



页岩油水平井压裂后变形套管液压整形技术

张宏峰

Hydraulic Shaping Technology of Deformed Casing after Fracturing in Horizontal Shale Oil Wells

ZHANG Hongfeng

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2023055>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[填砂分段压裂技术在页岩油套变水平井的应用](#)

Application of Staged Sand Filling Fracturing Technology in Horizontal Shale Oil Wells with Deformed Casings

石油钻探技术. 2021, 49(4): 139–142 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021084>

[吉木萨尔页岩油下甜点二类区水平井压裂技术](#)

Fracturing Technologies for Horizontal Wells in the Second-Class Shale Oil Reservoirs of the Lower Sweet Spot Areas in Jimusar

石油钻探技术. 2021, 49(4): 112–117 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021089>

[长庆油田陇东地区页岩油水平井细分切割压裂技术](#)

Subdivision Cutting Fracturing Technology for Horizontal Shale Oil Wells in the Longdong Area of the Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2021, 49(4): 92–98 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021080>

[页岩油水平井压裂渗吸驱油数值模拟研究](#)

Numerical Simulation of Oil Displacement by Fracturing Imbibition in Horizontal Shale Oil Wells

石油钻探技术. 2021, 49(4): 143–149 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021083>

[川南深层页岩气水平井体积压裂关键技术](#)

Key Technology of Volumetric Fracturing in Deep Shale Gas Horizontal Wells in Southern Sichuan

石油钻探技术. 2020, 48(5): 77–84 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020073>

[鄂尔多斯盆地页岩油体积压裂技术实践与发展建议](#)

Practice and Development Suggestions for Volumetric Fracturing Technology for Shale Oil in the Ordos Basin

石油钻探技术. 2021, 49(4): 85–91 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021075>



扫码关注公众号，获取更多信息！

doi:10.11911/syztjs.2023055

引用格式: 张宏峰. 页岩油水平井压裂后变形套管液压整形技术 [J]. 石油钻探技术, 2023, 51(5): 173-178.

ZHANG Hongfeng. Hydraulic shaping technology of deformed casing after fracturing in horizontal shale oil wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(5): 173-178.

页岩油水平井压裂后变形套管液压整形技术

张宏峰

(中国石油大港油田分公司井下作业公司, 天津 300283)

摘要: 页岩油藏需要大规模体积压裂后才能获得工业油流, 但大液量、大排量的体积压裂易导致套管变形、缩径, 套变段以下井段无法下入压裂工具和投产工具, 而常规液压整形技术存在修复能力差、滚珠易落井和有效期短等不足, 难以满足工艺要求。为解决该问题, 设计加工了扩张式胀管器等系列液压胀套工具, 经过室内试验, 完善了胀套工艺, 形成了页岩油水平井压裂后变形套管液压整形技术。沧东凹陷页岩油水平井现场试验表明, 该技术有效期长, 可以解决页岩油开发中的套管变形问题, 满足投产时连续管钻除多级压裂桥塞(扫塞)恢复底层井段能量的需要。

关键词: 页岩油; 套管变形; 套管整形; 液压胀套; 体积压裂; 水平井; 沧东凹陷

中图分类号: TE358⁺⁹ 文献标志码: A 文章编号: 1001-0890(2023)05-0173-06

Hydraulic Shaping Technology of Deformed Casing after Fracturing in Horizontal Shale Oil Wells

ZHANG Hongfeng

(Downhole Operation Company, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300283, China)

Abstract: Shale oil reservoirs need large-scale volume fracturing to obtain industrial oil flow. However, volume fracturing with a large fluid amount and large displacement is easy to cause casing deformation and borehole shrinkage, and it is hard to run fracturing and production tools into the well section below casing deformation. Conventional hydraulic shaping technologies have shortcomings such as poor repair ability, easy ball drop, and short validity period and thus fail to meet the technological requirements. In view of these problems, a series of hydraulic casing expansion tools were designed, such as expandable casing swage. Through laboratory tests, the casing expansion technology was perfected, and the hydraulic shaping technology of the deformed casing after fracturing in horizontal shale oil wells was formed. Field tests in Cangdong Sag show that the technology has a long validity period and can successfully solve the casing deformation problem in shale oil development, and it can restore the energy of the bottom well section by coiled tubing drilling out the multi-stage fracturing bridge plug (sweeping plug) when put into production.

