

信息技术应用

压裂液摩阻测试系统的设计与应用

刘越¹,董继先^{1*},王博¹,马国艳²

(1.陕西科技大学机电工程学院,陕西西安710021;

2.教育部轻化工助剂化学与技术重点实验室,陕西科技大学化学与化工学院,陕西西安710021)

摘要:针对目前压裂液摩阻测试过程自动化水平低、工作强度高的问题,设计了一套压裂液摩阻测试系统,该系统用西门子PLC作为数据采集与控制核心,使用传感器测量实验过程中的压力、压差、流量、温度等数据,利用计算机对采集到的数据进行处理,使用WINCC作为人机交互界面,对系统进行实时监控。使用测试系统对一种减阻剂在不同质量分数下进行减阻性能测试,测定结果表明,在一定质量分数下,该减阻剂的减阻效果随质量分数的上升而上升。

关键词:压裂液;摩阻;减阻剂;PLC;传感器**中图分类号:**TQ056.1**文献标志码:**A**文章编号:**0253-4320(2018)02-0188-04**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2018.02.045

Design and application of measure system for friction of fracturing fluid

LIU Yue¹, DONG Ji-xian^{1*}, WANG Bo¹, MA Guo-yan²

(1.College of Mechanical & Electrical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;

2.College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aiming at solving the problems of low automation level and high work intensity in present measure system for friction of fracturing fluid, a new measure system is designed. This new measure system employs Siemens PLC as core of data acquisition and control, uses sensors to measure the pressure, pressure difference, fluid flow, temperature and other parameters in the experimental process, processes the collected data with computer, and monitors the system in real time by using WINCC as the man-machine interface. The new measure system is applied to measure the friction reduction performance of a kind of friction reducer at different mass concentrations. The measuring results show that the friction reduction effect of this kind of friction reducer increases with the increase of mass concentration in a certain concentration range.

Key words: fracturing fluid; friction; friction reducer; PLC; sensor

目前在石油或天然气开采领域,一般的方法是通过管柱向地下注入大量的压裂液,而压裂液在管柱内的摩阻损失非常大,由于地面条件有限,不可能无限增加地面的泵入压力,所以向压裂液中注入减阻剂成为一项有效减少压裂摩阻的措施^[1-2]。而减阻剂对于减少摩阻的机理尚不完全明确,受到各种环境因素的影响较大。国内外市场在实验室条件下评价压裂液摩阻的设备装置相对较少,自动化程度普遍不高^[3]。室内压裂液摩阻测试装置通过改变实验条件来确定不同环境对压裂液摩阻的影响^[4-5]。为了提高测试精度和减少人为误差的影响,并且减少工作量、提高效率,同时提高实验数据的可靠性,为室内评价装置建立数据采集系统,依靠传感器等元件测出相应数据,从而可以方便、快捷、准确地得出实验结果^[6]。

1 测试系统的总体方案设计

1.1 测试系统的结构

根据《SY/T 6578—2009 输油管道减阻剂减阻

效果室内测试方法》,设计并且搭建了压裂液摩阻测试系统^[7],通过测试管段的摩阻压降来计算减阻率。压裂液摩阻测试系统的主要组成部分由PLC控制单元、变频器、恒温调节水箱、电动阀门、离心泵、管路系统等组成。该装置利用温度传感器、压力传感器、压差传感器、涡轮流量计等作为检测元件,利用离心泵向管路系统内输送压裂液,在测试管路中产生压差,利用上位机监测到各个物理量的状态,也可以利用人机交互界面上的按钮等改变泵的流量、温度、电动阀开度等因素,实现不同环境下压裂液摩阻状况的评价。测试装置原理如图1所示。

图1中,1是离心泵,型号为CHL2-60;2是压力变送器,型号为MIK-300;3是电动调节阀;4是换向阀;5、6、7都是压差变送器,型号为DP4E22M1B₂D1;8是电动调节阀;9是涡轮流量计;10是恒温水箱;11是过滤阀。

