

关于我国金刚石钻头生产技术的分析研究

汤凤林^{1,2,3}, 郭胜惠¹, 彭莉³, ЧИХОТКИН В. Ф.^{1,2}, 陈策¹, 李静¹

(1. 昆明理工大学, 云南昆明 650093; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北武汉 430074; 3. 无锡钻探工具厂有限公司, 江苏无锡 214174)

摘要:我国金刚石钻进取得了很大的成绩,但是其技术经济指标尚不理想,与国外相比尚有差距,特别是其中关键的金金刚石钻头性能指标更是如此。我国目前主要使用热压烧结技术生产金刚石钻头。但是,热压烧结有“短板”,国外冷压浸渍烧结有强项,微波加热烧结有优点。建议试验研究冷压浸渍、微波烧结金刚石钻头,以便把我国的金金刚石钻探技术经济指标提高到一个新水平。

关键词:金刚石钻头;热压烧结;冷压浸渍;微波加热;钻探技术经济指标

中图分类号:P634.4[†]1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)04-0049-06

Analytical Research on Production Technology of Diamond Bit in China/TANG Feng-lin^{1,2,3}, GUO Sheng-hui¹, PENG Li³, CHIKHOTKIN V. F.^{1,2}, CHEN Guo¹, LI Jing¹ (1. Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650093, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 3. Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: Diamond drilling has got a lot of achievements in China. But its technical and economic indexes are not ideal yet. Comparing to foreign countries, there are still gaps, particularly in the key diamond bit performance indexes. Diamond bit is produced mainly by hot pressing and sintering technology in China but with shortcomings. Cold pressing infiltration technology in Russia has its strong points and microwave heating sintering also has its advantages. It is suggested to make experimental research on diamond bit production by cold pressing infiltration technology and microwave sintering technology in order to improve the technical and economic indexes of diamond drilling in China.

Key words: diamond bit; hot pressing sintering; cold pressing infiltration; microwave heating; technical and economical indexes of drilling

金刚石钻进是我国使用的一种重要钻进方法,在地质勘探,特别是固体矿床勘探中使用最为广泛,为我国国民经济建设做出了很大贡献。我国在金刚石钻进方面取得了很大的成绩。2015年,中国地质科学院勘探技术研究所等单位完成的“2000 m以内全液压地质岩心钻探装备及关键钻具”项目,建立了我国的2000 m以内地质岩心钻探技术体系,获得了国家科技进步二等奖。安徽省地质矿产勘查局313队主持完成的“深部矿体勘探钻探关键技术及设备研究”项目获得了安徽省科学技术一等奖和国土资源部国土资源科学技术二等奖,全面系统地总结了一套适用性很强的小口径深部岩心钻探工艺技术体系。这些研究成果将对我国的金刚石钻进事业

发展起很大的推动作用^[1]。

机械钻速、钻头进尺和每米钻探成本通常称之为是钻探工程的主要技术经济指标,金刚石钻进也是如此。这些技术经济指标均与选用的设备、钻头、钻进工艺和操作技术紧密相关。在设备和操作人员选定之后,钻头是主要问题,“工欲善其事,必先利其器”,而钻头性能又与钻头生产技术有关。

我国使用热压方法生产金刚石钻头已有多年的历史,取得了很大成绩,积累了大量的经验和丰富的资料。但是与国外相比还有一定差距,俄罗斯用于可钻性8~9级岩石中的钻头进尺可达100 m以上。我国的钻头进尺达到100 m以上的虽然也有,但是所占比例不是很大,有的只打50~60 m,甚至30~

收稿日期:2016-02-17

基金项目:云南省科技厅第一批院士专家工作站资助项目(编号:云科合发[2013]2号);江苏省双创团队资助项目(编号:苏人才办[2014]27号)

作者简介:汤凤林,男,汉族,1933年2月生,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,ftang_wuhan@aliyun.com。

