

中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 43065.1—2023/ISO/TR 20218-1:2018

机器人 工业机器人系统的安全设计 第1部分：末端执行器

Robotics—Safety design for industrial robot systems—
Part 1: End-effectors

(ISO/TR 20218-1:2018, IDT)

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 风险评估 2

 4.1 通则 2

 4.2 末端执行器的限制 3

 4.3 危险识别 3

 4.4 风险估计 4

 4.5 风险评价 4

 4.6 剩余风险 4

5 安全要求和风险减小 4

 5.1 通则 4

 5.2 风险减小的措施 4

 5.3 安全相关的控制系统性能 6

 5.4 夹持型末端执行器 6

 5.5 特定应用的末端执行器 7

 5.6 手动引导机器人的末端执行器 8

 5.7 末端执行器更换系统(工具更换器) 9

6 验证和确认 9

7 使用信息 9

 7.1 通则 9

 7.2 说明书 9

附录 A (资料性) 末端执行器风险评估的示例 11

附录 B (资料性) 夹持器设计及其安全性能的示例 14

附录 C (资料性) 危险示例——危险潜在起源和后果 15

附录 D (资料性) 末端执行器功能导致的危险示例 17

参考文献 19

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。

本文件是 GB/Z 43065《机器人 工业机器人系统的安全设计》的第1部分。GB/Z 43065 已经发布了以下部分：

——第1部分：末端执行器；

——第2部分：手动装载/卸载工作站。

本文件等同采用 ISO/TR 20218-1:2018《机器人 工业机器人系统的安全设计 第1部分：末端执行器》。文件类型由 ISO 的技术报告调整为我国的国家标准化指导性技术文件。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——增加了提及表 C.1 和表 D.1 的语句。

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。

本文件由全国机器人标准化技术委员会(SAC/TC 591)归口。

本文件起草单位：北京机械工业自动化研究所有限公司、北京联合大学、遨博(北京)智能科技股份有限公司、苏州安高智能安全科技有限公司、河北工业大学、杭州申昊科技股份有限公司、湖南沁峰机器人有限公司、北京航空航天大学。

本文件主要起草人：杨书评、邹莹、宋仲康、李立言、王嘉、朱志昆、吴海腾、陶友瑞、陈静、郭玉光、陶永。

引 言

本文件适用于 GB 11291.2—2013 和 GB/T 36008—2018 中所述的工业机器人系统。

本文件为工业机器人系统中的末端执行器提供了指导,包括机器人系统和操作员共享同一工作空间的协作应用。在这种协作应用中,末端执行器的设计非常重要,特别是形状、表面和应用功能(例如夹紧力、残余物质生成、温度)等特性。

GB 11291.2—2013 要求对工业机器人系统进行全面的风险评估。本文件提供了针对末端执行器的额外指南,在根据 GB 11291.2—2013 进行风险评估时,这些指南可能会有所帮助。

GB/Z 43065《机器人 工业机器人系统的安全设计》旨在针对工业机器人系统集成提供附加安全指导,拟由两个部分组成。

- 第 1 部分:末端执行器。目的在于提供机器人系统末端执行器设计与集成的安全措施指导。
- 第 2 部分:手动装载/卸载工作站。目的在于提供手动装载/卸载工作站设计和安全防护指导。

机器人 工业机器人系统的安全设计

第 1 部分:末端执行器

1 范围

本文件提供了用于机器人系统末端执行器设计与集成的安全措施指导。集成包括以下内容:

- 末端执行器的制造、设计和集成;
- 必要的使用信息。

本文件提供了有关机器人系统集成的附加安全指南,如 GB 11291.2—2013 中所述。

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 11291.2—2013 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第 2 部分:机器人系统与集成(ISO 10218-2:2011,IDT)

GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小(ISO 12100:2010,IDT)

GB/T 19400—2003 工业机器人 抓握型夹持器物体搬运 词汇和特性表示(ISO 14539:2000,IDT)

GB/T 36008—2018 机器人与机器人装备 协作机器人(ISO/TS 15066:2016,IDT)

ISO 10218-1:2011 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第 1 部分:机器人(Robots and robotic devices—Safety requirements for industrial robots—Part 1:Robots)

注:GB 11291.1—2011 工业环境用机器人 安全要求 第 1 部分:机器人(ISO 10218-1:2006,ISO 10218-1/Cor.1:2007,IDT)

ISO 11593 工业环境用机器人 末端执行器自动更换系统 词汇(Robots for industrial environments—Automatic end effector exchange systems—Vocabulary)

注:GB/T 17887—1999 工业机器人 末端执行器自动更换系统 词汇和特性表示(eqv ISO 11593:1996)

3 术语和定义

GB 11291.2—2013、GB/T 15706—2012、GB/T 19400—2003、GB/T 36008—2018、ISO 10218-1:2011、ISO 11593 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 与 IEC 维护以下用于标准化的术语数据库,网址如下:

- ISO 术语库:<http://www.iso.org/obp>
- IEC 术语库:<http://www.electropedia.org/>

3.1

柔顺 compliant

材料或机构在受到力时表现出的变形。

示例:柔顺连杆、柔顺表面。

注 1：柔顺的反义词是刚性。

注 2：柔顺性在 GB/T 12643—2013 中定义。

3.2

机械接口 mechanical interface

位于操作机末端,用于安装末端执行器(3.3)的法兰安装面。

[来源：GB/T 12643—2013,3.10,有修改——在定义中增加了“法兰”,并删除了注]

3.3

末端执行器 end-effector

专门设计用于连接机械接口(3.2)的设备,使机器人能够执行其任务。

示例：夹持器(3.4)、焊枪、喷枪。

注 1：在本文件中,该术语指的是机器人系统中的末端执行器。

注 2：末端执行器有时称为机械臂末端工具(EOAT)。

[来源：GB/T 12643—2013,3.11,有修改——已从示例中删除了“扳手”字样,并增加了注]

3.4

夹持器 gripper

设计用于抓取工件的末端执行器(3.3)。

注：夹持、抓握、抓握动作和释放在 GB/T 19400—2003 中定义。

[来源：GB/T 12643—2013,3.14,有修改——“抓取和握持”已被定义中的“抓取工件”取代,并增加了注]

3.5

夹具 fixture

用于固定物品的装置,其作为机器人系统中搬运或组装过程的一部分,但不作为末端执行器(3.3)。

3.6

机器人应用 robot application

包括工业机器人系统[工业机器人、末端执行器(3.3)、工件和支持机器人执行其任务的任何机械、设备、装置、外部辅助轴或传感器]以及机器人系统工作空间内对工作空间的风险评估有影响的任何障碍物或物体的系统。

[来源：ISO 10218-1:2011, 3.11,有修改——改编自“工业机器人系统”的定义]

4 风险评估

4.1 通则

本章描述了机器人应用中末端执行器在风险评估部分特别相关的行为和因素。根据 GB 11291.2—2013 中 4.3.1,风险评估考虑整个机器人应用的风险,包括机器人、末端执行器、工件和夹具在整个生命周期内的风险。

根据 GB 11291.2—2013,初始风险是在没有采取任何风险减少措施的假设下进行评估的。这包括对现有机器人应用系统的修改。

潜在的接触情况(预定和非预定)以及人与末端执行器交互的预期可接近性都要考虑。

根据 GB 11291.2—2013 中 4.4.2,集成商在风险评估和工作空间设计期间与用户进行协商。此协商的目的是确保识别出与机器人单元相关的所有合理可预见的危险情况(任务和危险的组合),包括间接相互作用(例如,没有与系统相关的任务,但暴露于系统关联危险的人员)。集成商负责协调此参与,并根据应用的要求选择合适的末端执行器。

风险评估的结果记录在 GB/T 15706—2012 中 5.1 和第 7 章。

4.2 末端执行器的限制

在确定整个机器人应用的限制时,宜考虑末端执行器的限制(见 GB 11291.2—2013 中 4.3.2)。末端执行器的一些具体考虑因素可能包括但不限于以下内容。

- a) 使用限制(功能描述、预定用途和合理可预见的误用):
 - 自动或人工;
 - 手动引导;
 - 协作或非协作。
- b) 空间限制:
 - 末端执行器更换站;
 - 末端执行器和工件的移动;
 - 末端执行器和工件的尺寸变化。
- c) 时间限制:
 - 末端执行器或末端执行器部件或抓握工具的预期寿命;
 - 末端执行器更换系统的更换时间。

注:末端执行器更换时间的偏差可能显示机器人系统或末端执行器更换系统出现的故障。

- d) 其他末端执行器限制:
 - 可接受的工件形状/几何形状;
 - 工件的重心;
 - 最大/最小负载;
 - 最大/最小抓握力(见 GB/T 19400—2003 中 3.1.5);
 - 真空杯的最大/最小吸力;
 - 最大/最小磁吸力特性;
 - 抓握表面(例如夹持器手指)与工件之间的最小摩擦力;
 - 工件的物理特性,例如最大/最小尺寸、柔顺性;
 - 最大速度和/或加速度;
 - 环境数据,例如最高/最低温度。

4.3 危险识别

4.3.1 通则

根据 GB 11291.2—2013 的第 4 章,风险评估宜确定末端执行器的预定用途和可合理预见的误用有关的所有危险。通过基于任务的风险评估来确定末端执行器的危险(见 GB 11291.2—2013 中 4.4)。在与用户协商后,集成商识别与末端执行器相关的所有任务。这些任务可能与操作模式相关。识别了末端执行器的使用。根据 GB/T 15706—2012,宜考虑的因素包括但不限于以下方面:

- a) 运输;
- b) 组装、安装或调试,例如流程观察和监测;
- c) 设置,例如示教和测试机器人的程序;
- d) 操作,例如,不需要拆卸的常规操作员干预,如装载/卸载操作,操作员干预,例如清除堵塞或类似的简单修正;
- e) 清洁或维护,例如,操作员与自适应夹具的交互,自适应夹具为了适应工件或组件可变的形状;
- f) 故障查找或故障排除;
- g) 拆除或禁用。

为了识别危险,需要了解末端执行器与机器人应用的其他部分之间的相互作用。

虽然协作和非协作应用的危险相似,但操作员暴露于这些危险的程度可能差异很大。因此,要考虑的最相关的风险可能有所不同,具体取决于末端执行器是用于协作应用,还是仅在非协作环境中运行。

4.3.2 末端执行器和工件的危险示例

由末端执行器和工件可能引起危险的示例包括但不限于附录 D。

4.4 风险估计

GB/T 15706—2012 中将风险定义为伤害发生的概率与伤害严重程度的组合。附录 A 给出了与末端执行器相关的风险的实例。

与末端执行器和工件相关的危险可能比与机器人运动相关的危险更严重或更轻微,取决于末端执行器和工件危险相关的风险估计,根据 GB 11291.2—2013 中 5.2,用于控制这些危险的安全功能具有一个安全性能等级(PL)或安全完整性等级(SIL)。

风险等级还取决于应用里是否使用了 GB 11291.2—2013 中 5.11 描述的协作操作类型,并相应考虑操作员的暴露。协作和非协作应用的危险相同,但暴露程度可能差别很大。

根据 GB/T 15706—2012,在设计协作和非协作应用的末端执行器时,要仔细考虑暴露。

注: ISO/TR 14121-2 给出了风险估计工具的例子。

4.5 风险评价

根据 GB/T 15706—2012,风险评价宜在风险估计后进行,以验证风险是否已减小。

4.6 剩余风险

根据 GB 11291.2—2013 中 7.1,已识别的剩余风险的有关信息包含在使用信息中,见第 7 章。

5 安全要求和风险减小

5.1 通则

根据 GB 11291.2—2013,末端执行器:

- 设计和制造符合 GB 11291.2—2013 中 5.3.10;
- 任何与安全相关的控制功能符合 GB 11291.2—2013 中 5.2。

如果预定使用为功率与力限制(PFL)协作应用时,GB/T 36008—2018 的附录 A 提供了建立阈限值的方法。

注 1: 在 ISO 10218-1:2011 中 5.10.5 和 GB 11291.2—2013 中 5.11.5.5 描述了功率与力限制的机器人和机器人系统,GB/T 36008—2018 包含了附加信息。本章包含的信息为通用末端执行器的设计者、为机器人应用选择末端执行器的集成商以及为特定机器人应用设计末端执行器的集成商提供了详细的指导。

注 2: GB 11291.2—2013 要求对末端执行器的特定应用进行风险评估。

5.2 风险减小的措施

5.2.1 形状和表面

末端执行器和夹具的设计能够结合减少尖锐边缘的设计措施,以减少人体接触力或压力(例如,使用光滑和柔顺的表面)。末端执行器的质量尽可能低,以最小化与暂态接触相关的力或压力(例如,最小化动量和动能)。衬垫、缓冲材料和可变形部件能够减少冲击能量的传递。

采取减小风险的措施,以尽量减少尖锐边缘带来的风险,并防止运动时边缘可能导致的不可接受的接触力或压力。可能采取增加边缘半径、增加表面积、修改边缘轮廓(例如倒角)或使用不同的表面材料等保护措施。GB/T 36008—2018 提供了有关协作机器人应用的更多信息。

末端执行器还能被设计成提供保护,以避免与工件相关的危险。

5.2.2 保护装置和安全相关功能

在某些机器人应用中,能够使用内置于末端执行器,或与末端执行器直接相关的保护装置和安全相关控制系统来减小风险。保护装置和安全控制系统能包括但不限于以下内容。

- a) 力感知(例如,比机械臂的力传感系统更灵敏的增强性力传感系统)
 - 对末端执行器表面作用力进行测量以及对末端执行器和/或机器人进行相应的监控作为安全功能。
- b) 末端执行器路径规划
 - 如果夹持器的某些定位导致出现挤压点和/或尖锐边缘(例如,机器人将螺钉拧入一个孔),则尽可能减小机器人在该方向上的运动,并且尽可能降低运动速度以减少风险;安全级软轴线和空间的限制功能能用于监控机器人运动和末端执行器的方向和位姿。

注 1: ISO 13854 包含有关避免挤压人体部位的最小间隙的信息。

- c) 抓握力
 - 如果末端执行器的最大抓握力超过风险评估安全限值的情况下,根据 GB/T 36008—2018,减小末端执行器施加的抓握力并监测其不超过可接受的水平。
- d) 速度监控
 - 在设计夹持器时,考虑预定使用夹持器的机器人的速度;
 - GB/T 36008—2018 中提供了针对协作应用的指导;
 - 如果末端执行器的运动的控制与机器人分开控制,则除了考虑机器人系统停止外,还要考虑末端执行器的停止监控。
- e) 存在感知
 - 传感器(例如,接近度、运动和图像)能够用于检测工件,该工件有可能启动对操作员可能造成危害的序列;
 - 为了减小在协作操作期间与移动末端执行器接触的风险,可能使用传感装置,例如,当末端执行器被触摸时或操作员位于末端执行器周围的检测区域内时,末端执行器不能致动;
 - 这些设备符合 IEC 61496 的适用部分;这些设备的集成符合 GB 11291.2—2013 中 5.2。
- f) 柔顺连杆(例如机器人机械法兰和末端执行器之间的柔韧连接)
 - 夹持器的柔顺连杆和机构能够吸收接触能量,通过柔顺连杆方式实现传输力、运动或能量的消散,以减小风险且不引入新的风险;
 - 传感器或安全功能可能被用来启动保护性停止;
 - 对于 PFL 的机器人协作应用,启动保护性停止的有效作用力满足 GB/T 36008—2018 中 5.5.5;

注 2: 可能使用碰撞保护装置、能量吸收材料、弹簧。

- 末端执行器施加到环境的力或扭矩能够被限制,例如,通过机械连接装置,当达到某个力或扭矩水平时,通过屈服机械连接装置来限制力或力矩。

- g) 功能安全要求
 - 依据 ISO 13849-1,通过风险减小过程推导出功能安全要求;
 - 末端执行器安全相关功能的设计满足 GB 11291.2—2013 中 5.2。

注 3: 末端执行器的安全相关功能可能由机器人或者末端执行器提供。

h) 紧急停止

- 根据 GB 11291.2—2013,末端执行器和其安装的机器人的急停功能处于相同的控制范围内;
- 根据 ISO 13850,急停的启动至少要停止或控制与机器人和末端执行器相关的所有危险;
- IEC 60204-1 规定了关于急停类别的要求;
- 如果在应用的其余部分存在危险而产生额外风险,风险评估可能要求通过同样的功能来停止或控制这些风险。

5.2.3 机器人应用设计

能够对机器人应用系统的设计进行更改,以达到充分减小风险的目的。可能考虑的设计因素包括但不限于以下内容:

- a) 在正常和手动操作期间,末端执行器/夹具/工件与任何障碍物(例如,柱子、建筑支柱)之间的间隙;
- b) 障碍物(例如,柱子、推车或其他机器人应用对象)或外来物体(例如,自动引导车经过)以及它们如何与机器人系统操作相关;
- c) 机器人系统和机器人应用的边界和入口/出口的位置。

5.2.4 用户实施的风险减小措施

根据 GB/T 15706—2012 中图 2,组织措施包括制定和使用安全工作程序、监督、许可工作系统,个人防护设备(PPE)的使用和机器人应用设备、机械、变更管理的培训(例如,通过使用安全用户配置文件、密码、校验和其他措施)。

5.3 安全相关的控制系统性能

当应用 5.2.2 时,要符合 GB 11291.2—2013 中 5.2,其中包括安全相关控制系统性能的规定。

根据 GB/T 15706—2012,需要进行风险估计,以确定应用于特定机器人系统的安全功能所需的性能水平(PLr)。安全相关的控制系统(电气、电子、液压、气动和软件)符合 GB 11291.2—2013 中 5.2.2 或 5.2.3。

5.4 夹持型末端执行器

5.4.1 通则

机器人末端执行器通常包括设计用于保持工件的夹持机构。总之,存在两种各具优缺点的夹持原理,即机械驱动(例如,抓握或夹紧)和非机械驱动(例如,真空杯和磁性夹持器)。原理选择和机械设计宜符合 GB 11291.2—2013 中 4.1.4 的特定应用。末端执行器的设计和安装满足 GB 11291.2—2013 中 5.3.10 的规定。

为特定应用选择或设计夹持器时,末端执行器的特征和功能可能作为减小风险措施的一部分。这些夹持器的特征和功能包括但不限于以下内容:

- a) 手动移动或释放功能,无需动力就可使用,以释放夹到的手指或其他身体部位;
- 注 1: 动力包括但不限于电动、气动、液压、动能或储能。
- b) 失去动力时持续夹持功能,防止重工件掉落;
 - c) 实现对物体充分抓握所需的最小夹持力,而不是可用的最大力;
 - d) GB/T 36008—2018 中 5.5.5 的要求适用于夹持/抓握的工件与操作员之间的接触;
 - e) 消除挤压危险的应用设计措施(例如,当机器人定位夹持器时的安全级力限制,如果夹持器不

在夹持位置,则禁止夹持器闭合,夹持器关闭时,有足够的间隙使操作员的手指不会被挤压)。

注 2: 夹持器设计及其安全性能的示例见附录 B。

注 3: 附录 C 给出了夹持器风险评估方面的具体指导。

5.4.2 抓握式夹持器

工件可能固定在抓握式夹持器中,通常通过形封闭抓握或力封闭抓握(见 GB/T 19400—2003 中 3.2.1.2 和 3.2.1.3)。在前一种情况下,抓握表面几何地将工件困在原位。后一种情况,通过工件和抓握表面之间的抓握产生的摩擦力来握持工件。

一些夹持器可能具有一种物理驱动能力,其显著高于通常配置的作用力。控制夹持力的系统可能具有固定或可调的力设置。如果夹持器控制系统中的故障能够导致机器人应用中出现不可接受的风险,则安全相关功能要防止力超过安全阈值。安全功能满足 GB 11291.2—2013 中 5.2 的规定。

如果力是可调节的,则界面的设计使设定和调节能执行到一致的值。可能需要验证设置(例如,通过使用校验和指示)和防止未经授权的更改(例如,通过使用密码)。

使用销式夹持器通过销、针和钩透穿表面来抓取工件,透穿件的锋利程度是一个考虑因素。

5.4.3 真空夹持器

真空夹持器需要考虑工件的失吸。

如果真空失吸能够导致风险,可能要考虑以下方面来减小风险:

- a) 多样化或冗余的真空系统(每个分支能将工件固定到位);
- b) 安全相关的控制和真空的产生具有适当的 PL;
- c) 当电源丢失以及真空吸持工件仅维持有限时间(即几秒到几分钟),发出警告信号(音频/视觉)。

安全相关的控制功能符合 GB 11291.2—2013 中 5.2。

5.4.4 磁吸夹持器

由于磁力损失或磁场变化引起的工件的失吸或释放可能是磁吸夹持器的关注点。磁场的影响是磁吸夹持器的选择和使用中要考虑的因素。

如果工件的失吸或释放能够导致风险,可能要考虑以下因素来减小风险:

- a) 多样化或冗余的磁吸系统(每个分支能够将工件固定到位);
- b) 安全相关的控制和磁场的产生具有适当的 PL;
- c) 当电源丢失以及真空吸持工件仅维持有限时间(即几秒到几分钟),发出警告信号(音频/视觉)。

根据 GB 11291.2—2013 中 5.2,磁吸夹持器的激活/停用能够被安全地监测。

5.5 特定应用的末端执行器

5.5.1 通则

有一些特定应用的末端执行器,末端执行器在工件或其环境中执行任务,而不是通过抓取来操作(见 5.4)。当操作员暴露于末端执行器应用所产生的危险时,末端执行器的设计要使其操作的危险属性降低到一个适当的水平。

5.5.2 应用示例

应用示例包括但不限于:

- a) 连接/组装/黏合/检查(例如,焊接、激光、感知、测量、压合、胶合、密封、铆接);

- b) 紧固(例如,扭矩枪);
- c) 材料去除/切割/修剪/研磨/抛光/去毛刺/打磨(例如,激光、刀刃、水射流、钻孔);
- d) 点胶/喷涂/涂覆(例如,热胶合、涂装、模具注塑、铸造);
- e) 使用有排放的技术(例如,激光、水切割、辐照、超声波)。

5.5.3 减小风险

5.5.3.1 通则

其他设计方法(见 4.3 和 5.3)包括但不限于以下内容:

- a) 抑制危险(例如,防护装置、防护罩);
- b) 确定危险的位置,使其不被操作员接触到;
- c) 使用一个决定末端执行器方向的禁用功能;
- d) 当存在危险时,减少协作工作空间(例如,区域,使用机器人的安全级定向功能);
- e) 区分可发生意外危险过程的区域;
- f) 在危险过程之前和期间提醒操作员,包括过程结束后的剩余时间(例如,警告符号、发光标志、音频信号);
- g) 使用基于条件的次序(例如,温度范围,缩回的刀片)而非定时器;
- h) 在使用额外的 PPE(例如,听力保护、护目镜、焊接面罩、耐热手套)时,设计一个具有合适通道的布局;
- i) 检查工具,如超声波检查和摄像系统;
- j) 用于警告操作员热表面的指示(例如,警告符号、发光标志或音频信号)。

有关安全相关功能见 5.3。

5.5.3.2 焊接应用

用于任何焊接应用的末端执行器的设计,要使焊丝送料机不会无意地向前送焊丝(有刺激操作员眼睛的风险)。实现这种设计方式的示例包括但不限于使用禁用功能(其取决于末端执行器的方向),或使用机器人定向功能。

注:在焊接应用时,通常强烈建议使用 PPE 或遮挡物,以保护操作员免受焊接光和飞溅物的伤害。

5.6 手动引导机器人的末端执行器

5.6.1 通则

手动引导的装置旨在根据协作操作(见 GB 11291.2—2013 中 5.11.5.3 和 GB/T 36008—2018 中 5.5.3)类型之一的手动引导提供直接操作员输入,以实现机器人运动。这种类型的手动导向装置至少具有以下功能:

- a) 具有适当控制范围,以涵盖所有相关危险的紧急停止装置;
- b) 具有适当控制范围,以适用于所有相关危险的使能装置;
- c) 用于实现机器人运动的输入装置,例如,操纵杆或其他控制装置。

对于许多应用,可能需要提供其他控制功能来完成生产任务。如果手动引导应用涉及移动夹持器中负载,则手动引导装置能够提供打开和闭合夹持器的手段。

5.6.2 减小风险

与手动引导应用相关的特定风险包括暴露于移动的机器人系统和工件、暴露于悬挂的负载,以及非人体工学的姿势和相关身体劳损的可能性。与整个手动引导装置的位置和功能有关的缓解措施可能

包括：

- a) 选择最佳位置时,要考虑对应用进行全面了解,最大限度地减少移动工件的暴露,并为操作员提供符合人体工程学的良好姿势,可能包括安装在末端执行器结构上、安装在固定工位上或为操作员提供携带移动设备;
- b) 用于联锁或监控的安全功能,如夹持器关闭和打开等功能以及末端执行器的定位信息,这能够防止在危险位置意外释放负载;
- c) 限制机器人系统的运动部件和工件的速度、加速度和减速度;
- d) 限制机器人系统运动部件和工件致动的力和扭矩;
- e) 确保断电不会导致负载落失、意外运动或其他危险。

手动引导装置控制的表现形式及其作为机器人部件的实现方式,是实现手动引导类型协作操作风险降低措施的关键。

5.7 末端执行器更换系统(工具更换器)

如果机器人系统能够在未连接末端执行器的情况下启动运动,则风险评估要考虑这种情况。对未连接末端执行器的情况下,可能的运动不宜导致不可接受的风险。

在多个机器人使用相同类型的末端执行器更换系统(工具更换器)的情况下,只有机器人和末端执行器的预定组合是可能的。

宜考虑选择了不正确末端执行器的可能性(例如,检测正确的末端执行器,监测末端执行器支架/末端执行器更换系统),并且在可行的情况下,机器人系统能够检测到这种情况,并防止继续操作,直到做出正确的选择。

根据 GB 11291.2—2013 中 5.10.9,防止末端执行器的非正常释放(例如,释放仅发生在对接站)。

注 1: ISO 11593 提供末端执行器自动更换系统的词汇表。

注 2: GB 11291.2—2013 中 5.10.9 给出了末端执行器更换(工具更换)系统设计的要求。

6 验证和确认

GB 11291.2—2013 第 6 章和 GB/T 36008—2018 第 6 章规定了验证和确认的要求。

7 使用信息

7.1 通则

GB 11291.2—2013 第 7 章和 GB/T 36008—2018 第 7 章规定了使用信息的要求。

末端执行器的使用信息由为目标应用的末端执行器解决方案的集成商提供。

使用信息包含确保安全和正确使用系统(包括末端执行器)所需的所有信息和指示,并向用户提供有关任何剩余风险的信息和警告。根据 GB/T 15706—2012,在设计协作和非协作应用的末端执行器时,要仔细考虑暴露。还要包括组件制造商的使用信息。

7.2 说明书

当末端执行器应用在特定的机器人系统时,说明书可包括以下信息(如适用)。

- a) 如果末端执行器有可移动部件,或有手指可能被夹住的地方,如何在有动力或无动力(例如,电动、气动、液压和动能)的情况下从夹紧状态中逃脱。
- b) 如果末端执行器的设计是为了预定操作下触碰,则为其设计预期接触频率。
- c) 如果末端执行器需特殊操作(例如,手动移除工件),提供如何在停止后重启机器人系统的

建议。

- d) 如果工人的安全受到机器人系统操作路径(例如,协作应用)的影响,重新对路径进行编程的自由度可能通过密码保护。
- e) 机器人运行期间哪些接触面和方向被认为是最合适,以及哪些接触面和方向被认为不太合适的指导(见 5.2.2 力传感)。

示例:一个末端执行器的一侧可能配备衬垫,因此建议可能将衬垫放在机器人运动的方向上。

- f) 在不影响风险评估的情况下,机器人应用可能更改或调整多少(例如,夹持器和/或工件定位):任何超出规范的变更可能都要求重新评估是否存在新的危险,或风险是否显著增加。
- g) 如有,建议保护措施,可包括但不限于以下内容:
 - 如有,建议机器人的特性和功能;
 - 如有,建议最大机器人速度;
 - 如有,建议最大接触频率。
- h) 如果动力缺失(电动、气动或液压)可能导致工件从末端执行器掉落。
- i) 如有,识别安全相关功能。
- j) 确定哪些功能是本质安全,哪些是通过控制而安全的,或二者的组合。
- k) 末端执行器非安全等级功能的故障如何能改变接触的严重程度(例如,增加夹持力)。
- l) 说明本质安全的夹持器最坏情况下的力。
- m) 为安全级夹持器力控制系统提供标称力和安全等级力设置的公差。
- n) 如有,提供其他方法来减少接触的严重程度。

附录 A
(资料性)
末端执行器风险评估的示例

A.1 总则

下面给出了与末端执行器相关的三个实例。

- 示例 1: 操作员将工件传递给使用夹持器的机器人的应用。当操作员握住工件时, 夹持器正在闭合, 夹到操作员手指的可能性很高。因此, 低风险需要夹到手指的严重程度低。
- 示例 2: 机器人在操作员旁边工作, 但不处理相同工件的应用。在这里, 在夹持器闭合时, 操作员手指不太可能靠近夹持器, 因此, 夹到操作员手指的可能性低于示例 1。
- 示例 3: 与示例 2 的情况相同, 但这次夹持器控制系统发生故障, 导致夹持器使用比标称值高十倍的力。那么, 在发生故障时夹住手指的可能性就忽略不计。

A.2 安全级监控停止的示例

当机器人单元处于安全级监控停止状态时, 人员可能进入机器人单元。如果末端执行器可能丢失工件, 则在防护装置锁定解锁之前, 工件可被重新定位到较低的位置, 以允许人员进入机器人单元。此示例见图 A.1。

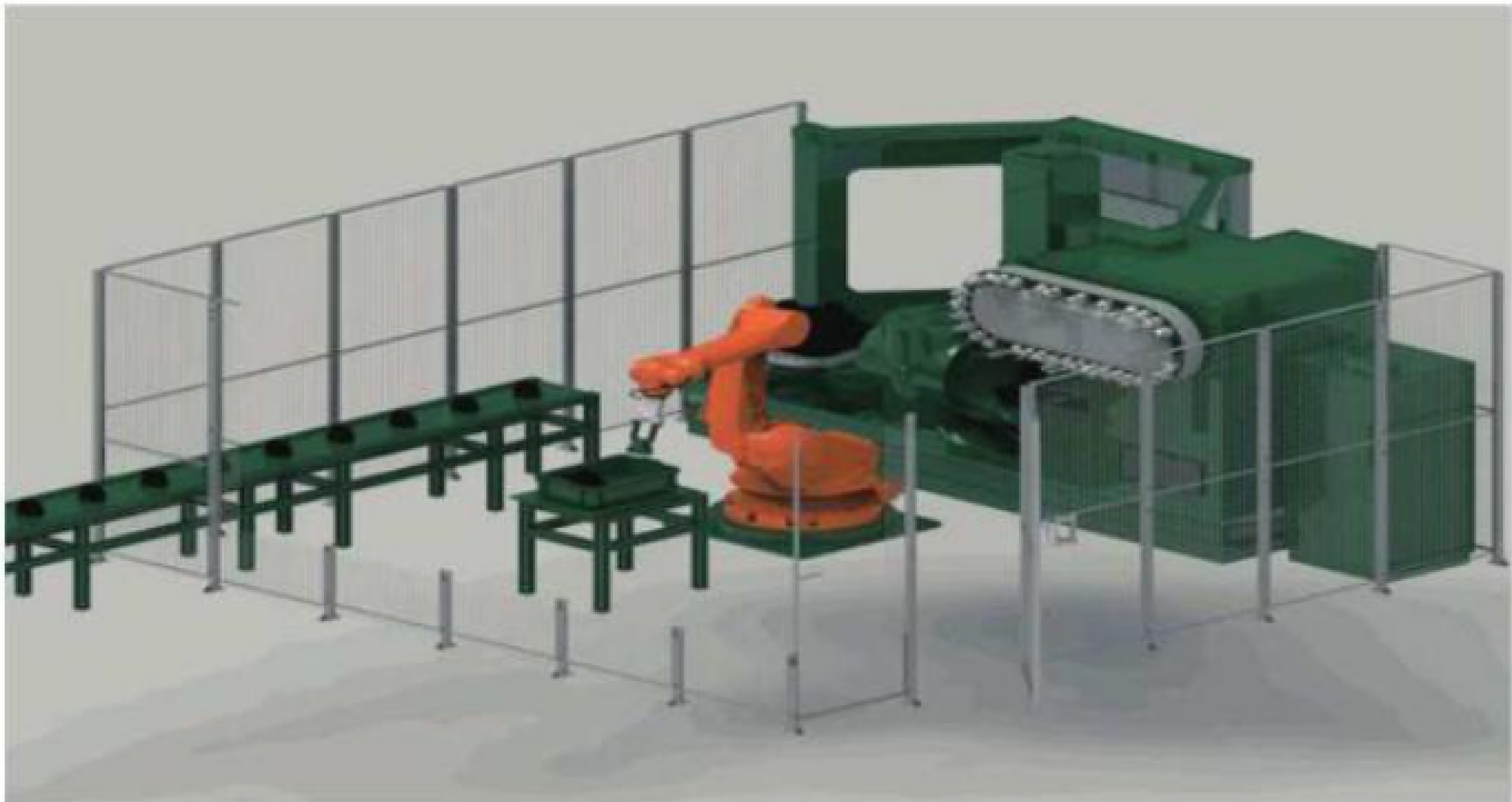
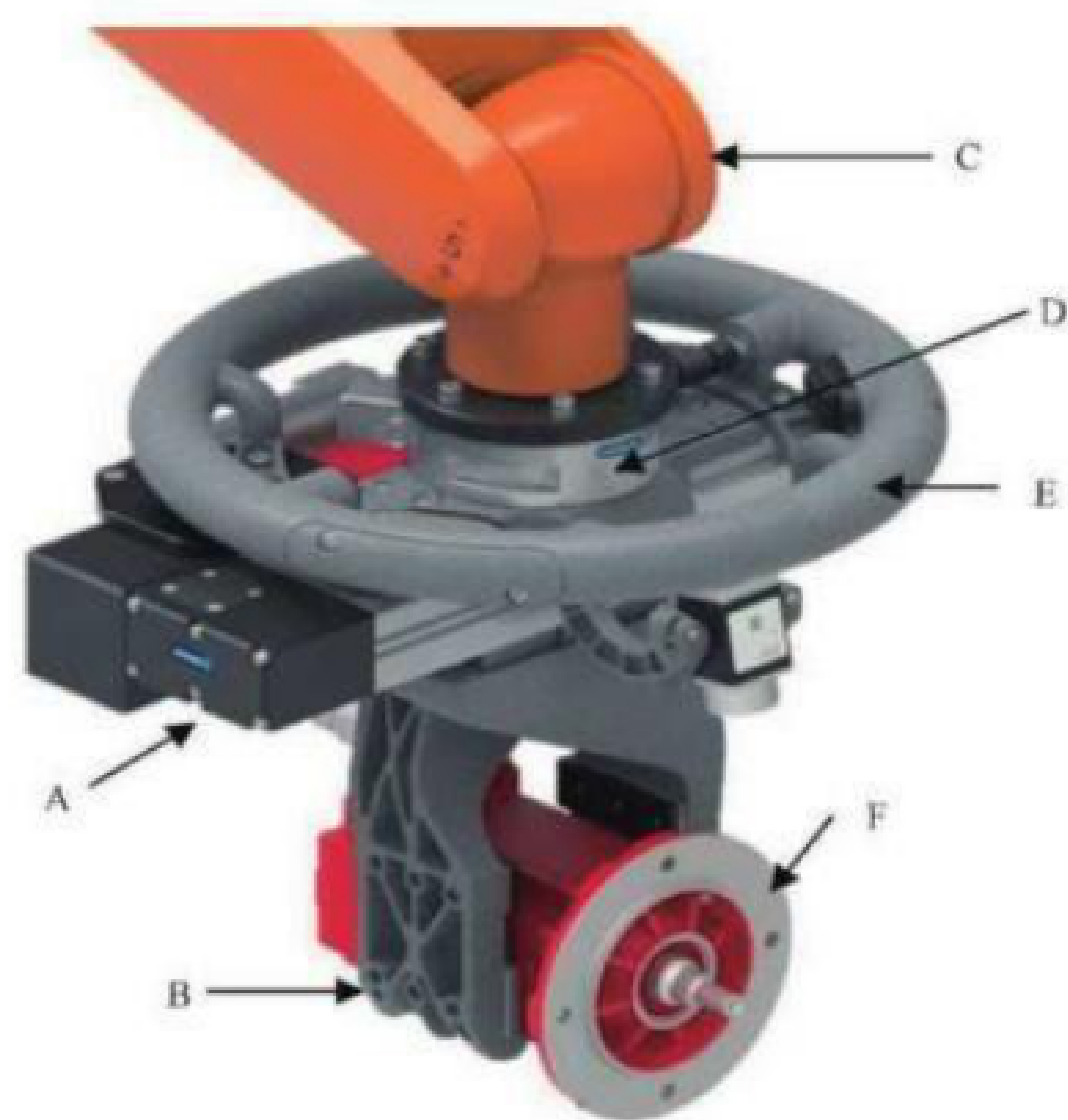


图 A.1 安全级监控停止示例

A.3 手动引导协作的示例

图 A.2 显示了手动引导型协作操作的应用示例。夹持器在夹持器与人员分离的区域抓取工件。引导夹持器的人按下手动导轮中的两个使能装置进行操作。使能装置的安全功能达到 ISO 13849-1 规定的性能等级 PLd, 同时作为两个 3 位置使能装置运行。

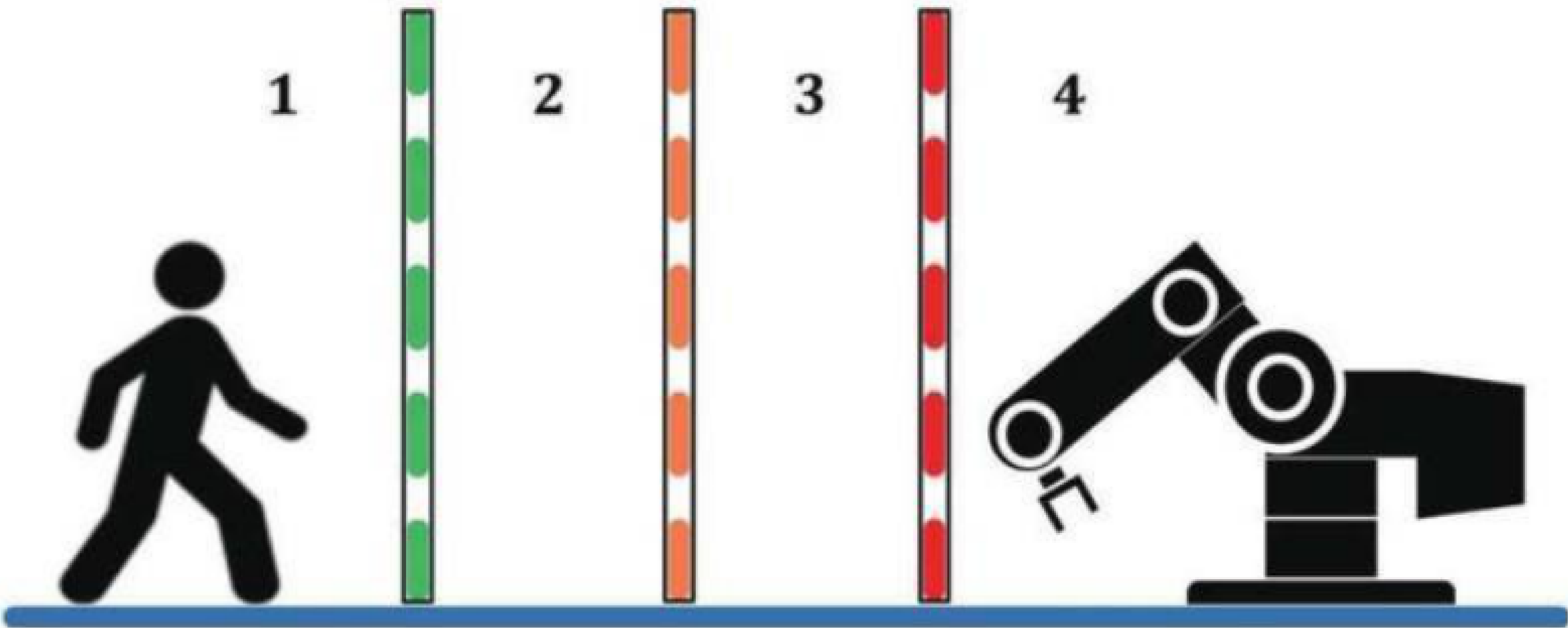


- 标引说明：
- A —— 夹持器；
 - B —— 夹持器手指；
 - C —— 机器人；
 - D —— 力-扭矩传感器；
 - E —— 手动导轮，带 3 个位置的使能装置；
 - F —— 工件。

图 A.2 手动引导示例

A.4 面向区域的减速示例

面向区域的降速是一个安全概念，见图 A.3，基于机器人系统和人员之间的距离，对机器人系统的入侵通过敏感保护设备监控。当人员到达最近的危险区域（例如，包括末端执行器的机器人系统）时，机器人单元处于安全状态。末端执行器如何能处于安全状态的一个例子是，末端执行器具有“安全操作停止”或类似能力，如 IEC 61800-5-2 所述。



标引序号说明：
1 —— 1 区；
2 —— 2 区；
3 —— 3 区；
4 —— 4 区：包含末端执行器的机器人系统。

图 A.3 由于区域监控导致的速度降低示例

A.5 功率和力限制协作应用的示例

图 A.4 显示了人员可能触摸工件或夹持器的应用。如果力与压力可能高于 GB/T 36008—2018 附录 A 的值，则夹持器受到安全限制。如果力与压力低于这些值，则夹持器安全功能所需的性能水平 (PL_r) 从风险减小过程中风险估计得出。

注：ISO 13849-1 包含功能安全的信息以及与功能安全相关的术语。



图 A.4 夹持器的力与压力限制

附 录 B

(资料性)

夹持器设计及其安全性能的示例

B.1 通则

能够承受高于 GB/T 36008—2018 附录 A 中确定的力与压力的夹持器,可能要求使用安全级的限制功能来充分减小风险,尽管其他保护措施可能达到相同的风险减小水平。

对于其他类型的协作操作,根据 GB/T 36008—2018,要求一个安全级监控停止。对于非协作应用,任何安全功能的要求都是根据 GB 11291.2—2013 和 ISO 10218-1:2011 的风险评估确定。

根据 IEC 61800-5-2 提供“安全操作停止”或类似操作,例如,能够通过冗余传感器和安全控制器实现。

B.2 电动夹持器

电动夹持器可能具有一个内部或外部控制器和电机控制。在这两种情况下,高于 GB/T 36008—2018 附录 A 的力和压力,在功率和力受限的协作应用的情况下被安全限制。对于其他类型的协作操作,根据 GB/T 36008—2018 进行保护性停止。对于非协作应用,根据 GB/T 15706—2012 和 GB 11291.2—2013 在风险评估中确定任何夹持器安全功能的需求。

附录 C
(资料性)

危险示例——危险潜在起源和后果

表 C.1 按照危险的类型(机械安全、电气安全)将其进行分组,提供了危险类型的起源和潜在后果。

表 C.1 危险示例——危险潜在起源和后果

类型或分组	危险示例	
	起源	潜在后果
机械	<div>—— 电缆相关问题(例如钩刺、断裂和抽打);</div> <div>—— 抓握失败;</div> <div>—— 传感器损坏;</div> <div>—— 机械法兰接口或末端执行器更换(工具更换系统)故障;</div> <div>—— 末端执行器磨损;</div> <div>—— 末端执行器设计不适合工件的变化</div>	<div>—— 末端执行器与机器人操作机、工件夹具或机器人单元中的其他物体之间的挤压危险;</div> <div>—— 机器人系统的工件和零件坠落;</div> <div>—— 非正常或意外地释放工件;</div> <div>—— 抓握失败,未抓住或掉落工件;</div> <div>—— 末端执行器和机器人、工件、固定装置或工作单元中的其他物体之间的夹点</div>
能源(例如电气、气动或液压、传感器)	<div>—— 失电;</div> <div>—— 断电命令;</div> <div>—— 不正确的设计以及使用急停和保护停止;</div> <div>—— 释放储存的能量;</div> <div>—— 低估的电力需求;</div> <div>—— 作为末端执行器工艺的一部分定向能源(例如激光、水射流、电弧);</div> <div>—— 传感器(例如,非人眼安全的激光器);</div> <div>—— 失压;</div> <div>—— 电缆或软管损坏(例如电气、气动、液压)</div>	<div>—— 机器人系统的工件和零件坠落;</div> <div>—— 非正常或意外地释放工件;</div> <div>—— 末端执行器中存储能量的危险释放;</div> <div>—— 由于抓握失败在静止或运动中弹出工件;</div> <div>—— 末端执行器从执行器更换系统非正常或意外地释放</div>
电气	<div>—— 带电的末端执行器表面;</div> <div>—— 过热;</div> <div>—— 暴露的电导体/带电末端执行器表面</div>	<div>—— 触电击;</div> <div>—— 皮肤烧伤</div>
人体工学	<div>—— 不利于操作员的工作条件,例如,不良姿势、重复动作和负荷</div>	<div>—— 压力;</div> <div>—— 疲劳;</div> <div>—— 偏离工作程序;</div> <div>—— 背痛;</div> <div>—— 操作员的异常和/或快速消耗;</div> <div>—— 病假天数增加;</div> <div>—— 身体压力</div>

表 C.1 危险示例——危险潜在起源和后果（续）

类型或分组	危险示例	
	起源	潜在后果
操作员错误	—— 工件未对准； —— 不正确的编程顺序； —— 不正确的输入/输出激活（在示教期间）；输入/输出命令错误	—— 通过夹持器机构夹紧； —— 非正常的接触； —— 静止或运动时弹出的工件； —— 末端执行器从末端执行器更换系统（工具更换器）意外或非正常释放
控制系统	—— 失去通信； —— 传导率驱动信号丢失； —— 机器人系统故障； —— 不正确的应用、设计和/或编程	—— 机器人系统的工件和零件坠落； —— 末端执行器从末端执行器更换系统（工具更换器）非正常或意外地释放； —— 不想要的、意料外的或不安全的系统行为
包括工件在内的可触及部件的形状和/或表面精加工	—— 接触锋利的边缘、尖锐的尖角、拐角或毛刺	—— 切割或切断； —— 剪切； —— 刺伤或刺穿； —— 擦伤
热力学	—— 接触热或冷的末端执行器表面，这些末端执行器在工艺中与工件或机器人系统部件接触	—— 烧伤、烫伤（发热）； —— 冻伤
化学	—— 工艺产生的烟雾； —— 清洁材料磨损； —— 喷涂时喷雾（即油漆）； —— 由于泄漏、溢出等接触； —— 接触末端执行器上的有害物质，这些物质来自末端执行器在工艺过程中与此类物质的接触	—— 烧伤、烫伤（化学）； —— 皮炎（皮肤干燥，破裂）； —— 皮疹/刺激； —— 呼吸（呼吸）问题； —— 注射（化学）
生理学	—— 接触原料、加工或传染性的生物制品	—— 消化问题； —— 皮肤上的细菌/真菌生长； —— 注射（生物）
驱动	—— 错误的顺序； —— 非正常启动	—— 弹出的工件

附 录 D
(资料性)
末端执行器功能导致的危险示例

表 D.1 提供了末端执行器功能导致的危险示例。

表 D.1 末端执行器功能导致的危险示例

功能	类型	危险来源	潜在后果
通用		锋利边缘	
夹持	(通用)	工件(重力)	
	机械夹持器	夹持结构	粉碎
	真空夹持器		
	磁吸夹持器	EMF(电磁场)	热效应 刺激肌肉、神经或感觉器官 对植入式医疗装置的影响
	销式夹持器		
焊接	点焊枪	焊接电流 焊接飞溅物 高温 EMF(电磁场)	电击/烧伤 烧伤 烧伤 对植入式医疗装置的影响
	弧焊枪	焊接电流 弧光(UV) 高温 EMF(电磁场) 烟雾	电击 闪电性眼炎 烧伤 对植入式医疗装置的影响 呼吸困难、刺激、中毒
	激光焊枪	激光束(直接、反射) 烟雾、气体 高温	烧伤、失明 呼吸困难、刺激、中毒
	超声波焊枪	超声	
涂装	通用	涂装材料	根据材料的安全数据表
	静电喷枪	静电	触电、点火源
	非静电喷枪		
	应用(胶水、封口机)	锋利的末端执行器或抓握工具	穿透
切割, 钻孔	机械	锯片、钻头	刺激、切断、纠缠
	等离子火焰	等离子体 烟雾、气体 高温	
	激光	激光束 烟雾、气体 高温	烧伤、失明 呼吸困难、刺激、中毒 烧伤
	水射流	高压水	穿透、坏死、感染

表 D.1 末端执行器功能导致的危险示例（续）

功能	类型	危险来源	潜在后果
抛光	抛光末端执行器或抓握工具	旋转末端执行器或抓握工具	
针织		针	穿透
标志	机械(例如钻、针)		穿透
	喷墨	喷嘴	穿透
	激光	激光束 烟雾、气体 高温	烧伤、失明 呼吸困难、刺激、中毒 烧伤
拧	螺丝刀		
弯曲	(通用)	接触区域	粉碎
吊装	(通用)	工件(重力)	
检查	激光	激光束	失明

参 考 文 献

- [1] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
- [2] ISO 3864-1 Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Part 1: Design principles for safety signs and safety markings
- [3] ISO 3864-2 Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Part 2: Design principles for product safety labels
- [4] ISO 3864-3 Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Part 3: Design principles for graphical symbols for use in safety signs
- [5] ISO 3864-4 Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Part 4: Colorimetric and photometric properties of safety sign materials
- [6] ISO 7000 Graphical symbols for use on equipment—Registered symbols
- [7] ISO 7010 Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Registered safety signs
- [8] ISO 9409(all parts) Manipulating industrial robots—Mechanical interfaces
- [9] ISO 13849-1 Safety of machinery—Safety-related parts of control systems— Part 1: General principles for design
- [10] ISO 13849-2 Safety of machinery—Safety-related parts of control systems —Part 2: Validation
- [11] ISO 13850 Safety of machinery—Emergency stop function—Principles for design
- [12] ISO 13854 Safety of machinery—Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body
- [13] ISO 13855 Safety of machinery—Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body
- [14] ISO 13856(all parts) Safety of machinery—Pressure-sensitive protective devices
- [15] ISO 13857 Safety of machinery—Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs
- [16] ISO 14118 Safety of machinery—Prevention of unexpected start-up
- [17] ISO/TR 14121-2 Safety of machinery—Risk assessment—Part 2: Practical guidance and examples of methods
- [18] ISO 29262 Production equipment for microsystems—Interface between end effector and handling system
- [19] ISO 31000 Risk management—Guidelines
- [20] ISO/TR 23849 Guidance on the application of ISO 13849-1 and IEC 62061 in the design of safety-related control systems for machinery
- [21] IEC 31010 Risk management—Risk assessment techniques
- [22] IEC 60073 Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification—Coding principles for indicators and actuators
- [23] IEC 60204-1 Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1: General requirements
- [24] IEC 61310-1 Safety of machinery—Indication, marking and actuation—Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals
- [25] IEC 61496(all parts) Safety of machinery—Electro-sensitive protective equipment

[26] IEC 61800-5-2 Adjustable speed electrical power drive systems—Part 5-2: Safety requirements—Functional

[27] IEC 62046 Safety of machinery—Application of protective equipment to detect the presence of persons

[28] IEC 62061 Safety of machinery—Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems

[29] EN 614(all parts) Safety of machinery—Ergonomic design principles

[30] Research project, “Development of a novel test method for skin safety verification of physical assistant robots”, Nagoya University, Xuewei Mao, Yoji Yamada, Yasuhiro Akiyama, Shogo Okamoto and Kengo Yoshida, 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Singapore, 2015, pp. 319-324. doi: 10.1109/ICORR.2015.7281219.

中 华 人 民 共 和 国
国家标准化指导性技术文件
机器人 工业机器人系统的安全设计
第 1 部分：末端执行器

GB/Z 43065.1—2023/ISO/TR 20218-1:2018

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

服务热线:400-168-0010

2023 年 9 月第一版

*

书号:155066·1-73850

版权专有 侵权必究



GB/Z 43065.1-2023

www.bzxz.net

免费标准下载网