

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.03.006

引用格式:张庆,华健,程光华,等. 松散及破碎层岩心高采取率技术研究[J]. 华东地质, 2022, 43(3): 306-312. (ZHANG Q, HUA J, CHENG G H, et al. Study on high percentage recovery technology of rock core in loose and fractured layer[J]. East China Geology, 2022, 43(3): 306-312.)

松散及破碎层岩心高采取率技术研究

张庆¹, 华健¹, 程光华¹, 葛伟亚¹, 陆远志¹, 邢怀学¹, 陈宗芳¹, 王东²

(1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157000)

摘要: 针对松散及破碎层钻进取心率低、岩心结构破坏等技术难题, 作者设计形成一套“隔液单动双管半合管取心、SH 植物胶钻进液护心护壁、跟管钻进”技术。隔液单动双管半合管取心钻具的钻进液与内管分离, 不会直接冲刷、冲散及破坏岩心, 保证松散及破碎层岩心可以完整地进入内管; 单动双管可以有效保护岩心原始结构。SH 植物胶钻进液具有堵漏、携屑悬浮和润滑减阻减振作用, 解决了松散及破碎层漏失、塌孔等问题。跟管护壁是在隔液单动双管半合管取心时套管下入孔内, 起到护壁等作用。通过在试验区开展取心工作, 实现了松散及破碎地层的无扰动、高采取率取心, 为今后松散及破碎地层取心钻进提供技术借鉴。

关键词: 松散及破碎地层; 隔液单动双管半合管钻具; 高采取率; 钻探工艺

中图分类号: P634

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2022)03-306-07

目前, 基于工程施工的安全需求, 对于工程勘察与取样的要求越来越高。传统钻孔取心技术在砂层和卵砾石层等松散及破碎地层中常面临岩心卡堵、扰动以及破坏岩心结构等问题, 最终导致取心率低或无法达到取样要求。

针对卵砾石层钻探取心存在的钻探效率低、采取率低等技术难题, 国内外最初采用泥浆液冲击器实现冲击回转钻进, 与跟管、采集岩心能力为一体的组合钻具、偏心扩孔跟管取心工艺^[1-3]等, 研制出双作用液动冲击器来解决该难题, 但存在岩心卡堵、破坏岩心结构及适用范围有限等技术缺陷。目前, 国内外在钻具方面研究有投球压卡式绳索取心钻具、橡皮套取心工具、保形取心工具、全封闭取心工具^[4-8]等, 这些主要是针对岩心内管及卡簧等进行特殊设计与改进^[9], 通过包裹岩心、降低进心阻力、封闭岩心内管等方式减少磨心情况、避免岩心丢失, 从而有效保证岩心采取率, 同时可以减轻岩心卡堵情况。在冲洗液、钻施工工艺和钻具的配套研究

方面, 针对深部钻探的研究较多, 而对浅部松散层及破碎带钻进中冲洗液及钻具的研究较少^[10-14], 目前破碎层钻探取心依然面临塌孔、卡堵及破坏岩心结构等技术难题^[15]。

鉴于松散及破碎层取心面临的难题, 本文通过对取心钻具与钻探取心工艺方法进行优化, 并开展钻探取心试验, 实现松散及破碎层无扰动高采取率取心。

1 取心钻具改进优化

针对现有取心钻具在松散及破碎层钻探取心过程中易出现岩心结构破坏、丢心、岩心磨损的问题, 本文主要从以下方面开展设计优化: ①研发隔液单动双管; ②内管及卡簧。

1.1 隔液单动双管

传统取心钻具在钻具内、外总成结合部存在钻井液的径向分流作用, 造成松散及破碎层岩心结构

* 收稿日期: 2022-02-18 修订日期: 2022-05-20 责任编辑: 叶海敏

基金项目: 国家重点研发计划“城市地下空间开发地下全要素信息精准探测技术与装备(编号: 2019YFC0605101)”项目资助。

第一作者简介: 张庆, 1986年生, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事城市地质、地热资源和地下空间调查评价等领域的研究工作。Email: sys8633@126.com。

