

电控液动远程节流阀控制系统

王慧君

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:wanghuijun010@sina.com.cn

项目支持:中油股份公司科技重大专项“松北深层天然气富集规律、勘探技术研究与规模增储”子课题“徐家围子深层有效排液配套工艺及产能评价技术研究”(QR/A0/7-13-01)

引用:王慧君. 电控液动远程节流阀控制系统[J]. 油气井测试,2020,29(4):24-28.

Cite: WANG Huijun. Electronic hydraulic remote throttle valve control system [J]. Well Testing, 2020,29(4): 24-28.

摘要 大规模加砂压裂排液过程中,用于节流降压的节流阀常存在本体耐腐蚀性弱,造成阀体易损坏、节流阀失效,以及油嘴调节精度不能满足实际需要的情况。根据常规节流阀结构及工作特点,研制出电控液动远程节流阀控制系统。采用电控液的方式,节流阀阀位传感器接收信号,系统自动控制比例电磁阀的阀芯开口度,调整高压液体流量,实现对管汇节流阀的开大或关小的速度及位置控制;若遇现场电源中断,还可由电动模式切换到手动模式,不影响正常施工。2019年,经在大庆深层气井上应用,对节流阀进行远程精确调控,提高了节流阀应用的安全性,实现了连续排液精细控砂。该系统可确保连续施工,降低加砂压裂排液过程的风险,确保排液求产过程的顺利进行。

关键词 节流阀;电控液动;控制台;油嘴开度;远程控制;精确调控

中图分类号:TE357 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.04.004

Electronic hydraulic remote throttle valve control system

WANG Huijun

Well Testing & Perforation Company, PetroChina Daqing Oilfield Company Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

Abstract: Abstract: In the process of fracturing fluid drainage with sand on a large scale, the throttle valve used for throttling and reducing pressure often has weak corrosion resistance, which causes the body to be easily damaged, the throttle valve to fail, and the oil nozzle regulation accuracy cannot meet the actual needs. According to the structure and working characteristics of conventional throttle valve, the electronic control system of hydraulic remote throttle valve is developed. The system automatically controls the spool opening degree of the proportional solenoid valve, adjusts the high-pressure liquid flow, and realizes the speed and position control of the throttle valve with the mode of electronically controlled liquid, the throttle valve position sensor receives signals. In case of interruption of on-site power supply, the electric mode can also be switched to manual mode, without affecting normal construction. In 2019, through the application in daqing deep gas well, remote accurate control of throttle valve has been carried out to improve the safety of throttle valve application and realize continuous fluid drainage and fine sand control. The system can ensure continuous operation, reduce the risk of sand fracturing fluid draining process, and ensure the smooth operation of fluid draining and production process.

Keywords: throttle valve; electrically controlled hydraulic operation; the control console; oil nozzle opening; remote control; precise control

随着大庆油田勘探开发的进行,深层气井的数量不断增加;随着储层物性变差,非均质性增强,压裂规模普遍增大,试气工艺更加复杂^[1-2]。尤其近年来大规模加砂压裂增产措施的广泛应用下,压裂后期返排液过程,气流中含有一定的砂粒,在返排过程中极易发生刺漏现象^[3]。工作人员需要频繁更换油嘴,这就增加了作业人员的劳动强度,同时提高了作业风险。为了解决上述问题,以及确保气

井含砂流体的压力的安全控制,研发了一种电控液动远程节流阀控制系统。该系统可实现对油嘴开度的远程精确调控,降低作业人员的劳动强度和作业风险,节约施工成本,同时满足安全、环保、高效、稳定、连续、快速的排液需求。

1 常规节流阀现场应用存在问题

天然气在管道中,经过突然缩小的孔道,由于

摩擦耗能,压力骤然降低,这种现象称为节流^[4-5]。利用节流可实现降压及调节气体流量的作用。节流阀(即油嘴),是一种普遍应用在高压高含气井中,用于井口节流降压的特殊专用工具。实际试油测试过程中,根据井口压力,温度高低预测来选择不同节流油嘴的大小。但是,在实际现场应用过程中,仍然存在一些问题^[6-7]。

