ICS XX.XXX

XX

团 体 标 准

T/CSM XXXX-YYYY

炼钢区域机器人系统安全要求

Safety requirements for steelmaking robot system

征求意见稿

xxxx-xx-xx发布 xxxx-xx-xx实施

中国金属学会发布

目  次

目录

[目  次 I](#_Toc5526)

[前  言 III](#_Toc2584)

[引  言 IV](#_Toc4659)

[炼钢区域机器人系统安全要求 1](#_Toc27434)

[1 范围 1](#_Toc26080)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc6306)

[3 术语和定义 1](#_Toc15518)

[3.1 机器人，工业机器人 robot，industrial robot 2](#_Toc27923)

[3.2 机器人系统 robot system 2](#_Toc21227)

[3.3 炼钢 steel-making 2](#_Toc5740)

[3.4 危险 hazard 2](#_Toc7353)

[3.5 风险 risk 2](#_Toc18327)

[3.6 风险评估 risk assessment 2](#_Toc15646)

[3.7 安全防护 safeguarding 2](#_Toc11223)

[3.8 安全防护装置 safeguard 2](#_Toc7347)

[3.9 末端执行器 end effector 3](#_Toc21052)

[3.10 危险运动 hazardous motion 3](#_Toc7096)

[3.11 限位装置 limiting device 3](#_Toc14769)

[3.12 示教盒 pendant，teach pendant 3](#_Toc1647)

[3.13 测温 temperature measurement 3](#_Toc10855)

[3.14 取样 sampling 3](#_Toc25944)

[3.15 管式取样 probe sampling 3](#_Toc12204)

[3.16 浸入式取样 immersion sampling 3](#_Toc20522)

[3.17 铁水预处理 3](#_Toc23921)

[3.18 扒渣slagging off 4](#_Toc25026)

[3.19 清渣 slag cleaning 4](#_Toc9998)

[3.20 吹氧 oxygen blowing 4](#_Toc7263)

[4 危险识别与风险评估 4](#_Toc30974)

[5 设计要求及保护措施 4](#_Toc18656)

[5.1 通则 4](#_Toc5547)

[5.2 基本要求 5](#_Toc28903)

[5.3 炼钢区域机器人系统应用要求 5](#_Toc30090)

[6 使用信息 9](#_Toc21255)

[6.1 使用说明书 9](#_Toc11536)

[6.2 标志 9](#_Toc26981)

[附　录　A （资料性附录） 炼钢区域典型机器人应用 11](#_Toc12101)

[附　录　B （规范性附录） 重大危险列表 12](#_Toc7804)

[附　录　C （资料性附录） KR机器人系统组成 15](#_Toc14850)

前  言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本标准的附录A为资料性附录，附录B为规范性附录，附录C为资料性附录。

本标准由宝山钢铁股份有限公司提出并归口。

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这些专利的责任。

本标准起草单位：宝山钢铁股份有限公司、哈尔滨工业大学、上海电器科学研究所（集团）有限公司。

本标准主要起草人：吴瑞珉、丁烨、赵杰、朱晓鹏、刘玉斌、宋希韬、陈凯、叶长宏、魏振红、黄天茂、杨赛丹、申晨。

本标准首次发布。

引  言

本标准是建立在承认炼钢区域机器人及机器人系统能导致特定危险基础上。

本标准属于团体标准。

机器人的相关危险得到广泛承认。但是，不同用途机器人系统的危险源往往是不同的，故危险类型的数目直接关系到机器人自动化程度和安装的复杂性。根据使用的机器人类型、使用机器人的目的、机器人安装、编程、操作和维护的方式的不同，这些危险导致的相关风险也有所不同。本标准描述了炼钢区域机器人的危险事项、危险的程度、危险情况及所涉及的事件。

炼钢区域机器人系统安全要求

范围

本标准规定了炼钢区域机器人及其工作环境的安全要求。此类机器人人作业环境比较恶劣。本标准描述了使用此类机器人的相关危险，并提出了消除或降低风险直至可接受水平的要求。

本标准适用于炼钢区域机器人系统，应用于测量检测、加料填装、涂敷涂装、耐材喷补、清渣扒渣及接插装配等。

规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 15706-2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小（ISO 12100:2010 Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction）

GB 11291.1-2011/ISO 10218-1:2006工业环境用机器人 安全要求——第一部分：机器人

GB 11291.2-2013/ISO 10218-2:2011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 20867-2007 工业机器人 安全实施规范

