

# 地质勘探用金刚石钻头减振能力的分析研究

汤凤林<sup>1,2</sup>, 沈中华<sup>2</sup>, 段隆臣<sup>1</sup>, 彭莉<sup>2</sup>, ЧИХОТКИН В.Ф.<sup>1</sup>

(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:**地质钻探中,钻头在轴载和扭矩作用下产生振动,钻头中产生正应力、剪切应力和位移,对钻进产生负面影响。如果形成共振,则对钻具和钻进过程产生破坏性影响。使用减振能力强的钻头胎体材料是减小钻头振动的有效方法之一。俄罗斯图拉地质勘探科学研究所对不同材料的减振能力进行了研究,认为线性尺寸为 0.4 mm 的 BK6<sub>M</sub> 材料的减振能力比试验的其他材料好。使用粉料颗粒线性尺寸比为 1.15~1.25,颗粒面积比为 40:1~48:1 的 WC 粉料和大颗粒莱立特硬合金粉料制成的钻头,在乌拉尔地区 ГП-УС-30 地质勘探队进行了生产试验,取得了很好的技术经济效果,钻头寿命提高了 50%,金刚石单位消耗量降低了 80%~90%。

**关键词:**钻头振动;共振;胎体材料;减振能力;钻进效果

**中图分类号:**P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)03-0087-05

**Analytical Research on Vibration Damping Capacity of Diamond Drill Bit Used in Geological Exploration/TANG Feng-lin<sup>1,2</sup>, SHEN Zhong-hua<sup>2</sup>, DUAN Long-chen<sup>1</sup>, PENG Li<sup>2</sup>, ЧИХОТКИН В.Ф.<sup>1</sup>**(1.China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2.Wuxi Drilling Tools Factory Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214174, China)

**Abstract:** In geological exploration, the drill bit generates vibration under the actions of axial pressure and rotary torque, normal stress, tangential stress and displacement, which have negative influences on drilling. If resonance is formed, it will bring destructive effect and obstruction on the drilling tools and drilling process. Using bit matrix material with high vibration damping capacity is one of the effective methods to reduce the bit vibration. Scientists of Tula Scientific Research Institute of Geological Exploration in Russia have studied the vibration damping capacity of different materials and considered that the vibration damping capacity of material BK6<sub>M</sub> with linear dimension 0.04mm is better than the other materials that have been tested. In Ural region, production test was carried out by geological exploration team ГП-УС-30 on the bit made of WC powder with linear dimension ratio 1.15~1.25 and area ratio 40:1~48:1 and large-particle Relit hard alloy powder, good technical and economical results are obtained, bit service life increased by 50% and specific expense of diamond reduced by 80%~90%.

**Key words:** drill bit vibration; resonance; matrix material; vibration damping capacity; drilling effect

## 0 引言

地质勘探钻进中,由于许多地质方面和技术方面的原因,通过钻杆柱传到钻头上的轴载不是常数。因此,在钻进中,钻头胎体乃至整个钻具都经受纵向(轴向)振动的作用,在一定程度上也受横向(剪切)振动的作用,特别是在钻进坚硬裂隙岩石时更是如此,对钻进工作负面影响很大。轴载偏离设计数值可能很大,到达孔底的钻压远不是钻机给进系统所给的钻压。在这种情况下,在钻头胎体中,会产生动态载荷,导致横断面上的各点产生位移。“胎体唇面-孔底”接触付中的摩擦过程,也对动态应力和位移的分布性质产生很大影响<sup>[1-7]</sup>。

钻进中,在金刚石钻头破碎岩石过程中产生的振动过程,决定着钻头胎体的应力变形状态。钻头的振动可能是由于孔底扭矩和轴载数值的变化引起的。而且,扭矩的变化更为重要,因为在这种情况下钻头结构的 3 个组成部分:胎体唇面及其两个侧面(内、外表面)上都会产生剪切应力作用。

全俄勘探技术研究所的研究表明<sup>[8]</sup>:金刚石颗粒和孔底相互作用时产生的振动频率为 0.7~30 kHz,其中声谱中的高频范围(5~20 kHz)主要是由于金刚石和孔底相互作用情况下产生的;轴载及其产生的轴向振动是产生振动过程的主要振源和主要原因。

