

⑬ 96-100

# 脉冲水气射流的实验研究

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PULSED WATER-GAS JET

唐川林                  廖振方                  刘学仁  
Tang Chuanlin          Liao Zhanfang          Liu Xueren  
(重庆大学资源及环境工程系)

TD 421.59

**摘要** 提出了一种可以产生振荡脉冲水气射流的新型脉冲射流装置,并用它对抗压强度为30MPa的白砂砖进行了冲蚀试验。为了便于比较,绘制了脉冲水气射流、振荡脉冲射流和常规射流的冲蚀效应随靶距变化的曲线,同时分析了脉冲水气射流冲蚀效应优于其他两种射流的原因。

**关键词** 脉冲射流;水气射流;冲蚀试验

中国图书资料分类法分类号 TD421.59

**ABSTRACT** A new pulsed jet device is presented which can produce oscillatory pulsed water-gas jet. This device is used in the erosive experiment on the white sandbrick whose compressive resistance is 30 Mpa. The curves of the erosive effects of the oscillatory pulsed water-gas jet, the oscillatory pulsed jet and the ordinary jet are drawn in order to be compared, which are changed as the distances of the targets are changed. In addition the reason why the erosive effect of the new jet is superior to the other two jets is analyzed.

**KEY WORDS** pulsed jet; water-gas jet; erosive experiment

## 0 前 言

在高压水射流中加入各种添加剂或在主射流上施加一些脉动,对射流破碎矿物、清洗、除锈过程会产生显著的影响。如在射流中加入各种磨料则会大大提高射流的破碎或清洗效率,在射流中加入少量高分子添加剂则会提高液流的流动性,降低液流与管壁的摩擦系数,提高液流速度并增大射流的有效射距,从而改善射流的动力特性;在射流束上施加一些脉动,使射流打击在靶面上,能产生交变的压应力、拉应力和剪切应力,从而大大地增强了射流的破碎、清洗、除锈效果。因此,国内外学者对脉冲射流和在射流中加入各种添加剂的研究尤为活跃。例如,苏联学者研究的在射流上叠加扰动的脉冲射流<sup>[1]</sup>、国内外学者广泛研究的磨料射流等<sup>[2,3]</sup>。基于这些研究,作者提出了一种新型脉冲射流装置。它能在对主射流施加扰动的同时还能周期性地在主射流中引入空气以形成脉冲水气射流。

\* 修改稿收到日期 1992-06-25

## 1 振荡脉冲水气射流的工作原理

振荡脉冲水气射流装置是在自激振荡射流的基础上发展起来的。它由振荡脉冲射流喷嘴和流体控制回路组成。它们分别如图1和图2所示。振荡脉冲射流喷嘴由上喷嘴①、下喷嘴②、工作腔室③和进气孔④组成。流体控制回路由空压机、或非元件、气阻、气容和膜盒组成。流体控制回路是这样控制振荡脉冲喷嘴进气孔④的：当空压机产生的压缩空气(0.1MPa)进入或非元件以后，由于附壁效应，压缩空气只从通道F流出。从通道F流出的气流又分成两路：一路到气室1充气，将膜片A顶起，堵死气室2上的小孔；另一路气通过气阻、气容后进入气室3，当气室3中充气到一定压力时，膜片B堵死了气室4的出口。由于气室4的出口与喷嘴的进气孔④和或非元件的偏压孔是连通的，故喷嘴的进孔④和或非元件的偏压孔也被堵死了。此时或非元件便切换到S端输出，膜片A与B复原，使喷嘴的进气孔和或非元件的偏压孔又通大气，或非元件又从F端输出。这就实现了振荡脉冲喷嘴的进气—停气—进气的一个周期，然后进行下一个循环。在进气孔④被堵死时，腔内剪切流动和下游壁的碰撞作用，剪切层不稳定性对扰动的有选择放大和下游壁附近的脉动压力场对射流上游分离区的有效激励作用，诱发了腔内自激振荡的产生，使下喷嘴射出的射流成为振荡脉冲射流<sup>[1-6]</sup>。在这种状态下，振荡腔内的流动对外界的干扰相当敏感。如果进气孔④被周期性地打开，就相当于给腔内流动施加了一个外来的干扰；在进气孔④被打开的同时，空气进入振荡腔内，在碰撞区和下喷嘴内逐渐进入水射流中而形成大量气泡，使下喷嘴射出具有不连续状结构的水气脉冲射流。

