

淹没条件下不同结构参数的自激吸气式脉冲射流 喷嘴压力变化试验研究

高传昌 王好锋 黄晓亮 赵礼

(华北水利水电学院 450011 郑州)

摘要:运用自行研制的试验装置对淹没条件下的自激吸气式脉冲射流喷嘴特性进行了大量的试验,研究了吸气对喷嘴内的压力变化和脉冲射流峰值打击力的影响。通过研究淹没条件下10-16-125-75和8-14-85-60结构参数喷嘴在不同吸气根数下的腔套内各测点压力及峰值打击力的变化,得出不同结构喷嘴的压力和峰值打击力随吸气量的增大而逐渐提高,存在最优吸气量使脉冲射流峰值打击力最大。通过研究淹没条件下结构参数分别为8-14-85-60、10-16-105-75、14-28-125-105的喷嘴在不吸气及吸气根数为4情况下的射流峰谷差及峰值打击力,得出三种喷嘴在吸气时的射流峰值打击力分别提高45%~78%、40%~46%、22%~38%。研究表明:对于不同结构参数喷嘴,吸气可提高射流压力波动值和峰值打击力,随喷嘴直径和振荡腔容积的增大,该吸气方式对射流打击力的提高程度呈减小趋势。结果对进一步研究淹没条件下自激吸气式脉冲射流喷嘴特性具有指导意义。

关键词:自激吸气式;脉冲射流;喷嘴压力;峰值打击力;试验研究

中图分类号:TV136 **文献标识码:**A

1 引 言

自激式脉冲射流装置具有结构简单、密封性好、可靠性高以及成本低廉等一系列优点,同时它还具有体积小、无需附加外驱动机构等独特的优点^[1],已广泛用于石油、采矿、化工和水利水电等工程方面,被认为是一种很有发展前景的射流装置。

自激振荡脉冲射流喷嘴的压力变化对脉冲射流的发生具有重要意义。文献[2]利用喷嘴内部压力扰动波与扰动反馈波的相互作用对自激振荡脉冲射流的工作原理进行了阐述;文献[3]利用边界层理论和

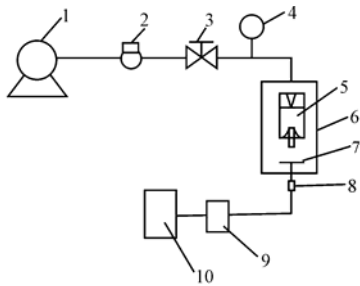
波涡理论对高压小流量的自激脉冲射流产生机理进行了研究;文献[4]利用数值模拟和试验研究的方法对喷嘴内部气囊压力的变化进行了对比分析;文献[5]对自激振荡脉冲射流的压力场进行了数值模拟,并分析了其影响因素;文献[6]利用自吸气的方法提高了自激脉冲射流曝气器中工作介质对空气的卷吸和掺混作用,增大了工作介质与空气的接触面积;文献[7]仅就外加气体对自激振荡脉冲射流频率的影响进行了研究,未对自激吸气式脉冲射流喷嘴的内部压力变化进行分析。本文主要对淹没条件下自激吸气式脉冲射流喷嘴内的压力变化进行试验,研究分析喷嘴内压力、射流压力波动等对脉冲射流打击

力的影响, 为自激吸气式脉冲射流喷嘴在深水水库冲沙清淤中的应用提供了理论依据。

2 试验装置与试验内容

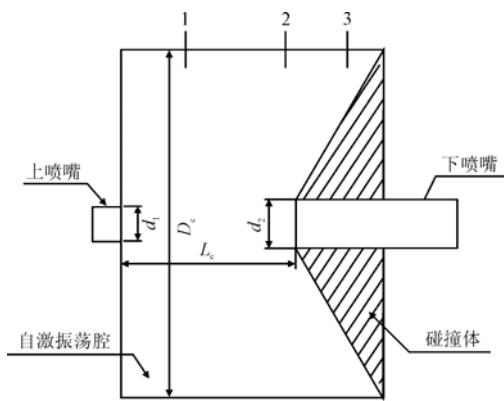
试验在华北水利水电学院射流技术实验室进行。试验装置由多级离心泵、电磁流量计、自激脉冲射流喷嘴、循环水箱、靶盘、压力变送器和数据采集系统等组成, 如图 1 所示。

