

文章编号: 1006 - 6535(2007)05 - 0088 - 03

压裂液智能返排实时监控技术研究

赵政超, 吴应湘

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要:为实现压裂液的合理、连续、自动返排,克服传统返排方式带来的诸多弊端,进行了压裂液智能返排实时监控技术研究。根据井口压力变化,实时判断压裂液最佳返排时机,实时计算不同压力下最小临界出砂返排流量,自动调节返排阀门开度,自动控制返排流量大小,同时可将返排过程中的压力、排量等数据进行显示、存贮、远程传输。现场试验表明,该技术明显提高了压裂液返排效果和管理效率。

关键词:压裂液;返排;裂缝强制闭合;机理;实射监控系统

中图分类号:TE357.1 **文献标识码:**A

前 言

压裂是油气田开发过程中一项十分有效的增产措施,而压裂液的返排效率是影响压后增产效果的关键因素。目前,现场对于压裂液的返排一般都是依靠经验采用人工更换油嘴的方式来控制返排速度,这种方法经常导致返排滞后、支撑剂返吐、压裂液伤害、支撑剂沉降等工程问题。主要表现在:

由于依靠经验人工更换油嘴,返排流量很难与裂缝闭合规律匹配,导致压裂返排过早或过晚;不能实现压裂液的连续返排,在油嘴更换过程中会产生压力激动而导致支撑剂返吐;为了避免支撑剂返吐,通常在裂缝完全闭合时才能进行返排,由于闭合时间较长造成支撑剂发生严重沉降,大大减少了储层垂向填砂效率。同时,由于压裂液在裂缝中滞留时间过长,产生比较严重的二次伤害。裂缝强制闭合压裂液返排是解决这一难题的有效方法,即压后以不造成支撑剂返吐的最小临界流量返排压裂液,加快压力扩散进程,强制裂缝快速闭合后再进行较大排量的压裂液返排。这是目前国内外提高压裂液返排效果的发展方向,并且在返排机理方面已经进行了大量的研究^[1~3],本文所研究的压裂液智能返排实时监控技术是将机理研究成果转化为现场实施的有效方法。

1 工作原理

本文研究的压裂液智能返排实时监控技术系

统,PC机内置压裂液智能返排参数计算软件,由压力传感器监测井口压力,软件根据井口压力变化实时判断压裂液最佳返排时机,实时计算不同压力下最小临界出砂返排流量,由流量传感器监测返排流量,由软逻辑控制器和执行器自动调节返排阀门开度,自动控制返排流量大小,同时,将返排压力、返排流量等数据进行实时显示和存贮,并通过GPRS实现数据远程传输。

2 硬件的组成

硬件主要由PC机、软逻辑控制器、压力传感器、流量传感器、返排控制阀、数据远程传输终端等组成。

(1) 软逻辑控制器的选择。选用PC-Based PLC的ADAM5510KW为软逻辑控制器,它兼具IPC控制器和PLC控制器的特性,设计紧凑,开放式架构,封闭式系统,支持脱机运行,特别适合于采样点和控制点分散以及主机距离较远的数据采集和控制。系统配置灵活简单,输入输出模块全部为隔离保护方式,内部具有看门狗电路,可靠性强。内置80188CPU和ROM-DOS操作系统,提供512kb FLASH ROM、512kb SRAM,用于系统操作和数据存储。另外,选用配合ADAM5510KW工作的模块还包括:ADAM-5017H模块,为8通道差分隔离模拟量输入采集模块,主要用于压裂液返排流量、返排压力、返排阀门开度的数据采集;ADAM-5060模

收稿日期:2007-08-05;改回日期:2007-09-06

作者简介:赵政超(1962-),男,教授级高级工程师,《特种油气藏》副主编,1985年毕业于大庆石油学院采油工程专业,一直从事石油开发技术与成果转化工作。

块,为继电器输出模块,主要负责对各种电动开关和电动阀门的开闭控制;ADAM-5024模块,为4路模拟量输出模块,主要用于对返排阀门开度的控制。

(2) 流量传感器的选择。选用 DCT-1088C-C 外夹式时差超声波流量计,利用探头发出的超声波在流体中的传播,顺流方向声波传输速度增大,逆流方向声波传输速度减小,根据同一距离传输时

