

复杂地层用绳索取心钻具的研制

尹国明^{1,2}, 郎 猛^{1,2}, 陈志鹏^{1,2}, 张 龙^{1,2}, 李然然^{1,2}, 李国民^{1,2}

(1.中国地质大学(北京)工程技术学院,北京 100083; 2.自然资源部深部地质钻探技术重点实验室,北京 100083)

摘要:常规绳索取心钻具在复杂地层钻进时,岩矿心采取率会降低的原因主要有 2 个:一是钻具防水性能差,遇到松散软的地层时,岩心没有进入岩心管时就被冲洗液冲蚀掉了;二是钻具防岩心脱落性能不好,遇到硬脆碎地层时,虽然岩心能够进入岩心管,但卡簧对破碎的岩心卡固不牢,很容易脱落。复杂地层用绳索取心钻具是以解决这两大问题而设计的,并使绳索取心钻进的优越性得到充分的发挥。

关键词:复杂地层;岩心钻探;绳索取心钻具;不提钻换钻头

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)02-0063-05

Development of wire-line drilling tools for complex formation

YIN Guoming^{1,2}, LANG Meng^{1,2}, CHEN Zhipeng^{1,2},
ZHANG Long^{1,2}, LI Ranran^{1,2}, LI Guomin^{1,2}

(1.School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2.Key Laboratory of Deep Geodrilling Technology, Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Using the conventional wire-line drilling tool in complex formation always leads to low core recovery. There are two main causes: firstly, because of poor waterproofness of the conventional wire-line drilling tool, the core is eroded by flushing fluid before entering the core barrel during drilling in loose soft formation; secondly, it has poor performance in preventing core loss in hard, brittle, broken formation since the core lifter cannot lock tightly the core, even though the core can enter into core barrel, leading to core falling off. A wire-line drilling tool is designed to solve these two problems for complex formation, and also exploit the advantages of wire-line drilling at best.

Key words: complex formation; core drilling; wire-line coring tool; retrievable drill bit

0 引言

绳索取心钻具在固体矿产岩心钻探施工中得到了广泛的应用,这主要是得益于它是一种可不提钻的取心工具,拥有纯钻时间长、劳动强度低、钻探质量高、孔内事故少、钻探成本低等优点^[1-3]。但是,当遇到硬、脆、碎及软硬互层等复杂地层时,则出现钻头消耗过快、钻进速度较慢、提钻间隔较短等问题,使绳索取心钻进工艺的优越性得不到充分的发挥^[4-7]。此外,由于常规绳索取心钻具缺乏保护岩心的机构,使得松散破碎的样品,在钻进过程中易被冲蚀,而在打捞的过程则容易脱落,导致岩心采取率

降低,甚至造成钻孔报废的后果^[8-10]。

如何在硬、脆、碎及软硬互层等复杂地层钻进时,克服上述缺点,提高岩矿心采取率,是钻探领域亟待解决的技术问题^[11-12]。

经过全面调研和对现有的绳索取心钻具的结构进行分析,研制了针对复杂地层钻进时所用的绳索取心钻具。

1 钻具关键结构的设计路线

复杂地层之所以称为复杂地层,就是孔下复杂程度不好判断,无论是遇到松散软地层或是硬脆碎

收稿日期:2019-12-28 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.02.010

基金项目:国土资源部深部地质钻探技术重点实验室开放基金项目“复杂地层用绳索取心钻进方法技术研究”(编号:KF201810)

作者简介:尹国明,男,汉族,1995年生,硕士研究生,地质工程专业,攻读方向为钻探与钻井工程,北京市海淀区学院路29号,yinyi21@qq.com。

通信作者:李国民,男,汉族,1962年生,副教授,地质工程专业,博士,从事科学钻探技术与方法的研究,北京市海淀区学院路29号,ligm@cugb.edu.cn。

引用格式:尹国明,郎猛,陈志鹏,等.复杂地层用绳索取心钻具的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):63-67.

YIN Guoming, LANG Meng, CHEN Zhipeng, et al. Development of wire-line drilling tools for complex formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):63-67.

