

页岩气井钢丝作业遇阻原因分析及对策

翁力强

中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司采气一厂 重庆 404020

通讯作者:Email:415339295@qq.com

引用:翁力强. 页岩气井钢丝作业遇阻原因分析及对策[J]. 油气井测试, 2021, 30(1):31-35.

Cite: WENG Liqiang. Stuck causes and measures to improve wireline operation in shale gas wells[J]. Well Testing, 2021, 30(1):31-35.

摘要 页岩气井水平段长、压裂井段多、入井砂液量大,钢丝作业过程中工具串遇阻事件时有发生。在优选入井工具串的基础上,优化工作制度,建立了相应的防治体系,包括合理的下入深度,注入乙二醇、热水与蒸汽等手段,形成了一套钢丝作业在页岩气井中遇阻原因判别方法与解堵措施。经对13口井井口遇阻及18口井井筒遇阻现象分析,准确判断出遇阻原因,并成功解除堵塞。提出的原因分析及对应的防治措施可有效解决钢丝作业遇阻问题,为钢丝作业在页岩气开发中的应用提供技术支持。

关键词 页岩气井; 钢丝作业; 遇阻; 原因分析; 解堵; 水合物; 预防措施

中图分类号:TE353 **文献标识码:**B **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.01.006

Stuck causes and measures to improve wireline operation in shale gas wells

WENG Liqiang

No. 1 Gas Production Plant, Sinopec Jiangnan Oilfield Company, Chongqing 404020, China

Abstract: A shale gas well has a long horizontal section which is fractured in many stages with a large amount of sand-carrying fracturing fluid, so that stuck tools often appear during wireline operation. On the basis of optimizing the tool string, the working system was optimized, and the corresponding measures were taken, such as a reasonable running depth, injecting ethylene glycol, hot water and steam, and finally an effective system for analyzing stuck causes and taking measures was developed for wireline operations in shale gas wells. The stuck causes at the wellheads of 13 wells and in the wellbore of 18 wells have been found, and the blockages were successfully removed. The causes found and the measures taken can effectively improve wireline operation. The system provides technical support for wireline operation in the development of shale gas.

Keywords: shale gas well; wireline operation; stuck tools; cause analysis; blockage removing; hydrate; preventive measures

涪陵页岩气田几乎所有气井均经过大型水力分段压裂改造,产层裂缝发育、水气关系复杂、各段簇产气能力不均衡,生产中存在压力递减速度较快、出水等问题,通过开展气井动态监测,跟踪气井生产动态、深化气藏动态分析研究就显得十分必要。其中,井下钢丝作业在气田动态监测资料录取过程中发挥了重要的作用^[1-2]。钢丝作业技术是利用钢丝操作井下存储式压力计或井下工具,从而录取气井的压力、温度等资料,用于气井动态分析、产能评价等方面,成为了气井动态监测的一种重要手段^[3]。近年来,钢丝作业技术因其设备简单、操作方便、成本低及可开展带压作业等优点,广泛应用于钢丝试井作业、柱塞卡定器及井下节流器投捞作业中,推广效果较好,为气田开发提供了技术支撑。

1 钢丝作业技术的应用

目前钢丝作业技术在页岩气井中的应用主要有钢丝试井作业、柱塞卡定器投捞作业与井下节流器投捞作业^[4-6]。

1.1 钢丝试井作业

主要包括气井流压测试、静压测试、产能试井、压力恢复试井、干扰试井、微注入测试等动态监测工作中。已成功开展千余井次的常规流静压测试,百余井次的试井作业,数次干扰与微注入监测。

1.2 柱塞卡定器投捞作业

涪陵页岩气井有部分产气井仍在持续返液,但气井又不能依靠自身能量正常待液,特选取了产液量10~20 m³/d的页岩气井开展钢丝下入柱塞卡定

器,已成功开展 20 余井次的柱塞卡定器投捞作业,取得了较好效果。

1.3 井下节流器投捞作业

井下节流器的使用非常有利于气井的后期开发,一方面可以减小地面输气压力,降低输气风险;另一方面可以减少水套炉的使用,降低水套炉投入成本及自用气消耗。已成功开展 10 余井次的井下节流器的投捞作业。