间之差与被测流体流速之间的关系就可以测出流体的流速。采用数字处理技术,对于压裂返排液(含有气泡和固体的多相流)具有较高的可测性,解决了以往管内气体或颗粒对时差式流量计的困扰。可以直接安装在管道外,不影响管内正常的流速,并保证管内液体的密闭性,不产生任何压降。其主要技术指标见表1。

(3) 数据远程传输终端的选择。选用 MA-ZC

表1 DCT-1088C-C 外夹式时差超声波流量计主要技术参数

测量范围	精度	灵敏度	重复度	线性度	管径范围	适用温度	适用湿度
/(m/s)	/(m/s)	/(mm/s)	/(m/s)	/%	/m	/	/%
0~15	0.0152	0.3	0.0049	0.1	0.025~5.000	-40~+150	0~100

数据远程传输终端,支持中国移动 GPRS 900/1800/1900 三频网络,内建 TCP/IP 协议,提供安全透明的传输信道。具有即插即用功能,可以透过 TCP/IP 方式经由 GPRS 网络及 Internet 网络与原有的应用系统连接。同时,可以侦测 GPRS 线路通讯状况并提供断线重连功能。主要用于对现场压裂液返排压力、返排流量等数据进行实时远程传输,实现不需进入现场即可远程监测压裂液返排情况,并可组织技术人员对压裂液返排情况进行远程分析的指导。

(4) 触摸屏的选择。选用 Proface GP2300 触摸屏,可以通过 GP-Pro EX 软件平台与 ADAM5510KW 进行数据交换,通讯遵从 Modbus RTU Master 协议,主要用于显示返排压力、返排流量、返排阀门开度等实时数据和曲线,完成对预期流量、压力、自动/手动、PID 控制等参数的设置。具有大容量存储卡,还可以保存大量现场历史记录,以便回到室内进行分析。

(5) 其他硬件的选择。现场压裂返排压力较高,返排流量变化较大,选用 ZMAS-22.0 高压调节阀作为返排控制阀。同时,选择 IKZL 智能型直行程执行机构用于控制阀的开启关闭,并将阀门开启程度通过 4~20 mA 信号输出,以供 ADAM5510KW 采集。由于压裂施工现场处于野外,有时无法提供系统工作的电源,系统中配备了 APC Smart UPS1000VA 型 UPS 电源,可支持系统工作 4 h。

3 软件的组成

软件主要由系统控制程序、人机交互程序和数

据远程传输程序组成。

(1) 控制程序的设计^[4-6]。软逻辑控制器是系统的核心,应用 Multiprog 软件,采用 LD/FBD 编程、编译,并下载到 ADAM5510KW 中运行,对输入模块 ADAM5017H 进行监测,对输出模块 ADAM5060 和 ADAM5024 进行控制,利用 COM1 口的 ModBus RTU Slave 协议与 Proface GP2300 触摸屏进行通讯,利用 COM4 的 ModBus RTU master 协议与 GPRS 远程数据传输终端进行通讯。

程序开始首次循环需要进行初始化,设置通讯参数,打开 COM1 口,以保证软逻辑控制器 ADAM5510KW 与触摸屏之间通讯的顺利进行。压力与流量及阀门开启程度的数据采集子程序是用来完成对测量所得模拟量进行 A/D 转换,以方便 PC 机处理。采集后的数据分别通过 ADAM5510KW 的 COM1 口传输到触摸屏 GP2300 中,以供触摸屏对数据和曲线的实时显示。通过 COM2 口与 GPRS 远程传输终端连接,将数据传送到远端的数据接收服务器。PID 控制律计算子程序用来计算 PID 适应控制系统的控制律,读取触摸屏的设置参数,包括手动/自动方式的选择、选择的控制参数(压力/流量)、控制参数的预期值等。然后通过对实时采集的数据与参数预期值进行比较,用于控制阀门的开关操作,循环调节阀门达到预期值。

(2) 人机交互程序的设计。人机交互程序主要是完成相关参数的设置、压裂液返排压力、返排流量的数据和曲线实时显示。采用的是 Proface GP2300 触摸屏,通过 GP-PRO/PBIII FOR WINDOWS 软件进行程序开发。