GB/T 12643-2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 8196-2018 机械安全 防护装置 固定式和活动式防护装置设计与制造一般要求

GB 16754-2008 机械安全.急停.设计原则

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 3766-2015 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求

GB/T 7932-2017 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求

GB/T 28780-2012 机械安全 机器的整体照明

GB 50742-2012 炼钢机械设备安装规范

AQ-2001-2018 炼钢安全规程

GB 25683-2010 钢液浇包 安全要求

GB/T 38244-2019机器人安全总则

AQT42162011 炼钢机械设备工程安装验收规范

GB/T 32818-2016 冶炼设备 术语

GB/T 20066-2006 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法

BS EN 14753:2007 钢的连续浇铸用机械和设备的安全要求（Safety of machinery ——Safety requirements for machinery and equipment for continuous casting of steel）

术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 机器人，工业机器人 robot，industrial robot

某操作机是自动控制的、可重复编程、多用途，并可对三个和以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式，在工业自动化中使用。

[GB11291.1-2011，定义3.18]

* 1. 机器人系统 robot system

由（多）机器人、（多）末端执行器和为使机器人完成其任务所需的任何机械、设备、装置或传感器构成的系统。

[GB/T 12643-2013，定义2.14]

* 1. 炼钢 steel-making

通过氧化还原反应，以氧气为主要氧化剂，将铁水中的杂质氧化分离，将其中的碳、硅、锰、磷、硫等控制在规定范围内的过程。

[AQT42162011，定义3.4]

* 1. 危险 hazard

潜在的伤害源。

[GB/T 15706，定义3.6]

* 1. 风险 risk

伤害发生的概率与伤害严重程度的组合。

[GB/T 15706，定义3.12]

* 1. 风险评估 risk assessment

包括风险分析和风险评价在内的全过程。

[GB/T 15706，定义3.14]

* 1. 安全防护 safeguarding

使用安全防护装置保护人员的保护措施，这些保护措施使人员远离那些不能合理消除的危险或者通过本质安全设计措施无法充分减小的风险。

[GB/T 15706，定义3.21]

* 1. 安全防护装置 safeguard

防护装置或保护装置。

[GB/T 15706，定义3.26]

* 1. 末端执行器 end effector

为使机器人完成其任务而专门设计并安装在机械接口处的装置。

示例：夹持器、扳手、焊枪、喷枪等。

[GB/T 12643-1997，定义4.11]

* 1. 危险运动 hazardous motion

任何可能导致人员伤害的运动。

[GB 11291.1-2011，定义3.11]

* 1. 限位装置 limiting device

通过停止或导致停止机器人的所有运动来限制（机器人）最大工作空间的装置，并且该装置与控制程序及任务程序无关。

[GB 11291.1-2011，定义3.12]

* 1. 示教盒 pendant，teach pendant

能用它对机器人进行编程或使机器人运动，并与控制系统相连接的手持式单元。

[GB/T 12643-1997，定义6.8]

* 1. 测温 temperature measurement

采用一次性热电偶直接插入钢液测量钢水某一时间的温度。

* 1. 取样 sampling

钢水在吹氧脱碳结束定氧后，或在碳脱氧后期加合金料调整成分后，采集钢样用于成分化验。

* 1. 管式取样 probe sampling

用取样管插入到熔体中取样的取样方法。

[GB/T 20066-2006，定义3.7]

* 1. 浸入式取样 immersion sampling

管式取样方法的一种。取样管浸入到熔体中，由于钢水静压或重力的作用，使熔体充满取样管中样品仓的取样方法。

[GB/T 20066-2006，定义3.8]