2 遇阻位置及原因分析

钢丝作业在页岩气井中遇阻的主要位置有采气树附近与井筒管柱内^[7-8]。发生的原因多种多样,主要有工具的选型不合理、井筒杂质较多、水合物堆积等原因^[9-11]。

2.1 采气树附近

在新井测压过程中极易发生井口堵塞,致使测压工作无法开展(表 1)。发生的原因一般为:①井下介质复杂,存在出砂或水合物情况,砂粒或水合物在油管挂附近胶结,造成井下工具在采气树油管挂附近被卡;②防喷装置密封盘根处有沙子或者密封盘根硬化,造成钢丝起下过程中被卡。

表 1 井口遇阻统计表
Table 1 Stuck causes at wellhead

井号	遇阻月份	套压/MPa	油压/MPa	遇阻位置	说明
JY23-2HF	1	23.2	无油管	清蜡与一级总闸之间	关井
JY2-4HF	2	22.0	无油管	井口	开井
JY3-2HF	2	23.8	无油管	一级总闸与大四通之间	开井
JY30-2HF	4	32.0	无油管	一级总闸与大四通之间	关井
JY30-3HF	4	29.0	无油管	一级总闸与大四通之间	关井
JY48-2HF	4	32.9	无油管	井口	关井
JY31-4HF	4	28.8	无油管	井口	关井
JY29-2HF	4	30.0	无油管	井口	关井
JY29-4HF	4	28.0	无油管	井口	关井
JY27-4HF	11	31.0	无油管	一级阀门	关井
JY14-2HF	11	33.8	无油管	大四通	关井
JY14-1HF	11	35.0	无油管	一级与二级之间	关井
JY2-2HF	11	31.2	无油管	一级总闸以上	关井

2.2 井筒管柱内

井筒遇阻是指在油管内或油管鞋以下发生的井下工具被卡现象(表 2)。引起井下遇阻情况主要有以下几种:①井下工具上起时井内异物在工具顶部堆积,致使阻力增大造成遇阻;②井下为复合管串或存在变径接头,井下工具与变径处间隙过小,通过变径部位时形成水合物发生遇阻;③井下油管变形,腐蚀穿孔、结垢或者断裂,井下工具在油管变形,腐蚀穿孔或断裂部位发生遇阻;④井下工具通

过造斜点时因工具较长发生遇阻;⑤因井底杂物在油管内形成粘稠的糨糊状物质,井下工具下入到这些物质时被裹住。

表 2 井筒遇阻统计表
Table 2 Stuck causes in wellbore

井号	遇阻月份	套压/MPa	油压/MPa	遇阻深度/m	说明
JY21-1HF	1	16.0	12.6	1 257	开井
JY21-4HF	1	19.5	17.4	926	开井
JY3-3HF	3	23.6	无油管	673	开井
JY25-3HF	7	26.5	无油管	2 562	开井
JY9-3HF	7	16.0	无油管	2 300	开井
JY28-3HF	10	19.8	21.7	2 400	开井
JY28-3HF	11	15.1	17.2	1 297	开井
JY28-4HF	11	17.3	20.1	2 047	开井
JY27-1HF	11	20.1	19.6	1 030	开井
JY5-2HF	12	19.7	18.1	720	开井
JY3-2HF	12	21.6	无油管	674	开井
JY27-2HF	12	24.4	无油管	2 445	开井
JY33-3HF	12	8.8	14.2	2 030	开井
JY31-2HF	12	19.2	16.9	1 000	开井
JY41-4HF	12	16.0	19.7	1 320	开井
JY52-2HF	12	20.4	15.4	2 057	开井
JY41-2HF	12	13.0	16.6	2 102	开井
JY44-2HF	12	29.7	无油管	923	开井

