

射流冲击器性能参数的实用计算公式^①

张 平 占

(中国矿业大学)

摘 要

利用所提出的射流冲击器性能参数实用计算公式, 能据泵压及泵量变化准确地预测和控制冲击器的工作参数, 以克服凭经验打钻的弊端。其精度优于阿里莫夫公式。

关键词: 射流冲击器 结构系数 性能参数 实用公式

冲击器是冲击回转钻探的核心机具, 其性能参数包括冲击频率、单次冲击能、冲击功率、冲击器效率。现阶段一般用直接测试法和计算法获取这些参数。其中测试法需有专门的测试仪器和设备, 不利于野外实用; 计算法不需专门仪器即能算出冲击器在工作中的性能参数, 且能用以控制参数的量值和克服凭经验打钻的盲目性, 为野外工作者所欢迎。

目前, 我国虽有独创的液动射流冲击器投入使用, 但计算方面仍然沿用阿里莫夫公式^[1], 该式主要适用于气动冲击器, 借用于液动冲击器时, 计算误差大而且麻烦, 不易为现场所接受。为此, 笔者导出了一套简单实用的计算公式, 以适应生产和科研需要。

1 基本函数关系式

1.1 射流冲击器工作原理

射流冲击器以高压液流为动力, 通过双稳射流元件产生附壁效应, 并在结构上通过液流反馈通道, 保证液流交替地改变附壁方向并使相应的高压液流交替分配到活塞缸的上、下腔, 迫使活塞完成冲程和回程动作。如图1所示。

示。

1.2 基本假设

为简化计, 提出以下基本假设。(1) 忽略摩擦及冲锤质量对冲、回程的影响;(2) 认为活塞缸上、下腔的压力差趋于恒值, 且等于泵压 p ;(3) 忽略射流附壁换向时的切换时间;(4) 认为活塞在冲程和回程中均作初速度为零的匀加速运动;(5) 推导中以清水为冲洗介质。

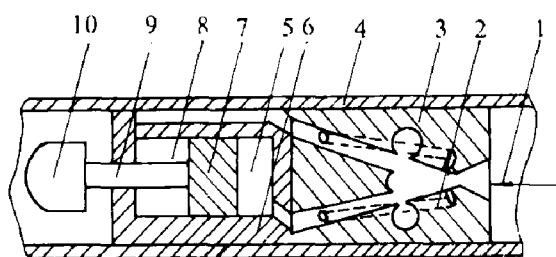


图1 射流式冲击器工作原理

1—高压液流; 2—反馈通道; 3—射流元件;
4—冲击器外壳; 5—上腔; 6—活塞缸; 7—
活塞; 8—下腔; 9—活塞杆; 10—冲锤

1.3 基本函数关系

设活塞大端直径为 D m; 活塞杆径为 d m; 冲锤质量为 m kg; 冲锤冲程为 s m; 泵压为

p Pa; 泵量为 $Q \text{ m}^3/\text{s}$ 。则:

$$\text{冲程时活塞受力(N)} \quad F_1 = \pi D^2 p / 4 \quad (1)$$

$$\text{回程时活塞受力(N)} \quad F_2 = \pi(D^2 - d^2)p / 4 \quad (2)$$

$$\text{冲程加速度(m/s}^2\text{)} \quad a_1 = F_1 / m \quad (3)$$

$$\text{回程加速度(m/s}^2\text{)} \quad a_1 = F_2 / m \quad (4)$$

$$\text{冲程时间(s)} \quad t_1 = \sqrt{2s / a_1} \quad (5)$$

$$\text{回程时间(s)} \quad t_2 = \sqrt{2s / a_2} \quad (6)$$

$$\text{冲击周期(s)} \quad T = t_1 + t_2 \quad (7)$$

将(6)~(1)式依次代入(7)式得

$$\text{冲击周期(s)} \quad T = \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}} \sqrt{\frac{8ms}{\pi}} \right) \frac{1}{\sqrt{p}} \quad (8)$$

冲击频率(Hz)

$$f = \left[\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}} \right)^{-1} \sqrt{\frac{\pi}{8ms}} \right] \sqrt{p} \quad (9)$$

冲程末速度(m/s)

$$v = \sqrt{2a_1 s} \quad (10)$$

单次冲击能(J)

$$A = mv^2 / 2 = \pi D^2 sp / 4 \quad (11)$$

冲击功率(W)

$$N = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{\pi sp^3}{8m}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}}} \quad (12)$$