地层,还是软硬互层,何时遇到哪类地层在地表根本无法判断,于是也无法及时针对地层情况更换钻具,这就要求钻具对地层的适应能力强^[13-15]。

为了提高复杂地层岩矿心的采取率,设计钻具的指导思想是要做到:(1)钻进时,钻具不能磨损岩心、冲洗液不能冲刷岩心,必须使岩心进入岩心管,即竖心;(2)提钻时,不能让岩心脱落,也就是说要护心^[16-18]。

1.1 竖心结构的设计

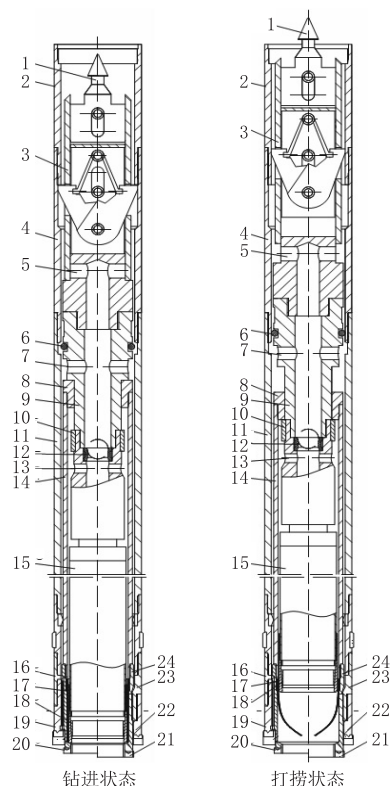
所谓竖心就是钻进时形成的岩心不能被磨损,又不能冲洗液冲刷,为此,钻具必须具有隔水结构,通常的方法是让钻具的内管超前。当遇到松散软的地层时,超前的内管罩住岩心根部,起到隔水作用,这种状态下内管可不需要回转;但当遇到硬脆碎的地层时,超前内管不回转就无法钻进,为了也能适应硬脆碎地层钻进,内管必须回转,这就决定了钻具的内外管都必须回转;为了保护破碎的岩矿心和退心方便,内管内需要加衬第三层岩心容纳管,且岩心容纳管不能回转,以免磨损岩心,这就要求在岩心容纳管上端加设单动轴。至此,钻具的结构形成了内管超前的双动三层管钻具。与单动三层管钻具有本质区别。也可以说内管超前的双动三层管钻具是将双动双管钻具和单动双管钻具的优点结合在了一起^[19-20]。

1.2 防脱护心结构的设计

所谓防脱护心就是防止在打捞岩心的过程中,防止岩心脱落,因为松散破碎的岩矿心一旦脱落,就无法捞起。为此,设计了双簧卡取岩心结构,即在第三层岩心容纳管下部内侧设有卡簧,而在外侧设有拦簧。当遇到完整岩心时依靠内侧的卡簧拔断岩心,而当遇到破碎的地层时依靠拦簧的拦挡,防止破碎的岩心脱落。卡簧卡心的原理和普通绳索取心钻具的工作原理一样,拦簧的工作原理是利用拦簧爪的弹力和岩心容纳管的上下滑动实现的,即:钻进过程中岩心容纳管下移前伸,将拦簧片撑开,拦簧爪隐藏在岩心容纳管外侧,不与岩心接触,有利于保护岩心和防止爪簧片折断,而在打捞岩心时,岩心容纳管相对内管上移,拦簧片露出收拢,拦挡在岩心容纳管下端,防止岩心脱落。图1是复杂地层用绳索取心钻具的结构示意。

1.3 不提钻换内钻头结构的设计

借助绳索钻杆、打捞器和辅助工具,可以较便利地实现不提钻换钻头工艺。在绳索取心钻进中,可



1—捞矛头;2—弹卡挡头;3—回收管;4—弹卡室;5—通气孔;6—O形密封圈;7—泄水孔;8—滑动套;9—滑动轴;10—悬挂环;11—外管;12—钢球;13—泄水孔;14—内管;15—岩心容纳管;16—外加接头;17—拦簧;18—卡簧座;19—带花键外钻头;20—带花键的内钻头;21—内钻头;22—外钻头;23—钻头座;24—拦簧托

