

博孜区块新型表孕镶金刚石全面钻头的应用研究

吴海霞, 沈立娜*, 李 春, 刘海龙

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:针对塔里木油田博孜区块巨厚砾石层的岩性差异大、可钻性差、钻头机械效率低和使用寿命短的问题,本文从刀翼式结构、中心强化、表孕镶多级人造金刚石配方、分体烧结工艺等方面对配套高速涡轮钻具钻进的新型表孕镶金刚石全面钻头进行了设计与研究。研制的 $\phi 333$ mm表孕镶金刚石全面钻头在博孜区块进行现场应用,钻头的平均机械钻速2.01 m/h,寿命300 m,与进口孕镶金刚石全面钻头相当,但成本远低于进口钻头,大幅度提高了该地层勘探开发的施工效率,降低了勘探成本。

关键词:高速涡轮钻具;巨厚砾石层;孕镶金刚石钻头

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)03-0101-05

Research and application of the new surface impregnated diamond bit in the Bozi Block

WU Haixia, SHEN Lina*, LI Chun, LIU Hailong

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In view of greatly heterogeneous lithology, poor drillability, low mechanical drilling efficiency and short service life of the bit in the massive gravel layer of the Bozi Block, Tarim Oilfield, a new surface impregnated diamond bit for the high-speed turbodrill is designed and studied from the aspects of the blade structure, central strengthening, multi-stage surface impregnated synthetic diamond formula and separate sintering process. The average ROP of the bit is 2.01m/h with the service life up to 300m, which is equivalent to that of the imported impregnated diamond bit, while the cost is far lower than that of the imported bit. The new bit greatly improves the construction efficiency of exploration and development of the formation and reduces the exploration cost.

Key words: high speed turbodrill; massive gravel layer; surface impregnated diamond bit

塔里木油田博孜区块是钻井提速的“硬骨头”,其位于库车坳陷克拉苏构造带西部,是塔里木油田“十四五”3500 $\times 10^4$ t建设增储上产工作的重点区块^[1]。该区块的第四系、库车组、康村组及吉迪克组顶部存在巨厚砾岩层,且不同井的砾石层岩性差异大,可钻性差^[2-3],钻头的机械钻速低且消耗多,钻井周期长,大幅增加了钻井成本,严重制约了勘探开发进度^[4]。

1 博孜区块巨厚砾岩层主要钻进难点

根据博孜区块已钻探的深井超深井情况分析研究,巨厚砾岩层钻进中主要存在以下技术难题:

(1)博孜区块的巨厚砾石层厚度约2000~6000 m(埋深超过3000 m,平均厚度2900 m,最长达5830 m),可钻性差,且同一区块不同井砾石层之间的岩性差异大,钻头选型及提速技术优选难度大^[5-8]。

收稿日期:2020-11-14; 修回日期:2021-01-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.03.014

基金项目:自然资源部深部地质钻探技术重点实验室开放课题基金项目“深部地质钻探用孕镶金刚石钻头铁基切削齿研究”(编号:KF201903)

作者简介:吴海霞,女,汉族,1986年生,工程师,地质工程专业,硕士,长期从事金刚石钻头及钻具的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号(102488),379940006@qq.com

通信作者:沈立娜,女,汉族,1985年生,高级工程师,从事金刚石钻头及钻具的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号(102488),491833745@qq.com。

引用格式:吴海霞,沈立娜,李春,等.博孜区块新型表孕镶金刚石全面钻头的应用研究[J].钻探工程,2021,48(3):101-105.

WU Haixia, SHEN Lina, LI Chun, et al. Research and application of the new surface impregnated diamond bit in the Bozi Block[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3):101-105.

(2)常规牙轮钻头钻进巨厚砾石层井段时,钻头机械钻速低,寿命短,即使狮虎兽复合钻头等新钻头也磨损严重。例如,博孜区块某探井采用牙轮钻头钻进砾石层时,机械钻速 <0.90 m/h,共用时397 d才钻穿厚度5359 m的砾石层,牙轮钻头的平均使用寿命 <72 h^[9-10]。

