



液动冲击器

结构和性能参数的分析

蒋荣庆 张祖培

(长春地质学院 钻探教研室)

冲击回转钻进技术包括冲击器的设计、钻头、钻探设备和附属工具的选择,以及钻进工艺的确定等等,而冲击器是其关键。那么在实际工作中究竟应该怎样设计和评价一个冲击器?冲击器的主要性能参数有哪些?应该如何确定呢?下面我们将根据几年来研制工作的体会和有关文献资料,对上述内容作一简要介绍,供有关技术人员参考。

一、冲击器的类型及其比较

大家知道,目前各国用于冲击回转钻进的冲击器有液动、气动和机械的三种,在地质钻探中,我们认为采用液动冲击器比较适宜,各国在这方面所做的工作也较多。风动冲击器目前多用于矿山、水井、工程施工以及一些浅孔钻探,随着空气井洗工艺的完善,也将逐步用于地质钻探工程。至于机械式冲击器,由于其工作参数暂不能满足要求,尚处于探索阶段。

液动冲击器是以泥浆泵输送的高压液流作动力源的,其结构型式很多,大致分阀式和射流式两种,主要类型的技术性能见73页表。

根据有关理论和实际试验可以知道,评价一个冲击器,主要是看它破碎岩石的效果

和钻具的使用寿命。具体讲,应从以下几方面加以分析对比:

(一) 冲击器的工作效率

冲击器效率的高低,反映了系统中的能量利用率。冲击器系统中造成能量损失的因素很多,主要有以下几方面:

1. 液流换向的能力损失 由于液流换向时的惯性、流速变化和随之出现的水击现象,都会导致大量能量损失,这种损失在阀式冲击器中表现比较突出。

2. 管路中的能量损失 液流在管路中的沿程压力损失与通道长度、液流速度的平方成正比,和通道面积成反比。此外液流的局部能量损失也是绝对不可忽视的部分。

3. 液体的泄漏 冲击器都有一个高压作用区和低压作用区,也都有一些运动部件,这样高压区液体的漏失就是难以避免的,而漏失必然导致能量损失。

4. 运动件的摩擦损失 冲击器中的阀和导向套、活塞与缸壁、活塞杆与压盖之间的摩擦以及冲锤与液体之间的摩擦都要损耗部分能量。

5. 背压消耗的能量 冲击器回水系统的各种阻力,往往使钻具冲锤产生很大背压,从而抵消掉一部分工作压力,损耗部分能量。

国内外主要液动冲击器的技术性能表

国别	钻具名称 或型号	外径 (毫米)	孔径 直径 (毫米)	长度 (毫米)	全重 (公斤)	冲击锤 重量 (公斤)	缸径 (毫米)	冲程 (毫米)	锤程 (毫米)	袋行 行程 (毫米)	冲程 (毫米)	由行程 锤重 (毫米)	介 质	泵量 升/分	泵压力降 公斤 厘米 ²	冲击功 公斤·米	冲击频率 次/分	零件数 个	使用寿命 小时	有 弹 簧	备 注
苏联	Г-3A	90	96.115	3650	150	50	60	20	15	5	5		水	300	12-15	7-8	1100	39	300	2个弹簧	正作用
苏联	Г-5A		115		150											7-8	1100			2个弹簧	正作用
苏联	Г-7	70	76	1965	45			30	15	5			水	100-200	25-35	5-7	1500	35		2个弹簧	正作用
苏联	Г-8	85	93	2500	100								水、泥浆	150-200		7-8	1200				正作用
苏联	Г-9	54	59	2600	30	11							水	100-120	20-25	4-5	1100			2个弹簧	正作用
苏联	ГВ-2	89	93.112	762	30	7.5		1.2-1.8					水、泥浆	160-180	12-15	0.1	3500-4200	11		无弹簧	"
苏联	ГВ-5	73	76.93	1280	26								水、泥浆	130-150	10-15	1-1.5	2800-3600	25		2个弹簧	"
苏联	ГВ-6	57	59	1600									水、泥浆	80-100	5-8	0.3-0.5	2500-3200	34		2个弹簧	"
苏联	Г-5 ДТН		95.112											250	10-11	4.5-5	1700-1800			2个弹簧	"
苏联	ВВО		127 130	6500 7600	500 600									80-100	5-8	10-12	2000-3000				反作用
苏联	ГВМС-5		108		90									300-360	8-10	8-12	1300-1500	46		2个弹簧	反作用
苏联	ГМД-2	108	115.135	1660	90									200	20-25	7-8	1400	40		2个弹簧	反作用
匈牙利	С-80	80												120-150	4-6	6-8	700-800			无弹簧	
美国	巴辛格尔		185											1000	15		800				正作用
美国	海弯公司		222			340									11-14		600				反作用
加拿大			182											350	14		250-300				正作用
中国	YZ-1	89	91	2057		31								150-300	8-15	3-5	600-800	33		2个弹簧	正作用
中国	YZ-2	93		3761.5		50							水及泥浆	200-250	16-20	6-9	1000-1500	41		2个弹簧	正作用
中国	Ye-2	75	75	2447	50	30				2			水	180-200	20	6-7	1000	52		4个弹簧	双作用
中国	吉林	75											水					27			双作用
中国	SC-89	89	91.110	1480	50-65	15.20	50	15-30		5			水及低固相泥浆	150-300	14-40	5-8	1000-1740	20		无弹簧	双作用

