

高压电缆金属护套氩弧焊管机自动化改造系统设计与实现

黎洋

广州岭南电缆股份有限公司, 广东 广州 511480

DOI:10.61369/ME.2025110057

摘要 : 本文针对高压电缆金属护套生产中的氩弧焊管机控制精度低、故障多等问题, 基于自动化控制理论, 设计了以触摸屏、PLC 和变频器为核心的智能控制系统。改造后实现了焊接参数精准动态调节, 大幅提升了焊接合格率与生产效率, 降低了废品率与人力依赖。该成果突破了传统设备技术瓶颈, 为行业智能化升级提供了有效方案, 经济效益显著。

关键词 : 触摸屏; PLC; 变频器组合控制; 自动化改造; 焊接技术

Design and Implementation of Automation Transformation System for High Voltage Cable Metal Sheath Argon Arc Welded Pipe Machine

Li Yang

Guangzhou Lingnan Cable Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 511480

Abstract : This article aims to address the problems of low control accuracy and frequent failures of argon arc welding pipe machines in the production of high-voltage cable metal sheaths. Based on automation control theory, an intelligent control system with touch screen, PLC, and frequency converter as the core is designed. After the transformation, precise dynamic adjustment of welding parameters has been achieved, greatly improving the welding qualification rate and production efficiency, reducing the scrap rate and labor dependence. This achievement has broken through the bottleneck of traditional equipment technology and provided an effective solution for the intelligent upgrading of the industry, with significant economic benefits.

Keywords : touch screen; PLC; combination control of frequency converter; automation transformation; welding technology

引言

在高压电缆制造中, 金属护套铝管焊接是保障电缆机械防护与电气屏蔽性能的核心工序。针对传统氩弧焊管机组依赖手动调节、可控性不足的问题, 我厂决定采用集成触摸屏、PLC 及变频器的自动化方案进行升级改造。该方案以较低成本实现了对焊接电流、牵引速度等参数的精准协同控制, 显著提升了设备的稳定性与操作便捷性。改造后的设备需满足多项关键要求: 确保焊接无焊穿、无漏焊, 防止焊缝氧化; 缩短启停时的漏焊段, 提高生产连续性; 优化人机交互与故障诊断功能; 提升焊接速度与自动化水平, 增强对不同规格的适应性; 同时保障设备长期可靠运行, 并符合节能环保标准, 从而全面提升高压电缆的质量与生产效率。

一、致因机理

针对高压电缆金属护套铝管焊接过程中, 传统氩弧焊管机使用时普遍存在的焊接质量不稳定、可靠性差等问题, 系统剖析其形成原因, 为设备改进与工艺优化提供理论依据。

(一) 铝管焊穿洞、电缆被烧伤

在高压电缆金属护套铝管焊接作业中, 现有牵引驱动系统采用普通电磁调速电机, 其牵引速度与焊接电流调节均依赖人工操作。实际运行过程中, 由于人工控制存在响应延迟与调节精度不

足的问题, 难以实现牵引速度与焊接电流的精准匹配。这种控制方式对操作人员的技术水平和操作经验要求极高, 稍有偏差即可引起生产质量事故。当焊接电流与牵引速度配合失准时, 易出现焊接电流过大或牵引速度滞后的情况, 进而导致铝带焊接部位熔穿, 在铝管表面形成孔洞缺陷。此类焊接质量问题会产生以下严重后果: 其一, 设备需立即停机进行人工修复, 直接中断生产流程, 显著降低生产效率与连续性; 其二, 熔穿过程中滴落的高温铝液会流入铝管内部, 对电缆本体造成热损伤, 严重时将导致电缆绝缘性能下降, 严重时甚至整段电缆报废; 其三人工修补作

业不仅增加了生产工序复杂度与劳动强度，且在修补过程中存在高温铝液二次滴落风险，易对电缆造成二次损伤，同时影响缝外观质量与产品整体性能指标。

(二) 漏焊段过长

在高压电缆金属护套铝管焊接作业中，机组启停阶段常出现漏焊或焊接质量不达标现象，允许人工补焊但效果有限，漏焊段超限问题严重影响生产质量与效率。该问题主要由以下因素导致：一是设备启停控制时序问题，需严格按照“启时先牵引后焊接、停时先停焊后停牵引”的顺序操作，但人工响应延迟与同步性误差难以精准把握，造成铝管在焊接启停前后“空走”而形成漏焊区域；二是机械系统惯性影响，牵引电机与传动机构存在固有惯性，启停瞬间速度无法瞬时响应，造成铝管运动与焊接电流输出不同步，进一步增加漏焊段长度。两者叠加使漏焊段超出可控范围，不仅大幅增加补焊工作量与劳动强度，且人工补焊质量难以达到机械焊接精度，易出现表面不平、强度不足等缺陷，甚至可能因操作不当引发铝管烧穿等二次事故，严重威胁产品质量稳定性和生产安全。

