

The Application of Logging Technology in the Management of Safety Control of Exploration Well Drilling

Wanhai Cheng, Bo Li

CCDC Geological Exploration and Development Research Institute, Chengdu Sichuan
Email: chengwanhai@126.com

Received: Apr. 12th, 2017; accepted: Jul. 6th, 2017; published: Oct. 15th, 2017

Abstract

The primary basis for safety management was the rapid and continuous access to accurate information. Logging technology was such information technology which could provide continuous, systematic, dynamic and remote monitoring. It was one of the greatest risks in the process of oil and gas drilling—the essential link in the safety management of well control, which was mainly reflected in the most important link of the four aspects for the safety management of well control—the early warning to avoid the occurrence of malignant contingency, and the basis of dynamic decision-making after the emergency. That is the critical control link of avoiding the occurrence of emergency, or minimizing the impact of emergency response and loss. The technology is widely used in drilling risk management and safety management, which is maturing through technology integration and summary. The technology provides a reference for the technical control of the important safety management through its application in the prevention of the slightest, the avoidance of well control emergency and the positive control after the occurrence.

Keywords

Logging Technology, Well Control, Safety Management, Information Application, Pre-warning, Remote Monitoring, Critical Control

论录井技术在钻探井控安全管理中的应用

程万海, 李波

川庆钻探公司地质勘探开发研究院, 四川 成都

作者简介: 程万海(1983-), 男, 工程师, 现主要从事安全管理工作。

Email: chengwanhai@126.com

收稿日期: 2017年4月12日; 录用日期: 2017年7月6日; 发布日期: 2017年10月15日

摘要

安全管理首要基础是准确信息的快速、持续获得。能提供连续、系统、动态、可远程监控的录井技术正是这样的信息技术, 其成为石油天然气钻探过程中最大的风险之一——井控风险的安全管理中必不可少的环节, 主要体现在井控安全管理的四大环节中最重要的一环——避免恶性应急发生的预警, 应急发生后的动态决策依据提供, 即避免发生应急、或发生应急时影响与损失最小化的临界控制环节。该项技术在钻探井控风险安全管理中广泛应用, 通过技术集成、总结, 正日趋成熟。通过该技术在防微杜渐, 源头避免井控应急发生或发生后积极控制的应用分析, 为企业重要安全管理环节的技术受控提供参考。

关键词

录井技术, 井控工作, 安全管理, 信息应用, 预警, 远程监测, 临界控制

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

石油钻探过程中, 钻遇高压油气流处置不当, 造成井喷失控, 轻则影响勘探开发部署, 重则造成设备烧毁、人员伤亡、环境污染, 后果严重, 影响恶劣, 恢复困难, 因此井控工作是石油钻探安全工作重中之重, 相关配套技术尤为重要, 录井技术就是其中一项关键技术。

2010年4月20日22:00左右, BP公司位于美国路易安那州墨西哥湾的“深水地平线(Deeperwater Horizon)”钻井平台 Mississippi Canyon 252[#]-01井钻至井深20,000 ft (1 ft = 0.305 m), 准备在8000多英尺井筒处打水泥塞, BP公司采用先替海水、后打水泥塞的做法进行施工, 20:00开始注海水, 20:10出现钻井液出口流量增加, 泥浆罐液量增加, 说明地层流体进入井筒, 21:49大量的天然气携带原油喷出井筒, 导致井喷失控, 进而爆炸着火, 造成11人死亡, 17人受伤, 大面积海域受到严重污染(事故发生后, 每天有约5000桶(1桶 = 0.159 m³)原油源源不断地流入墨西哥湾)。该次事故是美国近50年来最严重的海上钻井事故之一, 事故导致BP公司形象、荣誉受损, 股价暴跌, 面临巨额赔偿罚款, 美国暂停发放新的深水钻探许可, 美国总统奥巴马宣布成立独立的总统委员会对事故深入调查, 事故的间接原因是固井质量不合格、固井候凝时间不够, 直接原因之一是采用了不当的施工程序, 即先注海水后打水泥塞的做法, 导致井筒液柱压力低于地层压力, 流体进入井筒; 之二是当班的录井数据工程师未发现异常, 未及时报

