

三角形埋入式涡流发生器几何参数 对其涡的影响

南京航空航天大学 钟易成* 陈 晓

【摘要】 试验研究了三角形埋入式涡流发生器几何参数对其涡各参数的影响, 发展了半片式三角形埋入式涡流发生器。试验中采用小型五孔探针获得涡流发生器后不同轴向截面处的速度矢量图, 用高斯涡核模型及非线性拟牛顿最小二乘法拟合涡量、涡核半径、涡心高度等参数, 分析了这些参数沿程变化趋势。

主题词: 涡流发生器 速度分布 几何参数

分类号: O 357. 1

埋入式涡流发生器结构型式多样^[1, 2], 三角形涡流发生器(∇ VG)便是其中一种。本文通过试验对不同形状 ∇ VG产生的涡进行研究, 以确定出最佳形状的 ∇ VG; 同时还研究其几何参数对所形成涡的各种参数的影响。对比研究始终坚持如下 3 个原则: 涡越强越好; 涡影响范围即涡核半径越大越好; 涡心越高越好。一般说来, 这三者增大有利于更好地控制附面层。对于单涡情况, 以一定轴向距离处横截面的速度矢量的拟合结果, 如涡量、涡核半径及涡心位置等为主要参数; 对于多涡情况, 则以速度矢量图辅以轴向(x 向)速度与核心流速度之比(v_x/v_0)的等值线图为主要依据进行讨论。

1 试验风洞和测试系统

试验风洞是自由射流式, 其出口速度为 39 - 42 m/s, $Re \approx 2.5 \times 10^5$ 。在出口处安装一块长 800 mm 宽 440 mm 的有机玻璃平板, 平板前缘削尖。VG 安装在平板上, 其形状如图 1 所示。试验采用 $\Phi 2$ mm 自制五孔探针和高精度小位移坐标架测量 VG 后的速度场, VG 高度 h 为 10 mm。压力测量采用国产压力扫描阀, 放大后的压力信号再经过 RC 滤波器以消除外界电磁波干扰。

2 涡流发生器形状的选择

试验研究比较了 4 种形状的 ∇ VG(见表 1 所示)。其中 QQ、QMW 及 QBW 是根据文献[3]而制作的。QZ 则是本文发展的一种新形式。图 2 给出了 4 种 VG 所产生的流场在 VG 后

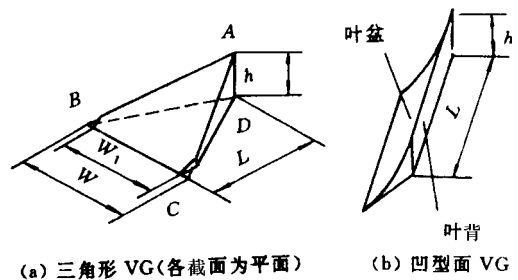


图 1 两种埋入式 VG

轴向距离 $X = 20h$ 处的横向速度矢量分布图。各种 ∇G 两涡的涡心高度 Y_c 列于表 1 中。

表 1 对称型 ∇G 的几何参数

代号	ABC	ACD/ABD	高度(mm)	$Y_c(X = 20h)$ (mm)		$Y_c(X = 35h)$ (mm)	
			h	$Z < 0$	$Z > 0$	$Z < 0$	$Z > 0$
QZ	平面	平面	10	26	32	38	45
QQ	曲面	曲面	10	25	26	31	34
QMW	曲面	平面	10	30	30	32	40
QBW	平面	曲面	10	23	26	25	35

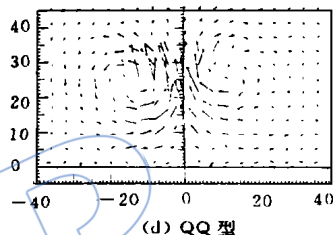
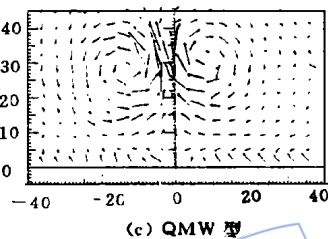
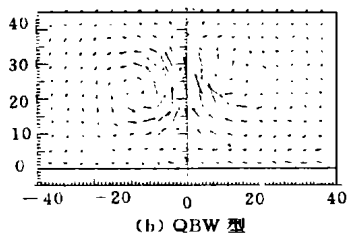
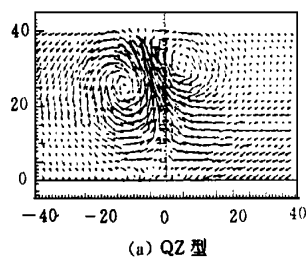


图 2 4 种 ∇G 后的速矢图 ($X = 20h$)

