

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.01.010

钻井液用沥青质稠油硬化剂的研究与应用

金军斌¹, 杨顺辉¹, 张洪宝¹, 任立伟², 宋兆辉¹

(1. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 2. 中石化石油工程技术服务有限公司钻井事业部, 北京 100101)

摘要: 为了解决沥青质稠油对钻井液的污染问题, 从沥青氧化硬化化学反应理论出发, 对 13 种沥青处理剂进行了沥青质稠油硬化试验, 优选出硬化剂 LYJ-5; 并在钻井液中进行了硬化试验, 对硬化剂与稠油反应时产生的温度、压力进行了室内试验评估; 然后, 对沥青质稠油硬化剂进行了现场试验验证。室内试验表明, LYJ-5 可以使沥青质稠油的软化点由 52 ℃提高至 127 ℃; 在有、无钻井液存在 2 种情况下, LYJ-5 可以将稠油沥青的软化点提高 52 ℃和 75 ℃。在 F17 井的现场试验表明, 应用 LYJ-5 之后每小时钻井液污染量降低至应用前的 19.15%, 部分沥青出现硬化聚集现象, 使后续的测井和下套管施工更加顺利。综合研究表明, LYJ-5 可以大幅度提高沥青质稠油的软化点, 显著降低沥青质稠油对钻井液的污染, 因而可对沥青层钻进提供强有力的技术支持。

关键词: 沥青质稠油 实验室试验 硬化剂 现场试验 YD 油田

中图分类号: TE254⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2014)01-0050-05

Development and Application of A Hardening Agent for Asphaltic Heavy Oil in Drilling Fluid

Jin Junbin¹, Yang Shunhui¹, Zhang Hongbao¹, Ren Liwei², Song Zhaohui¹

(1. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 2. Drilling Division of Sinopec Oilfield Service Corporation, Beijing, 100101, China)

Abstract: To decrease drilling fluid contamination caused by asphaltic heavy oil influx, a hardening agent LYJ-5 was developed based on the chemical theory that asphalt get harder after oxidation. Solidifying test was conducted in drilling fluid environment, the effect of temperature and pressure on solidifying performance was evaluated, then the selected hardening agent was applied in oilfield. LYJ-5 could increase the softening point of asphalt from 52 ℃ to 127 ℃ and the softening point temperature was raised by 52 ℃ in drill fluid and 75 ℃ without drilling fluid respectively. Its application in Well F17 showed the contaminated drilling fluid volume per hour decreased by 19.15% after adding LYJ-5, solidifying and accumulation of asphalt was observed at outlet, making wire line logging and casing running smooth. It was concluded from comprehensive study that LYJ-5 could increase the softening point of asphaltic heavy oil significantly, reduce the drilling fluid contamination caused by asphaltic heavy oil, and could guarantee safety drilling in asphaltic heavy oil bearing formation.

Key words: asphaltene; viscous crude oil; laboratory testing; hardening agent; field test; YD Oilfield

中东 YD 油田是世界上有待全面开发的特大型油田之一, 目前已经完钻 45 口井。开发过程中, 多口井在 Kazhdumi 地层钻遇沥青质稠油。沥青质稠油对钻井工程的危害主要有: 钻井液污染严重、性能难以控制; 涌、漏并发导致钻井液材料及钻井液消耗严重, 例如该油田 F13 井排放污染钻井液 5 000 m³, 消耗重晶石 3 500 t; 导致多口井工程弃井, 严重影响了 YD 油田的整体开发进度, 给钻井施工带来极

收稿日期: 2013-09-16; 改回日期: 2014-01-02。

作者简介: 金军斌(1970—), 男, 山东茌平人, 1996 年毕业于中国地质大学(武汉)探矿工程系钻探专业, 2010 年获中国石油大学(华东)石油与天然气工程专业硕士学位, 高级工程师, 主要从事钻井液技术研究及海外项目管理工作。

联系方式: (010)84988582, jinjb.sripe@sinopec.com

基金项目: 国家科技重大专项“中东富油气区复杂地层井筒关键技术”(编号: 2011ZX05031-004) 和中国石化科技攻关项目“海外重点区块复杂地层钻完井关键技术研究”(编号: P12077) 部分成果。