图1 复杂地层用绳索取心钻具结构

Fig.1 Wire-line core barrel structure for complex formation

实现不提钻换钻头^[21-23]。但是也有问题存在,从阶梯钻头磨损现象得知,大多数阶梯钻头损坏都是前一阶梯容易损坏,究其原因,是因为钻头的前一阶梯起着掏槽的作用,破碎岩石的条件恶劣,而后一阶梯由于前一阶梯创造了自由面,破碎岩石相对容易。同理,超前的内钻头就是相当阶梯钻头的前端,不仅起到隔水作用,也起到掏槽的作用,因此其工作条件恶劣,容易损坏,需要在打捞岩心时随内管总成一起打捞至地表更换(如图1钻具结构的左侧部分),这就要求内钻头能够从外钻头内自由通过,但内钻头的外径如果比外钻头的内径小就会在内外钻头之间形成一圈“岩墙”影响钻进,而如果内钻头的外径比外钻头的内径大,显然是不能通过的。为了解决这一问题,将内、外钻头设计成具有啮合齿状结构(如图2所示)。但问题又出现了,就是如何使内外钻头自动地在孔内实现啮合? 解决的方案是分别在内外

钻头相应的花键齿端设计有倒角,依靠倒角的导向自动进入啮合状态(如图 3 所示)。

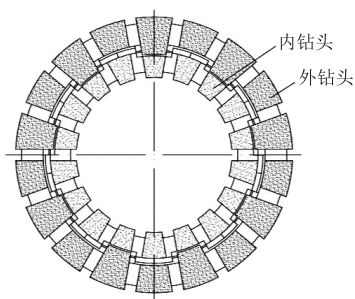


图 2 内外钻头啮合状态

Fig.2 Internal and external bit engagement

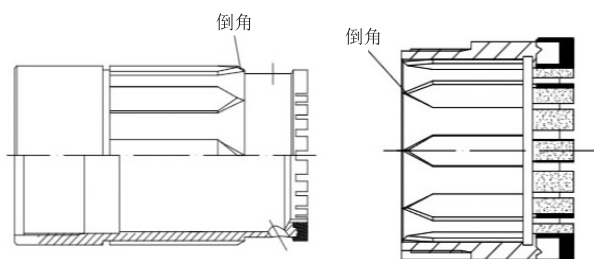


图 3 内外钻头花键端部倒角

Fig.3 Chamfering of spline end of the internal and external bit

1.4 分体式阶梯钻头的设计

松散地层的岩心极容易被水冲蚀,通常采用底喷水眼钻头或侧喷水眼阶梯钻头^[24-25],但实际效果都不太好,主要是因为底喷水眼会产生回流冲刷岩心,而侧喷水口或阶梯钻头虽然形成一定的“挡水墙”作用,但“挡水墙”的高度不够,加上高阶梯的金刚石钻头制造又比较困难,现场使用的钻头不能根据地层条件调节阶梯高度。基于这些原因,设计了分体式阶梯钻头(如图 4 所示),钻头由钻头座和内外钻头构成,这种分体式钻头最大的好处首先是可根据地层条件,通过加减垫片调节内外钻头的阶梯差,其次是便于加工制造,再次是可以只对损坏的某一部分钻头更换,做到物尽其用。

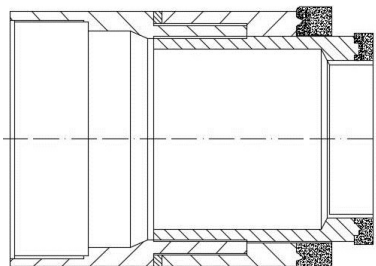


图 4 分体式阶梯钻头结构简图

Fig.4 Structure of the split step drill bit

2 钻具的结构原理

2.1 结构原理概括说明

如图 1 所示,首先概括说明 3 点:(1)钻具处在钻进工作状态和打捞工作状态,意在突出表现拦簧的工作原理;(2)图 1 中,钻具结构的左侧表示双动三层管状态,而右侧表示单动三层管状态;(3)图 1 中左侧的内外钻头为花键啮合,内钻头超前可打捞至地表,而图 1 中右侧的内外钻头均依靠螺纹固定在钻头座上,内外钻头呈阶梯布局,内钻头不能打捞至地表。

