



胎体弱化颗粒材质对 WC 基孕镶 金刚石钻头胎体磨损性能的影响

郭庆清^{1,3}, 王佳亮², 张绍和^{1,3}

- (1. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 长沙 410083;
2. 湖南科技大学 海洋矿产资源探采装备与技术湖南省工程实验室, 湘潭 411201;
3. 中南大学 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 长沙 410083)

摘要: 采用热压烧结法, 以 WC 基混合粉末和 MBD₈ 人造金刚石为原材料, 通过改变添加至胎体中的胎体弱化颗粒材质, 制备钻进打滑地层用 WC 基孕镶金刚石钻头, 并进行钻进试验。采用室内钻进及 SEM 扫描电镜分析等手段研究不同胎体弱化颗粒材质对钻头胎体结构、力学性能和摩擦磨损行为的影响。结果表明: 粒径小于 425 μm 的 SiC 颗粒由于其脆性特性, 适当浓度的 SiC 颗粒能够减少单位面积上金刚石颗粒数, 利于唇面比压的提高, 进而提高钻头碎岩效率; 棕刚玉颗粒的脆性破损断裂的能力较差, 无法有效剥落以增加胎体的粗糙度, 并促进金刚石的新陈代谢; 硬质合金钢丸颗粒由于本身性质导致其无法有效促进金刚石出刃, 不宜作为胎体耐磨损性弱化颗粒材质。

关键词: 孕镶金刚石钻头; 非光滑表面; 胎体弱化颗粒; 耐磨性

中图分类号: TG115

文献标志码: A

Effects of matrix weaken particle material on matrix wear resistance of diamond bit based on WC

GUO Qing-qing^{1,3}, WANG Jia-liang², ZHANG Shao-he^{1,3}

- (1. School of Geoscience and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Equipment and Technology for Oceanic Mineral Resource,
Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
3. Key Laboratory of Non-ferrous Metal Ore Forecast, Ministry of Education,
Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The matrix weaken diamond bit was prepared by hot pressing with choosing different kinds of matrix weaken particle materials. The matrix weaken particle materials influence on matrix structure, mechanical properties, friction and wear characteristics was studied by interior drilling test and SEM. The results show that SiC particle with size less than 425 μm can enhance the drilling efficiency and bit pressure by decreasing the diamond quantity of unit area. Brown Corundum can not promote diamond metabolism rapidly because the ability of brittle fracture is weaker, the cemented carbide shot can not choose as matrix weaken particle material because it can not promote diamond metabolism.

Key words: impregnated diamond bit; non-smooth surface; matrix weakening particle; wear resistance

WC 基孕镶金刚石钻头由于具有良好的冲击韧性、钻进效率高等特点被广泛应用于地质钻探等领域。在大规模的矿产勘探中, 坚硬致密研磨性岩层的情况非常普遍^[1-3]。由于该岩层抗压强度高、岩石致密、

岩粉对胎体研磨性弱, WC 基孕镶金刚石钻头在该地层钻进时, 新颗粒金刚石不易出刃, 钻头易出现打滑不进尺等现象^[4]。近年来, 国内外科人员采用不同方法, 如优化切削齿唇面结构、降低胎体硬度、选用

高品级金刚石等,并取得了一定的成效^[5]。杨俊德等^[6]将切削齿唇面设计成可再生同心环齿型,结果表明该齿型结构有利于提高钻头唇面比压,提高碎岩效率。杨展^[7]设计了一种针对打滑地层的复合孕镶体金刚石钻头。其将切削齿含金刚石的部分单独烧结成正方体或圆柱型,再装配于石墨模具中,该方案能有效减小钻头的唇面比压,增加了碎岩效率^[7]。李子章等^[8]就金刚石在唇面上的分布形态对钻进性能的影响展开了研究。Atalas Copco 公司研制了主辅水口钻头,有利于胎体的中心部分冷却,且减小钻头的唇面积,有利于碎岩效率的提高^[9]。ZAK-SZWED^[10]提出的 Fe-Cu 基胎体配方,硬度在满足使用要求的前提下较 WC 基胎体有所下降,有利于金刚石的出刃,能够提高钻头的碎岩效率。在金刚石工具中,为提高工具的钻进效率,在保证胎体强度能够满足使用要求的前提下,利用适当方法降低胎体的耐磨损性能,将这种工艺过程称之为胎体弱化^[11]。前期的研究表明^[12],将硬质磨粒作为胎体耐磨损性弱化元素添加至 WC 基胎体中,能有效降低胎体的耐磨损性能,脱落的弱化颗粒在孔底参与磨损钻头胎体,增加了孔底岩粉的研磨能力,促进了胎体中新颗粒金刚石的出刃,提高钻头在打滑地层的钻进效率。

