

关于金刚石钻头胎体硬度分布的试验研究

汤凤林^{1,2}, ЧИХОТКИН В. Ф.¹, 彭莉², 李晓磊², 赵俊彩²

(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:钻头胎体硬度是一项重要技术指标,应与所钻岩石的硬度(可钻性)和研磨性相适应。胎体硬度直接影响钻探技术经济指标的提高和钻进工艺参数的选择。试验研究表明,钻头胎体硬度分布很不均匀,差别很大。首先应从胎体烧结工艺上找原因,烧结压力偏小(5 MPa)可能是首要原因。钻头、工艺参数、操作技术等都很重要,缺一不可。钻进技术经济指标低,不一定是钻头质量问题,要从多方面进行研究。提倡把经验打钻提高到科学打钻上来。

关键词:胎体硬度;金刚石钻头;技术经济指标;工艺参数;操作技术;烧结压力;试验研究

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)09-0065-07

Experimental Research on Matrix Hardness of Impregnated Diamond Bit/TANG Feng-lin^{1,2}, CHIKHOTKIN V. F.¹, PENG Li², LI Xiao-lei², ZHAO Jun-cai² (1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

Abstract: Matrix hardness is an important characteristic of diamond bit. It should be suitable for hardness (drillability) and abrasiveness of rock to be penetrated. Matrix hardness has direct influence on technical and economical indexes of drilling and choice of drilling parameters. Experimental research shows, that matrix hardness difference is big and not fairly well-distributed. The main reason of the big hardness difference may be low pressure (5 MPa) while sintering process of hot pressing. Diamond bit, drilling parameters and operation technology are all important. Probably low technical and economical results of diamond drilling are not connected with the bit, but with the drilling parameters and operation technology. Transition from drilling with experience to drilling with science is advocated.

Key words: matrix hardness; diamond bit; technical and economical indexes; drilling parameters; operation technology; sintering pressure; experimental research

1 概述

金刚石钻进是固体地质勘探中广泛使用的一种钻探方法。金刚石钻进,特别是孕镶金刚石钻头钻进,与其它钻进方法不同,在钻进过程中,在钻进规程参数(钻压、钻头回转速度、给定性能的冲洗液量)的作用下,钻头上金刚石破碎岩石,形成孔底。岩粉沉积在孔底,磨损钻头胎体,使胎体中金刚石露出,继续破碎岩石。其它钻进方法时,这3个钻进规程参数都起着非常大的作用,但在金刚石钻进时,在所钻岩石物理力学性质和钻头类型已经确定的情况下,钻压和钻头回转速度可以决定钻进速度和孔底岩粉的多少,但不能改变留在孔底岩粉的数量,而改变孔底岩粉数量在很大程度上取决于冲洗液的数量。冲洗液量过大时,会导致孔底没有岩粉,岩粉全

被冲走,不能磨损胎体,金刚石不能露出,结果是钻头抛光。冲洗液量过小时,不能排走孔底岩粉,滞留孔底岩粉过多,致使钻头产生非正常磨损,如拉槽、金刚石脱落等。只有冲洗液量合适时,才能保持孔底有适量的岩粉,既能保证岩粉有效磨损胎体,使金刚石露出,保持正常钻进,又不至于孔底岩粉过多而使钻头产生非正常磨损。这种情况称为正常岩屑规程。可见,在这种情况下,冲洗液量大小才是金刚石正常钻进中非常关键的规程参数^[1-5]。

实际上,金刚石钻进过程中,在钻压作用下,只有出露的金刚石与岩石接触,而胎体表面与岩粉接触。金刚石出刃部分与岩石接触部分产生局部应力集中,在金刚石与岩石表面处出现压碎、犁削、张裂与脆性剪切破碎,这是黏合磨损过程。随着金刚

收稿日期:2015-05-23

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,ftang_wuhan@aliyun.com。

石克取岩石,不断产生岩粉,在胎体和岩石表面之间的岩粉就成了磨粒。在这个钻进过程中,磨粒对胎体表面产生高应力滚压式摩擦,这是磨粒磨损过程。所以,金刚石钻头胎体-磨粒-岩石之间的磨损是两种类型磨损的综合磨损,又称三体磨粒磨损。在钻进过程中,胎体磨损的主要形式是磨粒磨损^[6]。

