

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.01.015

# 喷射真空泵在膨化硝铵炸药生产中的应用研究<sup>\*</sup>

王玉蓉<sup>①</sup> 刘正俭<sup>②</sup>

①辽宁省机电工程学校(辽宁辽阳,111004)

②辽阳东鸣化工有限公司(辽宁辽阳,111203)

[摘 要] 阐述了喷射真空泵的基本原理及特点,介绍了喷射真空泵结构及在膨化硝铵炸药生产中的研究应用发展状况。针对传统的射流真空泵和新研制的喷射真空泵性能进行对比分析,提出了改变传统设计思路,提高喷射泵效率的有效途径。结果表明,同射流泵相比,喷射真空泵抽气速率从  $462\text{m}^3/\text{h}$  升至  $653\text{m}^3/\text{h}$ ,噪音从  $96\text{dB}$  降至  $88\text{dB}$ ,能耗降低  $40.5\%$ 。

[关键词] 真空泵 喷射 功率 分子扩散 能量交换

[分类号] TB752+.3 TD235.2+1

## 引言

真空泵是膨化硝酸铵炸药生产工艺过程中的重要组成部分,硝酸铵的膨化是硝酸铵饱和溶液在膨化剂作用下的真空结晶过程<sup>[1]</sup>。硝酸铵在设定的真空状态下,硝酸铵溶液的饱和蒸汽压力高于外部环境压力,从而使水在溶液中蒸发出来,吸收汽化潜热并提高浓度。当溶液达到过饱和状态时,产生结晶。真空系统的主要作用是将硝酸铵溶液的沸点降低以利于析出结晶,同时也将其中的水分带走<sup>[2]</sup>。因此,提高真空系统使用性能,成为炸药生产企业的—重要关键点。

随着民爆行业的飞速发展,企业用电供需矛盾越来越突出,采用最新节能产品是助推企业节能降耗的重要手段。本文从液体射流的基本理论出发,将喷射真空泵与射流真空泵进行了对比。结果表明,新研制的喷射真空泵性能优越,能耗可降低  $40.5\%$ 。

## 1 原理

射流真空泵与喷射真空泵的工作原理是相同的,都是由喷射器和水泵两部分组成。喷射器采用喷射技术<sup>[3]</sup>,当水以一定压力通过喷嘴进行高速喷射时,将周围处于静止状态的气体强制性卷吸和夹带,产生真空。由于采用的工作介质为冷水,在形成真空的同时,又起到冷凝作用,因此在真空系统中不需要单独冷凝器。既简化了工艺过程,又节省了大量的基建投资。

## 2 射流真空泵与喷射真空泵的区别

射流真空泵是以 IS 型清水离心泵的性能参数

为基础设计的<sup>[4]</sup>,破坏了喷射器的最优性能参数,造成效率降低;喷射真空泵是以选择喷射器的最优性能参数为基础来实现的,设计了在该性能参数下水泵所能达到的最高性能要求。

### 2.1 性能对比

真空泵的主要性能为真空度和抽速。

#### 2.1.1 真空度对比

真空泵所能达到的极限真空度,取决于水的温度所对应水的饱和水蒸汽压<sup>[5]</sup>,它随水温升高而迅速增大。当工作水通过喷嘴进行高速喷射时,大量的蒸汽被吸入到泵内,并与工作水完成冷凝和热交换过程,蒸汽释放热量迅速冷凝成水并形成真空<sup>[6]</sup>,而工作水吸收热量后升温,不凝性气体通过射流抽吸作用被抽吸而排入大气。由于喷射真空泵与射流真空泵的工作水流量比为  $2.3:1.0$ 。所以喷射真空泵温升速度远远小于射流真空泵温升速度,冷凝效果和真空度都会高于射流真空泵。由表 1 可见,水温对极限真空度有很大影响。真空泵在使用过程中,通过降低水温,也是提高真空泵性能的最好途径。

#### 2.1.2 抽气速率

喷射真空泵的抽速与被抽气体的吸入压力和排气压力,以及水泵工作水压力和流量的关系如下:

$$S = (0.85 \sqrt{\frac{p_w - p_A}{p_B - p_A}} - 1) G_w$$

式中: $S$ 为真空泵的抽速,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $p_A$ 为被抽气体的吸入压力,  $\text{Pa}$ ;  $p_B$ 为排气压力,  $\text{Pa}$ ;  $p_w$ 为水泵工作压

\* 收稿日期: 2012-11-08

作者简介: 王玉蓉(1967~),女,硕士,副教授,主要从事物理学、电子学的研究。E-mail:wangyurong1215@sina.com

表 1 在标准大气压下水温与饱和水蒸气压对照  
Tab. 1 Contrast of the water temperature  
the water vapor pressure at staandard atmospheric  
the water temperature

温度/℃	蒸气分压/kPa	极限真空度/kPa
20	2. 38	99
25	3. 22	98
30	4. 32	97
35	5. 73	96
40	7. 52	94
45	9. 77	92
50	12. 57	89

