

⑭ 80-85

第18卷 第3期

宇 航 学 报

Vol. 18 No. 3

1997年7月

JOURNAL OF ASTRONAUTICS

Jul. 1997

滚转对旋成体的菱形 花纹的影响

V412.44

周正瑾 何福森

(中国科学院力学研究所·北京·100080)

摘 要 这篇文章给出了滚转对旋成体的菱形花纹的影响。给出了任意形状旋成体滚转时的菱形花纹歪扭轨迹的计算公式。给出了三种物面形状的物体的 $n(x)$ 计算公式：(1) 锥 (2) 母线由直线和圆弧组成的尖头旋成体 (3) 球头锥。给出了参数 $k=0.025-0.5$ 滚转圆锥的菱形花纹轨迹的空间图。计算了4种来流条件下的滚转尖头旋成体的菱形花纹轨迹。计算了3组模型和不同来流条件下滚转球头锥的菱形花纹轨迹，并对计算结果进行了分析比较。

主题词 滚转 菱形花纹 歪扭轨迹 旋成体 烧蚀 再入飞行器

THE INFLUENCE OF ROLL ON CROSS-HATCHING OF REVOLUTION BODIES

Zhou Zhengjin He Fusen

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science · Beijing · 100080)

Abstract The influence of roll on cross-hatching of revolution bodies is studied in this paper. Calculation formulae of crooked locus of cross-hatching of revolution body of arbitrary form is presented. Calculation formulae of surface crooked distance n for bodies of three forms are given: (1) cone, (2) tip-nosed revolution body whose generators consist of straight lines and circular arcs, (3) sphere-nosed cone. Space figure of loci of cross-hatching of cone are shown when a parameter k defined in the paper is in the range 0.025-0.5. Also shown are loci of cross-hatching of tip-nosed revolution bodies under four kinds of free stream conditions. Locus of cross-hatching of three kinds of sphere-nosed cones is calculated, when free stream is different. The calculation results are given with analyses and comparisons.

Key words Roll Cross-hatching Crooked locus

本文于1995年9月11日收到

符号说明

a 音速	ω 滚转速率
$K = \frac{\pi\omega\sin\theta_s}{U_s}$, 参数	θ 角 (图3)
M 马赫数	θ_s 锥半角
n 沿垂直于 x 轴的方向上的物面歪扭距离 (图2)	γ 比热比
P 物面压力	下标
R 球头半径	∞ 来流条件
S 沿物体的母线方向的物面距离	o 驻点条件
t 时间	S 物面条件
u, v, w , 沿 x, y, z , 坐标的速度分量	
x, y, z 笛卡尔坐标 (图2)	

1 引言

近年来, 滚转对旋成体的菱形花纹的影响的实验是进行了, 但理论计算没有做过。我们给出了物体滚转时, 旋成体的菱形花纹的轨迹的计算公式和结果。

Laganelli, A. L. 和 Nestler, D. E. 在六十年代末期对高温材料—碳酚醛、尼龙酚醛、制成的球锥模型烧蚀时的滚转作了实验研究, 实验中他们发现速度为 2000—6000 转/分的常数滚转率通过合成的有效流动角造成烧蚀图象—菱形花纹的歪扭。

图 1 为带有钢尖的圆锥模型烧蚀后的菱形花纹示意图。图 1 (a) 表示模型无滚转时, 菱形花纹沿圆锥纯母线一直线, 由前向后产生。图 1 (b) 表示模型以 ω (转/分) 速率旋转时, 菱形花纹沿一条曲线由前向后产生, 图象歪扭了。