从孔底破碎岩石过程来看,应以胎体耐磨性作为胎体性能的主要指标更为合理。但是,在一定条件下,胎体硬度与胎体耐磨性关系紧密,加之硬度测量方法简单方便,所以目前在探矿工程行业内部仍以胎体硬度作为金刚石钻头的一个重要指标。用户采用胎体硬度订购金刚石钻头,厂商根据胎体硬度设计钻头和生产钻头,购买胎体粉料也按标称胎体硬度购买。但是,应该指出的是,胎体硬度和金刚石钻头硬度是不同的,胎体硬度不能全面反映金刚石钻头的硬度。由于钻头胎体中孕镶了一定浓度的金刚石,所以,测试钻头硬度时只能检测纯胎体的硬度。

由此可见,胎体硬度是金刚石钻头的非常重要的性能指标。胎体硬度直接影响与所钻岩石可钻性(硬度)和研磨性是否相适应,以保证胎体被适量磨损,金刚石被适量出露,有效破碎孔底岩石,提高钻探工程的技术经济指标。钻头胎体硬度还影响沉积孔底岩粉的数量,因此影响钻进规程参数的合理选择和确定。钻头工作唇面上胎体硬度分布均匀,是保证正常钻进过程的重要因素。如果硬度分布不均匀,则工作唇面上胎体磨损不均匀,很容易产生拉槽、偏磨、掉块乃至金刚石脱落等,甚至发生事故。所以应该对钻头胎体硬度及其在工作唇面上的分布进行分析和研究。

钻头胎体硬度分布试验研究是在无锡钻探工具厂有限公司钻头实验室进行的。

为了进行试验,制备了不含金刚石的空白胎体钻头,测量了胎体硬度,对其进行了分析和研究,提出了有关建议。

2 钻头胎体的制备

选用两种配方制作 $\varnothing 75/49$ mm 空白胎体钻头,一种配方命名为1号配方,另一种配方命名为2号配方(因为涉及到保密问题,所以未把具体骨架金属和粘结金属配料列出)。为了研究胎体高度对其硬度的影响,选用了2种胎体高度:6和8 mm。

2.1 1号配方胎体6和8 mm高度钻头胎体的制备
按1号胎体配方的配料比例,经过计算称取500 g粉末,在混料机中搅拌30 min。

取2只 $\varnothing 75$ mm的模具,将1号配方粉料分别组装2只空白钻头,钻头各有10个水口。一只钻头胎体高度为6 mm,每个扇形块称取9.4 g粉料,填好粉料后,放入高度为6 mm的水口块,然后再放入105 g粉料充当过渡层。另一只钻头胎体高度为8 mm,每个扇形块称取12.6 g粉料,填好粉料,放入高度为8 mm的水口块,再放入105 g粉料充当过渡层。

组装好的钻头待酒精在DH-5型烘干炉烘干后,用KGPS-250型中频炉按以下工艺烧结:将1号胎体配方空白钻头慢慢升温到650℃后加压到2.0 MPa,在升温到990℃时压力加到3.0 MPa,在990℃的温度及3.0 MPa的压力下保温3 min,慢慢加压到5.0 MPa后再保温1 min,然后保压冷却,冷却到700℃以下卸压取出自然冷却。

钻头胎体烧结过程中温度、压力、时间曲线见图1。

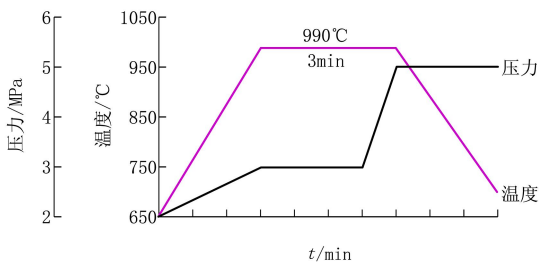


图1 1号配方钻头空白胎体烧结温度、压力、时间曲线

2.2 2号配方胎体6和8 mm高度钻头胎体的制备
按2号胎体配方配料比例,经过计算称取500 g粉末,在混料机中搅拌30 min。

取2只 $\varnothing 75$ mm的模具,将2号配方粉料分别组装2只空白钻头,钻头各有10个水口。一只钻头胎体高度为6 mm,每个扇形块称取10.3 g粉料,填好粉料后,放入高度为6 mm的水口块,然后再放入115 g粉料充当过渡层;另一只钻头胎体高度为8 mm,每个扇形块称取13.7 g粉料,填好粉料,放入高度为8 mm的水口块,再放入115 g粉料充当过渡层。

