水文·工程·环境(

# 差动式双作用液动冲击器冲锤动力学 方程的研究和应用

叶晓平<sup>1,3</sup>,李 博<sup>2</sup>,刘晓阳<sup>2</sup>,高 辉<sup>1</sup>,段隆臣<sup>1</sup> (1.中国地质大学(武汉)工程学院,湖北武汉 430074;2.中核集团核工业北京地质研究院,北京 100029; 3.浙江华东建设工程有限公司,浙江杭州 310014)

[摘 要]为了优化差动式双作用液动冲击器结构,本文建立了该型冲击器的数值模拟程序,用于 之后结构参数与输出性能的影响关系研究。基于流体连续性方程、水击现象、水垫阻力、伯努利方程、压 力损失等理论,建立了阀锤系统在三个运动阶段的力学模型;以冲锤或活阀为受力分析对象,建立了阀 锤系统在每个阶段的动力方程;基于有限差分原理,利用 MATLAB GUI 进行程序编写,建立了数值模拟 程序,运用实验数据拟合修正后的数值模拟程序输出性能参数与该型液动冲击器在实际工况下的输出 性能参数基本一致。通过对背压的研究,阐述了背压的组成;利用建立的程序探究了背压对差动式双作 用液动冲击器输出性能的影响规律并分析了原因。

[关键词] 液动冲击器 差动 数值模拟程序 背压 规律
 [中图分类号]P634.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2018)04-09

Ye Xiao-ping,Li Bo,Liu Xiao-yang,Gao Hui,Duan Long-chen. Research and application of differential double – acting hydraulic hammer dynamics equations[J]. Geology and Exploration,2018,54(4):0801-0809.

### 0 引言

随着我国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经 济增长的需求,深部找矿已成为地质找矿的必经之路 (霍裕生等,2004;曹新志等,2009)。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(苏长寿,2002;邓燕红等,2013;卢予北,2014;吴书 亮,2015),相比之下,使用液动冲击回转钻进方法要 更具优势(Finger,1984;Whiteley *et al.*,1986;Pratt *et al.*,1987;卢春华等,2010;李彦明,2011)。

冲击回转钻进是钻头在静载的作用下回转钻进,同时施加纵向冲击动载荷,从而在纵向冲击力和 横向切削力的共同作用下破碎岩石的一种钻进方法 (王人杰等,1988;叶晓平等,2017;张飞等,2017)。 现阶段,冲击回转钻探技术被认为是解决硬岩难题 的最有效方法之一(张永勤,2007)。液动冲击器是 一种将液动能转化为机械能的、实现液动冲击回转 钻进的重要装置。液动冲击器广泛采用阀式结构, 其中阀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,在地质勘探、石油 钻井中应用广泛(管志军等,2003)。

深孔应用时,差动式双作用液动冲击器在高背 压作用下输出性能的低效和不稳定工作是制约其应 用的关键,正是因为这个原因液动冲击回转技术应 用的孔深普遍低于1500m。深孔高背压是液动冲击 回转应用时必然要面对的客观条件,对于这个问题, 前人主要是通过在冲锤结构上的改进来弱化背压的 影响,对其影响机理未做深入探讨。

本文以中国核工业地质局铀矿地质科研《金刚 石绳索取心液动冲击器的研究及应用》项目中研制 的 PQ 金刚石绳索取心液动冲击器为基础,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,建立冲锤动力学方程,利用 MATLAB GUI 进行程序编写,建立数值模拟程序,用

<sup>[</sup>收稿日期]2016-09-08;[改回日期]2017-12-20;[责任编辑]郝情情。

<sup>[</sup>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"(项目编号:201591)资助。

<sup>[</sup>第一作者] 叶晓平(1991年-),男,2014年毕业于中国地质大学(武汉),获学士学位,在读硕士研究生,主要从事地质钻探设备与钻探工 艺的相关研究。E-mail:892412502@qq.com。

<sup>[</sup>通讯作者]刘晓阳(1967年-),教授级高级工程师,从事地质岩心钻探技术研究工作。E-mail:250050462@qq.com。

于输出性能与相关参数的研究。另外通过对深孔背 压作用的研究,阐述了背压的组成,并利用建立的程 序探究了背压对输出性能的影响规律。

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(石奎等,2008):