40 m。虽然采用加长胎体高度的办法得到一定的解决,但是没有得到根本的解决。因此,如何改进我国的金刚石钻头生产技术是一个很迫切的问题^[2-9]。

1 热压烧结金刚石钻头技术有“短板”

热压法是粉末冶金中的一种方法,其特点是压制和烧结同时进行,流程见图1。

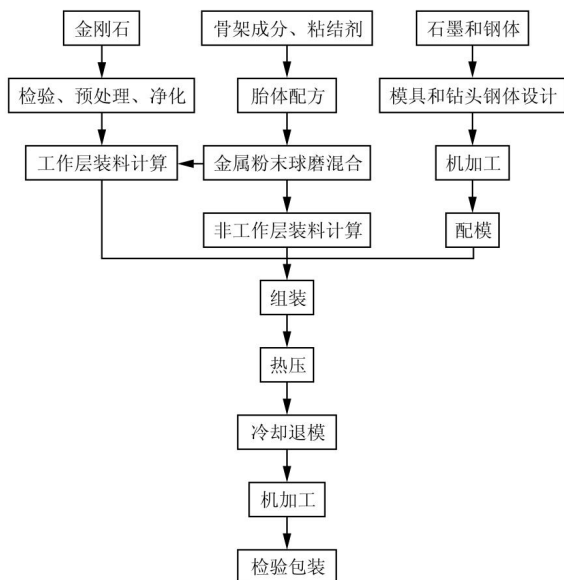
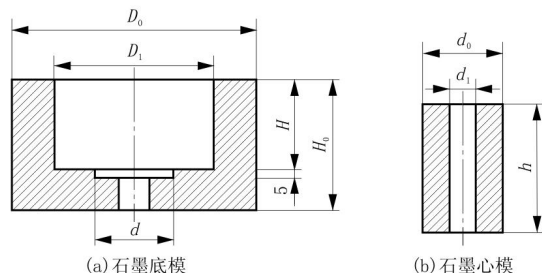


图1 热压法生产金刚石钻头工艺流程图

我国热压法目前主要采用石墨模具(见图2),采用中频感应炉加热,在石墨模具组件内生产感应电流,电流生产热量烧结钻头。中频流感应圈和石墨组装模具装置配合示意图见图3。



D_0 —底模外径; D_1 —底模内径; H —底模内孔深度; H_0 —底模总高度; d —钻头胎体内径; d_0 —心模外径; d_1 —心模内径; h —心模高度

