

doi:10.3969/j. issn. 1674 - 8530. 2012. 01. 011

淹没条件下自激脉冲射流冲蚀试验研究

高传昌, 赵礼, 刘新阳, 黄晓亮

(华北水利水电学院电力学院, 河南 郑州 450011)

摘要: 为了对比不同淹没条件下连续射流和低压大流量自激吸气式脉冲射流冲蚀效果, 利用自行研制的射流冲蚀系统进行了射流冲蚀石蜡效果试验研究, 得到不同淹没水深下射流打击力、吸气量、石蜡冲蚀深度、石蜡冲蚀体积和石蜡冲蚀表面积等。结果表明: 在不同淹没水深下, 连续射流打击力大于吸气脉冲射流, 而吸气脉冲射流打击力又大于不吸气脉冲射流打击力, 且随着水深的增大, 自吸气与不吸气之间脉冲射流打击力差值越来越小; 当淹没水深较小时(≤ 30 m), 由于气体对石蜡剥蚀作用较强, 连续射流冲蚀深度小于吸气脉冲射流, 而当水深较大时(≥ 40 m), 由于吸气量变小, 剥蚀作用减弱, 冲蚀深度则相反; 在冲蚀面积和体积上, 在各种淹没水深下吸气脉冲射流冲蚀效果均好于连续射流, 且随着水深的增加, 两种射流的冲蚀面积和体积逐渐变小, 差值也越来越小。

关键词: 自激脉冲射流; 连续射流; 冲蚀; 淹没条件

中图分类号: S277.9; TE248 文献标志码: A 文章编号: 1674 - 8530(2012)01 - 0053 - 05

Experiment research on erosion of self-excited inspired pulsatile jet in submerged conditions

Gao Chuanchang, Zhao Li, Liu Xinyang, Huang Xiaoliang

(School of Electric Power, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, Henan 450011, China)

Abstract: In order to compare erosion effect of the self-excited inspired pulsatile jet with the continuous one under different submergence conditions, experimental studies of paraffin erosion caused from a jet was carried out by using own developed apparatus. In the experiments, the jet impact power, inspired air capacity, eroded surface depth, volume loss and eroded surface area were obtain under different submerged depths. The experimental results showed that the impact power of the continuous jet is larger than inspiration pulse jet; while the power of the inspired pulsatile jet is higher than that of the jet without inspiration. Moreover, the difference in impact power between the inspired and non-inspired jets steadily gets smaller with increasing submerged depth. When the submerged depth is shallower(30 m or less), the eroded surface depth of the continuous jet is smaller than the inspired pulsatile jet due to the stronger denudation caused from the air inspired. However, if the submerged depth is deeper(40 m or more), the eroded surface depth of the continuous jet is larger than the inspired pulsatile jet because of the less air inspired. The eroded surface area and volume loss of the inspired pulsatile jet are less than the continuous jet under various submerged depths. The eroded surface area and volume loss of two kinds of jet become small gradually, and their difference between the two jets also gets closer and closer with increasing submerged depth.

Key words: self-excited inspired pulsatile jet; continuous jet; erosion; submergence condition

收稿日期: 2011 - 04 - 10

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(200801011); 华北水利水电学院研究生创新课题(YK2010 - 10)

作者简介: 高传昌(1957—), 男, 河北邯郸人, 教授(gcc@newu.edu.cn), 主要从事流体机械及工程研究。

赵礼(1986—), 男, 辽宁葫芦岛人, 硕士研究生(lxywd2008@126.com), 主要从事射流研究。

人工扰动泥沙在黄河调水调沙中具有重要的作用。2004年黄河第三次调水调沙时通过将水下射流技术用于河道段泥沙扰动，明显提高了异重流的输沙能力^[1]。如何将水射流技术应用于几十米深的水库将库底泥沙扰动并悬浮，随异重流排出水库，是进一步提高异重流输沙能力手段之一。目前高压水射流技术的淹没水深已经达到几百米，主要用于水下破岩^[2-4]、切割^[5-8]等，但由于流量小，其并不适用于水库泥沙扰动。作为新兴低压大流量射流中的自激脉冲射流，近几年得到快速的发展^[9-11]，该装置体积小、结构简单、密封性好、可靠性高以及成本低廉，无需附加外驱动机构。通常认为对于自激脉冲射流，在腔内射流核两侧低压区域易产生空化，形成空化脉冲射流^[9]，但是在淹没条件下要想产生空化，必须增大工作压力，加大输入能量。笔者在前人研究的基础上^[12-13]，研制一种新式低压大流量自激吸气式脉冲射流装置，并采用自制淹没射流冲蚀试验平台对不同淹没水深射流进行冲蚀试验研究，选用石蜡作为冲蚀样本，比较自激吸气式脉冲射流和连续射流对石蜡的冲蚀效果。