* 1. 铁水预处理

在铁水装入炼钢炉冶炼之前，先在炉外对其进行脱硫等处理。脱硫方法主要有单喷颗粒镁铁水脱硫、复合喷吹铁水脱硫和KR铁水脱硫。

注：改写GB/T 32818-2016，定义5.1

* 1. 扒渣slagging off

利用前后往复运动且在水平和垂直方向角度可调的耙头将钢水包和（或）铁水包中熔池表面上的渣子扒除掉。

注：改写GB/T 32818-2016，定义5.1.4

* 1. 清渣 slag cleaning

将积附和积结于副枪枪体上的钢和渣清除掉。

注：改写GB/T 32818-2016，定义5.5.6.6

* 1. 吹氧 oxygen blowing

将氧气从转炉炉体顶部喷吹到炉内部金属熔池。

注：改写GB/T 32818-2016，定义5.5.5

危险识别与风险评估

GB/T 15706-2012风险评估的所有要求应适用。

特定的应用和机器人系统与其他机器相互作用可以造成进一步的危险。这些危险应该列为特定应用风险评估的个别依据。炼钢区域典型应用见附录A。

附录B列出了炼钢区域机器人系统可能出现的一系列典型危险。

附录C列举了炼钢区域中典型应用KR测温取样机器人系统组成。

对在危险识别中确定的危险，应进行风险估计，应注意炼钢区域机器人及系统可能接触安全相关对象时的各种状况。

采纳所有本质安全设计和保护措施后，炼钢区域机器人及其系统的剩余风险也应予以评估并证明其已减小到可接受水平。

设计要求及保护措施

通则

炼钢区域机器人系统应符合本章中的安全要求和/或风险减小措施。

应按照GB/T 15706-2012中有关危险的原则来设计炼钢区域机器人。

下列（但不限于）一种或多种检验方法可以满足本章的安全要求。如：

——A：目视检查；

——B：实际测试；

——C：测量；

——D：操作中观察；

——E：复查图纸、计算及技术数据。

基本要求

炼钢区域机器人及系统应符合GB 11291.1-2011和GB11291.2-2013的规定。

机器人及其系统应适应炼钢区域高温、粉尘、飞溅及电磁干扰等工作环境，应配有必要的防护措施。

宜选用手腕驱动电机后置式机器人，机器人手腕及小臂宜配置耐高温、耐腐蚀的涂层。

注：[5.1中A、B、E]

炼钢区域机器人系统应用要求

* + 1. 机械安全
       1. 外壳防护

在机器人初期选型时，依据应用中可能出现的危险，尽可能选取高防护等级的产品，并辅以外加的防护。

炼钢区域环境下，机器人本体应具有IP65的最低防护等级，机器人手腕及小臂应具有IP67的最低防护等级，机器人电控柜应具有IP54的最低防护等级。

注：[中A、B、E]

* + - 1. 附加轴

在炼钢高温区域附加轴设计应符合GB/T 15706.2-2012的相关规定。

根据附加轴及机器人变惯量的应用特征，进行有限元分析及结构设计。

回转附加轴建议整体铸造，直线附加轴进行模块化设计及制造。

装配集成后附加轴进行加载及过载实验验证。

附加轴应具有IP65的最低防护等级。

附加轴应设置机械限位及挡块。

注：[中A、B、C、E]

* + - 1. 末端执行器

在炼钢区域，末端执行器中的元器件的防护等级应不低于IP65，末端执行器整体的防护等级应不低于IP67。

末端执行器内部电缆宜采用铠装方式，气管宜采用金属管。

可更换的末端执行器及其支架需设置防尘隔热盖板，以保护快换机构的能介接口。

在高温环境下不宜采用磁吸附方式的末端执行器。

对于测温取样大尺度的末端执行器（总长超过3m），宜配置自动及人工标定的装置，定期进行工具坐标系的热疲劳和形变的补偿校正，以避免发生因末端执行器失效而导致的事故威胁人员及设备的安全。

末端执行器设计应符合人体工学，配置特定的支架及工具，以避免备件及耗材的拆卸更换过程中的危险情况。

注：[中A、B、E]

* + - 1. 机器人运动限制

在安全防护空间及限定空间基础上，作业轨迹规划时应对工具TCP点的运动区域加以限制，并设置所有路径极限空间范围，避免作业过程中与周边物体干涉，造成不可预测的危险情况，尤其对于测温取样作业大尺度的机器人末端执行器。若在极限空间范围内未完成对应作业任务，则停止作业，返回错误/故障信息，并进行处理。

注：[中A、B、D]

* + - 1. 检修维护

提供吊起机器人及其相关部件的措施，且应足以处理预期负荷。例如，起重钩、吊环螺栓、螺纹孔、叉型套袋。其中吊带的长度应准确定制，符合机器人厂商的要求。

在炼钢区域高平台进行起重操作时，应特别注意机器人及其相关部件重心位置，防止发生倾翻。

应配置检修平台和梯子，确保高位检修时人员的安全。

注：[中A、B、D]

