

压气机，工程设计中各关键几何参数的选择依据及其对处理效果的影响，还都是未知数，其作用机理也不十分清楚。本文针对上述疑点，进行了较为系统的实验研究，对比分析了各几何参数对处理效果的影响，提出了一些工程设计准则。

2 实验装置及测量系统

实验在西北工业大学单级轴流压气机实验台上完成。实验台主要由调速电机、增速器、实验段、排气段和移动式锥体节气装置组成。单级轴流压气机主要参数为：轮毂比 0.61，尖部直径 0.298m，设计转速 15200r/min，设计压比 1.25。实验前将静子叶排后移，实验在孤立转子上进行。测量系统主要由 486-100 微机、DAS-20 数据采集板、PRESTON 高精度阻隔放大器、压力探针、扫描阀、铜-康铜热电偶组成，其中热电偶及压力测量系统均经过系统校正。

3 处理机匣的结构特征

“凹槽导流片式”处理机匣的结构如图 1 所示，机匣的容腔分段设计，内置导流叶片。其设计思路是引导转子叶片尖部气流的走向，以改变转子叶片尖部截面的气流冲角，推迟叶背气流的分离，延缓失速，减少端部的流动损失。在图 1 所示的试验段中， L 为处理机匣容腔轴向长度， L_0 为处理机匣与转子叶片叶尖轴向叠合尺寸。 L 与 L_0 均可调，且定义相对容腔大小 $\bar{L}=L/C$ ，相对叠合长度 $\bar{L}_0=L_0/C \times 100\%$ ， C 为转子叶片叶尖处弦长的轴向投影长度。在设计过程中，为了便于对三个主要的几何参数（轴向叠合量、容腔大小、内置导流片数目）进行系统的研究，其主要结构采用可调几何尺寸设计。基本轴向叠合量为 33.3%，可调为 50% 和 16.6%，基本相对容腔大小为 1.65，可调为 1.49，内置导流片数目有两种选择，即 48 片和 24 片。各几何参数的具体数值见表 1。

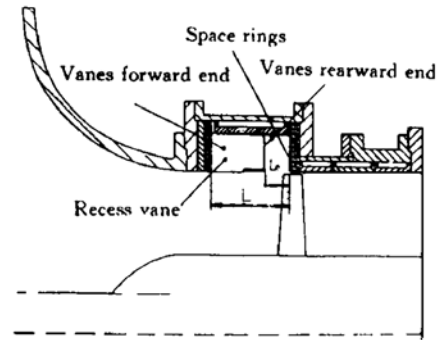


Fig. 1 General layout of treated casing

Table 1 Different build configurations

Build number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Length of treatment \bar{L}	1.65	1.65	1.49	1.49	1.49	1.65	1.65	1.49	1.49	1.49
Percent of axial chord of rotor exposed \bar{L}_0 (%)	50	33.3	50	33.3	16.6	50	33.3	50	33.3	16.6
Vane number	48	48	48	48	48	24	24	24	24	24

4 处理机匣的结构尺寸对压气机性能影响

为便于比较，采用两种裕度改进百分数的定义。根据 Takata 等人的定义，现将流量裕度改进量 $\Delta\Phi$ 定义为： $\Delta\phi_1=1-\phi_{rs2}/\phi_{rs1}$ ，其中 ϕ_{rs2} 和 ϕ_{rs1} 分别为对应处理机匣和实壁机匣的失速点流量系数。Smith 和 Cumpsty 等人将流量和压比综合考虑，定义综合裕度改进量为： $\Delta\phi_2=(\phi_{rs1}/\phi_{rs2} \times \Psi_{ts2}/\Psi_{ts1}-1)$ ，其中 Ψ_{ts2} 和 Ψ_{ts1} 分别为处理机匣和实壁机匣的失速点压升系数。

考虑到在国内型号设计中压气机的转速范围,本实验在两个换算转速下进行的, $N_{cor,1}=8130\text{r/min}$, $N_{cor,2}=10765\text{r/min}$ 。

4.1 轴向叠合量对压气机性能的影响

表2给出了其它实验条件相同而轴向叠合量变化所得到的实验结果,可以看出,随着轴向叠合量的减小(No. 3~No. 5),压气机转子的流量裕度和综合裕度均明显减小,而效率略有增加,在最小轴向叠合量处得到本文实验的峰值效率0.9004(No. 5, N_{cor} : 10765)。实验结果与Takata、Elder等人得到的结论相一致,而且本文的处理机匣能在裕度改进较大的情况下保持效率不降。

Table 2 Results of different axial position (N_{cor} : 8130)

