

高尚堡油田油层污染原因分析及经济效益分析

田瑞涛 韦超 刘超群 郑佳佳 王志永 (冀东油田公司陆上油田作业区, 河北 唐山 063200)

摘要: 油气田在开发生产过程中, 在油井实施各项作业、洗井等措施过程中, 油气储层都可能受到污染与伤害, 造成油井产量下降, 产生巨大的经济损失。所以油层保护工作显得尤为重要, 需了解油层污染的原因, 分析采油过程中油层伤害机理, 建立“优先考虑避免外界流体进入井筒、其次减少外界流体进入地层、再次降低外界流体对地层伤害”的油层保护思路, 并配套相应的防污染工艺。通过实施系统的油层保护措施, 不仅可以降低修井作业频次, 还能有效减少因油层污染造成的产量损失, 预计每年可为油田创造经济效益500万元以上。

关键词: 污染; 油层保护; 水敏; 经济效益; 效益分析

油气田在开发生产过程的各项措施, 都会造成油气储层受到伤害, 油气储层污染将会造成原油产量减产, 因此需研究油气储层污染的机理。并针对油田开采过程制定有效测油层保护措施, 减少产量损失, 提高油井产油量。

1 生产过程中油层损害机理

1.1 油层损害的内因

①孔隙结构因素: 孔喉越大, 固相侵入就会越深, 造成的损害程度就越大, 但同时会降低水锁、贾敏损害。孔喉弯曲程度越大, 固相侵入深度会变浅, 但会增加微粒分散或运移堵塞损害。

②储层渗透率因素: 高渗储层, 孔喉大或均匀, 会性增大受固相侵入损害。在低渗储层, 孔喉小或连通性差, 胶结物含量较高, 易受粘土水化膨胀、分散运移及水锁和贾敏损害。

③敏感性矿物: 储层本身含有敏感性矿物, 储集层中与流体接触易发生物理、化学和物理化学反应并导致渗透率大幅下降的一类矿物。绝大多数是成岩期从孔隙水中化学沉淀出来, 填充在孔隙中或附贴在孔隙壁和骨架颗粒表面上的自生矿物。

④岩石润湿性: 岩石的润湿性一般分为亲水性、亲油性和两性润湿三大类。油气储层岩石润湿性有以下作用: a: 控制孔隙中油气水的分布; 对于亲水岩石, 水通常吸附于颗粒表面或占据小空隙角隅, 油气则占据孔隙中间部位; 对于亲油性岩石, 刚好出现相反现象。b: 决定着岩石孔道中毛管力的大小和方向, 毛管力的方面总是指向非润湿相的一方。当岩石表面亲水时, 毛管力是水驱油的动力; 当岩石表面亲油时, 毛管力是水驱油的阻力。c: 影响着油气储层微粒运移, 油气储层中流动的流体润湿微粒时, 微粒容易随着率下降运移; 否则微粒难以运移。油气储层岩石的润湿

性的前两个作用, 可以造成有效渗透和采收率降低两个方面的伤害, 而后一个作用对微粒运移有较大影响。

1.2 油层损害的外因

1.2.1 外界流体进入油气储层的影响

①当外界流体中的固相颗粒进入油层引起堵塞: 固相颗粒有两种: 一种是为了达到其性能要求加入的设计颗粒; 另一种是混入的杂质固相污染物。其损害机理是: 在井筒内流体的液柱压力大于油气储层孔隙压力时, 固相颗粒就随液相一起进入油气储层, 引起储层孔径缩小, 甚至堵死孔喉, 造成油气储层污染。

②外界流体与岩石岩性不配伍造成的损害: 当外界流体与岩石不配伍时引起的损害主要包括: 水敏反应损害、碱敏性损害、酸敏性损害和改变润湿性损害。

③外界流体与储层流体不配伍造成的损害: 当外来流体与储层内流体不配伍时引起的损害主要指产生各种沉淀物堵塞, 具体包括: 有机和无机沉淀, 乳化堵塞及细菌堵塞。

④外界流体进入油气储层后, 造成油水重新分布的危害: 外界流体进入油气储层后, 会不断增加含水饱和度, 从而降低原油的饱和度而增加流动的阻力, 产生水锁反应, 降低油相的渗透率。

1.2.2 油气储层状态发生变化的影响

①生产压差引起的地层污染主要包括: 颗粒运移产生速敏损害; 无机和有机沉淀损害; 压力敏感性沉淀; 漏失油气储层造成损害; 引起出砂甚至地层坍塌造成损害; 增加油层损害深度。

