

光盘伺服槽及预制格式刻划机用 超高回转精度空气静压轴承研制

李志来

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 超高回转精度空气静压轴系是光盘刻槽机的核心部件。本文叙述了空气静压轴承的研制过程,通过实验值与理论值对比,证明本设计合理,计算正确,加工与装配工艺性好,装调后主轴回转精度不大于 $0.0147\mu\text{m}$,满足了不大于 $0.05\mu\text{m}$ 的使用要求,鉴定认为达到八十年代世界先进水平。

关键词 空气静压轴承 超高回转精度

1 引言

光盘伺服槽及预制格式刻划机(简称光盘刻槽机)是激光光盘工艺中的母机,该机的主要功能是在光盘原板上预刻几万圈螺旋沟槽,沟槽螺距不大于 $2\mu\text{m}$,螺距误差不大于 $\pm 0.1\mu\text{m}$,该机隶属亚微米加工设备。

超高回转精度空气静压轴系是光盘刻槽机中最重要、最精密的机械部件之一。由于空气静压轴承的节流作用和挤压膜效应,主轴旋转可自动稳心;又由于气膜的均化效应而能减小轴承工作表面形位误差的影响,因而可获得很高的回转精度,其回转精度保持性和重复性也很好;它还有不污染环境、温升极低等优点。我们将为光盘刻槽机研制的超高回转精度空气静压轴承应用在超精密数控加工设备,同样能很好地满足使用要求。

2 轴系的主要技术指标及轴承方案选择

- 主轴在 $120\sim 300\text{ r/min}$ 且无外载工况下工作;
- 在 180 r/min 时,主轴回转精度:径向误差 $0.05\mu\text{m}$,轴向误差 $0.20\mu\text{m}$;
- 主轴静态刚度(在工作台上台面):径向 $50\text{ N}/\mu\text{m}$,轴向 $40\text{ N}/\mu\text{m}$ 。

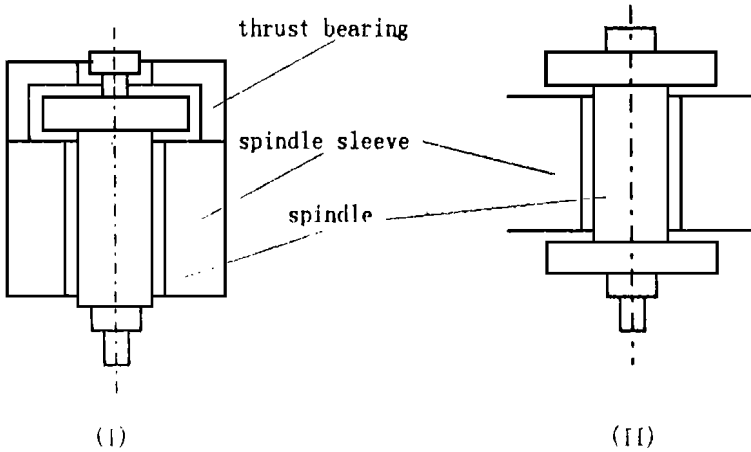


Fig. 1 Sketch of the air bearing project selection

经分析比较, 采用了在国内外应用中已有成熟经验的孔式节流器空气静压轴承。图 1 是止推轴承与径向轴承联合作用的两种设计方案, 由于第 1 种方案装配工艺性能好, 装配后零件形位误差易保持, 所以选择了图 1(I) 做为光盘刻槽机用空气轴承。

3 结构设计

3.1 受力分析

主轴工作时虽然没有外加载荷, 但主轴总成(主轴及安装其上的工作台、圆光栅等零部件) 的质量偏心使其产生离心力, 所以对主轴总成必须进行动平衡, 使离心力限制在允许的范围内。

