

液动冲击器参数计算的探讨

石克宽

钻探中常用的冲击器可分为三种类型：

1. 正作用冲击器 其工作原理为液能推动冲锤完成工作冲程，弹簧复位。如图1所示，工作冲程开始，阀(1)关闭冲锤(2)的中间通道，高压液流连同阀一起将冲锤加速冲下，一部分能量压缩弹簧(3)，以作返回行程的动力。当冲锤达到冲击前约5毫米时，阀(1)被限位，锤(2)的中间通道被打开，压力迅速下降，此时锤在惯性作用下向铁砧(4)冲击。因此工作冲程可分为两个阶段：阀打开前为快速行程阶段，时间约为0.008~0.014秒，占往复一次时间的20%~25%〔1〕。当阀(1)打开锤(2)的通道到冲击铁砧，是自由行程阶段。在此阶段到最后冲击

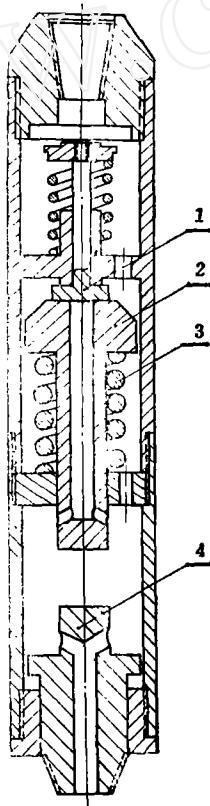


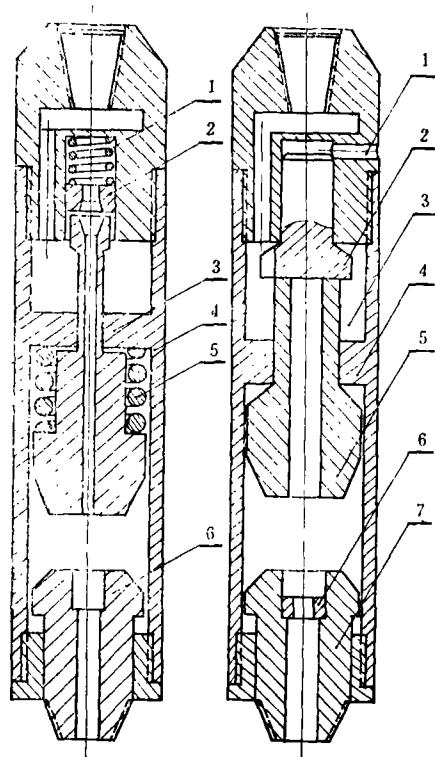
图1 正作用冲击器

时，锤的末速度损失约6~15%。即冲击的末速度为快速行程末速度的94~85%。（指自由行程为5毫米左右）〔1〕。自由行程的目的是，使阀提前打开迅速降低压力，以便冲击完毕弹簧立即将冲锤复位，避免冲锤在铁砧上停顿，使系统振动稳定，同时也使阀恢复到最上的起始位置。

2. 反作用冲击器 和正作用式相反，工作冲程由弹簧完成，液能复位。如图2a所示，当阀(2)打开冲锤(4)的中间通道后，液压下降，工作冲程开始，冲锤在弹簧(5)的压力下加速下行，冲击铁砧后，阀在阀簧

(1)的作用下迅即向冲锤降落，并紧贴冲锤上端，关闭中间通道，从而返回行程开始，高压液流将冲锤和阀一同提起，直至冲锤(4)的凸肩被间隔(3)挡住，冲锤上行停止，而阀在惯性力及液压力作用下上行（因阀的面积大于冲锤上端面积），中间通道又重新打开，新的工作循环开始。因此，一般来说，该冲击器的工作冲程与液体的压力和流量无关。

3. 双作用冲击器 其工作和返回行程都由液能完成。如图2b所示，工作冲程开始，阀(2)关闭冲锤(5)的中间通道，液压上升，高压液流将冲锤和阀一同加速下行，即快速行程。当阀被支座(4)挡住，中间通道打开，冲锤在惯性作用下继续下行冲击铁砧(7)，此即自由行程。通道打开后压力虽然



a反作用冲击器

b双作用冲击器

图2

迅速下降，但阀顶部的孔道(1)与冲击器的外部低压区相通，室(3)内的液压力仍高于外部低压区，故阀在此压力作用下上行复位。而冲锤冲击以后，首先由冲击波产生的压力使冲锤上升。当此力迅即消失后，则由冲锤(5)的上下面积差所造成的液压差动作用而上升，直至锤与阀的端面紧贴完成返回行程，新的工作循环重新开始。