(3)常规PDC钻头钻进巨厚砾石层井段时,经常出现复合片崩齿、钻头掏心和钻头磨损严重等问题,导致钻头寿命低,严重影响钻进效率。

针对博孜区块巨厚砾岩层的主要钻进难点,结合我国目前井底动力工具的发展现状,研制了配套高速涡轮钻具的全面孕镶金刚石钻头。通过对孕镶金刚石钻头的结构、金刚石参数、制造工艺等方面开展研究,试制 $\varnothing 333$ mm表孕镶金刚石全面钻头配套高速涡轮钻进在博孜区块进行现场实验应用,钻头综合指标与国外同类产品相当,但费用远低于国外全面孕镶金刚石钻头+高速涡轮钻进方案,大大降低了钻井成本,获施工方高度认可,为该区高效勘探开发提供了有力的技术支撑,也为我国西部深层油气田相似地层钻井提供了一种高效的解决方案。

2 高速涡轮配套新型金刚石钻头的研制

2.1 研究内容

根据博孜区块巨厚砾石层岩性及高速涡轮钻进的特点,结合以往在砾石层使用全面钻头+高速螺杆钻具钻进的研究基础,从钻头的结构、切削齿、金刚石参数、制造工艺等方面开展了以下研究。

2.1.1 钻头结构

根据钻头轮廓设计特点并借鉴以往坚硬地层复合片钻头和孕镶金刚石钻头冠部曲线的设计理论^[5-9,11-17],选择较大半径的浅锥双圆弧冠部轮廓,内锥角 α 取 $120^{\circ}\sim 125^{\circ}$,保证钻头整体稳定性,防止切削齿受力不均导致钻头先期磨损,延长钻头寿命;在高速涡轮的高转速下,为了实现钻头的有效冷却,采用了刀翼式钻头结构,其将钻头的切削面积分割为若干较小的刀翼式切割单元^[18-20],并在刀翼上交错布置切削齿,减小钻头工作层与井底的接触面积,进而提高相同钻压下单位面积上的压力,提高钻头的钻进效率(参见图1)。

2.1.2 切削齿

金刚石钻头钻进坚硬岩石时,主要靠金刚石在压力和水平回转力的作用下在岩石表面研磨压碎

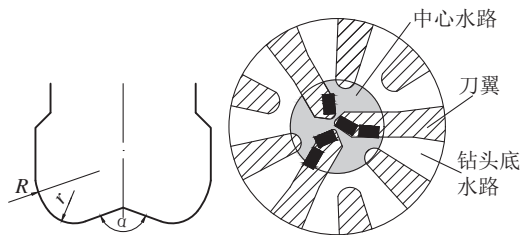


图1 钻头的冠部形状和结构示意图

Fig.1 Crown shape and structure of the bit

切削岩石,因此线速度越高的切削齿位置,其切削能力越强,但钻头的中心位置线速度为零^[21],会导致金刚石钻头中心死点先期磨损,从而提前结束钻头的寿命。为了解决中心死点问题,在钻头中心刀翼上圆周交错布置高耐磨性的金刚石复合片。该金刚石复合片在深脱钻情况下,湿法立车跟石材对磨,磨耗比能超过1000万;热稳定性也比较高,干法立车情况下,走刀数值经常超过12 passes。

2.1.3 金刚石参数

切削齿采用表镶大颗粒人造金刚石+孕镶多级人造金刚石热压胎块,其热压烧结温度是 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$,可以大大降低人造金刚石的热损伤;表镶 $8\sim 10$ 目大颗粒人造金刚石,孕镶 $16\sim 40$ 目金刚石的浓度为 $100\%\sim 150\%$,工作层高度为 $25\sim 30$ mm^[22-26]。为了保证各个切削齿在刀翼上的布齿密度和一定钻压下钻头的有效切削,采用不等密度交错布齿方式和不同切削齿形状设计。

2.1.4 制造工艺

大直径钻头在整体无压烧结过程中,操作非常不便,且由于浸渍通道较长,容易出现烧结强度不足的问题。本次研制采用分体无压烧结中心体结合外部钢体二次镶嵌热压的制造方式,以保证钻头的强度。

2.2 钻头现场使用情况

经过上述各方面的研究后,试制了一个 $\varnothing 333$ mm表孕镶金刚石全面钻头(见图2)。

该钻头在博孜区块配合高速涡轮钻具进行了钻进试验,钻头钻进61 m后进尺速度缓慢,提钻出井后的钻头照片见图3。由出井钻头可以分析出,钻头中心部位的复合片和表镶大颗粒金刚石的磨损都很小,还有很高的工作寿命,其结构和配方设计等可以满足需求;但是外侧二次镶嵌切削齿,在高转速的钻进引起的高温环境中,发生了焊接面的