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \tag{1}$$

式中: $v_1$ , $v_2$  - 不同过流截面处的平均流速,m/s;  $A_1$ , $A_2$  - 不同过流截面的横截面积,m<sup>2</sup>。

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 擦力而引起的,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:

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

式中: $h_j$  – 局部损失,m; $\varepsilon$  – 局部损失系数;g – 重力加速度,m/s<sup>2</sup>;v – 截面出口的平均流速,m/s。 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,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: $z_1$ , $z_2$  – 不同过流截面的高度,m; $p_1$ , $p_2$  – 不同过流截面处的压强,Pa; $v_1$ , $v_2$  – 不同过流断面 处的平均流速,m/s; $\rho$  – 流体的密度, $kg/m^3$ ; $h_w$  – 水 头损失, $m_o$ 

1.4 水击现象

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(Melih Iphar,2012; Riedelmeier *et al.*,2014)。

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,若其间两次发生水击的时间间 隔小于水击波相长,则水击时的压力值可用下式计 算(如科夫斯基公式):

$$\Delta P_s = K_1 \rho C (V_0 - V_i) \tag{4}$$

式中: $\Delta P_s$  - 水击压力, Pa;  $K_1$  - 折合系数;  $\rho$  - 流体的密度, kg/m<sup>3</sup>; C - 水击波速, m/s;  $V_0$  - 阀门关闭前液 流平均流速, m/s;  $V_i$  - 阀门关闭后液流平均流速, m/s。 1.5 节流孔增压效应与水垫效应

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两个方面: 举锤阶段,节流压力,产生抬举力;冲程阶段,产生水 垫阻力,阻碍冲锤下行,降低冲锤末速度。节流孔对 冲击器工作性能影响应分三个阶段进行分析。

在冲锤回程阶段,由于节流孔的节流作用产生 的压力差为:

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

$$\begin{cases} \Delta P_{j} = \left(\frac{Q_{j}}{\alpha A_{j}}\right)^{2} \times \frac{\rho}{2} \\ Q_{j} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} A_{2} \end{cases}$$
(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:

$$\begin{cases} \Delta P_j = \left(\frac{Q_j}{\alpha A_j}\right)^2 \times \frac{\rho}{2} \\ Q_j = Q + \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}(A_2 - A_1) \end{cases}$$
(7)

式中: $\Delta P_j$  - 节流孔产生的压强差, Pa;  $Q_j$  - 节流 孔处的流量, m<sup>3</sup>/s;  $\alpha$  - 流量系数, 取  $\alpha$  = 0.75;  $A_j$  -节流孔的面积, m<sup>2</sup>;  $\rho$  - 流体的密度, kg/m<sup>3</sup>; Q - 冲击 器入口总流量, m<sup>3</sup>/s; dx/dt - 任一时间间隔冲锤运 动的瞬间速度, m/s;  $A_1$  - 冲锤上腔面积, m<sup>2</sup>;  $A_2$  - 冲 锤下腔面积, m<sup>2</sup>。

#### 2 冲击器的结构和工作原理

液动冲击器的基本原理是利用钻井液驱动活阀 和冲锤工作,以一定频率做上下往复冲击运动。其 主要的零件为活阀、外管、冲锤组件和传功环、砧子、 钻头(接头)等(如图1)。

液动冲击器工作开始前由于重力的作用,活阀(5)和冲锤(6)均处于下位。钻井液从上接头(1)进入,流经活阀的泄流孔(a),冲锤的中心通孔(b),冲锤的节流孔(c),最后由砧子(8)上的侧孔流出。



图 1 冲击器结构结构图 Fig. 1 Structure of hydraulic hammer

1 - 上接头;2 - 外管;3 - 引流管;4 - 上缸套;5 - 活阀;6 - 冲锤;7 - 下缸套;8 - 砧子;a - 活阀泄流孔;b - 中心通孔;c - 节流孔
1 - upper joint;2 - outer tube;3 - drainage pipe;4 - upper cylinder line;5 - valve;6 - hammer;7 - under cylinder line;8 - beakiron;a - valve discharge hole;b - through hole;c - orifice

由于冲锤的节流孔面积较小,起到节流增压作用,因 而液流在冲锤下端形成较高的液压。冲锤下端的有 效承压面积大于上端,因而迫使冲锤上行。与此同 时,活阀也由于同样机理上行到活阀的上死点。由 于两者之间作用力与质量的比值的不同,冲锤的 上行加速度低于活阀的上行加速度,故冲锤到达 同一位置的时间将滞后于活阀。当冲锤上行到与 活阀接触后,液流在阀与锤之间被突然截止并产 生水击。