由冲击波产生的压力根据波动方程求得：

$$P = \rho c u$$

式中： ρ —液体的密度， $\rho = \frac{\gamma}{g}$

γ —液体的比重 1000公斤/米³

g —重力加速度 9.8米/秒²

水的密度 $\rho = 102.8 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$

c —冲击波的速度

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{1 + \omega_1}}$$

c_0 = 液体中的声速 $c_0 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho}}$

E_1 —液体的弹性模量，水的 $E_1 = 2.07 \times 10^4$ 公斤/厘米²

$$\omega_1 = \frac{E_1 d}{E \delta}$$

E —管材的弹性模量，

钢 $E = 2 \times 10^6$ 公斤/厘米²

d —管子内径，厘米

δ —管子壁厚，厘米

冲击波的速度，在管子内径为 $d = 7$ 厘米，壁厚 $\delta = 0.7$ 厘米时 $c \approx 1300$ 米/秒

u —冲击瞬间液体在铁砧通道中的流速，取 $u = 7$ 米/秒，则

$P = \rho c u = 102.8 \times 1300 \times 7 = 93.4$ 公斤/厘米²

所有这几种冲击器中，都会产生这种现象。

在冲锤和铁砧接触的瞬间，两端面间隙中的巨大流速还将产生很大的液压制动作用。据计算^[1]，在端面直径为4厘米，锤速为2.5米/秒，间隙0.1厘米时，间隙中的径向流速达 $V = 250$ 米/秒。因此，为了减少这种阻力，可将锤和铁砧的接触面做成曲面。

冲击器还可按有阀与无阀来分类，在无阀的冲击器中，我国目前研制了双作用的液射液式，具有独特的结构。

钻进工艺对冲击器的要求

1. 冲击频率 一般认为，在一定范围里增加冲击频率，钻进效率提高，但超过一定范围，效率反而下降。因为频率太高，破碎过程来不及发展，岩粉不易排除而造成重复破碎。目前在这个问题上的理论研究还不多。从现有冲击器的统计数据中，冲击频率多在1000~1500次/分之间。

2. 冲击功 冲击功愈大破碎效果愈好，但过大是没有必要的，因此，采用单位体积破碎功。

当前，各国用于地质勘探液动冲击器的冲击功均在1~12公斤·米之间，多数为3~5公斤·米，这个数字与有些资料提供的理论值相差较大。

3. 冲击速度 在冲击载荷作用下，岩石产生的应力与速度成正比。

$$\sigma_{\text{冲}} = E \frac{V}{C}$$

式中：

V —冲击速度

C —岩石中的声速

E —岩石的弹性模数

为了有效的破碎岩石，必须使 $\sigma_{\text{冲}} >$ 岩石的强度极限 σ_b ，因而冲击速度的临界值 V_k 应为

$$V_k \geq \frac{C \sigma_b}{E}$$

岩石的 σ_b 约为 600~3000 公斤/厘米²，临界冲击速度在 1~3 米/秒左右。

据试验资料^[3]，采用 2、4、6、8 米/秒冲击速度进行了冲击试验，当冲击速度增加时，功比耗逐步下降。但是，当冲击速度继续增加时，功比耗增加。当冲击速度达到 6 米/秒时，功比耗最低。

