

一种新型完井液高温高压静态沉降稳定性评价方法

杨兰平^{1*}, 聂强勇¹, 褚会丽^{2,3#}, 杜仕勇¹, 周芳芳^{2,3}, 徐同台³, 涂超凡⁴

¹川庆钻井液技术服务公司, 四川 成都

²河北石油职业技术大学石油工程系, 河北 承德

³北京石大胡杨石油科技发展有限公司, 北京

⁴成都皓瀚完井岩电科技有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2023年10月16日; 录用日期: 2023年12月18日; 发布日期: 2023年12月28日

摘要

完井液体系高温高压下沉降稳定性的好坏直接关系到后续下管柱测试、再次开泵等作业的开展, 目前国内外对完井液沉降稳定性的评价没有统一的方法, 虽然国内外学者提出了近9种方法, 然而没有能够直观动态展示完井液在高温高压条件下沉降时整浆密度的变化情况, 本文提出高温高压沉降密度测试法, 并基于室内评价实验, 横向对比落棒法、针入式沉实度法、静态稳定分层指数法以及高温高压沉降密度测试法的测试结果, 得出高温高压沉降密度测试法直观性好、可视化强, 能够模拟高温高压条件下完井液静沉降时整浆密度随时间的变化, 对评价完井液沉降稳定性具有更好的指导意义。

关键词

完井液, 沉降稳定性, 高温高压, 沉降密度

A New Method for Evaluating the Stability of High Temperature and High Pressure Static Settlement of Completion Fluids

Lanping Yang^{1*}, Qiangyong Nie¹, Huili Chu^{2,3#}, Shiyong Du¹, Fangfang Zhou^{2,3}, Tongtai Xu³, Chaofang Tu⁴

¹Chuanqing Drilling Fluid Technology Service Company, Chengdu Sichuan

²Department of Petroleum Engineering, Hebei Petroleum University of Technology, Chengde Hebei

³Beijing Shidahuyang Petroleum Scien-Tech Development Company Ltd., Beijing

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 杨兰平, 聂强勇, 褚会丽, 杜仕勇, 周芳芳, 徐同台, 涂超凡. 一种新型完井液高温高压静态沉降稳定性评价方法[J]. 石油天然气学报, 2023, 45(4): 391-396. DOI: 10.12677/jogt.2023.454048

Abstract

The stability of the settlement of the completion fluid system under high temperature and pressure is directly related to the subsequent testing of the string and the reopening of the pump. Currently, there is no unified method for evaluating the settlement stability of the completion fluid at home and abroad. Although scholars at home and abroad have proposed nearly 9 methods, they have not been able to visually and dynamically display the changes in the density of the entire slurry during the settlement of the completion fluid under high temperature and pressure conditions. This article proposes a high temperature and high pressure settlement density testing method, and based on indoor evaluation experiments, compares the test results of rod drop method, needle penetration settlement method, static stability stratification index method, and high temperature and high pressure settlement density testing method horizontally. It is concluded that the high temperature and high pressure settlement density testing method has good intuitiveness and strong visualization, and can simulate the changes in the overall slurry density with time during the static settlement of completion fluid under high temperature and high pressure conditions. It has better guiding significance for evaluating the settling stability of completion fluids.

Keywords

Completion Fluid, Settlement Stability, High Temperature and High Pressure, Settling Density

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着高温高压深井和超深井日益增多,完井作业时间越来越长,川渝地区通常要求完井液静止 7~10 天仍要具备良好的静态沉降稳定性,以确保后续下管柱测试、再次开泵等作业的顺利开展。目前国内外学者提出了 9 种方法来评价完井液的静态沉降稳定性[1] [2],然而多数方法需要配制多个样品才能测试静沉降天数下完井液的相关参数,并且这些方法中没有一个能够反应完井液在高温高压环境下连续静沉时整个浆液从上至下密度的变化情况,由于现场完井作业时间越来越长,迫切需要一种能够直观、动态、连续展示完井液在高温高压条件下沉降时整浆密度变化情况的评价方法,本项目研究团队与成都皓瀚完井岩电科技有限公司合作,试提出高温高压沉降密度测试法,模拟高温高压条件下完井液静沉降时整浆密度随时间的变化,以期更加精确、全面的评价完井液静态沉降稳定性,为现场以及室内完井液沉降稳定性评价实验提供新思路、新手段。