（二）冲击器的结构

合理的冲击器结构应力求简单，另件少，加工、维修和安装工艺性能好，并便于传递冲击载荷。当然结构设计还必须根据孔深、岩性冲洗液性能等等实际工程条件进行。不过在结构设计时，上述要求往往和提高液流利用率相矛盾。也就是说，为了减少泄漏，很容易导致结构复杂化。由此看来，要对一个钻具进行正确评价，必须首先对它的工作效率和结构进行全面的分析。

二、冲击器的性能参数分析

冲击器的基本性能参数与其破碎岩石的效果有着密切的关系。原来都以冲击功和冲击频率为其主要参数指标，随着电测技术和波动理论的发展和应用，冲击器的研究和测试工作向前推进了一步。国内外很多研究者在试验研究中发现：冲击回转钻具的破岩效果和使用寿命还与冲锤的形状、重量、冲击速度以及行程大小等有关。也就是说，在冲击功相同的条件下，冲锤形状、冲击速度和重量不同，破碎岩石的功比耗（破碎单位体积岩石所消耗的功）也不同。而且这些参数之间又是互相联系和互相制约的。因此在确定这些性能参数时，必须把各种因素联系起来综合考虑。

（一）冲击功

所谓冲击功是指冲锤单次冲击所做的功（公斤·米），它在一定意义上表明了冲击器的工作能力，是影响破碎岩石效果的基本因素。冲击功的选择与岩石性质、钻具结构、钻头和硬质合金质量诸因素有关，单纯从提高破碎岩石效果出发，冲击功愈大愈好，但是国内外许多实验资料表明：当岩石、钻头直径等条件一定的情况下，单次冲击功不同，破碎岩石的功比耗也不相同而

且相差很大，而从中可以找到一个破岩效果最好、功比耗最小的最优冲击功。为此，在评定破岩效果的合理性时，必须看其功比耗值的大小。一般确定冲击功的原则有：

（1）冲击器的单次冲击功不应低于某一最低值 A_{min} ，否则破碎岩石的效果很差，单位功耗还很大。不同岩石的 A_{min} 值也不一样，花岗岩类的坚硬岩石，其 A_{min} 为0.4公斤·米/厘米，而像灰岩这类中硬岩石的 A_{min} 值为0.2公斤·米/厘米。

（2）冲击功的上限主要取决于钻头、硬质合金、岩芯管及有关另件的机械强度（目前我国矿山用钨钴类硬质合金所能承受的冲击功一般不大于1.8~2.0公斤·米/厘米）。从实验资料看，单位冲击功达到3.7公斤·米/厘米时，对花岗岩类长岩仍可获得很好破岩效果。由此可以认为，目前冲击功的提高，已经受到硬质合金强度和镶焊质量的限制。

（3）钻探设备的能力、管材质量以及结构参数的限制，乃是确定冲击功时务必考虑的因素。到目前为止，各国用于地质勘探的冲击器，冲击功均在1~12公斤·米，多数为3~5公斤·米；用于石油钻井的冲击器，其冲击功个别有高达12公斤·米以上的。小口径金刚石冲击回转钻具所需的冲击功较小，一般有0.5~1.5公斤·米即可满足要求。

对于液动冲击器来说，增大冲击功比增大冲击频率容易，其办法也较多，如增加冲锤重量、冲击行程、冲击末速度以及液流压力等。同时在设计中力求内部孔道畅通，采用合理配合间隙和密封，也可起到相当于增大冲击功的作用。

