

绳索取心钻杆内壁结垢成因与预防及清理装置的研发

李 宽, 李鑫淼, 韩丽丽, 张永勤

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:绳索取心钻杆内壁结垢会造成钻杆腐蚀、打捞器与内管总成运行受阻、孔壁失稳等问题, 常见类型有涡区结垢、延伸结垢与渗漏结垢等。本文在分析结垢原因与影响因素的基础上, 制定了冲洗液优选、钻进技术参数优化、钻孔结构与钻具组合优化等预防措施, 同时, 研发了泥皮清理装置, 可通过供电绞车和铠装电缆将刮泥器送至孔内, 主动清理钻杆内壁的吸附物或泥皮, 保持钻杆内壁清洁, 实现高效安全钻进。

关键词:绳索取心钻杆; 泥皮; 内壁结垢; 泥皮清理装置

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)02-0060-05

Generation of mud scale on the interior of wireline drill rods and development of prevention and cleaning devices

LI Kuan, LI Xinmiao, HAN Lili, ZHANG Yongqin

(The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Scaling on the inner wall of the wire-line drilling rod can cause drilling rod corrosion, blockage in running the fishing tools and the inner tube assembly, borehole wall instability, etc. The common types of mud scales occurs in the eddy region, or due to extension, leakage and so on. Based on analyzing the reasons and influence factors of mud scaling, the preventive measures are made in this paper, including drilling fluid optimization, drilling parameters optimization, borehole structure and bottom hole assembly optimization and so on. At the same time, the mud scale cleaning device has been developed. The mud scraper, lowered into the hole through the winch with power supplying and the armored cable, can actively clean the mud scale or adsorbates on the inner wall of the drill rod to keep it clean, so as to achieve the goal of high efficiency and safety drilling.

Key words: wire-line drilling rod; mud cake; mud scaling on inner wall; mud scale cleaning device

0 引言

金刚石绳索取心钻进具有钻进效率高、取心质量好、时间利用率高、劳动强度低、钻头寿命长、钻探成本低等突出优点, 目前已广泛应用于固体矿产勘查、煤田地质勘探、油气资源基础调查、水文地质与环境地质调查等领域^[1-3]。在地质钻探中, 由于冲洗液选择或维护不当、钻进技术参数选择不合理等因素, 在钻杆内壁容易出现泥垢或泥皮, 对钻探施工造成以下几个方面的影响:

(1) 钻杆内壁吸附的泥垢主要成分是固相颗粒

(膨润土、加重剂等)、岩粉与未完全溶解的化学处理剂, 化学试剂对钻杆产生腐蚀, 缩短了钻杆的使用寿命, 降低了钻杆的强度, 埋下了安全隐患^[4-5]。

(2) 钻杆内壁结垢直接影响了打捞器和内管总成在钻杆柱中的运行, 造成投不下打捞器, 或者发生打捞器与内管总成在提升过程中卡阻或卡死现象。一旦出现卡死, 只能将孔内的部分或全部钻柱提至地表进行处理^[6]。

(3) 内管总成在钻杆柱中起下会对孔壁产生抽吸和挤压作用, 内壁结垢导致钻杆内径减小, 抽吸和

收稿日期: 2019-01-08 DOI: 10.12143/j.tkge.2019.02.011

基金项目: 国家重点研发计划课题“小口径高效系列钻具研究”(编号: 2018YFC0603404); 地质调查项目“共和盆地恰卜恰干热岩试验性开发与评价(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号: DD20190136); 中国地质科学院勘探技术研究所科技项目“绳索取心钻杆内壁结垢成因与防治措施”

作者简介: 李宽, 男, 汉族, 1987年生, 工程师, 地质工程专业, 硕士, 从事岩土钻凿工艺与机具研究及示范工作, 河北省廊坊市金光道77号, likuan0611@163.com。

通信作者: 李鑫淼, 男, 汉族, 1985年生, 工程师, 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。

引用格式: 李宽, 李鑫淼, 韩丽丽, 等. 绳索取心钻杆内壁结垢成因与预防及清理装置的研发[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 60-64.
LI Kuan, LI Xinmiao, HAN Lili, et al. Generation of mud scale on the interior of wireline drill rods and development of prevention and cleaning devices[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2): 60-64.