大风险和挑战^[1]。技术人员针对 YD 油田钻井过程中遇到的稠油侵害问题,总结出一些预防与处理稠油侵害的方法,主要包括提高钻井液密度法、乳化分散降黏法、桥塞堵漏和化学封堵法、水泥封堵法等,但效果都不尽如人意^[1-3]。为此,笔者在室内试验的基础上,从沥青氧化硬化的机理出发,优选出一种沥青质稠油硬化剂,并通过现场试验验证了其效果。

1 YD 油田稠油特征与硬化剂作用原理

1.1 沥青质稠油特征

中东 YD 油田 Kazhdumi 地层沥青质稠油密度和平均相对分子质量较大,分别达到 1.01 kg/L 和 890;流动性极差,100 °C 时的运动黏度为 16 657 mm²/s,残炭、灰分分别达到 17.9% 和 0.131%;硫含量、金属含量高;胶质和庚烷沥青质含量分别达 29.51% 和 29.09%;软化点高于大多数稠油,达到 52 °C,具备典型的沥青质稠油特性。YD 油田稠油黏度受温度和压力的影响较大,温度越低,压力越大,稠油黏度越大。在测定温度范围内,温度越低,黏度增幅越大;受压力的影响程度也越大。

1.2 沥青质稠油的氧化硬化研究思路

沥青质稠油硬化和室内封堵试验的目的是优选性能优良的硬化剂,采用稠油硬化技术硬化稠油,封堵稠油油藏孔道,阻止稠油涌入井眼,切断钻井液污染源,并硬化已经侵入钻井液的稠油,使钻井液中的稠油顺利从钻井液中筛分出来,保证正常钻进及后续的固井作业顺利进行。

1.3 氧化硬化基本原理

氧化硬化的基本原理是氧化剂中的氧与沥青质稠油中的成分发生反应,破坏稠油中原有的组分和结构,使稠油性质发生改变。在一定温度下,沥青中的烷基侧链断裂形成自由基而引发氧化反应,以及稠油中的活性基团与氧化剂发生反应,氧化反应符合自由基链反应历程,氧化反应的主要产物为羰基与亚砜官能团,深度氧化可能进一步生成羧酸与酸酐官能团^[4]。分子间因极性官能团的缔合与缩聚作用,使老化后沥青的平均相对分子质量增大,相对分子质量分布发生明显变化。从组成和性质方面分析,老化后沥青中的胶质减少,沥青质增加,软化点升高,黏度增大,针入度下降,稠油变硬。

2 沥青质稠油硬化剂室内试验

2.1 硬化剂的优选试验

基于沥青氧化硬化的机理,对大量常见的硬化剂进行沥青质稠油硬化试验,考察反应前后稠油软化点的变化,来评价硬化效果。表 1 为部分硬化剂对沥青质稠油 A(软化点为 13 °C)和 B(软化点为 21 °C)的氧化硬化试验结果。

表 1 部分硬化剂优选试验结果

Table 1 Performance evaluation and comparison of different hardening agents

沥青质 稠油	硬化剂	氧化体系物料配比 ¹⁾		氧化 温度/°C	氧化 时间/h	软化点 提高/°C	
		硬化剂	稠油				
A	LYJ-1	1	5.0	1.25	120	4	4.0
	LYJ-2	1	10.0	2.50	120	2	4.0
	LYJ-3	1	5.0	1.25	140	2	14.0
	LYJ-4	1	5.0	1.25	120	4	3.0
	LYJ-4	1	4.0		120	4	7.0
	LYJ-5	1	2.5		120	4	21.0
	LYJ-6	1	20.0	5.00	120	4	23.0
	LYJ-8	1	5.0		110	4	19.0
B	LYJ-2	1	10.0		120	4	17.0
	LYJ-5	1	2.5		120	4	41.0
	LYJ-6	1	20.0	5.00	120	4	19.5
	LYJ-7	1	10.0		100	4	2.0
	LYJ-8	1	10.0		100	4	33.0