(3) 数据远程传输程序的设计。数据远程传输采用的是 GPRS 技术, GPRS 建立链路以后, 相当于专线直接接入 Internet 网, 利用 TCP/IP 协议, 数据可靠而且稳定。相对于 Microsoft 的同类开发工具, Borland 的开发工具代码效率高, 数据库的接口稳定。压裂液智能返排实时监控系统的采用了 Borland Delphi 作为主要开发工具。特别是 Delphi 环境下的开放源代码的 Internet 组件集 Internet Direct (Indy) 几乎涵盖了所有流行的 Internet 协议, 为系统的开发提供了极大的便利。与 GPRS 终端数据通讯的建立注册在服务器上完成, 并使用 IdUDPServer 建立与 GPRS 终端的通讯。其中利用 IdUDPServer 组件完成 UDP 数据的主要数据传输功能由以下 2 个函数完成: IdUDPServer-6767UDPRead (当监听端口有 UDP 数据包时响应), IdUDPServer-6767.Sendbuffer (向指定的终端发送数据包)。

4 功能的实现

通过软逻辑控制器 ADAM5510KW 实现控制装置与 Proface 触摸屏的通讯功能, 软逻辑控制器 ADAM5510KW 的 COM1 口与 Proface 的 GP2300 触摸屏的 RS232 口通过 PC/PCI 电缆连接, 采用波特率为 9 600 bps, 两者之间遵守 ModBus RTU Master 协议进行数据交换。

压裂液返排压力和返排流量可以分别经由压力传感器和流量传感器测量得到, 阀门开度值由智能行程控制器提供, 信号均为 4~20 mA 模拟信号,

插在 ADAM5510KW 上的高速模拟量采集模块 ADAM5017H 完成信号 A/D 转换后送入 PC 机。

控制箱面板上的指示灯和手动控制装置是用来提示系统的工作状态及完成相应的手动控制。这些指示与控制装置均连接在 ADAM5510KW 的 I/O 口上, 通过程序控制, 相应装置按给定的逻辑顺序工作。

GPRS 终端与软逻辑控制器 ADAM5510KW 通过 RS485 口连接, 波特率为 9600, 8 数据位, 1 停止位, 无校验位。ADAM5510KW 依据 ModBus RTU 数据格式通过 GPRS 终端发送数据, GPRS 终端采用 UDP 通讯协议, 通过油田内部设置的 GPRS VPN 专线发送数据, 远端的接收服务器通过数据接收软件对数据进行接收、存储, 并实现数据的 Web 发布。

5 测试与试验

通过预设流量值、压力值, 测试返排阀门调节情况。结果表明, 系统可以很好地依据符合现场实际的预设流量值或压力值进行返排阀门的调节。

利用该技术在 OU48-38-24 井进行了现场试验。压裂施工结束, 压裂施工管线和设备撤出后, 立即启动了压裂液智能返排工序。现场施工和压裂液返排情况良好, 全过程未出现支撑剂回流现象, 返排阀门运行状况良好, 总计返排压裂液 113.8 m³, 返排率达 64.1%, 压后初期日产油 28.0 t/d, 取得较好的增产效果, 见表 2。

现场试验表明, 系统需要实现一定误差范围内

表 2 现场试验参数

压裂井段/m	排量(m ³ /m)	砂量/m ³	液量/m ³	返排液量/m ³	返排率/%	压后日产油/(t/d)
2856.3~2876.3	4.5	24.0	178.5	113.8	64.1	28.0

的调节, 过小的误差范围会使调节阀门的动作过于频繁, 过大的误差范围则会使系统达不到预期的效果, 同时, 当需调节压力或流量值比较大时, 系统的调节过程的波动会随之增加。

6 结论

(1) 压裂液智能返排实时监控技术可以实时判断压裂液最佳返排时机, 实时计算最小临界出砂返排流量, 自动调节返排阀门和控制返排流量, 实

现压裂液的合理、连续、自动返排, 克服了传统返排方式带来的诸多弊端。

(2) 压裂液智能返排实时监控技术可以实时显示和存贮返排压力、返排流量、累计返排量等参数变化情况, 同时, 可以将数据远程传输至现场以外, 有利于现场返排作业质量监督和应急策略专家会诊。

(3) 该技术的核心指令源自 PC 机内置的压裂液智能返排参数预测软件, 由于其 (下转第 93 页)

柱的热伸长)或封隔器移动损坏密封件。即使上下压力相同,封隔器上下受力也不同(下部受力面积大于上部面积),设计中要根据注汽压力的大小和封隔器的受力面积确定封隔器与补偿器之间的管柱长度。

