

伊朗雅达油田完井测试作业中沥青质析出分析

何汉平¹, 黄健林², 赵凤兰³, 刘欢乐¹

1. 中国石化集团石油工程技术研究院, 北京 100101

2. 中国石化集团国际石油勘探开发有限公司, 北京 100101

3. 中国石油大学提高采收率研究中心, 北京 102249

摘要 伊朗雅达油田生产井由于沥青质析出和沉积在油管内壁, 严重影响了油井的完井测试和投产前井下作业, 例如阻碍钢丝作业工具的下入和井下工具的回收等。为了查清该油田原油中沥青质析出趋势和析出规律, 结合雅达油田的特点, 利用原油 SARA 数据, 采用胶体体系稳定性定量计算方法对沥青质析出程度进行了分析; 采用热力学平衡原理和固体模型, 结合不同产量下油管内温度与压力分布剖面, 对沥青质析出初始压力与温度进行分析和预测, 同时通过室内试验, 评价并优化了沥青清除剂。通过对原油胶体体系稳定性定量计算, 认为雅达油田原油胶体体系趋于不稳定, 沥青质易于析出; 通过对沥青质析出初始压力与温度及深度的预测, 沥青质析出深度为 2900~3700 m, 认为雅达油田生产井自投产开始, 沥青析出是无法避免的。室内沥青清除剂试验结果表明, 单一的沥青清除剂无法达到满意的效果。在分析研究的基础上, 优化了井筒处理方法和施工作业措施。

关键词 沥青质; 完井; 清除剂

中图分类号 TE243

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.21.008

Asphaltene Precipitation Analysis in Well Testing in Yada Oilfield, Iran

HE Hanping¹, HUANG Jianlin², ZHAO Fenglan³, LIU Huanle¹

1. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China

2. Sinopec International Petroleum Exploration & Production Company, Beijing 100101, China

3. Oil Recovery Enhancement Center, University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

Abstract The asphalt precipitation and deposition in the tubing inside wall have a serious impact on the well testing and the pre-production downhole operations in Yada oilfield, Iran, for example, they hinder the slickline tool running and the retrieving of downhole tools. In order to identify the asphalt precipitation and the precipitation trend and behavior in the crude oil, based on reservoir characteristics in Yada oilfield, the asphalt precipitation extent is analyzed using a quantitative calculation for the colloidal system stability and the SARA data. Based on the thermodynamic equilibrium theory and the solid model, in combination with the predicted temperature and the pressure profiles inside tubing at different production rates, the initial pressure and temperature of the asphalt precipitation are analyzed and forecasted, and through laboratory testing, the asphalt scavengers are evaluated and optimized. The quantitative calculation results about the crude oil colloidal stability show that the crude oil colloidal system tends to be unstable and the asphalt separation is made easy. The predicted depth for the asphalt precipitation is in the range of 3000~3780 m, which indicates that since the beginning of the production wells the asphalt precipitation is unavoidable. Asphalt scavenger lab test results show that a single scavenger can not achieve satisfactory results, and an optimization for operation and treatment is proposed.

Keywords asphalt; well completion; scavenger

收稿日期: 2014-04-14; 修回日期: 2014-05-26

基金项目: “十二五”国家科技重大专项(2011ZX05031-004)

作者简介: 何汉平, 高级工程师, 研究方向为油气井完井工程, 电子邮箱: 840538223@qq.com

引用格式: 何汉平, 黄健林, 赵凤兰, 等. 伊朗雅达油田完井测试作业中沥青质析出分析[J]. 科技导报, 2014, 32(21): 52-55.