收稿日期:2018-01-05

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。

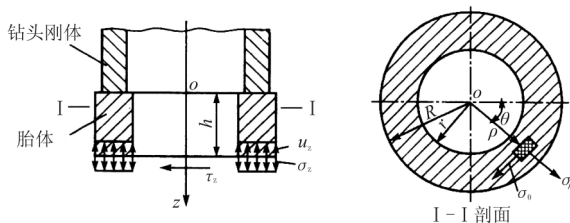
钻头胎体中产生的振动过程,以及把胎体和孔底接触部位的摩擦考虑在内的动态应力分布情况,是个非常复杂的相互制约的过程,用直接试验研究方法研究这个过程,是非常困难的。所以,这种机械系统中的振动过程,只能用考虑材料的非弹性性质以及在材料中周期性振动产生的机械能散失的情况(减振能力)来进行描述。

在钻进过程中,对于钻具的各个组成部分来说,振动都是经常发生的。可以采取有利于降低振幅的措施和方法,来减小振动的强度。在钻具组成结构中使用减振性能好的材料是减小振动带来的负面影响的方法之一。实际上,在钻孔中回转的钻具是个吸收振动的系统,可以将其看成是弹性柔韧“细面条”状系统(从钻机回转器到孔底支点),下部是金刚石钻头“金刚石-胎体”的系统。在上部系统中,主要是要解决组合杆件在扭矩、轴载作用下的结构问题,同时要考虑锁接头中的离心力、钻杆柱和孔壁的摩擦力、共振和随机冲击作用问题。在金刚石钻头“金刚石-胎体”的系统中,主要是要使用具有能承受高的接触应力并且减振性能好的复合材料来保护金刚石的强度、碎岩能力和钻进效果。

俄罗斯钻探科研人员在提高金刚石钻头减振能力方面进行了不少的研究,取得了一定的成果<sup>[7-19]</sup>。

### 1 不稳定轴载作用下钻头胎体的振动过程

我们可以把钻头胎体看成是一个高度为  $h$ 、外径为  $2R$  和内径为  $2r$  的圆柱形物体(见图1)。胎体上端,  $z=0$ , 与钻头刚体成刚性连接。当钻头下到孔底,施加轴载时,胎体经受轴向冲击,在唇面和其它断面上产生动载,产生正应力  $\sigma_z$ 、剪切应力  $\tau_z$  和位移  $u_z$ 。



$\theta$ —胎体唇面单元面积的角度坐标; $\rho$ —胎体单元的半径;  
 $u_z$ —位移; $\sigma_z$ —正应力; $\tau_z$ —剪切应力

图1 交变轴载作用下计算金刚石钻头胎体受载和变形示意图

在不稳定的轴载作用下,同时考虑胎体与孔底

的摩擦力,利用向量能等能量方法,钻头胎体中的振动过程以及动态应力和位移的分布,可以如下计算<sup>[7]</sup>:

$$\begin{cases} u_{z0} = \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{1n0} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{2n0} + U_0 h(t) + \\ U_0^* \rho_{cp} th(t) \\ -u_{\rho 0} = \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{3n0} \frac{F_{\rho 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{4n0} \frac{F_{\rho 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} \\ -\frac{\tau_{\rho z 0}}{G} = \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{1n0} \frac{F_{\rho z 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{2n0} \frac{F_{\rho z 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} \\ -\frac{\tau_{z z 0}}{2G} = \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{3n0} \frac{F_{z z 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{4n0} \frac{F_{z z 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} \\ -\frac{\tau_{\rho \rho 0}}{2G} = \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{3n0} \frac{F_{\rho \rho 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{4n0} \frac{F_{\rho \rho 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} \\ -\frac{\tau_{\theta \theta 0}}{2G} = G \frac{u_0}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{3n0} \frac{F_{\theta \theta 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} + \frac{U_0^* \rho_{cp}}{h} \sum_{n=0}^{\infty} S_{4n0} \frac{F_{\theta \theta 0}(\rho)}{F_{z0}(\rho)} \end{cases} \quad (1)$$

