

深部钻进用新型复合片钻头的试验研究

汤凤林^{1,2}, 赵荣欣¹, 周欣³, 段隆臣^{2, 4}, Борисов К.А.⁴

(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海 200032; 2.中国地质大学(武汉)工程学院,湖北 武汉 430074;
3.湖北省地震局,湖北 武汉 430064; 4.俄罗斯南方国立技术大学,俄罗斯 诺沃切尔卡斯克 346411)

摘要:在地质钻探和石油天然气钻井中,尤其是在深部钻进中复合片钻头得到了广泛的应用,取得了很好的技术经济效果。但是,常常发生复合片非正常磨损甚至损坏的情况,影响了其推广使用。俄罗斯钻探工作者在对其进行深入研究的基础上,提出了使用新一代楔形复合片和圆锥弧形复合片组合,设计出新型结构减振复合片钻头,取得了一定的进展,技术经济效果良好。

关键词:地质钻探;油气钻井;复合片钻头;非正常磨损;新型复合片;楔形复合片;圆锥弧形复合片
中图分类号:P634.4⁺1;TE921⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)01-0039-10

Experimental research on a new generation PDC bit used for deep drilling

TANG Fenglin^{1,2}, ZHAO Rongxin¹, ZHOU Xin³, DUAN Longchen², BORISOV K.A.⁴

(1.Shanghai Institute of Building Sciences Limited Company, Shanghai 200032, China;

2.Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

3.Hubei Earthquake Agency, Wuhan Hubei 430064, China;

4.South-Russian State Technical University, Novocherkassk 346411, Russia)

Abstract: In geological drilling and oil and gas drilling, PDC bits have been used widely with good technical and economic results. However, PDC bits are often abnormally worn, and even broken, which influences their further popularization and application. Russian drillers studied this problem, and suggested that new generation PDC cutting elements be used to design a new structure bit. Some progress has been made with considerable technical and economic results. Therefore it has definite reference value for Chinese drillers.

Key words: geological drilling; oil and gas drilling; PDC bit; abnormal wear; new generation PDC; wedge-form PDC; conic PDC

0 引言

无论是在地质钻探中,还是在石油天然气钻井中,都是希望尽快达到设计深度,以满足地质和勘探方面的需要。岩心钻探工程则更是要取上岩心,以确定矿产的类型和储量。可见,无论是在地质钻探中,还是在石油天然气钻井中,都要向地下钻进,都要破碎地下的岩石。破碎地下岩石,都要有碎岩

工具——钻头。钻头有多种,复合片钻头是近年来发展起来的一种新型钻头,在地质钻探和油气井钻进中,尤其是深部钻进中得到了广泛的应用^[1-9]。

钻进过程是钻头破碎岩石的过程,也是岩石磨损钻头的过程,钻头磨损是不可避免的。在复合片钻头钻进中遇到的一个问题就是常由于复合片的非正常磨损导致复合片乃至钻头报废,给钻井工程

收稿日期:2021-09-01; 修回日期:2022-06-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.01.007

基金项目:国家自然科学基金面上项目“不同结构高压电脉冲钻头的破岩过程与预测模型研究”(编号:42272366)

第一作者: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,ftang_wuhan@aliyun.com。

引用格式:汤凤林,赵荣欣,周欣,等.深部钻进用新型复合片钻头的试验研究[J].钻探工程,2023,50(1):39-48.

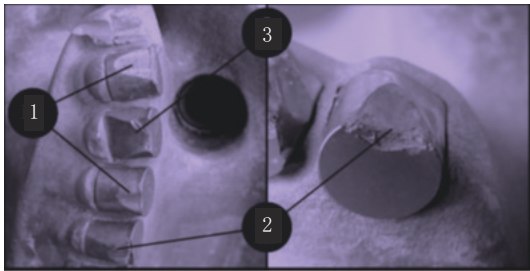
TANG Fenglin, ZHAO Rongxin, ZHOU Xin, et al. Experimental research on a new generation PDC bit used for deep drilling[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 39-48.

带来很大损失,技术经济指标受到严重影响。因此,应对其非正常磨损问题进行研究与讨论,以期得到很好地解决,把复合片钻头的使用更好地推广下去^[7-25]。

1 钻头非正常磨损的类型

常见的钻头磨损情况见图1。复合片磨损类型见图2。为弄清楚复合片磨损的情况,用试验台对其进行了试验,图3为PDC非正常磨损试验台^[9]。

PDC 切削具非正常磨损试验研究结果见



1—复合片正常磨损;2—复合片在外载作用下,沿着前面产生的非正常磨损;3—复合片在外载作用下,沿着后面产生的非正常磨损

图1 钻头的正常磨损和非正常磨损

Fig.1 Normal and abnormal wear of PDC bits

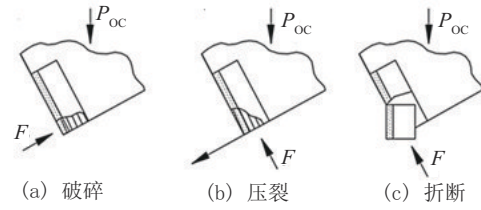


图2 PDC非正常磨损的类型

Fig.2 Types of abnormal wear of PDC cutting elements

表1^[9]。表2给出了试验得到的PDC切削具非正常磨损及其分布的资料^[9]。

理论研究和实践表明,PDC钻头振动是PDC非正常磨损的主要原因。振动引起的非正常磨损50%以上是由于切削具断裂或折断引起的,因此,需要解决非正常磨损最小化的问题。解决这个问题有利于提高钻头进尺和回次钻速,也有利于机械钻速的提高。

