

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.008

脉冲水气射流的破岩实验研究

唐川林, 朱伟林, 胡 东

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 利用脉冲水气射流喷嘴在振荡腔内引入空气, 与自激脉冲射流掺混形成脉冲水气射流; 当泵压为 7.5 MPa 时, 进行了 2 组冲蚀实验, 冲蚀抗压强度为 6.9 MPa 的混凝土, 第一组实验分析了不同腔长对脉冲水气射流和脉冲射流冲蚀效果的影响, 第二组实验分析了不同开孔孔径下脉冲水气射流的冲蚀效果。实验结果表明: 泵压一定时, 在合适的腔长下, 脉冲水气射流比脉冲射流的破岩效果好, 且存在一个最佳进气方式使脉冲水气射流的破碎体积最大。

关键词: 脉冲水气喷嘴; 脉冲水气射流; 冲蚀实验

中图分类号: TD421.5+9

文献标志码: A

章编号: 1673-9833(2012)02-0034-04

Experimental Study on Rock Breaking by the Pulsed Water-Gas Jet

Tang Chuanlin, Zhu Weilin, Hu Dong

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: With pulsed water-gas jet nozzle the pulsed water-gas jet was formed by entraining and mixing the air in the self-oscillating pulsed jet. At the pump pressure of 7.5 MPa made two groups of erosion experiments on the compressive strength of 6.9 MPa concretes. For the first group analyzed and compared the erosion effects of the pulse water-gas jet and the pulse jet under different cavity lengths, and for the second group analyzed the erosion effects of the pulse water-gas jet under different pore diameters. The experimental results show that at certain pump pressure and under the suitable cavity length, the pulse water-air jet has better rock breaking effect than the pulse jet, and there is the best air injection means which reaches the peak value of the breaking volume for the pulse water-air jet.

Keywords: pulsed water-gas nozzle; pulsed water-gas jet; erosion experiment

0 引言

目前, 利用高压水射流技术对物料进行切割、破碎和清洗等已成为国内外研究热点。影响高压水射流切割、冲蚀效果的因素较多, 如射流的驱动压

力、喷嘴结构、射流的冲蚀靶距以及射流液体的性质等^[1-2]。国内外许多研究者都在大力研究新的水力采矿设备和工艺, 以提高射流的破碎能力及落矿效率。气液射流^[3-5]是提高射流破碎能力的方法之一, 如德国的 A. W. Momber^[5]设计了非淹没状态的气液

收稿日期: 2012-01-05

基金项目: 科技部国际科技合作基金资助项目(2008DFA70300), 湖南工业大学自然科学研究基金资助项目(2011HZX10)

作者简介: 唐川林(1963-), 男, 湖南邵东人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事水射流技术及应用方面的研究,

E-mail: tcl5608@126.com

通信作者: 朱伟林(1986-), 男, 湖南邵东人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为水射流技术及应用,

E-mail: zwl731013@126.com

射流喷嘴,通过打开通气孔的数量和位置来改变进气方式,在泵压为 50 MPa,水流量为 75 L/min,喷嘴直径为 1.5 mm,靶距为 10 mm 的条件下进行破岩实验,冲蚀抗压强度为 39 MPa 的混凝土,实验结果表明:掺气与否基本不影响冲蚀孔的深度,但对材料的去除速度有显著影响,并且存在一个最佳进气方式使其达到最大冲蚀速度。唐川林等人^[6]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,用其对抗压强度为 30 MPa 的白砂砖进行冲蚀实验,实验结果表明: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,它的最大体积冲蚀速度是振荡射流的 1.5 倍,是连续射流的近 2.7 倍。本文结合气液射流喷嘴和脉冲喷嘴的特点,提出利用脉冲水气喷嘴,在负压的情况下,通过进气孔从外界吸入空气到振荡腔内,利用空气来调制脉冲射流,形成脉冲水气射流,以增强其振荡效果和破岩能力。

1 实验装置与方法

1.1 实验装置

本实验装置主要由电动机、减速机、柱塞泵、水泵、储能器、脉冲水气射流喷嘴和安装固定岩样的工作台等组成。该装置的工作原理是:启动水泵,待水泵工作稳定后再按下主电机启动按钮;通过减速机带动增压器,在增压器内形成高压水(通过溢流阀来调节压力);高压水经储能器稳压后,从脉冲水气射流喷嘴射出,进而冲蚀靶物。本实验装置结构如图 1 所示。

