



## 气体喷射器设计之临界流速与音速、折算等熵流速与马赫数

成都绿水科技有限公司 范卫军

气体喷射器的设计中,涉及到许多物性参数以及相关的计算。临界流速便是其中常用的参数之一。

在有些场合,我们常看到超临界或亚临界喷射,往往觉得这个概念应该是和超音速亚音速有关系。下面我们来看看这二者究竟是怎么回事。

从二者的定义上其实是比较容易看出区别的。

音速的定义是,声音在给定介质中的传播速度,用下式来表示:

$$\alpha = \sqrt{k * R * T}$$

也就是说,音速是与给定介质及其温度相关的,具体来说就是与介质的摩尔质量、绝热指数和温度有关。对于可视为理想气体的介质,绝热指数仅是温度的函数,因而,音速只取决于摩尔质量和温度了。

临界流速的定义是,介质的流动速度达到了对应状态下介质里的音速。气体的临界流速通常是在喷嘴结构中出现,在喷嘴中的压力或温度等参数,通常均以滞止参数来表示。为简化起见,滞止参数通常即为喷嘴进口的参数,参数的下标标注有“0”。以滞止参数表述的临界流速定义式为:

$$\alpha * = \sqrt{2 * \frac{k}{k+1} * R * T_0}$$

当临界流速与当地音速相等时,则有:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2}{k+1}$$

这就是气体的折算等熵速度达到临界流速时,相对温度的表达式。

气体的等熵速度与当地音速之比即为马赫数,通常用  $M$  表示,而气体的等熵速度与临界流速之比则为折算等熵速度,通常用  $\lambda$  表示。当气体的滞止温度等于环境温度时,很明显,临界流速是小于介质的当地音速的。

马赫数与折算等熵速度的关系如下:

$$M = \lambda * \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{k+1}{2} - \frac{k-1}{2} * \lambda^2\right)}}$$

根据上面关系式,可得到如下结论:

- 1) 当气体等熵流速为零时,马赫数也为零,即气体静止。
- 2) 当气体等熵流速为 1 时,马赫数也为 1,即喷嘴出口发生临界喷射时的流速,正好与滞止状态下的音速相等。喷嘴中气体折算等熵速度小于 1 即是发生的亚临界喷射,大于 1 则是超临界喷射;
- 3) 等熵流速越大,则相应的马赫数也越大。请注意,马赫数的最大值为无穷大,而等熵流速的最大值为:  $\lambda_{\max} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$ 。常温下空气的最大折算等熵速度为 2.45,其对应的马赫数却是无穷大。