

# 柔性液压冲击系统\*

丁问司 迟永滨

(华南理工大学汽车工程学院 广州 510641)

**摘要:** 液压冲击器对工作对象变化的适应能力称为冲击器柔性。现行液压冲击器以行程反馈原理来工作, 由于体积及加工工艺的限制, 冲击能只能在 2~3 挡范围内调节, 且调节时需要停机。这样既不能提高工作效率, 又不能实时、精确地根据冲击对象的物理性质(硬度、块度)来调节冲击参数, 其柔性品质很低。研究具有自适应能力和柔性冲击能力的液压冲击器是冲击机械研究中的一个前沿性问题。基于压力反馈的氮爆式冲击器, 利用活塞的冲击反弹特性实现对冲击对象性质的判断, 并通过计算机控制由柔性配流系统实现冲击能与冲击频率的独立无级调节, 可达到柔性冲击的效果。试验表明, 柔性液压冲击系统具有时间、空间和环境等多种柔性品质。

**关键词:** 冲击 反弹 柔性 冲击器

**中图分类号:** TH137.51

## 0 前言

液压冲击机构以在液压或液气联合作用下的活塞撞击钎杆, 其动能经钎杆传递于工作介质(岩石等), 使之发生位移、变形或破坏, 以达到冲击破碎的工作目的。

以液压凿岩机、液压碎石器和液压桩锤等为代表的基于液压冲击机构原理工作的冲击类机械在工程建设中大量应用。长期以来此类机械的工作过程中的控制和操作都通过施工人员手动实施。由于作业对象和环境变化的无规律性, 要求操作者随时观察并不断对作业对象和环境进行认识和判断, 作业效果很大程度上取决于操作者的经验、技能和意愿。由于人的生理、心理及恶劣的作业环境的限制, 此类机械工作时最佳工况难以保证。为提高其工作性能, 必须使得冲击机械具有感知能力和信息处理能力, 能自我适应环境变化。自动化、智能化是此类冲击机械的必然发展方向。

基于自动化、智能化的要求, 冲击器应具备自动识别工作对象、自动调节冲击输出参数(冲击能、冲击频率)以适应冲击对象性质不断变化的能力。同时由于冲击器会在不同情况下被安置于不同载具上, 这也要求冲击输出参数能自动调整并与载具液压系统的输出特性相匹配, 实现恒功率输出。

冲击器对工作环境变化的适应能力称为冲击器柔性。冲击器冲击柔性品质的高低表征了冲击器对工作环境变化的适应能力。

传统的液压冲击器均以行程反馈原理来工作, 采用柱阀或套阀来配流。有关研究表明<sup>[1]</sup>, 以此原理及配流方式工作的冲击器的冲击能与冲击频率在调节时将发生同步增减。为满足破碎时对大、小冲击能调节的需要, 要求载具备有的驱动电机功率范围较宽。但冲击器工作时大多处于中等冲击能输出的状态, 常出现“大马拉小车”现象。同时, 在行程反馈控制原理下, 由于冲击器体积及加工工艺的限制, 行程反馈孔道只能有 2~3 条, 冲击能也只能在 2~3 挡范围内进行有级调节, 且大多数冲击器冲击能调节时需要停机, 这既不能提高工作效率, 又不能适时、精确地根据不同破碎对象的物理性质(硬度、块度)来调节冲击能与冲击频率。可见传统液压冲击器的柔性品质很低。

为了解决传统液压冲击器的弱点, 提高其柔性品质, 有必要在冲击器控制系统中采用机电液一体控制技术。基于压力反馈原理的冲击器能很好地将机电液控制技术在冲击器中结合起来, 能实现去掉冲击能、冲击频率的适时调整并使之与破碎对象的性质相适应, 能达到最佳破碎效果和最优工作效率。可实现柔性冲击, 且具有较高的柔性品质。

## 1 活塞冲击回弹及波动力学分析

### 1.1 冲击系统活塞回弹现象

冲击机械的工作过程实质上是冲击应力波产生和传播的过程<sup>[1]</sup>。活塞与钎杆撞击产生入射波, 入射波在钎杆中传播, 经  $l_g/c$  ( $l_g$  为钎杆长度;  $c$  为钎杆材料的纵波速度) 时间后达到冲击界面, 其中一部分透射进冲击对象使之破碎或产生位移, 另一部分成为反射波, 该反射波又经  $l_g/c$  时间后返回到活塞与

