

中华人民共和国国家标准

GB/T 20867.1—XXXX
全部代替 GB/T 20867-2007

工业机器人 安全要求应用规范

Industrial robot—Application specification for safety requirement

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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.....	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 危险识别及风险评估.....	2
4.1 危险识别及风险评估限定.....	2
4.2 范围.....	2
4.3 风险评估.....	2
4.4 危险识别.....	2
4.5 风险要素.....	3
4.5.1 伤害的严重程度.....	3
4.5.2 伤害的发生概率.....	4
4.5.3 避免的可能性.....	4
4.5.4 风险评估工具.....	4
5 设计要求及保护措施.....	4
5.1 通则.....	4
5.2 通用要求.....	4
5.2.1 部件故障.....	4
5.2.2 能源.....	5
5.2.3 电气设备.....	5
5.3 致动控制.....	5
5.4 与安全相关的控制系统性能.....	5
5.5 机器人停止功能.....	5
5.5.1 通则.....	5
5.5.2 急停功能.....	5
5.5.3 保护性停止.....	6
5.6 降速控制.....	6
5.7 操作方式.....	7
5.8 示教控制.....	7
5.9 同时运动控制.....	7
5.9.1 单示教盒控制.....	7
5.9.2 安全设计要求.....	7
5.10 协同操作要求.....	7
5.10.1 通则.....	7

5.10.2	停止	7
5.10.3	手动引导	8
5.10.4	速度、位置监控	8
5.10.5	设计对动力及反作用力的限制	8
5.10.6	自主规划避障	9
5.11	奇异性保护	9
5.12	单轴限位	9
5.12.1	通则	9
5.12.2	轴的机械及机电限位装置	9
5.12.3	轴及安全空间的安全软限位	10
5.12.4	动态限位装置	10
5.13	无驱动源运动	10
5.14	起重措施	10
5.15	电连接器	10
6	使用信息	10
6.1	使用和维护	10
6.1.1	编程	10
6.1.2	编程数据	11
6.1.3	自动操作	11
6.1.4	程序验证（程序校验）	11
6.1.5	故障查找	12
6.1.6	维护	12
6.2	安装、试运行和功能测试	13
6.2.1	安装	13
6.2.2	试运行和功能测试	13
6.3	文件	14
6.4	培训	14
6.4.1	培训的目标	14
6.4.2	培训的要求	14
6.4.3	再培训的要求	14
附录 A	（资料性） 危险识别及风险评估示例	16

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。

本文件代替GB/T 20867—2007《工业机器人 安全实施规范》，与GB/T 20867—2007相比主要技术变化如下：

- 修改了原“前言”及“引言”内容；
- 修改了范围（见第1章，2007年版的第1章）；
- 修改了安全分析（见第4章，2007年版的第3章）；
- 修改了基本设计要求（见第5章，2007年版的第4章）；
- 修改了机器人设计和制造（见第5章，2007年版的第5章）；
- 修改了使用和维护（见6.1，2007年版的第7章）；
- 修改了安装、试运行和功能测试（见6.2，2007年版的第8章）；
- 修改了文件（见6.3，2007年版的第9章）；
- 修改了培训（见6.4，2007年版的第10章）；
- 增加了术语和定义（见第3章）；
- 增加了危险识别及风险评估示例（见附录A）；
- 删除了机器人系统的安全防护和设计（2007年版的第10章）。

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/TC591）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等。

本文件主要起草人：

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2007年首次发布为GB/T 20867—2007；
- 本次为第一次修订。

引 言

本文件是GB 11291.1 和GB/T 36008 的配套文件，目的是增加GB 11291和GB/T 36008标准的可操作性，便于工程技术人员、管理人员及用户更准确、全面的使用和实施安全标准。

工业机器人 安全要求应用规范

1 范围

本文件规定了工业机器人（包括协同操作）安全标准的实施步骤和细则，从而增加了GB11291.1、GB/T 36008标准的可操作性，便于广大生产厂商、销售商和用户的设计、安装、调试、操作和维护等相关人员全面准确的使用和实施机器人安全标准。

本文件适用于工业环境中的工业机器人及其系统的设计、生产、销售、管理和使用。

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 5226.1-2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件(IEC 60204-1:2016, IDT)

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, IDT）

GB/T 12644-2001 工业机器人 特性表示（ISO 9946: 1999 ,EQV）

GB/T 14848 （所有部分） 低压开关设备和控制设备（IEC 60947, IDT）

GB/T 15706-2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小（ISO 12100-1: 2010, IDT）

GB/T 16856-2015 机械安全 风险评估 实施指南和方法举例（ISO/TR 14121-2:2012, MOD）

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

3 术语和定义

GB 11291.1-2011界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

风险评估 risk assessment

包括风险分析和风险评价在内的全过程。

【来源： GB/T 15706-2012, 3.17】

3.2

协同操作 collaborative operation

专门设计的机器人在规定的工作空间内直接与人一同工作的状态。

【来源： GB 11291.1-2011, 3.4】

3.3

安全空间 safeguarded space

由周边安全防护装置确定的空间。

【来源： GB 11291.1-2011, 3.25.4】

4 危险识别及风险评估

4.1 危险识别及风险评估限定

- 本文件是针对基于机器人任务的风险评估方法及降低风险提供了指导，基于风险评估，采用 GB/T15706 标准中规定的相关风险降低措施；
- 基于评估方法有多种类型，任何评估报告根据实际任务比本文件更严格的风险评估方法都是可接受的；
- 机器人在设计和使用时应满足机械安全的必要性，并对机器人在使用全生命周期过程中的维护、设置、操作等进行必要的风险评估，识别风险源并采取风险减小的安全措施。