警, 导致大量油气持续进入井筒; 之三是发生严重溢流后井控装置不能正常工作。

由整个事件可看出, 首先是设备及工艺的隐患, 导致事故的发生, 并因为事故发生最终由可控制的溢流事件演变成井喷事故过程中, 发现及报告溢流不及时, 导致可控的事件发展为应急事件, 并因为应急控制设备的失效, 最终发展为恶性应急事件。事故经历了不同的临界点, 隐患未治理、预警未作、报警未作、控制失效、恢复困难, 而报警作为事件的关键临界环节, 是事件向良性或恶性发展的分水岭, 临界环节的恰当处置, 可以使事件在隐患状态被控制, 从而不发生, 相反则向恶性发展。任何的应急事件都因隐患引发, 并在最初状态时未发现, 最终失控。

钻探工程中的安全重点——井控工作, 其具备同样的特点, 即从技术角度, 如何充分发挥处于临界环节的控制技术, 就是关键中的关键。录井技术具备的对钻探全过程、不间断的自动化信息监测、异常预警、报警功能, 成为井控技术的重要组成部分, 是实施积极控制、临界控制的信息基础, 扮演着举足轻重的角色, 没有它就没有预警, 用得不充分, 就会让小的可控井控应急事件变为恶性井控险情事件, 乃至恶性井喷失控。

2. 录井工程与井控工作的关系

录井最早主要是作为钻探过程的信息跟踪记录而发展起来的一门技术。在 20 世纪 80 年代演变为对钻井介质的连续监测, 从而为地下地质信息的首要获得服务。随着自动化技术的发展, 更为精确、小巧的传感器应用于该专业, 使得监测的范围进一步扩大。不仅监测在钻探中经由地面到地下再返回地面的钻井介质所携带的信息, 同时也监测地面作业工具的相应参数, 从而形成以地质信息、工程信息两大类为主体的监测体系。近年, 随着安全要求的进一步提高, 以及作为钻探最大的安全管理对象——井控安全管理显得尤为重要。如何极早发现溢流或井漏, 并在最短时间内加以处理, 将可能出现的井控险情消除; 或已发生流体大量涌出, 如何通过远程监控、信息综合收集、分析处理, 将损失与影响降至最低[1]。因此, 录井技术对钻探井控安全管理提供了新的专业功能, 并成为各临界点的主要控制技术之一。

录井技术经历了手工录井、仪器录井、网络录井 3 个发展阶段, 主要分为 2 大体系。

其一是以发现地质体为目标的体系: 主要是要发现地质预测的潜在油气地质体, 达到找油找气目的, 其中技术主要是钻时、岩屑、气测、钻井液录井等系列。

其二是以防止工程事故发生的体系。其中可细分为两类: 一是因钻井工具损坏而导致的事故, 比如井下钻具因质量或疲劳损伤, 导致刺裂, 继而断裂, 导致事故; 再如钻进用的钻头因使用寿命终结而出现掉部件于井下, 导致复杂, 均属于工程事故中第一大类。而另一类就是井控事件。录井技术体系的发展也因两大目的而产生发展, 并日臻成熟, 即可通过实时监测与分析预报钻具事故, 又通过不同阶段的分析及通告, 控制井控事件的发生, 可以说要实施积极井控, 录井是必不可少的专业技术。

3. 录井技术在井控应用方面的发展

通过近 80 年的发展, 特别是 20 世纪 80 年代精密传感器、自动化采集、处理信息系统的成熟, 录井技术快速发展, 在 20 世纪 90 年代更因钻井安全问题的日趋突出, 在井控技术系列中占据日趋重要的作用。

