ICS 13.110
CCS J 09

T/CS

团 体 标 准

T/CS 741—2026

机械设备人机协作安全防护技术要求

Technical requirements for safety protection of human-robot collaboration of mechanical equipment

2026 - 10 - 16 发布　　2026 - 10 - 16 实施

中国商品学会　　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 基本要求 2
5 风险评估与风险减小 3
6 安全防护技术要求 3
7 验证与确认 5
8 使用信息 6

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。

本文件由上海达技实业有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：上海达技实业有限公司、山东工程职业技术大学、济南市莱芜区民兵训练基地（济南市莱芜区民兵武器装备仓库）、星波稀材新材料(包头)有限公司、久益环球（包头）采矿设备有限公司、四川美亿天成安全科技有限公司、广东省电力线路器材厂有限公司、弘元能源科技（包头）有限公司、宁波宁盾应急管理有限公司、中电投蒙东能源集团有限责任公司通辽发电总厂、郑州机电工程研究所(中国船舶集团有限公司第七一三研究所)。

本文件主要起草人：刘刚、郑健、张小锋、夏祥伟、宋宏栋、杨超、王佳、郭才金、王军鹏、叶积秀、韩文建、湛宪勇。

机械设备人机协作安全防护技术要求

1 范围

本文件规定了机械设备人机协作安全防护的术语和定义、基本要求、风险评估与风险减小、安全防护技术要求、验证与确认以及使用信息。

本文件适用于制造、装配、物流等领域中操作人员与机械设备（含协作机器人）在同一协作空间内进行人机协作作业时的安全防护设计、集成、改造、验证、使用和维护管理。

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 2894 安全色和安全标志

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 8196 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置的设计与制造一般要求

GB 11291.1 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人

GB 11291.2 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

GB/T 15706 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 16251 工作系统设计的人类工效学原则

GB/T 16754 机械安全 急停功能 设计原则

GB/T 16855.1 机械安全 安全控制系统 第1部分：设计通则

GB/T 16856 机械安全 风险评估 实施指南和方法举例

GB/T 17454.1 机械安全 压敏保护装置 第1部分：压敏垫和压敏地板的设计和试验通则

GB/T 19436.1 机械电气安全 电敏保护设备 第1部分：一般要求和试验

GB/T 19436.2 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 19671 机械安全 双手操纵装置 设计和选择原则

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 36008 机器人与机器人装备 协作机器人

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

人机协作 human-robot collaboration

操作人员与机械设备（含机器人）在共同工作空间内，为完成同一任务而进行的直接或间接交互作业。

3.2

协作空间 collaborative workspace

操作人员与协作机械设备可能同时出现的空间区域。

3.3

保护性停止 protective stop

由安全相关控制系统触发，使机械设备危险运动部件停止并保持停止状态的安全功能。

3.4

手动引导 manual guidance

操作人员通过手柄、力/力矩传感器等装置直接控制机械设备运动的功能。

3.5

速度与分离监控 speed and separation monitoring

通过监测人员与运动部件之间的距离和相对速度，控制运动速度或触发停止以避免人员与运动部件接触的安全功能。

3.6

功率和力限制 power and force limiting

将机械设备运动部件的速度、力、动量或能量限制在规定阈值以下，使可预见的接触不导致伤害的安全功能。

4 基本要求

4.1 一般要求

4.1.1 人机协作系统的设计、集成、改造和使用应遵循 GB/T 15706 和 GB/T 16856 规定的风险评估和风险减小原则。

4.1.2 应优先采用本质安全设计措施消除或减小风险；当本质安全措施不能完全消除风险时，应采用安全防护装置和保护措施；剩余风险应通过使用信息进行警示。

4.1.3 安全相关控制系统应符合 GB/T 16855.1 的规定。安全功能性能等级（PL）不应低于风险评估确定的性能等级要求（PLr）。

4.1.4 人机协作系统的电气设备应符合 GB/T 5226.1 的规定。

4.1.5 人机协作工作空间的设计应符合 GB/T 16251 的人类工效学原则，应避免操作人员处于强迫体位、过度伸展或长时间静态负荷状态。

4.1.6 人机协作系统的集成安全要求应符合 GB 11291.2 的规定。

4.2 安全功能配置

人机协作系统应至少配置下列安全功能中的一种或多种，具体配置应根据风险评估结果确定：

a) 保护性停止；
b) 手动引导；
c) 速度与分离监控；
d) 功率和力限制；
e) 联锁保护；
f) 急停。

5 风险评估与风险减小

5.1 风险评估文件

5.1.1 人机协作系统在设计、集成或改造前，应形成风险评估文件。

5.1.2 风险评估内容应至少包括：

a) 协作空间边界和人员进入路径；
b) 人机交互任务类型，包括手动引导、上下料、装配、检测、维护、修理等；
c) 运动部件的速度、力、动量、接触频率和可能接触的人体部位；
d) 失效模式，包括控制系统失效、动力中断、传感器遮挡、通信中断等；
e) 可预见的误用和异常操作行为。

5.2 风险评估方法

风险评估方法应符合 GB/T 15706 和 GB/T 16856 的规定。

5.3 风险减小措施

5.3.1 应针对每项危险源确定风险减小措施，并形成风险减小措施表。

5.3.2 风险减小措施实施后，应重新进行风险评估，直至残余风险达到可接受水平。

5.3.3 风险减小措施应明确责任人员、完成期限和验证方式。

5.4 记录保存

风险评估记录、风险减小措施实施记录和验证记录应保存至设备全生命周期结束，且不应少于设备报废后 5 年。

6 安全防护技术要求

6.1 安全相关控制系统

6.1.1 人机协作系统的安全相关控制系统应具备与所配置安全功能相适应的监测、控制和诊断能力。

6.1.2 安全相关控制系统的设计应符合 GB/T 16855.1 的规定。保护性停止功能的安全相关部件性能等级不应低于 PLr，PLr 应根据风险评估结果确定，且对于保护性停止功能，通常不应低于 PL d。

6.1.3 安全相关控制系统应具备诊断覆盖（DC）和共因失效（CCF）控制措施，其设计和验证应符合 GB/T 16855.1 的规定。

6.1.4 安全相关控制系统的安全功能参数应可监测、可记录，并应纳入设备安全技术档案。

6.2 保护性停止

6.2.1 保护性停止应至少包括安全监控停止，并应符合 GB/T 36008 的规定。

6.2.2 保护性停止应使所有危险运动部件的速度在最短时间内降至零，并保持停止状态，直至安全功能复位。

6.2.3 保护性停止的停止响应时间和停止距离应通过第 7 章规定的试验方法测量，并应满足风险评估确定的限值。

6.2.4 保护性停止复位不应自动重启危险运动。复位应通过独立的人工确认动作实现，复位后系统应保持安全状态，直至操作人员重新发出启动指令。

6.2.5 保护性停止功能的触发信号、停止响应时间和复位状态应可追溯记录。

6.3 手动引导

6.3.1 手动引导功能应符合 GB/T 36008 和 GB 11291.1 的规定。
6.3.2 手动引导模式下，运动速度应不超出风险评估确定的最大允许速度。在未完成 7.2.3 规定的功率与力限制验证时，手动引导速度不应大于 250 mm/s。
6.3.3 手动引导装置应提供持续的人工输入信号。操作人员释放手动引导装置后，应触发保护性停止。
6.3.4 手动引导模式下，应防止意外启动和速度突变。加速度值应满足风险评估确定的要求。
6.3.5 手动引导模式的选择和退出应通过明确的操作装置实现，并应具有状态指示。

6.4 速度与分离监控

6.4.1 速度与分离监控应通过安全传感器实时监测人员与运动部件之间的最小距离和相对速度。安全传感器可包括安全光幕、激光扫描器、安全视觉系统等。
6.4.2 当最小距离小于按 GB/T 19876 计算的安全距离时，系统应自动降低运动速度或触发保护性停止。
6.4.3 安全距离计算应至少考虑下列因素：

a) 人员接近速度：应采用 1600 mm/s 或按实际测量值确定；
b) 安全传感器响应时间、控制系统响应时间和制动时间；
c) 安全传感器探测区边缘至危险区的距离；
d) 安全传感器的最小检测能力；
e) 人员可能的接近路径及绕过探测区的风险。

6.4.4 速度与分离监控使用的电敏保护设备应符合 GB/T 19436.1 和 GB/T 19436.2 的规定，其安全完整性等级或性能等级应与风险评估结果一致。
6.4.5 速度与分离监控功能应实时记录最小距离、相对速度和速度降低或停止触发事件。

6.5 功率和力限制

6.5.1 当人机协作采用功率和力限制方式时，机械设备运动部件在可预见接触条件下传递至操作人员身体部位的瞬态力和稳态力不应超过 GB/T 36008 规定的相应身体部位限值。对于 GB/T 36008 未规定力限值的身体部位，应采取避免接触的措施。
6.5.2 应通过实际接触试验或经风险评估确认的等效试验方法，验证瞬态力和稳态力不超过 6.5.1 规定的限值。试验部位应至少包括手、前臂和头部等可能接触部位，并应覆盖风险评估确定的所有可能接触部位。
6.5.3 功率和力限制功能应能限制运动部件的最大速度、力矩和动量，相关安全参数应可监控和记录。
6.5.4 采用减小质量、降低速度或柔顺机构等措施实现功率和力限制时，应量化验证其效果，并形成验证报告。
6.5.5 功率和力限制的设定值、试验数据和安全阈值应纳入设备安全技术档案，并作为维护和变更管理的依据。

6.6 安全防护装置与安全距离

6.6.1 固定式防护装置和活动式防护装置的设计、制造和安装应符合 GB/T 8196 的规定。
6.6.2 防护装置至危险区的最小安全距离应按 GB/T 23821 计算。采用电敏保护装置时，其定位和最小安全距离应按 GB/T 19876 计算。
6.6.3 压敏保护装置应符合 GB/T 17454.1 的规定。压敏垫、压敏地板的响应时间、覆盖区域、复位功能和抗失效性能应经试验验证。
6.6.4 双手操纵装置应符合 GB/T 19671 的规定。应采用防止单手操作和防止误触发的结构设计，并应具备持续输入监控和同步动作要求。
6.6.5 安全防护装置的安装、调整和维护后，应重新确认安全距离和防护功能。

6.7 联锁与急停

6.7.1 当协作空间设置通道门和活动式防护装置时，应设置联锁保护。联锁功能应使防护装置打开时触发保护性停止，并应防止危险运动部件在防护装置打开状态下的启动。
6.7.2 急停装置应符合 GB/T 16754 的规定。急停按钮应为红色，背景为黄色，形状应为掌压式或蘑菇形，并应安装在操作人员易于触及的位置。
6.7.3 急停功能应优先于其他功能。急停触发后，应切断危险动力源或使危险运动部件停止，并应保持停止状态。
6.7.4 联锁和急停功能的安全相关部件性能等级不应低于风险评估确定的值。
6.7.5 联锁和急停触发事件、复位动作和功能恢复状态应可追溯记录。

6.8 标志与警示

6.8.1 人机协作设备应在明显位置设置安全标志。安全标志的颜色、图形和尺寸应符合 GB 2894 的规定。
6.8.2 应在协作空间边界设置警示标志，警示内容应至少包括“人机协作区域，非授权人员不得进入”。
6.8.3 应设置状态指示装置，显示人机协作系统当前工作模式，包括手动引导、速度与分离监控、功率和力限制等工作模式，以及保护性停止等安全状态。
6.8.4 安全标志和状态指示装置应保持清晰、完好，损坏或缺失时应立即修复或更换。

7 验证与确认

7.1 一般要求

7.1.1 人机协作系统在交付使用前、重大改造后、迁移后或发生安全事故后，应进行安全验证与确认。
7.1.2 验证应形成记录。记录内容应至少包括：

a) 验证日期、验证人员和验证环境条件；
b) 被验证设备的名称、型号、编号及软件版本；
c) 验证项目及对应的本文件条款；
d) 使用仪器及仪器校准信息；
e) 测量数据和计算过程；
f) 判定结论。

7.1.3 测量仪器应经计量校准，校准证书应在有效期内。

7.2 检验项目与方法

7.2.1 安全监控停止应按 GB/T 36008 规定的试验方法，测量停止响应时间、停止距离和复位功能。测量结果应满足 6.2 的要求。
7.2.2 应模拟人员以 6.4.3 规定的接近速度接近运动部件，测量最小距离、速度变化和停止触发时机。测量结果应满足 6.4 的要求。
7.2.3 应按 GB/T 36008 规定的试验方法，或采用经风险评估确认且文件化的等效试验方法，对可能接触部位进行瞬态力和稳态力测量。测量结果应满足 6.5 的要求。
7.2.4 应按 GB/T 23821 和 GB/T 19876 计算安全距离，并测量实际安装位置，测量结果应满足 6.6 的要求。
7.2.5 对设有联锁保护的防护装置，应触发联锁，验证停止功能和防止启动功能；对急停装置，应触发急停，验证停止功能、复位逻辑、优先级和状态指示。试验结果应满足 6.7 的要求。
7.2.6 应目视检查安全标志、警示标志和状态指示的设置、颜色、图形和内容，检查结果应满足 6.8 的要求。

7.3 记录与可追溯性

7.3.1 验证记录应保存至设备报废后不少于 5 年。

7.3.2 关键安全参数，包括停止响应时间、停止距离、安全距离、限制力值和安全功能性能等级，应纳入设备安全技术档案。

7.3.3 关键安全参数发生变更时，应重新进行验证，并更新安全技术档案。

8 使用信息

8.1 使用说明书

设备制造方或集成方应提供使用说明书。使用说明书内容应至少包括：

a) 人机协作模式及安全功能说明；
b) 安全防护装置的操作、检查、维护要求；
c) 禁止擅自拆除、旁路或屏蔽安全防护装置的声明；
d) 残余风险及安全操作要求；
e) 验证与维护周期；
f) 事故应急处理措施。

8.2 安全操作规程

使用方应制定人机协作安全操作规程，并应对操作人员进行培训。培训内容应至少包括：

a) 安全功能原理和人机协作模式；
b) 协作空间限制和禁止进入区域；
c) 急停装置和手动引导装置的正确操作方法；
d) 禁止拆除、旁路或屏蔽安全防护装置；
e) 安全防护装置日常点检要求；
f) 异常情况应急处置程序。

8.3 日常点检与维护

使用方应建立日常点检和定期维护制度。点检项目应至少包括：

a) 安全防护装置外观和固定状态；
b) 联锁功能有效性；
c) 急停功能有效性；
d) 速度与分离监控传感器状态；
e) 功率和力限制功能有效性及参数一致性；
f) 安全标志和状态指示清晰度。

8.4 故障处理

8.4.1 发生安全功能失效或安全参数漂移时，应立即停止人机协作作业。

8.4.2 故障排除后，应重新进行安全验证，验证合格后方可恢复运行。

8.4.3 故障处理过程和重新验证结果应形成记录，并纳入设备安全技术档案。