

# 团体标准

T/CAMETA XX—2025

## 激光机器人焊接过程监测与质量控制 技术规范

Technical profile for process monitoring and quality control of laser robot welding

（征求意见稿）

2025 - xx - xx 发布

202x - xx - xx 实施

中国机电一体化技术应用协会 发布



# 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 过程监测方法分类 .....	2
4.1 按监测原理 .....	2
4.2 按监测内容 .....	2
4.3 按控制类型 .....	3
5 技术要求 .....	4
5.1 一般要求 .....	4
5.2 系统组成 .....	4
5.3 硬件要求 .....	5
5.4 软件要求 .....	7
5.5 安装要求 .....	8
5.6 监测及控制精度要求 .....	8
5.7 安全防护 .....	8
6 系统测试方法 .....	9
6.1 精度测试 .....	9
6.2 稳定性测试 .....	10
参 考 文 献 .....	1

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国机电一体化技术协会提出。

本标准由中国机电一体化技术协会归口。

本标准起草单位：哈尔滨工业大学……。

本标准主要起草人：姜梦 陈曦 陈彦宾 XXXX……。

# 激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范

## 1 范围

本标准界定了“激光机器人焊接质量过程监测与质量控制技术”的主要内容，包括基本定义、监测方法分类，监测及质量控制装置、主要性能指标及过程监测与质量控制流程等方面的标准。

本文件适用于采用激光机器人作为执行机构，激光作为热源，配置过程监测与质量控制装置的自动化焊接过程，本规范旨在确保激光机器人焊接过程监测与质量控制的准确性与规范性。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求
- GB 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
- GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法
- GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇
- GB/T 12644 工业机器人 特性表示
- GB/T 15313 激光术语
- GB/T 16977 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则
- GB/T 18490.1 机械安全 激光加工机 第1部分：通用安全要求
- GB/T 19876 机械安全 与人体部位接近速度相关的安全防护装置的定位
- GB/T 20722 激光加工机器人 通用技术条件
- GB/T 39463 工业机器人电气设备及系统 通用技术条件
- JJF 1951 基于结构光扫描的光学三维测量系统校准规范
- GB/T 13863 激光辐射功率和功率不稳定性测试方法

## 3 术语和定义

GB/T 12643、GB/T 15313 及 GB/T 15579.1 界定的术语和定义适用于本文件。

### 3.1

焊接过程监测 welding process monitoring

在激光机器人焊接过程中,通过各种传感器和技术手段实时获取焊接过程中的关键参数,以获取焊接实时状态的过程。

### 3.2

#### 焊接质量控制 welding quality control

通过对焊接过程中涉及的工艺参数与设备工作状态进行控制调整,确保最终焊缝成形及性能等满足预设的质量标准和规范。

### 3.3

#### 焊接温度场 welding temperature field

在激光焊接过程中由于激光热源作用与金属,金属熔化后由于热对流与热传导产生金属上各点的温度值分布。

### 3.4

#### 匙孔行为 keyhole behavior

在激光焊接过程中,由于激光具有能量密度高的特点,熔化金属将会产生剧烈的蒸发导致其熔池中形成一细小的孔洞,即匙孔。

### 3.5

#### 焊缝轨迹误差 weld seam trajectory error

指激光焊接机器人实际焊接路径与焊接前预设路径之间的偏差。该误差由机器人的定位精度、编程误差以及一系列外部干扰引起,其对焊缝的成形质量具有直接影响。

### 3.6

#### 控制模块 control module

基于一定的控制算法对数据进行处理,可用于管理和执行操作的独立硬件或软件组件,负责处理输入信号、执行控制算法并生成控制信号以对焊接参数与机器人运动进行调整。

## 4 过程监测方法分类

### 4.1 按监测原理

#### 4.1.1 主动监测

通过监测装置产生如结构光、相干光等探测光源,采集焊接熔深、焊接轨迹偏差值等相关信息。

#### 4.1.2 被动监测

通过监测装置采集激光焊接过程中产生的光、电、声、热等信号,通过数据处理获得熔池尺寸、温度分布特征等焊接过程相关信息。

### 4.2 按监测内容

#### 4.2.1 熔深监测

基于谱域光学低相干原理，通过探测激光扫描熔池，探测激光射入匙孔直接测量焊接熔深，实时获取焊缝熔深信息。

#### 4.2.2 熔池尺寸监测

通过高速摄像机捕捉熔池图像，通过图像提取关键点计算熔池尺寸信息，实现激光焊接过程熔池宽度、长度等尺寸特征信息的实时监测。

#### 4.2.3 质量监测

通过光电传感器实时捕捉激光焊接过程中的等离子体、热辐射和背光反射信号并将其数字化和量化，将上述信号与预设的标准曲线进行比较，识别存在缺陷的焊缝，实现激光焊接质量监测。

