

高温高压泥浆流变性测试方法及其测试设备

赵建刚, 韩天夫, 许云博

(北京探矿工程研究所 北京 100083)

摘 要 : 简要介绍了高温对泥浆流变特性的影响、当前国内进口的高温高压流变仪的使用现状和存在的问题, 并提出了如何提高进口仪器设备使用效率的一些措施。

关键词 : 高温高压 ; 流变性 ; 流变仪 ; 进口仪器

中图分类号 : P634.6 ; TH763.5 文献标识码 : B 文章编号 : 1672 - 7428(2005) S1 - 0233 - 04

Rheological Property Test Methods and Equipment of High Temperature High Pressure Mud / ZHAO Jian-gang , HAN Tian-fu , XU Yun-bo (Beijing Institute of Exploration Engineering , Beijing 100083 , China)

Abstract : This paper simply discusses the influence of high temperature to the rheological properties of drilling fluid and the present using situation of high temperature high pressure imported rheometer. Some proposals about how to increase the using effectiveness of imported instruments are put forward.

Key words : high temperature high pressure ; rheological properties ; rheometer ; imported instrument

为勘探和开发深部油气资源, 需要钻探深井, 国内外平均钻井深度逐年增加。例如环渤海湾、东海、塔里木等地方的钻探平均深度都已超过 6500 m。井越深, 温度和压力就越高, 6000 ~ 7000 km 的深井, 温度可达 170 ~ 230 ℃ 或更高。深井泥浆的主要问题是泥浆的抗高温特性。

因此, 在室内研制抗高温泥浆处理剂和配制泥浆体系, 以及在钻井现场, 都要反复测试泥浆的高温高压流变性及其稳定性。这就要求有相应的测试装置和正确的测试方法。

1 高温对泥浆流变特性的影响

钻井泥浆属非牛顿流体, 流变特性指标主要包括视粘度、塑性粘度、屈服值和静切力。视粘度又称有效粘度, 等于塑性粘度和屈服值的矢量和。塑性粘度是泥浆内摩擦性质的量度, 屈服值又称动切力, 或结构粘度, 是泥浆体系内颗粒的极性 or 结构强度的量度。

钻井泥浆的主要成份是粘土和化学处理剂, 高温对泥浆流变性的影响主要体现在以下几个方面。

1.1 高温分散和絮凝作用

高温使粘土表面的阳离子扩散能力增强, 扩散双电层增厚, ξ 电位提高, 并增强了水分子渗入粘土内部的能力, 加剧了粘土矿物片状微粒的运动, 这促使泥浆中粘土粒子分散, 同时也发生絮凝和胶凝。

高温分散使视粘度和塑性粘度降低, 絮凝则使屈服值和静切力增加, 失水量上升, 造壁性能降低。

1.2 高温降解和解吸作用

泥浆处理剂多为有机高分子化合物或与之交联的化合物。高温使得泥浆处理剂高分子主链断裂和使亲水基团与主链连接键断裂。这一方面降低了处理剂的分子量, 甚至使之失去高分子的性质, 另一方面使处理剂亲水性降低或解吸, 使处理剂效能大幅度下降, 以至完全失效。粘土失去处理剂的保护, 可能导致泥浆增稠、胶凝、固化(稀释剂降解失效), 也可能使失水猛增(降失水剂降解)。

1.3 高温交联作用

泥浆处理剂分子结构中存在的饱和键和活性基团, 在高价离子和高温作用下产生交联, 分子量增大, 使其水溶液粘度增加。严重交联可形成网状结构, 则水溶液成胶凝状态而破坏了泥浆流变性。

总之, 由于高温分散、絮凝作用, 以及高温降解、交联等作用, 使泥浆高温增稠、胶凝, 固化和失水量上升, 泥饼增厚, 携带岩屑能力降低, 从而导致钻探中扭矩增加, 泵压升高, 甚至导致埋钻、卡钻或烧钻等井内事故的发生。

2 国内目前主要使用的进口高温高压流变仪

2.1 Fann 稠度仪

Fann 稠度仪是一种高温高压仪器, 试验的泥浆

收稿日期 2005 - 06 - 30

作者简介: 赵建刚(1969 -) 男(汉族), 内蒙古丰镇人, 北京探矿工程研究所仪器开发部主任、高级工程师, 电子仪器及测量技术专业, 从事探矿工程现场及实验室仪器研制及开发工作, 北京市海淀区学院路 29 号(010) 82326470、13911827628 zhaojg@bjice.com.cn。

