

欠平衡钻井随钻监测系统的开发及应用

吴鹏程 孟英峰 李皋 陈一健 魏纳

“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学

吴鹏程等.欠平衡钻井随钻监测系统的开发及应用.天然气工业,2011,31(5):77-79.

摘要 欠平衡钻井技术具有突出优点,因而得到了广泛应用,但欠平衡钻井条件下,施工设备、流程和钻井液体系等诸多变化常导致常规监测技术不能满足现场工作的要求。针对欠平衡钻井的特殊性,开发了一套适用于欠平衡钻井的随钻监测系统。该系统将地层和井筒看作一个系统,通过监测注入参数、返出参数和钻井工程参数,结合井筒多相流模型及地层渗流模型来对地面、井筒和地层进行综合监测与评价;通过对地层产出流体的监测,井筒压力及流态的监测,地层压力和孔隙度的监测,钻井安全、井控和有害气体的监测,实现了对欠平衡钻井状态下的包括流量、压力和气体组成等多参数的监测;结合地层渗流及井筒多相流耦合模型,可以实现对所钻井段井筒压力、地层压力、储层特性和流体特征进行全面监控与评价。通过在欠平衡钻井现场的多次实际应用,验证了该监测系统的合理性与实用性。该成果有助于提高欠平衡钻井的工艺水平和储层保护效果,同时还有利于早期识别和控制井下复杂情况。

关键词 欠平衡钻井 随钻监测系统 地层压力 井筒压力 储集层特征 流体特征 现场应用

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2011.05.020

为了实现欠平衡钻井,通常在设备、钻井工艺、流程和钻井液体系上进行了一系列改进与完善,因此使得常规录井及一些测试手段难以满足现场工作需要^[1-6]。

欠平衡钻井随钻监测系统将地层和井筒看成一个系统,通过监测注入、返出参数和钻井工程参数,结合井筒多相流模型及地层渗流模型来对地面、井筒和地层进行综合性的监测与评价。主要包括以下功能:①地层产出流体监测;②井筒压力及流态监测;③地层压力和孔隙度监测;④钻井安全、井控和有害气体监测。

1 系统的组成

欠平衡钻井随钻监测系统主要由数据采集、信号处理与传输、采集与评价等部分构成。

1.1 数据采集

数据采集系统负责对欠平衡钻井过程中重要的参数进行实时测量和间接计算,由安装在相应位置的传感器实现数据的采集工作。随钻监测系统主要对欠平衡钻井下的注入参数、返出参数和钻井工程参数进行监测。注入参数包括:注入气体和钻井液的流量、温度

和压力,以及钻井液的密度和流变性等参数。返出参数包括:返出钻井液流量及性质,返出油的流量,返出气体流量和气体组分及浓度(全烃、H₂S含量等)。钻井参数包括:井深、钻时、立压、套压等。

1.2 信号处理与传输

该系统采用分布式信号采集、集中式数据计算处理体系结构,如图1所示。系统中大部分传感器都是模拟量信号输出,包括气体组分、浓度、泵冲、立压、套压等传感器,通过组合式多路A/D转换模块对其进行远程实时信号采集处理和传输。其他以数字信号输出的传感器则直接连接A/D转换模块的输出总线并与

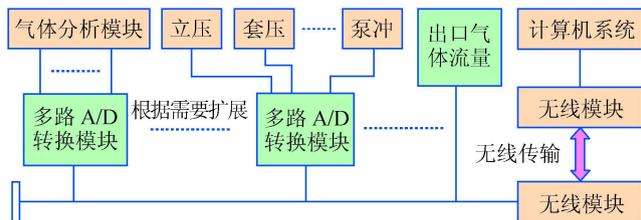


图1 监测系统结构图

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目“全过程欠平衡技术与装备”(编号:2006AA06A104)。

作者简介:吴鹏程,1981年生,博士研究生;硕士毕业于西南石油大学,主要从事欠平衡钻井与综合录井研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学。电话:13880698261。E-mail:pc.wu@qq.com

主计算机系统数字化信号传输。A/D转换模块输出的总线信号通过无线收发模块与主计算机系统无线传输,减轻了复杂的井场环境中布线的工作量。根据实际情况,系统可以增加A/D模块和各种不同类型的传感器来满足测量与监控的需要。

1.3 采集与评价软件

采集软件对传感器直接测量的各种原始数据进行实时计算处理,所有数据都存入数据库,并以曲线形式实时显示在屏幕上,为监测人员提供直观、连续、可回放的监测界面,同时支持对各种监测参数的报警设置。

随钻评价软件通过现场监测数据和所钻井的基本信息如井身结构、钻具组合等数据,结合井筒多相流、储层评价等技术,对欠平衡钻井作业进行综合评价与监测。

1.4 系统主要指标

欠平衡钻井随钻监测系统的监测指标包括:

- 1)工作温度: $-20 \sim 50$ °C。
- 2)工作湿度: $15\% \sim 90\%$ RH(非冷凝)。
- 3)工作电源: 220 V。
- 4)无线通讯可靠距离: 200 m。
- 5)全烃浓度测量范围: $0 \sim 100\%$ 。
- 6)H₂S浓度测量范围: $0 \sim 200$ mg/L。
- 7)CO₂浓度测量范围: $0 \sim 50\,000$ mg/L。
- 8)立压、套压测量范围: $0 \sim 40$ MPa。
- 9)注入气体质量流量计: $0 \sim 5$ T。
- 10)返出气体流量计: $0 \sim 3\,600$ m³/h。
- 11)燃烧管线压力测量范围: $0 \sim 100$ kPa。

2 监测系统的应用及效果

2.1 地层产气量监测

气体组分与浓度分析是在注气欠平衡下计算地层产气量的重要参数,同时也是发现储层和监测H₂S的重要手段。通过安装在燃烧管线的取样器对分离出的气体进行分流取样,取样气体通过干燥处理后流入分析仪器箱,仪器箱内的各种传感器^[7]将对其中全烃、CO₂、O₂、H₂S等气体的浓度以及压力和温度进行采集。

返出气体流量通过安装在分离器气体出口燃烧管线上的气体流量计获得。由于返出气体流量范围较大,为了确保从低流量到高流量都能准确测量,在分离器出口增加了2个测量支管,同时有3个阀门控制其开关,根据监测到的气体流量和压力大小,实时切换3个不同量程的气体流量计进行测量。

如果采用的是液基欠平衡钻井方式,注入流体中不含气体,因而监测到的气体流量直接反映地层的出

气状况。如果是注气欠平衡钻井方式,监测到的流量是注入气体流量和地层返出的气体流量之和。因此可以通过以下方法对地层产气量进行监测:①进出口气体流量之差,监测注入气体流量和返出气体流量,两者之差即为地层产气量;②通过全烃浓度和出口气体流量换算,通过气体组分浓度分析仪监测燃烧管线中全烃的浓度,再乘以返出气体流量就得到地层产气量。

通过监测系统随钻监测不同回压及不同工况下的地层产气量,用随钻产能计算方法,可以全面反映所钻遇的产层及其产能大小。

2.2 介质特性评价

由于钻遇裂缝和孔隙性基块会有不同的产气量显示,根据随钻监测的产气量随着井深变化特征,可以准确判断地层的介质类型及其供气能力。图2为钻遇裂缝—孔隙型储层时的产气随钻进变化规律,其气体产量是随每钻遇一个裂缝(组)而上升一个台阶;图3为钻遇均质砂岩型储层时的产气随钻进变化规律,其产气量与钻进深度几乎呈直线变化关系。

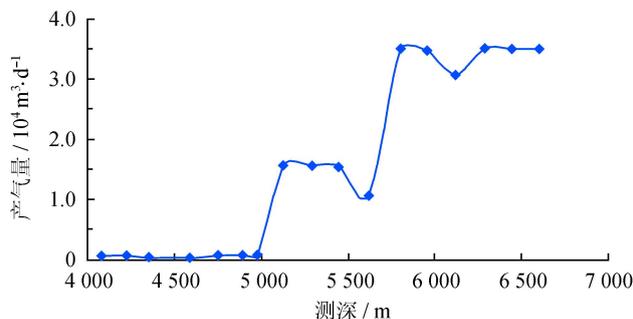


图2 裂缝—孔隙型储层产气量随钻进的变化图

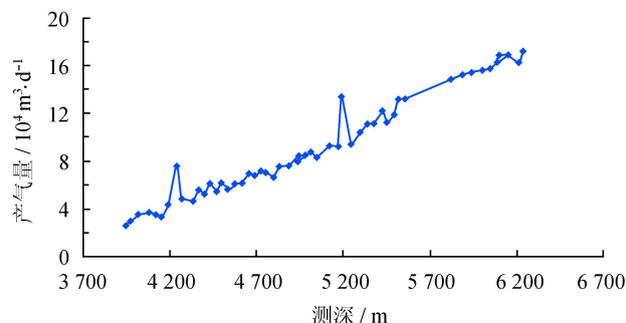


图3 均质砂岩的产气量随钻进的变化图

2.3 井底压力与欠平衡状态监测

通过随钻监测钻井液的排量、密度、黏度、注气流量、立压、套压,结合所钻井的井身结构、钻具组合等数据,配合以相应的理论计算方法,利用建立的欠平衡钻井井筒与储层耦合多相流模型^[8-9],可以得到井下整个