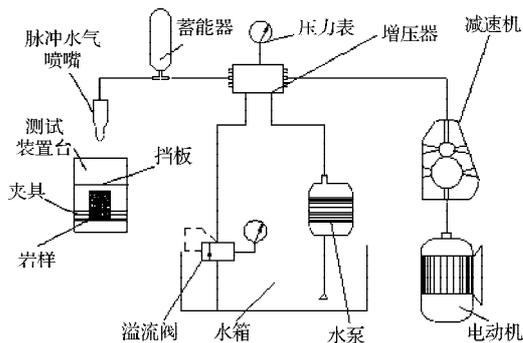
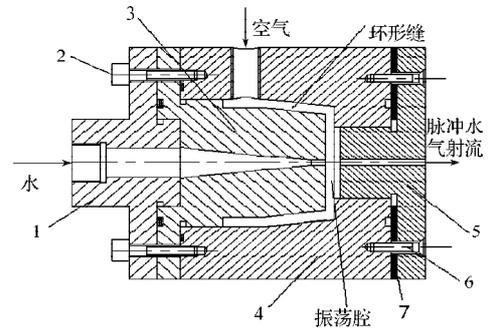


图1 冲蚀实验系统结构示意图

Fig. 1 Schematic of the erosion experiment system

储能器的用途是消除泵的脉动。脉冲水气喷嘴是本实验的核心装置,由振荡腔、上喷嘴、下喷嘴等组成,通过它开闭进气孔来实现 2 种射流形式:脉冲水气射流和脉冲射流,脉冲水气喷嘴的结构如图 2 所示。实验时,由控制面板和手柄控制射流发生器

与靶物的距离,并利用夹具将冲蚀件固定于工作台。通过测量冲蚀体积与深度来评价脉冲水气射流的工作性能。



1-水管接头; 2-螺母螺栓; 3-上喷嘴; 4-腔体套; 5-下喷嘴; 6-螺钉; 7-垫片

图2 脉冲水气射流喷嘴示意图

Fig. 2 Schematic of the nozzle of pulse water-gas jet

1.2 实验方法

冲蚀实验有 2 个研究目的:

- 1) 当泵压一定时,不同腔长下 2 种射流的冲蚀体积与靶距的关系;
- 2) 当泵压、腔长、靶距一定时,脉冲水气射流的冲蚀体积与进气方式的关系。

2 组实验如下:

- 1) 第一组实验。在泵压为 7.5 MPa,冲蚀时间为 40 s,开孔孔径为 2.8 mm 的条件下,对腔长为 3 mm 的装置进行脉冲水气射流实验,靶距从 5 cm 开始,再以 5 cm 等间距递增到 25 cm 分别进行冲蚀实验。同样分别对腔长为 4, 5, 6 mm 的装置重复进行脉冲水气射流实验。

- 2) 第二组实验。在泵压为 7.5 MPa,冲蚀时间为 40 s,腔长为 3 mm 的条件下,脉冲水气射流随着开孔孔径从 1.7, 1.8, 2.1, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.6, 3.8, 4.0, 5.0 mm 依次重复进行冲蚀实验。

为了测试脉冲水气射流的破碎效果,所有实验都是选用自制混凝土作为冲蚀试件,其抗压强度为 6.9 MPa。每次实验都是在泵压稳定后,用钢板挡住试件 5 s 后,再将钢板抽去,开始进行冲蚀实验。试件在射流的冲击下所形成的冲蚀坑体积采用填盐方法测量,并用破碎体质量作为评价指标。