力矩电机轴与主轴安装时产生的同轴度误差, 再加上电机振动、基础振动等, 这些都要要求空气轴承有足够的刚度。

3.2 超高回转精度空气静压轴承设计

由分析知, 空气轴承应以最大刚度为优化目标。为此, 采用两个双排节流器径向轴承, 大止推工作面; 径向轴承和止推轴承都采用有腔孔式节流器。

轴承套采用独体结构, 以减少装配误差。由于轴承套对形位公差要求较高, 所以不采用青铜之类的软材料。主轴采用单板双向止推结构, 以便于装拆。主轴、轴承套和止推板的材料都选用硬度高、耐腐蚀、加工性能好、稳定性好的氮化钢——38CrMoAlA。

为不影响主轴上端工作台及主轴下端圆光栅的正常工作, 要求空气轴承不从主轴上下端排气, 为此在轴承套下端和止推板中间加工环形槽及排气孔, 将气体引导至轴承中段排出。

径向轴承和止推轴承都采用有腔孔式节流器, 其优点是节流小孔较易加工, 可增加轴承刚度, 不易污染轴承工作表面; 缺点是气腔深度一致性不易控制, 如气腔深度一致性很差, 则会使主轴受力不对称而影响主轴回转精度, 如气腔深度设计不当还会产生自激振动。

4 轴承元件加工、精度测量及装配

轴承套、主轴、止推板这三大件在精研磨之前要经过几十道工序,如调质、时效、油煮、辉光离子氮化、多次冷热循环处理等工艺过程。

为控制轴承径向间隙和轴向间隙,首先精研轴承套,再精加工主轴和止推板,使轴承间隙达到设计要求。在手工精研过程中,随时测量元件精度是非常重要的,由于测量次数多,所以要求测量方法必须简单、可靠,要边研边测,以指导研磨工作顺利进行。轴承套和主轴的圆度最终在圆度仪上进行测量。

主要件在装配之前要认真清洗,装配过程中要防止碰伤、划伤和变形等。在供气条件下把主轴装入轴承套内,在没有外力作用下,主轴在任何角度都能停下来,说明节流器分布及气腔深度、节流孔直径和深度一致性符合要求。

只选用力矩电机的转子、定子和电刷三个件,其余件重新加工及更换,对电机转子进行了动平衡,组装后电机主轴回转精度在 $3\ \mu\text{m}$ 以内,减少了振动。此外,为提高传动精度研制了一种只传扭矩且隔振的弹性联轴器。

5 高洁净度、高稳定度空气净化装置研制

压缩空气中的尘埃、水分和油蒸气不利于空气静压轴承的正常工作。因此,研制了一套高洁净度、高稳定度的空气净化装置,以对压缩空气中的各种杂质进行有效的处理。经检测,尘埃粒子数为 1.4 颗/升,低于 3.5 颗/升的指标要求;而稳压精度在 2% 以内。经使用证明效果很好,满足了使用要求。

6 轴系静态性能测试

在静态性能测试中,工作压力 P_b 可在 $0\sim 0.6\ \text{MPa}$ 范围内调节,环境温度为 $15\sim 18^\circ\text{C}$,使用两台 DGB-5 型电感测微仪,TK-30 型测力计测负载。

静态性能测试主要实测轴承的承载能力、静态刚度和角刚度。

6.1 实测轴向承载能力和静态刚度

在主轴下端逐渐加载,电感测头打在主轴上端顶尖孔处的小钢球上。根据负载大小和电感测微仪读数值,可得不同偏心率下的轴向承载能力(见表 1),并可计算出轴向静态刚度值。改变工作压力,即可得出相应的轴向承载能力和轴向静态刚度值(见表 2)。

6.2 实测径向承载能力和静态刚度

一定工作压力下,在主轴上下两端同时逐渐加载,调节上下载荷,使上下电感测微仪读数基本一致。根据上下载荷之和及上下电感测微仪读数平均值,可得不同偏心率下的径向承载能力(见表 1),并能计算出实测径向静态刚度值。改变工作压力,可得相应径向承载能力和静态刚度值(见表 2)。

6.3 实测在径向轴承与止推轴承联合作用下的角刚度

一定工作压力下, 在主轴上端或下端逐渐加载, 根据载荷值及电感测微仪读数, 可分别计算出在径向轴承与止推轴承联合作用下轴系角刚度实测值。改变工作压力, 可得相应角刚度实测值(见表 2)。

