

大直径加重管绳索取心技术在页岩气勘探中的应用研究

朱恒银, 王强, 张正, 蔡正水

(安徽省地质矿产勘查局313地质队, 安徽六安237010)

摘要:根据页岩气、煤层气勘探对钻探技术的特殊要求,进行了大直径绳索取心技术的探索研究。文中重点介绍了加重管组合式绳索取心钻具的结构、作用原理及特点,以及施工试验效果。通过施工实践的启示,对大直径绳索取心技术的发展提出了几点认识。

关键词:大直径;绳索取心技术;页岩气勘探

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2016)10-0160-05

Application Research on Large Diameter Weighted Combined Wire-line Coring Technology for Shale Gas Exploration/ZHU Heng-yin, WANG Qiang, ZHANG Zheng, CAI Zheng-shui (313 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Lu'an Anhui 237010, China)

Abstract: Based on the special requirements of drilling for shale gas and coalbed gas exploration, the research is carried out on large diameter wire-line coring technology. This paper mainly introduces the structure, action principle, characteristics and drilling experiment effects of weighted combined wire-line coring drilling tools. Through the construction practice, the paper gives out some ideas on the development of large diameter wire-line coring technology.

Key words: large diameter; wire-line coring technology; shale gas exploration

0 引言

能源是现代社会的动脉。人类利用能源经历了高碳、中碳到低碳的过程,并将逐步发展到无碳时代。当今已进入了低碳能源时代,而天然气的利用是实现低碳能源的最佳选择^[1]。全球能源供给将由煤炭和石油为主,转变为清洁环保的天然气。天然气主要来源于地下页岩、煤层、含碳质岩层、天然气水合物等地层中,其资源潜力很大^[2-3]。近年来,我国对清洁能源的勘探开采利用十分重视,尤其对页岩气的勘探开发方兴未艾。页岩气属于非常规天然气,它赋存于页岩和致密砂岩中,通过压裂等方法才能释放气体^[4-5]。

页岩气勘探阶段,一般都需要取心钻探,对所取的岩心进行气体总量和多项参数实验测试分析及井眼含碳量(TOC)测定,以获取天然气储层的厚度、储量及开发方法。页岩气勘探与普通钻探相比,对钻探技术要求较严,需要岩心采取率高,岩心直径大,采取岩心速度快^[6-7]。针对页岩气勘探钻探的特殊

要求,我们进行了大直径绳索取心技术的探索与研究,并在浙江临安页岩气勘探区块LC01参数孔中进行了试验,钻孔深度达到了2328.18 m,取得了良好的应用效果。

1 问题的提出

页岩气、煤层气勘探大多在沉积岩和海相地层中,该类地层稳定性差,钻孔易出现缩径、超径、坍塌、掉块、剥落、吸附卡钻等现象^[8-9]。在该类地层钻进,一般选择提钻取心工艺。若选择目前常规满眼绳索取心工艺,易造成钻具卡埋、缩径抱钻、超径钻杆折断等事故;高粘度泥浆的使用在钻孔小环空间隙条件下,提下钻时易引起抽吸作用,破坏孔壁的稳定性;同时,钻孔小环空间隙制约了大泵量钻进工作条件,且冲洗液上返阻力大、流速慢,加剧钻杆内壁泥垢的形成,不利于内管投放和打捞^[10]。由此可见,按照小口径绳索取心钻探技术理念,是难以实现页岩气、煤层气勘探钻探的特殊要求。

收稿日期:2016-06-29

基金项目:安徽省重点科技攻关项目“页岩气勘探钻探关键技术方法研究”(编号:1604a0802119)

作者简介:朱恒银,男,汉族,1955年生,副队长、副总工、教授级高级工程师(二级),全国劳动模范、全国优秀科技工作者、李四光地质科学奖获得者,安徽省学术和技术带头人,享受国务院特殊津贴,探矿工程专业,从事特种钻探及深部钻探施工技术研究与应用,安徽省六安市佛子岭路8号,zhyhome_313@163.com。