3 遇阻防治措施

页岩气井钢丝作业遇阻防治措施主要包含优选合理的入井工具串^[12]、合理采用乙二醇以及针对不同的遇阻位置采用对应的防治措施^[13]。

3.1 优选入井工具串

在涪陵页岩气田,钢丝作业施工时,为了保证井下作业安全,主要是油管内最大下入深度 45°,套管内最大下入深度 60°,超过最大下入斜度时试井车的仪表张力下降,井下工具串因管串过长、摩阻过大,仪器无法继续下放。因此,在井筒遇阻预防时,工具串的优选尤为重要。通常情况下,采用(1)式、(2)式来计算下入工具的长度与配重,以保障顺利施工。

涪陵页岩气田气井埋深 2 400~3 200 m,投产前静压平均值 37 MPa,压力系数为 1.5~1.7。在钢丝作业时,考虑气井压力高的特点,施工时需要根据实际情况配置加重杆;加重杆配重不够将造成压力计无法正常下入,加重配重过多会增加入井管串长度,不利于测试工作的开展。因此,施工前,需认真计算配置加重杆的重量。

以 1HF 井为例:

(1)工具串直径:该井为 KQ 78/65-105 MPa 型

采气树,主通径为 78 mm,因该井井中没有生产管柱,采用套管(内径 115 mm)生产,入井工具串的最大直径为 36 mm,所以该工具串能满足下入井底的条件。

(2)工具串长度:根据《川东北酸性天然气气井试井技术规范》分别对入井试井工具串的长度和重量展开计算。

根据试井工具串允许长度(1)式计算 JY1HF 井在 2 330 m 以内的最大允许长度为 13.6 m,而实际准备下入长度为 1.9 m,所以试井工具串下入长度满足要求。

根据不同页岩气井的井况,选择长度、直径与重量合适的入井工具串下入井筒,入井操作时工具串在油管内下入深度的井斜小于 45° ,仅有套管无油管气井下入井下小于 60° 。对于水平井,入井的试井工具串长度受井眼几何形状的限制。入井工具串的最大允许长度计算公式为

$$L_{\max} = 2\sqrt{(D + R_c)^2 - (R_c + d)^2} \quad (1)$$

式中: L_{\max} 为入井的试井工具串最大允许长度,m; D 为油管内径,m; R_c 为斜井轨迹最大曲率半径,m; d 为工具串外径,m。

试井工具上下端的压差与横截面积之乘积即流动天然气产生的上顶力。工具串上下端压力根据天然气环形空间流动(2)式计算,即

$$p_{wf} = \sqrt{p_{wh}^2 e^{\frac{0.069 \phi \gamma_g L}{ZT}} + \frac{1.2893 \times 10^{-8} f q_g^2 \bar{Z}^2 \bar{T}^2 p_{sc}^2 (e^{\frac{0.069 \phi \gamma_g L}{ZT}} - 1)}{(D-d)(D^2 - d^2)^2}} \quad (2)$$

式中: L 为工具串上(下)端在井筒中的深度,m; p_{wf} 为井筒内深度 L 处的流动压力,MPa; p_{wh} 为流动条件下的井口压力,MPa; f 为摩擦系数; q_g 为气井产量, $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; \bar{T} 为井筒天然气平均温度,K; \bar{Z} 为井筒天然气平均偏差系数; r_g 为天然气相对密度; p_{sc} 为标准条件压力(值为 0.101 325),MPa。

根据测算工具串长度以及气井的基本状况(井口压力 24 MPa 时),对该试井工具串进行上顶力的计算,根据计算,该工具串的上顶力为 141.55 N,则至少需要大于该上顶力才能下入井下工具串。