* + - 1. 标记、指示

机器人系统中的光电警示应与钢液背景相比有合适的视亮度和颜色反差，声音警示声级应明显高于炼钢区域环境噪声的级别，易识别。

防止机器人运动时发生干涉或碰撞，应标志物料及物料禁放区域。

在机器人系统人机交互区域（如测温取样探头的人工拔除、探头分离切断装置）设置警示标志。

在安全门、安全围栏上应设置警示标志。

注：[中A、B、D]

* + - 1. 安全防护

通过本质安全措施可能无法合理消除危险或充分减小风险，则应使用防护装置和保护装置来保护人员。

应考虑封闭控制位置或干涉区域，以提供针对多种危险的组合保护，这些危险包括：

1. 冷钢坠落或钢液飞溅产生的危险
2. 排放危险（防止噪声、振动、辐射、有害物质对健康的危害等）
3. 炼钢区域高温环境造成的危险
4. 接近危险
5. 意外操作造成的危险

安全防护装置的的设计和制造应符合GB/T 8196-2018的有关规定。

固定式或活动式防护装置应符合GB/T 8196-2018的要求；

可调式防护装置应符合GB/T 8196-2018、GB/T 12265.3-1997的要求

联锁防护装置应符合GB/T 8196-2018和GB/T 18831-2017的要求。

与防护装置相关的的最小安全距离应符合GB/T 23821-2009的要求。

应按需要设置楼梯、阶梯和护栏并应符合GB 17888.3-2008的规定，按GB 17888.2-2008设置工作平台和通道，按GB17888.4-2008设置固定式直梯。走道、楼梯和平台的表面应具有防滑表面，并加以保护，以避免或尽量减少因水垢、油、乳液和/或润滑剂引起的坠落。

电敏保护设备应符合GB/T 19436.1-2013的相关要求。

压敏保护设备应符合GB/T 17454.1-2017、GB/T 17454.2-2017、GB/T 17454.3-2017的相关要求。

注：[中A、B、E]

* + - 1. 热防护

如果存在热辐射风险，机器人本体及末端执行器应提供带有隔离材料的防护服、防护板或防护罩。在防护服及机器人本体之间宜设计主动冷却系统。

末端执行器与高温作业对象接触，应设计或配备热防护装置，以确保在GB/T 18153中规定的接触时间和材料内不超过烧伤阈值。

电炉和LF精炼炉，其变压器室大电流短网附近的墙体内外及附近的金属构件易因电磁感应发热，机器人系统应采取防电磁感应发热的措施。

注：[中A、B、E]

* + 1. 电气安全

炼钢区域机器人及其系统的电气设备的设计和制造应符合GB/T 5226.1-2019的相关要求。

制造商设计及安装所有的电气设备，应使其能够承受风险评估中确定的所有危险，包括安装地点的海拔、温度、振动、湿度、腐蚀、地震灾害等对设备的影响。

与高温钢液接近的电气器件及电缆应有可靠的隔热和防钢液溅落装置，避免受到热辐射及钢液飞溅。

仪表及其盘箱柜IP防护等级根据环境选择，应具有IP54的最低防护等级。

在有防爆要求的环境中，控制系统应符合国家防爆标准。

电缆不应架设在热力与燃气管道上，应远离高温、火源与液渣喷溅区；必须通过或邻近这些区域时，应采取可靠的防护措施；电缆不得与其他管线共沟铺敷设。

注：[中A、B、C、D、E]

* + 1. 控制系统安全
       1. 通则

应按GB/T 16855.1或者GB 28526规定的方法确定控制系统的等级。

应满足以下要求：

1. 任何部件的单个故障不应导致安全功能的丧失；
2. 只要合理可行，单个故障应在有关安全功能的下一个指令发出时或发出被检测到；
3. 当出现单个故障时，安全功能始终有效，且应维持安全状态直到故障排除；
4. 所有可合理预见的故障应被检测到；
5. 检测出的故障在解决之前，机器人应保持安全状态；
6. 确保安全控制系统的所有装置正常运行后，机器人方可运行。
7. 在突发异常情况下，控制系统应具备使机器人紧急退避的功能。

注：[中B、D、E]

* + - 1. 机器人及系统的停止功能

每个机器人单元或机器人系统都应具有保护性停止功能及独立的急停功能。这些功能应具有与外部保护装置连接的措施。

若机器人系统涉及人机交互作业，如半自动测温取样作业，操作人员进行探头的拔除作业，则应具备停止功能。

注：[中B、D、E]

