◀工具与设备▶

井下管柱状态检测系统的研制

邓　旭[1]　刘明尧[1]　马宏伟[2]　陈晓军[1]　黄治湖[1]

（1. 长江大学机械工程学院，湖北荆州　434023；　2. 河南油田分公司石油工程技术研究院，河南南阳　473123）

摘　要：在高压分层挤注过程中，井下管柱由于承受巨大的轴向力而产生轴向蠕动，容易引起封隔器的解封或破坏，导致注水失败。目前，对井下管柱受力和伸缩蠕动的研究主要集中在理论分析上，而对其实际工作状态的检测研究还不够深入。因此，设计了一种测试井下温度、压力、管柱所承受轴向力及其伸缩蠕动等状态参数的井下管柱状态检测系统。论述了该系统的整体构成和基本工作原理，提出了一种新的位移测量方法；基于试验数据，对该系统的测试精度进行了分析，并针对存在的问题提出了改进方案。

关键词：管柱；检测；传感器；系统设计

中图分类号：TE921^{+}.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-0890（2006）05-0052-02

目前关于油田钻井过程中钻杆、钻具的受力及运动状态的理论研究和检测已有很多，但对于高压分层挤注过程中井下管柱在该方面的研究和检测还不够深入。虽然提出了一些理论模型和方程，但由于缺乏对管柱真实状态的了解，其正确性和实用性仍不能保证。尤其是采用高压分层挤注式开采工艺的套变井，其实际受力及运动状态与简化的理论计算所得到的分析结果往往相差很大，进而导致了水力锚、封隔器等井下工具设计困难，石油开采效率低下[1-2]。为此，笔者研制了一种井下管柱状态检测系统，以检测井下作业时某一温度、压力状态下管柱的受力及蠕动变化规律。通过分析检测数据，检验和修正管柱受力理论模型，为井下工具的设计和改进提供了可靠的依据。

1　系统构成

井下管柱状态检测系统由两大部分构成：井下部分和地面部分[3]。井下部分由传感器、信号调理电路、单片机、存储器、电池及控制电路等组成，安装在一个特制的管柱内，构成了井下测试短节。地面部分包含上位机软件和 RS232 接口电路两部分。上位机软件实现与井下测试短节的单片机通讯、参数设置和数据接受，并对数据进行处理、显示、保存及打印等。井下测试短节通过 RS232 接口电路与上位机软件连接，实现串口通讯[4-5]。

井下测试短节的受力状态比普通的单参数测量仪器壳体受力更为复杂，其壳体部分除了为传感器及电路提供包容空间以外，还是整个管柱的一个组成部分[6]。因此，井下测试短节的机械结构及强度设计、各部件的布局直接关系到系统的可靠性。该系统采用了元器件在管柱轴向和周向离散化的思路，并依据测量不相干原则较好地解决了在有限的空间里安放多个传感器和控制电路结构的难题。

该系统中轴向拉压力传感器采用带有温度补偿功能的电阻应变测量桥路，应变片贴到测力筒的特定对称受力区域，实现对井下管柱轴向拉压力的测量。蠕动位移量采用摆动式机械接触滚轮测量。位移传感器由两个霍尔元件组配而成，按照一定的设计角度安放到检测孔中，通过记录检测轮的转动角度和方向，来计算管柱的蠕动位移。压力传感器选用美国进口的压阻式测井专用传感器，检测管柱内外液体的压力。管柱周围液体温度及电子仓温度的检测采用日本生产的铂电阻温度传感器。所有传感器的输出信号，经过调理电路的放大、滤波处理，连接到单片机的 A/D 采样口。

2　工作原理

井下管柱状态检测系统工作时，先接通井下测试短节的电源，再将其连接到管柱上随注水管柱一起下

收稿日期：2006-05-22；**改回日期**：2006-06-07

基金项目：中国石油化工股份有限公司科技开发项目（编号：P04054）部分研究成果

作者简介：邓旭（1976—），男，1999 年毕业于哈尔滨理工大学机械工程学院，在读硕士研究生。

联系电话：（0716）8474284

井。此时单片机处于休眠状态，传感器、调理电路、存储模块等电路不予供电或间歇供电，电流消耗极小。

有两种方式启动测量采集电路：1）定时启动与停止。即系统按事先设定的时间自动开始工作，自动停止进入休眠状态。该方式由软件通过单片机的定时器来实现。2）液压启动方式。系统会定时唤醒并自动采集管柱内外液体压力信号，当单片机检测到压力值大于系统设定的启动压力时，转入正常工作，恢复对各传感器及调理电路的供电，实现连续的信息采集和数据存储。当系统工作一个设定的时间段或连续采集压力低于设定值时，相应模块的电源供应被切断，系统进入休眠状态[7]。