工作流程为: 从多级离心泵 1 供给压力水, 通过电磁流量计 2 测量流量, 利用闸阀 3 控制所需设计压力, 其值由压力表 4 观察, 工作压力水经脉冲射流喷嘴 5 形成脉冲射流直接喷射到装有压力变送器的靶盘 7 上, 压力变送器将压力信号传输给数据采集系统, 再通过计算机进行存贮分析。



注: 1—离心泵; 2—流量计; 3—闸阀; 4—压力表;
5—自激吸气式脉冲射流喷嘴; 6—水槽; 7—靶盘;
8—压力变送器; 9—测试系统; 10—计算机

图1 脉冲射流试验系统装置图



注: d_1 、 d_2 —上下喷嘴直径; L_c —腔长; D_c —腔径;
1、2、3—腔套不同的压力测点

图2 自激吸气式脉冲射流喷嘴结构简图

主要对淹没吸气条件下自激脉冲射流喷嘴吸气量(吸气管根数)、不同位置的压强(压力测点位置如图 2 所示)以及喷嘴射流压力波动的变化对脉冲射流冲击力的影响进行了试验, 研究分析不同工作压力和吸气量对喷嘴不同位置压强变化的影响, 以

及淹没条件下自激吸气式脉冲射流喷嘴结构参数对其冲击效果的影响。

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

本次对自激吸气式脉冲射流喷嘴的结构参数和吸气量进行了大量的试验研究, 由于篇幅的限制, 本文仅选取上喷嘴直径 8mm、10mm、14mm, 下喷嘴直径 14mm、16mm、28mm, 腔径 85mm、105mm、125mm 及腔长 60mm、75mm、105mm 的三种喷嘴结构参数和吸气管径为 2.5mm 不同吸气根数下的试验数据进行整理, 得到了如图 3(a)和图 4(a)所示的淹没条件下不同工作压力、不同吸气方式对脉冲射流打击力(图中为峰值打击力)的影响(图中 $2.5 \times n$ 中: 2.5 表示吸气管直径为 2.5mm, n 表示吸气管根数); 淹没条件下不同吸气方式对喷嘴腔套内不同位置的压强变化影响, 如图 3(b)、图 3(c)、图 4(d)所示; 射流的压强波动对脉冲射流峰值打击力的影响, 如图 5、图 6、图 7 所示。

3.2 试验结果分析

3.2.1 10-16-125-75 喷嘴的压强变化

1) 图 3(a)为不同工作压力、不同吸气方式时脉冲射流的峰值打击力对比图。由图 3(a)可知, 在不同吸气方式和不同工作压力的条件下, 射流的峰值打击力不同; 吸气方式一定时, 随着工作压力的增大, 脉冲射流的峰值打击力也逐渐增大; 工作压力一定时, 随着吸气量的增大(吸气管根数的增多), 脉冲射流的峰值打击力也逐渐增大, 淹没不吸气时的射流峰值打击力最小, 吸气方式为(2.5mm×8 根)时的脉冲射流峰值打击力最大。

2) 图 3(b)为腔套内测点 1 的压强变化趋势。由图可知, 淹没不吸气时, 测点 1 的负压最大, 基本上不随工作压力的变化而变化; 在吸气方式一定时, 测点 1 的负压随着工作压力的增大而逐渐增大; 在工作压力相同的条件下, 随着吸气量的增大, 测点 1 的负压逐渐减小。由图 3(c)和图 3(d)可知, 腔套内测点 2 和测点 3 的压强变化趋势与测点 1 的压强变化趋势基本一致。