（二）冲击频率

实践证明，在其他技术参数相同的条件

下，随着冲击频率的提高，钻进效率成正比增长，但是当冲击频率增大到一定数值后，这种比例关系不再存在，钻进效率反而随着频率的增长而下降。这是由于单次冲击功足以形成体积破碎时，提高频率一方面提高了单位时间内的冲击破碎次数，另一方面也为提高钻具的转数提供了条件，这两者都有助于破碎过程的加快。但是当冲击频率上升到一定数值时，由于载荷作用时间太短，岩石破碎过程得不到充分发展，因而不能获得高效率的体积破碎；被击碎的岩屑沉积在破碎穴中，来不及溢出，起着缓冲垫的作用，吸收部分冲击能量，影响破碎岩石的效果。

在中硬以下岩层中钻进，由于在提高冲击频率的同时，还可相应增加转速，所以钻头对岩石的冲击破碎作用和剪切破碎作用都有显著提高。在坚硬岩层钻进，提高冲击频率虽然也有有利的一面，但是它又受到冲击功大小的制约，也就是说，提高冲击频率必须以保证足够的冲击功为前提。

至于冲击频率究竟多大为好，看法不一。一般来说苏联倾向于设计高频率小冲击功的冲击器，其最高频率可达2800~3440次/分，冲击功仅为0.1~1.5公斤一米。美国比较倾向于低频率大冲击功，频率最低仅为600~800次/分。由于苏联发展了金刚石冲击回转钻进技术，所以采用高频低功冲击器是十分必要的。

冲击频率的提高还取决于动力介质的种类和冲击器的结构形式。总的来说，液动冲击器提高频率不如提高冲击功容易实现。而射流式冲击比阀式冲击器容易提高频率。

(三) 冲击速度

冲锤的末速度是冲击功大小的关键参数。而且冲锤的末速度也决定着载荷对岩石的作用方式。大家知道，冲击载荷和静载荷作

用下破碎岩石的性质是不一样的。在静载作用下，岩石内的应力和应变经一定时间传递，处于平衡状态。而在冲击载荷作用下，应力和应变以弹性波的速度传递。当冲击末速度大到足以使应变“聚集”的程度时，应力将在岩石内局部集中，达到一定数值后，使岩石破碎。

为了概略地研究冲击末速度的临界值，假设冲击速度为 V_0 ， Δt 时间内岩石的变形量为 $V_0 \Delta t_0$ ，又设岩石内弹性波速度为 a ， Δt 时间内岩石中应力发生区域为 $a \Delta t$ 。由此可求得：

$$\varepsilon = \frac{V_0 \Delta t}{a \Delta t} = \frac{V_0}{a}$$

$$\sigma_{\text{冲}} = E \varepsilon = E \frac{V_0}{a}$$

或
$$V_0 = \frac{a \sigma_{\text{冲}}}{E}$$

式中 E —岩石的弹性模数；

ε —应变率；

$\sigma_{\text{冲}}$ —冲击应力。

当 $\sigma_{\text{冲}}$ 超过岩石的强度极限时，岩石即发生破碎。设岩石的强度极限为 σ ，临界冲击速度 V_K 即可由下式求得：

$$V_K = \frac{a \sigma}{E}$$

而
$$a = \sqrt{\frac{Eg}{\gamma}}$$

式中 g —重力加速度；

γ —岩石比重。

将 a 值代入上式得：
$$V_K = \sigma \sqrt{\frac{g}{E\gamma}}$$

一般岩石的 E 值为 $2.0 \times 10^5 \sim 10 \times 10^5$ 公斤/厘米²； γ 值为 $1.5 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ 公斤/厘米³； σ 值为600~3000公斤/厘米²。若把 σ 和 $\sqrt{E\gamma}$ 看作成正比关系，那末， V_K 则为1.0~3.0米/秒（一般较坚硬的岩石

可取大值)。如果冲击速度小于这个值,岩石以弹性变形为主,或只是产生一些表面破碎。如果冲击速度大于这一临界值,破碎过程将发生“质”的变化,此时岩石失去弹性而被破碎压实。

A·H 卡尔舒诺夫认为,冲击速度增加到某一界限时,破碎岩石的功比耗逐步降低,但若超过这个值,功比耗又显著增加。

为了查明冲击速度对岩石破碎的影响,长沙矿山研究院曾用 2、4、6、8 米/秒冲击速度进行了冲击试验,其结果也证实了卡尔舒

诺夫的观点。试验曲线如图 1,由图中可以看到,当冲击速度为 6 米/秒时,功比耗最低。如果冲击速度小于这个最优速度,传给岩石的能量不能有效破碎岩石,故功比耗增大。如超过这个速度,冲击能量超过了岩石破碎的需要,多余的能量多消耗在重复破碎中,以致增大了功比耗。此外从图中还可以看出,冲击速度大不仅标志着冲击功大,而且也标志着冲击频率高。由于过高的频率要影响破碎岩石的效果,所以在确定冲击速度时应综合考虑以下因素,选择其最优质。

