



团 体 标 准

T/CWAN 0162—2025

中厚板免示教编程机器人焊接推荐工艺规范

Recommended welding process specification for medium and heavy plate welding robots

with teach-free programming

2025-12-23 发布

2026-01-01 实施

中国焊接协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语及定义	2
4 符号	3
5 一般要求	3
6 工作流程	4
7 设备系统硬件组成和要求	5
8 控制系统组成和要求	6
9 焊接材料要求	7
10 工艺要求	8
11 焊后检测与返修	10
12 安全	10
附录 A（规范性）中厚板免示教编程机器人焊接推荐工作流程	10
附录 B（规范性）焊接参数数据库建立和完善方法	11
附录 C（资料性）推荐焊接工艺参数举例	12
附录 D（资料性）常见焊接缺陷	13

前 言

本文件按照 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。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：江西昌景航空制造有限公司、渤海船舶职业学院、南昌航空大学、北京博清科技有限公司、启东惠生海工装备有限公司、中焊科技发展（哈尔滨）有限公司、南昌职业大学、河北创力机电科技有限公司、北部湾大学、中国机械总院集团郑州机械研究所有限公司、广西机电职业技术学院。

本文件主要起草人：王善林、李大用、陈玉华、芦颖、邓云发、张世一、谢吉林、张体明、边汉楠、武鹏博、李旭、冯消冰、方自彪、秦建、方乃文、李浩帅、李海龙、张大林、冯志强、牛董山钰、陈昊睿。

中厚板免示教编程机器人焊接推荐工艺规范

1 范围

本文件规定了中厚板钢结构构件的免示教编程机器人焊接的术语和定义、一般要求、焊接系统、机器人系统、视觉系统、总控系统、工艺数据库，焊接材料及焊接工艺要求、焊后检测及安全防护等。

本文件适用于中厚板优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢构件的立位置和横位置的对接及平位置角接接头的焊接。

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 699 优质碳素结构钢
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法
- GB 2893 安全色
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 3607 眼部防护 职业眼面部防护具
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
- GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇
- GB/T 16977 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则
- GB/T 19418 钢的弧焊接头 缺陷质量分级指南
- GB/T 26457 工业机器人 碰撞检测与防护
- GB/T 27551 金属材料焊缝破坏性试验 断裂试验
- GB/T 28526 工业机器人 控制系统技术要求
- GB/T 37665 工业机器人 编程与仿真接口规范
- GB/T 38244 机器人安全总则
- GB/T 39005 工业机器人视觉集成系统通用技术要求
- GB/T 40659 智能制造 机器视觉在线检测系统
- GB/T 45501 工业机器人 三维视觉引导系统 通用技术要求
- JB/T 10825 工业机器人 产品验收实施规范

CB/T 3761 船体结构钢焊缝修补技术要求

HG/T 3728 焊接用混合气 氩—二氧化碳

T/CWAN 0008 焊接术语 焊接基础

T/CWAN 0040 船舶用小组立机器人焊接工艺规范

T/CWAN 0041 船舶用中组立机器人焊接工艺规范

T/CWAN 0062 焊接机器人离线编程规范

3 术语及定义

GB/T 12643和T/CWAN 0008界定的术语及定义及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

视觉单元 visual unit

用于采集目标环境的图像，并对之分析处理以获取目标物相关信息（如几何参数、位置姿态、表面形态及对象质量等）的软硬件系统。

3.2

焊缝寻位 weld seam localization

检测并计算焊缝位置及焊接起点位置、结束点位置。

3.3

大场景3D视觉传感器 large-scale 3D vision sensor

结合光学、算法和电子技术，利用各种原理（如立体视觉、结构光、飞行时间等）计算场景或物体深度信息的装置。通常应用于工业自动化、机器人导航、质量检测、虚拟现实和增强现实等领域。

3.4

2D线激光传感器 2D line laser sensor

一种基于光学原理，用于获取物体表面轮廓、尺寸、位置等信息的精密测量设备。

3.5

主控单元 main control unit

通过执行用户编写的程序对与之相连接的工业设备进行控制的软硬件系统。注：如可编程逻辑控制器（PLC）和高性能计算机。

3.6

远距离视频监控系统 long-range video surveillance system

通过现场高清视频设备实现远距离对现场情况进行精准、实施观测，并能够对关键工艺参数进行调整的系统。

3.7

手眼标定 hand-eye calibration

通过数学建模和优化方法，确定视觉系统相对于机器人的准确位置和姿态，以实现精确地感知与操作的过程。常用于机器人视觉系统中，确保图像数据与实际空间运动一致。

3.8

斜摆角度 swing angle

横焊和平角焊缝焊接时，除打底焊缝外，其余填充和盖面焊缝应采用摆动延长线与焊接方向的反向延长线成锐角的摆动方式进行焊接， θ 角度在 30° - 60° 之间，如下图1所示：

