

不同地层钻进用金刚石钻头分析研究

汤凤林^{1,2}, 沈中华², 段隆臣¹, 彭 莉², ЧИХОТКИН В.Ф.¹

(1.中国地质大学(武汉),湖北 武汉 430074;2.无锡钻探工具厂有限公司,江苏 无锡 214174)

摘要:在钻探工程中,特别是深孔钻进中,常常遇到各种复杂情况,例如,遇到坚硬裂隙性地层钻进问题,空气泡沫洗井时钻头冷却问题,钻孔和岩心保径问题,等等。这些复杂情况的解决几乎均与钻头的技术特性和工作能力有关。应从钻头方面进行研究、采取对策,以便提高钻探工程的技术经济指标。俄罗斯专家在解决上述有关问题时在可以使用的钻头方面进行了很多的研究,取得了一定的成果,包括坚硬裂隙性岩石钻进用金刚石钻头、压缩空气(泡沫)洗井用金刚石钻头、保径金刚石钻头等。本文介绍了这几种获专利技术的金刚石钻头的结构、工作原理及优点,可供我国研究和借鉴。

关键词:坚硬裂隙性岩石;压缩空气洗井;保径;侧刃金刚石;金刚石钻头

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)04-0087-06

Analytical Research on Diamond Drill Bits Used in Different Formations/TANG Feng-lin^{1,2}, SHEN Zhong-hua², DUAN Long-chen¹, PENG Li², CHIKHOTKIN V.F.¹ (1.China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2.Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: In drilling engineering, particularly in deep hole drilling, various complicated cases are often encountered, for example, drilling in very hard and fractured formations, drill bit cooling while drilling with compressed air or foam and keeping diameters of the hole and core, etc. However, the solutions of these problems are almost all related to the technical characteristics and working ability of the drill bits to be used. The study should be carried on the drill bits to be used and the countermeasures in order to improve the technical and economic indexes of drilling engineering. Russian specialists have made a great deal studies on drill bits those can be used in solving the above problems and have achieved some good results, including diamond drill bits used in hard fractured rocks, diamond drill bits in compressed air (foam) drilling and diamond gauge protecting bits. This paper introduces the structures, working principles and the advantages of these patented diamond bits, which can be the reference in China.

Key words: hard and fractured rocks; drilling with compressed air; gauge protection; side cutting edge diamond bit; diamond drill bit

0 引言

在国民经济建设中,地质勘探占有重要位置。它要保证为国家提供足够的矿产资源,以满足一个甚至几个五年计划国民经济建设的需要。钻探工程是地质勘探中的重要环节,只有取上足够的代表性的岩心,才能最后确定矿产的储量。

在钻探工程中,特别是深孔钻进中,其技术经济指标与许多因素有关,诸如钻孔地质条件、钻探设备、钻具、钻头、钻探工艺、施工人员技术水平、钻探生产管理,等等。

在钻进过程中,常常遇到各种复杂情况,例如,遇到坚硬裂隙性地层钻进问题,空气泡沫洗井时钻

头冷却问题,钻孔和岩心保径问题,等等。

这些复杂情况问题的解决几乎均与钻头的技术特性和工作能力有关。我们应从钻头方面进行研究、采取对策,以便提高钻探工程的技术经济指标^[1-8]。

俄罗斯专家在解决上述有关问题时,在可以使用的钻头方面,进行了很多的研究,取得了一定的成果,可供我国研究和借鉴^[9-23]。

1 坚硬裂隙性岩石钻进用金刚石钻头

这是俄罗斯莫斯科钻探技术实验工厂别别宁(Бибенин В.Ю.)等人获得的俄罗斯发明专利技术,

收稿日期:2017-12-07;修回日期:2018-03-30

基金项目:江苏省江苏双创团队资助项目(编号:苏人才办[2014])27号)

作者简介:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院院士,俄罗斯自然科学院院士,国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路388号,fltang_wuhan@aliyun.com。

