

激光扫描器及其对图像接收的影响分析*

张景和

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

摘要 列举了激光扫描器的种类,及在激光扫描显微镜中的作用。通过对扫描振镜的分析,定量给出了反射镜反射面与振镜转轴偏心对扫描光线的影响。理论分析中定性的给出了振镜转轴的径向跳动对信号接收的影响。提出了实际使用时对扫描振镜的要求。

关键词 激光扫描器 振镜 径向跳动

1 引言

振镜作为激光扫描器在扫描系统中起到非常关键的作用。目前振镜已被广泛地用于激光扫描显微镜系统,工业中检测导线直径的在线扫描系统,检测工件平面度的扫描系统等。用于扫描系统的振镜,其自身转轴的径向跳动精度,直接影响到系统接收信号的质量。本文以国家“七·五”攻关课题“激光扫描显微镜”为例,介绍了激光扫描器的种类,反射镜与振镜的安装及安装精度对扫描系统的影响,最后分析了振镜回转轴的径向跳动对系统信号接收造成的影响以及应注意的事项。

2 激光扫描器

目前激光扫描器的种类很多,根据其工作原理可将扫描器分为两类,如图1所示。一类扫描器没有运动机械部件,光束通过晶体的衍射被电致偏转,按此原理工作的光学器件叫做声光偏转器。另一类是一面绕转轴转动的镜子使光束偏转,根据不同的结构又可分为共振扫描器、振镜扫描器和多面体扫描器。我们这里主要介绍一下振镜扫描器及其在激光扫描显微镜中的应用。激光扫描显微镜的原理光路图如图2所示。

激光光束经扩束器后,形成光斑直径为 \varnothing_{mm} 的平行光,经扫描角为 ± 3.4 的行扫描器扫描。行扫描光线经中继物镜汇聚、半反半透镜反射后,到达扫描角为 ± 1.1 的场扫描器,

* 国家“七五”攻关课题

收稿日期: 1997- 11- 07

修稿日期: 1997- 12- 27

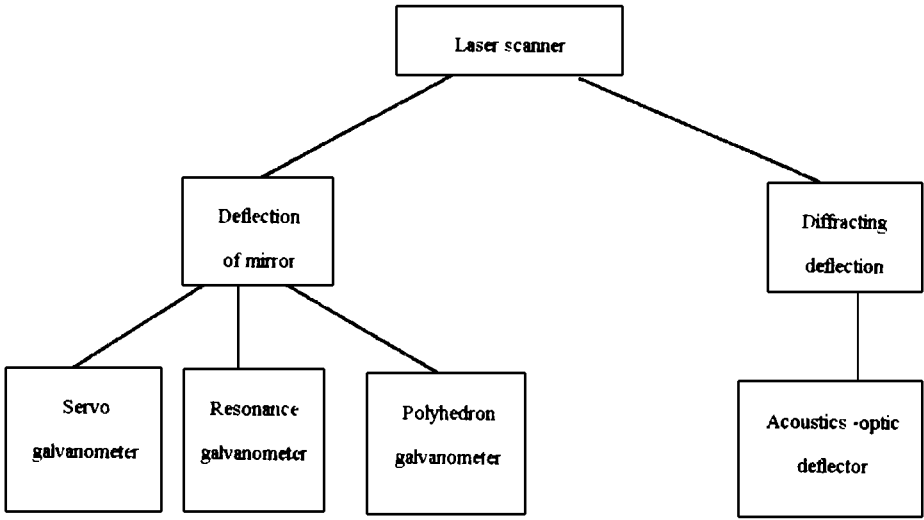


Fig.1 Types of laser scanner

再进行场扫描。然后扫描光线经聚光系统和显微物镜后到达物面。扫描光线被物面反射后,沿原光路,透过半反半透镜、CCD 成像镜组,形成像面后被 CCD 接收器接收^[1]。

在激光扫描显微镜系统中,行扫描器和场扫描器均选用了振镜扫描器,它是利用振镜对光束的摆动,实现物体不动光束扫描。其特点是避开了机械扫描工作台的复杂结构,扫描精度高,速度快。^[2-3]