在手工录井阶段, 录井工作者通过对区域的分析, 提供基本的可能井控重点层段, 并能通过分层等提供是否已钻达将会出现井控险情的层段等信息, 在钻进中通过人工不连续的监测出口的流体、泥浆罐的液量变化来判断是否出现溢流, 其明显的缺陷是人工的误差、不连贯的监测、微量变化不能检知, 所以常常出现溢流已非常严重才发现, 致使处理困难或井喷失控。

20 世纪 80 年代, 随着录井技术大量采用自动的传感器连续监测井筒信息, 以及定量、半定量的地

层信息分析技术的使用,使得与井控相关的信息能更早、更准确被检知,更快发出警报,使得井筒安全更能处于控制之下,但由于行业的不景气,导致设备、人力投入不足,其功能被大大弱化,井控险情仍时有发生。

进入 21 世纪以来,随着对安全的关注、行业的发展以及网络技术的发展,录井技术在井控工作中作用更加突出,通过实时、连续、全面采集、处理、监测、分析、发布,使得录井信息在第一时间能到达应用人员手中,包括能立即实施井筒控制的司钻、后勤基地的专家、决策层,已由单个井场的信息点变成信息网络,使积极井控变为现实。

笔者所在的录井公司从 2005 年开始研究并逐步建立录井信息远程传输及应用系统,目前已具备完备功能。一是单个井场的录井系统可完成连续的监测及数据采集;二是通过远程系统将现场图像及数据以曲线或数字方式在基地再现,通过内网游览,与身临井场一样,从而发挥在井控安全管理中的三大作用:一是通过监测发现异常、报告异常,使井筒处于受控状态;二是提供远程再现,使基地有经验的工程或管理人员通过监控,发现现场不恰当的施工作业程序或不安全的工艺等,从而消除井控隐患;三是出现溢流时,录井在现场提供远离井口的监测终端,为处置人员提供连续信息,或通过远程系统传回基地,使指挥人员能适时决策,实时指挥处理。

可以说,录井既是发现隐患、控制隐患向事故发展的关键控制技术,也是应急处置中的信息采集及传输技术,是井控安全管理中不可替代的技术。

目前录井在钻探技术系列中因设备成本低,定额一直偏低,在地质勘探和安全建井中发挥着幕后英雄的作用,仅在出现恶性井控等险情时,才让人意识到其重要性,总体处于不受重视的地位,发展较慢,科研投入及人才培养不足,后续发展乏力,处于尴尬的局面,不利其在钻探中充分发挥作用。

4. 录井技术在井控安全管理的具体作用

石油天然气钻探主要目的是发现油气水,该目的表明多数的钻探项目将钻遇地层的油气水。在发现的同时,又如何避免这些地层流体入侵井控打破平衡,从而引发的险情,就是井控技术要做的工作。而在最早阶段发现并预警,平衡点打破即加以控制,使平衡得以最快、最简便控制、恢复,变得尤为关键。

录井在这一过程中,首先会做以下几方面工作,来保证控制。

4.1. 预测及预告

每实施一个新的钻探项目,对不同的压力层段可能采用下套管方式加以隔离,但因其有限性,更多的是通过钻井过程中的平衡钻进来实现控制,因此施工前即对区域已获得的地质信息加以分析,确定易出现流体特别是可能出现高压油气流的层段,以及可能发生的显示级别,确保施工前能对险情有较全面的预见性,能采取预先的应对措施[2]。

录井通常会对预测提供 2 种方式进行预告:一是对即将钻遇的 200 m 左右的地层的可能油气水,高、低压层段用预告牌的方式公告;二是通过对岩屑的鉴定、地层的对比,提出已钻达、将钻达的层位,使钻井施工者对可能出现井控险情地层段做到心中有数。

