

临界喷管充气混合装置

于伟 俞鸿儒
(中国科学院力学研究所)

V235.113

摘要 一种能快速混合均匀的充气装置——双临界喷管充气装置,及其设计、调节、标定方法,经色谱检验结果表明,性能良好,结构简单,适用于各种预混燃烧试验。

关键词 气体混合 临界喷管 氢氧燃烧驱动 涡轮发动机

符 号

m	质量	n	混合比
\dot{m}	质量流量	V	容器体积
M	分子量	R	通用气体常数
P	压力		下标
T	温度	0	滞止状态
A	面积	*	临界状态
γ	比热比	b	背部
ρ	密度	e	出口
t	充气时间		

1 引 言

气体混合比及其空间分布均匀度对于燃烧稳定性和重复性起着极其重要的作用。从事预混气体燃烧如激波风洞氢氧燃烧驱动研究的工作者都十分重视精确控制混合比和提高密封容器内空间混合均匀度。目前比较通用的方法是先充入一种气体,再充入另一种气体或分成多阶段轮流充气,借助充气射流的扰动和扩散使混合均匀。然而充气射流作用区域小,气体扩散速度很慢,需很长时间才能使全容器混合均匀。为了充分利用充气射流的混合作用,常常采用多孔充气,而高压容器开口太多对强度不利。力学所曾采用在驱动段底部安装小直径充气管,通过充气管的大量小孔,沿轴线同时充气来促进混合均匀。但该充气管在实验过程中容易损坏,增加了操作的复杂性。即使采取了这些措施,

1993年3月8日收稿,6月10日修回。

预混气体的均匀度仍难以满足燃烧重复性的要求。50~60年代国外有人将混合好的气体贮放数周待其自动混匀再充入驱动段使用,由于混合气在贮存和再充入过程中可能意外点火,增加了操作的危险性。西德 Aachen 工业大学激波实验室采用电子控制质量流量计,将氢氧两种气体按要求边混边充入。这种方法能保证气体混合的均匀度,但装置造价昂贵,外部预混容腔内亦存在意外点火危险。

在总结前人工作经验的基础上,我们采用双临界喷管分别按混合比充入燃烧剂和氧化剂气体^[1],两喷管尽可能靠近(如为细长管可安装在同一截面互相正对的地方),两种气体充入容器后互相强烈干扰,混合后再流向容器其他部位。这种充气装置结构简单,效果良好。

2 原理及装置

在收缩喷管中,若喷管最小截面处气流速度低于当地声速,则气体通过喷管的质量流率不仅与贮室状态有关,而且受背压大小的影响。当背压 P_b 下降到使最小截面处流速达到声速,则喷管流率达到最大值。若背压 P_b 继续下降,则质量流率不会再变,而保持为常数,这种现象称之为壅塞,即喷管所通过的质量流率是有限制的。临界流量喷嘴就是利用这一原理制成。

临界流量公式为:

$$\dot{m} = \rho^* a^* A^* = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} \rho_0 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{1}{2}} a_0 A^* = P_0 \sqrt{\frac{\gamma M}{RT_0}} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}} A^* \quad (1)$$

只要保证喷管最小截面处的流速达到当地声速,通过喷嘴的流量就可由喷嘴前贮室状态参数和喷嘴最小截面积决定,而不受背压大小的影响。

达到临界状态的贮室压力与背压比应大于临界值

$$\frac{P_0}{P_b} \geq \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (2)$$

对于氢、氧、氮等双原子气体, $\gamma = 1.4$, 上述临界值为1.9, 考虑到各种损失, 实用中应选得稍大一点。

双临界喷管充气混合装置参看图1。

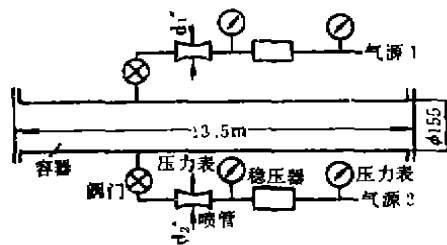


图1 双临界喷管充气混合装置示意图

3 设计、计算、标定和调节

若所需混合气压为 P_m 已给定,则临界喷管前稳压器后的气体压力应大于混合气体压力一倍($P_0 > 2P_m$)。

预混气体的混合比,实质上是两种或多种气体的分子数比,在封闭容器中即气体分

压比。

若已知两种气体的混合比为 n ，则两种气体的分压比分别为

$$P_1 = \frac{n}{n+1} P_m \quad (3a)$$

$$P_2 = \frac{1}{n+1} P_m \quad (3b)$$

充气终了时两种气体的密度分别为

$$\rho_1 = \frac{n}{n+1} \frac{P_m M_1}{RT_m} \quad (4a)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{n+1} \frac{P_m M_2}{RT_m} \quad (4b)$$