4. 冲锤的形状 在相同冲击功和锤重的条件下，不同形状的冲锤破碎岩石效果差异很大。

据资料^[4]介绍，法国研究人员对三种不同几何形状冲锤的冲击波形进行了测定和

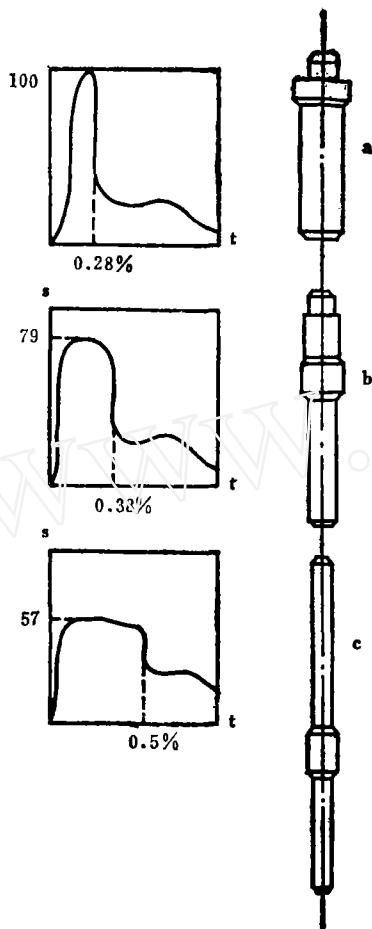


图3 冲锤形状与冲击波形

比较,如图3所示。图中a为短而粗的冲锤,产生振幅大的尖峰波,其峰值作用时间约千分之2.8秒,b则峰值减小成矩形,强度最大值约为a的79%,作用时间延长到千分之3.8秒,c则最大振幅为a的57%,时间延长到千分之5秒。最后一种冲锤的波形,破碎效果最好,因为冲击后的应力波以近似于钢中的声速经过岩芯管,传递给岩石。若其峰值部分的持续时间很短,则经过岩芯管后即已经消失,破碎结果不好。例如,当岩芯管为3米时,冲击波从铁砧到钻头的时间约为0.00214秒,即千分之2.14秒,对于a的波形,其峰值的绝大部分已消耗在岩芯管中。而用于破碎岩石的应力波的强度就很小了。c的波形则还剩3/5留给破碎岩石,显然破碎效果好。

为了得到理想的冲击波形,对冲锤的形状必须进行仔细的计算设计。

5. 冲锤的重量 必须考虑冲击能量传递效率。根据碰撞理论,这一效率与冲击和被冲击体的重量有关:

$$\eta = \frac{G_1 + 0.3G_2}{G_1 + G_2}$$

式中:

G_1 —冲锤重

G_2 —被冲击体重

因此岩芯管的长度应尽可能的短。

6. 使用寿命 由于冲击器工作条件复杂,承受的载荷大,易于疲劳破坏,因此必须采用优质钢材,提高加工精度,以延长使用寿命。

7. 性能稳定可靠 液动冲击器工作性能稳定的标志是有确定的冲击频率和振幅。冲击器这个由外力维持的强迫振动系统,在施加不同外力的条件下,同一冲击器可以实现不同频率(或振幅)的稳定工作状态。冲锤和工作弹簧在系统里是一种储能器,它将施加的能量在周期的断开后释放出来,以维持其振动(冲击)。在阀式冲击器里,阀成为控制能量供应的重要元件,阀在弹簧或液压作用下也为一振动系统,其频率和冲锤相一致,而振幅小于冲锤行程。否则如正作用式,阀振幅减小后将提前关闭流道,冲锤频率增加,冲程缩短直至停止。

阀控制方式分为自动和联动两种,自控阀,锤仅对阀的打开起作用,而阀关闭的极端位置,锤可能有停顿。而联控阀,则锤对阀两者都起作用。

因此,要确保冲击器的稳定性,必须对阀进行计算,其公式可参考以下参数的计算公式。

冲击器参数的计算

以液流为动力的液动冲击器,液流的运动通常是非定常流,即不稳定流动。

冲击器中一般沿管轴的液流,可作为简单的一维流,对于粘性的不可压缩流体如泥浆,其运动方程用一维的纳维—斯托克斯方程,若为清水则用欧拉方程。冲击器中若有径向或斜向的流道,情况非常复杂。工程上没有必要去求解复杂的数学方程,我们需要解决的是冲击器在液流通过后所产生的冲击功和冲击频率等等。即只要知道流动区界面

