

复杂地层取心钻进堵心原因分析及其预防措施

李鑫森, 李 宽, 梁 健, 尹 浩, 王志刚, 孙建华, 张永勤

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:复杂地层取心钻进时极易发生堵心,严重影响回次进尺长度及取心钻进效率。本文对复杂地层钻进时易出现的堵心问题进行了分析和整理,总结了易堵心地层特征,开展了堵心原因分析,在此基础上,从取心钻头、取心钻具、冲洗液性能及取心钻进工艺方面给出了堵心预防措施。

关键词:复杂地层;取心钻进;堵心;回次进尺;取心钻头;取心钻具;冲洗液

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)12-0012-04

Core Jamming Causes and Prevention in Drilling Difficult Formation/LI Xin-miao, LI Kuan, LIANG Jian, YIN Hao, WANG Zhi-gang, SUN Jian-hua, ZHANG Yong-qin (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Core jamming is susceptible in drilling difficult formation, compromising the coring footage per run and core drilling efficiency seriously. In this paper, with examination and sorting out of various core jams in drilling difficult formation, the properties of core jamming formation are summarized with core jamming causes analyzed. And then the measures to prevent core jamming are presented in terms of coring bits, coring tools, properties of drilling mud and core drilling processes.

Key words: difficult formation; core drilling; core jamming; footage per run; coring bit; coring tool; drilling mud

0 引言

复杂地层是指在成因、构造运动等多种地质作用的综合影响下,形成的节理、片理、松散、破碎、裂隙发育、软硬互层、水敏性强、漏失严重的地层^[1-6],通常地层胶结性、稳定性极差,遇水易膨胀、溶解、剥落,易出现坍塌、掉块、缩径等孔内问题。复杂地层取心钻进时极易出现堵心,起钻时岩心易脱落,岩心采取率普遍偏低。复杂地层钻进时,地质岩心钻探常用的取心钻具包括单动双管取心钻具、单动三管取心钻具等,石油钻井常用的取心工具包括自锁式取心工具、加压式取心工具、加压及自锁双作用式取心工具等^[7-8],上述钻具下部均为双管结构,堵心主要发生在岩心与钻头及内管之间,堵心造成回次进尺短,取心频率高,严重影响取心钻进效率,增加劳动强度及施工成本,钻进过程中若未能及时发现堵心,极易导致磨心,使岩心直径减小,甚至丢心,堵心严重时还会损伤取心钻具。因此,需对堵心问题进行深入分析,为钻具结构、取心工艺的优化找到突破口,有效预防堵心发生,最终提高复杂地层回次进尺长度及取心钻进效率。

1 易堵心地层特征

查阅了大量以往钻孔(井)取心施工文献资料,发现堵心发生的频率很高,笔者将取心施工中易发生堵心的典型钻孔(井)的地层岩性及特征等关键信息进行了整理(见表1),通过对比分析,发现在泥岩、页岩、砂岩、灰岩、砾岩、煤层等不同地层取心钻进时,均发生过不同程度的堵心,部分钻孔(井)堵心严重,且出现频率较高,可见堵心是复杂地层取心钻进时的一个共性问题。另外,从岩心采取的情况来看,取心地层虽然不同,但出现堵心的地层特征有极大的相似之处,地层表现出裂隙发育、松散软弱、破碎严重等特征,均难以形成柱状岩心,岩心多呈碎块或片状,且形状不规则,有些水敏性地层,岩心易发生水化作用,导致岩心吸水膨胀,在多种原因共同作用下导致堵心。

2 堵心原因分析

复杂地层取心钻进时,钻具堵心主要发生在两个位置,一是取心钻头内台阶与内管下端卡簧(岩心爪)及轴向间隙之间;二是岩心与内管之间的某一位置。

收稿日期:2018-07-15

基金项目:国家重点研发计划资助“多金属矿岩心钻探关键技术装备联合研发及示范”(编号:2016YFE0202200)