主要用于坚硬裂隙性岩石钻进中,其技术效果是可以使钻头结构简化、提高钻头寿命和提高钻头的平均机械钻速^[21]。

1.1 钻头结构

从图1和图2可见,钻头结构包括钻头刚体、水口、结合层、含金刚石层和耐磨材料镶块的胎体。耐磨材料镶块固定在含金刚石层的后部和结合层的底部。耐磨材料镶块用做含金刚石层的支撑。水口用来冷却钻头的扇形块。

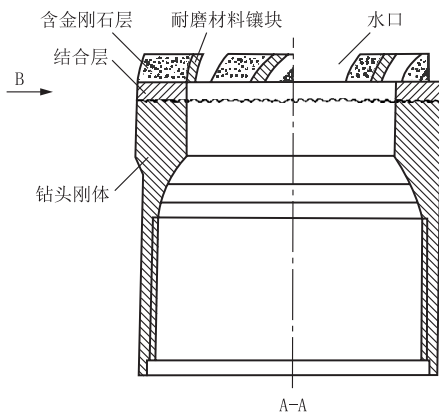


图1 钻头剖面图(图2中的A-A视图)

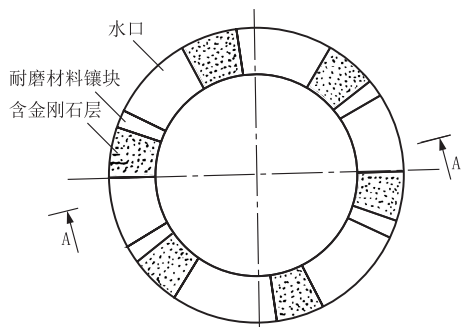


图2 钻头工作面俯视图

从图3可见,由于形成金刚石层和耐磨材料镶块的圆柱形曲面的半径 r 、 r_1 和 r_2 是相等的,所以金刚石层的前表面、背表面和耐磨材料镶块的背表面上所受的载荷是相等的。半径 h 和 h_1 位移的数值,与金刚石层的厚度 S 和耐磨材料镶块的厚度 S_1 相应。因此,不论金刚石层和耐磨材料镶块的高度 H 磨损多少,钻头胎体唇面与岩石的接触表面的面积都是不变的,即在其他条件相同情况下,这种钻头的机械钻速在整个回次期间都是不变的,因而保证了平均机械钻速和钻头寿命的提高。

从图4可见,形成金刚石层和耐磨材料镶块的前面和背面的圆柱形表面都位于一个水平面上,

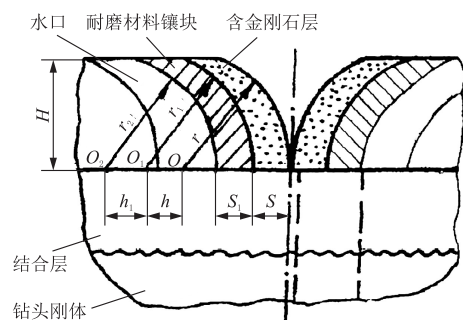


图3 图1中的B视图

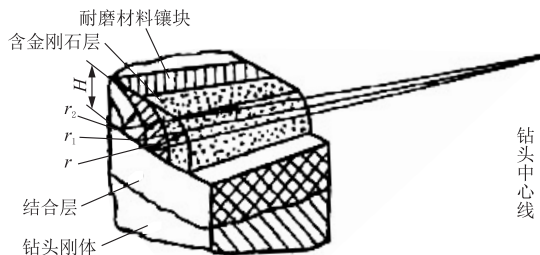


图4 钻头上一个扇形块的视图

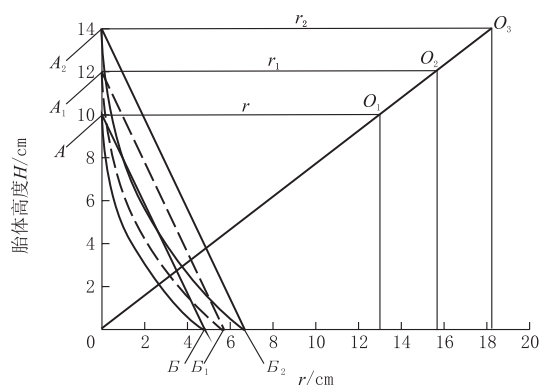
这个水平面是工作层和结合层的边界,交点在钻头的轴线上,角度位移由这两层的厚度决定。

