

# 控制阀对射流泵抽真空过程影响的仿真研究

苗继军<sup>1</sup> 刘 波<sup>1</sup> 吴 娟<sup>2,3</sup> 张学忠<sup>1</sup> 吴 江<sup>1</sup>

(1. 神华乌海能源有限责任公司 机电动力部 内蒙古 乌海 016000; 2. 太原理工大学 机械工程学院 山西 太原 030024;  
3. 山西省矿山流体工程技术研究中心 山西 太原 030024)

**摘 要:** 针对矿井自动排水系统中提高射流泵效率的途径,分析控制阀对射流泵抽真空过程的影响。利用流体力学软件 FLUENT,以井下常用的喷嘴直径为 8 mm 的 DN25 mm 射流泵为例,在控制阀不同通径面积的情况下,对射流泵进行了内部流场仿真模拟和试验分析。由分析结果可知,当控制阀的通径面积与喷嘴通径面积之比大于 1.5 时,建立抽真空所需压力的时间较长。如果面积比大于 2 时,即可建立抽真空所需压力,时间也较短,此结论为控制阀的设计提供了理论依据。

**关键词:** 矿井排水; 抽真空; 控制阀; 射流泵; FLUENT 软件

中图分类号: TD442

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2013)10-0096-03

## Simulation and Research on Impact Control - Valve on the Process of Injector Vacuum - Pumping

MIAO Ji-jun<sup>1</sup> , LIU Bo<sup>1</sup> , WU Juan<sup>2,3</sup> , ZHANG Xue-zhong<sup>1</sup> , WU Jiang<sup>1</sup>

(1. The Electromechanical Dynamics Department, Shenhua Wuhai Coal Co., Ltd., Wuhai 016000, China; 2. School of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Mine Fluid Engineering Technology Research Center of Shanxi Province, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** Be aimed at improving the efficiency of injector in mine automatic drainage system, the influence of control - valve on the process of injector vacuum - pumping was analyzed. Using the common DN25 mm injector which nozzle diameter was 8 mm as an example, the hydrodynamics software FLUENT was used to carry out simulation of internal flow field of injector with the different flow area of the control valve and some experiments were done. From the analysis results, a conclusion could be got, when the control valve path area and nozzle path area ratio greater than 1.5, vacuum pressure values for a longer time could be established; when the area ratio greater than 2, it would have a shorter time. This conclusion provides theory basis for the design of the control valve in the future.

**Key words:** mine drainage; vacuum - pumping; control - valve; injector; FLUENT software

## 0 引 言

煤矿井下排水系统是煤矿安全生产、高效发展的重要保障。射流泵抽真空装置是井下排水系统的关键组成部分。影响井下自动排水系统抽真空过程的因素很多,主要是离心泵自身的结构、射流泵效率、控制阀、静压水的流量和压力等因素<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 70 年代以来,国内外学者主要通过 2 种途径来提高射流泵的效率<sup>[2]</sup>: 一种是在相同的射流泵装置上采用非恒定射流,如脉冲射流、振荡射流,陆宏圻等<sup>[3]</sup>对脉冲液体射流泵进行的研究表明,脉冲液体射流泵的效率明显高于恒定流射流泵;另一种途径

是通过改进射流泵的结构,实现参数最优化,王常斌<sup>[4]</sup>根据能量守恒原理得出了射流泵效率计算公式,并利用多元函数极值原理给出了射流泵最优参数方程。笔者采用对射流泵参数进行优化的途径,提高射流泵的运行效率,从而缩短建立负压所需要的时间。在实际应用中,控制阀对射流泵的工作具有很重要的影响,当控制阀流量系数不够大时,流入射流泵的水量不足,抽真空效果欠佳。特别是工作射流速度与被吸流体速度比远小于离心泵吸水室漏气的泄露速度时,不能建立起吸满水所需的负压<sup>[5]</sup>。为更好地设计控制阀,笔者以煤矿常使用的喷嘴直径 8 mm 的 DN25 mm 射流泵为例,分析射流泵入口

收稿日期: 2013-05-23; 责任编辑: 赵 瑞

作者简介: 苗继军(1967—),男,内蒙古巴彦淖尔人,高级工程师,硕士。E-mail: nmgnylb2008@sina.com

引用格式: 苗继军,刘 波,吴 娟,等. 控制阀对射流泵抽真空过程影响的仿真研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 96-98.