页岩气、煤层气由于钻探过程中,需要测井、录井、岩心现场解析等,实验测试项目繁多,所以按照页岩气钻井技术规程要求^[11]:岩心直径 ≥ 60 mm;目的层岩心采取率 $\geq 90\%$;钻探口径 ≤ 150 mm(主要满足测井口径);钻孔孔斜率 $\leq 0.5^\circ/100$ m;钻孔最大弯曲度 $\leq 2^\circ/30$ m;2000 m孔深岩心采集至地表时间 ≤ 40 min(满足现场岩心解析要求)。如果满足上述要求,必须对现有的绳索取心钻进技术进行改进和创新性研究,才能达到目的。

2 钻具设计思路和方案

2.1 设计思路

页岩气、煤层气勘探钻孔设计较深,一般在2000 m以深,地层条件较为复杂,钻进时,主要以较高粘度泥浆作为冲洗液,以大排量、大钻压、低转速为特征^[12-13]。所以在大直径绳索取心钻具的设计上,要充分考虑到这些条件因素,设计总体思路是:以成熟的小口径绳索取心钻具结构为基础,扬长避短,优化钻具设计,做到:有较大的钻孔环空间隙,以减小冲洗液上返阻力;采用孔底加压方式,增加钻具的稳定性,改变钻具受力状态,以减少钻杆折断事故;钻杆柱要轻便、强度高、柔性好,以减少钻机回转负荷;金刚石钻头唇部具有接触岩石面积小,排粉通畅,内外保径强等特点,以提高钻进效率和钻头寿命等,从而实现大直径绳索取心技术工艺要求。

2.2 钻具设计方案

2.2.1 钻具结构设计

大直径绳索取心钻具结构设计,钻进口径为152 mm,以 $\varnothing 122$ mm绳索取心钻具结构为基础,采用 $\varnothing 114$ mm绳索取心钻杆+加重管钻具组合方式。其结构与作用原理如图1所示。

组合钻具连接方式(自下而上): $\varnothing 152$ mm钻头+绳索取心双管钻具总成+ $\varnothing 140$ mm加重管+ $\varnothing 127$ mm过渡钻杆+扶正器+ $\varnothing 114$ mm绳索取心钻杆。钻具设计主要技术参数如下。

(1)绳索取心双管钻具总成:外管 $\varnothing 140$ mm \times 19 mm,内管总成与SP($\varnothing 122$ mm口径系列)绳索取心内管总成结构基本一致。回次取心定尺长度为3、6 m。

(2)加重管:ZT850钢, $\varnothing 140$ mm \times 19 mm,定尺每根长度9 m,质量56.7 kg/m,13根,总长117 m总质量6.63 t。

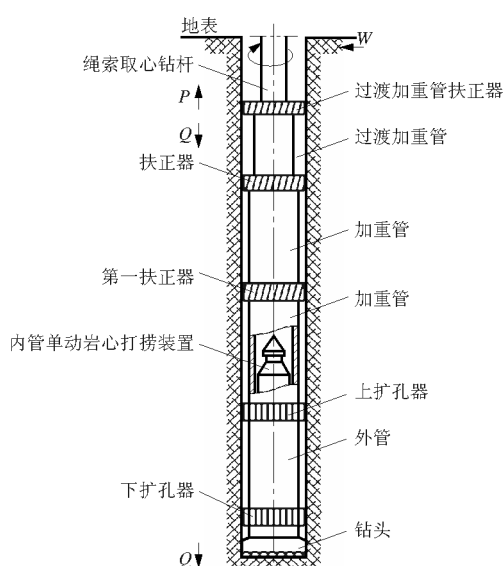


图1 大直径加重管组合绳索取心钻具结构及作用原理

(3)加重管扶正器:外径150 mm,长度300 mm,设计为螺旋水槽、合金或聚晶保径,每根加重管之间连接一个。

(4)过渡钻杆:G105钢, $\varnothing 127$ mm \times 12.5 mm,定尺长度6 m,1根。

(5) $\varnothing 114$ mm钻杆:45MnMoB合金钢, $\varnothing 114$ mm \times 6.35 mm,定尺长度4.5 m。