2. 完井液静态沉降稳定性评价方法

2.1. 目前现有静沉降稳定性评价方法

目前静沉降稳定性评价方法可以根据样品接触方法可以分为三大类:传统人工取样评价方法、传感

器测试评价方法、非接触式评价方法。传统人工取样评价方法主要是通过技术人员接触评价样品的静沉降稳定性,目前的发展趋势为从定性评价到定量评价,主要有以下四种评价方法:落棒法[3]、沉降因子法(SF) [4]、静态分层指数法(SSl) [5],静态稳定分层指数法(SSSI) [1]。传感器测试评价方法主要是通过传感器接触样品,通过传感器接收到的数据信号间接表征完井液的沉降稳定性,目前主要有以下两种评价方法:沉实度测定法[6] [7],静态沉降稳定性测试法[2]。非接触式评价方法主要是通过超声波、强光检测完井液内部结构或密度,从而评价完井液的沉降稳定性,目前主要有以下三种评价方法:三点式高温高压沉降稳定性测定法[8]、TURBISCAN 全能稳定性测定法[9]。具体如下表 1 所示。

Table 1. Static settlement stability evaluation method
表 1. 静态沉降稳定性评价方法

评价方法	优点	缺点	
传统人工取样评价方法	落棒法	简单快捷	定性测试人工判断误差大
	沉降因子法	测定步骤简单	忽略了上层清液影响
	静态分层指数法	测定相对精细	没有评价标准
	静态稳定分层指数法	定量测定沉降稳定性,并有严格的测定标准	测定步骤较为繁琐
传感器测试评价方法	沉实度测定法	测试浆体整体变化,能定量评价	只能冷却后测量 不能带温带压测试
	静态沉降稳定性测定法	可进行加温测试	单点测试密度
非接触式评价方法	三点式沉降测定法	可在高温高压条件下进行测定	不能实时监测完井液密度 测定会破坏泥浆状态
	TURBISCAN 稳定性测定法	应用范围广实时监测沉降过程	不能监测高温高压下完井液的沉降过程

2.2. 一种新型高温高压沉降密度测试法

高温高压沉降密度测试法是一种基于 MDY-2 型钻井液沉降稳定性测试评价仪所建立的完井液静沉降稳定性定量评价方法。MDY-2 型钻井液沉降稳定性测试评价仪是基于 X 射线成像法,测量高温高压下釜内钻完井液从上至下每个点位的密度,通过观察密度变化评价完井液的静沉降稳定性,如图 1 所示。

实验步骤如下:

- ① 准备完井液(注意),所测完井液搅拌均匀后测量并记录完井液初始密度;
- ② 启动计算机,设备基本检查、连接软件和设备;
- ③ 取一定量的完井液放入试样容器中;
- ④ 安装好完井液装入口上盖和防辐射盖;
- ⑤ 勾选“初始密度校准”对话框,将初始密度填入软件;
- ⑥ 加气压到预定值,关闭加压手阀和卸压手阀,将温度设定到目标值温度,打开加热开关,勾选“多次测量”并填好间隔时间,点击开始测试;
- ⑦ 测试完成后点击菜单栏的“生成实验报告”;
- ⑧ 完成实验后关闭加温开关等待温度下降至常温,打开等温度降低至常温后,打开卸压手阀,待压力卸完后打开完井液装入口,取出试样容器,整理仪器。