按回转方向转动的金刚石层表面和耐磨材料镶块表面,都是半径相等的圆柱形曲面,可以保证:第一、位于金刚石层接触界面上的金刚石颗粒,在和岩石以及孔底原先可能未破碎部分的探头石相互作用时不会发生冲击作用,可以大大减小对金刚石的冲击载荷,因而可以大大减少金刚石颗粒的破碎;第二、冲洗液流在耐磨材料镶块后部凹形曲面中形成方向的改变,使冲洗液直接流到钻头下一个扇形块唇面的下方,可以大大改善其冷却条件;第三、可以把上一个扇形块破碎、但没有被冲洗液带走的岩粉、以及从耐磨材料镶块脱落的耐磨材料颗粒,吸入金刚石层唇面的下方,有助于胎体粘结材料的磨损,保证在下一个扇形块工作面整个宽度上,金刚石颗粒能够正常露出,避免钻头端面抛光。

由于上述原因,这种新型钻头可以保证钻头的耐磨性增加、机械钻速提高,特别是在使用现有金刚石钻头钻进技术指标非常低的裂隙地层或粘硬地层中钻进时更为明显。

图5上给出了金刚石层前表面和耐磨材料镶块后背面圆柱形曲面半径 r 数值计算的图解法,以及圆柱形曲面半径 r 与高度 H 关系的计算方法。

为此,在横坐标轴上截取 r 的任意值,在纵坐标轴上按相同比例截取 H 值。然后,从纵坐标轴上的

图 5 计算圆柱形曲面半径 r_1 、 r_2 与胎体高度 H 的关系用图

A、 A_1 和 A_2 点上,以负前角(例如 25°)与横坐标轴上的 B 、 B_1 和 B_2 点连接画出曲线。为什么取 25° 呢? 这是因为理论和实践研究都证明,高硬度金属加工时或者在坚硬裂隙性岩石破碎时,切削加工工具均为 $15^\circ \sim 25^\circ$,所以取了 25° 。利用这些曲线可以画出金刚石层和耐磨材料镶块的前面和背面的圆柱形曲面。而连接 A、 A_1 、 A_2 点和 O_1 、 O_2 、 O_3 点的直线,将是曲面的半径。从 O_1 、 O_2 和 O_3 点向横轴画垂线,可以确定出曲面半径 r 、 r_1 和 r_2 的数值。

从图 5 可见,A 点与 $H=10$ cm 和 $r_1=13$ cm 相应; A_1 点与 $H=12$ cm 和 $r_2=15.6$ cm 相应; A_2 点与 $H=14$ cm 和 $r_3=18.2$ cm 相应。在上面列举的所有关系中, r/H 均是常数,均等于 1.3,就是说,不管钻头直径如何,形成金刚石层前面和耐磨材料镶块背面的圆柱形曲面的半径都是 $r=1.3H$ 。

1.2 钻头的优点

与现有钻头相比,本钻头具有以下优点。

(1)金刚石颗粒与岩石相互作用时不会产生冲击作用,可以大大减小对钻头金刚石层的冲击载荷,增加钻头进尺。

(2)通过改变冲洗液流向的办法,使其直接流到金刚石层前面的唇面下面,改善了钻头扇形块的冷却系统。

(3)可以保证把原先破碎但未被冲洗液带走的岩粉和脱离耐磨材料镶块的磨料颗粒,吸到钻头胎体唇面下方,有利于胎体粘结金属的磨损和金刚石颗粒在扇形块工作层整个宽度上的正常露出,阻止了钻头唇面的抛光。