(6)钻具螺纹:加重管、过渡钻杆及扶正器连接螺纹采用API钻铤规格接头螺纹, $\varnothing 114$ mm钻杆采用梯形负倒角螺纹。

(7)钻头与扩孔器:钻头公称外径152 mm,内径80.5 mm,钻头磨料为金刚石或复合片,内外保径采用粉末金刚石或聚晶。钻头结构如图2、图3所示。扩孔器外径152.5 mm,采用聚晶保径。

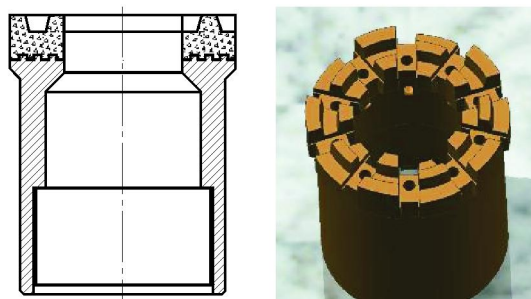


图2 交替式底喷金刚石钻头

2.2.2 钻进设定技术参数

- (1) 钻孔适应深度:3500 m以浅;
- (2) 钻孔终孔口径: $\varnothing 152$ mm,岩心直径80.5 mm;
- (3) 钻进机械转速:180~300 r/min(线速度:

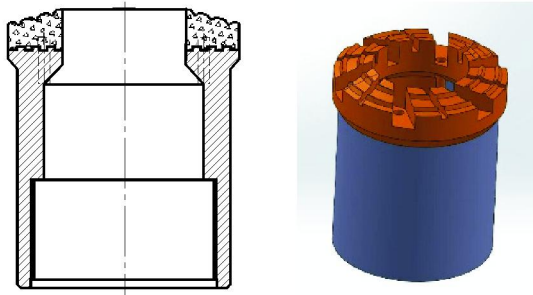


图3 螺旋齿阶梯式底喷金刚石钻头

1.43 ~ 2.39 m/s);

(4) 孔底钻压: 30 ~ 35 kN;

(5) 冲洗液排量: 400 ~ 500 L/min。

3 生产试验

大直径绳索取心技术研究,是安徽省重点科技攻关项目《页岩气勘探钻探关键技术方法研究》内容之一,由安徽省地矿局313地质队主持承担。该项目于2014年9月开始在页岩气勘查参数孔浅孔中试验,后于2015年4月开始在浙江临安页岩气深孔勘查参数孔LC01中进行生产试验。

3.1 LC01孔施工要求与地质条件

3.1.1 钻探施工要求

钻孔设计孔深2520 m;终孔口径 ≤ 150 mm;全孔取心,岩心直径 ≥ 80 mm;钻孔孔斜率 $\leq 0.5^\circ/100$ m;钻孔进行录井、测井及现场页岩心解析等工作。

3.1.2 施工地质条件

LC01孔钻进所穿入地层较为简单,上部0~1506 m主要为灰色钙质泥岩,下部为碳硅质页岩,地层局部有超径和缩径、掉块现象,可钻性6~7级;1506~2328.18 m为花岗岩,地层较为完整,可钻性8~9级,部分含石英可达10级。典型岩心如图4所示。

3.2 主要设备选择

钻机:TDQ-3000型变频永磁电动直驱式顶驱钻机(北京探矿工程研究所研制初试钻机),如图5所示;钻塔:40 m高K型;泥浆泵:TWB-850/5A型;现场泥浆净化系统及录井设备。

3.3 钻探施工工艺

3.3.1 钻孔结构

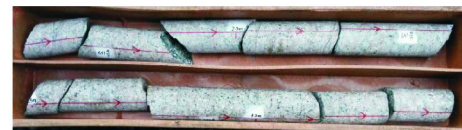
LC01孔一开口径450 mm,钻进孔深10.33 m,下 $\varnothing 426$ mm表层套管固井, $\varnothing 426$ mm套管内下入 $\varnothing 203$ mm活动套管;二开采用 $\varnothing 152$ mm口径到底。考虑后期扩孔 $\varnothing 216$ mm的预留口径,视钻孔