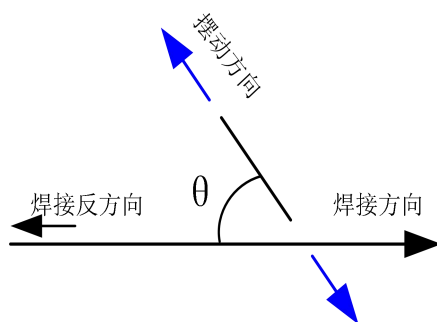


图1 机器人焊接过程斜摆角度示意图

4 符号

表1给出本文件所用到的符号及相应的含义说明。

表1 符号及说明

符号	说明	单位
L	试板长度	mm
δ	母材厚度	mm
θ	斜摆角度	$^{\circ}$
I	焊接电流	A
U	焊接电压	V
V	焊接速度	cm/min
W	摆动幅度	mm
S	摆动长度	mm
t1	左（上）停留时间	s
t2	右（下）停留时间	s
T	道间温度	$^{\circ}\text{C}$
x	TCP坐标中沿焊接方向的位置坐标值	—
z	TCP坐标中沿焊丝方向的位置坐标值	—
y	TCP坐标中垂直x-z平面的位置坐标值	—

5 一般要求

5.1 环境要求

- 5.1.1 系统应避免建设在露天环境中，防止雨、雪等恶劣天气影响设备系统的使用性能。
- 5.1.2 系统应处于相对独立的生产工位，以免其他工位的生产活动对本系统造成干扰或损坏。
- 5.1.3 系统所处施工场地应保持清洁、干燥，防止灰尘、铁屑、水汽等进入设备系统，影响使用寿命。
- 5.1.4 应避免放置保护气体气瓶的区域以及保护气体输送管路靠近高温热源或被烈日暴晒，以免发生爆炸事故。

5.1.5 系统建设环境温度应尽可能保证在0℃以上，确保系统设备正常运行。

5.2 人员要求

5.2.1 操作人员应经过专业培训，取得国家职业技能鉴定机构颁发的焊接机器人操作证。

5.2.2 操作人员和设备维护人员应了解熟悉设备基本构造和功能。

5.2.3 操作人员施工前应熟悉相关工艺文件，施工过程应严格遵守工艺纪律，按照工艺要求进行施工。

5.2.4 控制系统操作员宜具备AWS D16.4规定的技能要求，在上岗前应至少满足以下要求：

- a) 熟悉所使用机器人的基础知识，包括坐标系、零点、机器人运动轴参数等；
- b) 熟悉所使用的焊接机器人的相关操作，包括I/O信号的配置与使用、文件备份、坐标系设置、编程操作，能够独立、熟练地实施人工示教编程，宜具备对应机器人的操作资质；
- c) 熟悉至少1种三维建模软件的操作；
- d) 熟悉所使用免编程示教软件的操作。

5.2.5 系统内操作人员应定期进行焊接、机器人操作、软件操作等方面的培训，具体培训内容应符合T/CWAN 0053的相关要求。

6 工作流程

中厚板免示教编程机器人焊接推荐工作流程参照附录A进行。具体描述如下：

- (1) 系统初始化，各模块启动，等待命令；
- (2) 清枪剪丝，剪丝后，对机器人用于焊接的坐标系统进行校准，并将修正偏差在大场景3D相机和线激光坐标系统进行更新；
- (3) 大场景3D相机拍照，生成结构模型，自动识别待焊焊缝；
- (4) 操作人员对系统自动识别的待焊焊缝进行确认，对不准确的或遗漏的焊缝进行人工识别；
- (5) 焊接顺序自动规划，操作人员优化焊接顺序；
- (6) 操作系统对设备的运动可达性和可能发生碰撞的情况进行后台仿真，并给出可达性处理意见；
- (7) 线激光精准扫描坡口信息，确定起弧点和熄弧点，并对坡口特征信息进行记录；
- (8) 根据坡口特征信息精准抓取焊接工艺数据包；
- (9) 后台对基于多层多道焊枪角度的设备可达性和可能发生碰撞的情况进行后台仿真，并给出可达性处理意见，确保全过程运动可达；
- (10) 可达性检测完毕后，进行保护气体和焊丝重量的检验，确保能够完成本次单道焊缝的焊接；
- (11) 对导电嘴和送丝管等焊接辅助材料进行检测，达到使用要求时长的进行更换；
- (12) 视频监测系统开启，操作人员对视频监控系统的观察范围进行确认；
- (13) 远程遥控空间位置微调 and 参数调整系统检测，操纵人员对该系统进行检测；
- (14) 开始焊接，在焊接过程中，操作人员观察视频监控画面，并实时进行焊枪位置与工艺参数的微调；
- (15) 该道焊缝焊接完成后，采用大场景3D相机进行拍照，对焊后形状和焊前形状进行对比，超差的要及时调整焊接顺序，再进行焊接；