2.2 钻具的结构工作原理

内管总成沿绳索取心钻杆投入孔内,在内钻头外花键倒角和外钻头内花键倒角的导向作用下,内、外钻头自动进入啮合状态,并使内钻头顺利超前伸出,当内钻头伸出到位后,在自重作用下,岩心容纳管继续下移,拦簧被第三层岩心容纳管(15)撑开,隐藏在卡簧座(18)外侧。钻进过程中,内钻头(20)在花键的作用下与外钻头同步回转破碎岩石,不受地层软硬的影响,钻进形成的岩心不与簧爪接触,拦簧不影响岩心进入岩心容纳管,簧爪也不容易折断。由于内钻头超前,可有效起到隔水护心的作用,同时,为外钻头创造自由面,可延长外钻头的使用寿命。回次终了慢慢上提钻具 3~5 cm,当岩心完整时,此时卡簧发挥作用,将岩心拔断,当岩心破碎时卡簧可能失灵不起作用。当打捞岩心时,弹卡机构带动滑动轴(9)上移,滑动套相对下移至悬挂环(10)的台阶上,此时内管(14)和拦簧(17)同步下落,露出簧爪,簧爪收拢托在岩心容纳管(15)的下端,岩心完整时卡簧的卡固力足以卡住岩心,拦簧不起作用,当岩心破碎时,簧爪托在岩心容纳管下方,阻挡岩心脱落。打捞岩心时内钻头(20)随内管总成一起打捞至地表,即无需将钻具整体提出,就可更换内钻头。

考虑复杂地层施工中孔内可能会出现两种极端情况,一种情况是孔内有高粘度的泥浆用于维护孔壁,另一种情况是干孔。作为对该绳索取心钻具的进一步完善,在滑动轴(9)上设有 O 形密封圈(6),当遇到第一种情况时,泵送内管总成时起到活塞作用,加快投放速度,当内管总成到位后,于 O 形圈相对位置的钻杆内腔突然变大泄水,地表泵压波动变化指示投放到位信息。打捞岩心时,为了避免 O 形圈带来的抽吸效应,回收管(3)受拉后即露出通气孔(5),使上下串通,有效防止打捞内管时的抽吸作用;

当孔内为干孔时,需要用绳索投放内管总成,同理由于悬挂内管回收管(3)受拉露出通气孔(5),上下串通,有利于送入内管总成。

当遇到完整的地层时,只要在下端扩孔器下,连接普通绳索取心钻头,同时采用常规绳索取心钻具的内管总成,即可恢复成正常的绳索取心钻进。

3 钻具的性能特点

基于上述设计思路,研制的新型绳索取心钻具具有如下特点:

(1)双动三层管钻具。所谓双动是指内外两层岩心管都转动,只有第三层岩心容纳管不转动,这点是与其它单动三层管绳索取心钻具的显著区别,其最大特点是将双动双管的优点和单动双管的优点结合在一起,提高了钻具对地层的适应性。

(2)不提钻换内钻头结构。绳索取心钻具的内管总成本身是一套单动双管钻具,内钻头可随岩心打捞至地表,随时检查更换,实现了不提钻换内钻头,可延长提钻间隔^[26]。

(3)双簧卡心结构。所谓双簧卡心结构是在岩心容纳管内设普通绳索取心钻具用的卡簧,而在岩心容纳管外侧设有拦簧护心装置。岩心完整时卡簧起作用,岩心破碎时拦簧起作用。

(4)地层适应性好。内外两层岩心管都转动,分别带动内外两个钻头参与岩石破碎,所以,既适应软地层,也适应硬地层,且内钻头超前,起到隔水护心和掏槽作用,为外钻头破碎岩石创造了自由面,延长了外钻头的使用寿命,也延长了提钻间隔,更最大限度地发挥了绳索取心钻进的优越性。

