

小口径岩心钻探技术在页岩气 地质调查井中的应用分析

刘 治

(山东省第三地质矿产勘察院, 山东 烟台 264004)

摘要:通过分析页岩气地质调查井的目的与要求,确定小口径岩心钻探技术在此领域的适用性。从页岩的物理化学特征以及页岩气气藏特点着手,开展对小口径岩心钻探技术应用于此领域的技术研究。从设备的选择、管理、技术三个方面分析此时小口径岩心钻探技术异于常规情况的要点控制,以保证页岩气地质调查井实施的经济性与安全性,促进小口径岩心钻探技术体系的进一步完善。

关键词:页岩气勘查;小口径钻探;岩心钻探;井控

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2017)09-0032-06

Application Analysis on Small Diameter Core Drilling Technology in Shale Gas Geological Exploration Well/LIU
Zhi (The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China)

Abstract: By analyzing the purpose and requirements of the shale gas geological exploration well, the applicability of small diameter core drilling technology in this field is determined. Proceeding from the physical and chemical characteristics of shale and shale gas reservoir, the technical research on small diameter core drilling technology applied in this field is carried out. The analysis on the main points control is made for small diameter core drilling technology differing from conventional situation processing from equipments selection, management and technology to ensure the economy and safety of shale gas geology exploration well and further improve the small diameter core drilling technology system.

Key words: shale gas exploration; small diameter drilling; core drilling; well control

0 引言

页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层中,以吸附和游离状态为主要存在方式的非常规天然气,成分以甲烷为主,是一种清洁、高效的能源资源^[1]。

近几年,页岩气作为新能源成为世界能源研究的热点之一,其勘探开发在世界范围内轰轰烈烈的开展。除北美以外国家,我国的勘探与开发处于世界领先地位。但由于我国页岩气勘探开发起步较晚。目前存在页岩气勘探开发的关键技术未成熟、市场环境差,开发成本与收益悬殊以及政府对页岩气开发的补贴力度与市场准入的开放程度不够等诸多问题,造成我国页岩气勘探开发未形成大规模的产业化、商业化,依然处在起步阶段^[2]。

该阶段,我国页岩气勘探开发依然需要蓄力,除研发先进的钻采技术与改善市场环境外,还应进一步深入对页岩气资源基础理论的研究,对有利目标

区进行优选及资源量评价。而这项工作需要实施大量的页岩气地质调查井,通过获取岩心——实物资料从而获取有关的地质参数。

目前,随着矿业投资的减少,常规钻探工作量的下滑,页岩气地质调查井成为了钻探市场的主要任务之一。岩心钻探施工队伍根据市场需求,也随之进行了产业上的调整。而如何在页岩气地质调查井中安全、经济、高效地钻取岩心则是每个转型队伍需要面临与研究的问题。

1 页岩气地质调查井的特点

1.1 一般要求

页岩气调查井是页岩气基础地质调查的一种手段,是以了解富有机质泥页岩垂向分布、厚度,获取有机地化、岩石矿物、含气性等基本参数部署为目的的机械岩心钻探。深度一般小于 2000 m(但目前,一些页岩气有利区域已实施 2000~3000 m 钻井),

收稿日期:2017-01-20;修回日期:2017-07-18

作者简介:刘治,男,汉族,1987年生,勘查技术与工程专业,从事岩心钻探技术应用与生产管理,山东省烟台市芝罘区机场路271号,373273034@qq.com。

完孔直径 $>75\text{ mm}$ 。几乎要求全孔取心,目的层岩心采取率达到85%以上,附有煤炭测井和气测录井等。

1.2 小口径岩心钻探在页岩气地质调查井实施过程中的适用性

(1)基于我国页岩气勘探开发的阶段。我国页岩气勘探开发还处于起步阶段,此阶段要求我国对页岩气资源进一步加强认识,完善全国范围内的系统评价与调查,丰富页岩气储层地质理论、优化与评价页岩气有利区域等。在经历野外地质调查、重磁电页岩气物探调查、二维地震调查等地表调查手段后,必须采取以地下取样的方式进行验证。而地下岩心取样相较于岩屑取样更具有完整性与保真性,更能准确地划分地层与反应地下地质情况等。通过与井内地球物理测井相互印证,得出的科学数据更加准确。