- (16) 对有道间温度、层间温度要求的焊接，要进行温度测量，对超温或温度不足的进行控温处理，达到要求后进行后续焊接；
- (17) 未产生超差变形的，回到（10）进行下一道焊缝的焊接，直到填充层焊接完成；
- (18) 填充层焊接完成后，使用线激光对未完成盖面焊的坡口进行重新扫描，记录特征点，开始盖面焊接，直到盖面焊接完成。

7 设备系统硬件组成和要求

本文件定义的焊接机器人系统硬件基本构成如图2所示，包括机器人运动系统、视觉采集系统、焊接系统、远距离监控等系统。其中机器人运动系统包括:机器人本体、控制系统、示教器，移动装置(选配)和焊接变位机(选配)；视觉系统包括（如图3所示）：大场景3D视觉传感器、2D线激光传感器和末端工具坐标系自动校正系统；焊接系统包括：弧焊电源、弧焊焊枪、末端工装夹具和送丝装置等；远距离监控系统包括：熔池高清摄像系统、空间位置微调系统和焊接参数调整系统等；辅助装置包括:安全防护设施、烟雾净化装置(选配)。

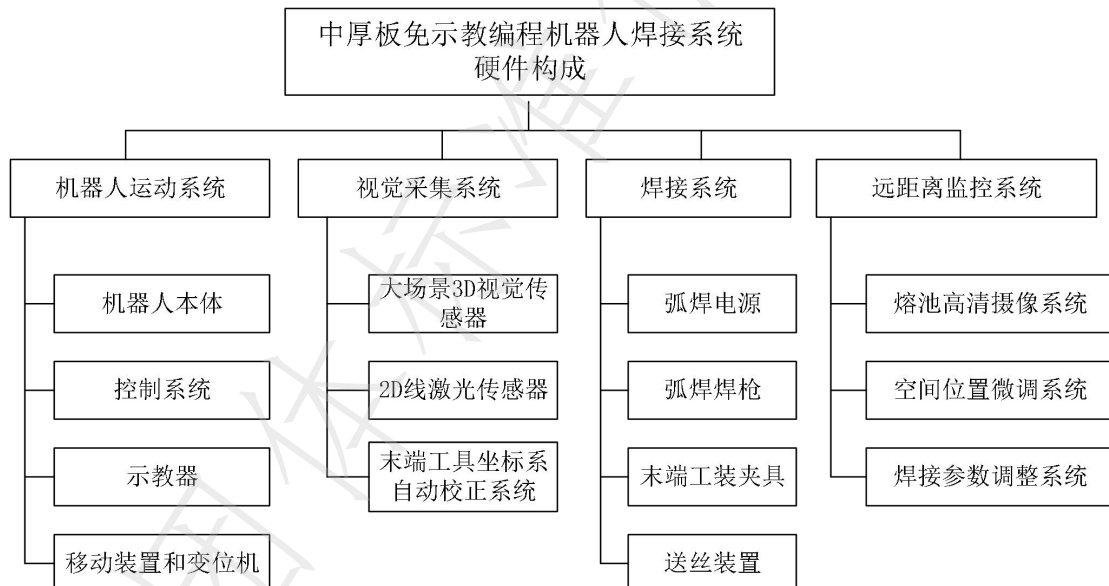


图2 设备系统主要硬件组成

7.1 机器人运动系统

标准6轴机器人，根据具体待焊工件的特点等因素，合理设计或选择移动装置的结构形式，主要有龙门式、悬臂式和坐式结构，一般按照前后、左右、上下三个方向平移和旋转的需求进行组合设计。