通过变频器控制的泵吸取恒温水箱中的压裂液,送到测试管路中,测试管路由3根不同直径的合

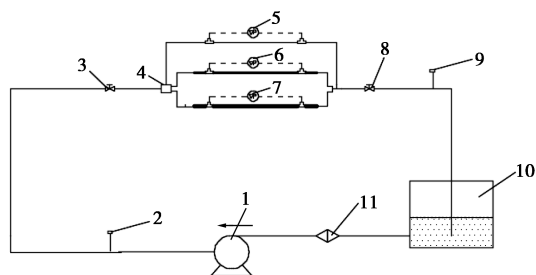


图1 测试装置原理图

金管组成,公称通径分别 DN6、DN8、DN10,每个测试管路都配有压差传感器。在恒温水箱和泵之间放有过滤阀,以保护管路和泵避免被堵塞。

1.2 测试系统的数据采集与控制

本测试系统主控单元采用 S7-200PLC,该系列 PLC 是一种小型的可编程控制器,适合于各行业各种场合的检测、监测以及控制自动化,并且具有极高的性价比。其 CPU 具体型号选用 224XP,扩展模块选用模拟量输入模块 EM231 与模拟量输出模块 EM232。采用 STEP7-Micro 对 PLC 进行编程,与计算机的通讯采用 PC/PPI 协议,使用 PC/PPI 电缆下

载程序,PPI 电缆与计算机相连的接头有 RS-232 和 USB 2 种形式,本系统中计算机的接口为 USB,因此只能选择 USB,波特率设定为 9.6 kbps。数据采集与控制原理如图 2 所示。

如图 2 所示,计算机作为上位机通过编程 PPI 编程电缆与 PLC 相连,把 PLC 采集到的模拟量信号利用 WINCC 软件建立的人机交互界面显示出来,并且转换成物理量显示出来。所选用的西门子 PLC224XP 有 2 个通讯口,其中一个用 PPI 编程电缆与计算机连接,另外一个通讯口通过编程电缆连至变频器的 RS485,通过改变离心泵的频率来调整流量的大小。所选择的变频器为台达变频器,具体型号为 VFD037M43A,VFD-M 系列变频器使用 Modbus network 通讯协议,可以使用 ASCII 和 RTU 2 种资料编码,本文中所选用的是 RTU 编码格式,资料格式为 <8,E,1>。采用以上通讯方式要在变频器上做以下设定。

P00(频率指令来源设定)设定为 03(主频率输入串行通讯控制 RS485);P01(运转指令来源设定)设定为 03(运转指令由通讯控制,键盘 STOP 有效);P88(通讯地址设定);P89(通讯传输速度),设定为 01(Baud rate 9600);P92(通讯资料格式)设为 04(Modbus RTU 模式,资料格式为 <8,E,1>)。对变频器的控制在 STEP7 软件里通过调用 MBUS-CTRL 和 MBUS-MSG 来实现。变频器根据上位机传递的频率信号来改变离心泵电机的转速,控制整个测试系统流量的变化情况。由于电流信号在信号的传输过程中的抗干扰能力强,所以选择变送器的信号均为 4~20 mA 标准的电流信号,PLC 的 AI 模块会把 0~20 mA 的电流按比例信号转换成 0~32 000 的数

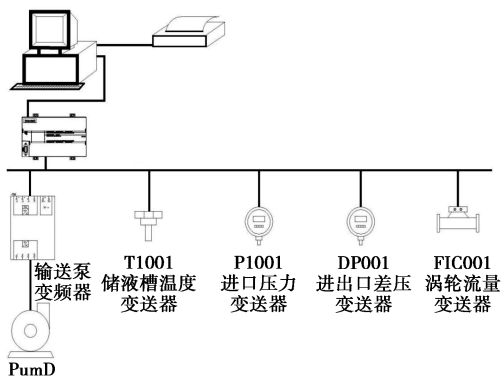


图2 数据采集与控制原理图

(上接第 187 页)