Key words: shale oil; casing deformation; casing shaping; hydraulic casing expansion; volume fracturing; horizontal well; Cangdong Sag

页岩油储集层岩石矿物成分复杂, 具有低孔隙度、低渗透率等特点, 目前页岩油开发主要采用“水平井+密切割体积压裂”技术^[1]。但是, 页岩油水平井受多种因素影响, 时有套管变形发生^[2-4], 如随着吉木萨尔凹陷页岩油逐步扩大开发与规模建产, 套变井的数量和比例逐年递增, 2019 年套变井比例已经超过 50%^[5]; 沧东凹陷新钻页岩油水平井

均采用大规模体积压裂方式开发^[6-7], 开发初期也有套变问题发生, 变形严重时造成压裂施工丢段, 无法发挥整井产能, 造成资源浪费。

目前, 套管整形工艺主要有机械整形和液压整形 2 类。机械整形是利用顿击式胀管器的冲击力或偏心辊子胀管器转动产生的挤压力修复变形套管^[8], 存在易损伤套管及易发生钻杆折断、工具胀裂或辊

收稿日期: 2022-04-02; 改回日期: 2023-05-20。

作者简介: 张宏峰(1971—), 男, 江苏泗阳人, 1994 年毕业于西安石油学院采油工程专业, 高级工程师, 主要从事油气开发方面的科研与管理工作。E-mail: zhf222@sina.com。

子中心轴断裂落井等问题,故目前已经很少使用;液压滚珠整形技术是将增压后的液压力转换成轴向机械推力,推动滚珠扩径胀头挤压套管内壁实现整形^[9-10],但常规液压整形技术存在大量滚珠落井、有效期短等问题,在直井上使用较多,不适合于页岩油水平井。因此,有必要研究页岩油水平井套管液压整形技术。大港油田研究团队针对页岩油水平井套管整形开展了技术调研,改进并研发了系列整形工具,结合室内试验结果完善了施工工艺,并在沧州凹陷页岩油水平井 GD1701H 井现场试验取得了成功,为下一步连续管扫塞、恢复全井段产能提供了通道。

1 页岩油水平井套变现状

页岩油藏具有低孔低渗特征,直井开发无法获得稳定的工业产量,只有通过水平井精准钻遇“甜点”并进行压裂改造才能获得产能突破^[11]。如果套变点在 A 靶点附近,体积压裂时无法实施分段下桥塞封堵,发生套管变形后不能改造的井段一般就放弃了施工,投产时井筒不能满足连续管扫塞,造成页岩油井产量低、开发时间短,井控资源量得不到有效利用。

为了降低体积压裂造成的套管变形概率,除了优化压裂工艺外,还采用提高套管钢级、增加壁厚来增强套管抗变形能力^[12],如采用 TP125V 级特种钢材,壁厚从 9.17, 10.54 mm 提高至 12.70 mm, 沧州凹陷页岩油水平井的套变数量得到了有效控制。但是,页岩油水平井压裂套损机理复杂、影响因素多,套损种类也较多,如丝扣渗漏、套管本体穿孔和套变缩径等,尤以套变缩径占比最大,前 2 种套损井采用补贴管或膨胀管工艺可以恢复生产,套变缩径处理难度大,行业内尚未有成熟的案例可供借鉴。

2 常规液压整形技术及其不足

常规液压胀套工艺的工具串组合(自下而上)为:滚珠胀管器+动力杆+多级液压加力器(增力液缸)+水力锚组+油管。套管整形时,地面泵车打压,管柱内高压流体使多级增力液缸产生向下的推力,推动胀管器,使胀管器锥体外围的滚珠滚压扩张管壁,对套管缩径井段进行修复^[13-14]。常规液压整形技术在页岩油套变井应用存在以下不足:

1) 滚珠碎裂变形落井。滚珠胀管器胀头锥形

面上排列一定数量的钢质滚珠,胀套时滚珠在锥面槽内自下而上滚压套管,为了提升胀套修复能力,滚珠设计硬度都比较高,受挤压时易碎裂落井;同时,滚珠槽受到滚珠挤压变形,造成滚珠挤出落井。滚珠大量碎裂、脱落现象在常规直井施工中比较普遍,如果脱落滚珠及碎片堆积在页岩油水平井下部封堵桥塞上,将会导致投产时连续管磨铣底部桥塞受阻。

2) 工具串受力不均整断。页岩油水平井套管变形段一般在 A 靶点或断层附近,井斜角大,井眼轨迹复杂,套管变形不规则。胀套工具串总长度达到 10~15 m,工具之间为丝扣刚性连接,在液缸下推力作用下,胀管器胀头无法准确找正井眼,工具串轴向和径向受力不均匀,存在整断落井的风险。

3) 套管回弹有效期短。目前页岩油水平井所用套管壁厚均大于常规套管,TP125V 钢级或更高钢级的钢材强度大、弹性应变能力强,胀管器挤压力卸载后回弹量大于常规材料^[15]。锥形胀头最大外径段通过变形点后,变形套管回弹卡住胀管器;更为严重的是,套管经过常规液压整形修复后,短期内回弹恢复原先变形状态,造成生产管柱卡钻,现场已经发生多起类似案例。

页岩油井普遍采用水平井钻井完井方式,井壁摩阻大,常规修井机额定提升负荷小,解卡能力弱,整形工具串卡钻风险高;且页岩油井开发投资巨大,修复有效期直接关系着页岩油井的全生命周期和投资回报,所以有效的套变修复方法在页岩油开发过程中显得非常重要和迫切。

3 页岩油水平井液压整形工具

针对页岩油水平井特殊的井身结构和条件,克服常规液压整形技术的不足,改进并研发了系列整形工具。

3.1 扩张式胀管器

扩张式胀管器如图 1 所示,胀头由芯轴和扩张牙片组成,芯轴外部和分瓣式扩张牙片内侧设计成 6°~8° 锥度斜坡。套管整形时,多级液压加力器的动力杆推动扩张头芯轴下行,推动扩张牙片径向挤压缩径套管进行修复,将常规滚珠胀头的滚珠点接触转变成分瓣式牙片面接触,扩张牙片强度大、受力均匀,多级液缸可以施加更大的下推力,有助于缩径套管恢复。胀头通过变形点后,复位弹簧带动扩张牙片回缩,开始下一个胀套行程。

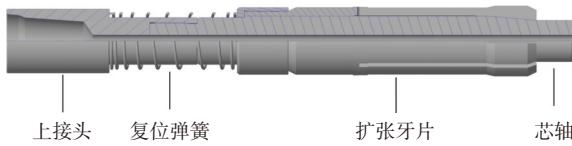


图 1 扩张式胀管器
Fig.1 Expandable casing swage

3.2 保径短节

保径短节如图 2 所示, 连接在扩张式胀管器后部, 外径和胀管器胀头最大直径保持一致。胀管器通过变形点后, 带动保径短节继续下行, 短节上的钢珠对扩张过的套管进行滚压, 增大套管的塑性形变, 消除套管的回弹应力, 滚压作用还能提升变形段套管表面硬度, 防止修复后套管短期内回弹, 延长修复有效期。变形套管的修复主要靠扩张头的挤压作用, 降低了对滚珠强度的要求, 同时滚珠在原位转动滚压, 避免了因滚珠槽受力变形造成滚珠落井。