7.2 视觉采集系统

7.2.1 大场景3D视觉传感器：能够获取结构的三维空间信息，综合精度控制在0.5 mm左右最佳；

7.2.2 2D线激光传感器：能够获得坡口的具体参数信息，综合精度控制在0.1 mm左右最佳；

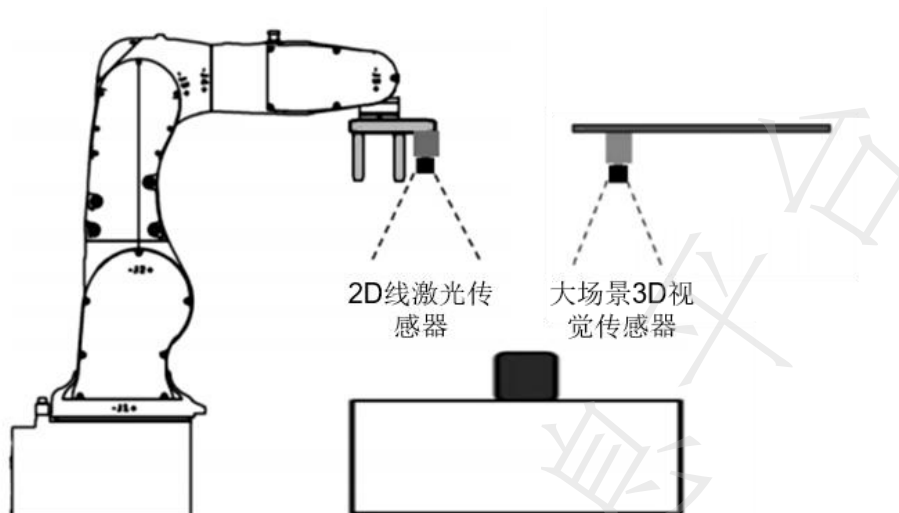


图3 视觉系统构成示意图

7.3 焊接系统

数字化电源，具有直流、脉冲等工艺模式；推荐使用具有推/拉力送丝功能的送丝系统。

7.4 远距离监控系统

7.4.1 远距离焊接过程监测系统

可对焊接过程进行远程同时、同步、准确的监视，包括电弧、熔池、焊丝/钨极、坡口状态等功能；位置可调，可监测焊丝及焊缝位置；显示系统应具有抗弧光功能、高动态性能可清晰观察电弧和熔池功能；引弧和熄弧时，相机参数能自动切换。

7.4.2 远距离焊接规范及焊枪空间位置微调系统

焊接过程能够对由CCD提供的焊接状态进行实时人工调整；能够对焊枪末端进行上下和左右方向的微调；能够对电流、电压等参数进行人工实时调整。

8 控制系统组成和要求

控制系统主要由免示教子系统、多层多道焊接程序开发子系统、机器人焊接数据库子系统、基于实际结构的空间位置快速修正子系统和末端工具TCP坐标系自动校正子系统组成。五个子系统均安装在监控台内的工控机中。系统主要模块及功能如下所述：

8.1 免示教编程系统

该系统主要功能为根据大场景3D视觉传感器和2D线激光传感器获取的工件形位和坡口特征信息，在参数数据库中对焊接顺序和多层多道焊接参数进行调取，结合空间可达性和碰撞仿真及优化结果，自动生成焊接参数的运动轨迹，并将程序下载至机器人系统，准备焊接。

8.2 多层多道焊接程序开发系统

该系统主要用于参数数据库中未覆盖的机器人焊接工艺的制定，该系统可以将操纵人员采用示教编程过程使用的工艺参数和相对位置进行准确的采集和提取（采样频率 $\geq 5\text{Hz}$ ），提取的位置信息应包括但不少于以下2种：

8.2.1 打底焊道焊接时，能够采集焊枪TCP相对于坡口特征点的空间相对信息。

8.2.2 多层多道填充盖面时，能够采集焊枪TCP相对于打底焊道焊枪TCP的空间相对信息。

8.3 机器人焊接数据库

8.3.1 焊接顺序：能够给出相同或类似结构的焊接顺序。

8.3.2 焊接和位置参数：

- 1) 每种坡口要素下焊道排布；
- 2) 每道焊缝的焊接电流、焊接电压、焊接速度、摆动形式、摆动过程两侧停留时间、焊枪末端TCP相对坡口特征点的空间姿态等焊接和运动参数。

8.3.3 多层多道焊缝每道焊缝相对于第一道（打底焊缝）焊接时焊枪末端TCP的空间位置偏移量。

8.3.4 道间或层间温度要求。

8.4 基于实际结构的空間位置快速修正系统

采用匹配、特征识别或机器学习等方法对三维视觉传感器提供的图像数据进行处理运算，包括图像预处理、识别定位等。

- a) 三维图像预处理：对采集的三维图像进行初步处理，优化和改善对识别有影响的三维图像质量指标，图像预处理中的优化和改善算法包括点云化、几何变化、平滑和去噪等。
- b) 识别定位：将完成图像预处理的数据输入到训练好的识别模型中进行计算，或采用点云匹配等技术进行计算，输出识别定位的结果，该结果通常包括物体的类型、空间位姿、尺寸等信息。本系统也包括利用手眼标定中的坐标转换关系进行位姿变换。

8.5 末端工具 TCP 坐标自动校正系统

该系统能够对发生偏移的末端工具TCP坐标进行快速识别和自动校正，并将修正偏差结果反馈到视觉系统，进行同步修正。

9 焊接材料要求

9.1 焊丝

9.1.1 定位焊（氩弧焊）和多层多道焊接（熔化极气体保护焊）应选用实心焊丝，所用的实心焊丝应符合GB/T 8110中的技术要求或其他力学性能相当的标准的要求。或者使用方采用自己行业领域要求的配套实心焊丝。