图2 石墨模具示意图

烧结工艺参数主要包括烧结温度、烧结压力和烧结时间。一般烧结过程分为3个阶段,见图4。

研究表明,为了提高胎体的密实度和硬度,提高钻头的使用寿命,热压压力一般取值为15~22 MPa(见图5)。而在实际烧结过程中,一般烧结压力才

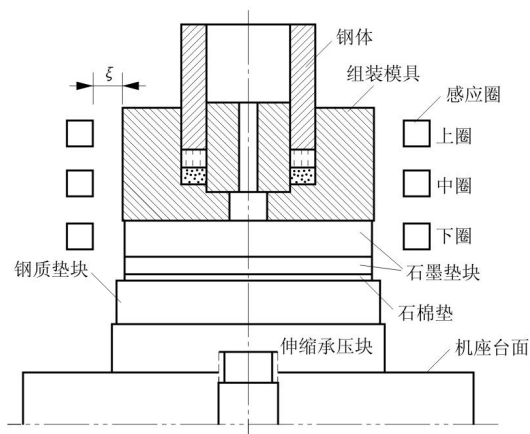


图3 感应圈和石墨组装模具配合示意图

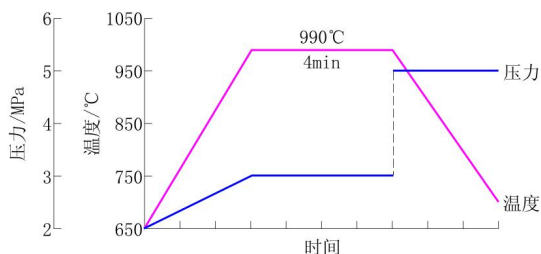


图4 钻头烧结温度、压力和时间的关系曲线

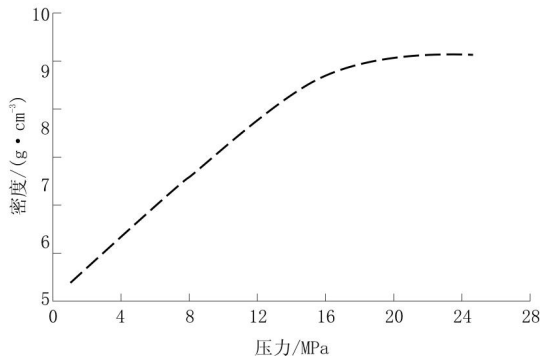


图5 钻头胎体密度与烧结压力的关系曲线

达到5~6 MPa(见图4),而且,即使在这种情况下,石墨模具胀裂的情况还时有发生(因为石墨的强度低)。可见,实际烧结压力是偏小的,与理论研究成果出入较大。

钻头进尺较小的原因是多方面的,但是烧结压力偏小,而且比理论研究成果小得很多,可能是其中的一个重要原因。这是热压烧结钻头的一个“短板”^[10-16]。

2 冷压浸渍钻头技术有强项

冷压浸渍法制作钻头的工艺过程是,先将金刚石用粘结剂粘附于金刚石钻头钢制压模中,将配置

好的胎体粉料装入压模内,经加压制成具有一定形状和尺寸的胎体,并与钻头钢体连接成一体。然后,将胎体和钻头钢体一并装舟,送入真空炉或有保护气氛的烧结炉中进行浸渍,使胎体中的粘结金属渗透到骨架金属的孔隙中去,形成具有一定强度的假合金胎体。

冷压浸渍钻头胎体材料多以 WC 粉末作为骨架材料,以镍铜合金等为浸渍(粘结)金属,因此这种钻头具有一定的硬度和强度,能牢固地把持住金刚石,具有烧结温度不太高,导热性好等的优点。

美国、加拿大等国保护气氛下冷压浸渍制作金刚石钻头胎体组成百分比见表 1。我国常用浸渍金属技术性能见表 2。

表 1 美国、加拿大等国保护气氛下冷压浸渍制作金刚石钻头胎体组成

胎体类型	骨架金属/%				浸渍金属/%				骨架金属与浸渍金属的体积比
	WC	钨	钒	铁钨	镍	铜	锌	镍	
1	100.0				48	50	2		1 : 1
2	48.8		48.8	2.40	58	42			3 : 1
3	48.40		48.4	2.40	58	42			3 : 1
4	71.25		24.0	4.75	58	42			3 : 1
5	93.00	2.32		4.68				100	2 : 1
6	82.00		18.00	75	25				1 : 1

表 2 我国常用浸渍金属技术性能

序 号	合金成分(质量百分比)	骨架成分	抗弯强度/MPa	硬度/HRC	抗剪强度/MPa	浸渍温度/℃
1	Mn14Ni12Cu	WC	1560.0	43~48		1040~1070
2	Sn10Ni8Cu	WC	1580~1900	48.0		1040~1070
3	Ag65Mn5Ni12Cu	YG4	1500.5	46.8	190.5	800~835
4	Mn35Ni10Cu	WC	1610.5	49.8	380.3	950~970
5	Mn35Ni10Cu	YG4	1890.0	53.0		950~970

俄罗斯钻头烧结工艺普遍采用冷压浸渍法,很少使用热压烧结法。在此工艺条件下生产的钻头,用于可钻性 8~9 级岩石中钻头进尺可达 100 m 以上。冷压浸渍法最主要的特点是使用钢制压模(我国热压法采用石墨压模),因此压力可达 70 MPa 以上,甚至可达 100 MPa。胎体冷压成型,然后用铜镍合金等浸渍制成钻头。这个压力比我国热压烧结法使用的压力大得多,有利于胎体耐磨性的提高和钻头进尺的改善,参见图 6。

