

录井装备技术现状及发展探讨

万亚旗^{1,2}, 陈会年³, 杨明清⁴, 张杰^{1,2}

(1. 中石化胜利石油工程有限公司地质录井公司, 山东东营 257064; 2. 中国石化集团石油工程技术研究院录井装备制造中心, 山东东营 257064; 3. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 4. 中石化石油工程技术服务有限公司工程技术部, 北京 100020)

摘要:针对国际油价持续在低位运行的形势,为进一步明确国产录井装备的发展方向,缩小与国际先进水平的差距,从常规综合录井、单项高端录井和井下录井3个方面系统分析了国内外录井装备的现状,指出国内综合录井仪、高端录井装备、非常规资源录井装备及井下录井装备存在的问题,提出完善国产综合录井仪、研发单项高端录井仪和特色录井装备及储备录井新技术的建议,并根据当前实际录井的技术需求,把握发展机遇,推动国内录井装备的发展,提高国内录井装备的技术水平,缩小与国际先进水平的差距。

关键词:录井;录井仪;发展现状;发展方向

中图分类号:P429 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2018)02-0115-05

Status Quo and Development Exploration of Mud Logging Equipment

WAN Yaqi^{1,2}, CHEN Huinian³, YANG Mingqing⁴, ZHANG Jie^{1,2}

(1. Geologging Company of Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257064, China; 2. Mud Logging Equipment Manufacturing Center, Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Dongying, Shandong, 257064, China; 3. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 4. Engineering Technology Department of Sinopec Oilfield Service Corporation, Beijing, 100020, China)

Abstract: In view of the continuously low international oil price and in order to further clarify the development orientation of domestic mud logging equipment and narrow the gap with the international advanced level, the status quo of domestic and overseas mud logging equipment was analyzed systematically from the three aspects of conventional comprehensive logging, single-function high-end logging and down-hole mud logging. The problems around domestic comprehensive logging unit, high-end logging equipment, logging equipment for unconventional resources and downhole logging equipment were pointed out. Suggestions including the full promotion of domestic comprehensive logging units, manufacturing single-function high-end logging units and featured logging equipment as well as reserving new logging techniques were put forward. Rooted in the present requirements on mud logging, it is expected to seize the development opportunities, push forward the development of domestic mud logging equipment, improve the technical level of domestic mud logging equipment and narrow the gap with the international advanced level.

Key words: mud logging; mud logging unit; status quo of development; development orientation

近年来,国际油价长期低位运行,对油气勘探开发的投资持续减少,国内外录井装备的研发和应用受到较大影响。在这种形势下,国外油服公司大幅减少了研发投入,录井装备的发展速度明显变慢。在国内,以国有企业为主要力量的录井装备研发制造企业,正面临着缩小与国外先进水平差距的机遇。为了充分把握这次机遇,缩小与国外先进水平的差距,笔者在分析了国内外录井装备现状的基础上,指出了国内录井装备存在的问题及与先进水平的差

距,提出了录井装备下一步的发展方向,以期推动我国录井装备技术水平的提高。

收稿日期:2017-11-15;改回日期:2018-01-10。

作者简介:万亚旗(1972—),男,陕西蒲城人,1997年毕业于西安石油学院电子仪器与测量技术专业,2006年获中国石油大学(北京)控制工程专业工程硕士学位,高级工程师,主要从事录井装备研发及技术管理工作。E-mail:wanyaqi.slyt@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项“地震与井筒精细勘探关键技术”(编号:2016ZX05006-002)部分研究内容。

1 国内外录井装备现状

1.1 国外录井装备现状

国外从事常规录井装备研制与制造的知名公司主要有 Schlumberger、Baker Hughes、Weatherford、Geolog 等油服公司^[1]，这些公司自 20 世纪 30 年代起，不断将最新的检测技术和信息化技术应用到录井装备中，先后研究了气测录井、工程录井、综合录井、信息化录井仪。在气测录井方面，先后研究出热导检测、气相色谱分析、红外及质谱气体检测系统；在工程录井方面，针对钻井异常监控需求，研发应用了测量钻时、转速、扭矩、钻井液密度、钻井液流量、钻井液池体积、压力和温度等参数的测量系统，并配套了数据采集处理软件；信息化录井技术始于 20 世纪 70 年代，用以实现井场信息实时传输和远程共享，方便不同区域、不同角色人员“零距离”交互，实时掌握施工动态，实现快速、科学决策。