图 2 保径短节
Fig.2 Diameter-keeping sub

3.3 柔性短节

柔性短节如图 3 所示, 由柔性钻杆单根丝扣连接而成, 单根长度 0.15 m, 活动关节角度 $0^\circ \sim 4.5^\circ$ 可调, 额定扭矩 $25 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 抗拉强度 1 200 kN。套管整形时, 每个活动关节在液压加力器缓慢下压力的作用下角度发生变换, 引导扩张式胀管器找正井眼, 柔性短节提高了工具串的挠度, 避免工具串受压时由于刚性高导致蹩断。

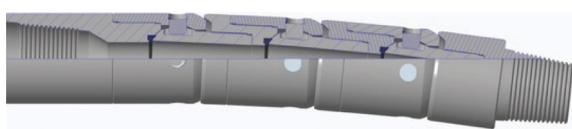


图 3 柔性短节
Fig.3 Flexible sub

3.4 减阻接箍和减阻短节

为了降低工具串和管串与套管之间的摩擦阻力, 从而有助于扶正工具串, 提升管串的脱困能力, 设计了减阻接箍(见图 4)和减阻短节(见图 5), 分别安装在工具串中和大斜度井段处的管串中。

3.5 工具组合

基于变形套管的塑性回弹和井下大直径工具较

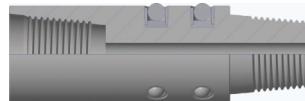


图 4 减阻接箍
Fig.4 Friction drag-reducing collar



图 5 减阻短节
Fig.5 Friction drag-reducing sub

多等原因, 液压胀套施工过程中不可避免地会发生卡工具现象。因此, 为了顺利进行液压胀套, 除了加装减阻工具降低井壁的摩擦阻力外, 还在工具串顶部加装震击器和加速器, 在井口四通上安装液压辅助解卡装置。其中, 应用辅助解卡装置的目的是提高管柱在整形过程中的安全性, 降低对修井机提升负荷的依赖。

综上所述, 页岩油水平井液压整形井下工具串组合自下而上为: 扩张式胀管器+保径短节+(螺旋刮削器)+柔性短节+动力杆+多级液压加力器(增力液缸)+水力锚组+泄压阀+水力锚组+震击器+加速器+ 18° 斜坡钻杆。

从理论上讲, 采用上述工具组合后, 胀头的抗外挤能力得到加强, 工具串挠度大, 胀头可以自动找正防止劈裂, 消除变形套管塑性回弹, 辅助工具可以提升管串的解卡能力, 提升液压胀套技术的工艺适应性, 延长整形修复的有效期。页岩油水平井液压整形技术与常规技术的对比情况如表 1 所示。

4 室内试验

现场试验前, 开展了室内模拟试验, 以验证页岩油水平井套管液压整形工具的可靠性、工艺的可行性, 并根据发现的问题进行改进和完善。

4.1 试验器材

试验平台, $\phi 139.7 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ TP125V 级套管, 压力机, 系列套管液压整形工具。

4.2 试验步骤

1) 将套管固定在试验台上, 用压力机加压, 折算外挤力为 870 kN, 套管内径从 118.6 mm 变形至 47.0 mm, 模拟井下变形套管。

2) 将套管固定在试验台上, 试验台推送机顶杆连接扩张式胀管器, 模拟井下套管修复过程。

a. 第一次加压。投放 $\phi 98.0 \text{ mm}$ 扩张式胀管器,

表 1 页岩油水平井液压整形技术与常规技术对比

Table 1 Comparison of hydraulic shaping technology and conventional technology in horizontal shale oil wells

技术	工艺可靠性	卡钻风险	修复效果
常规液压整形技术	滚珠及碎裂残片落井; 工具串刚性大, 易蹩断	风险高	变形套管短期内回弹
页岩油水平井液压整形技术	扩张牙片强度高、受力均匀; 工具串挠度大, 胀头自动找正	风险低	塑性大硬度高, 有效期长

