

高速高精度锂电池极耳激光切割系统研究

林成熙, 陈磊, 欧东, 苏飞, 蒋榕

深圳市智鼎自动化技术有限公司 广东深圳

【摘要】传统的锂电池极耳切割采用刀模切割, 刀模切割是采用纯机械结构与极片直接接触来实现的切割, 在保证精度情况下, 料带运行的最高速度为 50m/min, 此速度已经不能满足目前生产的需要。随着激光技术的发展, 激光切割已经引入新能源锂电池加工领域。激光的非接触加工特性, 由于市场的需要, 追求高速高精度锂电池极耳切割成为研究的方向。本文是基于智鼎自动化研发的 simaGJm - EtherCAT 总线式激光控制器搭建的高度高精度极耳激光切割系统展开讨论, 主要是对整个控制系统搭建, 以 180m/min 切割速度时振镜运动补偿进行了研究和设计极耳切割动画演示软件。同时, 讨论了系统对激光能量和频率跟随特性, 并对其发展作了展望。

【关键词】高速激光; 极耳切割; 高精度; 切割品质; EtherCAT 总线

【收稿日期】2023 年 1 月 25 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.ijme.20230003

Research on laser cutting system of high-speed and high-precision lithium battery

Chengxi Lin, Lei Chen, Dong Ou, Fei Su, Rong Jiang

Shenzhen Zhiding Automation Technology Co., LTD., Shenzhen, Guangdong province

【Abstract】 With direct contact for cutting, under the condition of guaranteed accuracy, the maximum speed of the material belt operation is 50m / min, which can not meet the needs of the current production. With the development of laser technology, laser cutting has introduced new energy lithium battery processing. Laser non-contact processing characteristics, due to the needs of the market, the pursuit of high speed and high precision lithium battery pole ear cutting has become the research direction. This paper is a discussion on the high precision pole ear laser cutting system based on the simaGJm-EtherCAT bus laser controller developed by Zhiding Automation. It mainly discusses the construction of the whole control system, studies the lens motion compensation at 180m / min, and designs the pole ear cutting animation demonstration software. Both the laser energy and frequency following characteristics are discussed and its development is discussed.

【Keywords】 high-speed laser, polar ear cutting, high precision, cutting quality, EtherCAT bus

1 国内外研究近况

1.1 国外发展动态

国外激光切割设备的龙头企业, 都在研发高功率、大幅面激光切割机, 并对其进行了改进与创新。现今的市场要求更快速的切削速度、更短的等待时间、更便捷的上料、更便宜的成本、更好的切削(立体切削、厚板切削、非常规材料切削)是当前激光切割设备生产商的主要目标。现有的极片激光切割控制技术普遍采用激光打标软件来输入图形, 然后等待流水线上的电池极片经过的时候以振镜为执行机构控制激光在

极片上按指定路线高速行驶, 从而达到切割极片的效果。然而对要求批量生产的极片切割来说, 这种控制技术将无法完成流水线上的连续切割功能, 因为现有的控制方式大都只能是逐次地完成单个极耳的切割; 另外如果切割形状的极片形状稍微发生变化, 在处理上都需要重新设计、输入图形, 操作中控制程序不能通过修改参数的方式自动适应图形变化。因此, 所研制的大尺寸激光切割设备, 符合世界潮流, 对我国的工业和技术发展有着重要的意义和影响。

1.2 国内发展动态

第一作者简介: 林成熙 (1981-) 男, 汉族, 广东广州, 硕士, 研发总监, 研究方向: FPGA 开发。

目前,我国高功率激光切割装置的研究和应用与欧美相比有很大的差距,其关键技术主要由国外公司

控制。表 1 显示了国内各大激光切割设备制造商的产品和技术特点。

表 1 国产激光切割设备的主要厂家和产品

国内主要设备供应商	技术特色
大族激光	全新总线系统; 高速稳定可靠; 除尘除烟散热
先导智能	高精度; 热影响小
海目星	高重复性; 高效益; 低成本

1.3 智鼎自动化设计高速高精度激光极耳切割系统方案

智鼎自动化设计高速高精度激光极耳切割系统方案如下图 1 所示。本方案由智鼎自动化设计的 SimaGjm 激光振镜控制模块,并基于 EtherCAT 高速实时总线来搭建的系统,本系统有以下特点:

(1) 采用智鼎自主研发的高速高精度激光振镜控制器 SimaGjm 来实现极耳切割过程控制,可实现极耳切割振镜运动的高速补偿。

(2) SimaGjm 控制器采用是硬件处理单元,实时进行频率和能量的跟随控制。

(3) 使用 EtherCAT 高速实时总线,可以实时对各个单元的控制及获取状态信息。

(4) 使用总线设计方案,使得系统网络拓扑更加清晰。

接下来,我们将对极耳切割过程的关键点进行详细的研究与分析。

2 极耳切割振镜运动补偿研究

2.1 振镜结构及工作原理

锂电池激光数字振镜切割机采用光纤激光器发射激光,激光的光路由振镜监测,然后通过 F-Theta 镜将激光束集中在生产区域。由生产线带动的电极板将到达工作场所时,切割工具进行动态切割,这与传统的静态打标机不同。编码器用于描述轴的实际转速。

图 2 中的两个电机 1 和 2 共同组成一个双极收放卷系统,其中一个为放料电机,另一个为收料电机,接头产生的张力将材料从卷料中拉出。在进料和放料控制系统(由 PLC 系统控制)的顺序上,可以达到我们生产的最大,但此时必须调整振镜,使它能与 1、2 两个电机一起工作。送料和放料控制同时工作,同时切出高度、宽度、长度可以设计改变的极耳形状,外部根据送料带的运动,最后,在控制器的配合下,利用轨迹,计划切割出如图 3 所示的形状,然后将切

割好的框架放入绕线机中进行绕线,然后卷出。主电池等待下一个工作过程。包括管理绩效指标:

锂电池激光谐振镜切割系统的切割轨迹如图 3 所示,其中 R、W、H、L 均为变量,因此可以进行变距离、变高度、变宽度的极耳切割。 $R=1-5\text{mm}$, $W=6-10\text{mm}$, $H=20-30\text{mm}$, $L_x=19-850\text{mm}$ ($x=1, 2, 3$)其中 R、W、 L_x 需要设置为可输入的变量,以及 x 的最大值为 500。

激光数字振镜等切削设备的切削曲线由应用程序软件自动产生,关系到轨迹控制,以及圆弧插补等信息;切割模式:由于锂电池激光共振镜在切割模式切割过程中单极子的不停移动,必须同步进行收放料过程,从而构成了动态飞行切割方式;切割精度:切削轨迹的 X 方向与 Y 方向之间的毛长度偏差不超过零点零二 mm,而对于脉冲光纤激光器,切削毛刺长度低于 0.015mm;切割速率:选用最佳激光器时,激光切割边框在边框静止状态下的最大剪切速率超过 4000mm/s。对于锂电池激光振镜切割机,可以通过编码器测量料带的速度,使胶带双极片的最大速度超过 2000mm/s,从而进行圆延;动作能力支持:具有特定加工轨迹的飞行切割动作控制;处理功能:运动管理模块可实时完成各种指令的处理;具有断电省电功能。仍可连续切割,可根据需要向外输入 24V 电压对应的零端信号,从头开始切割。

2.2 振镜误差分析与仿真

振镜是一种内部可以反射激光的高速旋转伺服发生器^[3]。它的体积比较小,但是可以更好地用于激光生产,因此受到了用户的青睐。现在振镜的主要厂家有 Raylase、ScanLib 等。所以在这个项目中,我们选择了 Raylase 的 MINISCAN-10。

振动镜由电机的快速旋转驱动。每个马达都能够驱动一面镜子,在平面上形成一个直线。就这样,谐振镜的二台马达,分别是 X 轴和 Y 轴发电机,就能

够产生二维图像了。当激光束沿着 X、Y 的方向经过反射镜后，它就可以移动到 XY 坐标系上的任何地方。不过，如果没有这样的装置或者校正装置，就不能够很高效的运行。因为激光的焦点都是通过快速移动扫描出去的，所以它并非是一个平面，而只是一个球面。而且因为此时光学系统产生了畸变校正问题，在 X 轴和 Y 轴的方向上分别产生了枕状和桶形误差，所以会陷入整个设备准确度都不能保证的局面。在国外，

三维移动对焦设备作为主要设备，也因为其价格昂贵，是影响当前激光技术产业发展的主要问题。不过，如果我们妥善处理好焦点不在同一平面和 XY 轴方向上的畸变问题，它就可以取代传统的三维动态对焦技术。一般来说，如果我们使用高焦镜头。根据放置部位的不同，分为前镜头和后镜头。如图 4 所示，物镜前镜是指聚焦镜安装在振镜后面。镜头后置法是指镜头位于振镜前的安装方法。