端控制阀通径对抽真空的影响; 分析控制阀通径与射流泵喷嘴通径比对抽真空过程的影响, 利用 FLU-ENT 软件进行仿真分析, 并进行试验分析。

## 1 射流泵结构原理

井下排水系统中,离心式水泵启动前,必须利用射流泵抽真空系统对水泵泵腔内进行抽真空,当泵腔内达到一定真空度时,需要被排出的水会在内外压力差的情况下进入吸水管和泵壳内,当泵腔内注满水时水泵才能正常启动,否则水泵转动时将无法吸水,形成干烧现象,严重影响水泵使用寿命<sup>[6]</sup>。射流泵是利用射流紊动扩散作用,传递能量的流体机械和混合反应设备。压力水经控制阀进入射流泵,在射流泵内由喷嘴射出,在喷嘴出口处由于射流和空气之间的粘滞作用,将喷嘴附近空气带走,使喷嘴附近形成真空<sup>[7]</sup>。在射流泵入口前安装一控制阀,用于控制射流泵的抽真空动作(图1)<sup>[8-10]</sup>。控制阀阀门结构如图2所示。当系统发出开启水泵信号后,控制阀被开启,射流泵开始抽真空,当真空表达到设定真空度时(此时水泵泵腔已充满水),控制阀被关闭,抽真空动作结束,水泵开始启动。

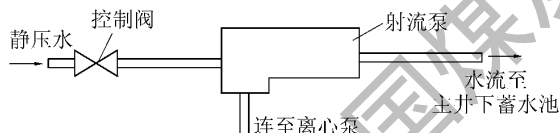


图 1 射流泵连接示意

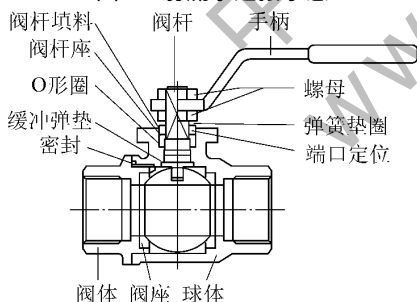


图2 控制阀的阀门结构

射流泵流场的几何形状和尺寸如图 3 所示,直

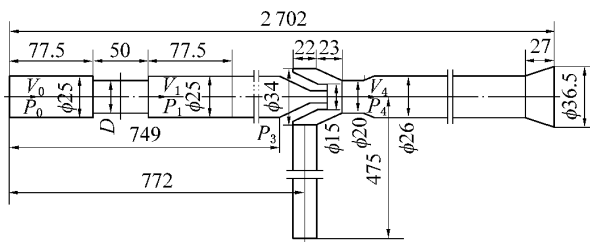


图3 射流泵流场几何形状和尺寸

径  $D$  处为简化的控制阀流场 相当于节流口, 当一定压力  $P_0$  的水通过入口, 改变  $D$  射流泵流场中的压力  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$  和速度  $V_1$ 、 $V_2$  均发生改变。以下将基于此模型对射流泵抽真空过程进行仿真分析。

## 2 仿真分析

针对离心泵的研究一般都局限于离心泵叶轮内流场方面,射流泵仅对内部流场进行仿真和模拟<sup>[11-12]</sup>。笔者应用 FLUENT 软件对离心泵抽真空内部的流场进行模拟计算,在模拟计算时做如下假设<sup>[13-16]</sup>:理想流体,不考虑能量方程,定常流动,不可压缩。