2 实验结果与分析

2.1 不同腔长的射流冲蚀效果对比

当泵压为 7.5 MPa,冲蚀时间为 40 s,开孔孔径为 2.8 mm 的条件下,不同腔长下 2 种射流的冲蚀体积与靶距的关系如图 3 所示。

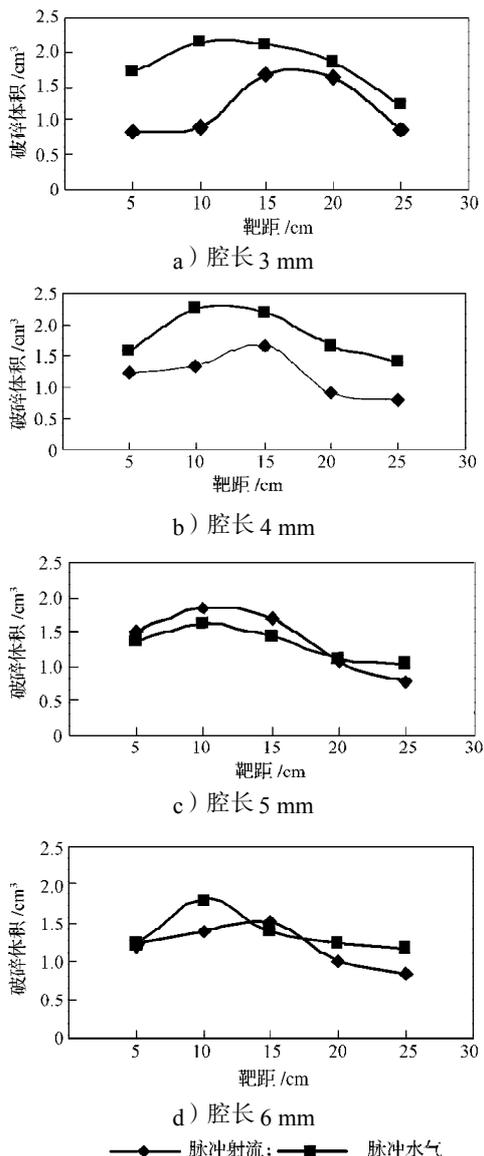


图3 不同腔长的射流冲蚀体积与靶距关系

Fig. 3 The relationship of eroding volume and target distance under different cavity lengths for the two jets

由图3的图a)和b)可知,当腔长为3 mm和4 mm时,脉冲水气射流的破碎效果优于脉冲射流。这是因为液体射流从喷嘴中射出时具有很大的紧密度,而吸入的空气使射流中存在着大量的微小气泡,使射流产生不连续的结构,这种间断射流能产生很大的振动负荷,因此,振动负荷的作用是水射流破碎混凝土试件的主要原因之一^[7]。在水力开采中,落矿速度与射流能量的动力分量成正比,高速射流冲蚀混凝土试件时,掺混的气体能增大脉冲射流水力动压力的脉动分量,从而增强其破碎能力。由图c)和d)可知,当腔长为5 mm,靶距小于20 cm时,脉冲射流的破碎体积高于脉冲水气射流,当腔长为6 mm,靶距为5~12 cm和18~25 cm时也是一样;而其他靶距下,脉冲射流的破碎体积低于脉冲水气射流,

这说明在合适的腔长下,吸入空气能增强射流的脉动分量,而在某些腔长下吸入空气会耗散主射流能量,削弱主射流的脉动,抑制腔内自激振荡效果,造成了脉冲射流的破碎效率较差。

不同腔长下,随着靶距的增大,2种射流的破碎体积先增大后减小,它们都有最大冲蚀体积,这可以从射流的特性来加以解释。射流流动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度到主段的连续流动和液滴流动,这就使得射流的冲蚀体积随靶距逐渐增大,到液滴流动区达最大值。与脉冲射流相比,脉冲水气射流中存在大量气泡,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,所以脉冲水气射流在较短的靶距内达到最大破碎体积;当达到最大破碎体积后,随着靶距的增大,2种射流的破岩体积随之减少,且脉冲水气射流的破岩体积减幅比脉冲射流小,这是由于脉冲水气射流在自激振荡腔内不断掺混空气^[8],产生强烈的径向振荡,所以当射流打击混凝土试件时,会产生强烈的切向交变剪应力,使其在长靶距下还能有较好的破碎能力。在3 mm腔长下,脉冲水气射流的破碎体积优于其他3种腔长下,且靶距为10 cm时脉冲水气射流的冲蚀效果最好。因此,本文选定最佳腔长为3 mm,最优靶距为10 cm作为另一组测量的实验条件。射流流动结构见图4。

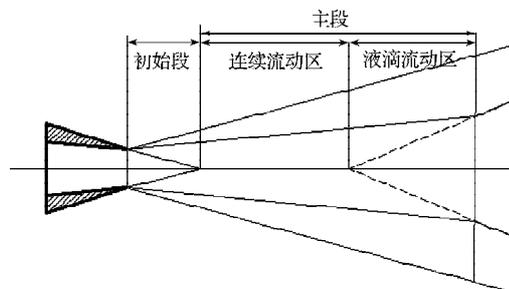


图4 射流流动结构简图

Fig. 4 Structural diagram of the jet flow

2.2 不同孔径的脉冲水气射流冲蚀效果分析

当泵压为7.5 MPa,冲蚀时间为40 s,腔长为3 mm时,不同孔径下脉冲水气射流的破碎体积见图5。

由图5可知,开孔(不论孔径大小)的射流破碎体积均大于没开孔的情况;随着进气孔径的增大,射流的破碎体积先增大后减小,其最佳进气孔径为2.1 mm,此时破碎体积达到最大。造成这样的原因是当负压一定时,如果孔径太小,则吸入空气时,其流速较大,在振荡腔内与射流掺混时,它会影响到主射流的轴向速度;如果孔径太大,它会影响到振荡腔的流场,减弱其自激振荡效果。

