

# 油气地质调查井钻井技术与对策

张德龙, 翁 炜, 黄玉文, 朱文鉴, 郭 强  
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:** 油气资源调查是中国地质调查局“十三五”规划的重要工作内容之一, 2016年中国地质调查局实施油气地质调查井54口, 2017年部署36口, 大多采用机械岩心钻探工艺。本文基于油气地质调查井和机械岩心钻探工艺特点, 从地层特点、井控、固井、录井、测井、井下复杂情况等方面对油气地质调查井钻井所面临的技术难点进行了总结和分析, 并有针对性地提出了解决方案。本文可为相关管理和作业人员提供技术参考, 为油气地质调查井钻井技术攻关和发展提供借鉴。

**关键词:** 油气地质调查井; 绳索取心钻探; 井控; 钻井技术; 钻井装备

**中图分类号:** P634; TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)12-0021-05

**Drilling Technical Problems and Countermeasures of Oil and Gas Geological Survey Well/ZHANG De-long, WENG Wei, HUANG Yu-wen, ZHU Wen-jian, GUO Qiang** (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Oil and gas resources survey is one of the important contents of the 13th Five-Year Plan in China. 54 oil and gas geological survey wells were implemented by China Geological Survey in 2016, and 36 wells deployed in 2017, mechanical core drilling technology is mostly used. Based on the characteristics of oil and gas geological survey wells and mechanical core drilling technology, this paper summarizes and analyzes the technical difficulties of oil and gas geological survey wells drilling in the aspects of formation characteristics, well control, cementing, logging and downhole complex conditions, and puts forward targeted solutions. The research results of this paper can provide technical reference for the related managers and operators, and provide experience for the research and development of drilling technology oil and gas geological survey wells.

**Key words:** oil and gas geological survey well; wire-line core drilling; well control; drilling technology; drilling equipment

## 0 引言

油气资源调查是我国十三五规划的重要内容之一, 能源矿产地质调查计划是中国地质调查局的重要工作之一<sup>[1]</sup>。中国地质调查局能源矿产地质调查计划部署了多个油气资源地质调查工程, 涵盖常规油气、页岩气、煤层气等多种能源。与石油系统钻井不同, 油气地质调查井旨在查明地层层序、验证地球物理信息, 设计井深一般不超过2000 m, 进行全井段或目的层取心, 完井直径通常不小于76 mm。中国地质调查局2016年实施油气地质调查井54口, 2017年部署油气相关地质调查井36口, 实现了油气资源调查工作重大突破。然而, 现有的油气地质调查井多采用机械岩心钻探工艺, 该工艺通常应用于固体矿场资源勘查, 在油气地质调查井钻井过

程中还存在诸多问题, 面临巨大的工程风险, 亟须得到重视和解决。本文针对油气地质调查井和机械岩心钻探工艺特点, 重点研究油气地质调查井钻井工程所面临的技术难点及相应解决方案。

## 1 油气地质调查井特点

### 1.1 地层特点

油气地质调查井属于公益性油气资源调查, 旨在查明地层层序、验证地球物理信息、获取油气地质资料, 具有重要的价值和意义。油气地质调查井设计井深通常在2000 m左右, 进行全井段或目的层取心, 完井直径一般不小于76 mm。其所勘探的区块通常是未开展过钻探工作的新区块, 在这些区块往往未开展过钻井工程, 在施工之前对地层的实际情

收稿日期: 2017-09-06; 修回日期: 2017-11-22

**基金项目:** 中国地质调查局地质调查项目“准噶尔盆地及周缘油气基础地质调查”(编号: DD20179122)、“下扬子地区古生界页岩气基础地质调查”(编号: DD20179082)、“东南沿海厦门-琼北地区地热资源调查(北京探矿工程研究所)”(编号: DD20179022); 国际科技合作项目“地质深孔小口径孔底动力安全钻探技术研究”(编号: 2011DFR71170)、“复杂深孔小口径可膨胀波纹管及应用技术联合研究”(编号: 2015DFR71010)

**作者简介:** 张德龙, 男, 汉族, 1984年生, 硕士, 油气井工程专业, 从事石油钻井、地质钻探工程技术研究工作, 北京市海淀区学院路29号, tg-szdl@126.com。

况认知严重不足,即便是通过地震等资料对地层分布有一定的预测<sup>[2-3]</sup>,其预测结果往往与钻井施工实际遇到的地层情况差别较大。在地层的层序、岩性、压力梯度、油气水层未知的条件下开展钻井施工,技术上难度大,工程风险极高<sup>[4]</sup>。