### 4.3 按控制类型

#### 4.3.1 根据控制逻辑分类

##### 4.3.1.1 前馈控制

前馈控制是典型的开环控制方法，其发生在实际焊接过程前，通过焊前获取的信息制定的工艺控制方案，基于此调整焊接工艺等输入来控制缺陷等的产生，如在环形焊缝、不均匀焊缝等情境下，可根据焊接工艺数据库对不同位置设置不同的焊接工艺，并通过控制系统在焊接过程中进行工艺参数调整，以实现质量控制的目的。

##### 4.3.1.2 反馈控制

反馈控制是典型的闭环控制方法，其发生在实际焊接过程中，通过传感器、控制器和执行器组成闭环结构，通过实时监测焊接过程中的特征信息(如焊接熔池特征、熔深及熔透状态、焊接轨迹偏差等)制定对应的工艺参数或机器人运动状态的调整策略，以控制系统运行过程中由于内外部扰动与装配误差等因素产生的质量缺陷。

#### 4.3.2 根据控制目标分类

##### 4.3.2.1 焊缝熔宽控制

熔池尺寸控制的重点在于焊接过程中熔池大小的精确管理，合适的熔池宽度对于保证良好的焊缝成形与焊接稳定性至关重要。通过实时监控和合适的焊接策略，对焊缝熔宽进行控制可以有效避免未熔合等焊接缺陷。

##### 4.3.2.2 焊缝熔深控制

焊缝熔深控制旨在确保焊接深度达到要求，采用先进的传感技术和控制算法动态地监测并调整相关工艺参数，确保焊缝每个区域都具有理想的熔深，可以有效避免未熔合与气孔等焊接缺陷。

##### 4.3.2.3 焊缝轨迹控制

焊缝轨迹控制是指通过预先设定或实时调控的方式对焊缝的轨迹进行调整，保证焊接路径严格按照工程要求路线执行，这不仅影响要焊缝外观的一致性和美观性，还直接关系到焊缝的实际力学性能与服役能力。

#### 4.3.2.4 缺陷控制

由于不同材料特性与接头形式的差异，在激光焊接过程中可能会出现飞溅、气孔等缺陷，这些缺陷的存在将严重影响接头的成形质量与力学性能。通过一定的调控手段抑制激光焊接过程中缺陷的产生，可以有效提高接头的综合性能，对与提高接头性能改善焊缝表面成形具有重要意义。

#### 4.3.3 根据控制手段

激光焊接接头质量与焊接工艺参数有着直接关系，激光焊接过程质量调控也是基于焊接工艺参数控制实现的。不同的工艺参数需要通过不同的控制手段进行调节，根据控制手段可以将控制方案分为激光参数控制与机器人运动控制两种。

##### 4.3.3.1 激光参数控制

功率、频率、脉宽等参数直接影响着焊接的能量输入方式及其效果。激光参数控制是通过外部或内部监测的方式，获取激光器输出的各种参数的调整策略，以预先或实时调控进而改善焊缝质量。合理配置激光参数不仅能提高焊接效率，还能改善焊缝质量。利用智能控制系统，可以根据焊接任务的需求灵活调整激光参数，适应不同材质和厚度的工件加工需求。

##### 4.3.3.2 机器人运动控制

焊接过程中机器人是整个系统中最重要执行机构之一，激光焊接过程中的焊接速度、离焦量以及激光入射角度等的调整是通过机器人运动机械臂位姿与运动状态实现的，通过在焊接前或焊接时对机器人状态进行控制，可以实现对焊缝质量的调控，以适应不同焊接位置等的焊接需求。