Table 1 Loading capacity W(N)

Pb (MPa)	radial				axial			
	eccentricity ratio $\epsilon = 0.10$			$\epsilon = 0.50$	eccentricity ratio $\epsilon = 0.10$			$\epsilon = 0.50$
	theoretical value	experimental value	error (%)	theoretical value	theoretical value	experimental value	error (%)	theoretical value
0.30	137.0	131.2	4.23	916.2	182.1	164.5	9.66	1576.9
0.35	169.5	162.5	4.13	1092.3	222.0	209.3	5.72	1895.1
0.40	203.3	188.1	7.48	1262.9	263.1	240.4	8.63	2213.0
0.45	238.3	215.8	9.44	1434.6	305.1	291.4	4.49	2530.2
0.50	274.2	253.8	7.44	1607.5	347.9	323.3	7.07	2846.5

Table 2 Translational stiffness K and deflectional stiffness Ka

Pb (MPa)	radial K _j (N/μm)			axial K _z (N/μm)			K _a (Ncm/(°))		
	theoretical value	experimental value	error (%)	theoretical value	experimental value	error (%)	theoretical value	experimental value	error (%)
	0.30	81.0	79.5	1.85	280.5	263.2	6.17	637.8	576.0
0.35	100.2	98.5	1.70	341.9	334.8	2.08	779.0	713.2	8.45
0.40	120.2	114.0	5.16	405.2	384.6	5.08	924.9	834.8	9.74
0.45	140.9	130.8	7.17	470.0	466.2	0.81	1074.4	986.5	8.18
0.50	162.1	153.8	5.12	536.0	517.2	3.51	1226.8	1122.2	8.53

从表中看出, 实测值低于理论值, 分析其原因是零件加工精度与工程理论误差所致。

7 轴系回转精度动态测试

根据本轴系工况, 将测量球安装在主轴上端。数据处理时, 采用误差分离技术将测量球误差分离出去。采用内触发采样、非接触式测量方法进行测量; 采用“最小二乘法”评定主轴回转误差。表 3 是主轴在工作转数时回转精度动态测量结果, 从表中看出, 主轴回转精度满足且超过了使用要求的技术指标。

Table 3 The result of dynamic test of the spindle rotational accuracy

radial (μm)			axial (μm)		
average radial error (ARE)	random error (3σ)	total value (ARE+ 3σ)	average radial error (AAE)	random error (3σ)	total value (AAE+ 3σ)
0.0056	0.0086	0.0147	0.0096	0.0045	0.0141

8 结 束 语

从实测结果看, 轴系的静态性能理论值与实测值相对误差在 10% 以内; 动态性能满足

且超过了使用技术指标, 可见本轴系结构设计合理, 理论计算正确。

参 考 文 献

- 1 刘 瞰, 刘育华. 气体静压轴承设计. 哈尔滨工业大学出版社, 1984
- 2 温正忠, 林钧, 乔孝纯. 光学机械, 1984, (2): 24 ~ 34
- 3 Powell J W, 丁维刚等译. 空气静压轴承设计. 国防工业出版社, 1978

The Development of Aerostatic Bearing with Super-high Rotary Accuracy in Laser Cutting Machine of Optical Disk for Serve Grooves and Preformed Information

LI Zhi-Lai

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

Aerostatic axial systems with super-high rotary accuracy are the main parts of optical disc grooving machines. Research process of an aerostatic bearing is discussed in detail in this article. The design and calculation prove reasonable and correct by comparison between experimental and theoretical values. Processing and assembly technology are successful. After adjustment, rotary accuracy of main shaft is less than $0.0147\mu\text{m}$ which can meet the operating requirement of less than $0.05\mu\text{m}$. This has come up to advanced world standards of 1980s.

Key words: Aerostatic bearing, Super-high rotary accuracy

李志来 男, 1965年3月生。1986年毕业于吉林工学院机械工程系机械制造工艺及设备专业。一直从事精密机械设计及气体润滑研究工作, 已发表论文及研究报告十余篇。