

# 利用蒸汽喷射压缩机回收乏汽技术

徐生荣

(南京师范大学动力工程学院, 210042, 南京)

[摘要] 结合现场案例, 讨论蒸汽喷射压缩机在回收乏汽方面的应用. 分析影响蒸汽喷射压缩机喷射系数的主要因素, 以及喷射系数与焓效率的关系. 计算说明压缩比的影响比工作蒸汽压力的影响更为显著, 采用两级喷射器串联方式虽然可使单级的喷射系数提高, 但系统总的喷射系数并不一定提高. 蒸汽喷射压缩机存在较大的焓损失, 但由于回收了大量的已排出工艺外的乏汽, 使蒸汽变废为利, 增加了可使用能量的数量, 不失为一项有效的节能措施. 同时由于消除了低压蒸汽的放空现象, 减少现场的噪音污染和热污染, 改善了环境和劳动条件.

[关键词] 喷射压缩机, 喷射系数, 焓效率, 乏汽

[中图分类号]TK2, [文献标识码]B, [文章编号]1672-1292-(2003)01-0074-03

## 0 引言

蒸汽喷射压缩机是利用较高压力的蒸汽(压力为  $p_1$ ) 作为工作介质, 经过喷嘴, 产生高速汽流, 从而抽吸低压蒸汽(压力为  $p_2$ ), 两股蒸汽在混合后经扩压产生一中等压力  $p_3$  ( $p_2 < p_3 < p_1$ ) 的蒸汽, 见图 1.

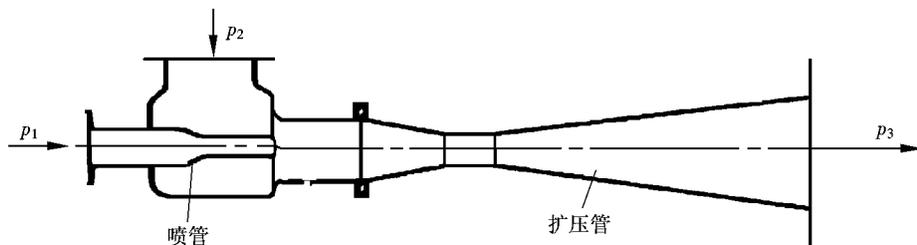


图1 喷射压缩机结构简图

在该装置中, 低压蒸汽被压缩, 提高了压力和温度, 即提高了能级; 而高压的工作蒸汽由于其压力、温度降低, 其能级有所降低. 从工程热力学的观点, 可以认为装置中发生的是绝热混合过程, 因此它是一个熵增过程, 即能量贬值过程. 但与单纯的绝热混合过程不同的是高压蒸汽在系统内做功以压缩低压蒸汽. 如果利用这一技术回收放空的蒸汽(乏汽)则可回收乏汽的质量和热能, 从而达到节约能源的目的.

某石化企业有大量的次等级低压蒸汽富余, 据统计全年平均有 10t/h 的低压蒸汽(压力为 0.35 MPa) 因工艺上或公用设施上无法利用而放空, 造成了能源浪费和环境污染. 与此同时, 该厂的乙烯装置的稀释蒸汽(压力为 0.56 MPa) 发生系统因为发生量不够, 需补充中等压力的蒸汽(压力为 1.6 MPa) 约 40 t/h. 中等压力的蒸汽降压使用也存在能量的贬值或浪费. 如果利用蒸汽喷射压缩技术, 将富余的低压蒸汽通过压力较高的蒸汽加压至稀释蒸汽所需的压力, 使排空的乏汽得到回收利用, 则可减少中压蒸汽的消耗量, 使装置能耗得到降低.

蒸汽喷射压缩技术简单、可靠, 且不消耗机械能. 此外喷射器与管系相连接时, 系统简单, 因此用于这一案例是可行的. 表 1 给出了蒸汽喷射压缩机所涉及的相关设计参数.

收稿日期: 2003-01-27.

作者简介: 徐生荣, 1957-, 南京大学动力工程学院副教授, 工学硕士, 主要从事热工设备测试、调试及教学工作.

