基于PLC的全自动钣金激光除漆机控制系统设计与实现

赵鹏飞

阿克苏技师学院，中国·新疆 阿克苏 843000

摘要：铁桶板材焊缝两侧的油漆靠人工清除，效率低，质量也不稳定。为此设计了一套基于 PLC 的全自动钣金激光除漆机控制系统：以国产 PLC 触摸屏一体机为主控单元，用三菱 FR-700 变频器驱动送板机构，控制程序采用基于顺序功能图（SFC）的模块化结构，人机界面按功能分为“四画面”，实现送板、定位、激光加工、出料等工序的精确时序协同。设备投用后运行稳定，已连续满负荷运行两个月，生产线连续作业和产品一致性得到保障。

关键词：激光除漆；PLC 控制；顺序功能图；人机交互界面；变频调速

Design and Implementation of a PLC-Based Fully Automatic Sheet Metal Laser Paint Stripping Machine Control System

Zhao Pengfei

Aksu Technician College, China Xinjiang Aksu 843000

Abstract: Removing the paint on both sides of the weld-seam area of steel drum sheets by hand is slow and the result is hard to keep consistent. A control system for a fully automatic sheet metal laser paint stripping machine based on PLC was therefore designed. A domestically produced PLC-touchscreen integrated unit is used as the main controller, and a Mitsubishi FR-700 inverter drives the sheet feeding mechanism. The control program follows a modular structure based on Sequential Function Chart (SFC), and the human-machine interface is divided into four screens by function, so that sheet feeding, positioning, laser processing and discharging are coordinated in a precise time sequence. The machine has run continuously at full load for two months and operates stably, which ensures continuous production and consistent product quality.

Keywords: Laser paint stripping; PLC control; Sequential function chart (SFC); Human-machine interface (HMI); Variable frequency speed regulation

0 引言

金属包装容器生产过程中，板材卷桶焊接前需将焊缝区域两侧的油漆层清除干净，露出洁净金属表面，否则焊接质量难以保证。以往多靠人工打磨或化学清除，效率低、质量波动大，难以跟上连续生产的节奏。激光除漆具有非接触、精度高等优点，应用也越来越多，但真正工程化落地，还需要一套能和机械系统、激光源精确配合的自动化控制系统。

阿克苏技师学院赵鹏飞技能大师工作室受企业委托，针对铁桶生产线实际需求研制了全自动钣金激光除漆机，控制系统部分由工作室独立完成。本文介绍该控制系统的设计思路与工程实现。

1 需求分析与技术难点

这套设备用于铁桶自动化生产线，负责将裁剪好的板材两侧焊缝区域自动除漆，清除宽度约 2cm，为后续卷桶焊接做准备。结合现场勘察和工艺分析，主要难点集中在四个方面：

（1）多执行器精确时序协同控制。除漆过程要协调送板电机启停、压板 / 挡板气缸动作和 10 个激光器同步启停，各动作之间的时间关系很严，顺序稍有偏差，激光照射位置就会偏移，严重时设备还会碰撞。

（2）激光器状态监测与联动保护。控制系统要实时读取激光器反馈信号，一旦发现异常，其他设备的动作逻辑必须跟着调整，保护机制要立即动作。

（3）生产节拍自适应调整。设备节拍要与上游供料、下游焊接工序匹配，产品型号一换，产线速度就可能变，控制上必须能方便地调节拍。

（4）直观高效的人机交互。操作工要随时看清设备状态，调试人员要能方便地手动操作、改参数，维护人员碰到故障要能快速找到处置办法。

2 系统总体方案设计

控制系统总体架构以 PLC 触摸屏一体机为核心，变

频驱动和气动控制作为配套。主控单元选用中达优控的 PLC 触摸屏一体机，I/O 点数和运算能力都满足要求；和分体式 PLC 加 HMI 的方案比，一体机集成度高、成本也低，更适合这类对价格敏感的中小型设备。送板电机由三菱 FR-700 变频器驱动，这个系列在频繁启停和变速运行场合用得很多，可靠性有保证。