遭到破坏或被冲蚀殆尽。径向流的形成与其对岩心的冲蚀原理如图 1 所示。

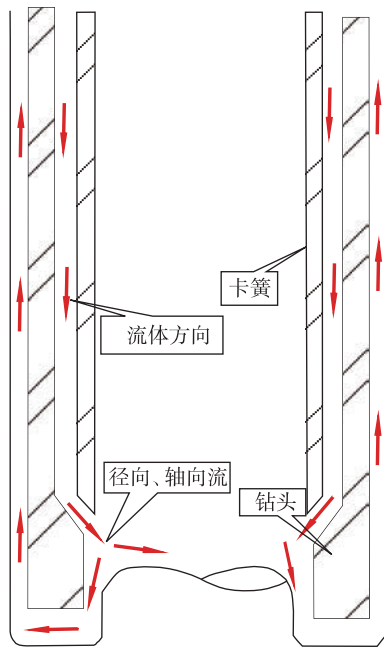


图 1 传统钻具钻头、卡簧座配合流体流动示意图
Fig. 1 Schematic diagram of traditional drill bit and spring seat with fluid flow

单动双管隔液优化设计是通过调整钻具结构改变流体路径,减少钻具内、外总成配合处的径向流,降低钻井液对岩心的冲刷。如图 2 所示,钻具隔液护心结构设计巧妙,主要有自动投球装置、钻头隔液环、卡簧座隔液环、隔液钻头等组成。水槽过流面积较传统的圆形水口扩大 1~2 倍,钻井液经水槽的流速可降低 2~4 倍,使钻井液改变排泄流向时产生的冲量大大降低,同时使得指向钻头内腔径向流的动力被有效削弱;钻头隔水环与卡簧座隔水环的配合,及钻头内岩心与隔水环的小环隙配合,形成有效的径向流屏蔽;调节钻头与卡簧座的轴向间隙,可以控制渗入钻头内腔的钻井液量,既能较好地在岩心与钻头内工作边间阻止径向分流的形成,又可在其间保持一定量的形成微量循环的钻井液,达到冷却和润滑的作用,以适应不同地层钻进时润滑钻头的需要。钻具所配钻头主水路流畅,底唇面与外工作边润滑、清洗和冷却充分,可以维持较清洁的孔底环境。

1.2 内管及卡簧改进优化

钻探钻进的过程中,岩心内管上行阻力较大

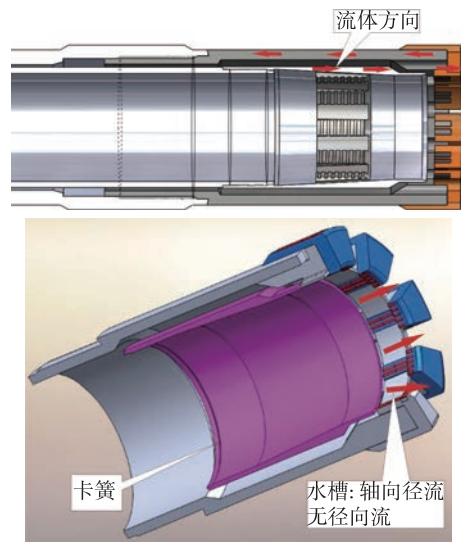
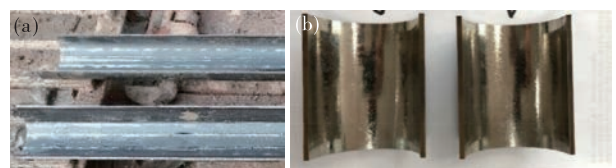


图 2 隔液单动双管半合管钻具及钻头流体流动示意图
Fig. 2 Schematic diagram of drill tool and fluid flow of drill bit in liquid-isolating single-acting double pipe semi-closed pipe coring