注:1)为体积比或体积质量比。

由表 1 可知:硬化剂 LYJ-5、LYJ-6 和 LYJ-8 都具有较好的提高软化点的能力,其中 LYJ-5 最高,可提高 41.0 °C;对于沥青质含量高(软化点高)的稠油,氧化后软化点提高更明显。由于 LYJ-6 在常温下不易溶于水,LYJ-8 又存在现场施工风险,因此选择 LYJ-5 作为沥青质稠油的硬化剂。

2.2 硬化效果与温度、时间和加量的关系

在室内用硬化剂 LYJ-5 分别考察反应时间、反应温度、氧化剂用量对固化效果的影响,进行较优试验条件的探索,结果见图 1—3。

由图 1—3 可知,LYJ-5 加量越大,温度越高,反应时间越长,效果越好。考虑现场施工因素,在 120 °C、4 h 条件下,LYJ-5 的加量占稠油的 40%(组成体积比,即组成配比为 0.4)时,就能达到较好的沥青硬化效果,满足现场要求。

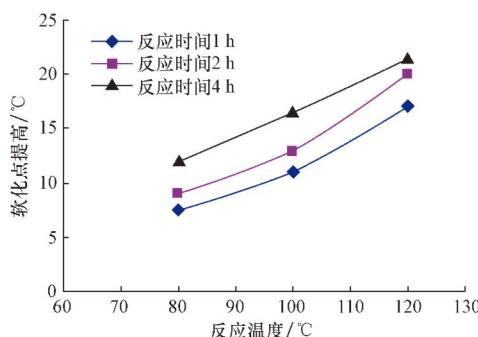


图 1 组成配比为 0.2 时的固化效果

Fig. 1 Solidifying performance with 20% of LYJ-5

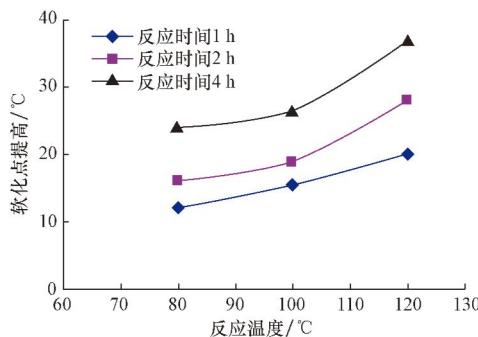


图 2 组成配比为 0.4 时的固化效果

Fig. 2 Solidifying performance with 40% of LYJ-5

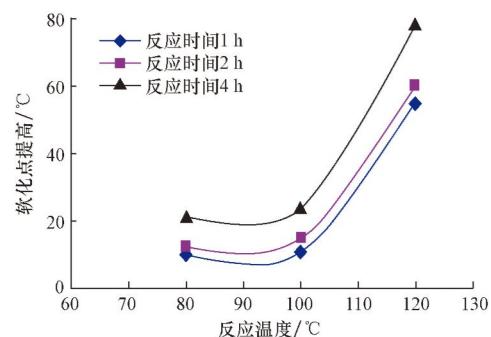


图 3 组成配比为 0.6 时的固化效果

Fig. 3 Solidifying performance with 60% of LYJ-5

2.3 钻井液硬化试验

在有钻井液存在和无钻井液存在 2 种情况下,通过室内试验考察了 LYJ-5 对中东 YD 油田沥青质稠油(软化点 52 °C)的硬化效果,结果见表 2。

从表 2 可以看出,无论有钻井液存在,还是无钻井液存在,LYJ-5 对 YD 油田沥青质稠油均有较好的硬化效果,但在有钻井液存在的情况下硬化的效果较无钻井液情况下有所下降;另外,LYJ-5 对钻井液黏度也有一定的降低作用。

表 2 YD 油田稠油硬化试验结果

Table 2 Laboratory test result on heavy oil of Oilfield YD

硬化剂	氧化体系物料配比			氧化温度/°C	氧化时间/h	氧化后软化点提高/°C	钻井液黏度下降率, %
	氧化剂	稠油	钻井液				
LYJ-5	1	1.6		120	4	75	
LYJ-5	1	1.7	1.7	120	2	32	25
LYJ-5	1	3.3	3.3	120	1	52	35

