



新疆风城油田稠油热采高温封堵剂研究与现场试验

周晓义 肖武林 王美成 康承满 张雷 王正良

Study and Field Test on a High Temperature Plugging Agent for the Thermal Recovery of Heavy Oil in Fengcheng Oilfield, Xinjiang

ZHOU Xiaoyi, XIAO Wulin, WANG Meicheng, KANG Chengman, ZHANG Lei, WANG Zhengliang

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021132>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

电加热稠油热采井筒温度场数值计算方法

Numerical Calculation Method of the Wellbore Temperature Field for Electric Heating Heavy Oil Thermal Recovery

石油钻探技术. 2019, 47(5): 110–115 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019109>

海上耐高温井下安全控制管柱系统的研制

The Development and Testing of Heat-Resistant Subsurface Safety Control Devices in Offshore Operations

石油钻探技术. 2017, 45(6): 49–54 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706009>

新疆风城油田SAGD井挤液扩容效果影响因素评价

Evaluation of the Influencing Factors of Dilatancy Effects by Squeezing Liquids in SAGD Wells in the Fengcheng Oilfield of Xinjiang Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(6): 71–76 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018109>

渤海油田稠油水平井防砂筛管耐温能力的确定

Determination of the Temperature Resistance Capacity of Sand Control Screen Liner in Horizontal Heavy Oil Wells in the Bohai Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(6): 65–70 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018010>

耐贮存改性酚醛树脂交联剂的合成及性能评价

Synthesis and Property Evaluation of Storable Modified Phenolic Resin Cross-Linking Agent

石油钻探技术. 2017, 45(6): 99–104 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706018>

塔河油田外围高温高压井气滞塞防气窜技术

Anti-Gas Channeling Technology with Gas-Block Plug for High Temperature and High Pressure Wells in the Periphery of the Tahe Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(5): 40–45 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018111>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀油气开发▶

doi:10.11911/syztjs.2021132

引用格式: 周晓义, 肖武林, 王美成, 等. 新疆风城油田稠油热采高温封堵剂研究与现场试验 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 113-117.

ZHOU Xiaoyi, XIAO Wulin, WANG Meicheng, et al. Study and field test on a high temperature plugging agent for the thermal recovery of heavy oil in the Fengcheng Oilfield, Xinjiang [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 113-117.

新疆风城油田稠油热采高温封堵剂研究与现场试验

周晓义¹, 肖武林¹, 王美成¹, 康承满¹, 张雷², 王正良³

(1. 中国石油新疆油田分公司风城油田作业区, 新疆克拉玛依 834000; 2. 克拉玛依启森石油科技有限公司, 新疆克拉玛依 834000; 3. 长江大学化学与环境工程学院, 湖北荆州 434023)

摘要: 新疆风城油田稠油热采过程中容易发生蒸汽地下窜流和地表汽窜, 严重影响产能水平, 还会造成地面污染。针对这些问题, 开展了稠油热采高温封堵剂研究。以苯酚、甲醛为主要原料, 有机胺为催化剂, 合成了油溶性酚醛树脂 OSR, 并与环氧树脂、有机硅偶联剂、稀释剂等复配, 研制了新型酚醛环氧树脂类高温封堵剂 HTD。在实验室模拟稠油油藏条件, 将 HTD 与一定粒径的石英砂混合充填、压实、高温养护, 进行了高温成胶固化试验, 评价了高温固化性能、耐温性能及高温封堵性能等, 并在 3 口井进行了现场试验。室内试验得出, HTD 的抗温能力可达 300 ℃ 以上, 在温度高于 180 ℃ 时与石英砂固结体的抗压强度高于 12 MPa, 在 220~300 ℃ 条件下对高渗透率岩心的封堵率高于 99.5%, 突破压力梯度大于 35 MPa/m; 现场试验后, 封堵了蒸汽窜流通道, 试验区恢复了正常蒸汽吞吐生产, 注汽压力 3.5~5.5 MPa, 试验两年后, 产油水平提升至 62.12 t/d, 平均日增油 22.7 t, 取得了良好的经济效益。研究表明, HTD 具有优良的耐温性能和封堵性能, 可有效封堵蒸汽地下窜流和地表汽窜通道, 增大蒸汽波及体积, 提高油井产能, 且有效期长, 具有很好的应用价值。