从几种形式 ∇G 的速矢图可以看出, 曲面表面 ∇G 的效果并不比平面表面的 ∇G 的效果好, 相反 QZ 型 ∇G 的两涡中间区域的矢量比其他种的相应区域的矢量要大一些, 表明其涡强度要大一些, 涡心高度虽然相差不多, 但 $Z > 0$ 方向的涡的涡心要略高一些。对称式 ∇G 总是产生两个对称的涡即反向旋转涡, 在实用中需要采用同向旋转 ∇G , 例如控制二次流等, 于是便将原对称型 ∇G 剖开 (BZ 型), 这种 ∇G 只产生一个涡, 非常便于在流场中安排。为了

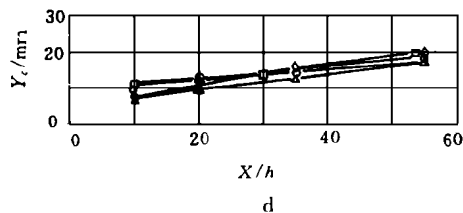
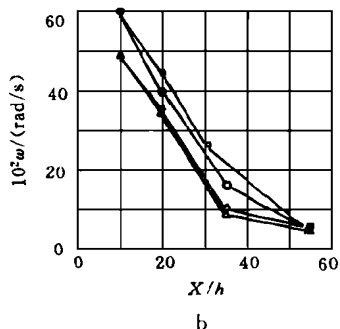
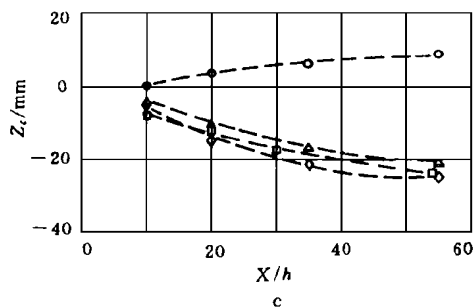
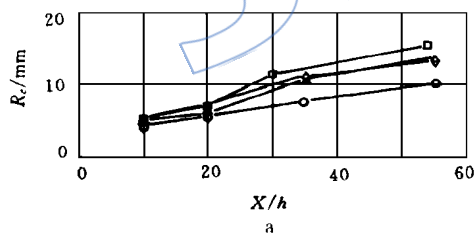


图 3 4 种 ∇G 的涡各参数沿程变化图

避免直边的影响,还发展了一种将直边削掉的VG(BZX型)。实验所用的半片式 ∇ VG是BZY和BZXY两种,为了对比研究,还在同等条件下对一种凹型面埋入式(AU型)VG^[1,4]进行了研究。在试验中,测量上述3种VG后 $X=10, 20, 35h$ 及 $55h$ 等截面的流场速矢图,并用高斯涡核模型,采用非线性拟牛顿最小二乘法对3种VG后各截面的涡进行了拟合,拟合结果如图3所示(图中 $\bigcirc$ 为AU, $\diamond$ 为BZXY, $\triangle$ 为BZY, $\square$ 为DA2)。图中 z_c 为涡心横向偏距, ω 为涡量, R_c 为涡核半径, y_c 为涡心高度。从图中可以看到,涡心位置及涡核半径大小趋势与拟合结果是一致的。

通过对以上图线分析,可得下列结论:(1)涡量 ω 沿轴向逐渐减弱,且衰减速度快,涡核半径 R_c 逐渐增大,在本试验很薄的起始附面层(VG安装处, $\delta/h \approx .2$)情况下,涡沿轴向作用区域约在 $60h$ 范围以内。(2)随着轴向距离的增加,涡心高度 y_c 逐渐增加,这是由于涡逐渐耗散所致。(3)涡心在横向偏离VG后缘,其横向偏距 z_c 沿程是增加的,这是壁面镜像涡的诱导速度引起的。(4)从3种形式VG的比较来看,AU型VG涡量比两种半片 ∇ VG的涡量大,其涡核半径较小,初始涡心高度较高,而其它二者VG的有关参数相差不大。

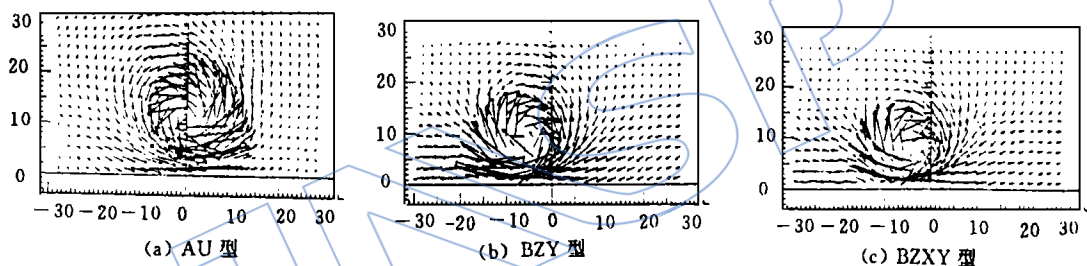


图4 3种VG后的速矢图($X=10h$)

