

各向异性岩石钻进用钻头和孔底装置的分析研究与探讨

汤凤林, 宁伏龙, 段隆臣, ЧИХОТКИН В.Ф.

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 钻探工程中会遇到各种岩石。按物理力学性质来说, 岩石可分为均质(各向同性)和非均质(各向异性)的。多数情况下, 在深孔钻进时, 受地质条件的影响, 岩石多是各向异性的。各向异性岩石的特点之一是, 不同受力方向上的强度不同, 因此钻孔容易弯曲, 直接影响钻探效率和质量。俄罗斯科研人员对各向异性岩石中钻进时使用的钻头(如设计出了扇形块可移动钻头、定位导向钻头、椭圆形导向钻头、球状胎体铰接式钻头、水口宽度不同的钻头等)和孔底装置(如KCM孔底装置)进行了大量研究, 取得了较好的效果, 减少了钻孔弯曲, 提高了钻进效率, 值得我们参考。

关键词: 各向异性岩石; 钻孔弯曲; 深孔钻进; 钻头; 孔底装置; 钻进效果

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)02-0054-10

Analytical research and discussion about drill bit and borehole bottom device used for drilling in anisotropic formations

TANG Fenglin, NING Fulong, DUAN Longchen, CHIKHOTKIN V.F.

(Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Different formations can be encountered in drilling engineering. According to the physical and mechanical properties they are classified as isotropic and anisotropic ones. And in most cases they are anisotropic due to the influence of complicated geological conditions. One of their features is different hardness in different directions of loading, leading to borehole deviation, hence compromising drilling rate and quality. Russian researchers have done a lot of research on drill bits and downhole devices used for drilling in the anisotropic formations and good results have been obtained which can provide reference for us in deep drilling.

Key words: anisotropic formation; borehole deviation; deep borehole drilling; drill bit; downhole device; drilling result

1 概述

岩石按其成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩3大类。但按物理力学性质来说, 岩石分为均质岩石和非均质岩石。均质岩石一般称为各向同性岩石, 非均质岩石称为各向异性岩石。钻探中, 特别是深部钻探中遇到的地层多为各向异性(非各向同

性)岩石^[1-9]。从岩石力学和岩石破碎原理得知, 钻进各向异性岩石时(可以以圆柱形平底压模进行模拟), 不同方向的强度是不同的。在垂直地层方向岩石最容易钻进破碎, 其他方向破碎阻力较大, 因此破碎核成椭圆形(见图1a)。轴载 P 用于克服岩石的内摩擦阻力和克服来自岩石的反力, 在岩石反

收稿日期: 2020-05-24; 修回日期: 2020-09-23 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.02.008

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“液动冲击回转作用下热压WC-Cu基孕镶金刚石钻头的磨损行为研究”(编号: 41972327)

作者简介: 汤凤林, 男, 汉族, 1933年生, 教授, 博士生导师, 俄罗斯工程院外籍院士, 俄罗斯自然科学院外籍院士, 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, fttang_wuhan@aliyun.com。

引用格式: 汤凤林, 宁伏龙, 段隆臣, 等. 各向异性岩石钻进用钻头和孔底装置的分析研究与探讨[J]. 钻探工程, 2021, 48(2): 54-63.

TANG Fenglin, NING Fulong, DUAN Longchen, et al. Analytical research and discussion about drill bit and borehole bottom device used for drilling in anisotropic formations[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2): 54-63.

力垂直分力 $P_{\parallel}$ 和 $P_{\perp}$ 的作用下,产生翻转扭矩 M_{on} (见图1b), $M_{on}=P_{\parallel}a-P_{\perp}c$,在这个翻转力矩的作用下,钻头将偏离中心线一个角度 Ψ (见图1c)。钻头偏斜(哪怕很小),钻孔就会弯曲,直接影响钻进

效率和钻孔质量,因此,要解决钻孔弯曲的问题^[7-11]。若想钻孔一点不弯曲是不可能的,我们只是要采取措施,使其弯曲在我们允许的范围之内,以便钻孔合乎要求,满足需要。

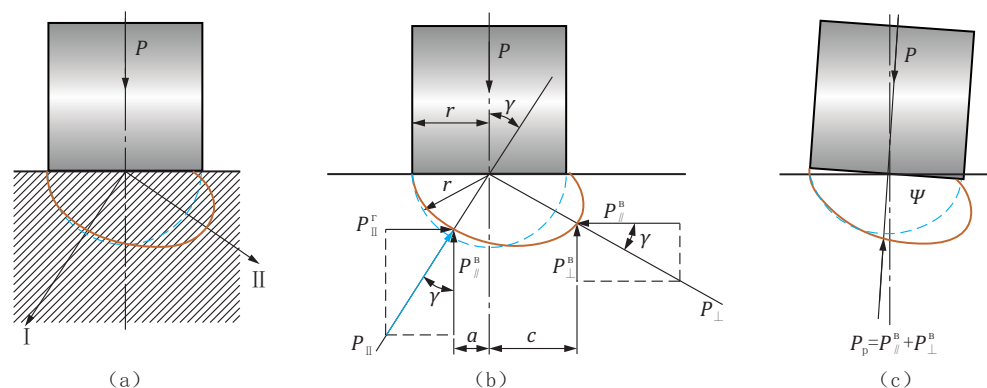


图1 各向异性岩石钻进时岩石破碎示意

Fig.1 Fragmentation of anisotropic rock by drilling

各向异性岩石是客观存在的,其物理力学性质是不能改变的。我们只能利用其性质采取针对性的措施,才能取得好的钻探技术经济效益。在这种岩石中进行钻进时,钻探设备、所用机具、施工人员、钻探工艺、操作技术、生产管理等都很重要。在选定钻探设备和合格施工队伍之后,所用机具(如钻头、孔底装置)非常重要,是关键技术。俄罗斯钻探工作者在各向异性岩石中钻进时,为了减小钻孔弯曲和提高钻探技术经济指标,采用了富有针对性的钻头和孔底装置,取得了较好的效果^[7-23]。