在套筒内承受剪切,其最高工作压力和温度分别为 140 MPa 和 260 °C,其测量原理如图 1 所示。它通过安装在样品釜两端的两个交替充电的电磁铁产生的电磁力,使软铁芯作轴向往复运动。存在于运动铁芯与样品釜釜壁之间的环形间隙内的泥浆受到剪切作用,泥浆粘度越高,铁芯运动越缓慢,从一端运行到另一端所用的时间也就越长,泥浆的相对粘度就用铁芯的运行时间来衡量。Fann 稠度仪不能测量绝对粘度,通常将其结果作为相对粘度。这是因为电磁铁施加给铁芯的是一个不变的力,使铁芯在被测泥浆中从速度为零加速至终速度,在常用的泥浆中铁芯不能总是匀速运动,因此不能按不变的或确定的环空剪率进行分析。在实际使用中,常用于定性测量水泥浆的稠度。

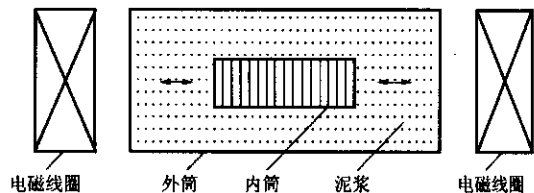


图 1 Fann 稠度仪测量原理图

2.2 Fann50C 高温高压流变仪

Fann50C 是由美国 Fann 公司(即范氏公司)生产的高温高压同轴旋转式粘度计,其最高工作压力和温度分别为 7 MPa 和 260 °C。其剪应力测量原理如图 2 所示。泥浆装在由两个圆筒组成的环状间隙里,外筒转速为 0 ~ 625 r/min。外筒在泥浆中旋转,通过摩擦力的作用,带动内、外筒之间的泥浆跟着旋转,旋转的泥浆施加摩擦力于内筒,使内筒转过一个角度。测量这一角度,即可确定其剪应力值。Fann50C 流变仪的测试结果使用一台双笔记录仪将剪应力值、样品温度值以曲线的形式输出。

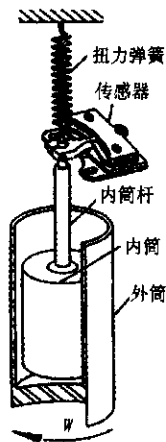


图 2 Fann50C 流变仪剪应力测试原理
万方数据

Fann50C 流变仪早期产品采用压力油的形式提供压力,适合于作水基泥浆的高温高压流变性测试,压力油对油基泥浆试验结果影响相对略大一些。Fann50C 流变仪中期产品既可由压力油提供压力,也可由高压氮气或空气提供压力。近期产品则只由高压气源提供压力。采用气压形式后,就不存在压力油对泥浆的污染问题,以及对测试结果的影响了。

Fann50C 流变仪采用一块数字显示表头来显示温度、转速(由旋钮开关控制)。剪应力值和样品温度由记录仪以曲线形式记录,读取数据和计算流变模式参数很不方便。其控制系统由于采用分立元件,电路复杂,可靠性差。我国石油、地质等部门在 20 世纪七八十年代进口的 30 多台 Fann50C 流变仪相继出现转速不稳、高速上不去、温度失调等故障而陷入了瘫痪。

为此,我所立项研制、开发了“Fann50C HTHP 流变仪新型测控系统”。该系统采用了以 8031 单片机为核心的由多块大规模集成电路组成的控制系统,不但保留了原机的所有功能,而且增加了转速、剪应力值、油浴温度、样品温度、加热功率同时显示功能和按 API 标准程序自动控制转速和自动进行数据采集、记录,并自动计算卡森、宾汉、幂律 3 种模式流变特性参数,然后在打印机上输出。与计算机相联,则可将测试的结果以数据库的形式加以保存,以备以后调用。

使用“Fann50C HTHP 流变仪新型测控系统”,我们先后成功地为江苏镇江第六普查勘探大队、山东德州钻井所、中石化石油勘探开发研究院石油钻井研究所、中海油田服务股份有限公司研发中心、中海油田服务股份有限公司湛江分公司、中国石油大学(北京昌平、山东东营)等单位的 Fann50C 流变仪进行了技术改造,更换了原系统的控制电路,使这些单位的 Fann50C 流变仪高温高压流变仪起死回生,重新投入科研和现场使用。

现在进口一台 Fann50C 高温高压流变仪需要 70 多万人民币,而且到货周期约为 4 个月。而改造一台 Fann50C 流变仪不到 5 万元人民币,而且操作简单、直观,功能也得到了很大提高,同时也可节约大量宝贵的外汇。