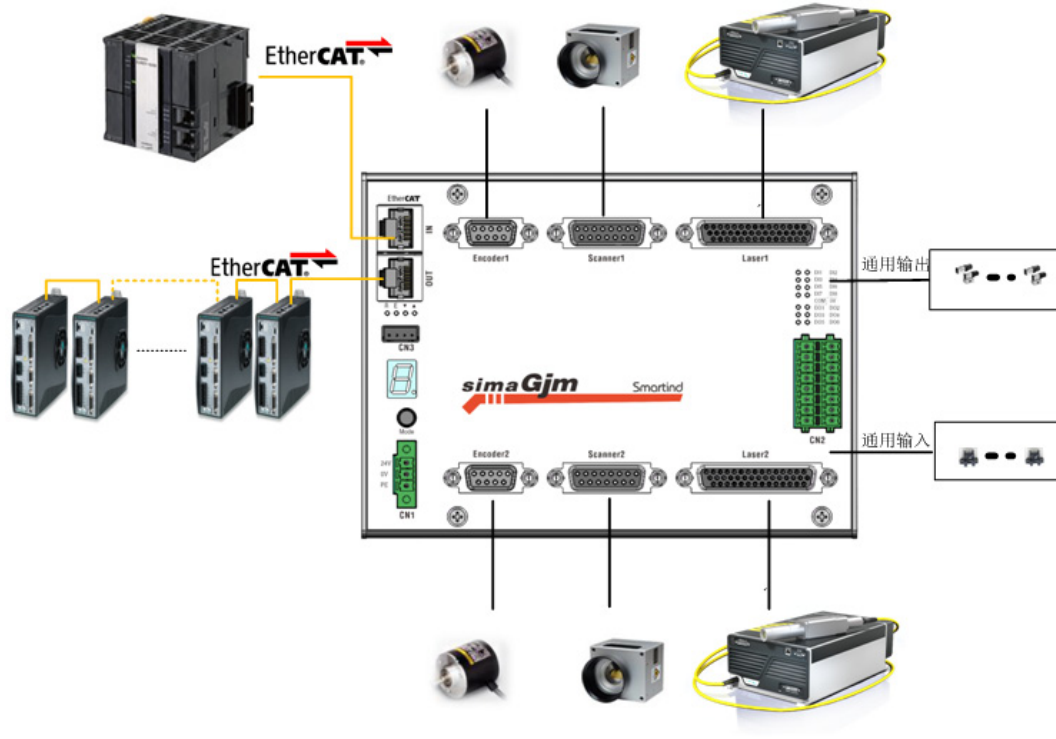


图 1 控制系统搭建框架

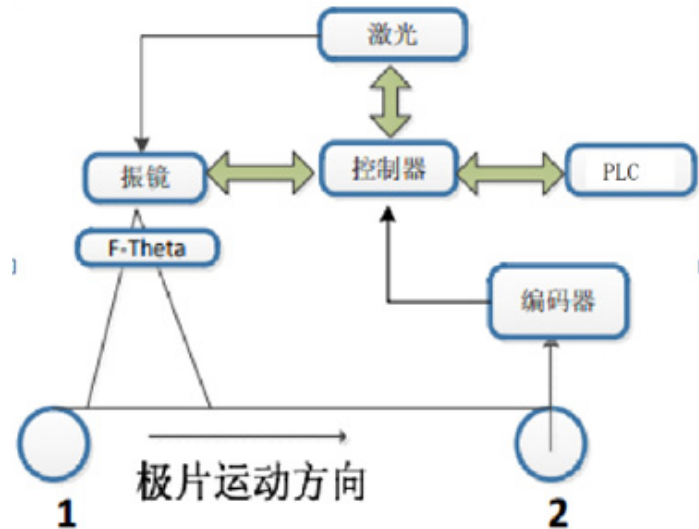


图 2 锂电池激光振镜切割系统结构功能框图

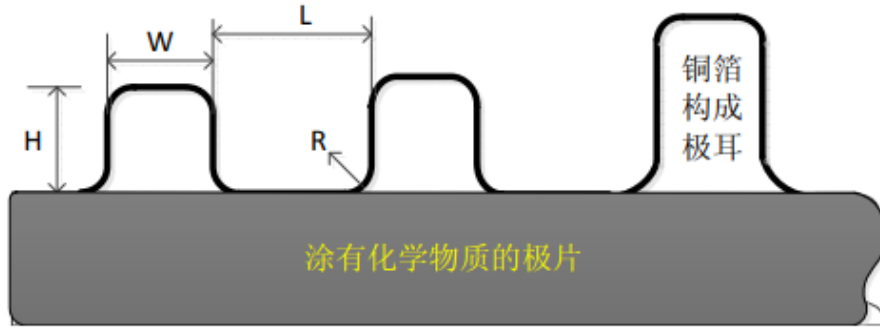


图 3 激光切割轨迹示意图

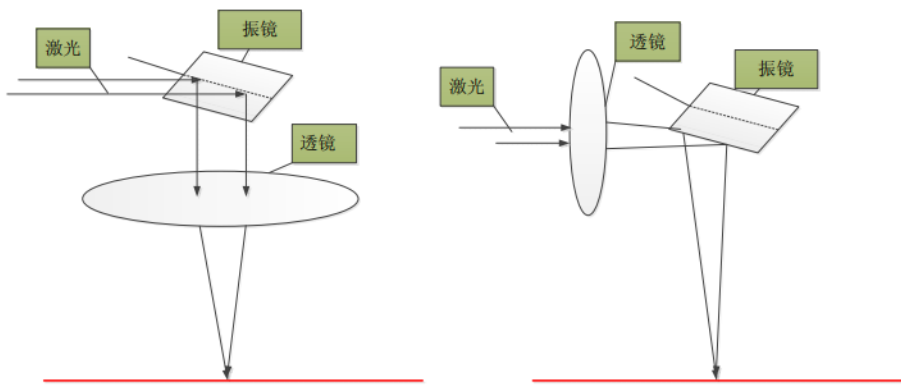


图 4 透镜安装方式

我们选择了物前透镜的这种检测方法降低错误, 提高效率。由图 (3) 中可看到, 设 y 是透镜的投影, f 是焦点即可得到:

$$y = f \tan \theta \tag{1}$$

对方程 (1) 两边对时间 t 求导, 可以得到

$$\frac{dy}{dt} = f \sec^2 \theta \frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

如果振镜的扫描角速度均匀

$$\text{则 } \frac{d\theta}{dt} \text{ 为常数。}$$

这样, 对于不同的 θ 位置, 具有程序给出的位置信息的光束在加工面上的扫描线速率是不均匀的。 θ 越大, 对于相同的旋转角度 $d\theta$, θ 越大, 则 dy 越大。因此, 对于不考虑图像误差问题的理想光学聚焦装置, 其在工件平面上产生的图像的线条颜色会比中心暗边浅, 图像畸变率比较大。

3 动画演示软件设计