力,Pa; $G_w$  为水泵工作流量,Pa。

假设吸入压力  $p_A$  为 93. 325 kPa, 排气压力  $p_B$  为 103. 991 kPa, 已知射流真空泵的工作水压力  $p_w$  为 935. 920 kPa, 喷射真空泵的工作水压力  $p_w$  为 405. 299kPa, 按上式计算出射流真空泵的抽速和流量  $G_w$  的关系是  $S = 6. 45G_w$ , 喷射真空泵的抽速和流量  $G_w$  的关系是  $S = 3. 60G_w$ 。因为喷射真空泵与射流真空泵的流量比为 2. 3 : 1. 0, 所以, 喷射真空泵与射流真空泵抽速比为 1. 28 : 1. 00。明显看出, 喷射真空泵的抽速远大于射流真空泵抽速。

## 2.2 喷射器结构特点

喷射器部分在结构形式上没有太大区别, 只是在结构尺寸上进行了一系列的优化设计, 其主要区别如图 1 所示。

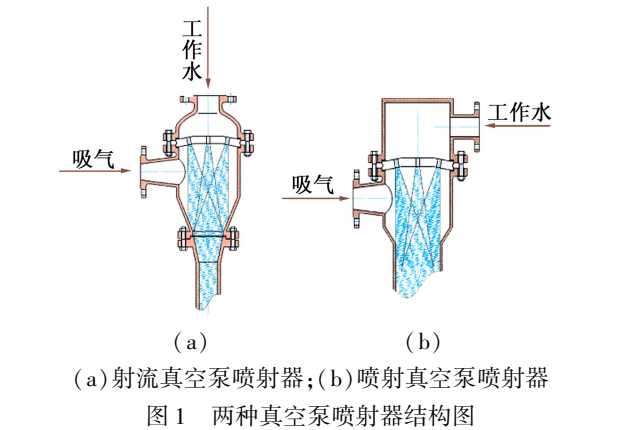


图 1 两种真空泵喷射器结构图

Fig. 1 Structure diagram of the two vacuum pump ejector

根据紊动射流<sup>[7]</sup>的一般特性可以知道, 工作水自喷嘴射出后, 会把周围处于静止状态的空气卷吸到水射流中, 被卷吸的空气不断增多, 混合流量和扬程增大; 射流真空泵为了确保工作水与气体之间的接触面积, 喷嘴与喉管之间就必须达到足够的喷射长度。从射流泵结构简图可以看出, 在这个喷射长度范围内, 射流边界层<sup>[8]</sup>厚度已经远远大于喉部尺寸, 一部分射流混合物与收缩段内壁进行碰撞后进

入喉管, 造成一定量的能量损失。另外, 由于周围静止流体与工作液的掺混, 会产生对射流的阻力, 所以必须选择较大的工作水压力, 来维持喉管段的最小工作压力要求。因此, 射流泵利用高压, 来实现在较长的喷射距离内达到喉管段的工作压力要求。而喷射真空泵则是在保证接触面积不变的前提下, 利用流量的增加, 来缩短喷嘴与喉管之间的距离, 既减小了工作水压力, 又增大了喉管尺寸, 使射流边界层厚度小于喉部尺寸, 减少了不必要的能量损失, 提高了喷射器的性能指标。

## 2.3 水泵功率

喷射器是一种利用高速流体作工作动力的流体机械和混合反应设备<sup>[9]</sup>, 它必须依靠外界给予它具有一定能量的工作介质作动力, 来实现抽吸气体而获得真空的目的。射流泵使用的动力源为 IS 型清水离心泵, 该泵是根据国际标准 ISO 所规定的性能和尺寸设计制造的, 泵的功率满足高效区内各变工况流量和扬程的全部要求。因此, 许多水泵处于不合理运行状况, 运行效率低, 浪费大量能源。喷射真空泵是以实现喷射器最佳优化性能参数<sup>[10]</sup>为基础, 水泵是以实现喷射器的性能需求来完成其最终目标的。当喷射器性能参数达到最佳值后, 水泵的流量和扬程就具有唯一的确定值, 从而不必过多考虑水泵在工作时, 由于流量和扬程变化而增大的电机功率储备, 充分发挥出喷射器的内在潜能, 达到了节约能源的目的。由此可见, 合理选泵对节约能源同样具有重要意义。

## 3 实际应用情况对比

现以射流真空泵在辽阳县化工一厂改造为喷射真空泵后的性能进行对比, 其数据如表 2。

表 2 两种真空泵实际运行数据		
Tab. 2 Contrast factual data of the two vacuum pump		
主要技术参数	射流真空泵	喷射真空泵
极限真空度/MPa	- 0. 098	- 0. 098
工作水温/℃	25	25
电机功率/kW	2 级 37	4 级 22
噪音/dB	96	88
最大抽速/( m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )	462	653
初抽吸时间/min	1. 5	1. 0
吸料时间/min	5. 5	3. 2
结晶时间/min	11. 0	8. 5
控制结晶温度/℃	125 ~ 135	125 ~ 135
硝酸溶液质量分数/%	90 ~ 92	90 ~ 92
膨化硝酸铵中水的质量分数/%	< 0. 15	< 0. 13
产量/( t · h <sup>-1</sup> )	1. 2	1. 6