\* 广东省科技攻关基金资助项目(2002C102401)。20050321 收到初稿, 20050718 收到修改稿

钎杆的撞击界面。当条件合适时，反射波中的一部分将透射到活塞中，并在活塞的自由端发生反射，使活塞做逆向运动，即产生活塞反弹。冲击反弹对冲击系统的工作效率和结构设计有重要影响。

### 1.2 撞击入射波

现代冲击机构设计时力求使活塞与配套的钎杆直径相等，从而实现等径、同质的等波阻撞击，产生有效时间长、没有峰值的矩形力波。这样既有利于提高破碎效率，又有利于提高部件寿命。等波阻撞击入射波可用如下函数形式表示

$$F_1 = \begin{cases} \frac{1}{2}Zv_0 & 0 < t \leq t \\ 0 & t > t \end{cases} \quad (1)$$

式中  $F_1$  ——入射波力值(N)，以压力为正  
 $Z$  ——活塞和钎杆的波阻(N·s/m)  
 $v_0$  ——活塞撞击速度(m/s)  
 $t$  ——时间(s)  
 ——持续时间(s)， $=2l_z/c$ ，其中  $l_z$  为活塞长度(m)  
 $c$  ——纵波波速(m/s)

### 1.3 破碎端条件

在钎头与岩石接触的界面上，其作用力与位移基本属于线性关系，作用力与位移的关系可表示为

$$F = \begin{cases} \frac{1}{2}Zv_0 & 0 < t \leq t \text{ 加载} \\ 0 & t > t \text{ 卸载} \end{cases} \quad (2)$$

式中  $F$  ——作用力(N)， $F_{max}$  为其最大值  
 $x$  ——接触界面位移， $x_{max}$  为其最大值  
 $k$  ——岩石加载刚度(N/m)  
 $k'$  ——岩石卸载刚度(N/m)

$k$ 、 $k'$  取决于岩石种类和钎具类型，若令  $k' = ak$ ， $a$  (1, ∞)， $a$  为卸载系数。

### 1.4 反射波波形

撞击产生的矩形波作为第一个入射波传递到冲击界面时，作用力和位移在满足了破碎端条件式(2)时，还必须满足如下关系

$$F_1 + F_2 = F \quad (3)$$

$$F_1 - F_2 = Z\dot{x} \quad (4)$$

式中  $F_1$  ——入射应力波值(N)，压力为正  
 $F_2$  ——反射波力值(N)，压力为正  
 这样，就可得如下两个方程组

$$\begin{cases} F = kx \\ F_1 + F_2 = F \\ F_1 - F_2 = Z\dot{x} \\ t = 0, F = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} F = F_{max} - k'(x_{max} - x) \\ F_1 + F_2 = F \\ F_1 - F_2 = Z\dot{x} \\ t = t \\ F = F_{max} = kx_{max} \end{cases} \quad (6)$$

将入射波函数式(1)代入上述两方程组，可解得反射波的波形函数为

$$F_2 = \begin{cases} \frac{1}{2}Zv_0(1 - 2\exp(-bt)) & 0 \leq t \leq t \\ Zv_0[1 - \exp(-2/g)]\exp(ab(t-t)) & t > t \end{cases} \quad (7)$$

式中  $b = k/Z$

$$g = \frac{Z^2}{m_z k}$$

$m_z$  ——活塞质量(kg)

入射波波形和相应的反射波波形如图 1 所示。从图可见，反射波由拉伸波和压缩波两部分构成。

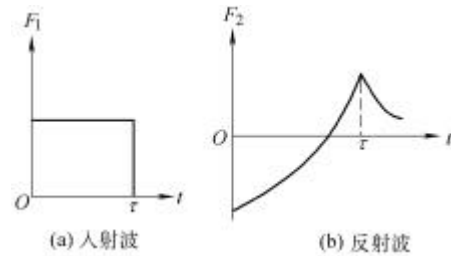


图 1 入射波与反射波波形

### 1.5 回弹速度计算

活塞与钎杆重新接触后，反射波中的压缩波将有一部分透射进活塞。在经  $l_z/c$  时间后，将在活塞自由端反射；又经  $l_z/c$  时间，活塞与钎杆再次分离，发生回弹。应力波在活塞两端不断来回反射使得活塞产生回弹往复运动。活塞回弹的平均速度根据可按动量守恒定律计算，即

$$m_z v_e = \int_T^{T+t} F_2 dt \quad (8)$$

式中  $v_e$  ——活塞回弹速度(m/s)

