

超高压高温高压流变仪的研究现状及应用前景

赵建刚, 李梅楠, 石凯, 王琪, 许文博, 王雪竹, 孙鹏, 李伟, 邓都都
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:分析了新钻探形势下对钻井液流变性测试仪器的技术要求,介绍了当前主流进口高温高压流变仪的研发及应用现状,介绍了由我国自主研发的超高压高温高压流变仪 Explore 97 的研究进展、主要功能、技术优势和应用领域,并与 Fann iX77 型流变仪进行了技术对比。

关键词:钻井液;流变性;高温;低温;超高压;天然气水合物

中图分类号:P634.3⁺6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)01-0060-04

Research Status and Application Prospect of Ultra-high Pressure High-temperature and Low-temperature Drilling Fluid Rheometer/ZHAO Jian-gang, LI Mei-nan, SHI Kai, WANG Qi, XU Yun-bo, WANG Xue-zhu, SUN Peng, LI Wei, DENG Du-du (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The technical requirements of drilling fluid rheology test instruments under new drilling conditions are analyzed in this paper. The development and application of popular imported high temperature and high pressure rheometer are presented. This paper also introduces the research progress, main functions, technical advantages and application fields of the ultra-high pressure high-temperature and low-temperature drilling fluid rheometer Explore 97, which is independently developed in China, and takes it comparing with Fann iX77 rheometer in technology.

Key words: drilling fluid; rheology; high temperature; low temperature; ultra-high pressure; natural gas hydrate

0 引言

随着钻探环境越来越复杂多样,需要考察多种温度和压力条件下的钻井液流变性。如在六七千米的深井,温度可达 170~260℃或更高,需要考察钻井液体系在高温高压环境下的流变特性。海洋石油开发近年来所占比例不断增加,且海洋石油勘探的趋势是向深水区域推进。在深水区域,钻井环境温度更低、压力更大,需要考察钻井液体系在低温高压环境下的流变特性。此外,新型清洁能源——天然气水合物越来越受到关注,天然气水合物的开采成为世界各国关注的热点。天然气水合物是在特定的低温和高压条件下形成的产物,广泛分布于大陆边缘海底和冻土带沉积物中。低温钻井液是获得天然气水合物真实样品的重要保证条件之一。天然气水合物勘探对钻井液技术提出了更高要求,需要着重考察钻井液体系在低温条件下的流变性能。所以能够完成多种压力温度测试环境的高压超高压流变仪是泥浆实验室中必备的仪器。

1 进口高温高压流变仪的使用现状

目前国内使用的高温高压流变仪主要来源于进口,以美国 Fann 和德国 Haake 为主。

主要包括 Fann 50C 型高温高压流变仪、Fann 50SL 型高温高压流变仪、Fann 70/75/iX77 型高温高压流变仪、Fann iX77 型高温高压流变仪,Haake RV20/D100、Thermo Haake RheoStress 600 型等。

Fann 50C、Fann 50SL 型高温高压流变仪、Fann 70/75/iX77 型高温高压流变仪、Fann iX77 型高温高压流变仪都是同轴旋转式粘度计。

Fann 50C 高工作压力和温度分别为 7 MPa 和 260℃。其剪应力值和样品温度由笔式记录仪以曲线形式记录在纸上,使用不便。控制系统可靠性也较差。我国石油、地质等部门在 20 世纪七八十年代相继进口的 30 多台 Fann 50C 相继出现转速不稳、高速上不去、温度失调等故障。

Fann 50SL 是 Fann 50C 的改进升级型产品,最高工作压力和温度分别为 7 MPa 和 260℃。它的控制系统有较大提升,仪器控制和测试实现了计算机

收稿日期:2017-10-23; 修回日期:2017-11-27

基金项目:国家重大科学仪器设备开发专项“超高温高压钻井液流变仪的研发及产业化”(编号:2012YQ050242)

作者简介:赵建刚,男,汉族,1969年生,勘查仪器研发中心主任,教授级高级工程师,博士,从事钻井液和固井水泥测试仪器方面的研发工作,北京市海淀区学院路29号探工楼607,zhaojg@bjiee.com.cn。

