

空气静压导轨的应用研究

庄 夔 薛洪俊 柴 青

(上海大学五系,上海嘉定 201800)

(无锡减振器公司,无锡)(南方CAD中心)

摘要 对小型三坐标测量机的导轨进行改型设计,将原来的滚动导轨改为空气静压导轨,提出了一种新的空气静压导轨的优化设计方法,给出计算结果。介绍了气垫压力分布的理论分析和试验研究,其理论计算与试验结果趋向一致。

关键词: 空气静压导轨;三坐标测量机;气垫

1 前 言

三坐标测量机是高效的精密测量仪器,可作零件的三维测量,广泛应用于工厂的计量室和计量部门。该仪器由测头座、横梁、导轨工作台等部件组成,近年来,都采用空气静压导轨,如:意大利的DEA公司,西德的Leitz公司,日本的三丰,中国的前哨机械厂等生产的三坐标测量机。我们为上海光学仪器厂对94J—Q测量机,改型设计为全气浮花岗石静压导轨。其要求为:工作最大行程 $600 \times 450 \times 300(Y \times X \times Z)$,测量准确度为 $(3+3L/1000)\mu\text{m}$,精密度 σ 为 $1\mu\text{m}$,导轨直线性为 $3\mu\text{m}/600\text{mm}$,并要求尽量少改动原构件,保证其刚度、惯量、测量特性不变,在设计时,只将滚动导轨改为花岗石导轨,滚动轴承座改为气浮导轨气足座。改后将使摩擦力减小,精度提高,精度保持性良好,寿命延长^{[1][2]}。

2 总体设计

根据厂方对改型设计的要求,参考国内外资料,我们提出了方案,采用开式重量平衡式导轨,气垫为矩形,节流器采用小孔加微型沟槽。三坐标测量机的结构简图见图1。Y向动导轨有前、后两组共4个导向气足,前、中、后三组6个承重气足(见图2);X向动导轨有左、右两组共8个导向气足,2个承重气足(见图3);Z向有上、下两组共8个气足(见图4)。

根据实际统计资料,沿X向运动的气足总负荷 W_x 为258N,(每个气垫的承载能力 $[W_x]$ 为129N);沿Y向运动的气足总负荷 W_y 为1245N,(每个气垫的承载能力 $[W_y]$ 为208N)。

又根据精度要求,转换成对气垫刚度的要求 $[K_w]$ 。横梁上的移动载荷 W_z 的左右端为C、D(见图5),由于其位置经常变动,A点及B点的载荷也随之变动,其最大变动量 ΔW 计算得

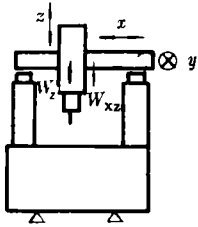


图1 结构简图

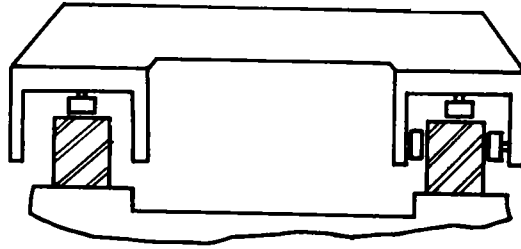


图2 Y向导轨简图

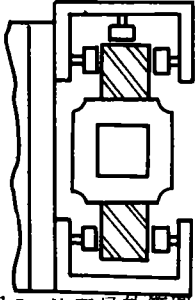


图3 X向导轨简图

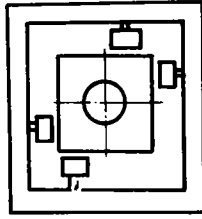


图4 Z向导轨简图

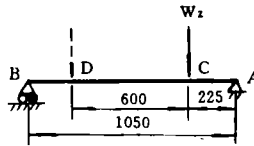


图5 横梁简图

147.4N, 即每个承重 A 气垫(共 3 个)的载荷变动量 ΔW_A 为 49N。该仪器精密度 σ 为 $1\mu\text{m}$, 设误差源有 5 个, 初步按等作用原则分配给 A 气垫, 则 $\sigma_A = 1/\sqrt{5} = 0.45\mu\text{m}$ 。因而允许的气垫刚度 $[K_w]$ 为:

$$[K_w] = \Delta W_A / \sigma_A = 109\text{N}/\mu\text{m}$$

其他参数的精度要求计算方法见[3]。

3 确定参数

(1) 估算气垫尺寸(见图 6)