$T$  ——活塞与钎杆重新接触时间(s)，由式(9)

确定

$$\frac{2}{Z} \int_0^T F_2 dt = 0 \quad (9)$$

考虑到反射波函数是分段函数，当  $g \leq 1.25$  时，则  $T \leq t$ ，将式(7)代入式(9)可求得  $T = 1.6/b$ ，将其代入式(8)可得回弹速度

$$v_e = \frac{v_0 g}{2a} \{ (2/g - 1.6)a + 4a(-2/g) - \exp(-1.6) + 2[1 - \exp(-2/g)][1 - \exp(-1.6)] + 2[1 - \exp(-2/g)][1 - \exp(-1.6)] \} \quad (10)$$

当  $g > 1.25$  时，则  $T > t$ ，同理可求得回弹速度

$$v_e = \frac{v_0 g}{2a} (\exp(-2a/g) - 1) \times [2(\exp(-2/g) - 1)(1 - a) - 2a/g] \quad (11)$$

对活塞回弹现象及回弹速度的分析如下<sup>[2-3]</sup>。

(1) 活塞的回弹状态、回弹速度与活塞、钎杆和工作介质的特性有关，它们的影响是相互关联的。量纲一系数  $g = Z^2 / (m_z k)$  是表征这种关联的一个特征量。 $g$  越大，回弹速度越小，有时甚至不发生回弹。反之， $g$  值越小，回弹速度越大。活塞越短、质量越小；或杆断面积越大，其波阻越大，活塞回弹速度就越小；相反，活塞越长，钎杆越细，活塞回弹速度就越大。

(2) 工作介质的加载和卸载特性都影响着活塞的回弹状态和回弹速度。当冲击机具一定时，介质越软， $k$  越小， $g$  就越大，回弹速度就越小，有时甚至不发生回弹。在冲击器工作中当遇到空打时，工作端相当于自由端，活塞就不会回弹；介质越硬， $g$  越小，回弹速度越大； $k$  趋于无穷大时，工作端相当与刚性壁，回弹速度就接近与冲击速度。岩石卸载刚度越小，回弹速度越大。 $=1$  时工作端相当于一个刚度为  $k$  的弹簧，此时，无论冲击器的特性如何，活塞都将发生回弹；介质卸载刚度越大，回弹速度就越小，当  $g < 1.25$  时，不论工作介质的卸载特性如何，活塞都将发生回弹。

### 1.6 冲击回弹试验

量纲一系数  $g = Z^2 / (m_z k)$  可表征由活塞、钎杆和工作介质作成的冲击系统特性，并直接影响活塞反弹速度。若某型号的冲击器一经做好，其波阻  $Z$  和质量  $m_z$  就固定不变了。影响系数  $g$  的因素只有工作介质的加载刚度  $k$ 。工作介质越硬，加载刚度  $k$  越大，活塞冲击产生的回弹速度越大。工作介质越软，加载刚度  $k$  越小，活塞冲击产生的回弹速度越小。反之，则可以利用活塞的反弹速度的大小来判断工作介质的性质。

本研究中以钢块(35 钢)、岩石(麻石)、水泥块和木块(樟木)四种不同物理性质的工作介质为试验对象进行了试验研究，速度测试法为气压法<sup>[4]</sup>。

观察图 2 所示的一组曲线知：冲击钢块时，活塞冲击反弹速度最大；冲击岩石时活塞的反弹速度相对低些；冲击水泥块时活塞的反弹速度相对最低，可见在同等条件下，随着工作介质的加载刚度—— $k$  值的加大，活塞冲击时反弹速度也成上升的趋势。较好的证实了不同物理特性的工作介质具有不同的活塞冲击反弹速度这一观点，这为冲击机构以活塞反弹速度的高低来判断工作对象的性质提供了试验依据。