模型来模拟计算。根据实际经验,一般换热面积是按平均换热面积的 1.5~2.0 倍计算的。

实际传热面积:

$$A' = 1\ 170 \times 0.030 \times 3.14 \times 2.5 = 275.53 \text{ m}^2$$

A' 为计算值的 3.26 倍,完全能满足移热的要求,符合设计规范及实际传热要求。

4 结语

随着材料工业和制造工业的迅速发展,PMDA 的应用范围不断扩大,应用规模逐步增大,只要将原有反应器换为直径 1.6 m、1 170 根列管的反应器就可将产量增加到 210 t/a,达到扩产的目的,实现现

有设备的潜在能力的发挥。

参考文献

- [1] 汤金石.化工原理课程设计[M].北京:化学工业出版社,1992:114-154.
- [2] 赵增慧,夏丽.列管式固定床反应器的设计探讨[J].北京石油化工学院学报,2000,(2):56-59.
- [3] 张妍.固定床反应器设计中若干问题的探讨[J].天津化工,2001,(1):32-33.
- [4] 国家医药管理局上海医药设计院.化工工艺设计手册[M].2版.北京:化学工业出版社,1996.
- [5] 赵增慧,夏丽.列管式固定床反应器催化剂支托结构的设计[J].石油化工设备技术,2001,(4):10-13.
- [6] 顾芳珍,陈国桓.化工设备设计基础[M].天津:天津大学出版社,1994:39-140. ■

字量,其中 20 mA 对应的是 32 000 的数字量,4 mA 对应的是 6 400 的数字量。

1.3 上位机的软件设计

上位机的软件设计采用 WinCC 软件,该软件用以设计设备的监控显示界面,能直观地表示出系统的运行信息,在交互界面上可以通过 PLC 对设备的运行状态进行控制。可以实时保存监测数据与故障信息,为报表处理及事故调查提供支持。本系统将通过信号灯显示系统的运行情况,并且用相关按钮对测试的过程加以控制,同时在界面上显示各数据,用趋势视图显示数据的变化情况,以报表形式保存历史数据和监测到的报警信息。并且用相关按钮控制测试的过程。上位机程序结构图如图 3 所示。计算机对整个系统的监控画面包括监控主画面、实时参数监控画面、历史曲线画面、报表打印画面等。

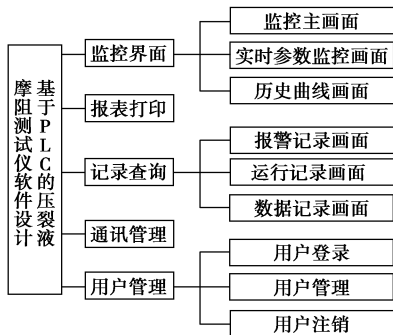


图 3 上位机程序结构图

软件通过外部变量的变化情况来监控系统的运行状态,在本地文件夹下建立数据文件,设置一定的记录周期来保存外部变量的值。本系统对不同用户提供了运行系统中数据和功能的访问权限,其中管理员在运行时可以不受限制地进行访问,例如记录查询和打印报表等,而操作员只能访问制定的功能

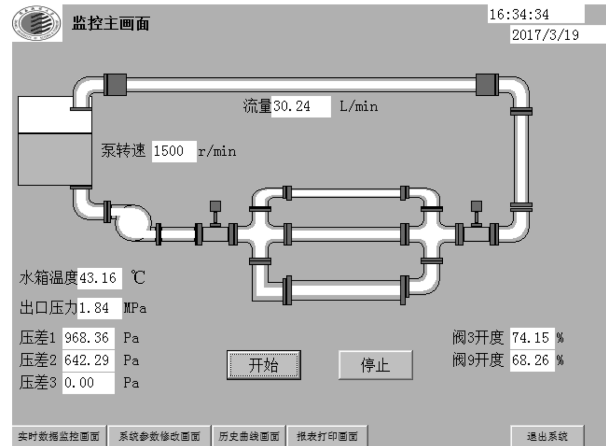


图 4 计算机监控主画面

键。报警信息通过报警视图和报警指示器进行显示。计算机监控主画面如图 4 所示。

2 测试原理及其测试方法

流体减阻具体表现为流量增加和摩阻压差降低,当压差恒定时,减阻效果表现为流量增加,即为增输率;当流量恒定时,减阻效果表现为摩阻压差降低,即为减阻率。国内外多使用减阻率来评价流体减阻性能。阻力测试系统检查好之后先进行清水校准实验,然后测试不同浓度的减阻液。在恒定温度下通过实验管段测定其压降与流量。