挤压作用更明显,易抽垮或挤塌不稳定地层,出现掉块、垮塌等,孔壁失稳易导致卡钻、憋钻、钻杆折断等事故。

1 结垢类型与结垢成因

绳索取心钻进过程中,常见的结垢主要有下面3种类型^[7-8](参见图1)。

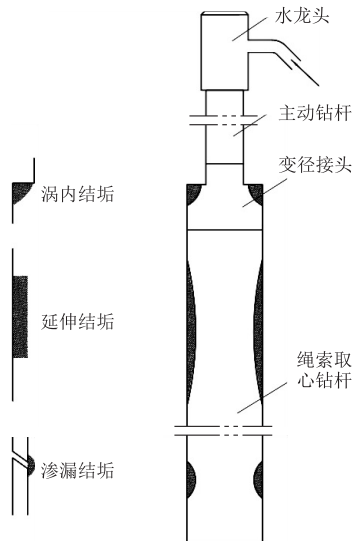


图1 绳索取心钻杆内壁结垢类型及成因

Fig.1 Type and cause of mud scaling on inner wall of wire-line drilling rod

(1)涡区结垢。主动钻杆内径通常小于绳取钻杆内径,变径接头形似一个不规则的喷嘴。当冲洗液以高速射流形式进入绳取钻杆后,液流通道突然扩大而产生涡流;同时,冲洗液流束过渡面四周形成负压区,冲洗液中的固相颗粒不断卷入负压区,并在旋转循环作用下吸附在钻杆内壁,形成泥垢。

(2)延伸结垢。冲洗液体系中的各种固相颗粒在回转离心力的作用下,在钻杆内壁不断附着和沉积,加上固相颗粒中有机处理剂的强吸附和粘结作用,使得沉积物变得更加结实,形成坚硬的泥皮。在钻进过程中,随着时间的推移和冲洗液不断循环,积垢逐渐向钻柱下部延伸。延伸式垢层具有一般沉积相的颗粒分选特征,沿径向颗粒按由粗到细,沿轴向从上到下亦由粗到细,最后呈“喇叭”形尖灭。延伸结垢是最主要的结垢形式,也是影响打捞器和内管总成运行的主要因素。

(3)渗漏结垢。钻杆接头丝扣加工粗糙或出现偏磨,或者在使用过程中钻杆丝扣没有拧紧到底,导致冲洗液失水,固相颗粒在泄露处架桥并形成泥饼,在钻杆接头连接处偶尔出现局部积垢。

2 钻杆内壁结垢预防措施

2.1 冲洗液优选与性能维护

(1)尽可能选择无固相、超低固相与低固相冲洗液,冲洗液密度一般控制在 $1.02\sim 1.04\text{ g/cm}^3$ 。降低固相含量,能减少钻头磨损,延长钻头寿命,减轻或消除内壁结垢^[9-10]。

(2)采用分散性好的泥浆材料,膨润土与处理剂需提前浸泡,采用搅拌机充分搅拌,使膨润土和化学处理剂充分溶解。

(3)控制冲洗液固相含量,采用自然沉淀、机械固控等措施尽可能降低冲洗液中的泥砂含量,保持冲洗液的清洁,保证送入孔内的冲洗液固相颗粒度 $<15\ \mu\text{m}$ 的含量控制在 $80\%\sim 90\%$ ^[11-12]。

(4)严格控制冲洗液失水量,尤其在水敏性地层,API滤失量 $\leq 8\text{ mL}$ 。

(5)定期测量冲洗液的密度、流动性(漏斗粘度、表观粘度、塑性粘度、动切力、静切力等)、滤失造壁性(滤失量、泥饼厚度、泥饼性能等)、pH值、含砂量等,及时调整冲洗液性能。

