

doi:10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0128

叶晓平,李博,刘晓阳,等.压差式双作用液动冲击器结构参数与输出性能关系数值模拟分析[J].地质科技情报,2017,36(1):219-225.

压差式双作用液动冲击器结构参数与 输出性能关系数值模拟分析

叶晓平^{1a,1b},李博²,刘晓阳²,裴文奇^{1a,1b},段隆臣^{1a,1b}

(1.中国地质大学(武汉) a.岩土钻掘与防护教育部工程研究中心;b.工程学院,武汉 430074;
2.中核集团核工业北京地质研究院,北京 100029)

摘要:为了提高压差式双作用液动冲击器在深孔钻进中的输出性能,利用 MATLAB 程序编写了计算机数值模拟程序,对此型冲击器冲锤质量、节流孔直径、活阀行程、自由行程和冲锤上下端有效面积差 5 个主要结构参数与其输出性能的影响关系进行数值模拟分析研究,模拟分析结果对液动冲击器结构设计及优化、提高冲击器的工作性能具有指导意义。

关键词:液动冲击器;结构参数;输出性能;规律

中图分类号:P634.5

文献标志码:A

文章编号:1000-7849(2017)01-0219-07

随着国家经济的高速发展,对矿产资源需求量日益增加,现探明的矿床资源储量已经不能满足社会经济增长的需求,深部找矿已成为地质找矿的必经之路^[1-2]。深部钻探经常会钻遇坚硬致密、弱研磨性地层,常规回转钻进方法常常会出现碎岩效果差、钻头寿命短、钻进效率低的情况^[3-5],相比之下,使用液动冲击回转钻进方法要更具优势^[6-9]。

液动冲击器是一种将液动能转化为机械能、实现液动冲击回转钻进的、加装在钻头或岩心管上的重要装置。在钻进中,冲击器给钻头或钻具施加一定频率的冲击能量,使钻头在孔底以冲击与回转切削共同作用破碎岩石。液动冲击器是利用泥浆泵的高压液流作为能源,推动锤杆往复运动击打砧子,产生一定频率的冲击能量。液动冲击器广泛采用阀式结构,按其作用原理可分为正作用、反作用、双作用 3 种类型。压差式双作用液动冲击器由于结构简单、性能稳定,是研究得较多的一种冲击器。以往研究结构参数与输出性能关系时只考虑单一因素对其施加的影响,未研究多因素复合施加的影响。

笔者拟以 PQ 金刚石绳索取心液动冲击器为基础,利用 MATLAB 编写计算机数值模拟程序,对压

差式双作用液动冲击器冲锤质量、节流孔直径、阀程、自由行程和有效面积差 5 个主要结构参数与其输出性能的影响关系进行数值模拟分析研究,以期得出液动冲击器结构参数与性能之间影响关系的规律。

1 理论基础

1.1 流体连续性方程

流体连续性方程是质量守恒方程在流体力学中的具体表现形式,对于不可压缩流体,其连续性方程可表示为^[10]:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = Q \quad (1)$$

式中: v_1, v_2 为不同过流截面处的平均流速; A_1, A_2 为不同过流截面的横截面积。

1.2 压力损失理论

流体在流动过程中存在沿程损失和局部损失。沿程损失是流体流动过程中克服与固体边界的内摩擦而引起的,与流程的长度成正比,由于流体在液动冲击器内流体的沿程损失很小,可以忽略不计;局部损失大多发生在急变流的部位,局部损失的大小主要与流道的形状有关,其一般计算表达式为:

$$h_j = \epsilon \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

收稿日期:2016-02-26 编辑:杨勇

基金项目:中国核工业地质局铀矿地质科研项目“金刚石绳索取心液动冲击器的研究及应用”

作者简介:叶晓平(1991—),男,现在正在攻读地质工程专业硕士学位,主要从事钻探设备的研究工作。E-mail:892412502@qq.com

通信作者:段隆臣(1967—),教授,博士生导师,主要从事地质工程、钻井工程专业的教学和科研工作。E-mail:duanlongcheng@163.com

式中: h_j 为局部损失; ϵ 为局部损失系数; v 为截面出口的平均流速; g 为重力加速度。

1.3 伯努利方程

伯努利方程是能量守恒定律的一种重要表达式,在实际流体流动中,黏性力的作用会损失部分机械能,因此实际流体伯努利方程可表示为:

$$z_1 + \frac{p_1^2}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2^2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (3)$$