关键词: 稠油热采; 汽窜; 高温封堵剂; 酚醛环氧树脂; 风城油田

中图分类号: TE357.44

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)06-0113-05

Study and Field Test on a High Temperature Plugging Agent for the Thermal Recovery of Heavy Oil in Fengcheng Oilfield, Xinjiang

ZHOU Xiaoyi¹, XIAO Wulin¹, WANG Meicheng¹, KANG Chengman¹, ZHANG Lei², WANG Zhengliang³

(1. Fengcheng Oilfield Operation Area, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 2. Karamay Qisen Petroleum Technology Company Limited, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 3. College of Chemistry & Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023, China)

Abstract: Underground and surface steam channeling were easily encountered during thermal recovery of heavy oil in Fengcheng Oilfield, Xinjiang, and it seriously affected the productivity level and caused surface pollution. To solve this problem, research on a high temperature plugging agent for thermal recovery of heavy oil was carried out. Oil soluble phenolic resin OSR was synthesized with phenol and formaldehyde as main raw materials and organic amine as catalyst. A new phenolic epoxy resin type of high temperature plugging agent, HTD, was developed with epoxy resin, organic silicone coupling agent and diluents. Under simulated heavy oil reservoir conditions in the laboratory, HTD was mixed with quartz sand in certain particle size for filling, compaction and high-temperature maintenance. In addition, high-temperature gelling and curing experiments were conducted. Temperature resistance, and high temperature curing performance and plugging effect were evaluated followed by field tests on three wells. The experimental results showed that HTD could resist high temperature over 300 ℃ and its compressive strength was greater than 12 MPa when combined with quartz sand at a temperature above 180 ℃. The plugging rate of high permeability core was greater than 99.5% at 220–300 ℃ with a breakthrough pressure gradient over 35 MPa/m. In field tests, steam channeling was blocked and production by steam huff and puff came back to normal with the pressure of 3.5–5.5 MPa. Two years later, oil production rose to 62.12 t/d with an average daily increase of 22.7 t, achieving sound economic benefits.

收稿日期: 2021-03-23; 改回日期: 2021-10-25。

作者简介: 周晓义 (1985—), 男, 湖北襄阳人, 2010年毕业于长江大学石油工程专业, 工程师, 主要从事油气田开发方面的研究工作。E-mail: fczhxy@petrochina.com。

通信作者: 王正良, wzl9228@126.com。

Research results show that HTD has excellent temperature resistance and plugging performance and can effectively block surface and underground steam channeling. HTD has a good application value, for it can expand steam sweep volume and improve oil well productivity, showing a long validity period.

Key words: thermal recovery of heavy oil; steam channeling; high temperature plugging agent; phenolic epoxy resin; Fengcheng Oilfield

新疆风城油田超稠油油藏埋深只有 180~250 m, 储层岩性以中—细砂岩为主, 属辫状河沉积, 胶结程度低, 油层平均孔隙度 30.6%, 平均渗透率 1 627 mD, 含油饱和度 71%。平均油层厚度 35.7 m, 油藏原始地层温度 17~25 ℃, 原始地层压力系数 0.987, 地层温度下原油黏度 100~600 Pa·s, 黏温反应敏感, 温度每升高 10℃ 原油黏度降低 50%~70%, 采用蒸汽吞吐和蒸汽驱取得了很好的开采效果。

但是, 由于受构造、储层非均质性、油藏埋藏浅以及蒸汽与稠油流度比差异大、地层出砂等因素的影响, 注入高温蒸汽易沿高渗透带或大孔道发生窜流; 使热采效率严重下降, 甚至出现蒸汽沿油层上部盖层薄弱、存在浅部破损带的地区窜漏出地表, 发生地表汽窜^[1]。蒸汽地下窜流和地表汽窜不仅严重影响产能水平, 也会造成地面污染等问题。风城油田作业区自 2008 年以来, 先后出现 30 多处地表窜漏点, 导致地表窜漏点附近的井组不能正常生产, 严重影响对应区块的产能水平。因此, 新疆风城油田迫切需要解决蒸汽地下窜流和地表汽窜问题, 而最有效的方法是使用高温封堵剂封堵汽窜通道。但稠油热采注入蒸汽温度可达 280~300 ℃, 对高温封堵剂的耐温性能要求很高。目前, 高温封堵剂的种类主要有高温冻胶堵剂、高温泡沫堵剂、树脂类高温堵剂、有机无机复合颗粒堵剂等^[2-12], 这些高温封堵剂存在耐温能力有限、封堵强度不高的问题。因此, 研究开发耐温性能和封堵能力强的新型稠油热采高温封堵剂, 对于新疆风城油田稠油热采具有现实意义。