当所有测量过程完成后，将井下测试短节随管柱提出地面，通过 RS-232 接口电路与装有上位机软件的计算机相连，完成数据的传输、处理、保存，并可以有选择地进行数据显示及打印。

3　试验分析及问题改进

3.1　试验分析

通过地面多次单项试验和测试井三次综合参数试验，结果分析如下：

1）温度最大偏差不超过 0.5 ℃，压力与加压设备标准仪表显示值相差小于 0.2 MPa。

2）井下试验中轴向拉压力理论值与实测值对比，综合误差在 2%以内。当液体压力较低、轴向力较小时，拉压力传感器的分辨率及系统的转换精度是引起误差的主要原因；当液体压力较高、轴向力较大时，测力筒的附加径向应变是引起误差的主要原因。

3）样机的位移检测轮周长为 8.3 cm，每转动一周发出 4 个脉冲，理论分辨精度为 2.075 cm。地面试验采用外套管往复运动方式检验，其误差在 3 cm 以内。试验井测试中个别数据误差达到 5 cm。

3.2　存在问题及改进方案

1）由于井下测试短节内外承压，尽管轴向拉压力传感器敏感体结构设计时考虑了附加径向载荷因素，但测力筒的整体径向应变依然影响测量精度，需进一步借助有限元分析软件，优化其结构设计，并根据试验采取适当的修正措施。

2）井下油污和水锈等易引起位移检测轮的滑动而产生测量误差，需适当增加检测轮的表面摩擦系数和作用正压力。此外井下磁化杂质也可能影响位移脉冲信号的脉宽，需进一步改进检测方案。

4　结束语

井下管柱状态检测系统的研制，有助于了解高压分层挤注时井下管柱的真实工作状态，为管柱的受力和蠕动位移研究提供直接的数据资料，便于准确计算封隔器的坐封摩擦力和蠕动范围。基于试验结果的数理统计及回归，将有助于井下管柱受力及蠕动理论模型的建立、检验和修正，对井下工具的设计、改善高压分层挤注工艺等具有重要的参考价值。

参　考　文　献

[1]　Faisal M，Al-Thawad，Issaka M B，et al. A simple approach to numerical analysis of complex well tests [R]. SPE81514，2003.

[2]　Michael M，Levitan. Practical application of pressure-rate deconvolution to analysis of real well tests [R]. SPE84290，2003.

[3]　王以法，管志川，李志刚，等. 井下测量接头自动测量系统的研制 [J]. 石油大学学报（自然科学版），2000，24（5）：11-13.

[4]　张伟玉，张勇. 超高温井下压力计的研制 [J]. 机械研究与应用，2003，16（10）：56-57.

[5]　郭福田，薛光辉. 井下存储式电子压力计的设计 [J]. 石油规划设计，1998，10（1）：35-36.

[6]　石崇东，张绍槐. 智能钻柱设计方案及其应用 [J]. 石油钻探技术，2004，32（6）：7-10.

[7]　李志刚. 基于虚拟仪器的随钻井下管柱多参数测量系统 [J]. 石油钻探技术，2005，33（3）：39-41.

[审稿　韩志勇]

An Examination System for Downhole String State

Deng Xu　Liu Mingyao　Ma Hongwei　Chen Xiaojun　Huang Zhihu

(1. *Department Of Mechanical Engineering*, *Yangtze University*, *Jingzhou*, *Hubei*, 434023, *China*; 2. *Petroleum Engineering & Technology Research Institute*, *Henan Oilfield Branch Company*, *Nanyang*, *Henan*, 473123, *China*)

Abstract: In the process of pushing high-pressure water into wells, the downhole strings may creep, and thus cause packers broken and failed water injection. At present, researches on forces exerted on downhole strings and string creeps are still mainly concentrated in theoretical analysis, but the real detection to strings hasn't been studied enough. Therefore, it is necessary to design an examination system to detect and record the stretching force and creeping displacement of downhole stings as well as the temperature and pressure of fluid around downhole stings. In addition, this paper discusses structures and mechanisms of the examination system, and brings forward a new displacement measurement method. Based on test data, its examination accuracy is analyzed. Finally, this paper presents improvement proposals to existing defects.

Key words: pipe string; detection; transducer; system design