2 各向异性岩石钻进用钻头

俄罗斯钻探工作者在各向异性岩石中钻进时使用的钻头方面做了大量工作,除了已在本刊报道过的球状胎体铰接式钻头、水口宽度不同钻头^[7-23]外,还设计出了以下钻头。

2.1 扇形块可移动的钻头

这种钻头是俄罗斯一项发明专利技术,专利号为俄罗斯专利2167251号^[7]。这种钻头可以保证孔底所有点上强度不同的各向异性岩石,能够更为均匀地破碎,从而减少钻孔弯曲程度和提高钻探的技术经济指标。如图2所示,镶在钻头上的金刚石切削具扇形块1,可以沿着环状导向槽移动。扇形块之间用固定在钻头体上的弹性件2进行簧压,弹性件根据设计扇形块可能移动的距离和力度进行设计。每个

扇形块都有一个限位装置3。同时,每个扇形块都与钻头体通过环状导槽支撑表面相互作用。环状导槽与钻头端面倾斜的角度为 α ,而且耦合支撑表面的倾斜角度 α 是沿着钻头回转方向增大的。

与钻头体纵向中心线成的角度 α 计算:

$$\alpha = \arctan h/L$$

式中: h ——设定的扇形块在钻头体纵向中心线上移动的距离; L ——设定的扇形块在钻头回转方向相反方向上移动的距离。

这种钻头破碎各向异性岩石时,金刚石切削具承受来自岩石的不同阻力,这就决定了孔底破碎的不均匀性。

金刚石钻头在孔底钻进时,钻头切削具与各向异性岩石相互作用,与遇到的岩层形成了不同角度。如果切削具沿着岩层上倾移动(图2b、图3a),此时岩石强度最大。因为此时切削具轴载 P 和切削剪切力 F_p 的合力 R 将指向顺层方向(见图3a),而在这个方向上各向异性岩石的硬度和弹性最大,所以金刚石切入深度和破碎槽的深度 h_1 减小了,促使切削具前面剪切岩石面积减小,以降低破碎岩石的阻力。如果切削具沿着岩层下倾方向移动(图2c、图3b),则合力 R 指向与岩层垂直方向(见图3b),而在此方向上岩石的硬度和弹性最小。所以,在这种情况下,所以破碎槽的深度 h_2 增大了(见图3b)。

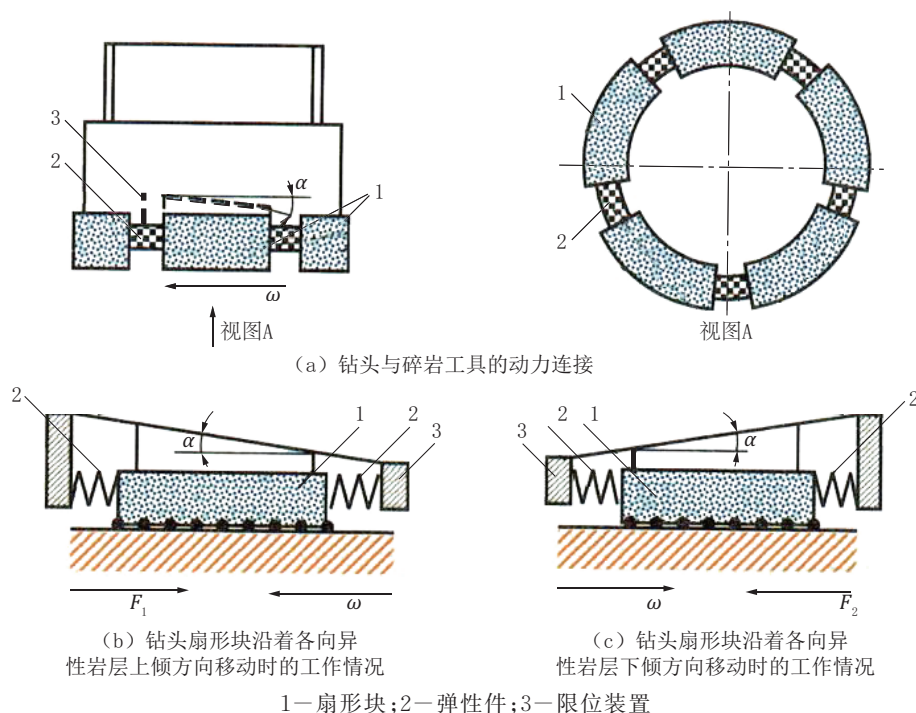


图2 钻头概貌

Fig.2 General appearance of the drill bit

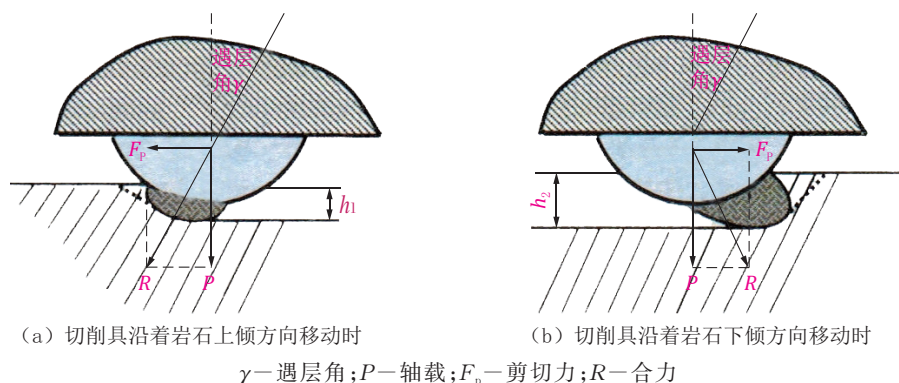


图3 各向异性岩石破碎过程示意

Fig.3 Fragmentation process of anisotropic rock

为了使孔底所有点上的破碎各向异性岩石深度相等,在钻头上使用了扇形块和钻头体导向槽连接的钻头底端支撑表面和导向槽侧面支撑表面,其夹角为 α 。同时,此夹角 α 沿着钻头回转方向上增大。如图2b所示,每个扇形块都沿着岩层上倾方向移动时,承受很大的岩石阻力,在给定合力作用下,在钻头回转反向的方向上移动的距离 L 为:

$$L = \frac{NF_R^1}{C}$$

式中: N ——扇形块端面上的切削具数量; F_R^1 ——切削具沿着岩层上倾方向移动时的岩石切削剪切阻

力; C ——弹性件2的刚度。

由于金刚石钻头 and 钻头体联接支撑表面都是倾斜平面,所以切削具切入岩石附加深度为 $\Delta h = L \cot \alpha$ 。切削具切入岩石 Δh ,轴载也增加了 ΔP , $\Delta P = NF_R^1 \cot \alpha$ 。所以,切削具沿着岩层上倾方向移动时,轴载为 $P_{OC} = P + NF_R^1 \cot \alpha$ 。

可见,由于岩石破碎阻力增加时轴载增加,孔底破碎深度之所以没有减少,是因为由于轴载增加岩石接触压力也增加了,保证了岩石产生更大的体积破碎所致。

扇形块从面对岩层上倾位置(图 2b)向岩层下倾方向(图 2c)移动时,来自岩石的阻力减小了,因此,扇形块在弹性件的张力作用下后退移动,金刚石切削具的附加出刃减小、岩石接触压力降低。所以,孔底破碎更加均匀,引起钻孔弯曲因素的影响降低了。

扇形块限位装置的位置,根据弹性件的刚度值大小来决定,限制扇形块在 L 给定数值范围内进行移动。每个扇形块后都有限位器存在,决定了每个扇形块都有自己的独立位移,实现了这种金刚石钻头和扇形块特有的工作方式。

扇形块移动的距离 L ,根据弹性件的刚度和弹性件可以伸缩到限位器的距离来确定。对于直径 59 和 76 mm 的钻头来说, L 的大小为 2~3 mm。金刚石切削具破碎深度 h 应该不大于金刚石颗粒直径的 0.08~0.1。小颗粒金刚石的 α 角,应该大于大颗粒金刚石的 α 角,根据岩石破碎的均匀程度确定。不同金刚石直径 d_a 、平均破碎深度 h_6 时, h 、 L 和 α 的计算值见表 1^[7]。

表 1 不同金刚石直径 d_a 、平均破碎深度 h_6 时, h 、 L 和 α 的计算值
Table 1 Calculated values of h , L and α at different diamond size d_a and average penetration depth h_6

不同 h 、 d_a 和 h_6 时的 α	金刚石直径 d_a /mm				
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
$h_6=0.08d_a$	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32
$h=10\%h_6$	0.004	0.008	0.016	0.024	0.032
$L=3\text{ mm}$ 时的 $\alpha/(^\circ)$	89.92	89.83	89.67	89.5	89.33
$L=2\text{ mm}$ 时的 $\alpha/(^\circ)$	89.92	89.75	89.5	89.33	89.08
$h=30\%h_6$	0.012	0.024	0.048	0.072	0.096
$L=3\text{ mm}$ 时的 $\alpha/(^\circ)$	89.75	89.5	89.08	88.5	88.33
$L=2\text{ mm}$ 时的 $\alpha/(^\circ)$	89.67	89.33	88.33	88.00	87.25

应该指出的是,不论 α 角大小如何,这种钻头都能够根据岩石切削剪切强度的不同而自动调节 h 和 L 。

可见,使用这种钻头可以保证孔底所有点上强度不同的各向异性岩石,能够更为均匀地被破碎,从而减少钻孔弯曲程度,并提高钻探的技术经济指标。

2.2 定位导向钻头

俄罗斯托木斯克工业大学设计出了定位导向钻头(这是俄罗斯发明专利,发明证书号为俄罗斯

专利 No.1620590^[7])。

如图 4 所示,该钻头包括有钻头体 1 和含有金刚石 3 的胎体 2。钻头体端面外部表面与横轴成 γ 角。胎体端面倾斜部分上有槽 4,外侧表面上镶有定位导向件 5 和 6。胎体内、外侧面上镶有侧刃金刚石 7 和 8。两个定位件之间的夹角为 β 。 β 角两边间的钻头胎体外部表面上未镶侧刃金刚石。

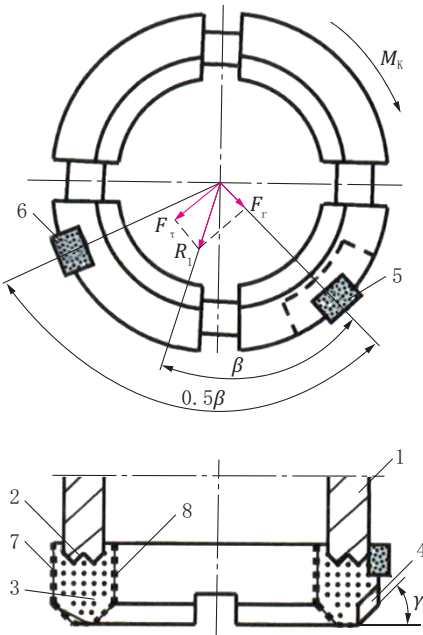


图 4 定位导向钻头

Fig.4 Based and directed drill bit

钻进时,钻头端面和岩石相互作用。在钻头端面倾斜表面上,在每颗金刚石与岩石的作用点上,都产生指向钻头中心的径向分力。在直径反向各个点上产生的横向分力合力,互相抵消。由于在胎体内有槽 4,所以在胎体直径反向部分的点上,形成非平衡的径向力,其合力 F_r 指向槽 4 的中心。而在槽 4 直径反向的点上,产生切向力的合力 F_t ,与回转速度向量方向相反。

