

水平井高温调剖技术研究与实验

徐嘉

辽河油田公司曙光采油厂工艺研究所

DOI: 10.12238/jpm.v4i6.6026

[摘要] 通过室内实验, 研制一种以无极材料为主要成份的凝胶堵剂, 该堵剂常温低粘 15–30mPa.s, 凝固时间在 1–4h 可调 (固化温度以上); 固结体耐温在 300℃以上, 形成了水平井高温调剖技术, 改善超稠油水平井开发效果。

[关键词] 水平井; 高温调剖; 堵剂; 研究

Research and experiment of high temperature profile regulation in horizontal well

Xu Jia

Technology Research Institute of Shuguang Oil Production Plant, Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning, 124010

[Abstract] Through indoor experiment, a gel plugging agent with infinite material as the main component is developed. The normal temperature is low adhesive 15–30mPa.s, and the solidification time can be adjusted in 1–4h (above the curing temperature); the temperature resistance of the consolidation body is above 300℃, which forms the high temperature profile control technology of horizontal well, and the development effect of horizontal well of ultra-thick oil is improved.

[Key words] horizontal well; high temperature profile regulation; plugging agent; research

引言

目前, 水平井开发已成为曙光油田的重点, 但随着吞吐轮次的升高, 水平段动用不均矛盾突出, 严重限制了水平井产能的发挥。以杜 84 兴隆台区块为例: 水平井动用好的井段占全井段的 26%, 井汽窜比例高达 82.4%, 平均汽窜井数为 2.9 口, 井间汽窜频繁且严重, 导致水平井区域安全生产管理难度大, 吞吐效果受到严重影响。水平井高温调剖技术是改善水平段动用、抑制汽窜的重要手段, 但目前应用的调剖剂仍以氮气泡沫、氮气泡沫凝胶、氮气泡沫凝胶+固相颗粒为主, 由于药剂性质、水平井筛管完井方式等限制, 现有水平井调剖工艺无法完全满足现场需求。为此, 研制一种新型的耐高温堵剂, 优化现场施工工艺, 改善超稠油水平井开发效果。

1 稠油水平井开发概况

1.1 稠油水平井开发现状

曙光油田水平井主要以超稠油井间加密及老区低品位储量二次评价、分层开发、二次开发为主, 具有地质条件复杂、油藏类型多, 井网、井型、完井方式多样, 开发方式多元, 应用类型广泛等特点。截止 2017 年底, 曙光油田共有吞吐水平井 275 口, 年产油 27.6 万吨, 占吞吐产量的 23.8%。随着油田开发的不断深入, 水平井已成为产能建设的重点, 平均每年投产水平井井数占产能建设井数的 20%~30%左右, 水平井产量占年新井产量的 30%~40%左右。

1.2 主要开发矛盾

水平井水平段动用不均矛盾较为突出。根据水平井井温压力监测资料, 兴隆台水平井普遍存在油藏动用不均的问题, 井温大于 120℃动用好井段仅占总井段长度的 38.3%, 井温处于 80–120℃的动用中等井段占 34.6%, 井温低于 80℃动用差井段占 27.1%。其中动用好的井段达到 45%以上的只有曙 1104205、杜 813 块的水平井, 杜 84、杜 212 区块水平井动用好的井段均低于 40%。

2 水平井高温调剖技术研究与实验

随着吞吐轮次的不断增加, 水平段动用不均矛盾逐渐凸显, 其中得不到有效动用的 (温度<80℃) 井段占水平段的三分之一, 严重制约水平井的高效开发。水平井调剖技术实施难度较大, 要求堵剂“注得进、堵得住”, 在井筒内“无残留”, 生产过程中“不返吐”。但目前应用的调剖剂仍以氮气泡沫、氮气泡沫凝胶、氮气泡沫凝胶+固相颗粒为主, 由于药剂性质、水平井筛管完井方式等限制, 现有水平井调剖工艺无法完全满足现场需求。为此, 研制一种新型的耐高温堵剂, 优化现场施工工艺, 改善超稠油水平井开发效果。

2.1、耐高温堵剂配方的研制

筛选研制一种无机凝胶复合堵剂配方, 在液体状态下注入, 利用蒸汽高温反应固化, 有效解决现有耐高温堵剂作业冲洗困难的问题。堵剂配制液的 pH 为 10–11, 粘度 20.5mPa.s。

