

连续油管拖动喷射酸化在普光高含硫气田的应用

王建青

(中国石化中原油田分公司石油工程技术研究院,河南 濮阳 457001)

摘要:普光气田单井储层物性差异大,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类层交互发育,非均质性较强,平面展布变化大,气井投产采用酸压、生产一体化永久式管柱。针对个别井投产后出现生产压差较大,产剖测试储层动用程度低的问题,在不动管柱条件下,研发了高抗硫小直径旋转喷枪,采用连续油管拖动酸化,可实现任意层段喷射,通过酸液溶蚀、压力挤入、冲击波扰动三重效果改善产气剖面。该技术在P101-3井成功应用。

关键词:普光气田;酸化;长井段;连续油管;小直径;旋转喷枪

中图分类号:TE931 **文献标志码:**A

Application of coiled tubing driven jet acidification in Puguang high sulfur gasfield

WANG Jianqing

(Petroleum Engineering Technology Research Institute of Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang 457001, China)

Abstract: In Puguang Gasfield, the physical properties of single well reservoirs are quite different. Type I, II, and III layers are alternately developed, with strong heterogeneity, and large changes in plane distribution. Gas wells are put into production using acid fracturing and production integrated permanent pipe strings. In view of the problems of large production pressure difference after the production of individual wells and low production rate from the production profile test, the high-sulfur-resistant rotary spray gun with small diameter was developed under the condition of the fixed pipe string, and the coiled tubing was used to drive acidification, which can realize spraying at any interval, and improve the gas production profile through the triple effects of acid dissolution, pressure squeezing, and shock wave disturbance. This technology was successfully applied in P101-3 well.

Key words: Puguang Gasfield; acidizing; long well segment; coiled tubing; small diameter; rotary spray gun

1 普光气田概况

1.1 地质概况

普光气田是国内发现的规模最大的海相整装气田,是国家“十一五”重大工程之一,“川气东送建设工程”的主供气源,属超深层、高含硫、中孔、低渗透、构造-岩性气藏。

气藏埋藏深(大于4 500 m)、储层跨度大(最大838.8 m),钻遇气层厚度为151.2~419.1 m(垂厚),射孔厚度平均293.1 m, H_2S 体积分数15.16%、 CO_2 体积分数8.64%^[1]。

由于储层高含 H_2S 、 CO_2 , 气井投产采用酸压、生产一体化永久式管柱。随着生产运行,个别井投产后出现生产压差较大、产剖测试储层动用程度低的

问题,针对这种情况,在不动管柱条件下,为改善产气剖面,研发了高抗硫小直径旋转喷枪,采用连续油管拖动喷射酸化,可实现任意层段定点改造,有效提高了改造精度。

1.1.1 储集空间与孔隙结构

储层以大孔粗喉型、大孔中喉型、中孔细喉型为主,局部有裂缝发育,其中飞三段:以微孔微喉型为主,孔隙结构较差;飞一段—飞二段:以大孔粗

收稿日期:2020-05-06;改回日期:2020-09-21。

作者简介:王建青(1987—),工程师,从事储层改造技术研究工作。E-mail:509422005@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项《高含硫气藏安全高效开发技术》之课题《高含硫气藏改善储层动用状况工程技术研究》(2016ZX05017-002)

喉、大孔中喉型为主,孔隙结构好;长兴组:以大孔中喉型、中孔细喉型为主,孔隙结构不好。

1.1.2 钻遇储层情况

普光气田Ⅱ+Ⅲ类储层占90.11%,Ⅰ类储层占9.89%。其中:Ⅱ类储层渗透率 $(1\sim10)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,Ⅲ类储层渗透率 $(0.1\sim1)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,Ⅰ类储层渗透率不低于 $10\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

储层物性以飞一二段较好,其次长兴组,最差飞三段,非均质性强,储层孔隙度1.01%~23.05%,渗透率 $(0.001\ 3\sim9\ 664.89)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

1.1.3 气藏温度、压力及流体性质

压力系数:1.00~1.18,为常压系统。气藏温度:1.98~2.21℃/100m,为低温系统。流体性质:以甲烷为主,属于高含H₂S、中含CO₂的气藏。

1.2 面临的技术难题及技术对策

1.2.1 面临的技术难题

普光气田高含H₂S、中含CO₂,完井管柱是带有永久式封隔器的一次性管柱,在不动管柱的条件下,难以实施潜力层针对性措施。

1.2.2 技术对策

在不动管柱条件下,研制抗硫小直径旋转喷枪,采用过油管连续油管拖动酸化工艺,实现潜力层针对性喷射酸化。

2 连续油管喷射酸化选井选层原则

2.1 选井原则

通过气井生产动态分析,结合产气剖面测试,优选具有剩余可采储量、产量下降快、层内、层间动用程度不均的井,主要包括:

(1)相同部位,储层动用程度低的井:根据生产

动态和产剖测试分析,应选择长兴组、飞三段动用程度低的井。

(2)产剖测试结果储层动用不均的井:根据生产动态和产剖测试分析,选择Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类储层交互发育、产量低、产层动用不均的井。