利用 FLUENT 软件打开生成的网格文件,各项设置如下:求解器为 Segregated,湍流模型为标准  $k-\varepsilon$  模型,介质材料为水,流场计算方法采用 SIMPLE 算法。图 4 为射流泵网格及吸水口示意。

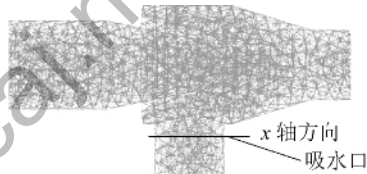
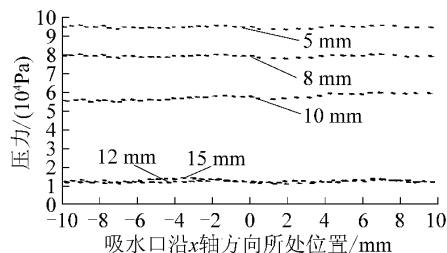


图4 射流泵网格及吸水口示意

分析通径比(控制阀的通径面积与喷嘴通径面积之比)对抽真空过程的影响,是在未考虑系统阻力条件下进行的。当喷嘴直径为 8 mm,控制阀流道直径分别为 5、8、10、12 和 15 mm 时,对应的控制阀通径面积与喷嘴通径面积之比为 0.391、1.000、1.563、2.250、3.516。通过仿真分析,其对应的吸水口  $x$  轴方向压力对比如图 5 所示。

图5 不同控制阀流道直径的吸水口  $x$  轴方向压力对比

由图 5 可知: 不同通径面积下的 5 条压力变化曲线, 其压力变化规律基本相似。当控制阀流道直径为 12、15 mm 时, 吸水口处的压力均约为 12 kPa; 当控制阀流道直径为 10、8、5 mm 时, 吸水口处平均压力分别约为 55、80 和 95 kPa(此时的压力为绝对压力)。分析图 5 可知, 控制阀的通径面积与喷嘴通

径面积之比对抽真空过程影响较大。显然,当面积比大于 1.5 时,可建立抽真空所需负压;当面积比小于 1.5 时,随着控制阀通径面积增加,射流泵吸水口处压力越来越小;当面积比大于 1.5 时,射流泵吸水口处压力越来越大,当通径面积增加到一定程度后,射流泵吸水口处压力值基本不变化。

### 3 试验研究

试验装置采用多级离心泵,由 PTJ206ZF 正负压

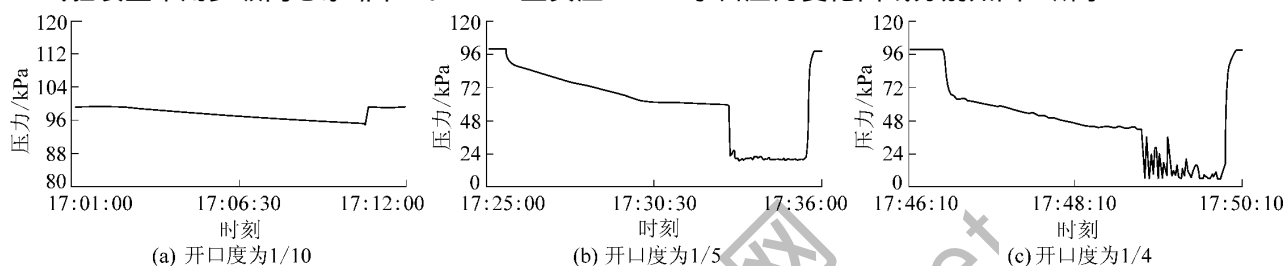


图 6 开口度为 1/10、1/5 和 1/4 时射流泵吸水口压力变化曲线

由图 6 可知:当控制阀开口度为 1/10 时,试验进行 10 min,压力最低约为 95 kPa,不能满足抽真空过程所需压力值的要求;当控制阀开口度为 1/5 时,可以实现抽真空,不过抽真空时间需要 8 min 左右;当控制阀开口度为 1/4 时,可以实现抽真空,抽真空时间为 3 min 左右。