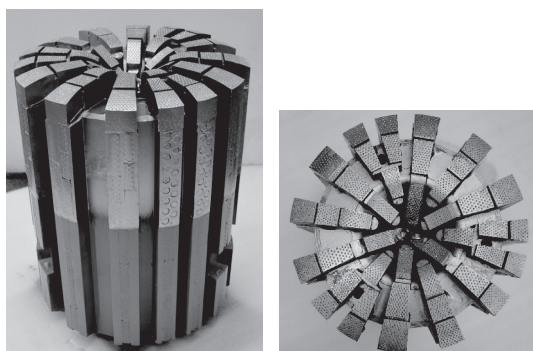


图2 Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头

Fig.2 Ø333mm surface impregnated diamond bit

熔移和部分的掉块,刀翼外部的不正常磨损,无法满足涡轮钻具钻进的要求,需要改进设计。



图3 Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头出井后照片

Fig.3 Photo of Ø333mm surface impregnated diamond bit after it is tripped out of the well

3 高速涡轮配套新型金刚石钻头的改进设计

根据第一次钻头的使用情况分析后,改进了钻头的制造工艺,采用钻头中心部分+外侧部分分体无压烧结后再组合在一起(见图4),并在接缝处设计了交错分布的不同规格的切削齿,保证钻头切削的整体覆盖性。改进后又试制了Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头(见图5),并在博孜区块巨厚砾石层配合高速涡轮进行钻进,现场使用情况见表1。

由表1可以看出,改进后的Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头配合高速涡轮钻进,从井深3040 m入

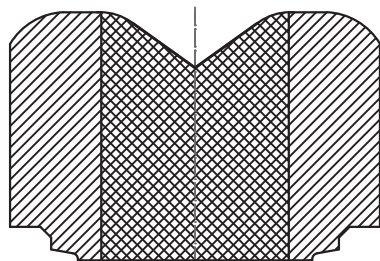


图4 分体烧结钻头结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of the improved bit structure

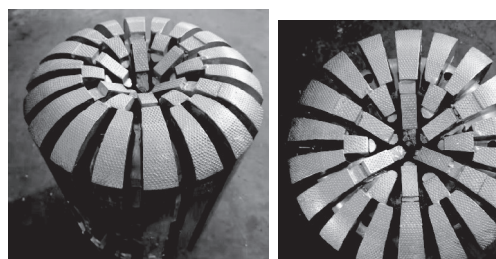


图5 改进后Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头

Fig.5 Second improved Ø333mm surface impregnated diamond bit

表1 改进后Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头配合
涡轮钻具现场使用情况

Table 1 Field usage of the Ø 333mm surface impregnated
diamond bit for the turbodrill

日期	井深/ m	进尺/ m	纯钻 时间/h	平均 时效/m
2020年4月5—10日	3040~3230	190	90.96	2.09
2020年4月11日	3230~3275	45	21.15	2.13
2020年4月12日	3275~3316	41	20.7	1.98
2020年4月13日	3316~3340	24	18.6	1.29
合计(平均)	3040~3340	300	148.03	2.01

井钻进至3340 m出井,累计进尺为300 m,累计纯钻时间为148.03 h,平均时效达2.01 m。钻头出井后的照片见图6,其与进口孕镶金刚石钻头和牙轮钻头的使用情况对比见图7。

由图7可以看出,研制的Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头的平均时效是进口牙轮钻头的2.7倍,



图6 改进后Ø333 mm 表孕镶金刚石全面钻头出井后照片

Fig.6 Photo of the improved Ø333mm surface impregnated diamond bit after it is tripped out of the well

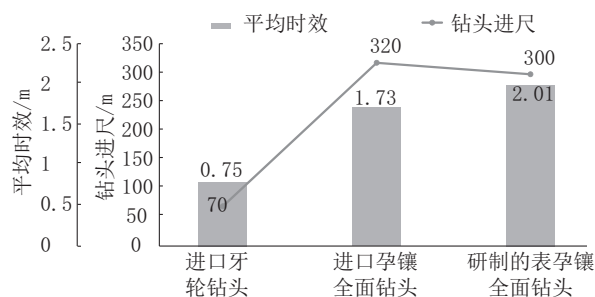


图7 3种钻头在博孜区块巨厚砾石层使用情况对比

Fig.7 Comparison of three kinds of bits used in the massive gravel layer in the Bozi Block

是进口孕镶金刚石钻头的1.2倍;使用寿命是进口牙轮钻头的4.3倍,略低于进口孕镶金刚石钻头。由此可见,钻头的综合指标远高于进口牙轮钻头,与进口孕镶金刚石钻头相当,但是钻头的费用远低于进口孕镶金刚石钻头,且钻头的改进设计和供货响应比进口钻头及时,大大降低了钻井成本。