为解决上述问题, 笔者采用有机胺作催化剂合成了油溶性酚醛树脂 OSR, 并通过有机硅偶联剂和环氧树脂改性, 研制了新型酚醛环氧树脂类的高温封堵剂 HTD。室内性能评价和现场试验都表明, HTD 具有很好的抗温和封堵性能, 在风城油田高孔高渗浅层超稠油热采中使用, 可取得良好的经济效益。

1 高温封堵剂 HTD 的研制

1.1 研制思路

调研发现, 酚醛树脂类物质抗温能力较为理想^[13],

如果通过环氧树脂及有机硅偶联剂改性可进一步提高其抗温性能^[14-16]。合成酚醛树脂时, 一般采用无机酸和无机碱作为催化剂, 采用强碱性的氢氧化钠作为催化剂。合成酚醛树脂反应速度较快, 合成的酚醛树脂固结温度较低。而多乙烯多胺是一种有机弱碱, 还可作为环氧树脂固化剂。因此, 研制高温封堵剂的思路是: 以弱碱性的有机胺和纯碱为催化剂合成油溶性酚醛树脂, 并与环氧树脂、有机硅偶联剂、稀释剂等复配, 配制出新型酚醛环氧树脂类高温封堵剂。

1.2 试剂与仪器

试剂: 苯酚, 化学纯; 甲醛, 化学纯; 碳酸钠, 分析纯; 四乙烯五胺, 化学纯; 有机硅偶联剂, 工业品; 稀释剂, 工业品; E44 环氧树脂, 工业品。

仪器: DZF-6050 台式真空干燥箱; DV-II+PRO 黏度计; 高温高压岩心流动试验装置; 高温老化罐, 400 mL; 万能压力试验机。

1.3 研制过程

1) 合成油溶性酚醛树脂。将苯酚和醛按质量比 1.0:2.5~3.0 加热溶解混匀, 加入 1.5% 有机胺及 0.5% 碳酸钠作为催化剂, 置于有机合成装置中, 将温度升至 84 ℃, 在不断搅拌条件下反应 6 h, 然后抽真空脱去低沸点物质, 至无馏出液为止, 所得产物为棕色透明的黏稠液体, 即为油溶性酚醛树脂(代号 OSR)。

2) 配制高温封堵剂。取油溶性酚醛树脂 OSR 与 E44 环氧树脂, 按质量比 7:3 混合均匀, 再加入混合了 3% 树脂的有机硅偶联剂、10%~15% 树脂的稀释剂调节黏度, 并充分搅匀, 得到酚醛环氧树脂类高温封堵剂(代号 HTD)。

1.4 基本性能测试

用 DV-II+PRO 黏度计测 HTD 的黏度, 结果为 40~60 mPa·s。将 HTD 挤入模拟地层(用恒温干燥箱模拟油藏高温环境), 在 80~300 ℃ 温度下经过 6~12 h 后, 树脂能成胶固化, 形成较高强度的固结体, 说明 HTD 能达到很好的高温封堵效果。

2 高温封堵剂 HTD 的性能评价

为进一步了解高温封堵剂 HTD 的高温固化性

能、耐温性能及高温封堵性能,在实验室内按如下基本步骤开展了评价试验:1)筛选一定粒径(20~40 目)的石英砂,加入一定量的 HTD,将其与石英砂搅拌均匀;2)将上述混合物充填于直径 30 mm、高 40 mm 的玻璃管里并进行压实,置于高温老化罐中,添加水浸没样品,密闭容器,在恒温干燥箱中恒温养护一定时间;3)取出观察分析成胶固化情况,并切割打磨成规则的圆柱体,用万能压力试验机测其抗压强度等,然后使用高温高压岩心流动试验装置评价 HTD 的封堵性能。