如上所述,半片式 ∇ VG的涡量较小,为此,采用了两片半片式 ∇ VG前后相叠形成叠合式VG,将前片VG后部下表面削平与其上表面平行,以使相叠后前后两片VG的高度相等, ΔL 为叠合长度。此种VG的工作原理是由前片VG产生的涡与后片VG产生的涡相重合,加强涡的强度,由于要求前后片VG较好地叠合,故采用BZY型VG。二片BZY型的叠合式VG(DA2)涡各参数沿程变化也表示在图3中。可以看出叠合后的VG沿程 ω 略大于AU型VG的 ω 比不叠合的BZY型VG的涡量大得多,从图5给出的叠合式VG在 $X=10h$ 处的速矢图也可得相同结论。从速矢图还看到:(1)叠合VG产生的涡不如AU型和BZY型VG产生的涡的速矢图规则,这是由于两涡重合时涡心并不完全重合造成的;(2)叠合VG靠近壁面附近的速度矢量比其它VG的速度矢量大。从图3a及图5还可以看出,叠合式VG的 R_c 也比不叠合的大。从图3d还可以看出,此型VG的沿程的 y_c 比BZY型VG的要高。

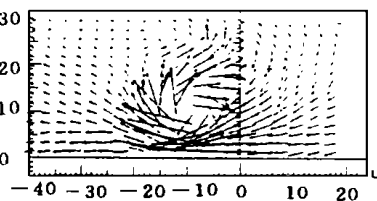
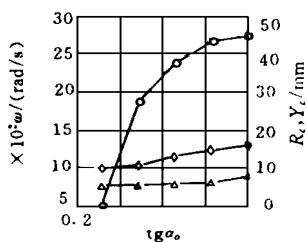
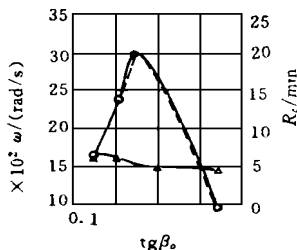
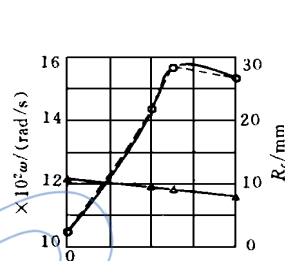


图5 叠合式VG后的速矢图
($X=10h$)

3 涡流发生器几何参数对其涡的影响

试验研究 $\nabla V G$ 的宽度 W 、长度 L 及二涡片叠合长度 ΔL 对其涡有关参数的影响, 以便在保证 ω 、 Y_c 和 R_c 的前提下, 尽量选择较小几何尺寸的 $V G$, 以减小 $V G$ 自身的阻力。先研究相同高度 h 和长度 L , 不同宽度 W 的叠合式 $V G$ (DA 系列) 对其涡的影响, 再研究不同 L (DB 系列, h 相同, W/L 不变) 对其涡的影响。在实用中, 根据所需要的 $V G$ 的 h , 利用所选择的最佳的 L/h 及 W/L 得到 $V G$ 的尺寸。图 6 给出了 DA 系列在 $X = 30h$ 处涡的拟合参数 ω 、 R_c 、 Y_c 随 W/L 的变化曲线。在 $X = 30h$ 处, ω 随着 W (也即 $\lg(\alpha_0) = W/L$) 的增加呈抛物线型变化, 而 R_c 和 Y_c 都随 $\lg(\alpha_0)$ 增加而增加。图 7 给出了 DB 系列 $V G$ 在 $X = 30h$ 处, ω 、 R_c 随 $\lg(\beta_0)$ 的变化

图 6 DA 系列 $V G$ 的涡的拟合参数图 7 DB 系列 $V G$ 的涡的拟合参数图 8 不同 ΔL 的涡的拟合参数

曲线。由 $\lg(\beta_0) = h/L$ 物理意义可知, 当 $\lg(\beta_0) \rightarrow 0$ 时, 则 $V G$ 将成为三角形平板, 此时 $V G$ 的 ω 必很小, 而当 $\lg(\beta_0) \rightarrow \infty$ 时, 则 $V G$ 退化为一横线, 此时的 ω 值亦必为 0, 故 $\lg(\beta_0)$ 必有一个最优的 $\lg(\beta_{opt})$, 使 ω 最大, 本试验结果正体现了这一规律。 R_c 随着 $\lg(\beta_0)$ 的增加略有下降。在以上二系列 $V G$ 试验中, $\Delta L/L$ 均为常数。现取 4 个不同的 $\Delta L/L$ 进行试验。图 8 中 ω 随 $\Delta L/L$ 变化有一个最优值, 而 R_c 随 $\Delta L/L$ 增加有所下降 (图 6- 图 8 中, $\circ$ 为 ω , $\triangle$ 为 R_c , $\diamond$ 为 Y_c)。