从图6可以看出,钻头的连接处出现了拉槽的磨损特征,保径处的磨损也较大,需要下一步继续开展改进研究。

4 结论

通过钻头结构、中心加强、多级孕镶金刚石配方、分体烧结制造工艺研究试制的 $\Phi 333$ mm新型刀翼式表孕镶金刚石全面钻头配合高速涡轮钻具能够很好地满足博孜区块巨厚砾石层钻进要求;钻头的平均时效达2.01 m,使用寿命300 m,其使用效果与进口孕镶金刚石钻头相当,但费用远低于进口钻头,大大降低了钻探成本,可以有效支撑油气勘探开发,后续需研究改进提高连接和保径处的耐磨性,以进一步提高钻头的寿命。

参考文献(References):

- [1] 陆灯云,王春生,邓柯,等.塔里木博孜区块巨厚砾石层气体钻井实践与认识[J].钻采工艺,2020,43(4):8-11.
LU Dengyun, WANG Chunsheng, DENG Ke, et al. Practice and understanding of gas drilling in huge thick gravel layer in Tarim Oilfield BZ Block[J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(4):8-11.
- [2] 彭齐,周英操,周波,等.凸脊型非平面齿PDC钻头的研制与现场试验[J].石油钻探技术,2020,48(2):49-55.
PENG Qi, ZHOU Yingcao, ZHOU Bo, et al. Development and field test of a non-planar cutter PDC bit with convex ridges [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(2):49-55.

- [3] 张明,杨新龙,龚晓军.中速涡轮工具在砾石层钻进应用分析[J].中国新技术新产品,2019(16):37-38.
ZHANG Ming, YANG Xinlong, GONG Xiaojun. Application analysis of medium speed turbine tools in gravel formation drilling [J]. China New Technology and New Products, 2019(16):37-38.
- [4] 蔡家品,贾美玲,沈立娜,等.难钻进地层金刚石钻头的现状和发展趋势[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):67-73,91.
CAI Jiapin, JIA Meiling, SHEN Lina, et al. Present situation of diamond bit used in difficult drilling formations and the development trend[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(2):67-73,91.
- [5] 刘金龙,王春生,吕晓刚,等.库车山前巨厚砾石层钻井提速技术分析[J].钻采工艺,2020,43(3):20-22.
LIU Jinlong, WANG Chunsheng, LÜ Xiaogang, et al. Analysis on enhancing the ROP of drilling with thicker conglomerate in the Kuqa Piedmont [J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(3):20-22.
- [6] 李宁,周波,文亮,等.塔里木油田库车山前砾石层提速技术研究[J].钻采工艺,2020,43(2):143-146.
LI Ning, ZHOU Bo, WEN Liang, et al. Study on improving drilling rate technology of gravel layer in Kuqa Piedmont in Tarim Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43(2):143-146.
- [7] 新型大直径孕镶金刚石全面钻头助力塔里木油田勘探开发提速提效[J].地质装备,2020,21(4):10.
New large diameter impregnated diamond bit helps to increase exploration and development speed and efficiency in Tarim Oilfield [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2020, 21(4):10.
- [8] 刘光辉,解丕基,赵成刚.康3井巨厚砾石层钻井技术研究[J].化工管理,2020(6):121-122.
LIU Guanghui, XIE Piji, ZHAO Chenggang. Study on drilling technology for thick gravel formation in Well Kang 3 [J]. Chemical Enterprise Management, 2020(6):121-122.
- [9] 香玉元.库车山前砾石层非平面齿PDC钻头应用效果分析[D].北京:中国石油大学(北京),2019.
XIANG Yuyuan. The analysis of application effect of non-planar tooth PDC bit drilling gravel layer in Kuqa Piedmont [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.
- [10] 邓虎,胥志雄,王怀金,等.塔里木盆地山前巨厚砾石层快速钻井技术[J].天然气工业,2014,34(10):66-70.
DENG Hu, XU Zhixiong, WANG Huaijin, et al. Technologies in enhancing the ROP by air drilling through the piedmont gravel layers with huge thickness in the Tarim Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(10):66-70.
- [11] 廖新伟,姚延许,安俊,等.博孜区块砾石层大尺寸井眼气体钻井配套工艺技术研究[J].新疆石油天然气,2020,16(4):16-21.
LIAO Xinwei, YAO Yanxu, AN Jun, et al. Large size well-bore in gravel layer of Bozi Area research on air drilling matching technology [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2020, 16(4):16-21.
- [12] 张建平.桥古1井快速钻进PDC钻头优化设计与效果分析[J].石油钻探技术,2012,40(6):119-123.
ZHANG Jianping. Design optimization and effect analysis of