化控制。

Fann 70/75 相比于 Fann 50C, 体积更小, 工作压力也更高, 极限工作压力和温度分别为 140 MPa 和 260 °C。但 Fann 70 不能和计算机相连, 不能进行计算机数据处理和存贮。Fann 75 改进了这一不足。Fann 75 既可作为单机单独工作, 也可与计算机相连成为一个计算机控制的仪器, 实验室与钻井现场都可以使用。

Fann iX77 型高温高压流变仪是一种同轴圆筒型流变仪, 用于测量高温高压下的液体流变性。由于内置高可靠性工业控制计算机系统和安全设计的机电结构, 该仪器具有很高的安全性。Fann iX77 型高温高压流变仪使用嵌入到主机上的工业控制计算机控制, 使仪器操作、数据采集、输出报告和报警功能自动进行, 最大限度扩展其应用范围, 给操作带来较大的灵活性。专用计算机软件使仪器操作自动化, 并允许高级操作人员根据实验条件编制专用的测试程序。该仪器使用一个精密的磁敏角度传感器来检测内嵌宝石轴承的弹簧组合的角度, 传感器系统可以校准到 $\pm 0.1^\circ$ 。实验压力由气动增压泵产生, 该泵由一个精密的后置压力控制器、高压阀和压力传感器来控制。

Fann iX77 型高温高压流变仪最高工作温度 316 °C, 最高工作压力 210 MPa, 配上外部冷凝器 (D4004 型) 可在软件控制下进行低温测试, 低温范围为环境温度至 -20°C 。若配上能力更强的外部冷凝器, 则可以达到更低的测试温度。Fann iX77 型高温高压流变仪外形图见图 1。



图 1 Fann iX77 型高温高压流变仪

Haake RV20/D100 最高工作极限压力和温度分别为 100 MPa 和 300 °C, 是从德国进口的一款高端流变仪。Thermo Haake RheoStress 600 体积较小,

整机智能化程度较高, 控制软件和分析软件较为完备。该仪器的测试系统采用空气轴承加压, 大大提高了测试精度, 该仪器最高测试温度为 250 °C。

中国海洋石油总公司、塔里木石油勘探开发指挥部以及与石油、钻探等有关的科研院所和高校相继从国外多家公司进口了多台高端高温高压流变仪。这些进口高端仪器价格昂贵, 贸易手续繁杂, 在使用中也存在着不少问题, 主要为:

- (1) 技术资料多为外文, 使用不便;
- (2) 售后周期长, 费用高;
- (3) 零配件供应周期长, 价格被动大。

综上所述, 使用进口高端流变性测试仪器具有价格高昂、使用不便、维修售后难度大, 零配件供应不便等诸多问题。

2 北京探矿工程研究所研发的 Explore 97 型超高压高温钻井液流变仪

2013 年 4 月, 国家科技部重大仪器设备开发专项项目“超高温高压钻井液流变仪的研发及产业化”获得正式批复, 由北京探矿工程研究所牵头承担。

经过 5 年的研究开发, 攻克了超高温高压和低温高压条件下钻井液的流变性测试、高精度粘度测量、采集与处理等技术难题, 试制了耐腐蚀高温高压测试釜, 完成了钻井液流变性的各种流变模型的整理和分析, 进行参数计算、评价分析的程序编写, 并结合应用于控制软件中, 经过样机的组装和调试, 开发了高温高压控制系统、高精度剪率控制系统等关键部件, 通过系统集成和软件开发, 目前已成功研制出国内第一台超高压高温钻井液流变仪, 是目前国内国际上最先进高端的钻井液流变性测试仪。

Explore 97 工程化流变仪样机, 完成了耐压 260 MPa, 加热温度超过 350 °C 的极端性能测试, 在高温高压和低温高压的条件下, 测试了多种样品的流变性, 验证了仪器的综合技术性能指标, 达到了产业化的需要。

该仪器能测定高温 (320 °C) 高压 (220 MPa) 和低温 (-20°C) 高压条件下钻井液的流变性, 满足我国深部油气、深部矿产、高温地热、天然气水合物及大陆科学钻探等深部钻探工程的需要。其特征在于采用隔离磁耦合扭矩传递方法, 实现粘度信号测量和剪率的控制, 剪率控制范围大, 钻井液屈服值的测试精度高, 采用非接触式粘度测试方法, 解决了高温