气垫宽度 B 受大理石导轨尺寸限制, 取 3.2cm , b 取 1.6cm , 设供气压力 P_s 为 0.4MPa , 气垫刚度最大时的比压比 K_g 约为 $0.69^{[1]}$, 此时节流孔出口处压力 P_e 约为 0.31MPa , 则气垫长度 a 估算为:

$$a = W / (B \cdot P_e \cdot f_w) = 3.54\text{cm}$$

$$A = 4a/3 = 4.72\text{cm}, \text{取 } A = 5.0\text{cm}$$

式中

f_w 为载荷扩散系数^[2], 暂取 0.6 。

(2) 计算气膜厚度 h 及节流孔直径 d

通常, 在工程设计时, 都是先预定 h 和 d , 再计算承载能力 W 及气垫刚度 K_w , 多次修正 h 、 d 值, 直到满足要求。我们提出一种新的计算方法, 即按要求的 W , 并使 K_w 尽量大, 编程进行优化设计, 得出 h 、 d 值。这一个过程实则是一个求逆过程, 计算较繁琐, 但人们可藉助于电子

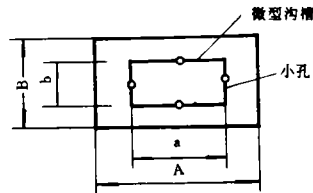


图6 矩形气垫

计算机,按给定的思路和途径进行循环运算,采用优化设计,反复搜索,在短时间内得出最佳的参数组合。

设计时, W 及 K_w 需要满足下列方程式^[4]:

$$\left. \begin{aligned} W > [W_z] \text{ 或 } [W_{zz}] \\ K_w \geq [K_w] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

根据森美朗的计算公式(二元平面流动理论)^[5]得知:

$$\left. \begin{aligned} W &= (P_d - P_a) \iint_s G(x, y) dx dy \\ K_w &= \frac{dW}{dh} = -\frac{3p_i^2 \beta K_b (p_i^2 \beta - p_a^2) h^2}{M} \iint_s \frac{F(x, y)}{p(x, y)} dx dy \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 $G(x, y)$ 为压缩性无因次压力分布 ($G(x, y) = \frac{p - p_a}{p_d - p_a}$), $F(x, y)$ 为非压缩性无因次压力分布

($F(x, y) = \frac{q - p_a}{p_d - p_a}$), p 及 q 为气垫内某点的压力, β 为节流比 ($\beta = p_d / p_i$), K_b 及 M 为系数(见[5]), p_a 为周边大气压。

我们以 K_w 为目标函数,即按所要求的 W 值,以刚度最大(至少要大于 $[K_w]$) 为准则,并满足不产生阻塞及自激振荡、小孔能加工等约束条件,编程解出气垫的参数组合(最优化解),即利用电子计算机可计算出各组 h 、 d 、 W 、 K_w 及空气流量 Q 等值,择优选取适宜的参数值,作为设计数据。图 7 为定载荷导轨设计流程。

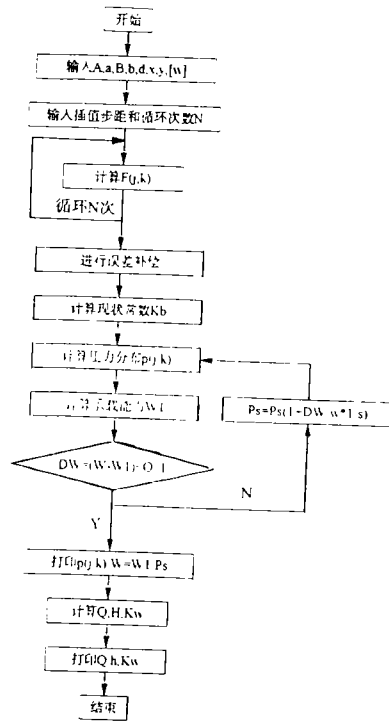


图 7 定载荷导轨设计流程

4 实验验证

为了验证该优化设计方法的实用性和可信性,用我们自己研制的压力分布试验装置^[6],对六种形式的气垫进行测试,图 8 为 5" 气垫计算压力分布图,理论计算结果与实验结果基本一致,其相对误差在 10% 以内,说明软件运行结果是可用的。