(三) 焊缝氧化

在现有老式氩弧焊管设备中，氩气供给依赖人工操作手动阀门，存在显著缺陷与安全隐患。一方面，人工启闭难以精准控制供气时序：启动时供气过早造成浪费，关闭时延迟则增加成本；若供气滞后或提前关闭，将导致焊缝头尾因缺乏保护而发生氧化。另一方面，供气压力的调节与监测也依靠人工，难以实时维持稳定。当压力低于工艺阈值时，保护气幕失效，空气侵入焊接区域，成为焊缝氧化的主要诱因。焊缝氧化会严重降低铝管的机械性能与弯曲能力，在电缆敷设中易引发开裂，加速电缆老化，直接缩短其使用寿命，对电力系统稳定运行构成威胁。此问题是传统设备普遍存在的技术瓶颈，制约了生产效率和操作性能。

二、技术方案问题解决

(一) 铝管焊穿洞、电缆被烧伤问题的解决

本电气控制系统，采用威纶触摸屏、西门子PLC、变频器技术对氩弧焊管机进行数字化组合控制。牵引驱动电机采用变频电机，用一台变频器对它进行变频调速控制。利用氩弧焊机输出焊接电流控制变频器输出频率和电压高、低，控制牵引电机的转速，最终目的控制牵引速度的快、慢。焊接电流大变频器输出频率高，牵引速度快。焊接电流小变频器输出频率就低，牵引速度就慢。而且焊接电流和变频器输出频率两者之间的斜率比例在触摸屏上可调可控，数字化的操控性更加直观、准确。从而达到了焊接电流与牵引速度的有机结合，它们两者之间紧密同步，有效解决了因同步问题发生的铝管焊穿洞、电缆被烧伤问题。

(二) 漏焊段过长问题的解决

漏焊段过长问题主要是出现在启、停机的时候。解决方法一、本系统利用焊接电流控制变频器的频率输出方式，当焊机没有焊接电流的时候，即使变频器处于启动状态，输出频率和电压

也为0，牵引驱动电机不会转动不会发生铝带“空走”现象。二、利用变频控制的功能设置，灵活应用在设备实际现场调试当中。启动时，选择适合本系统的启动方式，从起动频率启动；调整加速时间的长短，既满足生产工艺要求，又不会对设备产生冲击。停止时，选择相应的停机方式，减速停机；调整减速时间长短，使牵引能迅速停止，杜绝了由于机械惯性所产生的漏焊现象的发生。

(三) 焊接缝氧化问题的解决

焊接缝发生氧化问题主要原因是没有氩气的保护焊接，或是气不足时造成。本系统采用电磁阀作为氩气的开关阀，由系统控制电磁阀门是否工作，电磁阀得电工作时供气，电磁阀失电时停止供气。在设计PLC程序时做到了：机组启动时先供气3秒，再启动焊机、牵引变频器；机组停机时先停止焊机和牵引变频器，延时3秒关掉气。另一方面本系统加装了气压检测装置，压力过低时系统将报警“气压故障”，并停止机组。人性化的控制系统解决了人工难以实现的机动性，解决焊接缝缺氩气而氧化问题。

三、设计原理

在控制系统中设计了单/联动功能切换开关SA，用于满足不同生产阶段的操作需求。开机前需根据生产需要选择模式：选择单动模式，系统调用单动子程序，主要用于调机，可单独控制牵引驱动电机的启停及正/反点动（点动频率固定为5Hz）；选择联动模式，系统调用联动子程序，用于正式焊接生产，此时点动功能失效，按下启动/停止按钮后，氩气电磁阀、氩弧焊机与变频器将按预设程序顺序联动启停。所有设备工作状态均实时显示于触摸屏。为确保安全、防止误操作，模式切换必须在控制电源K断开时进行，电源闭合后切换无效。

为实现焊接电流与牵引速度的同步控制，系统采用威纶触摸屏、西门子PLC及变频器进行数字化处理。操作人员通过触摸屏输入焊接电流等工艺参数至PLC，PLC将其转换为0-10V模拟量电压，作为氩弧焊机的电流给定信号。同时，氩弧焊机将实时焊接电流以0-10V电压反馈至PLC，与触摸屏设定的斜坡值进行运算，运算结果再经转换输出0-10V电压，作为变频器的频率给定信号。变频器的实时频率也以模拟量形式反馈至PLC，最终在触摸屏上显示实时线速度。该闭环控制流程实现了焊接电流与牵引频率的数字化同步联动，使操作直观、精确，见下图1。