当前，国外常规录井装备有 Schlumberger 公司的 geoNEXT、Advanced Logging System(ALS)系列综合录井仪，Geolog 公司的 GEOLOG 综合录井仪^[2]等。在数据采集方面，上述仪器采用总线技术，数据采集模块具有体积小、扩展方便、可带电插拔的特点，最多能连接 228 个传感器，是其他录井仪 2 倍以上；在快速采集技术的支持下，国外录井仪的数据采集频率普遍达到 50 Hz，最高可达 100 Hz，是国内录井仪的 4~5 倍，能提供高质量的原始数据。在常规气体检测领域，国外的录井仪普遍配套了定量脱气器，用以消除脱气效率变化、钻井液液面波动导致的气测值误差，检测成分已由全烃或单一甲烷拓展到 C₁—C₅ 烃组分、非烃组分气体；Weatherford 公司的 GC-tracer 录井仪采用了半透膜脱气技术，直接从钻井液中获取气体，实现了定量气液分离；GEOLOG 和 geoNEXT 综合录井仪可以同时记录钻井液入口和出口的气测值，与工程参数结合进行回归计算，能消除二次循环、钻井液添加剂的影响，提高油气识别能力。国外与录井仪配套的录井软件系统不仅能以各类图表实时显示、存储测量数据，还能根据需要计算各类参数，处理采集的数据，如进行摩阻分析，计算地层压力指数和水功率指数，监测停泵时钻井液的回流、钻井液池液面变化等；与 geoNEXT 综合录井仪配套的 THEMA 系统引入了机械比能(MSE)，利用机械比能监测钻头的磨损，并将实时

采集的数据同理论模型计算的结果进行对比，分析工况。各录井仪制造公司采用井场信息传输标记语言标准（wellsite information transfer standard markup language, WITSML）传输采集到的数据，这样可以与钻井、测井、定向井、固井等数据实现互通，并能通过互联网在多种终端进行实时发布和共享。

深海平台钻井和超深井钻井要求录井装备具有油气实时评价、钻井液流量精确检测、井眼状况实时监控、随钻地层压力预测等功能^[3-4]，为此，国外油服公司经过长期研究和完善，研制出了大量的高端录井装备。油气发现和解释方面，Schlumberger 公司研制了实时流体录井检测系统(fluid logging and analysis in real time, 简称 FLAIR)，该系统通过检测 C₁—C₈ 等多种烃组分，实时评估地层流体特征^[5-7]。钻井工程监测方面，Schlumberger 公司研制了基于科里奥利流量计的井涌井漏监测系统 (fluid loss and gain detection service, 简称 FLAG) 和基于岩屑称重的井壁稳定性分析系统 (cleaning and wellbore risk reduction service, 简称 CLEAR)；Geolog 公司研发了井涌预警系统 (KickAlarm)^[8]、井壁分析系统 (DrillClean) 和钻具振动分析系统 (DrillVibe)^[9-10]。

随着井下随钻录井概念的提出和发展，国外油服公司逐渐加强了井下录井装备的研发，Schlumberger 公司研发了模块化地层测试仪(modular formation dynamics tester, MDT)，可以连续测量地层压力和地层流体的特性；Halliburton 公司研发了集成式井下油气组分检测仪器 (integrated computation element, 简称 ICE)，采用光学方法检测储层油气含量^[11-13]，检测速度快，现已进入商业化应用阶段。

1.2 国内录井装备现状

国内常规录井装备研发制造起步较晚，自 20 世纪 80 年代起从国外引进应用了 TDC、ALS 系列录井仪、ADVANTAGE 和 DLS 等综合录井仪，并通过科技攻关逐渐掌握了综合录井仪的核心技术；20 世纪 90 年代，国内录井企业与国外录井仪制造公司合作研发了一系列综合录井仪，主要有“探索者”系列录井仪、“德玛”系列录井仪和 CMS 录井仪等，还研制了适合开发井的小型录井仪，如 PLS 和 MAS 录井仪等；进入 21 世纪，国内石油公司加大了录井仪研发力度，研制了具有国际先进水平的录井仪，采用的核心技术与国外相比没有明显差距：烃类气体