2.2 钻进技术参数优化

(1)转速控制。降低回转速度或换用小一级的钻杆钻进,能够降低钻杆内壁回转的线速度,减小固相颗粒的离心力,抑制固相颗粒在钻杆内壁沉积结垢^[13]。

(2)泵量控制。冲洗液在下行过程中同时受到水平方向和垂直方向的作用力,在钻杆中做螺旋运动;采用大泵量循环将提高其在钻杆内的流速,从而使冲洗液在钻杆内尽量保持垂直运动,降低水平方向的离心运动,减轻冲洗液中的固相颗粒粘附在钻杆内壁上^[14]。

2.3 其他预防措施

(1)要求绳索取心钻杆弯曲度 $\geq 0.75\text{ mm/m}$,钻杆外径与钻孔直径的比值宜为 $1.07\sim 1.12$,避免钻杆回转时摆动较大出现偏心式延伸结垢^[15]。

(2)尽量选用通径较大的主动钻杆,保证冲洗液同径循环,减缓或消除涡区结垢。

(3)定期对钻杆进行检查,及时更换螺纹损坏和过度偏磨的钻杆,尽量采用绳索钻杆液压钳紧扣,保证螺纹紧密啮合,防止出现渗漏结垢。

(4)定期清理提至地表的钻杆内的泥皮,如采用高压喷射等^[16]。

3 泥皮清理装置研发

3.1 研发的必要性

如前文所述,针对钻杆内壁结垢问题,一般采取严格控制冲洗液固相含量、降低回转速度等预防措施,能起到减缓内壁结垢的作用,但也存在一些弊端。如钻遇复杂地层(松散、破碎、漏失、高应力等),采取无固相或低固相冲洗液不能满足悬浮加重剂或堵漏剂的要求,可能无法达到护壁堵漏的目的;降低回转速度将大幅度降低机械钻速,无法实现高效钻进。

在钻探施工中,如出现钻杆内壁严重结垢影响内管总成运行,通常提出6~8个立柱,然后再打捞岩心。每个钻进回次结束都需要提出部分钻柱,不但增加了辅助时间,反复提下钻抽吸孔壁还会造成孔壁失稳的问题。

目前,尚无行之有效的方法与器具解决绳索钻杆内壁结泥皮“卡脖子”问题。因此有必要研制一种可以清理泥皮的机械装置。

3.2 泥皮清理装置的组成

研制的泥皮清理装置如图2所示,主要包括供电绞车、控制器、铠装电缆、刮泥器等4部分。

(1)供电绞车。放置于地表,为刮泥器在孔内起降提供动力,本装置选用上海地学仪器研究所生产的DJ0348轻便型测井电缆绞车,采用220V交流供电,具有无级调速、自动排缆、自动刹车等功能。

(2)控制器。控制供电绞车的启停、升降及运行速度,操作刮泥器井下工作状态等。

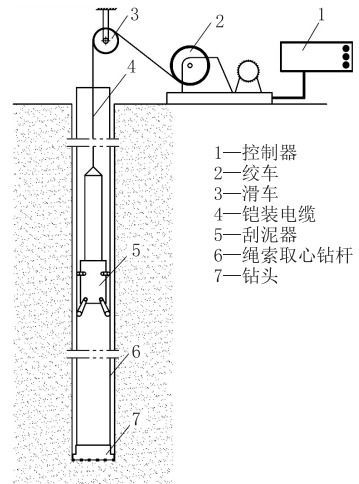


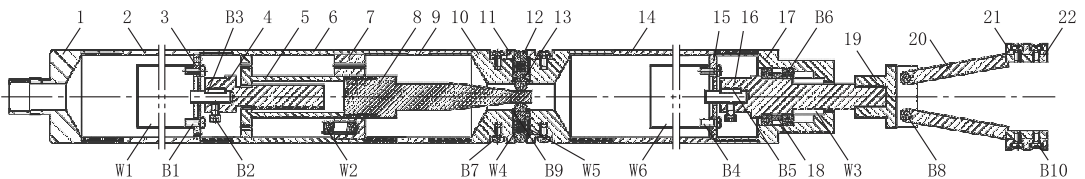
图2 泥皮清理装置组成

Fig.2 Components of the mud scale cleaning device

(3)铠装电缆。具有起下刮泥器、为刮泥器输送电力等功能,选用四芯氟橡胶绝缘钢丝铠装承荷电缆,电缆长度100m,导体截面 1.5 mm^2 ,电缆拉断力10kN,外径8.0mm,弯曲直径450mm。