上的状况，如冲击器入口和出口流体的压力和速度并应用于动量定理就可以求出冲击器的冲击力。

由牛顿运动定律可知，动量的变化等于冲量，即力是动量的时间变化律。对一质点而言其动量为

$$W = mV$$

对刚体的质点系，其动量对时间的变化为作用于其上的外力的总和，即

$$\frac{d}{dt} \sum mV = F$$

从质点系过渡到连续介质的流体时，动量定理表达为：

$$\frac{d}{dt} \int V dm = F$$

流体体积

或者，也可以用空间控制面 k 在单位时间内流过的动量来表示，即

$$\frac{d}{dt} \int V dm = \rho \int_{(k)} V dQ = F$$

流体体积

$$\text{令 } F = G + P + J - RS$$

$$\text{则 } \rho \int_{(k)} V dQ = G + P + J - RS \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{又令 } -J = J'$$

则流体对容器壁的作用力

$$J' = G + P - \rho \int_{(k)} V dQ - RS$$

如图 5 所示，设想冲锤在液能作用下，由虚线位置运动到实线位置，则其动量流量即为虚线 k 到实线 k' 的体积。又设想冲锤底面 L 为容器壁，J 为容器壁对流体的作用力，J' 为流体对器壁的反作用力，其大小相等方向相反，因此对冲锤的作用力即可看成为 J'。G 为重力，也即冲锤的重量，而流体的重量可以略去，P 为液体压力，RS 为弹簧通过冲锤底面对流体的阻力，ρ 为液体的密度，V 为液体的流速，这一速度和冲锤的速度一致，S 为冲程长度，dQ 为微流量，规定流进为负，流出为正，若只流进，则上式右边第三项变为正号。

上式即为应用于冲击器计算的流体动量理论的表达式。

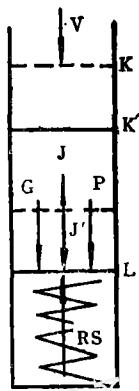


图 4 冲锤受力简图

1. 正作用冲击器参数的计算 在该冲击器的工作冲程中，流体以速度 u 和压力 P 流进而做功，弹簧成为主要的阻力。在快速行程结束、自由行程开始前，如图 5 所设想的冲锤底面（容器壁），没有液体流出。故对冲锤的作用力（1）式可改写为：

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} = G + P + \rho \int_{(k)} u dQ - RS$$

即：

$$S'' = \frac{G + P}{m} + \frac{\rho Q}{m} S' - \frac{R}{m} S$$

$$\text{令： } H_0 = \frac{G + P}{m}$$

$$2h = \frac{\rho Q}{m}$$

$$k^2 = \frac{R}{m}$$

则上式可简化为：

$$S'' - 2hS' + k^2S = H_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

R—弹簧刚度，公斤/毫米

m—冲锤质量， $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{981 \text{厘米}}$

式（2）为二阶非齐次线性微分方程，其一般解由齐次的通解和非齐次的特解组成。

为了求得非齐次的特解，将 H_0 视为： $H_0 = H_0 \sin \omega t$ 的特殊值，即：

$$\sin \omega t = 1 \text{ 的值，因而 } \omega t = \frac{\pi}{2},$$

$$\omega = \frac{\pi}{2t}$$

（2）式的通解为：

$$S = e^{ht} (c_1 \cos Pt + c_2 \sin Pt) \quad \dots\dots (3)$$

（2）式的特解经上述变换后为：

$$S = \frac{H_0}{\sqrt{(k^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}} \quad \dots\dots (4)$$

将 $\omega = \frac{\pi}{2t}$ 代入（4）式并整理得

$$S = \frac{4H_0 t^2}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4 + 16h^2 \pi^2 t^2}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

将（3）+（5）式即为一般解：

$$S = e^{ht} (c_1 \cos Pt + c_2 \sin Pt)$$

$$+ \frac{4H_0 t^2}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4 + 16h^2 \pi^2 t^2}} \dots\dots\dots (6)$$

根据初始条件确定常数 c_1 、 c_2 ，当时 $t=0$ 时冲程 S 和速度 S' 皆为 0，因此将其代入 (6) 式

$$S \Big|_{t=0} = 0 \quad \text{求得 } c_1 = 0,$$

$$S' \Big|_{t=0} = 0 \quad \text{求得 } c_2 = 0,$$

故

$$S = \frac{4H_0 t^2}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4 + 16h^2 \pi^2 t^2}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{由于 } h = \frac{\rho Q}{2m} = \frac{\gamma Q}{2G}$$

