

# 智能型高温高压入井流体动态损害 评价系统的研制<sup>\*</sup>

余维初<sup>1,2</sup> 鄢捷年<sup>1</sup>

(1.石油大学·北京 2.长江大学)

余维初等.智能型高温高压入井流体动态损害评价系统的研制.天然气工业,2005;25(4):131~133

**摘要** 智能型高温高压入井流体动态损害评价系统是石油勘探开发中评价油气层损害程度的新型实验仪器,它可以测量岩心受入井流体损害前各分段的原始渗透率值,然后不需取出岩心,就可以直接在模拟储层温度、压力及流速条件下,用泥浆泵驱替高压液体罐中的入井流体,在岩心端面进行动态剪切损害。损害过程完成后,也不需取出岩心,而是通过换向阀门改变流体的流动方向,再由平流泵驱替液体,测量储层岩心受损害后各段的渗透率值。通过对比岩心各分段的渗透率变化情况,即可确定岩心受入井流体损害的深度和程度,从而优选出满足保护油气层需要的钻井液与完井液。此外,还可以进行岩心的各种敏感性实验。该评价系统体积小、造价低、适用范围广、功能强、自动化程度高,克服了因重复装卸岩心所造成的实验误差较大的缺点,与同类实验仪器相比具有明显的先进性和优越性。

**关键词** 油气层 保护 岩心 渗透率 测量 地层损害 系统

## 一、引言

油气层保护的关键技术之一,就是要在尽可能模拟储层和钻井工况条件的情况下,研制出能够对储层损害的深度和程度进行定量评价的仪器并建立相应的评价方法。近年来,本课题组曾研制出渗透率梯度测试仪和高温高压动失水仪,并推广应用到国内各油田,其成果分别获国家科技进步奖和国家发明奖<sup>[1,2]</sup>。但随着油气层保护测试技术的不断发展,对油气层损害的评价方法提出了更高的要求<sup>[3]</sup>。多年来的使用情况表明,这两台仪器还存在以下需改进之处:①模拟储层条件对岩心的动态损害和测量岩心损害前后多段渗透率参数分别在两台仪器上进行,操作较繁琐,耗时较长;②由于实验和装卸岩心分别在两台仪器上进行,其操作难免会改变岩心的原始物理性质,因而往往会增加实验误差,对研究结论造成影响。尤其对于胶结疏松的岩心,在装卸过程中,常造成人为损害,严重时由于岩心破碎而使

实验半途而废。因此,研制出一套仅进行一次装卸,便能够既测量岩心各段的原始和损害后渗透率,又能模拟储层温度、压力及流速等条件对岩心进行动态损害评价的智能型评价系统就显得十分重要。本文扼要介绍了该评价系统的设计思路、研制原理、技术性能指标、实验参数计算方法及其应用前景。

## 二、设计思路和工作原理

### 1. 设计思路

根据设计要求,该系统首先要能够测量岩心各段的原始渗透率( $K_{oi}$ )和受损害后渗透率( $K_{di}$ )。参照本课题组前期所研制渗透率梯度仪的工作原理和设计思路,依据达西定理公式便可很方便地计算出岩心各段损害前后的渗透率参数。该系统在测量渗透率后,不必取出岩心,而是在模拟地层温度、压力、流速的条件下对岩心进行动态污染损害。在对岩心进行动态损害时,利用相关阀门,关闭岩心多段渗透率的测量机构,采用特制泥浆泵,在模拟地层度、压

<sup>\*</sup> 本文为中国石油天然气集团公司中青年创新基金项目(项目编号:200341)的研究成果。已申请并受理了3项国家专利,其中一项为国家发明专利,专利号分别为:200420017823.7;200410030637.1;200420007524.8。

**作者简介:**余维初,1965年生,副教授,在读博士研究生;长期从事油田化学和保护油气层技术领域的教学和科研工作;获国家科技进步三等奖1项,获得省部级科技进步一等奖、三等奖共4项,获得6项国家专利。地址:(102249)北京市昌平区石油大学石油天然气工程学院博2003级。电话:(010)89733834,13907216790。E-mail:yuweichu@126.com