本文作者采用热压烧结法,以 WC 基混合粉末和 MBD₈ 人造金刚石为原材料,制备 WC 基孕镶金刚石微钻头。通过改变胎体弱化颗粒材质,改变胎体显微结构、力学性能和界面结合状况,研究胎体耐磨损性弱化颗粒材质对钻头胎体摩擦磨损行为的影响,从而

优选出最佳的胎体耐磨损性弱化颗粒材质,以期为后续胎体耐磨损性弱化孕镶金刚石钻头的设计参数优化和现场试验提供依据。

1 实验

1.1 钻头研制

WC 基孕镶金刚石钻头胎体成分如表 1 所列。WC 粉的平均颗粒尺寸 74 μm; Cu、Ni、Co、Mn 粉平均颗粒尺寸 48um; 金刚石磨粒选用平均颗粒尺寸 450 μm 的 MBD₈ 型人造金刚石; 试验钻头参数表如表 2 所示; 胎体弱化颗粒成分如表 3 所示。

表 1 胎体成分表

Table 1 Composition of matrix material (mass fraction, %)

WC	Co	Ni	Mn	663Cu
25-30	5-8	5-8	5-8	50-55

钻头参数设计主要包括尺寸参数设计、金刚石参数设计、胎体性能参数设计、水路系统参数设计等。胎体耐磨损性弱化孕镶金刚石钻头还包括了胎体耐磨损性弱化颗粒浓度设计。胎体耐磨损性弱化颗粒浓度是指胎体耐磨损性弱化颗粒占胎体体积分数(采用砂轮制 400%浓度表征)。试验钻头参数设计如表 2 所列。胎体耐磨损性弱化颗粒材质性能如表 3 所列。采用质量比方式对钻头粉料、金刚石及胎体耐磨损性弱化颗

表 2 钻头参数表

Table 2 Composition of matrix material

Sample No.	Material of matrix weakening particle	Concentration of matrix weakening particle/%	Concentration of diamond/%	Hardness of matrix, HRC
1	—	—	75	20
2	Fused alumina	30	69	20
3	SiC	38	67	20
4	Alloy steel shot	18	70	20

表 3 胎体弱化颗粒成分表

Table 3 Composition of matrix material

Type	Mass fraction/%								Grain size/μm
	Al ₂ O ₃	SiC	Mn	Fe ₂ O ₃	C	CaO	SiO ₂	Si	
Fused Alumina	>95	—	—	<0.15	—	<0.4	<1.5	—	425
SiC	—	>98.5	—	<0.6	—	<0.2	—	—	300
Alloy steel shot	—	—	0.35~1.2	—	0.7~1.2	—	—	0.4~1.2	380

粒进行称量配比。由于胎体弱化颗粒材质各不相同, 故其密度也各不相同, 在金刚石质量相等的情况下, 由于弱化颗粒占据了部分胎体体积, 故添加了弱化颗粒的钻头其金刚石的体积浓度比不添加弱化颗粒钻头的体积浓度有所减少。

根据标准和经验, 确定实验钻头参数如下: 钻头尺寸外径为 35, 内径 21; 胎体硬度为 20 HRC。采用热压法烧结。烧结工艺为 980 °C、3 MPa/5 min。