利用公式(1)计算减阻率。本次研究的减阻流体流动仅在湍流状态下进行,且其流型参数 $n=1$,因此可以看作是牛顿流体。牛顿流体的雷诺系数 Re 可由式(1)计算^[8]。

$$Re = \rho u d / \mu \quad (1)$$

式中: Re 是雷诺系数; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; u 是流体速度, m/s ; d 是测试管道直径, m 。

直管阻力 Fanning 摩擦系数^[9]可由式(2)计算^[8-9]:

$$f = \pi^2 d^5 \Delta P / 32 \rho L q_v^2 \quad (2)$$

式中, q_v 为流量, m^3/s ; u 为流体流动速度, m/s ; ΔP 为直管阻力压差, Pa ; l 为测试管段的长度, m ; ρ 为流体密度, kg/m^3 ; d 为测试管内径, m 。

研究的减阻流体流动仅在湍流状态下进行,可用 Prandtl-Karman 曲线^[8-10]描述水的湍流流动特性,如式(3)所示。

$$f^{-1/2} = 4.0 \log Re f^{1/2} \quad (3)$$

$$DR\% = [(f_0 - f_{DR}) / f_0] \times 100\% \quad (4)$$

式中, DR 是减阻率; f_0 是未加入减阻剂时流体流动摩阻系数; f_{DR} 是加入减阻剂后流体流动摩阻系数。

流体流动摩阻系数^[11]利用公式(2)进行计算:

$$f = (d/2\rho v^2 L) \times \Delta P \quad (5)$$

式中, ρ 是流体密度, m^3/kg ; v 是流速, m/s ; L 是管道长度, m ; d 是管道内径, m ; ΔP 是摩阻压降, Pa 。

由式(5)可以看出,同一流速下的摩阻系数只与摩阻压降有关。因此,减阻率可以以管道两端摩阻压降降低的百分率来表示,利用公式(6)计算减阻率。

$$DR\% = [(\Delta P_0 - \Delta P_{DR}) / \Delta P_0] \times 100\% \quad (6)$$

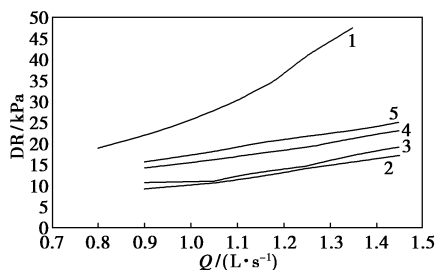
式中, ΔP_0 是未加入减阻剂时的摩阻压降, Pa ; ΔP_{DR} 是加入减阻剂后相同管段相同流量下的摩阻压降, Pa 。

所以,只要能够得到相同流速下加入减阻剂前后摩阻压降的大小,就可以计算出减阻率。

3 实验结果与讨论

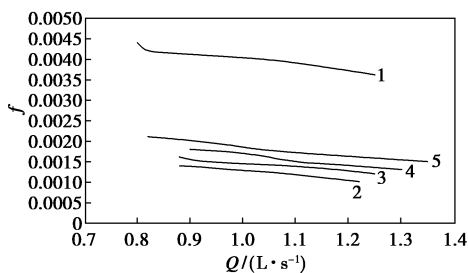
在实际测量过程,控制流体温度为 25℃,分别测试不同浓度减阻剂下的减阻效果,测试管路均为不锈钢管,实验用水为自来水。减阻剂试剂 YC-DR30(亿城淄博石油陶粒制造有限公司)。

由图 5 和图 6 可以看出,在其他条件不变,相同的流量下,YC-DR30 流体质量分数为 0.12%、0.10%、0.08%、0.06% 时流体的压降和摩擦系数小于水的压降和摩擦系数,可以看出 YC-DR30 流体具有良好的减阻效果,且流体的质量分数对减阻的效果影响较大。