2 压缩空气(泡沫)洗井用金刚石钻头

这是俄罗斯圣彼得堡国立矿业大学托尔图诺夫

(Толтунов С.А.) 等人获得的俄罗斯发明专利技术,由于采用了拉瓦尔喷嘴型通孔,改善了冷却系统,从而增加了钻头的耐磨性,增加了钻头进尺,降低了钻头成本,主要在空气和泡沫洗井钻进时使用^[22]。

2.1 钻头的结构

钻头的结构如图 6~9 所示。

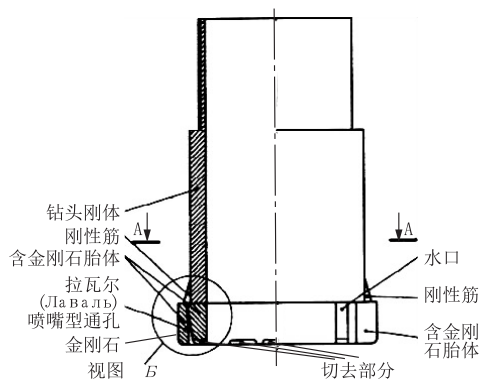


图 6 钻头概貌(剖面)图

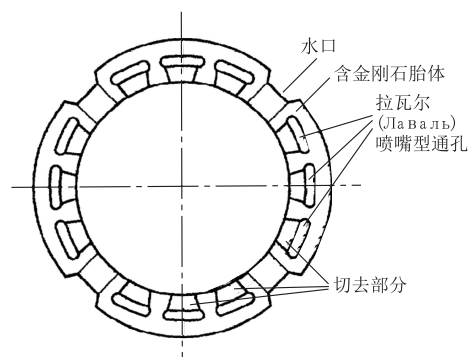


图 7 钻头唇面仰视图

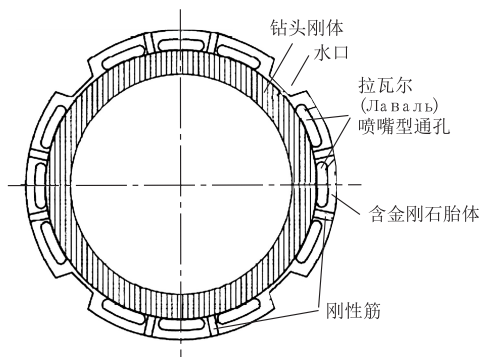


图 8 图 6 中的 A-A 剖面图

2.2 钻头制作

把含有金刚石的钻头胎体连接在钻头刚体上,然后,在钻头胎体上开出水口,在钻头端面上钻出拉瓦尔喷嘴型的通孔。此后,在两个拉瓦尔喷嘴型的通孔中间,安装刚性筋,刚性筋一端固定在含金刚石

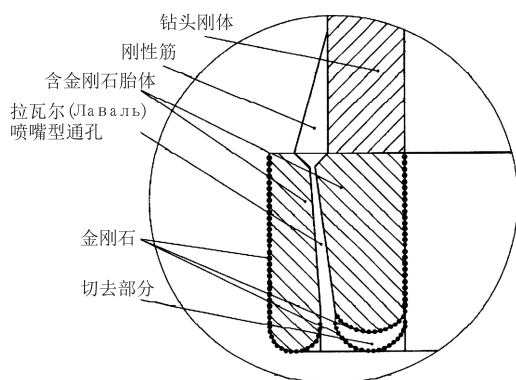


图9 图6中B处的局部放大图

的胎体上,另一端固定在钻头刚体的外壁上。拉瓦尔喷嘴型通孔的大小和数量,要考虑金刚石钻头的直径和钻头计算载荷。拉瓦尔喷嘴型的通孔的中心线,相对于金刚石钻头刚体的对称轴线,偏离一个角度。通孔在向刚体方向变窄,在进入拉瓦尔喷嘴型的通孔的入口处急剧扩大。此后,在含金刚石胎体内壁底部,面对每一个拉瓦尔喷嘴型的通孔,都有切去的部分,以形成空气出口通道。为了增加金刚石钻头的强度性能,在两个相邻拉瓦尔喷嘴型的通孔之间,置有刚性筋,刚性筋一端固定在含金刚石的胎体上,另一端固定在钻头刚体的外壁上。