4.2 范围

- 机器人的安全范围应考虑机器人本体的手臂最大范围，根据安全距离进行机器人的布局设计；
- 在机器人的布局应评估可能的各种操作，根据评估结果应考虑安全防护措施，例围栏+安全门锁等；

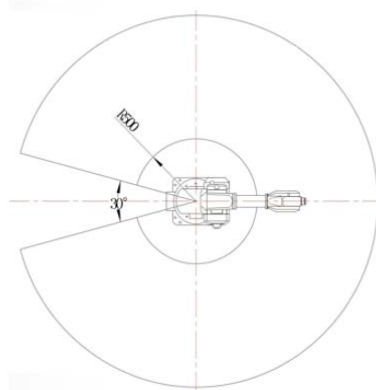


图1 机器人的安全范围

- 机器人的周围应空旷，减少机器人与其它物体的间距；
- 机器人的区域内可能进入的人数及人员的权限，能力是否经过相应的安全培训；
- 当人机协作时，应考虑的时间与空间的隔离；
- 机器人的限定，机器人是否满足安全控制系统性能要求。

4.3 风险评估

GB 11291描述了工业机器人产品在设计和使用采取安全措施的必要性，GB/T 15706—2012给出了风险评估和风险减小过程。

4.4 危险识别

危险识别的目标是形成一份危险、危险状态和/或危险事件的列表，该列表能够描述危险状态可能在何时以何种方式导致伤害的事故场景。

重点考虑的工业机器人全生命周期的阶段如下：

- a) 运输、装配、安装和试运转：
 - 1) 拆卸与运输有关的部件（例如覆盖物、固定螺钉），将机器固定在地板上，连接电源，检查安装是否正确（校正），检查所有控制器的功能和机器执行要求操作的能力；
 - 2) 安装与试运行阶段，应规范操作人员的职业权限，授权并培训人员对设备进行安装及试运行。
- b) 操作、设定：
 - 1) 是应用和使用中产生危险的一种潜在因素，一般是由误操作或由工人与机器人系统相互干涉、人为差错造成的对设备和人员的伤害。如人工上、下料与机器人作业节拍不协调等；
 - 2) 操作人员从任何通道进入设备内部，均应考虑进入后滞留的风险及防止尾随，任何通道进入的人员，是否是授权人员，是否是培训人员；
 - 3) 设定人员应有专用的维修通道，是否有授权设定，维修，调试的权限，设备是否具备了自动/手动的上锁挂牌，2类停止锁定能源。
- c) 清洁，维护：
 - 1) 维护、保养、5S卫生，更换内部零件；
 - 2) 所有进入内部清洁、维护人员停机0类，并且是否有防止重启的替代功能。
- d) 寻找故障/故障排查：
 - 1) 启动保护装置后机器在故障情况下运行。考虑内部有人时，设备被第三者误重启；
 - 2) 机械故障：
 - 考虑所有可能的机械故障；
 - 考虑发生过事故或者产品损坏记录的机械故障。
 - 3) 控制系统故障：
 - 机器人本体安全控制系统等级；
 - 机器人本体系统可能的故障风险：例在同步机械臂的时候，操作人员站的过近，机械臂突然做出不可预期的移动击伤人员。
- e) 停用、拆卸、报废阶段：
 - 1) 由使用者处理机器的所有零件。报废、拆除零件的风险；
 - 2) 拆解在维护阶段未被处理的风险；
 - 3) 提升机械臂处在不正确的提升位置坠落风险。

4.5 风险要素

两个主要风险要素是伤害的严重程度和该严重程度伤害发生的概率。风险估计的目的（见GB/T 15706—2012，图3）是确定每个危险状态的最高风险。

4.5.1 伤害的严重程度

每个危险事件可能造成几种不同严重程度的伤害。评估一系列具有代表性严重程度的风险并考虑能够实际发生的最严重（可信的最坏情况）的伤害是有帮助的。

严重程度分级的不同方法的举例见第6章中所述的风险估计方法：

注：见GB/T 15706—2012

- 灾难性的一导致死亡或永久残废的伤害或疾病（不能返回工作）；
- 严重的一导致人体严重虚弱的伤害或疾病（能回到某些岗位工作）；
- 中等的一要求救护的显著伤害或疾病（能够回到相同岗位上工作）；

——轻微的一至多需要急救的轻伤或没有受伤（损失少量或不损失工作时间）。

4.5.2 伤害的发生概率

风险估计的所有方法都需要通过考虑下列情况，估计伤害发生的概率：

- a) 人员在危险中的暴露程度（见 GB/T 15706—2012，5.5.2.3.1）；
- b) 危险事件发生的概率（见 GB/T 15706—2012，5.5.2.3.2）；
- c) 在技术和人员方面规避或限制伤害的可能性（见 GB/T 15706—2012，5.5.2.3.3）。

一人或多人暴露于危险之中时存在危险状态。如图 2 所示的危险事件导致发生伤害。

在评估伤害的概率时，还应考虑 GB/T 15706—2012，5.5.3 中所述的有关方面。

4.5.3 避免的可能性

避免危险是对操作员感知和躲避危险情况能力的评估。

影响避免的因素包括：

- a) 危险区的速度和人体工程学特性使操作员可以及时检测和避免危险。如果 机器或速度功能不能超过 250 毫米/秒，速度不超过 250 毫米/秒的速度 是可以避免的；
- b) 这个过程有可能造成超出保护空间的危险情况。这种情况可能包括处理危险材料（例如爆炸性或活性物质）。