## 1.2 施工工艺

从目前已经施工的油气地质调查井来看,其一般采用机械岩心钻探工艺。机械岩心钻进工艺与常规石油钻井工艺差别较大,以往多用于工程地质勘查、固体矿产勘探,其主要的施工设备通常是立轴钻机或液压动力头钻机,钻杆采用薄壁内外平绳索取心钻杆,钻头采用金刚石取心钻头<sup>[5-6]</sup>。

由于与常规的石油钻井不同,机械岩心钻探工艺在诸多方面都有一定的优势:

(1)施工成本低,施工一口2000 m的油气地质调查井成本通常为300万元左右(包含测井、录井费用)。

(2)采用机械岩心钻进工艺进行全井取心,岩心采取率高,施工效率高,可以全面、完整地揭示地层地质情况。

(3)现场作业人员少,按3个班组计算,每个班组一般配6个人,实际作业人员20人基本满足现场施工需要。

(4)设备、工具尺寸小,占地面积小,对环境的破坏小。

(5)施工产生的废弃物少,后期处理工作量少,对环境污染程度小。

同时,与石油钻井工艺相比,机械岩心钻进工艺也存在一定的不足:

(1)设备相对落后,自动化程度偏低,复杂事故处理能力略显不足。石油钻井通常采用转盘或顶驱钻机,设备能力大;机械岩心钻探通常采用传统的立轴钻机或全液压动力头钻机,设备的自动化程度、处理复杂事故的能力相对较差。

(2)装备体系不完善。受成本和以往技术需要的限制,机械岩心钻进工艺在设备配套方面相对较差。例如,目前成体系的配套固控系统尚不完善<sup>[7]</sup>,针对机械岩心钻探工艺的配套井控系统严重不足。

(3)钻井液处理系统不完善,环保设施及要求相对较低。机械岩心钻探施工现场一般不配备钻井液循环罐、储备罐,钻井液配制与循环多为现场临时

开挖的泥浆坑/池,不利于废弃钻井液、岩屑的收集和无害化处理。

(4)井控技术相对较弱。井控是机械岩心钻探工艺的短板,在井控技术、设备、人才、认识和管理方面都存在严重的不足,难以满足高压油气层钻井施工安全需要。

## 2 油气地质调查井钻井技术难点

### 2.1 地层压力预测与监测

不论是探井还是开发井,地层压力预测是油气钻井工程的重要工作之一,在地层压力未知的情况下,钻井井身结构设计、参数优化就无从谈起。油气地质调查井通常部署在没有邻井资料的新区块,而采用地面探测的方法根本上无法准确预测地层压力。

在石油钻井过程中,在没有准确地层压力的条件下可以应用Dc指数法、Sigma录井资料等对地层压力进行预测和分析<sup>[8-9]</sup>。Dc指数法针对全面钻进工艺提出,通过钻压、转速、钻速、钻头直径、钻井液性能等参数可以计算出地层的Dc指数,通过Dc指数可以推导出地层压力变化<sup>[10-11]</sup>。Dc指数法尚无在机械岩心钻进施工地层压力预测方面的应用案例。并且,由于机械岩心钻进采用立轴或动力头加压,难以获取钻头上的准确的钻压数值,加之其它参数的准确性和可测量性难以保证,即便是应用Dc指数法也难以用于地层压力的预测。

### 2.2 井控技术

在油气钻井过程中,井控工作是各项工作的重中之重,井控工作做不好,极易引发重大安全事故<sup>[12-13]</sup>。由于以往多用于工程地质勘查和固体矿产勘探,机械岩心钻探工艺的井控工作没有得到足够的重视,在技术、装备、人才等各方面都存在严重不足。井控是一项系统的、复杂的重要工作,现有的防喷器、井控管汇、液气分离器、气测装置、液面检测装置及使用工艺都是针对石油钻井需要研发,完全不满足机械岩心钻探工艺井控需要,无法配套使用。目前,尚无与机械岩心钻探相匹配的井控系统,应用机械岩心钻探工艺开展油气地质调查井钻进施工安全隐患极大。

在石油钻井工程中对溢流、井涌、气侵、H<sub>2</sub>S溢出、压井、放喷等复杂事故处理和作业有严格的完善的规定和操作规程<sup>[14-15]</sup>。油气地质调查井由于采