1 试 验

1.1 试验冲蚀样本选择

试验采用的石蜡样本为粉状专用脂，其优点是不溶于水，可回收重复利用节省材料，加热熔化为液体后易冷却凝固定型，节省时间，便于试验操作。实测试验用石蜡的基本物性参数分别为15℃下黄褐色软质固体，运动黏度(100℃时)6.439 mm²/s，含油质量分数27.17%，熔点58.7℃，闪点不小于238℃，针入度74，无机械杂质及水分。

1.2 试验装置

图1为自激吸气式脉冲射流装置结构图，其中吸气管共4根，靠近碰撞体，管径6.5 mm，沿着腔体周向均匀布置。试验及测试系统示意图如图2所示，以压力容器罐作为模拟水下环境的主要载体。

利用离心泵抽水，电磁流量计测量水流量，闸阀控制工作水压力，注入压力容器罐内，再利用自动控制柜、小型供水泵(连接横向注水口)、压力传感器和安全阀达到设计的罐内围压压力，在水流经过射流装置时开始自吸气，吸气量通过气体流量计测量，射流直接冲击冲蚀盒中的石蜡，观察石蜡的破坏形态。试验装置有连续射流和自激脉冲吸气和不吸气射流装置两种，对于连续射流装置选取了直径为8

mm的上喷嘴，而脉冲射流装置上喷嘴直径为8 mm，下喷嘴直径为14 mm，腔径为85 mm，腔长为40 mm，靶距为100 mm，工作压力为2 MPa，冲蚀时间为10 min，流量为11.32 m³/h。试验中采用的围压分别为0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 MPa，分别相当于淹没水深10, 20, 30, 40, 50和60 m。在上述不同淹没水深下进行试验，通过测量冲蚀石蜡体积、表面积S等衡量射流的冲蚀效果，采用多次测量平均法和填水法记录该时刻下的石蜡冲坑深度L和体积V。

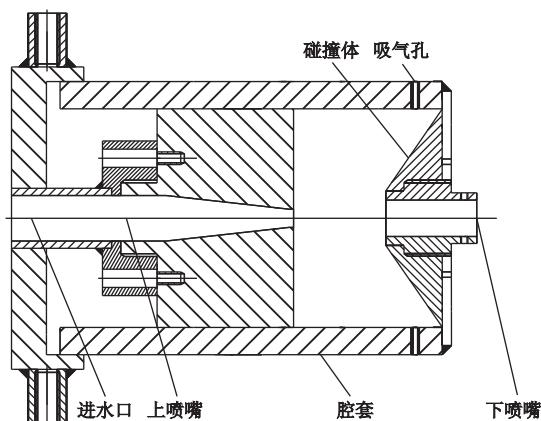


图1 自激吸气式脉冲射流装置图
Fig. 1 Self-excitation inspiration pulsed jet equipment

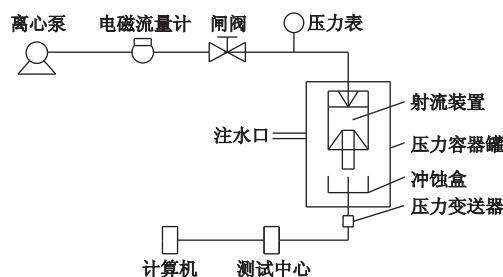


图2 淹没射流冲蚀试验系统示意图
Fig. 2 Experiment system sketch of submergence jet

2 试验结果及分析

图3为在不同淹没水深下连续射流、自激脉冲射流吸气和不吸气3种射流靶盘中心打击力p的曲线。可以看出：连续射流打击力最大，脉冲射流不吸气情况时打击力最小。主要原因是在淹没条件下，连续射流在靶盘上打击面积小，而脉冲射流打击面积较大，造成脉冲打击力小于连续打击力。同时可以看出：脉冲射流装置吸气后打击力高于不吸气，原因在于吸气后在装置内射流核两侧形成了涡环气团，如图4所示，与不吸气相比，吸气后其内部变成了气液

两相流,改变了其内部的流场和压力场结构,最终影响了射流。随着水深的增大,腔内负压区域越来越小,吸气量 Q 也越来越小,如图 5 所示,自吸气比不吸气射流打击力提高幅度越来越小,对射流的影响也越来越小。