(2)实施成本较低,经济效益好。页岩气地质调查井要求配有地球物理测井。目前岩心钻探对应的H口径,完井直径可以为95或98 mm,完全满足测井仪器的下放要求。并且该口径的绳索取心技术十分成熟。相对于石油钻井的提钻取心,岩心钻探所投入的设备、人员、物资相对较少,成本仅为石油钻井的 $1/4\sim 1/3$ 。面对国家财政资金投入有限的困境,选择岩心钻探作为地质调查井的实施手段,也是一种资源最优化配置的选择。

(3)易于实施施工。相对于石油钻井工程,小口径岩心钻探施工所需要的设备、管材、工具的外形尺寸、质量较小,对场地及道路运输条件的要求较为简易,几乎在所有页岩气的地质调查范围均可采用,受地形地貌的影响较小。

(4)独特的取心优势。①取心效率高,采取绳索取心技术,可以实现连续取心,减少取心操作时间与辅助时间;②取心操作时间较短,可以满足一些保真科学实验的实施要求。

2 小口径岩心钻探技术应用于页岩气地质调查井的影响因素

页岩气地质调查井以泥页岩地层为实施对象,以发现、分析页岩气资源为目的。因此,在实施的过程中,应在考虑泥页岩地层特点的基础上,分析页岩气气藏特点,带有预防性质的提出具有针对性的技术措施与管理模式,以保证施工的安全性与成功率。

2.1 页岩物理化学特征的影响

页岩是一种沉积岩,成分复杂,除粘土矿物(如高岭石、蒙脱石、水云母等)外,还含有许多碎屑矿物(如石英、长石、云母等)和自生矿物(如铁、铝、锰的氧化物与氢氧化物等)。是由粘土物质经压实作用、脱水作用、重结晶作用后形成,具有薄页状或薄片层状的节理。

(1)页岩表现为脆性易裂碎,抗风化能力弱。多数情况下页岩的普氏硬度系数 $1.5\sim 3$,结构比较致密者,其普氏硬度系数可以达到 $4\sim 5$,属于软岩或中硬岩石。

(2)根据形成岩石时沉积情况的不同,页岩的塑性指数为 $5\sim 23$,属于粉土、粉质粘土和粘土范围。

(3)不同的页岩,其化学成分指标也是不一样的,自然界存在的页岩,其化学成分含量变化也是比较大的。一般情况下,页岩的 SiO_2 含量在 $45\%\sim 80\%$, Al_2O_3 含量在 $12\%\sim 25\%$, Fe_2O_3 含量在 $2\%\sim 10\%$, CaO 含量在 $0.2\%\sim 12\%$, MgO 含量在 $0.1\%\sim 5\%$ 。

由以上可以分析得知页岩对小口径岩心钻探应用的影响有:

(1)页岩受构造影响后,破碎为脆性破碎。

(2)为亲水性岩石,属于软—中硬地层,吸水后可塑性较强。

(3)岩石表现为各向异性。

根据岩石可钻性分级,页岩可钻性为4级。

2.2 页岩气藏的分布及特征的影响

根据董大忠^[3]等的研究成果,我国页岩气主要储存于海相、海陆交互相以及陆相3类有机质泥页岩。我国三大类型页岩分布情况及特点参见表1。

通过对不限于以上页岩气气藏资料的收集、整理与研究,分析页岩气气藏对小口径岩心钻探施工的影响有如下几个方面。

(1)页岩气藏是“自生自储”式气藏,且储层为页岩,岩性脆多天然裂隙发育。吸附态与游离态的页岩气往往会因为压力释放等原因蕴藏于裂隙中。当钻遇此处,页岩气会在储层破坏时得以释放于外界。页岩气作为一种非常规的天然气,其主要成分是烷烃,此外还有硫化氢、二氧化碳、氮等。其中硫化氢是一种急性剧毒气体,低浓度时会对人体造成伤害,高浓度时短时间就可致人死亡。因此,页岩气

