

文章编号:1000-4092(2021)03-560-04

胜利油田特高含水期化学防砂技术进展*

王增林¹,李 鹏²,魏 芳²,王 勇²,梁 伟²

(1. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司, 山东 东营 257001; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油工程技术研究院, 山东 东营 257000)

摘要:随着胜利油田水驱油藏进入特高含水开发阶段,含水升高、注采强度增大等对化学防砂效果和有效期提出了更高的要求。总结了胜利油田特高含水期化学防砂技术面临的开发矛盾,介绍了胜利油田在防砂控水一体化技术、高渗滤砂管提液技术、低温固砂技术和分层注入技术方面的进展,为特高含水期油田化学防砂提供借鉴。参20

关键词:特高含水;化学防砂;胜利油田;综述

中图分类号:TE358⁺.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2021.03.032

0 前言

化学防砂技术以其防砂后井内无机械管柱、易于后续施工与处理等优势,在粉细砂岩、侧钻井、套损套变井及水井中的应用效果明显,是胜利油田主导防砂工艺技术之一。胜利油田广泛应用的传统化学防砂技术包括酚醛树脂覆膜砂技术^[1-2]、HY固砂剂技术^[3]和阳离子聚合物抑砂剂技术^[4-6]。随着胜利油田进入特高含水期,油水井注采强度增大,出现了一系列新的开采矛盾,对防砂提出了新的要求。(1)针对高含水带来的一系列问题,急需延缓含水上升速率,降低油井含水,要求防砂材料具备控水堵水功能,在防砂的同时有效降低含水;(2)油田进入高含水时期,需要提高油井产液量来达到合理的经济效益,但对于高泥质粉细砂油藏,传统的机械类滤砂管极易堵塞,造成提液困难,需要研发新型高渗透、低吸附的滤砂管以满足提液要求;(3)由于高强度注水,油层温度普遍降低,降低了化学防

砂的胶结强度,需要开发低温固结的化学防砂材料;(4)高开采强度对挡砂层的冲蚀作用增强,使得化学防砂有效期进一步降低,需要通过改进化学防砂工艺,进一步提高挡砂层强度,延长化学防砂有效期。

针对高含水带来的防砂需求,胜利油田在防砂控水一体化技术、高渗滤砂管提液技术、低温固砂技术以及分层化学防砂工艺方面有了一系列进展。本文对胜利油田特高含水期化学防砂技术现状进行了总结,为特高含水期油田油水井、套变井、小井眼井长寿命化学防砂和注水开发提供借鉴。

1 化学防砂控水一体化技术

胜利油田研发了将防砂与控水堵水功能相结合的防砂材料,在近井地带充填后,达到防砂与控水的双重目的,在防砂的同时延缓含水上升速率,降低油井含水。国内仁创科技集团在石英砂表面涂覆超疏水性材料制备了FSS型控水砂,其在近井

* 收稿日期:2020-04-21。

基金项目:国家科技重大专项“胜利油田特高含水油田高效采油工程技术”(项目编号2016ZX05011-004),中国石化重点项目“高含水期多级稳定长效防砂技术研究”(项目编号P17056-7),胜利油田分公司产业化项目“功能性防砂材料研究及应用”(项目编号YC1902)。

作者简介:王增林(1964—),男,教授级高级工程师,中国石化集团公司首席专家,中国石油大学(华东)油气田开发工程专业博士(2004),从事采油工程研究与应用,通讯地址:257001 山东省东营市济南路258号胜利石油管理局,电话:0546-8552750, E-mail:wangzenglin.slyt@sinopec.com。

