

# 潜孔冲击器动力学实验研究

吕 闯, 甘海仁

(长沙矿冶研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012)

**摘 要:** 以某国产潜孔冲击器为实验研究对象, 实验测试了冲击器前、后气室工作压力曲线, 结合应力波法, 得出了活塞速度、加速度、冲击器冲击能、冲击频率等性能参数, 并对相关实验结果进行了深入的分析, 其分析结果较之纯理论的电算模拟和解析方法更具真实性; 而建立的同时测试应力波和压力曲线的测试方法, 为进行潜孔冲击器实验研究提供了一种方法参考。

**关键词:** 潜孔冲击器; 动力学实验; 气室压力曲线; 冲击能; 反弹系数

## 1 前 言

潜孔冲击器作为一种常见的凿岩工具, 在矿山爆破孔、采石场、地质矿产钻探等方面具有广泛应用。目前对潜孔冲击器的研究大多仅限于理论的分析而缺乏实验的支撑, 从而使得进行相关动力学实验显得尤为重要。

国内对潜孔冲击器的实验研究主要是在性能参数测试方面, 但直至今日, 行业内仍然没有一种行之有效的统一的方法。本论文所进行的实验研究避开了直接对冲击器性能参数进行测试, 而是从测试前、后气室压力的角度出发, 结合应力波法, 深入探究潜孔冲击器的工作机理及动力学规律, 从而建立了一种新的研究思路和方法。

## 2 实验研究对象

本论文以某国产潜孔冲击器为研究对象, 图1是潜孔冲击器示意图。根据样机结构, 可分为三个气室, 除了前气室、后气室还有过渡气室。潜孔冲击器工作时, 过渡气室始终与进气通道相连, 其给活塞施加的是一向下的恒力。

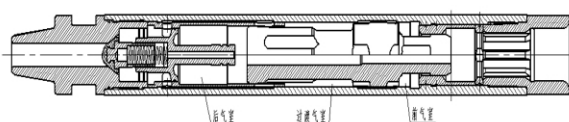


图1 实验用潜孔冲击器

## 3 运动学理论分析

在做运动学分析前, 先做如下基本假设:

- (1) 假设气源压力和温度都恒定, 为理想气体;
- (2) 假设活塞和钻头均为刚体;
- (3) 气室气体与外部无热交换, 即前、后气室内气体变化过程为绝热过程;
- (4) 忽略活塞与气缸间的摩擦;
- (5) 气态系统的变化过程是准静态过程;
- (6) 样机处于竖直状态;
- (7) 忽略活塞转动。

不考虑摩擦力的影响, 活塞受力如图2所

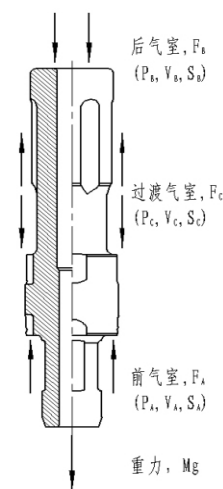


图2 活塞受力分析图

作者简介: 吕闯 (1986-), 男, 硕士, 主要从事凿岩机具方面的研究。E-mail: lc51998@126.com

示。从受力分析图可见，活塞受到前、后气室和过渡气室及重力的作用。对于过渡气室而言，若不考虑进气压力损失，其气体压力  $P_C$  恒等于供气压力，而其向下的作用面积要大于向上的作用面积，因此实际上过渡气室压力  $F_C$  为一向下的恒力。

这样，活塞的运动特性可用如下方程组来描述：

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\sum F}{M} = \frac{1}{M} (P_A S_A - P_B S_B - P_C S_C - Mg) \\ v = \frac{dx}{dt} = v_0 + \int_0^t \frac{1}{M} (P_A S_A - P_B S_B - P_C S_C - Mg) dt \\ x = x_0 + \int_0^t v dt \end{cases} \quad (1)$$