4.5.4 风险评估工具

为了支持风险评估过程，可选用一种风险评估工具：

- a) 风险矩阵法；
- b) 风险图法；
- c) 数值评分法。

另外，还有使用综合方法的混合型工具。

注：GB/T 15706—2012中5.5.2描述的所有风险要素。

5 设计要求及保护措施

5.1 通则

工业机器人设计和制造应可通过目视、试验、测量等方法来检验其是否符合安全应用规范。如外观、锋利毛边、线缆/密封垫破损等，可通过目视检查方法识别风险；搬运/吊装稳定、IP防护可靠可通过实际试验识别风险；电磁兼容性、老化失效等可通过试验测量方法识别风险。

5.2 通用要求

工业机器人本体通用部分设计应符合以下基本安全要求。

5.2.1 部件故障

工业机器人所有组成部件设计，都应考虑在装配、储存、运输、使用、维护过程中出现退化性或突发性失效时，防止或尽可能降低危险发生。

工业机器人动力传动部件，如电机、减速器、同步带、传动轴等部件应使用固定或移动的保护装置来阻止危险发生。

示例：可移动拆卸安装的硬限位块，可在抱闸失效或传动轴断裂时，阻止周关节继续朝一个方向持续运动，从而降低损伤人体或周围设备的风险。

工业机器人机械储能部件，如平衡缸、弹簧、平衡飞轮等部件应粘贴醒目的危险类别、危险等级标识，以及部件维护指导说明，防止和降低由于误操作引起对人体或周围设备的伤害。

示例：平衡缸应粘贴危险标识和具备压力值显示表，可观测压力值是否正常，当处于正常区间以外需及时维护，同时应具备维护过程能量受控释放和储蓄的操作说明。

5.2.2 能源

工业机器人设计应考虑当动力源损失或失效情况下，防止机器人自身部件损伤及对人体和周围设备的伤害。

示例：电机抱闸选型时应考虑下电状态抱闸吸合转矩应小于电机允许瞬时最大转矩，同时应大于最大负载时保持转矩，当电源突然断开情况下，不会造成电机减速机承受瞬时转矩过大而导致部件故障，且能有效制动降低对人体和周围设备损伤风险。

5.2.3 电气设备

工业机器人设计应考虑使用环境电磁干扰、静电放电、射频干扰、浪涌、漏电等因素引发异常通信故障，导致部件烧毁、数据传输错误、异常下电停机、其他危险运动。

示例：如电磁干扰防护不足导致控制器误发送、漏发送目标位置信息至驱动器，会引发伺服报警停机对机器人产生冲击损伤、或引发错误运动导致撞机等危险。

5.3 致动控制

启动电源或运动的致动控制装置的设计和制造应满足GB/T 11291.1—2011中5.3所列的对意外操作防护、状态指示、标签、单点控制的要求。

5.4 与安全相关的控制系统性能

与安全相关的控制系统也称为SRP/CS(控制系统的与相关安全的部件)，包括电气、液压、气动和软件。

与安全相关的控制系统性能表述采用GB/T 16855.1-2008中所述的性能等级(PL)和类别。提供可供选择的性能要求的其他标准也可使用，如GB 28526所述的安全完整性等级(SIL)和硬件容错要求、北美的“控制可靠性”条款。使用这些可供选择的标准来设计与安全相关的控制系统时，应达到降低风险的同等水平。

与安全相关的控制系统至少应满足GB/T 11291.1—2011中5.4.2的要求。这些要求对应于GB/T 16855.1-2008所描述的PL=d、类别3。风险评估的结果也可能确定出一种替代的性能准则（GB/T 11291.1—2011中5.4.3的性能准则）是适用的，这时应满足GB/T 16855.1—2008中6.2所列的对类别的要求。

5.5 机器人停止功能

5.5.1 通则

每台机器人都应有保护性停止功能和独立的急停功能。这些功能应具有与外部保护装置连接的措施。急停输出信号应符合GB 11291.1-2011附录D进行选择。

5.5.2 急停功能

每个能启动机器人运动或造成其他危险状况的控制站都应有手动的急停功能,该急停功能设计应满足以下条件:

- a) 急停功能的安全性能应按 5.4 章节的要求;
- b) 急停器件应设计在容易接近的位置,如示教器、控制柜及其他能启动机器人运动或造成其他危险状况的控制站;
- c) 急停器件的设计应采用手掌或拳(例如蘑菇头式)触及操动的按钮装置、拉线操作开关、不带机械防护装置的脚踏开关,但不限于上述型式;
- d) 急停器件应是红色,其后面的衬托色应着黄色;
- e) 急停应确定选择 0 类或 1 类停止功能的作用,急停的类别选择应取决于机械的风险评估;
- f) 急停控制应优先于机器人的其他控制;
- g) 急停功能应尽快停止所有的危险运行,消除可由机器人控制的任何其他危险;
- h) 急停信号出发应能切断机器人驱动器的驱动源;
- i) 急停信号的发出在未经手动复位前应保持有效直至复位,若有几个急停装置,则在所有操作件复位前电路不应恢复,手动操作急停装置的操作件的触头应能确保直接断开操作件;
- j) 急停电路本身的复位不应启动机器人的任何运动,如果急停或动力源故障引起的逻辑判别错误或存储状态丢失,则应产生一个急停信号并在存储或逻辑顺序复位后才可以开始操作。

5.5.3 保护性停止

机器人应具有一个或多个的保护性停止电路,该保护性停止功能的设计应满足以下条件:

- a) 保护性停止的安全性能应按 5.4 章节的要求;
- b) 保护性停止应设计一个或多个供外部连接的装置;
- c) 保护性停止外接装置的安装使用,应循序制造商提供的安全距离规定决定;
- d) 保护性停止电路应确定选择 0 类或 1 类停止功能的作用;
- e) 保护性停止功能应尽快停止机器人所有运动;
- f) 保护性停止功能应能撤除机器人驱动器的动力;
- g) 保护性停止功能应能中止由机器人系统控制的任何其他危险等方式来控制安全防护的风险;
- h) 保护性停止功能的复位应采用手动或控制逻辑自动方式复位,未进行复位前不应引起机器人的任何动作;
- i) 当机器人可能具有停止类别 2 的额外保护停止功能,该功能不会导致驱动电源被切断,但在机器人停止后需要对停止状态进行监控,一旦机器人检测到停止状态下的任何意外动作或检测到的保护停止功能失效应导致 0 类停止。检测停止状态的安全性能按 5.4 章节的要求;
- j) 当机器人可能具有停止类别 2 的额外保护停止功能,电力驱动系统对应符合 IEC 61800-5-2 的安全操作停止(SOS)要求。

5.6 降速控制

机器人应具备降速控制功能,在降速控制方式下操作时应满足以下条件:

- a) 降速控制方式下操作时,机器人末端执行器的安装法兰和工具中心点(TCP)的速度不应超过 250 mm/s;
- b) 降速控制方式下操作或编程时,应具备可选择低于 250 mm/s 的速度的方式和指令;
- c) 降速控制功能应设计和构建任何单个可合理预见的故障出现时,安装法兰和工具中心的速度不超过降速功能的限定速度,当超过降速功能的限定速度,需要触发保护性停止;
- d) 降速控制功能回路设计的安全性能应按 5.4 章节的要求。

5.7 操作方式

机器人操作方式包括自动方式、手动降速方式和手动高速方式。机器人应至少具备自动方式和手动降速方式。操作方式应符合GB 11291.1-2011中5.7的要求。

自动方式下，出现急停、伺服报警、触发安全防护等，自动操作方式应被停止。如程序正在运行时触发安全防护，程序将被暂停或停止，在报警清除前，禁止启动。

手动方式下，自动操作是被禁止的，无法通过三位置使能装置以外的方式让机器人上使能和启动程序。

5.8 示教控制

示教控制应符合GB 11291.1-2011中5.8的要求。

使能装置应该在手动降速方式和手动高速方式下生效。使能装置应与安全控制系统的停止电路或其他等效安全停止电路相连接。可以通过设计使当安全防护空间内无人或机器人工具中心点的运动小于250mm/s时，使能装置不起作用。

5.9 同时运动控制

5.9.1 单示教盒控制

单个示教盒可以连接到一台或多台机器人的控制器。在手动方式操作下时，机器人系统的所有功能都应在唯一示教盒的控制下。单示教盒控制应符合GB 11291.1-2011中5.9.1与5.9.2的要求。

5.9.2 安全设计要求

处于同一示教盒控制下的所有机器人，应处于相同的操作模式（如手动或自动模式），并且处于相同的状态（如打开或关闭电源）。示教盒应提供允许一个或多个机器人处于伺服断开状态的能力，以满足测试、排除故障及运行错误的需求。这些处于伺服断开状态的机器人不会包含在同时运动中。

对于包含在同时运动中的机器人，应满足以下的控制要求：

- a) 在被激活前应被单独的选择；
- b) 在被选择时，所有机器人应该处于相同的操作模式下（如手动降速）；
- c) 被选中的机器人应该提供有清晰可见的指示，这个指示可以在示教盒或控制柜或机器人本体上；
- d) 只有被选择的机器人可以允许运动；
- e) 对于已被激活的机器人，应当提供反激活（停止激活）的功能。

5.10 协同操作要求

5.10.1 通则

协同操作是共用同一工作空间的人员和机器人之间的一种状态。

为协同操作而设计的机器人在机器人处于协同操作状态时，应有可视的指示并符合以下的一个或多个要求：

- a) 停止；
- b) 手动引导；
- c) 速度、位置监控；
- d) 设计对动力及反作用力的限制/控制系统对动力及反作用力的限制；
- e) 自主规划避障。

5.10.2 停止

协同工作空间中有人时，机器人应停止。人离开协同工作空间后，机器人可以恢复自动操作。安全适用的受监控停止应符合GB/T 36008-2018中 5.5.2的要求。

机器人应配置能够检测操作者是否处于协同工作空间内的安全适用设备。

机器人应在操作者进入协作工作空间时就提前切换到安全适用的受监控停止状态，并一致保持这一状态，直到操作者离开协作工作空间。

若操作者进入协作工作空间时机器人还未进入安全适用的受监控停止状态，则会引发保护性停止（停止类型0）。

5.10.3 手动引导

如果机器人具有手动引导功能，手动引导装置应在末端执行器附近。手动引导应符合 GB/T 36008-2018 中 5.5.3 的要求。

操作者进入协同工作空间进行手动引导操作应满足以下两个条件之一：

——在触发安全适用的受监控停止后，操作者才被允许进入协同工作空间手动靠近机器人末端执行器的引导设备以完成手动引导的任务，否则应引发保护性停止；

——机器人系统满足功率与力限制要求。

手动引导速度不应超过 250mm/s。

5.10.4 速度、位置监控

机器人和操作员之间应随时维持一个保护性间距，以实现风险减小。当间距小于保护性间距时，机器人应保护性停止。速度与分离监控应符合 GB/T 36008-2018 中 5.5.4 的要求。