时,易引起卡堵及破坏岩心结构。本文基于相关研究^[16],针对内管材质与加工工艺进行改进,优选 XJY950 高钢级精密内管材质,内管改成半合管,并在内壁上进行厚度 0.2 mm 金属液态铬电镀涂层处理,如图 3 所示。其优点是增加润滑性,提高耐磨性,减少内壁磨损,显著降低岩心上行的阻力。另外,半合管退心可减少岩心结构的扰动、破坏。



(a).普通半合管;(b).涂层半合管

图 3 半合管改进优化示意图

Fig. 3 The schematic diagram of the improvement and optimization of semi-closed pipe

传统地质岩心钻探过程中,钻遇软地层时,卡簧或因收缩过度被拉出卡簧座,或因卡簧张口边碰头后收缩不充分,造成卡簧抱紧力不够致使岩心脱落;遇硬地层时,岩心容易造成卡簧径向张开不充分,阻碍岩心自由上行影响钻进效率。本钻具配套的普适性卡簧开口是一个锥面,开口增大 1 mm,行程相应增加 20 mm,卡簧内径变化范围也相应增大

(图 4)。卡簧在卡簧座内滑移行程长,适用的岩心直径范围较广,一定程度上解决了岩心缩径的问题。



图 4 改进后的卡簧

Fig. 4 Improved clamp spring

2 钻探工艺

本次试验钻孔上部砂层和下部卵砾石层易导致钻孔塌陷,中部的淤泥质土和黏性土易导致钻孔

缩颈。因此为保证钻孔稳定,采用分段多级管径护壁管进行钻进。针对稳定不易坍塌地层,先以较大尺寸钻头在地表浅层开孔,并布下相应大尺寸地质套管护壁以建立井口,再选用隔液单动双管(半合管)取心钻具进行钻探作业。

2.1 钻进方法及参数

针对破碎带、砂卵石层采取 SH 植物胶和金刚石隔液单动双管(半合管)钻具钻进取心,后跟进厚壁管套管护壁,护住上部较为松散的破碎带、砂卵石层。退心直接打开半合管放入相应的岩心箱内即可。

钻进参数的选取主要依据地层特点(表 1):①钻压,在粉土、粉砂层与卵砾石地层钻进中,钻压不应过大,如果过大钻杆容易挠曲,钻具不稳定、跳动大,岩心容易堵塞,影响钻进效率;②转速,从砂土层到卵砾石层再到破碎带转速逐渐增大;③泵量,为保证孔壁稳定性及取心质量,本次泵量在粉土、粉砂、卵砾石及破碎带中也逐渐增大;④回次进尺,在粉土、粉砂层回次进尺为 2.0 m,在卵砾石层回次进尺不超过 1.5 m。

表 1 不同岩性层钻进参数

Table 1 Drilling parameters in different lithostrome

| 地层类别 | 泥饼厚度/mm | 黏度/pa.s | 密度/(g·cm ⁻³) | 含砂量/% | pH 值 |
|-------|---------|---------|--------------------------|-------|------|
| 砂土层 | ≤1.0 | 75~100 | 1.25~1.45 | <3 | 9~10 |
| 卵砾石层 | ≤0.8 | 60~90 | 1.15~1.25 | <2.5 | 9~10 |
| 破碎基岩层 | ≤0.6 | 45~60 | 1.05~1.16 | <2 | 9~10 |

2.2 冲洗液体系

根据松散砂砾石、破碎基岩结构特点,结合冲洗液试验参数,采用无固相 SH 植物胶配制冲洗液。

2.2.1 泥浆配比

使用高速立式泥浆桶搅拌机,现场制备植物胶钻探冲洗液,叶轮转速在 500~600 转/min。在钻进的过程中使桶内液浆面呈正漏斗形,植物胶应搅散,不产生疙瘩,植物胶冲洗液搅拌后的效果呈胶状。不得使用人力搅拌,否则可能导致植物胶冲洗液达不到相应的黏度,影响取心效果。