表 1 我国三大类型页岩分布情况及特点

类型	主要分布区域	成 藏 地 质 特 征	
		优 势	劣 势
海相页岩	四川盆地及周缘、中-下扬子地区等广大南方地区及塔里木盆地等中-西部地区,以上奥陶统五峰组-下志留统龙马溪组、下寒武统筇竹寺组及其相当层位为重点	中国海相页岩具有时代老、盆地内埋深大、盆地外改造强、热成熟度高等特征	经历构造运动多,褶皱、断裂、剥蚀等作用使其页岩气保存条件差异性大
海陆过渡相页岩	四川盆地及周缘、中-下扬子地区等南方地区、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地等北方地区	构造稳定,埋深适中,上覆盖层好,受盆地类型和成烃作用控制,地层超压区有利于页岩气富集,为最佳“有利区”	连续厚度小、单层厚度薄、页岩岩相变化大、常与煤岩、致密砂岩等互层或横向变化
陆相富有机质页岩	中国含油气盆地,包括松辽盆地、渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地等,以三叠系-侏罗系、白垩系(青山口组)、古近系-新近系(沙河街组)为重点层系	①深水—半深水湖盆中心和斜坡区页岩发育、分布广;②页岩总厚度大,集中段较发育(一般为 20~200 m);③有机质丰度高(2.0%~8.0%),有机质类型好(腐泥型—偏腐殖混合型为主);④构造简单,地层超压,保存条件好	①有机质热演化程度低(R_0 介于 0.5%~1.3%),以生油为主,成气有限;②页岩粘土矿物含量高,脆性矿物含量低,脆性相对较差;③有机质孔隙不发育,物性总体偏低;④生气范围小(约占有效页岩面积的 10%~30%),埋深较大

勘探开发中不仅要防燃防爆炸,还要预防硫化氢中毒。

(2)页岩气藏通常具有异常压力。一般而言,热成因的页岩气藏一般以高压为主要特征,而生物成因的页岩气藏则一般以低压为主。而无论高压与低压都会给钻探施工增加难度,如地层高压会引发井喷事故;异常低压则会发生井漏。

(3)气藏分布广泛,地表条件复杂,地形地貌形态多样。施工地点从丘陵到平原,从沙漠到高原,环境跨度较大。

(4)埋深偏大,以埋深 >3500 m 为主^[4]。

3 小口径岩心钻探技术在页岩气地质调查井实施过程中可遇问题分析与技术研究(见表 2)

表 2 小口径岩心钻探技术在页岩气地质调查井实施过程中可遇问题分析与技术研究

项目分类	问 题 分 析	对 地 质 调 查 井 实 施 的 要 求	技 术 控 制 方 向
气藏特点	页岩气藏通常具有异常压力	防止井喷与治理井漏	井控技术与堵漏方案
	页岩气主要以吸附态或游离态赋存,储层多存在天然裂隙	注意大量页岩气外逸发生的可燃或爆炸、防止硫化氢中毒与钻杆氢脆,防止高压气的喷射造成的人体伤害	安全管理,着重防硫化氢技术
	页岩气分布范围广,地表条件复杂	施工场地要求小,设备搬迁简便	设备选型、定向技术
地层特点	亲水性能良好,易水化膨胀	抑制页岩水化膨胀,防缩径坍塌;抑制页岩因地层压力释放的蠕变	冲洗液类型选择
	粘土矿物含量高,易造浆	加强固控处理,实现绿色勘探	冲洗液技术
	易破碎,表现为脆性破坏	减少钻杆对孔壁的扰动	钻柱级配选择、钻头施压类型
	地层表现出各向异性的特点	保证钻孔轨迹符合要求	钻孔轨迹控制技术
科研要求	地球物理测井	钻孔终孔直径 >95 mm	井身结构
	荧光录井或油气检测	避免冲洗液对检测结果的影响	冲洗液添加剂的选择
	岩心真实反映原始地层情况	岩心不受冲洗液的污染	取心技术;保真取心技术

4 小口径岩心钻探技术在页岩气地质调查井中的设备选择

4.1 钻机

在页岩气地质调查井的施工中,以传统的立轴钻机为主。立轴钻机在小口径岩心钻探中使用多年,设备已相当成熟。不仅具有尺寸小、质量轻、可拆卸有利于搬运等独特优点,且造价低、维修方便,具有良好的经济效益。根据井深的设计,施工的立轴钻机以 XY-6 型以上为主,至少满足 Ø95 mm 口径可钻进 1200 m 的生产能力。随着市场竞争,为应对地质设计加深的可能与提供增值服务,XY-8 型