对于因轴载不稳定性而引起的零点( $z=0$ )状态振动来说,金刚石钻头胎体唇面上各点的位移和应力,应是弹性振动部分和弹性不可逆振动部分(磨损部分)的和,故:

$$\begin{cases} u_{z0} = u_z^y + u_z^* = 1 + \rho/r \\ u_{\rho 0} = u_{\rho z}^y + u_{\rho z}^* = \frac{\rho}{r} (1 - 3.11 \frac{\rho^2}{r^2}) + \frac{\rho^2}{r^2} (1 - 3.11 \frac{\rho^2}{r^2}) \\ \tau_{\rho z 0} = u_{\rho z}^y + \tau_z^* = 0.266(1 + \rho/r) \\ \sigma_{z0} = \sigma_z^y + \sigma_z^* = 1.664(1 + \rho/r) \\ \sigma_{\rho 0} = \sigma_{\rho}^y + \sigma_{\rho}^* = 0.56(1 + \rho/r)(1 - \rho^2/r^2) \\ \sigma_{\theta 0} = \sigma_{\theta 0}^y + \sigma_{\theta 0}^* = 0.56(1 - \frac{\rho^2}{r^2}) + 0.56 \frac{\rho}{r} (1 + \frac{\rho^2}{r^2}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\rho_{cp}$ ——胎体平均半径,  $\rho_{cp} = (R + r)/2$ ;  
 $u_{z0}$ ——轴向位移; $\tau_{\rho z 0}$ ——径向剪切应力; $G$ ——剪切模量; $\sigma_{z0}$ ——胎体唇面上的正应力; $\sigma_{\rho 0}$ ——径向正应力; $\sigma_{\theta 0}$ ——圆周正应力; $U_0^*$ ——接触摩擦作用产生的位移(不可逆位移); $F_{z z 0}$ 、 $F_{\rho \rho 0}$ 、 $F_{\theta \theta 0}$ 、 $F_{z 0}$ 、 $F_{\rho 0}$ ——弹性应力和位移函数图像用的参数。

用直径 59 mm 孕镶钻头,  $h=12.5$  mm、 $r=21$  mm、 $R=29.5$  mm,胎体材料常数:标准弹性模量  $E=100$  GPa、剪切模量  $G=40$  GPa、泊桑系数  $\mu=0.3$ 、相速度  $C_0=4.82$  km/s、纵波速度  $C_1=4.38$  km/s、横波速度  $C_2=2.53$  km/s,胎体和孔底的摩擦系数  $f=0.39$ ,用标准单位载荷施载,计算得到的

位移和应力图见图 2 和图 3,图中胎体半径变化范围为  $\rho/r (r \leq \rho \leq R)$ 。

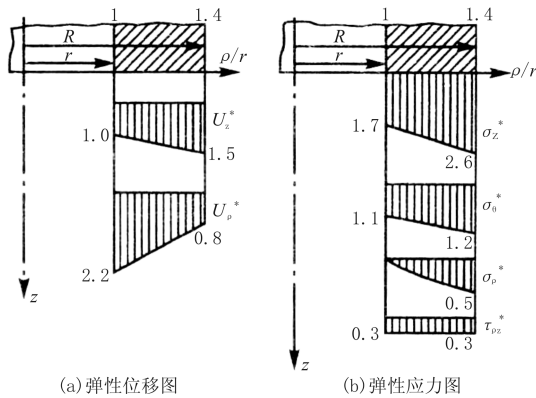


图 2 钻头胎体唇面弹性位移图(a)和弹性应力图(b)

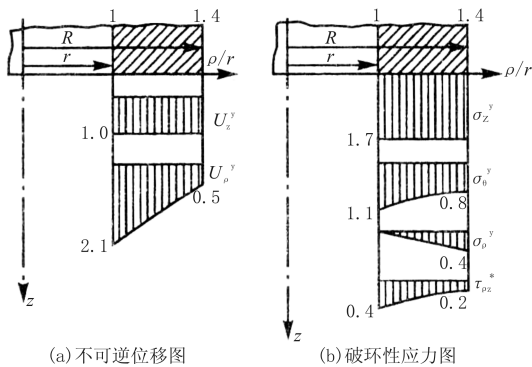


图 3 钻头胎体磨损表面不可逆位移图(a)和破坏性应力图(b)

从图 2 和图 3 可见,无论是弹性位移还是不可逆位移的情况下,在胎体唇面从  $r$  到  $R$  断面上,都是轴向正应力  $\sigma_z$  和圆周正应力  $\sigma_\theta$  的数值最大,而径向正应力  $\sigma_\rho$  的数值要比前二者小得多。同时,弹性正应力和不可逆正应力  $\sigma_z$  的数值是相近的。轴向正应力  $\sigma_z^*$  从胎体内径向向外径方向增大 50% 左右。圆周应力  $\sigma_\theta$  和轴向应力弹性分力  $\sigma_z^y$  沿着胎体半径变化不大。径向剪切应力  $\tau_{\rho z}$  在整个胎体厚度上变化不大,而且这种应力比轴向正应力  $\sigma_z$  和圆周正应力  $\sigma_\theta$  小(6/7~9/10),所以在计算轴载的作用时可以忽略不计,甚至在不稳定轴载时也是如此。

