

一种新型分度轴精度分析

王惠卿 (中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

Precision analysis of a new type dividing shafting

WANG Hui-qing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130022, China)

【摘要】采用激光直写技术在凹球面上生成等宽等间距的网栅图形, 需要保证四轴同心。其中, 分度轴作为工件装卡、定心的关键轴系, 必须达到微米级的回转精度。为了降低主轴及轴套的加工难度, 又能达到轴系回转精度的要求, 设计中把轴承的内外环与主轴和轴套分离开来, 轴承内外环与钢球采用过盈配合, 而主轴与轴承内环之间和轴套与轴承外环之间均采用过渡配合, 通过轴端压盖紧固的方法, 可以保证轴系的回转精度。

关键词: 光刻; 激光直写; 球面; 金属网栅; 分度轴

【Abstract】 The idea that making equal distance and width of the metal mesh on the concave of a sphere by laser scribing grid, should put four axis of the equipment on one centre. One of them is dividing shafting which is the pivotal one to clamp workpieces. It should be the degree of micron. Both to process the shafting easier and to gyre it better, apart the outer of the axletree from the bush of the shafting and the insider from the spindle, also make interference fit between the insider of the axletree and the steel ball and make inter fit between the bush of the shafting and the outer of the axletree, tighten the cover of the axletree, so the precision of shafting is assured.

Key words: Laser scoring; Scribing with laser; Sphere; Metal mesh; The dividing shafting

中图分类号: TH133.2 文献标识码: A

1 引言

激光直写技术属于现代科技的高新技术领域, 是精密机械学、电子学、光学和计算机等技术的综合运用。它是利用激光实现对多种涂布感光胶基片曝光, 得到所需的浮雕图形, 再通过微电子学技术以生成所需金属布线的技术。目前广泛应用于制作超大规模集成电路、二元光学元件等。采用激光直写技术, 通过对激光扫描路径的控制可以得到各种所需的图形。在凹球面上制备等线宽等间距的金属网栅, 激光扫描的路径必须通过凹球面球心, 为此提出同心扫描原理, 即直写物镜光轴、直写物镜转轴、凹球面工件回转轴和凹球面工件分度轴四轴交于工件球心, 扫描即激光直写, 如图 1 所示。

装在分度轴上的凹球面工件侧立于回转工作台上, 并绕竖直轴匀速旋转, 光刻物镜的转轴位于工作台的回转中心及工件球心上。工作台带着工件匀速旋转一周即在工件凹球面的光刻胶上直写出一条纬线。根据推算直写物镜焦斑小时 (对应细线条), 焦深也小, 对同心误差要求极其严格; 当焦斑大时 (对应线宽宽), 焦深较大, 对同心误差的要求也放宽, 对系统同心误差的要求取决于所制作网栅的线宽: 线宽越小, 对同心误差要求越高; 反之, 则低。(当光斑尺寸 $5\mu\text{m}$, 焦深为 $15.7\mu\text{m}$, 同心误差为 $10\mu\text{m}$, 离焦量为 $6.9\mu\text{m}$)。按照光刻线宽 $5\sim 8\mu\text{m}$ 要求, 同心误差可大于 $10\mu\text{m}$, 其关系如表 1。

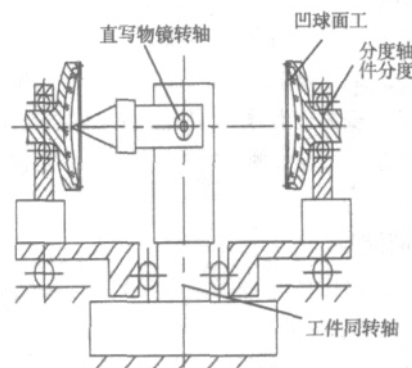


图 1 同心扫描系统结构示意图

表 1 离焦与同心误差的关系 (物镜 $N_A=0.27\sim 0.20$)