钻机的使用比例逐渐增大,近几年达到了 80% 以上。虽然立轴钻机在页岩气地质调查井的施工中广泛应用,但是仍然存在一定的使用问题。如根据地质要求与施工设计,不可避免的要进行大口径(≥122 mm)大钻深大间隙的设计,以保证钻孔成孔与固井的要求。立轴钻机为地面传动加压设置,动力传输始终有限,且端部传动造成钻杆自转磨损与受力不匀,较孔底动力方式,更加容易发生断钻事故。

此外,在页岩气地质调查井施工中也有采用石油钻机的,以此为基础再根据绳索取心技术进行机具的调整与创新。这虽然解决了钻探能力不足与规避了部分断钻风险,但所需管材、设备增多,且存在

一定的尝试性,经济效益较低,施工周期增加了不定性。也较容易受场地与交通条件的限制。

除此之外,国内现已研发出适用于小口径岩心钻探与大口径岩屑钻探的顶驱钻机,该钻机智能化、数字化和自动化程度高,具有现代化的钻进参数检测与监控系统,已经过多个深孔实施的验证,将是以后深度地质钻探的首选装备。

4.2 钻塔

钻塔的选择要综合考虑以下几个方面。

(1)安装安全、方便。在场地受限的情况下,首先应考虑起塔安装方便的四角型钻塔;其次根据施工设计情况,选择四角型钻塔的类型,如钢管、角铁。

(2)承受的荷载能力。在页岩气地质调查井实施设计中要着重考虑吸附卡钻或埋钻事故。处理此类事故都需要强力提拔,因此要考虑钻塔承受荷载的能力。

(3)劳动强度与提钻效率问题。根据孔深考虑立根的长度,进而选择塔高,以降低劳动强度与提高提钻效率。

(4)基座与井控装置的配合。目前页岩气地质调查井施工除了采用地热井钻塔外,一般是施工单位根据钻塔自行加工基座,形成二层台,以满足防喷器安装的需要。图 1 为华地一井的钻塔基座现场照片。



图 1 华地一井的钻塔基座现场照片

4.3 泥浆泵

泥浆泵的选择要综合考虑施工过程中的两种情况。

(1)正常施工过程中,主要考虑冲洗液的流态,通过泵量与冲洗液性能的结合,提高清理大岩屑(钻杆对孔壁扰动时页岩水化脱落以及扩孔时产生)的能力,增强上返速度。

(2)当遇到孔内溢流,可能发生井喷时,能够在设备泵压允许最大值的范围内,快速泵送高密度、高粘度的重浆,实施压井。

综合考虑以上两种情况,页岩气地质调查井应采用大泵量、高泵压的泥浆泵。

5 小口径岩心钻探在页岩气地质调查井实施中的要点控制

目前,页岩气地质调查井的施工单位以小口径固体钻探队伍为主。这些队伍在绳索取心方面有着成熟的技术与丰富的经验。但是,页岩气地质调查井不同于普通的固体矿藏的勘探,它兼有着天然气钻井施工的风险,尤其是井控与硫化氢气体预防方面,是固体钻探队伍所不擅长,甚至是从未接触的盲点。

因此,在采用小口径岩心钻探作为页岩气地质调查井的施工手段时,施工队伍在总结自身优势的同时,应积极引入石油钻井工程技术,通过研究、分析、对比两种工艺技术的不同,立足于生产,制定一套适用于页岩气地质调查井实施的小口径岩心钻探生产的管理与技术措施,进而保障工程的安全实施。

5.1 异于常规岩心钻探的管理控制要点

5.1.1 完善 HSE 管理体系

(1)建立健全各级 HSE 管理组织机构、全面识别 HSE 危险源、完善 HSE 风险防范保障体系和运行机制、制定各项应急救援预案与处理方案。这几点要着重建设现场安全管理小组,针对地质风险提示及邻井复杂与事故分析,制定有关井涌、井喷、CO₂、H₂S、火灾及爆炸、环境污染、放射性物质落井及其他有毒物质泄漏等应急预案。

(2)以预防井喷失控、防页岩气火灾爆炸、防硫化氢中毒为重点,开展安全防范教育、现场安全演练、专项检查,使现场施工人员详细了解危害,并熟练掌握自救他救的能力。切实从人员素质上增强钻井作业突发事件的应急处置能力。

(3)严格落实 HSE 资金的投入与使用,按施工要求配备消防器材、H₂S 检测仪、空气呼吸器、井架逃生装置等安全防护用品。严格按照产品的使用说明进行维护、保养、更新,切实保证安全防护用品的可靠性。