通过实验室研究, 研制成功了一种新型无机凝胶复合堵剂配方: 即: 水玻璃 25%+交联剂 20%+增强剂 15%。

2.1.1 无机凝胶复合堵剂研制室内试验

(1) 浓度的影响

配制不同质量百分浓度的水玻璃溶液与不同的质量百分浓度的交联剂溶液, 装入广口瓶, 放入 80℃水浴中, 观察体系的胶凝时间。试验得出, 水玻璃复合反应体系随交联剂质量百分浓度的增大, 胶凝时间缩短, 凝胶强度变大; 但体系中随水玻璃质量百分浓度的增大, 体系的性能变化不是随水玻璃浓度增大而增大, 而出现波动。由试验可以得出水玻璃复合体系中, 水玻璃浓度为 25%, 交联剂浓度 20%最佳, 但目前的配方方案的试验观察结果是固体析出的水量较多。

(2) 温度的影响

水玻璃复合体系不仅受水玻璃质量百分浓度和交联剂质量百分浓度的影响, 还受温度的影响。选取本体系在不同温度下的成胶实验, 由试验得出, 水玻璃复合体系的胶凝时间随温度的升高而缩短, 从 80℃-100℃胶凝时间急剧缩短, 体系凝胶强度却随温度的升高而增大。

产生上述现象的原因有两个。一是温度升高胶凝时间加快, 符合温度对反应速度影响的规律; 二是因为交联剂的水解受温度的影响大, 交联剂在 60℃以下不发生水解或者说水解速度非常慢, 随温度增加水解加快, 80℃时水解仅为 0.5%, 到 100℃则增至 3.0%, 水解速度增加了 6 倍。因此, 水玻璃复合体系的胶凝时间会随 80℃-100℃急剧缩短, 凝胶结构形成迅速从而使凝胶强度急剧变大。

温度对水玻璃的温敏现象也有很大影响, 相对来说, 对水玻璃复合体系的影响更大一些, 因为温度对交联剂的水解产生很大的促进作用; 而在温敏现象中, 温度促进分子运动的作用。

由上述试验结果看出, 水玻璃复合体系中水玻璃浓度为 25%、交联剂浓度 20%的复合高温堵剂在注入蒸汽过程中随着井下温度升高能够快速形成固体, 达到很好封堵效果。

(3) 增强剂的加入对体系的影响

增强剂的加入保证了凝聚反应具有足够的能生成体型网状结构生成物, 使分散的颗粒数量增加, 颗粒表面积增加, 形成网状结构的反应接触点增多, 有利于凝聚反应的进行。这种具有巨大固相表面的凝聚结构网内, 除了以 OH⁻离子形态存在于结构晶格中的结晶水和以 H₂O 分子形态存在于增强剂层状结构间的层间水以外, 网状凝胶的孔隙中还存在大量的吸附水, 它们共同构成了凝胶的体型状态。

试验中水玻璃复合体系中随着增强剂的加入解决了该体系析水多的问题。试验结果如表 1。

表 1 增强剂的加量对凝胶强度的影响

增强剂质量分数%	0	5	10	15	20	25	30
抗压强度 MPa	0.45	0.46	0.5	0.5	0.5	0.30	0.25
析水量 ml	35	30.5	27	13	11	10	9.5
凝固时间 h	5.5						

备注: 温度 80℃, 试验堵剂液 200mL。

增强剂为反应提供了硅化物, 其最低加入量应保证体系中

各组分充分反应的需求。对于确定的凝胶抗压强度的要求, 应该有一个适当的增强剂加量范围。增强剂加量过大时, 未反应或反应不充分的增强剂会影响胶凝的强度如表 5。过多的增强剂加量还会使堵剂增稠, 易造成不易注入储层的问题。从表 5 看出浓度为 15%-20%的加量较佳, 现场试验时再根据井的地层渗透率情况选择最佳配比, 但对体系凝固时间影响不大,

(4) 无机盐的影响

①NaCl 对复合体系的影响

用不同浓度的氯化钠盐水配制的水玻璃质量百分浓度为 25%, 交联剂质量百分浓度为 20%的溶液, 增强剂质量浓度 15%, 在 80℃下形成凝胶, 观察凝胶的胶凝时间并测定凝胶的强度, 考察氯化钠对水玻璃复合体系的影响。氯化钠的质量浓度对水玻璃复合体系的影响较大, 当 NaCl 的质量百分浓度大于 3%时, 体系生成沉淀, 而再生成凝胶; 当 NaCl 的质量百分浓度小于 3%时, 对水玻璃复合体系的影响如表 2。