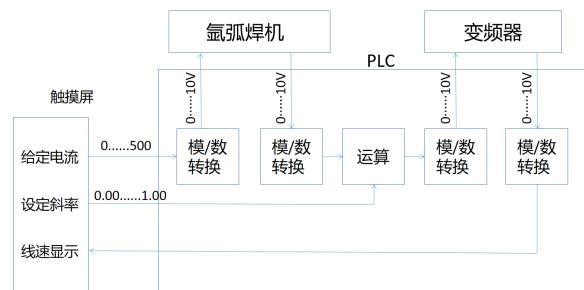


图1

四、实施方案

根据三相异步电动机转速计算公式：

$$n = \frac{60f(1-s)}{p}$$

f: 电源频率

s: 转差率

p: 定子旋转磁场极对数

可知, 通过调节 f、s、p 三个参数中的任意一个, 均可实现电

机转速的调整。在实际应用中, 改变电源频率 f 是一种便捷且高效的调速方式, 该方法可直接建立电源频率与电机转速间的线性调控关系。

基于上述原理, 利用变频器的调速控制与程序控制功能对牵引驱动电机实施变频调速具有显著优势。此方案不仅技术实现路径简捷, 能够快速响应转速调节需求, 而且系统可靠性高, 可有效降低设备运行故障率; 同时, 其控制线路设计简洁, 有助于减少硬件投入与维护成本, 为电机调速控制提供了理想的技术解决方案。

五、电气装备选型及关键参数设置

设备类别	设备名称	品牌	型号	主要参数 / 功能
人机交互设备	触摸屏	威纶	TK6070iP	用于操作界面显示与指令输入, 实现人机交互控制
控制核心设备	可编程逻辑控制器 (PLC)	西门子	CPU24XP	作为系统控制核心, 处理逻辑运算与信号控制, 搭配 EM235 模块实现模拟量处理
模拟量处理设备	模拟量输入 / 输出模块	西门子	EM235	与 PLC 配合使用, 实现模拟信号的采集与输出控制
焊接设备	氩弧焊机	美国飞马特	POWERMASTER 500	高压电缆金属护套铝管焊接作业
调速设备	变频器	三星	IHK-30K	额定功 30KW, 用于牵引驱动电机变频调速, 实现电机转速精准控制
动力设备	三相异步电机	-	Y180L-4	额定功 22KW, 作为牵引驱动电机, 为设备运行提供力, 适配 30KW 变频器实现调速

选用变频器的额定功率 \geq 电机的额定功率 X1.1 倍, 经查阅该产品说明书选用额定功率为 30KW 较合适)。根据生产工艺过程控制动作, 各电气设备作出以下参数设置、系统选择:

(一) 触摸屏系统设置和控制“元件”地址清单

通讯端口	COM2
通讯波特率	9600
氩气打开指示灯	Q0.4
焊机工作提示灯	Q0.0
牵引工作提示灯	M0.3
设定斜率	VD300
设定电流	VD200
线速显示	VD101
启动按钮	M100
停止按钮	M101
正点动按钮	M102
反点动按钮	M103
机组状态显示	VW100

(二) 变频器关键参数设置, 除下列参数外, 所有参数保持出厂设置

Cd001=2	“选择运行指令”选择“外部端子信号”
Cd002=3	“频率给定选择”选择“外部模拟信号”
Cd007=50	“上限输出频率”设定为 50Hz
Cd009=1	“启动方式”选择“由起动频起动”
Cd010=3	“起动频率”设定为 3Hz
Cd013=1	“停机方式”选择“减速停机”
Cd014=0.5	“停机频率”设定为 0.5Hz

Cd019=3	“加速时间”设定为 3 秒
Cd023=0.5	“减速时间”设定为 0.5 秒
Cd028=5	“点动频率”设定为 5Hz
Cd061=1	“多功能输入端子 FR 功能选择”选择“正转”
Cd066=7	“多功能输入端子 2DF 功能选择”选择“正点动”
Cd067=8	“多功能输入端子 3DF 功能选择”选择“反点动”
Cd069=11	“继电器 FA 输出功能选择”选择“变频器故障”

(三) 氩弧焊机控制面板旋钮选择

电流斜坡时间	“选择 5 秒” (0~500A)
启动焊接电流	“选择 100A”

六、氩弧焊机电气原理设计与工作流程设置

工作流程如下:

1. 调试。开机前正确选择单 / 联动选择开关 SA 至单动, 打开操作电源开关 K, PLC 程序自动调用单动子程序, 并按照单动程序执行。在触摸屏按下反点动按钮时, 变频器按参数设定的加、减速时间、点动频率 5Hz 反点动牵引驱动电机, 松开按钮时变频器停止输出, 牵引驱动电机停止。反之, 正点动同上。按下启动按钮时, 变频器按 5Hz 频率连续正转, 按下停止按钮时变频器停止输出, 牵引电机也停止。