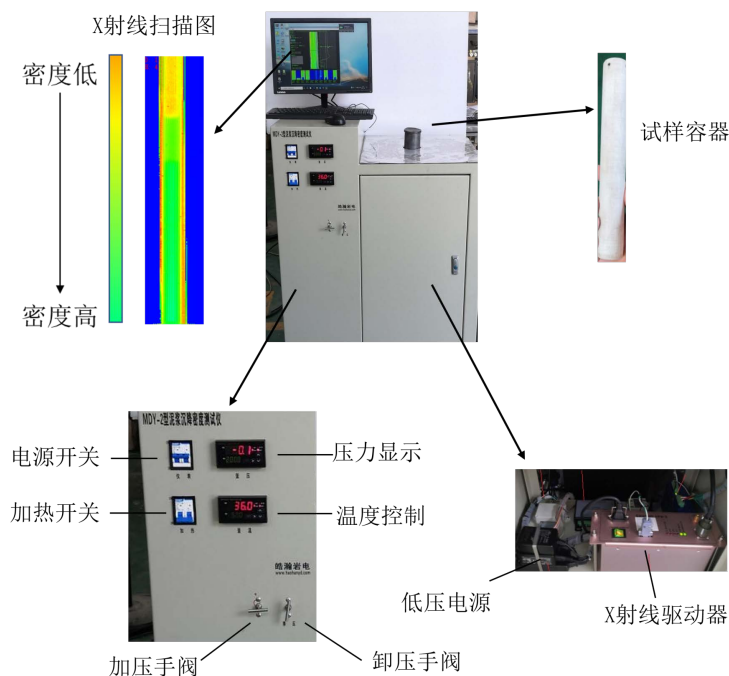


Figure 1. MDY-2 mud settlement density tester
图 1. MDY-2 型泥浆沉降密度测试仪

为了实验的顺利进行, 避免部分操作丢失造成实验失败, 需实验步骤进行实验是比较可靠的做法。注意: 新配制的完井液需要先进行相应测试温度下热滚 16 h 处理, 之后方能实验, 设置的测试温度与测试压力不能超过设备参数要求。

3. 静态沉降稳定性评价方法研讨

下面选用落棒法、针入式沉实度测定法、静态稳定分层指数(SSSI)法以及高温高压沉降密度测试法对甲酸盐完井液体系进行沉降稳定性评价, 综合实验结果对比 4 种方法。

3.1. 室内实验配方

完井液配方 A: 2%ME-2 土浆(300 mL) + 1%Dristemp + 1.5%DSP-1 + 0.2%XC + 0.3%提切剂 + 80%HCOOK + 0.7%KHCO₃ + 1%K₂CO₃ + 1%SMT + 微锰加重至密度 1.6 g/cm³。

完井液配方 B: 350 mL 甲酸钾盐水($\rho = 1.30 \text{ g/cm}^3$) + 2%Driscal-D + 2%FN-6 + 1%Na₂SO₃ + 0.7%KHCO₃ + 1% K₂CO₃ + 1%LOP895 + 1%消泡剂 + 5%细目钙 + 微锰加重至密度 1.8 g/cm³。