保护性距离可由以下公式进行评估：

$$S_p = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r$$

其中，

S_p ——保护性距离；

S_h ——由操作员位置改变对保护性间距产生影响的部分；

S_r ——由机器人系统反应时间对保护性间距产生影响的部分；

S_s ——由机器人系统停止距离对保护性间距产生影响的部分；

C ——侵扰距离，由 ISO 13855 定义，是身体的一部分在被检测到之前所侵入传感区的距离；

Z_d ——操作员在协同工作空间中的位置不确定性，其由当前传感设备的测量误差导致；

Z_r ——机器人系统的位置不确定性，其由机器人位置测量系统的精度导致。

5.10.5 设计对动力及反作用力的限制

机器人应满足功率与力限制要求进行设计，以保持机器人系统相关危险在风险评估中指定的阈值以下。可按照以下方法之一来确立阈值：

a) 法兰或 TCP 处的最大动态功率为 80W 或最大静态力为 150N ；或

b) GB/T 36008-2018 中的附录 A。

如超过阈值，应引致保护性停止。

功率与力限制应符合GB/T 36008-2018 中5.5.5的要求。

协作机器人还可以通过主动或被动的措施来降低机器人接触风险，降低风险的方法可参考GB/T 36008-2018 中5.5.5.4的内容。主动的安全设计方法包括：

- a) 限制力或扭矩；
- b) 限制运动部件的速度；
- c) 限制动量、机械功率或能量（作为质量与速度的函数）；
- d) 使用轴及空间的安全软限位功能；
- e) 使用安全适用的受监控停止功能；
- f) 使用传感器预测或检测接触（例如逼近与接触检测，以减少准静态力）。

功率与力限制的测试中应遵循以下规则：

- a) 明确机器人适用的末端工具，不允许末端工具外表有尖锐或锋利边缘；焊接、打磨等要携带可能对人体造成危险的末端工具，不能发生碰撞；
- b) 机器人以 100%安全限制速度运行，模拟碰撞人体部位产生的暂态力或挤压力不应超过阈值。可以降低安全速度以保证碰撞力不超过阈值。为避免损坏设备，机器人的速度应由慢到快依次测试；
- c) 测试点为路径中速度最大点，路径中保持最大速度的时间应尽可能长，并通过外部设备对机器人的最大运行速度进行测量与确认；
- d) 碰撞力的方向应与仪器表面垂直。

5.10.6 自主规划避障

自主规划避障能够在协同操作空间内使用的机器人在碰撞到操作员前，自动规划规避碰撞到操作员的其他路径，以允许操作员在协同工作空间中和机器人直接交互并完成任务。如果协同工作空间中没操作员，机器人就进行非协同方式操作。

5.11 奇异性保护

在手动降速方式下，机器人的控制应满足下列其中之一：

- 由示教盒激活协调运动时，在机器人通过或纠正奇异点前停止机器人运动并警告示教者；
- 产生可听或可视的警告信号，并继续以速度通过奇异点，机器人臂的每个连杆的最大速度限制为 250 mm/s；
- 在奇异点可以被控制而不产生任何危险运动的情况下，不需要额外的保护。

5.12 单轴限位

5.12.1 通则

应提供用限位装置在机器人周围建立限定空间的措施。应提供安装可调机械挡块的措施，以便限制机器人主轴（具有最大位移的轴）的运动。制造商应遵循5.12.2或5.12.3的要求，或两者兼备。

注：这种方法可以通过提供工程信息和获取和安装外部机械停止装置的说明来实现。使用安全等级软轴和空间限制（见5.12.3）也可以满足这一要求。

5.12.2 轴的机械及机电限位装置

轴的机械及机电限位装置应符合 GB 11291.1-2011 中 5.12.2。

机器人安装使用前应检查 2 轴、3 轴的限位装置，配备可调机械和非机械限位装置。

设定机器人在额定负载，最大速度和最大或最小臂长的条件下去碰触机械挡块，观察机器人是否能够中止运动。

5.12.3 轴及安全软限位

轴及安全软限位应符合 GB 11291.1—2011 中 5.12.3。

安全软限位在满载和全速状态下可使机器人停止。

制造商资料应说明：

- a) 停止运动的实际期望停止位置处的限定距离；
- b) 不需要安全软限位这个能力时可撤消；
- c) 机器人在软限位确定的最高速度下于最坏情况下的停止时间(包括监控时间及完全停止前所移动距离)。

用户不能更改、最高速度最坏情况下的停止时间和停止距离。

5.12.4 动态限位装置

动态限位装置应符合 GB 11291.1—2011 中 5.12.4。

根据说明书确定机器人是否带有动态限位装置，如果有则通过不同负载和速度检查其功能是否有效。符合 GB/T 16855.1—2008 类别3要求（除非安全评估需要另一个类别）。

5.13 无驱动源运动

应符合 GB 11291.1—2011 的 5.13 对无驱动源运动的设计要求。

5.14 起重措施

应符合 GB 11291.1—2011 的 5.14 起重措施及检验要求。

在设计机器人时，应考虑运输的需要。包装运输时，应按包装标准进行包装，并在包装箱外打上所需标记。

5.15 电连接器

在设计机器人的电气连接器时，应符合 GB 11291.1—2011 的 5.15 条对连接器的相关标准及检验要求。

若电气连接器分离或破裂可能引起机器人的危险运动，则在设计时应采取保护措施，如捆扎、配对啮合等。

6 使用信息

6.1 使用和维护

机器人在使用时（如示教编程、程序验证、自动操作、故障查找和维护）应满足安全要求。用户在使用和维护期间，应对机器人的每一操作者提供安全防护的措施，以保证他们不受伤害。