检测系统能够在 30 s 完成 C₁—C₅ 烃组分分析, 优于国外同类产品的 42~45 s; 数据采集系统大多采用 CAN 总线或 RS-485 总线, 高端装备还能够兼容板卡、无线等其他采集模式, 配套的无线传感器具有功耗超低(最高连续工作 180 d)、抗干扰能力强(最小传输距离 120 m)、操作简单等特点; 正压防爆仪器房大多通过了挪威船级社 DNV 认证; 录井软件采用开放式框架结构, 具有完善的实时监测和后台资料处理能力; 井场信息共享系统集成了井场数据管理、井场数据共享发布、井场数据远程传输、井场视频监控等技术, 实现了井场数据的实时共享。

在高端录井装备领域, 国内各企业不断加大攻关力度, 研制了一批适合国内勘探需求的特色装备。在气体检测方面, 研制了前置式气体检测装置, 该装置可以直接在井口附近测量, 大大缩短了气路延迟时间, 将油气发现提前了 120 s 以上。国产高端气相色谱仪最快能够在 60 s 内检测到 C₆—C₈ 等重烃组分^[14], 优于国外同类产品的 120~150 s。质谱分析系统最小监测体积分数达到千万分之一, 提高了油气发现的能力^[15~16]。水平井地质导向系统将钻井、录井、定向、测井等多专业融合, 通过地质建模、实时跟踪、随钻评价、三维导向的方式, 可实时调整井眼轨迹, 有效提高水平井中靶率和储层钻遇率^[17]。随钻地层压力监测系统集数据管理、智能分析和科学评价于一体, 可实现钻前预测、钻中监测和钻后评价, 显著提高异常压力监测的成功率, 保证钻井施工安全。

针对录井技术向井下随钻发展的趋势, 国内录井公司开展了探索性的研究工作。中石化胜利地质录井公司开展了井下气体检测关键技术研究, 并研制了井下气体检测原理样机^[18]。

2 国内录井装备存在的问题

2.1 综合录井仪技术细节不完善

当前国产综合录井仪气体检测、数据采集、井场安全防护、录井软件、井场信息共享等核心技术已达到国际先进水平, 满足了常规录井需求, 但与 geoNEXT、GEOLOG 等录井仪相比在细节上存在差距。数据采集方面, 国外录井仪采集通道最多达到 228 个, 采集频率最高达到 100 Hz, 而国产综合录井仪采集通道一般仅为 40~60 个, 一般不具备高速

采集能力; 在气体检测方面, 国产定量脱气器还未普及, 钻井液入口、出口气测校正技术还不成熟; 软件方面, 国产录井仪一般采用门限值报警、人工识别的方法进行工程预警, 而国外大力推广智能化分析预警技术, 对特殊工况的预报能力要优于国产录井仪。虽然国产录井仪整体技术框架与国外相比没有区别, 甚至个别技术还要优于国外录井仪, 但是有些技术细节不完善, 直接影响了录井仪的整体水平。

2.2 单项高端录井装备不够成熟

国内录井装备发展初期, 应用录井仪主要是找油找气, 提高勘探开发效率。当时国内录井技术服务要求单一, 一般不需要单项高端录井技术服务, 导致相关装备的研制长期滞后。随着钻井技术不断发展, 国内外录井技术服务对实时流体分析、钻具振动监测、井涌井漏预警和井壁稳定分析等高端服务的需求逐年增多^[19], Schlumberger, Baker Hughes 和 Geolog 等国外油服公司研制了相应的录井装备, 应用规模不断扩大, 取得了显著的经济效益。相比之下, 国内同类录井装备大部分还处于研发试验阶段, 与国外相比差距明显: 如实时流体分析系统虽然能检测井口气体中的 C₁—C₈ 烃组分、定量脱气, 但缺乏与之配套的流体识别模型; 钻具振动检测系统能够高速采集扭矩、悬重和立压等传感器信号, 但缺乏信号处理系统、判断钻具异常工况的技术方法; 虽然开展了大量的井涌井漏预警系统研究及试验工作, 但该系统还不够成熟, 尚未商业化应用; 井壁稳定性分析系统样机虽已研制成功, 但分析软件不够成熟。