钻头结构形状通过钢制压模实现。压制用压力机进行。浸渍金属可以在真空炉中进行,也可在有保护气氛的烧结炉中进行。烧结炉用氢氮混合气体进行,也可用氩气进行,用以防止金刚石的碳化和金

属材料的氧化。用二带钼丝炉进行浸渍的烧结炉见图 7。

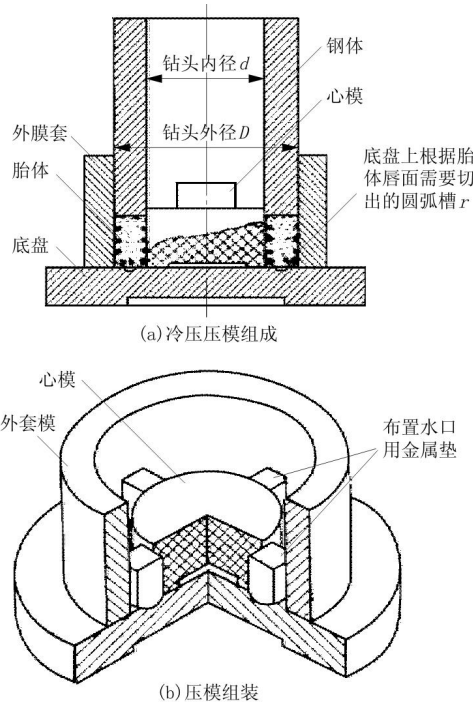


图 6 俄罗斯使用的冷压烧结模具

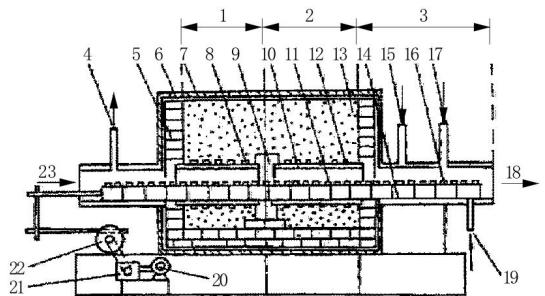


图 7 冷压法制造钻头烧结示意图

钻头浸渍前要装舟,见图 8。

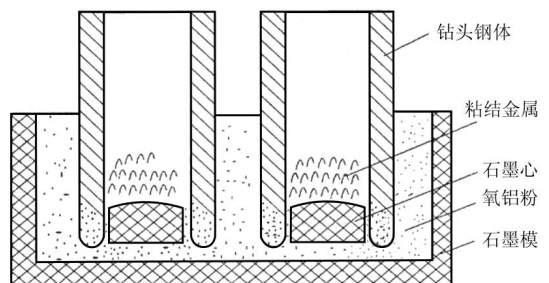


图 8 钻头装舟示意图

钻头装舟系指先把石墨盒底部撒一层铝氧粉,将钻头胎体朝下,套住石墨心放下,将钻头外围空余部分填满铝氧粉,然后在钻头钢体内石墨心上部放入按照胎体骨架中孔隙体积计算得出数量的粘结金属。钻头装舟后送入烧结浸渍炉。

烧结浸渍工艺包括升温速度、最终烧结温度、保温时间和冷却速度等。浸渍系指将压制成型的钻头埋在铝氧粉中浸渍。浸渍温度根据浸渍合金确定(见表2)。浸渍时,钻头胎体缓慢升温,在低温带塑化剂挥发,在高温带浸渍合金熔化,直到完全熔化为止,保温 20 min,然后冷却到 750 °C 左右保温并缓冷。

冷压浸渍钻头的最大特点是钻头冷压成型,压力可达 70 ~ 100 MPa,因而钻头性能大为提高,钻头进尺超过百米,技术经济效益明显改善。我国目前热压烧结实际压力仅为 5 ~ 6 MPa,钻头进尺偏低,技术经济指标不够理想,可以认为这是冷压浸渍钻头的的一个强项^[13-16]。