径向力 F_r 和切向力 F_t 形成合力 R , R 位于定位件 5 和 6 的中间,可以保证其受力均匀。钻头被形状平滑的定位导向件压向井壁,不会破碎井壁,也不会使井筒偏离设计方向。

当因钻头非匀速回转而出现不稳定的力的时候,例如破碎各向异性岩石而产生的不稳定力的时候,所有径向力和横向力合力的数值和方向都是变化的,但是不会超越定位件 5 和 6 圈定的扇形块范

围,所以可以排除钻头胎体压向井壁,可以大大降低井眼偏离初始设计方向的强度。

俄罗斯 1657594 号专利钻头,是通过改变胎体内侧表面金刚石切削具与岩石接触数目 m_1 和胎体外侧表面金刚石切削具数目 m_2 来改变岩石切削剪切阻力,以便改变各向异性岩石中钻进时钻孔弯曲方向的。合力移动角度 β 以下式进行计算:

$$\beta = \arctan f \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

式中: f ——金刚石切削具与岩石的摩擦系数。

2.3 椭圆形导向(领眼)钻头

研发利用小的轴载(<6 kN)以降低钻孔弯曲的钻头,是绳索取心用钻头的改进方向之一。但是小的轴载,不应降低切削具下方的单位接触应力。这个问题可以通过减小钻头端面面积或者改进钻头胎体结构(金刚石布置方式、金刚石粒度、胎体成分等)来解决。为了降低各向异性岩石钻进时的钻孔弯曲强度,在绳索取心钻进时,可以利用钻具结构不变、钻头端面面积减小的椭圆形导向(领眼)环状钻头。图5是俄罗斯发明专利技术钻头,专利号为俄罗斯专利 No.1231201。

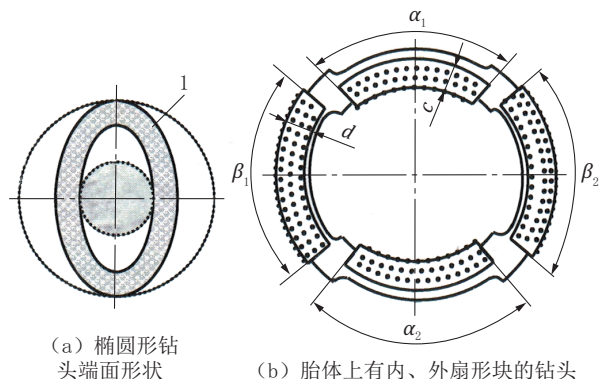


图5 椭圆形导向(领眼)钻头结构示意图

Fig.5 Structure of the ellipsoidal drill bit

椭圆形钻头外形长轴等于钻孔直径,椭圆内孔短轴等于岩心直径(见图5a)。因为领眼部分呈椭圆形状,所以可以设计出钻具和管材结构不变、端面面积任何小的钻头来,而得到的岩心是原先标准尺寸的岩心。

另一种钻头也是胎体上扇形块分为内扇形块和外扇形块的钻头(见图6),也具有与椭圆形钻头类似的性能。通过改变扇形块($c, d, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$)的

尺寸大小,可以设计出理论上任何小的端面面积、而不改变内、外径的钻头来(这是俄罗斯发明专利,专利号为俄罗斯专利 No.49085)。钻头体内、外环上的槽可以用来排除岩屑碎块、安置对井底产生水力动力学作用的装置,以及加快排除井底岩屑等。

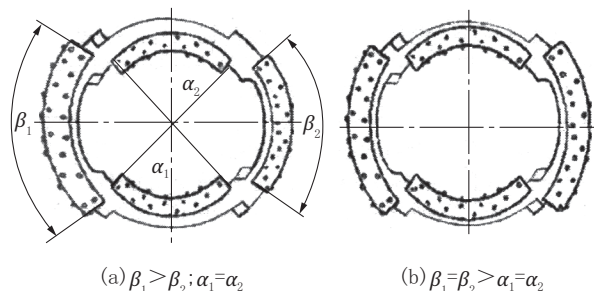


图6 胎体上有内、外扇形块钻头的形式

Fig.6 Drill bit with the inner and outer segments in the matrix

3 关于横断面质心移动孔底装置(KCM)的分析研究

根据实验资料得知,钻柱沿孔壁向钻柱回转方向反向滑动的内摆线进动,是静平衡杆柱在强力规程作用下的最稳定的运动方式。对钻进过程和钻进指标产生的所有负面影响,均与这种运动方式有关。但是,孔底钻进装置围绕钻孔中心线回转(Φ_1 运动形式)是可以保证各向异性岩石钻进时,孔筒弯曲率最低的运动方式^[7]。

使用横断面质心移动的装置(KCM)是解决复杂岩石地质条件下钻进问题的有效途径之一。岩石各向异性对孔底钻进装置的工作及其运动方式影响很大,该装置横断面质心产生的离心力大部分用于克服各向异性岩石钻进时产生的翻转力矩上。

横断面质心移动的装置(KCM)的作用是,这种装置能够产生动力学稳定作用或自动对中作用,可以调整离心力 F_u 并同时保证呈 Φ_1 运动形式,从而减轻钻孔弯曲程度并提高钻进效果。