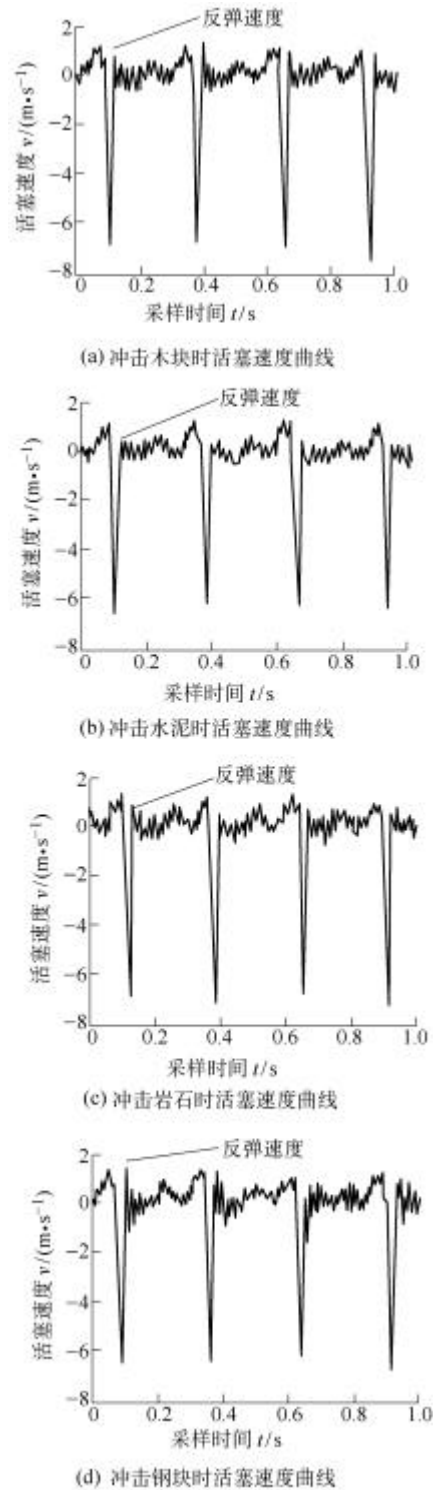


图 2 冲击不同对象时活塞速度曲线

需要指出的是：冲击对象为木块时，虽然其  $k$  值较小，但活塞的反弹速度较冲击岩石和水泥( $k$  值较大)时要大。这种现象的出现也可用上述观点来解释：虽然木块的加载刚度较小，但其韧性好，卸载系数  $a$  小，导致其卸载刚度也较小，这样冲击时相当于在工作端加上了一个弹簧，使得活塞的反弹速度有所提高。

由于冲击器的工作对象一般为岩石或水泥一类韧性较小( $a$ 值大)的物质，研究中采用以活塞反弹速

度为判断依据的冲击器控制方案时，可以不考虑因较大的韧性变化而引起的对冲击对象的误判。

## 2 柔性液压冲击器原理

### 2.1 冲击器系统结构

具有冲击能与冲击频率独立无级调节能力、能自动适应冲击对象性质变化的冲击器称为柔性冲击器。本项目研制的基于压力反馈原理的氮爆式液压冲击器即是这样的柔性冲击器。它可通过多挡冲击能与冲击频率的不同组合，适应冲击过程对象性质不断变化的需要，也可满足为适应载具输出特性而提出的恒功率输出的要求，其工作原理如下。

(1) 回程阶段。如图 3a 所示，活塞处于前端。CPU 通过压力变送器 7 采集到氮气腔较低的压力值并处理后，控制作为先导阀的进、回油高速开关阀动作，使锥阀 9 打开，而锥阀 10 关闭。冲击器前腔通高压油，活塞回程，并压缩氮气腔，使其压力逐渐升高，同时储油腔中油液被排回油箱。

(2) 冲程阶段。如图 3b 所示，当氮气腔中的压力达到某一设定值时，CPU 发出信号，高速开关阀动作，锥阀 9 关闭，而锥阀 10 打开，前腔通回油，活塞在氮气腔高压气作用下，迅速前冲，直至打击活塞，冲击停顿。同时，油泵输出的高压油被高压蓄能器吸纳，以备回程时所用。