3.2 采用乙二醇溶液预防遇阻

乙二醇能与水任意比例混合,混合物的冰点随乙二醇在水溶液中的浓度变化而变化,浓度在 66% 以下时,随着乙二醇浓度升高冰点降低,但浓度超

过 66% 以后,随着乙二醇浓度升高冰点反而升高(图 1)。考虑到成本以及涪陵页岩气井的状况,小规模使用时采用浓度 66% 乙二醇溶液,大规模使用时可采用低浓度 20% 乙二醇溶液。对首次测试的新井及压力较高的页岩气井可先向井筒内加注浓度为 66% 的乙二醇溶液 50 L,减少水合物的生产^[14-16]。

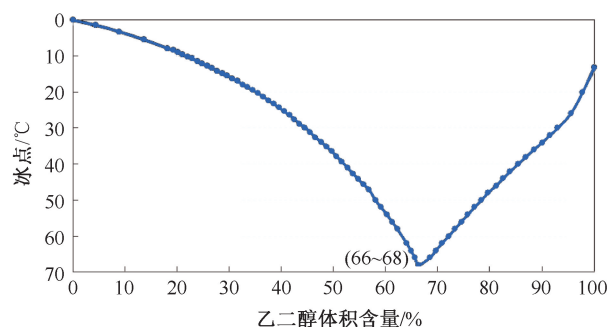


图 1 乙二醇水溶液体积分数的冰点关系图

Fig. 1 Freezing points of volumatic fraction of ethylene glycol aqueous solution

3.3 采气树周缘防治措施

(1)通过防喷装置的注入孔注入乙二醇溶液,利用乙二醇的解冻能力,消除水合物的影响^[17]。

(2)向防喷装置与采气树浇筑热水,提高采气树附近的问题,使水合物融化^[18]。

(3)当注入乙二醇与浇筑热水均失效时,说明遇阻不是由水合物引起,可能为其他杂质或作业残留物堵塞。采用压裂车泵注清水,将采气树附近的堵塞物清洗冲掉(图 2)。

(4)前面三种方法均失效时,可开井或提高气量生产,用气井推力解除遇阻。

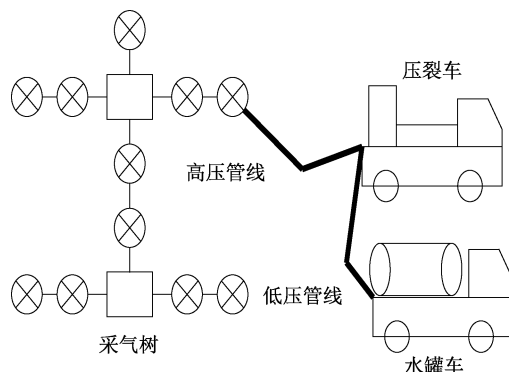


图 2 压裂车向采气树泵入清水示意图

Fig. 2 Schematic process of fracturing trucks pumping clean water to the Christmas tree of a gas well

3.4 井筒管柱内防治措施

(1)首先判断遇阻位置是否由水合物造

成^[19-21]。主要利用 HYSYS 软件、经验公式与 PIPESIM 进行水合物生产预测,判断该位置是否生成水合物(表 3)。

表 3 水合物形成临界温度计算表

Table 3 Critical temperature for hydrate formation

压力/ MPa	HYSYS 软件 预测温度/℃	计算温度/℃	
		教科书公式编程	PIPESIM 软件
32	24.33	21.82	23.07
24	21.74	19.85	20.15
20	19.67	18.64	19.12
16	18.27	17.49	17.83
12	16.61	15.65	16.24
5	12.28	10.22	11.35