### 5 技术要求

#### 5.1 一般要求

5.1.1 激光焊接机器人系统应符合团体标准 T/CWAN 0081-2023 激光焊接机器人系统通用技术条件的相关要求

5.1.2 系统中的所有部件应符合对应技术文件要求

5.1.3 系统中所涉及的装配部件需保证重复定位精度在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内

5.1.4 系统中所涉及的电气部件需放置在通风良好且原理强电磁干扰源的位置

5.1.5 系统中的部件应布局合理、操作简便、造型美观、便于维修，符合 GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件的规定

5.1.6 系统中的部件采用统一标准和模块化设计，并满足互换性要求

#### 5.2 系统组成

本标准定义的激光机器人焊接过程监测及质量控制系统组成如图1所示，包括激光焊接系统、过程监测系统与质量控制系统。激光焊接系统由机器人、激光焊接头、激光器与其他配件构成，详细要求见团体标准 T/CWAN 0081-2023；过程监测系统由监测模块、数据采集单元、数据处理单元与通讯接口组成；质量控制系统由控制模块、信号交互端口、工艺数据库与人机交互终端组成。



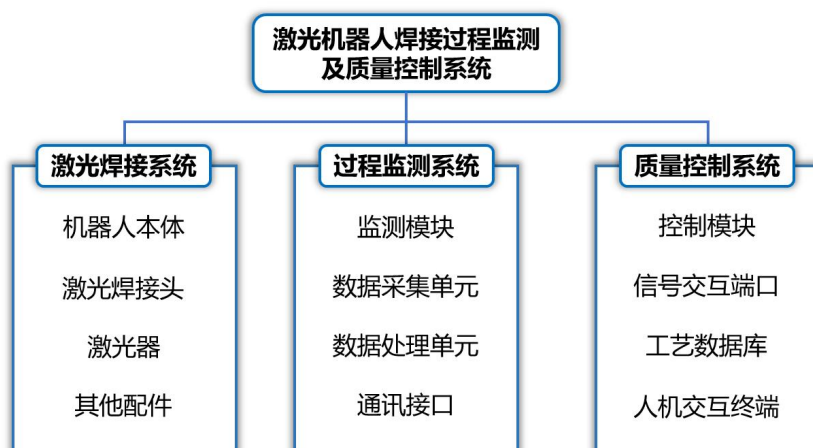


图 1 激光机器人焊接过程监测及质量控制系统组成

### 5.3 硬件要求

#### 5.3.1 激光焊接系统

本标准中涉及的激光焊接机器人系统应符合团体标准 T/CWAN 0081-2023 激光焊接机器人系统通用技术条件的相关要求。

#### 5.3.2 过程监测系统

##### 5.3.2.1 监测模块

过程监测系统的监测模块需具备实时监测焊接过程中的关键特征参数(焊缝熔宽、焊缝熔深、焊缝轨迹)，并将对应物理量转化为模拟信号的功能。监测模块通过传感器及探测头获取待焊工件的焊前或焊时实时状态，其中可使用的传感器包括：温度传感器、光电传感器、结构光传感器及相干光探测头。

##### 5.3.2.2 数据采集单元

数据采集单元主要负责收集监测模块获取的各种关键参数转化而来的模拟信号，并将其转化为可由数据处理单元处理的数字信号。数字采集单元包含前端信号调理电路、ADC 转换器与微处理器，同时通过隔离电源、屏蔽线、精密接地和去耦电容等减少电源纹波对 ADC 的干扰，具体性能参数如下：

分辨率:12 位/16 位/18 位/24 位

采样率：0.1Msps~100sps

接口：SPI/I<sup>2</sup>C/并行接口

##### 5.3.2.3 数据处理单元

数据处理单元通过对采集的数据进行分析处理(通常需要对数据进行滤波处理)，将对应电量的数字信号转换为可直观焊接过程相关特征参数的具体值（熔深、熔宽、焊缝位置\轨迹偏差），并通过对应软件进行人机交互界。

##### 5.3.2.4 通讯接口

过程监测系统中的通讯接口不仅指的监测系统内部监测模块、采集单元与数据处理单元的通讯，同时需要将数据处理单元所得的信息与质量控制系统中的信号进行交换，保证系统信息流通并结合整体系