氮爆式冲击器采用压力反馈控制，其回程换向信号取自于氮气腔。若改变单片机系统中的氮气压力设定值，活塞的冲击能会随之发生变化。单片机系统通过对氮气的压力变化的检测来监控冲击活塞的运动状态。

### 2.2 冲击对象性质的判定及冲击参数控制策略

氮爆式冲击器在冲击过程中对工作对象的性质判断是通过检测不同的对象和冲击参数对活塞反弹速度的影响来实现的。不同的活塞反弹速度势必影响氮气腔的压力变化率并可通过计算机系统检测出来。在检测到反弹过程中的气压变化率后，通过识别可根据模糊控制算法设定下一次的回程换向气压。

采用模糊控制时，选取活塞回弹速度偏差  $E_v$  与其偏差变化  $E_{cv}$  作为模糊控制器的输入变量，选取活塞回程反馈控制气压增量  $\Delta p_N$  作为模糊控制器的输出量。控制规则中活塞速度偏差  $E_v$  所对应的语言变量表示成为 8 个模糊子集(NL、NM、NS、NO、PO、PS、PM、PL)，依次反应活塞反弹速度的大小。活塞速度偏差变化率的语言变量  $E_{cv}$  分成 7 个模糊子集(NL、NM、NS、O、PS、PM、PL)，以反映偏差变化率大小。模糊判决的  $\Delta p_N$  语言变量用 7 个模

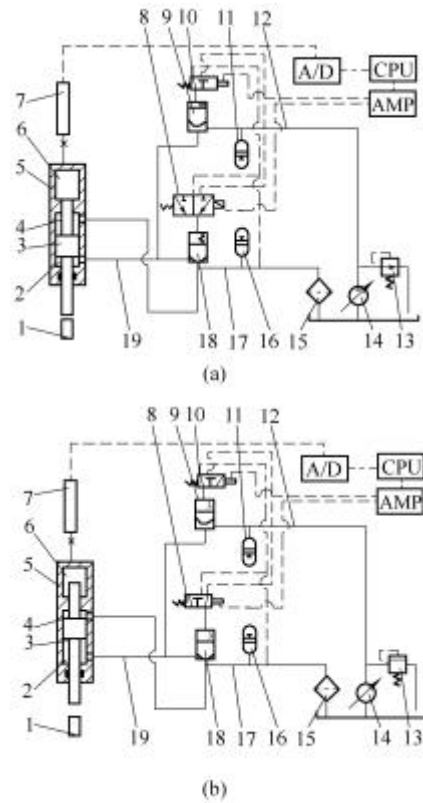


图 3 氮爆式冲击器原理

- 1. 钎杆 2. 前腔 3. 活塞 4. 储油腔 5. 缸体
- 6. 氮气腔 7. 压力变送器 8. 回油高速开关阀 9. 锥阀
- 10. 进油高速开关阀 11. 高压蓄能器 12. 高压油路
- 13. 溢流阀 14. 手动变量泵 15. 过滤器 16. 低压蓄能器
- 17. 回油路 18. 锥阀 19. 大孔径油管

糊子集(NL、NM、NS、O、PS、PM、PL)来表示。根据液压冲击器工作过程大量实践，按“if  $E_v$  and  $E_{cv}$  then  $\Delta p_N$ ”的逻辑推理形式，形成 56 条推理规则，以模糊状态表形式表示，如表 1。

表 1 模糊控制状态表

	NL	NM	NS	NO	PO	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	NS	O
NM	NL	NL	NM	NM	NM	NS	O	NS
NS	NL	NL	NM	NS	NS	PS	PM	PL
O	NL	NM	NS	O	O	PS	PM	PL
PS	NL	NM	NS	PS	PS	PM	PL	PL
PM	NS	O	PS	PM	PM	PM	PL	PL
PL	O	PS	PS	PM	PL	PL	PL	PL