钻头产生振动的原因很多,主要有地质原因、技术原因和工艺原因。地质原因如钻进软硬互层岩石,破碎裂隙岩石、层状、片状岩石等;技术原因如使用弯曲钻杆、岩心管,接头螺纹不规范,钻杆井壁间隙大,未用钻铤,使用的钻头与所钻岩石性质不匹配,钻头端面单面磨损,未用校准扩孔器等;工艺原

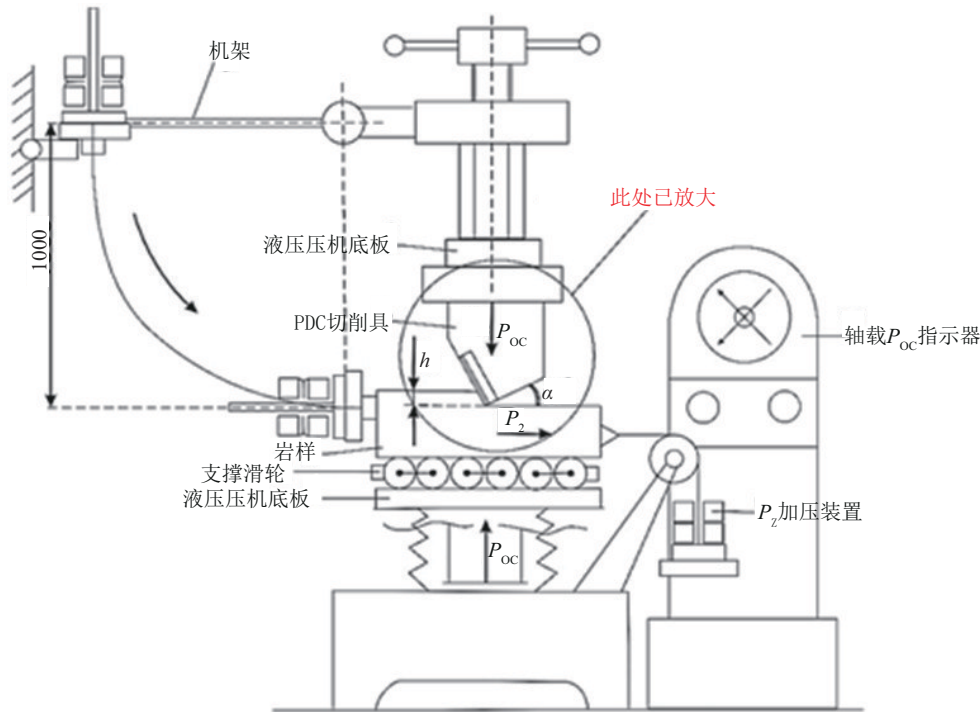


图3 PDC非正常磨损试验台示意

Fig.3 Scheme of the test table for testing anormal wear of PDC

表 1 PDC 切削具非正常磨损研究结果

Table 1 Research results of abnormal wear of PDC cutting elements

岩石切入深度 h/mm	轴载 P_{oc}/N	切削力 P_z/N	切削速度 $V_{pec}/(\text{m}\cdot\text{h}^{-1})$	横波脉冲速度 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	机架重锤质量 G/kg	非弹性冲击能量 ω_{ck}/J	PDC 断裂面的面积 S_{ck}/mm^2	PDC 断裂面的压应力 ζ_{ck}/MPa
1	2040	1.35	245	2.5	25	20	102	125
1.2	2450	1.35	245	3	30	25.5	96	117
1.5	3060	1.35	245	3.76	37.6	31	99	121.3
2	4080	1.35	245	5	50	36.5	111.8	137

注:坚硬石灰岩强度 $P_k=960\text{ MPa}$

表 2 PDC 切削具非正常磨损及其分布的资料

Table 2 Data of anormal wear and its distribution of the PDC cutting element

序号	类型	次数	占比/%
1	从 PDC 前面断裂	18	47.4
2	从 PDC 后面断裂	11	29.0
3	PDC 复合片脱落	2	5.2
4	PDC 破碎	7	18.4
非正常磨损合计		38	100

因如所用规程参数不当,没有使用减振润滑剂等。

下面就复合片损坏与钻探工程最直接有关的钻进规程参数和钻头的关系进行讨论。

2 PDC 损坏与钻进规程参数的关系

钻头可能经受各种类型的振动:轴向振动、径向(横向)振动和扭拧振动(弹簧效应),如图 4 所示。其中径向振动和扭拧振动最为常见。

轴向振动与钻头的轴载和转速有关,也与钻具下部结构的刚度有关。在井底切入岩石时,扭拧振

动会降低钻具下部结构转动速度,直到停止转动为止。而转动能量则通过钻机或井底动力机和钻柱连续传给钻头上,直到超过岩石强度极限为止。此时,钻具连同钻头以超过规定转速的加速度开始拧进。PDC 切削具冲击载荷的增大,根据切削具切入岩石的不同,可能会导致 PDC 断裂、折断、脱落。