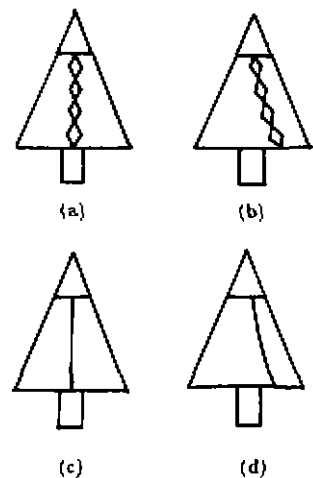


图 1 不滚转及有滚转的菱形花纹轨迹

2 滚转旋成体的菱形花纹歪扭轨迹的计算公式

2.1 任意形状旋成体的 $n(x)$ 计算公式

P 为物面上任意一点 (见图 2), $y=f(x), U_s=g(x)$, $f(x)$ 为物面形状, $g(x)$ 为物面速度

$$n(x) = \int_0^x \frac{2\pi\omega f(x)}{g(x)} dx \quad (1)$$

则 (1) 为所求之式。

2.2 三种物型的 $n(x)$ 计算公式

2.2.1 圆锥—母线为直线的尖头旋成体

假设来流为锥型流

则

$$\left. \begin{aligned} \theta &= K\bar{S} \\ K &= \frac{\pi\omega\sin\theta_s}{U_s} \\ \bar{S} &= \frac{S}{a} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

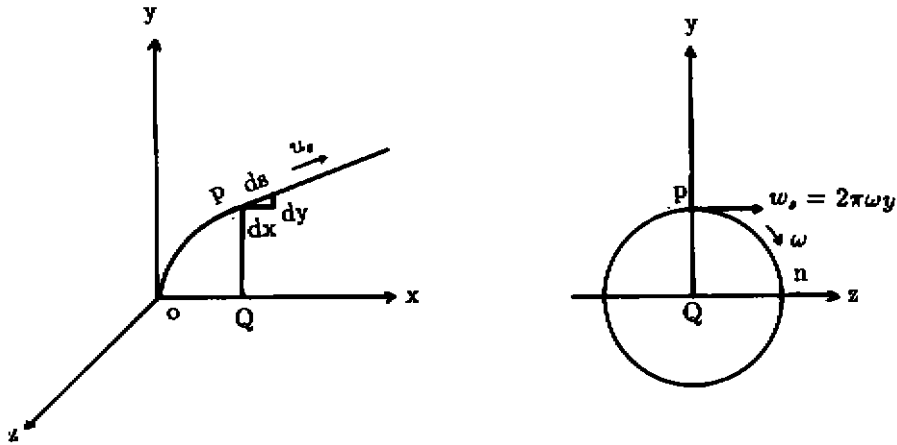


图 2 滚转钝头锥上 P 点的菱形花纹轨迹求解图

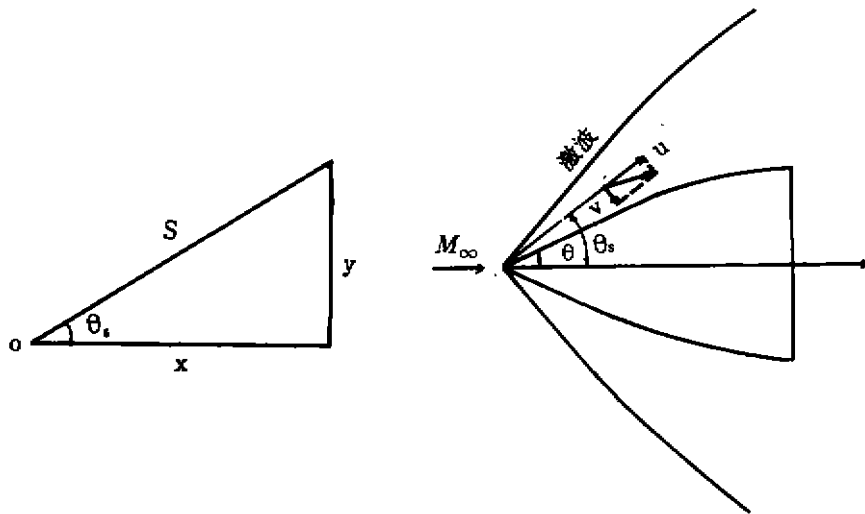


图 3 半锥角为 θ_s 的圆锥

令 $a=1$ (单位与 U_s 的长度单位相同)