轴向弹性位移  $u_z^y$  在胎体唇面整个断面上几乎是不变的,而径向位移  $u_\rho$ ,无论是弹性位移,还是不可逆(磨损)位移,都是向靠近胎体内侧表面方向增加。虽然在此情况下,轴向位移磨损分量  $u_z^*$  靠近外侧表面也有所增加,但是位移幅度向胎体内侧表面增加的总的趋势没有改变。

所以,为了增加钻头的耐磨性,需要在钻头胎体外径附近部位增加底刃金刚石的浓度并提高胎体的

刚度。为了降低胎体中的振动强度,可以把胎体材料的声波刚度提高到钻头刚体材料的声波刚度,以便在胎体端面上形成的行波能够顺利地进入钻头刚体和岩心管内。此外,胎体和刚体连接部分的结构,也应该能够最大限度地为钻头胎体上部的弹性波散射创造有利条件。

## 2 钻头胎体受迫振动条件下的减振能力

俄罗斯图拉地质勘探科学研究所利用非弹性能介质中的振动模型,就胎体减振能力对周期性外载作用下产生的振动参数的影响进行了分析和研究<sup>[7]</sup>,提出了钻头在周期性轴载作用下产生的受迫振动的微分方程为:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \rho^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial z} [\xi \Phi(u)] = \xi q \cos(\omega_B t) \quad (3)$$

式中: $u$ ——振幅为  $\lambda$  的周期性位移; $\Phi(u)$ ——胎体材料中机械振动能量散失并由应力和应变间呈非线性关系决定的函数; $\xi$ ——小参数; $\xi q \cos(\omega_B t)$ ——带有与(3)式离散项同阶振幅  $\xi q$  和圆频率  $\omega_B$  的扰动外载。

求解(3)式,可以画出钻头胎体减振能力与变形幅度在任何关系  $\psi = \psi(\epsilon_a)$  时的材料的共振关系式  $\lambda = f(\omega_B/\omega)$  的曲线图。

确定纵向振动时共振曲线形状的方程为:

$$\frac{\omega_B^2}{\omega^2} = 1 - \frac{\psi}{2\pi^3} \left( \frac{3\pi^3}{4} \pm \sqrt{\frac{32h^2 \xi q}{\psi \lambda}} - 1 \right) \quad (4)$$

为了计算,取钻头胎体应力梯度  $\xi q = 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$ ,则把(4)式内有关参数数值代入后,得下列简式:

$$\frac{\omega_B^2}{\omega^2} = 1 - 0.37\psi \pm \sqrt{\left( \frac{0.0032h}{\psi \lambda} \right)^2 - 1} \quad (5)$$

根据(5)式,可以画出不同共振能力  $\psi$  时共振函数曲线  $\lambda = f(\omega_B/\omega)$  的关系图(见图 4)。

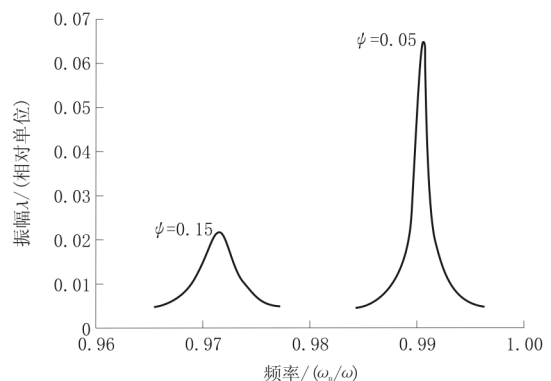


图 4 不同减振能力介质中振幅与频率的共振关系图

从图4可见,不同减振能力介质在不同频率范围内都可能出有共振情况,这是非常危险的,因为如果出现共振情况,会对钻头、钻具乃至整个钻进过程产生破坏性影响,对此应该力求避免。

### 3 减振材料试验研究

钻头胎体中使用减振能力强的复合材料是目前金刚石钻头减振的很有前景的一种方法。

为了进行试验,图拉科研所<sup>[7]</sup>选择了制造金刚石钻头刚体和胎体时使用的3种材料,即20号钢材CT-20、复合合金材料Д30-МП(共熔体Fe-Cu,添加剂Cu)和基于碳化钨的多种成分合金粉料BK<sub>6M</sub>(大颗粒WC、粘结金属90%Cu-10Ni、硬合金YG6和小颗粒WC)。