地带形成疏水亲油渗透带,利用控水砂表面具有提高水表面张力的作用,增加了水相渗流阻力,防砂的同时可起到控水作用。经胜利油田工程技术研究院测试,在相同驱替压力下,原油渗流能力为水的3倍。此项技术在胜利油田东辛采油厂试验3口井,用量35 t,日增油3.2 t,有效期230 d。胜利油田工程技术研究院将超疏水的氟硅树脂涂覆在石英砂表面得到复合控水砂^[7],静态接触角达到158°;80℃下,岩心流动驱替油水阻力比值为5.3,耐温达120℃,在胜利油田高含水区块进行防砂4井次,4口井初期平均降水16.55%。曲占庆等^[8]以水介质分散性聚丙烯酰胺乳液为交联主剂、水溶性酚醛树脂为交联剂、树脂涂覆砂为防砂剂,按比例混合形成控水防砂体系。其作用机理为聚丙烯酰胺和酚醛树脂经交联反应形成冻胶控水,树脂涂敷砂控制油田出砂。将优选的控水防砂体系(0.5%聚丙烯酰胺+0.8%酚醛树脂)在孤岛油田GD2-25N58井进行了控水防砂作业,措施前日产液量15 t、日产油量0.3 t,措施后开井,日产液量60 t、日产油量3.06 t,含水率降为94%,增油降水效果较好。张国荣等^[9]提出了防砂与堵水一体化新工艺,研发了FD-1、FD-2防砂堵水剂。FD-1采用硅铝酸盐作为胶结剂,以氟硅酸银、金属氧化物为主固化剂,使用油层温度50~120℃,固结强度大于3 MPa,堵水率大于95%,并且具有较好的堵水选择性。FD-2以改性不饱和树脂为主要胶结剂,固结强度可达5~10 MPa,堵水率大于80%,堵油率小于10%,使用温度为30~100℃。该工艺在孤东堵水试验25井次,防砂有效率达到91.7%,单井防砂有效期162 d,堵水有效率76%,含水率下降2.2%,可见防砂堵水一体化工艺切实可行,取得了初步成效。李常友等^[10]研发的MS分子膜稳定剂体系具有较强的稳砂抑砂能力,并且具有阻水不阻油的功能,可在防砂同时有效降低含水。

2 高渗滤砂管提液技术

油田进入高含水时期,需要提高油井开采强度、提升产液量来达到合理的经济效益,但对于高泥质粉细砂油藏,传统的机械类滤砂管极易堵塞,造成提液困难,因此应用了树脂滤砂管解决油井提液难题。树脂滤砂管将酚醛树脂涂敷于石英砂表

面,在打孔基管外部固结而成。树脂滤砂管因其对泥质的低吸附以及良好的连通能力^[11-12],可有效满足老油田注聚合物区及后续水驱稳产需要,解决高含水时期出砂加剧、提液困难的现状,在孤东、孤岛以及桩西采油厂得到了广泛应用。杨冰川等^[13]在对比分析矿场树脂滤砂管与其他防砂应用效果的基础上,研制了一种具有较高强度和渗透率的高渗树脂滤砂管。相对于一般树脂滤砂管,高渗树脂滤砂管外层滤砂器为树脂石英复合材料,由石英砂和氰酸酯按质量比20:1混合,在155℃下压膜成型,孔隙度为37%,渗透率为11 μm²。该滤砂管改善了前期酚醛树脂滤砂管强度低、耐冲蚀性差的问题,满足了孤东出砂井在高含水时期的提液要求。该技术在孤岛、孤东、桩西等采油厂开展了41井次现场推广应用。单井平均日增液17.5 m³、日增油1.5 t,累计增油7600 t,平均防砂有效期170 d,且继续有效,效果显著。

3 低温固砂技术

由于高强度注水,油层温度普遍下降,降低了化学防砂的胶结强度。针对目前常用的覆膜砂在低温(低于50℃)或水环境中不发生固结反应的问题,范明福^[14]研制出以改性环氧树脂为胶结剂、新型水溶性胺类为固化剂的低温固结体系,25℃以上即可发生固结,40℃或以上时固结体的抗压强度可达4.88 MPa。曲堤油田曲9-107井(油层温度为40℃)按照上述低温油井人工井壁防砂处理,共计挤入23 t改性环氧树脂低温覆膜砂,措施处理后油井出油不出砂,防砂成功,有效期达24个月,明显优于酚醛树脂覆膜砂固结体系的8个月。张国荣等^[15]制备的适用于低温油层防砂的FSJ-IV涂敷砂在45℃下的固结强度为6.2 MPa。FSJ-IV在孤东、孤岛21口井进行了现场应用,最低井的温度为45.2℃,有效期达到了308 d,在低温油井中取得了较好的效果。针对防砂剂在低温井防砂效果不理想的问题,黄齐茂等^[16]研制的环氧树脂防砂剂在低温下具有较高的固结强度,60℃下的抗压强度为8.5~16.8 MPa,渗透性好(≥14.1 μm²)。胜利油田工程技术研究院于2015年研发的低黏活性固砂剂为环氧树脂改性固砂剂^[17],适用于45~150℃地层,强度不受油膜水膜影响。原油加量为20%时,低黏