式中： $P_A, P_B, P_C$ ——前、后和过渡气室的气体压力， $P_C$  恒等于供气压力  $P_0$ ，这里的压力均为相对压力，Pa；

$S_A, S_B, S_C$ ——前、后和过渡气室的气体压力有效作用面积， $m^2$ ；

$M$ ——活塞质量，kg；

$g$ ——重力加速度， $m/s^2$ ；

$x_0$ ——活塞初始位移，m。

由于活塞在上一周期的冲程末点打击钻头时存在反弹，即此时活塞具有向上的初速度  $v_0$ ，其中：

$$v_0 = -\beta \cdot v_s \quad (2)$$

式中： $v_s$ ——活塞前周期打击钻头的速度，即活塞的末速度；

$\beta$ ——反弹系数。

这里需要说明的是在现今对气动冲击机具的理论研究中，大多假设活塞回程初速度为0，即忽略了活塞反弹的影响。在本论文中，考虑活塞打击钻头后反弹的影响。

## 4 动力学实验

### 4.1 实验流程

本实验的流程见图3所示。

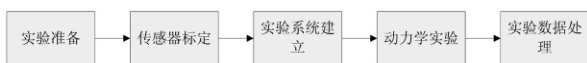


图3 动力学实验流程

### 4.2 动力学实验

图4是实验装置的示意图。

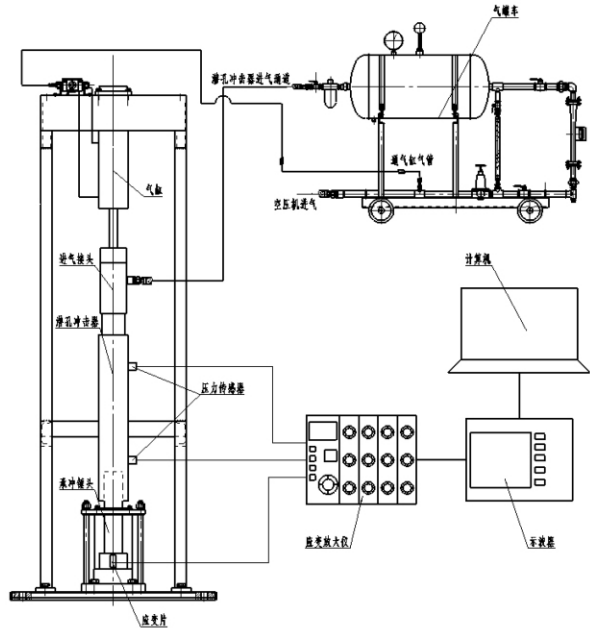


图4 实验装置示意图

两个传感器分别安装在潜孔冲击器的前、后气室位置，与气室相通；承压锤头上贴有应变片，用于测试打击应力波。

图5是进气压力为0.57 MPa时，示波器所测相关曲线，可以看出曲线呈现规则的周期性变化。

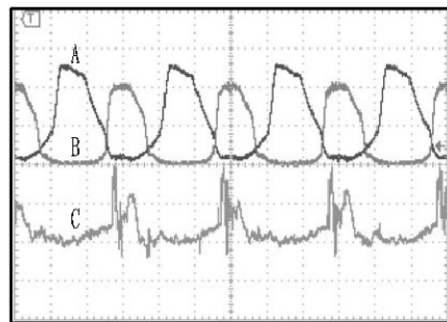


图5 示波器所测曲线

(A—后气室压力曲线；B—前气室压力曲线；C—打击应力波)

### 4.3 实验结果分析

#### 4.3.1 时间基准的确定

要能够有效进行压力曲线数据分析，首先

必须确定活塞运动周期的初始时刻，也就是说要有时间基准。

活塞的打击面距离应变片的长度是  $L_m=240$  mm，如图 6 所示。承冲锤头的材料是 45 钢，应力波在 45 钢中传播速度是  $v=5\ 100$  m/s，这样从活塞打击承冲锤头开始到应变片测试到应力波需要的时间为：

$$t = \frac{L_M}{v} = 4.7 \times 10^{-5} \text{ s} \quad (3)$$

根据示波器参数的设置，其采样长度为 6 K，扫描时基为 20 ms/div，即可得相邻采样点的时间间隔为：

$$t_c = \frac{20 \times 12}{6\ 000} \text{ ms} = 4.0 \times 10^{-4} \text{ s} \quad (4)$$

