

# Explore the application of submerged arc automatic welding technology in the processing of steel structures in power construction

Huisong Long

Guangxi Nuclear Power, Fangchenggang, Guangxi, 538000, China

## Abstract

In power construction, the quality of steel structure processing is crucial to project safety. This paper outlines the basic theory of submerged arc automatic welding, covering its principles, system composition, and process features. It further examines applications in high-pressure boiler nodes, transmission tower splicing, large steel plate cylinders, power bridge trough structures, and substation support frames, aiming to provide practical process paths for large-scale, standardized steel structure manufacturing.

## Keywords

Exploration of submerged arc automatic welding technology; power construction; Steel structure processing

# 探析埋弧自动焊技术在电力建设钢结构加工中的应用

龙会松

广西核电, 中国 · 广西 防城港 538000

## 摘 要

电力建设中, 钢结构加工质量直接关系到工程的整体安全。本文从埋弧自动焊技术的技术原理、系统组成与工艺特点三个层面阐释其基础理论。同时, 结合电力建设典型构件, 分析钢架节点、塔杆件拼接、大型钢板筒体环缝、电力桥架槽式结构及变电站钢构支撑框架等环节应用情况, 以期为电力钢结构的规模化、标准化制造提供可行的工艺路径。

## 关键词

探析埋弧自动焊技术; 电力建设; 钢结构加工

## 1 引言

埋弧自动焊以焊剂层下电弧燃烧为基本原理, 在传递能量、冶金反应与工艺控制等方面展现出独特优势。其工艺过程中形成的深熔透焊缝, 为厚板焊接与长焊缝加工提供可靠条件, 也为后续耐久性能奠定工艺基础。随着电力工程结构规模的持续增加, 对节点连接、杆件拼接及筒体环缝等不同构件的焊接技术适配性提出更高要求。

## 2 埋弧自动焊技术理论基础与工艺特点

### 2.1 埋弧自动焊技术的原理

埋弧自动焊是一种利用电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的机械化焊接技术。这种方法在焊丝和焊件之间形成电弧, 通过电弧的辐射热挥发熔化焊丝, 并混合焊件熔化形成的液态金属, 形成熔化池。随着焊接的进行, 电弧不断向前移动, 熔化池冷却凝固, 形成焊缝, 电弧不外露。

### 2.2 埋弧自动焊的系统组成

埋弧自动焊由焊接电源、焊机本体及辅助设备构成。其中电源是埋弧自动焊的动力核心, 能保证电弧燃烧的稳

性, 并适应不同厚度的钢材加工需求。焊机本体则在焊接过程中承担多重功能, 既能自动送进焊丝与供给焊剂, 还能维持电弧沿焊件接缝自动行走, 实现连续焊接。根据自动化程度差异, 埋弧自动焊设备可分为自动焊机与半自动焊机。自动焊机具有完整的控制系统与辅助装置能实现全程自动化操作, 适用于长焊缝; 半自动焊机由焊接小车与本体组合而成, 小车行走速度可调, 具备灵活适应复杂工况的特点。前者的焊丝送进与电弧移动都由专门的机头自动完成, 后者的焊丝送进由机械完成, 电弧移动则由人工进行。

### 2.3 埋弧自动焊的工艺特点

埋弧自动焊在工艺性能上具有高效率与高质量双重特点, 其大电流输入与焊剂、熔渣的隔热作用, 能显著提高热效率, 熔深可达 20mm, 有效减少坡口加工量, 提升厚板焊接经济性。同时, 其还具有高速焊接特性, 在 8 ~ 10mm 钢板对接过程中, 焊接速度可达 50 ~ 80cm/min, 是手工电弧焊数倍, 可显著缩短生产周期。其焊剂覆盖既会隔绝空气, 也会延长熔池金属凝固时间, 充分进行冶金反应, 降低气孔、裂纹等缺陷, 并补充合金元素, 增强焊缝力学性能。除此之