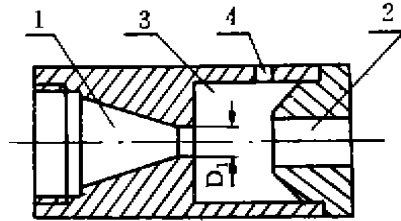


图1 振荡脉冲水气射流喷嘴简图

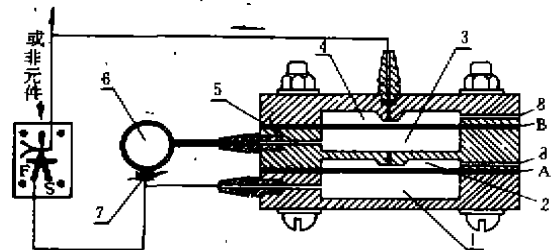


图2 流体控制回路

1, 2, 3, 4: 气室; 5: 节流孔; 6: 气容;  
7: 不可调气阻; 8: 排气孔; A, B: 膜片

## 2 实验研究

实验装置及测试系统如图3所示。

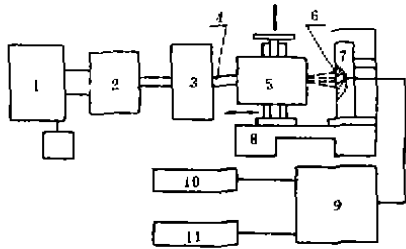


图3 实验装置及测试系统图

1—电机,2—电动往复泵,3—蓄能器,4—高压软管,  
5—实验装置,6—压力传感器,7—靶盘,8—试验台,  
9—动态应变仪,10—光线示波器

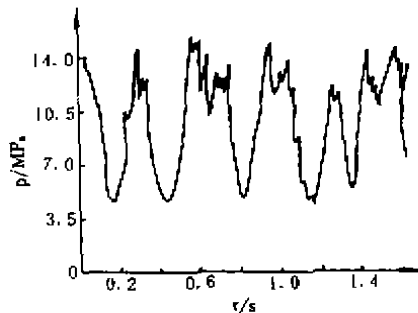
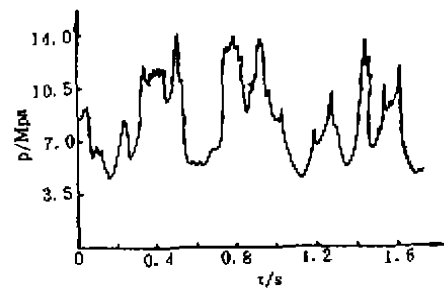
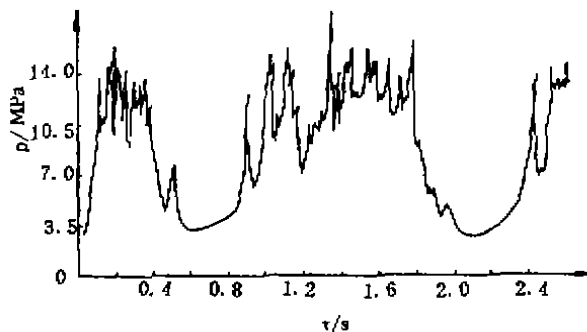


图4 振荡脉冲水射流的振荡波形

图5 气阻的  $R_1$ , 气容为  $V_1$  时, 振荡脉冲水气射流的振荡波形图6 气阻为  $R_2$ , 气容为  $V_2$  时, 振荡脉冲水气射流的振荡波形