则 (2) 为所求之式

2.2.2 母线为直线和圆弧组成的尖头旋成体

假设来流为锥型流,物面上不同 x 点的 $S(x), n(x)$, 如下

$$S(x) \begin{cases} S(x) = 1.0154x & \text{在锥面上} \\ S(x) = \int_0^x \sqrt{1 + \frac{(160-x)^2}{(575.87705)^2 - (x-160)^2}} dx, & \text{在球面上} \end{cases} \quad (3)$$

用数值积分求出球面上的 $n(x)$ 。

2.2.3 钝头锥

2.2.3.1 二组球头锥模型的尺寸及来流参数

表 1

球头半径	半锥角	模型长度	滚转速率	来流 M 数	来流静温	来流总温	来流总压
R (毫米)	θ_s (度)	x (毫米)	ω (转/秒)	M_∞	T_∞ (K)		
25	10	160	100, 2	2.7794	100		
					200		
					300		
					400		
25	10	160	100, 2	15.15	100		
					200		
					300		
					400		
25	10	160	100, 2	2.7794	408		
				5.4223			
25	10	160	100, 2	5.4223	220		
				9.0999			
				15.146			
				37.064			
25	11	75	100, 2			403	15
25	11	75	100, 2			403	20
25	11	85	100, 2			403	25
25	11	70	100, 2			403	25

表 2

球头半径	半锥角	模型长度	滚转速率	来流 M 数	来流总温
R (毫米)	θ_s (度)	x (毫米)	θ (转/秒)	M_∞	T_0 (K)
25	8	81	100, 2	5	523
				7	
尖锥	30	52	100, 2	5.0109	523
				7.8599	

2.2.3.2 $n(x)$

根据下式求出物面速度

$$V = g(x) = V_\infty \left(1 + \frac{2}{r-1} \frac{1}{M_\infty^2}\right)^{0.5} \left[1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{r-1}{r}}\right]^{0.5}$$

球头部分用牛顿理论计算物面压力, 锥身部分用内伏牛顿流理论计算物面压力, 再用公式

(1) 计算钝头锥的 $n(x)$ 。

3 结果

3.1 圆锥

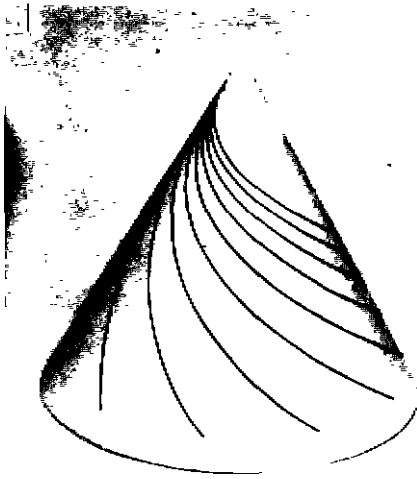


图 4(a) 滚转圆锥的菱形花纹
轨迹随 K 值的变化



图 4(b) 滚转圆锥的菱形花纹
轨迹随温度的变化

图 4(a)为 $K=0.025, 0.05, 0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.5$ 时(图中从左到右)滚转圆锥的菱形花纹轨迹的空间图。随着 K 值的增加,轨迹歪扭得利害。

图 4(b)为半锥角 $\theta_s=10^\circ$ 的圆锥,滚转速率 $\omega=100$ 转/秒,来流 $M_\infty=15.15$,来流静温 $T_\infty=100\text{K}, 200\text{K}, 300\text{K}, 400\text{K}$ 时菱形花纹轨迹的空间图(图中曲线由左到右)。随着温度的增加,轨迹歪扭角度减小。