1.1 节流阀本体原因

井场广泛应用两种结构的节流阀:一种是外套-笼套式节流阀;一种是笼套-柱塞式节流阀。前者,笼套和外套间隙较大,易形成扰流,气体会冲蚀磨损阀体外表面,造成节流阀的损坏;后者,笼套在阀体内部,刚质好,密封性好,这种特殊设计减少了环隙流动现象,即后者的耐冲蚀性要优于前者^[8-10]。

笼套-柱塞式节流阀具有阀位传感器,可远程控制节流阀,并观察节流阀开度。阀体内腔具有相对较大的空间,可有效降低流体能量,减少对内腔的冲蚀^[11-12]。耐冲蚀套采用表面堆焊工艺,保护阀内件不受流体冲蚀影响。较长的耐腐蚀合金套保护下游管,防止流体冲蚀。笼套-柱塞式节流阀的结构如图 1 所示。

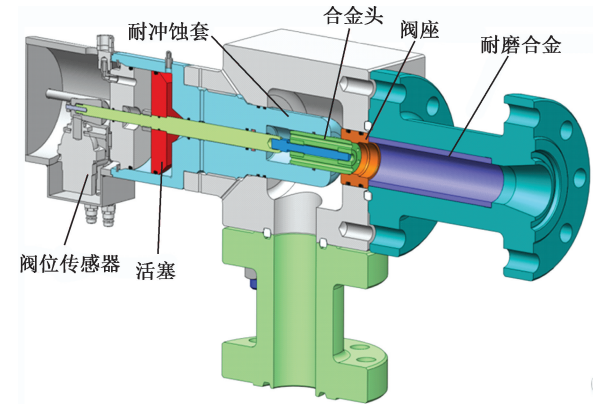


图 1 笼套-柱塞式节流阀结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of cage-plunger type throttle valve

1.2 操作不当

为了保证节流阀的使用寿命,最优作法是使节流阀一开始就在最大开度上工作,然后随着后续的使用,流量增大,阀门相应调小,这样可确保节流阀的高效应用^[13]。而长期在低开度下应用节流阀是非常不科学的,因为节流阀开度设置过低,各级管线流体流速过慢,节流前后的压降过大,会降低节流阀的使用寿命^[14-15]。

1.3 放喷动力油嘴调节精度不能满足实际需要

由于动力油嘴阀门调节开度范围与阀门位移范围不匹配^[16-18],控制管线过长、信号反馈之后,会

存在油嘴控制面板指示尺寸与实际油嘴尺寸不符,无法准确调节油嘴大小的问题,需要频繁联系厂家调试尺寸,对厂家依赖性大,同时减低了工作效率。

2 电控液动节流控制系统

针对上述在生产实际中遇到的问题,研发了电控液动远程节流阀控制系统。该系统可实现对常规节流阀的开度进行远程精确控制,可自动精确控制液动节流管汇上的阀开关。通过控制面板,显示出系统压力,节流前、后压力,液动节流阀位开度压力,液动节流阀位开度,据此维持井底压力,可有效控制井涌、井喷^[15]。

2.1 工作原理

电控液动远程节流阀控制系统集电动、液压于一体,将外部电能转换成液压能量去控制液动节流阀的开启和关闭。在电动液压泵或手动液压泵的作用下,将液压油进行增压。电动或手动控制换向阀,实现高压液压油导通或关闭,从而对管线系统进行控制,即控制节流阀打开或关闭^[19]。

2.2 结构组成及各部分功能

该电控液动远程节流阀控制系统采用电控液方式^[20],可控制一个液动节流阀的开或关。在控制系统盘面安装有系统油压表、液动节流阀的阀位开度表和三位四通换向阀等。通过压力表和阀位开度表显示液动节流阀的阀位开度。远程比例自动控制节流阀的开启和关闭,从而调整井底压力。控制箱调试完成后,电动泵可以自动补压。