分别乘以容器体积，可求出充入两种气体的质量，若给定充气时间 t ，则有质量流率：

$$\dot{m}_1 = \frac{m_1}{t} = \frac{n}{n+1} \frac{P_m M_1 V}{RT_m t} \quad (5a)$$

$$\dot{m}_2 = \frac{m_2}{t} = \frac{1}{n+1} \frac{P_m M_2 V}{RT_m t} \quad (5b)$$

(1)与(5)联合可求出

$$(P_0 A^*)_1 = \frac{n}{n+1} \frac{P_m V}{T_m t} \sqrt{\frac{RT_0}{\gamma_1 M_1}} \left(\frac{\gamma_1 + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma_1 + 1}{2(\gamma_1 - 1)}} \quad (6a)$$

$$(P_0 A^*)_2 = \frac{1}{n+1} \frac{P_m V}{T_m t} \sqrt{\frac{RT_0}{\gamma_2 M_2}} \left(\frac{\gamma_2 + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma_2 + 1}{2(\gamma_2 - 1)}} \quad (6b)$$

如气体1为氢，气体2为氧，当

$$(P_0 A^*)_1 = (P_0 A^*)_2 \quad (7)$$

则混合比 $n=4$ 。

实际喷管由于边界层影响，实际喉道有效流动面积受影响，此外充气喷嘴喉道直径很小，加工与测量亦难以保证精确度，实际的质量流率迟应通过标定来精确测定。

标定方法很简单，将单一气体充入固定容积的容器并测定其压力上升速率。令总温保持不变，则容器内压力上升率的比值即为混合比。若设计的喷嘴喉道面积不符若要求，可通过调节总压来达到要求。

实际工作中应特别注意温度变化的影响，若以气瓶作气源，充气过程中压力下降，总温亦跟着下降，质量流率逐渐增加，如果两种气体气源压力下降速率不一样，将影响混合比，但如气瓶容积较大，充气又较缓慢，通过细长易传热的管壁散热，使气源总温基本保持为室温，则影响可忽略，否则就应进行总温变化修正。

在充气过程中，封闭容器内压力逐渐升高，受压缩功作用，温度亦逐渐升高，停止充气后，压力会出现微量下降，这是由于气体通过管壁散热所致，需待压力平稳后才可作为充气压力。

4 实验结果和讨论

经过标定后的两个氢氧混合比为4的充气喷管, 充满混合气后沿轴向取样, 通过色谱测定的结果见表1, 沿轴向的不均匀度只有1%(本实验所用色谱仪精度只有1%)。

表 1 沿管轴向氢氧充气百分比分布 $H_2:O_2=4:1$

X	No	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}
3.0 (m)	H_2	80	79	79	79	80	80	81	81	79	80
	O_2	20	21	21	21	20	20	19	19	21	20
6.0 (m)	H_2	81	80	81	81	81	82	81	80	81	79
	O_2	19	20	19	19	19	18	19	20	19	21
9.0 (m)	H_2	81	81	81	81	81	81	82	82	80	81
	O_2	19	19	19	19	19	19	18	18	20	19

实验结果表明临界流量喷嘴充气装置既简单又能精确控制充气参数, 是一种有效的充气混合装置, 在其它有关领域亦可发挥重要作用。

在整个装置的研制过程中曾得到李仲发、李振华、林建民、谷笏华、国相杰、赵伟等同志的大力协助与支持, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 俞鸿儒等, 爆轰驱动新进展, 第五届全国激波管与激波讨论会文集, 1989.

DOUBLE CRITICAL NOZZLE EQUIPMENT FOR CHARGING AND MIXING OF GASES

Yu Wei Yu Hongru

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract A new double critical nozzles equipment for fast charging and mixing of gases is described. The methods of design, regulation and calibration are given. The colour chart examination shows that the equipment is good in performance and simple in structure, and suitable for various premixing combustion experiments.

Key words gas mixing critical nozzle hydro-oxygen combustion driving