(3)同一平台生产压差大的井:根据生产测井产剖结果,选择表皮系数大,存在污染的井。

2.2 选层原则

根据生产测井产剖测试结果,优选未动用Ⅰ、Ⅱ类层做为喷射酸化层段。

3 连续油管拖动喷射酸化工艺

不动管柱条件下,在泵注酸液的同时,上下拖动连续油管,可实现任意层段喷射酸化,通过酸液溶蚀、压力挤入、冲击波扰动三重效果改善产气剖面。

3.1 连续油管的优选

连续油管的选择综合考虑防卡、防腐、可作业深度及作业安全要求等因素。

3.1.1 连续油管材质

须满足对地层流体和作业流体的耐腐蚀性能要求。根据不同材质连续油管室内腐蚀实验结果、前期近20口井冲洗作业实际腐蚀效果评价,以及高含硫气井流体性质,采用QT-800、QT-900连续油管(低碳合金钢)。

3.1.2 连续油管规格

有效使用长度满足目的层深度工艺要求,以利于降低冲洗泵压和提高施工排量,连续油管受力分析^[2]见表1。

表1 连续油管性能参数

型号	外径/mm	壁厚/mm	内径/mm	内屈服压力/MPa	拉伸载荷/kg	水压试验/MPa
QT-800	31.75	2.2~4.4	27.3~22.9	72.4~150	12 980~24 130	57.9~103.4
QT-900				81.4~168.8	14 130~26 270	64.8~103.4
QT-800	38.1	2.4~5.2	33.3~27.8	66.2~145.6	17 120~33 770	53.1~103.4
QT-900				74.5~163.8	18 640~36 770	59.3~103.4
QT-800	44.5	2.8~5.2	38.9~34.1	65.6~124.8	22 940~40 270	52.4~100
QT-900				73.8~140.4	24 980~43 860	59.3~103.4

3.2 冲洗酸配方优化

根据连续油管室内腐蚀实验评价结果,结合多口井连续油管作业实际使用情况,优化冲洗酸

配方。

冲洗酸:12%HCl+2%醋酸+1.5%铁稳剂+1%高效起泡剂+8%缓蚀剂。

3.2.1 增大缓蚀剂浓度

通过 QT-800 连续油管腐蚀实验分析,增加缓蚀剂浓度,能提高缓蚀效果,因此将缓蚀剂质量分数提高为 8%(见表 2)。

表 2 缓蚀剂浓度实验结果(90℃)

冲洗酸缓蚀剂质量分数	反应时间/min	失重/g	面积/cm ²	腐蚀速率/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)
3%	320	0.419	62.35	12.68
5%	320	0.358	62.35	10.83
7%	320	0.242	62.35	7.32
8%	320	0.149	62.35	4.51

3.2.2 降低连续油管服役温度

根据不同温度下连续油管腐蚀实验结果(见表 3),降低温度可有效降低腐蚀速率。施工中采用加大酸液排量等措施降低温度。

表 3 连续油管服役温度实验结果

温度/℃	腐蚀速率/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)
90	4.51
100	5.78
110	7.73

续表 3 连续油管服役温度实验结果

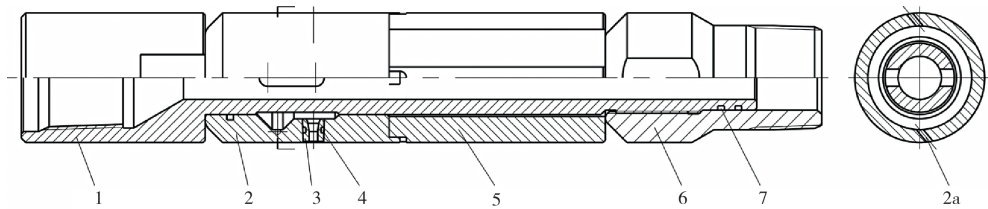
温度/℃	腐蚀速率/(g·m ⁻² ·h ⁻¹)
115	14.89
137	47.18

注:实验液体配方为 12% 盐酸+2% 醋酸+1.5% 铁离子稳定剂+1% 高效起泡剂+8% 高温酸化缓蚀剂;QT-800 油管。

3.3 小直径旋转喷枪

设计液流驱动小直径旋转式喷枪^[3],材质 718 合金材料,优选动力喷嘴 2 个(40°),直径 2.5 mm;直喷喷嘴 2 个,直径 4 mm。

旋转喷枪结构如图 1 所示,主要由上端设有管螺纹的中心管、旋转套、减阻套和下接头组成,中心管的下端与下接头螺纹密封连接,旋转套和减阻套装在中心管上;喷嘴设置在旋转套上,包括直喷喷嘴和动力喷嘴。入井时,中心管的上端与投送管柱连接,下接头与射孔枪串连接。工作时,由于中心管和旋转套之间采用径向非接触式密封^[4],漏失量极小,所以井口泵送的液体主要从直喷喷嘴和动力喷嘴处流出,作用在动力喷嘴上的液流形成旋转扭矩促使旋转套旋转,通过直喷喷嘴的液流形成较大射流冲洗力清洗目标层孔眼^[5]。