2.3 Fann50SL 高温高压流变仪

Fann50SL 流变仪是 Fann50C 流变仪的改进型产品,样品压力使用高压氮气控制,最高工作压力和温度为 7 MPa 和 260 °C。它在 Fann50C 流变仪原有结构基础上,新增加了压力传感器、冷却水电磁阀和

远程控制器(RCO) ,并通过 RS - 485 串行口与计算机相连 ,整台仪器的控制(除压力的给定由手动控制外)和剪应力、转速、温度、压力的测试都是由计算机来自动完成的 ,测试结果以表格的形式输出或在计算机屏幕上显示出剪应力、剪率、压力、温度的相对曲线 ,用户可以根据自己的需要编制相应的测试程序 ,灵活性较好。唯一不足的是该控制软件中不具备将曲线在打印机上输出的功能。

2.4 Fann 70/75 高温高压流变仪

Fann70/75 流变仪是 Fann50C 流变仪的更新换代产品 ,不但体积小 ,而且工作压力高 ,极限工作压力和温度分别为 140 MPa 和 260 ℃ ,压力由手动高压液压泵加压。Fann70 流变仪分为测试和控制两个部分 ,由于是分体结构 ,在压力管线连接及搬运过程中易发生一些问题 ,如压力密封不好等 ,而且 Fann70 流变仪不能和计算机相连 ,不能进行数据处理和存贮。Fann75 流变仪在 Fann70 流变仪的基础上 ,改进了上述不足 ,成为了一体化的仪器 ,既可单独工作 ,也可与计算机相连 ,大大提高了整个仪器的档次 ,控制软件为 Windows 界面 ,测试数据可以存贮 ,并可不同时间的测试数据进行对比。可以说 ,Fann75 流变仪已是比较成熟的高温高压流变仪 ,由于其体积小 ,既可用于实验室 ,又可用于钻井现场 ,其外形如图 3 所示。

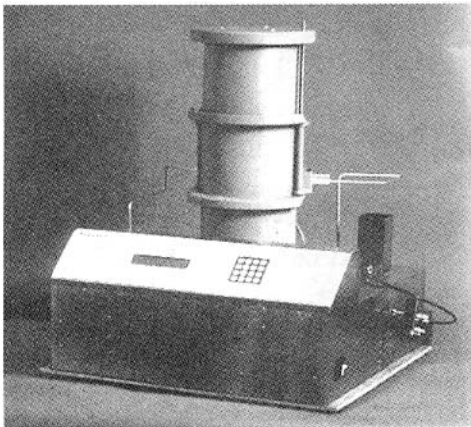


图 3 Fann75 高温高压流变仪外形图

2.5 Haake RV20/D100

该仪器是用于高温高压泥浆及其它流体流变性测试的另一种类型的流变仪 ,工作极限压力和温度分别为 100 MPa 和 300 ℃。该仪器测试头工作原理与 Fann 公司的高温高压流变仪有所不同 ,如图 4 所示。它的外筒固定 ,外筒通过轴承将内筒托住。内筒作为转子 ,位于外筒外部的驱动机构通过电磁耦合带动内筒转动 ,内筒通过电磁耦合将其所受的转

矩传递给外部的扭矩传感器 ,使其转过一个角度。测量这一角度 ,即可得到内筒所受剪应力的大小。该仪器由计算机控制转速和测试、换算剪应力值 ,并可由计算机对测试结果进行分析。

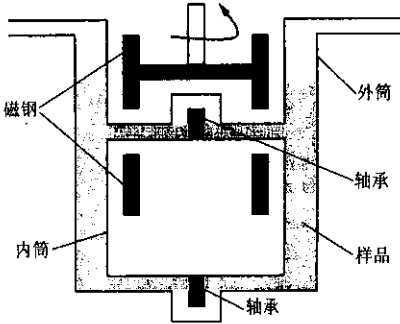


图 4 Haake RV20 转速驱动及剪应力测试原理

2.6 Thermo Haake RheoStress 600

该仪器是德国 Haake 公司新一代流变仪 ,如图 5 所示。它不但体积小 ,整机智能化程度高 ,控制和分析软件丰富 ,可以显示和打印输出流变特性曲线 ,而且其测试系统采用空气轴承 ,确保其以几乎无摩擦的方式将施加应力传送至试验样品 ,测试精度大大提高。