3.2 母线为直线和圆弧组成的尖头旋成体

本文计算了以下四种条件下,尖头旋成体滚转时的菱形花纹轨迹 $n(x)$

表 3

θ_s (度)	ω (转/秒)	M_∞	T_∞ (K)
10	100	1.4028	100 200
			300 400
10	100	15.15	100 200
			300 400
10	100	1.233 1.4028	408
		2.7794 5.4223	
10	100	5.4223 9.0999	220
		15.146 37.064	

由计算结果看出,随着温度的增加或来流 M 数的增加,菱形花纹轨迹歪扭角度减小。

3.3 钝头锥

计算结果给出在图5中

由计算结果看出:随着温度或 M 数的增加,菱形花纹轨迹歪扭角度减小。

本工作得到林同骥先生,沈青,吴应湘和高宇欣同志的帮助,作者在此表示衷心的感谢。

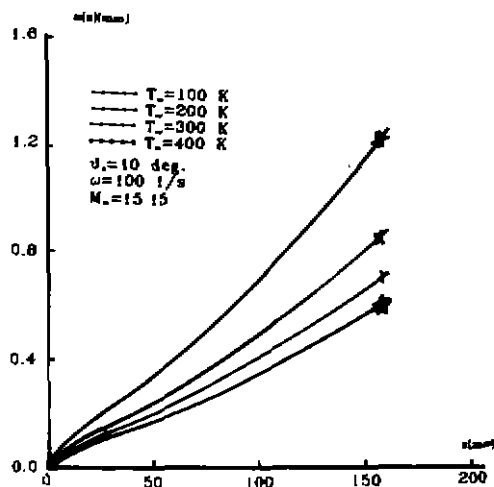


图5(a) 高 M 数时花纹轨迹随来流静温的变化

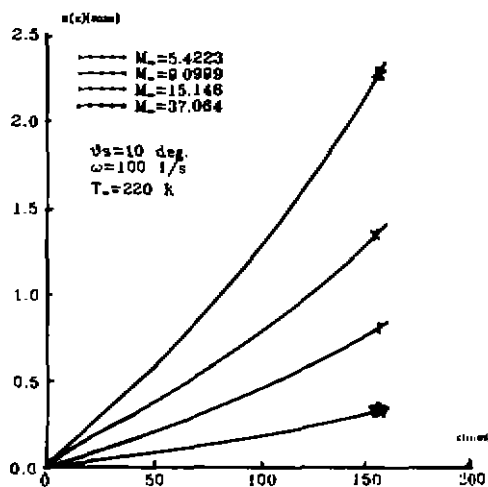


图5(b) 花纹轨迹随来流高 M 数的变化

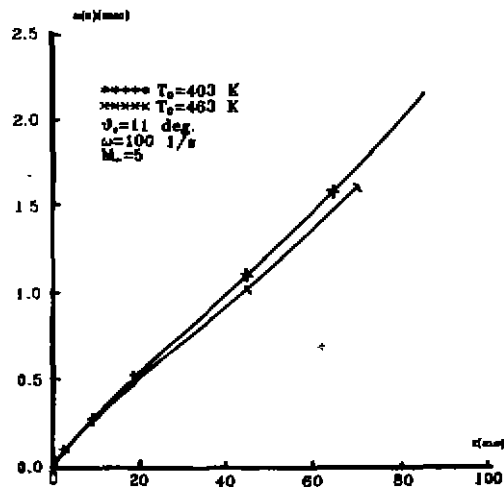


图5(c) 花纹轨迹随来流总温的变化

参 考 文 献

- 1 Laganello AL, Nester DE. Surface Ablation Patterns, A Phenomenology Study. , AIAA, 68-671
- 2 Lars EE. Generalized Unsteady Embedded Newtonian Flow. AIAA, 75-210
- 3 W. R. 西亚斯. 高速空气动力学理论. 国防工业出版社, 1960; 657-659, 742-749
- 4 A 费里. 超音速空气动力学. 国防工业出版社, 1959; 241-249
- 5 HΦ 克拉斯诺夫. 旋成体空气动力学. 54-55