2.3 钻头工作原理及特点

钻头在轴载和扭矩作用下破碎岩石。同时,通过钻杆柱内孔向孔底供给压缩空气。金刚石钻头破碎岩石时,机械功变成热能,使胎体和金刚石急剧升温。带有岩石破碎形成岩粉的压缩空气进入切去部分。切去部分变成了压缩空气带有岩石破碎形成岩粉的压缩空气,进入拉瓦尔喷嘴型的通孔。拉瓦尔喷嘴型的通孔,把压缩空气形成超音速气流,吸收热量,使与之接触的钻头胎体降温。可见,由于使用了拉瓦尔喷嘴型的通孔,使压缩空气形成超音速气流,吸收热量,可以有效地冷却钻头胎体,从而提高了钻头的耐磨性,提高了机械钻速和钻头进尺,取得了很好的钻探技术指标。

2.4 使用这种钻头的优越性

- (1)可对金刚石钻头及其上的金刚石可以进行强烈冷却;
- (2)能够提高金刚石钻头的耐磨性;
- (3)可以降低金刚石钻进的成本。

3 保径金刚石钻头

这是俄罗斯钻探专家帕宁(Панин Р.М.)等人获得的俄罗斯发明专利技术,由于设计了合理的侧刃金刚石排列方式及其有不同的耐磨性,解决了钻头的保径问题,所以,提高了钻头进尺,确保了正常钻进,具有重要意义^[23]。

3.1 钻头的结构

钻头的结构如图10、11所示。

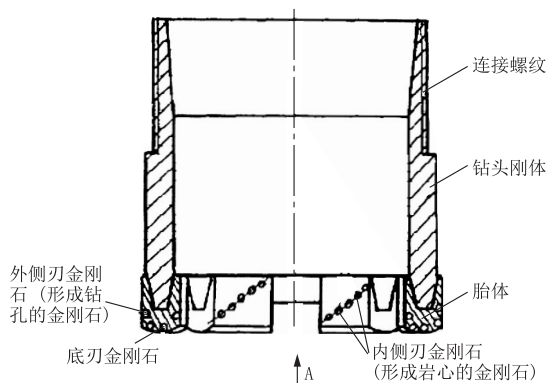


图10 钻头概貌图

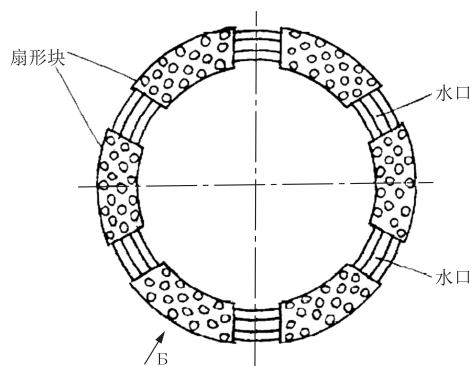


图11 钻头工作面仰视图

钻头包括带有连接螺纹的圆柱形刚体和胎体。胎体被水口分成工作扇形块。扇形块上镶有切削具,主要是天然金刚石或人造底刃金刚石,有形成岩心的金刚石和形成钻孔的金刚石。在垂直平面内、侧刃金刚石均呈斜线排列,不在同一个胎体高度上,见图12。位于扇形块前面的斜线的起点,相对位于扇形块后面的斜线的另一端有一个位移,向连接螺纹方面移动。同时,每个扇形块上的侧刃金刚石的耐磨性都是不一样的,其耐磨性在沿着扇形块的前面向后面的方向上逐渐增大。