1.中心管; 2.旋转套; 2a.动力喷嘴; 3.直喷喷嘴; 4.减阻套; 5.下接头; 4、7. “O” 型密封圈

图 1 旋转喷枪结构

3.4 喷射酸化工艺设计

3.4.1 喷射酸化管串结构

管串结构(从上至下): 44.5 mm 连续油管+Ø 44.5 mm 转换接头+ Ø44.5 mm 单流阀+液压丢手+Ø 60 mm 高抗疏旋转式水力喷枪。

3.4.2 设计思路

- (1)根据产剖测试结果优选物性好、未产出或产出程度低的储层为目的层。
- (2)管串初始下放速度小于 5 m/min;过井下安全阀后,下放速度不大于 25 m/min;复杂井段(如造斜点、完井工具)提前 50 m 下放速度控制在 10 m/min 以内;下放到目的层段喷射酸化速度为 1.5~2 m/min^[6]。

- (3)遇阻加压直井段加压不宜超过 1 t,连续探测 3 次;若中途遇阻,则上提 2~3 m,采用冲洗酸冲洗。若仍遇阻不能下入,则上提连续油管冲洗。
- (4)连续油管喷射酸化施工排量为 0.2~0.4 m³/min。
- (5)起管过程中,管串上提初始速度不大于 5 m/min;直井段上提速度不大于 15 m/min;复杂井段(如造斜点、完井工具、管鞋位置等)提前 50 m 上提速度控制在 10 m/min 以内;起至距离井口 150 m 左右,放慢上提速度,离井口 50 m 将上提速度降至 5 m/min。

4 现场应用

普光气田P101-3井是第一口试验井,施工时旋转喷枪的喷射排量达0.2~0.45 m³/min,喷射酸化层段为飞仙关组5 715.1~5 863.1 m,合计59.1 m/10 n,其中Ⅰ类气层14.9 m/3 n,Ⅱ类气层44.2 m/7 n。

连续油管下放速度不高于25 m/min,冲洗速度为2~2.2 m/min;管柱上提初始速度不高于15 m/min;冲洗速度为1.5 m/min。

措施后在相同日产气量下,油压由10.8 MPa升至12.3 MPa,有效降低了产出气从地层流入井筒的阻力,喷射酸化效果良好,能够满足现场应用要求。

5 结论与认识

(1)连续油管拖动酸化工艺技术及旋转式水力喷射工具在P101-3井的现场应用,验证了该工艺在普光气田的可行性。

(2)缓蚀剂缓蚀效果基本满足施工需要,保障

了现场施工的安全可靠。

(3)随着普光气田的高效开发,地层压力逐渐降低,现场采用连续油管拖动喷射酸化,需要增加后续诱喷工艺。

参考文献:

- [1] 张培东,鲁宜全.普光气田气藏特征分析[J].油气井测试,2009,18(3):21-24.
- [2] American Society of Petroleum Engineers.美国石油工程师学会转载丛书之38-连续油管技术[M].博阳朝,译.北京:石油工业出版社,2000.
- [3] 代成建.小直径旋转喷枪酸化解堵技术研究[D].北京:中国石油大学(北京),2016.
- [4] 李根生,沈忠厚,彭烨.自动旋转喷嘴的理论研究[J].石油学报,1995,16(4):148-153.
- [5] 吕维平,刘菲,盖志亮,等.连续管旋转射流油管除垢技术研究和应用[J].石油机械,2014,42(5):80-83.
- [6] 裴楚洲.连续油管拖动酸化技术应用研究[D].成都:西南石油大学,2009.

(编辑 韩 枫)

(上接第68页)

- [16] 徐艳梅,郭平,黄伟岗,等.剩余油分布的影响因素[J].西南石油学院学报,2005(6):29-32.
- [17] 杨勇.剩余油分布规律影响因素分析研究[J].石油天然气学报,2009,31(1):100-103.
- [18] 邓聚龙.灰理论基础[M].武汉:华中科技大学出版社,2002:158-170.
- [19] 梁涛,常毓文,郭晓飞,等.巴肯致密油藏单井产能参数影响程度排序[J].石油勘探与开发,2013,40(3):357-362.
- [20] 张建宁,孔维军,周均.基于灰色关联法的小断块油藏剩余油主控因素研究[J].油气藏评价与开发,2017,7(5):32-37.
- [21] 沈安琪,高琳琳,刘义坤,等.灰色关联与聚类分析方

法在油层层系优化重组中的应用[J].数学的实践与认识,2019,49(9):130-137.

- [22] 张海翔.海上疏松砂岩油田聚合物驱油藏精细描述及综合调整研究[D].东北石油大学,2018:96-101.
- [23] 李胜利,于兴河,高兴军,等.剩余油分布研究新方法——灰色关联法[J].石油与天然气地质,2003,24(2):175-179.
- [24] 彭得兵,唐海,李呈祥,等.灰色关联法在剩余油分布研究中的应用[J].岩性油气藏,2010,22(3):133-136.
- [25] 高兴军,于兴河,李胜利,等.利用神经网络技术预测剩余油分布[J].石油学报,2005,26(3):60-63.

(编辑 谢 葵)