(4)根据项目地点的气候、地形、风向等诸多因素,参考《钻前工程及井场布置技术》(SY/T 5466—2013),合理布置施工现场。确保生活区处在上风向、防喷器与放喷管线的布置符合安全要求。

5.1.2 质量管理

页岩气地质调查井多为科研项目,其实施质量的好坏直接影响科学成果的准确性,是验证科学理论与推断的关键。

(1)建立人人参与的质量管理体系、完善质量管理制度、严格落实岗位质量责任与质检制度、健全经济奖惩措施。重点是提高基层施工人员的质量意识,提高其业务水平,保证最基础工作的真实可靠。

(2)主抓质量关键点,制定保证岩心采取率、控制钻孔轨迹、班报表填写、钻井液配制、固井、油气层保护等方面的技术方案,并确定相关责任人与质检人。

5.2 异于常规岩心钻探的技术控制要点

5.2.1 固井技术

小口径岩心钻探在常规中是不存在固井的。在页岩气地质调查井中应用固井技术,主要目的是配合井控要求,进行套管的封固,防止气体从套管与地层之间的环空上窜,确保施工的安全性。因此,在固井方面,小口径岩心钻探主要参考石油天然气行业标准《固井作业规程》(SY/T 5374.1—2006)与《固井设计规范》(SY/T 5480—2007),小口径岩心钻探在页岩气地质调查井中固井作业应注意以下几点。

(1)为避免水泥桥的产生,保证水泥环的强度与界面胶结性良好,必须保证套管与井眼的环状间隙值 ≥ 19 mm。经过国内外实践过且符合页岩气地质调查井井身结构的套管与井眼配合比有: $\varnothing 140$ mm 套管,间隙值在 12.7 ~ 38.1 mm; $\varnothing 127$ mm 套管,间隙值在 11.1 ~ 19.1 mm; $\varnothing 114$ mm 套管,间隙值在 17.5 ~ 20.6 mm。

(2)重视固井设计。固井设计的重要基础数据应从多种信息渠道获得验证。固井设计方案应从井身质量、井眼稳定、井底清洁、钻井液和水泥浆性能、固井施工等方面全面考虑,确保施工安全和固井质

量。在小口径岩心钻探应用于页岩气地质调查井的实施过程中应重点管控固井套管的壁厚、水泥浆的上返高度、固井设备的选择、作业过程的监控等。

(3)固井后,应进行固井质量评价与套管试压。

总之,对于小口径岩心钻探方法来说,固井技术是较为陌生的。最好的解决方法应该是雇佣专业的固井队伍,并按照石油天然气行业标准进行实施。

5.2.2 井控技术

石油钻井工程井控技术经过多年的研发与实践已十分成熟,井控设计的内容包括井身结构、井控装备、钻井液、井控措施等方面。这几个因素协调统一、关联密切。而小口径岩心钻探因以往应用领域的原因几乎没有井控要求而无井控设备的研发。在此,只能选择可适用于生产的石油钻井井控装备,并以此为基础,根据地层情况与施工环境,进行井身结构与井场布置,设计井控措施。

(1)根据地层压力选择合理的井控装置。页岩气地质调查井一般选用压力级别为 35 MPa 的公称通径为 $7\frac{1}{16}$ in (180 mm) 的防喷器,其适用套管直径为 114.3 ~ 177.8 mm。此规格完全适用于小口径岩心钻探的施工方法。

(2)参照《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》(SY/T 5964—2006),进行安装、调试。安装完毕后一定要进行全套设备的现场试压。