根据表 1 所列数据, 对蒸汽喷射器的运行参数进行分析计算, 以求得最佳喷射系数和最高的焓效率。

喷射器的喷射系数定义为<sup>[1]</sup>:

$$u = \frac{\text{引射蒸汽质量}}{\text{工作蒸汽质量}} \quad (1)$$

焓效率定义为<sup>[1]</sup>:

$$\eta = \frac{u(h_3 - h_2) - T_0(s_3 - s_2)}{[(h_1 - h_3) - T_0(s_1 - s_3)]} \quad (2)$$

式中:  $h$  和  $s$  分别表示水蒸汽的焓和熵; 下标 1 表示喷射器工作蒸汽参数; 下标 2 表示喷射器引射蒸汽参数; 下标 3 表示喷射器出口蒸汽参数。

## 1 喷射系数<sup>[1]</sup>

在喷射压缩机前的工作流体参数( $p_1, T_1$ ) 和引射流体参数( $p_2, T_2$ ) 给定以及喷射压缩机出口压力  $p_3$  给定的情况下, 应首先确定喷射压缩机可达到的最大喷射系数, 因为喷射系数是喷射器工作的主要指标之一, 也是考核乏汽回收系统的主要经济指标。

喷射系数  $u$  主要受蒸汽压力和温度的影响, 理论研究证明喷射系数与工作蒸汽和引射流体的绝对温度之比的平方根成正比<sup>[1]</sup>。

$$u \propto \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (3)$$

其中:  $u$  值随工作流体温度的升高而增大, 随引射流体温度的升高而减小, 如果令  $\theta = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$ , 则有:

$$u\sqrt{\theta} = f(p_1/p_2, p_3/p_2).$$

$u\sqrt{\theta}$  值随着  $p_1/p_2$  值的增加而增加, 随着  $p_3/p_2$  值 (压缩比) 的增加而减少。根据文献[1] 推荐的计算方法, 按照案例提供的蒸汽参数, 经计算可得, 若采用 4.0 MPa, 390 °C 蒸汽作为工作蒸汽, 其最大喷射系数为 1.1; 若采用 1.6 MPa, 290 °C 的蒸汽作为工作蒸汽, 相应的  $u$  值为 0.65。图 2 为根据案例提供的蒸汽参数范围所得的计算结果, 其中系列 2 为  $p_1 = 1.6$  MPa, 系列 1 为  $p_1 = 2.4$  MPa, 系列 3 为  $p_1 = 4.0$  MPa。

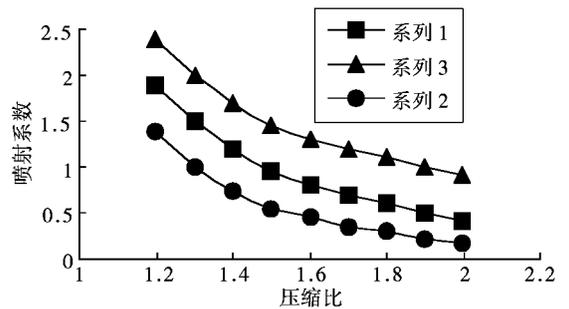
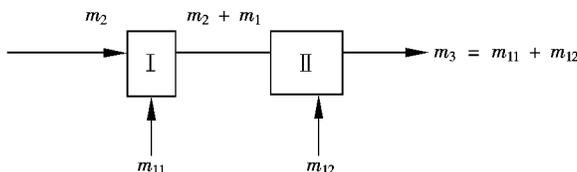


图 2 喷射系数与压缩比的关系

通过计算发现压缩比的影响比工作蒸汽压力的影响更为显著 (如图 2 所示)。由此, 若喷射器采用两级或多级串联使用, 降低喷射器的压缩比, 是否会比单级喷射器具有更大的喷射系数  $u$ ?

将喷射器串联使用, 其总的喷射系数  $u$  推导如下:



对 I 级喷射器, 按式(1):

$$u_1 = \frac{m_2}{m_{11}} \quad (4)$$

对 II 级喷射器, 按式(1):

$$u_2 = \frac{m_2 + m_{11}}{m_{12}} \quad (5)$$

对整个喷射压缩系统:

$$u = \frac{m_2}{m_{11} + m_{12}} \quad (6)$$

联立式(4)、(5)、(6) 求解可得:

$$u = \frac{u_1 \cdot u_2}{u_1 + u_2 + 1}$$

根据表 1 提供的蒸汽参数, 在工作蒸汽参数为 1.6 MPa, 290 °C 时, 取用恰当的中间压力, 例如  $P_2$ 、 $P_3$  的几何平均值作为中间压力时, 得  $u_1 = 1.3$ ,  $u_2 = 1.05$ , 相应的  $u = 0.407$ , 小于单级的压缩系数 0.65. 在工作蒸汽参数为 4.0 MPa 时, 按照上述条件, 所得的系统压缩系数  $u = 0.71$ , 亦低于单级的压缩系数 1.10. 因此, 可以认为采用两级喷射器串联方式虽然每级的喷射系数提高了, 但总的喷射系数并不一定提高, 甚至降低了.