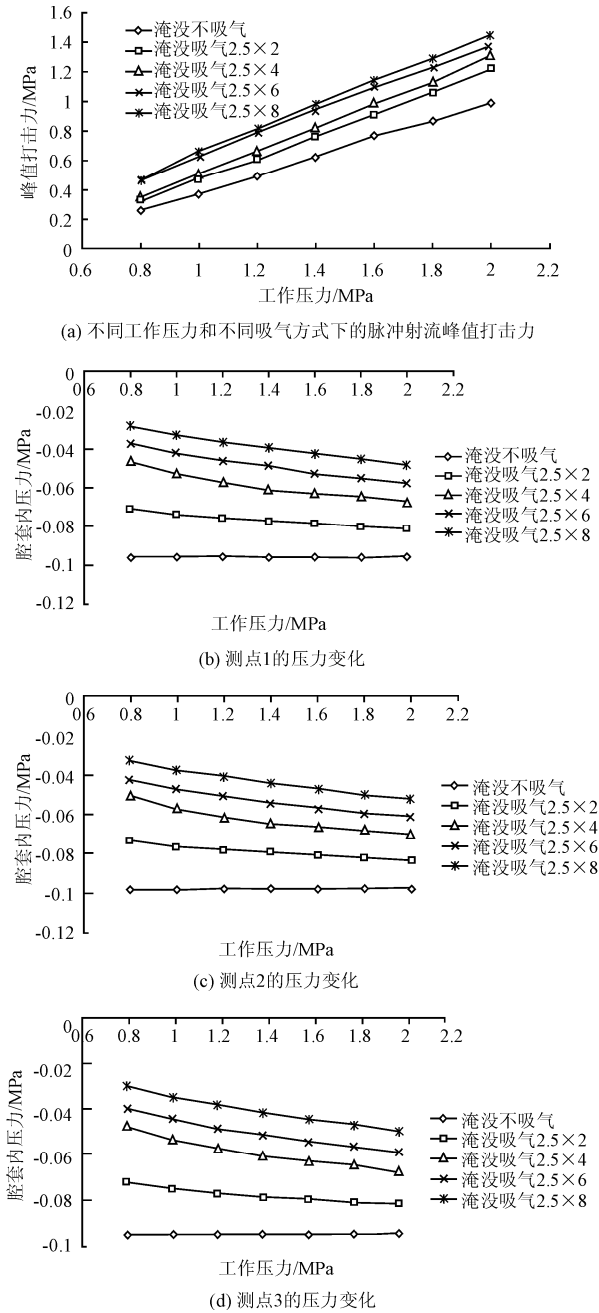


图3 10-16-125-75 结构参数下射流的峰值打击力及腔套内各点压力的变化

3.2.2 8-14-85-60 喷嘴的压力变化

1) 由图 4(a)可知,在吸气方式一定时,随着工作压力的增大,脉冲射流的峰值打击力也逐渐增大,但在该喷嘴结构参数下,脉冲射流的峰值打击力并不是吸气量越大其值也越大,而是在某一吸气方式(2.5mm×6 根)时脉冲射流的峰值打击力达到最大值。这就说明脉冲射流的峰值打击力与不同喷嘴结构参数和吸气量存在一个最佳配比范围。

2) 由图 4(b)、图 4(c)、图 4(d)可见,在 8-14-85-60 喷嘴结构参数下,腔套内测点 1、测点 2 和测点 3 的压力变化趋势基本一致,在工作压力一定时,随

着吸气量的增加,各测点的负压逐渐减小;但在吸气方式一定时,各测点压力随着工作压力的增加呈现出小波动的变化。这与 10-16-125-75 喷嘴结构内各测点压力随工作压力的变化存在差别。