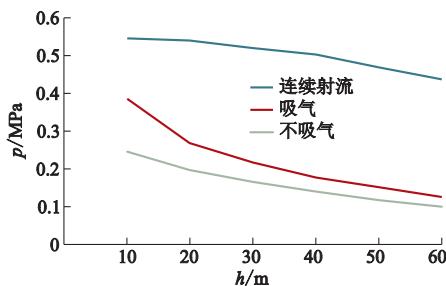


图 3 不同淹没水深下射流打击力

Fig. 3 Jet hitting power with different submergence depths

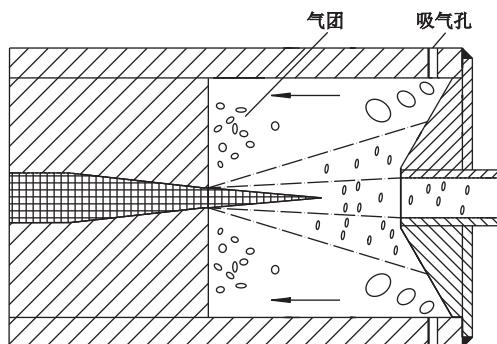


图 4 腔内涡环气团

Fig. 4 Vortexring air mass in interior of body cavity

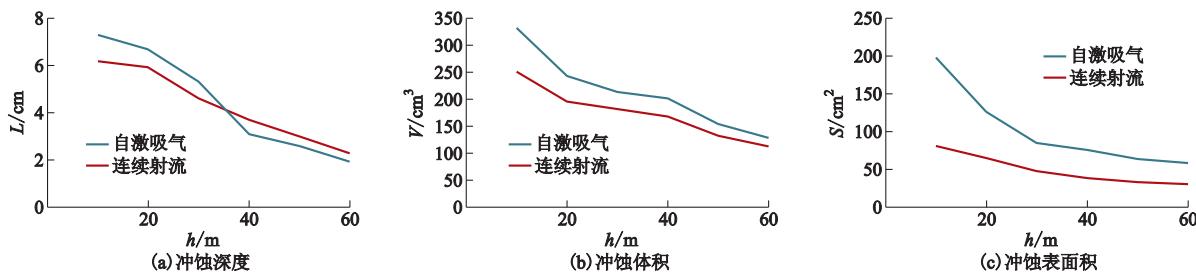


图 6 不同淹没水深下石蜡冲蚀效果

Fig. 6 Paraffin erosion effect with different submergence depths

由图 6 冲蚀体积和表面积曲线可以看出:在不同水深时,自激吸气式脉冲射流冲蚀体积和表面积均大于连续射流,且随着水深增大,两种射流冲蚀体积和表面积均越来越小且两者之间的差距也越来越小。原因同样在于水深增大,脉冲射流吸气量减小,导致对石蜡的影响变小。另外,由图 6 还可以看出:不同淹没水深下自激吸气式脉冲射流冲蚀体积和冲蚀面积均比连续射流提高明显,其中冲蚀体积平均提高 20% 左右,最大可达 30%;冲蚀面积最大可提高 150%,最小也有 75%,平均提高一倍左右。图 7,8 分

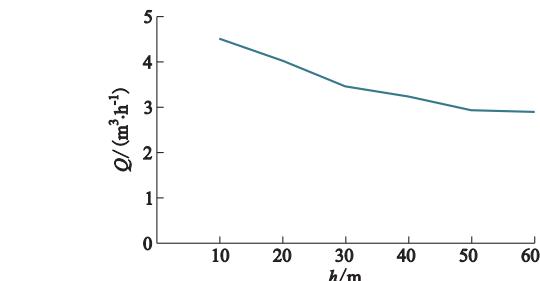


图 5 不同淹没水深下吸气量

Fig. 5 Inspiration capacity with different submergence depths

由于自激脉冲射流吸气后打击力高于不吸气,对于冲蚀效果进行了脉冲射流吸气和连续射流两种试验。图 6 为在不同淹没水深下连续射流和自激吸气式脉冲射流对石蜡的冲蚀效果,包括冲蚀深度、冲蚀体积和冲蚀表面积。从冲蚀深度曲线上可以看出:在水深较小时(≤ 30 m),自激吸气式脉冲射流冲蚀深度要大于连续射流,而当水深较大时(≥ 40 m),连续射流冲蚀深度要大于自激吸气脉冲射流。原因在于水深较小时,腔内负压区大,吸气量大(见图 5),形成的涡环气团大,下喷嘴气液两相流中含气量大,气体对石蜡剥蚀作用较强^[14],虽然此时连续射流打击力高于脉冲射流,但气体剥蚀作用大于打击力对石蜡冲蚀深度的影响;在水深较大时,腔内负压区小,吸气量小,形成的涡环气团小,导致气体对石蜡的剥蚀作用较弱且小于打击力对石蜡的影响,所以连续射流冲蚀深度较大。