裸眼段的环空压力数据。这为实时判定不同井段的欠平衡状态及欠压值大小提供了关键参数。

地层压力是确定欠平衡状态的另一个重要参数。欠平衡钻井过程中,井底处于欠平衡状态,地层流体在储层压力的驱动下流入井筒,其与井筒循环介质混合后,流到地面。不同欠压值对应不同的地层流体产出量^[10-12]。当井底流动压力与地层压力相等时,储层没有流体产出。因此可以实时监测地层的产气量,通过改变现场的钻井液排量及注气量,得到不同井底压力条件下的稳定产气量,取得3组产气量与井底循环当量压力数据,并绘制于“产气量—井底动压”坐标内,回归三点的直线与井底动压坐标的交点即地层压力。

图4所示的是某井在5087 m处地层压力测试所得产气量与井底动压的关系曲线。根据MWD实测资料,5087 m处实测垂深为4105 m,则可计算出地层压力系数为1.034,回归计算结果与完钻测试解释结果吻合。

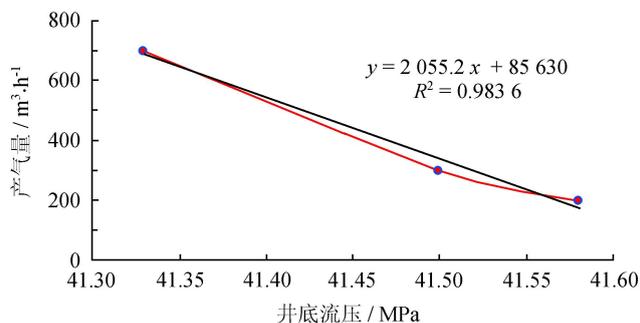


图4 产气量与井底流压的关系曲线图

在随钻获得地层压力及井筒压力数据的基础上,结合随钻流体监测,可以判断所钻开产层段的欠平衡状态以及计算欠压值大小。图5为某井实测地层压力与井底动压的分布曲线,通过地层压力与井底压力的差值就可以判断所钻层位的欠平衡状态。

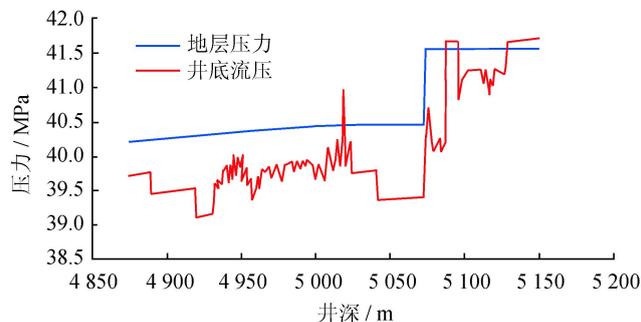


图5 地层压力与井底动压分布曲线图

3 结论

1)欠平衡随钻监测系统弥补了欠平衡作业下常规录井无法实现的功能,提高了欠平衡钻井安全性和经济效益。通过多次现场随钻监测试验,验证了系统的实用性与可靠性。

2)通过对返出气体的组分与流量监测,结合井筒压力和地层压力数据,得到不同压差下的产气量大小,从而实现了在不中断钻井作业的情况下进行储层产能的初步计算和评估。

3)欠平衡随钻监测技术与控压欠平衡钻井相结合,可以实时跟踪计算井底欠平衡状态,通过调节节流阀或改变注入参数,使井底欠压值保持在设计范围内,从而保证了欠平衡钻井的可靠性。

参 考 文 献

- [1] 李胜利,曹洪辉,孙少华,等.欠平衡钻井综合录井技术研究[J].断块油气田,2005,12(1):24-26.
- [2] 杨拥民.欠平衡钻井条件下的录井方法浅论[J].江汉石油学院学报,2004(增刊1).
- [3] 周英操.欠平衡钻井压力控制理论与技术研究[D].北京:中国石油大学,2005.
- [4] 梅基席.石油钻探录井工程[M].兰州:兰州大学出版社,2009.
- [5] 唐家琼,郑永,熊驰原,等.气体钻井的录井监测方法[J].天然气工业,2010,30(3):12-15.
- [6] 侯冰,陈勉,金衍,等.多套复合盐层的地应力确定方法[J].天然气工业,2009,29(1):67-69.
- [7] 陈文辉,马铁华.多传感器信息融合技术的研究与进展[J].科技情报开发与经济,2006,16(19):212-213.
- [8] 赵向阳,孟英峰,李皋,等.充气控压钻井气液两相流型研究[J].石油钻采工艺,2010,32(2):6-10.
- [9] KARDOLUS C B, KRUIJSDIJK C P J W. Formation testing while underbalanced drilling [C] // paper 38754-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 5-8 October 1997, San Antonio, Texas, USA. New York: SPE, 1997.
- [10] 孟英峰,李皋,陈一健,等.一种随钻测试储层参数特性并实时调整钻井措施的方法:中国,101139925[P].2008-03-12.
- [11] 唐贵.欠平衡钻井过程中的随钻试井解释[D].成都:西南石油大学,2004.
- [12] 杨虎,胡军,陶冶.欠平衡钻井随钻试井数学模型及实用方法研究[J].西安石油学院学报:自然科学版,2002,17(1):39-41,48.