组装好的钻头待酒精烘干后,用KGPS-250型中频炉按以下工艺烧结:将2号胎体配方空白钻头慢慢升温到650℃后加压到2.0 MPa,在升温到990℃

℃时压力加到 3.0 MPa,在 1010 ℃ 的温度及 3.0 MPa 的压力下保温 3 min,慢慢加压到 5.0 MPa 后保温 1 min,然后保压冷却,冷却到 700 ℃ 以下卸压取出自然冷却。

钻头胎体烧结过程中温度、压力、时间曲线见图 2。

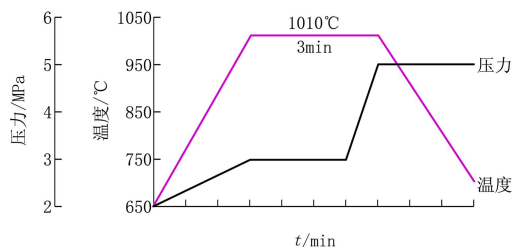


图 2 2 号配方钻头空白胎体烧结温度、压力、时间曲线

3 胎体硬度测量

待钻头胎体完全冷却后,进行粗加工。然后按从 0~9 的次序对每个钻头的 10 个扇形块依次编号(见图 3),用洛氏硬度计(HR150-A)按照给定的 4~12 点标号顺序,依次测量每个扇形块上每个点的硬度并记录。将胎块磨去 1 mm,依次测量每个扇形块各点硬度并记录,直到胎块全部磨完接近过渡层。高度为 6 mm 的胎体共需测量 6 次,高度 8 mm 的需测量 8 次。

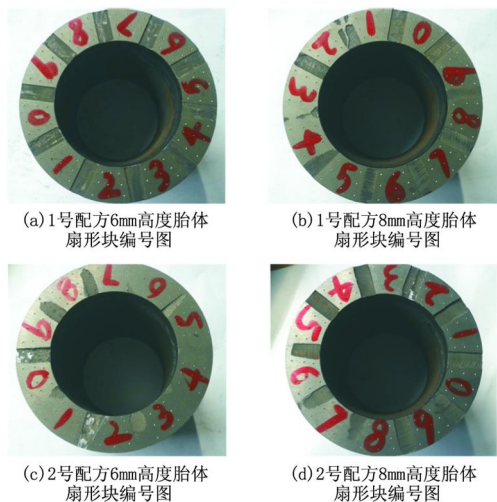


图 3 胎体扇形块编号图

每个钻头胎体上都有 10 个扇形块。每个扇形块上划定 9 个测点,分内、中、外三圈,绿色曲线测点 6、7、10 是靠近钻头内圈硬度,黑色曲线 4、9、12 是靠近钻头外圈硬度,红色点 5、8、11 位于中环上。在整个胎体上,每种颜色曲线均由 30 个测点硬度测量