2.3 非常规资源录井装备针对性不强

随着能源结构的不断变化, 录井技术服务近年来逐步向煤层气、地热和天然气水合物等非常规资源延伸。相对于传统油气勘探开发录井, 煤层气录井录取参数少、不需要繁多的钻井液录井设备, 但多分支水平井需要地质导向技术; 地热录井对气测录井设备要求较低, 但需要配备地层流体离子分析设备, 且有些区块需要便携式录井设备; 陆地天然气水合物录井往往因钻机进行了简配, 无法安装常规的绞车、悬重等传感器, 需要研制专用录井装置; 海洋天然气水合物录井因在深海平台进行, 需要配套合适的单项高端录井装备。由于非常规资源录井与常规油气录井相比有特殊要求, 因此要求非常规资源录井装备应具备性价比高和针对性强的特点。

2.4 井下录井装备研究起步较晚

受地面采集条件制约和井筒运移环境影响,适用于常规地面环境条件录井技术的发展受到限制,井下随钻录井技术与装备已成为今后的主要发展方向^[20-21]。国外多家油服公司在 20 世纪 80 代就开始研发井下录井仪器,并积累了大量的经验。目前 Schlumberger 和 Halliburton 2 家油服公司已经研制出相关的井下气体检测工具并提供技术服务,相比之下国内自 2010 年起才开展探索性研究,虽然已经研制了井下气体检测的原理样机,但距离商业化应用还有很大距离。今后井下录井装备研究主要面临的技术难点有 2 个:一是检测装备要具有微型化和低功耗的特点;二是井下录井装备要能适应井下高温、高压、振动、腐蚀环境。

3 国内录井装备发展建议

3.1 完善国产综合录井仪软硬件功能

数据采集方面,国产综合录井仪要优化数据采集模块的架构,不仅提高数据采集速率,也要扩展采集通道,以满足海上平台等特殊作业环境的需求。气体检测方面,把能测量 C₆—C₈ 等重烃组分的高端气相色谱仪移植到常规综合录井仪上,作为常规录井的基本功能,相对国外形成气体检测方面的优势,同时推广使用定量脱气器,加快校正模型的研究,提高气体检测数据的质量。工程预警方面,研究适用性强、预警效果好的软件,取代门限值报警,从而提高工程预报的准确率。录井软件方面,研究智能化监测评估系统,建立钻井时效模型,以协助钻井提速提效。

3.2 研发应用单项高端录井装备

国内钻井液流量检测、井壁稳定性分析、地层流体分析和钻具振动检测等技术与国外相比还不够成熟,但在研发应用过程中不能盲目照搬国外技术方案,应根据国内实际情况改进完善。对于钻井液流量检测,国外多采用大口径科里奥利流量计,检测仪器制造成本和安装维护成本较高,一般只应用于海洋平台钻井,不利于在陆地钻井推广。国内在研发过程中除采用科里奥利流量计外,还应研发基于超声波和电磁波等的低成本检测仪器。国外采用岩屑连续称重装置分析井壁稳定性,成本较高且功能单

一,不利于在国内推广,应根据国内实际需求增加岩屑自动取样、检测功能,为开展地层岩性识别、油藏评价提供依据。对实时流体分析、钻具振动检测,应尽快建立检测模型,积累现场施工经验。同时,在国外进行录井技术服务过程中,要注重收集甲方关注的问题,积极向甲方推荐各类新技术、新产品,依托国际录井技术服务项目进行推广应用。