活性固砂剂的强度为 7 MPa, 渗透率可达 $14.15 \mu\text{m}^2$, 渗透率保留率大于 92%; 具有低温固结, 黏度低 (小于 $5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$), 不粘附井壁、管柱, 避免了卡固管柱等安全事故。截至目前, 在临盘、孤岛、孤东、滨南等现场应用 49 井次, 其中油井应用 24 井次, 水井应用 25 井次, 取得了较好的效果。宋金波等^[18]研发的 KSJ-1 成膜型控砂剂在室温下即可发挥抑砂作用。控砂原理为含有酰胺基、氨基和正电荷的控砂剂与带负电荷和羟基的砂粒通过静电作用吸附, 形成稳定均匀多孔的分子膜, 将地层粉细砂或黏土颗粒原位固定。控砂剂耐冲刷排量达 6000 mL/h , 远高于常用抑砂剂 (900 mL/h), 控砂作用显著。现场应用 5 口油井, 防砂成功率达 100%, 截至 2018 年 5 月, 5 口井累计增油 6200 t。宋金波等^[19]研发的磷酸酯改性呋喃树脂固砂剂在 $40\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 放置 48 h 后均可以固砂, 固砂强度最大可达 4.7 MPa, 渗透率均大于 $4 \mu\text{m}^2$ 。随着固砂温度升高, 固砂强度逐渐增加, $60\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 下的固砂强度均大于 4 MPa。

4 分层注入技术

胜利油田进入高含水时期, 随着注水强度及开采强度不断提高, 对挡砂层的冲蚀作用增大, 使得化学防砂有效期进一步降低。胜利油田化学防砂有效期为 520 d, 低于压裂防砂、挤压充填防砂等机械防砂工艺 (988 d)。为了提升挡砂层强度, 除了研发新型可低温固结固砂剂, 胜利油田还采用分层注入固砂剂的工艺方式替代笼统注入。分层注入固砂剂工艺减小了储层物性不均匀带来的层间进液不均匀, 保证各小层均匀吸收固砂剂, 从而提高挡砂层的固结强度, 延长化学防砂有效期。2015 年以前, 分层化学注入化学剂多采用沙埋施工层、逐层上返的施工方式。此种工艺操作简单, 但过程繁琐, 耗时耗力。胜利油田石油工程技术研究院研发了分层化学防砂工艺管柱, 实现了不动管柱分层化学防砂施工^[20]。分层化学防砂注入管柱优点如下: 井下作业时下入一次性下入管柱即可实现非均质多层井 2~4 分层不同参数的化学防砂注入; 可满足施工排量 $3.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 、施工压力 25 MPa 的施工需要; 可随时、及时反洗井。该技术在胜利油田得到广泛应用, 分 3 层化学防砂技术应用 13 井次, 分 2 层化学防砂技术应用 46 井次, 施工安全可靠, 无卡固现象

出现, 充分说明分层化学防砂注入管柱的可靠性, 为分层化学防砂技术在胜利油田推广应用奠定了基础, 已经逐渐替代砂埋油层的传统做法。

5 建议

针对胜利油田特高含水油田开发特征及目前化学防砂工艺、管柱及材料面临的问题, 胜利油田在防砂控水一体化技术、高渗滤砂管提液技术、低温固砂技术及分层化学防砂工艺方面有了一系列进展, 但仍需开展以下几方面研究工作: (1) 攻关控水固结砂、防膨稳砂剂、稳砂携砂液等功能性防砂新材料, 实现高含水、细粉砂、高泥质油藏化学防砂高效开发。(2) 研制耐冲蚀覆膜砂、固砂剂、控水砂等化学防砂体系, 延长防砂、控水有效期, 提高特高含水油田化学防砂开发效益。(3) 完善推广分层化学防砂工艺, 满足非均质油藏层间差异化防砂开发要求。

参考文献:

- [1] 郑伟林, 黄煦, 王文凯, 等. 孤东油田化学防砂[J]. 油田化学, 2002, 19(3): 287-292.
- [2] 潘一, 杨尚羽, 杨双春, 等. 化学防砂剂研究进展[J]. 油田化学, 2015, 32(3): 449-453.
- [3] 邹晓霞. HY 新型化学防砂材料在林樊家油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 23(2): 6-9.
- [4] 卫然, 董海生, 高斌, 等. 中高渗透稠油油藏新型防膨抑砂剂的研制与应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(1): 75-77.
- [5] 蒋官澄, 郭雄华, 李道轩. 疏松砂岩油藏深部稳砂体系配方设计与应用[J]. 应用化学, 2007, 24(7): 796-800.
- [6] 张利平, 邓士奇, 黄敏. 阳离子聚合物 AEE 用作防膨抑砂剂的研究[J]. 油田化学, 2002, 19(3): 208-209.
- [7] 宋金波, 郑铎, 梅明霞. 超疏水复合控水砂表面结构及疏水性研究[J]. 油田化学, 2011, 28(4): 402-405.
- [8] 曲占庆, 曲冠政. 控水防砂室内评价及现场应用研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(21): 5144-5148.
- [9] 张国荣, 严锦根, 郭雄华. 孤东油田防砂堵水一体化技术研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(2): 69-72.
- [10] 李常友, 陈雪, 李鹏, 等. 弱胶结砂岩储层分子膜稳定剂体系的制备与性能[J]. 油田化学, 2020, 37(1): 58-61.
- [11] 高聚同. 高渗滤砂管防砂提液机理[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2016, 35(2): 134-139.
- [12] 王绍先, 魏新芳, 徐鑫, 等. 高强高渗滤砂管的研制及实验研究[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(1): 50-52.
- [13] 杨冰川, 齐元峰, 谭河清, 等. 新型高渗滤砂管的研制[J]. 中国石油石化, 2016, 24(2): 69-71.

- [14] 范明福. 低温油井覆膜砂人工井壁防砂技术与应用[J]. 科学与技术, 2017, 17(12): 168-171.
- [15] 张国荣, 严锦根, 陈应淋. 适用于低温油层防砂的FSJ-IV涂敷砂[J]. 油田化学, 2001, 18(1): 17-21.
- [16] 黄齐茂, 杨毅, 潘志权, 等. 低温环氧树脂防砂剂的研究[J]. 油田化学, 2011, 28(1): 1-4.
- [17] 汪庐山, 梁伟, 王勇, 等. 非均质砂岩油藏分层化学防砂技术[J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(1): 121-124.
- [18] 宋金波, 陈雪, 贾维霞. 粉细砂岩油藏成膜型控砂剂性能评价与应用[J]. 断块油气田, 2019, 26(4): 516-518.
- [19] 宋金波, 赵益忠, 贾培锋. 磷酸酯改性呋喃树脂固砂剂的制备及性能研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(4): 173-180.
- [20] 智勤功, 高雪峰, 谢金川. 水力密闭式分层化学防砂工具的研制[J]. 石油机械, 2002, 30(7): 32-34.

Progress of Chemical Sand Control Technology Used in Shengli Oilfield at Ultra-high Water-cut Period

WANG Zenglin¹, LI Peng², WEI Fang², WANG Yong², LIANG Wei²

(1. Shengli Oilfield Branch Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257001, P R of China; 2. Research Institute of Petroleum Engineering, Shengli Oilfield Branch Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257000, P R of China)

Abstract: As the water flooding reservoir at Shengli oilfield enters ultra-high water-cut extraction period, the water-cut and the intensity of injection and extraction increase quickly which proposes higher requirement to the production and validity period of chemical sand control. It summarized the extraction confliction of Shengli oilfield at ultra-high water-cut extraction period, introduced the improvement about the technology combination of sand controlling and water-cut reducing, chemical screen with high permeability, sand consolidation technique at low temperature and multi-layer injecting technology. It provided experience of the chemical sand control for water flooding reservoir at ultra-high water-cut oilfield.

Keywords: ultra-high water-cut; chemical sand control; Shengli oilfield; review

(上接第539页。continued from p.539)

anti-scaling performance, such as sodium polyacrylate with low molecular weight, hydrolyzed polymaleic anhydride and polyaspartic acid. The anti-scaling performance, suspension performance and corrosion performance to pipeline of barium sulfate scale inhibitor were studied. The results showed that the best mass ratio of sodium polyacrylate with low molecular weight, hydrolyzed polymaleic anhydride and polyaspartic acid in barium sulfate scale inhibitor was 2:2:3. When the mass concentration of barium ion was 300 mg/L and the temperature was 50 °C, the scale inhibitor had an excellent anti-scaling effect when the dosage was higher than 12.5 mg/L. When the dosage of scale inhibitor was 100 mg/L, the anti-scaling rate could reach more than 95%. The scale inhibitor had good temperature resistance and low corrosion resistance to pipeline. The scale inhibitor could affect the sedimentation of barium sulfate scale and the normal growth of scale nuclei, which made the structure of obtained scale regular and looser. It was conducive to the subsequent mechanical cleaning treatment and met the normal production need of oilfield.

Keyword: barium sulfate; scale inhibitor; synergistic effect