在使用清水 $Q = 80 \sim 250$ 升/分 (1333 ~ 4666 厘米³/秒)，冲锤重 $G = 6 \sim 30$ 千克时， $h = 0.0222 \sim 0.347$ 之间，故 $16h^2 \pi^2 t^2$ 可略去。由此可知，流量对冲击器参数的影响很小，但无流量液体压力不能传递，流量不足会形成抽空现象，因此必须使流量满足瞬时最大冲击速度的要求。同时，在式 (2) 中 $2h$ 为负，这意味着流量不是振动系统的阻尼，而是维持振动的因素。在 (7) 式中亦然，如不略去 $16h^2 \pi^2 t^2$ 则应取负值，因 h 中有 Q ，而 Q 流进为负，故 $h^2 \propto -(Q)^2$ ，它符合 h 使振幅增加的物理意义。

将 (7) 式略去 h^2 项，两边平方并整理得：

$$16(H_0^2 - S^2 k^4) t^4 + 8S^2 k^2 \pi^2 t^2 - \pi^4 S^2 = 0$$

$$t_{\text{工}} = \sqrt{\frac{H_0 S \pi^2 - S^2 \pi^2 k^2}{4(H_0^2 - S^2 k^4)}} \dots\dots (8)$$

将 (7) 式微分求得瞬时冲击速度 V

$$V = \frac{8H_0 t}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4} + \frac{128H_0 k^4 t^5 - 32H_0 \pi^2 k^2 t^3}{(16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4)^{2.5}}} \dots\dots\dots (9)$$

考虑冲锤活塞与缸的摩擦损失系数 μ ， μ 在 $0.92 \sim 0.85$ [1] 之间，故式 (7)、(8)、(9) 中的主动力均需乘 μ ，因此最后的表达式为：

$$S = \frac{4H_0 \mu t^2}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4}} \dots\dots\dots (7')$$

$$t_{\text{快}} = \sqrt{\frac{H_0 \mu S_{\text{快}} \pi^2 - S_{\text{快}}^2 \pi^2 k^2}{4[(H_0 \mu)^2 - S_{\text{快}}^2 k^4]}} \dots\dots\dots (8')$$

$$t_{\text{自}} = \sqrt{\frac{H_0' \mu S_{\text{自}} \pi^2 - S_{\text{自}}^2 \pi^2 k^2}{4[(H_0 \mu)^2 - S_{\text{自}}^2 k^4]}} \dots\dots\dots (8'')$$

$$V = \frac{8H_0 \mu t}{\sqrt{16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4} + \frac{128H_0 \mu k^4 t^5 - 32H_0 \mu \pi^2 k^2 t^3}{(16k^4 t^4 - 8\pi^2 k^2 t^2 + \pi^4)^{2.5}}} \dots\dots\dots (9')$$

式中： $t_{\text{快}}$ —快速行程时间

$t_{\text{自}}$ —自由行程时间

H_0' —自由行程时之 H_0 值

$S_{\text{快}}$ —快速行程长

$S_{\text{自}}$ —自由行程长

2. 双作用冲击器的计算 与正作用式不同之处是无弹簧，因此冲锤运动微分方程变为：

$$S'' - 2hS' = H_0 \dots\dots\dots (10)$$

(10) 式与 (2) 式比较，少 $k^2 S$ 项，故其解为：

$$S = \frac{4H_0 \mu t^2}{\pi^2} \dots\dots\dots (11)$$

$$t_{\text{快}} = \sqrt{\frac{\pi^2 S_{\text{快}}}{4H_0 \mu}} \dots\dots\dots (12)$$

$$t_{\text{自}} = \sqrt{\frac{\pi^2 S_{\text{自}}}{4H_0' \mu}} \dots\dots\dots (12')$$

$$t_{\text{返}} = \sqrt{\frac{\pi^2 S_{\text{返}}}{4H_0''}} \dots\dots\dots (12'')$$