伊朗雅达油田主力油藏F油藏具有埋藏深、高温高压、单井产量高特点,油层压力系数为1.4~1.6,油层温度145℃左右,单井日产油600~900 t。完井方式为套管射孔完井。完井测试后需临时关井一段时间后再开井生产。该油田第一批井在完井测试作业期间,因开井测试完毕后原油中沥青质析出并附着在油管内壁,导致钢丝作业时工具下入遇阻,无法在井下放置压力计;完井测试完毕临时关井一段时间后准备恢复生产时,由于油管内沥青析出并沉积在底部油管堵塞器上面,出现取井下堵塞器困难的问题。针对油气田开采过程中出现的沥青质析出和处理问题,已有通过原油胶体体系稳定性进行评价沥青质析出趋势研究,定量分析沥青质析出的严重程度^[1~3];根据热力学平衡原理,采用固体模型对沥青质沉积,进行沥青质沉积初始温度和沉积初始压力定量计算分析^[4];通过实验研究与现场应用,提出了使用清除剂的沥青质处理方法^[6,7]。

为了解决雅达油田在完井测试作业过程中因沥青析出而带来的问题,在前人研究成果的基础上,本文分析伊朗雅达油田沥青质析出趋势;通过使用固体模型,分析沥青质析出初始温度和压力,结合该油田生产时油管内温度和压力剖面,预测油管内沥青质析出深度;通过实验选择沥青清除剂,并优化完井测试钢丝作业前和临时关井后再投产并筒处理方法和施工作业措施。

1 沥青质析出分析

沥青质析出分析包括2个方面:1)根据原油PVT分析得到的SARA数据,定量评价沥青质析出趋势;2)利用原油组分,计算沥青析出的初始温度和压力,进而预测沥青质析出时的并筒深度。

1.1 沥青质析出趋势分析

沥青质析出趋势可以通过原油胶体体系稳定性来进行评价^[1,2]。影响原油胶体体系稳定性的因素很多,其中很重要的是其化学组成与结构。若以SARA四组分表征重质油的组成,重质油胶体体系的稳定性主要取决于饱和份、芳香份、胶质和沥青质各组分浓度之间的比例关系,具体来讲,可以通过胶体不稳定指数(CI)进行定量评价。Newberry等^[3]提出的胶体不稳定指数计算公式为

$$CI = \frac{\omega_{\text{饱和份}} + \omega_{\text{沥青质}}}{\omega_{\text{胶质}} + \omega_{\text{芳香份}}} \quad (1)$$

式中, $\omega_{\text{饱和份}}$ 为饱和份百分含量; $\omega_{\text{沥青质}}$ 为沥青质百分含量; $\omega_{\text{胶质}}$ 为胶质百分含量; $\omega_{\text{芳香份}}$ 为芳香份百分含量。

CI判别标准:当 $CI \geq 0.9$,胶体体系趋于不稳定,沥青质易于析出;当 $0.7 < CI < 0.9$,胶体体系趋于不稳定,沥青质存在潜在析出;当 $CI \leq 0.7$,胶体体系稳定,沥青质析出可能性小。利用雅达油田F油层获得的原油SARA数据,计算了胶体不稳定指数CI,结果见表1。

从表1可以看出,4个油样的CI指数计算结果均大于

0.9,说明F油层产出原油胶体体系趋于不稳定,沥青质易于析出。

表1 雅达油田F油层原油胶体不稳定指数CI计算结果

Table 1 Calculation results of crude oil colloidal instability index CI in F Payzone, Yada Oilfield

编号	饱和份/%	芳香份/%	胶质/%	沥青质/%	CI指数
1	77.70	14.89	7.28	0.13	3.51
2	64.90	29.10	5.10	0.90	1.92
3	60.00	34.30	4.60	1.10	1.57
4	52.10	39.10	8.60	0.20	1.09

1.2 沥青质析出初始压力与温度计算

研究表明,沥青质析出问题产生的根本原因是由于在油气开采过程中,体系的温度、压力和组成发生了变化,破坏了体系原来的热力学平衡条件,导致气、液、固三相相态转换而发生沥青质沉积。采用固体模型对沥青质沉积进行预测分析^[4],主要思路是:首先根据原油的并筒流体组成、原油和 C_{7+} 以上组分的相对分子质量、原油和各组分密度、各组分沸点等已知数据,进行特征化处理,确定出每一组分的临界性质和各组分相互作用系数,然后利用PR状态方程求解气、液两相中的压缩因子 Z_{max} 和 Z_{min} ,从而计算出各组分和沥青质在气、液相中的逸度和逸度系数,而沥青质在固相(沥青相)中的逸度按纯物质的逸度计算。通过对沥青质在液相中的逸度与其在沥青相中的逸度的比较,可以确定某一压力下是否存在沥青质沉积;当二者逸度相等时,对应的压力即为沥青质开始发生沉积的压力,即沥青质沉积初始点。