No.	$\bar{I}_0/\%$	Φ at peak point	Φ at stall point	Φ_{ts} at peak point	Φ_{ts} at stall point	$\Delta\phi_1/\%$	$\Delta\phi_2/\%$	Efficiency at peak point	Efficiency at stall point
3	50.0	0.5415	0.4665	0.2138	0.2521	18.91	58.78	0.8655	0.8309
4	33.3	0.4862	0.4862	0.2410	0.2410	15.49	45.64	0.8796	0.8796
5	16.6	0.5416	0.5131	0.2387	10.81	42.99	0.8782	0.8758	—

图(2-a)给出了压升系数和流量的变化曲线,曲线表明,无论在那一个转速下(No. 3为No. 3在相对转速0.54时的实验结果, No. 31表示No. 3在相对转速0.71时的实验结果,所有结构表示法同),在其它条件相同的情况下,随着处理机匣叠合量的减小(No. 3~No. 5),失速点流量系数逐渐加大,即流量裕度的改进量随处理机匣的叠合量减小而减小。对压升系数而言,处理槽的叠合量从50%减小到33.3%时,压升系数没有明显的变化,而当叠合量从33.3%减小到16.6%时,同一流量下的压升系数有明显的升高,说明处理槽叠合量的进一步减小会使气流的攻角加大,使转子的做功能力增强,对综合裕度改进不利而对效率的提高有益,这一趋势在两个相对转速下均存在。图(2-b)给出了效率随流量系数的变化曲线,从中可以看出,失速点效率随叠合量的加大而略有下降,是由于随着叠合量的加大,失速点流量减小,所以失速点效率会有一些下降。峰值点效率不受叠合量的变化影响。

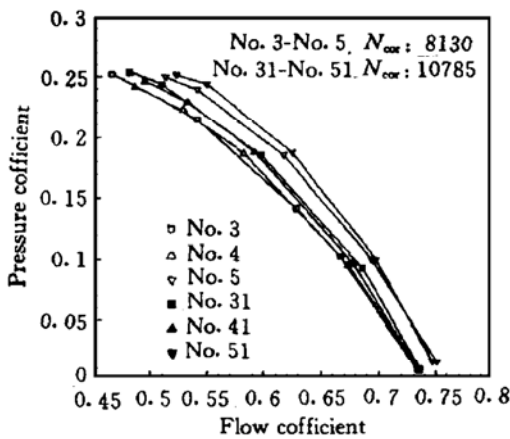


Fig. 2 (a) Effect of the axial position

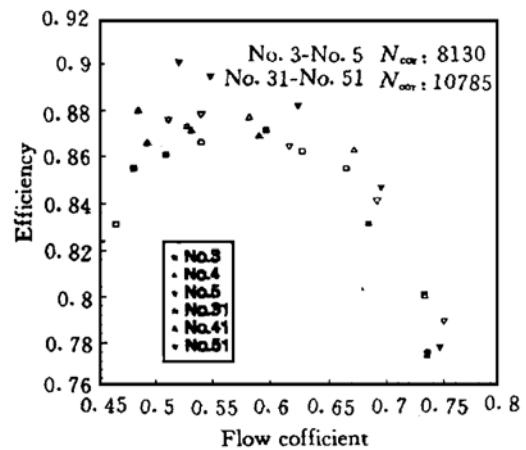


Fig. 2 (b) Effect of the axial position

4.2 容腔大小对压气机性能影响

表 3 示出了在其它条件相同的情况下，容腔大小的改变对转子性能影响的实验结果。

Table 3 Results of different length of treatments

No.	τ	Φ		Ψ_{st}		$\Delta\phi_1$ (%)	$\Delta\phi_2$ (%)	Efficiency	
		Peak point	Stall point	Peak point	Stall point			Peak point	Stall point
1	1.65	0.5705	0.4631	0.1881	0.2467	19.5	56.52	0.8641	0.8238
3	1.49	0.5415	0.4665	0.2138	0.2521	18.91	58.78	0.8655	0.8309

图 3 给出了在其它条件相同的情况下，不同容腔大小，转子的性能变化曲线。从图 (3-a) 中可以看出，其它条件相同时，相对容腔大小从 1.65 变为 1.49 时，转子的压升系数和失速点流量系数均没有大的改变，说明裕度的改进对容腔大小的变化并不敏感。从图 (3-b) 中可以看出，转子的失速点效率随着处理机匣容腔尺寸的增大而略有提高，转子的峰值点效率则不随容腔大小的变化而变化。