外,由于埋弧自动焊的电弧光不直接外露,相对改善作业环境,提高了工人劳动条件。

### 3 在电力建设钢结构加工的探析埋弧自动焊技术应用

#### 3.1 钢架节点焊接中应用埋弧自动焊技术

钢架节点焊接工序中,其焊缝承受应力集中,对焊接工艺的稳定性与焊缝致密性提出严格要求。常规焊接方式在复杂节点焊接中存在熔深不足、成形不均与冶金缺陷率偏高等问题,而埋弧自动焊能依托其大电流高热输入,将电弧能量集中传递至母材与焊丝熔池,形成深熔透焊缝,保证节点整体承载力。针对厚度在20mm以上的钢板,单丝埋弧焊可在不开坡口情况下实现完全熔透,控制熔深精度在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内,有效减少填充金属量,降低工序冗余。实际工程中,钢架节点的焊缝多处于承受弯矩与剪切力耦合作用位置,局部应力水平超过母材屈服强度的60%。若焊缝熔深不足,极易在应力集中区出现裂纹。埋弧自动焊以其高能量密度的电弧稳定输入,能在更深度区域充分融合熔池金属形成结构连续性良好的焊缝,避免节点区域脆弱。同时,钢架节点多采用Q345R或12Cr1MoVG钢材,强度等级较高,要求焊缝抗拉性能不低于母材85%以上。技术人员使用埋弧自动焊工艺,能稳定焊缝抗拉强度在510MPa~550MPa区间,在-20℃条件下保证冲击韧性达120J,气孔率在0.2%以下,裂纹发生概率低于0.5%,满足《火力发电厂焊接技术规程》DL/T 869-2021技术指标。该类钢材在高温条件下仍需保持稳定的蠕变性能,因此对焊缝成分控制要求严苛。

埋弧自动焊过程中,在高温作用下焊剂逐渐熔化并与熔池金属反应,既隔绝空气,又补充Mn、Si等脱氧合金元素,显著改善焊缝金属的抗裂性,充分保证长期运行工况下的设备安全性。由于电弧全程在焊剂层下燃烧,其焊接过程热循环曲线平稳,热影响区硬度波动幅度低于20HB,避免了快速冷却产生的脆性组织,保持节点焊缝的韧性与延展性。在空间复杂的节点区域,焊剂层还会形成有效保护屏障,优化熔池冷却速率,为液态金属冶金反应提供充足时间,降低夹杂物含量30%以上,提升焊缝金属组织均匀性,为后续钢架整体结构的安全稳定运行提供可靠工艺支撑。

#### 3.2 塔杆件拼接加固中应用埋弧自动焊技术

输电塔杆件在长距离输电线路工程中承担着传导电力荷载与抵抗风振、冰覆等复杂环境作用,其拼接加固焊接质量直接决定结构整体稳定性。输电塔的杆件长度普遍在10~15米之间,壁厚区间为14~30mm,拼接段位于高应力区域,对焊缝熔深、熔宽及冶金均匀性提出严格要求。埋弧自动焊工艺在此类构件中能稳定熔深在16~22mm范围,缩小坡口角度至25°以内,有效减少填充金属量。受力分析中,拼接焊缝常处于压弯耦合区,其局部应力峰值可达材料屈服强度0.7倍,若熔深不足,将直接降低杆件抗