冲击器效率

$$\eta = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{\pi sp}{8mQ^2}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}}} \quad (13)$$

(9)~(13)式即冲击频率、单次冲击能、冲击功率及冲击器效率的基本函数关系式。由于这些公式的推导基于一系列理想假设,不能直接用于实际计算。但是它们反映了这些参数与其影响因素之间的函数关系,这种基本关系确是正确的。下面的实用公式的推导正是利用了这一点。

2 实用计算式

2.1 冲击频率

影响冲击频率的因素虽多,但可归纳为二类:

第一类为冲击器结构因素,如 D 、 d 、 m 、 s , 系统摩擦阻力, 系统结构匹配, 射流元件结构与尺寸及由此形成的射流切换速度等。冲击器的结构一定, 它们对冲击频率的影响也就一定, 并可用“结构系数” k 来表示。

第二类为工艺因素, 主要是泵压 p , 泵量 Q , 冲洗液密度、粘度及其它流变参数。这类因素关系冲击器的使用条件及所处的工作状态, 是可变的。

根据以上分类, 简化(9)式可得冲击频率与结构和工艺因素之间的简单实用关系式

$$F = k\sqrt{p} \quad (14)$$

式中 k 值可据最小二乘原理按以下方法求得:

1. 于冲击器出厂前, 在试验台上选定 i 个不同泵压, 分别测得相应的冲击频率 f_i , 制成表 1。

表 1 冲击器的 p - f 试验结果表

试验序号 i	1	2	...	i	...	n	Σ
试验泵压 p_i / MPa	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n	$\sum_{i=1}^n p_i$
实测频率 f_i	f_1	f_2	...	f_i	...	f_n	$\sum_{i=1}^n f_i$
$f_i \sqrt{p_i}$	$f_1 \sqrt{p_1}$	$f_2 \sqrt{p_2}$	...	$f_i \sqrt{p_i}$	...	$f_n \sqrt{p_n}$	$\sum_{i=1}^n f_i \sqrt{p_i}$

2. 令计算的频率值 $k\sqrt{p_i}$ 与实测的频率值 f_i 的偏差平方和为最小。即

$$\delta = \sum_{i=1}^n (f_i - k\sqrt{p_i})^2$$

为最小值,使公式 $f = k\sqrt{p}$ 具有最高精度。显然, δ 可以看成是 k 的二次函数, 于是, 令 $d\delta/dk = 0$, 得

$$\frac{d\delta}{dk} = -2 \sum_{i=1}^n (f_i - k\sqrt{p_i})\sqrt{p_i} = 0$$

$$\text{整理得 } k = (\sum_{i=1}^n f_i \sqrt{p_i}) / \sum_{i=1}^n p_i \quad (15)$$

(15)式的 f_i 及 p_i 均为实测值, 因此, k 值可求。

经检验, (14)式的计算结果与实测值^[4]之间的相对误差不超过 7.5%, 而国内推荐采用

的阿里莫夫公式的相应误差超过或接近 50%。见表 2。

从表 2 看出, 本实例中, 该射流冲击器的频率公式为: $f = 9.960\sqrt{p}$, 拟合度好, 相对误差率小于 8%。而阿里莫夫公式主要用于气动冲击器, 因此, 在液动冲击器中使用误差较大, 而且公式形式复杂。

2.2 单次冲击能

同上, 也将影响冲击能的因素分为结构因素和工艺因素两类, 从而将(11)式简化成如下形式

$$A = k_A p \quad (16)$$

式中 k_A 是影响冲击能结构因素的总体, 或称冲击能结构系数。也可用试验及最小二乘原理求得, 见表 3。

表 2 本文公式与阿里莫夫公式的计算结果与比较

试 验 号 (i)	1	2	3	4	5	6	7	备 注
试验泵压 p_i / MPa	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
实测频 f_i / Hz ^[4]	10.0	12.2	15.0	16.2	17.1	17.3	20.3	
阿里莫夫 计算频率 f_i / Hz	16.6	20.5	23.4	26.2	28.7	31.0	33.1	
公式* 相对误差 / %	66.0	66.3	56.0	61.7	67.8	79.1	63.1	
本文公式 计算频率 f_i / Hz	10.0	12.2	14.1	15.8	17.3	18.6	19.9	求得公式
相对误差 / %	0	0	6.0	2.6	1.2	7.5	2.0	$f = 9.96\sqrt{p}$