经现场反复调试与实际效果对比,对不同地层泥浆配比及相关参数进行总结,得出研究区不同地层适宜冲洗液性能参数(表 2)。

表 2 砂土层、砂砾石和基岩破碎冲洗液性能

Table 2 Performance of washing fluid in different lithostrome

| 地层 | 孔径/mm | 钻压/KN | 转速/rpm | 泵量/(L·min ⁻¹) |
|-------|-------|--------|--------|---------------------------|
| 砂土层 | 110 | 3~6 | 30~60 | 60~90 |
| 卵砾石层 | 110 | 6~12 | 45~75 | 75~105 |
| 破碎基岩层 | 110 | 7.5~15 | 60~90 | 90~120 |

2.2.2 泥浆维护管理

砂土层钻进时植物胶和水的比例一般为 8%,卵砾石地层一般为 10%~13%,破碎基岩层一般为 15%。为提高冲洗液的黏度,降低滤失量,有效保护孔壁,防止坍塌,冲洗液中加入 0.5%(冲洗液体积)的羧甲基纤维素(CMC)。现场设置专人管理泥浆池,在钻进过程随时测量泥浆池中的含砂

量,含砂量超过3%应及时除砂。本次除砂采用浆液中加入聚丙烯酰胺水溶液加速砂沉降的方案,若浆液含砂量大于20%,则全部排掉换新浆。浆液在使用中,由于胶质消耗,黏度会逐渐降低,应随时测定冲洗液黏度,黏度降到60 pa.s以下时,补充新的浆液。

3 现场试验应用

本次试验示范点位于浙江省杭州市大江东核心区(图5),坐标为29°11'N、118°21'E,是典型的河口湾区第四系。研究选取3个代表性地层作为取样

目标层(图6),其中:I地层,全新统下组,以海相、海陆交互相沉积为主,岩性以粉土、粉砂为主,埋深在3~25 m,灰色或灰黄色,稍密-中密,饱和,含云母碎片;II地层,上更新统下组,以冲洪积、坡积沉积为主,岩性为砂(卵)砾石,原岩岩性一般为石英砂岩、凝灰岩及其他碎屑岩类,埋深40~90 m,黄色或灰黄色,卵砾石含量40%~70%,粒径一般2~10 cm,磨圆度较好,多呈亚圆形,泥质充填,级配差,密实;III地层,沉积岩,晚白垩世,岩性主要为砂岩,泥质胶结,微粒结构,厚层状构造,岩石节理裂隙发育-较发育。