用机械岩心钻进工艺,没有配套井控系统,缺乏轻重浆储备罐、起钻灌浆、液面监测、除气、液气分离器、气体监测报警、压井放喷管汇等设备,基本不具备井控实施能力。

此外,机械岩心钻探从业人员大多没有受过油气钻井技术、井控、H<sub>2</sub>S、HSE等相关培训,钻井过程中的油气发现、施工安全难以得到保证。受从业人员对油气钻井技术掌握程度的限制,即便油气地质调查井现场配有防喷器等装备也很难在第一时间实现发现、上报并快速关井控制井口,安全隐患极大。

### 2.3 窄环空问题

机械岩心钻探施工通常采用绳索取心钻进工艺,绳索取心钻杆与标准石油钻杆不同,通常为内外平的薄壁钻杆,钻头外径比钻杆外径大2~6 mm,井眼与钻杆间的环空间隙为1~3 mm。环空间隙过小通常导致钻井液循环压降较高,环空压降过高将导致井底压力不稳,在不同工况下压力波动较大;同时在起下钻、提取岩心内管过程中由于环空过小,抽汲压力较大,同样会造成井下压力波动。井内的压力波动容易引发井壁失稳、井涌、井喷等复杂问题。在油气地质调查井施工过程中,尤其是在含油气地层,在条件允许的情况下应尽量采用大尺寸钻头,保证环空间隙,同时在起下钻、提取岩心内管过程中应尽量控制起下速度。

由于井眼尺寸较小,套管与井眼之间的环形间隙较小。在窄环空条件下,固井质量很难保证<sup>[16-17]</sup>。固井质量关系到含油气井筒稳定、井控安全、井身质量,在以往的机械岩心钻探中未得到足够的重视,固井质量不过关将为后期钻井施工和试油埋下巨大隐患。

### 2.4 钻井液漏失随钻堵漏难度大

钻井施工必然会钻开多套地层,钻井液漏失是在钻进施工过程中常见的井下复杂情况<sup>[18-19]</sup>。在工程地质勘查、固体矿产勘探钻进施工过程中,发生漏失通常会造成一定的成本增加和经济损失,最严重的情况下仅仅是弃孔换孔位重新开孔,很少引发安全事故。相反,在油气钻井过程中井漏有时会引发井喷、有毒有害气体溢出等重大安全事故,给作业人员和居民的生命财产造成巨大损失。

机械岩心钻探环空间隙小,岩心内管与外管的间隙更小,在随钻堵漏过程中采用大颗粒堵漏材料易造成憋压,堵漏困难。在漏速较快的情况下,如堵

漏作业不及时或不能满足要求,很有可能导致环空液面突然下降,环空压力瞬间降低,如钻遇油气层很可能引发漏转喷的严重事故。因此,在油气地质调查井施工过程中必须对钻井液漏失及堵漏问题引起足够的重视。

### 2.5 地层适应性较差

石油钻井通常为全面钻进方式,可根据地层条件选用PDC、牙轮、孕镶金刚石钻头等多种形式的钻头,同时还可以根据钻进需要选择螺杆钻具、涡轮钻具、扭冲钻具等多种提速工具,对地层的适应性相对较强。机械岩心钻探工艺采用绳索取心技术,在油气地质调查井钻井施工过程中只能采用取心钻头,钻头的选择范围相对较窄,可选用的钻井提速工具不多,地层的适应性相对较差。

### 2.6 固控技术

受成本和现有技术条件限制,机械岩心钻探现场很少配有成套的固控设备。现场通常采用岩屑自动沉淀的方法来去除泥浆中固相颗粒,从而降低钻井液的含砂量。这种采用自然沉淀的方法无法保证钻井液性能的稳定性,难以满足油气探井对钻井液的要求。钻井液性能对提高钻井施工效率、发现油气和保护储层有非常重要的作用。目前国内已有针对机械岩心钻探的小型固控设备<sup>[7]</sup>,虽然不成体系,但也基本满足要求。油气地质调查井施工现场应按需要配备满足要求的固控设备,以保证实现油气地质调查井的工程目标。

### 2.7 测井录井技术配套问题

录井是在钻井施工过程中实时获取地层油气、地质资料、掌握钻井施工参数的最便捷的手段。然而,机械岩心钻探通常采用金刚石取心钻头,钻井施工产生的岩屑颗粒极小,导致录井对岩屑的分析难度极大。钻时录井系统与机械岩心钻探钻机的配伍性不好,导致现场的录井工作开展比较困难。尽管气测录井进行烷烃类的录井可以实现,但是受泥浆排量、循环槽限制,效果并不理想。录井工作现存的困难对油气地质调查井地层岩性的判断和油气发现有十分不利的影响。同时,受机械岩心钻探现场条件限制,泥浆液面变化传感器、有毒有害气体监测传感器等无处安装,难以实时有效的监控井漏、溢流、有毒有害气体溢出等情况,不利于施工安全。