根据以上所述方法,采用原油临界性质估算程序,计算雅达油田F油层(分F上油层和F下油层)原油各组分($C_1 \sim C_{7+}$)的临界参数(T_c, P_c, V_c),并划分为11个拟组分,即 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_{4-6} 、 C_{7-10} 、 C_{11-15} 、 C_{16-20} 、 C_{21-25} 、 C_{26-30} 、 C_{31A+} 和 C_{31B+} ;由于考查并筒内的沥青质沉积情况,因此温度扫描范围从油藏温度至井口20℃,间隔0.5℃,每个温度下计算沥青质沉积压力,从而得到一系列温度条件下的沥青质沉积压力;然后结合压力和温度梯度分布,当对应温度条件下的压力低于该温度下的沥青质沉积压力,则此时的温度和压力为沥青质沉积初始温度和沉积初始压力。

预测模型的建立与计算过程详见文献[4]。

以雅达油田F008井为例,该井F油层产出原油中各组分的相对含量及相关参数为:甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷、己烷和 C_{7+} 分别为47.32、8.84、8.45、5.53、4.59、2.80、22.47 mol%, C_{7+} 分子量为225,地层温度为145.6℃,地层压力64.1 MPa,饱和压力26.6 MPa。

利用上述方法,分别对该井F油层的原油沥青质沉积初

始压力和初始温度进行了预测,预测结果是原油沥青质沉积初始压力和温度分别为 25.9 MPa 和 136.0℃,初始压力接近饱和压力,初始温度也较高。结合该井 F 油层在自喷生产期间不同设计产量下预测的井温剖面(图 1)和压力剖面(图 2)^[5],预测沥青质沉积初始井深范围(油管深度)。具体预测方法:从图 1 横坐标上的温度点 136.0℃ 向上画一垂线,与最高设计产量的温度曲线和最低设计产量的温度曲线分别相交,这两个交点对应的纵轴数值,即为初步的预测深度范围,再通过图 2 查看预测深度范围对应的两个压力值是否低于 25.9 MPa,如果低于 25.9 MPa,则为预测深度范围;如果高于 25.9 MPa,则通过 25.9 MPa 来确定预测深度范围。通过上述方法,认为在给定的日产量下, F 油层沥青质沉积初始井深范围(油管深度)为 2900~3700 m;沥青质沉积在生产的初期就会发生,且从初始沉积深度向上延伸到井口。

