

# 磁头润滑面形状对气动力特性的影响

傅仙罗 张红英 孙 征

中国科学院力学研究所, 北京 100080

**摘要** 本文采用微分离散差分方法求解滑流条件下的修正 Reynolds 方程。对于一阶导数间断的物理量——气膜厚度采用高精度保凸性磨光法进行处理。给出了气膜压强分布立体图以及几种因加工误差造成磁头滑块润滑面变形的误差型面的飞升曲线、中心线上压强分布、压力中心和负载随加工误差大小的变化情况, 指出了磁头滑块润滑面加工时宁凸勿凹的倾向性意见。

**关键词** 雷诺方程, 计算方法, 滑块。

## THE INFLUENCES OF DIFFERENT LUBRICATION SURFACE OUTLINES ON GASDYNAMIC FORCES OF MAGNETIC HEAD

Fu Xianluo, Zhang Hongying and Sun Zheng

*Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing 100080*

**Abstract** The modified Reynolds equation under slip-flow condition is solved in this paper using finite difference method of differential discretion. Smoothest approximation method, with high precision and capacity of keeping concave and convex feature of original outlines, is used to deal with the derivative discontinuity of gas film thickness. The curves of flying height versus disk velocity, the pressure distributions on centre lines of the flying magnetic head slider lubrication surfaces, load and centres of pressure of magnetic heads are presented according with several different outlines and different productive errors of magnetic heads. The analysis of calculation results shows that we could rather select convex surface to be the outline of lubrication surface of magnetic heads.

**Keywords** Reynolds equation, computational method, slider.

本文 1991 年 3 月 1 日收到。傅仙罗, 副研究员, 主要从事气体润滑理论方面的研究工作。张红英, 助理工程师, 应用物理专业。孙 征, 从事气体润滑理论研究。

## 1. 引言

温切斯特磁头滑块,浮动高度很小, $K_n$  值的影响已不可忽视,润滑现象的分析必须考虑到滑流,描述滑流现象的雷诺方程必须加以修正.文献[1]对修正的 Reynolds 方程采用微分离散差分方法进行了求解,离散后的三对角线性代数方程组采用 ADI 方法求解.

温切斯特磁头滑块润滑面由两部分组成:一部分是一个倾斜的平面;另一部分是一个水平平面.在两平面相交处气膜厚度的一阶导数间断.文献[1]中对此种情况做了数学上的逼近处理,收到了满意的效果.但是,磁头滑块润滑面在加工过程中,可能出现各种各样的误差型面,文献[1]中的数学方法无法对各种各样的误差型面做出统一的逼近处理.

本文的目的是试图提供一种既能适用于任意大小的滑块几何尺寸、姿态角,又能适用于磁头滑块润滑面具有各种误差型面时的磁头滑块气动力计算程序.为此,我们采用微分离散差分方法求解修正 Reynolds 方程,采用高精度保凸性磨光法解决了磁头滑块润滑面各种误差型面与倾斜平面相交处出现的气膜厚度一阶导数间断的问题.给出了几种磁头滑块润滑面误差型面的飞升曲线、中心线上压强分布、压力中心和负载的计算结果,并根据不同的误差型面及误差大小对以上各量的影响做了分析比较.

此外,本文还对磁头滑块润滑面原型采用磨光法进行了处理、计算,并将所得的计算结果与文献[1]得出的计算结果进行了比较.

本文是在文献[1]的基础上,为温切斯特磁头的各种润滑型面提供了一种计算其气动力特性的方法及程序,分析了各种润滑型面对温切斯特磁头气动力特性的影响.这在实践上为磁头滑块润滑面加工误差的允许值的确定提供了理论依据;在理论研究上为磁头气动力型面的优化设计提供了一个操作简便、适用于任意几何尺寸、任意几何形状和任意飞行状态的适用性广的通用气动力分析程序.

## 2. 计算方法

浮动高度为亚微米级的轻负荷磁头的气动力计算,必须考虑分子平均自由程效应.这样,描述润滑特性的经典雷诺方程必须加以修正.

亚微米级厚度的气膜流动中,其压强分布可由下面的修正雷诺方程决定:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left[ (ph^3 + 6\lambda_a p_a h^2) \frac{\partial p}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (ph^3 + 6\lambda_a p_a h^2) \frac{\partial p}{\partial y} \right] \\ = 6\mu V_x \frac{\partial(ph)}{\partial x} + 12\mu \frac{\partial(ph)}{\partial t} \\ h(x, V, t) = h(x, v, 0) = h(x, v) \\ p(x, v, t) |_{v=p_a} \end{cases}$$

其中, $p$  是气膜压强, $h$  是气膜厚度, $p_a$  为环境压强, $\lambda_a$  为一大气压下的空气分子平均自由程, $V_x$  为滑块轴承的来流速度, $\mu$  是空气的动力粘性系数.