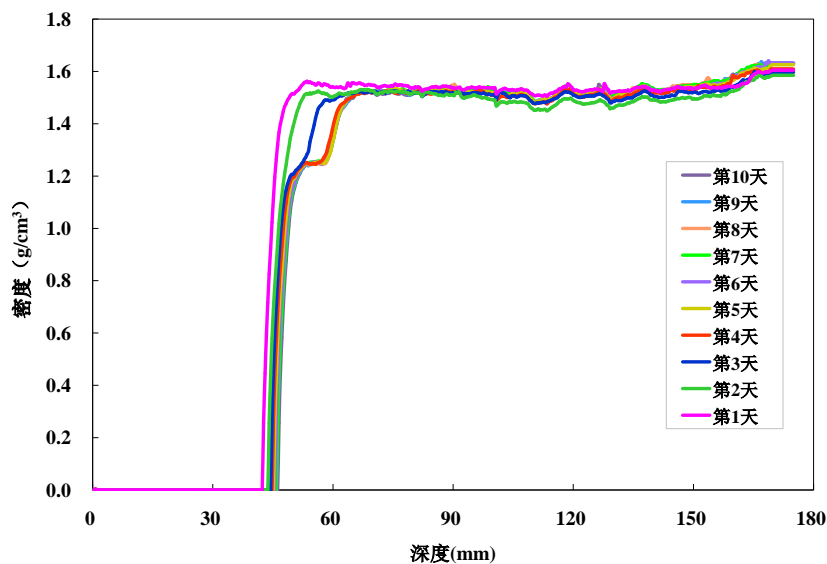
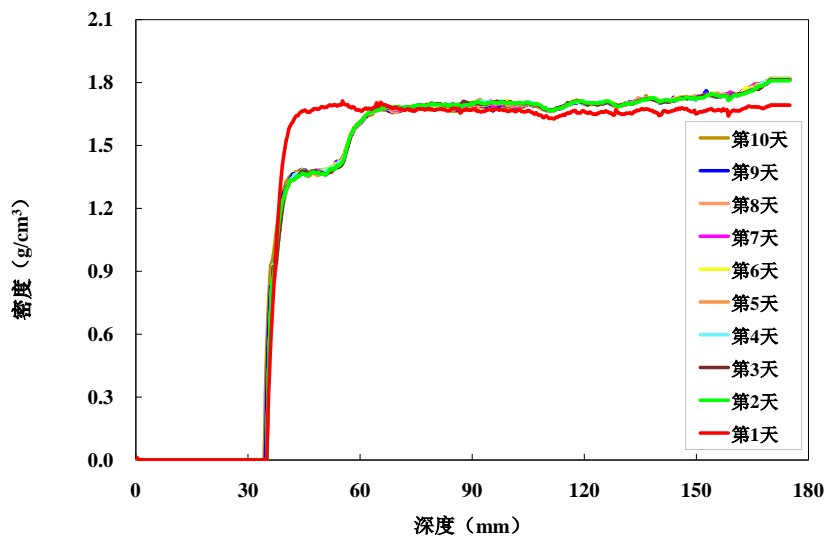
3.2. 实验结果对比

落棒法、沉实度法、静态稳定分层指数(SSSI)法的实验结果以表格呈现, 如表 2 所示; 高温高压沉降密度测试法的实验结果以图呈现, 如图 2、图 3 所示。

由表 2 得出: 落棒法可以定性评价, 完井液 A 体系和完井液 B 体系静置 5 天、10 天玻璃棒均可到底、靠壁; 针入式沉实度法能够定量评价, 完井液 A 体系静置 5 天、静置 10 天沉实度均较大, 完井液 B 体系静置 5 天沉实度小、静置 10 天沉实度稍增; 静态稳定分层指数(SSSI)法能够定量评价, 完井液 A 体系静置 5 天、10 天 SSSI 值均小于 0.1, 完井液 B 体系静置 5 天、10 天 SSSI 值均小于 0.15、但清液量明显增多。

Table 2. Evaluation results of completion fluid at 180°C for 5 days/10 days**表 2.** 完井液 180°C 静置 5 天/静置 10 天评价结果

完井液	条件	玻璃棒 是否到底	沉实度	$\rho_{上}$ g/cm ³	$\rho_{中}$ g/cm ³	$\rho_{下}$ g/cm ³	分液率 %	SSSI
A	静置 5 d	是	0.84	1.46	1.47	1.48	0	0.050
	静置 10 d	是	0.74	1.51	1.55	1.57	2.1	0.022
B	静置 5 d	是	0.06	1.61	1.84	1.91	12.2	0.139
	静置 10 d	是	0.14	1.6	1.82	1.86	10.5	0.118

**Figure 2.** Experimental results of completion fluid system a under continuous standing for 10 days at 180°C and 9 MPa**图 2.** 完井液 A 体系在 180°C、9 MPa 下连续静置 10 天实验结果**Figure 3.** Experimental results of completion fluid B system under continuous standing for 10 days at 180°C and 9 MPa**图 3.** 完井液 B 体系在 180°C、9 MPa 下连续静置 10 天实验结果