2.4 硬化前后沥青质稠油的组分对比

沥青质稠油硬化前后的性能及组成见表 3。

表 3 沥青质稠油硬化前后性能及组成

Table 3 Properties and components of asphaltic heavy oil before and after solidifying

相关参数	使用硬化剂 硬化前	使用硬化剂 硬化后
软化点/°C	52	127
平均直径/mm	1	10~20
黏附率, %	14	3
抗压强度(软化点 127 °C)/MPa		1.85
正庚烷可溶质质量比, %	54.34	47.25
正庚烷沥青质质量比, %	19.09	28.74
甲苯不溶物质量比, %	18.22	28.99

由表 3 可知:采用 LYJ-5 硬化沥青质稠油后,稠油的软化点显著提高,黏附性下降明显,沥青质稠油具有一定抗压强度,正庚烷沥青质和甲苯不溶物的质量比上升幅度都较大。

2.5 硬化剂 LYJ-5 的安全性评估

LYJ-5 是在地面配制的,配制时的温度、压力等条件与井下及地层内有很大不同,在将 LYJ-5 注入井眼或地层内可能会造成一些不良影响。因此,需要对使用硬化剂的安全性进行评价。通过室内试验,对 LYJ-5 与稠油反应时的温度、压力变化情况进行了监测,结果见表 4。

从表 4 可以看出,LYJ-5 分解以及与沥青质稠油发生反应时放热较多,温度、压力都有一定程度的升高,因此现场试验要做好相应的防护措施。

表 4 LYJ-5 安全性评估试验结果
Table 4 Safety assessment of LYJ-5

试验累计时间/h	压力/MPa	温度/℃
5	0.65	29
10	0.75	51
15	1.40	95
20	1.37	121
30	1.25	128
50	0.97	137
70	0.76	140
90	0.65	141
130	0.65	141

注: 试验加入原料为 20 mL 沥青质稠油 + 24 mL 水 + 24 g LYJ-5。

3 现场试验

2012 年 6—8 月, 沥青质稠油硬化剂 LYJ-5 在中东 YD 油田的 F17 井和 F21 井进行了现场试验, 均取得了良好的硬化效果, 显著降低了沥青质稠油对钻井液的污染。下面以 F17 井为例详述应用情况。

3.1 F17 井工程地质概况

F17 井是位于中东 YD 油田 Hossinieyh 区块的一口生产井, 设计井深 4 261 m, 完钻井深 4 285 m。该井采用四开井身结构: 一开井段, $\phi 444.5$ mm 钻头 \times 302.50 m ($\phi 339.7$ mm 套管 \times 300.30 m); 二开井段, $\phi 311.1$ mm 钻头 \times 2 216.00 m ($\phi 244.5$ mm 套管 \times 2 215.00 m); 三开井段, $\phi 212.7$ mm 钻头 \times 3 802.00 m ($\phi 177.8$ mm 套管 \times 3 801.00 m); 四开井段, $\phi 149.2$ mm 钻头 \times 4 285.00 m ($\phi 114.3$ mm 套管 \times 4 284.00 m)。位于三开井段的 Kazhdumi 地层属于灰岩地层, 为裂缝性和溶洞型储集体, 沥青质稠油流动的主要通道是裂缝和溶洞。岩性为泥粒灰岩, 深灰色(少量黄灰色), 泥质胶结, 隐晶结构(部分微晶结构), 低硬度(少量岩屑比较致密), 块状(部分次块状), 泥质含量 3%~10%, 沥青含量 1%~3%, 孔隙度中等, 油气显示弱。

该井在井深 3 350.00 m 处发现了固体条带状沥青, 在井深 3 368.00 m 振动筛上出现较多流动性较好的沥青, 约占岩屑返出物的 20%~30%。在 Kazhdumi 地层沥青质稠油最活跃的 3 370.00~3 424.00 m 井段进行了沥青质稠油硬化现场试验。