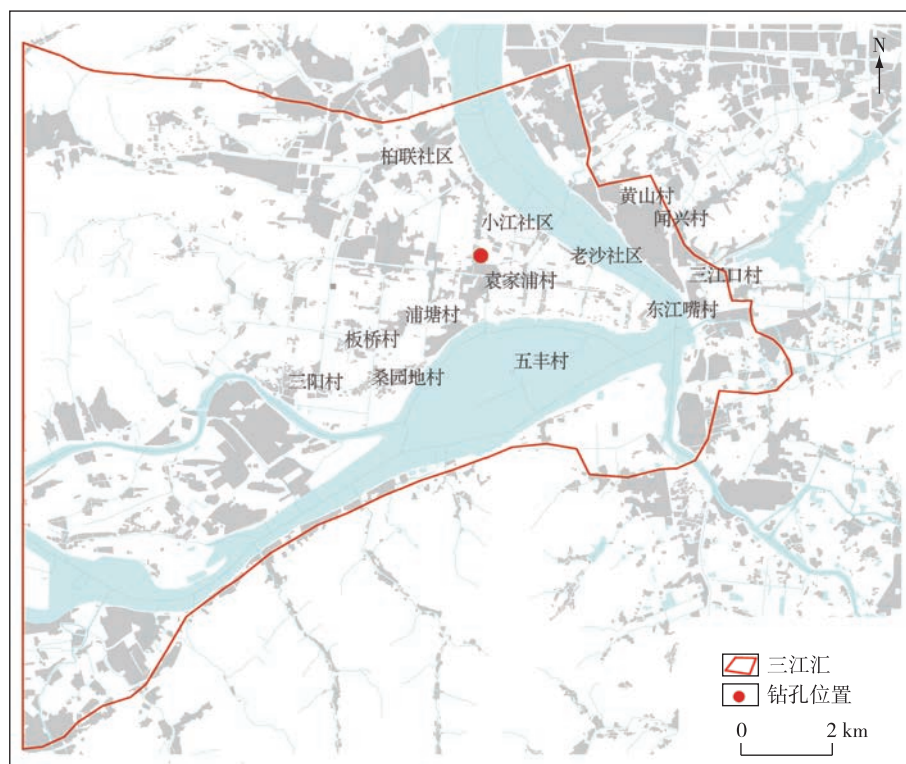


图5 研究区位置图

Fig. 5 Location of the study area

在试验区I、II、III地层实现高取心率钻探主要存在以下技术难点:①砂层、卵砾石层、破碎带,结构松散,轻微胶结,浅部的地下水活动较强烈,且具有一定的承压性,在钻进过程易塌孔;②钻进过程中往往需要冲洗液进行辅助钻进,受冲洗液作用易产生流土、涌砂、塌孔等现象,泥浆的存在也难以进行护壁;③由于地层结构松散,传统的钻探工艺在退心过程中,常出现岩心结构被水压破坏的现象;④地下水位以下或有冲洗液回转钻进时,岩心

损耗比较大,岩心采取率较低,较薄的地层容易被漏掉。

针对在试验区I、II、III三种地层,对传统钻探工艺(单动双管或单管取心、泥浆钻进护心护壁、跟管钻进)与改进工艺(隔液单动双管半合管取心、SH植物胶钻进液护心护壁、跟管钻进)的钻进方法取心的效果进行对比,其结果差异性显著(图7,图8)。

由取心成果对比图可知,传统工艺仅在砂土层中局部保持原状结构,在卵砾石层和破碎基岩层中

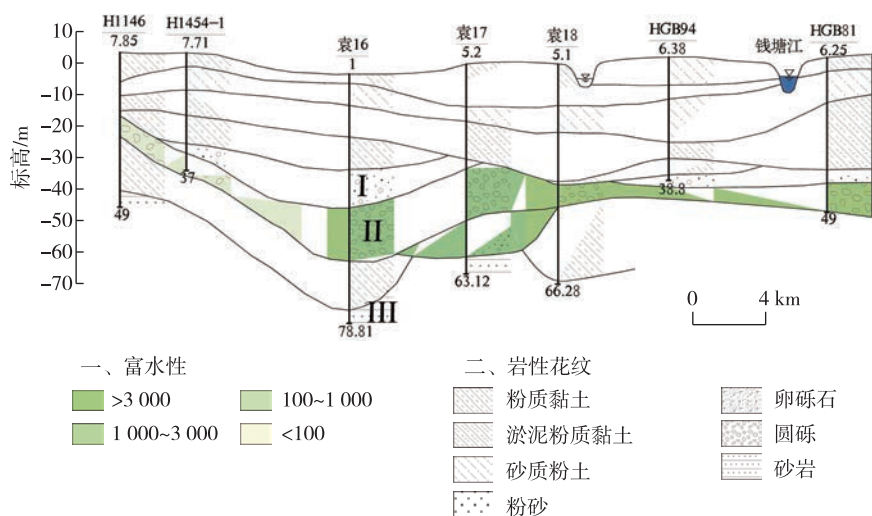


图6 研究区典型剖面图

Fig. 6 Typical section of the study area



(a)和(b). I 地层(砂性土)岩心;(c)和(d). II 地层(卵砾石)岩心;(e)和(f). III 地层(破碎基岩)岩心

图7 传统钻探工艺(a、c、e)与改进工艺(b、d、f)取心成果对比图

Fig. 7 Comparison of coring results between traditional double-pipe single-action drilling tool (a、c、e) and the improved technology (b、d、f)

的取心结构均被破坏,采取率也较低。改进优化后的钻进技术取心可较好的保护岩心原状结构,采取率也大幅提高。图8分别是在砂土层、卵砾石层、破碎基岩层中钻进技术改进前后的采取率对比图,对于3种松散破碎地层,新工艺均大幅提高岩心采取完整性,相对于传统工艺其综合采取率提高30%以上,并能有效保证岩心结构完整。