3.3 研发应用非常规资源专用录井装备

煤层气录井装备除需要具备快速卡准煤层界面、适应各种钻机、定录一体化和数据传输等功能外,还需要具备煤层含气量测量、煤层气解释等功能。地热录井仪应具备测量水温,产水量,分布面积,工程参数,非烃、稀有气体含量及地层流体离子含量,测试钻井液性能,分析水质,检测地层压力和地热解释等功能,还要具备高精度信号采集和智能化数据分析能力,且要具备小型化、便携化等特征。另外,要研发适应高原稀薄空气的气体检测装备,适用于 PDC 钻头条件下的岩屑识别仪器,空气钻井、泡沫钻井的岩屑采集装置,适用于小型钻机的井深、压力测量装置和应用于无线录井模式下的井口气体检测、无线传感器等分析检测设备。

3.4 研发储备录井新技术和新装备

近年来,录井公司依托专业优势将综合录井仪发展成“井场信息中心”,将钻井、测井、录井、地质、固井、LWD/MWD 和视频监控等信息集合在一起,通过传输系统实现井场和后方的信息共享,创建了“互联网+录井”的运行模式。辽河油田录井公司开展的“远程录井”和中原油田录井公司提出的“集群式录井”,都将录井装备和信息化技术进行了结合,在改变录井技术服务模式方面进行了探索。今后,录井行业还应深入研究井场信息融合、数据价值挖掘和数据服务技术,为形成新的信息服务创造条件。要研发井下随钻录井技术及装备,研制井下随钻气体检测工程样机,发展井下随钻硫化氢检测、钻井液核磁检测等新装备,推动井下随钻录井技术的发展,打破地面传统录井技术发展的瓶颈^[22-23]。

4 结束语

国内录井装备研究单位和制造企业经过长期的努力,常规录井装备已达到了国际先进水平,并研制应用了井口气体检测、质谱检测等多种实用的高端

录井装备,但在实时流体分析、钻具振动监测、井涌井漏预警和井壁稳定分析等方面与国际油服公司相比有明显差距。在当前录井装备发展的低点,国内录井装备研究单位和制造企业应当立足自身和国内的实际情况,大力推广国产录井装备,研发应用高端、特色录井装备,做好技术储备工作,以从容应对能源格局变化带来的挑战,在新的形势下谋生存、谋发展,以便在下一轮发展高峰赢得主动。