根据这些推理规则，可以求出总的模糊关系。再通过反模糊化把模糊量转化为精确量，可构成如表 2 所示的总控制表。此表被放置于单片机中，工作时，将采样与变换得到的  $E_v$  和  $E_{cv}$  直接与表 2 中的行列相比较，通过查表可迅速得到所需的控制量  $\Delta p_N$ ，并以此实现对冲击能与冲击频率的控制。

表2 总控制表

		偏差变化率												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
偏差	-6	-6	-5	-6	-5	-6	-6	-6	-3	-3	0	0	0	0
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-3	-3	0	0	0	0
	-4	-6	-5	-6	-5	-6	-6	-6	-3	-3	0	0	0	0
	-3	-6	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-2	-1	0	0	0	0
	-2	-3	-3	-3	-4	-3	-6	-3	-1	0	0	0	0	0
	-1	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-1	0	0	0	0	0	0
	0	-3	-3	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3
	+1	0	0	0	0	0	0	0	3	-3	2	3	3	3
	+2	0	0	0	0	0	2	3	3	-3	2	3	3	3
	+3	0	0	0	0	2	2	5	5	-5	5	5	5	5
	+4	0	0	0	0	3	3	6	6	-6	5	6	5	6
	+5	0	0	0	0	3	3	5	5	-5	5	5	5	5
+6	0	0	0	0	3	3	6	6	-6	5	6	5	6	

### 2.3 柔性配流系统

与传统的基于行程反馈的冲击器以柱阀、套阀等采用刚性、不可调节的配流方式不同，上述冲击器采用的是以插装阀、高速开关阀(响应频率大于50 Hz)及单片机控制系统所组成的配流系统。其中插装阀为执行元件，高速开关阀则起先导控制作用，而计算机控制系统起着信号检测、分析、处理及发布的作用。这样的配流系统能很好地完成对冲击器的运动状态及性能的控制。此种形式的配流系统称为柔性配流系统。

冲击器系统的控制软件是实现冲击系统柔性配流、完成新型冲击器各功能的关键部分。它包括对工作对象的性质判别的模式识别模块、模糊—PID控制模块、具有人机交互功能的显示管理模块以及专家数据库等。软件编制水平决定了新型冲击器功能的先进程度。

## 3 新型冲击器的柔性本质

柔性配流系统的运用使得整个机电控制氮爆式冲击器拥有了柔性品质，表现在以下几个方面。

### 3.1 空间柔性

冲击器可实现冲击能的独立无级调节。系统的反馈压力可以由人或控制软件在一个较大的范围内根据需要设定。对应地，活塞回程位置也可在一个较大的位置空间范围内变化。这样将使得活塞冲击能量值也可在一个较大范围内变化。这种变化可以是连续的、无级的，因而是具有柔性的，这与传统冲击器只有2~3挡的固定冲击能有着本质的区别。

实际运用中，冲击能所能实现的挡位调节，会

受到压力传感器精度和单片机的采样频率及冲击器结构的实际尺寸所限制，可以用冲击器实际能实现的挡位调节数来恒量冲击器的能量调节柔性程度。试验表明，在最大冲击行程相同的条件下新型冲击器的柔性度远大于传统型冲击器的柔性度。

### 3.2 时间柔性

时间柔性具体表现为以下几个方面。

(1) 柔性配流系统可使冲击器实现冲击频率的独立无级调节。冲击器的运动周期包括冲程时间、冲击停顿时间和回程时间。在冲击能固定、冲击器结构尺寸固定的条件下，冲程时间为定值，回程时间与泵的排量有关，而冲击停顿时间却可人为地通过设定软件中的延时量来改变。理论上，这一时间可以设定得很大(低频要求时)，也可以设定得很小(高频要求时)，并与冲击能的大小无关。

(2) 柔性配流系统可通过改变锥阀的开口顺序实现不同的配流阀开口形式。通过软件对进、回油锥阀的开启、闭合时间长短及动作顺序的不同组合，可实现类似于柱阀(套阀)配流系统设计时要求的阀处于中位时的正开口、零开口、负开口状态，并可调节开口量的大小，以适应系统对于压力冲击、能量损耗、噪声等问题的优化解决方案。