3.2 钻头的工作原理

底刃金刚石在轴载和扭矩作用下切入岩石,对岩石进行破碎。冲洗液携带破碎的岩粉,将其带到地表。在钻孔加深过程中,内侧刃金刚石和外侧刃金刚石加入工作,分别校准岩心外径和钻孔孔径,使钻头的外径和内径保持在原来设计的保径参数的水平上。同时,由于内侧刃金刚石和外侧刃在斜线上的位置不同,不在同一个胎体高度(水平线)上,见图12,保证了在钻头整个工作期间,钻头所有内、外侧刃金刚石的载荷都是比较均匀的。而且,每个扇形块上的内、外侧刃金刚石都有不同耐磨性,从扇形块前部向后部增大,也有助于这一点。这样布置内、外侧刃金刚石时,金刚石上的载荷在扇形块的前面向后面方向上增大,每个扇形块上的最后金刚石承受的载荷最大,所以设计所用最后金刚石的耐磨性应该是最大的,以便使所有内、外侧刃金刚石的磨损都是均匀的。如此布置侧刃金刚石和使用不同耐磨性的金刚石,可以增加钻头进尺,防止钻孔缩径和岩心胀径,对于深孔钻进来说具有特别意义。

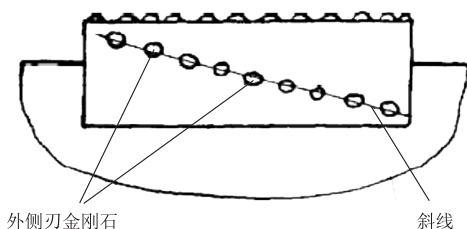


图12 图11B视图的放大图

3.3 钻头的优点

(1) 保径金刚石排列方式改变,可使金刚石负担更加合理;

(2) 每个扇形块上的金刚石耐磨性不同,可以使金刚石的磨损更加均匀;

(3) 钻头扇形块内外侧金刚石排列形式改变和其上的金刚石耐磨性不同,保证了金刚石磨损均匀,可以起到金刚石钻头的有效保径作用,从而可以提高钻孔和岩心的质量。

4 讨论与建议

根据上述情况可以做出如下讨论和建议。

(1) 在钻探工程中,技术经济指标与许多因素有关,诸如钻孔地质条件、钻探设备、钻具、钻头钻进工艺、施工人员技术水平、钻探生产管理等,其中直接破碎岩石的是钻头,因此钻头是提高钻探技术经济指标的首要因素。

(2) 钻进过程中,常常遇到各种复杂情况,例如遇到坚硬裂隙性地层钻进问题,空气泡沫洗井时钻头冷却问题,钻孔和岩心保径问题,等等。但是,这些复杂问题几乎均与钻头的技术特性和工作能力有关,因此应从钻头方面进行研究、采取对策,加以解决。

(3) 坚硬裂隙性钻头主要是由于形成金刚石层和耐磨材料镶块的圆柱形曲面的半径 r 、 r_1 和 r_2 是相等的,所以金刚石层的前表面、背表面和耐磨材料镶块的背表面上所受的载荷是相等的。因此,不论金刚石层和耐磨材料镶块的高度 H 磨损多少,钻头胎体唇面与岩石的接触表面的面积都是不变的,即在其他条件相同情况下,这种钻头的机械钻速在整个回次期间都是不变的,因而保证了平均机械钻速的提高。这是俄罗斯的一项发明专利,专利号为2326228^[21]。

(4) 压缩空气和泡沫钻进用钻头主要是携带有岩石破碎形成岩粉的压缩空气(泡沫),进入拉瓦尔喷嘴型的通孔内,使压缩空气形成超音速气流,吸收热量,有效地冷却钻头胎体,从而提高了钻头的耐磨性,提高了机械钻速和钻头进尺,取得了很好的钻探技术指标。这也是俄罗斯的一项发明专利,专利号为2276717^[22]。