3.1 KCM的安装位置

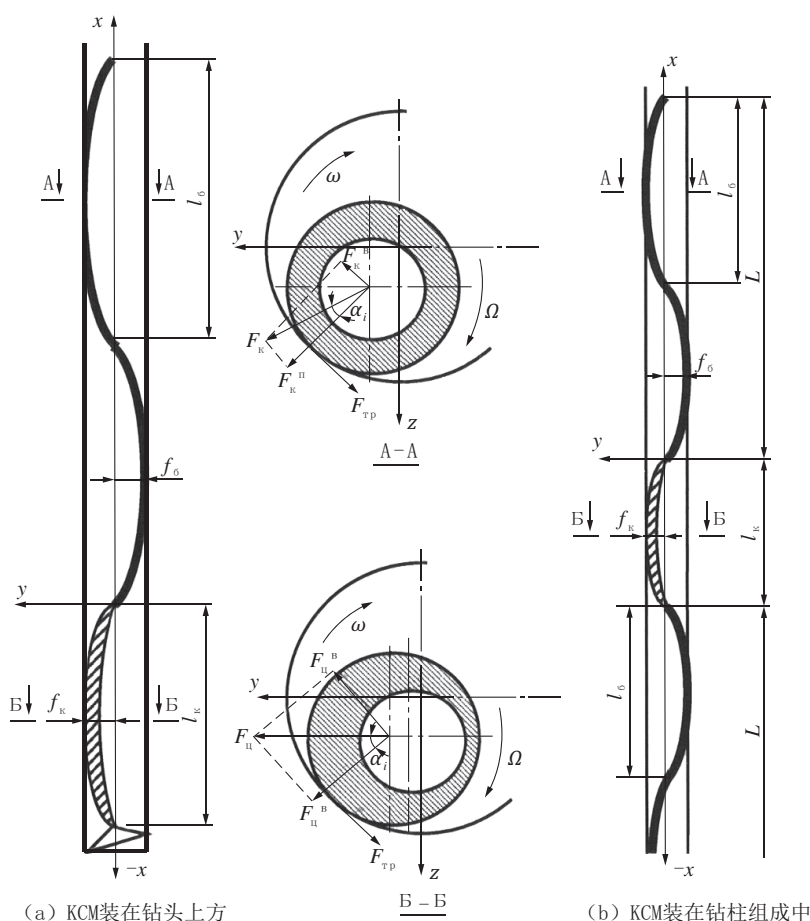
带有横断面质心移动的装置(KCM)的钻柱分为2种。

(1)带有横断面质心移动的装置(KCM)的钻柱,在岩心管上方置有后壁KCM,是安装在静平衡钻柱的底部(如索斯诺地质生产公司试验使用过的)或者用于不取心钻进用的孔底钻进装置。这种

装置方式见图7(a)。

(2)带有横断面质心移动的装置(KCM)的钻柱,安装在步长为 L 的钻柱压缩区的整个长度上,这

个长度可以保证钻柱整个压缩部位呈 Φ_1 回转状态,并随着变形程度的减小和弯曲半波长度的增加而从孔底到零断面而加长。这种装置方式见图7(b)。



(a) KCM装在钻头上方

(b) KCM装在钻柱组成中

ω —钻柱回转速度; Ω —KCM滑动方向; F_K —作用在钻柱半波长度上的离心力; $F_K^{\perp}$ —作用在钻柱半波长度上离心力的垂直分力; $F_K^{\parallel}$ —作用在钻柱半波长度上离心力的横向分力; F_{Ω} —作用在KCM上的离心力; $F_{\Omega}^{\perp}$ —作用在KCM上离心力的垂直分力; $F_{\Omega}^{\parallel}$ —作用在KCM上离心力的横向分力; F_{TP} —KCM与孔壁的摩擦力; l_0 —钻杆弯曲半波长度; L —钻柱压缩区步长; f_K —径向间隙; f_0 —孔内钻杆挠度; α_i —钻柱在离心力和摩擦力作用下的转动角度

图7 横断面质心移动装置(KCM)的安装示意

Fig.7 Installation drawing of the downhole device "KCM"

3.2 KCM的试验及效果

3.2.1 偏心距大小及其作用的试验研究

这种KCM装置实际上是一种偏心装置,偏心距是其一个重要参数。偏心距指的是在受力构件中轴向力作用点至截面形心的距离,直接影响KCM的性能和作用。在优化KCM的结构时,使用不同样机,对偏心距的大小及其作用进行了试验研究。

一个样机用直径57 mm和44 mm的岩心管制成。质量9.5 kg的重锤(铅)置于顺着KCM内管侧表面上,内管与外管用环箍对中。KCM长度4 m,

质量40 dN,偏心距为8 mm(KCM-8)。KCM试验时没有使用对中器,间隙 $f_K=1\sim 2$ mm。试验是在不取心钻进时进行的。试验孔段的岩石是各向异性、岩石可钻性8~9级经过泥板岩化、碳酸盐化和赤铁矿化处理的英安岩、粗面英安岩和玄武岩。按照弹性模量测定的各向异性系数为1.2~1.7。

对KCM-8装置钻进试验结果与长度为6 m的3K刚性三角形稳定器钻进结果进行了对比。结果表明,与3K稳定器钻进相比,钻孔弯曲强度降低了40%~50%,机械钻速提高了10%,钻头进尺提高

了30%。用标准功率表H-348记录的功率消耗量大为降低,钻具振动过程明显缓和。

偏心距为1.6 mm的另一个样机的试验,是在索斯纳地质生产联合公司的324地质勘探大队6749号钻孔进行的。岩石为可钻性9~10级玄武岩。在110 m孔段中,100 m的弯曲强度为0.95°。金刚石钻进下部岩石时,100 m的弯曲强度为2.9°。在钻进相邻剖面距离100 m的6747号钻孔时,在用KCM钻进的6749钻孔同一孔段,用金刚石取心钻进的100 m弯曲强度为4.7°。