9.1.2 焊丝在焊接生产应用前，应经过相关的焊接工艺评定和入场复检试验，并取得第三检验方认可。

9.1.3 焊丝应保持干燥、清洁，无其他杂物污染。

9.1.4 焊丝在使用过程中，应保证其标签完好，以备查证。

9.2 焊条

9.2.1 返修用的焊条应符合GB/T 5117、GB/T 5118相关要求或其他力学性能相当的标准的要求。

9.2.2 焊条使用前应按照说明书推荐要求进行烘焙，领用的焊条应采用能保持良好保温性能的保温筒保温，随用随取。

9.3 保护气体

9.3.1 保护气体可采用80%Ar+20%CO₂ 或95%Ar+5%CO₂ 混合气体。混合气体应符合HG/T 3728中II类技术指标要求，CO₂气体应符合GB/T 6052中焊接用CO₂气体的技术指标要求。

9.3.2 保护气体应干燥处理。

9.3.3 采用瓶装保护气体进行焊接时，应采取适当的防冻或加热措施。

10 工艺要求

10.1 工件要求

10.1.1 待焊工件焊缝主要包括立对接、横对接和角接焊缝。

10.1.2 待焊构件应尽量减少曲边、折边等形式，尽可能减少能够导致焊枪或机械臂干涉的因素。

10.2 坡口要求

10.2.1 焊接坡口应设计为双面对称坡口形式，坡口加工推荐使用机械冷加工方式。

10.2.2 坡口的设计应该具有明显的拐点，确保视觉系统的精准识别。

10.2.3 待焊坡口内应平整、光洁、无毛刺、裂纹、氧化皮、油污及锈斑等，表面粗糙度Ra≤25 μm。

10.2.4 针对钢结构立对接、横对接和角接等焊接位置，现推荐采用的坡口形式见图4~图6，坡口适用范围为10 mm≤δ≤50 mm。

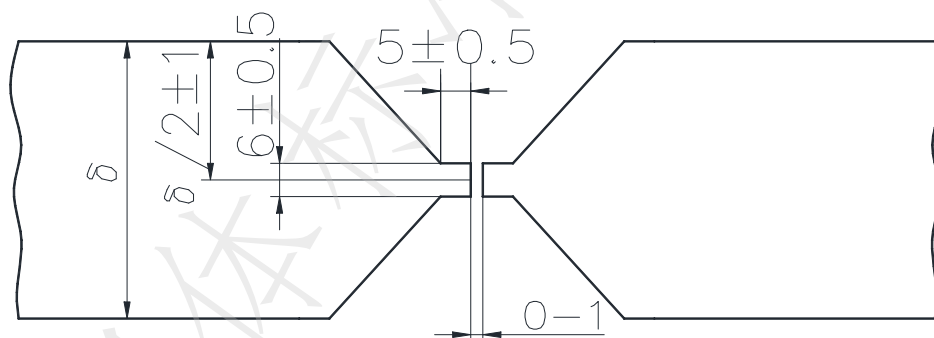


图4 立对接坡口形式

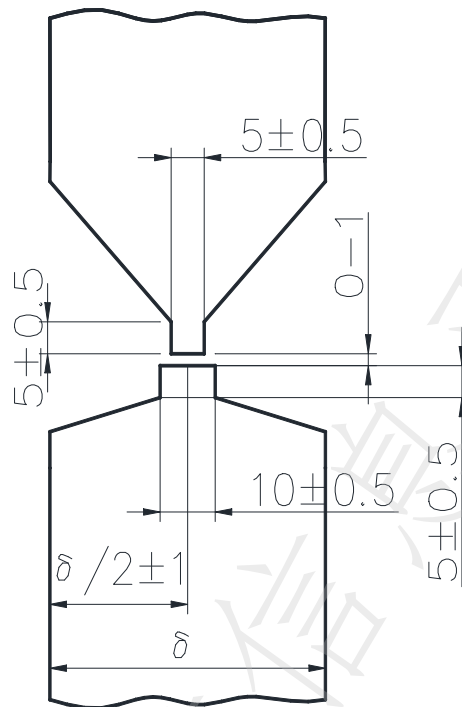


图5 横对接坡口形式

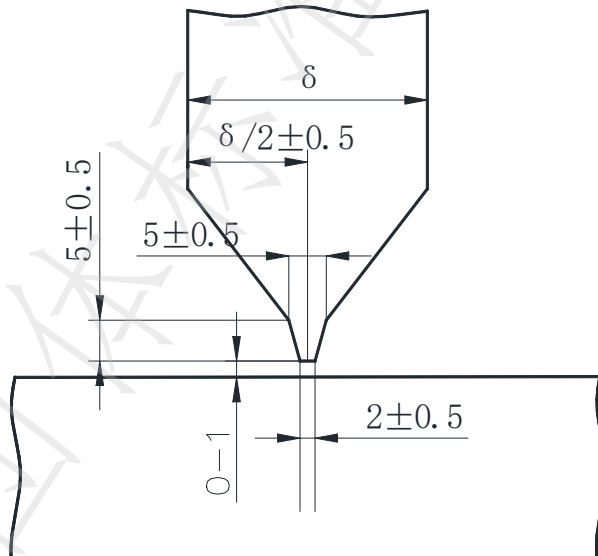


图6 角接坡口形式

10.3 装配要求

10.3.1 构件装配前，应将待焊位置及其附近20 mm~30 mm范围内的锈蚀、油污、割渣、毛刺、氧化层等对焊接质量有影响的杂物进行清理。