(4)刮泥器。为泥皮清理装置的核心部件,结构如图3所示,刮泥器上部的转换接头与铠装电缆的连接方式为插接,通过O形圈密封、活络接头连接,主要由反扭总成和切削总成两部分组成。

3.3 泥皮清理装置工作过程



1—转换接头;2—低速电机罩;3—低速电机架;4—丝杠;5—丝杠螺母;6—六方套限位外管;7—六方套;8—滑移锥;9—外管短接;10—回收室;11—回收室压盖;12—横向滑移外球头;13—横向滑移内球头;14—高速电机罩;15—高速电机架;16—传输轴;17—密封罩;18—轴承隔离套;19—刀架;20—刀柄;21—刮刀座;22—刮刀片;B1—M6×15mm开槽圆柱头螺钉;B2—M6×12mm内六角螺钉;B3—4mm×4mm×20mm平键;B4—M6×15mm开槽圆柱头螺钉;B5—4mm×4mm×20mm平键;B6—61907深沟球轴承;B7—M6×10mm开槽圆柱头螺钉;B8—M8×30mm圆柱销;B9—1.8×12.5mm O形圈;B10—开槽圆柱头螺钉;W1—低速电机;W2—丝杠复位弹簧;W3—109-20机械密封;W4—球头复位弹簧;W5—缓冲垫片;W6—高速电机

图3 刮泥器结构示意图

Fig.3 Structure of the mud scraper

(1)刮泥器下放阶段。钻进回次结束,为避免钻杆内壁结垢影响内管总成打捞,投入打捞器之前,可通过铠装电缆将刮泥器下入绳索取心钻杆内(如图2所示)。在下放过程中,反扭总成处于收敛状态,低速电机不工作,丝杠螺母、滑移锥等处于上部限位,反扭球头完全收敛在回收室内,不与钻杆内壁接触;切削总成的高速电机不工作,刮刀在磁铁吸力作用下处于收敛状态,如图4(a)所示。

(2)反扭总成工作。刮泥器下放至一定深度后,启动低速电机反转,丝杠螺母带动滑移锥往下移动直至下部限位,滑移锥在往下滑动过程中对横向滑移内球头施加向外的横向作用力,挤压回收弹簧,横向滑移内外球头在横向推力作用下向外侧滑动;当丝杠螺母下移至下部限位时,横向滑移外球头与绳索取心钻杆的内壁逐渐靠近并紧密贴合,此时关闭低速电机,工作状态如图4(b)所示。

(3)回转切削作业。横向滑移外球头与钻杆内壁完全贴合后,开启高速电机,刮刀在离心力作用下克服吸力张开,锯齿状切削具与绳索取心钻杆内壁接触,连续回转切削实现清理泥皮的目的,刮泥器各机构工作状态如图 4(c)所示,刮泥器在供电绞车提升过程中完成泥皮清理。