电控液动远程控制台主要由防爆仪表箱,防爆电机,蓄能器,节流阀组控制部分,溢流阀,速度调节阀等组成,如图 2 所示。

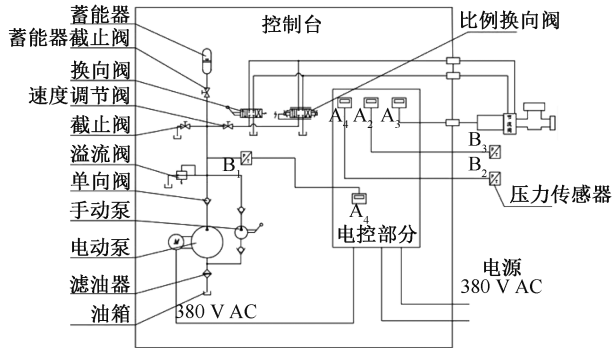


图 2 电控液动远程节流阀控制台
Fig. 2 Electronic control hydraulic remote throttle valve control console

2.2.1 防爆电机

启动防爆电机带动齿轮泵,高压液压油经单向

阀,进入蓄能器,蓄能器随着液压油进入量增多而压力增高。当压力升至设定值后电机停止,控制三位四通换向阀可以达到控制节流阀开、关的目的。

2.2.2 蓄能器

一个10 L皮囊式蓄能器,压力10 MPa,现场电源一旦中断,利用蓄能器所蓄的能量维持液动节流阀开关一次的需要。可利用“手动液压泵”来维持控制箱所需的油压,向蓄能器补充能量,以便使用。

2.2.3 节流阀组控制部分

自动控制:节流阀阀位传感器接收信号,系统自动控制比例电磁阀的阀芯开口度,调整高压液体的流量,可实现管汇节流阀的开大或关小的速度及位置。

现场手动控制:手动控制三位四通换向阀(面板操作),可控制高压液体进入节流阀上腔(或下腔),同时节流阀下腔(或上腔)的回油流回液管道,手动控制管路配有流量调节阀,可控制节流阀开大或关小的速度及位置。操作面板数字表显示节流阀的阀位。

2.2.4 溢流阀

溢流阀是当控制电路出现故障,既系统油压升值超过设定最高压力电机仍未停止时,溢流阀打开,起着安全、保护作用。在整个系统中,主要起定压溢流作用和安全保护作用。

(1)定压溢流作用。当系统压力增大时,溢流阀开启,使油液溢回油箱,保证溢流阀进口压力,即泵出口压力恒定。

(2)安全保护作用。系统正常工作时,阀门关闭。只有负载超过规定的极限(系统压力超过调定压力)时开启溢流,进行过载保护,使系统压力不再增加(通常使溢流阀的调定压力比系统最高工作压力高10%~20%)。

2.2.5 速度调节阀

速度调节阀的作用是调节液压油流量,控制液动节流阀开或关的速度。

2.3 主要特点及技术参数

电控液动远程节流阀控制系统所用电器部分具有防爆性能,仪表的数字显示清晰,且具有自检功能,电传感器性能可靠、灵敏度高。

采用伺服比例控制技术,可以比例控制节流阀节流开口位置,阀杆位置精度可达到 ± 0.5 mm内。

系统设置有液压保护装置。当系统油压超过额定工作压力,电动泵不能自动停止时,溢流阀将自动开启泄压,以避免电动泵、管路等超负荷工作而损坏。

主要技术参数:

- (1)环境温度: $-29\sim 60$ °C;
- (2)电动泵排量:5 L/min;
- (3)液动节流阀最大行程:47 mm;
- (4)液动节流阀控制油压:3~4 MPa;
- (5)系统最大油压:8 MPa;
- (6)外形尺寸:1 000 mm×550 mm×1 330 mm。

3 现场应用

2019年,在大庆深层气井上应用电控液动远程节流阀控制系统对节流阀进行远程精确的调控^[21],提高了节流阀应用的安全性,实现了连续排液精细控砂,获得了良好的应用效果。