此方程为不定常非线性的二阶二维偏微分方程.

我们采用微分分离散的方法求解该方程,对于离散后得到的三对角线性代数方程组采用 ADI 方法求解。

对于温切斯特磁头,当使用微分离散的方法求解修正的雷诺方程时,该方程要求所有物理量都要有连续的一阶导数。但是温切斯特磁头滑块的气膜厚度  $h(x)$  在倾斜平面与水平平面相交处虽然连续,却出现一阶导数间断,这就使得在离散化的过程中,当网格点落在气膜厚度变化率间断点上时,网格点上的  $h'(x)$  值不好处理。为此,文献[1]对润滑面型线做了数学上的逼近处理,并且使逼近值与真实值的相对误差在千分之一以内。

但是,磁头在实际加工中难免出现种种形式的误差,所以实际磁头润滑面不可能是由两绝对平面组成,既有可能向外凸出一些,向内凹进去一些,或者是其它什么形状,这就使得我们无法使用文献[1]中的方法来统一逼近磁头润滑面原来的形状。因此,我们采用了一种新的逼近方法——磨光法<sup>[2],[3]</sup>。

磨光法是一类适应保凸性要求的曲线拟合法。本文采用的磨光法,其边界条件是:

拟合曲线的端点取给定值,并且在端点有指定的切线方向。

假若在节点  $\{x_i\}$  上给定了型值  $\{y_i\}$ , 其中  $x_i = x_0 + ih$ ,  $y_i$  是与  $x_i$  对应的型值,  $i = 0, 1, 2, \dots, N$ 。设要求拟合曲线满足下列边界条件:

$$\begin{aligned} S(x_0) &= y_0, S(x_N) = y_N, \\ S'(x_0) &= y'_0, S'(x_N) = y'_N \end{aligned} \quad (1)$$

我们采用待定系数法,令拟合曲线为:

$$S(x) = \sum_{i=-1}^{N+1} y_i \Omega_3 \left( \frac{x-x_i}{h} \right) + \alpha(x-x_0) + \beta \quad (2)$$

其中,  $\alpha, \beta$  为待定参数  $y_{-1}$  和  $y_{N+1}$  与

$x_{-1} = x_0 - h, x_{N+1} = x_N + h$  相对应的待定延拓值。由边界条件(1)得:

$$\alpha = \frac{1}{3N-2} \left( \frac{y_1 - y_0}{h} - y'_0 + \frac{y_N - y_{N-1}}{h} - y'_N \right) \quad (3)$$

$$y_{-1} = y_1 + 2h\alpha - 2hy'_0 \quad (4)$$

$$y_{N+1} = y_{N-1} - 2h\alpha + 2hy'_N \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{3}y_0 - \frac{1}{6}(y_1 + y_{-1}) \quad (6)$$

这样,按(3)~(6)式首先得出  $\alpha, \beta, y_{-1}, y_{N+1}$ , 然后运用磨光公式(2)给出润滑面型线的拟合曲线。针对磁头滑块润滑面具有不同的加工误差的情况,采用磨光法可统一处理,使得在一阶导数间断点附近采用磨光函数逼近,在稍微离开一阶导数间断点以外的部分则采用真实函数来计算气膜厚度  $h(x)$  及其一阶导数  $h'(x)$  和  $h''(x)$  之值。

针对实际加工过程中的典型情况,本文计算了磁头滑块润滑面的三种误差型面,润滑面型线的形状如图 1 所示。它包括以下三种形式:

1. 水平润滑面外凸成圆弧状;

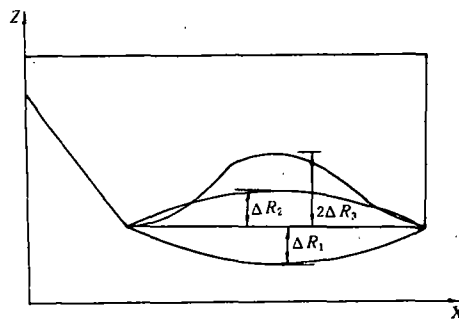


图 1 磁头滑块润滑面误差型面示意图

2. 水平润滑面内凹成圆弧状;
3. 水平润滑面内凹成余弦函数状。

倾斜润滑面形状不变。

对于每一种误差型面,又根据型面大小不同的绝对误差,计算出了其各自的气动力特性,得出了相应的气动力特性曲线。计算过程中,气膜厚度的逼近值与真实值之间的相对误差小于 0.2%,即逼近精度保证在千分之二范围内。