试验结果表明,使用不同偏心距KCM装置钻

进时,钻孔弯曲强度下降了,技术经济指标提高了。

3.2.2 生产试验结果

生产试验是用装有3个KCM装置的钻柱进行的,3个KCM装置均安装在钻柱的下部,第一个KCM装在取心工具的上方,第二个KCM经过两根钻杆,即距离第一个KCM 6 m的部位,第三个KCM经过3根钻杆,即距离第一个KCM 9 m的部位。经与Boart Longyear公司HR标准钻具钻进比较,顶角弯曲强度大为改善,方位角弯曲有所缓解,机械钻速明显提高(见表2)^[7]。

表2 KCM装置钻进与其他公司钻具钻进对比结果

Table 2 Result comparison between drilling with KCM and drilling with drill devices of other companies

孔号	钻柱形式	试验工 作量/m	顶角弯曲强度/ [(°)·(100 m) ⁻¹]	方位角弯曲强度/ [(°)·(100 m) ⁻¹]	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	转速/ (r·min ⁻¹)	轴载/ dN
3.5-21G	带有3个KCM钻柱	350	0.62	1.05	5.5~6.0	407	1500~2000
3.22-G	带有3个KCM钻柱	400	0.71	1.22	5.5~6.0	407	1500~2000
4.5-22G	HR标准钻具(Boart Longyear)	300	2.11	1.70	4.5~5.5	407	1500~2000
4-22G	HR标准钻具(Boart Longyear)	307	2.61	1.24	4.5~5.0	407	1500~2000

3.3 KCM的偏心距 e

为了保证钻柱回转呈 Φ_1 运动形式,使偏心距最小,需要满足以下要求:

(1)钻柱回转速度快;

(2)钻柱变形程度最小,允许轴载最小时使用钻头、工艺和间隙最小的“钻柱—钻孔”系统,以得到好的钻进效果;

(3)钻进装置和孔壁的摩擦系数最小;

(4)钻进各向异性岩石时孔底对钻头端部的弯矩最小。

根据上述要求,高速金刚石绳索取心钻进时使用这种KCM装置最为合适。

孔底载荷给定时实现孔底钻进装置围绕钻孔中心线回转(Φ_1 运动形式)用KCM偏心距与钻头转速的关系,见表3和图8^[7]。

KCM转动角度 α_{KC} 不同时,钻柱呈 Φ_1 运动形式所含不同系列管材长度 L 与转速的关系见表4^[7]。

3.4 KCM磨损试验

KCM在孔内使用后,对其测量了磨损情况。为此,在接有KCM钻杆的不同位置,在外表面每隔45°的I、II、III、IV、V线上,每隔0.5 m进行了点焊(见

表3 KCM偏心距与钻头转速的关系

Table 3 KCM eccentricity vs rpm of the drill bit

转速/ (r·min ⁻¹)	KCM 偏心距/mm			
	BQ	NQ	HQ	PQ
400	1.61	1.67	1.51	1.72
600	1.46	1.43	1.30	1.51
800	1.30	1.11	1.12	1.31
1000	1.21	1.00	0.96	1.16

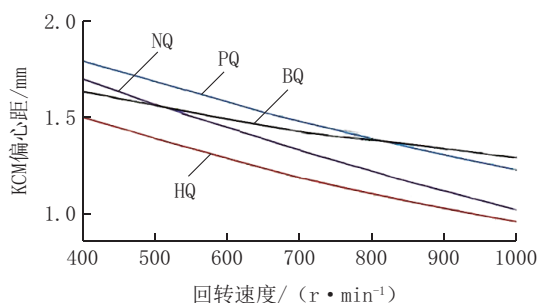


图8 KCM装置偏心距与转速的关系

Fig.8 KCM eccentricity vs rpm

图9~12)。按照测得的焊珠磨损最大值,来评价孔壁和钻杆接触的磨损量。测量精度为±5%,每次测量均进行3次,以保证测量误差降到0.07%。

表4 钻柱呈 Φ_1 运动形式所含不同系列管材长度 L 与钻柱转速的关系

Table 4 Length L of the drilling rods of various sizes vs rpm of the drilling string when the drilling string is moving in mode Φ_1

转动角度 $\alpha_{KC}/(^{\circ})$	钻柱转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	管材长度 L/m			
		BQ	NQ	HQ	PQ
70	1000	8.11	7.46	7.22	7.25
65	800	8.50	7.82	7.60	7.60
55	600	9.91	9.28	8.81	8.80
45	400	11.59	10.93	10.29	10.25

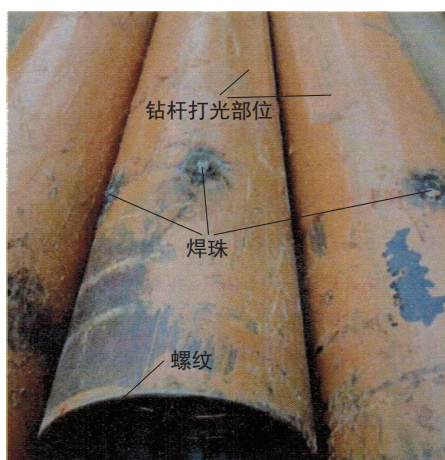


图9 接有KCM装置的钻杆磨损测量情况
Fig.9 Wear of the drill rod with the downhole device KCM

图10~12是装有KCM装置的3个钻杆外表面的磨损的展开图。其中外表面磨损量为0~0.7 mm的,是低磨损量;磨损量为0.7~1.4 mm的,是中等磨损量;1.4 mm及其以上的是高磨损量。