表 2 NaCl 对水玻璃复合体系胶凝时间的影响

NaCl 浓度%	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
胶凝时间 h	5.5	5.0	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
凝胶强度 MPa	0.5	0.6	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75

备注: 复合体系中水玻璃浓度为 25%、交联剂浓度 20%及增强剂浓度为 15%。

试验得出, NaCl 存在使水玻璃复合体系的胶凝时间缩短, 凝胶强度变大。这是因为水玻璃复合体系为碱性, 在碱性条件下 SiO₃²⁻过量, 使得碱性溶胶粒子 Na⁺进入双电层, 使其 ζ 电势下降, 从而导致聚合加速, 因而使体系的胶凝时间缩短; 由于凝胶时间缩短而使凝胶结构形成更为迅速, 因此, 体系的凝胶强度增大。

②CaCl₂、MgCl₂对水玻璃复合体系的影响

用不同质量百分浓度的 CaCl₂、MgCl₂ 配制水玻璃质量百分浓度为 25%, 交联剂浓度为 20%, 增强剂为 15%的复合体系, 在 80℃下形成凝胶, 观察凝胶的胶凝时间并测定凝胶的强度, 考察 CaCl₂、MgCl₂ 对水玻璃复合体系的影响。CaCl₂、MgCl₂ 的质量百分浓度对水玻璃复合体系的影响较大, 当 NaCl 的质量百分浓度大于 3%时, 体系生成沉淀, 而再生成凝胶; 当 CaCl₂、MgCl₂ 的质量百分浓度小于 0.5%时, 体系生成沉淀, 而再生成凝胶。

由试验得出, CaCl₂、MgCl₂ 存在使水玻璃复合体系的胶凝时间缩短, 凝胶强度变大。CaCl₂、MgCl₂ 的质量百分浓度越高, 水玻璃复合体系的胶凝时间越短, 凝胶强度越大。CaCl₂、MgCl₂ 对水玻璃复合体系的影响比同质量百分浓度的 NaCl 影响要大, 是因为高价正离子 Ca²⁺、Mg²⁺ 很容易与胶粒表面的 SiO₃²⁻ 结合而生成不溶物, 使胶粒表面电势大大降低, 胶凝时间缩短; 高价金属离子在碱性条件下还可与氢氧根离子作用生成溶胶, 使体系, 使体系里的氢氧根离子减少。因此 CaCl₂、MgCl₂ 的存在将大大减少了水玻璃复合体系的胶凝时间。胶凝时间的迅速减少, 使凝胶结构完成速度迅速加快, 凝胶结构更加紧致, 凝胶强度大大增强。可见, 无机盐的存在对水玻璃复合体系的影响

下转第 146 页

大的。要养成节约水、电和油的习惯。通过对设备简单过滤,可以彻底清洁挖掘机表面的泥土、灰尘等。对电力系统的管理和维护,及时淘汰落后的用电设备,实现节能目标。避免浪费原材料。由于施工现场环境复杂,缺乏管理和监督,出现了材料浪费现象。垃圾不仅成本高,而且还会污染环境。在绿色建筑施工过程中,要加强建筑材料的管理,消除建筑材料浪费。例如,引入定额领料制度,发货量由第二天的工作计划决定。根据验收报告,施工组长前往仓库取回当天所需的材料。工程完工后,将在当天对剩余材料进行检查,使施工人员对材料节约形成认识。此外,从施工中切割下来的废料也可以回收再利用。

(八) 推行绿色建筑技术

一是现场使用技术。使用现有建筑工程现场设施,如墙壁、凉亭、住宅区等。使用普通电线、临时电力和建筑物内的照明。使用建筑公用设施和临时管道,如临时消防系统。二是资源回收技术。开挖土经过筛选后,选择优质原土回填。清除模板表面的灰尘,没有裂缝的模板可以重复使用。切割钢筋和木质表面时留下的残留物可以用特殊方法处理。三是绿植综合降耗技术。将场地内的树木、花卉和裸露的土地结合在一起,形成一个综合性建筑,创造一个舒适的居住环境。临时建设场绿化、屋顶绿化、填坑绿化、草坪绿化。结合雨水收集区,采用透水