作者简介:李鑫森,男,汉族,1985年生,机械制造专业,硕士,从事钻探工程科研工作,河北省廊坊市金光道77号,lixinmiaosmile@163.com。

表 1 易堵心地层的岩性及特征

孔(井)号	易堵心地层岩性	易堵心地层特征
WFSD-2 孔 ^[9]	炭质粉砂岩、砂岩、强水敏性泥岩、页岩为主	裂隙发育,地层极其破碎,易吸水膨胀
WFSD-4 孔 ^[10]	钙质变砂岩、炭质板岩为主,夹泥层	破碎极其强烈,部分无胶结、软弱,易吸水膨胀
松科一井(主井) ^[11]	松散砂岩、泥岩、砾岩为主	松散,破碎,软硬互层,易吸水膨胀
JH-1 井 ^[12]	石英质砂岩、泥页岩为主	硬且脆,破碎,软硬互层,易吸水膨胀
牛页 1 井 ^[13]	灰质泥岩、砂岩、页岩为主	破碎,岩性不均,软硬互层,易吸水膨胀
YD 油田钻井 ^[14]	石灰岩、白云质灰岩,夹薄泥层	裂隙发育,破碎,软硬互层,岩性不均,易吸水膨胀
辽河油田钻井 ^[15]	花岗岩、火山岩、角砾岩为主	坚硬,破碎,裂隙发育,岩心成柱性差
高石 X 井 ^[16]	溶洞粉晶云岩、溶洞粉晶角砾云岩为主	裂隙发育,岩心硬脆,软硬互层,岩性变化频繁
建阳 1 井 ^[17]	黑灰色粉晶灰岩为主	岩心裂缝发育,破碎,易垮塌,地层倾角大
B1313 井 ^[18]	煤层	破碎,易垮塌,易吸水膨胀,岩心成柱性差
吉 1 井 ^[19]	砂砾岩、含砾不等粒砂岩为主	裂缝发育,松散,破碎,软硬互层
W83-H109 井 ^[20]	以粗砂岩为主	松散,破碎,软硬互层,岩心成柱性差
INJ-02B 井 ^[21]	浅棕色、灰棕色油浸细砂岩为主,夹薄泥层	松散,破碎,胶结性极差

堵心主要是由于破碎地层产生的岩心外形不规则,同时岩心在钻具的振动作用下开裂、破碎,产生堆积并挤实,加之岩心进入内管速度过缓,给堵心的发生提供了时间;另外,泥岩、页岩、煤层等水敏地层钻进时,岩心吸水膨胀,也是发生堵心的原因之一。卡簧(岩心爪)及轴向间隙之间易堵心,主要是由于此处产生台阶,为堵心提供了便利条件,同时卡簧(岩心爪)内表面设计有增大摩擦力的浅槽或者花纹,破碎、不规则岩心经过此处时阻力大,容易卡住并挤死;内管中间的某一位置易出现堵心,主要是由于内管较长,孔径小,内表面通常不做加工处理,保留管材出厂时的表面质量,表面粗糙度值较大,破碎、膨胀岩心入管时阻力大,同时内管壁薄且长,使用过程中易发生弯曲,使堵心更易发生,不同位置堵心情况如图 1 所示。