结果组成。

3.1 1 号配方 6 mm 高度胎体硬度测量结果

1 号配方 6 mm 高度胎体硬度测量结果,见图 4~9。

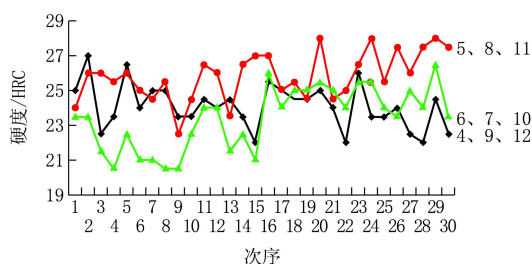


图 4 1 号配方 6 mm 高度胎体表面硬度曲线

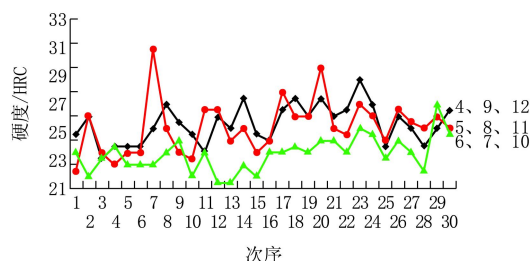


图 5 1 号配方 6 mm 高度胎体第 1 次磨 1 mm 后硬度曲线

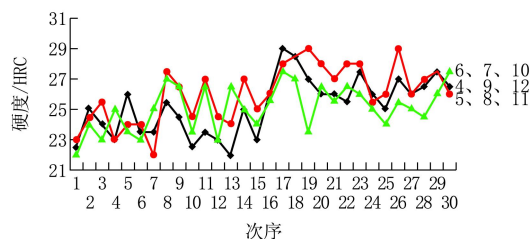


图 6 1 号配方 6 mm 高度胎体第 2 次磨 1 mm 后硬度曲线

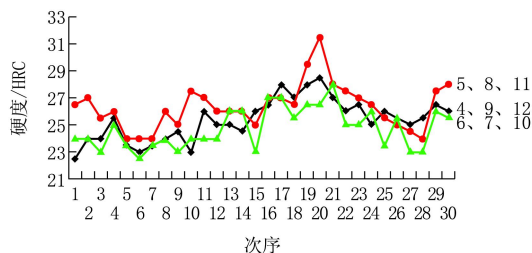


图 7 1 号配方 6 mm 高度胎体第 3 次磨 1 mm 后硬度曲线

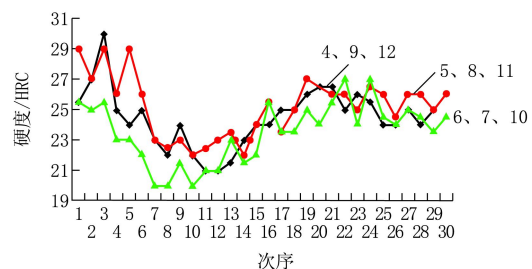


图 8 1 号配方 6 mm 高度胎体第 4 次磨 1 mm 后硬度曲线

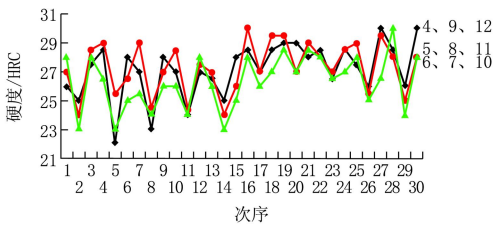


图 9 1 号配方 6 mm 高度胎体第 5 次磨 1 mm 后硬度曲线

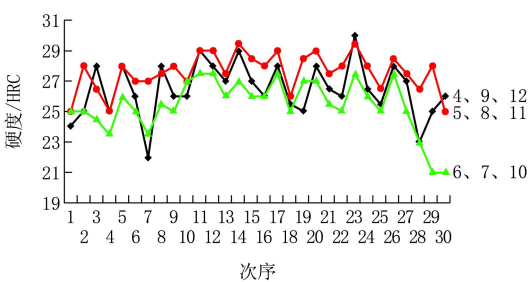


图 14 1 号配方 8 mm 高度胎体第 4 次磨 1 mm 后硬度曲线

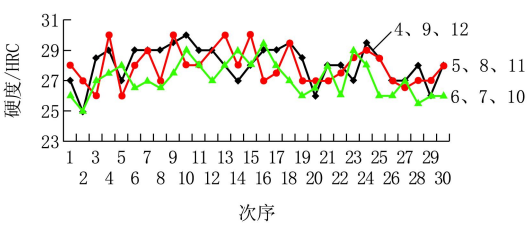