4.2. 实时监测及预警

1) 当钻遇钻速加快、或有反映地下缝洞的岩性出现、或出现较低级别的溢流——气测异常,录井将向钻进施工人员(渐成司钻)提出预警。

2) 当即将钻遇高压流体层段时,录井会通过地层对比、压力监测等确定层位,预警将钻遇可能的高压流体层段,从而促使钻探施工作业方调整压井液密度,为平衡地层压力奠定基础[3]。

3) 若将钻遇高压与低压并存、且压差超过能处理范围的地层时,录井通过地层对比,确保尽可能钻遇高压段,准确分层,通过固井后再揭开低压层,来避免井筒报废或事故。

4.3. 异常报警及控制

在钻井过程中,录井会连续监测地下返出钻井液的变化,以及其他工程参数的变化。如出现返出的流体中发现地下流体,井筒有地层流体返出而导致循环罐液量增加,返出的岩屑中有反映地下孔洞出现的新岩性、停止循环仍有流体不断返出等等信息,均将反映在录井信息中,出现这些情况时,当班施工人员将发现的变化通过声光报警仪及时通告司钻,司钻立即采取关井等井控动作,达到及时控制井筒、抑制流体继续侵入井筒,为后续的处理恢复新平衡奠定基础。

一般是出现钻速加快、放空就预警,发现流体就报警,流体增量超出一定量前就要求施工方通过设备关井(中石油企业标准规定:溢流应在 2 m^3 内报警并关井)。

4.4. 出现险情的监测与控制

因预报不及时,致使地层流体大量进入井筒,恶性破坏平衡,使得地面处理变得复杂以至失控,在这种情况下,如何使险情得到控制,降低损失,同样需要录井连续的参数监测来提供处理决策依据。

因为录井系统传感器的可连续监测性以及人员可远程监测,保证了远离危险区监测数据及图像;同时可通过网络远程传输至基地监测终端以提供信息,让更高层有丰富处理经验的专家获取连续现场信息,为方便及时准确决策提供平台,录井技术使这些需求得以实现。

4.5. 各关键点的录井控制作用

- 1) 是平衡点被打破前的预测,可通过调整以防止打破。
- 2) 是出现可能发生溢流异常时,及时预警。
- 3) 是出现溢流早期,平衡点被打破,录井及时报警,为钻井方赢得时间,尽快控制,恢复平衡,避免恶性发展。
- 4) 是在异常较大,导致平衡点严重打破并失控时,通过仪器连续监测地质、工程参数变化,提供远程信息,为重新建立平衡提供决策依据。

5. 典型案例

5.1. 高低压分界井控案例

PENGLAI-6 井在 600 m 下了第 1 层套管后,要求钻入嘉陵江嘉二段顶部 5 m 下第 2 层套管固井,主要是因为进嘉二段后其下的地层可能存在高压流体,预计压力系数达 1.8 (邻近的 PENGLAI-1 井钻进中因钻开了嘉二段高压层,引发井控险情,最高钻井液密度达 2.14 g/cm^3 恢复平衡),而其上的地层为低压(压力系数最高为 1.4),若不下套管分割高低压层段,可能引发井控险情,直至井筒报废[4]。

为此,要求只能钻入嘉二段顶部 5 m 固井,录井基地工程师通过地层对比、小层划分,确立卡准嘉三段底部固井位置的技术方案(见图 1)。

在实钻过程中,用密度为 1.35 g/cm^3 的钻井液钻进嘉三段,录井现场施工人员采用新型碳酸盐分析、数码显微观察、加强地质循环等技术手段,准确建立岩性剖面,最终确保在距嘉三段 5 m 处固井,固井后改用 $2.20\sim 2.28 \text{ g/cm}^3$ 高密度钻井液钻进嘉二段,发现高压油气层,录井及时预报,通过 10 d 安全钻进,顺利完钻(邻井仅处理嘉二段溢流复杂耗时 10 d),后经试油测试,该段储层良好。