力和入井流体流速的条件下,对岩心的某个端面进行动态污染。动态污染采用端面循环剪切式的结构。该评价系统的一个突出特点是,将岩心损害前后各段渗透率变化测试和对岩心端面的动态污染损害有机地结合起来,从而顺利地实现了设计目的<sup>[4~8]</sup>。

## 2. 仪器的结构及工作原理

该智能型高温高压动态损害评价系统由平流泵、泥浆泵、液体罐、端面动循环并带多个测压点的岩心夹持器、流量计、电子天平、气源、压力传感器、温度传感器、环压泵、回压控制器、加热系统、数据采集与处理系统等部分组成。其主要工作原理是:当关闭泥浆泵及相关阀门时,由平流泵驱替可进行岩心损害前后渗透率的测试;而当打开泥浆泵、流动管路及相关阀门时,可对液体罐中的钻井液或完井液在实际储层条件下进行循环,从而对储层岩心进行动态污染损害。其整体结构如图1所示。

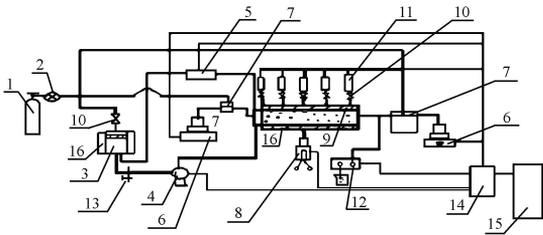


图1 智能化高温高压动态损害评价系统图

注:1.气源;2.高压减压阀;3.高压液体罐;4.泥浆泵;5.流量计;6.电子天平;7.回压控制器;8.环压泵;9.端面循环的多测点岩心夹持器;10.阀门;11.压力传感器;12.平流泵;13.排污阀;14.数据采集器;15.数据处理系统(计算机、打印机);16.加热体

带多个测压点的端面动循环岩心夹持器是仪器的核心部分,该特制的夹持器由以下部件构成:①外筒——由不锈钢材料制成,上面设有多个测压孔及一个环压孔;②内筒——由耐高温耐油等技术标准较高的橡胶材料制成,内部装有实验岩心;③柱塞——在岩心夹持器左端有一个液体循环通道和柱塞,其大小可以调节。结合泥浆泵的变频调节,可计算出管路中液体循环剪切岩心的线速度,通过流量计可以准确测量出岩心端面的剪切线速度。同时该岩心夹持器上分布有3~5个测压孔,可实现环压和岩心内流动的液体之间不互窜,右端柱塞连接岩心出口;④加热及控温系统,对岩心夹持器进行加热和保温。

## 3. 数据采集与控制原理

### (1) 硬件部分

评价系统的数据采集由以下四种部件进行控制:①传感检测,信号预放大及滤波;②信号多路切换、放大,采样保持及量化部分;③单片机控制及数据传输处理部分;④计算机数据处理部分,单片机可接受来自上位机的命令控制。

### (2) 软件部分

全中文界面,试验完毕后计算机直接打印出实验数据报表,其中包括流体通过岩心的孔隙体积分数,岩心各段的渗透率、渗透率损害率、渗透率恢复率、钻井液与完井液通过岩心时的动滤失速率等实验参数。

## 4. 评价系统的主要技术指标

该评价系统的主要技术性能指标如下。

(1) 钻井液与完井液污染压力:0~10 MPa;测量岩心渗透率流动压力:最大可达60 MPa。

(2) 工作温度:室温~150℃(最大可达230℃)。

(3) 岩心端面流体线速度:0~1.8 m/s。

(4) 实验岩心规格:人造或天然储层岩心,其尺寸为 $\varnothing 25 \times (25 \sim 90)$ 。

(5) 测压精度: $\pm 2\%$ 。

(6) 钻井液用量:2~3 L。

(7) 渗透率测量范围: $(1 \sim 5000) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(8) 电源:220 V,50 Hz(要求使用稳压电源)。

与其它油气层损害评价实验装置相比,该评价系统无论在工作压力、工作温度方面,还是在岩心的渗透率测量范围方面,均具有明显优势。不难看出,它适用于各种渗透性储层,以及出现异常高压或异常低压的储层,并适用于在井底温度不超过150℃的深井中应用。