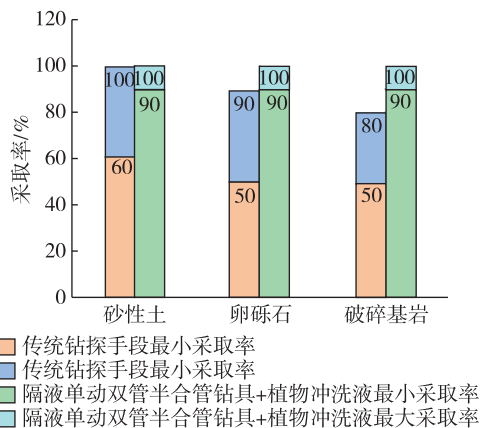


图8 钻探工艺改进前后取心率对比图

Fig. 8 Comparison of recovery percentage before and after the drilling improvement

4 结论

(1)定制配套的普适性卡簧适用岩心直径范围较广,一定程度上解决了岩心缩径的问题,可有效提高复杂地层的岩心采取率,且大大简化作业现场适配卡簧的操作程序。

(2)通过对冲洗液配比研究,从砂土层、卵砾石层到破碎基岩层,冲洗液配比中植物胶的浓度应逐渐变大,整体处于8%~15%,而对于砂土层、卵砾石、破碎基岩最优冲洗液密度分别为1.25~1.45 g/cm³、1.15~1.25 g/cm³、1.05~1.16 g/cm³。

(3)改进钻探工艺与传统相比,其整体取心率

大大提高,尤其卵砾石层、破碎层的取心率整体提高超30%,且能保持原状结构。

(4)改进钻探工艺在涌水、极松散地层等因素下,出现地层坍塌抱死套管及卡堵岩心管的情况,影响取心率、钻进效率,下一步拟改进孔口转盘,实现套管全时回转以及优化卡簧结构,减少卡堵问题。