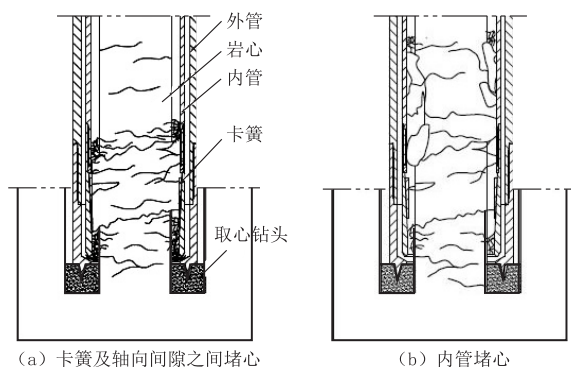


图 1 堵心示意图

3 堵心预防措施

3.1 取心钻头优化

根据复杂地层岩性选取适合的取心钻头类型,

合理优化钻进参数,根据地层情况摸索出最适宜钻速,有效降低堵心发生的机率,使回次进尺长度达到最优,同时也有助于提高岩心采取率。对于松散、破碎、水敏性地层取心钻进时,钻头宜进行隔液设计^[22],采用底喷或侧喷式水路设计。复杂地层取心时,采用阶梯式全隔液钻头^[10],可有效减轻冲洗液对岩心的冲蚀作用,尽量保证岩心的柱状外形,防止在取心的过程中冲散岩心,同时可避免水敏性地层岩心过早发生水化膨胀,造成入心困难,预防堵心过早发生,进而减少提下钻频率,提高回次进尺长度及取心钻进效率。

3.2 取心钻具优化

3.2.1 堵心提示装置

复杂地层取心钻进时,应能及时发现堵心,防止堵心后继续钻进,造成磨心,使真实地质资料丢失。为避免上述情况发生,可在取心钻具中增加可靠的堵心提示装置^[23]。其原理是利用堵心时内管受力并上移,带动阀体运动,最终实现钻具内部某一位置冲洗液过流通道截面积的减小,从而使泥浆泵压力升高,操作人员可从泥浆泵压力表读数的变化判断是否发生堵心,起到直观的提示作用。少数情况下,压力升高也有可能是孔壁缩径、坍塌等原因引起,但只要压力升高到堵心提示装置的设定值,便需立即取心,切不可凭经验继续钻进,防止出现磨心或丢心。

3.2.2 取心钻具内管

内管起到容纳岩心的关键作用,与岩心的接触最为密切,内管性能不佳极易出现堵心。首先内管应具有良好的抗弯性能,防止在取心过程中弯曲,减

轻岩心入管阻力,预防复杂地层发生堵心,有助于提高回次进尺长度。为防止内管弯曲,地表取心时严禁敲击内管,现场宜配备液压或水力出心设备,对内管起到有效保护。取心钻具及内管配件摆放要平整,钻具入孔前要仔细检查内管是否发生弯曲,出现弯曲应及时更换,以免影响复杂地层取心效果。其次,内管内表面可进行涂层减阻处理,以有效预防复杂地层堵心。内管涂层减阻主要目的是降低内管内表面的摩擦系数,使岩心入管时的阻力尽可能小,预防堵心,提高岩心采取率^[24]。目前在耐磨、减阻方面应用较多、性能较好的涂层材料包括钨合金、聚四氟乙烯、类金刚石碳等。涂层制备工艺包括电镀、热喷涂、粘结等。内管减阻涂层主要是利用涂层摩擦系数小的特性,除此之外所选涂层还应具有良好的耐磨性、防腐性、不粘性,附着能力要强,以提高涂层的使用寿命,同时使岩心更容易入管。深孔取心时涂层还应具有良好的耐高温性能。另外,可采用多层衬管差动式设计解堵^[15],发生堵心时,岩心带动第一层衬管剪切销钉并上移,可通过钻压的变化判断是否解堵,合理利用钻具内部空间设计多层衬管,可有效预防堵心。

3.2.3 单动机构

取心钻具内管应设计性能可靠的单动机构。单动性能不良,取心钻进时内管会跟随外管转动,此类转动为公转加自转的复合运动,加之钻具的振动,加速复杂地层岩心的破碎,使破碎、不规则岩心堆积、挤压,导致岩心入管阻力逐渐增大,直至出现堵心。内管跟转还会造成内管与岩心之间、岩心碎块之间的相互磨损,影响岩心采取率,降低内管的使用寿命。提高单动机构的可靠性可从以下几方面入手,首先,可在钻具下部增设可靠的内管扶正装置,回转阻力要小,提高内管与单动机构之间的同心度,进而提高轴承的滚动效果,同时可使岩心更易入管;其次,可设置二级单动,用以分担内管不对中所带来的位置偏差,进而提高单动的可靠性,有效预防或减轻内管跟转;另外,每一回次取心时,应检查单动轴承的磨损情况,发现问题及时更换,避免单动失效出现堵心及磨心。