(a) 灰色钙质泥岩



(b) 含碳硅质页岩



(c) 花岗岩

图4 LC01孔典型岩心图



图5 TDQ-3000型变频永磁电动直驱式顶驱钻机

取心情况,决定是否进行下技术套管射孔压裂试验。钻孔结构如图6所示。

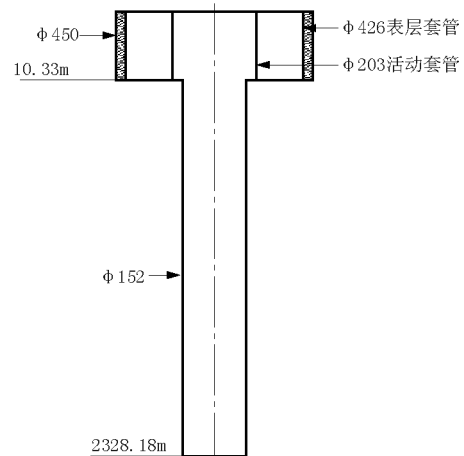


图6 LC01孔钻孔结构图

3.3.2 钻进方法

一开采用 $\varnothing 190$ mm 牙轮钻头钻进至 5.69 m,换 $\varnothing 152$ mm 金刚石钻具取心至 14.74 m,以了解风化层深度,后采用 $\varnothing 450/152$ mm 导向牙轮钻头扩孔至 10.33 m 孔深,下入 $\varnothing 426/203$ mm 表层套管及活动套管。二开 10.33 ~ 2328.18 m 采用 $\varnothing 152$ mm 金刚石绳索取心钻进。二开钻具组合方式见图 1。

3.3.3 钻头选择

钻孔一开后,进行全取心钻进至终孔。钻头选择热压孕镶钻头,钻头胎体硬度 HRC20 ~ 30。由于钻头唇部厚度达 36 mm,比常规钻头底唇厚度增加 1.3 倍以上,为了提高钻头钻进效率和寿命,对钻头唇部形状进行特殊设计,主要以减小钻头底唇面面积,增加中心部位排粉、冷却性能,增强钻头内外径保径等措施, $\varnothing 152$ mm 钻头底唇形状见图 2。

3.3.4 钻进泥浆选择

根据所钻岩层的复杂程度,LC01 孔钻进与护壁主要选择低固相高分子聚合物类泥浆,加入 GLUB 润滑剂。泥浆密度控制在 $1.05 \sim 1.07$ g/cm³,粘度 25 ~ 30 s,滤失量 7 ~ 10 mL/30 min。

3.3.5 钻进参数

$\varnothing 152$ mm 绳索取心钻进各孔段钻进参数选择如表 1 所示。

表 1 $\varnothing 152$ mm 取心钻进各孔段钻进参数

孔深/m	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)	泵压/MPa	地层
0 ~ 1000	20 ~ 30	162	525	0 ~ 1.5	钙质泥岩
1000 ~ 1500	20 ~ 30	120 ~ 162	525	1.5 ~ 2.5	碳质页岩
1500 ~ 2328.18	25 ~ 35	90 ~ 110	525	2.5 ~ 3.0	花岗岩

注:施工选用的 TDQ3000 型变频永磁顶驱钻机,由于顶驱系统存在问题,实际钻进采用钻机转盘钻进,转盘转速变速范围设计在 0 ~ 162 r/min,所以钻进最高转速只能选择 162 r/min。

3.4 生产试验应用效果

3.4.1 主要技术经济指标完成情况

LC01 参数孔于 2015 年 4 月 9 日正式开钻,至 2016 年 2 月 1 日完钻,历时 298 天,实际终孔孔深 2328.18 m(因达到地质目的提前终孔),终孔口径 152 mm,岩心平均采取率为 98.55%,终孔顶角 7.4°,各项质量及技术指标完全满足地质设计要求,评定为优质钻孔^[14]。