通过测井可以准确获取地层油气、地质参数,然而受机械岩心钻探井眼尺寸的限制,很多先进的仪

器无法下入井底,小直径的测井工具类型较少,测量效果相对较差。同时,由于井眼尺寸偏小,易发生测井仪器上提下放遇阻受卡等问题,一旦发生测井仪器卡钻很难打捞,施工风险较大。

## 2.8 管理、技术、安全体系不足

经过数十年的发展,石油钻井已经形成成套的管理体系、技术体系、作业规程和行业标准,相关规定、标准可以很好地指导现场施工、降低工程风险和保证施工安全。目前尚无针对油气地质调查井的相关规定、标准和管理体系,原有机岩心钻探相关标准不满足油气地质调查井的需要,照搬或套用石油钻井相关标准同样无法满足现场施工和安全需要。

## 3 油气地质调查井施工技术对策

采用机械岩心钻探工艺开展油气地质调查井钻井施工可以大幅降低油气资源勘探成本,提高勘探效率。虽然其在技术、安全方面存在一些不足,但仍然可以通过改进工艺、技术、设备等方法来克服上述复杂问题。

### 3.1 地层压力预测技术改进

通过对现有录井仪器设备进行改进优化可以实现现有录井设备与机械岩心钻探钻机的配套,解决录井工作存在的问题。结合物探资料和录井资料可以对地层压力进行预测,根据测井资料可以对地层压力情况进行测量。综合运用上述技术手段,针对机械岩心钻探工艺参数特点开展地层压力预测技术研究,提高其准确性和可靠性,可以为油气地质调查井施工提供良好的技术指导和安全保障。

### 3.2 设备及工具优化

现有的机械岩心钻探设备不满足钻进参数精细化控制,井控设备安装困难。改善现有设备工作参数的采集、可视性能,同时兼顾录井仪器传感器安装配套需要,可以为钻时录井系统安装和精细化钻进提供有效保证。此外应在现有条件的基础上进一步加大设备改进、研发投入,对设备及工具进行优化和改进,进一步提高设备的自动化程度,改善各种工具的匹配性和适应性,实现设备、工具的成套化、系统性。

### 3.3 优化钻具组合

在钻井工程设计初期,应尽量增大完井井眼直径,保证完井井眼直径 $\leq 95$  mm,一方面可以为井下复杂预留一层套管,另一方面可以满足测井工作需

要保证测井安全;在施工过程中应在条件允许的情况下尽量增加钻头尺寸,这样可以有效的增大环空间隙,减小循环压降,降低固井难度,提高固井质量;选择与钻头尺寸匹配的扩孔器、扶正器,保证井眼质量和钻柱的稳定。

此外,应根据区域地质概况设计或优选适应性强的钻头,以满足现场施工需要。

### 3.4 优化井控安全设备

现有的石油钻井井控设备与机械岩心钻探配伍性差,难以满足现场施工需要。应根据机械岩心钻探工艺特点,在保证井控系统压力等级的前提下,优化设计小型、轻型的防喷器、压力管汇、液气分离器、放喷管汇等关键井控设备,形成机械岩心钻探井控技术及设备体系。防喷器通径应不小于146 mm,压力级别 $\leq 21$  MPa,同时配备与各级岩心钻杆配套的闸板芯子,根据实际排量和压力需要对相关配套管汇、设备、工具进行优化设计。同时,结合机械岩心钻探工艺制定相关井控措施和标准,对从业人员进行推广和培训。

### 3.5 完善钻井液处理和固控体系

现有的机械岩心钻探固控设备还存在不全面、不系统的问题。应结合机械岩心钻探实际需要逐步完善钻井液固控体系和装备,从而提高钻井液处理和性能控制的能力和手段。

同时,应进一步完善钻井液处理设备,形成配套的技术装备体系。改变以往采用泥浆坑的做法,配备循环罐、配浆罐、储备罐、加料设备、搅拌设备、液面监测仪器等必要的设备,确保钻井液性能的控制、优化、与监控。

### 3.6 建立相关标准

现有的机械岩心钻探标准和操作规程已经无法满足油气地质调查井的施工需要,应结合油气地质调查井特点重新梳理、制定相关标准,加强针对含油气地层钻井施工的管理与要求。

### 3.7 开展从业人员教育和培训

原有机岩心钻探从业人员对油气钻井技术、井控、H<sub>2</sub>S、HSE等方面的知识掌握程度较差。可以通过从业人员再教育、再培训的方式进一步提高其技术水平和工作能力,尤其是加强对油气钻井工程风险的认识。