通过在具体项目中使用上述修复方法, 我们做了很多修改和实验。料未: F-theta 场镜尺寸为: 85mmX85mm。激光器类型为基于 IPG 的光纤激光器 YLPN 系列, 最大输出功率为 200W。物镜法当然是, 我们的软件配置是测试, 要做的工作如下: 我们画了一个 80mmX80mm 的长方形, 如图所示的镜头性能, 并在其中每 10 个 mm 标刻出了一条线, 这就产生了相关图形, 而这个图形即为在没有加入修正算法的条件下标刻出的图形。我们能够明显的发现, 图像的上下二端向外凸了起来, 据初步计算, 扭曲的值超过了 3mm。这种扭曲必然造成了工业严重的损失, 一定要进行的补救。

其中必须说明的是, 若不进行非线性修正的必要条件并不充分, 就需要进行线性修正。如果只做非线性校正^[4] 我们就能够测量长宽高分别是 70mm, 而 65mm 的实际位置差别较大, 所以非线性回路可以使曲线变直, 而直线回路则可以使曲线直走, 也比较准

确。动画演示如图 5 所示。

4 能量跟随和频率跟随讨论

激光功率监测的主要方法就是根据当前反馈的速度, 通过适当的方法得到适当的 PWM 输出值, 以适应功率跟踪与控制的要求, 但是首先就必须提高速度测量的精度, 特别是如果在低速时编码脉冲周期变长, 将严重降低速度测量准确性。同时为提高了 PWM 的调节频率, 将基准频率设置在了 MHz, 这样可以最小的脉宽就可以达到 μs 。同时为了增加调节的实时性, 在编程时通常会引入暂停任务来实现相应的调节。

CPU 的定时中断时间通常为可调, 而此时间也即为对激光能量跟随频率输出的调节周期, 如果调整时间较小则可以更高效的提高跟踪性能。在中断服务负责计算速度值, 并按照相应的比例关系计算成 PWM 数据, 以便于控制激光功率。在串口中断服务则负责