参 考 文 献

References

- [1] 张卫,郑春山,张新华.国外录井技术新进展及发展方向[J].录井工程,2012,23(1):1-4,24.
ZHANG Wei,ZHENG Chunshan,ZHANG Xinhua. New progress and development direction of foreign mud logging technology[J]. Mud Logging Engineering,2012,23(1):1-4,24.
- [2] 王胜,兰晶晶,田立强,等.geoNEXT 智能化综合录井系统[J].录井工程,2012,23(3):49-53.
WANG Sheng,LAN Jingjing, TIAN Liqiang, et al. geoNEXT intellectualized comprehensive mud logging system [J]. Mud Logging Engineering, 2012, 23(3): 49-53.
- [3] 杨明清.国内深水录井技术初探[J].海洋石油,2011,31(3):68-71.
YANG Mingqing. Preliminary study of domestic deepwater mud logging technology[J]. Offshore Oil,2011,31(3):68-71.
- [4] 吕福亮,贺训云,武金云,等.世界深水油气勘探形势分析及对我国深水油气勘探的启示[J].海洋石油,2007,27(3):41-45.
LYU Fuliang, HE Xunyun, WU Jinyun, et al. The current situation and trend of deepwater oil and gas exploration of the world and the inspiration for us[J]. Offshore Oil,2007,27(3):41-45.
- [5] 黄小刚,廖国良,魏忠.FLAIR 井场实时流体检测系统[J].录井工程,2005,16(4):66-67,72.
HUANG Xiaogang, LIAO Guoliang, WEI Zhong. FLAIR well-site real-time fluid detecting system[J]. Mud Logging Engineering, 2005, 16(4): 66-67, 72.
- [6] FUERTES A B. Adsorption-selective carbon membrane for gas separation[J]. Journal of Membrane Science, 2000, 177(1/2): 9-16.
- [7] HARMON R S, RUSSO R E, HARK R R. Applications of laser-induced breakdown spectroscopy for geochemical and environmental analysis:a comprehensive review[J]. Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy,2013,87(9):11-26.
- [8] 刘应忠.现代石油录井技术体系解析[J].录井工程,2015,26(3):1-5.
LIU Yingzhong. Modern petroleum mud logging technology system[J]. Mud Logging Engineering, 2015, 26(3): 1-5.
- [9] 宿雪,葛洪魁,杨微,等.钻柱振动录井的研究现状及发展趋势[J].石油钻探技术,2009,37(5):15-19.
SU Xue, GE Hongkui, YANG Wei, et al. Development of drill string vibration logging [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(5): 15-19.
- [10] LUO Y, BHARUCHA K, SAMUEL R, et al. A simple, practical approach provides a technique for calibrating tortuosity factors[J]. Oil & Gas Journal,2003,101(35):69-72.
- [11] SALLE B, LACOUR J L, MAUCHIEN P, et al. Comparative study of different methodologies for quantitative rock analysis by laser-induced breakdown spectroscopy in a simulated Mar-tian atmosphere[J]. Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy,2006,61(3):301-313.
- [12] 张卫.随钻井下气体检测技术进展[J].录井工程,2010,21(2):51-54.
ZHANG Wei. Progress of downhole gas detection technology while drilling [J]. Mud Logging Engineering, 2010, 21 (2): 51-54.
- [13] MICHEL A P M. Review:applications of single-shot laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy,2010,65(3):185-191.
- [14] DAVID F, GERE D R, SCANLAN F, et al. Instrumentation and applications of fast high-resolution capillary gas chromatography[J]. Journal of Chromatography, 1999, 842 (1/2): 309-319.
- [15] 尚锁贵,谭忠健,阚留杰,等.元素录井岩性识别技术及其在渤海油田的应用[J].中国海上油气,2016,28(4):30-34.
SHANG Suogui, TAN Zhongjian, KAN Liujié, et al. Lithology identification technology based on element mud logging and its application in Bohai Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016, 28(4): 30-34.
- [16] 张新华,邹筱春,赵红艳,等.利用X荧光元素录井资料评价页岩脆性的新方法[J].石油钻探技术,2012,40(5):92-95.
ZHANG Xinhua, ZOU Xiaochun, ZHAO Hongyan, et al. A new method of evaluation shale brittleness using X-ray fluorescence element logging data[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(5): 92-95.
- [17] 孙坤忠,刘江涛,王卫,等.川东南JA侧钻水平井地质导向技术[J].石油钻探技术,2015,43(4):138-142.
SUN Kunzhong, LIU Jiangtao, WANG Wei, et al. Geosteering drilling techniques of horizontal sidetracking well JA, Southeast Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(4): 138-142.
- [18] FAIN D E. Mixed gas separation technology using inorganic membrane[J]. Membrane Technology, 2000, 120: 9-13.
- [19] 杨明清.综合录井在俄罗斯钻井井控中的应用分析[J].中外能源,2011,16(5):74-76.
YANG Mingqing. Application of mud logging in well control of Russian drilling [J]. Sino-Global Energy, 2011, 16 (5): 74-76.
- [20] 陆黄生.综合录井在钻井工程中的应用现状与发展思考[J].石油钻探技术,2011,39(4):1-6.
LU Huangsheng. Current technology situation and developing trend of mud logging's application in drilling engineering[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 1-6.
- [21] 方锡贤,王华,张淑琴.录井技术现状及空间拓展探讨[J].录井工程,2010,21(3):28-32.
FANG Xixian, WANG Hua, ZHANG Shuqin. Mud logging technology development situation and the discussion on its development space expansion [J]. Mud Logging Engineering, 2010, 21(3): 28-32.
- [22] 陈恭洋,印森林,刘岩.录井学理论体系与录井技术发展方向探讨[J].录井工程,2016,27(4):5-11.
CHEN Gongyang, YIN Senlin, LIU Yan. Mud logging theory system and development direction of mud logging technology [J]. Mud Logging Engineering, 2016, 27(4): 5-11.
- [23] 曹国光,姚金志,马呈芳.录井装备计量检测现状与发展思考[J].录井工程,2014,25(1):73-75.
CAO Guoguang, YAO Jinzhi, MA Chengfang. Status and development of metering and testing for mud logging equipment [J]. Mud Logging Engineering, 2014, 25(1): 73-75.