(5)转换性能好。①如图1钻具左侧所示结构,可称为双动三层管双簧不提钻换内钻头绳索取心钻具;②如图1钻具右侧所示结构,可称为单动三层管双簧分体阶梯钻头绳索取心钻具;③可转换成普通常规绳索取心钻具,只要更换外钻头和内管,该钻具可以转换为普通绳索取心钻具。

4 结语

复杂地层用绳索取心钻具的研制集前人多项钻进经验于一体,将双动双管的优点和单动双管的优点结合在一起,有效地解决了在硬、脆、碎及软硬互层等复杂地层钻进时,所出现的钻具防水性能差和卡簧对破碎岩心卡固不牢易脱落等问题,进而提高

了岩矿心的采取率,使绳索取心钻进的优越性得到了更好的发挥,也扩大了绳索取心技术的应用范围。经无锡钻探工具厂室内试验证明,此钻具达到了理论上的设计目的和设计要求,虽然室内试验取得了良好的效果,但是尚未有机会进行现场试验,其可行性和优越性仍需进一步的试验研究。

参考文献(References):

- [1] 耿瑞伦.绳索取心钻探现状及其发展[J].西部探矿工程,1992(9):1-3.
GENG Ruilun. Current situation and development of coring drilling with rope[J]. West-China Exploration Engineering, 1992(9):1-3.
- [2] 武国斌.钻探工程中的复杂地层钻进技术探讨[J].世界有色金属,2017(5):190-191.
WU Guobin. Drilling technology of complex formation in drilling engineering[J]. World Nonferrous Metals, 2017(5):190-191.
- [3] 耿怀庆,杨福全,何建平.复杂地层成因分析与钻探工艺研究[J].世界有色金属,2017(18):246,248.
GENG Huaiqing, YANG Fuquan, HE Jianping. Genetic analysis and drilling technology research of complex formation[J]. World Nonferrous Metals, 2017(18):246,248.
- [4] 刘曼.破碎地层钻探施工技术浅析[J].世界有色金属,2018(11):202-203.
LIU Man. Analysis of drilling construction technology in fractured strata[J]. World Nonferrous Metals, 2018(11):202-203.
- [5] 钱书伟,张绍和,李锋,等.软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(10):29-31.
QIAN Shuwei, ZHANG Shaohu, LI Feng, et al. Drilling technology in soft erosion stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(10):29-31.
- [6] 孙建华,张永勤,梁健,等.深孔绳索取心钻探技术现状及研发工作思路[J].地质装备,2011,12(4):11-14.
SUN Jianhua, ZHANG Yongqin, LIANG Jian, et al. The present situation of deep hole coring drilling technology and its research and development[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2011,12(4):11-14.
- [7] 姚彤宝,张春林,刘晓刚.大口径绳索取心钻具在特厚软煤中的取心应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):25-28.
YAO Tongbao, ZHANG Chunlin, LIU Xiaogang. Application of large-diameter wire-line coring barrel in thick soft coal[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(12):25-28.
- [8] 何远信,赵尔信,贾美玲,等.难钻进地层用新型钻头、钻具及泥浆的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(11):41-43.
HE Yuanxin, ZHAO Erxin, JIA Meiling, et al. Research on new type of drilling bits, tools and mud in difficult drilling formations[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(11):41-43.