### 3.8 强化现场管理和监理

工程管理是油气地质调查井工程的重要工作之

一,从地质设计到工程设计,从工程设计到施工方案,再到现场施工,每一环节都十分重要,应根据实际需要制定完善的管理体系,做到严格把关、规范管理。此外,在现场施工过程中应借鉴石油钻井施工中的监督监理机制,配备现场监督人员,规范现场施工和作业,保障施工质量和安全。

#### 4 油气地质调查井技术展望

近年来,石油钻井行业提出了小井眼技术,可以大幅降低施工成本,提高施工效率<sup>[20-22]</sup>。机械岩心钻探工艺与小井眼钻探存在很多相似之处,机械岩心钻探的关键问题在于油气钻井经验、技术、设备存在一定不足。然而这些问题并不是无法克服和改进的,随着中国地质调查局油气地质调查井工作的推进,机械岩心钻探技术和装备也将不断的发展。一旦上述问题得到解决,机械岩心钻探将为中国油气地质资源勘查和小井眼油气钻井技术发展做出巨大贡献。

#### 5 结论与认识

采用机械岩心钻探工艺开展油气地质调查井施工具有成本低、效率高、资料全等优势。

采用机械岩心钻探工艺开展油气地质调查井施工在技术和安全方面还存在诸多问题,亟须得到重视和解决。

建议加大针对油气地质调查井施工过程中涉及的技术、装备等问题的科研投入,进一步提升钻井技术,优化相关配套设备。

建议逐步建立油气地质调查井相关标准,进一步完善和加强工程施工的管理、监理体系。

#### 参考文献:

[1] 高慧丽. 我国能源矿产地质调查形成新格局[N]. 中国国土资源报, 2016-11-11(001).

- [2] 田军,李建忠. 利用地震层速度预测地层破裂压力的方法研究[J]. 吐哈油气, 1999, (2): 50-54, 99.
- [3] 张冰,符力耘,魏伟,等. 异常地层压力声波衰减分析及地层压力地震数据外推反演[J]. 地球物理学报, 2014, 57(10): 3373-3388.
- [4] 潘登. 施工井事故的地质因素分析与风险预测[D]. 浙江杭州: 浙江大学, 2011.
- [5] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2014.
- [6] 朱恒银,王强,杨凯华,等. 深部岩心钻探技术与管理[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- [7] 冯美贵,朱迪斯,翁炜,等. 地质岩心钻探冲洗液固控系统及配套工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(5): 67-70, 75.
- [8] 刘岩生,苏义脑. 探井地层孔隙压力计算[J]. 石油钻采工艺, 2000, (5): 6-9, 83.
- [9] 陈子剑,邓金根,蔚宝华. 探井孔隙压力复合预测方法研究[J]. 特种油气藏, 2016, 23(1): 25-27, 145, 152.
- [10] 付素英,贾维慎. 地层压力随钻监测计算方法改进[J]. 录井工程, 2005, (4): 48-53, 83.
- [11] 于海. 地层压力预测技术现状及发展趋势[J]. 化工管理, 2016, (14): 134.
- [12] 刘鹏举. 井喷事故分析与气体扩散研究[D]. 湖南湘潭: 湖南科技大学, 2009.
- [13] 杜钢,于洋飞,熊朝东,等. 钻井井喷失控因素分析及预防对策[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(2): 120-125.
- [14] SY/T 5053.2—2007, 钻井井口控制设备及分流设备控制系统规范[S].
- [15] SY/T 6426—2005, 钻井井控技术规程[S].
- [16] 焦贵菊. 复杂地层固井技术存在的问题与研究方向[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 32(6): 83.
- [17] 黄柏宗,谢承斌,蔡久能. 深井固井的若干问题[J]. 钻井液与完井液, 2003, (5): 51-54, 77-78.
- [18] 李大奇,康毅力,刘修善,等. 基于漏失机理的碳酸盐岩地层漏失压力模型[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 900-904.
- [19] 王中华. 复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J]. 中外能源, 2014, 19(1): 39-48.
- [20] 王小玉. 关于小井眼钻井技术的发展趋势研究[J]. 石化技术, 2015, 22(8): 252.
- [21] 刘美玲,朱健军,李杉,等. 小井眼钻井提速技术在徐深气田的试验与分析[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(4): 438-441.
- [22] 林瀚,张浩. 井控技术理论在小井眼钻井中喷漏问题探究[J]. 化学工程师, 2017, 31(3): 59-62.