参考文献

- [1] 许俊良,宋淑玲,成伟.国外钻井取心新技术(一)[J].石油机械,2000,28(9):53-56.
XU J L, SONG S L, CHENG W. Foreign new drilling and coring technology (I) [J]. Petroleum Machinery, 2000, 28(9): 53-56.
- [2] 刘蓓,李国民,肖丽辉.PQ钻具在寨上矿区地质钻探中的应用[J].黄金科学技术,2012,20(5):63-65.
LIU B, LI G M, XIAO L H. The Application of PQ Drilling Tools for Geological Core Drilling in Zhaishang Mining Area[J]. Gold Science and Technology, 2012, 20(5): 63-65.
- [3] 何海清,李建忠.中国石油“十一五”以来油气勘探成果、地质新认识与技术进展[J].中国石油勘探,2014,19(6):1-13.
HE H Q, LI J Z. Oil and gas exploration achievements, new geological understanding and technical progress of PetroChina since the Eleventh Five Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(6): 1-13.
- [4] 吴玉滨,杨立文,王江艳.SZ-65型随钻取心技术与应用[J].石油钻采工艺,2006,28(2):72-76.
WU Y B, YANG L W, WANG J Y. Research and application of SZ-65 coring while drilling technology [J]. Oil Drilling and Production Technology, 2006, 28(2): 72-76.
- [5] 杨立文,孙文涛,罗军,等.GWY194-70BB型保稳保压取心工具的研制和应用[J].石油钻采工艺,2014,36(5):58-62.
YANG L W, SUN W T, LUO J, et al. Development and application of wy194-70bb stability and pressure maintaining coring tool[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2014, 36(5): 58-62.
- [6] 邓强,谭忠健,尚锁贵,等.旋转井壁取心工具及其在渤海油田勘探中的应用[J].石油科技论坛,2012,31(1):20-24.
DENG Q, TAN Z J, SHANG S G, et al. Rotary sidewall coring tool and its application in Bohai oilfield exploration[J]. Petroleum Technology Forum, 2012, 31(1): 20-24.
- [7] 郭英才,颜紫荆,刘国权,等.SRCT6701钻进式井壁取心器[J].石油科技论坛,2014,33(2):55-58.
GUO Y C, YAN Z J, LIU G Q, et al. SRCT6701 drilling sidewall coring device[J]. Petroleum Technology Forum, 2014, 33(2): 55-58.
- [8] 郝桂青,庞希顺,欧阳剑.增强型旋转式井壁取心器技术及应用[J].石油仪器,2011,25(5):22-26.
HAO G Q, PANG X S, OU Y J. Technology and application of enhanced rotary sidewall coring device[J]. Petroleum Instrument, 2011, 25(5): 22-26.
- [9] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
YAN T N. Geotechnical drilling engineering[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001.
- [10] 楼日新.复杂地层潜孔锤跟管钻进技术研究[D].成都:成都理工大学,2007.
LOU R X. Study on DTH hammer drilling technology with pipe in complex formation[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2007.
- [11] 刘景华,何立新.SYZX 75绳索取心液动锤加长岩心管的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):5-11.
LIU J H, HE L X. Application of SYZX 75 rope coring hydraulic hammer to lengthen core tube[J]. Exploration Engineering (Geotechnical Drilling and Excavation Engineering), 2009, 36(2): 5-11.
- [12] LI L, RU D, LI K, et al. Research and application of reverse circulation drilling technology [C]. Beijing: Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [13] ZHAO W Z, HU S Y, LI J Z, et al. Changes and enlightenment of onshore oil/gas exploration domain in China—Experience and perception in the past decade [J]. China Petroleum Exploration, 2013, 18(4): 1-10.
- [14] ZHOU X Y, YANG H J. Practice and effectiveness of carbonate oil-gas reservoir exploration-development integration in Tarim oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17(5): 1-9.
- [15] 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.
LIU C M. Research status and Prospect of drilling technology in broken and complex strata in China[J]. Gansu Science and Technology, 2010, 26(14): 78-80.
- [16] 陶曙.复杂破碎地层中应用SDB系列金刚石钻探工艺提高取心质量的探索[J].湖南交通科技,2010,36(3):84-87.

TAO S. Application of SDB series diamond drilling technology to improve coring quality in Complex Frac-

tured strata[J]. Hunan Transportation Technology, 2010, 36(3):84-87.

Study on high percentage recovery technology of rock core in loose and fractured layer

ZHANG Qing¹, HUA Jian¹, CHENG Guanghua¹, GE Weiya¹, LU Yuanzhi¹, XING Huaixue¹,
CHEN Zongfang¹, WANG Dong²

(1.Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2.Mudanjiang Center of Natural Resources Comprehensive Survey, China Geological Survey,
Mudanjiang 157000, Heilongjiang, China)

Abstract: The author designed a set of technology consisting of “liquid-isolating single-acting double pipe semi-closed pipe coring, the core and pipe wall protection with SH vegetable gum drilling fluid, and Casing Drilling Tool”, which can solve the problems such as low percentage recovery of core and core structure damage during the drilling in loose and fractured strata. The drilling liquid of the technology “liquid isolating single-acting double pipe semi-closed pipe coring” is isolated from the inner pipe, which can effectively protect the original core structure from being directly washed dispersedly and damaged, so as to ensure the complete extraction of the cores from loose and fractured layers. SH vegetable gum drilling fluid has the functions of plugging, chip carrying suspension, lubrication, drag reduction and vibration reduction, which can tackle down the leakage and hole collapse of loose and fractured layer. Casing Drilling Tool is used to protect the pipe wall when the casing is run into the hole during the coring with the liquid isolating single acting double pipe semi closed pipe. To realize undisturbed and high recovery coring in loose and fractured formations, a lot of drilling work has been carried out in the working area, which can provide a technical reference for the future coring drilling.

Key words: loose and fractured strata; liquid-isolating single-acting double pipe semi-closed pipe coring; high percentage recovery;drilling technology