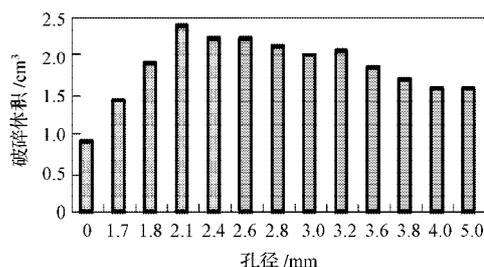


图5 不同孔径下脉冲水气射流的破碎体积图

Fig. 5 The breaking volume diagram of the pulse water-gas jet with various pore diameters

3 结论

根据自激脉冲喷嘴和气液喷嘴的特点, 利用脉冲水气射流喷嘴在振荡腔内引入空气, 使之掺混形成脉冲水气射流。

1) 泵压一定时, 各腔长下脉冲水气射流破碎体积都随靶距增大先增大后减小, 存在一个最优靶距使其破碎体积达到最大。

2) 在合适的腔长下, 脉冲水气射流相比于脉冲射流, 有更好的破岩效果, 其破碎体积增加一倍。

3) 随着进气孔径的增大, 脉冲水气射流破碎体积先增大后减少, 存在一个最佳进气孔径, 使得破碎体积最大。

参考文献:

[1] 沈忠厚. 水射流理论与技术[M]. 东营: 石油大学出版社, 1998: 390-414.
Shen Zhonghou. Water Jet Theory and Technology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 1998: 390-414.

[2] 李根生, 易 灿, 牛继磊, 等. 高聚物添加剂(超水)射流破岩实验研究[J]. 石油钻探技术, 2001, 29(6): 7-9.
Li Gensheng, Yi Can, Niu Jilei, et al. Experimental Study on High Polymeric Additives (Super-Water) Jet for Rock Erosion Efficiency[J]. Petroleum Drilling Techniques,

2001, 29(6): 7-9.

- [3] Liao Zhengfang, Li Jun, Chen Deshu, et al. Theory and Experimental Study of the Self-Excited Oscillation Pulsed Jet Nozzle[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 16(4): 379-383.
- [4] Jack Kolle, Ken Theimer. Mechanically-Assisted Jet Drilling System Configuration and Integration[EB/OL]. [2011-11-01]. http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:QpgpWROZNqWJ:scholar.google.com/+Mechanically-assisted+jet+drilling+system+configuration+and+integration&hl=zh-CN&as_sdt=0,5.
- [5] Momber A W. Concrete Failure Due to Air-Water Jet Impingement[J]. Journal of Materials Science, 2000, 35(11): 2785-2789.
- [6] 唐川林, 廖振方, 刘学仁. 脉冲水气射流的实验研究[J]. 重庆大学学报, 1992, 15(5): 96-100.
Tang Chuanlin, Liao Zhenfang, Liu Xueren. Experimental Study of the Pulsed Water-Gas Jet[J]. Journal of Chongqing University, 1992, 15(5): 96-100.
- [7] 胡永堂. 双射流结构和破岩特性实验研究[D]. 东营: 石油大学, 2003.
Hu Yongtang. Experimental Study on Structure and Rock Erosion of the Dual-Jet[D]. Dongying: University of Petroleum, 2003.
- [8] 蒲家宁, 高松竹, 陈 明. 空气室位置对脉冲水射流的影响[J]. 西南石油学院学报, 2006, 28(2): 89-91.
Pu Jianing, Gao Songzhu, Cheng Ming. Study on the Effect of Air-Chamber's Site upon Pulsed Water-Jet[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2006, 28(2): 89-91.
- [9] 何湘桂, 唐川林, 张凤华, 等. 喷嘴排列方式对气举提升性能的影响[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(4): 49-53.
He Xiangui, Tang Chuanlin, Zhang Fenghua, et al. Effect of Nozzle Arrangements on the Performance of an Air Lift [J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(4): 49-53.

(责任编辑: 邓 彬)