3 微波能烧结钻头有优点

微波能技术已有很大发展,在许多行业得到了广泛使用,取得了很大的社会效益和巨大的经济效益。微波通常是指频率从 3×10^8 Hz 到 3×10^{11} Hz 的电磁波。小于 3×10^8 Hz 的通常称为电磁波,包括长波、中波和超短波。高于 3×10^{11} Hz 的属于红外线。微波频率很高,波长很短,故称微波(microwave)。

微波加热设备主要由微波发生器、波导、微波能应用器、物料输送系统和控制系统等组成(见图9)。

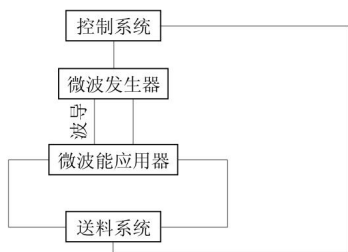


图9 微波加热设备结构简图

微波发生器是微波加热设备的关键部分,其主要作用是产生设备需要的微波能量,以便将此能量传输到微波应用器中,并在其中对物料不同目的进行加工处理。

微波能应用器是实现物料与微波场相互作用的

空间,微波能量在此转化为热能对物料进行各种加工处理。

波导是一种特定尺寸的矩形或圆形断面的微波传输线,保证把微波发生器产生的能量馈送到微波能应用器中。

控制系统是用来调节微波加热设备各种运行参数的装置,以保证设备的输出功率、输送速度、冷却或排潮机构根据规定的最佳工艺规范,方便灵活地进行调整控制。

气体分子无论部分电离还是完全电离,其中的正电荷总量和负电荷总量总是相等的,故称等离子体。R. A. Dugdale 提出等离子体可以用于材料烧结之后,C. E. G. Bonnett 对微波等离子体烧结氧化铝等进行了研究,并对微波等离子体烧结与传统烧结方法进行了对比。

微波等离子体烧结实验装置见图10。

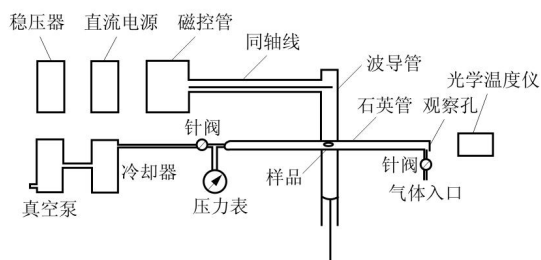


图10 微波等离子体烧结实验装置

对微波等离子体烧结氧化铝与传统方法烧结氧化铝进行对比表明,等离子体烧结氧化铝比传统方法烧结氧化铝的烧结速度快得多,例如,1500 °C 烧结 20 min 时,传统方法烧结氧化铝的相对密度为 70% 左右,而等离子体烧结氧化铝的相对密度接近 90% (见图11)。在如此高的相对密度条件下,等离子体烧结氧化铝样品能够保持很高的抗拉(张)强度,而传统方法的抗拉强度明显下降(见图12)。

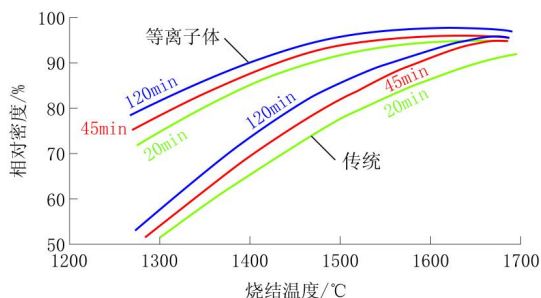


图11 相对密度与烧结温度关系图(样品:氧化铝)

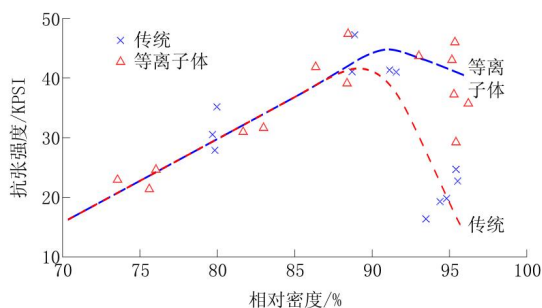


图 12 抗拉(张)强度与相对密度关系图(样品:氧化铝)