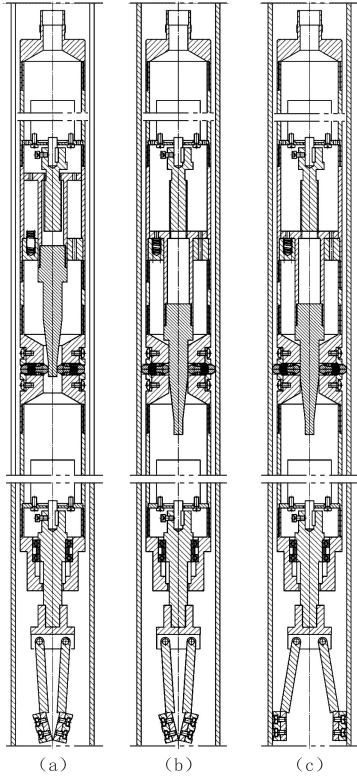


图 4 泥皮清理装置工作过程示意

Fig.4 Working process of the mud scale cleaning device

(4)切削作业结束。钻杆内壁泥皮清理结束后,地表供电绞车暂停提升。首先关闭高速电机,刮刀在自重和吸力作用下处于收敛状态,然后开启低速电机正转,通过丝杠机构,丝杠螺母带动滑移锥往上移动直至上部限位;与此同时,横向滑移内外球头在复位弹簧的作用下向内侧滑动收敛,反扭球头与绳索取心钻杆内壁分离,直至完全收敛于反扭接头内,如图 4(a)所示,启动供电绞车将刮泥器提至地表,从而完成回次泥皮清理作业。

3.4 泥皮清理装置试制与室内实验

泥皮清理装置在确定技术方案、完成各零部件的加工后,在苏州市新地探矿工具有限公司进行了组装调试与室内实验(如图 5、6 所示),其中,刮泥器适用于 P 规格绳索取心钻杆(钻杆内径 102~103 mm)。

3.4.1 实验目的

验证供电绞车与控制器、铠装电缆与刮泥器的



图 5 泥皮清理装置室内实验

Fig.5 Laboratory test of the mud scale cleaning device



图 6 刮泥器反扭总成工作状态

Fig.6 Working condition of the mud scraper anti-torque assembly

工作稳定性,尤其是刮泥器的反扭总成的张开与收敛动作的可靠性与准确性。

3.4.2 实验结论

(1)泥皮清理装置各部件均能正常工作,供电绞车可为刮泥器起降提供足够的提升力,控制器可准确控制供电绞车与刮泥器的工作,铠装电缆可满足承载与供电需求。

(2)刮泥器的反扭总成能够在控制器操作下实现收敛与张开,收敛状态时外径 ≥ 89 mm,可完全收敛于回收室内,张开状态时球头外径为 102.50 mm,在设计范围之内。

(3)刮泥器的切削总成工作平稳无振动,切削转速为 300 r/min;在液面下自由回转时刮刀翼展超过 85°;在 $\varnothing 114$ mm 钻杆内部回转切削见明显划痕;室内实验证明切削总成的扭矩与离心力可达到

清除坚硬泥皮的效果。

4 结论与建议

(1)本文总结了钻杆内壁结垢的规律,在分析结垢成因与影响因素的基础上,从钻进规程参数、冲洗液性能、钻孔结构与钻具等方面提出了钻杆内壁结垢的预防措施,为生产实践提供了一定的参考,可在一定程度上减轻或消除钻杆内壁结垢现象。

(2)创新研制了泥皮清理装置可按需要清理钻杆内壁的吸附物或泥皮。相比于被动的“降低转速”、“提立根”等措施,不会改变金刚石钻探“高转速”的技术特点,可以选用最优的钻进参数,降低吸附物对钻杆的腐蚀,真正实现高效安全钻进,最大限度地发挥绳索取心钻进技术的优势。

(3)为提高泥皮清理效果,刮泥器需要选用大功率($<300\text{ W}$)、小口径($>50\text{ mm}$)、380 V 供电的微型电机,改善刮泥器与钻杆内壁相对运动形式,寻找典型矿区进行井下试验,并形成 H 规格、P 规格等系列化产品,真正应用于地质钻探生产实践中,摘掉钻杆结泥皮的“紧箍咒”。

参考文献(References):