统软件平台实现监测过程及参数信息的可视化。过程监测系统需具备串口、UART、SPI、I<sup>2</sup>C、CAN 等接口类型。

### 5.3.3 质量控制系统

#### 5.3.3.1 控制模块

控制模块应具备浮点运算能力、逻辑运算能力、接口扩展能力，并应具有实时操作系统，以根据过程监测系统提供的焊接参数（熔深、熔宽、焊缝位置/轨迹偏差）使用 PID 等控制算法实时调整或对焊接工艺参数（如激光功率、焊接速度等）与机器人运动状态进行焊前预测，确保焊接质量的一致性和稳定性。

控制模块中的控制器的响应时间应小于 10ms，以确保对焊接过程中的任何变化做出快速反应，建议采取双回路供电或备用控制器，以防止焊接过程中外界扰动导致的单点故障。

#### 5.3.3.2 信号交互端口

信号交互系统是质量控制系统内负责与激光焊接系统、过程监测系统之间进行实时信息交换的部分，由输入与输出模块组成。输入模块是与过程监测系统进行交互的主要模块，负责将监测到的焊接特征数据输入至反馈控制器，输出模块主要与激光焊接系统进行通讯，负责将反馈控制器根据指定控制策略得到的工艺调整方案输出至激光器或焊接机器人，以实现激光焊接过程质量的实时调控。

输入/输出模块应支持多种工业标准接口，如 RS-485、CAN、以太网/IP 或 Modbus TCP/IP，以便与不同的外部设备进行通信。

#### 5.3.3.3 工艺数据库

工艺数据库主要负责系统运行过程的数据储存与并保存有不同材料与不同接头场景的典型工艺参数，以供控制模块根据相关数据与控制策略制定合理的质量调控方案。

工艺数据库应具有足够的存储空间来保存长期的历史数据，至少能存储一个月的数据量，具体取决于传感器采样率和所需记录的信息量。

数据库中的的数据应定期备份，并采取措施防止未经授权的访问，同时应考虑数据加密和访问控制机制，以保护敏感信息的安全性。

工艺数据库需具备一定的兼容性，支持与其他系统（如 MES、ERP）的数据交换，确保数据能够在全生产流程中自由流通。

#### 5.3.3.4 人机交互终端

质量控制系统的人机交互终端将为系统提供必要的操作界面与可视化方案。终端需具备易于操作的图形交互界面，并通过监测通讯接口和输入输出模块将从焊接过程中监测所得的实时参数以及控制模块获取的信息及对应的调整策略进行显示，以便操作人员可以监控和管理焊接过程。

系统的交互界面应直观易用、信息全面，提供易于理解的操作指南。

终端需具备焊接质量报警机制，当监测到质量不达标或系统出现故障时，应及时发出警报并向控制模块发出系统急停命令，并提供详细的故障诊断信息，协助操作人员快速定位问题并采取措施。

#### 5.4 软件要求

系统所采用的软件系统需满足用户基本的功能性与非功能性需求,并允许用户针对实际应用场景对系统进行二次开发。

##### 5.4.1 功能性需求

系统软件应支持从多种传感器中实时采集数据,并具备相应的数据处理及分析能力。

系统软件需提供直观的用户界面用于实时显示焊接过程中各项关键参数的变化情况,并对异常进行实时警报。

系统软件需具备参数自动调节的功能,根据监测系统获取的信息,按照一定策略与算法进行自动调节,并允许操作人员在焊接过程中动态调整各种参数。

支持自动生成包含焊接质量评估在内的详细报告,这些报告应包括但不限于历史记录、统计分析结果以及可视化图表,并记录所有操作和异常事件的日志,以便于后续追踪问题根源。

##### 5.4.2 非功能性需求

系统软件非功能性要求主要包括可靠性、易用性、安全性、扩展性与兼容性。

###### 5.4.2.1 可靠性

需保证在 12h/日, 20 日/月的工况下至少保证两个月内不发生系统崩溃等情况。

###### 5.4.2.2 易用性

界面设计简洁明了,易于理解 and 操作。提供在线帮助文档和技术支持资源。

###### 5.4.2.3 安全性

采取必要的安全措施保护敏感数据免受未经授权的访问或篡改。

###### 5.4.2.3 扩展性

软件架构应具备良好的模块化特性,便于未来添加新功能或升级现有功能。其中包括以下程序扩展功能:

- a) 添加自定义动作
- b) 扩展监测识别与控制算法
- c) 远程监控与管理
- d) 工艺数据库迭代

###### 5.4.2.4 兼容性

软件需与激光焊接系统、过程监测系统与质量控制系统中的硬件相兼容,支持主流的操作系统(Windows, Linux 等),能够搭载至工业 PC、PLC 等设备。

##### 5.4.3 接口协议

软件系统应开放 GB/T 38839-2020 工业机器人柔性控制通用技术要求中规定的数据传输接口,并提供标准 API,方便与其他系统或设备进行数据交换。

软件系统需支持多样的通信协议,以实现与主流机器人系统和 PLC 及运动控制器间的通讯,如

Modbus、PROFINET、EtherCAT、OPC UA、CANopen、Ethernet/IP。

软件需开放满足二次开发的基础函数接口，包括系统运动操作函数、数据采集处理函数、I/O 读写操作函数、文件数据读写操作函数、SDK 接口。

## 5.5 安装要求

激光机器人焊接过程监测与质量控制技术中需要对焊接系统、监测模块中的传感器、控制模块中的电子器件的安装提出要求。

焊接系统需要保证稳固安装在工作区域内，所有运动部件运作平稳无卡滞现象；电缆连接需牢固且标识清晰，尤其是高压部分需特别注意绝缘保护，防止短路或电击风险。

传感器的选择根据所需监测的特征信号与监测目的确定，可采用同轴/旁轴安装方式，安装方式需与数据处理模块与控制模块中搭载对应控制算法对应；传感器应固定牢靠，避免因振动或碰撞导致偏移。对于可能接触到烟雾、飞溅物的工作环境，还需考虑额外的防护措施。

电子元器件需严格按照图纸安装，采取防静电措施避免损坏；布线方式遵循电气工程的最佳实践，确保布线整洁有序，标识明确；安装时需针对关键器件设置对应的散热方案，保证系统平稳运行；整体布局需确保各电子元器件之间的电磁干扰最小化，并采用屏蔽措施来提高系统的稳定性和可靠性。

## 5.6 监测及控制精度要求

为保证系统焊接过程的稳定性与质量控制效果，需要激光机器人焊接过程监测与质量系统的监测与控制精度提出要求，并针对监测变量不同提出对应的监测与控制精度要求，包括焊缝熔宽监测精度、熔深监测精度、焊缝轨迹偏差监测精度与质量控制系统的控制精度。

### 5.6.1 监测精度要求

对于不同监测方法的监测精度，需要保证在不同材料与不同焊接工艺下特征监测变量的分辨率与响应速度。保证能够捕捉焊接过程中影响焊缝质量的微小变化，并确保系统的响应速度能够满足质量控制系统完成整个控制策略的实施。

### 5.6.2 控制精度要求

针对控制精度的要求，旨在确保焊接过程按照预定参数准确执行，并能根据监测到的信息进行即时调整。需要保证控制系统的调节灵敏度与动态响应特性，可以对监测到的偏差快速做出反应能够快速且准确地调整焊接参数，以抵消外部干扰或内部状态变化带来的影响。

## 5.7 安全防护

### 5.7.1 激光安全

遵循 GB 7247.1 激光产品的安全 第 1 部分：设备分类、要求标准对激光产品的分类及安全要求，确保所有操作人员接受必要的激光安全培训，并配备适当的个人防护装备（PPE），如护目镜。

在工作区域内设置明显的警告标识，限制未经授权人员进入激光操作区域。

使用封闭或半封闭式的工作单元来减少激光辐射的风险，必要时安装激光安全互锁装置。

### 5.7.2 电气安全

确保所有电气设备的安装符合 GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第 1 部分:通用技术条件的规定,采取有效的接地措施以防止电击风险,参考 GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范。