1.2 实验条件

实验在由 QH-205 工程钻机改装的室内试验台上进行, 额定功率为 2.8 kW, 转速 750 r/min, 采用定压给进, 轴向力为 750 N, 采用清水冷却, 冷却液压力 0.3 MPa, 冷却液流量 7.2 L/min。试验用砖为 36 号电熔锆刚玉砖(AZS), 其抗压强度达到 320 MPa 能够较好地模拟打滑地层岩石性质。采用 SIRION200 场发射扫描电镜及 GENESIS60 能谱仪对胎体表面进行表面形貌观察和微区成分分析。采用 XTL-340 体视显微镜对钻头唇面磨损形貌进行观察。

2 结果及讨论

2.1 实验结果

图 1 所示为钻头钻进效率图。图 2 所示为钻头总进尺图。由图 1 和 2 可看出, 2 号钻头加工单孔的时间消耗最长, 加工效率最低。其在 750 N 的轴向力下仅加工了 2 个孔(160 mm)便出现了钻速降低的现象, 加大轴向力至 800 N 后, 钻头与试样接触瞬间出现了电动, 无法快速定位的情况, 在钻进完 5 个孔(400 mm)后, 钻头出现打滑不进尺的现象。1 号钻头的钻进寿命与 2 号钻头的接近, 钻进效率较 2 号钻头的略高, 但在钻进完 3 个孔后(240 mm)也出现了在轴向力 750 N 时钻速下降的现象, 需要加大轴向力至 800 N 后才能继续有效钻进, 且钻进过程伴随尖锐噪音, 钻进完 5 个孔(400 mm)后, 钻头出现打滑不进尺的现象。3 号钻头的单孔平均加工时间最少, 钻进效率最高, 能够有效钻进 10 个孔(800 mm)以上。未出现明显的钻头打滑现象, 有效使用寿命远高于其他试验钻头的。4 号钻头的钻进效率优于 1 号及 2 号钻头的, 但是差于 3 号钻头的, 钻进完 3 个孔(240 mm)后, 出现钻速下降的趋势, 增大轴向力至 800 N, 钻速有一定程度提高, 钻进完 6 个孔(480 mm)后, 钻速再次出现下降趋势, 继续增大轴向力至 850 N, 勉强钻进完第 7 个孔后, 钻头出现打滑不进尺现象。因此, 在本次试验中,