液压站压力为 15 MPa, 胀头折算外挤力 600 kN, 变形段套管有少量恢复, 从套管底部发现胀管器不居中(见图 6(a)), 胀头牙片劈裂(见图 6(b))。分析认为, 选择的胀头偏大, 套管内圆周变形不一致, 扩张头没有找正, 导致分瓣式牙片受力不均劈裂损坏, 无法完成理想修复。根据以上情况, 决定减小扩张器尺寸, 增加柔性短节协助找正。

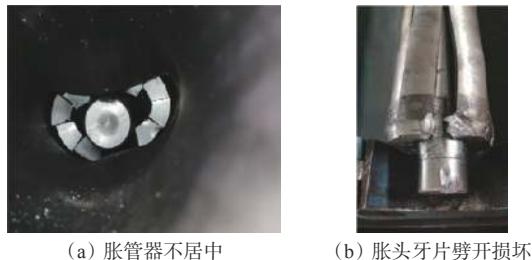


图 6 扩张式胀头变形损坏

Fig.6 Expansion shaping head damaged

b. 第二次加压。投放 $\phi 54.0$ mm 扩张式胀管器+柔性短节, 液压站压力为 25 MPa, 折算外挤力 1 000 kN, 变形段套管部分恢复。

c. 第三次加压。分别投放 $\phi 98.0$, $\phi 100.0$ 和 $\phi 102.0$ mm 扩张式胀管器(见图 7(a)), 分段加压至 15, 25 和 28 MPa, 变形段套管恢复明显, 胀管器顺利通过(见图 7(b)), 由于室内整形安全风险高, $\phi 102.0$ mm 整形头通过后未做进一步试验。

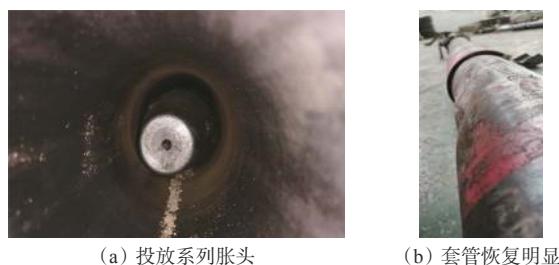


图 7 套管恢复情况

Fig.7 Casing restoration

4.3 试验结果

室内试验结果表明, 页岩油水平井变形套管液压整形技术可行, 液压产生的下推力使整形胀管器

不断扩径, 将套管内壁胀压恢复圆形状态, 从而达到修复变形套管的目的。试验结果也表明, 施工时需要考虑胀头找正, 胀头由小到大分步实施。

5 现场试验

页岩油水平井变形套管液压整形技术先在庄 6-12-10 井和西 36-4 井等 2 口直井进行了现场试验, 套管钢级分别为 N80 和 J55。其中, 西 36-4 井油层套管为大直径($\phi 177.8$ mm)套管, 井下工具串长度 11.44 m, 采用 $\phi 73.0$ mm 油管和 400 kN 修井机施工, 扩张式胀管器级差初定 4.0 mm。胀套施工过程中, 地面泵压高、施工效率低并发生了卡钻现象, 由于修井机提升负荷不足, 采用井口液压辅助解卡装置顺利解卡; 后期将胀管器级差降为 2.0 mm, 降低了施工泵压, 施工效率得到了提升, 最终一级胀管器顺利通过变形段, 不阻不卡, 2 口井套管修复均取得了成功。此后, 该技术在页岩油水平井 GD1701H 井进行了现场试验。

5.1 GD1701H 井试验概况

GD1701H 井是沧东凹陷页岩油先导试验水平井, 完钻井深 5 465 m, 最大井斜 90.12°, 采用壁厚 10.54 mm、钢级 TP125V 的 $\phi 139.7$ mm 油层套管完井。该井压裂后四十臂测井显示套管局部内凹(见图 8(a)), 井深 4 081~4 083 和 4 084~4 087 m 处套管变形(见图 8(b)), 具体变形参数见表 2。