* + - * 1. 急停功能

急停功能应符合GB16754-2008的要求。

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。

急停功能不能用来代替安全防护措施和其他安全功能，不应削弱保护装置或带有其他安全功能装置的有效性。

每个可能引发机器人运动或其他可能危险工位都必须在易于接近的位置（操作台、机旁操作箱等）安装单独的外部紧急停止装置。

急停功能应保持有效直至人工确认后手动复位，且复位后不能导致机器人及其系统的自动重新启动。

机器人系统的急停装置的设计、安装及防护应考虑炼钢区域振动、冲击、高温、粉尘等产生的影响。

应定期检查所有紧急停止装置的功能。

注：[中A、B、D、E]

* + - * 1. 保护性停止

机器人及其系统的保护性停止应符合GB/T 20867-2007中5.3.3的要求。

机器人系统应设计有一个或多个保护性停止电路，可用来连接外部保护装置。

注：[中B、D、E]

* + 1. 其他安全
       1. 储能控制

当机器人及其系统中含有储能的零部件（如蓄能器、弹簧、配重、飞轮等）时，应在储能器处贴上标签以识别储能的危险，同时提供控制和释放能量的方法。

注：[中B、D、E]

* + - 1. 能源动力要求

各类压力管道（空气、蒸汽、氧气、氮气、氩气等）的设计、施工、安全保护装置以及安全防护的基本要求应遵守TSGD0001、GB/T20801.6及GB50316的相关技术要求。

机器人系统的每种能源在安全操作区域（任何条件下都可接近）宜有单独的切断装置。

不同介质的管线，应按照GB7231的规定标明不同的颜色，并注明介质名称和流向，不同的能源介质连接宜采用不同的连接方式。

炼钢区域机器人系统涉及的液压、气动、气体、冷却和润滑系统设计时应充分考虑降低火灾、爆炸及噪声的危险。

注：[中A、B、E]

* + - * 1. 气动系统

气动系统应符合GB/T 7932-2017的要求

气动系统主气源处应有上锁挂牌功能且该功能应符合GB/T 33579的要求。

在炼钢高温区域气动系统应选用耐高温的元件及管路。

注：[中A、E]

* + - * 1. 液压系统

液压系统应符合GB/T 3766-2015的要求。

对炼钢区域高温或有明火的工作场所，液压系统应选择难燃液压油，液压油的闪点和燃点要高，并应考虑其他预防措施，例如止回阀。

注：[中A、E]

* + - 1. 电磁兼容性

机器人的设计和制造应符合GB/T 17799的要求，以防止因电磁干扰（EMI）、射频干扰（RFI）和静电放电（ESD）的影响而出现危险运动或情况。

机器人系统产生的电磁干扰不应超过其预期使用场合允许的水平。机器人系统对电磁干扰应有足够的抗扰度水平，以保证机器人系统在预期使用环境中可以正确运行。

注：[中A、B、C、E]

* + - 1. 照明

炼钢区域机器人及其系统的照明应符合GT/T 28780-2012的要求。

应为机器人系统提供适合于有关操作的整体照明，应充分考虑炼钢区域现场钢液及火焰的强光以及粉尘对整体照明的影响。

应提供至少500lx的维持照度。

使用机器人需要视觉辅助或者保护面罩时，照度应乘以此类装置透射比的倒数。如果透射比未知，则照度应至少增加50%。

炼钢区域的危险场所和其他特定场所安装的机器人系统，其照明器材的选用应遵守下列规定：

——有爆炸和火灾危险的场所，应按其危险等级选用相应的照明器材；

——有酸碱腐蚀的场所，应选用耐酸碱的照明器材；

——潮湿地区，应采用防水型照明器材

——含有大量烟尘但不属于爆炸和火灾危险的场所，应选用防尘型照明器材。

注：[中A、B]

* + - 1. 噪声

炼钢区域机器人系统的在正常运行时生产的噪声宜不大于80dB。

注：[中B]

1. 使用信息

使用说明书

随机提供的使用说明书应按GB/T 15706规定的有关内容和要求编制。

炼钢区域机器人的使用说明书应包括下列信息：

1. 制造商或供应商的名称、地址及必要的联系信息
2. 使用环境条件的说明
3. 产品外观及尺寸说明
4. 产品技术参数说明
5. 预期条件下的安全性说明
6. 应用限制的说明
7. 按规定的用途使用的说明
8. 使用和操作的说明
9. 搬运及安装说明
10. 维护和维修的说明
11. 安全警告的说明