试验了3种装有KCM的钻杆外表面磨损情况。装有KCM1的钻杆置在岩心管的上方,距孔底3.3 m。装有KCM2的钻杆,经过每根长3 m的2根绳索取心标准钻杆,距孔底的距离为12.3 m。装有KCM3的钻杆置于KCM钻杆的上方,经过3根绳索取心钻杆,即置于岩心管的上方,距孔底24.3 m。所有KCM装置参数都相同:偏心距 $e=1.24$ mm,外径88.9 mm,内径77.8 mm,长度3.0 m。

图10~12表明,最大磨损量为1.4 mm以上,最小磨损量为0~0.7 mm,中间磨损量为0.7~1.4 mm,说明磨损是比较均匀的,说明这种KCM是围绕钻孔中心线回转的,回转的性质是稳定的。KCM

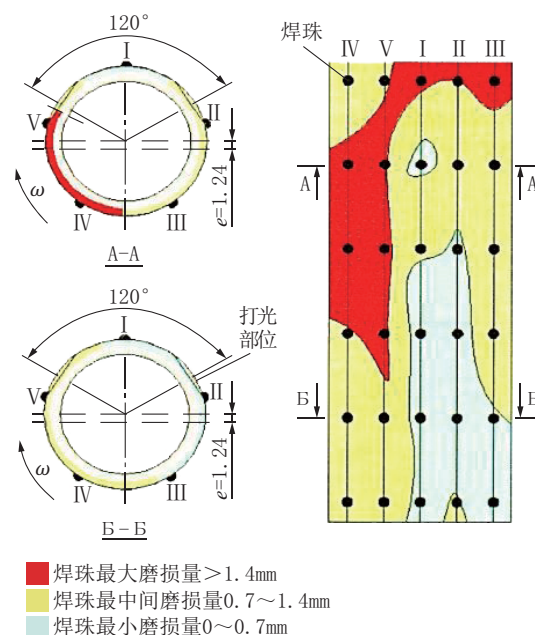


图10 KCM1装置磨损展开图
Fig.10 Developed view of wear on the downhole device KCM1

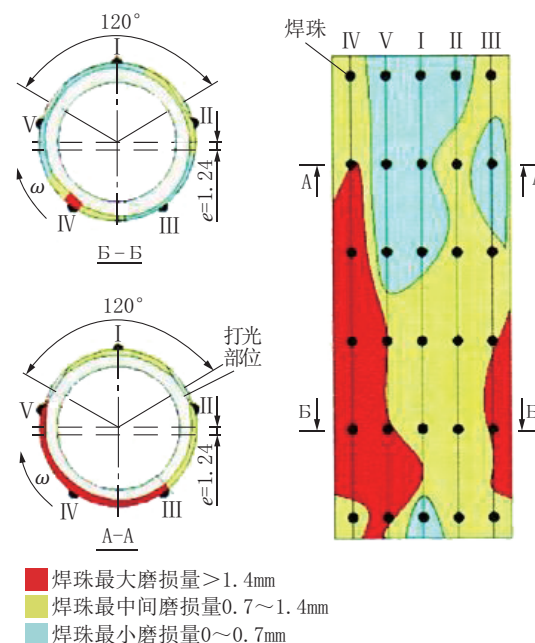


图11 KCM2装置磨损展开图
Fig.11 Developed view of wear on the downhole device KCM2

底部磨损较轻,是因为在KCM上方有对中器存在的的结果。KCM上部磨损较重,是因为在钻柱中没有对中器,以及最大磨损部位与半波峰部重合所致。IV线和V线焊珠区最大磨损带比较宽,是因为

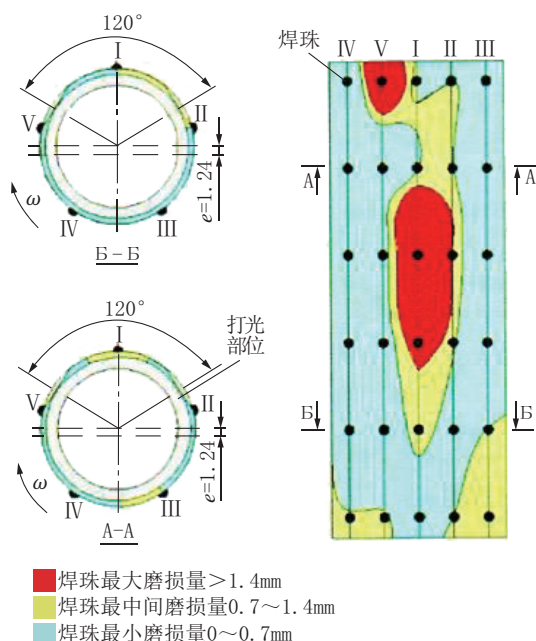


图12 KCM3装置磨损展开图

Fig.12 Developed view of wear on the downhole device KCM3

外力变化(钻柱回转速度以及KCM和钻杆对孔壁的压力)而使KCM断面发生一定转动引起的。

磨损测量结果可以说明,这种KCM能使钻具围绕钻孔中心线回转,具有稳定的 Φ_1 运动形式,而且可以把岩心管和钻杆吸引到这种 Φ_1 运动形式上来,从而减小钻孔弯曲强度,提高钻探的技术经济指标,对于各向异性岩石钻进来说,很有意义,非常重要。

4 讨论和建议

(1)多数情况下,特别是在深孔条件下,钻探遇到的岩石主要是各向异性的。各向异性岩石的特点之一是不同方向上的强度不同,在垂直层面的方向上硬度最小,在平行层面的方向上硬度最大。根据岩石破碎原理,岩石总是首先在阻力(强度)最小的方向上破碎的,所以容易造成钻孔弯曲,影响钻孔质量,钻探效率降低。可见,各向异性岩石中的钻进问题,是钻探工程中常常遇到的一个难题。