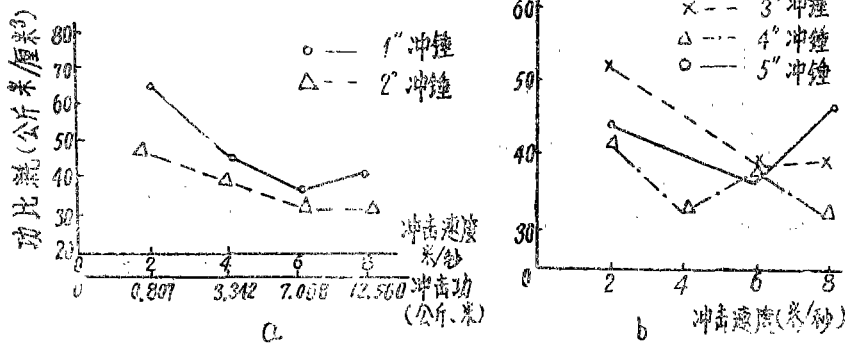


图 1 冲锤功比耗与冲击速度的关系

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1* 冲锤 重 3842克 长 110MM Φ82MM
58MM | 3* 冲锤 重 2540克 长 99MM Φ70MM |
| 2* 冲锤 重 3840克 长 173MM Φ78MM
57MM | 4* 冲锤 重 2525克 长 190MM Φ53MM |
| | 5* 冲锤 重 2528克 长 587MM Φ37MM |

当然冲击速度的确定必须考虑到冲击器零件的疲劳强度。而最大应力(即应力波的振幅)与冲击速度成正比,其关系式如下:

$$\sigma = \frac{1}{1+r} \frac{F}{c} V$$

- 式中 V—冲击速度;
 c—钢材中的音速;
 r—岩芯管与冲击锤断面比值。

(四) 冲击体的形状与重量

冲击体由冲击活塞及冲锤等活动部件组

成。试验表明,它的重量和形状都影响岩石的破碎效果。这种影响是随着电测技术和波动理论的发展而发现的。

在冲击凿岩波动理论的基础上,国内外研究人员对冲击体形状对岩石破碎效果影响进行了研究,通过一定的试验与分析,根据波动力学观点,认为冲击体冲击砧子时,冲击能量是通过波动形式传递的。不同的应力波对钻具的疲劳破坏及岩石的破碎效果都有显著的差异。而应力脉冲波的波形又与冲击体的几何尺寸和形状有关。大量的研究工作

表明：在冲击功相同（即冲击速度、冲击体质量相同）的条件下，仅改变冲击体形状和细长比就可以改变应力波振幅和波的延续时间，从而产生不同的脉冲波形。例如短粗状冲锤可产生尖峰波，持续时间短，岩石破碎功比耗大；而细长形冲锤则产生矩形波，持续时间长，功比耗小。根据这个原理可以认为，小口径冲击器的能量传递效率要比大口径冲击器高。因为过高的波峰应力持续时间短，不但增加了系统中的能量漏损，而且会使岩石形成塑性变形来不及破碎。另一方面由于钻具受交变应力作用，过高的尖峰波易于使钻具产生疲劳破坏。为了获得较为理想的应力波，在设计冲击体的形状时，可预先求出冲击体的冲击波形。其方法据国外有关资料介绍，可用下列三种方法进行：

- (1) 算法或图解动法；
- (2) 理论波形电子计算机算法；
- (3) 实物测试法 通过冲击体实际冲击试验，用示波器拍摄波形。

实践表明这三种方法所得波形基本相同。

关于冲击体重量对破碎效果的影响，中南矿冶学院在花岗岩和石灰岩中进行了试验对比。结果表明，在冲击功基本不变的情况下，增加冲击体重量、减少冲击速度，可以降低功比耗。图2所示曲线是我们最近的试