通过表 2 对比不难看出,喷射真空泵节能效果显著,当水泵转速由原来的 2950r/min 降低到 1450r/min 后,噪音、振动和稳定性均得到大幅度改善,并提高了水泵的使用寿命。抽速的增加,极大地缩短了初抽、吸料和结晶时间,使该套膨化硝酸炸药生产线生产量由 1.2t/h 增加到 1.6t/h,在降低能耗的同时既提高了产量,又降低了生产成本。

#### 4 结论

综合以上对比可看出,喷射真空泵与原有的射流真空泵相比,喷射真空泵抽气速率从 462m<sup>3</sup>/h 升至 653m<sup>3</sup>/h,噪音从 96dB 降至 88dB,能耗降低 40.5%。具有节能效果显著、抽气量大、冷凝效果好、技术性能稳定和使用寿命长等优点。因此,该设备应用于硝酸铵膨化工艺具有较大的优越性。

#### 参 考 文 献

- [1] 陆明,吕春绪,刘祖亮,等. 膨化硝酸铵的膨化过程研究[J]. 火炸药学报,1999,22(3):15-18.  
Lu Ming, Lü Chunxu, Liu Zuliang, et al. Study on the expansion processing of expanded ammonium nitrate[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 1999, 22(3):15-18.
- [2] 吕春绪,刘祖亮,叶志文. 硝酸铵膨化机理研究[J]. 火炸药学报,1998,21(2):16-18.  
Lü Chunxu, Liu Zuliang, Ye Zhiwen. Research on expanded mechanism of ammonium nitrate [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 1998, 21(2):16-18.
- [3] 陆宏圻. 射流泵及喷射器技术的现状与展望[J]. 流体机械,1984(3):40-43.  
Lu Hongqi. Jet pump and ejector technology present situation and prospect[J]. Fluid Machinery, 1984(3):40-43.
- [4] 牟介刚,张新,黄忠红. 单级单吸清水离心泵技术水平分析[J]. 排灌机械,2007,25(2):1-4.  
Mou Jiegang, Zhang Xin, Huang Zhonghong. Technology evaluation of single-stage and single-suction rinsing cen-

trifugal pump [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2007, 25(2):1-4.

- [5] 包立红. 基于 ITS—90 的饱和水蒸气压力表(0~100℃) [J]. 计量技术,1993(8):26-29.  
Bao Lihong. ITS—90 based on saturated water vapor pressure (0~100℃) [J]. Measurement Technology, 1993(8):26-29.
- [6] 赵祥涛,唐学军,张明学. 水喷射真空冷凝泵对真空干燥系统的影响及提高措施[J]. 干燥技术与设备, 2009, 7(1):84-87.  
Zhao Xiangtao, Tang Xuejun, Zhang Mingxue. The influence and improving measures of water jet condensation vacuum pump on vacuum drying system [J]. Drying Technology and Equipment, 2009, 7(1):84-87.
- [7] 王敏尔. 单股、多股紊动水射流数值模拟研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2005.  
Wang Min'er. Single unit, multiple turbulent numerical simulation of water jet [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2005.
- [8] 王玉玲,王怡. 射流速度、温度及浓度边界层厚度的研究[J]. 建筑热能通风空调,2009,28(4):6-9.  
Wang Yuling, Wang Yi. Study on thickness of velocity, temperature and pollutants concentration boundary layers of jet [J]. Building Energy and Environment, Ventilation Air Conditioner, 2009, 28(4):6-9.
- [9] 龙新平,朱劲木. 射流泵内部流动的数值模拟[J]. 武汉大学学报(工学版),2002,35(6):1-6.  
Long Xinping, Zhu Jinmu. Numerical simulation of internal flow in jet pump [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2002, 35(6):1-6.
- [10] 王常斌,林建忠,石兴. 射流泵最佳参数的确定方法 [J]. 流体机械,2004,32(9):21-25.  
Wang Chang bin, Lin Jianzhong, Shi Xing. Method of optimum parameter ascertainment of jet pump [J]. Fluid Machinery, 2004, 32(9):21-25.

### Application of Ejector Vacuum Pump in the Manufacture of Industrial Expanded Ammonium Nitrate explosive

Wang Yurong<sup>①</sup>, Liu Zhengjian<sup>②</sup>

①Liaoning School of Electrical and Mechanical Engineering (Liaoning Liaoyang, 111004)

②Liaoyang East Ming Chemical Industry Limited Company (Liaoning Liaoyang, 111203)

[ABSTRACT] The basic principal and characteristics of ejector vacuum pump were summarized in this paper with a focus on its structure and the research development on its application in the fabrication of the expanded ammonium nitrate explosive. The contrast property analysis between the traditional jet vacuum pump and the newly developed ejector vacuum pump leads to the proposal on the effective ways in improving the ejector vacuum pump's efficiency. The experimental results show a lashing velocity increase of 191 m<sup>3</sup>/h, a noise level decrease of 10dB, and an energy consumption reduction of 40.5% in the performance of ejector vacuum pump in comparison to its traditional counterpart.

[KEY WORDS] vacuum pump, jet, power, molecular diffusion, energy exchange