将  $t$  与  $t_c$  进行对比分析可以看出，在应力波从承冲锤头打击端面传播到应变片的这段时间内，示波器本身都来不及采一个点，忽略其他干扰因素即可得出：应力波峰值出现的时刻即为活塞打击时刻，或者说就是活塞回程初始时刻，而两个应力波峰值之间的时间间隔即是样机活塞运动的一个周期。由于示波器采样时各通道时基是同步的，这样从理论上找到了压力曲线的时间基准，方便了曲线数据分析。

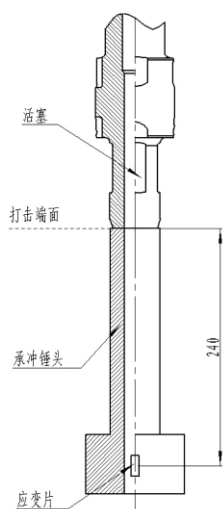


图 6 活塞与承冲锤头示意图

#### 4.3.2 原始数据处理

由于所测得的压力曲线呈现规则的周期性变化，只需对其中一个周期的曲线数据进行分析即可得到活塞一个周期的运动特性，进而即

可知道活塞的运动规律及冲击器动力规律。根据示波器 CSV 数据记录文件，每隔 1 ms 取一个点。依据压力传感器的标定结果，可以得到每个时刻气室压力值。利用 Matlab 软件编程分析，以时间为横坐标，以气室压力为纵坐标绘出气室压力曲线见图 7 所示。

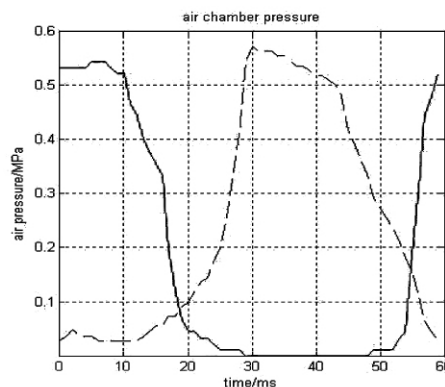


图 7 前、后气室压力曲线

(实线表示前气室压力，虚线表示后气室压力)