(4) 套管接箍处有台阶,封隔器密封件膨胀时会嵌入台阶内而损坏,密封件损坏会导致密封失效。另外,如果密封件嵌入接箍台阶内,在解封时就容易错断并掉入井中(现场经常发生由于密封件掉入井中堵塞注汽通道的问题)。因此,一般情况下应该选择在整根套管的中部偏上的位置作为坐封位置。

(5) 下入封隔器的目的是为了密封油套环形空间,保护套管和提高注汽质量,因此,注汽工艺需要减少套管裸露段,既要避开套管接箍,又要与鱼顶(或射孔段)保持一定距离。胜利采油厂应用最佳受力分析方法,制定了12口井的管柱优化配套措施,平均注汽压力为19.3 MPa,平均套压为4.6 MPa,没有发生工程事故。如NHT82-3X3井,油层深度为1440~1455 m,防砂鱼顶为1415 m,1、2周期平均注汽压力为19.5 MPa,平均套压为8.9 MPa,预计第3周期注汽压力为19 MPa,按照上述受力分析及设计方法,井下补偿器设计深度为1300 m,热敏封隔器深度为1400 m,尾管深度为1405 m。该井实际注汽压力为18.9 MPa,注汽速度为9 t/h,井口套压为3.8 MPa,放喷后作业,起出

热敏封隔器未损坏,达到了设计要求。

4 结 论

(1) 现场应用热敏封隔器时,设计施工人员必须认真了解油井的井况,并根据应用深度具体情况预测注汽的压力和温度。只有认真分析计算封隔器的受力,并合理选配管柱,封隔器才能真正起到密封作用,从而保证注汽效果,避免发生井下事故。

(2) 在进行注汽管柱设计时,必须根据油层深度及历次注汽情况,准确预测注汽压力,合理确定井下补偿器与热敏封隔器的距离和尾管与防砂鱼顶的距离,提高管柱的可靠性。

参考文献:

- [1] 帕拉茨 M. 热力采油[M]. 北京:石油工业出版社, 1989:295~305.
- [2] 万仁溥,罗英俊,等. 采油技术手册[M]. 北京:石油工业出版社,1996:433~441.
- [3] 周衍柏. 理论力学[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1979:215~222.
- [4] 张琪. 采油工程原理与设计[M]. 东营:石油大学出版社,2000:368~370.
- [5] 铁摩辛柯 S. 材料力学[M]. 北京:科学出版社,1979:118~120.

编辑 王 昱

(上接第90页)涉及的理论较为复杂,现有的预测软件还有待于不断完善和改进。

(4) 该技术总体上还处于试验阶段,返排阀门的自动调节合理误差范围还有待于结合更多的现场试验不断摸索和完善。

参考文献:

- [1] 范文敏,徐媛. 国外压后返排的理论研究与推荐做法[J]. 钻采工艺,2000,23(5):42~44.
- [2] 何世云,陈琛. 加砂压裂后排液的控砂技术[J]. 天然

气工业,2002,22(3):45~46.

- [3] 陈冬林,张保英. 支撑剂回流控制技术的新发展[J]. 天然气工业,2006,26(1):101~103.
- [4] 周洁,谢卫,汪国梁. 单相永磁同步电动机的通用数学模型[J]. 电机与控制学报,1998,2(4):229~231.
- [5] 赵光宙,张拥军. 一种变结构伺服系统的新方法[J]. 浙江大学学报(自然科学版),1996,30(6):673~682.
- [6] 谢新民,丁锋. 自适应控制系统[M]. 北京:清华大学出版社,2002:21~30.

编辑 王 昱

ysis. Laboratory experiment has been conducted for aquathermal pyrolysis of heavy oil by geo - catalysis. The result shows that adding reservoir minerals has doubled the rate of viscosity reduction from 10.6 % to 23.4 %. Analysis of mineral catalysis mechanism verifies the feasibility of aquathermal pyrolysis reaction for recovering heavy oil by using reservoir minerals as catalyst.

Key words: geo - catalysis ; heavy oil ; aquathermal pyrolysis ; viscosity reduction

Real - time monitoring of intelligent backflow of fracturing fluid

ZHAO Zheng - chao , WU Ying - xiang

(*Institute of Mechanics , CAS , Beijing , 100080 , China*)

Abstract: In order to realize rational , continuous and automatic recovery of fracturing fluid , and overcome the drawbacks of traditional method , real - time monitoring of intelligent recovery of fracturing fluid is studied. This technique can judge the optimum backflow timing of fracturing fluid according to wellhead pressure , calculate the minimum critical backflow volume with sand production under different pressure , automatically adjust the opening of backflow valve , automatically control the size of backflow volume , and display , store and transmit data like pressure and discharge volume during backflow process. Field test shows that this technique has obviously improved fracturing fluid backflow and management efficiency.