(5) 保径用金刚石钻头主要是用侧刃金刚石分别校准钻孔孔径和岩心外径,保持钻头的外径和内径保持所设计的保径参数。由于侧刃金刚石镶在斜线上,其前端相对于后端有个位移,而且每个扇形块的内外侧刃金刚石都有不同耐磨性,所以保证了钻头所有内外侧刃金刚石的载荷都是均匀的。可见,如此布置侧刃金刚石可以增加钻头进尺,防止钻孔缩径,防止岩心变粗,对于深孔钻进来说具有特别意义。这又是俄罗斯的一项发明专利,专利号为2287658^[23]。

(6) 俄罗斯专家设计出不同地层用金刚石钻头的思路和得到的成果,对于我们设计钻头或有一定的参考价值和借鉴意义。当然我们要从我国的实际出发,总结我们的经验,设计出具有中国特色、适合不同地质条件下钻进的钻头来。

参考文献:

- [1] 左汝强.国际油气井钻头进展概述(三)——PDC钻头发展进程及当今态势(上)[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,(3):1—

- 9.
- [2] 左汝强.国际油气井钻头进展概述(四)——PDC钻头发展进程及当今态势(下)[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(4): 40—49.
- [3] 朱恒银,王强,杨展,等.深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2014.
- [4] 朱恒银,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
- [5] 段隆臣,潘秉锁,方小红.金刚石工具的设计与制造[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2012.
- [6] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.深部各向异性硬岩钻进新型金刚石钻头试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(4): 74—79.
- [7] 汤凤林,沈中华,段隆臣,等.关于切削型多节式刮刀钻头的分析研究钻头的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(6): 88—92.
- [8] 汤凤林, А.Г.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
- [9] Скоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ[M]. Красноярск:СФУ, 2012.
- [10] Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режуще — скалывающего действия[D]. Томский политехнический университет, 2012.
- [11] Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режуще — скалывающего действия [J]. Вестник ЦКР Роснедра, 2011.(4): 51—58
- [12] Скоромных В.В. и др. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных породах [J]. Известия Томского политехнического университета, 2015, Т.326(4): 30—40.
- [13] Скоромных В.В. и др. Анализ процесса разрушения анизотропной породы шарошечными долотами [J]. Известия Томского политехнического университета, 2015, Т.326(4): 80—89.
- [14] Кубасов В.В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах путем модернизации матриц алмазного породоразрушающего инструмента[D]. Московский государственный геологоразведочный университет, 2015.
- [15] Кубасов В.В., Будюков Ю.Е., Спирин В.И. Повышение работоспособности алмазных коронок криогенной обработки [С]. Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов VIII научно — технической конференции Тула : Изд. — ство «Инновационные технологии», 2013. : 45—50.
- [16] Кубасов В.В., Будюков Ю.Е., Спирин В.И. Выбор матричных композиций для алмазного породоразрушающего инструмента [С]. Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов VIII научно — технической конференции Тула : Изд. — ство «Инновационные технологии», 2014. : 11—16.
- [17] Будюков Ю.Е., Кубасов В.В., Спирин В.И. Характер износа алмазной коронки [С]. Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно — технической конференции Тула : Изд. — ство «Инновационные технологии», 2015. : 89—92.
- [18] Кубасов В.В. Новые технологии повышения эффективности работы алмазного породоразрушающего инструмента [J]. Горный информационно — аналитический бюллетень, 2014, 10: 383—387.
- [19] Кубасов В.В., Будюков Ю.Е., Спирин В.И. Зависимость работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента от смачиваемости алмаза металлом [С]. Инновационные наукоемкие технологии: тезисы докладов международной научно — технической конференции Тула : Изд. — ство «Инновационные технологии», 2014. : 6—11.
- [20] Кубасов В.В. Исследование износа алмазных коронок [J]. Горный информационно — аналитический бюллетень (научно — аналитический журнал), 2015, 4: 6—11.
- [21] Алмазная буровая коронка: Россия, 2326228[P].
- [22] Алмазная буровая коронка: Россия, 2276717[P].
- [23] Буровая коронка :Россия, 2287658[P].