钻头结构材料的减振能力,是用Д-7设备在纯弯曲条件下对平面样品进行横向振动时测定的。测定结果表明,不同粒度情况下,BK<sub>6M</sub>材料的减振能力幅度大小与应力的关系曲线见图5;不同材料情况下,不同粒度材料减振能力幅度大小与应力的关系曲线见图6。

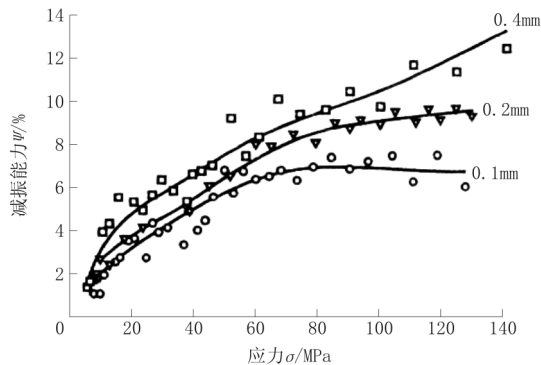


图5 不同粒度BK<sub>6M</sub>材料减振能力 $\psi$ 与应力 $\sigma$ 的关系曲线

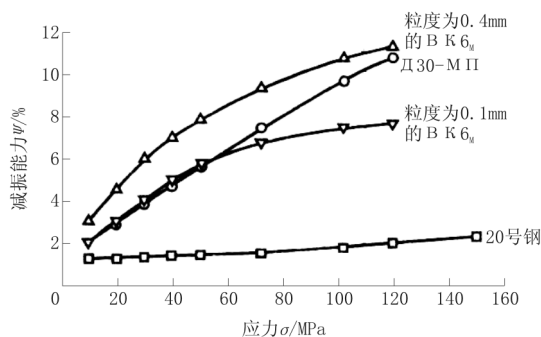


图6 不同材料减振能力 $\psi$ 与应力 $\sigma$ 的关系曲线

从图5可见,BK<sub>6M</sub>中,粒度为0.4mm时减振能力最好。从图6可见,BK<sub>6M</sub>材料减振能力较好,

粒度为0.4mm的BK<sub>6M</sub>减振能力更大,效果更好。

提高BK<sub>6M</sub>基金刚石钻头胎体材料的主要途径是,优化粘结金属材料的组成以及调节WC材料颗粒的形状和大小。

俄罗斯图拉地质勘探科学研究所为了进行试验,制造了5个直径46mm的金刚石钻头。钻头胎体由WC硬合金粉料、耐磨大颗粒莱立特(Рэлит)硬合金粉料、浸渍金属铜镍合金粉料和天然金刚石组成(见图7)。20号钢、Д30-МП、粒度为0.4mm的BK<sub>6M</sub>具有不同的声波刚度。20号钢和Д30-МП颗粒的线性尺寸比为1.15~1.25、颗粒的面积比为(40:1)~(48:1)。这批钻头在乌拉尔地区ГП-УС-30地质勘探队钻探时进行了生产试验,其结果是钻头平均寿命比传统生产的О2ИЗ3钻头提高了50%,而金刚石单位消耗量降低了80%~90%。这是俄罗斯的一项专利技术,专利号为2112131。

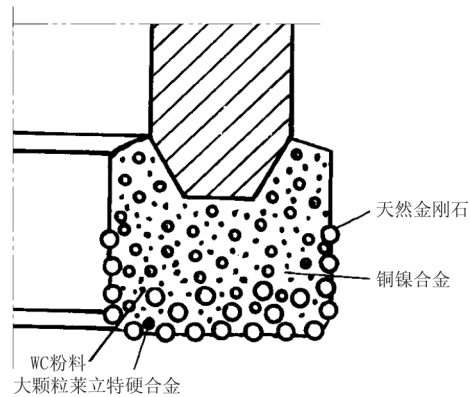


图7 试验钻头胎体的组成

取得这样的结果是因为在钻进过程中,在钻头上有破碎岩石时产生且数值变化并有一定能量的应力弹性波通过。冲击波能量的作用,导致钻头磨损加剧和金刚石剥落。冲击波通过胎体时,从有不同尺寸比和不同表面面积比的硬合金粉料和大颗粒莱立特(Рэлит)硬合金粉料颗粒的表面上,产生冲击波的反射和散射。同时,冲击波通过具有不同声波刚性的WC粉料、大颗粒莱立特硬合金和铜镍合金的颗粒时,即通过胎体WC粉料的冲击波的传播速度与通过大颗粒莱立特硬合金和铜镍合金颗粒的传播速度是不同的,破坏了弹性波传播波前的同时性,避免了出现共振的条件,并且减小了金刚石包镶表面上的应力。