Key words: fracturing fluid ; backflow ; forced closing of fracture ; mechanism ; real - time monitoring system

The best force - summing design of heat - sensitive packer

WANG Hong - lin , LI Xiao - nan , DUAN Jian - hui , SHANG Yue - qiang , WANG Zhi - min

(*Shengli Oilfield Company , SINOPEC , Dongying , Shandong 257051 , China*)

Abstract: Heat - sensitive packer often moves , breaks , fails , or even leads to string deformation during steam injection process because of the changing of force summing in different wells and different phases. This paper analyzes force summing on heat - sensitive packer before , during and after steam injection and gives the optimum design of force summing , thus ensuring the sealing function of the packer and steam injection effect , and avoiding downhole accident.

Key words: heat - sensitive packer ; force - summing analysis ; depth design

Pilot test of polyhydric acidization in Well A10 of Wenchang 13 - 1 Oilfield

CHEN Xiao - xian¹ , MEI Qing - wen² , WANG Ling - na³ , YANG Chunzhi⁴

(1. *China Oilfield Service Limited , Zhanjiang , Guangdong 524057 , China ;*

2. *China Oilfield Service Limited , Tianjin 300451 , China ;*

3. *Liaohé Petroleum Exploration Bureau , PetroChina , Panjin , Liaoning 124010 , China ;*

4. *Liaohé Oilfield Company , PetroChina , Panjin , Liaoning 124010 , China*)

Abstract: This paper analyzes the geologic and stratigraphic characteristics of Wenchang 13 - 1 Oilfield , the plugging mechanism of Well A10 which is typical of the oilfield , adopts polyhydric acid formula , and optimizes the formula and operation program. Field application has obtained obvious incremental production and good acidization result. This provides basis and guidance to de - plugging in similar wells of similar oilfields.

Key words: polyhydric acid ; optimum formula ; operation program ; field application result

A new method of oil and source rock correlation and its application in biodegradation heavy oil

HAN Xia^{1,2} , WU Tuo² , XU Guan - jun³ , LI Pei - xin² , MA Yu - dong²

(1. *China University of Geosciences , Beijing 100083 , China ;*

2. *Liaohé Oilfield Company , PetroChina , Panjin , Liaoning 124010 , China ;*

3. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development , PetroChina , Beijing 100083 , China*)

Abstract: This paper concludes the study methods of oil and source rock correlation for heavy oils with different degree of biodegradation ; correlates the heavy oil and source rock in the western depression of Liaohé oilfield using the method of asphaltic ruthenium ion catalysis - oxidation and analysis of wrapped hydrogen in asphalt. The new study discovers that the structure of asphalt can wrap and bond other constituents in reservoirs , while these wrapped and bonded constituents had seldom been affected by later events due to the protection of asphalt structure and are kept primitive. Therefore , biodegradation heavy oil and source rock correlation in recent years has focused on asphalt study. A lot of valuable information has been obtained through GC/MS analysis of monoatomic and binary acid ester products obtained through asphaltic ruthenium ion catalysis - oxidation of serious biodegradation oil from wells like Gao105 , and has played important role in oil - source correlation study.

Key words: biodegradation ; oil and source rock correlation ; asphalt ; ruthenium ion catalysis - oxidation ; Liaohé oilfield ; western depression

The integer framework of digital oilfield based on 3/N layered structure

WU Feng¹ , LI Xiao - Ping¹ , LIAO Wu - bin² , YANG Yang² , SUN Lian - jie³

(1. *Southwest Petroleum University , Chengdu , Sichuan 610500 , China ;*

2. *China National Offshore Oil Corp. , Beijing 100010 , China ;*

3. *Dagang Oilfield Company , PetroChina , Dagang , Tianjin 300278 , China*)

Abstract: "Digital oil field" is a large complicated system which involves highly integrated application of multi - discipline. This paper uses layered structure to deal with large complicated system , analyzes the logic structure of main operational activities in oil industry , contemplates the technical fact of "digital oil field" , and proposes an integer framework of digital oilfield based on 3/N layered structure , thus offering a feasible thinking for realization of uniform solution of "digital oil field" .

Key words: digital oil field ; layered structure ; operational activity ; integrated application ; integer framework