对于高压部分进行特别标注,并采取额外绝缘保护措施,避免短路或电击危险。

### 5.7.3 机械安全

机器人的运动部件应配备防护罩或其他物理屏障,防止操作期间发生意外接触。

实施紧急停止按钮,以便在检测到任何安全隐患时立即停机。

### 5.7.4 过程监控与报警系统

建立实时监控系統,能够自动检测并报告任何偏离正常操作的情况,当监测到潜在危险情况时,系統应能自动触发警报,并向控制系统发送信号以执行紧急关闭程序。

### 5.7.5 数据保护与网络安全

应用适当的数据加密技术和访问控制策略,确保敏感信息的安全性,定期更新软件和固件,修补已知漏洞,增强系统的抗攻击能力。

## 6 系统测试方法

### 6.1 精度测试

#### 6.1.1 监测精度测试

a) 在至少 3 组不同焊接参数下(如不同的激光功率、焊接速度)进行焊接,并利用过程监测系统对焊接动态过程进行监测。

b) 使用高精度量具(最低刻度需大于监测系统的分辨率要求)直接测量,焊缝的实际焊接参数作为参考值。

其中对熔深熔宽参数的参考值可取焊缝横截面尺寸;对匙孔尺寸等信息则需使用精度高于测试精度的高速相机对焊接过程实时监测,通过熔池熔宽信息对动态图像标定后,作为实际匙孔尺寸等信息的参考;对焊缝轨迹等信息,需取横截面中心作为参考点,获得实际焊接路径轨迹。

c) 重复试验至少三次,取其误差的最大值,验证其是否符合使用性能标准。

#### 6.1.2 控制精度测试

##### 6.1.2.1 运动精度

采取运动重复定位的方式对系统运动精度进行测试:

a) 通过质量控制系统,设定若 3 组固定点作为目标位置。

b) 设置至少 2 种不同运动轨迹(直线、圆弧等)使机器人反复移动到这些点上,将每段轨迹划分为三等分,记录每个位置的实际到达点坐标,每种轨迹进行 3 次重复实验。

c) 统计多次移动坐标与理想坐标差值,取其最大重复定位误差,验证其是否符合使用性能标准。

具体测试方案参考 GB/T 12642 工业机器人性能规范及其试验方法中的测试方案。

#### 6.1.2.2 工艺参数控制精度

在完成运动精度验证后，采取大步距标定的方式对系统工艺参数控制精度进行测试：

- a) 依据所用激光器的最大工艺范围，将各关键工艺参数（激光功率、摆动参数、脉冲参数等）均匀划分为五个等间距的区间。
- b) 通过质量控制系统将焊接系统中的参数改为每个区间端点中的对应参数，进行激光辐射连续功率测试，每个工艺参数进行 3 次重复实验。
- c) 统计多次试验后的试验结果，取其最大误差，验证其是否符合使用性能标准。

具体测试方案参考 GB/T 13863-2011 激光辐射功率和功率不稳定性测试方法中的测试方案。

### 6.2 稳定性测试

#### 6.2.1 激光机器人焊接系统

激光机器人焊接系统应按照团体标准 T/CWAN 0081-2023 激光焊接机器人系统通用技术条件的相关要求的相关测试，保证激光焊接机器人系统运行正常；

#### 6.2.2 监测系统

##### 6.2.2.1 长时间运行测试

监测系统须具备连续 8 小时无故障工作的能力，并在期间保证监测性能精度指标。

##### 6.2.2.2 环境适应性测试

在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 环境下对监测系统进行测试，确保其能在这些条件下保持功能正常并达到预定性能标准。

#### 6.2.3 控制系统

##### 6.2.3.1 鲁棒性测试

###### a) 抗高频干扰测试

采用功率为 5W、频率为 400MHz~500MHz 的步话机作为干扰源，距控制系统 1.5m 处工作时，控制系统应正常工作，并保证控制精度。

###### b) 电源波动测试

采用标准工业用电 $\pm 10\%$ 的标准电压波动为控制系统供电，保证系统稳定运行且不影响输出质量。

###### c) 温度波动测试

在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 环境下对控制系统进行测试，确保其能在这些条件下保持功能正常并达到预定性能标准。

###### d) 故障测试

人为制造系统中不同硬件组件与软件故障，验证系统是否能够识别问题并采取报警或停机等措施。

##### 6.2.3.2 响应时间测试

###### a) 软件界面响应

通过人机交互界面对控制系统界面进行操作，记录每步命令与实际完成操作的时间间隔，即为对应的软件界面响应时间，在软件实际运行过程中，响应时间不得超过 2s。

b) 控制信号响应

通过控制系统分别对激光焊接系统中的机器人与激光器等部件的工作参数进行修改，被修改部件工作状态的响应时间不得超过 0.5s。

c) 缺陷识别响应

通过人工修改激光器与机器人工作参数，人为制造固定区域的熔深波动与焊缝偏移，并通过监测系统对整个过程进行监测，判断控制系统对于人为缺陷的响应时间，具体响应时间不得超过 0.5s。