对于不同的误差型面及一系列的型面绝对误差值,计算结果表明,磨光法成功地解决了一阶导数的间断问题,有效地拟合了润滑面各种误差型面的气膜厚度,当绝对误差接近于零时,所得的中心线上压强

分布、压力中心和负载完全与作比较用的原型的计算结果一致。

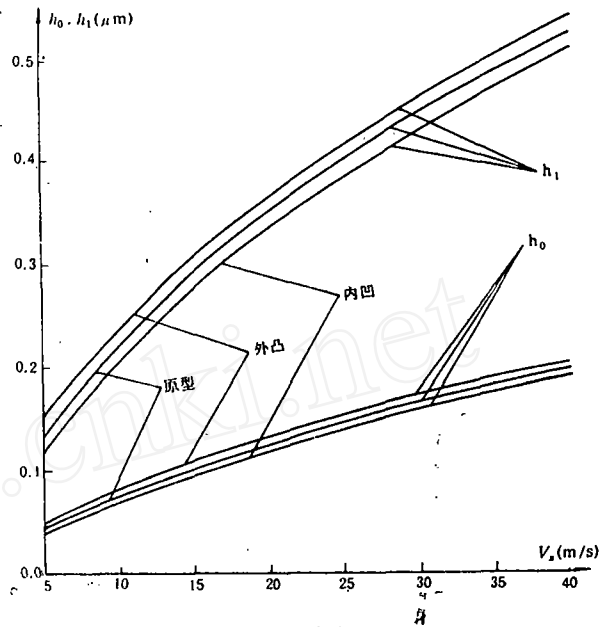


图 2 飞升曲线

### 3. 计算结果

对本计算方法所得的计算结果的准确性,我们通过比较法来验证。对于磁头润滑面的原型采用本文所述计算方法得出的计算结果与文献[1]采用的方法所得出的计算结果是完全一致的;同时也与使用单位用实验验证过的磁头的负荷、压力中心数值是一致的。

三种方法的计算结果对比

	磨光法	文献[1]	实验结果
压力中心	0.20943cm	0.20942cm	0.21±0.01cm
负载	3.47g	3.47g	3.40±0.4g

图 2 给出了磁头润滑面为原型、润滑面内凹成圆弧形和外凸成圆弧形时的飞升曲线。所谓飞升曲线即指润滑面气膜厚度斜率间断处的气膜厚度  $h_1$ 、尾缘气膜厚度  $h_0$  与磁盘线速度  $V_s$  之间的变化关系。图中的飞升曲线是在负载相对误差小于 0.2%、压力中心位置的相对误差小于 0.2%、内凹与外凸值均为尾缘气膜厚度 10% 的条件下计算出来的。从图中可以看出当磁盘线速度由零达到 5m/s 时,润滑面呈外凸状的磁头飞升的高度最高,尽管各个磁头滑块润滑面形状不同,但对同一磁盘而言,磁盘的线速度从零达到 5m/s 所需时

间是一样的。所以,润滑面呈外凸状的磁头起停速度最快,润滑面呈内凹状的磁头起停速度较慢,润滑面为原型的磁头起停速度处在前两者之间。起停速度快的磁头与磁盘之间摩擦时间短,有利于磁盘和磁头的工作及保护。从磁头起停速度方面考虑,润滑面误差型面呈外凸状的磁头较好。

图 3 给出了各误差型面的负载及压力中心与型面误差大小的关系。

从图 3(a)中可以看出,润滑面误差型面外凸呈圆弧状时,加工误差  $\Delta R$  对压力中心影响最小;润滑面误差型面内凹呈余弦函数状时,加工误差  $\Delta R$  对压力中心影响最大;润滑面误差型面内凹呈圆弧状时,加工误差  $\Delta R$  对压力中心影响处在前两者之间;

从图 3(b)中可以看出,润滑面误差型面外凸呈圆弧状时,负载对加工误差  $\Delta R$  非常敏感,较小的加工误差即可以引起较大的载荷变化;润滑面误差型面内凹呈余弦函数状时,负载随加工误差  $\Delta R$  的变化十分迟缓,当加工误差有较大的变化时,负载几乎保持不变;润滑面误差型面内凹呈圆弧状时,负载随加工误差  $\Delta R$  的变化位于前两者之间。