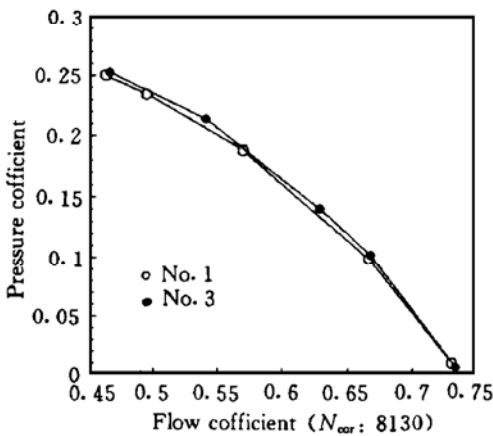


Fig. 3 (a) Effect of the length of treatments

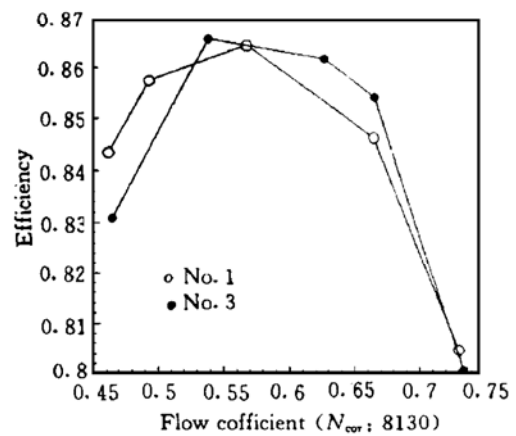


Fig. 3 (b) Effect of the length of treatments

值得注意的是，由于本文将对处理机匣机理的研究作为另一项实验目的，为便于进行流场测量，本文设计的处理机匣容腔均偏大，所以，此处结论仅为相对而言。

4.3 内置导流片数目对压气机性能的影响

图 4 示出了导流片数目对压气机性能的影响。从图 (4-a) 上很明显的可以看出，采用导流片数目较少的处理机匣结构，其转子的压升系数较高。一般来讲，流量裕度对导流片数目的变化并不敏感，在低转速的情况下，导流片数目增大，对流量裕度有些不利的影响，而在高转速的情况下，导流片数目的增大，对流量裕度会有些改进。无论在哪一转速下，效率对导流片数目的变化均不敏感 (图 4-b)。

4.4 处理机匣的作用机理分析

根据文献 [4] 的测量结果及本文的实验结果，对于实壁机匣，随着节流阀的关小，流量减小；冲角的逐渐加大，导致叶背后缘气流分离，进而造成旋转失速。采用本文所设计的处理机匣后，流经转子叶片的气流在离心力作用下，进入处理槽内第一段容腔，然后依靠处理

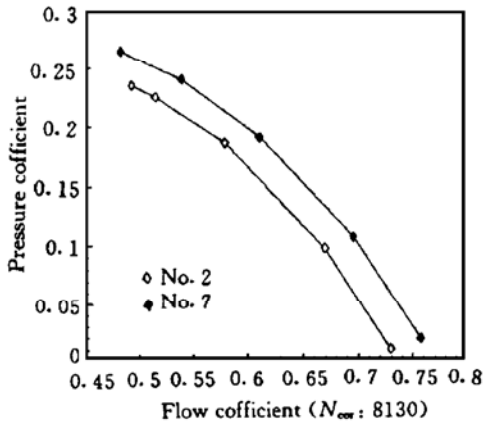


Fig. 4 (a) Effect of the number of vane

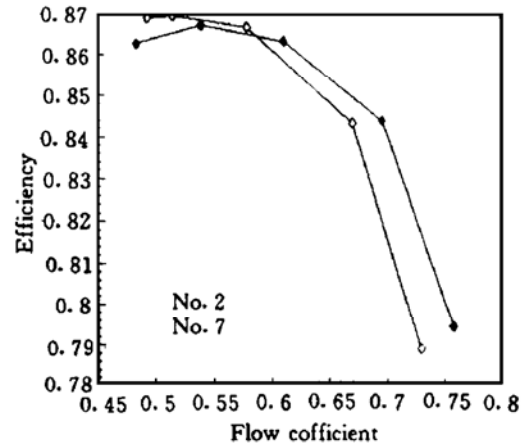


Fig. 4 (b) Effect of the number of vane

槽内的压力差及分流环和导流叶片的疏导作用, 流经第二段容腔, 从第三段容腔内流出处理环, 重新进入主流区, 改变叶片 70% 叶高以上区域的气流轴向速度, 减小冲角。即由于处理机匣的存在, 使得转子叶片尖部的一部分气流沿处理机匣反流回转子前部流场, 从而加大了叶尖部位的基元的气流流量, 使得气流以较小攻角流过叶尖槽道, 失速分离减轻, 推迟失速的发生。对于叠合量较大的机匣处理结构, 由于增加叠合量会使进入处理机匣容腔的回流量加大, 从而能较多的改善裕度。处理机匣的存在, 只改变了叶尖部位的基元流场, 并不会改变前一截面的流场参数。本型式的处理机匣结构的机理, 就是使叶尖部失速区的一部分气流得以重复使用, 以达到改变叶尖气流流动攻角过大的状态, 进而推迟失速的发生。