昆明理工大学非常规冶金教育部重点实验室彭金辉教授等对微波能烧结技术的理论和应用方面进行了大量研究,取得了多项成果和奖励,得到了很大的社会效益和经济效益,他们用微波等离子体烧结了 3~8 nm 的 ZrO_2 ,并测定了相对密度、维氏硬度和烧结时间的关系。结果表明,用微波等离子体烧结 ZrO_2 15 min,其相对密度接近 100% (见图 13),维氏硬度达到 14 GPa (见图 14)。

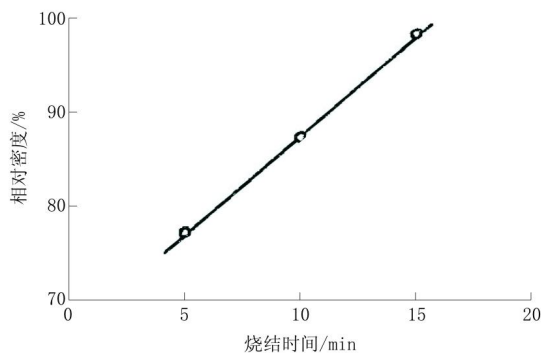


图 13 相对密度与烧结时间关系图(样品: ZrO_2)

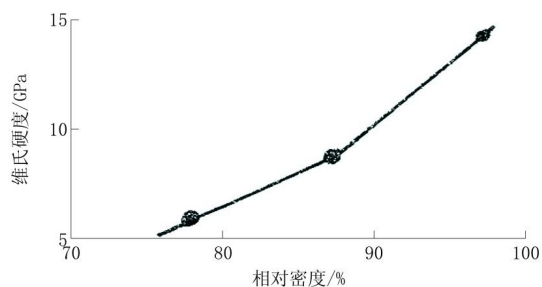


图 14 维氏硬度与相对密度关系图(样品: ZrO_2)

可以认为,微波能加热具有内部加热、可以克服物料中的“冷中心”、快速加热、选择性介电加热、易自动控制、节能等特点,在许多行业得到了广泛的应用并取得了很好的成效。我国金刚石钻头生产中目前主要使用中频炉加热,如能改成微波加热,则是一个很大的改进,可以提高钻头的性能,提高钻进速度

和钻头寿命,提高钻探的技术经济指标,取得很大的社会效益和经济效益。这是微波加热生产钻头的一个优点^[17-19]。

4 强项 + 优点 = 创新

克服热压烧结的“短板”,发挥冷压浸渍的强项,利用微波烧结的优点,就可以产生创新的技术。冷压烧结钻头和微波加热技术虽然不是新的技术,均已发展多年,但是,利用冷压浸渍钻头中的高压成型代替热压烧结中的低压烧结,可以大大提高烧结压力;利用微波烧结代替现在使用的中频烧结,可以改善热压烧结的不足。把这两项技术结合起来,是个创新,会对金刚石钻头性能的改善和钻探技术经济指标的提高,起重要作用,建议对此创新技术进行试验研究。

5 讨论与建议

(1) 金刚石钻进是一种重要钻进方法,在地质勘探钻进中得到了广泛应用,取得了很大的成绩,为我国经济建设做出了很大的贡献。我国主要使用热压法烧结金刚石钻头,经过多年的努力,取得了很好的社会效益。但是,这种钻头存在的问题是钻头进尺不够理想,俄罗斯金刚石钻头在 8~10 级可钻性岩石中的进尺可以达到 100 m 以上,而我们多数机台还远远没有达到这个数字,需要认真分析研究。