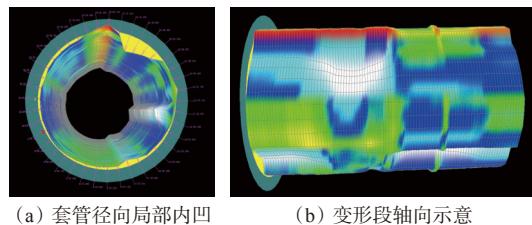


图 8 GD1701H 井套管变形电测结果示意

Fig.8 Casing deformation logging results of Well GD1701H

$\phi 94.75$ mm×1.20 m 通径规通过连续油管带时有明显遇阻显示。地质开发方案要求修复套管内径,

表 2 GD1701H 井测 40 臂解释结果
Table 2 40-arm logging interpretation results of Well GD1701H

序号	起始深度/m	终止深度/m	长度/m	正常半径/mm	最小半径/mm	最大半径/mm	测井解释
1	4 081	4 083	2	59.31	39.09	65.98	变形
2	4 084	4 087	3	59.31	43.71	63.60	变形

满足 $\phi 108.0$ mm 磨鞋通过变形井段磨铣压裂段桥塞, 恢复下部井段产能。针对该井深度大, 钻具自身负荷高, TP125V 套管钢级硬度大、回弹形变大等不利因素, 设计采用 1 200 kN 修井机(带转盘)和 S135 钢级 18° 斜坡钻杆, 施工遵循“降低级差、胀滚结合、柔性找正、震击防卡”的修复思路, 工具串胀头包含柔性短节及相应的减阻接箍和减阻短节, 初期工具串长度达到 15.70 m, 为了降低对套管的刻蚀损伤, 设计了 6 组水力锚。

5.2 GD1701H 井试验效果

5.2.1 降低胀头尺寸级差

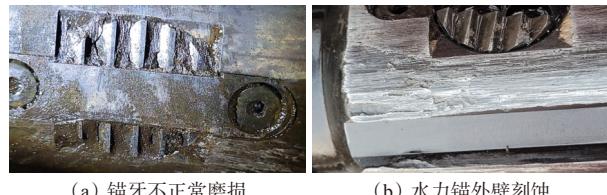
GD1701H 井套变井段井斜角 80°, 狗腿度 4.69°/30m。井斜角大、井眼复杂导致井下管柱与套管摩阻大, 如果单次胀套尺寸过大, 变形套管易回弹造成工具串卡钻, 解卡难度大。因此, 设计胀管器级差从常规施工的 4.0 mm 降至 2.0 mm, 逐级采用 $\phi 110.0$, $\phi 112.0$, $\phi 114.0$ 和 $\phi 115.6$ mm 系列扩张式胀管器逐步修复, 避免了卡钻的发生。

5.2.2 合理配置水力锚数量

采用多级液缸串联, 增大动力杆的下推力和胀管器分瓣牙片的外推力, 为确保管柱具有足够的锚定力, 必须配备多组水力锚^[16], 开始 2 趟胀套工具串在泄压阀上下各安装 3 组(共计 6 组)水力锚。胀套施工过程中, 水力锚锚牙在多次打压后没有完全回缩, 锚牙在套管上刻蚀出毛刺, 导致工具串无法下行, 水力锚锚牙被不正常磨损(见图 9(a)), 本体也被套管毛刺刻蚀出深槽(见图 9(b)), 第 3 趟胀套失败。在充分计算水力锚锚定力和套管强度后, 泄压阀下水力锚设定为 2 组, 泄压阀上部水力锚设定为 1 组, 降低了锚牙回缩的不一致性, 刮削完套管毛刺后, 胀管器带着工具串顺利下行。

5.2.3 工具串模拟通井

$\phi 115.6$ mm 胀套工具串顺利通过后, 为保证胀套修复效果, 将多级 $\phi 114.0$ mm 保径短节连接, 长度超过 1.20 m, 工具串保径短节后接螺旋槽刮削器铲除毛刺, 在套管变形井段反复胀套、滚压和刮削, 以消除套管回弹应力, 不仅保证了套变修复效果, 也