实验台(8)是用旧车床改装而成的。实验用脉冲水气射流喷嘴就安装在刀架上。靶盘(内装传感器)和靶物安装在尾架上。因此能在三度空间内任意调整喷嘴和靶盘、靶物的相互位置。为了考察气阻、气容的变化对振荡脉冲水气射流的影响,作者采用了不同气容的膜盒和可变气阻进行试验。为便于比较,记录了振荡脉冲射流和不同气阻、气容情况下的振荡脉冲水气射流的振荡波形。它们分别如图4、5、6所示。为了考察振荡脉冲水气射流脉冲压力随靶距的变化,作者测试了不同靶距处的脉冲压力,如图7所示。为了考察振荡脉冲水气射流的破碎效果,作者选用白砂砖(其抗压强度为30MPa)为冲蚀试件,在不同靶距范围内进行了冲蚀实验。白砂砖在射流的冲击下所形成的冲蚀坑体积采用填石蜡的方法测量,并用体积冲蚀速度作为评价指标。体积冲蚀速度 $V$ 为冲蚀坑体积与冲蚀时间之比。图8为振荡脉冲水气射流、振荡脉冲射流和常规射流的冲蚀试验结果。

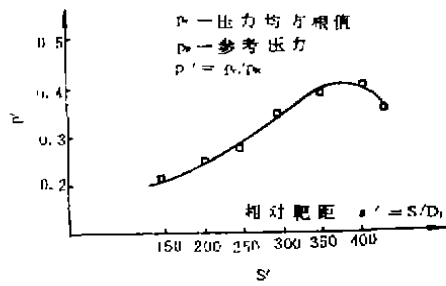


图7 压力均方根值随靶距的变化

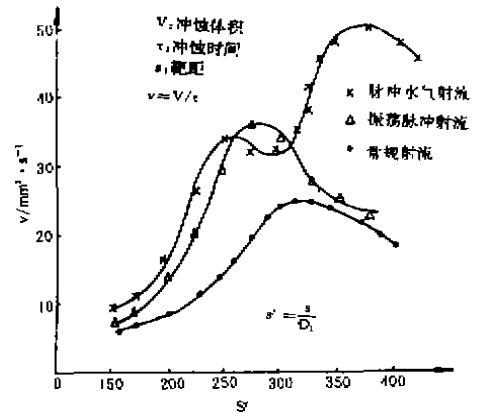


图8 冲蚀体积速度随靶距的变化

### 3 实验结果分析

#### 3.1 脉冲水气射流的振荡波形

从记录的射流动压波形来看,通过流体控制回路的确能产生脉冲水气射流。由图4、5、6可见,振荡脉冲射流的压力峰值与振荡脉冲水气射流的压力峰值相同,但振荡频率不同。振荡脉冲水射流的频率为300~1500Hz,脉冲水气射流的振荡频率为150~800Hz。振荡脉冲水气射流的振荡基频,受射流控制回路的影响,改变气阻、气容就能调整水气射流的振荡频率。例如,当气阻为 $R_1$ ,气容为 $V_1$ 时,脉冲水气射流的频率为200Hz左右;当气阻为 $R_2$ ( $R_2 < R_1$ ),气容为 $V_2$ 时( $V_2 > V_1$ ),脉冲水气射流的频率为160Hz左右。这是由于通过流体控制回路控制工作腔上的通气孔的“开”和“闭”,也就是说外界对腔内的脉动场施加了一个干扰,即周期性地吸入空气,这就使得从下喷嘴3射出的是振荡脉冲水气射流。而外界的干扰比腔内的自激振荡强烈得多。因此,射流振荡的基频主要取决于控制回路的频率,而空气的引入,使从下喷嘴射出的水射流中存在大量的微小气泡,使射流产生不连续的环状结构。