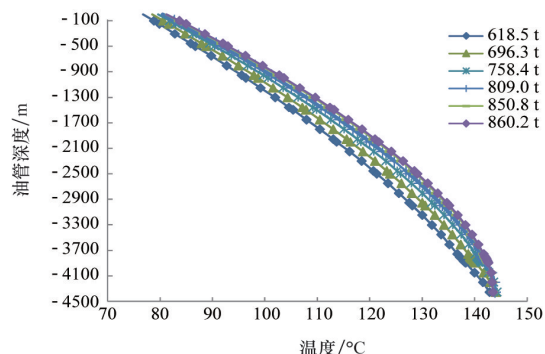


图 1 预测不同产量下的油管内温度剖面

Fig. 1 Temperature profile inside tubing at different production rates

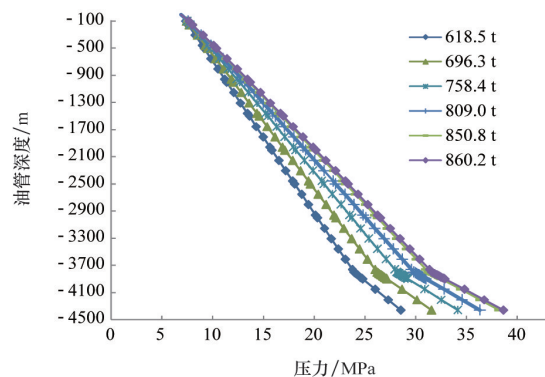


图 2 预测不同产量下的油管内压力剖面

Fig. 2 Pressure profile inside tubing at different production rates

2 沥青清除剂选择、施工工艺与应用

2.1 沥青清除剂选择

由于从井底到井口,温度与压力不可避免会发生变化。

结合上述分析结果,可以认为,在原油从井底流向井口的过程中,沥青析出是无法避免的,需要采取清除措施,确保测试和完井作业顺利进行。目前,沥青清除高效方法是使用沥青清除剂^[6,7],即用沥青清除剂溶解析出的沥青,避免其在完井管柱内壁和井下工具上沉积。

利用现场取得的沥青质样品,通过实验对比了现场使用的柴油、二甲苯两种沥青质清除剂的效果。实验结果见表 2。

表 2 沥青质在柴油、二甲苯中的溶解实验结果对比

Table 2 Comparison of experimental results of asphalt dissolution in diesel and xylene

编号	溶剂	溶解率/%						
		1 h	3 h	5 h	7 h	9 h	11 h	13 h
1	柴油	10	40	56	68	77	80	80
2		12	43	60	70	77	81	81
3	二甲苯	50	93	100	100	100	100	100
4		47	90	100	100	100	100	100

从表 2 可知,对于雅达油田生产井完井测试作业时油管内析出的沥青质,柴油的清除效果比二甲苯的稍差。沥青质在 150℃ 的实验温度下,在柴油中的溶解率低于 90%,而在二甲苯中的溶解率达 100%。该结果也解释了该油田在油管内被顶替为柴油后仍有沥青质沉积的现象。实验结果表明,使用二甲苯可以达到理想的清除效果。由于二甲苯成本较高,且具有毒性,不宜大量使用,因此可以与柴油配合使用。

2.2 施工工艺

基于上述评估、预测计算和室内实验结果,可以看出:

1) 雅达油田 F 油层开井后存在沥青质析出问题;2) 在完井测试作业中采用平推柴油的清除沥青质方法有待改进。因此,提出了改进的施工工艺。

对于前期已通过从油管平推柴油(没有使用二甲苯)实施了临时弃井作业的井,重新开井投产时,为便于取堵油管底部堵塞器,需将在临时弃井期间慢慢沉积在堵塞器的沥青质清除干净,便于利用钢丝作业工具捞出堵塞器。具体步骤:1) 下入钢丝通井工具对油管通畅,探明遇阻部位;2) 利用连续油管泵柴油冲洗至遇阻部位之上;3) 利用连续油管注入 1.4~4 t 二甲苯并浸泡约 2~3 h;4) 利用连续油管泵柴油冲洗至堵塞器部位;5) 下入钢丝作业工具捞出堵塞器并投产。

对于需要下入井下压力计或油管底部堵塞器(用于临时关井)的新井,完井测试作业完毕后,需要将在测试过程中析出并附着在油管内壁的沥青质清除,一方面便于利用钢丝作业工具下入井下压力计或油管底部堵塞器,另一方面确保在临时关井期间无沥青质沉积在堵塞器上面。具体步骤:1) 从油管内平推二甲苯和柴油入油层;2) 下钢丝通井工具通井;3) 下入井下压力计,或者下油管底部堵塞器。

2.3 现场应用

改进后的工艺在先期临时关井的F003井中使用,取得了满意的效果。该井于2012年5月3日开钻,2012年11月2日完钻,井深4450 m。该井采用套管射孔完井方式。射孔后进行了测试。测试完毕后,从油管平推柴油入油层,并在油管中充满柴油。利用钢丝作业工具下入油管底部堵塞器后临时关井。该井临时关井6个月后重新开井。在下入钢丝作业工具捞堵塞器时因沥青沉积遇阻。遇阻深度为堵塞器顶部约80 m。现场用外径38.1 mm的连续油管循环柴油,泵冲至遇阻深度,再替入2.8 t左右的二甲苯,关井浸泡3 h后,再下连续油管冲洗至堵塞器位置。确认井筒畅通后,成功下入钢丝工具,取出堵塞器,开井投产。该工艺还在F004等5口临时关井的井中使用,均顺利取出堵塞器,实现开井投产。