式中: z_1, z_2 为不同过流截面的高度; p_1, p_2 为不同过流截面处的压强; v_1, v_2 为不同过流断面处的平均流速; ρ 为流体的密度; h_w 为压力损失。

1.4 水击理论

在有压管道中,突然调节阀门开度会使管路中液体压力急剧升高或降低,这种液流不稳定的现象称为水击现象,是液体从一种状态向另一种状态的过渡阶段,也称为水锤或水击^[11-12]。

液动冲击器中冲锤与活阀每接触关闭一次即可发生一次水击现象,若其间 2 次发生水击的时间间隔小于水击波周期,则水击时的压力值可用下式计算(如科夫斯基公式):

$$\Delta P_s = K_1 \rho C (V_0 - V_t) \quad (4)$$

式中: ΔP_s 为水击压力; K_1 为折合系数; ρ 为流体的密度; C 为水击波速; V_0, V_t 为液流平均流速。

1.5 节流孔的水垫效应和增压效应

双差动双作用式液动冲击器中节流孔大小是一个非常重要的结构参数,对冲击器的冲击功有重要的影响。节流孔对液动冲击器影响包括 2 个方面:一方面产生节流压力,对冲锤产生抬举力;另一方面会产生水垫阻力,降低冲锤末速度。节流孔对冲击器工作性能影响应分 3 个阶段进行分析。

在冲锤回程阶段,由节流孔的节流作用产生的压力差为:

$$\begin{cases} \Delta P_j = \left(\frac{Q_j}{\alpha A_j} \right)^2 \times \frac{\rho}{2} \\ \Delta Q_j = Q - \frac{dx}{dt} (A_2 - A_1) \end{cases} \quad (5)$$

在冲锤加速下行阶段,由于节流孔的阻塞效应产生的水垫阻力为:

$$\begin{cases} \Delta P_d = \left(\frac{Q_j}{\alpha A_j} \right)^2 \times \frac{\rho}{2} \\ Q_j = \frac{dx}{dt} A_2 \end{cases} \quad (6)$$

在阀锤分离后,冲锤自由行程阶段,由节流孔的阻塞效应产生的水垫阻力为:

$$\begin{cases} \Delta P_d = \left(\frac{Q_j}{\alpha A_j} \right)^2 \times \frac{\rho}{2} \\ Q_j = Q + \frac{dx}{dt} (A_2 - A_1) \end{cases} \quad (7)$$

式中: ΔP_d 为节流孔产生的压强差; Q_j 为节流孔处的流量; α 为流量系数,取 $\alpha = 0.75$; A_j 为节流孔的面积; ρ 为流体的密度; Q 为冲击器入口总流量; A_1 为冲锤上腔面积; A_2 为冲锤下腔面积; dx/dt 为任意深刻冲锤的瞬间运动速度。

2 数值模拟方法

数值模拟程序基于流体连续性方程、水击现象、水垫阻力、伯努利方程和压力损失规律等理论,建立了活阀和冲锤系统在回程上行、阀程加速和冲锤自由行程 3 个不同运动阶段的数学模型;基于有限差分原理,进行迭代计算。以速度、位移等于零为初始条件;以冲锤的位移大小来判断冲锤所处的运动阶段;以冲锤的速度方向来判断液动冲击器是否正常工作。若不是正常状态,则立即终止计算程序;利用 MATLAB GUI 模块设计数值模拟程序^[13],设计的界面如图 1,2 所示。

水利参数			
泵量/(L·min ⁻¹)	110	密度/(kg·cm ⁻³)	1.020
背压/MPa	0.5	黏度/(cm ² ·s ⁻¹)	0
冲锤结构参数			
上内腔直径/mm	45	冲锤质量/kg	15
下端直径/mm	60	自由行程/mm	3
中通道直径/mm	20		
活阀结构参数			
活阀质量/kg	0.5	活阀行程/mm	15
活阀内径/mm	20	活阀外径/mm	32
节流孔参数			
节流孔直径/mm	6	节流孔的个数	4
开始计算		系数调整	
退出			