6.1.1 编程

6.1.1.1 一般要求

进行编程时应尽可能在安全防护空间外来进行。当示教人员不得不进入安全防护空间内进行编程时，则应采用6.1.2~6.1.4给出的附加安全防护措施，并通过5.7中的操作状态选择要求暂停安全防护装置（如联锁门、现场传感装置）的保护功效。

6.1.1.2 编程前

在编程前，示教人员应采取以下附加安全防护措施：

- a) 示教人员应按照培训要求进行培训，并在实际的机器人上进行训练和熟悉包括所有安全防护措施在内的所推荐的编程步骤；
- b) 示教人员应目检机器人和安全防护空间，确保不存在产生危险的外界条件。示教盒的运动控制和急停控制应进行功能测试，以保证正常操作。示教操作开始前，应排除故障和失效。编程时，应关断机器人驱动器不需要的动力（必需的平衡装置应保持有效）；
- c) 示教人员进入安全防护空间前，所有的安全防护装置应确保在位，且在预期的示教方式下能起作用。进入安全防护空间前，应要求示教人员进行编程操作，但不能进行自动操作。

6.1.1.3 编程中

在编程过程中，示教人员应采取以下附加安全防护措施：

- a) 示教期间仅允许示教编程人员在防护空间内；
- b) 示教人员应具有和使用有单独控制机器人运动功能的示教盒；
- c) 示教期间，机器人运动只能受示教装置控制。机器人不应响应来自其它地方的遥控命令；
- d) 示教人员应具有单独控制在安全防护空间内的其它设备运动控制权，且这些设备的控制应与机器人的控制分开；
- e) 若在安全防护空间内有多台机器人，而围栏的安全门开着或现场传感装置失去作用时，所有的机器人都应禁止进行自动操作；
- f) 机器人系统中所有急停装置都应保持有效；
- g) 示教时，机器人的运动速度应低于 250mm/s，具体的速度选择应考虑万一发生危险，示教人员有足够的时间脱离危险或停止机器人的运动。

6.1.1.4 返回自动操作

在启动机器人进行自动操作前，示教人员应将暂停使用的安全防护装置功能恢复。

6.1.2 编程数据

应保留任务程序和维修程序的记录。

程序数据不使用时，应储存在可传送的媒体（如纸、磁盘等）中，并存放在合适的保护环境中。

6.1.3 自动操作

仅在满足下列要求时，才能启动机器人进行自动操作：

- a) 预期的安全防护装置都在位，并且能起作用；
- b) 在安全防护空间内没有人；
- c) 遵守安全操作规程。

6.1.4 程序验证（程序校验）

程序验证是确认机器人的编程路径及处理性能与应用时所期望的路径和处理性能是否一致的方法。验证可以是程序路径的全部或一段。程序验证的人员应尽可能在安全防护空间外执行。当人员必须在安全防护空间内完成程序验证时，应满足以下条件：

- a) 程序验证必须在机器人运动速度低于 250 mm/s 时进行，除机器人的运动控制仅使用握持——运行装置或使能装置外，还应满足 7.1 编程时的安全防护要求；
- b) 当要求在机器人的运行速度超过 250 mm/s 时，校验人员在安全防护空间内检查已编程的作业任务和与其它设备相互配合关系，应采用以下的安全防护要求：
 - 1) 第一个循环应采用低于 250 mm/s 的速度进行，然后仅由编程人员用键控开关谨慎地操作，分步增加速度；
 - 2) 安全防护空间内的工作人员应使用使能装置或与其安全级别等效的其它装置；
 - 3) 应建立安全工作步骤以使在安全防护空间内的人员的危险减至最小。

6.1.5 故障查找

故障查找应在安全防护空间外进行。当不能实行，且机器人设计时已考虑到需要在安全防护空间内进行故障查找，则应采用下列的安全要求：

- a) 担负故障查找的人员要经过特别的核准和对这种工作进行过培训；
- b) 进入安全防护空间内的人员应使用使能装置使机器人运动；
- c) 制定安全操作规程，使安全防护空间内的人员对危险的暴露降至最低。

6.1.6 维护

6.1.6.1 一般要求

为了确保机器人连续安全运行，应制定检查和维护的程序，而检查和维护程序的制定应考虑制造商的建议。

6.1.6.2 培训

为避免机器人的维修人员受到危险的伤害，应按照制造商的说明书对其进行安全防护和进行安全培训。

6.1.6.3 维护程序

6.1.6.3.1 概述

尽可能使维修人员在安全防护空间外进行作业，如将机器人臂放置于某一预定的位置。

当不得不在安全防护空间内完成维护任务时，应根据风险评估来考虑选择 6.6.2.2~6.6.2.3 给出的安全防护措施。

6.1.6.3.2

应使用切断动力源的步骤关断机器人并释放或阻塞潜在的所积蓄的能量。

6.1.6.3.3

当机器人已上电，要求维修人员进入安全防护空间内进行维修时，应做到下述几点：

- a) 进入安全防护空间前应完成下列步骤：
 - 1) 对机器人进行目检，以判断是否存在可能引起误动作的条件；
 - 2) 为确保示教盒能进行正常操作，使用前应进行功能测试；

- 3) 若发现某些故障或误动作的条件,则维修人员在进入安全防护空间之前应进行排除或修复。
- f) 在安全防护空间内的维修人员应拥有机器人的总的控制权且:
 - 1) 机器人控制应脱离自动操作状态;
 - 2) 机器人应不能响应任何远程控制信号;
 - 3) 所有机器人的急停装置应保持有效。
- g) 启动机器人系统进入自动操作状态前,应恢复暂停作用的安全防护装置的功效。

