

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0360-04

新型激光高速柔性线路板打孔系统

王萌¹, 张国顺¹, 李荷芬³, 许宝忠¹, 刚蓓², 李成², 禹东赫², 王栋霖³, 周斌³

¹天津大学精密仪器与光电子工程学院激光器件研究室, 天津 300072
²天津大学光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072
³天津市力能激光技术有限公司, 天津 300072

摘要 总结了一种应用于柔性线路板(Printed circuit board, PCB)高速打孔的新型激光加工系统,每分钟可以打孔18000个。柔性线路板传统制版工艺中的过孔会被油墨完全堵住,由于孔径小且数量繁多,加之软板个体存在变形和误差,因此这些油墨使用传统方法无法清除,这为产品带来了一定的隐患。为此,研制了一种新型激光高速柔性线路板打孔系统。采用2个高速振镜移动激光位置,配合伺服系统带动工作台快速移动,通过反馈系统精准定位,同时在计算机的控制下补偿柔性线路板软板的变形,另外采用光电系统对柔性线路板软板进行精准测量和定位。振镜的扫描范围为25 mm×25 mm,将柔性线路板分割成若干区域,依次加工,振镜和工作台位置相互配合,全部待加工孔的坐标值通过软件实施变换。

关键词 光电子学; 激光打孔; 柔性线路板; 振镜

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

New Type High Speed Laser Drilling System

WANG Meng¹, ZHANG Guo-shun¹, LI He-fen³, XU Bao-zhong¹, GANG Bei²,
LI Cheng², YU Dong-he², WANG Dong-lin³, ZHOU Bin³

¹ Laser Device Section, College of Precision Instrument & Opto-Electronics Engineering,
Tianjin University, Tianjin 300072, China

² Key Laboratory of Opto-Electronics Information Technical Science, Tianjin University, Tianjin 300072, China

³ Tianjin LiNeng Laser Technology Co., Ltd., Tianjin 300072, China

Abstract This article concludes the new type laser process system of our research which is used to drill 18000 holes on PCB soft board per minute. The via-holes are often jammed in the traditional PCB techniques. It is not easy to clean printing ink with traditional method. To solve this problem, we developed the laser high-speed PCB drilling system. Through two high-speed scan mirrors exchanging the position, the servo system pushing forward working plate, and the exact location of the response system, compensating the shape-change of PCB soft board under computer control. Measure and locate the PCB board with photo electricity system. In order to improve the speed of drilling, we suggested the scan mirror should be 25 mm×25 mm, divide the PCB into several areas, process individually and one by one. Cooperating the position of scan mirror and working plate, the reference frame transforming of holes would be done by software.

Key words optoelectronics; laser drill; PCB Board; scan mirror

1 引言

柔性线路板(PCB)是用柔性的绝缘基材制成的印刷电路,具有高度曲挠性,可立体配线,依空间限制改变形状等优点,主要应用在小型或薄形电子产品及硬板间的连接等领域,如手机、笔记本电脑、汽车音响等。近几年由于各种新款式、新功能手机的出现,以及国内汽车产业的迅猛发展,使得柔性线路板软板的

需求与日俱增,这种增长不仅仅体现在数量上,而且对软板本身的质量要求也更为严格。

柔性线路板软板上的过孔直径一般在0.35 mm,印刷完油墨后,这些过孔就会被油墨完全堵死,由于这些过孔直径很小,且数量繁多,采用任何传统办法都无法加工,这就为产品带来了一定的隐患,为此可采用激光这种新型的加工手段。

作者简介:王萌(1980—),男,天津人,硕士研究生,主要从事激光加工应用技术研究。E-mail: wangmeng_tju@sina.com

导师简介:张国顺(1938—),男,河北人,教授,博士生导师,主要从事激光加工应用技术研究。E-mail: zhanggsh@vip.sina.com

2 柔性线路板激光打孔系统的研制

柔性线路板激光打孔系统通过计算机读入待加工孔的位置坐标,和实际柔性线路板位置进行对比、校正、分割,控制高功率密度的激光聚焦在相应加工点上,将待加工材料迅速气化,将孔打穿,然后关闭激光并迅速转移焦点至下一个加工点,如此往复待振镜像场内全部加工完毕后,伺服电机带动工作台移动至下一区域再开始加工,直至全部加工完成。图 1 为该机示意图,主要由激光器、扫描振镜组、负压吸附伺服工作台、CCD 定位系统以及计算机控制系统组成。