3.2.4 割心机构

复杂地层取心钻进,钻具割心通常采用卡簧、拦簧、岩心爪及其组合形式。这些割心的关键零件在与内管连接好后,应尽量保证整体内表面平顺,避免

出现台阶及槽等复杂形状,降低岩心入管阻力。或者将上述割心零件采用隐藏式设计^[15],以降低岩心与割心零件间出现堵心的机率,同时要尽量减小割心机构与钻头内台阶之间的轴向间隙,防止在间隙处出现岩心卡堵。

3.3 冲洗液性能优化

冲洗液的主要功能包括清洁孔底、携带和悬浮岩屑、冷却钻头、润滑钻具、保护孔壁等。复杂地层取心钻进时,冲洗液应能够快速地将产生的岩屑、岩粉带离孔底,保持孔底清洁,防止岩屑重复研磨,钻速降低,增加岩心受冲刷时间。在泥岩、页岩、煤层等水敏性地层钻进时,冲洗液应具有良好的水化作用抑制性能^[25],滤失量要小,防止水敏性地层孔壁缩径、剥落的同时,抑制岩心吸水膨胀、开裂、变粗,有效预防取心钻进时发生堵心。水敏性地层钻进时可采用滤失量小的钾基冲洗液^[26-27]、LBM 冲洗液^[28]等。

3.4 取心钻进工艺优化

根据以往钻进情况,从取心钻进开始到发生堵心,时间间隔长短不一,但均是岩心入管阻力逐渐积累、增大导致的。合理预防堵心可有效降低提钻取心的频率,提高取心钻进效率。复杂地层钻进,堵心应以预防为主,要时刻掌握地层和岩性的变化情况,有邻井资料参考最好,以便有针对性地制定取心钻进工艺。树心时要采用低钻压、低转速、小泵量,有利于保持取心钻具的稳定性,便于引导岩心入管。正常钻进取心时,钻压、转速、泵量均应根据地层变化做出相应调整。与坚硬完整地层相比,松软地层钻进时应选用低钻压,当钻进效率较高时,应适当降低转速。在破碎、裂隙发育、软硬不均的地层中钻进时,应适当减小钻压,由于钻具振动强烈,转速应适当降低。泵量应根据不同地层钻进速度进行调整,硬地层钻进时泵量可适当增加,松散、易冲蚀地层钻进时,泵量应适当降低,防止冲散岩心,采用隔液钻头钻进时,泵量可适当提高。钻进时注意观察进尺情况及岩屑上返量,进尺变缓、岩屑上返量增加时,应注意分析是否为堵心原因造成的,同时观察钻压、转速等钻进参数的变化。发生堵心时,不可继续钻进,应立即提钻取心,防止岩心磨损量增大。割心时尽量选择岩心成柱性好的地层,防止岩心脱落,同时便于下一回次取心钻进时树心。取心时提钻速度不宜过快,防止强烈的抽汲作用使岩心脱落。冲洗液

应及时回灌,保持孔壁稳定。总之,复杂地层取心钻进时,钻进参数应匹配合理,具体地层具体分析,通过不断的摸索,总结出一套与所钻复杂地层相适宜的取心钻进工艺,进而有效地预防堵心的发生。

4 结语

本文对复杂地层钻进时易出现的堵心问题进行了归纳与分析,总结了易堵心地层特征及堵心发生的主要原因,从取心钻头、取心工具、冲洗液性能及取心钻进工艺方面给出了堵心预防措施,形成了以下几点认识。

(1)堵心是复杂地层取心钻进时的一个共性问题,出现频率较高,裂隙发育、松散软弱、破碎严重、水敏性地层易堵心。

(2)堵心主要发生在岩心与钻头及内管之间,主要原因在于岩心破碎、形状不规则,加之钻具的振动,使岩心入管阻力逐渐增大,直至发生堵心。

(3)应根据地层选取适宜的取心钻头,钻头宜采用隔液设计,减轻冲洗液对岩心的冲蚀,冲洗液应具有良好的水化作用抑制性能,滤失量要小,避免水敏性地层岩心过早发生水化膨胀,预防堵心发生。