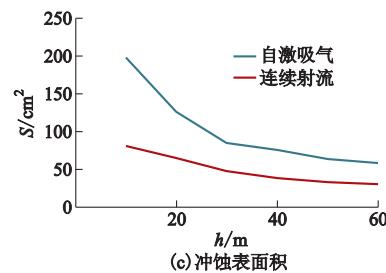


图 7 水深 10 m 石蜡冲蚀效果

Fig. 7 Paraffin erosion effect with water depth 10 m

别为水深 10 m 和 60 m 的表面积冲蚀效果直观图,同样说明了脉冲射流的冲蚀效果要好于连续射流。

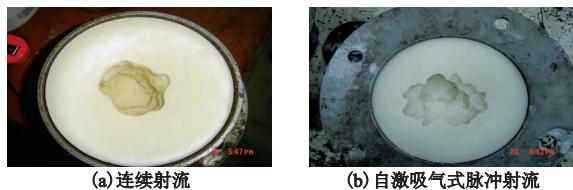


图8 水深60 m石蜡冲蚀效果
Fig. 8 Paraffin erosion effect with water depth 60 m

3 结 论

- 1) 由于打击面积小,在不同水深下连续射流的打击力明显大于自激吸气和不吸气脉冲射流.
- 2) 当水深较小时(≤ 30 m),自激吸气式脉冲射流冲蚀深度要大于连续射流;而水深超过40 m时,其冲蚀深度要小于连续射流.
- 3) 自激吸气式脉冲射流冲蚀面积和冲蚀体积均比连续射流有较大提高,冲蚀面积最大可提高近150%,最小也有75%;冲蚀体积比连续射流平均提高20%左右,最大可达到30%.
- 4) 试验证明了淹没条件下自激吸气式脉冲射流冲蚀效果要好于连续射流,研究中发现吸气量对打击力和冲蚀效果影响较大,但如何通过改变结构参数和运行参数来增加吸气量和打击力提高冲蚀效果,需进一步研究.

参考文献(References)

- [1] 李国英. 基于水库群联合调度和人工扰动的黄河调水调沙[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1439 - 1446.
Li Guoying. Regulation of water and sediment for the Yellow River based on joint operation of reservoirs and artificial intervention [J]. Journal of Water Resources Engineering, 2006, 37(12): 1439 - 1446. (in Chinese)
- [2] 李根生,廖华林,黄中伟,等. 超高压水射流作用下岩石损伤破碎机理[J]. 机械工程学报, 2009, 45(10): 284 - 292.
Li Gensheng, Liao Hualin, Huang Zhongwei, et al. Rock damage mechanisms under ultra-high pressure water jet impact[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45 (10): 284 - 292. (in Chinese)
- [3] Libor M Hlaváč, Irena M Hlavácová, Petr Jandacka. Comminution of material particles by water jets-Influence of the inner shape of the mixing chamber [J]. International Journal of Mineral Processing, 2010, 95 (1/2/3/4): 25 - 29.
- [4] 卢义玉,葛兆龙,李晓红. 高压空化水射流破岩主要影响因素的研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009, 41(6): 1 - 5.
Lu Yiyu, Ge Zhaolong, Li Xiaohong. Study on main factors of rock breakage with high-pressure cavitating water jets[J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2009, 41(6): 1 - 5. (in Chinese)
- [5] 王宗龙,胡寿根,姚文龙. 淹没条件下超高压磨料水射流切割岩石的实验研究[J]. 水动力学研究与进展:A辑, 2009, 24(2): 150 - 155.
Wang Zonglong, Hu Shougen, Yao Wenlong. Experimental research of ultra-high pressure abrasive water jet cutting rock in submerged environment [J]. Journal of Hydrodynamics: Ser A, 2009, 24 (2): 150 - 155. (in Chinese)
- [6] Azmira M A, Ahsanb A K. A study of abrasive water jet machining process on glass/epoxy composite laminate [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(20): 6168 - 6173.
- [7] Fowler G, Pashby I R, Shipway P H. The effect of particle hardness and shape when abrasive water jet milling titanium alloy Ti6Al4V[J]. Wear, 2009, 266(7/8): 613 - 620.
- [8] Foldyna J, Siteka L, Scuckaa J, et al. Effects of pulsating water jet impact on aluminum surface[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(20): 6174 - 6180.
- [9] 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.
Li Jiangyun, Xu Ruliang, Wang Leqin. Numerical simulation of mechanism of the self-excited pulse nozzle[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2004, 25(2): 241 - 243. (in Chinese)
- [10] 王乐勤,王循明,徐如良. 自激振荡脉冲喷嘴结构参数配比试验研究[J]. 工程热物理学报, 2004, 25 (6): 956 - 958.
Wang Leqin, Wang Xunming, Xu Ruliang. Experimental study on structural parameters optimized design of the self-excited oscillation pulsed jet nozzle [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2004, 25 (6): 956 - 958. (in Chinese)
- [11] 唐川林,胡东,裴江红. 自激振荡脉冲射流喷嘴频率特性实验研究[J]. 石油学报, 2007, 28 (4): 122 - 125.
Tang Chuanlin, Hu Dong, Pei Jianghong. Experimental study on the frequency characteristic of the self-excited oscillation pulsed nozzle[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 122 - 125. (in Chinese)

(下转第 63 页)