与落棒法、沉实度法、静态稳定分层指数法相比, 高温高压沉降密度测试法更直观, 能够更全面的反应完井液静态沉降密度变化情况。

由图 2 可得: 完井液 A 体系在 180℃、9 MPa 下静置, 第 1 天、第 2 天几乎没有清液, 第 3 天时开始出清液、第 4 天至第 10 天清液量几乎不变, 体系整体呈现上部略出清液、中部密度整体略小于 1.6 g/cm³、底部 1 cm 的浆液密度略大于 1.6 g/cm³, 该体系沉降稳定性好。

由图 3 可得: 完井液 B 体系在在 180℃、9 MPa 下静置, 第 1 天没有清液, 第 2 天开始出清液, 至第 10 天清液量几乎不再变化, 体系整体清液量在 14% 左右, 中部密度略低于 1.8 g/cm³, 底部 1 cm 的浆液密度略大于 1.8 g/cm³, 该体系沉降稳定性好。

此外从配浆数量上来说, 高温高压沉降密度测试法更节省浆, 静置 1 天至静置 10 天均为同一个样品, 有效得降低了实验误差, 而另外三种方法则是因静置天数不同而要配制多个样品, 且这些样品之间即便配浆手法一致但也会存在不可避免的误差。

4. 结论

(1) 落棒法、沉实度法以及静态稳定分层指数法只能反应出静置 5 天、静置 10 天完井液的沉降情况, 只有两个时间点的实验数据, 不利于找到完井液静沉时性能突变的时间点。

(2) 高温高压沉降密度测试法可更精准、全面模拟高温高压条件下完井液静态沉降时整浆密度随时间的连续变化, 测试结果以图形式呈现, 直观性更强, 有利于发现完井液静沉时性能突变的时间点, 进而为评价处理剂性能提供依据。

5. 建议

建议在探索完井液体系配方时, 前期沉降稳定性评价方法以落棒法、沉实度法、静态稳定分层指数为主, 得出好的体系之后再进一步进行高温高压沉降密度测试法, 进而避免长时间等待静置结果而无法开展实验。

参考文献

- [1] 李家学, 蒋绍宾, 晏智航, 等. 钻完井液静态沉降稳定性评价方法[J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(5): 575-580.
- [2] 聂强勇, 杨兰平, 梁益, 等. 完井液静态沉降稳定性测试方法综述[C]//2018 年全国天然气学术年会论文集(04 工程技术). 福州: 中国石油学会天然气专业委员会, 2018: 348-354.
- [3] 刘路漫. 抗高温高密度水基完井液沉降稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南石油大学, 2018
- [4] Omland, T.H., Saasen, A., Zwaag, C.V.D., et al. (2007) The Effect of Weighting Material Sag on Drilling Operation Efficiency. *Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*, Jakarta, Indonesia, October 2007. <https://doi.org/10.2118/110537-MS>
- [5] Zeng, W.Q. and Bouguetta, M. (2016) A Comparative Assessment of Barite SAG Evaluation Methods. *SPE Deepwater Drilling and Completions Conference*, Galveston, Texas, 14-15 September 2016. <https://doi.org/10.2118/180348-MS>
- [6] 杨静. 针入式泥浆沉降稳定性测定仪装置[P]. 中国专利, 204214742. 2015-03-18.
- [7] 向少华. 高温试油液稳定性测定仪及其测量方法[P]. 中国专利, 107525893. 2017-12-29.
- [8] 陈延滨. 高温高压加重泥浆沉降稳定性测定仪[P]. 中国专利, 216669840. 2022-06-03.
- [9] Balastre, M., Argillier, J.F., Allain, C., et al. (2002) Role of Polyelectrolyte Dispersant in the Settling Behaviour of Barium Sulphate Suspension. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **211**, 145-156. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00240-6](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00240-6)