

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                                          | $\omega$ 滚转速率    |
| $K = \frac{\pi \omega \sin \theta_s}{U_s}$ , 参数 | $\theta$ 角 (图 3) |
| $M$ 马赫数                                         | $\theta_s$ 锥半角   |
| $n$ 沿垂直于 $x$ 轴的方向上的物面歪扭距离 (图 2)                 | $\gamma$ 比热比     |
| $P$ 物面压力                                        | 下标               |
| $R$ 球头半径                                        | $\infty$ 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  $\omega$  (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。

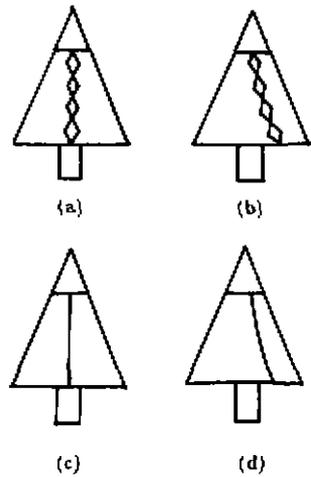


图 1 不滚转及有滚转的菱形花纹轨迹

**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

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

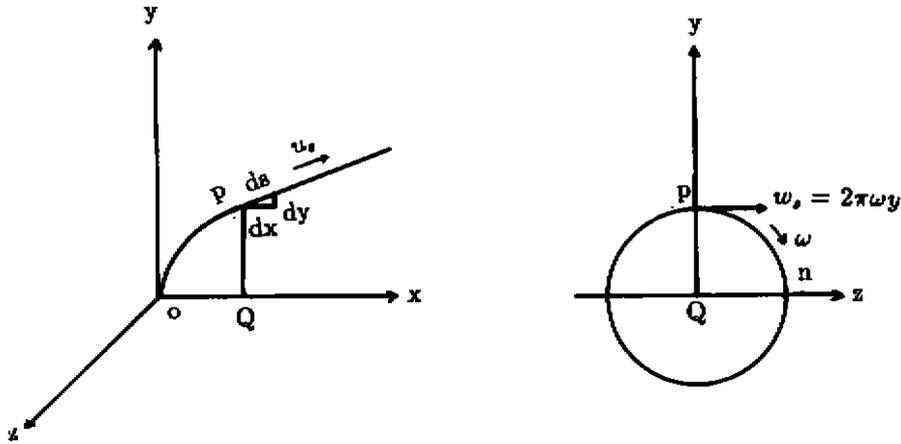


图 2 滚转钝头锥上 P 点的菱形花纹轨迹求解图

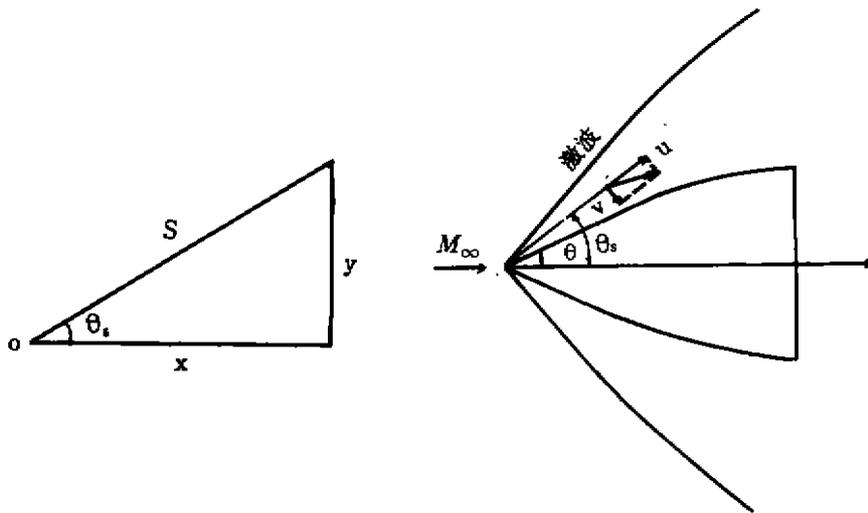


图 3 半锥角为  $\theta_s$  的圆锥

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) | $\theta_s$ (度) | $x$ (毫米) | $\omega$ (转/秒) | $M_\infty$ | $T_\infty$ (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) | $\theta_s$ (度) | $x$ (毫米) | $\theta$ (转/秒) | $M_\infty$ | $T_0$ (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