图 15 1 号配方 8 mm 高度胎体第 5 次磨 1 mm 后硬度曲线

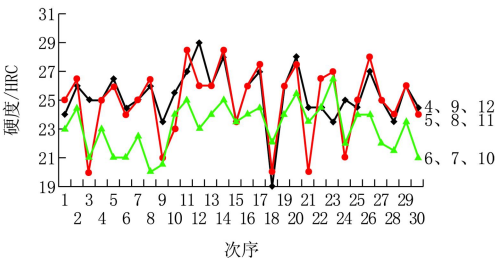


图 10 1 号配方 8 mm 高度胎体表面硬度曲线

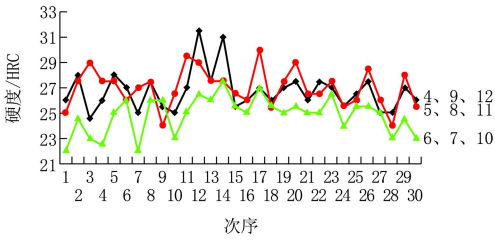


图 11 1 号配方 8 mm 高度胎体第 1 次磨 1 mm 后硬度曲线

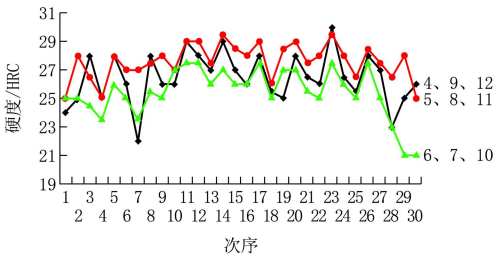


图 12 1 号配方 8 mm 高度胎体第 2 次磨 1 mm 后硬度曲线

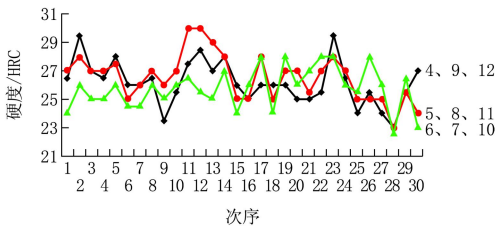


图 13 1 号配方 8 mm 高度胎体第 3 次磨 1 mm 后硬度曲线

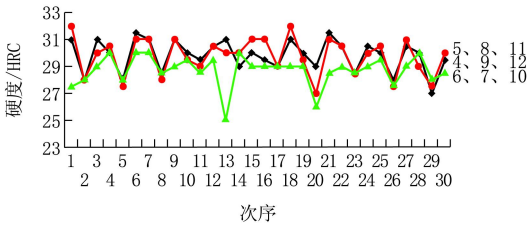


图 16 1 号配方 8 mm 高度胎体第 6 次磨 1 mm 后硬度曲线

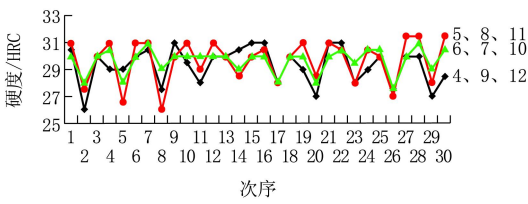


图 17 1 号配方 8 mm 高度胎体第 7 次磨 1 mm 后硬度曲线

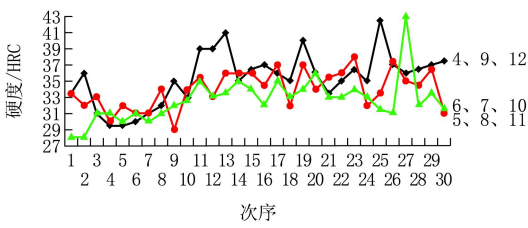


图 18 2 号配方 6 mm 高度胎体表面硬度曲线

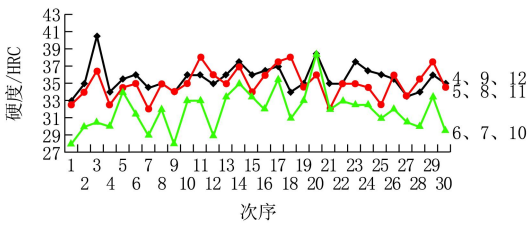