2.1 高温固化性能

2.1.1 石英砂用量的影响

在实验室内,将 20~40 目石英砂与高温封堵剂 HTD 充分混匀,使其在 180 °C 下恒温 6 h 后形成固结体。然后分析了不同石英砂含量对 HTD 固化性能的影响,结果如图 1 所示。

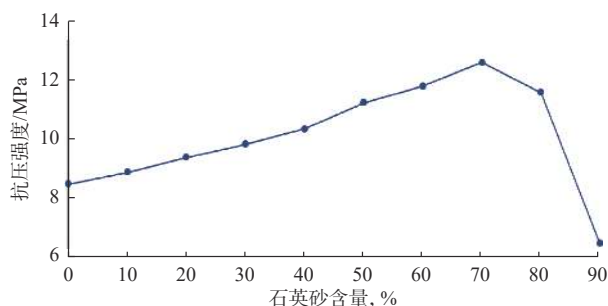


图 1 石英砂含量对高温封堵剂 HTD 固化性能的影响

Fig.1 Effect of quartz sand content on the curing performance of HTD

由图 1 可知,石英砂含量对石英砂与 HTD 所形成固结体的抗压强度有一定影响,石英砂用量由低到高,固结体抗压强度逐步升高。石英砂含量为 70% 时,固结体的抗压强度最高,可达 12.6 MPa;此后抗压强度开始下降,石英砂含量达到 80% 后固结体的抗压强度开始迅速下降。这是因为,石英砂含量较小时,HTD 高温固结后骨架支撑作用小,抗压强度较低,随着石英砂含量增大,骨架的支撑作用增强,固结体抗压强度逐步升高,但石英砂含量较大时,HTD 不足以把石英砂全部包裹固结好,因此固结体的抗压强度会降低。

2.1.2 温度的影响

通过试验分析了不同温度下高温封堵剂 HTD 的固化性能(试验条件:石英砂用量为 70%,固化时间为 8 h),结果如图 2 所示。

由图 2 可知,温度对石英砂与 HTD 所形成固结

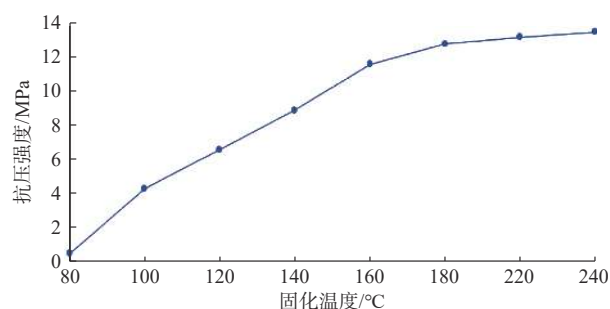


图 2 温度对高温封堵剂 HTD 固化性能的影响

Fig.2 Effect of temperature on the curing performance of HTD

体的抗压强度影响较大。温度为 80 °C 时,固结体的抗压强度很低,但随着温度升高,固结体抗压强度不断提高,温度达到 160 °C 时固结体抗压强度已达 11.6 MPa,不过,此后温度再升高,固结体抗压强度的提高幅度变小。试验发现,温度高于 180 °C 后,固结体出现了体积膨胀现象,与玻璃管胶结致密、牢固,这说明 HTD 可与砂岩地层很好地胶结,并具有很高的固结强度(高于 12.8 MPa)。因此,HTD 适合作为稠油热采的封堵剂。

2.2 耐温性能

稠油热采时注入蒸汽的温度可达 260 °C 以上,因此,封堵剂在高温下需要保持长久的稳定性。为此,在 260, 280 和 300 °C 温度下进行了高温封堵剂 HTD 与石英砂的固结体在长时间下的热稳定性试验(试验条件:石英砂用量为 70%;恒温时间为 60, 120 和 180 d),结果如图 3 所示。

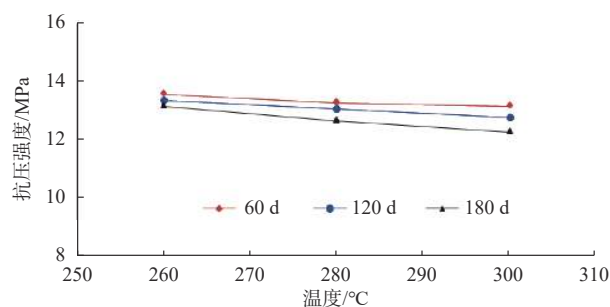


图 3 高温封堵剂 HTD 耐温性能评价结果

Fig.3 Evaluation results of the temperature resistance performance of HTD

由图 3 可知,在 260~300 °C 温度下,HTD 与石英砂所形成固结体恒温养护较长时间后,仍具有很高的抗压强度。随着温度升高,抗压强度有一定的下降,但下降幅度很小。如在 300 °C 下恒温放置 180 d 后,抗压强度仍然高于 12 MPa。这说明 HTD 具有良好的耐温性能,抗温能力可达 300 °C 以上。