5 结 论

轴向叠合量对处理机匣的扩稳效果影响最为明显, 轴向叠合量加大, 对裕度的改善有利而对效率的提高不利, 适当设计处理机匣结构可使压气机经机匣处理后, 其裕度和效率均有改善。处理机匣容腔长度对其扩稳效果的影响并不明显, 容腔加大, 会使叶尖部负荷过重, 易导致叶尖失速。经机匣处理后, 沿全叶高转子叶片流场参数重新分布, 而不是只在叶尖处参数重新分布, 就实验结果看, 处理机匣对 70% 叶高处的流场参数影响较大。处理机匣导流片数目的减少会使转子的压升系数明显的提高, 而对于裕度和效率的影响则不很明显。处理机匣的结构尺寸中, 轴向叠合量对处理效果影响最为明显, 增加轴向叠合量, 对裕度的改进有利, 而对效率不利, 反之, 则对效率有利对裕度不利。

参 考 文 献

- 1 Bailey E E. Effects of grooved casing treatment on the flow range capability of a single stage axial flow compressor. NASA TMX-2459, 1972.
- 2 Moss J E. Effects of slotted casing treatment on performance of a multistage compressor. NASA TX-X-3350, 1976.
- 3 Wisler D C, Beacher B F. Improved compressor performance using recessed clearance (trenches) over the rotor. General Electric Co, AIAA-86-1745
- 4 ELDER R L. Recess vane passive stall control. ASME 92-GT-36

含能液滴微爆特性分析*

余永刚 金志明

(南京理工大学动力工程学院, 南京, 210094)

摘要: 借助高速摄影和热电偶测温系统研究了液体推进剂 LP1846 液滴在 0.1MPa~1.0MPa, 700°C~850°C 环境下的微爆特性。给出了液滴着火前微爆过程的序列照片, 结合 LP1846 热分解试验结果分析了液滴微爆机理, 认为水组份的过热是主要因素, 而 HAN 的微弱液相热分解是诱导因素。

主题词: 液体推进剂, 热分析, 爆炸性能

分类号: V511.1, TQ562

INVESTIGATION ON MICROEXPLOSION PROPERTY OF ENERGETIC DROPLETS

Yu Yonggang Jin Zhiming

(School of Dynamic Engineering, Nanjing Univ. of Science and Technology, Nanjing, 210094)

Abstract: By use of high speed camera and thermocouple apparatus, the properties of microexplosion for HAN-based liquid propellant LP1846 droplets was investigated under ambient condition of 0.1MPa~1.0MPa, 700°C~850°C. Successive photographs of droplet microexplosion process were taken before ignition. The microexplosion mechanism was discussed according to the experimental results of LP1846 thermal decomposition. It is thought that microexplosion mechanism is mainly superheating of the water component and mild liquid-phase reactions of HAN is inducer.

Subject terms: Liquid propellant, Thermal analysis, Explosion property

1 引言

近年来, 随着战略防御理论和高速碰撞力学的发展, 超高速推进技术应运而生, 世界各国竞相研究。研制出了一些高能推进剂, LP1845 和 LP1846 即为其中两种高能液体燃料, 它们主要是由硝酸羟胺(简称 HAN)、三乙醇胺硝酸盐(简称 TEAN)和水按一定质量比配成。据报道^[1,2], 这两种含能液滴在高温环境下, 在液滴生存初期就会出现明显的微爆现象, 即大液滴在内压作用下, 破裂成几个小液滴。这种现象对喷雾燃烧过程及燃烧器设计均有显著影响。为此本文研究了 LP1846 单滴在高温环境中的微爆特性; 观察了随着环境压力的增加, 液滴微爆特征的变化。结合有关资料, 分析了 LP1846 液滴微爆的机理。

2 试验装置

为了观察 LP1846 单滴微爆过程, 我们采用了挂滴装置和高速摄影系统, 装置结构如

* 收稿日期: 1997-02-24, 收回日期: 1997-07-12, 本课题系国家自然科学基金资助项目