传统控制阀的开口形式及开口量在系统的初始设计时必须确定好，一旦制造完成就不可改变。而新型的柔性配流阀可通过软件对回程结束换向、冲程结束换向两种状态变化分别实施三种开口形式的控制，实现 $3 \times 3 = 9$ 中形式的组合，并且开口量的大小也可通过软件进行调节，有较大的柔性。

不同形式的开口及组合方式与开口量的变化，均是由于锥阀开合时间顺序的变化而带来的，是时间柔性的表现形式。

### 3.3 工作环境自适应柔性

工作环境自适应柔性具体表现如下。

(1) 对象柔性。对工作对象综合性质有一定的识别能力，能根据对象的性质自动调节冲击能参数，并实施优化。

决定对象柔性的影响因素有传感器的精度高、采样频率的大小、软件算法结构以及专家知识库的丰富程度。

(2) 环境柔性。冲击器工作时不可避免地有温度升高的现象和氮气腔漏气现象，同时冲击器有可能在高寒地区工作，这些工作环境的变化影响着氮气腔的压力，势必对冲击器工作参数的输出造成影响。控制系统工作时，将先对氮气腔的初始工作压力进行判断，基于此判断，冲击器可调整活塞回程位置，以保证冲击能的恒定输出。温度升高使得氮气腔的

初始气压增大，活塞冲击回程位置靠前，冲击行程较短，可通过重新设定较大的压力反馈值增大冲击能，以保证冲击能恒定。当由于气体泄漏或冲击器在高寒地带工作时，气腔初始压力较小，可以适当调整冲击行程使其增长，以保证冲击能恒定。

当然，对冲击对象性质及工作环境变化适应的柔性，需要控制软件中拥有一个数据库加以支持。数据库的丰富程度决定了此种柔性程度的大小。

对象柔性及环境柔性的出现是冲击器具有时间、空间柔性的结果，究其根本在于压力反馈原理在冲击器中的运用。

新型冲击器除了上述三类主要的柔性外，笔者还认为它具有以下柔性。

**互换柔性：**指在不同型号冲击体与配流阀、配流阀与控制系统之间可以互换，并可在一定范围内保证冲击能与冲击频率的能力。同时也包含逻辑插装锥阀(已有成熟的标准产品)之间可以互换的含义。

**软件柔性：**指可根据冲击器对功能的要求来丰富或简化软件结构的能力。

## 4 试验

研究中根据柔性冲击器原理设计制造了氮爆式冲击器，并进行了试验，其额定冲击能为 500 J，系统压力为 14 MPa，系统流量为 60 L/min。

### 4.1 冲击能的无级调节

图 4 为冲击器冲击能与冲击频率随压力设定值变化而产生变化的曲线。由图 4 可知随着压力设定值的增大，冲击能逐渐增大，而冲击频率略有降低。由于冲击频率所降低的比例很小，可以认为冲击能可独立于冲击频率来实现无级调节。

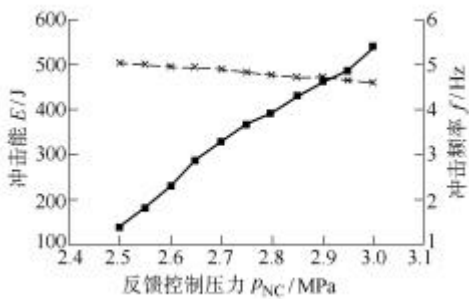


图 4 冲击能的无级调节

### 4.2 冲击频率的无级调节

图 5 为冲击器的冲击频率与冲击能随回油锥阀启闭延时量设定值变化而产生变化的曲线。由图可见随着回油锥阀启闭延时量设定值的增大，冲击频率逐渐减小，而冲击能基本不变。可以认为冲击频