CT1井位于松辽盆地古中央隆起带昌德凸起,对第S1-1层的30个小层采用复合桥塞分18段进行套管压裂,共用量28 318.6 m³,共加入支撑剂1 298.6 m³,油压7.65 MPa,日产气22 758 m³,地面流程如图3所示。

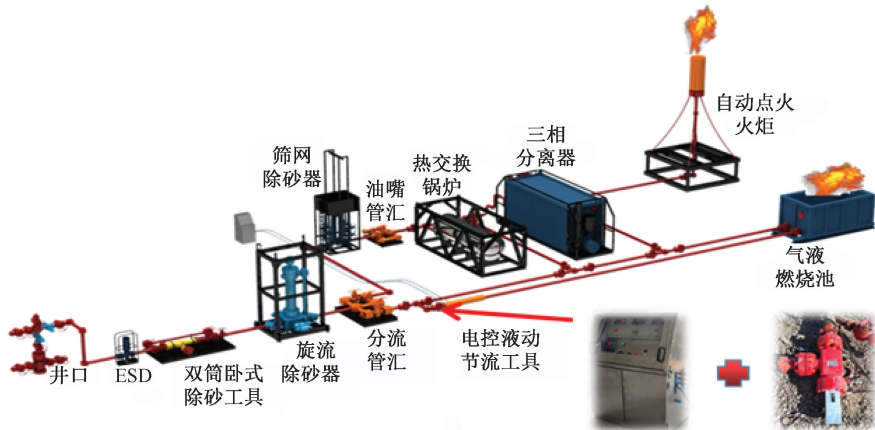


图3 CT1井地面流程示意图

Fig. 3 Schematic diagram of surface flow in Well CT1

10月19日,开井放喷,应用电控液动节流控制系统调节10 mm油嘴控制放喷解堵,该系统安装于放喷流程中^[22-23]。从图4可以看出,6:15-9:00,放喷出口见气,压力由22.51 MPa下降至4.86 MPa;9:00-16:00,改用直通敞口,与10 mm油嘴并联放喷,压力由4.86 MPa下降至0.42 MPa。共计出压裂液224 m³,出砂1 m³。期间,分别采用2-5 mm开度进行排液,开度控制准确;通过远程控制调整开度大小,保证了施工连续,降低了员工倒换固定油嘴的劳动强度,保证了施工的安全性。返排气井过程中,电控液动远程节流阀控制系统累计应用10 d,有效保证了气井压裂后排液求产作业的连续性和安全性。

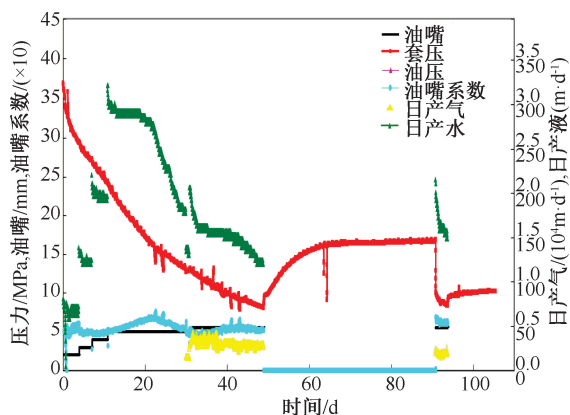


图4 CT1井压后排液求产曲线

Fig.4 Production curve of fluid after fracturing in Well CT1

4 结论

(1)电控液动远程节流阀控制系统提高了节流阀在极端恶劣环境下的适应性,增加了节流阀使用过程中的安全性,降低了节流阀失效率,实现了国际低油价环境下降本增效的目的。

(2)完成了电控液动远程节流阀控制系统的程序设计,并在现场成功应用。该系统可实现对油嘴开度的远程精确的调控,提高了试油测试作业的安全性和时效性,确保连续施工,提高了作业人员的工作效率。