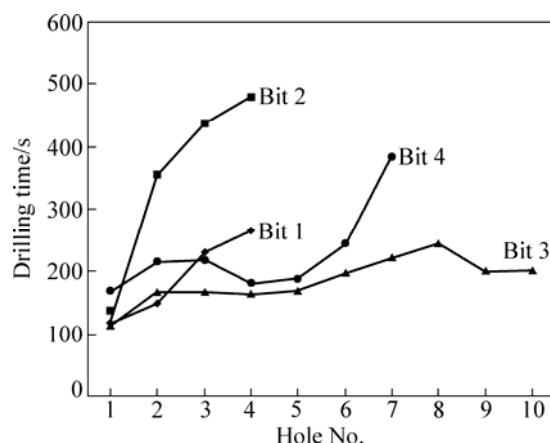


图 1 钻头的钻进效率图

Fig. 1 Drilling efficiency of bit

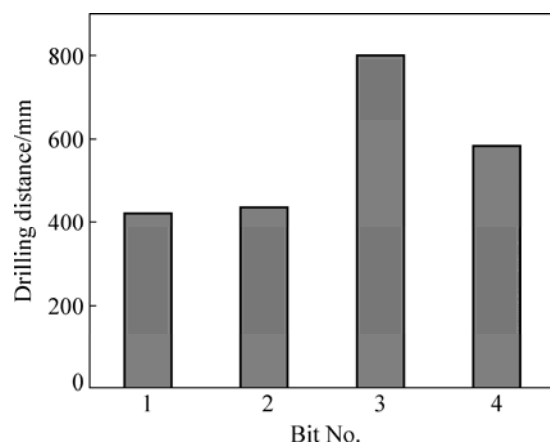


图 2 钻头总进尺图

Fig. 2 Drilling distance of bit

添加了黑碳化硅颗粒的 3 号钻头的综合性能表现最好。

2.2 分析与讨论

图 3 所示为钻头胎体的磨损形貌。其中图 3(a)所示为 1 号钻头胎体形貌图, 图 3(b)所示为图 3(a)圆形框区域金刚石放大照片。由图 3(a)可以看出, 金刚石磨粒沿切削方向, 其两侧出现了较浅的沟槽。在金刚石磨粒后侧出现了结合剂隆起的现象, 即金刚石磨粒尾部出现了不同程度的蝌蚪状支撑。在钻进过程中, 金刚石磨粒尾部产生蝌蚪状支撑主要有以下原因: 脱落的金刚石及硬质颗粒岩屑具有一定的棱角, 在冲洗液的作用下以一定角度及速度对胎体进行冲蚀。冲洗液遇到金刚石磨粒后向其两侧分流继续冲蚀胎体从而在磨粒两侧形成较浅的凹坑。由于金刚石磨粒有效保护了其后的结合剂免受冲蚀, 故在金刚石磨粒后部