## 参 考 文 献

- [1] GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
  - [2] GB 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求
  - [3] GB 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
  - [4] GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法
  - [5] GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇
  - [6] GB/T 12644 工业机器人 特性表示
  - [7] GB/T 15313 激光术语
  - [8] GB/T 16977 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则
  - [9] GB/T 18490.1 机械安全 激光加工机 第1部分：通用安全要求
  - [10] GB/T 19876 机械安全 与人体部位接近速度相关的安全防护装置的定位
  - [11] GB/T 20722 激光加工机器人 通用技术条件
  - [12] GB/T 39463 工业机器人电气设备及系统 通用技术条件
  - [13] JJF 1951-2021 基于结构光扫描的光学三维测量系统校准规范
  - [14] GB/T 13863-2011 激光辐射功率和功率不稳定性测试方法
  - [15] GB/T 38839-2020 工业机器人柔性控制通用技术要求
  - [16] GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
  - [17] T/CWAN 0081-2023 激光焊接机器人系统通用技术条件
-

附 2

# 激光机器人焊接过程监测与质量控制 技术规范

## 编 制 说 明

2025 年 4 月

# 目 录

目 录 .....	2
1. 任务来源 .....	3
2. 主编单位 .....	3
3. 编制背景 .....	3
4. 主要工作过程 .....	4
5. 编写规则 .....	6
6. 标准的主要内容 .....	6
7. 标准制定的目的 .....	7
8. 有关专利的说明 .....	8
9. 关于标准性质 .....	8

## 1.任务来源

《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》团体标准编制工作，来源于工业和信息化部等 5 部门于 2023 年 6 月印发的《制造业可靠性提升实施意见》。随着《制造业可靠性提升实施意见》和《“十四五”智能制造发展规划》的深入实施，制造业正加速向智能化、高效化方向升级。激光机器人焊接技术因其高精度、高效率的优势，已成为高端装备制造、新能源汽车、航空航天等领域的核心工艺。然而，随着焊接产品复杂度提升和质量要求趋严，传统焊后检测手段的滞后性、高成本问题日益凸显，亟需通过实时监测与动态调控技术实现焊接质量的全程可控。通过编制团体标准，有助于提升激光焊接过程监测质量控制水平，保障监测与控制过程的高效、安全执行；并促进该技术的突破创新及相关设备的研发，为相关科技成果产出、提升制造业可靠性提供有力支撑，推动制造业的智能制造转型升级。

## 2.主编单位

《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》团体标准主编单位哈尔滨工业大学。

## 3.编制背景

随着制造业水平的发展，激光焊接在新能源汽车、航空航天、精

密电子等高端产业中实现了突破性应用。在"工业 4.0"与智能制造深度融合的背景下，激光焊接工艺正由单点自动化向全流程数字化、智能化方向演进，对过程质量的实时感知与动态控制能力提出了更高要求。但焊接产品的尺寸、复杂程度不断提升，使得传统的焊后检测+工艺优化的生产方式存在的周期长、成本高、质量反馈滞后的局限性愈发突出，已无法满足高质量、高效率激光焊接生产的需求。

近些年随着激光焊接系统、相关传感与控制技术的不断发展，激光焊接过程检测与质量控制技术成为了提高激光焊接质量与接头可靠性的重要手段，并在全生产流程智能化、自动化方面展现出了巨大的潜力。目前，激光焊接熔深监测、熔池尺寸监测、焊缝追踪及其相应质量控制方案已经接近工业应用水平，但由于国内外在激光焊接过程监测与质量控制领域均未形成专门的标准体系，在实际生产过程中缺乏相关的标准，导致研发生产无据可依，监测与质量控制流程难以统一。本标准瞄准激光焊接过程监测与质量控制技术，致力于填补该领域的技术标准空白，通过制定详细、全面的激光焊接过程监测与质量控制系统技术规定，为激光焊接接头质量提升与生产智能化、规范化发展提供指导依据。