扭拧振动与 PDC 切入岩石深度大小有关。切入深度大时,反扭矩增加,产生拧转振动的风险增大。采用小直径 PDC 时,切入深度小,有利于反扭矩的减小。可通过减小碎岩切削具回转速度和增加 PDC 切削具轴载来减小这种扭拧振动的作用。

径向振动是钻头围绕不是其几何中心的钻头轴线回转时产生的振动。钻头回转快速增加或减小时,都会增加钻头的冲击载荷。可以通过增加钻头载荷、减小转速和增加钻具下部结构刚度的办法来减小钻头的径向振动。

PDC 复合片非正常磨损是 2 个主要工艺参数(轴载 P 和转速 N)选择不合理,导致部分钻头报废的原因。如果钻具下部结构刚度和冲洗液量选用合理,对这 2 个参数进行优化,则可以实现 PDC 非正常磨损的最优化。

PDC 非正常磨损的试验研究采用 $\text{O}215.9\text{ mm}$ 、8 个翼片、镶有 56 个 PDC 复合片的钻头,在 6~8 级可钻性岩石中钻进时得到的野外资料进行分析。复合片 PDC 的非正常磨损报废的百分率 P_{poi} 表示为:

$$P_{\text{poi}} = (n_{\text{an}}/n_{\text{om}}) \cdot 100\%$$

式中: n_{an} ——试验时非正常磨损报废的 PDC 复合片数目; n_{om} ——钻头复合片总数。

机械钻速是选择工艺参数的重要依据,故研究中考虑了机械钻速 V 。取得的样本资料见表 3^[9]。

对所得的资料进行了处理,是用神经网络方法进行的。这是因为神经网络方法具有下列特点:非

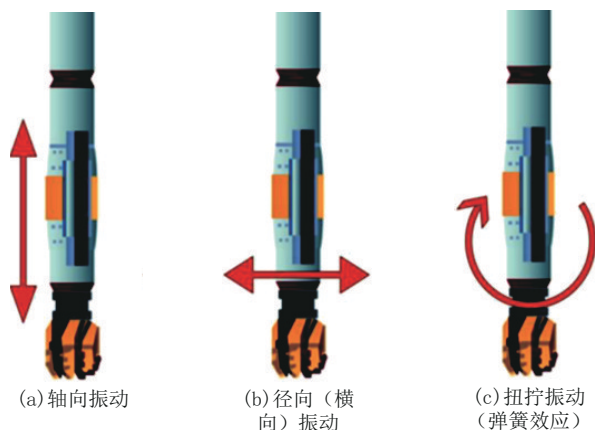


图 4 钻进时 PDC 钻头的主要振动类型

Fig.4 Main vibration types of PDC drill bits in drilling

表3 研究复合片钻头非正常磨损(报废) P_{rpol} 的资料

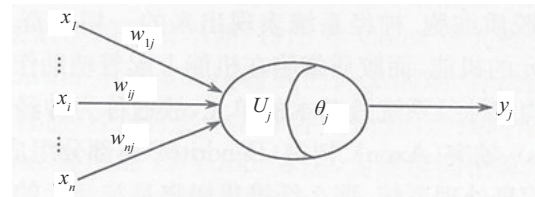
Table 3 Data for studying abnormal wear (scrap) P_{rpol}

钻速级别	P/kN	$N/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	$V/(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$	P_{rpol}
低钻速	70	200	2.0	0.5
	70	210	2.2	0.5
	80	230	3.2	0.6
	80	240	3.5	0.6
	80	250	4.0	0.6
	90	260	4.2	0.7
	90	270	4.9	0.7
	90	280	5.0	0.7
	100	290	5.6	0.7
	100	300	5.9	0.7
中等钻速	100	310	6.0	0.8
	130	240	7.4	1.6
	130	250	7.6	1.7
	135	260	7.8	1.7
	135	270	7.9	1.8
	135	280	7.9	1.9
	140	290	8.0	1.9
	140	300	8.0	2.0
	140	310	8.1	2.1
	145	200	8.1	2.2
高钻速	145	210	8.2	2.6
	145	220	8.3	3.4
	150	230	8.4	4.3
	150	240	8.4	4.5
	150	250	8.4	4.7
	185	210	9.2	9.3
	185	220	9.2	9.4
	190	230	9.3	9.6
	190	240	9.3	9.7
	190	250	9.4	9.7
195	260	9.6	10.5	
195	270	9.7	10.6	
195	280	9.8	10.8	
200	290	10.0	14.3	
200	300	10.3	15.0	
200	310	10.5	15.1	

线性,神经元处于激发或抑制状态,以及非线性功能函数随确定的输入、输出关系也是非线性的;非局限性,一个整体的行为不仅取决于单个神经元的特征,也取决于单元之间的相互作用和连接结构;非恒定

性,神经网络具有自组织、自适应、自学习能力,经常用迭代过程来描述动力系统的演化过程;非凸性,网络系统的目标函数是多极值的,系统中具有多个平衡态,可以导致演化的多样性;容错性,局部的或部分的神经元损坏,不影响全局的网络活动。