(3)电控液动远程节流阀控制系统成功应用于深层气井压后放喷试气施工中,远程调整节流阀开度的大小,有效避免了节流阀开度不当导致的压差迅速升高,导致阀体损坏的问题,提高了节流阀在节流降压应用过程中的安全性,从而实现试油测试中精细控制排液,以及快速控压排砂,进一步降低了大规模加砂压裂排液过程的风险。

致谢:感谢大庆油田试油试采分公司同意本文公开发表;感

谢项目组成员在本文数据统计分析中给予的大力支持。

参考文献

- [1] 范婧,刘宁,邱奇,等. 气田压裂返排液回用影响因素研究[J]. 油气田环境保护,2020,30(1):34-36.
FAN Jing, LIU Ning, QIU Qi, et al. Study on effects of factors on the fracturing flowback fluids reuse in gas field [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2020, 30(1):34-36.
- [2] 刘飞,潘登,覃勇. 页岩气藏压裂返排液回收处理技术探讨[J]. 钻采工艺,2015,38(3):69-72.
LIU Fei, PAN Deng, QIN Yong. Recovery and treatment technology of fracturing fluid flowback in shale gas reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(3):69-72.
- [3] 王志敏,刘飞,廖刚. 一种高抗冲蚀节流阀性能特点及现场应用[J]. 钻采工艺,2017,40(5):111-114.
WANG Zhimin, LIU Fei, LIAO gang. The utility model relates to the performance characteristics and field application of a high erosion resistance throttle valve [J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(5):111-114.
- [4] 沈琛. 试油测试工程监督[M]. 北京:石油工业出版社,2005:246,323.
- [5] 王建良,邢艳娟,刘家恩. RD井下节流阀(井下油嘴)的研究与应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):51-53.
WANG Jianliang, XING Yanjuan, LIU Jia'en. Research and application of RD down-hole throttle (Down-hole choke) [J]. Well Testing, 2016,25(2):51-53.
- [6] 汪旭东,秦德友,王胜雷. 节流阀在塔里木油田应用中的几个问题[J]. 石油和化工设备,2011,14(7):43-45.
WANG Xudong, QIN Deyou, WANG Shenglei. Some problems in the application of throttle valve in Tarim Oilfield [J]. Petro & Chemical Equipment, 2011,14(7):43-45.
- [7] 刘玲莉,彭贤强,陈洪地,等. 气井针型节流阀失效因素模拟分析[J]. 油气井测试,2020,29(2):7-12.
LIU Lingli, PENG Xianqiang, CHEN Hongdi, et al. Simulation analysis of failure factors for needle throttle valve in gas well [J]. Well Testing, 2020,29(2):7-12.
- [8] 冯素敬,张建权,王裴,等. 采气用笼套式节流阀阀芯尺寸和节流开度研究[J]. 石油矿场机械,2017,46(1):48-53.
FENG Sujing, ZHANG Jianquan, WANG Pei, et al. Study on valve core size and opening degree of sleeve choke used in gas production [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(1):48-53.
- [9] 战晓溪,李悦钦,刘萍萍,等. 笼套式控制节流阀失效机理研究[J]. 腐蚀与防护,2010,31(9):718-722.
ZHAN Xiaoxi, LI Yueqin, LIU Pingping, et al. Failure mechanism of control choke [J]. Corrosion & Protection, 2010,31(9):718-722.
- [10] 黄仕林,庄园,曹纯. 元坝高含硫气田笼套式节流阀损