- fast drilling PDC bit for Well QG-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012,40(6):119-123.
- [13] 曾义根, 韦忠良, 吕苗荣, 等. 宣页1井新型PDC钻头设计与应用[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(2):114-118.
- ZENG Yigen, WEI Zhongliang, LÜ Miaorong, et al. Design and application of new PDC bit in Well Xuanye-1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(2):114-118.
- [14] 肖国益, 胡大梁, 廖忠会, 等. 川西须家河组地层PDC钻头结构参数优化及选型[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(3):28-32.
- XIAO Guoyi, HU Daliang, LIAO Zhonghui, et al. Parameter optimization and selection of PDC bits for Xujiahe formation in western Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(3):28-32.
- [15] 杨丽, 陈康民. 改进PDC钻头性能的设计方法[J]. 石油机械, 2005, 33(3):25-27.
- YANG Li, CHEN Kangmin. Design method for improving the performance of PDC bits [J]. China Petroleum Machinery, 2005,33(3):25-27.
- [16] 梁涛, 赵义. 金3井混镶金刚石钻头的设计与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2):45-47.
- LIANG Tao, ZHAO Yi. Design and application of mix setting diamond bit for Well Jin-3[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):45-47.
- [17] 蔡家品, 贾美玲, 梁涛, 等. 孕镶金刚石钻头的应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(6):72-74.
- CAI Jiapin, JIA Meiling, LIANG tao, et al. Study on impregnated diamond bit and its application[J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(6):72-74.
- [18] 梁涛, 贾美玲, 沈丽娜. 珍珠冲段地层用金刚石钻头的研制与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2015:703-706.
- LIANG Tao, JIA Meiling, SHEN Lina. Development and application of diamond bit for zhenzhuchong formation[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Eighteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2015:703-706.
- [19] 吴海霞, 刘海龙, 李春, 等. 龙岗70井新型孕镶金刚石钻头的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(S1):335-339.
- WU Haixia, LIU Hailong, LI Chun, et al. Research and application of new impregnated diamond bit for Well Longgang-70 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(S1):335-339.
- [20] 蔡家品, 贾美玲, 史强. 元坝地区新型金刚石钻头的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(11):70-72.
- CAI Jiapin, JIA Meilin, SHI Qiang. Research and application of new type of diamond bit in Yuanba area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010, 37(11):70-72.
- [21] 刘广志, 等. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- LIU Guangzhi, et al. Diamond drilling handbook[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [22] 沈立娜, 阮海龙, 李春, 等. 坚硬致密“打滑”地层新型自锐金刚石钻头的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(11):57-59.
- SHEN Lina, RUAN Hailong, LI Chun, et al. Study on a new type self-sharpening diamond bit for drilling in hard-compact-slipping formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(11):57-59.
- [23] 吴海霞, 陈磊, 李春, 等. 新疆乌苏煤矿区泥岩地层用金刚石钻头的应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2019:458-463.
- WU Haixia, CHEN Lei, LI Chun, et al. Research and application of diamond bits for mudstone in Wusu Coal Mine, Xinjiang// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:458-463.
- [24] 叶继超, 沈立娜, 阮海龙, 等. 金刚石钻头胎体添加稀土氧化钇的方法及影响研究[C]//第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 中国地质学会探矿工程专业委员会. 北京:地质出版社, 2019:464-469.
- YE Jichao, SHEN Lina, RUAN Hailong, et al. Method and effect of adding yttrium oxide to diamond bit matrix[C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:464-469.
- [25] 沈立娜, 阮海龙, 吴海霞, 等. 稀土La添加量对预合金铁基胎体性能的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(4):69-71.
- SHEN Lina, RUAN Hailong, WU Haixia, et al. Influence of La addition on the properties of pre-alloyed Fe-based matrix material [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):69-71.
- [26] 吴海霞, 欧阳志勇, 李春, 等. 青海东昆仑、祁曼塔格地区金刚石钻头的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(3):77-80.
- WU Haixia, OUYANG Zhiyong, LI Chun, et al. Study of diamond bits in Qinghai province Dongkunlun and Qimantage area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(3):77-80.

(编辑 荐华)