人工神经网络是模拟人脑神经并由人工神经元构成的,神经元是神经网络的基本处理单元,是一个具有多输入、单输出、一定的内部状态和阈值的非线性处理单元。人工神经元示意图见图5^[9]。



x_1, x_i, x_n ——神经元 j 的输入信号; w_{ij} ——其他神经元与该神经元的连接权系数; U_j ——其内部状态; θ_j ——阈值; y_j ——输出

图5 人工神经元示意

Fig.5 Scheme of artificial neural network

为了建立模型,使用了MATLAB系统Neural Networks软件包中的前向(feed forward)神经网络,带有2个入口和2个出口。经过一系列查询,找到了带有2个隐蔽层、10个和5个神经元的网络,见图6,模型的形式为 $\{P, N\} \rightarrow \{NN: 10 \cdot 5\} \rightarrow \{V, P_{\text{rpol}}\}$ 。

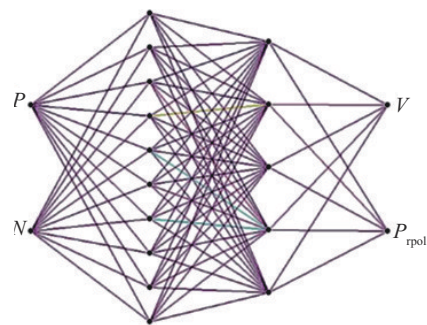
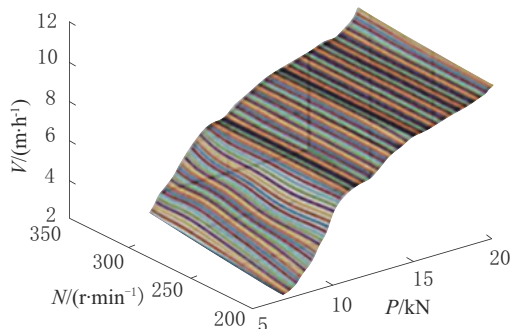


图6 基于轴载 P 和转速 N 确定机械钻速 V 和 P_{rpol} 的神经网络示意

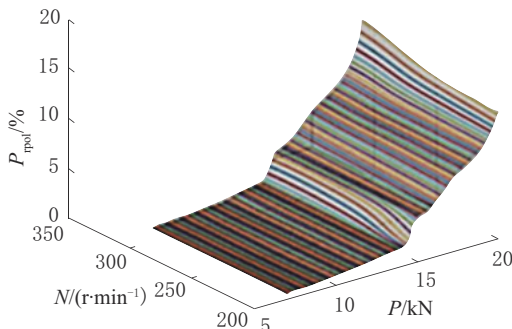
Fig.6 Scheme of neural network for determination of drilling rate V and P_{rpol} , based on bit weight P and rotary speed N

在整个轴载7~20 kN和转速200~310 r/min范围内,神经网络计算的 V 和 P_{rpol} 的响应见图7。

从图7可见,在轴载小的部分, V 和 P_{rpol} 的响应



(a) 机械钻速 V 神经网络



(b) 非正常磨损报废率 P_{rpol} 神经网络

图 7 神经网络计算的 V 和 P_{rpol} 的响应图

Fig.7 Response of V and P_{rpol} calculated by neural network

二者的离散程度比较大,在轴载大的部分好一些,在中等轴载部分离散程度不大。但是,从总体上,如果冲洗液的性能和数量合理的话,则机械钻速和 P_{rpol} 皆随轴载和转速的增加而增加的趋势是一致的,因此,在讨论 P_{rpol} 时应该把机械钻速考虑进来。

故把模型 $\{P, N\} \rightarrow \{NN: 10 \cdot 5\} \rightarrow \{V, P_{\text{rpol}}\}$ 改为 $\{P, N, V\} \rightarrow \{NN: 10 \cdot 5\} \rightarrow \{P_{\text{rpol}}\}$, 见图 8。

这种集合神经网络中的第一部分的出口是机械

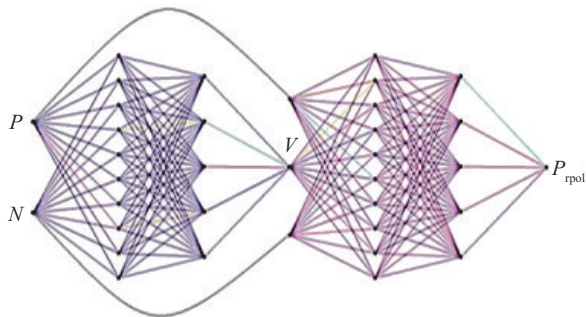
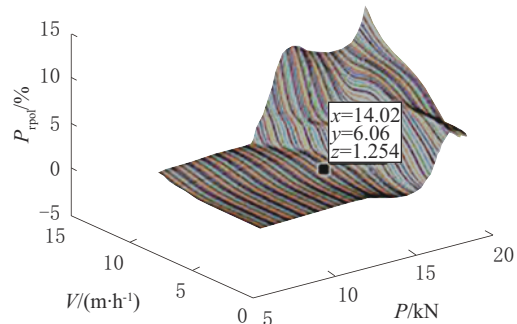