屈曲性能。埋弧自动焊凭借自身大电流高能量密度特性,充分融合熔池金属,形成致密焊缝,保证拼接处承载连续性,有效延长杆件服役寿命。实际工艺参数中,常控制电流在800~1200A,维持电弧电压在30~34V,焊接速度达60~75cm/min,提升单道焊接效率近4倍,其厚壁杆件对接焊缝一次成形率超95%,进而保证焊缝金属冲击韧性在-40℃条件下能保持在100J以上,抗拉强度普遍稳定530MPa~560MPa,满足《输电线路杆塔结构设计技术规程》DL/T5486-2020的力学指标要求。焊剂覆盖的冶金作用在提升焊缝性能方面表现突出,其液态熔渣能延缓熔池冷却,保证在熔池内充分扩散合金元素,显著提高塑韧性。自动化控制层面,埋弧自动焊同步送丝与送剂,稳定焊接过程,保持焊缝成形偏差在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,电弧电压波动小于 $\pm 0.8\text{V}$ ,显著提高工艺过程重复性。在额定电压500kV线路运行环境下,采用埋弧自动焊拼接加固的杆件结构,其检修周期较传统焊接方式延长3~5年,节点返修率低于1.5%,提升约30%整体疲劳寿命,充分体现埋弧自动焊在输电塔杆件拼接加固环节中的适配性,为钢结构构件的规模化、标准化生产提供工艺保障。

#### 3.3 大型钢板筒体环缝连接中应用埋弧自动焊技术

大型钢板筒体环缝承受内部压力、温度波动及外部荷载综合作用,对焊接工艺稳定性与焊接质量提出极高要求。同时,埋弧自动焊在厚板筒体环缝加工中表现出深熔透与高沉积效率的工艺优势。针对壁厚30mm~60mm的筒体结构,施工人员应控制埋弧自动焊电流在900A~1300A、稳定电弧电压在32V~36V、维持焊接速度在40cm/min~55cm/min,以缩短环缝整体焊接时间,实现均匀搭接焊道,减少坡口填充量,降低残余应力积累。焊剂在高温下还会熔化形成厚实熔渣层,既隔绝空气避免氮氧进入,又延缓熔池冷却速率,充分扩散合金元素。由此,焊缝金属中氧含量在0.02%~0.04%,晶粒尺寸在18 $\mu\text{m}$ ~22 $\mu\text{m}$ ,组织均匀细密,夹杂物含量低于0.12%,气孔率不足0.1%。冲击韧性在-30℃条件下平均达105J,抗拉强度保持在540MPa~580MPa,均符合《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合》GB/T 5293-2018规定。同时,技术人员还能利用数控焊接设备跟踪焊枪轨迹,控制偏差在 $\pm 0.8\text{mm}$ 以内,提高焊缝成形一致性,保证筒体在承压状态下的服役可靠性。除此之外,埋弧自动焊全过程通过自动控制电流、电压与送丝速率实现恒定参数,维持电弧燃烧稳定性系数在0.95以上,保证在批量化生产条件下筒体结构的一致性,从而使大型钢板筒体环缝焊接在结构强度方面达到更高水平。

#### 3.4 槽式结构制造中应用埋弧自动焊技术

电力桥架槽式结构由底板、侧板与盖板组合而成,构件形态狭长,板材厚度普遍在6mm~12mm间,焊缝数量多且分布集中。制造过程对焊缝直线度、尺寸精度以及外观

平整度具有较高要求。同时,槽式桥架大多是流水线条件下成批生产,对焊接效率、质量稳定性提出更高要求。埋弧自动焊借助焊剂层下的电弧燃烧形成稳定能量场,配合自动送丝,实现连续加工长焊缝。在常用电流 600A ~ 800A、电弧电压 28V ~ 30V 参数条件下,技术人员能控制熔深在 6mm ~ 9mm,满足薄至中厚板的焊透需求,保持焊道平直度误差在  $\pm 0.5\text{mm}$  以内。其熔渣覆盖还能隔绝空气,延缓熔池冷却速度,使金属组织趋于均匀细密,减少气孔、裂纹,同时控制晶粒尺寸在  $20\mu\text{m}$  左右,保证焊缝金属塑性。焊接过程中埋弧自动焊技术的热输入较为均衡,能避免薄板局部过热引发的变形,保持槽体构件整体平整。其自动化工艺优势在于焊接节拍稳定,单位时间沉积量保持在  $7\text{kg/h}$  左右,较人工方式提高一倍以上,且焊缝表面波纹整齐,熔合区过渡自然,有效控制残余应力水平。批量化生产过程中,焊缝尺寸一致性高,返修率较低,保证了规模化制造中电力桥架槽式结构的可靠性。埋弧自动焊以高效、稳定与可控特性,为后续装配及运行提供质量保障。