## 2 焓效率

根据式(2), 采用单级蒸汽压缩系统时, 若工作蒸汽压力为 1.6 MPa, 则其焓效率为 28.60%; 若工作蒸汽压力为 4.0 MPa, 则其焓效率为 37.84%. 由于喷射器在工作过程中伴随着能量贬值, 即该过程为一熵增过程, 其作功能力损失可按热力学第二定律计算: 为环境温度  $T_0$  与压缩系统熵增的乘积. 根据表 1 参数计算, 工作蒸汽压力较低时, 系统熵增较大, 相应的可用能损失也较大.

## 3 结语

蒸汽喷射压缩技术, 不同于简单的两种压力等级的蒸汽混合, 单纯的蒸汽混合后的压力等级取决于最低的压力等级, 而蒸汽喷射压缩技术是用高压蒸汽把低压蒸汽压缩到合适的操作参数下供工艺使用, 这个操作参数介于低压蒸汽与高压蒸汽之间. 虽然存在焓损失, 但由于回收了大量的已排出工艺外的乏汽, 使蒸汽变废为利, 增加了可使用能量的数量, 在特定场合, 不失为一项有效的节能措施<sup>[2]</sup>.

对于本案例, 综合考虑原有工艺用汽的特点, 1.6 MPa 的蒸汽原来直接降温降压至稀释蒸汽参数而用于操作工艺, 显然其焓损失更大. 将其作为蒸汽喷射压缩器的工作蒸汽, 抽取并回收利用 0.35 MPa 的乏汽, 无论从能的数量回收和能的品质逐级利用方面来看都是合理的. 对于工作蒸汽压力的选择也应按照具体条件来确定, 本案例中, 4.0 MPa 的蒸汽可用于汽轮机的发电, 虽然它用于蒸汽喷射器中可使喷射系数有较大幅度提高, 焓效率也高于 1.6 MPa 的工作蒸汽, 但由于工艺中所需稀释蒸汽 40 t/h, 而喷射器在采用 1.6 MPa 工作蒸汽时, 在最大喷射系数下, 只能提供 25 t/h(包括回收的 10 t/h 乏汽) 稀释蒸汽. 仍需投入减温减压器. 因此用 1.6 MPa 的工作蒸汽则更为合理.

采用蒸汽喷射压缩技术后, 乏汽将全部被回收利用, 以年运行 7000h 计, 每年可节省中压蒸汽 70000 t. 按照中压蒸汽 80 元/t 计, 每年直接经济效益可增加 560 万元, 投资回收年限仅 4 个月. 同时由于蒸汽系统平衡改善, 消除了低压蒸汽放空现象, 减少了现场的噪音污染和热污染, 改善了环境和劳动条件.

(下转第 80 页)

# Quality Decision-Making Problems in the Partner Selection of Extended Enterprises

Ma Jun<sup>1</sup>, Tang Wenqi<sup>2</sup>

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

(2. Design Department of Nanjing Chemical Factory, 210038, Nanjing, PRC)

**Abstract:** Extended enterprise is a practicable scheme of the enterprise in the future. It is very important for the leading enterprise to select the appropriate partners. On the basis of the description of quality decision model, the way of collecting the quality data by using statistics is presented, with the fuzzy solution to the quality offered. Finally an example using the way is given in this paper.

**Key words:** extended enterprise, partner selection, quality decision making, control chart

[责任编辑: 严海琳]

(上接第76页)

[参考文献]

- [1] 索科洛夫. 喷射器[M]. 北京: 科学出版社, 1977.
- [2] 陈安民. 石油化工过程节能方法和技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1995.

# The Application of Steam Jet Technique to the Recovery of Exhausted Steam

Xu Shengrong

(College of Power Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

**Abstract:** According to the actual case, the application of steam jet to the recovery of exhausted steam is discussed. Main factors to affect the injection coefficient as well as the relation between injection coefficient and exergy efficiency are illustrated. It has been found that the ratio of compression is more notable than the pressure of jetting steam on injection coefficient. The total injection coefficient of multistage compression may be lower than that of single stage compression. Even though there is a bigger exergy loss in quality, large amounts of energy can be recovered from exhausted steam. Besides, the pollution of noise and thermal from waste steam exhaustion can be avoided.

**Key words:** steam jet, injection coefficient, exergy efficiency, exhausted steam

[责任编辑: 刘健]