- [9] 高申友,杨金东,王金,等.S75-SF中深孔绳索取心钻具结构及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):45-48.
GAO Shenyao, YANG Jindong, WANG Jin, et al. Structure of wire-line coring drilling tool for medium depth hole and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(5): 45-48.
- [10] 苏宏岸,张绍和,吴晶晶.超前侧喷绳索取心钻具的研制[J].地质与勘探,2014,50(1):178-181.
SU Hongan, ZHANG Shaohu, WU Jingjing. Development of the advanced lateral jet wire-line coring tool[J]. Geology and Exploration, 2014, 50(1): 178-181.
- [11] 杨玉坤,成伟.我国松软地层取心技术浅谈[J].石油机械,2003(S1):107-109.
YANG Yukun, CHENG Wei. Discussion on coring technology of soft formation in China[J]. China Petroleum Machinery, 2003(S1): 107-109.
- [12] 兰晓军,刘成海.浅谈绳索取芯钻进及其应用[J].林业科技情报,2011,43(3):99-100.
LAN Xiaojun, LIU Chenghai. A brief talk on rope core drilling technology and its application[J]. Forestry Science and Technology Information, 2011, 43(3): 99-100.
- [13] 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.
LI Xinmen, LIU Xiumei, YIN Hao, et al. Optimum design thoughts of wire-line coring tool used for deep hole drilling in complex formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 56-59.
- [14] 李金锁,张少林,刘江,等.绳索取心钻进技术在松散盐岩地层中的应用探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(7):5-9.
LI Jinsuo, ZHANG Shaolin, LIU Jiang, et al. Discussion on the application of wire-line coring drilling technology in unconsolidated salt strata[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(7): 5-9.
- [15] 张春波.绳索取心金刚石钻进技术[M].北京:地质出版社,1985.
ZHANG Chunbo. Drilling technology of coring diamond with rope[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [16] 张鹏.复杂地层绳索取心钻具的研制[D].北京:中国地质大学(北京),2014.
ZHANG Peng. The design of wire-line coring rig in complex strata[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [17] 牛军辉.松散软及破碎地层绳索取心钻具的研制[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
NIU Junhui. The design of loose soft and broken strata wire-line coring rig[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [18] 谢雄,郭鹏浩.难取芯地层的钻探技术研究[J].西部探矿工程,2017,29(5):70-73.
XIE Xiong, GUO Penghao. Study on drilling technology in difficult core formation[J]. West-China Exploration Engineering, 2017, 29(5): 70-73.
- [19] 王年友,谢文卫,冯起赠,等.绳索取心、液动潜孔锤、螺杆马达“三合一”钻具[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(S1):45-47.
WANG Nianyou, XIE Wenwei, FENG Qizeng, et al. “Three into One” drilling tool which combined wire-line core, hydrohammer and PDM[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005, 32(S1): 45-47.
- [20] 王年友,谢文卫,冯起赠,等.绳索取心钻探技术的新发展——三合一组合钻具[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):70-72,74.
WANG Nianyou, XIE Wenwei, FENG Qizeng, et al. New development of wire-line coring drilling “Three-in-One” drilling tool[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007, 34(9): 70-72, 74.
- [21] 李世忠.钻探工艺学(上册)[M].北京:地质出版社,1992.
LI Shizhong. Drilling technology (part I) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.
- [22] 刘志峰.S98绳索钻进取心技术在松辽外围油气钻探中的应用[J].中国煤炭地质,2017,29(4):57-61.
LIU Zhifeng. Application of S98 wire line coring technology on oil and gas drilling in Songliao Basin periphery[J]. Coal Geology of China, 2017, 29(4): 57-61.
- [23] 孙建华,张永勤,赵海涛,等.复杂地层中深孔绳索取心钻探技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(5):46-50.
SUN Jianhua, ZHANG Yongqin, ZHAO Haitao, et al. Research on deep hole wire line core drilling tech in complicated stratum[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2006, 33(5): 46-50.
- [24] 石绍云,房勇,邓伟,等.松散砂岩取心技术的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):34-38.
SHI Shaoyun, FANG Yong, DENG Wei, et al. Application of coring technology in the loose sandstone[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(8): 34-38.
- [25] 李振学,邓敏.柴川县多金属矿复杂地层岩心钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):56-59,95.
LI Zhenxue, DENG Min. Core drilling technology in complex formation of polymetallic deposit in Luanchuan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9): 56-59, 95.
- [26] 李国民.绳索取心钻探技术[M].北京:冶金工业出版社,2013.
LI Guomin. Wire-line coring drilling technology[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013.

(编辑 王建华)