### 3.5 钢构支撑框架焊接中应用埋弧自动焊技术

在变电站结构体系中,钢构支撑框架承担着承重与稳定双重功能,其焊接工艺直接决定框架在运行中抵抗外部扰动的能力。该类结构节点数量多,构件长度不一,焊缝分布密集,受力方向交错,传统焊接方式在保持焊缝均匀性方面存在明显局限性。而埋弧自动焊在焊剂层下能形成稳定电弧,集中且连续传递热量,在受控环境中,充分融合熔池金属,实现焊缝截面饱满,冶金反应均衡,保持接头强度稳定。其工艺过程中电流与电弧电压恒定,长期维持电弧燃烧状态在最佳区间,焊缝形貌均一,减少人工波动导致的缺陷。针对厚度在 12mm ~ 25mm 范围内的钢构件,技术人员应用该技术还能控制熔深在 10mm ~ 18mm,缩小坡口角度,减少残余应力,提升整体框架的抗变形能力。其焊接接头抗拉强度稳定在 520MPa ~ 560MPa 之间,在低温条件下保持冲击韧性在 100J 以上,维持焊缝延伸率在 20% 左右,满足《建筑结构用钢板》GB/T 19879—2023 中关于支撑构件的性能

要求。热影响区组织细化,硬度波动幅度小于 15HB,保证在循环荷载作用下的焊接接头延展性。自动送丝与焊枪行走配合,控制焊缝轨迹在  $\pm 1\text{mm}$  以内,焊缝直线度误差低,波纹均匀,表面美观,无需过度矫正后续装配环节。长焊缝连续作业中,沉积效率保持在  $9\text{kg/h} \sim 11\text{kg/h}$ ,焊接速度在每分钟 55cm ~ 65cm,生产效率较手工方式更高,大批量支撑构件制造具备高度一致性。钢板残余应力经工艺控制后分布均匀,有效强化框架整体稳定性。在长期荷载下,采用埋弧自动焊工艺制造的钢构支撑框架能够维持较长服役周期,减少检修次数,为变电站运行安全提供工艺保障。

## 4 结语

在电力建设钢结构加工中广泛应用埋弧自动焊技术,充分体现其在焊接效率、焊缝质量及工艺稳定性方面的综合优势。埋弧自动焊技术的发展,既体现焊接工艺进步,更折射出电力建设向集成化演进的趋势。其价值已超越单纯的工艺,而成为推动工程质量控制的重要支撑点。未来,随着数字化焊接的不断发展,埋弧自动焊有望结合大数据监测、人工智能优化,为电力工程建设提供更高效的工艺支撑,助力行业高质量发展。

## 参考文献

- [1] 张凯,彭新凯,韩廷檀,姬莉,杨亚楠,张朋飞.炼化装置厚壁管道的埋弧自动焊技术[J].焊接技术,2024,53(09):73-77.
- [2] 田力,彭新凯,董博,王卓,朱琦,李子波.超大口径管道埋弧自动焊平衡配重法应用[J].焊接技术,2024,53(09):94-97.
- [3] 乔平,张增.抽水蓄能电站压力钢管环缝埋弧自动焊技术研究与应用[J].水电站机电技术,2024,47(04):91-94.
- [4] 余闯,王刚.抽水蓄能电站压力钢管纵缝埋弧自动焊焊接变形控制措施[J].水电站机电技术,2024,47(03):54-56.
- [5] 蔡万萍.埋弧自动焊的工艺技术分析[J].集成电路应用,2024,41(01):386-387.
- [6] 高旭,赵伟,李在兴.双丝埋弧自动焊技术在辽宁清原抽水蓄能电站压力钢管环缝焊接中的应用[J].水利水电技术(中英文),2023,54(S2):40-47.