- [1] 王有东.绳索取心钻进技术在煤田勘探超深孔施工中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(4):67-69,72.
WANG Youdong. Application of wireline core drilling in coalfield ultra deep boreholes[J]. Coal Geology of China, 2009,21(4):67-69,72.
- [2] 李宽,李鑫森,梁健.绳索取心钻杆折断事故的原因、预防与处理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):48-51.
LI Kuan, LI Xinmiao, LIANG Jian. Causes of wire-line drilling rod broken accident and prevention treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(7):48-51.
- [3] 刘志峰.S98 绳索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.
- [4] 赵金凤,余世杰,袁鹏斌.镀镍钻杆内壁腐蚀原因[J].腐蚀与防护,2014,(11):1173-1176.
ZHAO Jinfeng, YU Shijie, YUAN Pengbin. Internal corrosion causes of nickel plated drill pipe[J]. Corrosion and Protection, 2014,(11):1173-1176.
- [5] 朱丽娟,刘永刚,李方坡,等.G105 钢制钻杆腐蚀失效的原因[J].腐蚀与防护,2016,37(9):775-780.
ZHU Lijuan, LIU Yonggang, LI Fangpo, et al. Corrosion failure reason of a G105 steel drill pipe[J]. Corrosion and Protection, 2016,37(9):775-780.
- [6] 宋世杰,付相友,于孟亮.绳索取心钻探过程中取心钢丝绳断裂的处理工艺探讨[J].地质装备,2018,19(5):32-33.
SONG Shijie, FU Xiangyou, YU Mengliang. Discussion on the treatment technology of coring wire rope fracture during

- coring drilling[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(5):32-33.
- [7] 杨亿.绳索取心钻进钻杆内壁结垢及其泥浆体系的选型分析[J].科技信息,2011,(12):383-389.
YANG Yi. Scaling on the inner wall of wire-line drilling rod and selection analysis of the mud system[J]. Science & Technology Information, 2011,(12):383-389.
- [8] 陶士先,汤松然,彭步涛.绳索取心钻杆内壁结垢机理与防治[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):155-159.
TAO Shixian, TANG Songran, PENG Butao. Scaling mechanism of inner wall of wire-line drilling rod and the prevention scaling mechanism of inner wall of wire-line drilling rod and the prevention[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(S1):155-159.
- [9] 高雨根,肖玉帅.ST-1 无固相冲洗液在绳钻中的应用效果[J].中国煤炭地质,2008,20(11):72-74.
GAO Yugen, XIAO Yushuai. Applying effect of ST-1 solid-free fluids in wire-line drilling[J]. Coal Geology of China, 2008,20(11):72-74.
- [10] 刘志峰.无固相冲洗液在变质岩系复杂地层绳索取心钻进中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):14-18.
LIU Zhifeng. Application of solid-free flushing fluid for wire-line coring in complex metamorphic rocks formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(4):14-18.
- [11] 何建平,王伟,龙海涛.绳索取心钻进中钻杆内泥皮成因分析与预防[J].资源信息与工程,2018,33(1):108-109,111.
HE Jianping, WANG Wei, LONG Haitao. Cause and prevention of mud in drill pipe during wire-line coring drilling[J]. Nonferrous Metals Abstract, 2018,33(1):108-109,111.
- [12] 郑文龙,乌效鸣,吴笛,等.深部盐岩层绳索取心钻井液技术研究与应用[J].地质与勘探,2015,51(5):977-983.
ZHENG Wenlong, WU Xiaoming, WU Di, et al. Drilling fluid technology suitable for core drilling in deep salt beds[J]. Geology and Exploration, 2015,51(5):977-983.
- [13] 何立新,孟义泉,高鹏举,等.绳索取心钻杆结泥皮原因分析及解决方案[J].地质装备,2016,17(5):32-34.
HE Lixin, MENG Yiquan, GAO Pengju, et al. Cause analysis and solution of sludge on wire coring drill pipe[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2016,17(5):32-34.
- [14] 王颂,谢玉萍,司马世华.降低深孔绳索取心钻杆内壁结垢率的方法研究[J].水利建设与管理,2015,(11):75-79.
WANG Song, XIE Yuping, SIMA Shihua. Research on the method of lowering inner wall scaling rate of deep hole rope coring drill pipe[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2015(11):75-79.
- [15] 张伟.特深岩心钻杆套管程序和钻具级配等问题的探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):1-5.
ZHANG Wei. Discussion on casing program and drilling tools match relation of ultra-deep geological core hole[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):1-5.
- [16] 肖厚韬.高压水射流自动清洗钻杆系统设计与喷嘴仿真[D].湖南长沙:长沙矿山研究院,2016.
XIAO Houtao. High-pressure water jet cleaning drill pipe system design and nozzle simulation[D]. Changsha Hunan: Changsha Institute of Mining Research, 2016.

(编辑 王建华)