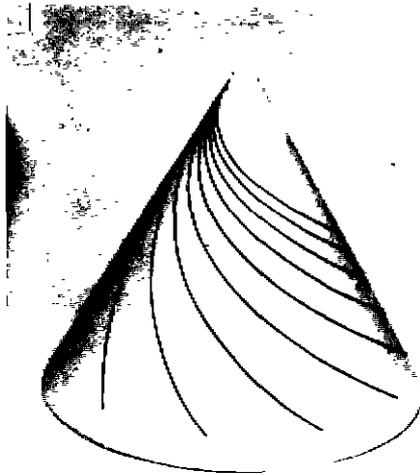


图 4(a) 滚转圆锥的菱形花纹  
轨迹随  $K$  值的变化



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

| $\theta_s$ (度) | $\omega$ (转/秒) | $M_\infty$    | $T_\infty$ (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。

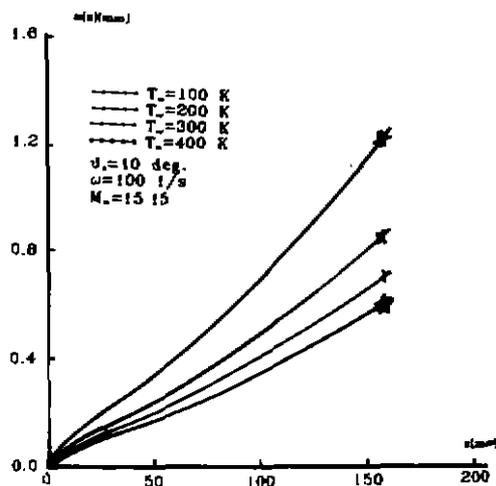


图 5(a) 高  $M$  数时花纹轨迹随来流静温的变化

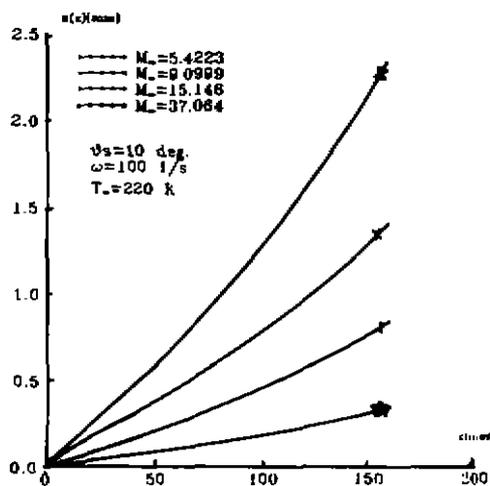


图 5(b) 花纹轨迹随来流高  $M$  数的变化

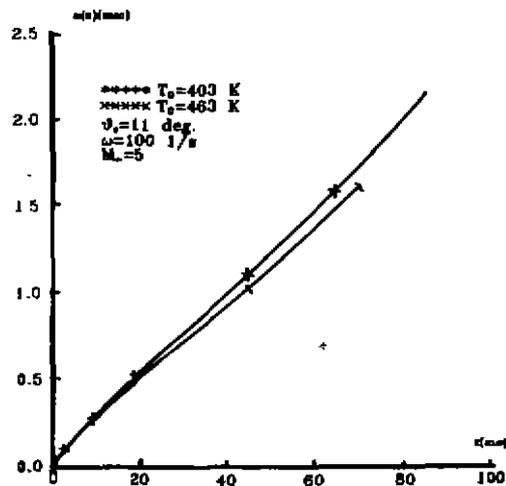


图 5(c) 花纹轨迹随来流总温的变化

### 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