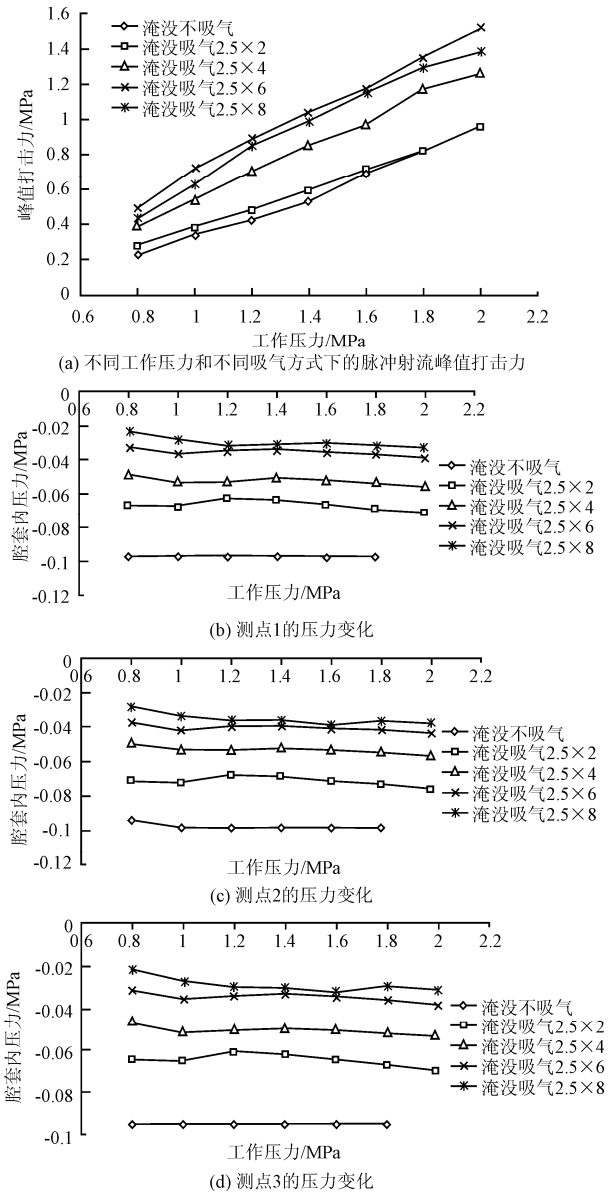


图4 8-14-85-60 结构参数下射流的峰值打击力及腔套内各点压力的变化

3.2.3 理论分析

根据文献[8]可知,自激振荡脉冲射流装置的系统频率与喷嘴的结构参数(上喷嘴直径、下喷嘴直径、腔径、腔长)和扰动波波速等因素有关。当喷嘴的结构参数一定时,扰动波的波速是影响脉冲射流频率的主要因素。根据文献[9]可知,扰动波的波速主要受射流流体中气体含量的影响,改变振荡腔内部流体的含气量可改变射流的频率;脉冲射流的发生是由于射流流体与装置发生共振,使射流的脉冲幅值得到一定程度的提高,从而提高了射流的打击力。因此,当喷嘴的结构参数不同时,装置的固有

频率也不相同, 产生脉冲射流时的流体含气量也不同, 即不同的结构对应不同的最优含气量。

综合上述分析可知: 射流的峰值打击力随工作压力的增大而增大, 吸气喷嘴的射流峰值打击力较不吸气的有所提高; 不同吸气方式条件下, 腔内压力均较不吸气射流有一定的提高, 且随工作压力的增大有一定的减小趋势; 不同结构喷嘴峰值打击力最优时的吸气量方式不同, 存在最优的吸气方式。