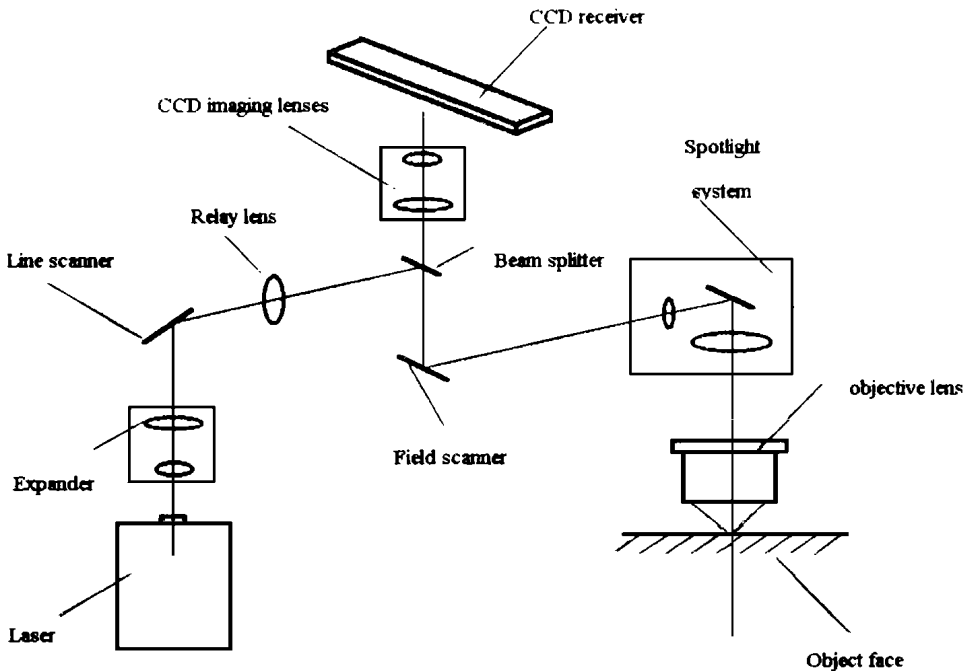


Fig. 2 Principle diagram of laser scanner microscope

3 扫描振镜

图 3 是扫描振镜原理图。一面镜子固定在一根可转动的轴上, 然后用磁力使其偏转。为得到高的角分辨率, 在控制电路中使用固定连接在转动轴上的位置传感器, 由它给出角度的实际值。以动态方式工作时, 偏转角在 $\pm 50^\circ$ 范围内, 零点的温度漂移只有 $25\mu\text{rad}/^\circ\text{C}$, 并能长时间保持小于 $15\mu\text{rad}$ 的振动。在使振镜工作可靠的频率范围内, 输入信号的形状是可以任意的^[4]。由振镜的技术特性可知, 利用振镜作为激光扫描显微镜的扫描器, 其性能可靠, 并能保证扫描精度。