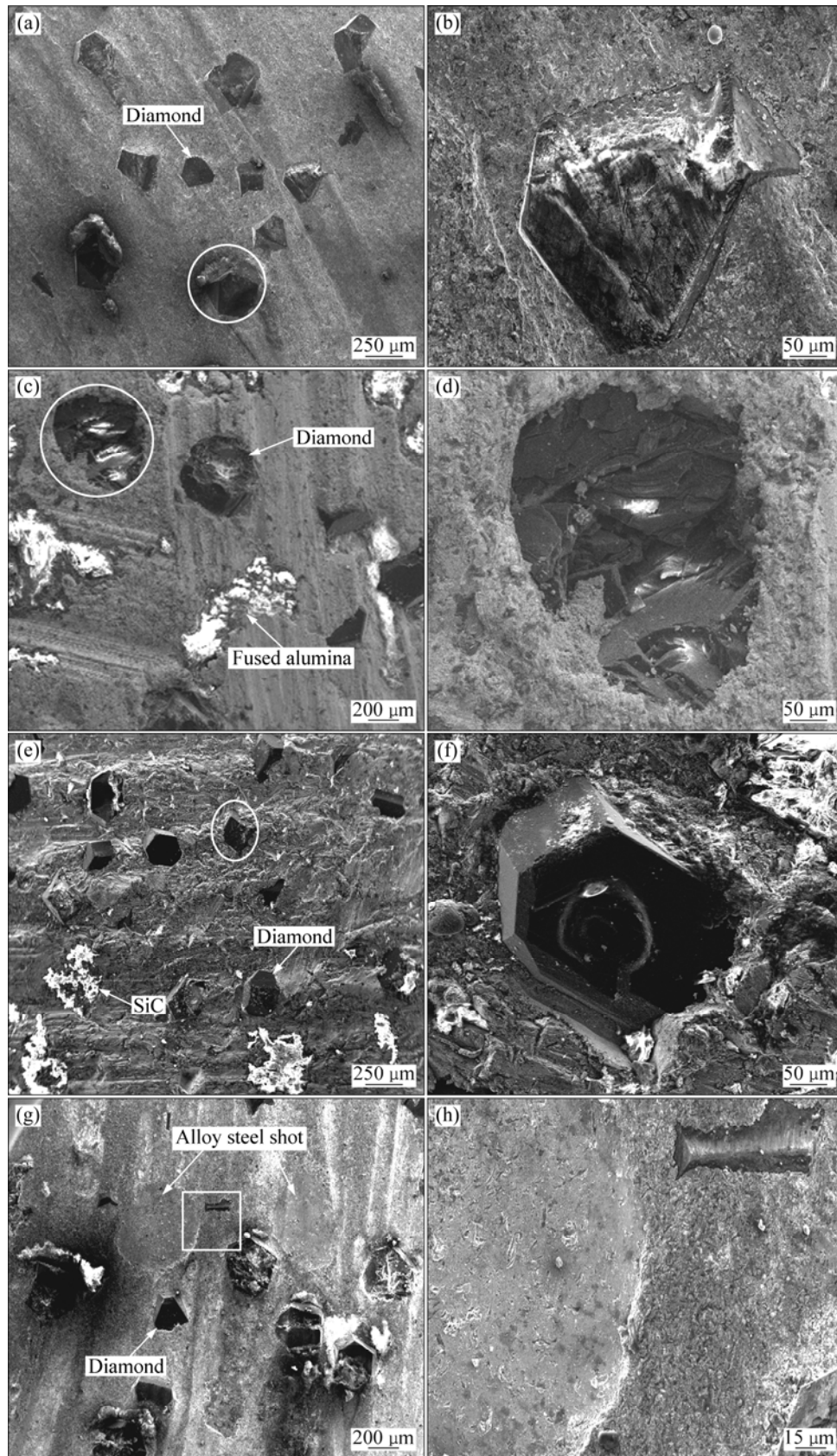


图 3 钻头胎体的磨损形貌

Fig. 3 Wear morphologies of bit matrix: (a) Bit 1; (b) Enlarged rounded boxes area in Fig. (a); (c) Bit 2; (d) Enlarged rounded boxes area in Fig. (b); (e) Bit 3; (f) Enlarged rounded boxes area in Fig. (e); (g) Bit 4; (h) Enlarged rectangle area in Fig. (g)

形成了蝌蚪状支撑^[13-14]。由图3(a)同样可以发现,胎体表面较为平整且金刚石磨粒出刃高度较低。不少金刚石磨粒出现了磨钝的情况,但其仍然无法有效脱落,如图3(b)所示。金刚石新陈代谢速度较低且无法有效自锐是1号钻头出现打滑的主要原因。

图3(c)所示为2号钻头胎体形貌图,图3(d)所示为图3(c)中圆形框区域金刚石放大照片。2号钻头胎体内添加了棕刚玉颗粒,由图3(c)可以看出,棕刚玉颗粒在胎体中呈扁平状分布且几乎没有刃角,韧性较好,无明显的脆性破碎和层状剥落特征。胎体中的金刚石磨粒出现了明显的磨平现象,且程度较1号钻头更为严重,如图3(c)所示。这主要是由于以下原因:一方面由于棕刚玉颗粒的脆性破损断裂的能力较差,无法有效剥落以增加胎体的粗糙度并促进金刚石的新陈代谢,导致金刚石的出刃高度较低;另一方面,由于棕刚玉颗粒的存在,其在胎体中同样占据一部分体积且棕刚玉颗粒呈扁平状,单个体积大。因此,相比于1号钻头,2号钻头中金刚石的体积浓度明显降低,单位面积内出露的金刚石颗粒数偏少,在较高的轴向力参数条件下,单颗粒金刚石承受的工作负荷大,导致其磨平的几率增加。由于磨平、磨钝的金刚石无法脱落导致钻头出现打滑现象^[15-16]。由图3(c)同样可以看出,胎体表面金刚石磨粒没有出现明显的蝌蚪状支撑,胎体表面出现了横向和纵向的划痕。这主要是由于2号钻头在钻进的过程中多次出现了在下钻初期,钻头在试验砖表面横向抖动及无法快速对心的现象,且钻进的后期出现打滑,加大钻压后,钻机整体振动有所提高,严重破坏了金刚石磨粒的蝌蚪状支撑,出现了横向和纵向的划痕。因此,棕刚玉不是本次最佳的胎体弱化颗粒材质。

图3(e)所示为3号钻头胎体形貌图,图3(f)所示为图3(e)中圆形框区域金刚石放大照片。由图3(e)可以看出,胎体表面较为粗糙,金刚石磨粒后方出现明显的蝌蚪状支撑,磨粒前端及两侧沟槽的深度较深,金刚石磨粒周围形成了明显的流沙现象。明显的流沙现象一方面有利于促进金刚石的出刃高度;另一方面,较大颗粒的岩屑及脱落的金刚石落入凹坑内能够产生较强的研磨效应加速胎体的磨损,促进胎体中金刚石的新陈代谢速度^[17-18]。SiC颗粒在胎体中形状不规则且出现破裂、剥落的现象。金刚石磨粒的出刃高度相对较高,如图3(f)所示。但是,金刚石表面由于本身质量原因出现了破损坑,因此,在后续试验中可适当提高金刚石的品级以提高单颗粒金刚石的使用效率。