2.3 高温封堵性能

利用高温高压岩心流动试验装置,通过岩心流动试验分析了高温封堵剂 HTD 对不同渗透率的填砂管岩心的封堵效果。考虑有稠油热采蒸汽窜流通道,地层渗透率有较大幅度升高,因此采用填砂管制作了高渗透率岩心,先将其抽真空,测水相渗透率 K_{w1} ,再挤入高温封堵剂 HTD,挤入 HTD 的体积为砂管岩心的 1 倍孔隙体积;然后关紧岩心两端的进出口,在指定温度下恒温 8 h,再测岩心的水相渗透率 K_{w2} ,记录承压强度,计算水相封堵率及突破压力梯度,结果见表 1。

表 1 高温封堵剂 HTD 的高温封堵性能试验结果

Table 1 Experimental result of high temperature plugging performance of HTD

序号	$K_{w1}/$ mD	温度/ ℃	$K_{w2}/$ mD	封堵率, %	突破压力梯度/ (MPa·m ⁻¹)
1	11 540	220	51.03	99.56	38.7
2	17 320	240	66.12	99.62	39.3
3	15 360	260	52.15	99.66	40.3
4	14 760	300	41.06	99.72	40.7

注:砂管岩心长度为 30 cm,突破压力梯度为突破压力除以岩心长度。

由表 1 可知,高温封堵剂 HTD 对高渗透率岩心的封堵效果很好。将 HTD 挤入岩心后,在 220~300 ℃ 温度条件下恒温 8 h 后,高渗透率岩心的封堵率高于 99.5%,突破压力梯度大于 35 MPa/m。新疆风城油田蒸汽注入压力大多低于 15.0 MPa,因此 HTD 可满足稠油热采封堵和抑制蒸汽窜流的要求。

3 现场试验

风城油田 F-109 井区于 2010 年投产,采用稠油蒸汽吞吐开采方式,在经过 4 轮吞吐后,蒸汽沿着上覆地层裂缝通道突破至近地表,在覆盖层薄弱区形成地面窜漏。受地面蒸汽窜漏影响,区内 14 口井不能正常注汽生产,产油量下降。该井区之前采用膨润土-水泥及聚合物冻胶进行了封堵试验,发现封堵承压能力低,有效期短。为此,2018 年 9 月,在风城油田 F-109 井区地表窜漏区域进行了高温封堵剂 HTD 的现场试验。试验前,经过电位法通道监测研究,确定窜漏通道上 3 口关联井是 F-109 井、F-145 井和 F-110 井(见图 4,图例中 ρ 为电阻率,Ω·m),需对油井窜漏通道进行高温封堵。

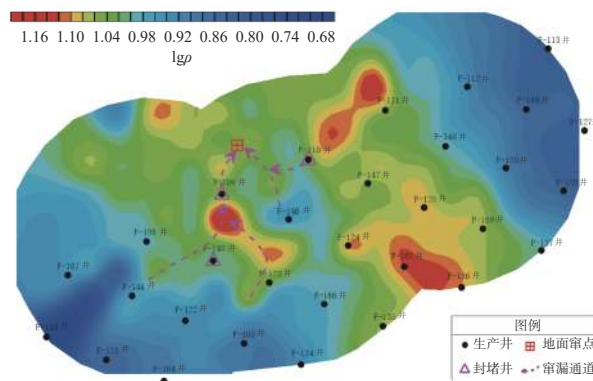


图 4 F-109 井区窜漏通道监测结果

Fig.4 Monitoring results of the leaking channel in the F-109 well block

现场试验前,3 口关联井(F-109 井、F-145 井和 F-110 井)处于关井状态,井口油套压均为 0。进行现场试验时,前置液采用无机和有机复合堵剂,交替注入 800~1 100 m³ 该堵剂,后置封口采用高温封堵剂 HTD,用量 15~20 m³,施工时泵注压力由 0 逐步升高,并稳定在 4.5~5.0 MPa(见图 5)。