10.3.2 坡口边缘向外30mm粗糙度 $\leq 25\mu\text{m}$ 。

10.3.3 构件装配间隙宜控制在0 mm~1 mm之间。

10.3.4 构件装配的定位焊应采用钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊实施，定位焊用焊接材料力学性能等级应与焊接生产用焊接材料力学性能等级相当。不能够使用焊条电弧焊方法进行定位。

10.3.5 对于需要全熔透的根部焊缝，定位焊焊接时应按照根部正式焊缝进行焊接，并作为正式焊缝保留在焊缝中，定位焊尽量焊接在第一道焊缝的另一侧。

10.3.6 构件装配的定位焊缝长度一般控制在30 mm~50 mm之间，焊脚尺寸和宽度与打底焊缝尺寸一致，焊缝间距控制在500 mm~600 mm之间。

10.3.7 定位焊缝不应存在裂纹、夹渣、气孔、咬边、弧坑等焊接缺陷。

10.3.8 定位焊缝的焊渣、飞溅、焊瘤等在装配完成后应打磨清理干净。

10.4 焊接

10.4.1 三维扫描开始后，直至构件中所有焊缝焊接完成前，应确保构件处于刚性固定和静止状态，避免构件发生位移而造成构件三维检测信息的误差。

10.4.2 为了避免终端热量过于集中而影响焊缝成形，焊接过程应合理布置焊接顺序，并将该顺序在参数数据库中进行补充完善。

10.4.3 为了提高焊接效率，减少焊接变形，推荐采用两台焊接机器人以对称焊接方式施焊。

10.4.4 若焊接数据库有所缺失，应由设备厂家服务工程师或技术部门专业工程师根据所需工况进行调试和试验，并将得到的新参数在参数数据库中进行补充完善。焊接工艺参数获取方法见附录B。若新录入的焊接工艺参数不在已有焊接工艺认可范围，在项目应用前应重新获取第三检验方的认可。

10.4.5 焊接规范参数的选择应根据工艺要求在数据库中选择调用，焊接工艺推荐规范参数举例见附录C。

10.4.6 焊接过程发生故障而中止时，应将正在焊接的构件标记为焊接完成，并进行下一个构件的焊接生产，避免影响后续构件焊接生产节拍。因中断而未完成焊接的构件可采用手工、半自动或机器人示教的焊接方式继续完成焊接。