活阀与冲锤在重力、高压液流和反弹惯性力 的联合作用下向铁砧快速运动。活阀会先被限位 套挡住,然后冲锤继续下行冲击铁砧,到达下死 点。冲锤到达下死点时,液动锤各运动部件又恢 复了工作开始前的各相对位置,于是第二次工作 循环又开始。

## 3 液动冲击器动力学模型的建立

根据液动冲击器的工作原理,可将双差动双作 用液动冲击器一个周期内的工作过程划分为三个阶段;回程上行阶段、阀程加速阶段、冲锤自由行程阶段。另外,以冲击器处于垂直状态建立动力学模型。 3.1 回程上行阶段

此阶段为冲锤在压差作用下克服自身重力和 摩擦阻力作用加速上行阶段。以冲锤从行程最下 端离开铁砧为起点、以冲锤上行至与活阀相接触 为终点。

3.1.1 受力分析

冲击器在该运动阶段,以冲锤为研究对象,其受 力分析图如图2所示(石克宽,1981):





则分析每个力的作用大小为:

$$G = m_c g \tag{8}$$

(2)冲锤上腔的工作压力 *P*<sub>1</sub>,依据伯努利方程 可以求得:

$$P_{1} = P_{2} + \rho g(z_{2} - z_{1}) + \frac{\rho}{2}(v_{2}^{2} - v_{1}^{2}) + \rho g h'_{w}$$
(9)

(3)冲锤下腔的工作压力 P<sub>2</sub>,由于节流孔产生的压力差,回程上行阶段下腔压力应为:

$$P_2 = \Delta P_j + P_b \tag{10}$$

$$F_s = C_s \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \tag{11}$$

式中: $C_s$  - 流体阻力系数。

3.1.2 根据受力分析,建立冲锤在此阶段的加速度 方程(x轴向上为正方向)

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{P_2(A_2 - A_4) - P_1(A_5 - A_4)}{m_c} - g \quad (12)$$



4 数值模拟程序的开发

数值模拟程序以冲锤运动方程为计算主体,基于有限差分原理(如图5所示)进行迭代计算。以



图 5 有限差分原理图



速度、位移等于零为初始条件;以冲锤的位移大小来 判断冲锤所处哪个运动阶段;以冲锤的速度方向来 判断液动冲击器是否正常工作,不是正常状态则立 即终止计算程序。

利用 MATLAB GUI 模块进行数值模拟程序设 计和编写(Hugo et al.,2013),设计的界面如图 6、7 所示。计算机数值模拟技术应用于液动冲击器的研 究会极大地缩短冲击器的优化设计周期。但是在冲 击器实际工作过程中,流体流动状态变化复杂,许多 相关系数需要实验确定,且理论与实际存在差异,数 值模拟程序相关系数大多是经验系数值,这必然会 导致程序结果存在一定计算误差。因此用液动冲击 器实验数据对数值模拟程序的部分系数进行拟合修 正是非常有必要的。

冲击频率和冲击功是衡量冲击器输出性能的重

要参数,但受限于实验平台,本次实验只能准确测量 冲击频率和泵压,所以在拟合修正的时候只采用了 泵压和冲击频率的实测数据。

在室内试验时,利用室内钻机搭建试验平台,保 持其他水利参数和结构参数不变,通过改变阀程、自 由程和流量利用钻机自带的仪表盘获取输入流量和 泵压。另外,用录音笔获取冲击器的工作音频,利用 Adobe Audition 软件得到工作音频的波形图,从而得 到周期和冲击频率。

用室内实验得到的结果来修正所编写的数值模 拟程序。结果如表1,泵压和冲击频率平均相对误 差只有 12% 和 6%。当泵量为 100~120L/min 时, 拟合修正后的程序输出的结果基本与该型液动冲击 器在实际工况下的输出性能一致。

泵量小时误差较大的原因是在于此时冲锤虽能够回程与活阀接触,但上升速度较低,与活阀接触关闭时不能造成较强的水击压力,而程序仍按产生的最大水击压力来计算,造成泵压及冲击频率相对误差较大;当泵量较大时,阀和锤就可以形成瞬间关闭,数值模拟程序计算的水击压力与实际相接近,所以相对误差较小。



Fig. 6 Input interface of program



	表1	实测值	与计算值的	对出	5	
able 1	Comparison	between	measured	and	calculated	results

泵量 L/min	阀程	自由行程		泵压(MPa)			冲击频率(Hz	)
	mm	mm	实测值	计算值	相对误差/%	实测值	计算值	相对误差/%
70	15	3	0.2	0.27	35.0	1.70	1.41	16.5
80	15	3	0.3	0.37	23.3	3.37	2.84	15.7
90	15	3	0.4	0.47	17.5	4.00	3.94	1.5
95	15	3	0.5	0.53	6.0	4.45	4.51	1.3
100	15	3	0.5	0.58	16.0	5.14	5.04	1.9
100	11	4	0.5	0.59	18.0	6.20	5.90	4.8
100	15	4	0.5	0.58	16.0	5.05	4.81	4.8
105	15	3	0.6	0.64	6.7	5.36	5.56	3.7
110	15	3	0.7	0.72	2.9	6.14	6.06	1.3
120	11	4	0.8	0.83	3.7	8.80	8.08	8.2
120	15	4	0.8	0.82	2.5	7.00	6.67	4.7
140	11	4	1.0	1.08	8.0	10.30	9.88	4.1
140	15	4	1.0	1.07	7.0	9.00	8.25	8.3

#### 5 背压研究

液动冲击器在孔底工作时,在研究分析背压的 作用形式和冲击器的工作环境后认为深孔背压是由 冲击器外管与冲锤之间液流产生的(如图8所示), 主要由三部分组成:液柱压力、循环压力和波动压力 (谢文卫,2010)。其中液柱压力主要与井深和钻井 液密度有关;循环压力主要与钻井液流量、钻井液流 变性等有关;波动压力是因为冲击器在各个工作阶 段里液体通道打开和关闭而引起液体压力变化产生 的,这个压力对冲锤的加速度有重要影响。所以随 着钻孔深度的不断加深,冲击器在孔底工作时所受 的背压也会不断增加。



Fig. 8 Liquid generated by back - pressure

深孔高背压客观存在,它会严重影响冲击器工 作的稳定性,往往会导致冲击器不能正常工作。为 探究背压对冲击器输出性能的影响规律,将背压的 大小确定在0~10.0MPa之间,通过数值模拟程序 计算得到不同背压条件下冲击器各个性能参数的输 出量,如图9所示。

从图9中可以得出,随着背压的不断增加,冲击频率、冲锤末速度、冲击功和能量利用率都呈减小的趋势,其中能量利用率下降非常快速,充分说明背压会严重影响冲击器的输出性能。从试验结果可以看出,当背压值超过 6MPa 时,冲击器的输出性能较差,冲击功不超过 11J,频率 5.8Hz,能量利用率 很低。

深孔背压对冲击器内流体压力分布影响较大,

冲击器内各端面压力都会随着背压的升高而升高。 在冲锤的上端面始终有背压的作用,随着背压值升 高,冲锤上端面面积一定时,冲锤抬锤的阻力就越 大,冲锤起振越困难;在冲锤下行阶段,随着背压值 升高,冲锤下腔的阻力会变大,导致冲击末速度、冲 击功和能量利用率都会降低。通过程序计算冲锤上 行和下行时间可知,随着背压值得升高,冲锤上行时 间会变长,但下行时间会变短,整体时间会变长,所 以冲击频率会降低,但变化幅度较小。

对于差动式液动冲击器,其活阀和冲锤运动时 一定会受到被背压的影响,为了保证冲击器正常工 作,我们可以采取一些措施来降低背压的作用,主要 有:(1)适当增大活阀和冲锤的有效面积差;(2)减 小节流孔的直径或减少节流孔的个数。



## 图9 背压对冲击器输出性能的影响

Fig. 9 Influence of backpressure on the output performance of hammer

#### 6 结论

(1)建立了双差动双作用液动冲击器阀锤系统 在三个运动阶段的动力方程;基于有限差分原理,利 用 MATLAB GUI 进行程序编写,建立了数值模拟程 序;利用冲击器实验实测数据对数值模拟程序内的相 关参数进行拟合修正,泵压的平均误差为12.5%,冲 击频率的平均误差只有5.9%,说明拟合修正后的数 值模拟程序基本与该型液动冲击器的实际工作情况 吻合。

(2)阐述了背压的组成;利用建立的程序探究 了背压对差动式双作用液动冲击器输出性能的影响 规律并分析了原因,提出了两个建议用于降低背压 对输出性能的影响。

#### [References]

- Cao Xin-zhi, Zhang Wang-sheng, Sun Hua-shan. 2009. Progress in the study of deep exploration in China[J]. Geological Science and Technology Information, 28(2):104 – 109(in Chinese with English abstract)
- Deng Yan-hong, Wang Jun, Liu Yan, Luo Guan-jun. 2013 Deep prospecting drilling characteristics and technical research[J]. Science & Technology Information, 23(2):85-86(in Chinese)
- Finger J T. 1984. Investigation of percussion drills for geothermal applications[J]. Journal of Petroleum Technology, 36(12): 2128 – 2136
- Hugo G E, Daniel A J, Sean K, Andrew W. 2013. Sports monitoring data and video interface using a GUI auto generation Matlab tool [J]. Procedia Engineering, 60:243-248
- Jian Zhi-jun, Zhang Yu-lin, Wang Mao-sen, Dai Shu-lin. 2003. The new development of percussion – rotary drilling technique[J]. Geology and Exploration, 39(3):78 – 83(in Chinese with English abstract)
- Lu Chun-hua, Jiang Guo-sheng, Yan Tai-ning, Lu Hong-zhi. 2010. Study on the working mechanism of new type electromagnetic down – hole impactor[J]. Geology and Exploration, 46(1):137 – 141(in Chinese with English abstract)
- Li Yan-ming. 2011. Application of impact rotary drilling technology in superhard rock[J]. Coal Mine Machinery, 32(3):210 212(in Chinese with English abstract)
- Lu Yu-bei. 2014 An experiment of hydro hammer and wire line coring drilling in complex formations of the Xiaoqinling area [J]. Geology and Exploration, 50(2):391 – 396 (in Chinese with English abstract)
- Melih I. 2012. ANN and ANFIS performance prediction models for hydraulic impact hammers [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 27(1):23 – 29
- Pratt C A. 1989. Modifications to and experience with air percussion drilling[J]. SPE Drilling Engineering, 4(4): 315 – 320
- Riedelmeier S, Becker S, Schlucker E. 2014. Measurements of junction 808

coupling during water hammer in piping systems [J]. Journal of Fluids and Structures, 48: 156 - 168

- Shi Ke-kuang. 1981. Discussion of parameters calculation in hydraulic hammer[J]. Geology and Prospecting, 17(12):63 - 70(in Chinese with English abstract)
- Shi Kui, Li Tian-jun. 2008. Engineering fluid mechanics [M]. Beijing: Chemical Industry Press:41 - 42(in Chinese)
- Su Chang-shou. 2002. The present situation of hydraulic hammer andseveral problems in oil drilling[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), (6):30-31(in Chinese)
- Wang Ren-jie, Jiang Rong-qing, Han Jun-zhi. 1988. Hydraulic impact rotary drilling[M]. Beijing: Geological Publishing House:2-3(in Chinese)
- Whiteley M C, England W P. 1985. Air drilling operations improved by percussion bit/hammer tool tandem[A] in New Orleans, Louisiana. SPE/IADC Drilling Conference [C] Society of Petroleum Engineers:61-64
- Wu Shu-liang. 2015. Discussion on the drilling characteristics and technology of deep exploration[J]. Shanxi Architecture, 41(1):85 86(in Chinese with English abstract)
- Xie Wen-wei. 2010. Research and application of hydraulic hammer in CCSD[D]. Wuhan: Chinese University of Geoscience: 128 - 129 (in Chinese with English abstract)
- Ye Xiao-ping, Li Bo, Liu Xiao-yang, Pei Wen-qi, Duan Long-chen. 2017. Numerical simulation analysis and research of regularity between structure parameters and output performance in differential double – acting hydraulic hammer [J]. Geological Science and Technology Information, 36(1):219 – 225(in Chinese with English abstract)
- Zhai Yu-sheng, Deng Jun, Wang Jian-ping, Peng Lun-ming. 2004. Researches on Deep Ore Prospecting[J]. Mineral Deposits, 23(02): 142 - 149(in Chinese with English abstract)
- Zhang Fei, Xiong Hu-lin, Zhang Jian, Wu, Xin. 2017. Application of the drilling tool with energy – storage – type rope coring hydro hammer[J]. Geology and Exploration, 53 (6):1188 – 1196 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Yong-qin. 2007. Discussion on increasing comprehensive geological – prospecting drilling benefit measures in china [J]. Geology and Prospecting, 43(6):107 – 111(in Chinese with English abstract)
- Zhao Hua-xuan, Wang Yu-jun, Chen Tao, Chen Hao, Sun Ning, Wang Hu. 2016. Application of air DTH hammer drilling technology to deep geothermal wells in clastic rock strata in Guizhou Province[J]. Geology and Exploration, 52(5):942-949(in Chinese with English abstract) [附中文参考文献]
- 曹新志,张旺生,孙华山. 2009. 我国深部找矿研究进展综述[J]. 地 质科技情报, 28(2):104-109
- 邓燕红,汪 俊,刘 彦,罗关俊. 2013. 深部探矿钻探特点及技术 研究[J]. 科技资讯, (32):85-86

- 菅志军,张玉霖,王茂森,戴树林. 2003. 冲击旋转钻进技术新发展[J]. 地质与勘探, 39(03):78-83
- 卢春华,蒋国盛,鄢泰宁,陆洪智. 2010. 新型电磁式孔底冲击器工 作机理研究[J]. 地质与勘探, 46(1):137-141
- 李彦明. 2011. 冲击 回转钻进工艺在超硬岩层中的应用[J]. 煤矿 机械, 32(03):210-212
- 卢予北. 2014. 小秦岭复杂地层液动锤绳索取心钻探试验研究[J]. 地质与勘探, 50 (2):391-396
- 石克宽. 1981. 液动冲击器参数计算的探讨[J]. 地质与勘探, (12):63-70
- 石 奎,李田军. 2008. 工程流体力学[M]. 北京: 化学工业出版 社:41-42
- 苏长寿. 2002. 液动潜孔锤的现状及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),(06):30-31
- 王人杰,蒋荣庆,韩军智. 1988. 液动冲击回转钻探[M].北京:地质 出版社:2-3

- 吴书亮. 2015. 谈深部探矿钻探特点及技术[J]. 山西建筑, 41(1): 88-89
- 谢文卫. 2010. 大陆科学钻探液动锤深孔应用研究与实践[D]. 武 汉:中国地质大学(武汉):1-161
- 叶晓平,李 博,刘晓阳,裴文奇,段隆臣. 2017. 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,36(1):219-225
- 翟裕生,邓 军,王建平,彭润民,刘家军,杨立强, 2004. 深部找矿 研究问题[J]. 矿床地质, 23(2):142 - 149
- 张 飞,熊虎林,张 建,巫 新. 2017. 蓄能式绳索取心液动潜孔 锤的应用研究[J]. 地质与勘探, 53(6):1188-1196
- 张永勤. 2007. 论提高我国地质找矿钻探综合效益的措施[J]. 地质 与勘探, 43(6):107-111
- 赵华宣,王玉军,陈 涛,陈 浩,苏 宁,王虎. 2016. 贵州碎屑岩 层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J]. 地质与勘探, 52(5):942-949

#### Research and Application of Differential Double - Acting Hydraulic Hammer Dynamics Equations

YE Xiao-ping<sup>1,3</sup>, LI Bo<sup>2</sup>, LIU Xiao-yang<sup>2</sup>, GAO Hui<sup>1</sup>, DUAN Long-chen<sup>1</sup>
(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;
2. CNNC Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029;
3. Zhejiang Huadong Construction Engieering Co., Lto, Hangzhou, Zhejiang 310014)

Abstract: In order to research double – acting hydraulic hammer, this paper established its numerical simulation program to provide theoretical support for subsequent structure optimization. It established hammer's mechanical model in three different periods based on the continuity equation of fluid, water hammer effect, water resistance, Bernoulli equation and the pressure loss law. In addition, dynamic equation of hammer and valve were set up in each period. What's more, a numerical simulation program of this hydraulic hammer was built based on finite difference method and the hammer's mathematical model by using MATLAB GUI program. This program was similar to the actual working of hydraulic hammer after fitted and amended with experiment data. In addition, this paper expounds the composition of back pressure and explores the influence regularity of backpressure on the output performance of hammer by using the established program.

Key words: hydraulic hammer, differential, numerical simulation program, backpressure, regularity