整个工作中,有提前的录井预测,有相应的录井技术方案保障,有现场实时录井技术手段的应用,确保了高低压井控难点的成功控制。

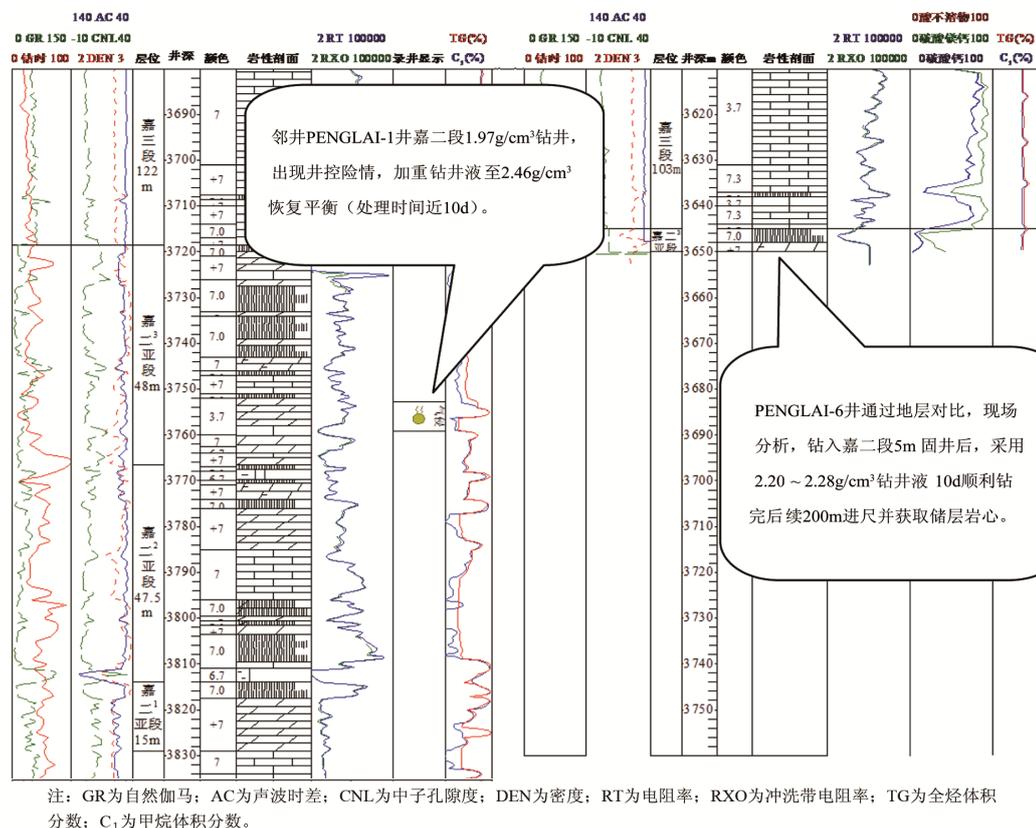


Figure 1. The strata correlation between Well PENGLAI-1 and Well PENGLAI6
图 1. PENGLAI-1 井与 PENGLAI6 井地层对比图

5.2. 钻遇高压流体井控案例

1) 预测与通告: 2011年5月20日 PENGLAI-12井钻入须家河组, 基地录井管理人员根据区域地质特征, 再次提示可能钻遇高压油气层, 现场录井人员向施工人员通告预测意见。

2) 预警: 2011年5月22日 24:00 PENGLAI-12井钻进 2069~2671 m, 钻时由 75 min/m 下降到 50 min/m 再下降到 42 min/m, 操作工在发现钻时加快时即通过电话向刹把人员预警。

3) 观察、发现: 1:14 用密度 1.20 g/cm^3 、黏度 61 s 聚合物钻井液欠平衡钻进至井深 2071.89 m (迟到井深 2069.00 m), 录井监测人员发现液面上涨 0.62 m^3 , 气测全烃体积分数由 0.9193% 上升至 1.1124%, 出现溢流。