2. 启动。开机前正确选择单 / 联动选择开关 SA 至联动, 打开操作电源开关 K, PLC 程序自动调用联动子程序, 并按照联动程序执行。操作工人根据工艺要求在触摸屏输入焊接电流如 250A,

此时 PLC 输出 5V 的给定电压到氩弧焊机。输入斜率值 (焊接电流与牵引速度比例) 如 0.5。按下触摸屏的启动按钮, 此时系统立刻输出 Q0.4 打开气电磁阀, 向焊枪咀提供氩气。延时 3 秒氩弧焊机、变频器同时启动。弧焊机自动高频起弧 (弧焊机自带功能), 并按照预先选择的起动电流 100A、斜坡时间 5 秒的比例线性输出焊接电流到 250A。同时, 弧焊机的模拟量输出也跟随焊接电流的变化而改变输入到 PLC, 此值经过运算器 $x0.5$, PLC 输出 2.5V 的给定电压到变频器, 变频器按照参数设定起动频率 3HZ、加速时间 3 秒的比例线性输出频率和电压, 控制牵引驱动电机的转速, 一键完成了启动工作。

3. 停止。在生产过程中只要按下触摸屏上的停止按钮, 氩弧焊机立即停止输出电压、电流; 变频器也同时按参数设置的减速时间 0.5 秒、减速停机方式, 从工作频率迅速减到 0HZ。延时 3 秒后电磁阀失电, 停止供气。整个焊管工作流程工人只需要根据生产工艺要求, 在触摸屏上输入两个数据和按下启动、停止按钮就能完成, 简单方便。

电气元件清单

QF1- 自动空气开关 (DZ20Y-300A)	SB- 紧停按钮开关
QF2- 自动空气开关 (DZ20-60A)	SQ- 气压检测开关
QF3- 自动空气开关 (DZ47-C3)	HMI- 威纶 TK6070iP
K- 控制电源开关	PLC1-S7200CPU224XP 继电器输出
SA- 单 / 联动开关	PLC2-EM235 模拟量输入 / 输出模块

七、调试验证

(一) 焊接参数精准调控保障焊接质量

基于高压电缆金属护套铝管焊接工艺要求, 通过建立焊接电

流与铝带厚度、产品规格的参数匹配模型, 实现焊接电流与斜率参数的精准设定。调试结果表明, 该调控策略可有效规避因焊接电流与牵引速度失配导致的铝管熔穿、热损伤等问题, 确保焊接过程稳定可靠, 显著提升焊接质量控制水平。

(二) 启停时序优化显著缩短漏焊长度

针对机组启停阶段漏焊问题, 对设备控制逻辑进行优化改进。改造后, 机组启动与停止过程中的漏焊段长度由改造前的约 30mm 大幅缩减至 10mm 以内 (图 10)。漏焊段长度的有效控制, 大幅降低了人工补焊的作业难度与时间成本, 显著提升了生产效率与补焊质量。

(三) 自动化保护系统解决焊缝氧化难题

该改造方案通过引入自动化氩气控制系统, 实现了对供气时序与压力的精准调控与实时监测, 从根本上解决了焊缝氧化问题, 保障了铝管的机械性能, 并减少了人工操作环节。在不更换主体设备的前提下, 方案通过建立焊接参数匹配模型与自动化控制逻辑, 以低成本、小范围改造的方式, 显著提升了设备自动化水平, 有效解决了铝管烧穿、焊缝氧化及漏焊段过长等核心工艺难题, 并将设备故障率降至极低水平。

从技术经济性看, 改造后电气线路大幅简化, 降低了对企业资金与技术的要求; 同时, 自动化程序将操作简化为参数输入与启停, 显著降低了对人员技能的依赖。实际运行表明, 改造后生产效率与产品质量同步提升, 废品率下降, 设备可实现长期稳定运行。该方案为行业内传统焊接设备的智能化升级提供了可复制、高效且具备显著推广价值的技术路径。

参考文献

- [1] 龚顺镒编.《自动控制技术应用》[M].机械工业出版社出版, 2009 年 1 月.
- [2] 韩安荣主编《通用变频器及其应用 第 3 版》[M].机械工业出版社出版, 2008 年 6 月.
- [3] 吴志敏、阳胜峰主编《西门子 PLC 与变频器、触摸屏综合应用教程》[M].中国电力出版社出版, 2010 年 9 月.
- [4] 飞马特有限公司编制《飞马特氩弧焊机使用手册》, 2012 年 3 月.