由前、后气室压力曲线图，初步得到以下一些结论：

(1) 后气室进气时间比前气室进气时间长，前气室排气时间比后气室排气时间长；

(2) 后气室进气压力和排气压力峰值均高于前气室；

(4) 活塞运动的周期为 59 ms (示波器显示频率为 16.9 Hz)。

#### 4.3.3 动力学参数分析

对于实验样机而言，其部分工作及结构参数为：

过渡气室压力： $P_c=0.57$  MPa；

前气室压力有效作用面积： $S_A=3\ 436$  mm<sup>2</sup>；

后气室压力有效作用面积： $S_B=3\ 468$  mm<sup>2</sup>；

过渡气室压力有效作用面积： $S_C=1\ 356$  mm<sup>2</sup>；

活塞质量： $M=8.2$  kg。

将这些参数代入式 (1) 中，根据各个时刻的前、后气室压力值可以求得各个时刻活塞所受的合力及其加速度，求解时以向上的方向，即活塞回程方向为正向。

利用 Matlab 软件分析，可得活塞的加速度曲线见图 8 所示。

活塞的速度可以表示为：

$$v=v_0+\int_0^tadt \quad (5)$$

式中： $v_0$ ——活塞回程初速度，m/s。

由于活塞从回程初始点开始经过一个周期后，活塞回到起点，一个周内位移为0，即：

$$\int_0^T vdt=0 \quad (6)$$

式中： $T$ ——活塞运动周期，s。

联立式(5)和(6)，借助于利用 Matlab 软件编程分析，可得：

$$v_0=2.26 \text{ m/s} \quad (7)$$

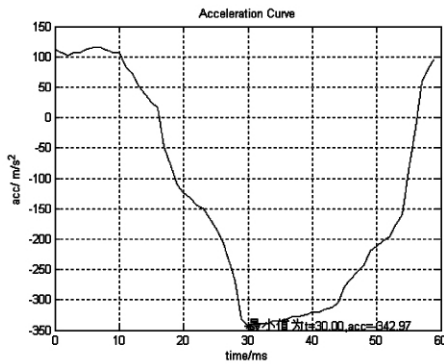


图8 活塞加速度曲线

这样即可绘出活塞的速度曲线见图9所示。

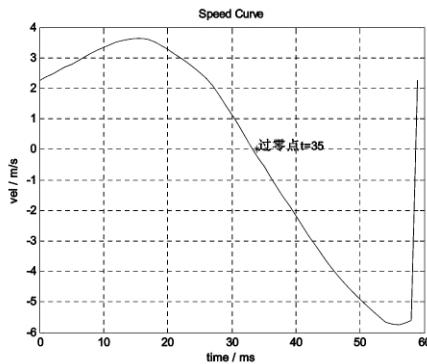


图9 活塞速度曲线

获得了速度曲线，便可以很容易得到活塞的位移曲线，见图10所示。

至此，由所测量的气室压力曲线进行转化分析得到了活塞的运动学曲线。对三个运动学参数曲线进行分析，在利用 Matlab 软件对活塞速度曲线求解时，得到活塞打击速度，即末点速度为： $v_s=-5.72 \text{ m/s}$ ，这里的负号是因为冲程方向与回程方向相反。这样通过实验即可得到，在样机工作压力为  $0.57 \text{ MPa}$  时，样机的冲击能为：

$$E=\frac{1}{2}mv_s^2=134.14 \text{ (J)} \quad (8)$$

由活塞的位移曲线图分析知：活塞的行程为： $L=90.37 \text{ mm}$ 。

由反弹系数的定义，得到反弹系数为：

$$\beta=\left|\frac{v_0}{v_s}\right|=0.395 \quad (9)$$

活塞在  $t=35 \text{ ms}$  时刻，速度为0，活塞达行程最大值，此时活塞处于回程末点，即活塞的回程时间为  $t_h=35 \text{ ms}$ ；冲程时间为  $t_c=24 \text{ ms}$ ，这样活塞返回行程系数为：

$$\mu=\frac{t_h}{t_c}=1.46 \quad (10)$$

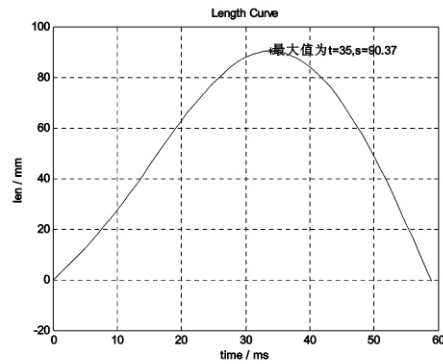


图10 活塞位移曲线

## 5 结论

结合应力波法，确定时间基准，根据前、后气室压力曲线进行冲击器动力分析，其分析结果较之纯理论的电算模拟和解析方法更具真实性；而建立的同时测试应力波和压力曲线的测试方法，为进行潜孔冲击器实验研究提供了一种方法参考。

### 参考文献：

- [1] 汪学请，赵统武，甘海仁. 潜孔冲击器凿入系统的波动理论分析[J]. 凿岩机械气动工具.
- [2] 甘海仁，余永高，杨永顺，等. 高气压潜孔冲击器运行试验台的研究[J]. 第十五届全国钎钢钎具年会论文集[C].
- [3] 赵统武. 冲击钻进动力学[M]. 冶金工业出版社，1996.
- [4] 徐小荷，等. 冲击凿岩的理论基础与电算方法[M]. 东北工学院出版社，1986.