标志

炼钢区域机器人系统上所需的标志、符号和文字警示牌应符合GB/T 15706的有关要求，安全标志应符合GB 2894-2008的要求。

炼钢区域机器人系统上应装有标牌，标牌上应包括以下内容：

1. 生产商的名称
2. 机器人名称
3. 机器人系列或型号
4. 生产序列号
5. 制造年份
6. 电源相关参数，如使用液压、气动系统，还应有相应的数据
7. 可供运输和安装使用的起重点
8. 机器人的尺寸范围和负载能力
9. 任何法律要求的标志
10. （资料性附录）  
    炼钢区域典型机器人应用

冶炼测量检测（电炉测温取样、精炼测温取样、大包测温取样、中间包测温取样、液芯位置检测）

冶炼加料填装（转炉铝钒投料、转炉石灰投料、引流砂投料、精炼合金投料、覆盖剂投料、结晶器保护渣）

表面涂敷涂装（水口防火泥涂敷、浇钢防火泥涂敷）

炉衬耐材喷补（电炉炉衬喷补）

清渣捞渣扒渣（残铁口的清渣、装包水口烧氧）

器具接插装配（大包耐材砌筑、转炉耐材砌筑、鱼雷罐车受电、装包滑板装卸、滑板耐材更换、大包吹氩管接插、长水口的更换、大包油缸接插、浇钢插铁板、铸模插发热板、鱼雷罐车加盖）

1. （规范性附录）  
   重大危险列表

表B.1为炼钢区域机器人及机器人系统的重大危险列表。

表 B.1 重大危险列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 类型 | 危险情况示例 | |
| 来源 | 后果 |
| 1 | 机械危害 | * 机器人手臂、附加轴、末端执行器或相关设备的任一部件的运动（正常或意外运动） * 机器人手臂、附加轴、末端执行器或相关设备与任何固定物体之间 * 机器人及其相关设备存在尖锐边缘或棱角 * 操作环境狭窄 * 安全保护设施的移动或拆除 * 零部件及物件坠落或抛射 * 末端执行器故障 * 夹具或夹持器的意外运动 * 工具的变形、意外脱落、抛射 * 储备源潜在能量的意外释放 * 宽松的衣服、长发 * 在自动模式下被困操作员无法（经单元门）离开机器人单元 * 管线包松脱拉扯周边设备或人员 * 工件与工具不匹配造成的挤压、弹射 | 碰撞  挤压  纠缠  冲击  拖入或受困  刺伤或穿刺  高压流体注入或喷射 |
| 2 | 电气危害 | * 接触带电部件或连接器（机器人的电器柜、端子箱、控制面板等） * 系统内电气柜和终端的不同电压的混淆，如驱动电源、控制电源（24V vs 110V） * 与电器（电子）电路的分立元件的接触，如电容 * 动力源或配电系统失效或故障（掉电、忽然短路、断路等） * 控制电路、装置或元器件失效或发生故障 * 暴露于电弧光中 | 触电  电击  灼伤 |
| 3 | 热能危害 | * 与末端执行器或相关的设备、工件连接的热表面（如完成测温操作的燃烧的探头、完成烧氧操作的高温氧枪、更换下的高温水口） * 铁水、钢水飞溅、喷发、泄露 * 炼钢环境中的高温及热辐射，热防护高温表面（如隔热服、围栏、隔热板） * 易燃及易爆炸性物料（CaC2粉剂、镁粉、煤直接还原铁）、尘源 * 高温水蒸气 | 烧伤  烫伤  灼伤  火灾  爆炸  有毒气体吸入  脱水 |
| 4 | 噪声危害 | * 高噪声源的特殊应用（如鼓风机、阀门） * 妨碍听力或阻碍接收警告危险的声音讯号的噪声水平，包括无法通过正常的交谈来协调人员活动的情况。 * 长期暴露在高噪声水平下 | 丧失听力  丧失平衡  丧失意识、迷失方向  注意力涣散 |
| 5 | 振动危害 | * 和振动源直接接触 * 连接件、紧固件松动导致意外停机或零件松脱 * 组件或零件未对准 | 疲劳  神经损伤  心血管疾病  冲击 |
| 6 | 辐射危害 | * 电磁场干扰机器人系统的正常运作 | 相关疾病 |
| 7 | 材质危害 | * 接触致敏工件及物料（如玻璃纤维） * 机械和电子部件的故障 * 接触腐蚀性烟雾和尘埃 | 致敏  火灾  化学灼伤  吸入性疾病 |
| 8 | 人体工程学危害 | * 设计不当的示教盒、人机界面或操作面板 * 设计不当的使能装置 * 控制装置的安置或确认不当（例如难以够到） * 视觉显示单元的设计或位置不当造成对显示信息的误解 * 需要接近的零件位置安置不当（故障排除、修理、调整） * 对危险识别模糊，局部照明不足或遮蔽 | 不良姿势导致的过度劳累  疲劳 |
| 9 | 与机器使用环境相关的危险 | * 在地震区安装的设备 * 能源的电磁干扰或湧波 * 高温 * 湿度 * 粉尘 * 有害气体 * 高空或临边作业 | 灼伤  烧伤  烫伤  呼吸系统损害  疾病  打滑、跌落 |
| 10 | 多种因素结合的危险 | * 机器人系统被一人开启而另一人未想到机器人系统已开启 * 多个故障/状况引起的危险 * 对实际问题的误判和执行错误或不必要动作引发的综合问题 * 加重危险程度的行为，如为躲避机械挤压，反而跌落到灼热钢液中 * 握持装置意外释放后余力导致的运动（惯性力、重力、弹簧/能量存储装置） * 安全防护装置功能无法如期正常运转 | 多种因素结合的危险或危险状况导致的任何其他后果 |