②温度变化引起油气储层损害: 温度越高对各种敏感性损害程度越强; 引起结垢损害, 温度变化时还会引起无机和有机沉淀损害。

③作业和生产时间对油层损害: 主要指生产或作业时间越长, 油层损害程度增加, 损害程度同时也增

表 1 油层保护体系

区块	层位	主要伤害	常规入井液和压井液体系	配套工艺
高浅	Nm Ng	固相堵塞、中等速敏、中等水敏	1、以活性水或 NH ₄ Cl 溶液为主，高密度时采用 JRYL 修井液 2、漏失地层加入泡沫剂，也可暂堵后用活性水 3、射孔液采用 JRYL 修井液或 2%KCl、NH ₄ Cl 溶液	不洗压井 微泡暂堵技术
高中深	Ed -Es31	强水敏、强盐敏	1、使用 2%NH ₄ Cl 溶液、2%KCl 溶液、JRYL 无固相修井液 2、漏失地层暂堵后应用 2%NH ₄ Cl 溶液 3、射孔液采用 JRYL 修井液	不洗压井技术 微泡暂堵技术 防污染管柱技术 自循环洗井技术
高深	Es32+3- Es35	强水敏、强盐敏、水锁	1、使用 2%NH ₄ Cl 溶液、2%KCl 溶液、JRYL 无固相修井液 2、漏失地层暂堵后应用 2%NH ₄ Cl 溶液 3、射孔液采用 JRYL 修井液	不洗压井技术 微泡暂堵技术 防污染管柱技术 自循环洗井技术

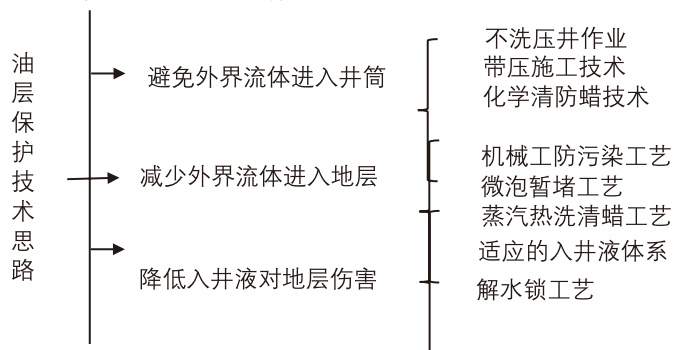
大。此外工程因素也是油层损害的重要外因之一，主要体现在钻井、完井、射孔、试油、酸化、压裂、采油等施工过程中。

2 建立油层保护技术体系

高尚堡油田中深层储层表现为低孔、低渗，容易发生水锁伤害；实验证明高尚堡油田地储层敏感性，主要为强盐敏和强水敏，外界流体易漏失进入地层，容易造成油气储层损害。明确不同区块井下作业修井液使用的技术规范和要求，加快施工进度，缩短施工时间，确保完井后油井恢复产能，加强作业过程监控，优化生产参数，缩短作业井后排液期。详见表 1。

2.1 制定油层保护技术思路

建立“优先考虑避免外界流体进入井筒、其次减少外界流体进入地层、再次降低外界流体对地层伤害”油层保护原则开展工作。



2.2 油层保护配套技术

2.2.1 避免外界流体进入井筒

2.2.1.1 不洗压井技术

作业过程中不洗井不灌液，对老油田较好的掌握地质规律的基础上，利用井口专用设备控制，在低压漏失井和高压低渗透油藏进行不洗压井作业，避免压井、洗井时压井液漏失造成油层污染，缩短含水恢复期。有效地解决井控和保护油层的矛盾。油藏认识充分，限定硫化氢、气液比、地层压力系数等使用条件，

确认无较大的井控风险隐患；工程准备充足，确认地面为非敏感区域，做好落地油水回收工作，准备好应急处置工具，如抽油杆抢喷装置、抽油杆防喷器等。

2.2.1.2 带压作业

随着油田开发程度的深入，油井自然能量衰减，机抽井的数量不断增多，因光杆和防喷盒腐蚀、偏磨、弯曲变形等原因进行的更换作业，在更换光杆作业前必须将井内压力释放，但这样会造成油气外泄，部分井有溢流只能实施压井作业，为避免外界流体进图井筒，选择带压装置通过采油树小四通进入实现对光杆密封，实现更换防喷盒。若更换光杆，需在小四通与防喷盒之间加装放空短接，上部安装防喷盒。在安装完成后上提光杆，将光杆接箍带入放空短接内，再进行光杆更换。通过带压更换光杆防喷盒避免有外界流体进入井筒，充分避免了油层污染。

2.2.1.3 化学清防蜡技术

油田应用化学清防蜡措施，向井筒内加入高效清蜡剂，此清蜡方式对油层无污染、适用范围广，针对高尚堡油田中深层以及深层油井结蜡严重的油层，伴随油藏开发的不断深入，原油物性逐年变差，清防蜡管理难度不断增大。为实提高效清蜡剂在现场使用后清蜡效果。开展化学清防蜡药剂性能提升探索与经济应用研究，通过实验室融蜡试验速率判断清蜡剂 JRQ-3 的效果更好，亦通过现场加药后的效果确认清蜡剂 JRQ-3 使用后，平均应力下降 1.6，下降明显。使用 JRQ-6 清蜡剂清蜡未见明显效果，需对该药剂进行优化升级。通过认真研究分析对比，根据油井产量进行分级，制定加药制度。形成适合高尚堡油田的清蜡工艺技术序列，实现防蜡效果提升。