3.2 试验配方和施工流程

3.2.1 试验配方

根据 F17 井钻遇的沥青性状及施工井段的岩

性特征, 制定了硬化封堵浆配方: 基浆 + 3% 碳酸钙(中) + 2% 单封 + 8% 随钻堵漏剂 + 1% 封堵聚合物 + 5% 细颗粒堵漏剂(F) + 3% 贝壳粉(细) + 5% 复合堵漏剂 + 3% 核桃壳(细) + 2% 核桃壳(中) + 20% LYJ-5。其中, 中、小粒径堵漏材料总含量为 32%。

3.2.2 施工流程

- 1) 在隔离的小罐中配置 15 m³ 封堵浆;
- 2) 封堵浆搅拌均匀后, 加入 20% 的 LYJ-5;
- 3) 泵入 6 m³ 硬化封堵浆至钻具内;
- 4) 根据钻具内硬化封堵浆略高于环空内硬化封堵浆的原则, 将硬化封堵浆顶替到位;
- 5) 起钻至套管鞋处, 大排量洗井 4 h, 利用压差将部分硬化封堵浆挤入地层, 并且冲洗钻柱;
- 6) 钻柱下至井底, 循环钻井液, 密切观察硬化封堵浆的返出情况, 隔离所有的硬化封堵浆, 并作储存或排放处理;
- 7) 恢复正常钻进。

3.3 试验结果分析

钻至井深 3 378.00 m 时静止 15 min 进行接立柱作业, 钻至井深 3 428.00 m 时进行短程起下钻作业, 然后起钻至上层套管鞋处(井深 2 609.00 m); 短程起下钻到底后, 在井深 3 428.00 m 进行沥青硬化剂现场试验, 并起钻更换钻具组合, 钻至井深 3 802.00 m 三开中完。

1) 沥青固化后钻井液污染量有明显降低。对比沥青固化现场试验前短程起下钻和现场试验中的起钻, 可以发现钻井液污染量明显降低。短起下钻耗时 8.0 h, 累计排放钻井液 15.0 m³; 起下钻更换钻具组合耗时 25.25 h, 累计排放钻井液 9.2 m³, 短起和起钻单位时间污染量分别为 1.88 m³/h 和 0.36 m³/h, 使用沥青硬化技术后, 单位时间的钻井液污染量降低至使用前的 19.15% (见表 5)。

表 5 试验前的短起和试验中的起钻指标比较

Table 5 Comparison of fluid contamination before and after hardening agent added

作业名称	耗时/ h	排放钻井液量/ m ³	单位时间钻井液污染量/ (m ³ · h ⁻¹)	备注
短起	8.00	15.0	1.88	加硬化剂前
起钻	25.25	9.2	0.36	加硬化剂后

2) 出现沥青聚集固化现象。现场试验期间, 密切观察振动筛返出物的变化, 尤其是对短程起下钻

和更换钻具组合后效返出、振动筛返出物进行了细致的对比。短程起下钻至循环后效返出后,振动筛上污染浆的黏切较低,大量包裹着堵漏剂、钻屑和重晶石的沥青污染浆从振动筛返出,沥青基本上均匀分散在混浆带中,黏切较高,并伴有较多的带状沥青,混合浆放置 5~10 h 后沥青和钻井液分离,沥青含量 40%。更换钻具组合下钻到底循环后效返出后,在振动筛上出现了较多的块状沥青,混合物的黏切较高,观察块状沥青的性状发现,返出的块状沥青为加入沥青硬化剂后形成的,在此之前未见到此类块状沥青。说明现场试验过程中,沥青硬化剂和井底溢出的沥青发生反应使部分沥青发生聚结硬化,成团返出地面,硬化后的沥青约占总量的 45%,有利于与钻井液的分离和清除,返出的混浆放置 5~10 h 后,沥青没有分离,沥青含量较少。

3) 沥青返出后效全烃值有明显改善。在揭开沥青层的几次停止循环静止过程中,受循环压耗和钻井液的影响,地层中的沥青不断侵入到井眼中,循环后效返出后引起钻井液全烃值发生突变。分析几次钻井液静止后效可以看出(见表 6),沥青固化现场试验气测异常持续时间相对较短,气测异常时间与静止时间比由 16.00 min/h 降至 0.67 min/h,这也从一个侧面说明沥青硬化取得了明显的效果。