4) 报警: 录井操作员启动声光报警仪。

5) 通告、确认: 录井操作员持续观察并用电话再次通告刹把人员。

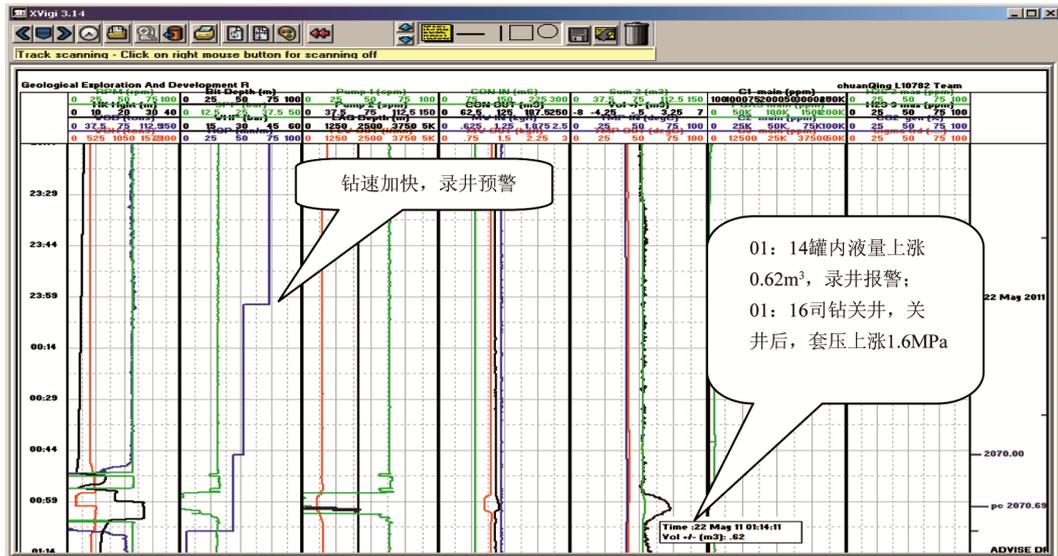
6) 关井: 1:16 井队司钻听到声光报警后马上停泵、停转盘, 上提钻具, 关井。关井历时 2 min, 2 min 后套压上升至 1.6 MPa。

7) 持续监测: 采集工下到 8 号阀门处观察压力, 操作工持续观察压力及出口、液面情况(判断是否关井成功)。

8) 汇报: 向作业部安全管理人员及上级井控办主管汇报。

9) 远控: 后勤通过远程传输指导该井实施控制。

该井出现异常, 由于录井发现及时, 报告及时, 钻井方处理迅速, 3 h 后恢复钻进(见图 2), 避免了复杂, 节约了实效, 确保安全快速建井。



注: 第二栏蓝色曲线为钻速, 第五栏褐色曲线为泥浆罐液量增减变化量。

Figure 2. The logging monitoring of Well PEILAI-12
图 2. PEILAI-12 井录井监测图

5.3. 井控远程处理案例

录井现场通过卫星将现场的监测数据及图像实时传输回后勤基地, 并通过网络发布系统, 为管理者提供实时数据及图像浏览服务, 实时再现现场动态, 使后勤管理者和专家远程决策指挥现场处理应急成为现实。

QINGXI-1 井 2006 年 12 月 21 日年钻至茅口组井深 4285.38 m, 钻遇高压油气流, 发生井喷险情, 在后续的 13 d 压井处理过程中, 通过录井的 24 h 不间断的实时监测, 为现场处理人员远距监控、指挥压井提供动态数据和图像, 并通过网络将现场曲线及图像实时发回基地, 方便决策, 为该井的快速、安全处理提供了信息平台, 发挥了录井在井控安全管理应急处置阶段的远程控制作用(见图 3)。