3.3 喷嘴射流压力波动及打击力分析

射流打击力波动的大小在一定程度上反应了脉冲的强弱。射流打击力波动越大, 说明射流的脉冲强度越大, 脉冲效果越明显。

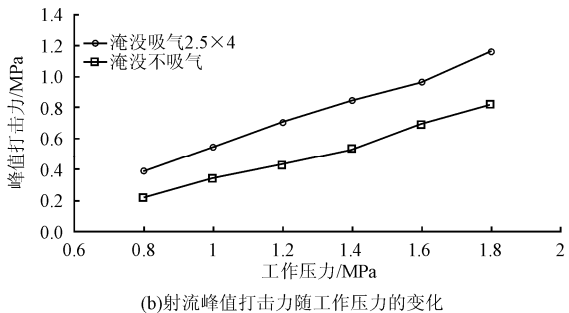
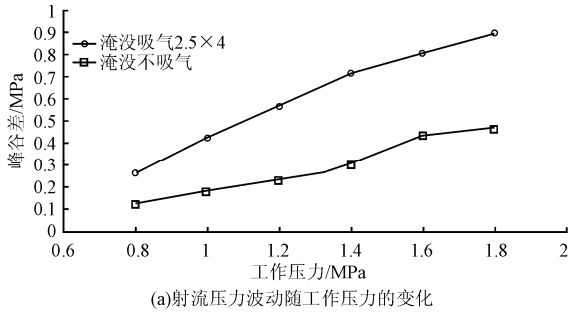


图5 淹没条件下 8-14-85-60 喷嘴的脉冲射流波动、打击力变化

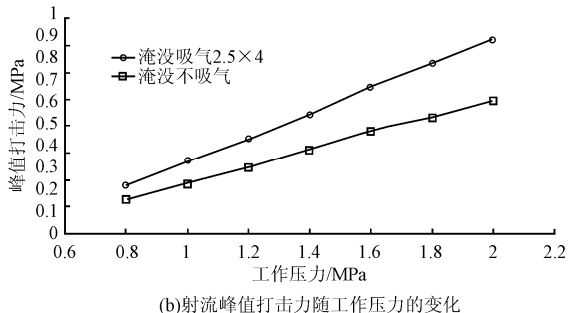
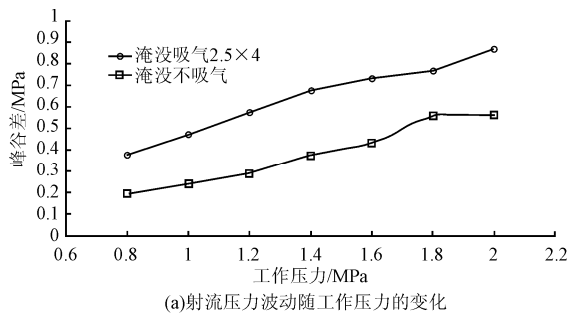


图6 淹没条件下 10-16-105-75 喷嘴的脉冲射流波动、打击力变化

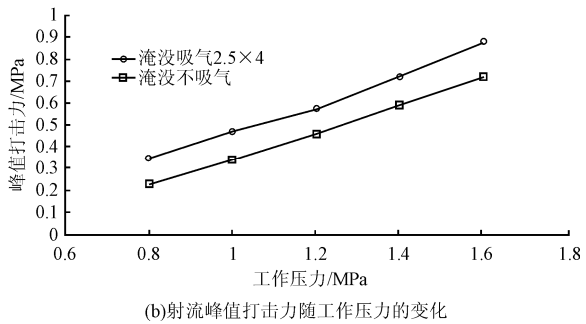
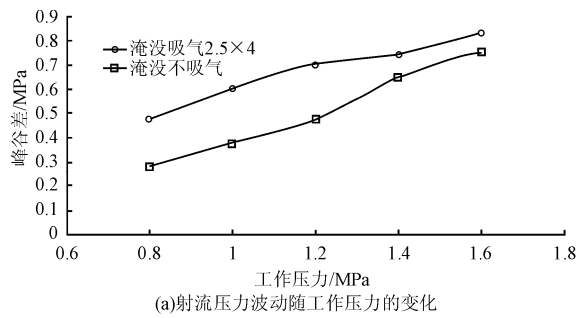