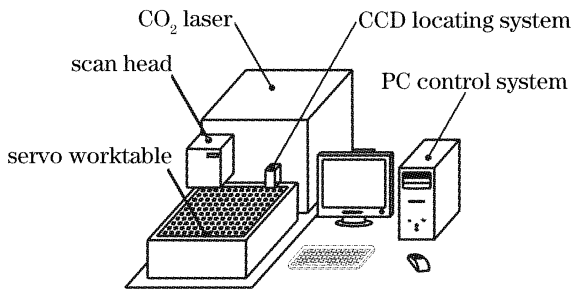


图 1 激光高速打孔系统示意图

Fig. 1 Scheme of high speed laser drilling system

2.1 扫描振镜组

为了使激光束可以迅速地移动到打孔位置^[1],采用两个振镜组成一个扫描头,在计算机的控制下进行打孔。图 2 是振镜式打孔技术的结构原理简图,图中 2 和 3 是两个振动镜,其原理类似于检流计,在接到电信号后,转动轴带动振动镜发生偏转。图中 5 表示打孔机光束扫描的范围,两个镜片分别负责 X 方向和 Y 方向。激光束 1 以一定的角度照射到振镜 2,再反射到振镜 3,最后通过 $f-\theta$ 透镜校正变形并聚焦到被加工物体上。激光束到达需要打孔的位置时,计算机控制激光器发出激光,振镜扫过打孔位置后,立即停止出光。

振镜旋转角度和速度都是通过电压模拟信号控制的^[2],电压高低和振镜旋转角度成正比。这两组信号则是通过两个 16 位的 D/A 转换芯片产生的,

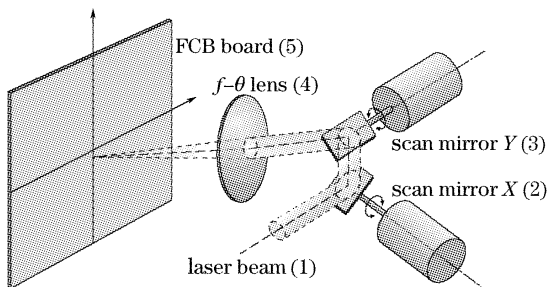


图 2 扫描振镜结构原理简图
Fig. 2 Scheme of scan mirrors

如果扫描范围是 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的振镜,打孔定位精度可以达到 $50/2^{16}$,约为 0.0007 mm ,如果采用 $25\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 的振镜,精度约为 0.0004 ,完全可以满足加工要求。

2.2 负压吸附伺服工作台

由于高斯光束的聚焦光斑大小和焦距成正比,因此为了得到较小的聚焦光斑,就要选择焦距较短的 $f-\theta$ 透镜。但是焦距又和像场范围成正比,如果工作台和扫描振镜头都固定不动,像场的范围就是加工范围,在这种情况下虽然可以加工小尺寸工件,但对于加工尺寸超过像场的工件就变得束手无措了。因此必须使扫描头和工作台之间能够相对移动,并且移动速度快、精度高。如果采用振镜头移动,那么从激光器射出的激光就必须经过几次反射进入扫描头,同时反射镜也需要相应移动。这种方法不仅繁琐,且损耗较大,因此采用扫描头静止,工作台移动的方式进行加工,使激光无需任何反射即可直接照射到振镜上,将损耗降低到了最小。

工作台的移动必须迅速精确,如果采用传统的步进电机进行驱动,不仅加减速耗时长,而且存在丢步现象,速度和精度都难以满足加工需求。采用可快起快停的伺服电机驱动闭环控制系统,通过编码器实时检测电机轴的转动角度和输入的信号之间是否存在误差、实时修正,这样就避免了丢步问题,保证了加工精度。