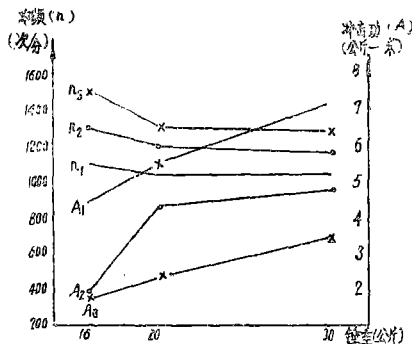


图2 冲锤重量与冲击功、冲击频率的关系

验结果。图中曲线表明：在一定范围内冲击体重量与冲击功成正比，与冲击频率成反比。

根据理论力学非完全弹性碰撞理论推导，在冲击过程中冲锤对砧子的总冲量为：

$$S = (1 + K) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} V_1$$

式中 K—材料的恢复系数，钢与钢相碰

$$K = \frac{5}{9}$$

m_1, m_2 —冲击体和被冲击部件的质量；

V_1 —冲锤达到砧子时的末速度。

有益冲击能量传递效率为：

$$\eta = \frac{G_1 + G_2 K^2}{G_1 + G_2} = \frac{G_1 + 0.3 G_2}{G_1 + G_2}$$

式中 G_1, G_2 —冲击体、被冲击体的重量。

由于 η 值越趋近于1，能量传递效果越好，因此，在可能条件下，冲锤是越重越好，而岩芯管则越短越好。

(五) 活塞的断面积与行程

活塞的断面积与行程是冲击器的重要结构参数，它与冲击功、冲击频率等一系列性能指标有着密切的关系。例如，增大活塞断面积，可以使冲击功和冲击频率得到相应提高。为此，一般在结构尺寸允许的条件下，应尽可能加大冲击器的活塞断面积。

活塞行程的增大，虽然也可加大冲击功，但若在流体不变的情况下，其冲击频率将要相应降低，其关系曲线见图3。为了适应不同岩层钻进的需要，及时调整冲击器的冲击功和冲击频率，可以在设计时，使活塞行程便于自由调整。

李河名

(煤炭科学院地质勘探研究所)

《煤田地质与勘探》1980年第2期报导了浙江省长广煤田龙潭煤系煤层中发现了大量海相动物化石，引起了广大煤田地质工作者的浓厚兴趣。但海相动物化石在煤层中的出现能否证明腐植煤就形成在海相环境中呢？现将有关国外情况介绍如下。

麦美 (S.H. Maman) 和 约克逊 (E. L. Yochelson) 续 1953 年初次报导后，又于 1962 年详细报告了美国宾夕法尼亚系煤层中煤核含动物化石的研究情况。所谓煤核 (coal ball) 是指煤层中含石化植物和动物的矿化结核物质。如所知，煤层煤核中含

大量完好的植物化石，但对其中含有的动物化石则报导甚少。这可能由于此种煤核在自然界中分布不多；也可能古植物学家对此不感兴趣。麦美提出，这种煤核主要存在于宾夕法尼亚系或与其同时代的（即相当于中、上石炭的）岩系中。但该时代的无烟煤中却未发现。

煤核的成分有钙质的、黄铁矿质的、白云石质的、菱铁矿质的，甚至是硅质的。通常，煤核中钙质含量高时，植物组织保存程度就较好，黄铁矿含量增高时，其保存程度就变差。它们可能单独存在或呈联生体，形

击器的功率恢复外，必须增大水泵能力。水泵能力与冲击功、冲击频率的关系曲线如图 4。

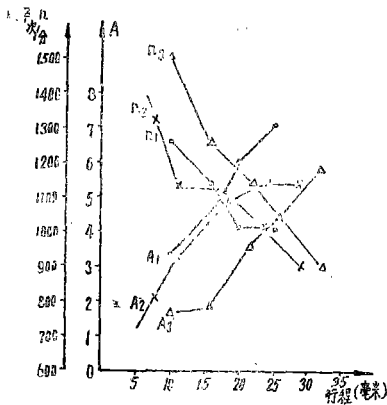


图 3 冲击器行程大小与冲击功、冲击频率的关系

1·一锤重30公斤；2·一锤重20公斤；3·一锤重16公斤；
泵压30大气压；水量280升/分。

通过对冲击器主要性能参数的分析，我们认为：一个好的冲击器，应能够根据不同钻进方法、不同岩性调节其冲击功和冲击频率的大小，如要求两者同时提高，除提高冲

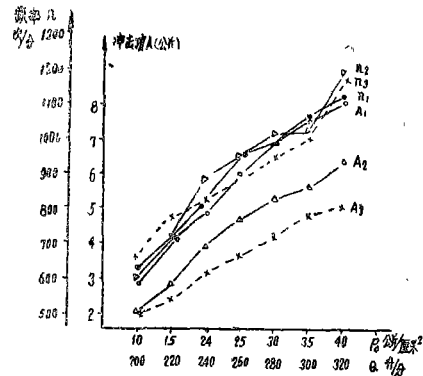


图 4 泵压、泵量与冲击功、冲击频率的关系曲线

·一锤重30公斤、行程25毫米；
△一锤重20公斤、行程24毫米；
×一锤重16公斤、行程25.7毫米。