1. （资料性附录）  
   KR机器人系统组成

表C.1为炼钢区域KR机器人系统组成。

表 C.1 KR机器人系统组成

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 机器人执行单元 | 机器人本体 | 基座 |
| 腰部 |
| 手臂 |
| 手腕 |
| 致动器 |
| 传动系统 |
| 平衡装置 |
| 控制柜 | 驱动器 |
| 机器人控制器 |
| 外部接口 |
| 电源供给单元 |
| 操作面板 |
| 风扇单元 |
| 紧急停止单元 |
| 示教盒 | 屏幕 |
| 钥匙 |
| 按钮 |
| 急停按钮 |
| 电路板 |
| 示教盒电缆 |
| 附加轴 | 转臂 |
| 电机 |
| 减速器 |
| 传动系统 |
| 末端执行器单元 | 抓取套接拔除单元 | 探头夹持端拾器 |
| 吊运工具等 | 吊环卡口吊带 |
| 工件物料及作业对象单元 | 固定探头存储单元 | 探头 |
| 仓架 |
| 测温取样枪 | 前管 |
| 连接件 |
| 导向X |
| 导向Y |
| 控制单元 | PLC主控单元 | PLC控制系统 |
| 供电系统 |
| 温控单元 |
| 安全单元 |
| 运行监控单元 | 人机交互系统 |
| 远程工作站 |
| 感知检测单元 | 感知数据处理单元 | 视觉工控机 |
| 力觉等处理单元 |
| 拾取套接拔除测量标定 | 标定 |
| 仓架探头测量 |
| 测温取样枪测量 |
| 动作状态检测 |
| 能介仪表 | 控制空气 |
| 电能 |
| 力觉/声觉 | 无 |
| 工艺功能单元 | 探头切断试样分离工艺单元 | 切断机构 |
| 分离机构 |
| 电控单元 |
| 致动器 |
| 安全防护单元 | 作业区域防护 | 安全围栏 |
| 隔离房 |
| 设备环境防护 | 机器人及附加轴 |
| 探头夹持端拾器 |
| 探头切断试样分离工艺单元 |
| 相机防护 |
| 电控盘柜 |
| 能介管缆 |
| 视觉监视单元 | 物料工件拾取视角 |
| 作业对象视角 |
| 后处理视角 |
| 作业过程全景视角 |
| 安全控制系统 | 安全控制器 |
| 安全门禁 |
| 光电保护 |
| 安全紧急停止 |
| 安全警示 | 声光报警灯 |
| 能介供给单元 | 供电供给单元 | 380V（三相四线） |
| 220V |
| 主控柜24V模块 |
| 机侧端子箱24V电源模块 |
| 5V电源模块 |
| 接地 |
| 介质供给单元 | 冷却空气 |
| 气缸用气 |
| 工业氧气 |
| 工业用水 |
| 液压 |