11 焊后检测与返修

11.1 构件送出焊接工位后，对焊缝周围的飞溅和焊渣进行清理，再采用目视检验方法对焊缝表面进行外观检验。常见焊接缺陷参见附录D。

11.2 焊缝外观质量应满足生产行业或领域的相关检验要求或其他相当标准的要求。

11.3 检测人员检测出来的所有缺陷，应做明显标识，并反馈给返修人员。

11.4 焊缝返修应按生产行业或领域的返修要求执行。

12 安全

12.1 人员安全

12.1.1 进入机器人生产区域的所有人员，应遵循设备管理规定，穿戴好劳动保护用品。

12.1.2 不能接近强磁场的人员应远离设备和电缆。

12.1.3 施工人员应熟悉设备运行环境布局，并随时关注设备运行状态，防止发生砸伤、挤伤、摔伤、烫伤等安全事故。

12.1.4 辊道在进行构件转运时，所有人员不应站在辊道和构件上。

12.1.5 没有经过专业培训的人员不应打开设备机壳维修设备。

12.1.6 生产管理人员应做好交叉作业的管理工作，做好事故防范措施。

12.2 设备安全

12.2.1 机器人接线应由专业电工操作，接好保护地线，电源箱应有漏电保护功能。

12.2.2 所有电器接头及电缆接线柱应具有良好的导电作用，如电器接头及电缆接线柱发生生锈、断裂等现象时应及时更换。

12.2.3 机器人工作时应保证设备通风畅通，通风口应远离墙壁等障碍物。

12.2.4 机器人焊接过程输出电流较大，焊接过程不能徒手触摸其电源线、焊枪等，避免发生触电、烫伤等安全事故。

12.2.5 机器人及其周围应具有安全警示牌、安全警戒线等明显的安全标识。

12.3 环境安全

12.3.1 机器人施工前，生产相关管理人员应进行环境安全确定，并实施监护。

12.3.2 起重设备吊运的重物，不应从机器人上方经过，以防发生意外而出现重物砸坏设备的现象。

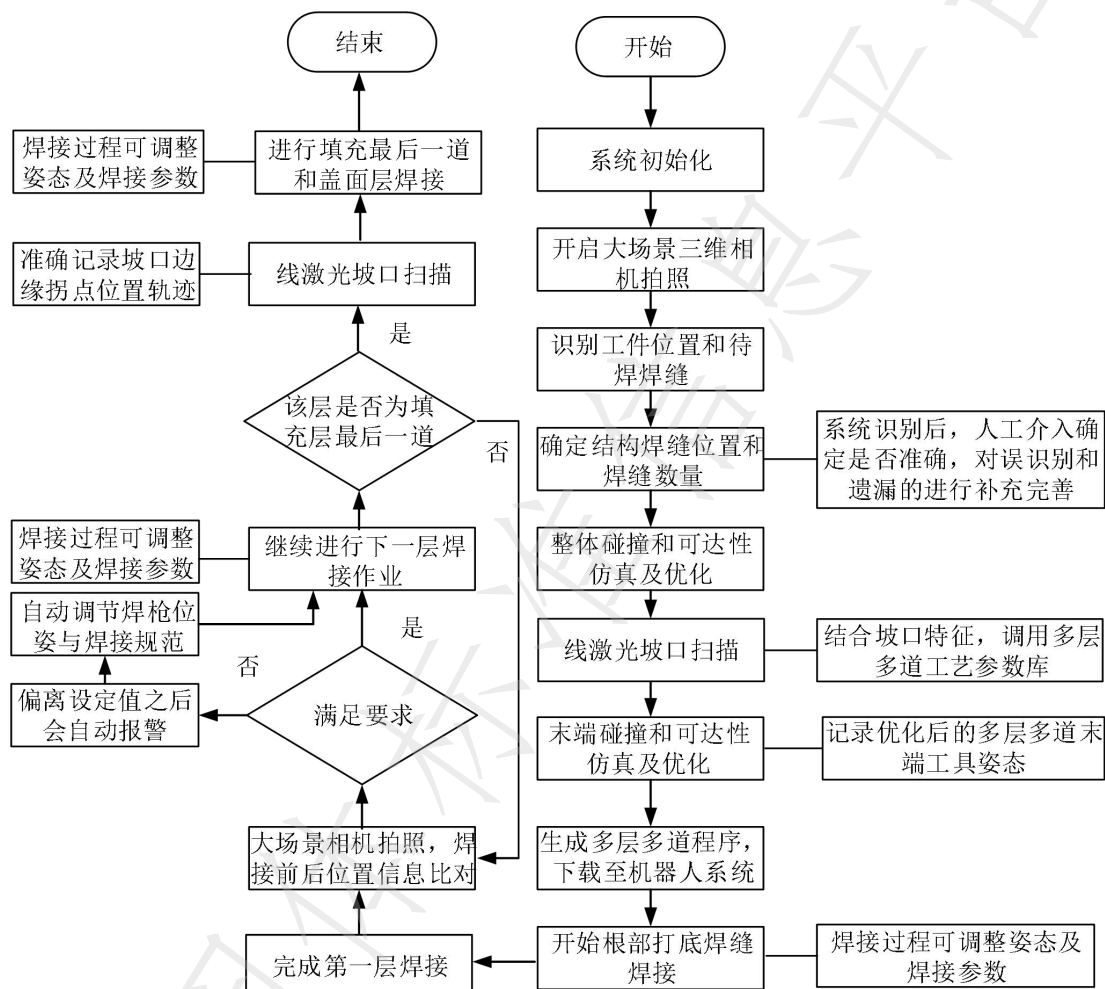
12.3.3 装配、打磨、气刨、补焊等作业应在远离机器人的安全范围内实施，或应采取有效的防尘、防飞溅等措施。

12.3.4 安全警告标志

产品在安装固定后,应设置有关的注意事项和警告标志。该标志的大小和位置应能使在危险区外面的人员清晰地看到。标志的颜色、尺寸及印刷形式应符合GB 2893和GB 2894及其使用导则的规定。

附件A
(推荐性)
中厚板免示教编程机器人焊接推荐工作流程

中厚板免示教编程机器人焊接推荐工作流程如图 A.1 所示。



图A.1 中厚板免示教编程机器人焊接推荐工作流程

附件B
(推荐性)

焊接参数数据库建立和完善方法

准备:

- (1) 使用与实际结构同材质、规格的母材，焊材和保护气体；
- (2) 试板长度 L 应不小于 800mm，试板应准备不少于 3 副；
- (3) 焊接应该在与生产相同的软硬件下完成；
- (4) 坡口形式与装配要求应与实际产品要求一致。

焊接参数提取:

焊接参数提取由人工示教编程机器人焊接过程获得，主要应包括以下参数：

- (1) 线激光扫描获得的坡口特征点及形状信息；
- (2) 焊接位置和焊接顺序；
- (3) 使用工艺参数和工具末端相对姿态快速提取系统，记录打底焊缝相对于坡口特征点的相对位置，打底焊道焊接规范参数（电源极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度、是否有摆动，摆动形式，摆动两侧的停留时间，送丝速度、保护气体流量等），如表 B.1 所示；

B.1 焊接参数数据库建立和完善方法

编号	焊接位置	工艺参数									位置参数		
		斜摆角度 θ	电流 I	电压 U	速度 V	摆动幅度 W	摆动长度 S	左(上)停留时间 t1	右(下)停留时间 t2	道间温度 T	x	y	z
1	根部打底												
2	填充焊道												
												
3	盖面												
												

(4) 使用工艺参数和工具末端相对姿态快速提取系统，记录填充和盖面焊缝相对于打底焊缝的相对位置，焊接规范参数（电源极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度、是否有摆动，摆动形式，摆动两侧的停留时间，送丝速度、保护气体流量等），如下表所示；

- (5) 焊前预热、道间或层间温度；
- (6) 施焊环境的温湿度。

有效性确认:

- (1) 由人工示教的试板焊接完成后，按照相应的要求进行无损检测；
- (2) 无损检测合格后，将 B.2 中数据在参数数据库的焊接参数指定模块进行录入；
- (3) 对第二幅试板进行装配，使用录入的新工艺参数，进行免示教全流程焊接；
- (4) 焊接完成后，进行无损检测，合格后，按照要求进行力学性能等试验，合格后，对形成的焊接参数进行固化，可以进行数据库导入。

数据库录入:

(1) 录入到实际产品使用的数据库后，使用第三幅试板进行真实环境验证试验，焊后，分别进行无损检验和力学性能验证，合格后，方可进行正式产品的焊接。

附件 C
(资料性)
推荐焊接工艺参数举例

结构形式:

平位置角接结构。

材质及规格:

40mm 厚的 Q345。

坡口要素:

机械加工的双面对称坡口，如图 4、图 5 和图 6 所示。

焊丝及规格:

Φ1.2mm 的 ER50-6。

保护气体及气体流量:

保护气体：80%Ar+20%CO₂，气体流量：20-25L/min。

工艺参数如表 C.1 所示。

C.1 推荐焊接工艺参数

编号	焊接位置	工艺参数							
		斜摆角度θ (°)	电流 I (A)	电压 U (V)	速度 V (cm/min)	摆动幅度 W (mm)	摆动长度 S (mm)	立板停留时间 t1 (s)	底板停留时间 t2 (s)
1	根部打底	0	150-170	22-24	0.20	4.0-4.5	3-3.5	0.1	0.1
2	填充焊道	45°	135-155	22-24	0.25	5.0-5.5	5-5.5	/	0.2
3	盖面 (除最后一道)	60°	150-170	22-26	0.20	3.5-4.5	4-4.5	0.1	0.1
4	盖面 (最后一道)	60°	110-130	19-22	0.30	5-6.5	4.5-5	0.1	0.1

附件 D
(资料性)
常见焊接缺陷

常见焊接缺陷及防止措施如表 D.1 所示。

D.1 常见焊接缺陷及防止措施

缺陷名称	产生原因	防止措施
咬边	(1) 焊接电压过高 (2) 焊枪角度、位置不当 (3) 设备扫描数据偏差	(1) 选择合适的焊接参数 (2) 焊前注意检查和调整焊枪位置、角度 (3) 及时更换导电嘴
气孔	(1) 焊丝、焊接区存在油污、水分、铁锈等 (2) 车间底漆干膜厚度过大, 或车间底漆不具备可焊性能 (3) 保护气流量过大或过小 (4) 保护气中水分含量超标	(1) 严格进行焊前清理工作 (2) 严格控制车间底漆厚度, 或焊前清理车间底漆 (3) 选择合适的气体流量 (4) 采用经过干燥处理的保护气体 (5) 注意防风保护
焊瘤	(1) 焊枪角度、位置不当 (2) 焊接电流不当	(1) 焊前注意检查和调整焊枪位置、角度 (2) 选择合适的焊接参数
裂纹	(1) 焊丝、焊接区存在油污、水分、铁锈等 (2) 装配的根部间隙过大	(1) 焊前更换表面干净的焊丝, 严格清理焊接区域及其附近的污物 (2) 按照工艺要求严格控制装配的根部间隙 (3) 预热、道间温度或后热制度执行不到位
断焊	(1) 未扫描到焊缝 (2) 设备送丝系统故障 (3) 焊丝余量不足	(1) 对比扫描数据和构件, 检验扫描系统 (2) 焊前检查和维修送丝系统 (3) 焊前提前更换焊丝