(2)遇阻位置离采气树较近时,通过防喷装置的注入孔注入乙二醇溶液解除水合物堵塞;当离采气树较远时,通过压裂车泵入乙二醇溶液,消除水合物。

(3)采用压裂车泵入热水(或添加润滑剂的水溶液),一方面消除水合物,另一方面冲洗掉堵塞物(图 3)。

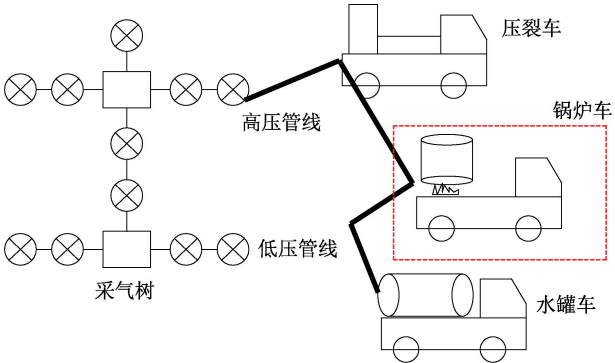


图 3 压裂车向采气树泵入热水示意图
Fig.3 Schematic process of fracturing trucks pumping hot water to the Christmas tree of a gas well

(4)可开井或提高气量生产,用气井推力解除遇阻^[22]。

4 结论

- (1)经过计算采用大小与长度合理的入井工具串,下入的斜度需要加以控制,在油管内控制在 45 度以内,在套管内控制在 60 度以内。
- (2)乙二醇是安全又经济的防冻解冻剂,使用量较少时采用浓度 66%乙二醇溶液,使用量较大时采用浓度 20%乙二醇溶液。
- (3)压力较高的新井首次钢丝作业时,先向井筒内加注浓度为 66%的乙二醇溶液 50 L,减少水合物的生产。

- (4)井口遇阻时可采用缠绕伴热带或蒸汽加热解堵。
- (5)井筒遇阻时除采用机械式的上下活动外,主要采用向井筒内注入清水、热水、乙二醇及润滑剂等方式。

致谢:论文撰写过程中,得到江汉油田分公司采气一厂刘群星技术副厂长的悉心指导,也得到了采气一厂同事们的大力支持,在此表示感谢。

参考文献

[1] 《试井手册》编写组. 试井手册上册[M]. 北京:石油工业出版社,1992:22-53.

[2] 李相方. 高温高压气井测试技术[M]. 北京:石油工业出版社,2007:87-89.

[3] 陈元千. 气井试井理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社,1998:1-4,87-181.

[4] 苏镖,陈波. 超深高含硫气井油管内钢丝打捞作业技术及应用[J]. 油气井测试,2016,25(4):50-52.

SU Biao, CHEN Bo. Technique of fishing broken slick line in ultra-deep high H₂S high pressure gas well and its application [J]. Well Testing, 2016,25(4):50-52.

[5] 沈雪明. 完井作业中的钢丝打捞操作[J]. 中国海上油气(工程),1996,8(5):32-37.

SHEN Xueming. Wireline Fishing Operation in Completion Practice [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 1996,8(5):32-37.

[6] 王克林,杨向同,刘军严,等. 库车山前高压气井钢丝投捞式试井技术[J]. 油气井测试,2018,27(4):15-20.

WANG Kelin, YANG Xiangtong, LIU Junyan, et al. Wireline fishing well testing technology in Kuche Foreland [J]. Well Testing, 2018,27(4):15-20.

[7] 张明. 井下钢丝试井作业过程中遇阻遇卡判断的全新理念[J]. 油气井测试,2015,24(5):64-65.

ZHANG Ming. New ideas to judge the stuck or blocked of down hole steel wire in the process of well testing operation [J]. Well Testing, 2015,24(5):64-65.

[8] 李志新. 测井工程遇卡原因分析与处理[J]. 地球物理测井,1989,13(5):60-61.

LI Zhixin. Analysis and solution of sticking logging tools during logging operation [J]. Geophysical Well Logging, 1989,13(5):60-61.

[9] 田贯三,马一太,杨昭. 天然气节流过程水化物的生成与消除[J]. 煤气与热力,2003,23(10):583-586.

TIAN Guansan, MA Yitai, YANG Zhao. Production and elimination of hydrate in throttling process of natural gas [J]. Gas and Heat, 2003,23(10):583-586.