- 毁原因及改进措施[J]. 油气田地面工程, 2016, 35(12):60-63.
- HUANG Shilin, ZHUANG Yuan, CAO Chun. Reasons for damage of two-step corbula-type throttle valve and improvement measures in Yuanba high-sulfur gas field [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2016, 35(12): 60-63.
- [11] 薄纪康. 高压节流阀的冲蚀磨损机理及其激光熔覆再制造[J]. 中国机械工程, 2015, 26(2):255-259.
- BO Jikang. Erosion wear mechanism and laser cladding remanufacturing of high-pressure throttle valves [J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(2):255-259.
- [12] 樊好福, 明鑫, 李玉民, 等. 节流阀冲蚀性能仿真分析与试验研究[J]. 石油矿场机械, 2019, 48(3):52-57.
- FAN Haofu, MING Xin, LI Yumin, et al. Simulation analysis and experimental study on erosion performance of throttle valve [J]. Oil Field Equipment, 2019, 48(3): 52-57.
- [13] 李晓晖. 节流阀开口度测试实验特性分析[J]. 液压气动与密封, 2018, 38(3):13-15, 12.
- LI Xiaohui. Test characteristics analysis of throttle opening test[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2018, 38(3):13-15, 12.
- [14] 金业权, 刘刚, 孙泽秋. 控压钻井中节流阀开度与节流压力的关系研究[J]. 石油机械, 2012, 40(10):11-14, 25.
- JIN Yequan, LIU Gang, SUN Zeqiu. Research on the relation between throttle valve opening and throttle pressure in pressure controlled drilling [J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(10):11-14, 25.
- [15] 张建业, 伍藏原, 黄兰, 等. 异常高压气井井口节流阀开度控制方法研究[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(S1):115-117.
- ZHANG Jianye, WU Zangyuan, HUANG Lan, et al. Method study on anomalous pressure gas wellhead choke valve turndown ratio control [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(S1):115-117.
- [16] 周俊泽, 练章华, 王裕海, 等. 节流阀阀芯失效分析及结构改进[J]. 石油机械, 2019, 47(12):131-138.
- ZHOU Junze, LIAN Zhanghua, WANG Yuhai, et al. Failure analysis and structure optimization of throttle valve core [J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(12):131-138.
- [17] 邢大伟, 柴希伟. 节流阀芯流场受力分析及结构优化[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(10):67-70.
- XING Dawei, CHAI Xiwei. Stress analysis and structure optimization of throttle valve core flow field [J]. West-China Exploration Engineering, 2016, 28(10):67-70.
- [18] 贾林, 艾志久, 王彪, 等. 节流阀阀芯振动失效分析及结构改进[J]. 石油矿场机械, 2013, 42(4):29-32.
- JIA Lin, AI Zhijiu, WANG Biao, et al. Throttle spool vibration failure analysis and structure improvement [J]. Oil Field Equipment, 2013, 42(4):29-32.
- [19] 杨旭, 杨晓华. 基于 FluidSim 可调节节流阀性能的研究[J]. 宁波职业技术学院学报, 2018, 22(2):85-87.
- YANG Xu, YANG Xiaohua. Study on the performance of adjustable flow valve based on FluidSim [J]. Journal of Ningbo Polytechnic, 2018, 22(2):85-87.
- [20] 王祎楠. 天然气井口节流阀流场数值模拟[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(3):10-12.
- WANG Yinan. Numerical simulation of the throttle valve flow field of natural gas wellheads [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2018, 37(3):10-12.
- [21] 张怀. 除砂器排砂预警装置[J]. 油气井测试, 2020, 29(1):48-52.
- ZHANG Huai. Sand draining warning device of desander [J]. Well Testing, 2020, 29(1):48-52.
- [22] 何恩鹏, 潘登. 超高压气井地面测试安全控压技术[J]. 钻采工艺, 2019, 42(3):61-63, 87.
- HE Enpeng, PAN Deng. Safe pressure control during well testing on ultra-high pressure gas wells [J]. Drilling and production technology, 2019, 42(3):61-63, 87.
- [23] 陆峰, 潘登. 页岩气藏体积压裂后地面连续捕屑除砂排液工艺[J]. 钻采工艺, 2015, 38(5):49-51.
- LU Feng, PAN Deng. Continuous debris capture, desanding and flowback technology after volume fracturing in shale gas reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(5):49-51.

编辑 刘振庆

第一作者简介:王慧君,女,1982年出生,工程师,2005年毕业于齐齐哈尔大学应用化学专业,现从事试油测试科研工作。电话:0459-5692913,13936951492;Email:wanghuijun010@sina.com.cn。通信地址:黑龙江省大庆市让胡路区乘南18街试油试采分公司工程技术大队,邮政编码:163412。