由于SiC颗粒本身的脆性特性及不规则形状的特点,适当浓度的SiC颗粒存在一方面减少了单位面积上的金刚石颗粒数,有利于提高钻头表面的唇面比压;另一方面由于其本身特性,能够增加胎体的粗糙度,促进金刚石的新陈代谢速度^[19-20],因此,SiC颗粒是一种较好的胎体耐磨损性弱化材质。

图3(g)所示为4号钻头胎体形貌图,图3(h)所示为图3(g)方形框区域放大照片。从图3(g)可以看出,胎体表面形貌和1号钻头类似,胎体表面存在较浅的沟槽,金刚石磨粒尾部出现一定程度的蝌蚪状支撑。经能谱分析,图3(g)箭头所指部分为合金钢丸成分。由图3(h)可以发现,合金钢丸在钻头烧结的过程中与胎体粉料融合紧密没有明显的裂隙,钢丸在钻进的过程中研磨成扁平状没有棱角。4号钻头相比于1号钻头及2号钻头,钻进孔数有所提升。这可能是由于合金钢丸的密度较大,同等质量的前提下,相比于棕刚玉其所需体积较少且合金钢丸的形状均为圆球状,形状较为规整。在相同质量的条件下,合金钢丸由于所占的体积少故在单位面积上金刚石颗粒数的下降数量也较少,适当的减少金刚石浓度一定程度上有利于钻进比压的提高,故其钻进孔数略高于1号钻头及2号钻头的。但由于合金钢丸本身性质导致其无法有效促进金刚石出刃及新陈代谢,故在唇面金刚石磨平、磨钝以后,新颗粒金刚石无法出露造成钻头打滑现象。因此,合金钢丸不是本次最佳的弱化颗粒材质。

综上所述,本次试验中优选出的最佳胎体耐磨损性弱化颗粒材质为SiC颗粒,粒度 $<425\text{ }\mu\text{m}$,较宜作为胎体耐磨损性弱化颗粒。

3 结论

1) 在胎体中添加适当材质的胎体弱化颗粒,可提高钻头的钻进时效,能够有效避免钻进打滑现象。

2) 粒径小于 $425\text{ }\mu\text{m}$ SiC颗粒由于其脆性特性及不规则形状的特点,适当浓度的SiC颗粒存在能够减少单位面积上的金刚石颗粒数,利于唇面比压提高,提高钻头碎岩效率。

3) 棕刚玉颗粒的脆性破损断裂的能力较差,无法有效剥落以增加胎体的粗糙度并促进金刚石的新陈代谢。硬质合金钢丸颗粒由于本身性质导致其无法有效促进金刚石出刃及新陈代谢,不宜作为胎体耐磨损性弱化颗粒材质。