逻辑运算和人机交互集中在一体机上，执行机构和传感器只管执行指令、反馈状态，层次清楚，调试和排障都方便。表 1 列出技术难点与设计对策的对应关系。

表1 技术难点与设计对策

技术难点	设计对策
多执行器时序协同	SFC架构顶层设计，流程分解为明确步进环节
激光器联动保护	程序关键步间设置多重互锁和异常判断逻辑
节拍自适应调整	开放核心时间参数和速度设定值供在线调整
人机交互需求	功能分区的“四画面”组态方案

3 关键技术设计与实现

3.1 控制程序模块化与 SFC 架构设计

PLC 程序从两个层面组织。一是模块化：按功能分成初始化、手动控制、自动运行、数据处理等独立程序块，主程序只做协调调用，多人协作和后期维护都方便。二是用顺序功能图（SFC）组织自动运行流程，把主流程拆成一个个有序的“步”，每步对应一组输出动作，步与步之间靠“转换条件”衔接。主要状态转换链为：

初始化 → 送板启动 → 送板进行 → 板材到位 → 压板 / 挡板动作 → 激光加工 → 激光完成 → 松板 / 撤挡 → 出板 →（循环）

操作人员在触摸屏上改延时参数（比如“激光工作时间”），改的实质是 SFC 里对应步的驻留时间，程序逻辑不用动，节拍就调过来了。把逻辑顺序和时间参数分开设计，程序不会因为现场调参被改乱，稳定性有保障，节拍调节也灵活。

3.2 人机交互界面功能分区与组态

如图 1 所示，触摸屏上做了四个画面，每个画面管一类事：

（1）运行监控画面：自动运行时的主界面，用图形和动态指示灯实时显示设备运行模式、关键工位状态和累计产量，操作工扫一眼就能掌握设备状态。

（2）手动调试画面：调试维护专用，各执行机构的控制按钮集中排列，状态实时显示，单部件测试、故障定位都方便。

（3）信号监控画面：调工艺参数主要在这里，所有可调参数分组列出，带密码保护。改“激光工作时间”“送板速度”“气缸动作延时”等数值，节拍和工艺马上就能调。

（4）帮助说明画面：把操作手册、维护要点、故障排除指南直接做到设备里，图文对照，现场就能查，培训成本和故障停机时间都降下来了。

3.3 变频驱动与参数调试

送板电机由三菱 FR-700 变频器驱动。联机调试时先按电机铭牌设基本参数，再把重点放在加减速时间（S 形曲线）和转矩提升上。用 PLC 发不同频率的指令，转速表实测响应，参数反复调，最后电机在宽速域内都能平稳快速起停，过冲和振荡基本压住了。

4 系统实现与应用验证

控制箱组装、单机调试完成后，控制系统和机械主体联机，重点测通信是否稳定、传感器信号是否准确、SFC 流程是否顺畅。调试中遇到的到位信号抖动、激光器启动延迟等问题，分别用增加软件滤波、调整时序的办法解决。