(3)加强井控设备的日常检查,严格按照防喷器等井控装置的使用说明书进行维护与保养

(4)制定一套适用于小口径岩心钻探方法的关井程序与压井的技术措施。

(5)按照井控设计,严格储备用于井控的材料物资,如石灰石、重晶石粉、堵漏材料等。

5.2.3 防硫化氢技术

(1)在工程设计时,应提前交底,提醒施工人员注意。另外加强对录井工作结果的分析,及时进行地层对比,提出可靠的地层预警。

(2)井场布置要求钻井设备的安放与盛行风风向一致,场地尽可能空旷,有风吹过。必要时使用风扇或鼓风机进行一定方向的吹风。

(3)施工管材的选用应考虑硫化物腐蚀的影响,应采用厚壁钻杆,且要求硬度最大为 HRC22。

(4)合理设定监测设备的警报值,声音报警与灯光报警应满足整个井场的警示要求。

(5)加强可能存在硫化氢场所的日常检查,检

查内容为:风向标、报警器、检测仪、空气呼吸器等。

(6)加强对钻井液的观察,提前做好清除硫化氢的处理方案。

5.2.4 钻井液技术与油气层保护

钻井液除了满足护壁堵漏、冷却钻头、清理孔底等基本性能外,在页岩气地质调查井中还应注意以下几点。

(1)据随钻压力监测资料确定合适的钻井液相对密度,以保证油气显示的敏感性、真实性和活跃性。

(2)落实油气层保护措施,合理选择泥浆类型及参数。除特殊原因,不能加入对测、录井有影响的含有机物处理剂,严禁加入影响荧光显示的钻井液材料;禁止混入原油、成品油及有碍油气录井的泥浆材料。如使用,必须处理到符合录井要求。

(3)尽可能缩短泥浆浸泡时间及完井作业时间,减少钻井液对油气层的浸泡及污染。

(4)目的层井段发生井漏时,既要提前做好预防,积极采取防漏措施,又要防止“堵死”产层通道,严禁使用永久性堵漏材料。

(5)钻井液的选择,应满足井控要求与硫化氢防护要求。

(6)在采取一定措施下,可以实现钻井液的循环再利用。

6 结语

综上所述,小口径岩心钻探方法完全可以满足页岩气地质调查井的实施目的与要求。由于页岩气地质调查井具有一定的独特性,小口径岩心钻探施工方法需要不断地完善与改进,以确保更好的适用性。

下一步的页岩气开发工作将更加具有针对性的勘查,尤其是对有利区域的进一步优选以及产能范围的圈定,此时的调查井施工钻遇页岩气的可能性将急剧增大,因此应尽快完善与总结小口径岩心钻探在页岩气地质调查井中的应用经验,形成一套科学、有效、安全的规程或规范,指导该领域的发展,避免较大安全事故的发生。

面对下行的地质经济,相关单位应站在自身现

有的条件下,研究分析如何以最小的成本通过改良技术或创新思路在页岩气地质调查领域中获得最大的经济效益,加强研发配套的设备与技术,由尝试性施工向科学化转变。

参考文献:

- [1] 汪民. 页岩气知识读本[M]. 北京:科学出版社,2012:1.
- [2] 张廷山,赵国安,陈桂康,等. 我国页岩气革命面临的问题及对策思考[J]. 西南石油大学学报(社会科学版),2016,18(2):1-8.
- [3] 董大忠,王玉满,李新景,等. 中国页岩气勘探开发新突破及发展前景思考[J]. 天然气与工业,2016,36(1):19-32.
- [4] 张金川,姜生玲,唐玄,等. 我国页岩气富集类型及资源特点[J]. 天然气工业,2009,29(12):109-114.
- [5] 卢予北,陈莹,邢向渠,等. 沉积地层石油钻井+绳索取心“二合一”钻探技术理念与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):171-174.
- [6] 向昆明,尹亮先,李胜,等. 重庆页岩气参数井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(11):31-33.
- [7] 卢予北,吴烨,陈莹. 页岩气钻探关键技术问题分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):27-31.
- [8] 卢予北,张林霞. 页岩地质特征及钻井液选择[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社,2015:416-423.
- [9] 朱恒银,王强,张正,等. 大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):160-164.
- [10] 蒋国盛,王荣璟. 页岩气勘探开发关键技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(1):3-8.
- [11] 陈宁,彭步涛. 贵州页岩气调查评价井钻探施工技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):260-265.
- [12] 张伟. 大陆科学钻探施工用钻探技术和施工战略[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2002,(3):58-61.
- [13] 王达,李艺,周红军,等. 我国地质钻探现状和发展前景分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):1-9.
- [14] 张金昌. 钻探技术新进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):11-18.
- [15] 孙建华,王林钢,梁健,等. 深孔小直径绳索取心钻进施工调研分析和技术建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):12-17.
- [16] 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.
- [17] 袁波,王振福. 岩心钻机从事煤层气勘探 HSE 管理尝试[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(2):79-81.
- [18] 汤士博,熊伟,彭万利,等. 加强钻探工程管理工作的措施和建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(8):68-70,79.