图7 淹没条件下 14-28-125-105 喷嘴的脉冲射流波动、打击力变化

图 5、图 6、图 7 给出了淹没条件下同一吸气方式(2.5mm×4)在不同最优配比结构参数下压力波动和打击力随工作压力变化的性能曲线。由图 5(a)可知, 吸气可提高射流打击力的压力波动值(峰谷差);射流打击力的峰谷差随着工作压力的增大而增大。结合图 5(a)、5(b)可知, 射流打击力的峰谷差越大, 对应射流的峰值打击力也越大; 射流打击力的峰谷差随工作压力的变化规律与射流峰值打击力随工作压力的变化规律基本一致; 与不吸气条件下的射流相比, 该吸气方式下射流的峰值打击力提高了 45%~78%。图 6 中射流峰谷差和峰值打击力随工作压力的变化规律与图 5 基本一致, 吸气时射流的峰值打击力较不吸气时提高 40%~46%。图 7 中吸气条件下射流的峰值打击力较不吸气时提高 22%~38%。由上述分析可知, 不同结构参数下, 吸气可提高射流压力波动值和峰值打击力, 且影响规律基本相同; 随着上喷嘴直径和振荡腔内容积的增大, 该吸气方式对射流打击力的提高程度呈减小趋势。这是因为同一工作压力条件下, 不同喷嘴结构的上喷嘴流速和同一吸气方式下的吸气量也基本保持不变; 由流量公式可知, 上喷嘴直径越大, 射流的流量就越大, 即振荡腔内水的容积越大, 腔内流体中气体含量的百分比就越小。由文献[7]可知, 含气量的大小直接影响脉冲射流的频率, 致使不同喷嘴结构的固有频率与脉冲射流频率有些不协调, 造成不同喷嘴结构的射流打击力提高的程度不同。

4 结束语

本文仅就一种吸气方式($2.5\text{mm}\times n$ 根)对两种喷嘴的压力变化进行了初步的试验研究,得出吸气可提高腔套内各点的压力、射流的压力波动和射流的峰值打击力,但在淹没条件下影响自激吸气式脉冲射流喷嘴压力变化和脉冲效果因素较多,要使自激吸气式脉冲射流喷嘴装置用于实际工程,还需要就不同的吸气方式对不同喷嘴结构进行系统的压力和脉冲效果的理论与试验研究,选择出脉冲效果最优的吸气方式和喷嘴结构参数,为工程应用提供科学依据。

参 考 文 献

[1] 高传昌,陈豪,雷霆.自激振荡脉冲射流的研究与进展[J].华北

水利水电学院学报,2009,30(3):41-44.

- [2] 唐川林,廖振方.自激振荡脉冲射流装置的理论分析和实验研究[J].煤炭学报,1989,3(1):90-100.
- [3] 廖振方,唐川林.自激式脉冲射流喷嘴的理论分析[J].重庆大学学报:自然科学版,2002,25(2):24-27.
- [4] 李江云,徐如良,王乐勤.自激脉冲喷嘴发生机理数值模拟[J].工程热物理学报,2004,25(2):241-243.
- [5] 王循明,焦磊,王乐勤.自激脉冲发生机理数值模拟及参数影响分析[J].浙江大学学报:工学版,2005,39(9):1450-1454.
- [6] 康勇烽.自吸式自激振荡脉冲射流曝气器的实验研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [7] 唐川林,张晓琪,杨林,等.利用外加气体改进自激振荡脉冲射流的动态特性[J].振动与冲击,2004,23(1):34-37.
- [8] 高传昌,雷霆.自激振荡脉冲射流喷嘴装置系统频率特性理论研究[J].应用力学学报,2010,27(1):33-38.
- [9] 杨林,李晓红,王建生,等.碰撞剪切流动中波速对自激振荡射流频率的影响[J].中国安全科学学报,2000,10(6):46-50.