2.2.2 减少外界流体进入地层

2.2.2.1 机械防污染技术

通过设计防污染管柱卡封油层，将油层与外界隔

离开,地层液通过单流阀形成从油层到井口的单一通道,将入井液与油层隔离开,有效防止外界流体进入储层达到保护储层目的。

套管悬挂防污染:

① DG253+Y211-114 封隔器 + 胜利沉砂型防污染阀 / 固定球座 + 筛管 + 油管 + 丝堵;

② 112 液压丢手 + Y441 封隔器 + 胜利沉砂型防污染阀 / 固定球座 + 筛管 + 油管 + 丝堵。

在套管悬挂防污染管柱基础上增加酸化装置,能不打捞而通过酸化插管、酸化通道及开关部分(滑套)完成对油层的酸化解堵施工,极大扩展了其应用空间。

该项技术主要应用于洗井频繁、漏失严重井,在作业过程中采用一趟坐封丢手管柱即可完成下防污染管柱工序,在之后作业洗井过程中能有效防止外界入井液漏失,目前该技术对高中深、和高深地层能量低漏失严重油井的适应性较好,缩短了洗井后含水恢复期,但对需进行层系调整井的应用有一定限制。

2.2.2.2 蒸汽自循环热洗清蜡技术

利用自带水源经加热炉加热成高温水蒸汽(110℃),注入油套环空,使整个井筒温度逐渐提高,当油井温度达到蜡熔点后,油管壁、抽油杆上结的蜡缓慢溶化,被油井产出液带走并排出井筒,从而达到洗井清蜡的目的。自循环洗井有成本低、地层污染小、含水恢复期短等优点。

2.2.2.3 微泡暂堵技术

依靠微泡液中囊状气泡在漏失区域聚集后,暂堵地层防止入井液漏失,易返排且污染小。

适用于中低渗透复杂断块,注水开发砂岩油藏中低压油井作业前暂堵保护。对渗透率 $50-200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 范围内储层能有效保护,暂堵有效期 48 小时。微泡液在井底条件下动滤失量小于 4ml,能够较好的封堵漏失通道,有效阻止了滤液向储层深部地侵入,达到保护油气储层的目的。

2.2.2.4 解水锁技术

解水锁剂进入油层可防止粘土水化膨胀,使水化膨胀粘土收缩,使岩石表面湿润性反转,消除或减轻水浸入地层后造成的流动阻力,使原油比较容易地流向井底,恢复油井产量。

工区实施解水锁 5 井次,其中有 2 口井见效并恢复产油量,措施有效率 40%。解水锁技术仍有优化改进空间。

2.3 油层保护技术的经济效益分析

2.3.1 传统作业模式的经济损失

高尚堡油田在传统作业模式下面临严重经济损失。常规洗井作业中,外界流体进入地层造成污染,需经历较长含水恢复期,平均每次作业损失原油产量 15t-20t。修井作业频繁,单次费用(含设备、人工、材料)约 15-20 万元。机械清蜡作业效率低下,油管和抽油杆磨损加剧,设备更换成本居高不下。储层敏感性高,主要表现为强盐敏和强水敏,外界流体漏失进入地层后,修复费用巨大。压井液和其他作业液体对油层造成的污染,导致产能恢复周期延长,间接增加采油成本。多数油井年均检泵 4-5 次,检泵作业和设备维护费用构成重要支出项。

2.3.2 油层保护技术的经济效益

油层保护技术应用产生显著经济效益。不洗压井技术避免了压井液漏失,缩短含水恢复期 3-5 天,每次作业节约压井液费用 3-5 万元。带压作业技术作业时间缩短 50%,节约成本 8-10 万元。化学清防蜡技术应用 JRQ-3 清蜡剂使平均应力下降 1.6,延长清蜡周期,年均每井节约作业成本 5-8 万元。机械防污染技术降低修井频次 30%,每年每井降低作业成本 12-15 万元。微泡暂堵技术在渗透率 $50-200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 储层应用效果显著,较传统暂堵技术节约成本 20%。解水锁技术措施有效率 40%,对特定类型油井产生增产效果。

3 结论与认识

① 不让外界流体进入井筒是最好的油层保护措施。

② 解水锁成功率低,应树立“以防为主、防控结合”的油层保护原则。

③ 采油管理过程中仍需不断创新采油管理技术。

④ 油层保护技术体系应用成效显著,年修井费用降幅达 30-40%,油井设备使用寿命延长 20-30%。通过化学清防蜡、机械防污染、微泡暂堵等技术集成应用,单井年均节约综合成本 25-30 万元。该技术体系有效解决了高尚堡油田中深层储层表现为低孔、低渗等特点带来的开发困难,具有重要的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 郑壹越. 采油过程中油气储层损害及保护技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 01.
- [2] 武常茹. 油田勘探开发中油层保护技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 08.