(2)影响各向异性岩石中钻探钻孔弯曲的因素很多,诸如施工条件、机组人员技术水平和经验、钻探设备、钻探工具、钻探工艺、操作技术、施工管理等。在施工人员 and 钻探设备选定之后,钻探工具(含钻头、孔底装置)、钻探工艺、操作水平和经验非

常重要。其中在硬件方面,钻头和孔底装置最为重要,是关键技术。

(3)俄罗斯科技人员在应对各向异性岩石中宜用的钻头方面,做了大量的研究工作,取得了不少成果,获得了多项专利。他们取得的成果与他们设计出来的钻头有直接关系。在钻头设计方面,他们有其独特的设计思想,经过实验室和生产试验,证明是有效的,是成功的。我们应该对其进行分析研究,取其精华,去其糟粕,设计出适合我国国情的钻头。

(4)俄罗斯科技人员提出钻具围绕钻孔中心线回转的概念,即 Φ_1 运动形式,对于减少钻孔弯曲,保证正常钻进具有一定意义。他们提出来的形面质心移动装置(KCM),实际上就是偏心管装置,实践证明对于减小钻孔弯曲,保持钻具围绕钻孔中心线回转是个有效措施。建议我们有关单位开展相关试验研究,进一步验证其可行性和有效性。

参考文献(References):

- [1] 汤凤林, A. B. Чихоткин, 段隆臣, 等. 关于利用系统论方法设计金刚石钻头的分析研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(1): 5-12.
TANG Fenglin, A. B. CHIKHOTKIN, DUAN Longchen, et al. Analytical research on design of diamond drill bits with the system theory approach[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(1): 5-12.
- [2] 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]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2014.
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Zhan, et al. Research and application of diamond bit for deep geological drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014.
- [3] 朱恒银, 王强, 杨凯华, 等. 深部岩心钻探技术与管理[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Kaihua, et al. Deep core drilling technology and management[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [4] 段隆臣, 潘秉锁, 方小红. 金刚石工具的设计与制造[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2012.
DUAN Longchen, PAN Bingsuo, FANG Xiaohong. Design and manufacture of diamond tools[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2012.
- [5] 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.
TANG Fenglin, SHEN Zhonghua, DUAN Longchen, et al. Experimental research on new type diamond bit for drilling in deep hard anisotropic rocks[J]. Exploration Engineering (Rock

- & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(4): 74-79.
- [6] 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.
TANG Fenglin, SHEN Zhonghua, DUAN Longchen, et al. Analytical research on cutting type multitier wing bit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(6): 88-92.
- [7] Нескоромных В. В. Искривление скважин в анизотропных горных породах[M]. Издательство Сибирский федеративный университет, г.Красноярск, 2017.
- [8] Нескоромных В. В. дри. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных породах[J]. Известия Томского политехнического университета, 2015, 326(4): 30-40.
- [9] Нескоромных В. В. дри. Анализ процесса разрушения анизотропной породы шарошечными долотами[J]. Известия Томского политехнического университета, 2015, 326(4): 80-89.
- [10] Нескоромных В.В., Попова М.С. Основа системного подхода к проектированию бурового инструмента[J]. Строительство нефтяных и газовых скважин на море и суше, 2018(8): 26-31.
- [11] Нескоромных В. В., М. С. Попова. Разработка алмазного инструмента с применением данных компьютерного моделирования и результатов системных исследований[J]. Инженер-нефтяник, 2018(3): 18-23.
- [12] Будюков Ю. Е., Кубасов В. В. Спирин В. И., Характер износа алмазной коронки[C]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно-технической конференции Тула: Изд-ство Инновационные технологии, 2015: 89-92.
- [13] Будюков Ю. Е., В. Спирин. И., Кубасов В. В. Повышение прочностных свойств природных алмазов в аппарате вихревого слоя[C]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов X V II научно-технической конференции. Тула: Изд-ств «Инновационные технологии», 2015: 93-98.
- [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. и др. Новые технологии повышения работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента [J]. Экономика X X I века. инновации, инвестиции, образование, 2013(5): 50-53.
- [16] Кубасов В. В. Исследование износа алмазных коронок [J]. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-аналитический журнал), 2015(4): 6-11.
- [17] Кубасов В. В., Будюков Ю. Е., В. Спирин. И. Выбор матричных композиций для алмазного породоразрушающего инструмента [C]// Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов V III научно-технической конференции Тула: Изд-ство Инновационные технологии, 2014: 11-16.
- [18] Кубасов В. В. Новые технологии повышения эффективности работы алмазного породоразрушающего инструмента [J]. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2014(10): 383-387.
- [19] Третьяк А. А. Теоретическое обоснование, разработка конструктивных параметров и технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами[D]. ЮРГТУ, Новочеркасск, 2017.
- [20] Третьяк А. А. Разработка современных конструкций коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами и технология их использования[D]. ЮРГТУ, Новочеркасск, 2012.
- [21] Третьяк А. А. дри. Буровые коронки армированные алмазно-твердосплавными пластинами [M]. Новочеркасск Издательство Политехник, 2015.
- [22] Третьяк А. А. дри. Конструкция буровых коронок армированных алмазно-твердосплавными пластинами с учетом схемы разрушения забоя скважины[J]. Строительство нефтяных и газовых скважин на море и суше, 2015(6): 9-12.
- [23] Третьяк А. А. Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами [M]. Издательство Политехник, Новочеркасск, 2016.

(编辑 韩丽丽)