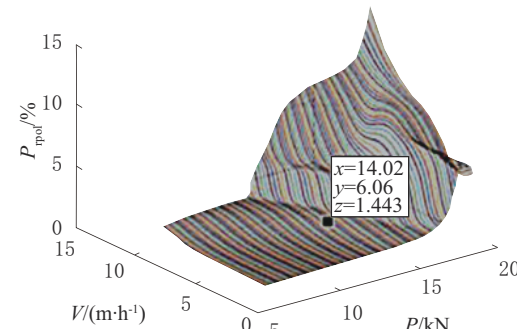
图 8 P, N 与 V, P_{rpol} 的集合神经网络图

Fig.8 Neural network diagram of assembly of P, N and V, P_{rpol}

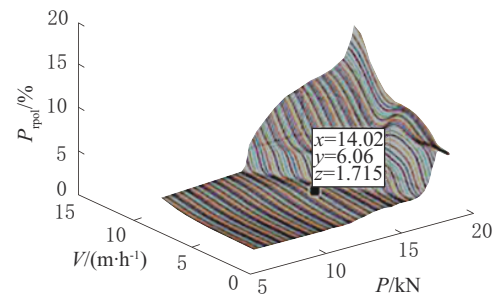
钻速 V , 第二部分是利用得到的机械钻速 V 加上轴载 P 和转速 N 来计算 P_{rpol} 。得到的转速 $N=200, 250$ 和 300 r/min 时的 P_{rpol} 响应曲面, 见图 9。



(a) $N=200\text{r/min}$



(b) $N=250\text{r/min}$



(c) $N=310\text{r/min}$

图 9 网络第二部分的 P_{rpol} 响应图

Fig.9 Response of P_{rpol} in the second part of neural network

从图 9 可以看到 P_{rpol} 与钻进规程参数和机械钻速 V 的关系, 即多大的轴载、多大的转速和多大的机械钻速时, PDC 报废百分率是多少及其变化情况。例如, 当 $N=310 \text{ r/min}$ 时, 在 $x=14.02, y=6.08$ 和 $z=1.715$ 点上的 PDC 报废率最高, 近 20% 左右。

利用图 9, 可以得到复合片任意点在何种工艺参数和机械钻速条件下的非正常磨损报废情况。

3 新型减振复合片钻头的设计与试验

3.1 新钻头的设计

新钻头设计框图见图10。

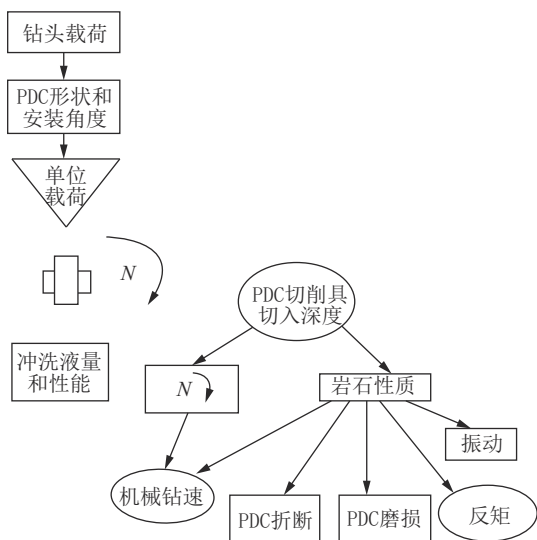


图10 复合片钻头设计框图

Fig.10 Block-diagram of designing the PDC drill bit

3.2 复合片的选择

选用了楔形复合片(图11)和圆锥弧形复合片(图12)。

SF Diamond Co.,Ltd公司生产的楔形复合片几何参数见表4。

三楔形复合片的常用结构尺寸为 $D=16\text{ mm}$;

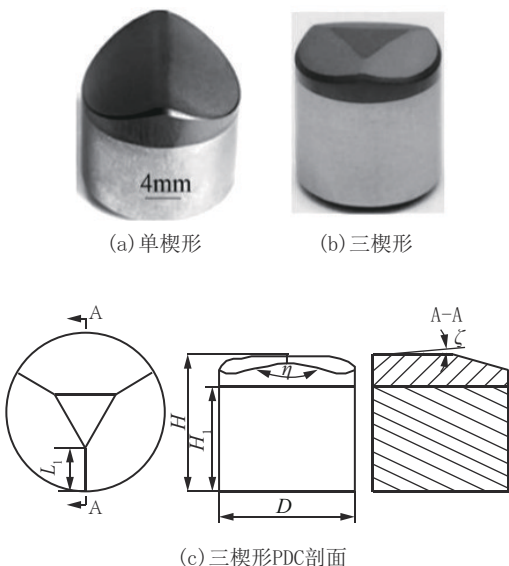


图11 楔形复合片

Fig.11 Wedge-form PDC cutting element

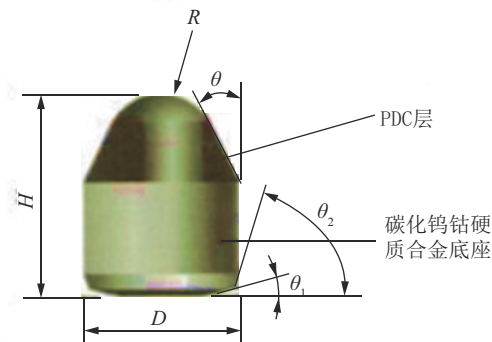


图12 圆锥弧形复合片

Fig.12 Conic PDC cutting element

表4 楔形复合片几何参数

Table 4 Geometrical parameters of the wedge-form PDC cutting element

直径 D/mm	高度 H/mm
8.00~8.23	3.53
9.00	8.00
13.44	8.00
13.44	13.20
15.88	8.00
15.88	13.20
15.88	16.00
19.05	13.20
19.05	16.00
19.05	19.00