4) 硬化效果进一步显现。对比表 7 中沥青固化前后的后效返出时的钻井液常规性能、钻井液流变性可以看出:固化后井底沥青污染浆的最低密度相对增加,由硬化前的 1.07 kg/L 升至硬化后的 1.11 kg/L;钻井液黏切增高,由硬化前的 128 s 升至硬化后的滴流,出现部分沥青聚集固化现象。

表 6 试验前后气测异常时间对比

Table 6 Comparison of gas logging abnormal values before and after adding hardening agent

作业描述	静止时间/h	气测异常时间/min	气测异常时间与静止时间比/(min·h ⁻¹)
接立柱	0.25	4.0	16.00
短起	8.00	10.2	1.28
起钻(沥青固化)	25.25	16.8	0.67

表 7 试验前后污染浆性能对比

Table 7 Comparison of drilling fluid properties before and after adding hardening agent

作业	最低钻井液密度/(kg·L ⁻¹)	最高黏度/s	沥青聚结硬化现象
接立柱	1.09	136	无
短起	1.07	128	无
起钻(沥青固化)	1.11	滴流	部分

5) 后续作业施工顺利。井深 3 370.00 m 钻遇流动性较好的沥青,对钻井液造成较为严重的污染,现场试验沥青硬化剂后,钻井液污染程度逐渐降低,后续的钻进趋于正常,顺利完成了含沥青井段的测井和下套管作业。

4 结论及建议

1) LYJ-5 可以大幅度提高沥青质稠油的软化点,将软化点由 52 °C 提高至 127 °C,具有较好的硬化效果。LYJ-5 加入量越大,反应温度越高,反应时间越长,沥青的硬化效果越好。

2) 无论是在钻井液中,还是不在钻井液中,LYJ-5 对沥青质稠油均有较好的硬化效果。在钻井液中的硬化效果较不在钻井液中有所下降;LYJ-5 对钻井液黏度也有一定的破坏作用。

3) 沥青硬化剂 LYJ-5 在 F17 井的现场试验表明,应用沥青硬化剂后钻井液污染量明显降低,单位时间内的钻井液污染量降至使用前的 19.15%,出现了部分沥青的硬化聚集现象,后续的测井和下套管施工顺利,现场应用效果较好。

4) 采用沥青质稠油硬化剂解决钻井液污染问题尚处于探索阶段,作为一种新型的沥青处理方法,相关室内研究和现场试验还有待进一步深化。

参 考 文 献

References

- [1] 郭京华,夏柏如,赵增新,等. F19 井沥青侵及相关井下复杂情况的处理[J]. 特种油气藏,2012,19(4):134~137.
Guo Jinghua, Xia Bairu, Zhao Zengxin, et al. Treatments for bitumen contamination and associated downhole problems in Well F19[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2012,19(4):134~137.
- [2] 何青水,宋明全,肖超,等. 非均质超厚活跃沥青层安全钻井技术探讨[J]. 石油钻探技术,2013,41(1):20~24.
He Qingshui, Song Mingquan, Xiao Chao, et al. Discussion on safe drilling technology for heterogeneous, ultra-thick and active bitumen zone[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(1):20~24.
- [3] 郭京华,夏柏如,黄桂洪,等. 稠油沥青污染钻井液的处理技术[J]. 钻采工艺,2012,35(4):91~94.
Guo Jinghua, Xia Bairu, Huang Guihong, et al. Treatment technique for bitumen-contaminated drilling fluids[J]. Drilling & Production Technology, 2012,35(4):91~94.
- [4] 徐静,洪锦祥,赵永利,等. 有关 SBS 改性沥青老化研究的文献综述[J]. 石油沥青,2009,23(6):41~46.
Xu Jing, Hong Jinxiang, Zhao Yongli, et al. Literature review of study on aging of SBS modified asphalt[J]. Petroleum Asphalt, 2009,23(6):41~46.

[编辑 令文学]