1—水;2—0.12%;3—0.10%;4—0.08%;5—0.06%

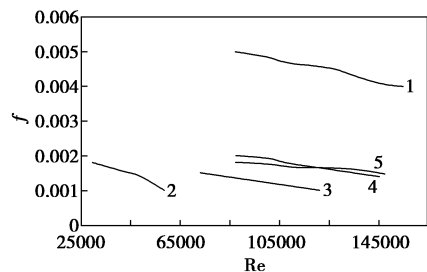
图 5 不同质量分数下压降随流量变化



1—水;2—0.12%;3—0.10%;4—0.08%;5—0.06%

图 6 不同质量分数下摩擦系数随流量变化

由图 7 可知,4 条曲线的摩擦系数均小于水,可以表明 YC-DR30 流体具有一定的减阻效果,流体的摩擦系数随着雷诺系数的增大而减小,但是趋势趋于平缓,表明减阻效果逐渐趋于最大值。

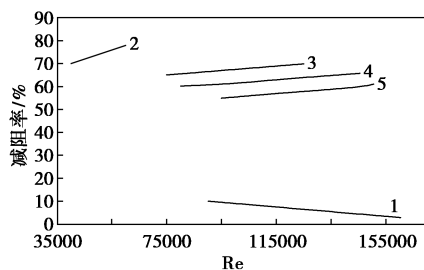


1—水;2—0.12%;3—0.10%;4—0.08%;5—0.06%

图 7 不同质量分数下流体减阻性能曲线变化

由图 8 可知,在实验范围内,流体质量分数在

0.12%、0.10%、0.08%、0.06% 时最大减阻率分别达到 75.55%、73.08%、68.97%、65.55%,表明流体质量分数越高,减阻性能越好。



1—水;2—0.12%;3—0.10%;4—0.08%;5—0.06%

图 8 不同质量分数下减阻率变化曲线

4 结论

设计了一套压裂液摩阻测试系统,以 PLC 为核心进行数据采集与控制,通过各传感器采集相应的物理信号,采用 WINCC 的人机交互界面实现了各项数据的实时观测,能实现控制与检测的一体化,具有较好的自动化效果,降低了人为因素产生的观测与记录误差。

对减阻剂 YC-DR30 在所设计的压裂液摩阻测试系统进行了测试,对不同质量分数、不同流速下的降阻效果进行了测试,测试结果表明,该减阻剂减阻效果良好,流体的减阻效果随着减阻剂的质量分数上升而上升。

参考文献

- [1] 杨超,肖兵.压裂液影响摩阻因素分[J].石油化工应用,2014,33(5):28-31.
- [2] 邵立民,勒宝军,李爱山,等.非常规油气藏滑溜水压裂液的研究与应用[J].吐哈油气,2012,(4):383-387.
- [3] 蒋官澄,许伟星,李颖颖,等.国外减阻水压裂液技术及其研究进展[J].特种油气藏,2013,20(1):1-6.
- [4] 刘通义,黄趾海,赵众从,等.新型滑溜水压裂液的性能研究[J].钻井液与完井液,2014,31(1):80-83.
- [5] 张波.管道减阻剂实验评价系统[D].济南:山东大学,2010.
- [6] 龙学莉,叶智,程晓亮,等.减阻剂体系的室内研究及应用[J].当代化工,2015,44(11):2563-2565.
- [7] 董继先.一种滑溜水压裂液摩阻测试装置及其测试方法:CN,201710139180.5[P].2017-06-30.
- [8] 袁恩熙.工程流体力学[M].北京:北京石油出版社,2000.
- [9] 杜发勇,张恩伦,张学政,等.压裂施工中管路计算方法分析与改进意见探讨[J].钻采工艺,2002,25(5):45-51.
- [10] 张军涛,郭庆,申峰,等.一种新型滑溜水压裂液减阻剂及其应用[J].长江大学学报:自然版,2014,20(7):108-114.
- [11] Tamanos, Ikarashi H, Morinishi Y, et al. Drag reducing and degradation of monionic surfactant solutions with organic acid in turbulent pipe flow[J]. Journal of Non Newtonian Fluid Mechanics, 2015, 215:1-7. ■