钻孔最高台月效率 517.24 m,平均台月效率 257.54 m,孔深与台月效率关系如图 7 所示。

该孔纯钻进时间率 54.24%,事故率 5.1%,

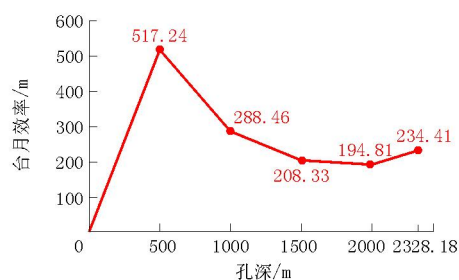


图 7 孔深与台月效率关系曲线

提下钻时间率 12.59%,设备维护率 4.22%,内管投放与取心 20.13%,其他辅助时间率 3.72%,钻孔施工作业时间分析如图 8 所示。

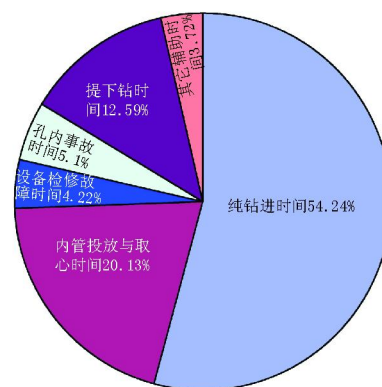


图 8 LC01 孔施工作业时间分析图

3.4.2 主要应用成果

大直径加重管组合绳索取心技术在 LC01 参数孔中的应用,取得了以下方面的成果。

(1) 钻杆与钻孔环状间隙大,大幅度减小了大直径深孔钻进冲洗液上返阻力和对地层的压力。在 2328 m 孔深中钻进,选用 525 L/min 泵量,实际泵压只有 3.0 MPa,如采用 $\varnothing 122$ mm 绳索取心常规满眼钻具,同为 $\varnothing 114$ mm 钻杆在 2000 m 孔深中钻进,选用 120 L/min 的泵量,实际泵压就达 6.5 ~ 7 MPa^[15]。

(2) 实现了加重管孔底加压,钻具孔内受力状况改善,减少了断钻杆事故,同时钻具稳定性好,降低钻孔的孔斜率。如在同一区块与 LC02 孔施工相比,钻孔的孔斜率由 $1.1^\circ/100$ m 降低至 $0.32^\circ/100$ m。

(3) 解决了深孔大直径厚壁金刚石钻头,在低转速条件下钻头效率与寿命及钻头唇部中心部位冷却等技术难题。在转盘钻机低转速(100 ~ 160 r/min)情况下,钻进页岩和花岗岩地层,钻头最高时效达 1.86 m,单钻头最高进尺 283.56 m。

(4) 避免了因测井需要而二次扩孔的重复工作。

(5)首创国内 $\varnothing 152$ mm加重管组合绳索取心钻进2328.18 m最深纪录。

4 启示与认识

$\varnothing 152$ mm加重管绳索取心钻进技术,在浙江临安页岩气勘探区块LC01参数孔中进行试验,试验结果表明:加重管组合式绳索取心钻具设计思路可行,完全满足页岩气、煤层气的勘探要求,为大直径绳索取心钻进技术的研究与发展奠定了基础。通过施工实践及有关钻进技术资料分析,同时得到了以下几点启示和认识。

(1) $\varnothing 114$ mm \times 6.35 mm钻杆体,选用45MnMoB合金钢,两端镢粗调质处理,以锁接头负角度梯形螺纹连接形式,经强度试验,在抗拉力1250 kN,抗扭力27 kN \cdot m情况下没有出现断裂和脱扣现象。所以, $\varnothing 114$ mm钻杆与 $\varnothing 140$ mm加重管组合的 $\varnothing 152$ mm口径绳索取心钻具在垂直孔条件下可以满足3500~4000 m孔深钻进要求。

(2)大直径加重管组合绳索取心钻杆单根定尺长度不宜过短。钻杆接头间距越小,钻杆的刚性越强,柔性不足,易造成钻杆折断事故,建议单根定尺长度 ≥ 4.5 m为好,最好达到6~9 m。