4 结 论

(1) 上表面和侧壁面均为平直的 $\nabla V G$ 产生较强的涡, 半片式 $\nabla V G$ 产生一个单涡, 其单涡的涡量较小; 而叠合半片式 $\nabla V G$ 则能够产生更强的涡, 其沿程 ω 超过了相同 h 的凹型面埋入式 $V G$ 的 ω 。(2) 本文发展的半片式 $\nabla V G$ 便于根据实际需要排列成反向或同向旋转 $V G$, 这个单涡随着流动的发展, ω 减小较快, Y_c 升高, Z_c 和 R_c 增加。(3) $\nabla V G$ 的几何尺寸对其涡的涡强有较大的影响: 在相同 h 和 L 下, $\nabla V G$ 越宽, 其产生的涡越强, 但 W 增加到一定程度, ω 增加缓慢; 在相同 h 及 W/L 下, $\nabla V G$ 产生的涡量随其 L 的变化有一个最佳值。除此之外, 前后两片 $V G$ 的叠合长度也对产生的涡有影响。

参 考 文 献

- 陈晓, 张炬. 凹型面埋入式涡流发生器控制分离流. 空气动力学报, 1993, 11(1)
- L in J C, Selby G V, Howard F G. Exploratory Study of Vortex-Generating Devices for Turbulent Flow Separation Control AIAA 91-0042, 1991
- L in J C, Howard F G, Bushnell D M, Selby G V. Investigation of Several Passive and Active Methods for Turbulent Flow Separation Control AIAA 90-1598, 1990
- 陈晓, 姜萍. 埋入式涡流发生器在亚音速扩压器分离流控制中的应用. 航空动力学报, 1992, 7(3)

(责任编辑 魏星禄)

depressed by the above measure. The results obtained from numerical simulation of one-dimensional and axisymmetric nozzle flows are presented.

Key Words Rocket engines Nozzle flow Numerical simulation

NAVIER- STOKES PREDICTIONS OF 2- D VECTORED NOZZLE FLOWS

Feng Jianhu

(Dept. of Applied Mathematics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

ABSTRACT In this paper, the viscous flows in the two-dimensional vectored and unvectored nozzles are numerically simulated by three-dimensional time-dependent Navier-Stokes equations in conservation forms. Finite volume discretization is used in spatial form and Runge-Kutta method in time marching direction. A new viscous terms' discretization in the frame-work of the finite volume method is used which has the advantages of less operation counts and full conservation. A modified Baldwin-Lomax algebraic turbulent model and wall function law are also adopted in the prediction. Comparison of numerical predictions with experiments shows that the Navier-Stokes code can accurately predict the flow fields in the vectored and unvectored nozzle where the flow is predominantly two-dimensional at the designed nozzle pressure ratios or above. Discrepancies between predictions and experiment are found at lower nozzle pressure ratios where separation typically occurs in a large portion of the nozzle.

Key Words Jet nozzles Vector fields Numerical computation

EFFECTS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF SUBMERGED DELTA VORTEX GENERATOR ON VORTEX

Zhong Yicheng and Chen Xiao

(2nd Dept. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

ABSTRACT The effects of the geometric variables of a submerged deltaic vortex generator on the parameters of the vortex have been experimentally studied and a type of half deltaic vortex generator has been developed. A small-size five-hole pressure probe was used to measure the velocity profiles at several transverse sections behind the vortex generators and according to the velocity profiles, the Gauss model of vortex core and quasi-Newton non-linear least square method were used to determine the parameters of single vortex such as vorticity, radius and height of the vortex core. The variation of these vortex parameters along the streamwise was analysed. In the experimental investigation the vortex parameters between the submerged deltaic vortex generator and the submerged concave vortex generator were also compared.

Key Words Swirler Velocity distribution Geometric parameters Vortex

EFFECTS OF AUTOMATICALLY POSITIONING BLADE ON FLOW CHARACTERISTICS IN AN S- SHAPED AIR INLET

Weng Peifen

(2nd Dept. Shanghai University, Shanghai 200072)

ABSTRACT An automatically positioning blade with a NACA 0012-series profile was placed upstream near the throat of an S-shaped diffuser and experimented to investigate the characteristics of the flow behind it. The results show that two angular positions have been found where the blade experiences no resultant aerodynamic moment, i.e. 15° and