$H=13.6\text{ mm}$; $H_1=10.6\text{ mm}$; $L_1=3\text{ mm}$; $\eta=157^\circ$; $\xi=8^\circ$ 。

圆锥弧形复合片几何参数见表5。

表5 圆锥弧形复合片几何参数

Table 5 Geometrical parameters of conic PDC

直径 D/mm	总高度 H/mm	半径 R/mm	倾角 $\theta/(\circ)$
8.0	9.2	4.5	
9.5	10.0	4.9	
10.0	10.5	3.8	33.25
11.2	13.8	5.5	21.00
11.5	10.0	8.9	
12.0	9.5	8.6	
12.5	12.0	16.6	
13.4	14.0	6.7	
14.0	17.4	5.5	23.50
14.5	20.6	5.0	23.25

楔形复合片把圆柱形复合片的破碎作用和牙轮钻头轮齿碎岩作用结合了起来,可以提高破碎岩石的效果。而且,这种复合片的金刚石层比较厚,提高了耐磨性,可以提高回次进尺和钻头进尺。圆锥弧形复合片因其圆锥形可以给岩石施以较高的载荷,改善抗冲击载荷的阻力,犹如“耕耘”模式,降低了摩擦力对复合片的热力作用,提高了散热性,从而提高钻头的耐磨性。

3.3 新型钻头设计

设计的钻头模型见图 13,设计的钻头结构见图 14。

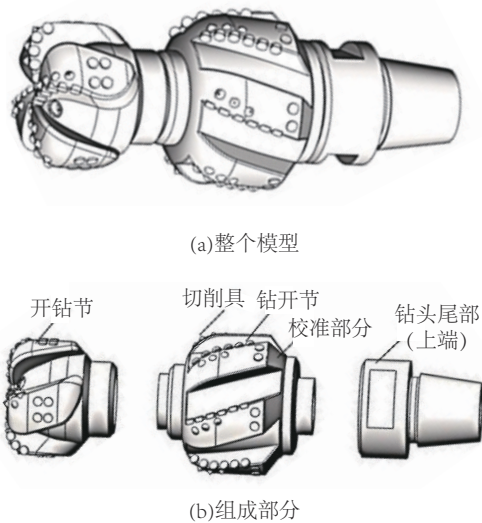


图 13 新设计复合片钻头的模型

Fig.13 Model of a new generation PDC drill bit

新研发的钻头由 2 节组成,如图 14 所示。下部开钻节 1,包括有稳定器 7 和切削翼片 3。上部开钻节 2,包括有尾部(上端)10、钻头内部通道 12 和稳定器 8。上部开钻节 2 中的切削翼片 5、下部开钻节 1 中的切削翼片 3,相对于径向排列的下部开钻节 1 中的切削具 4 和上部开钻节 2 中的切削具 6 是对称的。下部开钻节 1 的稳定器 7 和上部开钻节 2 的稳定器 8 的表面是校准圆柱形的,在上部开钻节 2 的稳定器 8 上置有高强度切削柱,起校准作用。水眼位于下部开钻节(见图 15)中。

下部开钻节 1 翼片 7 中的切削具 4 的数量,与上部开钻节 2 中翼片 5 中的切削具 6 的数量相等。切削具 4 和切削具 6 可以使用楔形复合片或与其类似的复合片,负斜镶角度为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

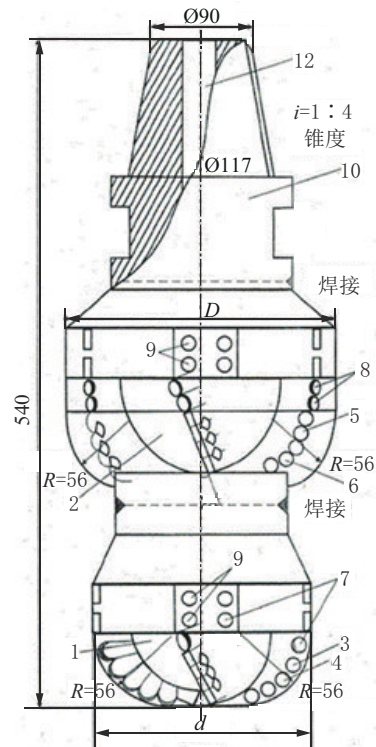


图 14 新设计复合片钻头结构

Fig.14 Structure of a new generation PDC drill bit

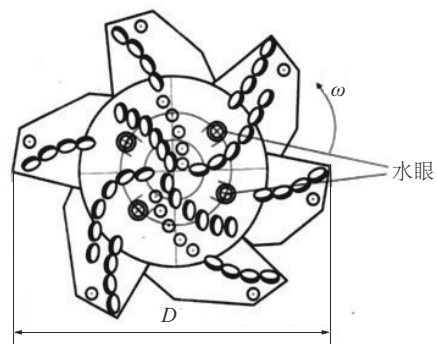


图 15 新设计复合片钻头端面复合片布置

Fig.15 Distribution of PDC cutting elements on the face-end of a new generation PDC drill bit