图 1 数值模拟程序输入界面

Fig.1 Numerical simulation program input interface

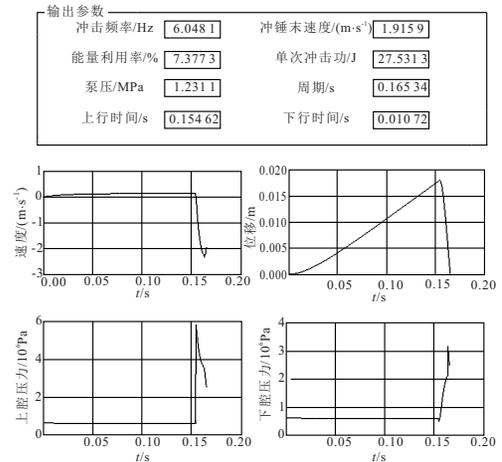


图 2 数值模拟程序输出界面

Fig.2 Numerical simulation program output interface

液动冲击器的冲击频率和冲击功是衡量冲击器性能的重要参数,但受测试条件限制,只能准确地测定冲击频率和稳定工作时的泵压,所以在拟合修正时采用泵压和冲击频率的实测数据。利用室内试验平台收集数据对数值模拟程序进行拟合修正,修正后泵压和冲击频率的平均相对误差只有12%和6%,说明拟合修正后的数值模拟程序基本符合该液动冲击器的实际工作情况。

3 冲击器结构参数对输出性能的影响

单因素分析是指在其他参数不变的前提下,通过改变某一种参数的大小来研究其对液动冲击器输出性能的影响规律。遵循舍次求主的原则,笔者选取5个最重要的结构参数进行单因素分析,包括:冲锤质量、节流孔直径、活阀行程、自由行程和冲锤上下端有效面积差。

3.1 冲锤质量对输出性能的影响

对于PQ绳索取心液动冲击器,冲锤质量取10~24 kg之间。通过数值模拟程序计算得到不同冲锤质量条件下冲击器各个性能参数的输出量,如图3所示。

通过图3中各输出参数的变化曲线可以看出,随冲锤质量不断增加,冲击频率近似呈线性下降。这是因为在其他参数都相同的条件下,冲锤质量的大小对冲锤运动的加速度产生影响,冲锤质量越大,加速度越小,运动相同的阀程和自由行程,周期会变

大,频率会变小;能量利用率先增加后减少,冲锤质量为14~16 kg时,能量利用率存在最优值。

3.2 节流孔直径的变化对输出性能的影响

节流孔直径的大小对冲击器的性能起着至关重要的作用,为探究节流孔对PQ绳索取心液动冲击器输出性能的影响,将节流孔的直径大小确定为4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7 mm,通过数值模拟程序就可以得到在不同节流孔直径下冲击器各个性能参数的输出量,如图4所示(其中节流孔直径为4, 7 mm时冲击器不能正常工作)。

这种类型的冲击器节流孔的存在会产生2个截然不同的作用:节流增压和水垫作用。从图4中可以看出,随着节流孔直径增大,冲击频率快速减小,而冲击功逐渐增大。这是因为,节流孔直径增大,其产生的节流增压效果下降,导致冲锤抬举力减小,回程时间增加,而冲锤周期以回程为主导,故冲击频率降低;但是另外一方面随着节流孔直径增大,水垫作用会降低,冲锤下行阻力减小,冲锤末速度增大,从而使冲击功增加。能量利用率随着节流孔直径的增大呈先增后减的变化趋势,在6 mm左右存在最优值。

3.3 活阀行程对输出性能的影响

活阀行程决定了活阀回程位移和冲锤与活阀一起加速下行时的位移。为探究活阀行程对PQ绳索取心液动冲击器输出性能的影响,将活阀行程试验值确定为12, 15, 18, 22, 25 mm,通过数值模拟程序计算得到不同活阀行程条件下冲击器各个性能参数的输出量,如图5所示。

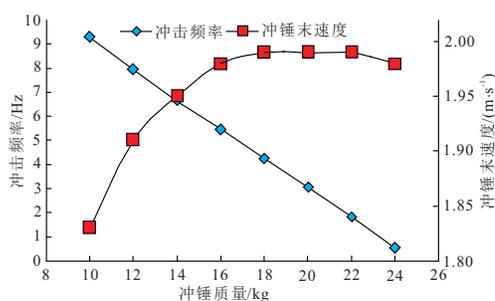


图3 冲锤质量对冲击器输出性能的影响

Fig.3 Influence of the mass on the output performance of hammer

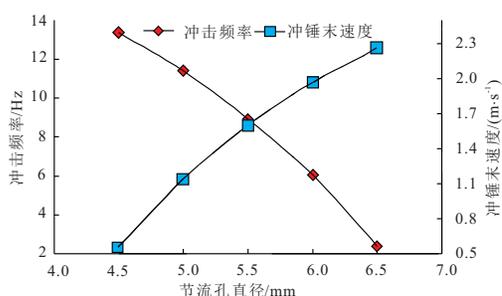
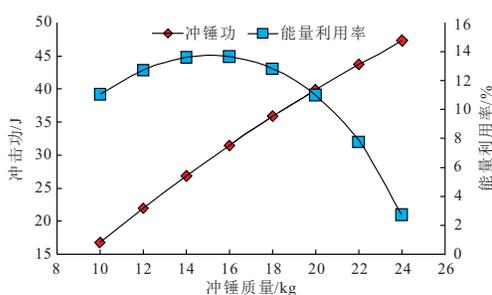
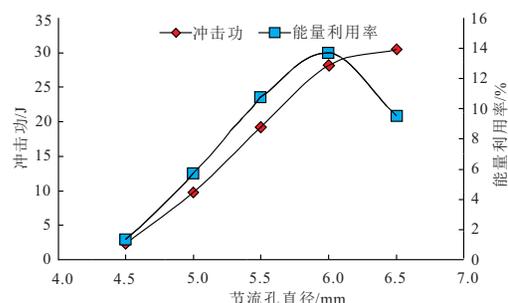


图4 节流孔直径对冲击器输出性能的影响

Fig.4 Influence of the orifice diameter on the output performance of hammer



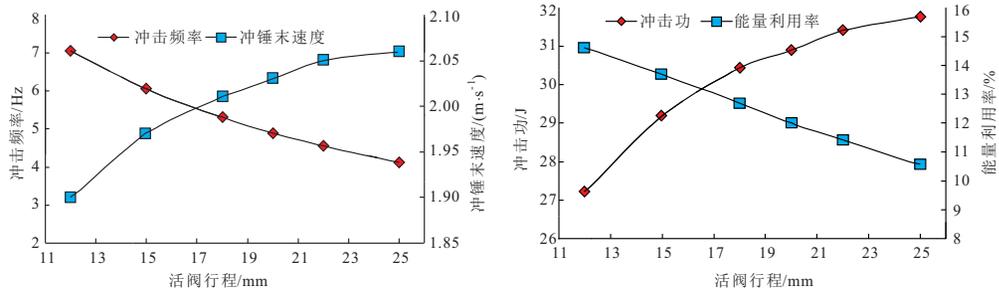


图 5 阀程对冲击器性能的影响

Fig.5 Influence of the valve stroke on the output performance of hammer

从图 5 可知,随着活阀行程的增加,冲锤上行和下行的时间会增加,周期变长,频率减小;能量利用率也会随着阀程的增加而变小;而冲击末速度、冲击功增加,这是因为在阀锤闭合一起加速下行阶段,阀程的增加意味着水击压力对冲锤做功的时间也会变长,冲锤末速度和冲击功也随之变大。从冲击频率和冲击功随阀程变化幅度规律可知,调节阀程大小主要对冲击频率影响较大,而对冲击功影响较小,因此可通过调整阀程来调整冲击频率的大小。

3.4 自由行程的大小对冲击器性能的影响

将自由行程确定在 3~7 mm 之间,通过数值模拟程序可以得到不同自由行程条件下冲击器各个性能参数的输出量,如图 6 所示。

从图 6 可以得到,冲击频率、冲锤末速度、冲击功和能量利用率都随着冲锤自由行程的增加而减小。随着自由行程的增加,回程和冲程时间都会增

加,故冲击频率会降低;冲击器工作时,冲锤在自由行程阶段做的是减速运动,所以在其他参数不变的情况下,自由行程的增加,冲锤下腔的水垫阻力做的负功也会增加,从而使冲锤末速度、冲击功和能量利用率降低。从冲击频率和冲击功随自由行程变化而变化的幅度规律可知,调节自由行程的大小主要会对冲击功影响较大,对冲击频率影响较小。所以,为提高冲击功和能量利用率,应尽量减小自由行程值。

3.5 冲锤上下端有效面积差对输出性能的影响

研究冲锤上下端面积差对冲击器输出性能的影响时,采用冲锤下腔面积(直径 60 mm)不变,只改变冲锤上端有效面积,数值模拟试验将活阀上段外径确定为 30,31,32,33,34,35,36 mm,从而得到不同面积差依次为 21.20,20.72,20.22,19.71,19.19,18.64,18.08 cm²,数值模拟试验结果如图 7 所示。

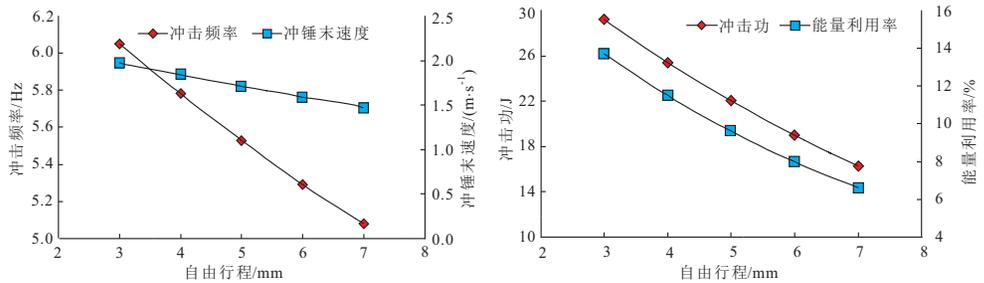


图 6 自由行程的大小对冲击器性能的影响

Fig.6 Influence of the free stroke on the output performance of hammer

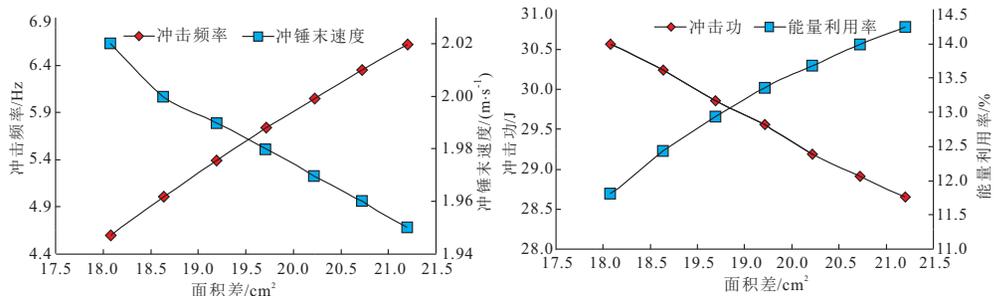


图 7 冲锤上下端面积差对冲击器性能的影响

Fig.7 Influence of upper and lower area difference on the output performance of hammer

从图7可以看出,随着冲锤有效面积差的增加,冲锤起始时刻产生向上的抬举力、冲击频率和能量利用率增加,冲锤末速度和冲击功呈减小的趋势,但趋势缓慢,减幅分别只有0.07 m/s和1.92 J。这是因为冲锤回程时间占周期的比例大,面积差越大时,冲锤上行加速度越大,因此回程时间越短,频率就越大;在泵量和泵压保持不变时,冲击功虽然增加,但频率减小,而且幅值较大,所以能量利用率会随着面积差的减小而减小。

4 多因素变化对输出性能的影响分析

利用正交试验对5个结构因素进行多因素分

表1 正交试验方案及其数值模拟实验结果

Table 1 Orthogonal test scheme and numerical simulation results

试验号	因素					空白列	冲击功/J	能量利用率/%	冲击频率/Hz	泵压/MPa
	冲锤质量/kg	节流孔直径/mm	活阀行程/mm	自由行程/mm	面积差/cm ²					
1	12	5.2	12	3	18.08	1	9.53	6.68	12.72	0.99
2	12	5.4	15	4	19.19	2	8.95	5.35	10.02	0.91
3	12	5.6	18	5	20.22	3	8.75	4.58	8.12	0.84
4	12	5.8	21	6	21.20	4	8.88	4.11	6.69	0.79
5	12	6	24	7	22.10	5	9.30	3.84	5.57	0.73
6	14	5.2	15	5	21.20	5	4.94	2.79	10.24	0.99
7	14	5.4	18	6	22.10	1	5.14	2.55	8.34	0.91
8	14	5.6	21	7	18.08	2	9.35	3.52	5.32	0.77
9	14	5.8	24	3	19.19	3	25.00	9.49	5.13	0.74
10	14	6	12	4	20.22	4	21.63	11.98	7.34	0.72
11	16	5.2	18	7	19.19	4	4.52	1.93	7.21	0.92
12	16	5.4	21	3	20.22	5	19.82	8.68	7.10	0.88
13	16	5.6	24	4	21.20	1	19.78	7.64	5.77	0.81
14	16	5.8	12	5	22.10	2	17.19	9.55	8.05	0.79
15	16	6	15	6	18.08	3	23.08	6.97	3.42	0.62
16	18	5.2	21	4	22.10	3	13.45	5.75	7.60	0.97
17	18	5.4	24	5	18.08	4	18.11	5.74	4.67	0.80
18	18	5.6	12	6	19.19	5	16.05	7.24	6.37	0.77
19	18	5.8	15	7	20.22	1	17.83	6.58	4.77	0.71
20	18	6	18	3	21.20	2	37.22	13.06	4.29	0.67
21	20	5.2	24	6	20.22	2	11.40	3.78	5.49	0.90
22	20	5.4	12	7	21.20	3	10.43	4.89	7.38	0.84
23	20	5.6	15	3	22.10	4	29.79	13.88	7.03	0.82
24	20	5.8	18	4	18.08	5	35.10	7.9	2.55	0.62
25	20	6	21	5	19.19	1	37.04	5.63	1.56	0.56

表2 以冲击功为优化目标的方差分析

Table 2 Variance analysis for the optimization objective of impact energy

方差来源	偏差平方和 S	自由度 f	平均偏差平方和 V	F 值	临界值
A.冲锤质量	747.84	4	186.96	91.85	
B.节流孔直径	887.22	4	221.81	108.97	$F_{0.10}(4,4)=4.11$
C.活阀行程	29.89	4	7.47	3.67	$F_{0.05}(4,4)=6.39$
D.自由行程	612.05	4	153.01	75.18	$F_{0.01}(4,4)=15.98$
E.面积差	58.54	4	14.63	7.19	

自由度为(f_A, f_e)的 F 分布,其中 f_A 为因素的自由度, f_e 为误差平方和的自由度,对于本试验各因素的自由度和误差平方和的自由度均为4。通过对比 F 值的大小,得到5个结构因素的主次顺序为:节流孔直径>冲锤质量>自由行程>冲锤上下端有

析,寻找最佳参数组合。设计正交试验时,考虑5个因素之间相互作用不明显或无相互作用,所以宜选用 $L_{25}(5^6)$ 正交表来设计试验方案,共安排25组试验,根据双差动双作用液动冲击器的数值模拟程序,对设计的正交试验方案逐一进行计算,5个变量因素依据正交试验表取值。计算结果如表1所示。

以冲击功和能量利用率为优化目标,笔者采用了方差分析法对试验结果进行分析。

以单次冲击功为优化目标时,计算出各个因素的平均偏差平方和 V 以及 F 值,建立方差分析表(表2),进行各因素显著性检验。

根据正交试验原理^[14],因素偏差平方和与误差偏差平方和之比所得的 F 值是一个统计量,它服从

效面积差>活阀行程,其中节流孔直径、冲锤质量和自由行程应重点考虑。为寻求以冲击功为优化目标的各因素最佳组合方式,将每个因素的水平值和与之对应的平均数进行汇总,如表3所示。

由表3可知,5个因素中较大平均值之间的波动并不大,最佳组合只要取各因素较大的平均数对应的水平值即可,在实际应用中并不能一味地追求高冲击功,还应有合理的冲击频率,需利用数值模拟程序对各种参数组合进行综合评判。

结合数值模拟程序进行综合评判,以冲击功为优化目标时,各因素最佳范围组合是:节流孔直径5.8~6.0 mm,冲锤质量14~18 kg,自由行程3~5 mm,面积差19.19~21.20 cm²,活阀行程15~21 mm。

表 3 以冲击功为最优时各因素平均值汇总

Table 3 Summary table of mean of various factors for the optimization objective of impact energy

冲锤质量/kg		活阀行程/mm		自由行程/mm		面积差/cm ²		节流孔直径/mm	
水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值
12	9.08	12	14.96	3	24.27	18.08	19.03	5.2	8.76
14	13.21	15	16.92	4	19.78	19.19	18.31	5.4	12.49
16	16.87	18	18.14	5	17.20	20.22	15.88	5.6	16.74
18	20.53	21	17.71	6	12.91	21.22	16.25	5.8	20.80
20	24.75	24	16.72	7	10.28	22.10	14.97	6.0	25.65

当以能量利用率为优化目标时,同样的方法,计算出各个因素的平均偏差平方和 V 以及 F 值,建立方差分析表如表 4 所示,进行各因素显著性检验。

表 4 以能量利用率为优化目标的方差分析

Table 4 Variance analysis with energy utilization as the optimization goal

方差来源	偏差平方和 S	自由度 f	平均偏差平方和 V	F 值	临界值
A.冲锤质量	23.93	4	5.98	2.39	
B.节流孔直径	57.46	4	14.36	5.74	$F_{0.10}(4,4)=4.11$
C.活阀行程	20.74	4	5.18	2.07	$F_{0.05}(4,4)=6.39$
D.自由行程	125.24	4	31.31	12.50	$F_{0.01}(4,4)=15.98$
E.面积差	5.91	4	1.48	0.59	

表 5 以能量利用率为最优时各因素平均值汇总

Table 5 Summary table of mean of various factors with energy utilization as the optimization goal

冲锤质量/kg		活阀行程/mm		自由行程/mm		面积差/cm ²		节流孔直径/mm	
水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值	水平值	平均值
12	4.91	12	8.07	3	10.35	18.08	6.16	5.2	4.18
14	6.06	15	7.11	4	7.72	19.19	5.92	5.4	5.44
16	6.95	18	6.00	5	5.65	20.22	7.12	5.6	7.37
18	7.67	21	5.53	6	4.93	21.22	6.49	5.8	7.52
20	7.22	24	6.10	7	4.15	22.10	7.11	6.0	8.29

5 结 论

(1)通过数值模拟分析研究,得出了压差式液动冲击器的结构参数与输出性能之间的关系:随着冲锤质量的增加,冲击频率呈线性下降趋势,而冲击功呈线性增长趋势,能量利用率先增加后减小;随着节流孔直径的增大,冲击频率降低,而冲锤末速度和冲击功增加,能量利用率呈先增后减的趋势;随着活阀行程的增加,冲击频率和能量利用率降低,而冲击功增大;随着自由行程的增加,冲击频率、冲击功和能量利用率都会减小;随着冲锤上下端有效面积差的增加,冲击频率和能量利用率增加,单次冲击功会降低但降低幅值较小。

(2)利用正交试验,对 5 个结构参数进行多因素分析,得出 2 组优化结构参数组合。以冲击功为优化目标时,最佳组合为:节流孔直径 5.8~6.0 mm、自由行程 3~4 mm、冲锤质量 14~18 kg,自由行程 3~5 mm,活阀行程 15~21 mm,面积差 19.19~21.20 cm²。以能量利用率为优化目标,最佳组合为:节

根据方差分析可知,节流孔直径和自由行程对能量利用率的影响很显著。以能量利用率作为优化目标,则 5 个结构因素的主次顺序为:自由行程>节流孔直径>冲锤质量>活阀行程>冲锤上下端有效面积差。为寻求以能量利用率为优化目标的最佳组合方式,也将每个因素的水平值和与之对应的平均数进行汇总,如表 3~5 所示。

通过表 3~5 中显示的数据信息,结合数值模拟程序进行综合评判,以能量利用率为优化目标时,各因素最佳范围组合是:节流孔直径 5.6~6.0 mm、自由行程 3~4 mm、冲锤质量 14~20 kg,活阀行程 12~24 mm,面积差 20.22~22.10 cm²。

流孔直径 5.6~6.0 mm、自由行程 3~4 mm、冲锤质量 14~20 kg,活阀行程 12~24 mm,面积差 20.22~22.10 cm²。

参考文献:

- [1] 曹新志,张旺生,孙华山.我国深部找矿研究进展综述[J].地质科技情报,2009,28(2):104-109.
- [2] 翟裕生,邓军,王建平,等.深部找矿研究问题[J].矿床地质,2004,23(2):142-149.
- [3] 苏长寿.液动潜孔锤的现状及其用于石油钻井应注意的几个问题[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2002(6):30-31.
- [4] 邓燕红,汪俊,刘彦,等.深部探矿钻探特点及技术研究[J].科技资讯,2013(32):85-86.
- [5] 吴书亮.谈深部探矿钻探特点及技术[J].山西建筑,2015,41(1):88-89.
- [6] 李彦明.冲击一回转钻进工艺在超硬岩层中的应用[J].煤矿机械,2011,32(3):210-212.
- [7] Whiteley M C, England W P. Air drilling operations improved by percussion-bit/hammer-tool tandem[R].SPE 13429, 1986.
- [8] Pratt C A, Shell Canada Ltd. Modifications to and experience with percussion air drilling[R].SPE-16166-PA, 1989.
- [9] Finger J T. Investigation of percussion drills for geothermal applications[J].Journal of Petroleum Technology, 1984, 36(13):

- 2128-2136.
- [10] 石奎,李田军.工程流体力学[M].北京:化学工业出版社,2008:41-42.
- [11] Iphar M.ANN and ANFIS performance prediction models for hydraulic impact hammers[J].Tunnelling and Underground Space Technology,2012,27(1):23-29.
- [12] Riedelmeier S,Becker S,Schlucker E.Measurements of junction coupling during water hammer in piping systems[J].Journal of Fluids and Structures,2014(48):156-168.
- [13] Espinosa H G,James D A,Kelly S.Sports monitoring data and video interface using a GUI auto generation matlab tool[J].Procedia Engineering,2013,60:243-248.
- [14] 邱铁兵.试验设计与数据处理[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2008:128-137.

Numerical Simulation Analysis and Research of Regularity Between Structure Parameters and Output Performance in Differential Double-Acting Hydraulic Hammer

Ye Xiaoping^{1a,1b}, Li Bo², Liu Xiaoyang², Pei Wenqi^{1a,1b}, Duan Longchen^{1a,1b}

(1a.Engineering Research Center of Rock-Soil & Excavation and Protection of Ministry of Education;

1b.Faculty of Engineering ,China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China;

2.CNNC Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to improve the output performance of differential double-acting hydraulic hammer , this paper studies the influence regularity of structure parameters, including mass of hammer, orifice diameter, valve stroke, free stroke and the area difference to output performance, by using numerical simulation program established by MATLAB GUI program. The results have a certain effect on the optimal design of hydraulic hammer and improving output performance.

Key words: hydraulic hammer; structural parameter; output performance; regularity

(上接第 167 页)

Characteristics of Primary Geochemical Halos and Deep Prospecting Target Delineation,Guoluolongwa Gold Deposit,East Kunlun Orogenic Belt

Chen Junlin¹, Fu Lebing¹, Zhao Jiangnan¹, Tang Yang¹, Zhao Xu¹, Liu Yan¹, Xie Zhiyong², Qi Yueqing²

(1.Faculty of Earth Resources,China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China;

2.Qinghai Bureau of Nonferrous Metals Geology and Mineral Exploration, Xining 810007, China)

Abstract: Guoluolongwa gold deposit is a large gold deposit and is controlled by a fault, which is located in the East Kunlun Mountains in Qinghai Province. For guiding the exploration project in its deep area, we studied the primary halo zoning characteristics of the No. I, No. IV, No. V, No. VI of the ore deposits. Considering element concentration zoning characteristics and combined with statistics of the factor analysis of the No.0 line, No.63 line, and No.125 line in the mining area, we obtained that;the supra-ore halo is Pb-Ag-As;sub-ore halo is Mn-Sn-Mo; near-ore halo is Au-Zn. By adopting Grigorian calculation methods of axial zoning, we can obtain the order of axial primary halo zoning of No.0 line, No.63 line, and No.125 line, represented as: Pb-Cr-Bi-Ag-As-Hg-Ni-W-Ti-Cu-Co-Mn-Sn-Sb-Zn-Au-Mo, Ag-Au-Zn-Ni-Sb-Co-Cr-Pb-Sn-W-As-Ti-Cu-Hg-Mn-Bi-Mo, Bi-Pb-Ag-Au-Cu-W-As-Sb-Ni-Hg-Mn-Cr-Co-Sn-Zn-Mo-Ti. According to axial primary halo zoning characteristics and the trend of transition from falling to rising between the supra-ore halo and sub-ore halo, we summarized a superimposed primary halo model of the deposit. In combination with the information of exploration profiles, geology, and EH4, we finally choose three prospecting target regions in the deep area.

Key words: Gold deposit; primary halo; superposition model; target delineation; Guoluolongwa