[10] 张家富,毕全福,郑伟东,等. 气井测试中井筒内流体

- 变化对压力的影响[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(1): 71-73.
- ZHANG Jiafu, BI Quanfu, ZHENG Weidong, et al. The influence of borehole fluid flow changes on pressure data during gas well testing [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(1): 71-73.
- [11] 喻西崇, 赵金洲, 郭建春, 等. 天然气水合物生成条件预测模型的比较[J]. 油气储运, 2002, 21(1): 20-24.
- YU Xichong, ZHAO Jinzhou, GUO Jianchun, et al. The prediction model comparison of gas hydrate formation condition [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2002, 21(1): 20-24.
- [12] 中国石油天然气集团公司. 油气井常规钢丝作业技术规范[S]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- China National Petroleum Corporation. Oil and gas well conventional wireline technical specifications [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [13] 蒋劲松, 谭奇. YB103H 井试井仪器遇卡解卡研究[J]. 油气井测试, 2012, 21(6): 33-35.
- JIANG Jinsong, TAN Qi. Study on stuck and unstuck of well testing instrument in YB103H Well [J]. Well Testing, 2012, 21(6): 33-35.
- [14] 唐雪清. 如何预防气井测试中在井筒形成水合物[J]. 油气井测试, 1996, 5(3): 60-61, 64.
- TANG Xueqing. How to prevent hydrate formation in well-bore during gas well testing [J]. Well Testing, 1996, 5(3): 60-61, 64.
- [15] DALMAZZONE C, HERZHAFT B, LIONEL R, et al. Prediction of gas hydrates formation with DSC technique [C]. SPE 84315, 2003.
- [16] PEAVY M A, CAYIAS J L. Hydrate formation/inhibition during deep-water subsea completion operations [C]. SPE 28477, 1994.
- [17] 王书森, 吴明, 王国付, 等. 管内天然气水合物抑制剂的应用研究[J]. 油气储运, 2006, 25(2): 43-46, 52.
- WANG Shumiao, WU Ming, WANG Guofu, et al. Applied study on gas hydrate inhibitors of gas pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2006, 25(2): 43-46, 52.
- [18] 宋涛, 王进宝. 高压气井测试井口密封工艺技术[J]. 油气井测试, 2001, 10(5): 47-48.
- SONG Tao, WANG Jinbao. Sealing technology for testing wellhead of high pressure gas well [J]. Well Testing, 2001, 10(5): 47-48.
- [19] 陆峰, 曾小军. 高压气井钢丝试井作业天然气水合物的预防对策分析[J]. 钻采工艺, 2018, 41(2): 61-64.
- LU Feng, ZENG Xiaojun. Analysis on prevention measures of gas hydrate in wireline well test of high pressure gas well [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(2): 61-64.
- [20] 金泽亮, 王荣仁, 陈金先, 等. 气井测试水合物的防治研究与应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(4): 54-55, 58.
- JIN Zeliang, WANG Rongren, CHEN Jinxian, et al. Prevention study of hydrate for testing in gas well and its application [J]. Well Testing, 2007, 16(4): 54-55, 58.
- [21] 李中, 杨进, 王尔钧, 等. 高温高压气井测试期间水合物防治技术研究[J]. 油气井测试, 2011, 20(1): 35-37.
- LI Zhong, YANG Jin, WANG Erjun, et al. A study of prevention and control of hydrates during well testing in wells with high temperature and high pressure [J]. Well Testing, 2011, 20(1): 35-37.
- [22] 陆峰. 磨溪龙王庙气藏钢丝试井作业风险及控制措施[J]. 钻采工艺, 2019, 42(3): 117-119, 126.
- LU Feng. Steel wire well test risk and control measures in Longwangmiao gas reservoir, Moxi [J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(3): 117-119, 126.

编辑 穆立婷

第一作者简介:翁力强, 男, 1985 年出生, 工程师, 2008 年毕业于长江大学资源勘查工程专业, 主要从事天然气开发工作。电话: 023-58565375, 17784207407; Email: 415339295@qq.com。通信地址: 重庆市万州区百安大道 48 号, 邮政编码: 404120。