#### 4 讨论和建议

(1) 钻进过程中, 钻头在轴载和扭矩作用下产生的振动是经常发生的, 是不可避免的, 是人们不能改变的。振动会对钻头和钻进过程产生负面影响。如果发生共振, 则会产生破坏性影响, 因此应该力求避免。

(2) 钻头胎体中使用减振材料是目前减小钻头振动的有效方法之一。俄罗斯研究结果表明, 线性尺寸 0.4 mm 的复合材料 BK6<sub>M</sub> 的减振效果较好, 并指出提高 BK6<sub>M</sub> 基金刚石钻头胎体材料的主要途径是优化粘结金属材料的组成以及调节 WC 颗粒的形状和大小。

(3) 俄罗斯图拉地质勘探研究所利用颗粒线性尺寸比为 1.15~1.25、颗粒面积比为 40:1~48:1 的两种骨架金属材料: WC 粉料和耐磨材料莱立特等制成的钻头进行的生产试验表明, 钻头寿命提高了 50%, 金刚石单位消耗量降低了 80%~90%, 说明这种钻头的减振效果是明显的。原因在于, 从上述胎体材料颗粒表面反射或散射回来的弹性波的波前不是同时到达的, 避免了共振的产生, 减小了振动的强度, 保护了金刚石、减少了金刚石的损伤, 所以钻头进尺增加了, 金刚石单位消耗量减小了。

(4) 为了达到钻头减振的目的, 利用不同大小颗粒、不同耐磨性材料的胎体材料制作的金刚石钻头, 使其从颗粒表面反射回来的弹性波的波前不能同时到达, 不会产生共振, 减小了振动的强度, 保护了金刚石破碎岩石的能力, 提高了钻进效果, 这个思路是可取的。但是试验用的材料种类偏少, 胎体材料的颗粒粒度比和面积比范围不够宽, 因此成果的应用有一定的局限性, 需要进一步进行研究和试验才能建议推广。

#### 参考文献:

- [1] 朱恒银, 王强, 杨展, 等. 深部地质勘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.
- [2] 朱恒银, 等. 深部岩心钻探技术与管理 [M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- [3] 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.
- [4] 汤凤林, 沈中华, 段隆臣, 等. 深部各向异性硬岩钻进用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.
- [5] 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 [J]. 探矿工程 (岩土钻掘工程), 2017, 44 (6): 88-92.
- [6] 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.
- [7] Власюк В. И., Будюков Ю.Е., Горшков Л. К и др. Новые технологии в создании и использовании алмазного породоразрушающего инструмента [M]. ЗАО «Геонформмарк». Москва, 2002.
- [8] Скоромных В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ [M]. Красноярск: СФУ, 2012.
- [9] Борисов К.И. Научный метод оценки эффективности динамических процессов разрушения горных пород при бурении скважин современными инструментами режущее - скалывающего действия [D]. Томский политехнический университет, 2012.
- [10] Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современными инструментами режущее - скалывающего действия [J]. Вестник ЦКР Роснедра, 2011. (4): 51-58.
- [11] 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.
- [12] Скоромных В.В. и др. Анализ процесса разрушения анизотропной породы шарошечными долотами [J]. Известия Томского политехнического университета, 2015, Т.326 (4): 80-89.
- [13] Кубасов В.В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах путем модернизации матриц алмазного породоразрушающего инструмента [D]. Московский государственный геологоразведочный университет, 2015.
- [14] Г. П. Богатырева и др. Оценка перспективности структурирования металломатричных алмазных буровых коронок наноалмазами [с]. Сборник научных трудов, Киев, 2011: 97-102.
- [15] Будюков Ю. Е., Спирин В. И., Кубасов В. В. Повышение прочностных свойств природных алмазов в аппарате вихревого слоя [с]. Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно - технической конференции. Тула: Изд. - ств «Инновационные технологии», 2015.: 93-98.
- [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 V III научно - технической конференции Тула: Изд. - ств «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. - ств «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. Исследование износа алмазных коронок [J]. Горный информационно - аналитический бюллетень (научно - аналитический журнал), 2015, 4: 6-11.