图 19 2 号配方 6 mm 高度胎体第 1 次磨 1 mm 后硬度曲线

3.2 1 号配方 8 mm 高度胎体硬度测量结果

1 号配方 8 mm 高度胎体硬度测量结果见图 10 ~17。

3.3 2 号配方 6 mm 高度胎体硬度测量结果

2 号配方 6 mm 高度胎体硬度测量结果见图 18 ~23。

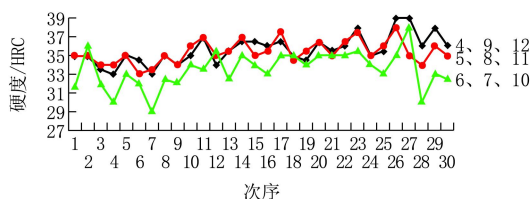


图 20 2 号配方 6 mm 高度胎体第 2 次磨 1 mm 后硬度曲线

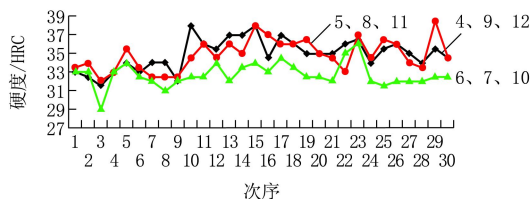


图 21 2 号配方 6 mm 高度胎体第 3 次磨 1 mm 后硬度曲线

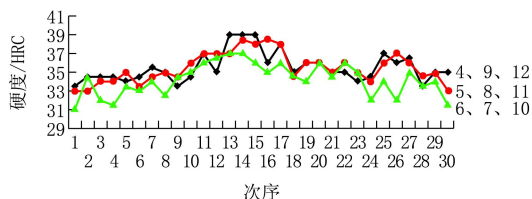


图 22 2 号配方 6 mm 高度胎体第 4 次磨 1 mm 后硬度曲线

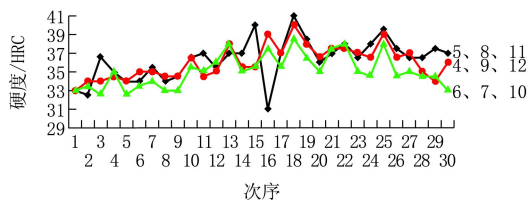


图 23 2 号配方 6 mm 高度胎体第 5 次磨 1 mm 后硬度曲线

3.4 2 号配方 8 mm 高度胎体硬度测量结果

2 号配方 8 mm 高度胎体硬度测量结果见图 24 ~ 31。

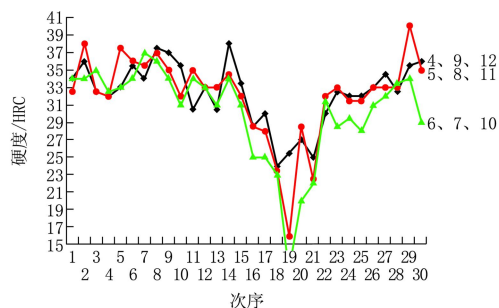


图 24 2 号配方 8 mm 高度胎体表面硬度曲线

4 分析与讨论

根据上述胎体硬度测量结果,可以看出以下情况:

(1)工作面上硬度分布很不均匀。据统计,在所测 4 个钻头胎体共 40 个扇形块中,其上硬度差

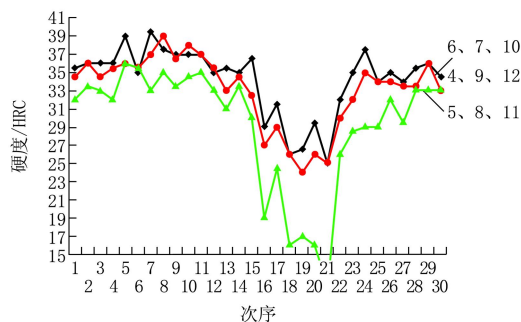


图 25 2 号配方 8 mm 高度胎体第 1 次磨 1 mm 后硬度曲线

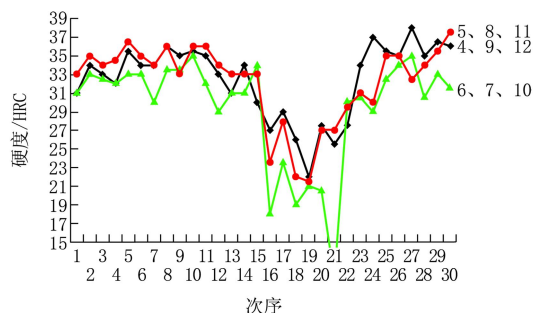


图 26 2 号配方 8 mm 高度胎体第 2 次磨 1 mm 后硬度曲线

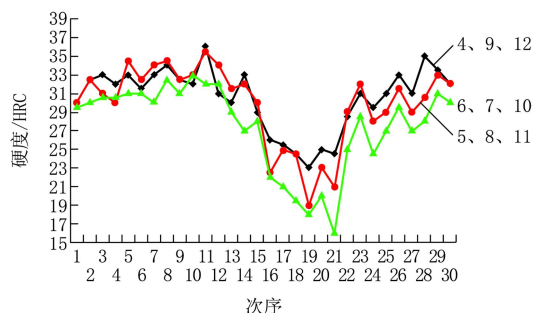


图 27 2 号配方 8 mm 高度胎体第 3 次磨 1 mm 后硬度曲线

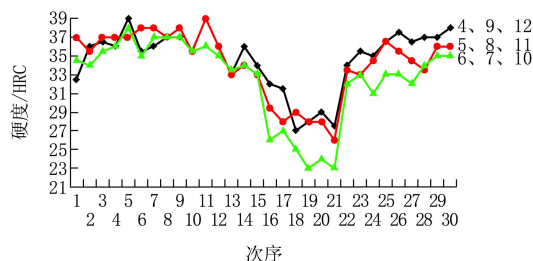


图 28 2 号配方 8 mm 高度胎体第 4 次磨 1 mm 后硬度曲线

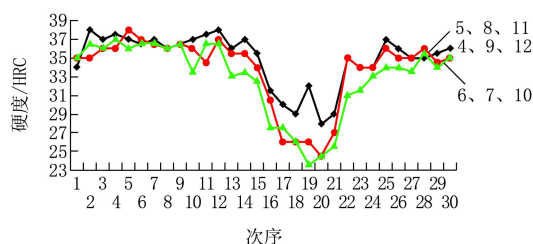


图 29 2 号配方 8 mm 高度胎体第 5 次磨 1 mm 后硬度曲线

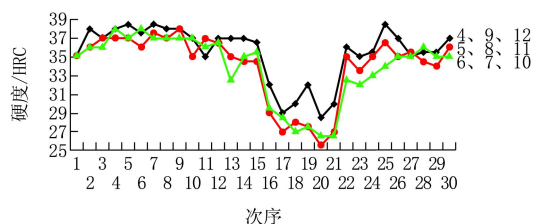


图30 2号配方8 mm高度胎体第6次磨1 mm后硬度曲线

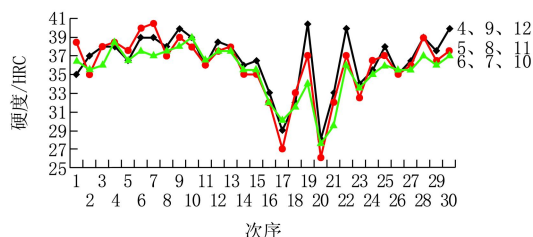


图31 2号配方8 mm高度胎体第7次磨1 mm后硬度曲线

大于5个HRC的扇形块为24个,占60%。在磨掉1 mm后,硬度差大于5个HRC的扇形块为25个,占62.5%。偌大比例的偌大硬度差,不可能保证正常钻进,不可能得到高的技术经济指标,甚至可能导致发生事故。

(2)胎体硬度均未达到设计硬度指标。在所测4个钻头胎体硬度中,总体上说,均未达到设计的硬度指标。这可能与所用的胎体热压烧结工艺有关,特别是对热压压力应该给予充分考虑和注意。资料^[6-8]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15~22 MPa。而上述两个配方4个钻头胎体烧结时使用的压力是5 MPa,似乎小了一点。当然,也不一定要达到15~22 MPa,对于确定的配方胎体来说,最优压力可以通过试验研究确定。

(3)个别扇形块硬度偏低。在2号配方8 mm高度的胎体(图24~29)中,在5号到6号扇形块(横坐标16点到21点)间的硬度偏低,而且从胎体唇面直到磨掉5 mm后均是如此。这可能与热压时,这一部分受到的压力偏低(模具相对偏斜,与压机的压力方向不垂直)有关,属于系统误差范围。

(4)扇形块中环部分硬度大且稳定。从2种配方、4种胎体硬度测量结果可见,总体上说,扇形块中环部分(红色曲线部分)硬度均偏大而且稳定,外环部分(黑色曲线部分)次之,内环部分(绿色曲线部分)最小。这可能是因为钻头胎体烧结过程中,中环部分比内环部分和外环部分的应力更为集中,压强更大,密实度更大,因而硬度更大。

(5)胎体高度对胎体硬度的影响。总的看来,6 mm高度胎体硬度比8 mm高度胎体硬度稍大一点,硬度更为均衡一点。这可能是因为后者受力范围比前者大一点,因而压强不如前者大所致。但是,这个趋势不够明显,需要今后进一步试验研究。

5 几点建议

(1)胎体硬度指标非常重要。目前我国国内的情况是,用户根据胎体硬度订购金刚石钻头,厂家根据胎体硬度设计和生产钻头,购买胎体粉料也按胎体硬度指标订购。这是我国市场经济条件下的一种新形势、新特点,胎体硬度变成了商品的标牌和规格,可见,谁也离不开市场,只能从市场中找效益、求发展。但是,存在的问题是如何保证用户所买钻头胎体硬度就是厂家出厂标称的胎体硬度,买到的胎体粉料就能制备出标称胎体硬度的胎体,这一点应该引起我们的关注。

(2)胎体硬度分布不均匀,硬度差别很大。这不单单是本次试验发现的问题,其它很多钻头也可能存在类似问题。我们测量从机台返回的废旧钻头胎体硬度的结果证实了这一点。从钻头胎体烧结工艺上看,首先要从烧结压力上进行讨论和研究,因为总的看来压力偏小(例如5 MPa),没有达到高密度需要的压力数值。