式中： $t_{\text{返}}$ —返回行程时间

H_0'' —返回行程之 H_0 值

$S_{\text{返}}$ —快速行程加自由行程

求瞬时速度 V ，由 (10) 式对其一次积

分得:

$$S' = H_0 t + 2hS + c$$

根据初始条件, 当 $t = 0, S' = 0, S = 0$, 故 $c = 0$, 略去 $2hS$

$V = H_0 t$, 将(12)式之 t 代入此式, 求得速度, 并考虑摩擦损失系数:

$$V = \sqrt{\frac{H_0 \mu \pi^2 S}{4}} \dots \dots \dots (13)$$

对正作用冲击器的返回行程时间和速度, 可用双作用的公式计算, 此时取弹簧的平均压缩产生的载荷代入, 并减去冲锤重力的阻力:

$$t_{\text{返}} = \sqrt{\frac{\pi^2 S}{4 \left(\frac{k^2 S \mu}{2} - H_0'' \right)}} \dots \dots \dots (14)$$

$$V_{\text{返}} = \sqrt{\left(\frac{k^2 S \mu}{2} - H_0'' \right) \pi^2 S} \dots \dots \dots (15)$$

3. 反作用冲击器的计算:

$$t_{\text{工}} = \sqrt{\frac{\pi^2 S}{4 \left(\frac{k^2 S}{2} + H_0'' \right) \mu}} \dots \dots \dots (16)$$

$$V = \sqrt{\left(\frac{k^2 S}{2} + H_0'' \right) \mu \pi^2 S} \dots \dots \dots (17)$$

式中: $t_{\text{工}}$ —工作冲程时间

而其返回行程时间和速度则可用正作用式的工作冲程的公式计算, 但 H_0 需减去冲锤重力的阻力。

冲击器的设计步骤

1. 双作用式

(1) 根据钻进工艺要求初定冲击频率、冲击功和冲程 S 。

(2) 取冲回比 $B = \frac{t_{\text{返}}}{t_{\text{快}} + t_{\text{自}}} = 1.3 \sim 1.5$, 根据频率, 初算工作冲程时间 $t_{\text{工}}$, 并求出 $H_0 = \frac{\pi^2 S}{4 t_{\text{工}}^2 \mu}$ 。

(3) 将 H_0 、 S 代入(13)式, 求出冲击速度 V 。

(4) 将已定之冲击功及 V 求出冲锤重 G 。

(5) 将 G 代入 $H_0 = \frac{pf_1 + G}{G} g$ 式中, 求出

$$pf_1 = G \left(\frac{H_0}{g\mu} - 1 \right), pf_2 = G \left(\frac{H_0''}{g\mu} + 1 \right)。$$

(6) 定出冲击器入口处的工作压力 p , 此压力必须将泵的表压力减去钻具中的压力损失, 然后算出工作面积和冲锤上、下面积差 f_2 。

(7) 根据冲击器实际外径, 画出草图, 量出活塞直径, 如计算之 f_1 和 f_2 有差别, 必须调整各参数并重算。

2. 正作用和反作用式

(1) 初定频率、冲击功和冲程。

(2) 根据 $\frac{t_{\text{快}}}{T}$ 约为 20~30%, 初定 $t_{\text{快}}$, $t_{\text{自}}$ 约 0.005 秒, 计算 $t_{\text{返}}$, (T 由频率算出)。

(3) 根据 $t_{\text{返}}$ 及初定的冲锤重 G 算出弹簧刚度, 由(14)式:

$$t_{\text{返}}^2 = \frac{\pi^2 S}{4 \left(\frac{k^2 S \mu}{2} - H_0'' \right)} \text{ 求得:}$$

$$R = \frac{G(\pi^2 S + g t_{\text{返}}^2)}{2gS\mu t_{\text{返}}^2}$$

式中: $H_0'' = g$

(4) 根据冲击功 A 及 G , 求出 V 和 H_0 。

$$V = \sqrt{\frac{2gA}{G}}$$

$$H_0 = \left[\frac{8t_{\text{快}}(16k^4 t_{\text{快}}^4 - 8\pi^2 k^2 t_{\text{快}}^2 + \pi^4)^2 \mu}{V(16k^4 t_{\text{快}}^4 - 8\pi^2 k^2 t_{\text{快}}^2 + \pi^4)^{2.5}} + \frac{(128k^4 t_{\text{快}}^5 - 32\pi^2 k^2 t_{\text{快}}^3) \mu}{V(16k^4 t_{\text{快}}^4 - 8\pi^2 k^2 t_{\text{快}}^2 + \pi^4)^{2.5}} \right]^{-1}$$