率可独立于冲击能来实现调节。理论上，延时量的设定可根据需要确定，因而冲击频率的调节也是独立、无级的。

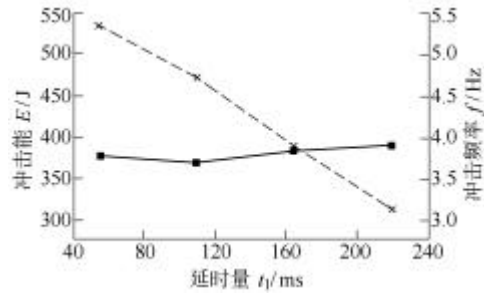


图 5 冲击频率的无级调节

### 4.3 冲击对象的识别能力

图 6 为试验中冲击器对水泥块进行冲击时，水泥块破碎前后的冲击曲线。表 3 为这一过程的参数表。试验中所进行的五次冲击中，除第一次冲击的反馈控制压力为人为初始设定值外，其余各次冲击的反馈控制压力均由前一次的活塞反弹速度通过实时计算得到。第二次冲击后，水泥块碎裂，因此反弹速度最小，之后活塞的冲击对象为用来固定水泥块的钢块，活塞反弹速度提高，并引起冲击能的逐渐加大。

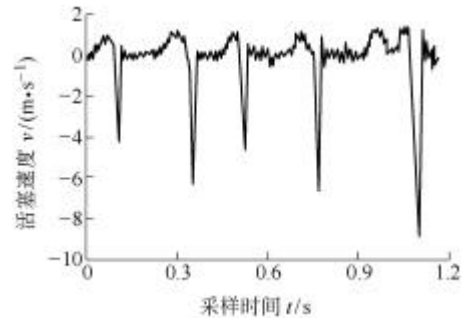


图 6 冲击水泥块过程中的活塞速度曲线

表 3 冲击过程参数表

按模糊控制算法得出的 氮气腔回程控制压力 $p/\text{MPa}$	活塞反 弹速度 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	冲击能 $E/\text{J}$	冲击频率 $f/\text{Hz}$	
第 1 次 冲击 (设定值)	2.500	0.51	125.9	—
第 2 次 冲击	2.625	0.22	279.2	4.10
第 3 次 冲击	2.500	0.62	147.1	5.17
第 4 次 冲击	2.625	0.98	302.3	4.12
第 5 次 冲击	2.875	1.38	540.3	3.01

## 5 结论

(1) 对不同特性的物质实施冲击时，活塞冲击反弹速度是不同的。利用这一现象可以判断冲击器工作对象的综合性质。

(2) 采用柔性配流系统可以使液压冲击器实现冲击能和冲击频率的独立、无级调节。

压力反馈原理和计算机测控技术的运用为冲击器引入了“柔性”，而正是这种“柔性”使得冲击器具有智能，工作时能达到“以柔克刚”的效果，而且能使其应用效果达到最优。

### 参 考 文 献

- [1] RAUSCHE F. Dynamic determination of pile capacity[J]. Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 1985, 111(3) : 367-383.
- [2] LUNDBERG B. Microcomputer simulation of percussive drilling[J]. International Journal of Rock Mechanics Mining Science & Geomechanics Abstract, 1985, 22(4) : 237-249.
- [3] 刘德顺, 李夕兵, 杨襄璧. 冲击机械系统的波动力学研究[J]. 机械工程学报, 1997, 33(4) : 104-110.
- [4] 丁问司. 液压冲击机构性能在线检测方法[J]. 液压与气动, 2001, 121(9) : 35-37.

## FLEXIBLE HYDRAULIC IMPACTOR

*DING Wensi CHI Yongbin*

*(College of Automotive Engineering, South  
University of Technology, Guangzhou 510641)*

**Abstract :** The impactor's performance varies according to its work objects, and this is called its flexibility. As the existing hydraulic impactors work on the principle of distance feedback, they are restricted by the volume and machining process. The power of such impactors can only be adjusted within the range of 2~3 grade, and they have to stop working for adjustment. Consequently, neither can such impactors work efficiently nor can they adjust their performance according to the physical nature of the work objects. How to make the impactor's performance automatically acclimatize to the environment or the different objects is an advanced study in this field. A new nitrogen-inflating impactor based on pressure feedback principle is put forward. It can estimate the work object's nature by piston's rebound behavior and adjust the power and frequency steplessly by flexible flow distribution system, which achieves the flexible impact. The field test shows that the new flexible impactor possesses great flexibility as regards its working time, space and environment.

**Key words :** Impact Rebound

Flexibility Impactor

作者简介：丁问司，男，1968年出生，博士，副教授。主要研究方向为机、电、液一体控制，发表论文30余篇。

E-mail : trindamper@tom.com