高压的密封、元器件高温条件下使用寿命等问题。超高压高低温钻井液流变仪结构示意图见图2、整机示意图见图3。

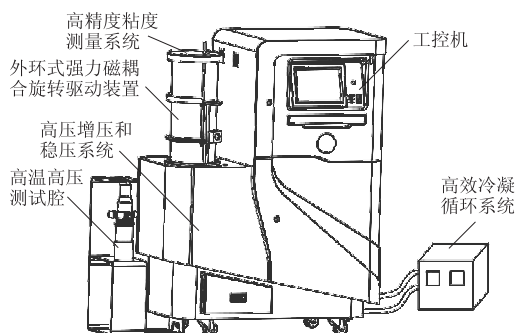


图2 超高压高低温钻井液流变仪结构示意图



图3 超高压高低温钻井液流变仪整机示意图

北京探矿工程研究所研制的 Explore 97 型超高压高低温钻井液流变仪与目前进口的国际一流的 Fanni X77 型高温高压流变仪的对比结果见表1。

表1 Explore 97 与 Fanni iX77 型高温高压流变仪的指标对比

指标	Explore 97	Fanni iX77
最高工作温度/°C	320	316
最低工作温度/°C	-20	-20
最大工作压力/MPa	220	210
粘度范围/(mPa·s)	0~9000000	0~4500
粘度分辨率/(mPa·s)·次 ⁻¹	优于0.1	0.5
重复性/(mPa·s)·次 ⁻¹	±1	±2
恒温精度/°C	优于0.1 °C	0.5
恒压精度/MPa	优于0.1	0.1
控制软件	自主知识产权	国外公司知识产权
操作系统语言	中文或英文	英文
操作系统定制性能	可根据用户需求,定制测试程序	不可定制
购置成本及周期	费用经济,周期短	费用高昂,周期长
维修及备件	维修响应速度快,备件齐	因涉及到与国外公司沟通备货,速度较慢

Explore 97 型超高温高压流变仪的测试软件运行于 Windows 平台,使用 Labview 作为开发工具。该软件功能完善、界面友好,使流变仪操作、数据采集、数据处理、输出报告能自动进行,实现智能化测量。

该软件功能主要分为以下几个方面。

(1) 校准:校准页面见图4,分为初始校准和常规校准。初始校准指的是在初次使用该仪器或硬件有变动时进行的校准,初始校准结束后,软件将存储该校准的结果,用于后续测试进行常规数据校准。

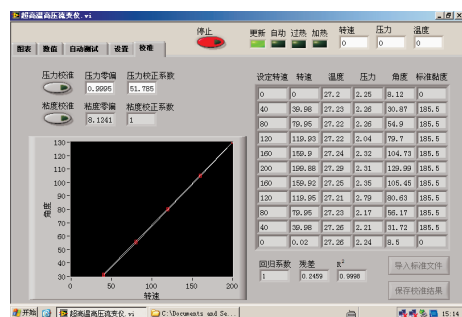


图4 校准页面

(2) 手动测试:手动测试页面见图5。用户直接设置转速、温度和压力,软件控制系统内的硬件执行测试命令,获取测试数据,并调用数据显示、处理与报告功能向用户输出测试结果。

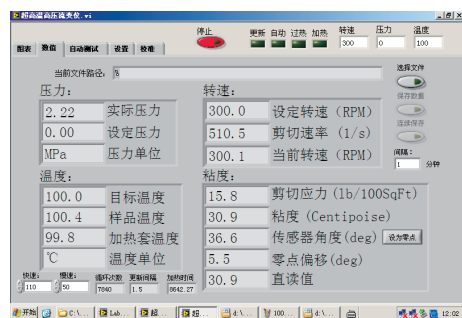


图5 手动测试

(3) 自动测试:见图6,采用软件预置资源库中的自动测试序列进行智能化测试。预置资源库中的自动测试序列是较为标准合理的测试参数序列,用户也可以提供测试点,自动测试可以帮助用户设计合理的实验,以获取更可靠的数据。

(4) 高级设置:见图7,设置系统初始参数,用于提供初始化数据以及默认状态,该功能平时不可见,只有高级操作人员有权限进入。

(5) 数据显示、处理与报告:见图8,该功能用于显示校准、手动测试和自动测试中获取的数据,计算校准数据、测试数据,并生成、存储和发送数据报告。