6.2 安装、试运行和功能测试

6.2.1 安装

机器人应按制造厂说明书的要求进行安装,并按GB/T 12644作为安装期间的补充指导。安全防护措施应通过危险分析和风险评价后进行判定。生产前,用户应重新检查安全要求,以确保安全防护装置运行可靠。

- a) 所有的安全防护装置应在预定的使用条件下进行试验。其不足之处必须进行修改;
- b) 必须重新检查作业任务,保证安全防护不会妨碍其作业任务的完成;
- c) 复查安全防护装置的作用,保证其不易于失去作用或绕过安全防护装置。

6.2.2 试运行和功能测试

机器人在安装或再置位后的启动(包括首次启动)和测试中,应遵循下述条款的规定。这些规定同样适用于机器人中软件或硬件更换之后和影响其运行的维修之后。

6.2.2.1 限定空间的指定

所有的机器人都应安装安全防护装置。若计划中的安全防护装置在进行试运行和功能测试前尚未就位,则应在运行前采取安装限定空间的临时措施(如安装链条、轻便墙板、警示栅栏等)。

6.2.2.2 人员的限制

在调试和功能测试期间,安全防护装置生效前,不应允许人员进入安全防护空间。

6.2.2.3 安全和运行检验

应按照制造厂的说明书进行机器人及其系统的试运行和功能测试,并做好如下的准备工作:

- a) 通电前检查:
 - 1) 机器人已按说明书正确安装,且稳定性好;
 - 2) 电气连接正确,电源参数(如电压、频率、干扰级别等)在规定的范围内;
 - 3) 其它设施(如水、空气、燃气等)连接正确,且在规定的界限内;
 - 4) 通信连接正确;
 - 5) 外围设备和系统连接正确;
 - 6) 已安装好限定空间的限位装置;
 - 7) 已采用安全防护措施;
 - 8) 周边的环境符合规定(如照明、噪声等级、湿度、温度、大气污染等)。
- b) 通电后检查:
 - 1) 机器人控制装置的功能如启动、停机、操作方式选择(包括键控锁定开关)符合预定要求,机器人能按预定的操作系统命令进行运动;
 - 2) 机器人各轴都能在预期的限定范围内进行运动;

- 3) 急停及安全停机电路及装置有效;
- 4) 可与外部电源断开和隔离;
- 5) 示教装置的功能正常;
- 6) 安全防护装置和联锁的功能正常, 其他安全防护装置(如围栏、警示装置)就位;
- 7) 在“慢速”时, 机器人能正常运行, 并具有作业能力;
- 8) 在自动(正常)操作方式下, 机器人运行正常, 且具有在额定负载和要求的速度下完成预定作业的能力。

6.2.2.4 机器人系统重新启动步骤

机器人及其系统的软件、硬件及任务程序更换、修理或维护后, 重新启动时应遵循如下步骤:

- a) 通电前, 检查硬件的任何变化或附加物;
- b) 为了正常运行, 对机器人系统进行功能性测试。

6.3 文件

使用文件应根据GB 11291.1—2011第6章的规定, 制造商应提供标志(如标记、符号)和使用说明材料(如操作、维护手册)。

可供运输和安装使用的起重点, 应在起重点附近安装标志。

6.4 培训

使用机器人及机器人系统的用户应确保其编程、操作、维修人员参加安全培训, 并获得胜任该工作的能力。培训最好是教室与操作现场相结合。

6.4.1 培训的目标

培训的目的是要参加培训的人员了解到下列信息:

- a) 安全器件的用途和它们的功能;
- b) 专门涉及健康和安全的规程;
- c) 通过机器人或机器人系统的运行而形成的各种危险;
- d) 与特定的机器人有关的工作任务和用途;
- e) 安全的基本概念。

6.4.2 培训的要求

培训应满足以下要求:

- a) 学习适用的安全规程标准和机器人制造厂及机器人系统设计者的安全建议;
- b) 理解所安排的任务的明确含义;
- c) 掌握用于完成所指定的作业任务的所有控制装置及其功能的识别和说明如慢速控制、示教盒操作、急停步骤、切断步骤、单点控制等;
- d) 识别与作业有关的危险, 包括辅助设备带来的危险;
- e) 识别安全防护措施, 包括安全防护装置的类型、安全防护装置的能力或挑选方案、所选择的器件的功能、器件的功能测试方法、所选器件的限止性以及从识别危险开始的安全操作步骤、对人员的安全防护装备等;
- f) 掌握保证安全防护装置和联锁装置功能正常的测试方法。

6.4.3 再培训的要求

当系统变更，人员变化和事故发生以后，为了确保安全操作，应对相关人员重新进行安全培训。

附录 A

(资料性)

危险识别及风险评估示例

A.1 机器限制

使用限制：该机器人由接受过专业培训的操作人员，每天24 h进行持续生产操作。操作人员需要接近机器人区域进行本体维护。正常每8 h，需要进入危险区域2-4次，每次5 min。正常生产时，人员无需进入。由专业的维修人员进行日常保养和维修。但维修人员进入危险区域前，会培训按照机器人操作规章及安全要求管理的安全说明。

A.2 危险识别

由于焊接机器人机构上下移动，转台的前后移动，以及输送带运动产生的夹紧点和卷入点，造成的人员上肢或身体的挤压或卷入危险。

A.3 风险评价

由于焊接机器人机构上下移动产生对人员双手造成的挤压危险，最严重时可能造成操作员死亡，并且人员在每2h就会进入内部更换机器人的焊丝及清理，暴露在该风险之下，因此在不使用任何防护措施的情况下，该风险是不可接受的。

A.4 风险评估系统

风险图以决策树为基础。图中，每个节点代表一个风险参数（严重程度、暴露、危险事件发生的概率、避免的可能性等），节点的每条分枝代表参数的一个等级（例如：轻微程度或严重程度）。

对于每个危险状态，每个参数都分配一个等级。在风险图上，路径从起点开始，然后在每个节点处依照所选择的等级沿着适当的分枝前行，最末的分枝指向与已选择的等级（分枝）组合相关的风险水平或风险值。最终的结果是一个定性的、用术语、数字或字母表示的风险水平或风险值，例如“低”、“中”、“高”，或 1到6，或A到F。

A.5 风险图工具或方法示例

在用风险图评估风险之前，应依照GB/T 15706—2012中的5.4（参见表A.4给出的空白表格）描述有关危险、危险状态、危险事件和可能的伤害。然后根据与GB/T 15706—2012中5.5.2.1所定义的四个风险要素相对应的下列4个参数（每个参数都有其特定的限制），用图3给出的风险图计算风险指数。

伤害的严重程度：S

——S1：轻微伤害（通常能恢复；例如：擦伤、裂伤、划伤等需要急救的轻伤等）不能执行相同的任务不超过两天

——S2：严重伤害（通常不能恢复，包括死亡；例如：肢体被切断、撕裂或挤压，骨折，需要缝线的严重伤害，严重的骨骼损伤（MST）等）不能执行相同任务超过两天。

暴露于危险的频率和（或）持续时间：F

——F1：很少到经常和/或持续时间短的暴露

每个工作班次不超过2次或每个工作班次累积暴露时间不超过15分钟；

——F2：频繁到连续和/或持续时间长的暴露

每个工作班次超过2次或每个工作班次累积暴露时间超过15分钟。

危险事件发生的概率：O

——O1：低（不可能，可以假定不可能发生）

在安全应用方面得到证实和公认的成熟技术；坚固耐用。

——O2：中（可能有时发生）

在最近2年内观察到的技术故障。由经过良好培训、知晓风险、岗位工作经验超过六个月的人员做出的不恰当操作。

——O3：高（可能频繁发生）

经常观察到的技术故障（每六个月或更短）。由未经过培训、岗位工作经验不足六个月的人员作出的不恰当操作。

规避或减小伤害的可能性：A

——A1：在某些情况下可能：

- 1) 如果零部件的移动速度小于 0.25m/s, 且暴露工人熟悉风险和危险状态或即将发生危险事件的迹象, 工人也应当能够察觉到危险状况并且能够做出反应；
- 2) 取决于特定条件（温度, 噪声, 人类工效学等）。

——A2：不可能。

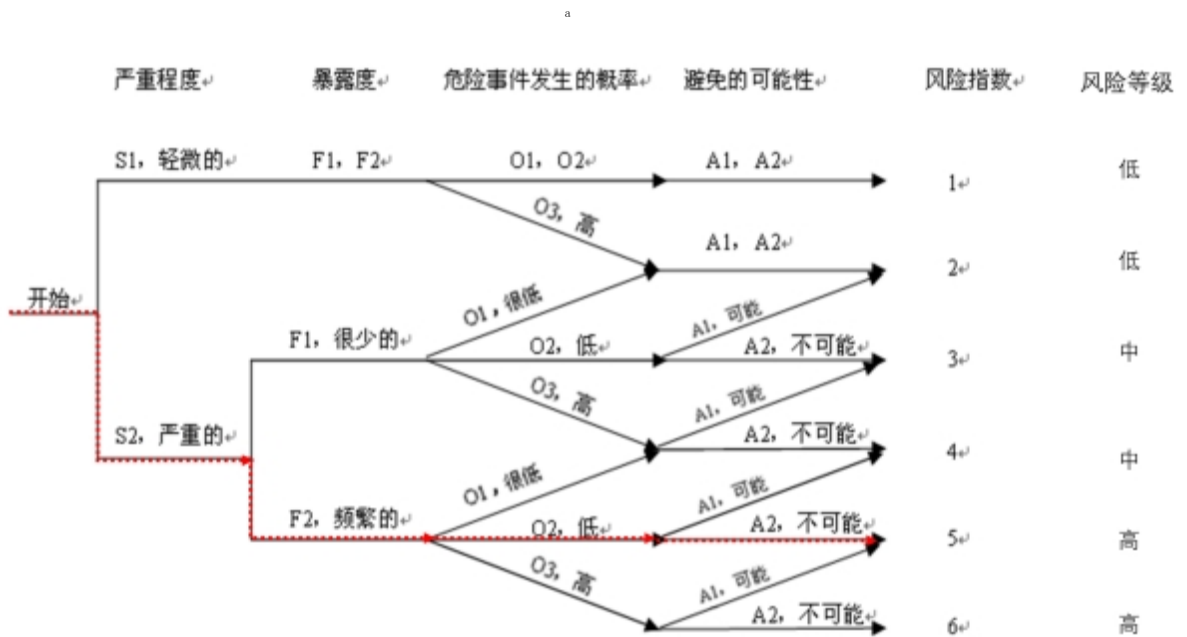


图1 用于风险估计的风险图例

将这个初始风险估计的结果填入到一张表中, 每个危险状态都配以一个风险指数。在这个例子中, 对每种危险状态进行估计时, 考虑了下列内容:

- a) 风险指数 1 或 2 对应于采取措施的最低优先级;
 - b) 风险指数 3 或 4 对应于采取措施的中等优先级;
 - c) 风险指数 5 或 6 对应于采取措施的最高优先级。
- 当风险指数为主时, 应采取对应的安全措施降低风险。