钻头回转时,下部开钻节 1 的翼片 3 向井底开始钻进,把井眼扩到边缘切削具 4 决定的直径 d ;而切削具 6 的切削翼片 5,在钻进时把井眼扩到边缘切削具 6 决定的直径 D 。下部开钻节 1 的稳定器 7 和上部开钻节 2 的稳定器 8,利用底部的钻开方式和上部的钻开方式来增加与井壁的接触面积。这样,可以防止产生复合片非正常磨损主要原因之一的扭转振动。

研究和实践证明,采用楔形复合片,在钻进过程中,楔形齿与地层接触面积小,受力集中,齿下岩石在较大接触应力的作用下,产生破裂裂纹,因此,比较容易“吃”入岩石。随着钻头的回转,楔形齿在岩石中“犁”出一条破碎穴槽,紧随其后的圆锥弧形切削齿,则以剪切方式,大大减弱了破碎井底岩石的切削阻力,达到快速钻进的目的。而且,可以起到缓冲器的作用,大大提高钻头的抗冲击强度。对钻头的横向振动,还可起到一定的抑制作用。

利用这种钻头在钻进中等研磨性、中硬和硬地层时,以及在带有夹层的泥岩、砂岩和高泥岩地层中钻进时,均可取得好的机械钻速和钻头进尺。

圆锥弧形复合片破碎岩石的表面呈弧形,受力

条件好,能够承受较大的钻压和动载荷,在负前角镶焊情况下,容易切入岩石,对于破碎硬岩比较有利。由于复合片表面呈圆弧形,有利于岩粉向四周分流,及时排离切削面,减少复合片的磨损。这种复合片更适用于较硬岩石,承受比较复杂的受力条件,应用范围较广。

把楔形复合片和圆锥弧形复合片结合起来,使其发挥各自的优点,因此钻头具有一定的广谱性和减振性,可以提高机械钻速,增加钻头进尺,取得好的技术经济效益。

上述钻头已经申请了俄罗斯发明专利,并且已经接到国家专利局通知,予以受理。

新型钻头与其它钻头性能比较见表6^[9]。

表6 新型钻头与其它钻头的性能比较

Table 6 Performance comparison between the new generation drill bit and other drill bits

钻头编号	井底净化程度	振动程度	井眼垂直程度	有无水力作用	事故概率	PDC有无“拧进”井底性能	水力动力学作用大小	井底净化程度(紊流性)	钻进裂隙岩石可能性	耐磨性	有效作用系数	形成井底“粘楔”作用	井底钻井液紊流度	钻头使用效果	机械钻速值	碎岩过程能源利用率
1	中等	中等	中等	无	中等	无	小	低	小	中等	中等	否	中等	低	中	低
2	中等	中等	中等	有	中等	无	高	高	大	中等	中等	否	中等	中	中	中
3	中等	中等	中等	有	低	有	高	高	大	中等	高	形成	中等	高	高	中
4	高	低	高	有	低	有	高	高	大	高	高	否	高	高	高	高
5	高	最低	最高	有	最低	有	非常高	非常高	大	高	最高	否	最高	最高	最高	最高

注:钻头编号1——专利号2310732Д-2BB的双层钻头;钻头编号2——专利号2445233的径切型钻头;钻头编号3——专利号2694872的钻头;钻头编号4——专利号2695726的径切双层切削剪切型钻头;钻头编号5——新型的减振双层钻头

3.4 新设计钻头的试验效果

新钻头试验是在俄罗斯科研生产企业罗斯托夫钻井公司进行的。经济效果的计算是按全俄钻井技术研究所确定的方法进行。为了进行对比,使用了 $\varnothing 215.9$ mm复合片钻头和俄罗斯国产三牙轮钻头Ⅲ215.9СГВ(此牙轮钻头是俄罗斯改进的新型钻头,使用技术经济效果较好),钻进可钻性6~7级岩石,试验井段2200~2600 m,经济效益对比见表7。表7表明,复合片钻头的成本为45万卢布,三牙轮钻头的成本为32万卢布左右,虽然开发的新型复合片钻头的成本高一点,但是复合片钻头的进尺是三牙轮钻头进尺的8倍,一个复合片钻头的经济效益为11.6552万卢布^[9]。

4 讨论与建议

根据上述资料,可做下述分析和建议。

(1)复合片钻头是近年来发展起来的一种新型钻头,在地质钻探和石油天然气钻井中,尤其是深部钻进中得到了广泛应用,取得了很好的技术经济效果。但是,复合片磨损问题,特别是非正常磨损问题成了其进一步推广使用的“瓶颈”,建议对此进行研究与解决。