同心误差 D_c (mm)	4	6	8	10	16
光斑尺寸 d_0 (mm)	2	3	4	5	8
焦深 z_0 (mm)	2.8	6.4	11	15.7	29.8
离焦量 Δz (mm)	2.8	4.2	5.5	6.9	9.2

2 采用常规轴系结构的精度分析

由于采用同心扫描原理, 各个轴系的同心误差必须严格控制, 以使系统同心误差满足刻划所需网栅线宽的要求。激光直写设备的分度轴, 由于直接装夹工件, 并且需要在定心和光刻两道工序中使用, 其同心误差对网栅线宽的影响尤为突出。定心是使工件的球心与分度轴同心, 采用以分度轴定位, 测量工件球面跳动的方法, 在此道工序中, 轴系转速不高, 且只承受轴向载荷, 因

此轴系晃动对定心误差影响较大。经过定心后的工件连同轴一起安装在激光直写仪(见图 1)的回转平台进行光刻,此时分度轴水平放置,工件的球心需置于回转台回转中心与光刻物镜的焦点上,通过检焦物镜进行观测,此工序中要求三轴同心的精度高,且轴系的晃动误差将直接影响线宽及其均匀性。根据以上特点,分度轴晃动误差及同心误差必须严格控制,并且要求装卸方便。如果按照误差均分原则^[2],刻划 $8\mu\text{m}$ 以下线宽分度轴的同心误差应为 $2.5\mu\text{m}\sim 4\mu\text{m}$,最大径向晃动误差

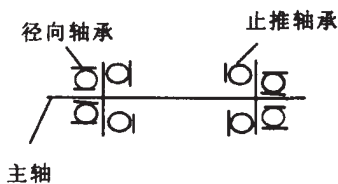


图 2 分度轴系结构示意图

不应超过 3,则可以采用以下的轴系结构,如图 2 所示。

通常轴系的径向晃动主要与轴系配合间隙、零件圆度误差(包括轴和孔)有关^[2],如果使轴和径向轴承配合按照 H7/g6 配合公差来设计,则主轴径向晃动由以下公式计算:

$$C_{\text{max}} = [d + d(\alpha - \beta) + t + (R_k + R_d) - K_0] l_0 / 2L \quad (1)$$

式中: d —轴承内孔与主轴配合尺寸误差所造成的配合间隙;

α —轴承材料的线膨胀系数;

β —主轴材料的线膨胀系数;

d —主轴与轴承内孔配合尺寸的公称值;

R_k —轴套孔圆度误差;

R_d —主轴圆度误差;

l_0 —主轴长度;

L —主轴轴颈与轴套孔两配合部位的距离, ($d=25\text{mm}$, $l_0=92.5\text{mm}$, $L=66.5\text{mm}$)。

按照(1)式可以计算出 C_{max} 为 $35\mu\text{m}$ (78),不能满足设计要求。即使进一步提高设计精度也难满足要求,且给加工带来困难,为此需要在结构上加以改进。

3 改进结构轴系精度分析

3.1 轴系晃动误差分析

为了减小轴系晃动,通常需要减小主轴与轴承之间的配合间隙,最好采用过盈配合,但轴系装卸不便,为此在影响轴系晃动的关键部位径向轴承与主轴配合部位采用过渡配合。主轴的轴颈与轴承内孔进行研配,保证其间隙不超过 $4\mu\text{m}$ 。为了消除主轴圆度误差和轴承内孔圆度误差对于轴系的影响,采用主轴与径向轴承内环,径向轴承外环与轴承外套分别固定成一体的方法。径向轴承内环的轴向固定靠两个止推轴承和止推轴承内