(3)根据加重管组合式绳索取心钻具设计理念的启示,现有系列的同种直径绳索取心钻杆均可衍生3~4级绳索取心系列口径(如表2所示),以减少二次扩孔工序。

表2 加重管组合绳索取心钻具衍生的系列口径推荐表

绳索取心钻杆型号	衍生的加重管组合绳索取心系列口径 (钻进口径/加重管外径)/mm			
$\varnothing 71$ mm	96/91	112/108	122/114	
$\varnothing 89$ mm	122/114	130/122	146/133	
$\varnothing 114$ mm	136/127	146/133	152/140	165/152

表2中 $\varnothing 71$ 、89、114 mm钻杆型号,相对应的绳索取心系列口径分别为76、96、122 mm,衍生的加重管组合绳索取心钻具,其岩心直径保持原系列不变。

(4)大直径加重管组合绳索取心钻具势必增加了钻头的唇部壁厚,改变了钻头的工作环境,导致钻头钻进效率和寿命降低,所以对钻头的结构及工作性能应进行深入的研究,以推动大直径绳索取心钻进技术的推广应用。

(5)大直径加重管组合绳索取心钻具的应用,一般是以低转速、大泵量、大钻压为主要钻进特征。

在钻探中观察发现,在较高泥浆粘度的条件下钻进,钻杆内壁结垢现象较少。分析认为,由于钻进转速低,钻杆的离心力小,降低了钻杆内壁泥垢的形成,同时泵量大,流速高,冲刷钻杆内壁,也破坏了泥垢的聚积。所以大直径加重管组合钻具结构有利于高粘度泥浆条件下钻进、内管打捞和投放。

(6)深孔大直径全孔取心钻进,在钻机的选择问题上,通过LC01参数孔的施工情况表明,选用的钻机只要提升能力及回转扭矩满足要求,对钻机机械转速要求不高,变速范围在0~300 r/min即可。受到这一启发,建议在大直径钻机的研发上,为了降低制造成本,适应野外队的需求,可以研发中转速变频式转盘钻机,钻机的操作系统(工作室)、孔口拧卸装置、送钻系统等可参照动力头顶驱钻机设计理念,省去动力头顶驱装置。这样不仅在大幅度降低制造成本的同时,又可节约施工用电和维修、安装、运输成本,提高钻机的性价比,施工单位也能乐于接受。

参考文献:

- [1] 肖钢,唐颖,等.页岩气及勘探开发[M].北京:高等教育出版社,2012.
- [2] 董大忠,邹才能,等.页岩气资源潜力与勘探开发前景[J].地质通报,2011,30(2):324-336.
- [3] 贾承造,郑民,张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发前景[J].石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.
- [4] 肖洲,邓虎,侯伟,等.页岩气勘探开发的发展与新技术探讨[J].钻采工艺,2011,34(4):18-21.
- [5] 赵杰,罗森曼,等.页岩气水平井完井压裂技术综述[J].天然气与石油,2012,30(1):48-51.
- [6] 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.
- [7] 汪民.页岩气知识读本[M].北京:科学出版社,2012.
- [8] 孙赞东,贾承造,等.非常规油气勘探与开发[M].北京石油工业出版社,2011.
- [9] 张金川,金之钧,等.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [10] 卢予北,吴焯,陈莹.绳索取心工艺在大口径深部钻探中的应用研究[J].地质与勘探,2012,48(6):1221-1228.
- [11] DB43/T 971—2014,页岩气钻井技术规程[S].
- [12] 朱恒银,王强,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
- [13] 孙建华.大深度复杂地层绳索取心钻探技术[J].地质装备,2008,(4):19-21.
- [14] 朱恒银,等.浙江临安页岩气勘查参数井LC01钻探施工竣工报告[R].安徽省地质矿产勘查局313地质队,2016.
- [15] 刘晓阳,李大昌,叶雪峰.中国铀矿第一科学深钻施工概况[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):297-304.

致谢:本项目在施工与试验过程中,得到了唐山金石超硬材料有限公司、北京探矿工程研究所、安徽金泰尔合金新材料有限公司等单位的大力支持和协作,在此一并感谢。