接收从上位机产生的数据顿流, 并分解成相应的指令和数据, 以便进行不同的运算。

5 总结, 实际切割图片

激光在锂电池极片上切割出正负极耳朵时, 切割效果会直接影响锂电池的安全性。切割毛刺、热影响区和漏金属区过大, 都可能影响锂电池的性能。针对不同的电极片材质, 需要调节不同的激光切割工艺参数适配。确定切割质量的关键是两点, 一是切缝的细腻度, 二是底层膜上是否有划痕(如图 6 图 7 所示)。

当揭开上层覆膜时因为未能完全切透表面而形成粘连, 说明在拐角处时的输出功率调节得偏小, 因此必须增加在低速运转时的输出功率。底层抹子出现切削的迹象, 表明在转角处的功率偏大, 导致了过切, 必须减小转角处低速时的功率。很好的剪切能力, 上层切透而不粘连, 下层没有剪切痕, 达到了很好的半切效果, 能够达到加工需要。

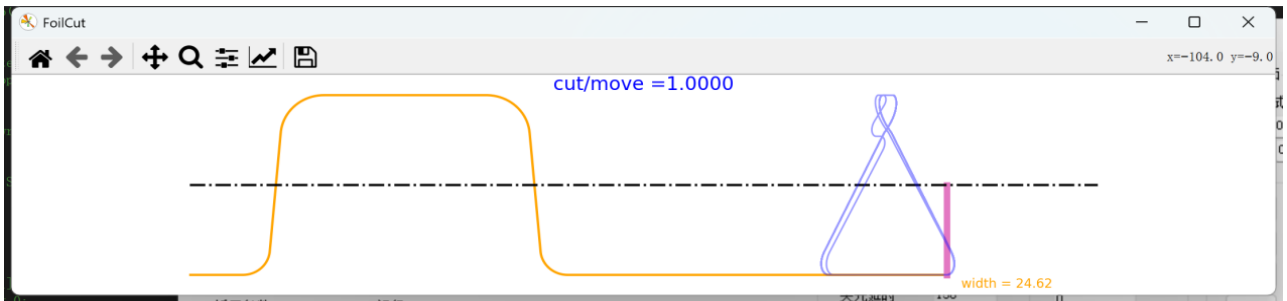


图 5 动画演示图



图 6 实际切割实例 1

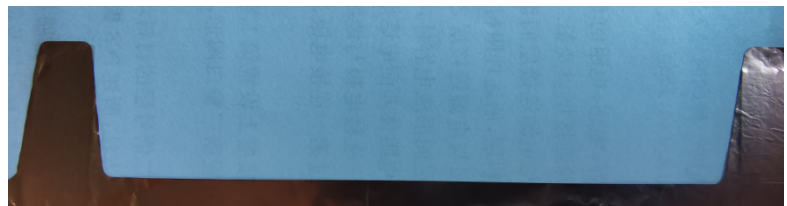


图 7 实际切割实例 2

6 结束语

随着激光技术的发展, 激光切割已经引入新能源锂电池加工领域。激光的非接触加工特性, 由于市场

的需要, 追求高速高精度锂电池极耳切割成为研究的方向。为了研究高速高精度锂电池极耳激光切割系统本论文的主要工作包括:

(1) 了解高速高精度锂电池极耳激光切割系统国内外的研究近况, 并对比大族激光、先导智能和海目星三大切割激光切割器的特色技术。

(2) 对极耳切割振镜运动补偿进行研究。包括振镜结构及工作原理、振镜误差分析与仿真。

(3) 动画演示软件的设计。对现有结果进行修改和实验, 并将结果进行动画演示。

(4) 能量跟随和频率跟随讨论。对激光功率监测的方法进行讨论, 将其成功的应用于锂电池极耳激光切割系统中, 以适应功率跟踪与控制的要求。

参考文献

[1] 李峰西, 索海生, 邢振宏, 等. 高速激光微加工在新能源锂电池上的应用研究[J]. 中国设备工程, 2021.

[2] 吴冬兵. 锂电池极耳激光切割机:, CN208099635U[P]. 2018.

[3] 陈铁玉. 锂电池极耳自动焊接贴胶带机的设计与研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2008.

[4] 黄佳德. 锂电池激光振镜切割系统的软硬件协同设计与实现[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.

[5] 李俊杰, 刘宇斐. 动力锂离子电池激光切片机系统设计[J]. 机电信息, 2015.

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS