

ICS 25.160.01  
CCS J 33



CWA

# 团 体 标 准

T/CWAN 0062—2023

## 焊接机器人离线编程规范

Specification for welding robot off-line programming

2023-12-27 发布

2024-02-01 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 术语和定义 .....	1
4 人员要求 .....	2
5 工作流程 .....	5
6 工作站信息获取 .....	2
7 离线场景搭建 .....	3
8 校准 .....	5
9 寻位 .....	6
10 焊接 .....	8
11 程序验证 .....	10
12 程序导出 .....	11
13 现场调试 .....	11
14 过程注意事项 .....	12
附录 A（资料性）常用机器人及离线编程软件 .....	13
附录 B（资料性）焊接机器人离线编程工作流程图 .....	14
参考文献 .....	15

## 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。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：江苏徐工工程机械研究院有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、南京埃斯顿电气有限公司、哈尔滨职业技术学院、卡尔克鲁斯机器人科技（中国）有限公司。

本文件主要起草人：纪昂、王灿、张立平、黄瑞生、何志军、樊志伟、武鹏博、彭根琛、滕彬、鞠青辰、周坤、杨帆、邹吉鹏、张贵芝、孙徕博、孟政宇、曹浩、方乃文、朱闯。

# 焊接机器人离线编程规范

## 1 范围

本文件规定了焊接机器人离线编程涉及的人员要求、工作流程、工作站信息获取、离线场景搭建、校准、寻位、焊接、程序验证、程序导出、现场调试和过程注意事项等内容。

本文件适用于弧焊焊接机器人。

## 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 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 38244 机器人安全总则

T/CWAN 0053 机器人焊接技能培训规范

## 3 术语和定义

GB/T 12643 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**附加轴** extra axis

与机器人关节轴串联使用的轴，可用于实现机器人整体位置的调整，一般与机器人划分至同一组别。

### 3.2

**外部轴** outer axis

用于实现工件位姿调整的移动轴，运动时不影响机器人的位置，一般与机器人划分至不同的组别中。

### 3.3

**机器人离线编程员** robot off-line programming personnel

从事机器人离线编程工作的技术人员。

### 3.4

**机器人专用离线编程软件** exclusive robot off-line programming software

仅适用于一款机器人的离线编程软件，具体见附录 A。

### 3.5

**机器人通用离线编程软件** non-exclusive robot off-line programming software

可适用于多款机器人的离线编程软件，具体见附录 A。

## 4 人员要求

4.1 机器人离线程序员宜具备 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) 熟悉所使用离线编程软件的操作。

4.2 机器人离线程序员应定期进行焊接、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 的要求。

## 5 工作流程

焊接机器人离线编程工作流程宜参照附录 B 进行。

## 6 工作站信息获取

### 6.1 工作站基本信息

机器人离线程序员在实际现场应收集以下工作站基本信息：

- a) 处于零点状态时各轴的位置、基本尺寸以及标尺偏差程度；
- b) 各轴的运动方向，包括机器人的附加轴和外部轴；
- c) 机器人的品牌和型号；
- d) 焊枪、防碰撞传感器以及焊枪支架的型号和基本尺寸；
- e) 清枪后焊丝的伸出长度。

### 6.2 机器人参数信息

6.2.1 机器人离线程序员在实际现场应收集以下机器人参数信息：

- a) 世界坐标系的参数；
- b) 工具坐标系的参数；
- c) 用户坐标系的参数；
- d) 机器人 6 个轴的运动范围，尤其是 1 轴和 6 轴；
- e) 机器人有无设置倒挂；
- f) 焊接寻位检测的 I/O 信号接口编号；
- g) 外部轴的控制方式；
- h) 机器人与外部轴是否设置联动。

6.2.2 如果机器人条件允许，机器人离线程序员可将机器人的系统及程序文件进行备份并加载至机器人匹配的专用离线编程软件中，同时应保证 6.2.1 中的参数可在机器人专用离线编程软件中直接获得。

### 6.3 现有程序参考信息

6.3.1 如果是首次处理某一工件的离线编程工作，机器人离线编程员宜在现场记录相似工件的寻位、焊接轨迹、姿态以及顺序等。

6.3.2 如果条件允许，机器人离线编程员宜在机器人专用离线编程软件上建立工作站的基本场景，并加载工作站数据文件，实现在软件端直接查看机器人的相关信息以及现有程序的轨迹、路径规划等内容。

### 6.4 校准所需信息

校准所需信息应依据实际情况进行确定，如果现场变位机及工件均具备，则可依据6.4.1和6.4.2提取校准所需的信息，如果工件和/或变位机不具备，则可待条件满足后重返工作站现场提取校准所需信息。

#### 6.4.1 外部轴校准

6.4.1.1 机器人离线编程员应在现场提取外部轴校准所需的点位信息。

6.4.1.2 外部轴校准取点前应将工件安装固定到位，尤其是头尾架变位机。

6.4.1.3 机器人离线编程员应在外部轴的旋转部件上选择一个易于精准定位的特征点，如果无合适的特征点，可取一针状物通过磁铁吸附固定在部件上。

6.4.1.4 校准取点时，机器人离线编程员应新建一个程序，外部轴每旋转一定角度后记录一次点位，应按离线编程软件要求的次数进行取点记录。记录过程中宜对取点位置和焊枪姿态进行拍照记录。

6.4.1.5 如果有多个外部轴，应在所有外部轴恢复到零位后，再针对其它轴重复同样的操作。

6.4.1.6 点位信息提取完成后，应将包含点位的程序导出备用。

#### 6.4.2 工件校准

6.4.2.1 机器人离线编程员应在现场提取工件校准所需的点位信息。

6.4.2.2 机器人离线编程员应在工件的四周选择易于分辨和定位的位置进行取点记录，记录点位数应不小于4个。

## 7 离线场景搭建

离线场景搭建的具体流程视所选取离线编程软件来定，但主要流程中应包含以下内容。

### 7.1 模型导入

工作站的模型应在三维软件中以离线编程软件支持的格式导出。将模型导入后，离线编程软件中的模型应与三维软件中的模型保持一致，无缺漏、分散、变形等问题。

### 7.2 模型简化

7.2.1 模型导入后，机器人离线编程员应将模型进行简化，删除多余部件，例如：围栏、挡烟帘等。

7.2.2 以下部件不应进行简化：

- a) 附加轴的底座及各个运动部件的主体结构；
- b) 附加轴的各个运动轴的零点标记；
- c) 外部轴的底座及各个运动部件的主体结构；
- d) 外部轴的各个运动轴的零点标记；

- e) 机器人底座部件以及垫块；
- f) 焊枪、防碰撞传感器以及焊枪支座。

### 7.3 模型核查与初步调整

机器人离线编程员应对模型进行核查和确认，在离线编程软件中，应使用测量工具测量模型中主要部件及其之间的基本尺寸，并与现场测量的结果进行对比和初步调整，具体包括：

- a) 工作站的整体形态；
- b) 附加轴零点标记与端部之间的距离；
- c) 变位机的基本尺寸；
- d) 变位机与附加轴底座之间的距离；
- e) 焊枪、防碰撞传感器以及焊枪支架的型号和尺寸。

### 7.4 模型分组

7.4.1 机器人离线编程员应按照现场机器人的控制分组方式对软件中的模型进行分组。一般附加轴宜与机器人的各关节轴分为一组，外部轴一般按设备单独成组。

7.4.2 不同组别的模型在软件中应区别定义，宜采用不同的颜色进行区分。

### 7.5 附加轴

7.5.1 机器人离线编程员应在软件中按照由附加轴底座到机器人安装法兰的方向进行附加轴运动部件划分，相对不运动的部件应合并为一个整体，并依次按运动逻辑定义各运动部件的运动方向、旋转轴中心以及运动范围。

7.5.2 附加轴机器人安装法兰处宜根据机器人的实际情况对机器人的摆放位置进行坐标系设定。

### 7.6 变位机

7.6.1 机器人离线编程员应在软件中按照由外部轴底座到工件安装台面的方向进行外部轴运动部件划分，相对不运动的部件应合并为一个整体，并依次定义各运动部件的运动方向、旋转轴中心以及运动范围。

7.6.2 外部轴末端工件安装台面上宜对工件放置的位置或坐标系进行设定。

### 7.7 机器人

7.7.1 机器人离线编程员宜从软件自带的资源库中将定义好的机器人导入到工作场景中，可采用“坐标系数值定义”、“拖动工具”、“坐标系重叠/重合”等方法将机器人固定在附加轴机器人安装法兰上，并进行机器人位置的调整。

7.7.2 当软件自带的资源库中没有对应型号的机器人时，应根据机器人实际的运动轴参数自行建立机器人模型。

### 7.8 焊枪

7.8.1 机器人离线编程员应对焊枪进行定义，包括与机器人连接的焊枪法兰端以及焊枪的 TCP。

7.8.2 焊枪的 TCP 应按图 1 所示的方向进行定义，其中 Z+ 应是焊丝回丝方向，Y 轴应垂直于焊枪支架。

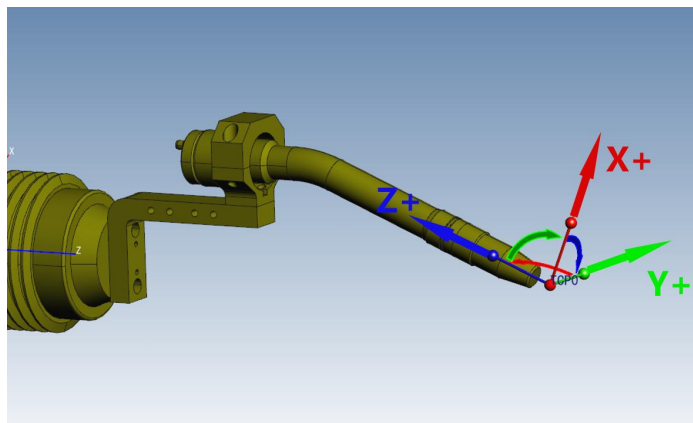


图1 焊枪TCP定义的方向要求

7.8.3 定义完成后的焊枪可采用“坐标系数值定义”、“拖动工具”、“坐标系重叠/重合”等方法与机器人六轴法兰末端进行装配，并进行位置姿态的调整。

## 7.9 工件

根据计划安排，机器人离线编程员应核查工件模型的准确性，并核对模型与对应工序下结构件形式的一致性。工件确定后，机器人离线编程员应将工件导入并调整至外部轴工件安装台面上，工件的大致位置应与实际环境保持一致。

## 7.10 轴对应关系设置

机器人离线编程员应在离线编程软件中设定机械单元的轴与控制系统中轴的对应关系，实现在“点动”状态下，机器人可实现对附加轴和外部轴的控制。

## 7.11 碰撞检测的设置

机器人离线编程员应在离线编程软件中设置碰撞检测功能，一旦部件之间发生碰撞，应高亮显示碰撞部件和碰撞位置。

## 8 校准

机器人离线编程员宜在编程前完成 TCP、附加轴、外部轴以及工件的校准，当条件不允许时，可将以上校准环节安排在编程之后。任何情况下，校准环节应在导出程序前完成。

### 8.1 TCP 校准

8.1.1 机器人离线编程员应将现场实际的 TCP 参数输入到软件中，查看焊枪的姿态是否正常，如果姿态或者 TCP 位置存在明显异常，则应仔细检查以下方面：

- a) 场景搭建环节中机器人相关参数的设置是否正确；
- b) 焊枪型号是否正确；
- c) 焊枪与机器人连接的法兰端坐标系设置是否正确；

8.1.2 如果焊枪姿态、TCP 角度和位置仅存在小范围偏差，则可忽略不计。

### 8.2 附加轴校准

8.2.1 一般不直接进行附加轴的校准，机器人离线编程员宜采用用户坐标系的方式来代替附加轴的校准。

8.2.2 使用用户坐标系代替附加轴校准的前提条件包括以下内容：

- a) 机器人的零点位置精度较高；
- b) 外部轴已完成校准；
- c) 工件已完成校准，工件上特征点位在软件中的坐标数据要与工件在实际场景全局坐标系下的坐标数据一致。

8.2.3 如果工件长度方向尺寸小于 3 m，用户坐标系原点宜设定在外部轴工作台面或工件上。如果工件长度方向尺寸大于 3 m，宜在工件上设置多个用户坐标系。

8.2.4 软件中用户坐标系各轴的方向宜与实际场景的全局坐标系保持一致。在软件中建立用户坐标系后，应在实际场景中按相同位置和方向建立用户坐标系。

### 8.3 外部轴校准

8.3.1 机器人离线程序员应对场景中的外部轴进行校准。

8.3.2 机器人离线程序员应依据 6.4.1 的要求在实际场景中进行取点操作，并将现场获得的包含点位信息的程序导入到软件中，使用软件自带的相关功能或者其它辅助分析工具实现偏差计算以及各轴位置的调整。

### 8.4 工件校准

机器人离线程序员应依据 6.4.2 的要求在实际场景中进行取点操作，并将现场获得的包含点位信息的程序导入到软件中，使用软件自带的相关功能或者其它辅助分析工具实现偏差计算以及工件位置和角度的调整。

## 9 寻位

机器人离线程序员应依据离线编程软件提供的功能实现焊接寻位轨迹程序的编制，如果前期已有类似结构件的机器人程序，可将相关备份文件及数模导入到机器人专用软件中，并对照着进行寻位轨迹的设置。

### 9.1 程序结构

9.1.1 寻位程序宜以子程序的形式进行编制，某一角度或者某一区域下的程序宜编制为一个子程序。

9.1.2 程序编制时应遵循少走或不走无用轨迹的原则，每个寻位点宜设有寻位安全点、寻位接近点、寻位开始点和寻位接触点。

9.1.3 程序应多做注释，尽可能多地展示相关信息。

### 9.2 寻位装置

机器人离线程序员应根据实际情况选择寻位装置，包括焊丝接触寻位，保护气罩接触寻位，点激光寻位，线激光寻位等。当采用激光寻位时，宜依据厂家的技术要求进行寻位参数、路径以及模板等内容的确定。

### 9.3 寻位数量及方向

机器人离线程序员应根据结构件的特点、坐标系以及电弧跟踪的匹配设置选择寻位的数量和方向。

常见的寻位数量及方向见图2。

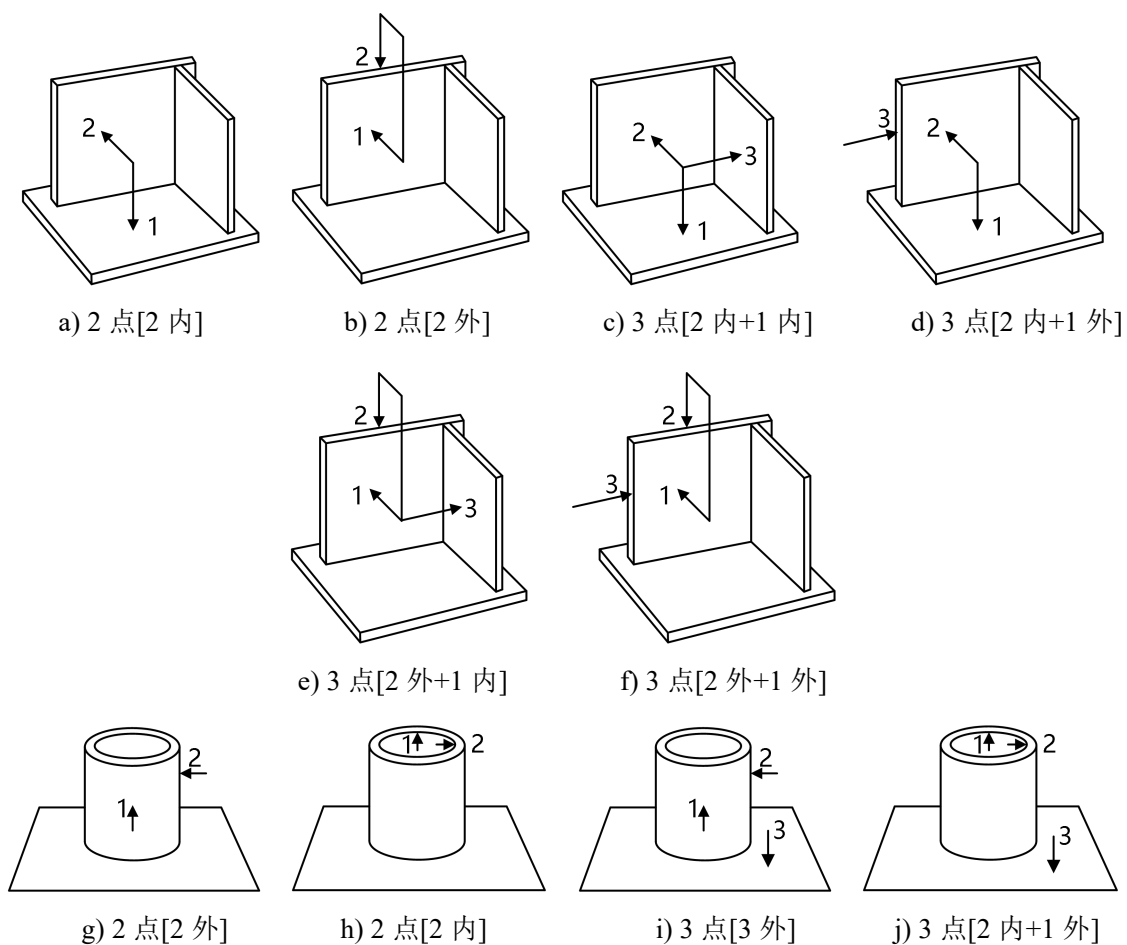


图2 常见的寻位数量及方向

#### 9.4 寻位参数

机器人离线编程员应根据结构件的特点和焊枪的姿态调整寻位参数，主要包括：

- a) 寻位的参考/用户坐标系；
- b) 寻位的工具坐标系；
- c) 机器人姿态形式；
- d) 寻位时机器人的法向轴和定向轴；
- e) 寻位距离，见图3a；
- f) 焊枪扭转的角度，见图3b；
- g) 焊枪围绕焊丝的旋转角度，见图3c；
- h) 焊枪与结构件之间的角度，见图3d；
- i) 焊枪倾斜的角度，见图3e。

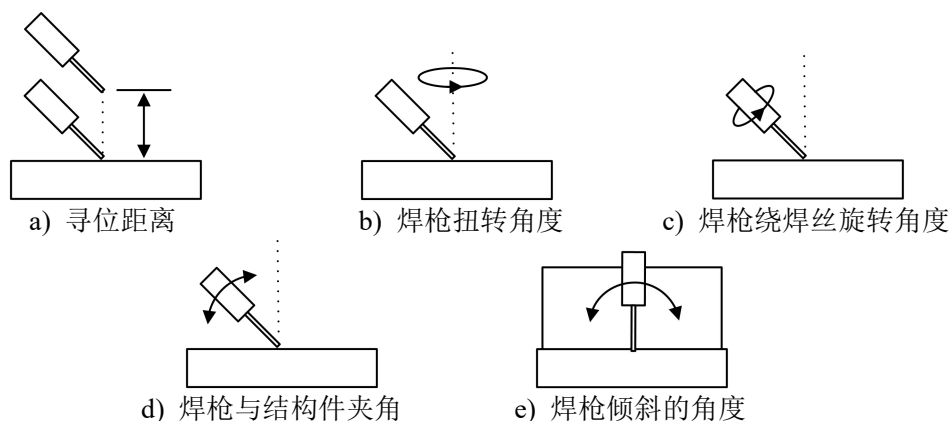


图3 寻位参数

## 9.5 寻位路径

机器人离线编程员在选择寻位点位后，应及时检查软件生成的寻位路径，避免焊枪沿寻位路径移动时与工件发生碰撞。

## 9.6 寻位编号

9.6.1 机器人离线编程员应按照顺序对寻位位置进行编号，同时宜做好编号标记。

9.6.2 如果条件允许，可通过软件实现寻位位置的自动编号。

## 9.7 寻位模板

机器人离线编程员在编程之初宜针对结构件的主要特点建立多个寻位模板，模板中包括已优化的寻位路径、姿态等信息，并在后续编程中通过加载模板来实现寻位路径的快速建立。

## 10 焊接

机器人离线编程员应依据离线编程软件提供的功能实现焊接轨迹的编制，如果前期已有类似结构的机器人焊接程序，可将相关备份文件及模型导入到机器人专用离线编程软件中，并对照着进行焊接轨迹程序的编制。

### 10.1 程序结构

10.1.1 焊接程序宜以子程序的形式进行编制，某一角度或者某一区域下的程序宜编制于一个子程序。

10.1.2 程序编制时应遵循少走或不走无用轨迹的原则，每条焊缝宜设有安全点、接近点、焊接开始点和焊接收弧点。

10.1.3 程序编制过程中应做注释，包括焊缝及工件的相关信息。

### 10.2 焊缝的选择

10.2.1 机器人离线编程员应可通过鼠标直接选择焊缝位置，选取的方式应可调整，包括选择两部件相交位置、部件外边缘等。

10.2.2 机器人离线编程员应可通过设置诸如过焊孔尺寸、步长、间隙等参数来约束焊缝的起止位置。

10.2.3 机器人离线编程员应可通过设置焊缝的总长、最大拐角角度来约束焊缝的起止位置。

### 10.3 路径设置

机器人离线编程员应可灵活地设置以下参数：

- a) 焊接轨迹的参考/用户坐标系；
- b) 焊接轨迹的工具坐标系；
- c) 机器人姿态形式；
- d) 焊接轨迹中机器人 TCP 的法向轴和定向轴。

#### 10.4 寻位匹配

机器人离线编程员应将起、收弧位置对应的寻位轨迹编号匹配到焊缝的点位中，每条焊缝中宜至少匹配一个寻位轨迹。

#### 10.5 姿态调整

机器人离线编程员应根据结构件特点和碰撞检测结果调整焊枪的姿态，可设置的参数包括：

- b) 焊枪围绕焊丝的旋转角度，见图 4a；
- c) 焊枪与结构件之间的角度，见图 4b；
- d) 焊枪倾斜的角度，见图 4c；
- e) TCP 沿焊丝方向的偏移距离，见图 5a；
- f) TCP 沿立板方向的偏移距离，见图 5b；
- g) TCP 沿底板方向的偏移距离，见图 5c；
- h) 焊缝起始/结束位置偏移；
- i) 拐角起/终点倾斜角度 $\alpha$ ，见图 6；
- j) 拐角起/终点距离  $d$ ，见图 6；
- k) 拐角起/终点线偏移  $h$ ，见图 6。

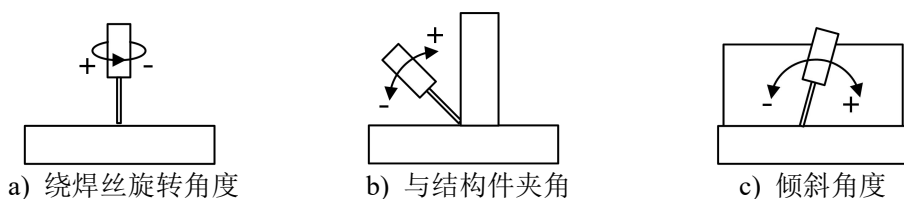


图4 焊枪角度调整

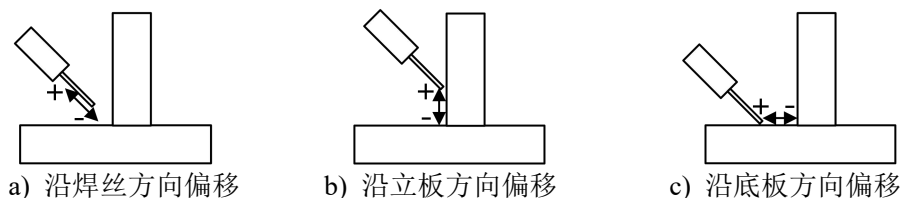
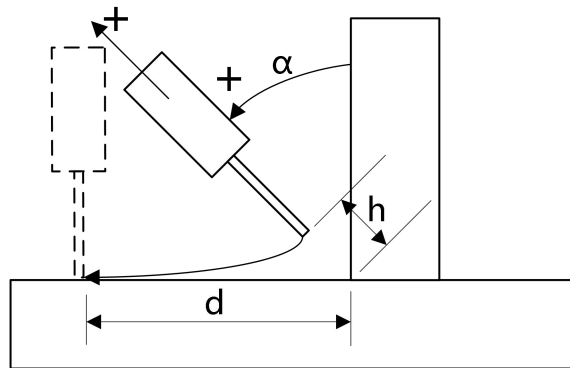


图5 焊枪TCP位置调整



标引序号说明：

- $\alpha$ ——焊枪倾斜角度/拐角起终点倾斜角度；
- $h$ ——沿焊丝方向偏移距离/拐角起终点线偏移；
- $d$ ——过渡距离/拐角起终点距离。

图6 拐角位置处焊接姿态及路径设置

## 10.6 工艺参数设定

机器人离线编程员应在离线编程软件中设置焊接工艺参数和工艺指令，具体包括：

- a) 起弧指令、参数或编号；
- b) 电弧跟踪指令、参数或编号；
- c) 摆动指令、参数或编号。

## 10.7 轴联动跟随

当焊接轨迹的实施需要外部轴和附加轴与机器人联动时，机器人离线编程员应在软件中启用附加轴和外部轴的跟随、联动功能，同时宜设置附加轴和外部轴的运动范围。

## 10.8 多层多道

10.8.1 机器人离线编程员应可通过离线编程软件实现多层多道焊缝轨迹的编制，并宜通过设置焊缝尺寸、层数、道数、焊丝中心偏移来获得与实际情况一致的焊缝轨迹。

10.8.2 多层多道中每一道焊缝的焊接参数应可单独设置。

## 10.9 编程效率

当条件允许时，对于对称结构件，机器人离线编程员宜通过软件的对称、偏移等功能实现对称轨迹的快速生成。

## 10.10 模板保存

机器人离线编程员在编程之初宜针对结构件的主要特点建立多个焊接模板，模板中包括已优化的焊接路径、焊枪姿态等信息，并在后续编程中通过加载模板来实现焊接路径的快速建立。

## 11 程序验证

寻位和焊接轨迹设定完成后，机器人离线编程员应对程序进行仿真，并验证程序的可执行性。

### 11.1 程序检查

机器人离线编程员宜通过软件对所有轨迹点进行全面检查，并可直接获得结果，同时机器人离线编

程序员可根据软件的提示快速找到出现问题的位置。

## 11.2 仿真

11.2.1 机器人离线程序员应可通过软件对编制的程序进行仿真，仿真的起始位置宜可按需设置，当出现超行程、碰撞等特殊情况下，仿真过程宜自动暂停，同时相关部件高亮显示。

11.2.2 机器人离线程序员应可通过鼠标拖拽或滚轮滚动的方式实现仿真过程的快速预览。

11.2.3 当仿真过程中出现问题时，机器人离线程序员宜可在仿真界面下直接调整机器人姿态并进行位置更新。

## 12 程序导出

### 12.1 程序模板设定及选择

12.1.1 机器人离线程序员应根据机器人品牌选择适配的程序编译模板，并能够导出可读的程序文件。

12.1.2 机器人离线程序员应仔细核对导出的程序，保证符合对应机器人程序的编写规则要求，如果条件允许，可通过将程序文件加载到机器人专用离线编程软件来验证程序格式的准确性。

### 12.2 程序转换

机器人离线程序员应根据机器人的运行要求将导出的程序进行转化，形成机器人可执行的程序文件。机器人离线程序员可采用机器人离线编程专用软件进行转化，也可在机器人上通过设备配置的软件进行转化。

## 13 现场调试

在正式使用离线程序前，机器人离线程序员应首先进行离线程序的现场调试及优化。

### 13.1 程序加载

机器人离线程序员可通过存储介质拷贝的方式将离线程序加载到机器人控制器中，如果条件允许，也可通过网络直接将程序下发到机器人的控制器中。

### 13.2 程序运行及优化

13.2.1 机器人离线程序员应以低速运行方式运行离线程序，当出现以下情况时，机器人离线程序员应手动示教机器人优化点位及相关参数。

- a) 机器人点位存在明显偏差；
- b) 机器人 TCP 设置不合理或偏差较大；
- c) 机器人动作过快；
- d) 点位信息不可达；
- e) 机器人在运动路径中出现焊枪、附件或本体与工件或者周围物体发生碰撞；
- f) 机器人在运动路径中出现超行程报警；
- g) 机器人在运动路径中出现奇异点；
- h) 机器人在运动路径中出现枪缆/线缆过度缠绕；

- i) 机器人姿态在两点位之间发生大范围变化；
- j) 焊接寻位因超范围失败；
- k) 焊枪角度不合适导致保护气罩在寻位过程中提前接触工件；
- l) 焊接寻位位置选择不当；
- m) 拐角位置的焊枪姿态不合适；
- n) 起收弧位置不满足工艺要求；
- o) 焊接参数不符合工艺要求。

13.2.2 机器人离线程序员如对程序进行重大调整，宜在程序中进行标注、注释和说明。

13.2.3 经优化的程序应可满足自动化运行要求。

## 14 过程注意事项

### 14.1 程序管理

14.1.1 离线程序应根据工作站、工件型号、日期等参数进行命名。

14.1.2 机器人离线程序员应将编制的程序及对应的优化说明记录在程序管理平台或者台账中，同时经优化后的程序应及时存储。

### 14.2 安全

机器人离线程序员在现场收集信息及调试优化离线程序时，相关操作应符合 GB/T 38244 及 GB 11291.1 的要求。

## 附 录 A

(资料性)

## 常用机器人及离线编程软件

常用机器人及离线编程软件见表A.1。

表 A.1 常用机器人及离线编程软件

机器人	离线编程软件	类型
发那科	RoboGuide	专用
ABB	RoboStudio	专用
KUKA	KUKA.Sim	专用
安川	MotoSim	专用
CLOOS	RoboPlan	专用
IGM	K6 Offline	专用
神钢	K-OT_S	专用
松下	DTPS	专用
新松	QuickOLP	专用
埃斯顿	Editor	专用
—	PQART	通用
	RoboMaster	通用
	Fast	通用
	Delfoi	通用
	RoboDK	通用

## 附录 B

(资料性)

## 焊接机器人离线编程工作流程图

焊接机器人离线编程工作流程如图 B.1 所示。

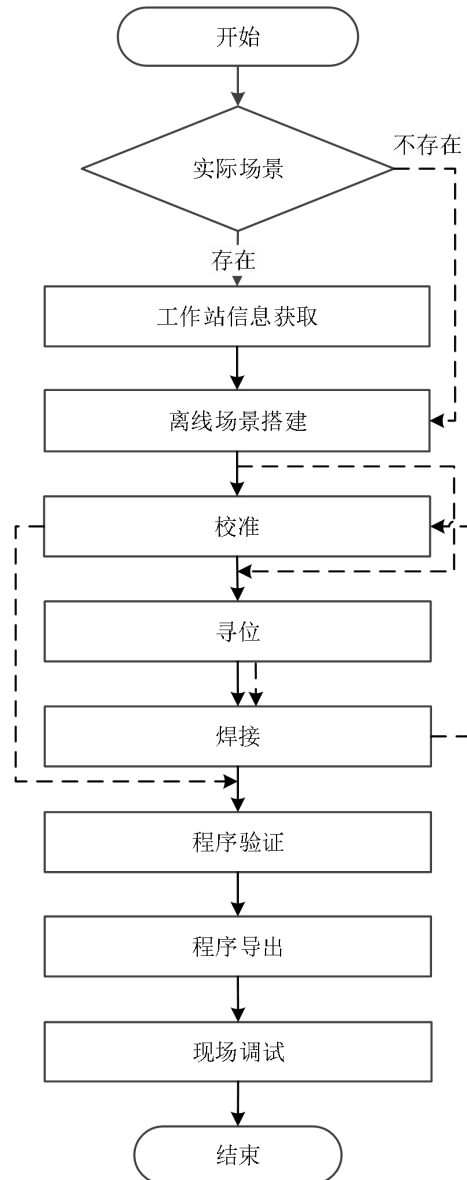


图 B.1 焊接机器人离线编程工作流程图

### 参 考 文 献

- [1] 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.
  - [2] 张玲玲,姜凯. FANUC 工业机器人仿真与离线编程[M].电子工业出版社,2019.
  - [3] AWS D16.1 Specification for Robotic Arc Welding Safety.
  - [4] AWS D16.2 Guide for Components of Robotic and Automatic Arc Welding Installations.
  - [5] AWS D16.3 Risk Assessment Guide for Robotic Arc Welding.
  - [6] AWS D16.4 Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel
  - [7] AWS D16.5 Training Guide for Robotic Arc Welding Personnel.
  - [8] AWS D16.6 Specification for Robot Arc Welding Training and Testing Cell
-