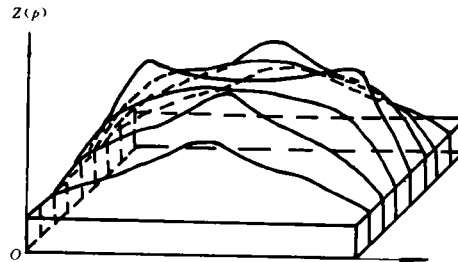


图 8 5" 气垫压力分布图

5 计算结果

给定 $W = 245N$, $A = 50$, $B = 32$, 用该程序进行计算,其部分计算结果见表 1。

表 1 计算结果 (单位: a, b, d —mm, K_w —N/ μ m, h — μ m, P_s, p_d —MPa, Q —cm³/S)

编号	小孔排布	a	b	d	K_w	h	p_s	p_d	Q
1	菱形	32	16	0.32	165	20.7	0.55	0.41	265
2	菱形	36	20	0.32	176	19.5	0.55	0.41	264
3	菱形	24	10	0.32	153	22.2	0.58	0.43	277
4	菱形	32	16	0.32	180	19.2	0.56	0.42	266
5	菱形	32	16	0.16	262	13.1	0.55	0.42	66
6	菱形	32	16	0.45	132	26.0	0.55	0.41	524

以上结果满足使用要求,以 5 号方案为最佳,其打印结果见图 9。

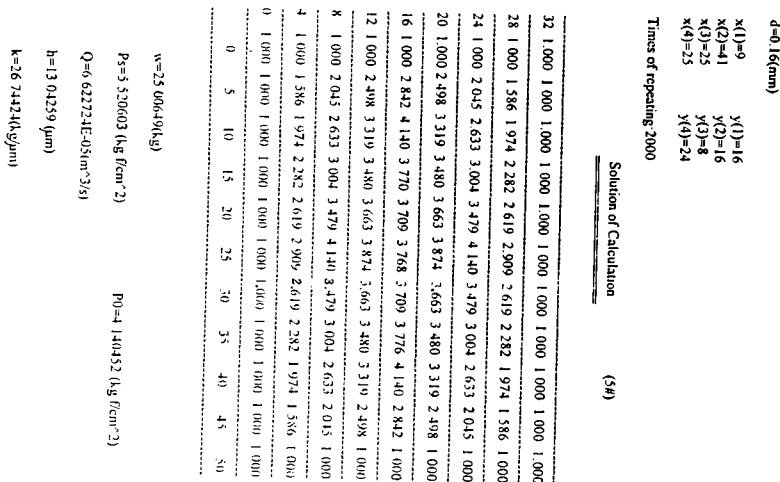


图 9 打印结果

参 考 文 献

- [1] J. W. Powell, 空气静压轴承设计. 丁维刚等译, 北京: 国防工业出版社, 1978
- [2] 刘敬, 刘育华, 陈世杰, 静压气体润滑, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990
- [3] 庄葵, 紫青, 光学机械, 1989, (1): 1—7
- [4] 薛洪俊, 三座标测量机空气静压导轨的设计与研究. 上海科技大学硕士论文, 1989
- [5] 森美朗, 矢部宽[日], 机械の研究, 1967, 19(8): 1071-1078
- [6] 柴青, 空气静压导轨的设计及精度分析. 上海科技大学硕士论文, 1988

Eesearch on Aerostatic Slideway

Zhuang Kui, *Xue Hongjun and **Chai Qing

(The Five Teparment, Shanghai University, Shanghai 201800)

(Wuxi Vibroshock Co.)*

*(** The South Centre of CAD)*

Abstract

The aerostatic slideway of three coordinate measuring machine is designed. A new method for calculating of aerostatic slideway optimization design is presented in this paper. The calculating results of several parameters are given. The theoretical analysis and experimental studies of pressure distribution for gas-pad are described. The theoretical and experimental curves have been obtained in good agreement.

Key words: Aerostatic slideways, Three coordinate measuring machine, Air cushion