(5) 据 H_0 求活塞面积 f , 并确定泵压。

(6) 绘图, 量出活塞冲锤直径算出面积 f , 如不合则调整重算。

反作用式可参照上述步骤, 用式(16)、(17)根据初定之冲击功, 求出 k^2 及弹簧刚度, 再算其他参数。

计算实例

1. $\Gamma-7$ 冲击器的验算。根据资料 [1]、[2]、[4], $\Gamma-7$ 数据如下:
 $G = 11$ 公斤, $S = 30$ 毫米, $S_{\text{自}} = 5$ 毫米,

Q = 100~200升/分, p = 25~35公斤/厘米²,
 A = 6~7公斤·米, n = 1500次/分(频率),
 f₁ = 9厘米², R = 15.3公斤/毫米, μ = 0.85
 计算:

$$H_0 = \frac{pf_1 + G}{G} g = \frac{25 \times 9 + 11}{11} \times 981$$

$$= 21046 \text{厘米/秒}^2$$

$$H_0 \mu = 17889 \text{厘米/秒}^2$$

$$(H_0 \mu)^2 = 320019898 \text{厘米}^2/\text{秒}^4$$

$$k^2 = \frac{R}{m} = \frac{15.3}{11} \times 9810 = 13644/\text{秒}^2$$

$$k^4 = 186158736/\text{秒}^4$$

将以上数据代入(8')计算t_快

$$t_{快} = \sqrt{\frac{17889 \times 2.5 \times \pi^2 - (2.5)^2 \pi^2 \times 13644}{4[320019898 - (2.5)^2 \times 186158736]}}$$

$$= 0.010895 \text{秒}$$

将以上数据代入(9')计算V

$$V = \frac{8 \times 17889 \times 0.01089}{\sqrt{16 \times 186158736 \times (0.01089)^4 - 8\pi^2 \times 13644 \times (0.01089)^2 + \pi^4}}$$

$$+ \frac{128 \times 17889 \times 186158736 \times (0.01089)^5 - 32 \times 17889\pi^2 \times 13644 \times (0.01089)^3}{[16 \times 186158736 \times (0.01089)^4 - 8\pi^2 \times 13644 \times (0.01089)^2 + \pi^4]^{2.5}}$$

$$= 382.94 \text{厘米/秒} \approx 3.83 \text{米/秒}$$

将V乘速度降低系数0.9得V_冲

$$V_{冲} = 3.83 \times 0.9 = 3.45 \text{米/秒}$$

根据V_冲求得冲击力

$$A = \frac{G}{2g} V_{冲}^2 = \frac{11}{2 \times 9.81} \times (3.45)^2$$

$$= 6.6594 \text{公斤·米}$$

计算t_自, 此时由快速行程产生之惯性

力:

$$F_{惯} = ma = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{2S_{快}}$$

$$= \frac{11}{9.81} \times \frac{(3.83)^2}{2 \times 0.025} = 329 \text{公斤}$$

在自由行程阀打开后, 工作压力与阀缝开度如下表⁽¹⁾:

阀开缝高δ与压力降

δ (毫米)	0	1	2	3	4	5	注
p(公斤/厘米 ²)	45.5	9.1	2.3	1.8	1.0	0	流量4公升/秒
p(公斤/厘米 ²)	56.7	12.5	4.2	2.8	1.5	0	流量5公升/秒

因此当S_自 = 5毫米时, 取平均工作压力
 p = 3公斤/厘米²。同时因阀开后, 活塞中间
 通道使工作面积减少, 故此时f' ≈ 6厘米²,
 则

$$\mu H'_0 = \frac{F_{惯} + pf'}{G} g \mu$$

$$= \frac{329 + 3 \times 6}{11} \times 981 \times 0.85$$

$$= 26304 \text{厘米/秒}^2$$

$$(\mu H'_0)^2 = 691909741 \text{厘米}^2/\text{秒}^4$$

代入(8'')式

$$t_{自} = \sqrt{\frac{26304 \times 0.5 \times \pi^2 - (0.5)^2 \pi^2 \times 13644}{4[691909741 - (0.5)^2 \times 186158736]}}$$

$$= 0.0061 \text{秒}$$

代入(14)式

$$t_{返} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 3}{4 \left(\frac{13644 \times 3 \times 0.85}{2} - 981 \right)}}$$

$$= 0.0212 \text{秒}$$

$$T = t_{快} + t_{自} + t_{返}$$

$$= 0.010895 + 0.0061 + 0.0212$$

$$= 0.038195 \text{秒}$$

$$n = \frac{60}{T} = 1570 \text{次/分}$$

2. 我国设计的Ye-2型双作用式冲击器的
 验算: 根据资料[2]Ye-2数据如下:

G = 30公斤, S = 17毫米, S_自 = 2毫米,
 Q = 180~200升/分, p = 20公斤/厘米²,
 A = 6~7公斤·米, n = 1000次/分以上,

计算值和实际值对照表

型号	数值	指标			
		频率(次/分)	冲击功(公斤·米)	冲击速度(米/秒)	冲回比
Г-7	计算值	1570	6.6594	3.45	1.2476
	实际值	1500	5~7	/	/
Y.-2	计算值	1059	6.36	2.04	1.414
	实际值	1000	6~7	/	/

$f_1 = 19.6 \text{厘米}^2$, $f_2 = 8.63 \text{厘米}^2$, $f' \approx 17.36 \text{厘米}^2$ (自由行程时减去中间通道面积),
 $S_{快} = 15 \text{毫米}$, $\mu = 0.85$

计算各值:

$$H_0 = \frac{p f_1 + G}{G} \times g = \frac{20 \times 19.6 + 30}{30} \times 981$$

$$= 13799 \text{厘米/秒}^2$$

由(12)式: $t_{快} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 1.5}{4 \times 13799 \times 0.85}}$

$$= 0.0178 \text{秒}$$

由(13)式:

$$V = \sqrt{\frac{13799 \times \pi^2 \times 1.5 \times 0.85}{4}}$$

$$= 2.08 \text{米/秒}$$

$V_{冲} = V \times 0.98 = 2.04 \text{米/秒}$ (因 $S_{自}$ 很短, 故速度降低系数取0.98)

$$A = \frac{30}{2 \times 9.81} \times (2.04)^2 = 6.36 \text{公斤} \cdot \text{米}$$

计算 $t_{自}$: 由(12')式:

$$F_{惯} = \frac{30}{9.81} \times \frac{(2.08)^2}{2 \times 0.015} = 440.9 \text{公斤}$$

$$H'_0 = \frac{(440.9 + 5 \times 17.35)}{30} \times 981$$

$$= 17254 \text{厘米/秒}^2$$

(p' 为阀开后的平均压力, 由于 $S_{自} = 2 \text{毫米}$, 故 p' 取5公斤/厘米²)

$$t_{自} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 0.2}{4 \times 17254 \times 0.85}} = 0.00566 \text{秒}$$

求 $t_{返}$, 由(12'')式

$$H''_0 = \frac{(p f_2 \mu - G)}{G} \times g$$

$$= \frac{(20 \times 8.63 \times 0.85 - 30)}{30} \times 981$$

$$= 3816 \text{厘米/秒}^2$$

由(12'')式: $t_{返} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 1.7}{4 \times 3816}}$

$$= 0.03315 \text{秒}$$

(H''_0 式中 G 是阻力, 故不乘 μ)

$$T = t_{快} + t_{自} + t_{返} = 0.0178 + 0.00566 + 0.03315 = 0.05661 \text{秒}$$

$$n = \frac{60}{T} = 1059 \text{次/分}$$

从上表中可见验算数据与实际值相差较小, 说明公式基本正确, 可用于设计计算。但有些系数还必须作一些测试与修正, 使计算更趋精确。

参考文献

- (1) Ясов В. Г. Теория и Расчет Рабочих Процессов Гидроударных Буровых машин, Москва НЕДРА, 1977
- (2) 长春地质学院探工教研室, 液动冲击回转钻进技术, 1979
- (3) 长沙矿山研究院, 长沙矿山研究院试验资料
- (4) 长沙矿山研究院, 国外液压凿岩机图册

φ 75 × 60 质量 钻具

张 忠 永

为完成凤太矿田的深部评价工作, 我队组织了六台钻机在该矿区进行钻探施工。在施工中, 存在的主要技术问题是岩(矿)芯

采取率不足。因为该矿区钻探工程中80%的岩层系片理发育、易破碎和遇水剥落的千枚岩。为了解决这一问题, 我们先后使用了