(3)胎体硬度应与所钻岩石(硬度)可钻性和研磨性相适应,应该根据后者来选择。如果不适应,就不可能保持正常钻进,不可能得到好的钻进速度和钻头进尺。所以对钻头唇面形状、钻头胎体硬度等,一定要综合考虑,选用最好的钻头。钻头选型、钻进工艺、现场操作、现场管理是一个系统工程,是一个整体,相互联系,缺一不可。好的钻头,不一定得到好的技术经济指标,因为钻进工艺、操作、管理可能出问题。钻进工艺、操作都很重要。工艺参数没选好,同样可能得不到好的效果。操作也是如此,因为金刚石钻进非常敏感“矫情”,不像其它普通钻进方法那样“友好”,操作不当很容易出问题甚至发生事故。现在有一种观点认为钻孔没打好就是钻头不好,这是不客观的,应该从更多方面分析和讨论这个问题,任何环节都可能出问题,找出问题所在,才能做到“对症下药”。

(4)胎体硬度与选用的钻进工艺参数直接有关。在钻进过程中,钻头上金刚石破碎岩石,形成孔

底。孔底岩粉磨损钻头胎体,使金刚石露出,继续破碎岩石,如此循环。钻压和钻头回转速度可以决定进尺效率和孔底岩粉的多少,而改变孔底岩粉数量在很大程度上取决于冲洗液的数量。冲洗液量过大时,会导致孔底没有岩粉,全被冲走,不能磨损胎体,金刚石不出刃,结果是钻头抛光。冲洗液量过小时,不能排走孔底岩粉,滞留孔底岩粉过多,致使钻头产生非正常磨损,如拉槽、金刚石脱落等。只有冲洗液量合适时,才能保持孔底有适量的岩粉,既能保证岩粉有效磨损胎体,使金刚石露出,保持正常钻进,又不至于孔底岩粉过多而使钻头产生非正常磨损。在这种情况下,冲洗液量大小才是金刚石正常钻进中非常关键的规程参数。

(5)把经验打钻上升到科学打钻。我们的钻工打钻经验非常丰富,能够高效优质地完成施工任务。机台上一般都配备有功率表和泵压表。根据功率表变化情况来判断孔底功率消耗的情况和钻进是否正常。正常钻进规程时,功率变化平稳。临界钻进规程时,功率值急剧增大,有产生非正常磨损和烧钻的危险。但是功率是轴向载荷(钻压)和钻头转速的乘积,功率一定时可以选择大钻压和小转速或小钻压和大转速两组组合乃至多种组合。选哪一种组合合适?要根据所钻岩石硬度(可钻性)和研磨性分析确定。常以泵压变化来判断冲洗液的循环状况和

孔底钻进的情况,但是多数机台没有配备冲洗液流量计,不能定量确定孔底的冲洗液数量,而后者对于保证正常的岩粉规程是非常重要的。可见,机台上配备流量计是很必要的。我们应该重视实践经验,也应尊重科学,提倡把经验打钻上升到科学打钻上来。

参考文献:

- [1] 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: 217 - 219.
- [2] 汤凤林, 段隆臣, Чихоткин В. Ф., 等. 合理设计岩屑规程, 保证正常钻进条件[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(6): 45 - 48.
- [3] Чихоткин В. Ф. Исследование призабойных процессов в алмазном бурении[D]. Москва, 1998: 118 - 127.
- [4] 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.
- [5] 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, 41(9): 18 - 22.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

(上接第60页)

5 结语

实践表明,优化升级后的液压系统满足了立轴式钻机的实际要求。

- (1)双泵的选择,完全符合钻机的实际工况。
- (2)系统回路的通径与油泵的排量相匹配。
- (3)液压辅助件的应用减少了液压系统的污染。
- (4)称重功能符合深孔钻进要求。
- (5)油缸密封结构的改进,减少了客户的维修成本。

深孔立轴式钻机仍是我公司地质勘探的主要机型,它的完善进一步稳定了钻机的性能,降低了钻孔事故,取得了良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 张伟. 关于我国地质岩心钻机发展方向的分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(8): 1 - 5.
- [2] 彭一江, 韩兰新. 新型高效节能立轴岩心钻机的开发与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(10): 23 - 27.
- [3] 鄢泰宁, 等. 岩土钻掘工程学[M]. 湖北武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [4] 曹玉平, 阎祥安. 液压传动与控制[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.
- [5] 武汉地质学院, 等. 岩心钻探设备及设计原理[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [6] 肖燕波, 谭国平, 彭儒金. 立轴式岩心钻机设计开发的新思路[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9): 32 - 34.
- [7] 马德义, 覃勋平, 付兆友. 不同类型岩心钻机在新疆黄山铜镍矿钻探施工效果对比[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 11 - 18.