注: 通过录井远距传输提供的数据及图像, 指挥压井作业。

Figure 3. The remote data transmission of real-time logging and image
图 3. 录井实时数据及图像远程传输

6. 未来的发展趋势与定位

录井技术在勘探基础信息提供安全钻井、保障两方面发挥作用。具有在现场 24h 连续不间断采集、处理、提供功能。其目前所采集的手段主要是地面手段, 即所有传感器采集的参数均针对地面设备或采集对象, 其信息有一定滞后性, 即地下可能已出现异常, 而地面要一定时间才迟迟反映出来, 因此, 其信息的全面性以及即时性是未来发展必须考虑的主要问题。

目前的随钻测井(LWD)及随钻地震测量技术(SWD)将信息采集工具放在钻具最前端, 从而即时获取井下的信息并上传至地面处理, 体现了其更快的及时性。录井与这些技术的融合, 部分地面传感器向地下发展是一大趋势, 就井控而言, 如果能最快发现已钻入某个特殊地层, 同时又通过井下温度、电导、微压力等传感器[5], 能直接探知地层流体开始渗流进入井筒, 这样开始实施井控; 或通过随钻地震, 分析即将钻遇高压地层, 将是未来井控信息需求的趋势。而地下直接采集, 可屏蔽许多上返至地面过程的干扰因素, 较地面采集更准确, 从而决策更准确。

目前的 LWD 技术主要应用于找到好的出油出气地层并在其中钻进。而在井控方面的应用, 特别是相关传感系统的研究较少, 这也正是其未来应用发展的一个方向, 与地面录井技术的组合, 将使地质目的以及工程安全、快速建井目的得到更有力保障[6]。

录井技术的未来发展方向, 将是地面与地下井控结合、现场与远程贯通、历史信息与实时信息查询、浏览提供的综合信息技术, 也是录井技术发展生存的必然方向, 而信息的精确度、质量化、高度自动化将是发展的基础。

7. 结语

- 1) 施工前录井预测是井控安全管理的基础。
- 2) 施工中录井连续监测、异常及时发现及预报是井控关键。
- 3) 出现险情, 录井远距监测以及远程信息提供是安全、准确处理决策的基础。
- 4) 录井的不间断监测以及远程信息提供, 是安全管理以及日常管理的便捷平台。
- 5) 录井技术未来的地面与地下结合、远程与现场信息提供、历史与实时信息再现, 将更加适应井控日常管理以及应急处理未来发展需要。
- 6) 任何安全管理均有其技术控制手段, 而及时发现应急苗头的临界控制技术是关键中的关键, 录井技术作为井控技术中重要组成部分, 需要更多的人力、物力投入, 使其良性、系统发展, 充分发挥在地质勘探与安全建井中的作用。

参考文献 (References)

- [1] 晏凌, 胡卫东, 程怀高, 等. LG 地区 X 井快速钻井配套技术[J]. 天然气工业, 2009, 29(10): 57-58.
- [2] 盛秀杰, 陈汉军, 吴亚军. 四川盆地阆中 - 南部地区须家河组勘探潜力[J]. 天然气工业, 2010, 30(1): 15-18.
- [3] 曾凌翔, 李黔, 梁海波, 等. 控制压力钻井技术与微流量控制钻井技术的对比[J]. 天然气工业, 2011, 31(2): 82-84.
- [4] 程常修, 李朝川, 姚先荣, 等. 川中地区 PENGLAI-1 井超高压气水层的安全钻井技术[J]. 天然气工业, 2011, 30(7): 62-64.
- [5] 李伟廷, 侯树刚, 兰凯, 等. 自适应控制压力钻井关键技术及研究现状[J]. 天然气工业, 2009, 29(11): 50-52.
- [6] 张绍槐. 钻井录井信息与随钻测量信息的集成和发展[J]. 录井工程, 2008, 19(4): 26-31.

[编辑] 黄鹏

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2471-7185，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org