(2) 钻头进尺不够理想的原因是多方面的,但是,可能的原因之一是我国使用的热压烧结压力较低引起的。根据研究结果,这个压力应为 15~22 MPa,而我国钻头生产中实际使用的压力一般只是 5~6 MPa。可见,实际烧结压力远比研究成果为低,而且低得很多,这可能是热压烧结钻头性能低、技术经济指标差的一个“短板”。

(3) 俄罗斯使用冷压浸渍法生产金刚石钻头,钻头进尺较高,效果比较好,原因也是多方面的。但是,冷压成型时压力可以达到 70~100 MPa,比我国的热压烧结压力 5~6 MPa 高出 10 多倍,因而钻头胎体硬度大、耐磨性强、钻头进尺长,可能是一个重要原因。可以认为,成型压力大是冷压浸渍法生产金刚石钻头的一个强项。

(4) 微波能烧结技术具有内部加热、可以克服物料中的“冷中心”、快速加热、易自动控制、节能等

特点。与中频烧结相比,这是它的优点。

(5)克服热压烧结的“短板”,发挥冷压浸渍压力大的强项,利用微波加热的优点,把它们紧密结合起来。强项+优点=创新,可以把钻头生产技术中存在的问题解决掉,提高钻头的技术经济指标,为我国的经济建设做出新的更大的贡献。建议对此进行试验研究,早日研制出富有中国特色的金刚石钻头生产技术。

参考文献:

- [1] 2015年探矿工程十大新闻[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016,(1):1-3.
- [2] О. Н. Ефимов, Н. Н. Вершинин, В. Ф. Тацкий и др. Наноалмазы и катализ[J]. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, Москва, 2007,6(50):98-106.
- [3] В. Ю. Долматов. О необходимости создания мощного производства детонационных наноалмазов[C]// Сборник научных трудов, Киев, 2010:320-323.
- [4] Г. П. Богатырева и др. Сопоставительный анализ детонационных наноалмазов в различных условия [С]// Сборник научных трудов, Киев, 2010:315-320.
- [5] Г. П. Богатырева и др. Оценка перспективности структурирования металломатричных композитов алмазных буровых коронок наноалмазами[C]// Сборник научных трудов, Киев, 2011:97-102.
- [6] Чихоткин В. Ф. Исследование призабойных процессов в алмазном бурении[D]. Москва, 1998:118-127.
- [7] 汤凤林, А. Г. 加里宁, 段隆臣. 岩石钻探学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2009:217-219.
- [8] Чихоткин В. Ф., 高申友, 蒋国盛, 等. 关于金刚石钻进工艺优化几个问题的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,(9):18-22.
- [9] В. Ф. Чихоткин, 段隆臣, 汤凤林, 等. 基于破碎单位体积岩石能耗量设计坚硬研磨性岩石用钻头方法的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012,39(S2):72-76.
- [10] 汤凤林, 高申友, Чихоткин В. Ф., 等. 纳米金刚石钻头试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015,42(6):76-80.
- [11] 汤凤林, Чихоткин В. Ф., 彭莉, 等. 关于金刚石钻头胎体硬度分布的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015,42(9):65-71.
- [12] 汤凤林, Чихоткин В. Ф., 高申友, 等. 关于金刚石钻进规程参数合理配合的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015,42(10):76-80.
- [13] 汤凤林, 彭莉, Чихоткин В. Ф., 等. 关于提高金刚石钻头胎体耐磨性的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016,43(1):7-13.
- [14] 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, 2014:31-35.
- [15] 朱恒银, 等. 深部岩心钻探技术与管理[M]. 北京: 地质出版社, 2014:133-136.
- [16] 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, 2012:206-209.
- [17] 彭金辉, 杨显万. 微波能技术新应用[M]. 云南昆明: 云南科技出版社, 1997:130-138.
- [18] 张利波, 彭金辉, 张世敏, 等. 离子烧结新技术及应用[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2002,27(4):22-33.
- [19] 彭金辉, 张利波, 张世敏, 等. 离子体活化烧结技术新进展[J]. 云南冶金, 2000,(3):42-44.