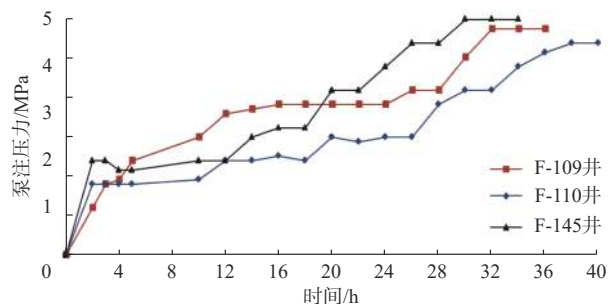


图 5 F-109 井区 3 口试验井封堵泵注压力曲线

Fig.5 Curves of plugging and pumping injection pressure for three test wells in the F-109 well block

措施后,F-109 井区地面不再发生蒸汽窜漏,受地面窜漏影响的 14 口井恢复了正常注汽吞吐生产,平均单井日注汽量 100 m³,注汽压力 3.5~5.5 MPa,产油量得到提高。截至 2020 年底,该区域产油能力提高至 62.12 t/d,平均日增油 22.7 t,说明高温封堵剂 HTD 有效封堵了蒸汽地面窜漏和地下窜流通道,增大了蒸汽波及体积,提高了油井产能,施工有效期长达 2 年以上,取得了良好的经济效益。

4 结 论

1) 针对新疆风城油田稠油热采中蒸汽地下窜流和地表汽窜的问题,以有机胺为催化剂合成了油溶性酚醛树脂 OSR,并与环氧树脂、有机硅偶联剂、稀

释剂等复配, 研制了新型酚醛环氧树脂类高温封堵剂 HTD。

2) 在石英砂用量为 70% 时, 高温封堵剂 HTD 与石英砂固结体的固结强度最高; 胶结温度在 180 ℃ 以上时固结体的抗压强度高于 12.8 MPa, 与砂岩地层胶结良好, 说明适宜胶结温度在 180 ℃ 以上。

3) 高温封堵剂 HTD 与石英砂的固结体, 在 260~300 ℃ 温度下经过长时间养护后仍具有很高的抗压强度 (高于 12 MPa), 说明 HTD 的抗温能力可达 300 ℃ 以上。

4) 在 220~300 ℃ 温度下, 高温封堵剂 HTD 对高渗透率填砂管岩心的封堵率大于 99.5%, 突破压力梯度大于 35 MPa/m, 可满足风城油田稠油热采抑制蒸汽窜流的要求。

5) 现场试验结果表明, 高温封堵剂 HTD 可有效封堵蒸汽地表窜漏和地下窜流通道, 增大蒸汽波及体积, 提高产油水平, 施工有效期长达 2 年以上, 取得了良好的经济效益。