(a) 锚牙不正常磨损 (b) 水力锚外壁刻蚀

图 9 水力锚磨损情况
Fig.9 Hydraulic anchor wear

起到了模拟通井效果。

5.2.4 辅助液压解卡

GD1701H 井胀套工具串上配置井下震击器和加速器, 在井口四通上安装辅助液压解卡器, 解卡器举升负荷 1 200 kN, 下压负荷 800 kN, 即使管串卡钻也能顺利脱困。

5.2.5 总体试验效果

通过胀套工具的合理配置和精心施工, 经过 7 趟修复, GD1701H 井套管通径从 94.75 mm 恢复至 115.60 mm, 恢复率 97.45 %, 并消除了变形套管的回弹应力。 $\phi 112.0$ mm × 1.20 m 通井规顺利通过变形井段至井底桥塞, 下 $\phi 50.8$ mm 连续油管带 + $\phi 79.0$ mm × 4.90 m 螺杆钻具 + $\phi 108.0$ mm 磨鞋顺利扫塞至井底, 半年后停喷带压下泵投产, 产液量由修复前的 9.6 m³/d 增加至 23.2 m³/d, 后期 2 次检泵维护施工均未发现套变现象, 套管修复施工效果较好, 满足了地质开发需求。

6 结论与建议

1) 针对页岩油水平井压裂后变形套管的液压整形技术需求, 基于提高整形工具的可靠性, 消除变形套管的塑性回弹应力, 避免施工时损伤套管和卡钻等风险的研究思路, 改进并研发了系列井下工具, 完善了现场施工工艺, 形成了胀头自动找正、套管滚压加固和辅助解卡等技术系列。

2) 室内试验表明, 页岩油井高钢级套管需要的整形力大, 对工具要求高, 相对而言更适合使用扩张式胀管器, 施工时要保证胀头能自动找正。

3) 现场试验表明,页岩油水平井变形套管液压整形技术能够恢复套管内径,避免压裂丢段,满足投产时连续管扫塞恢复底层井段能量的需要,该技术对页岩气开发中类似套变的治理也有借鉴意义。