#### 3.2 脉冲水气射流的冲蚀效果

从图8中可见,在不同靶距处,水气脉冲射流的体积冲蚀速度均大于连续射流和振荡脉冲射流的体积冲蚀速度。且水气脉冲射流的体积冲蚀速度存在两个峰值。这可以从连续射流和水气脉冲射流的特性来加以解释。如图9所示,射流一般分为初始段和主段。当射流从喷嘴射出后,由于射流周围空气的渗入,使射流从初始段的近似等速流动逐渐过渡到主段的连续流动和液滴流动,这就使得连续射流的体积冲蚀速度随靶距逐渐增大,到液滴流动区达到最大值,而振荡脉冲射流和水气脉冲射流,由于射流本身是振荡的,致使射流的近似等速流动和连续流动区缩短,液滴流动区提前,使脉冲射流在(260~300)倍 $D_1$ 处的体积冲蚀速度达到极大值;振荡脉冲水气射流在(220~260)倍 $D_1$ 处的体积冲蚀速度达到第一峰值;在(350~400)倍 $D_1$ 处出现第二峰值。在第一峰值处,水气射流的振荡频率为200Hz左右,在第二峰值处,水气射流的振荡频率为600Hz左右。这就说明水气射流的第一峰值是由于液滴或空化造成的,而第二峰值的出现是由于水气射流在运动过程中不断掺混,产生强烈的横向振荡;当冲击靶物时,即产生强烈的水锤压力,又产生强烈的切向交变剪应力,这就使得水气射

流在该区段内破碎效果最佳。

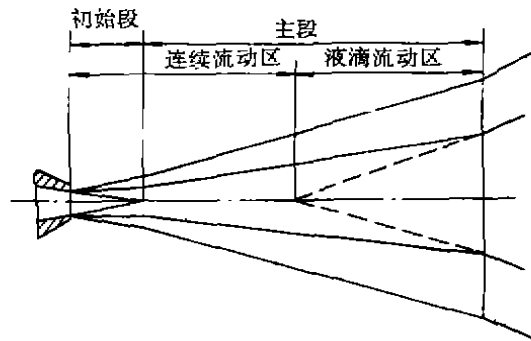


图 9 射流流动结构简图

## 4 结 论

(1) 通过流体控制回路和振荡脉冲射流喷嘴能产生振荡脉冲水气射流。改变控制回路中的气阻、气容,就可以在很大的范围内改变振荡脉冲水气射流的频率,有助于提高脉冲水气射流的应用范围。

(2) 振荡脉冲水气射流的破岩效果优于振荡脉冲射流和连续射流的破岩效果。以冲蚀白砂砖为例,其最大体积站蚀速度是振荡射流的 1.5 倍,是连续射流的近 2.7 倍。

(3) 振荡脉冲水气射流喷嘴结构简单,频率易于调节,可应用于清洗、除锈,降尘和水力辅助破岩。

## 参 考 文 献

- 1 G. A 阿坦洛夫,唐川林译,带有二次扰动的脉冲射流. 高压水射流, 1987, 2(2);
- 2 Gene G Yie. Cutting hard rock with abrasive-entrained water jet at moderate pressure. Proceedings of the second U. S. Water Jet symposium. ASME. 1983
- 3 陈玉凡等. 论浆状循环磨料射流技术. 高压水射流, 1991, 1: 89~91.
- 4 Liao Z. F Huang D. S. Nozzle Device For Self-excited Oscillation of A Jet. Proceedings 8th International Symp. On Jet Cutting Technology. BHRA. 1986. 195~201
- 5 Liao Z F. Tang C L. Theoretical Analysis and Experimental Study of the Self-excited Oscillation Pulsed Jet Device. Proceedings of The Fourth U. S Water Jet Conference. ASME. 1987. 26~32
- 6 Liao Z. F, Tang C. L. , Wang G. H. , A New Type Nozzle for Oil Well Drill Bits. Proceedings 10th International Symposium on Jet Cutting Technology. BHRA. 1990