图 4 给出了在盘速、负荷、压力中心不变的情况下,由型面误差引起的飞行高度  $h_0$  的变化。从该图可以确定凸型型面的允许误差值。从该图还可以看出,在  $\Delta R$  增大的情况下, $h_0$  减少,加上内凹型润滑面尾部的形状,非常容易磨损。因此,内凹型润滑面滑块磁头是不可取的。

从前面的分析比较来看,在温切斯特磁头滑块的加工过程中,宁可使润滑面向外凸出一些而不要向内凹陷进去。这样可以使得温切斯特磁头具有较好的气动力特性。

本程序还可以方便地绘制出磁头滑块润滑面上的气膜压强分布立体图。由图可以判断出计算结果是否失稳,以及能直观的识别磁头的一些气动力特性。图 5 为计算机绘制的立体图。

本工作得到方光旦,杨少波,陈韶光等同志的帮助,借此表示深切的谢意。

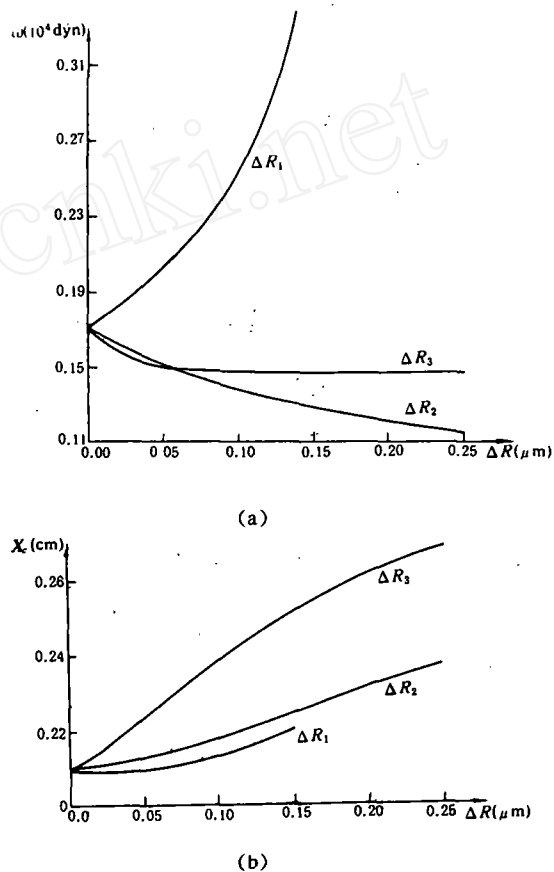


图 3 三种误差型面的压力中心和负载随误差大小的变化

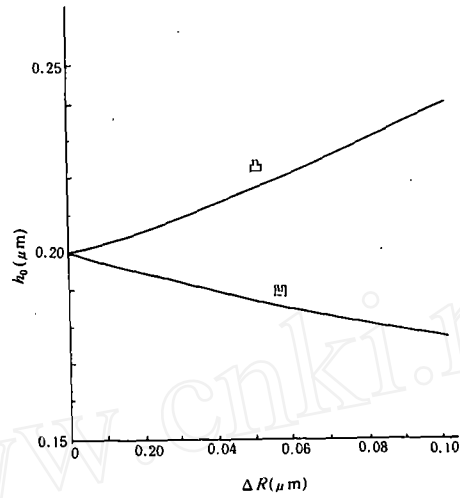
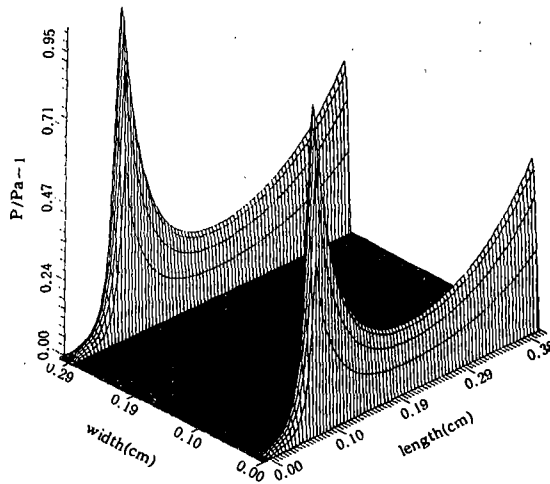
图 4 型面误差与  $h_0$  的关系

图 5 滑块原型的压强分布立体图

## 参 考 文 献

- [1] 傅仙罗,张红英,轻负荷磁头气动力分析,计算机学报,1992. 15(6).
- [2] 李岳升,样条与插值,上海科学技术出版社,上海,1983.
- [3] 李岳升,齐东旭,样条函数方法,科学出版社,北京,1979.