REFERENCES

- [1] 张 丽, 杨凯华. 金刚石钻头钻进坚硬致密弱研磨性的研究现状与进展[J]. 金刚石与模具磨料工程, 2003(6): 9-12.
ZHANG Li, YANG Kai-hua. Progress of the research on diamond drilling bits for extro-hard, compact and weak-abrasion crock formation[J]. Diamond and Abrasive Engineering, 2003(6): 9-12.
- [2] 孙秀梅, 刘建福. “坚硬打滑”地层孕镶金刚石钻头设计与选用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 24(8): 75-78.
SUN Xiu-mei, LIU Jian-fu. Design and Selection of impregnated diamond bit in hard and slipping formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 24(8): 75-78.
- [3] 王传留, 孙友宏. 仿生耦合孕镶金刚石钻头的试验及碎岩机理分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(5): 1321-1325.
WANG Chuan-liu, SUN You-hong. Experiment and rock fragmentation mechanism of bionic coupling impregnated diamond bit[J]. Journal of Central South University (Natural Science), 2011, 42(5): 1321-1325.
- [4] 胡郁乐, 张绍和. 钻探事故预防与处理知识问答[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2010: 34-35.
HU yu-le, ZHANG Shao-he. Drillingaccident prevention and treatment[M]. Changsha: Central South University Press, 2010: 34-35.
- [5] 方小红, 段隆臣. 新型热压 WC-Fe 基金刚石钻头胎体性能研究[J]. 煤田地质与勘察, 2013, 41(3): 84-86.
FANG Xiao-hong, DUAN Long-chen. Research of matrix performances of new type of hot pressed tungsten carbide and iron based diamond bit[J]. Coalfield Geological and Investigation, 2013, 41(3): 84-86.
- [6] 杨俊德, 陈章文. 新型高时效金刚石钻头试验研究[J]. 超硬材料工程, 2007, 19(1): 26-28.
YANG Jun-de, CHEN Zhang-wen. Research on new diamond bit[J]. Supper Hard Material Engineering, 2007, 19(1): 26-28.
- [7] 杨 展. 新型金刚石钻头研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2012: 35-40.
YANG Zhan. Study on new diamond bit[M]. Wuhan: China university of Geosciences Press, 2012: 35-40.
- [8] 李子章. 金刚石定位排布的热压孕镶钻头研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
LI Zhi-zhang. A study on hot-pressed impregnated diamond drilling bit in designed setting[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.
- [9] ARIX: A revolution in the diamond tool industry[J]. The Korea Post News and Business, 2005, 17(3): 125-127.
- [10] ZAK-SZWED M. Damage mechanism of Cu-Fe alloy composite friction material under impact load[J]. Machinery Manufacturing Engineer, 2004(2): 16-18.
- [11] 宋月清. 金刚石工具胎体性能的弱化问题的研究[J]. 人工晶体学报, 1998, 27(4): 368-372.
SONG Yue-qing. Study on the weakening of the diamond tool matrix performance[J]. Journal of synthetic Crystals, 1998, 27(4): 368-372.
- [12] 宋月清, 甘长炎, 夏志华, 袁冠森. 金刚石工具胎体材料的性能“弱化”问题初探[J]. 金刚石与模具磨料工程, 1997(5): 2-4.
SONG Yue-qing, GAN Chang-yan, XIA Zhi-hua, YUAN Guan-sen. The discussion on weakening of the diamond tool matrix performance[J]. Diamond and Abrasives Engineering, 1997(5): 2-4.
- [13] 高 超, 袁军堂. 工程陶瓷用孕镶金刚石钻头的性能优化[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2011, 35(3): 415-418.
GAO Chao, YUAN Jun-tang. Performance optimization of diamond-impregnated bit for engineering ceramic[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology (Natural Science), 2011, 35(3): 415-418.
- [14] GAO Chao, YUAN Jun-tang. Efficient drilling of holes in Al₂O₃: Armor ceramic using Impregnated diamond bits[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2011, 211(11): 1719-1728.
- [15] TAN Song-cheng, FANG Xiao-hong. A new composite impregnated diamond bit for extra-hard, compact, and nonabrasive rock formation[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2014, 43(3): 186-192.
- [16] SUN Rong-jun, WANG Chuan-liu. Development of multi-stage high matrix diamond coring bit[C]//2014 International (China) Geological Engineering Drilling Technology Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2014: 34-36.
- [17] 董洪峰. 新型金属基金刚石复合材料工磨具的试制和性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013.
DONG Hong-feng. The Preparation and property research on new P/M metal based diamond composite sawing and grinding[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2013.
- [18] 段隆臣, 潘秉锁, 方小红. 金刚石工具的设计与制造[M]. 武汉: 中南地质大学出版社, 2013: 34-35.
DUAN Long-chen, PAN Bin-suo, FANG Xiao-hong. Design and product of diamond tool[M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 2013: 34-35.
- [19] 高 科, 孙友宏. 仿生孕镶金刚石钻头非光滑度优化设计及试验[J]. 吉林大学学报, 2009, 39(3): 721-725.
GAO Ke, SUN You-hong. Optimization design an d test of nonsmooth ratio of bionics impregnated diamond bit[J]. Journal of Jinlin University, 2009, 39(3): 721-725.
- [20] ZHENG Lei. Hole drilling in ceramics/Kevlar fiber reinforced plastics double-plate composite armor using diamond core drill[J]. Materials and Design, 2012(4): 12-18.

(编辑 李艳红)