RheoStress 600 流变仪采用了可更换测量头系统 ,以此来保证其最大程度的模块组合性 ,可满足于各种流体流变性测试要求。该仪器最高测试温度为 250 ℃。



图 5 RheoStress 600 流变仪外形图

其他高温高压流变仪如美国的 Chandler7400 (极限工作条件 :140 MPa 和 205 ℃)、Brookfield 公司的 PVS 型高温高压流变仪(7 MPa 和 200 ℃)、Temco 公司的 Rheo5070 - 25 型流变仪(70 MPa 和 260 ℃)等 ,它们的工作原理与上述美国 Fann(范氏)公司或德国 Haake 公司的高温高压流变仪的工作原理相似。

3 当前国内进口的高温高压流变仪的使用现状及存在的问题

随着钻井深度的逐年增加,泥浆抗高温特性日益成为突出的问题,为了测试泥浆的高温高压流变性及其稳定性,中国海洋石油、塔里木石油指挥部以及石油、钻探等有关的院校相继从国外多家公司进口了多台高温高压流变仪、失水仪、粘度计等高级仪器。进口这些仪器花去了大量外汇,而且也牵扯了研究人员大量的精力。但这些进口仪器在使用中存在着不少问题,主要表现在以下方面:

(1)进口仪器使用说明书多为外文,带来了很大的不方便。

(2)技术保障不够。现在国内的代理商或进出口商大多缺乏足够的技术保障人员,并且其技术人员流动快(跳槽快),仪器一旦出现问题,往往无法解决。与国外公司联系手续繁琐,周期长,而且国外技术人员来修理所需支付的费用也是昂贵的,往往令用户承受不了。

(3)缺乏修理所需的技术资料。国内用户在进口仪器时,多不太重视有关仪器的技术资料,特别是电气控制线路图。若用户不专门要求,国外公司一般是不提供电路图的。在仪器出现故障时,国外厂家技术人员来不了,国内的技术人员由于没有电路图作指导,往往无从下手。

(4)零备(配)件得不到及时供应。进口仪器的零配件供应一直是个老大难问题,要想买到其零配件,得经过与进出口商签合同,还得等上3个多月才可能得到。

(5)仪器技术资料管理不善,常常由于人员变动、仪器调拨、工作场所的变动,而使原有的技术资料丢失、损坏等,从而使后来的使用人员无章可循,不能正确发挥原有仪器的功能。

4 提高进口仪器使用效率的一些措施

针对以上存在的问题,可以采取以下一些措施来提高进口仪器的使用效率。

(1)找既懂机械、电子技术,又懂石油、钻探等工艺,且英语水平高的技术人员,也可将具备以上能力的人员组织在一起,将英语说明书译成地道的中文说明书,并将相关资料汇编成册存档,平常操作使用只用复印件即可。加强仪器技术资料管理,在人员变动、仪器调拨时,要对技术资料进行交接。

(2)在签定进口仪器合同时,一是要专门要求随机附带电气控制线路图,二是要将技术保障作为一个重要的条款加以强调。同时,也要积极寻找国内具备实力的技术人员作为自己的技术支持后盾,因为国内技术人员不但维修费用低,而且能即时到位解决实际问题,相互沟通起来也不存在语言障碍。

(3)常用零备(配)件要提前购买,并最好能有固定的供货单位。

针对以上问题,我所翻译了多套进口仪器的说明书,并将作为技术服务的一种形式出售,取得了较好的经济效益,也为相关单位解决了不少问题。在多年摸索的基础上,我所技术人员收集了多种进口仪器的技术资料,包括电气控制图,并为国内多家企业提供了仪器改造、维修服务(如Fann50C、Fann70、Fann90等仪器),使多台进口仪器重新投入使用。同时,我所预先贮备了多种进口仪器的零配件、易损件,用户一有需要,马上就可以得到急需的零配件,为多家企业解了燃眉之急。关于如何作好这方面的工作,我所只是作了一些有益的探索,希望能有更多的单位加入到这项工作中来,为充分发挥进口仪器作用作一份贡献。

参考文献:

- [1] 黄汉仁. 泥浆工艺原理[M]. 北京:石油工业出版社,1985.
- [2] Fann Instrument Company. Fann 50C/Fann 50SL Instruction Manua[Z]. 1996.
- [3] Baroid Testing Equipment Company. Baroid Testing Equipment General Catalog[Z]. 1992.
- [4] American Petroleum Institute Recommended Practice on the Rheology and Hydraulics of Oil - Well Drilling Fluid[Z]. 1995.