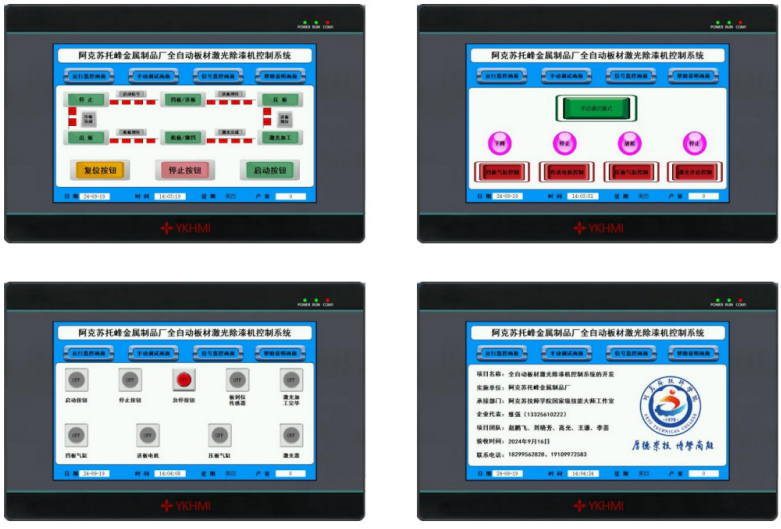


图1 人机交互画面设计

调试合格后，设备在企业现场安装并进入试生产。试运行初期团队持续跟踪，根据现场反馈陆续微调参数。到验收时，设备已连续满负荷稳定运行两个月。从运行情况看：送板定位准确，除漆位置对得上，光洁面宽度一致；节拍能稳定匹配上下游工序；没有出现过异常停机，保护逻辑都按预期动作；操作人员反映界面直观，调参数也方便。

企业给出的验收意见是：“经严格测试与实际生产验证，钣金激光除漆机各项技术性能指标均精准达到甚至部分超越设备控制工艺的预期要求……项目验收结果为合作成功。”两个月连续无故障运行，生产计划按期推进，产品质量保持稳定，为用户带来了实际经济效益。

5 技术创新点分析

（1）基于 SFC 架构的模块化顺序控制程序设计。把除漆工艺拆成清晰的顺序步进链，程序按模块组织，多执行器的协同控制不再乱，调试也好做。逻辑顺序和时间参数分开后，现场调节拍不用动底层程序，设备对不同工艺的适应性更强。

（2）面向多角色的“四画面”人机交互系统设计。以往界面常常什么信息都堆在一起，这个系统按操作、调试、参数管理、维护四类场景分成独立画面，各画面边界清楚。其中“帮助说明画面”把技术知识固化在设备上，操作门槛和培训成本都降了。

（3）基于软件逻辑的系统安全强化策略。不增加硬件，只靠程序对有限传感信号做逻辑组合、状态跟踪和时间研判，对运行状态做“软”冗余判断。比如比较“送板指令发出时间”和“到位传感器触发时间”的差值，机构卡滞或传感器失效就能间接诊断出来，故障诊断手段因此多了不少。

6 经验总结

需求分析阶段花的时间最多，后来看也是最值得的。团队多次到现场和企业工程师、操作人员聊，一开始只想着把“自动除漆”做出来，聊过之后才明白，企业真正在意的是节拍能不能跟上下游产线。这个需求后来被放在优先位置，节拍可调功能就是因此设计的。

这个项目靠院校和企业两边配合才做下来。院校出技术人才，企业提供产业化平台，机械设计和电气控制两条线并行推进、互相验证，开发周期明显缩短，机电接口也匹配得准。

设备交付不是结束，后续跟踪才是稳定运行的保障。项目组在交付后继续留在现场跟踪，把反馈一条条收回来，陆续做了多项微调，设备才从“能运行”逐步走到“稳定运行”。

7 结语

本文介绍了一套基于 PLC 的全自动钣金激光除漆机控制系统。SFC 架构的模块化程序解决了多工序时序协同问题，功能分区的 HMI 组态方案让操作和节拍调整变得简单。设备已连续满负荷无故障运行两个月，实际效果验证了整体方案。下一步准备在激光器工艺参数自整定、远程运维两个方向上继续做。

参考文献：

[1] 鲁文婷，陈亚军，杨雅婷等. 激光技术去除漆膜研究及应用现状[J]. 热加工工艺，2025,54(2):12-16.

[2] 王裕光，万磊，张昌盛等. 激光清洗在除漆方面的研究进展及应用现状[J]. 热加工工艺，2024,53(12):27-33.

[3] 三菱电机. FR-E700 使用手册（应用篇）[Z].

[4] 何敏锋，王兆安，郑明等. PLC 顺序功能图 SFC 编程系统的设计与实现[J]. 工业控制计算机，2008(1).

[5] 岑红蕾，吴延祥，谢江等. 顺序控制流程图在交通灯自动控制系统中的应用[J]. 石河子大学学报（自然科学版），2006,24(6):765-767.

作者简介：赵鹏飞（1986.10-），男，甘肃武威人，本科，正高级讲师，研究方向：工业电气自动化技术应用。