由于柔性线路板软板具有很强的柔韧性,一般情况下很难将其平整地放在工作平台上,并让其随着工作台一起移动而不产生误差。为了解决这个难题,采用如图 3 的结构,砧板下面使用气泵抽气,形成一个负压环境,通过砧板上的小孔将柔性线路板软板吸附在砧板上。为了防止激光在砧板上表面反射而造成的对操作人员或激光器本身的损害,砧板材料必须选用非金属。由于材料本身对激光束也存在一定的吸收,因此砧板必须定期更换。

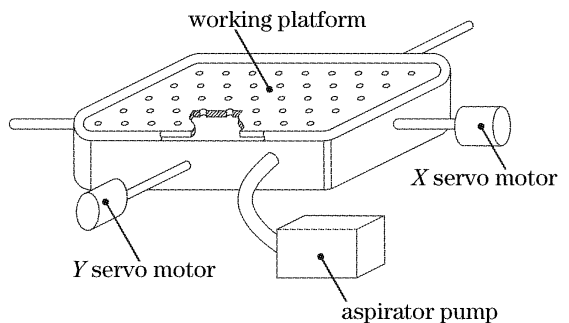


图 3 负压吸附伺服工作台结构简图
Fig. 3 Scheme of servo worktable

2.3 CCD 的定位系统

柔性线路板的初始位置必须和计算机中设定的初始位置保持一致,这样才能在原有的打孔位置进行加工。传统工艺上一般采用肉眼对边界,或者定位孔、定位销的方式进行工件的摆放,这种方式不仅精度低,而且效率差,为了克服这些缺陷,采用 CCD 摄像头进行检测。每一块柔性线路板软板四角都印有十字定位标志,并且这四点的坐标已经输入计算机,将柔性线路板粗略的放置到加工位置处,计算机控制工作台移动,将第一个点的位置移到 CCD 摄像头正下方,然后通过监视屏放大后观测十字定位标志是否在 CCD 的中央标线处,如果有少许误差,则通过微调将其对正后记录,作为第一个点的实际坐标,然后按此方式对后面几个定位点依次记录,这样柔性线路板的四角坐标位置就输入进计算机,为变形修正和定位提供了原始数据。

2.4 计算控制系统

计算机在整个激光高速打孔系统中起着数据处理和控制的核心理作用,具体主要体现在:

2.4.1 打孔坐标的读取

通过直接读取柔性线路板打孔文件。将每一个读出的坐标存入数组,等待后面进一步的校正。读取程序代码采用 VC++ 编写,摘要如下:

```
void CPCBDrillDoc::Serialize(CArchive& ar)
{
    if (ar.IsStoring())
    {
    }
    else
    {
        pArray.RemoveAll(); //CPtrArray pArray
        .....
        ar.ReadString(strLine);
        while ("end" != strLine && "" != strLine) // 没有遇到截止符或不为空则读取坐标
        {
            .....
            PltPoint * p=new PltPoint;
            NumSpace= strLine.Find(' ');
            p->x=atoi(strLine.Mid(2, NumSpace-2)); //读取 X 坐标
            p->y=atoi(strLine.Mid(NumSpace+1, strLine.GetLength()-2-NumSpace)); //读取 Y 坐标
            pArray.Add(p); //数组上限加 1
```

```
ar.ReadString(strLine); //读取下一个坐标
.....
}
}
}
```

2.4.2 误差的校正和分析

理想状态的柔性线路板软板是没有任何变形的,并且定位准确,四个定位孔组成一个标准的长方形,待加工孔的位置就是理想的坐标数值,例如图 4 中所示 A 点。

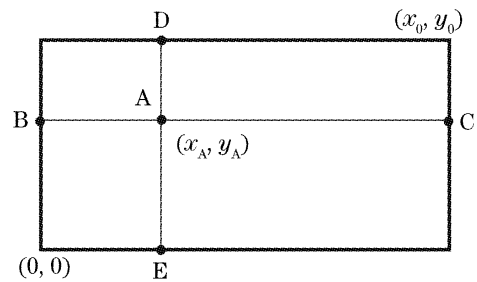


图 4 理想状态下的柔性线路板软板图

Fig. 4 No distortion PCB drawing

由于摆放位置存在偏差,并且柔性线路板软板也存在一些变形,四个定位孔的位置不再是标准的长方形,导致了设计中的 A 点在实际中跑到了 A' 位置。在这种情况下可以通过 CCD 读出四角的坐标和原来 A 点坐标求出 A' 点的实际坐标,如图 5 所示。

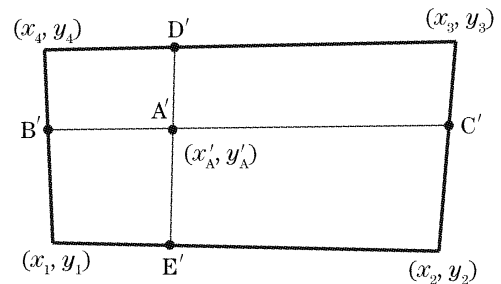


图 5 实际存在变形的柔性线路板软板图

Fig. 5 Distorted PCB drawing

理想状态下 BCDE 四个点,分别是 A 点在四条边界线上的垂直投影点,为了求得 A 点的实际位置,需要先求得这四个点在实际中的坐标位置即 B'C'D'E'。计算公式为

$$\begin{cases} X'_D = X_4 + X_A(X_3 - X_4)/X_0, \\ X'_E = X_1 + X_A(X_2 - X_1)/X_0, \\ Y'_B = Y_1 + Y_A(Y_4 - Y_1)/Y_0, \\ Y'_C = Y_2 + Y_A(Y_3 - Y_2)/Y_0, \end{cases}$$

由此推算出实际点 A' 的坐标为

$$\begin{cases} X'_A = X'_C + Y_A(X'_B - X'_C)/Y_0, \\ Y'_A = Y'_B + X_A(Y'_C - Y'_B)/X_0, \end{cases}$$

将 $B'C'D'E'$ 四点坐标代入, 化简得实际坐标

$$\begin{cases} X'_A = \{ [X_0 X_1 + X_A (X_2 - X_1)] (Y_0 - Y_A) + \\ \quad [X_0 X_4 + X_A (X_3 - X_4)] Y_A \} / (X_0 Y_0), \\ Y'_A = \{ [Y_0 Y_1 + Y_A (Y_4 - Y_1)] (X_0 - X_A) + \\ \quad [Y_2 Y_0 + Y_A (Y_3 - Y_2)] X_A \} / (X_0 Y_0), \end{cases}$$

运用上面最终的化简公式, 将每一个点的设计坐标转换为实际坐标, 这样既克服了柔性线路板软板变形带来的几何误差, 也消除了工件摆放位置和设计位置间的微小差别, 提高了加工精度。

2.4.3 柔性线路板坐标的整体分割

由于振镜的加工范围有限, 必须配合伺服电机带动工作台的移动才可以将整块的柔性线路板自动加工。因此需要计算机将整体坐标依次分割成为符合振镜范围的若干小块进行加工。

如图 6 所示, 一个 $150 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的柔性线路板在进行加工的时候, 如果采用像场范围是 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的振镜进行加工, 则需要将整块板分为 6 块, 原来的原点为 O_0 , 分割之后就成为了 6 个原点: $O_0 \sim O_5$ 。并将每一个区域内的加工坐标依次减去该区域原点坐标, 得到该区域内部的加工坐标。以便后来电机移动到新的坐标原点, 并进行加工。

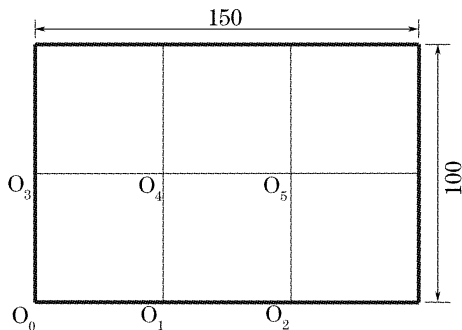


图 6 柔性线路板软板分割示意图

Fig. 6 Divided PCB drawing

2.4.4 控制各个部件进行加工

上述准备工作进行后, 计算机就开始协调各个部分进行加工。主要分为控制 2 个振镜的转动、激光器出光的时间和能量、以及伺服工作台的移动。具体流程如图 7 所示。

3 结 论

通过上述方式对柔性线路板软版进行打孔试验, 每分钟可以打孔 18000 个, 而且加工孔的椭圆度较小, 孔壁平滑。这种加工方式和传统钻孔工艺相比优点显著: 1) 灵活性好: 对于不同的柔性线路板, 只需要读取不同的打孔文件即可, 无需任何的模具更换, 缩短了换型所需的时间; 2) 速度快、效率高: 由

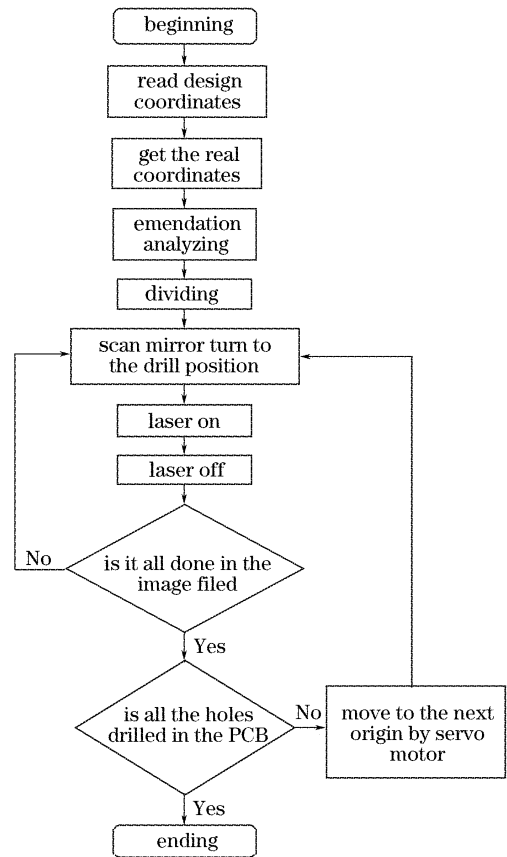


图 7 计算机控制流程图

Fig. 7 Computer control circuit diagram

于采用振镜和伺服控制系统, 每分钟打孔 18000 个, 这是传统打孔方式望尘莫及的; 3) 精度高: 柔性线路板单品的变形以及加工位置摆放的微小误差都可以通过计算机进行修正, 实际加工精度达到 0.005 以上, 完全可以满足生产加工的要求。

激光柔性线路板打孔技术目前还是处于起步阶段, 随着电子产业的不断发展, 该项目的前景非常可观。选用波长为 $9.4 \mu\text{m}$ 的 CO_2 激光作为打孔光源效果更好。如果将现在的人工上下料以及 CCD 定位系统全部设计为自动化机械操作的话, 整个机器可实现 24 h 无看守作业, 整个生产效率将进一步大幅提高。

参 考 文 献

- Zhang Guoshun. Laser Manufacturing Technology Today [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006, 2: 77~84
张国顺. 现代激光制造技术 [M]. 北京: 北京化学工业出版社, 2006, 2: 77~84
- Li Cheng. Investigation on correction technology in laser marking on the fly [J]. *Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(11): 1381~1383
李 成. 激光飞行打标校正技术研究 [J]. 光电子 • 激光, 2006, 17(11): 1381~1383
- Gang Bei. Development and application of digital controlled laser die-cutting machine [J]. *Optoelectronics • Laser*, 2006, 17(8): 1028~1030
刚 蓓. 数控激光模切机的研制与应用 [J]. 光电子 • 激光, 2006, 17(8): 1028~1030