另外,新完钻的井,采用改进的工艺后,都顺利下入井下压力计和油管底部堵塞器。

3 结论

1) 伊朗雅达油田原油沥青质析出趋势评估和初始析出温度、压力计算结果表明,该油田在生产的初期会存在沥青质析出和沉积问题,需要采取适当的工艺措施清除沉积的沥青质,保障井下作业的顺利进行。

2) 沥青质清除剂的室内实验和现场应用表明,仅使用柴油,不会达到理想的清除效果,而与二甲苯配合使用,可以获得满意的效果。

参考文献 (References)

- [1] 赵凤兰, 鄢捷年. 原油沥青质沉积引起储集层损害的室内评价[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(2): 100-103.

- Zhao Fenglan, Yan Jielian. Lab evaluation of reservoir damage caused by Crude oil asphalt deposition[J]. Petroleum Exploration and Production, 2003, 30(2): 100-103.
- [2] 秦晓光, 敬加强, 骆畅, 等. 原油沥青质沉积测试分析及预测[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(5): 18-20.
- Qing Xiaoguang, Jing Jiaqiang, Luo Chang, et al. Test analysis and prediction of crude oil asphalt deposition[J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2011, 30(5): 18-20.
- [3] Newberry M E, Barker K M. Organic formation damage control and remediation[C]. SPE paper 58723, 2000 SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, February 23-24, 2000.
- [4] 赵凤兰, 鄢捷年. 原油沥青质的沉积条件及其控制[J]. 石油大学学报, 2005, 29(4): 56-59.
- Zhao Fenglan, Yan Jielian. The deposition conditions of crude oil asphalt and its control[J]. Journal of the University of Petroleum, 2005, 29(4): 56-59.
- [5] 何汉平, 侯立中, 王长林, 等. 伊朗Y油田基于流动保障的完井设计[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(5): 111-114.
- He Hanping, Hou Lizhong, Wang Changling, et al. Iranian Y oilfield completion design based on flow assurance[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(5): 111-114.
- [6] 赵凤兰, 鄢捷年. 沥青质沉积抑制剂和清除剂研究[J]. 油田化学, 2004, 21(4): 310-312.
- Zhao Fenglan, Yan Jienian. A study on inhibitors and removers for asphalt deposits from heavy crude oil[J]. Oilfield Chemistry, 2004, 21(4): 310-312.
- [7] 胡广杰. 塔河油田TK305井筒沥青质沉积防治[J]. 油田化学, 2006, 23(1): 12-14.
- Hu Guanjie. Asphalt deposition prevention in TK305 well, Tahe Oilfield[J]. Oilfield Chemistry, 2006, 23(1): 12-14.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



中国科学技术协会

中国科学院学部主席团发布《追求卓越科学》宣言

2014年5月26日,中国科学院学部主席团在北京发布《追求卓越科学》的宣言,号召中国科学界全体同仁牢固树立追求卓越的科学价值理念,确立追求卓越的行为规范,形成追求卓越的评价体系和文化氛围,推动中国科学实现跨越发展,为中国和全人类科学事业的发展做出贡献。宣言强调:

1) 树立卓越科学的价值理念,就是要以探究真理、发现新知为使命;以服务社会、造福人类为目标;以科学精神、科学文化为灵魂。

2) 确立追求卓越的行为规范,就是要加强科学共同体的自治和自律;坚持研究方法的可靠性和先进性;秉持真诚协作、诚实守信的道德准则;担当科学家的社会责任。

3) 建立促进卓越的评价体系,就是要坚持和完善同行评议制度;塑造“公开、公正、规范”的评价机制;坚持激励创造、推进卓越的评价标准。

详见中国科学院网 http://www.cas.cn/xw/zyxw/yw/201405/t20140525_4126367.shtml。