,进而控制管外注汽压力[4] [5]。根据液压流体力学研究,节流压降、流过孔眼的流量、孔眼面积三者关系如下:

$$\Delta p_s = \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{C_d A} \right)^2 \quad (1)$$

式中: Δp_s 为节流孔前后压差,即节流压降, Pa; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; Q 为通过节流孔的流体体积流量, m^3/s ; C_d 为薄壁小孔流量系数, 1; A 为薄壁节流孔面积, m^2 。

3.2.2. 均匀注汽优化方法

以均衡吸汽剖面为目标函数，泄流孔眼个数为优化变量，井筒 - 油藏耦合模型为约束条件[6]，建立配注器优化模型如下：

$$\begin{cases} \min f(x) = \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2 \\ \text{s.t. } Q_i = \sum_{i=1}^n Q_i \end{cases} \quad (2)$$

式中： Q_i 为第*i*个配注器的注热量，kJ； \bar{Q}_i 为第*i*个配注器的目标注热量，kJ； Q 为井筒总注热量，kJ。

计算配注器参数时，先确定每个配注器目标注热量 \bar{Q}_i ，再根据井筒 - 油藏耦合模型反算各配注器的泄流面积，最后根据泄流面积计算泄流孔眼个数。

由薄壁节流孔流量公式可知，在流量一定的条件下，节流孔面积越小，节流压降越大。由于蒸汽在水平注汽管柱内流动时存在压力损失和热损失，为了使各配注器注热量相等，需逐渐增大泄流孔面积*A*。

基于以上模型，结合注汽过程中注汽速率、干度、温度等因素的影响，薛世峰等[7]通过《水平井均匀注汽参数优化设计软件》对井下管柱进行优化设计，并自动将基本输入参数和优化结果导入 Word，生成注汽管柱结构设计书。

4. 现场试验应用

2015年，圣湖能源公司在 Girasol 油田 PH03-HZ11 井进行了脉冲均匀注汽的先导试验。该井开发层位为 A11B 小层，水平段长度为 660 m，已吞吐了 7 个周期。基本参数见表 1。

Table 1. The basic parameters of Well PH03-HZ11

表 1. PH03-HZ11 井基本参数

储层深度/m	储层厚度/m	储层初始压力/MPa	储层初始温度/°C	储层渗透率/mD	储层导热系数/(W·(m·°C) ⁻¹)	储层热容/(J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹)	注汽段长度/m	注汽速率/(t·d ⁻¹)	注汽时间/d
427	4.5	4.48	43.3	400	2.2	2500	660	196	20

在跟端单点注汽情况下，油藏温度场数值模拟结果如图 2 所示。储层受热区域集中在跟端注汽口附近，储层受热极不均衡。



Figure 2. The distribution of temperature field of single point steam injection from heel

图 2. 跟端单点注汽油藏温度场分布

采用均匀注汽工艺优化软件，对该井进行多点配注。该井需配置 16 个脉冲管，间距 40 m。从跟端到趾端各脉冲管的泄流孔眼个数见表 2。

优化后的油藏温度场数值模拟结果如图 3 所示。注汽工艺优化后，整个井段全部受热，且各脉冲管的加热范围基本相同，油藏受热范围趋于均衡。

2015 年 11 月对该井进行了脉冲均匀注汽工艺的实施，注汽量基本维持和上周期一致，周期前后生产情况见表 3。可以看出，实施脉冲均匀注汽工艺后，该井吞吐周期生产时间由实施前的 5 个月延长到 10 个月，日产油量由实施前的 11.54 t 增加到 13.37 t，增加了 16%，周期累计产油量提高一倍多。在第 9 周期生产效果仍然明显，吞吐周期长达 11 个月，累计产油 3455.83 t。

Table 2. The result of pulse tube optimization (the pore type corresponds to different apertures)
表 2. 脉冲管优化结果(孔眼型号对应不同的孔径)

编号	型号 1 孔眼数量/个	型号 2 孔眼数量/个	编号	型号 1 孔眼数量/个	型号 2 孔眼数量/个
1	3	1	9	4	1
2	3	2	10	4	1
3	3	2	11	4	2
4	3	2	12	5	0
5	4	0	13	5	1
6	4	0	14	5	2
7	4	1	15	6	2
8	4	1	16	12	0



Figure 3. The distribution of temperature field after the optimization of multi-point steam injection
图 3. 多点注汽优化后油藏温度场分布

Table 3. The status of production both before and after pulse steam injection in Well PH03-HZ1
表 3. PH03-HZ11 井脉冲注汽前后生产情况表

日期(年-月)	周期/轮次	月产油量/t	月产水量/t	蒸汽注入量/m ³
2015-06	7	98.78	139.33	311526
2015-07	7	148.92	876.25	
2015-08	7	549.78	1282.87	
2015-09	7	602.39	469.23	
2015-10	7	329.90	235.64	
2015-11	8	135.49	736.10	309432
2015-12	8	246.87	1222.18	
2016-01	8	615.27	645.27	
2016-02	8	671.57	395.38	
2016-03	8	468.95	264.27	
2016-04	8	449.91	230.71	
2016-05	8	410.04	250.16	
2016-06	8	384.15	325.10	
2016-07	8	392.78	279.89	
2016-08	8	246.05	169.20	

该工艺技术在 Girasol、Abarco 以及 Under river 油田等 4 口水平井进行了试验应用, 均取得了较好的增产和增效效果。单井周期平均日增油量最高值为 4.93 t, 增加了 62%; 最小值为 0.96 t, 增加了 13.7%。平均单井周期累计增油量为 808 t。

5. 结论

1) 根据油田油藏及目前水平井长水平段的特点, 设计了双管脉冲均匀注汽工艺, 实现了长水平段稠油油井的高效开发。

2) 创新应用了可调井下蒸汽分配器和脉冲管, 实现了蒸汽在储层段的均匀注入; 同时改变了双管注汽对注采一体化管柱的限制, 减少了蒸汽吞吐转周作业工作量。

3) 形成了水平井均匀注汽配套技术的应用模式, 在 Girasol、Abarco 以及 Under river 油田等 4 口水平井进行了试验应用, 均取得了较好的增产效果。

参考文献

- [1] 席长峰, 马德胜, 李秀峦. 蒸汽吞吐水平井井筒流动动态研究及应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(6): 78-81.
- [2] 林军, 张勇, 张洪弛. 水平井双管注汽工艺技术[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(6): 66-68.
- [3] 范英才. 稠油水平井多点注汽技术[J]. 中外能源, 2010, 10(15): 57-59.
- [4] 周明升, 曹建新. 双管注汽技术在稠油水平井开发中的研究应用[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(5): 81-82.
- [5] 李娜. 水平井双管注汽技术在孤东油田的研究与应用[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 12(16): 109-110.
- [6] 胡英才, 刘若虚, 李家明, 等. 易起式水平井均匀注汽管柱的研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(6): 94-96.
- [7] 薛世峰, 王海静. 水平井均匀注汽工艺研究及软件开发[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(1): 38-41.

[编辑] 鲁大丽

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jogt@hanspub.org