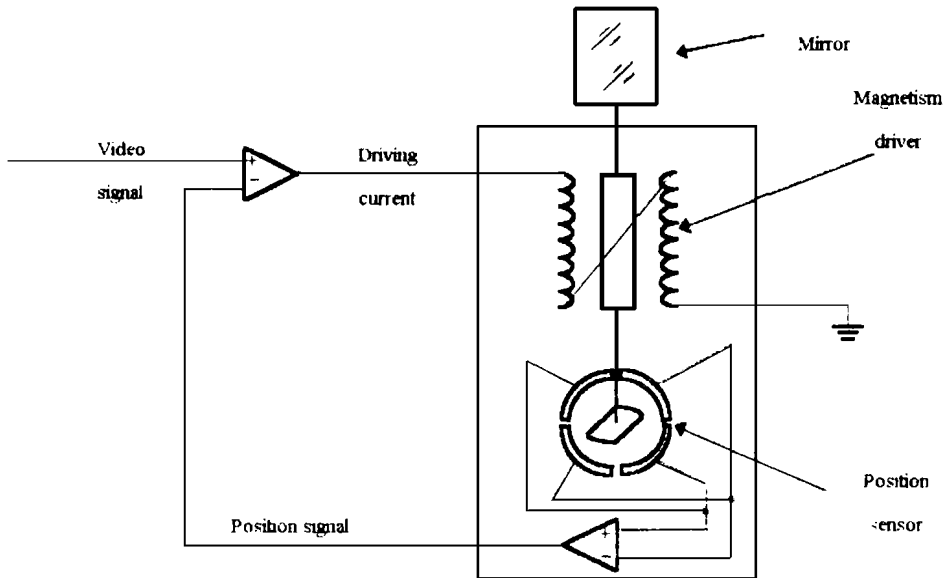


Fig. 3 Principle diagram of galvanometer

4 反射镜与扫描振镜的安装

如图 4 所示, 振镜的一端为 $\varnothing 3\text{mm}$ 的圆柱体, 用于与支架安装。振镜的另一端为 $\varnothing 2\text{mm}$ 的转轴, 它是用以安装反射镜的。由于振镜的体积小, 转轴也细, 所以要求反射镜的体积要小, 并且质量要轻, 以降低转动惯量和由于偏心产生的离心力。我们在实际设计时选用反射镜的材料为 K9 玻璃, 反射镜长 12mm , 宽 8mm , 厚 1mm , 重约 0.3g 。反射镜与振镜转轴的联接是靠反射镜支架与之相连的。为了降低反射镜支架的重量, 其材料选为硬铝 LY12。反射镜支架设计成一端平面, 用于粘接反射镜。另一端设计成开口孔式, 利用锁紧螺钉改变孔径, 使之抱紧在振镜的转轴上。反射镜支架的重量约为 1.5g 。

设计反射镜支架时应注意, 要使反射镜的反射面与振镜的回转轴中心重合。下面分析一下, 由于反射镜的反射面与回转中心不重合对光学系统造成的影响。

如图 5 所示, 初始位置时, 入射光线与反射光线成 90 夹角。O 点为反射镜的反射面与振镜回转中心的理论重合点。O' 点为反射镜实际回转中心, 它与反射面的偏心差为 e 。当反射镜的转角为 θ 时, 由于回转中心与反射面的偏心, 反射面从理论点向前推移了 δ 。偏心情况下光束的反射光线相对理想情况下的反射光线有一平移量 a 。这一平移量, 将影响到反射光束在扫描时扫描光束的中心偏移, 其偏移量为 a 。

按图 5 的几何关系, 由于偏心, 反射面从理论点向前推移量 δ 为

$$\delta = e - e \cos\theta = e(1 - \cos\theta)$$

扫描光束中心的偏移量为

$$\begin{aligned} a &= \frac{\delta}{\sin\theta} \times \cos\theta \\ &= e \tan \frac{\theta}{2} \cos\theta \end{aligned}$$

偏移量 a 随反射镜转角 θ 的改变而改变, 当 $\theta = 0$ 时, 偏移量 a 也为 0。

如果反射面与回转轴的

偏差 e 为 0.5mm, 当反射镜转角 $\theta = 30^\circ$ 时, 扫描光束中心的偏移量为

$$a = e \tan \frac{\theta}{2} \cos\theta = 0.1(\text{mm})$$

最初设计时我们认为, 反射镜的反射面与回转中心的偏心会影响到扫描成像质量, 但由上面的数值可以看出, 反射镜的反射面与回转中心的偏心对扫描光束的影响并不是很重要的。

5 振镜回转轴的径向跳动对信号接收的影响分析

5.1 行扫描振镜回转轴的径向跳动对信号接收的影响

从理论上讲, 振镜做扫描运动时, 扫描光线在物面上形成一条直线, 反回到像面接收上也是一条直线。但实际上, 振镜在做扫描运动时, 它的回转轴是有径向跳动的。回转轴的径向跳动量直接影响到扫描精度和接收器的接收精度。如图 6 所示, 振镜的回转轴如果没有径向跳

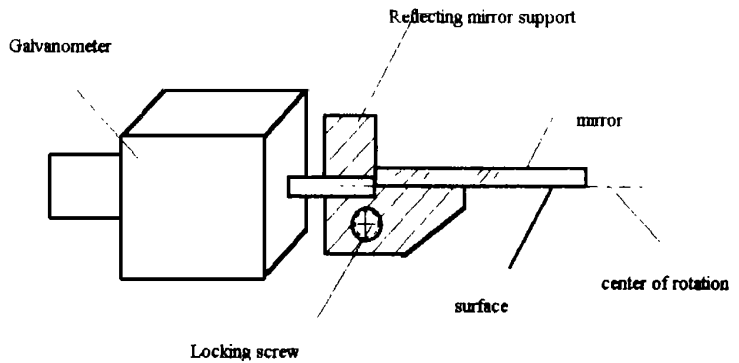


Fig. 4 Schematic of assembling for mirror and galvanometer

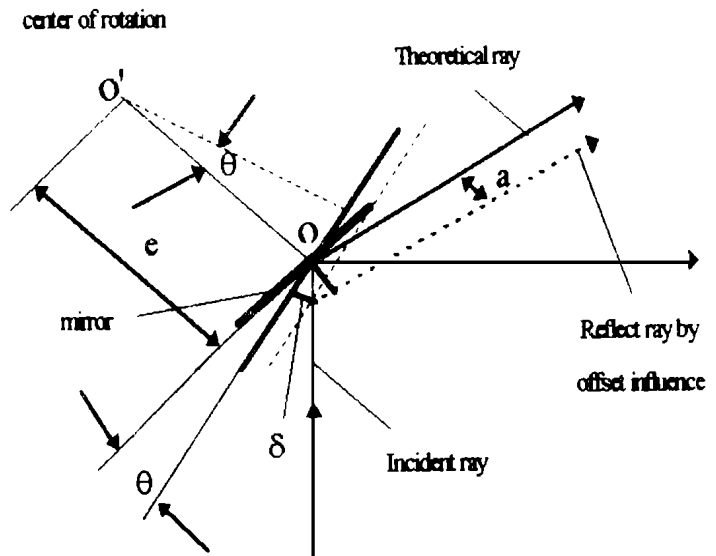


Fig. 5 Influence of rotating center deviation of galvanometer on scanning ray

动,那么入射光线被反射镜反射、经聚焦物镜后投射到 O 点。振镜做扫描转动时,投射点沿 O 点成一条直线。但实际上,振镜在工作时回转轴不但绕自己的轴线转动,而且还以轴线为中心做径向跳动,跳动使转轴产生的倾角为 θ 。当反射镜有径向跳动时,经反射镜反射后的光线在物面上的投射就不是一条直线,而是一条按一定规律变化的曲线。

从图 6 可以看出,光线的振幅 A 是转轴倾角 θ 的函数,最大振幅的周期为 φ 。转轴的最大径向跳动倾角 θ 和振幅周期 φ 与振镜的摆动频率有关,扫描速度越快,转轴倾角越大。由于振镜转轴的径向跳动影响到像面的偏差 A 、与振镜到第一块聚焦物镜的距离 L 、聚焦物镜的缩放倍率 η 及振镜转轴倾角 θ 之间的关系是:

$$A = \eta L \sin(\theta + \varphi)$$

从图 6 还可以看出,像面上像点的曲线峰峰值如果超过线阵 CCD 的接收宽度 $14\mu\text{m}$,那么 CCD 就接收不到完整的行扫描信号。

5.2 场扫描振镜回转轴的径向跳动对信号接收的影响

场扫描振镜的作用是在扫描过程中实现进给。如果场扫描振镜的转轴有径向跳动,那么它在物面及像面上的反应就是行扫描光束的横向摆动。

行扫描振镜转轴的径向跳动及场扫描振镜转轴的径向跳动,对扫描信号的综合影响是像面接收处扫描信号的复合摆动,如图 7 所示。在像点接收处,我们用 30 倍物镜观察,发现像点处的图形和图 7 所示的图形相同。行扫描镜产生的图 6 所示的图形随场扫描镜转轴的径向跳动而摆动。

振镜回转轴的径向跳动使扫描光线经聚焦物镜缩放后对物方没有太大的影响,但对像面接收的影响是很大的。在本文论述的“激光扫描显微镜”中,信号接收器为线阵 CCD,它的接收宽度为 $14\mu\text{m}$ 。这就对振镜的转轴提出了一个量的要求,即行扫描振镜转轴的径向跳动与场扫描振镜的径向跳动之合成使接收信号的摆动宽度不能超出线阵 CCD 的接收宽度 $14\mu\text{m}$,否则 CCD 将接收不全或接收不到扫描信号。

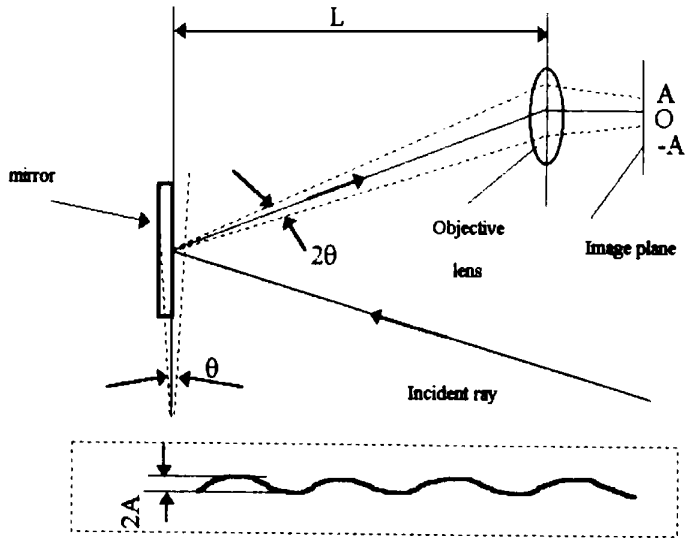


Fig. 6 Influence of rotating center swaging of row scanning galvanometer on receiving signals

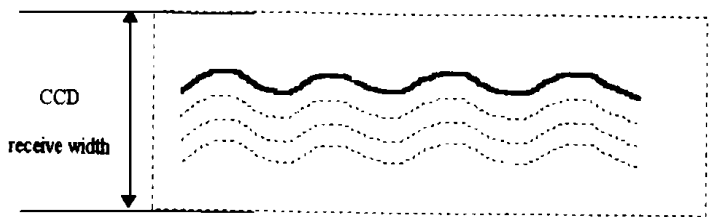


Fig. 7 Influence of compound beating of galvanometer shaft on receiving signals

6 小 结

本文以国家“七、五”攻关课题“激光扫描显微镜”为例,讨论了振镜描器的原理、反射镜与振镜的装夹、以及振镜转轴的径向跳动对接收信号产生的影响。这些论述对以后在使用和选择振镜时是有参考价值的。

由于振镜的功率很小,设计时应特别注意反射镜的重量和反射镜支架的重量,以免因为重量过大而增加振镜转轴的径向跳动。接收扫描信号时,最好在像面处用目镜预先观察,以确定扫描器工作状况。

参 考 文 献

- 1 张景和. 激光扫描显微镜中的扫描系统. 光学 精密工程, 1995, 3(2): 62~65
- 2 Brakenhoff G J, Blom P, Barends P. Confocal scanning light microscopy with high aperture immersion lenses. J Microsc. 1979, (117), 219~232
- 3 Leamy H J. Charge collection scanning electron microscopy. J Appl Phys 1982, (53): 51~80
- 4 关信安译. 激光扫描器的分类及其应用. 国外激光, 1987, (12): 12~15

The Analysis of Influence on Scanner and Reception of Picture Image

ZHANG Jing-He

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

Abstract

The kinds of laser scanner and its functions in the laser scanning microscope are proposed. By analyzing the scanning galvanometer the effect of offset between reflector surface and its rotate axis is given quantitatively. In theoretical analysis, the effect on receiving signal by radial beat of galvanometer is given qualitatively. The requirement on scanning galvanometer is given during the practical using.

Key words: Laser scanner, Galvanometer, Radial beat

张景和 男, 1955年7月生。中国科学院长春光学精密机械研究所副研究员, 1982年获长春光学精密机械学院学士学位。毕业后一直从事光学精密机械的科研工作, 先后参加过三项国家攻关项目, 获国家科技进步二等奖1项和中科院科技进步二等奖1项。