参 考 文 献

References

- [1] 王晓惠, 赵玲莉, 王海峰. 重 32 井区稠油水平井地表汽窜治理技术研究 [J]. 新疆石油天然气, 2014, 10(3): 64-67, 76.
WANG Xiaohui, ZHAO Lingli, WANG Haifeng. The research on the treatment technology of the surface steam channeling in heavy oil horizontal well in Zhong 32 Well Block[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2014, 10(3): 64-67, 76.
- [2] 王充. 悬浮凝胶颗粒复合调堵剂研究与应用 [J]. 化学工程师, 2017, 31(1): 61-65.
WANG Chong. Research and application of suspension gel particles compound plugging agent[J]. Chemical Engineer, 2017, 31(1): 61-65.
- [3] 王敏. 无机凝胶调剖技术的研究改进与应用 [J]. 化学工程与装备, 2019(6): 25-27.
WANG Min. Research improvement and application of inorganic gel profile technique[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019(6): 25-27.
- [4] 郭新健, 于培志. 抗高温化学凝胶堵漏技术在顺北 52X 井的应用 [J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(2): 189-193.
GUO Xinjian, YU Peizhi. Controlling mud losses in Well Shunbei 52X with high temperature chemical gels[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(2): 189-193.
- [5] 吴清辉. 高温高盐凝胶堵剂 WTT-202 研制与应用 [J]. 精细与专用化学品, 2019, 27(2): 28-33.
WU Qinghui. Study and application of high temperature & salinity gel agent WTT-202[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2019, 27(2): 28-33.
- [6] 朱锰飞. 耐温耐盐增强型双聚合物凝胶体系的研制及应用 [J]. 石油化工, 2018, 47(6): 622-627.
ZHU Mengfei. Development and application of temperature and salt resistance enhanced double polymer gel system[J]. Petrochemical Technology, 2018, 47(6): 622-627.
- [7] 张志强. 一种高温凝胶堵剂的研制及性能评价 [J]. 石油化工应用, 2018, 37(9): 35-40.
ZHANG Zhiqiang. Development and evaluation of a thermal blocking gel for conformance adjustment[J]. Petrochemical Industry Application, 2018, 37(9): 35-40.
- [8] 刘瑞, 于培志. 耐高温聚合物凝胶堵剂研究进展 [J]. 应用化工, 2021, 50(3): 736-740.
LIU Rui, YU Peizhi. Research progress of high temperature resistant polymer gel plugging agent[J]. Applied Chemical Industry, 2021, 50(3): 736-740.
- [9] 王晓龙. 稠油油藏复合泡沫辅助蒸汽驱提高采收率技术研究 [D]. 青岛: 中国石油大学 (华东), 2018.
WANG Xiaolong. Research on compound foam assisted steam flooding technology for enhanced recovery in heavy oil reservoir[D]. Qingdao: China University of Petroleum(East China), 2018.
- [10] 戴彩丽, 冯海顺, 简家斌, 等. 耐高温冻胶泡沫选择性堵水剂: 适用于东海气田高温气藏堵水稳产 [J]. 天然气工业, 2015, 35(3): 60-67.
DAI Caili, FENG Haishun, JIAN Jiabin, et al. A selective water-plugging system with heat-resistant gel foam: a case study from the East China Sea Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(3): 60-67.
- [11] 刘刚, 王俊衡, 王丹翎, 等. 耐高温栲胶堵剂的研制及油藏适应性评价 [J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(3): 452-458.
LIU Gang, WANG Junheng, WANG Danling, et al. Development and reservoir adaptability evaluation of a high temperature resistant plugging agent: tannin extract[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3): 452-458.
- [12] 刘灏亮, 赵法军, 张洪玮, 等. 用于稠油蒸汽驱的树脂型耐高温封堵剂室内静态评价 [J]. 当代化工, 2017, 46(2): 240-242.
LIU Haoliang, ZHAO Fajun, ZHANG Hongwei, et al. Laboratory static evaluation of resin plugging agent with high temperature resistance used in steam driving of heavy oil[J]. Contemporary Chemical Industry, 2017, 46(2): 240-242.
- [13] 彭通, 李一琳, 王振远, 等. 耐高温热固性酚醛树脂堵剂的合成及性能评价 [J]. 石油化工, 2021, 50(7): 691-697.
PENG Tong, LI Yilin, WANG Zhenyuan, et al. Synthesis and performance evaluation of high temperature resistant thermosetting phenolic resin plugging agent[J]. Petrochemical Technology, 2021, 50(7): 691-697.
- [14] 王旭, 梁西良. 耐高温酚醛树脂研究进展 [J]. 化学与粘合, 2021, 43(4): 304-306.
WANG Xu, LIANG Xiliang. Research progress in high temperature resistant phenolic resin[J]. Chemistry and Adhesion, 2021, 43(4): 304-306.
- [15] 李小燕, 李仲谨, 郭焱, 等. 环氧酚醛耐温胶粘剂的合成及性能研究 [J]. 化工新型材料, 2005, 33(7): 61-63.
LI Xiaoyan, LI Zhongjin, GUO Yan, et al. The synthesis and capability study of epoxide phenolic adhesive[J]. New Chemical Materials, 2005, 33(7): 61-63.
- [16] 刘兰轩, 汤朋, 田志强, 等. 有机硅耐高温涂料的研究进展 [J]. 上海涂料, 2020, 58(6): 30-38.
LIU Lanxuan, TANG Peng, TIAN Zhiqiang, et al. Research progress of high temperature resistant silicone coatings[J]. Shanghai Coatings, 2020, 58(6): 30-38.