(2)复合片非正常磨损与钻进规程参数等的关系,是非线性过渡过程的关系,用神经网络方法进行分析与处理,误差小,精度高,效果好。有利于提高钻探工作的技术经济效果。

(3)把楔形复合片和圆锥弧形复合片结合起来组合使用,使其发挥各自的优点,使钻头具有一定的广谱性和减振性,这是一种创新尝试,可以提高机械

表7 新型PDC钻头经济效果

Table 7 Economic results of new type PDC drill bits

指标类别	指标	Ø215.9 mm 三牙轮钻头	Ø215.9 mm 复合片钻头
原始数据	井眼平均深度/m	2600	2600
	钻进井段/m	2200~2600	2200~2600
	钻头进尺/m	78.2	629
	机械钻速/(m·h ⁻¹)	8.9	8.2
	回次升降工序时间/h	5.8	5.8
	回次更换切削具时间/h	0.83	0.83
	井底动力机类型	ЗТСШ1-195	Д1-172
计算指标	钻井井段的进尺/m	650	650
	钻头数量/个	8.3	1.03
	纯钻井时间/h	73.0	79.3
	升降工序时间/h	48.2	19.2
	中间更换切削具时间/h	6.9	2.3
	时间合计/h	128.1	101.2
经济效益计算	钻头价格/卢布	318724	450624
	纯钻井/卢布	672640	730061
	升降工序/卢布	444012	176431
	中间更换切削具/卢布	63540	25248
	合计/卢布	1498916	1382364
	一个PDC钻头效益/卢布		116552

钻速,增加钻头进尺,取得好的技术经济效益。

(4)新设计的钻头与其它类似钻头比较,具有井底净化程度高、振动程度小、井眼垂直度好、事故概率低、机械钻速高、耐磨性能好、钻头进尺长等特点,因而取得了很好的技术经济效果,说明这种钻头的设计和试验是成功的。

参考文献(References):

- [1] 汤凤林,段隆臣,ЧихоткинВ.Ф.,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):13-19.
TANG Fenglin, DUAN Longchen, CHIKHOTKIN V.F., et al. Analytical research on design of diamond drill bit with system theory approach[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(1):13-19.
- [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 Multitierwing bit [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(6):88-92.
- [7] В.В Нескоромных. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин [M]. Россия, гКрасноярск: Издательство, Сибирский федеральный университет, 2016.
- [8] Нескоромных В. В., ПоповаМ. С.. Основа системного подхода к проектированию бурового инструмента [J]. Строительство нефтяных и газовыхскважин на море и суше, 2018(8):26-31.
- [9] К.А.Борисов. Разработка методических и технологических рекомендаций по повышению эффективности бурения скважин путем предупреждения аномального износа режущих элементов долот PDC [D]. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2020.
- [10] Нескоромных В.В. Искривление скважин в анизотропных ГОРНЫХ породах [M]. Россия, Красноярск: Издательство СФУ, 2017.
- [11] Нескоромных В. В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ [M]. Россия, Красноярск: Издательство СФУ, 2015.
- [12] КубасовВ. В. Повышение эффективности бурения геологоразведочных скважин в твердых породах путем модернизации матриц алмазного породоразрушающего инструмента [D]. Московский государственный геологоразведочный университет, 2015.
- [13] Г. П. Богатырева и др. Оценка перспективности структурирования металломатричных алмазных буровых

- коронки наноалмазами [С]//Сборник, научных трудов, Киев, 2011:97-102.
- [14] 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, 326 (4) : 30-40.
- [15] Кубасов В.В., Будюков Ю.Е., Спирин В.И.. Повышение работоспособности алмазных коронки криогенной обработки [С]//Приоритетные направления развития науки и технологий: тезисы докладов V III научно-технической конференции Тула . Изд.-ство: Инновационные технологии, 2013:45-50.
- [16] 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.
- [17] Кубасов В. В. Исследование износа алмазных коронки [J]. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-аналитический журнал), 2015(4):6-11.
- [18] Третьяк А. А. Теоретическое обоснование, разработка конструктивных параметров и технологии бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами [D]. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2017.
- [19] Третьяк А. А. Разработка современных конструкций коронки, армированных алмазно - твердосплавными пластинами и технология их использования [D]. ЮРГТУ, Новочеркасск, 2012.
- [20] Третьяк А. А. и др. Буровые коронки армированные алмазно - твердосплавными пластинами [М]. Новочеркасск: Издательство, Политехник, 2015.
- [21] Третьяк А. А. и др. Конструкция буровых коронки армированные алмазно-твердосплавными пластинами с учетом схемы разрушения забоя скважины [J]. Строительство нефтяных и газовых скважин на море и суше, 2015(6):9-12.
- [22] Кубасов В. В. и др. Новые технологии повышения работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента [J]. Экономика XXI века. инновации, инвестиции, образование, 2013(5):50-53.
- [23] Третьяк А. А. Технология бурения скважин коронками , армированными алмазно-твердосплавными пластинами [М]. Новочеркасск: Издательство, Политехник, 2016.
- [24] В. В. Скоромных, М. С. Попова. Разработка алмазного инструмента с применением данных компьютерного моделирования и результатов системных исследований [J]. Инженер-нефтяник, 2018(3):18-23.
- [25] Каракозов А. А., Попова М. С., Парфенов С. Н. и др. Исследование и разработка конструкции однослойной буровой коронки с синтетическими монокристаллами алмаза [С]//Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения-Киев, 2014:73-79.

(编辑 李艺)