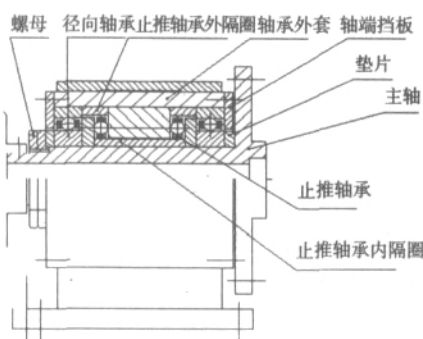


图 3 新型轴系结构简图

隔圈,其中止推轴承内隔圈作为内圈轴向尺寸的闭环尺寸;用止推轴承外隔圈及止推轴承来固定径向轴承外环,止推轴承外隔圈作为闭环尺寸;修研止推轴承内隔圈及止推轴承外隔圈保证轴向钢球过

盈量在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 。修研径向轴承内外环,使径向钢球过盈在 $4\sim 7\mu\text{m}$,这样轴系的回转中心从以主轴为回转中心转变为以轴承的内环外圆为回转中心,影响轴系晃动的因素也主要由轴承内环外圆的圆度误差引起。如图 3 所示。

在主轴径向受力不大的情况下,轴系轴心径向晃动误差的最大值可近似表达为:

$$C_{\text{max}} = (R_k + R_d) / 2 \quad (2)$$

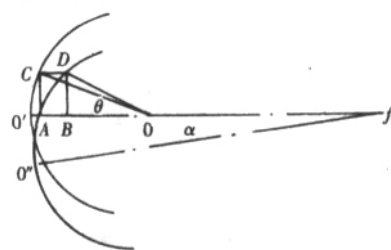
由此得到表 2 结果,从表 2 可以看出只要加工保证圆度误差在 6 级以内,轴系晃动可满足要求。

表 2 轴系晃动与误差精度的关系

精度等级	4	5	6
R_k	$1.5\mu\text{m}$	$2.5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
R_d	$1.5\mu\text{m}$	$2.5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$
C_{max}	$1.5\mu\text{m}$	$2.5\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$

3.2 轴系同心误差分析

由于径向轴承内环与主轴存在间隙,导致主轴与轴承内孔偏心,由于轴系回转中心的偏移,必然带来不同心误差,造成光刻离焦。如图 4 所示轴系轴线由 $o'f$ 转变为 $o''f$, O 为工件

图 4 离焦量 ΔZ 与轴心线偏角 α 之间的关系

球心与回转轴、分度轴、直写物镜转轴理论交点。

则

$$CA = C \cos \theta = R \sin \theta \quad (3)$$

$$AO = CA / \tan(\theta + \alpha) \quad (4)$$

$$BO = CA / \tan \theta \quad (5)$$

则由(3)(4)(5)可得

$$Z = AB = AO - BO = R \sin \theta / \tan \theta - R \sin \theta / \tan(\theta + \alpha)$$

式中: Z 即为离焦量;

为工件半口径对应的中心角(已知量);

为轴心线的偏角。

表 3 Z 与 α 的关系

(α)	3	4	5	6	7	8
$Z(\mu\text{m})$	3.3	4.3	5.4	6.5	7.4	8.6

由于同心误差的存在导致 Z , Z 将直接影响光斑尺寸、焦深。根据表 3 结论光斑尺寸 $8\mu\text{m}$ 以下,离焦量为 $9.2\mu\text{m}$ 以下即可满足要求,分度轴的偏心不超过 $8''$ 即可达到要求。

4 结论

通过以上轴系精度分析,结构改进后的精密轴系完全能够满足回转精度高且装卸方便的要求,而且降低了加工难度,减少了制造成本。这种新型轴系结构尤其适合应用在大尺寸、轻载荷、高精度的轴系设计中。

参考文献

- 冯晓国,卢俊,徐峰林,孙连春.同心扫描法制作凹球面等网栅误差分析[J].光学精密工程,2006,14(2):251-255.
- 毛英泰.误差理论与精度分析[M].北京:机械工业出版社,1992.
- 高劲松,孙连春,郑宣明等.红外透明导电金属网栅薄膜[J].光学技术,2001,27(6):558-559.
- 徐则川,李义兵.一维周期金属栅的电磁特性[J].华中理工大学学报,1997,25(1):60-62.