



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 41264—2022

---

## 板料折弯机器人 安全要求

Sheet bending robots—Safety requirements

2022-03-09 发布

2022-10-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

# 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 危险分析 .....	2
5 安全要求 .....	2
5.1 控制系统的安全性能 .....	2
5.2 轴的限位和空间限制 .....	2
5.3 操作方式 .....	3
5.4 启动 .....	3
5.5 正常停止 .....	3
5.6 急停 .....	4
5.7 联锁保护 .....	4
5.8 速度控制 .....	4
5.9 示教 .....	4
5.10 防止意外操作 .....	5
5.11 关键部件的选型 .....	5
5.12 制造和装配 .....	5
5.13 电气安全 .....	6
5.14 电磁兼容性 .....	6
5.15 奇异性保护 .....	6
5.16 起吊措施 .....	6
5.17 与板料折弯机和相关设备的集成 .....	6
5.18 集成系统的试运行 .....	7
6 使用信息 .....	8
6.1 安全标志 .....	8
6.2 操作标志 .....	8
6.3 铭牌 .....	8
6.4 运行信息 .....	8
6.5 使用说明书 .....	9
7 试验和验证 .....	10
7.1 试验和验证方法类别 .....	10
7.2 试验和验证方法 .....	10
附录 A (资料性) 危险一览表 .....	13
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。

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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国自动化系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC 159)归口。

本文件起草单位：扬州恒佳自动化设备有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、南京航空航天大学、埃夫特智能装备股份有限公司、遨博(北京)智能科技有限公司。

本文件主要起草人：潘殿生、严伟、王涛、潘心伟、黎晓东、杨书评、陈列、刘颖、吴洪涛、冯海生、魏洪兴。

# 板料折弯机器人 安全要求

## 1 范围

本文件规定了板料折弯机器人的危险分析、安全要求、使用信息、试验和验证。  
本文件适用于直角坐标型和关节型板料折弯机器人(以下简称机器人)。

## 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/T 150.1 压力容器 第1部分:通用要求
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 3797—2016 电气控制设备
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)
- GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇
- GB/T 19436.2—2013 机械电气安全 电敏保护设备 第2部分:使用有源光电保护装置(AOPDs)设备的特殊要求
- 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 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离
- GB/T 37414.1—2019 工业机器人电气设备及系统 第1部分:控制装置技术条件

## 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

#### 板料折弯机器人 **sheet bending robots**

具有5个以上可编程的轴、协助数控板料折弯机、自主执行取料、定位、送料、折弯跟随、退料、码垛等操作的工业机器人。

### 3.2

#### 示教模式 **teach mode**

手工引导机器人的吸持器,按板料折弯的工艺要求,完成板料折弯自动加工程序编制的操作方式。

注:GB 11291.1—2011的手动降速方式用于示教模式。

### 3.3

#### 回放模式 **reappearing mode**

再现示教程序,用以检验该程序是否符合板料折弯工艺要求的操作方式。

注:回放模式来源于GB 11291.1—2011的手动高速方式。

3.4

**自动模式 automatic mode**

机器人控制系统按照任务程序运行的一种操作方式。

[来源:GB/T 12643—2013,5.3.10.1]

3.5

**吸持器 holding device**

安装于机器人手腕上、通过安装在金属框架上的多个真空或磁性吸盘吸起板料的末端执行器。

3.6

**折弯跟随 following bending**

在板料折弯过程中,吸持器的运行速度和轨迹与工件上的吸持点的运行速度和轨迹保持一致的过程。

3.7

**最大空间 maximum space**

由制造厂所定义的机器人活动部件所能掠过的空间加上末端执行器和工件运动时所能掠过的空间。

[来源:GB/T 12643—2013,4.8.1]

3.8

**限定空间 restricted space**

在最大空间中,由限位装置限制的机器人运动不应超出的空间。

[来源:GB/T 12643—2013,4.8.2,有修改]

3.9

**安全防护空间 safeguarded space**

由周边安全防护(装置)确定的空间。

[来源:GB/T 12643—2013,4.8.5]

4 危险分析

使用板料折弯机器人系统进行板料折弯加工时,可能由于机器人本身、机器人和折弯机之间干涉、人与机器人相互干扰及机器人所处的外部环境对机器人的影响而产生危险,危险一览表见附录 A。

5 安全要求

5.1 控制系统的安全性能

控制系统的安全性能应达到如下要求:

- 所有可合理预见的故障能被检测到,并给予显示和通过声、光报警;
- 任何部件的单一故障不导致安全功能的丧失;
- 联锁装置能保证运动部件完全停止;
- 当发生单一故障时,安全状态维持到故障排除。

5.2 轴的限位和空间限制

5.2.1 机器人应采用下列 3 项措施对轴的运行进行逐级限位:

- a) 在控制软件中设置各轴的最大行程;
- b) 在软件限位点后的适当距离,设置限位开关;

c) 在限位开关后的适当距离,设置防撞块。

5.2.2 机器人至少应采取下列措施之一,对安全防护空间的边界进行进入限制。

- a) 在安全防护空间的边界上设置围栏,围栏门上设置与伺服电机动力联锁的带锁的开关。在自动模式下,围栏门打开,动力电源切断;在示教模式下,该联锁的开关可关闭。
- b) 在安全防护空间的边界上设置符合 GB/T 19436.2—2013 规定的 2 型 ESPE 光幕,光幕的有效高度不低于 1 500 mm、分辨率不大于 30 mm、最低光束距地面的距离不应大于 30 cm;在自动模式下,当光幕被遮挡时,动力电源切断;在示教模式下,该光幕可关闭;不允许光幕使用自动复位功能,光幕的复位按钮应设置在光幕区域外。
- c) 围栏按照 GB/T 23821 的规定,光幕位置的确定按照 GB/T 19876 的规定。

### 5.3 操作方式

#### 5.3.1 可选操作方式

机器人控制系统应有示教模式、回放模式和自动模式 3 种操作方式可供分别在示教编程、检验示教程序和执行任务程序时使用。

#### 5.3.2 操作方式的选择

5.3.2.1 控制系统应设置带钥匙的旋钮式 3 挡位操作方式选择开关,钥匙插入方可旋动选择挡位,每一挡位对应一种操作方式,每一挡位分别标注“示教”“回放”和“自动”标志。

5.3.2.2 操作方式选择开关应只供选择操作方式,不应具有启动机器人运动的功能。

#### 5.3.3 操作方式的启动和停止

5.3.3.1 控制系统应设置专用启动按钮,用于在操作方式选择开关选择回放或自动模式后,启动相应的操作模式。当启动键按下后,指示灯应处于高亮状态。启动键和指示灯的颜色应分别符合 GB/T 5226.1—2019 中 10.2.1 和 10.3.2 的规定。

5.3.3.2 回放模式应有程序演示和运行演示选项,可供选择仅演示示教程序或同时进行运行演示。

5.3.3.3 利用示教盒启动自动模式后,应使用安全防护空间外的确认功能,自动加工方可运行(见 5.10.3)。

5.3.3.4 机器人应设置专用暂停键,用于暂停执行回放程序或自动加工程序。暂停键按下后,应有状态指示,宜有指示灯闪烁,指示灯的颜色应符合 GB/T 5226.1—2019 中 10.3.2 的规定。按下启动键,取消暂停,才可使原程序继续执行。

5.3.3.5 在自动模式下,示教模式的功能应不起作用,且所有安全措施应起作用,如果检测到任何停机条件,自动模式应被停止。

5.3.3.6 从自动模式切换到其他模式时,应停机。

### 5.4 启动

5.4.1 控制系统应设置带锁的总电源开关,用于启动前给系统上电和停机后关闭总电源并锁定。

5.4.2 油泵启动、气源压力正常和折弯机准备完成等信号应和操作方式的启动联锁,只有当上述信号正常,示教、回放和自动加工操作才能被启动,该联锁应符合 5.1 的要求。

### 5.5 正常停止

5.5.1 任务程序完成后,机器人应回设定的起始点、正常停止。

5.5.2 正常停止时,示教盒界面应显示加工完成信息,启动键绿色灯熄灭。

## 5.6 急停

### 5.6.1 急停功能

机器人应在示教盒和电气控制箱上设置急停器件,急停应有如下功能:

- a) 能停止所有功能和操作方式;
- b) 能切断伺服电机驱动器的电源,同时启动对伺服电机的制动,但不切断控制系统的电源;
- c) 急停命令发出后,在复位前一直有效;
- d) 急停的复位只能手动操作,且复位不引发任何危险;
- e) 急停的复位功能不启动致动器,复位后,致动器才能被启动;
- f) 在示教盒显示区显示故障信息,并发出声、光报警信号;
- g) 中断数控折弯机工作,吸持器保持吸力。

### 5.6.2 急停器件

5.6.2.1 应在示教盒上设置红色、蘑菇头式急停按钮开关,并标注急停标志。

5.6.2.2 急停按钮开关应有直接断开操作、手动旋转才能复位的结构。

## 5.7 联锁保护

5.7.1 油泵启动、气源压力正常和折弯机准备完成等信号应和操作方式的启动联锁,只有当上述信号正常,示教、回放和自动操作才能被启动。

5.7.2 在下列方面设置的保护器件和联锁电路被触发时,应引发保护性停止:

- a) 安全防护空间边界围栏上的联锁开关被触发或在安全防护空间边界上设置的光幕被遮挡;
- b) 轴的软限位或限位传感器被触发;
- c) 伺服电机的驱动器发出过载或故障信号;
- d) 执行取料程序时,垂直向下的行程超过设定的最大行程或料堆传感器发出无料信号;
- e) 吸持器脱料后,检料传感器发出脱料信号;
- f) 折弯机两个后挡指位移传感器检测值的差值大于或等于 0.2 mm,跟随系统调整后仍然超差;
- g) 机器人轴的速度超过设定值;
- h) 进气压力低于设定值。

## 5.8 速度控制

5.8.1 机器人应设置速度调节键,宜将额定速度分为 20%、40%、60%、80%、100% 的速度倍率,供用户根据板料折弯需要调节运行速度。

5.8.2 在取料程序中,吸持器下行和板料距离达到设定值时,宜使用不大于 40 mm/s 的缓冲速度接近板料。

5.8.3 在送料程序中,板料和折弯机后挡指距离达到设定值时,宜使用不大于 20 mm/s 的缓冲速度使板料接近后挡指。

5.8.4 各轴回零速度,线速度宜不大于 20 mm/s,角速度宜不大于 20(°)/s。

## 5.9 示教

5.9.1 示教应通过手持示教盒进行或离线编程,电气控制箱不应有示教功能;或者当机器人处于示教盒控制下时,机器人的所有运动都只能由示教盒启动。

5.9.2 示教盒应能控制机器人各轴的所有运动,包括启动、暂停、急停、速度调节。

5.9.3 示教模式的缺省速度不应大于额定速度的 40%。在示教模式下,可以调整速度,但应有显示提醒操作人员;当速度超过设定的缺省速度时,应触发保护性停止。

## 5.10 防止意外操作

5.10.1 示教盒应设置运动辅助键,在手动示教模式下,只有在运动辅助键和轴的运动控制键同时被按下,相应轴才能运动,以防止示教时产生意外操作。

注:运动辅助键见 GB 11291.1—2011 规定的使能装置。

5.10.2 对直角坐标机器人,控制系统应设置 X、Y、Z 轴的正负位移限值和 A 轴的正负摆动角度限值;对关节机器人控制系统应设置所有摆动轴的正负摆动角度限值。当示教人员输入参数超限时,应有错误信息提示。

5.10.3 在设置在安全防护空间之外的电气控制箱(见 5.17.1.4)上,应设置自动模式确认键。在操作人员利用示教盒启动自动模式时,该自动模式确认键被启动后,自动模式才能运行,以保证操作人员到达安全防护空间之外运行自动加工程序。在自动模式确认键的操作位置,应能够清楚地看到自动加工区域,不应有死角和盲区。

## 5.11 关键部件的选型

5.11.1 应选择有线示教盒,通过电缆连接示教盒和控制系统,电缆的长度应足够示教人员到达限位空间之外。

5.11.2 伺服电机的驱动器应有过载检测功能,非水平轴的伺服电机应有内置的电磁制动器。

5.11.3 各轴的限位开关应选用接触式、未触发状态下触点为常闭型式的限位开关。

## 5.12 制造和装配

5.12.1 机器人的旋转轴和直角坐标机器人的 Z 轴(垂直轴)的伺服电机可增设外部制动器。

5.12.2 机器人底座的底面和安装基础之间宜设置减震装置。

5.12.3 机器人底座和安装基础的联结应稳固,当机器人的重心超出基础支撑面时,机器人工作状态下,底座不应有变形和位移。

5.12.4 直角坐标机器人的 Z 轴宜设置平衡部件,以承担 Z 轴和 Y 轴组件的重量。

5.12.5 供气管路应设置安全阀和手动放气阀,以控制储气罐压力不超过设定值。

5.12.6 直角坐标机器人的平衡气缸的供气管路和负压发生器的供气管路,应分别设置压力表;当供气压力低于设定值时,应输出信号给控制系统,触发保护性停止,并发出声、光报警信号。

5.12.7 所有供气管路和接头不应有泄漏。

5.12.8 机器人各轴的原点定位开关、限位开关的安装应有限制其位移和松动的安装槽和弹性垫片,安装螺钉应有平垫片和防松的弹性垫片,并紧固。

5.12.9 直角坐标机器人各轴滑块的安装螺钉使用平垫片和弹性垫片,并涂漆,以方便检查在运行中螺钉是否松动。

5.12.10 直角坐标机器人龙门架横梁的顶面和侧面导轨的一侧应设置挡边条,分别承担所有轴组件的倾覆力矩和重量,以免 X 轴导轨的安装螺钉承受剪切力。

5.12.11 外露加工件不应有毛刺、锐边和尖角。

5.12.12 外露转动部件应设置安全防护装置,只有使用工具才能移开该防护装置,防护装置和危险区域的安全距离应符合 GB/T 23821 的规定。

5.12.13 机器人应设置集中间隙润滑装置或所有滑块和转动轴设置注油孔。

5.12.14 储气罐应符合 GB/T 150.1 的要求,如果其容积大于或等于 30 L,应由具有法定资质的单位制造。

### 5.13 电气安全

- 5.13.1 电气元器件应符合相应产品标准的规定。
- 5.13.2 电气控制箱的外壳防护等级不应低于 GB/T 4208—2017 规定的 IP32。电气控制箱门应使用钥匙才能打开。
- 5.13.3 动力电路应设置欠压和漏电保护。
- 5.13.4 机器人伺服驱动器应具有伺服电机过载保护功能。
- 5.13.5 安装电气设备的机械结构件的外露可导电部分应设置接地点和接地标志,该接地点和电气设备的接地点应使用黄/绿双色铜导线连接到对外接地保护端子(PE),该保护导线的截面积应与有关相线截面积相同。
- 5.13.6 电气控制设备的电气间隙和爬电距离应符合 GB/T 3797—2016 中 6.4 的规定。
- 5.13.7 动力电路导线和保护联结电路之间施加 500 Vd.c 电压时,测得的绝缘电阻应不小于 1 M $\Omega$ 。
- 5.13.8 动力电路导线和保护联结电路之间应能承受交流 50 Hz 的 1 000 V、1 s 的耐压试验,不出现击穿放电现象。
- 5.13.9 示教盒和电气控制箱之间的联结电缆应采用 5 类或 6 类绞合软线制造的有护套和屏蔽的软电缆,并外套金属软管。
- 5.13.10 电气控制箱内的连线和布线应符合 GB/T 5226.1—2019 中 13.1 的要求。
- 5.13.11 电气控制箱内导线的标识应符合 GB/T 5226.1—2019 中 13.2 的规定。

### 5.14 电磁兼容性

- 5.14.1 机器人控制系统应采用屏蔽、滤波、抑制、接地等抗干扰措施减少电磁干扰、静放电和射频干扰对机器人运行安全的影响。在典型的板料加工车间环境(包括有板材校平、切割、冲压、剪板、电弧焊机等设备的运行环境)下,应能正常进行自动加工程序、保持性能,不应因车间其他大功率设备的启、停和运行而出现故障。
- 5.14.2 机器人的电磁兼容性应符合 GB/T 37414.1—2019 中第 8 章的要求。
- 5.14.3 电磁兼容性试验中,机器人应具备的控制功能和性能均应保持正常。

### 5.15 奇异性保护

- 5.15.1 回放模式的运动再现应能显示奇异点,并发出声光报警信号。
- 5.15.2 运动演示发现了奇异点后,应重新规划相关轴的运动路径,尽可能避开奇异点。
- 5.15.3 如不能避开奇异点,在自动模式下机器人产生奇异现象时,声光报警信号应持续到相关轴通过奇异点;此时相关轴的速度如超过设定值,应触发保护性停止。

### 5.16 起吊措施

- 5.16.1 机器人宜设置起吊装置。包装、运输时需要拆分,安装时需要起吊的部件(如电气柜)也应设置起吊装置。
- 5.16.2 使用说明书中应载明起吊前的准备工作和符合哪些条件方可起吊。

### 5.17 与板料折弯机和相关设备的集成

#### 5.17.1 布局

- 5.17.1.1 系统集成涉及的板料折弯机、原料架、定位台、成品架等设备的布局,应使机器人末端执行器的运动路线为最佳。

- 5.17.1.2 机器人相对板料折弯机的布局应以机器人的手腕不触及折弯机工作台前面为宜。
- 5.17.1.3 与机器人作业无关的安全防护空间之外的固定物体和设备与安全防护空间边界的距离不应小于 0.5 m。
- 5.17.1.4 电气控制箱应设置在安全防护空间之外。

#### 5.17.2 与板料折弯机相关的要求

- 5.17.2.1 板料折弯机和机器人的通信应能手动接通和断开。
- 5.17.2.2 机器人的急停功能应能同时停止板料折弯机滑块的运动。
- 5.17.2.3 吸持器的跟随运动不应和折弯机的折弯程序产生干涉。
- 5.17.2.4 对板料折弯机失效,机器人应具有下列处理能力:
  - 当机器人未接收到板料折弯机发出的上死点信号时,机器人不执行送料和退料动作;
  - 当机器人未接收到板料折弯机发出的夹紧点信号时,机器人停止动作,且机器人不发出控制板料折弯机继续折弯动作的信号;
  - 当机器人未接收到板料折弯机发出的下死点信号时,机器人停止动作,且机器人不发出控制板料折弯机继续回程的动作。

#### 5.17.3 机器人的运动路径

- 5.17.3.1 机器人在运动路径中,不应和操作空间内的任何一台设备产生碰撞。
- 5.17.3.2 在满足执行任务程序空间需要的前提下,宜用软限位减少机器人臂的移动范围。
- 5.17.3.3 在执行任务程序时,机器人的运动臂和末端执行器及工件的运动路径不应掠过协作工作空间。

#### 5.17.4 协作工作空间

在安全防护空间内应设置协作工作空间,以便操作人员在必要时进入安全防护空间内观察加工情况。协作工作空间的设置应满足如下要求:

- a) 使操作人员易于观察折弯工序的执行;
- b) 不在机器人臂和末端执行器及工件运动路径所掠过的空间(见 5.17.3.3)。

#### 5.18 集成系统的试运行

##### 5.18.1 试运行前,应做下列各方面的检查:

- 机器人的底座安装牢固性;
- 折弯机的功能;
- 电源供应和电气连接及电气系统的绝缘电阻;
- 接地;
- 气源供应;
- 润滑和润滑装置;
- 折弯机和机器人的通信连接;
- 防护和限位装置的安装;
- 原料架、定位台、翻料架、成品料架布局是否与设计图纸相符。

##### 5.18.2 通电后,应对下列项目进行验证:

- 急停功能;
- 保护性停止功能;
- 示教盒的所有功能。

5.18.3 试运行应在 3 种模式下按以下步骤和要求进行：

- 选择一个折弯工艺较为复杂的折弯零件进行示教编程和路径优化；
- 回放检查示教程序，在回放模式下以 40% 的额定速度进行运行演示，测试示教程序，发现问题时，返回示教模式修改程序；
- 在自动模式下，以额定速度运行该任务程序，考核机器人跟随系统的性能、连续运行的能力和故障情况。

## 6 使用信息

### 6.1 安全标志

机器人各运动轴、电气控制箱和防护装置上分别应有禁止靠近、防撞、防触电危险、禁止打开等安全标志。安全标志应符合 GB 2894 的规定。

### 6.2 操作标志

6.2.1 机器人各轴应有轴的名称和运动方向标志。

6.2.2 示教盒上的旋钮和按键应有标明其功能的标志。标志应在示教人员手持示教盒、正常阅读距离上清晰、可辨认。

6.2.3 应设置表明起吊位置的标志。

6.2.4 所有标志应清晰并耐擦。

### 6.3 铭牌

机器人应在明显位置固定产品铭牌，铭牌上应至少有下列内容：

- a) 制造商名称和地址，产品型号和编号，制造日期；
- b) 电源电压、频率、总功率，供气压力；
- c) 额定负载；
- d) 各轴最大行程；
- e) 设备质量；
- f) 外形尺寸。

### 6.4 运行信息

#### 6.4.1 概述

机器人运行信息应通过示教盒显示区显示和电柜顶部的三色指示灯显示。三色指示灯以绿色灯亮表示正常运行，黄色灯亮表示暂停，红色灯亮表示故障报警、并发出报警声。示教盒显示区显示的信息应能满足示教编程、示教程序检验和自动折弯的需要。

#### 6.4.2 示教盒显示信息

3 种操作模式下应显示的信息要求如下：

- a) 示教模式界面应能显示折弯程序、示教准备功能选择、当前坐标值、机器人状态、程序修改输入；
- b) 回放模式界面应能显示折弯程序、当前坐标值、机器人状态、回放程序选择；
- c) 自动模式界面应能显示折弯程序、当前坐标值、机器人状态、总加工量设置；
- d) 各类故障信息。

### 6.4.3 警示信息

机器人在下列情况下,应发出声光报警信息:

- a) 伺服电机过载、失压;
- b) 伺服系统故障;
- c) 各轴运行触发软限位和硬限位;
- d) 参数设置超限;
- e) 吸持器失压;
- f) 料堆缺料;
- g) 折弯机后挡指检测超差;
- h) 出现奇异状态。

### 6.5 使用说明书

除一般要求应符合 GB/T 9969 的规定外,机器人的使用说明书应包含下列内容:

- a) 安全使用注意事项(包括界定协作空间的要求);
- b) 警示标志的含义;
- c) 工作环境和能源;
- d) 产品名称、型号和主要技术参数;
- e) 产品的结构示意图;
- f) 轴的定义、位置、运动方向、运动范围参数、最大空间和示意图;
- g) 限位装置的安装位置和安装要求,软限位的说明;
- h) 已具备的安全措施;
- i) 示教盒上旋钮、按键的名称、标志的含义和功能及使用方法;
- j) 任务程序存储器的最大容量;
- k) 运动控制种类和方法;
- l) 输入输出接口、数据接口和通信接口;
- m) 编程方法;
- n) 操作方法;
- o) 试运行程序和要求;
- p) 故障现象、原因分析和排除方法;
- q) 维修和保养,至少应包括:
  - 1) 安全功能检查的项目和频次;
  - 2) 维修、保养的项目、程序、要求和周期;
  - 3) 仅由专业技术人员实施的项目和由用户熟练技术人员实施的项目说明;
  - 4) 依据的技术文件,与安全相关可更换零部件的规格、编码和供货商信息;
  - 5) 润滑方法和周期;
  - 6) 实施维修保养时的安全注意事项;
  - 7) 机器人制造商的联系信息;
- r) 吊运和安装;
- s) 培训要求。

7 试验和验证

7.1 试验和验证方法类别

可采用下列方法对各项安全要求进行试验和验证：

- a) 目测检查(A)；
- b) 检查设计程序、设计文件(B)；
- c) 检查使用说明书、产品合格证(C)；
- d) 测量(D)；
- e) 试验(E)；
- f) 实际操作(F)；
- g) 试运行中观察、检查(G)。

7.2 试验和验证方法

各项安全要求的试验和验证方法见表 1。

表 1 安全要求的试验和验证方法

章条号	安全要求	试验和验证方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.1	控制系统的安全性能	×	×	×			×	×	
5.2	轴的限位和空间限制	×	×			×			
5.3.1	可选操作方式	×					×		
5.3.2	操作方式的选择	×					×		
5.3.3	操作方式的启动和停止	×					×		
5.4	启动	×					×		
5.5	正常停止	×						×	
5.6.1	急停功能	×	×				×	×	
5.6.2	急停器件	×					×		
5.7	联锁保护		×				×	×	
5.8	速度控制	×	×		×		×	×	
5.9	示教	×					×	×	
5.10	防止意外操作	×	×				×		
5.11	关键部件的选型	×		×		×			
5.12.1	伺服电机外部制动器								
5.12.2					×			×	
5.12.3	机器人安装								
5.12.4	平衡气缸	×							

表 1 安全要求的试验和验证方法（续）

章条号	安全要求	试验和验证方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.12.5	供气系统安全阀	×						×	
5.12.6	供气失压保护	×				×		×	
5.12.7	供气管路密封性	×				×			涂肥皂水试验观察
5.12.8	定位、限位开关安装	×							
5.12.9	滑块安装	×							
5.12.10	导轨挡边	×							
5.12.11	外露加工件外观	×							
5.12.12	防护装置	×			×				按 GB/T 23821 测量
5.12.13	润滑装置	×			×				
5.12.14	储气罐	×		×					
5.13.1	电气元件	×		×					
5.13.2	电控箱门、外壳防护等级	×			×		×		检查铭牌标注,必要时按 GB/T 4208—2017 检测
5.13.3	动力电路保护	×	×					×	
5.13.4	伺服电机保护			×				×	
5.13.5	接地保护	×			×				
5.13.6	电气间隙和爬电距离				×				按 GB/T 3797—2016 规定的方法检测
5.13.7	绝缘电阻								按 GB/T 5226.1—2019 中 18.3 试验
5.13.8	耐压试验					×			按 GB/T 5226.1—2019 中 18.4 试验
5.13.9	连结电缆	×		×					
5.13.10 5.13.11	电控箱内配线	×							按 GB/T 5226.1—2019 中 13.1 和 13.2 检查
5.14.1	电磁兼容性使用中考核							×	
5.14.2	电磁兼容性专门试验					×			按 GB/T 37414.1—2019 中第 8 章规定的方法
5.15	奇异性保护	×					×	×	
5.16	起吊措施	×		×					
5.17.1	布局	×				×	×	×	
5.17.2	与板料折弯机相关	×		×		×	×	×	

表 1 安全要求的试验和验证方法（续）

章条号	安全要求	试验和验证方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.17.3	机器人的运动路径	×	×			×	×	×	
5.17.4	协作工作空间	×					×	×	
5.18.1	试运行前检查	×	×		×		×		
5.18.2	试运行前功能验证	×					×		
5.18.3	试运行	×					×	×	
6.1~6.3	标志和铭牌	×							
6.4	运行信息	×						×	
6.5	使用说明书	×							
注：“×”表示需要验证。									

附 录 A  
(资料性)  
危险一览表

机器人运行可能出现的危险见表 A.1。

表 A.1 危险一览表

序号	类型	危险分析		消除和减少危险的相关条款
		危险示例	产生原因	
1	机械危险	1) 碰撞 2) 挤压 3) 砸伤 4) 刺伤 5) 轧断 6) 断裂 7) 零部件跌落 8) 设备失稳、倾倒 9) 设备破坏 10) 拖入、纠缠、缠绕 11) 摩擦、磨损	1) 超限运动 2) 人进入危险区 3) 危险区域缺乏防护 4) 操作缺乏安全性 5) 意外启动 6) 不具备必要条件启动 7) 缺乏处置紧急情况的措施 8) 单一故障不能及时诊断和处置,将引起连锁反应 9) 超速运行 10) 速度运用不当 11) 控制程序设计错误 12) 折弯机安全问题 13) 停止异常 14) 缺乏防止意外操作的措施 15) 元器件选型错误 16) 电机制动力不足 17) 垂直轴缺配重 18) 气源供应故障 19) 导轨润滑不良 20) 结构、制造、装配有误 21) 轴运动发生奇异 22) 起吊失误 23) 系统集成布局不合理 24) 机器人和折弯机运动干涉 25) 机器人运动路径设计不合理 26) 无协作空间 27) 试运行准备不足、考核不全面 28) 折弯机失效	5.1、5.2.1、 5.2.2、5.3.1、 5.3.2、5.3.3、 5.4、5.5、 5.6、5.7、 5.8、5.9、 5.10、5.11.1、 5.11.3、5.12.1、 5.12.3、5.12.4、 5.12.5、5.12.6、 5.12.7、5.12.10、 5.12.11、5.12.12、 5.12.13、5.12.14、 5.15.2、 5.15.3、5.16、 5.17.1.1、5.17.1.2、 5.17.3、5.17.2、5.17.4、 5.18

表 A.1 危险一览表 (续)

序号	类型	危险分析		消除和减少危险的相关条款
		危险示例	产生原因	
2	电气危险	1) 电击 2) 灼伤 3) 绝缘击穿 4) 电气元器件烧损 5) 设备损坏	1) 电气元器件质量差 2) 元器件选型有误 3) 缺乏危险区防护或不当 4) 急停器件结构 5) 电路保护功能不足, 短路、过载、过热、漏电 6) 缺乏联锁保护 7) 绝缘电阻和耐压强度低 8) 接地不良或缺失 9) 电气安装有误 10) 电源浪涌威胁 11) 故障诊断不全面 12) 缺乏紧急处置措施 13) 控制系统设计错误、故障 14) 折弯机安全问题	5.1、5.6、 5.7.2c)、5.11.2、 5.13、5.17.2.1
3	振动危险	1) 紧固件松脱 2) 连接件松动 3) 运动失常、失准 4) 板材运行过程中脱落	1) 机器人底座和基础刚性固定 2) 定、限位开关安装无防松措施 3) 滑块安装无防松措施 4) 润滑不良	5.12.2、5.12.8、 5.12.9、5.12.15
4	人类工效学危险	1) 易操作失误 2) 不能及时处理故障 3) 导致机械、电气危险 4) 直接人身伤害	1) 操作和运行的可视性 2) 示教盒标志的清晰度 3) 可预见的误操作 4) 外壳防护不合理 5) 危险警示不足 6) 忽略了操作人员的反应速度 7) 安全通道没有或过窄	5.1、5.3.3.1、5.3.3.4、 5.4.2、5.5.2、5.6.1f)、 5.6.2.1、5.7.2c)、5.7.2d)、 5.7.2e)、5.9.3、5.10.1、 5.10.2、5.10.3、5.12.6、 5.12.12、5.13.2、5.15.1、 5.15.3、5.17.1.3、 5.17.1.4、6.1、6.2、 6.3、6.4、6.5
5	与外部环境有关的危险	1) 控制系统失常 2) 引发电气危险	抗干扰能力差	5.14.1、5.14.2、 5.14.3
6	多因素结合的危险	1) 不能正常加工 2) 引发机械、电气危险	1) 多故障引发 2) 多地操作 3) 误判 4) 误动作	5.1、5.3.2、 5.3.3.1、5.3.3.2、 5.3.3.3、5.3.3.4、 5.3.3.5、5.6.1、 5.6.2、5.7、 5.9.1、5.10.3、 5.17.1.4

参 考 文 献

- [1] GB 11291.1—2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分:机器人
-