通过改变控制阀开口大小改变通径面积,由此可以得出,虽然控制阀的通径面积与喷嘴通径面积比大于 1.5 时,吸水口压力小于 20 kPa,可建立抽真空所需负压,但所需时间较长。如果面积比大于 2 时,即可建立抽真空所需负压,时间也较短。

### 4 结 语

以煤矿常使用的喷嘴直径为 8 mm 的 DN25 mm 射流泵为例,通过 FLUENT 仿真对离心泵抽真空内部的流场进行模拟计算和射流泵抽真空过程试验。通过分析可知:①当控制阀通径面积与喷嘴通径面积比大于 1.5 时,可建立抽真空所需负压,但所需时间较长;②当面积比大于 2 时,可快速建立抽真空所需负压。仿真和试验表明,合理的通径面积比不但可保证达到抽真空所需的压力值,而且用时也短。

#### 参考文献:

- [1] 李 凯,胡乾坤.射流泵抽真空装置的研究[J].煤炭工程,2010(5):105-107.
- [2] 乌 骏,袁丹青,王冠军,等.射流泵的发展现状与展望[J].排

力传感器、可改变开口度的控制阀、喷嘴面积为  $5.0265 \times 10^{-5} \text{ m}^2$  的射流泵、显示器、静压水管等组成。在对射流泵进行抽真空试验时,通过对 DN 25 mm 控制阀开口度的调节,从而改变通流截面面积,得到在不同面积下的压力变化曲线。在 2012 年 10 月试验过程中,选取 3 种不同的情况,控制阀开口度为 1/10、1/5 和 1/4,此时对应通流截面面积分别为  $4.9 \times 10^{-5}$ 、 $9.8 \times 10^{-5}$  和  $1.125 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ,射流泵吸水口压力变化曲线分别如图 6 所示。

- 灌机械,2007,25(2):65-68.
- [3] 陆宏圻,高传昌,龙新平,等.气液活塞式脉冲液体射流泵装置设计理论研究[J].流体机械,1996,24(10):3-6.
- [4] 王常斌.射流泵最佳参数的确定方法[J].流体机械,2004,32(9):21-25.
- [5] 李 宁,魏传勇.煤矿井下排水自动控制系统关键技术分析[J].现代商贸工业,2010(3):318.
- [6] 谢锡绳,李晓谿.矿山机械与设备[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000:423.
- [7] 陆宏圻.喷射技术理论及应用[M].武汉:武汉大学出版社,2004:1-53.
- [8] 王 伟.新型多功能水泵控制阀的应用:以在矿井主排水中为例[J].成功(教育),2007(8):130.
- [9] 叶同清,李 剑.多功能水泵控制阀在矿井排水中的应用[J].工业用水与废水,2009,40(4):80-81.
- [10] 王晓飞,吴 娟,寇子明.用于多级离心泵抽真空吸水系统的大流量控制阀的开发研制[J].矿山机械,2009,37(5):61-63.
- [11] 文吉运,于 波,陆宏圻,等.射流泵内流场的大涡模拟[J].武汉大学学报:工学版,2007,40(2):110-114.
- [12] 向清江,袁寿其,何培杰,等.液气射流泵内部流场的数值计算[J].江苏大学学报:自然科学版,2008,18(3):231-235.
- [13] 袁丹青,王冠军,乌 骏,等.多喷嘴射流泵数值模拟及试验研究[J].农业工程学报,2008,24(10):95-99.
- [14] 周凌九,袁玲丽.射流泵液固两相流特性三维大涡模拟[J].排灌机械工程学报,2012,30(5):522-526.
- [15] 龙新平,程 茜,韩 宁.射流泵空化影响因素的数值分析[J].应用基础与工程科学学报,2009,17(3):461-468.
- [16] 李 杰,李文英.多功能水泵控制阀动态性能的数值模拟研究[J].煤矿机电,2010(2):22-24.