## 4.主要工作过程

2024 年 9 月 17 日，在哈尔滨工业大学召开了激光机器人焊接过程监测与质量控制技术交流会，会上对当前激光焊接领域相关的监测与控制方法及其标准制定的可行性与必要性进行了讨论。提出开展激

光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范标准制定的工作计划。

2024 年 10 月 23 日，在哈尔滨工业大学召开了《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》编制启动会。本次会议由哈尔滨工业大学先进焊接与连接国家重点实验室牵头，邀请相关单位参与讨论。会上讨论确定了《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》的参与单位、参与人员以及编制时间节点，并成立了由多方单位共同参与的规范编制组，共同推进标准大纲与初稿的撰写工作。

2024 年 11 月 22 日，《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》团体标准获批立项。

2025 年 2 月 21 日，在哈尔滨工业大学召开了《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》编制工作组会，会议讨论确定了技术标准整体框架与相关技术内容，并明确了以实际生产为导向的编制方向。

2025 年 2 月 23 日，《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》规范编制组前往哈尔滨工大焊接科技有限公司现场调研，结合实际生产流程中过程监测与质量控制的痛点难点以及对应的解决方案对监测与质量控制过程中的详细技术要求进行了编制与梳理。

2025 年 4 月 8 日，《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》首稿完成，并邀请相关需方单位对初稿中涉及的技术要求与测试方法的可行性分析进行线上讨论。

2025 年 4 月 11 日，在哈尔滨工业大学召开了《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》编制工作组会，对初稿中相关技术的

术语名词、分类方法、系统组成、软硬件要求、安全要求与系统测试方法进行了详细介绍，并根据各方意见对内容进行完善补充。会后形成《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》第二稿草案。

2025年4月23日，标准归口单位对《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》团体标准征求意见稿进行公开意见征集。经过对意见的汇总和梳理后，对标准内容进行进一步完善，形成了《激光机器人焊接过程监测与质量控制技术规范》团体标准送审稿。

## 5.编写规则

本标准按照 GB/T 1.1—2020 的规则起草。

## 6.标准的主要内容

本标准界定了“激光机器人焊接质量过程监测与质量控制技术”的主要内容，包括基本定义、监测分类方法、监测及质量控制系統组成、软硬件要求以及系统测试方法等方面的标准。本文件适用于采用激光机器人作为执行机构，激光作为热源的焊接系统。其他焊接系统可参照使用。其具体章节条款如下：

### 前言

#### 1. 范围

#### 2. 规范性引用文件

#### 3. 术语和定义

## 4. 过程监测方法分类

### 4.1 按监测原理

### 4.2 按监测内容

### 4.3 按控制类型

## 5. 技术要求

### 5.1 一般要求

### 5.2 系统组成

### 5.3 硬件要求

### 5.4 软件要求

### 5.5 安装要求

### 5.6 监测及控制精度要求

### 5.7 安全防护

## 6. 系统测试方法

### 6.1 精度测试

### 6.2 稳定性测试

## 参考文献

## 7. 标准制定的目的

本规范主要阐述了激光机器人焊接质量过程监测与质量控制技术的相关要求、条件及设备、方法等方面内容。旨在解决以下方面问题：

1. 改变激光焊接过程监测与质量控制领域研发生产无据可依的



局面：通过本标准的编制，为激光焊接领域的研发及生产制造厂家提供全面的标准依据，提升监测与控制系统标准化程度，并期望借助本标准形成行业共识，助力激光焊接行业的规范化、标准化发展。

2. 提升激光焊接过程监测与质量控制技术规范水平：通过制定激光焊接过程监测与质量控制的系统软硬件标准规范，为激光焊接生产制造厂家提供明确的执行依据。

3. 确立激光焊接过程监测与质量控制系统要求：本标准对激光焊接过程中的系统组成与具体要求进行了明确规定。这些规定有助于推动激光焊接过程监测与质量控制技术和装备的发展，促进行业技术水平的整体提升。

## 8.有关专利的说明

本标准不涉及专利。

## 9.关于标准性质

建议作为推荐性团体标准执行，用于激光焊接过程中的熔深、熔池尺寸监测与焊缝追踪等监测手段以及相关质量控制方法的指导和规范，明确过程监测与质量控制过程的相关要求与系统实施方案。