* $f = 60^{-1} k_f \sqrt{PF_1 / 2sm}$ Hz, 计算时取 $F_1 = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, $m = 20 \text{ kg}$, $s = 0.024 \text{ m}$, $k_f = 22$

表 3 求解 k_A 的数据表

试验序号(i)	1	2	...	i	...	n	累加 Σ
试验泵压 p_i / MPa	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n	/
实测冲击能 A_i / J	A_1	A_2	...	A_i	...	A_n	/
p_i^2	p_1^2	p_2^2	...	p_i^2	...	p_n^2	$\sum_{i=1}^n p_i^2$
$A_i p_i$	$A_1 p_1$	$A_2 p_2$	...	$A_i p_i$	...	$A_n p_n$	$\sum_{i=1}^n A_i p_i$

表 4 列表法求解 k_n 的数据表

试验号 (i)	1	2	...	i	...	n	累加 Σ
试验泵压 p_i / MPa	p_1	p_2	...	p_i	...	p_n	/
实测频率 f_i / Hz	f_1	f_2	...	f_i	...	f_n	/
实测冲击能 A_i / J	A_1	A_2	...	A_i	...	A_n	/
冲击功率 $N_i = f_i A_i$	N_1	N_2	...	N_i	...	N_n	/
p_i^3	p_1^3	p_2^3	...	p_i^3	...	p_n^3	$\sum_{i=1}^n p_i^3$
$N_i \sqrt{p_i^3}$	$N_1 \sqrt{p_1^3}$	$N_2 \sqrt{p_2^3}$	...	$N_i \sqrt{p_i^3}$	...	$N_n \sqrt{p_n^3}$	$\sum_{i=1}^n N_i \sqrt{p_i^3}$

$$k_A = (\sum_{i=1}^n A_i p_i) / \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (17)$$

(17)式的 A_i 、 p_i 均为实测值,故 k_A 可求,冲击能 $A = k_A p$ 也可确定。

2.3 冲击器功率

如前,将影响冲击功率的因素分为结构因素和工艺因素后,由(12)式简化得

$$N = k_N \sqrt{p^3} \quad (18)$$

式中 k_N 称为冲击功率的结构系数,它包含影响冲击功率的全部结构因素。鉴于 $N = fA$, 取某一泵压 p_i 下的实测 f_i 及 A_i 的乘积为这一泵压下的功率 N_i 并制成表 4 便可按(19)式求得该系数。

$$k_N = (\sum_{i=1}^n N_i \sqrt{p_i^3}) / \sum_{i=1}^n p_i^3 \quad (19)$$

2.4 冲击器效率

同样将影响冲击器效率的因素分为结构因素及工艺因素后,由式(13)可得

$$\eta = k_\eta \sqrt{p} / Q \quad (20)$$

式中 k_η 是与冲击器结构有关的结构系数。但从(20)式可以看出,为提高冲击器效率,宜选用大泵压、小泵量的泥浆泵。亦即,对同一泥浆泵来说,应选用小缸径的高泵压档,以提高冲击器效率。如 BW-250 泥浆泵共有八种泵压泵量匹配,在冲击回转钻探中选择泵压泵量匹配时即应按此原则进行。由此可见,泥浆泵的使用也存在着一个最优工作方式的问题,是今后应注意进一步研究的课题。

3 结 论

(1) 本文提出的实用公式,形式简单,相对误差小于 8%,能满足工程精度要求,优于阿里莫夫公式;

(2) 把影响冲击器工作性能的因素分为结构因素和工艺因素,并提出“结构系数”这一概念,是本文的关键之一;

(3) 通过试验利用最小二乘原理确定结构系数是本文的又一关键所在;

(4) 本文结果可推广到其它双作用冲击器上;

(5) 建议厂家用此方法,得出实用公式标在冲击器上,供生产科研应用,以减少钻探中的盲目性。

本研究历时五年,曾得到张祖培教授及蒋荣庆研究员指导,后经马植侃教授审阅,特此致谢。

参考文献

- 1 蒋荣庆,韩军智,探矿工程,1980,6.
- 2 王人杰,蒋荣庆,韩军智.液动冲击回转钻探,北京:地质出版社,1988.
- 3 刘宗平,冲击凿岩工具及其理论基础,北京:地质出版社,1987.
- 4 蒋荣庆,见:探工论文选集,北京,中国地质学会探工专业委员会,1980.