(4)取心钻具应增加可靠的堵心提示装置,单动机构性能要可靠,内管应具有良好的抗弯性能,对中性要好,内管内表面可进行涂层减阻处理,尽量保证割心机构内表面平顺,降低岩心入管阻力,进而预防堵心发生。

(5)堵心应以预防为主,要时刻掌握地层和岩性的变化,钻进参数应匹配合理,具体地层具体分析,摸索、总结出一套与所钻地层相适宜的取心钻进工艺,有效预防堵心的发生,进而提高回次进尺长度及取心钻进效率。

参考文献:

- [1] 张伟.科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):7-12.
- [2] 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):19-21,16.
- [3] 卢春华,鄢泰宁,H.T.叶戈罗夫.提高复杂地层取心质量的新型钻具[J].地质与勘探,2009,45(2):112-114.
- [4] 郑思光,赵志杰,王克佳,等.司家营(南)区大贾庄铁矿复杂地层深孔钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):36-39,46.
- [5] 孙宗席.甘肃文县阳山矿区复杂地层用冲洗液研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):32-35.
- [6] 刘灿铭.国内破碎复杂地层钻进技术的研究现状与展望[J].甘肃科技,2010,26(14):78-80.
- [7] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2014:1006-1011.
- [8] 杨玉坤,成伟.国外松软地层取心技术浅谈[J].石油机械,2002,30(10):65-67.
- [9] 贾军,李旭东,樊腊生,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-2孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):6-11.
- [10] 吴金生,张伟,李旭东,等.汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔钻探施工概况和关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):120-125.
- [11] 朱永宜,王稳石(执笔).中国白垩纪科学钻探松科一井(主井)钻探工程概要[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3):1-4.
- [12] 孙少亮,尹家峰.JH-1井取心实践与认识[J].石油钻采工艺,2012,34(5):115-117.
- [13] 路峰.连续密闭取心技术在牛页1井的应用[J].石油钻采工艺,2013,35(3):108-110.
- [14] 吴为,令文学,司英晖.YD油田钻井取心技术难点及对策[J].石油钻探技术,2015,43(3):18-22.
- [15] 孔志刚,于希.辽河油田古潜山储层钻井取心技术[J].石油钻探技术,2014,42(3):50-54.
- [16] 胡畔,何超,向贵川.破碎地层高温高压密闭取心工具的研制及现场应用[J].钻采工艺,2016,39(1):89-91.
- [17] 成景民,冯会斌,王治中,等.深井灰岩破碎地层取心技术及应用[J].钻采工艺,2006,29(3):26-27.
- [18] 刘杰,袁建强,高养林.常规取心工具在焉耆盆地煤层取心的成功应用[J].河南石油,2003,17(6):34-36.
- [19] 裴学良,鲁金峰,刘峰,等.胜利松软地层密闭取芯技术在吉1井的应用[J].西部探矿工程,2012,(4):42-44,46.
- [20] 张国丽.GW系列全适应地层取心工具研制与应用[J].辽宁化工,2017,46(5):516-518.
- [21] 史成发.印尼厘茂油田INJ-02B井密闭取心复杂情况处理与分析[J].石油钻采工艺,2015,37(4):39-41.
- [22] 王稳石,朱永宜,贾军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目取心钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):28-31,38.
- [23] 许俊良,薄万顺,王智锋,等.堵心监视装置的研制[J].石油钻采工艺,2005,27(1):72-73,85.
- [24] 李鑫森,刘秀美,尹浩,等.深孔复杂地层绳索取心钻具优化设计思路[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):56-59.
- [25] 李鑫森,张永勤,梁健,等.冻土区天然气水合物试采对接井冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(12):28-32.
- [26] 卢采田.煤田地质钻探中水敏性地层护壁问题及解决办法[J].西部探矿工程,2010,22(6):64,67.
- [27] 王达,何远信,等.地质钻探手册[M].湖南长沙:中南大学出版社,2014:663-666.
- [28] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-15,24.