4) 页岩油水平井变形套管液压整形技术要遵循“降低级差、胀滚结合、柔性找正、震击防卡”的技术思路选配井下工具,并根据井下显示和起出工具的磨损程度及时做出调整。

5) 建议进一步建立理论模型,准确计算不同钢级变形套管需要的外推力,优化工具数量,缩短工具串长度,进一步提高页岩油水平井变形套管液压整形技术的工艺适应性。

参 考 文 献

References

- [1] 闫林,陈福利,王志平,等.我国页岩油有效开发面临的挑战及关键技术研究 [J].石油钻探技术,2020,48(3):63–69.
YAN Lin, CHEN Fuli, WANG Zhiping, et al. Challenges and technical countermeasures for effective development of shale oil in China[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(3): 63–69.
- [2] 赵春艳,王波,罗垚,等.页岩油套管变形水平井暂堵分段压裂工艺 [J].断块油气田,2020,27(6):715–718.
ZHAO Chunyan, WANG Bo, LUO Yao, et al. Temporary plugging and staged fracturing technology for casing deformation section in horizontal shale oil wells[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(6): 715–718.
- [3] 王金刚,孙虎,任斌,等.填砂分段压裂技术在页岩油套变水平井的应用 [J].石油钻探技术,2021,49(4):139–142.
WANG Jingang, SUN Hu, REN Bin, et al. Application of staged sand filling fracturing technology in horizontal shale oil wells with deformed casings[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 139–142.
- [4] 李皋,李泽,简旭,等.页岩膨胀应变及固井质量对套管变形的影响研究 [J].特种油气藏,2021,28(3):139–143.
LI Gao, LI Ze, JIAN Xu, et al. Study on the effect of shale expansion strain and cementing quality on casing deformation[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(3): 139–143.
- [5] 霍进,何吉祥,高阳,等.吉木萨尔凹陷芦草沟组页岩油开发难点及对策 [J].新疆石油地质,2019,40(4):379–388.
HUO Jin, HE Jixiang, GAO Yang, et al. Difficulties and countermeasures of shale oil development in Lucaogou Formation of Jim-sar Sag[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(4): 379–388.
- [6] 田福春,刘学伟,张胜传,等.大港油田陆相页岩油滑溜水连续加砂压裂技术 [J].石油钻探技术,2021,49(4):118–124.
TIAN Fuchun, LIU Xuewei, ZHANG Shengchuan, et al. Continuous sand fracturing technology with slick water for continental shale oil in the Dagang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 118–124.
- [7] 刘学伟,田福春,李东平,等.沧东凹陷孔二段页岩压裂套变原因分析及预防对策 [J].石油钻采工艺,2022,44(1):77–82.
- LIU Xuewei, TIAN Fuchun, LI Dongping, et al. Cause analysis and preventive countermeasures for casing deformation when fracturing shale in Kong 2 member in Cangdong sag[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2022, 44(1): 77–82.
- [8] 吴奇.井下作业大修技术交流会论文集(2009)[C].北京:石油工业出版社,2009:30–31.
WU Qi. Collection of downhole operation workover technology exchange meeting (2009)[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009: 30–31.
- [9] 王维星,武瑞霞,李在训,等.液压变径滚压套管整形技术 [J].石油机械,2010,38(7):86–87.
WANG Weixing, WU Ruixia, LI Zaixun, et al. Hydraulic variable diameter rolling casing shaping technology[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(7): 86–87.
- [10] 赵志辉.组合式液压胀管整形修复技术 [J].石化技术,2018,25(6):126.
ZHAO Zhihui. Reconstruction and repair technology of combined hydraulic bulging tube[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(6): 126.
- [11] 周立宏,赵贤正,柴公权,等.陆相页岩油效益勘探开发关键技术与工程实践:以渤海湾盆地沧东凹陷古近系孔二段为例 [J].石油勘探与开发,2020,47(5):1059–1066.
ZHOU Lihong, ZHAO Xianzheng, CHAI Gongquan, et al. Key exploration & development technologies and engineering practice of continental shale oil: a case study of Member 2 of Paleogene Kong-dian Formation in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin, East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(5): 1059–1066.
- [12] 李军,吴继伟,谢士远,等.吉木萨尔页岩油井筒完整性失效特点与控制方法 [J].新疆石油天然气,2021,17(3):37–43.
LI Jun, WU Jiwei, XIE Shiyuan, et al. Characteristics and control methods of wellbore integrity failure for Jim-sar shale oil[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2021, 17(3): 37–43.
- [13] 范加兴.机械液压复合套管整形工艺技术的研究与应用 [J].钻探工程,2021,48(8):78–82.
FAN Jiaxing. The research and application of the mechanical and hydraulic compound reshaping technique[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 78–82.
- [14] 张洪宝.辽河油田高效液压套管整形工具的研制与应用 [J].石油钻探技术,2016,44(3):101–104.
ZHANG Hongbao. The development and application of a high efficiency hydraulic casing restoration tool[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(3): 101–104.
- [15] 罗敏,贾丽,谷洪文,等.液压整形器滚珠径向挤压套管试验研究与力学分析 [J].化工机械,2018,45(5):538–542.
LUO Min, JIA Li, GU Hongwen, et al. Experimental research and mechanical analysis of radial compression casing for hydraulic ball shaper[J]. Chemical Engineering & Machinery, 2018, 45(5): 538–542.
- [16] 曾立桂.液压扩径整形技术在套管变形井杜 813-42-63 中的应用 [J].特种油气藏,2011,18(6):120–122.
ZENG Ligui. Application of casing reshaping by hydraulic reaming technique to casing deformation Well Du813-42-63[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2011, 18(6): 120–122.