## 三、实验参数及计算方法

### 1. 环空处泥浆上返速度的计算

在钻井过程中,钻杆和钻铤处的环空返速可用下式进行计算:

$$\begin{aligned} \pi(R^2 - r^2)v &= Q = \frac{4Q}{\pi(D_1^2 - D_2^2)} \\ v_{\text{返}} &= \frac{4000Q}{\pi(D_1^2 - D_2^2) \times 2.54^2 \times 100} \\ &= \frac{620Q}{\pi(D_1^2 - D_2^2) \times 100} \\ &= \frac{6.2Q}{\pi(D_1^2 - D_2^2)} \end{aligned}$$

式中:Q为钻井现场泥浆泵排量,L/s;D<sub>1</sub>、R分别为

钻头直径和半径,  $\text{in}$ ;  $D_2$ 、 $r$  分别为钻杆或钻铤的直径和半径,  $\text{in}$ ;  $v_{\text{返}}$  为泥浆在环空处的上返速度,  $\text{m/s}$ 。

岩心端面处剪切速率的大小通过使用变频器调节泥浆泵的转速来实现, 选择合理排量的泥浆泵就可以任意模拟钻井现场泥浆泵的排量。在钻井过程中, 根据泥浆环空水力学计算结果, 当钻杆或钻铤处环形空间泥浆的上返速度(返)推荐值为  $0.5 \sim 0.6 \text{ m/s}$  时, 才能形成平板型层流, 从而满足钻井工艺的要求<sup>[4]</sup>。

## 2. 岩心动滤失速率的计算

根据钻井液动滤失方程, 钻井液或完井液通过岩心时的动滤失速率可使用下式计算:

$$f_d = \frac{60 \times \Delta\theta}{A \times \Delta t}$$

式中:  $f_d$  为动滤失速率,  $\text{mL}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ ;  $\Delta\theta$  为  $\Delta t$  时间内的动滤失量,  $\text{mL}$ ;  $\Delta t$  为渗滤时间,  $\text{s}$ ;  $A$  为岩心端面渗滤面积,  $\text{cm}^2$ 。

## 3. 动态污染损害前后岩心各段渗透率的计算

在一定压差的作用下, 流体可在多孔介质中发生渗流。一般情况下, 其流动规律可用达西定律来描述。因此, 在动态污染前后, 岩心各段渗透率参数的计算可通过应用达西定律公式来实现。由于是多点测试, 可以将达西定律公式写成:

$$K_i = \frac{Q\mu L_i}{A\Delta p_i}$$

## 四、应用前景分析

由于该评价系统具有智能化、一体化、多功能、结构合理、操作简便以及测量范围宽、测量精度高等

特点, 特别是克服了其它同类仪器因重复装卸岩心所造成的实验误差较大的缺点, 因此与目前使用的实验仪器相比, 具有明显的优越性。它的研制成功, 可为油气层损害和保护油气层的实际效果提供一种十分重要的评价手段, 预计将在油气层的发现和确保油气井的高产和稳产方面发挥重要的作用。目前, 已推广应用到中原、江汉、江苏、大庆等各大油田均取得了理想的使用效果, 概括起来该评价系统主要在以下方面可获得广泛应用: ①屏蔽暂堵方案的优选; ②钻井液、完井液配方的优选; ③钻井液、完井液静态、动态滤失速率测试; ④水泥浆动滤失性能测试油田增产措施方案的确定; ⑤储层岩心各种敏感性的测试。

## 参 考 文 献

- 1 李淑廉等. JHDS—高温高压动失水仪的研制. 江汉石油学院学报, 1988; (1)
- 2 余维初, 李淑廉等. 渗透率梯度测试仪的研制. 石油钻采工艺, 1995; (5)
- 3 樊世忠. 油气层保护与评价. 北京: 石油工业出版社, 1988
- 4 Bourgoyne A T *et al.* Applied drilling engineering. SPE Textbook, 1991
- 5 岩石物性渗数测试装置. CN2188205Y 全文, 1995
- 6 一种岩心物性能自动检测装置. CN2342371Y, 1999
- 7 Joseph J S, Calif S B. Automated steady state relative permeability measurement system. US4773254M, 1988
- 8 Apparatus and method for measuring relative permeability and capillary pressure of porous rock. US5297420, 1994

(收稿日期 2005-01-17 编辑 韩晓渝)