地板,并铺设透水砖。

五、总结

总之,在建设项目中实施绿色施工管理是建设单位的主要趋势。根据绿色施工管理理念,建设项目应重视施工管理,根据具体的工作环境改进施工管理模式。要真正提高绿色施工管理水平,需要遵循整个项目建设过程,从细节入手,将绿色建筑理念落实到每一个细节,并将绿色节能作为工作的指导原则。应重视新的节能技术和环保材料的应用。只有采取更多措施,绿色建筑才能取得预期效果。

[参考文献]

- [1]郭鹏.常用工程项目管理模式在绿色建筑项目中应用的研究[J].陶瓷,2021,(03):131-132.
- [2]胡晨.基于绿色施工的建筑工程项目质量管理对策探索[J].产业与科技论坛,2020,19(13):253-254.
- [3]吴一伟,严凯.绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新思考[J].科技创新与应用,2020(17):193-194.
- [4]郭德典.建筑工程项目绿色施工管理策略思路构建[J].建材与装饰,2020(16):184+186.
- [5]赵敏.绿色施工理念下的建筑工程管理模式创新探讨[J].中国设备工程,2020(03):191-192.

上接第 143 页

很大,在进行现场施工时要对施工井的地层水的矿化度做水质分析,后采取应有的水玻璃复合体系的配方方案。

(5) 水玻璃复合体系的热稳定性

配制水玻璃溶液质量百分浓度为 25%,交联剂浓度为 20%,增强剂浓度为 15%的体系,分别在 150℃、180℃、220℃、280℃、300℃、320℃在高温高压罐中做了高温处理实验,由试验结果得出,水玻璃复合体系在高温达到 320℃条件下,仍保持良好的稳定性。

(6) 水玻璃复合体系的封堵能力

水玻璃复合体系的封堵能力试验。配制水玻璃溶液质量百分浓度为 25%,交联剂质量百分浓度为 20%,增强剂质量百分浓度为 15%的溶液,在 300℃下利用单管模型来考察水玻璃复合体系对地层的封堵作用。试验结果如表 3。

表 3 不同孔隙体积倍数的水玻璃复合体系的封堵能力

注入孔隙体积倍数/ V_p	填砂管堵前渗透率/ $u m^2$	填砂管孔隙体积/mL	填砂管堵后渗透率/ $u m^2$	封堵率/%
0.1	2.235	14.7	0.190	91.5
0.3	2.637	15.4	0.129	95.1
0.5	2.749	15.6	0.09	96.7

由试验可以得出,水玻璃复合体系对地层有很好的封堵作用,注入 0.3 倍孔隙体积的水玻璃复合体系就能达到 95.1%的封堵效果。

3 现场试验

杜 84-兴 H2049:

杜 84-兴 H2049 于 2011 年投产,水平段 923.08m~1310.69m。该井自 8 周期后产量连续下滑,且下降幅度较大,结合井温曲线分析,存在动用不均现象。该井与周边 4 口直井汽窜频繁,近 2 轮汽窜影响 120.6 天,汽窜产量达 468.4t。综合考虑该井水平段动用不均、汽窜矛盾突出的情况,决定第 13 周期对该井进行水平井高温调剖措施,施工压力达到 15MPa。

措施后,该井注汽压力由 15.25MPa 上升至 15.5MPa,升幅 0.25MPa。措施后汽窜影响降低至 1 井次,降低汽窜影响产量 291.5t。目前该井下泵 63.5 天,产油 476t,与措施前对比产油量上升了 345.38t。

措施后,该井注汽压力由 10.6MPa 上升至 13.6MPa,升幅 3.0MPa。目前该井下泵 19.9 天,产油 40.4t,措施时间短效果观察中。

4 结论

筛选研制一种耐高温堵剂配方,在液体状态下注入,利用蒸汽高温反应固化,有效解决现有耐高温堵剂作业冲洗困难的问题。通过实验室研究,研制成功了一种新型无机凝胶复合堵剂配方:该堵剂在 300℃下,具有良好的封堵性能还抗酸、碱、盐的能力,其综合性能可满足稠油热采封堵高渗透层的需求。

[参考文献]

- [1]沈文敏.超稠油水平井高温调剖技术[J].山东大学学报(工学版),2010,40(2):113-120.
- [2]邓玉满.超稠油水平井分段注汽配合调剖技术研究与应用[J].中外能源,2013,(12):006.