



中华人民共和国国家标准

GB/T 44253—2024

巡检机器人安全要求

Safety requirements for inspection robots

2024-07-24 发布

2025-02-01 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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 风险评估 3

5 安全要求 3

6 验证与确认..... 10

7 使用资料..... 13

附录 A（规范性） 主要危险列表 15

附录 B（规范性） 典型行业/场景巡检机器人运行安全要求 17

附录 C（规范性） 静态障碍物避障测试方法 19

参考文献 21

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。

本文件由全国机器人标准化技术委员会(SAC/TC 591)归口。

本文件起草单位：杭州申昊科技股份有限公司、浙江大学、国家电网有限公司、国网浙江省电力有限公司、杭州地铁运营有限公司、国网江苏省电力有限公司、浙江大学舟山海洋研究中心、中国长江电力股份有限公司、上海许继电气有限公司、国网电力科学研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司武汉分院、上海申通地铁集团有限公司、西安市轨道交通集团有限公司、陕西延长石油(集团)有限责任公司、浙江省标准化研究院、国能大渡河流域水电开发有限公司、重庆凯瑞机器人技术有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、中能国研(北京)电力科学研究院、国网智能科技股份有限公司、国网江西省电力有限公司、国网信息通信产业集团有限公司北京分公司、杭州海康机器人股份有限公司、中国计量大学、杭州云深处科技有限公司、杭州宇树科技有限公司、途航科技有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、浙江省机器人产业协会、安捷轮(福州)动力科技有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中煤科工西安研究院集团有限公司、中铁上海设计院集团有限公司、中铁建申昊科技(上海)有限公司、之江实验室、杭州晟冠科技有限公司、东海实验室、福建申昊科技有限责任公司、西安申昊科技有限公司、杭州申弘智能科技有限公司。

本文件主要起草人：吴海腾、陈如申、曹光客、梅德庆、解晓东、钱平、徐波、郑鑫、武二永、周峰、吕晓勇、刘星、杨子赫、黄鑫、胡霁、卢剑鸿、罗福良、张冰、李徐军、蒋建平、邹治银、花聪聪、周业荣、李本旺、冉坤、邢琳、唐聪、田孝华、李丽、徐波、孔繁昕、樊杨鑫、王斌锐、朱秋国、王兴兴、梁冬泰、李志海、宋伟、揭业和、林鹏、燕斌、罗利平、张凯、乔波、田少华、李旭、陈家旺、陈基展、杭寅、杜礼会、徐海星。

巡检机器人安全要求

1 范围

本文件规定了巡检机器人的风险评估、安全要求、验证与确认和使用资料等。

本文件适用于巡检机器人的设计、生产、检验、使用和维护等。

本文件适用于工业设备运维特定场景的巡检机器人,如电力电网、轨道交通、石油化工和海洋等领域,其余场景应用的巡检机器人参照执行。

本文件不适用于:

- 空间机器人;
- 核工业机器人;
- 医用机器人;
- 军用机器人。

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

GB 12348—2008 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 14211—2019 机械密封试验方法

GB/T 15706—2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 16754—2021 机械安全 急停功能 设计原则

GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3—2023 电磁兼容 试验和测量技术 第 3 部分:射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9—2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 17626.10—2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验

GB/T 17799.4—2022 电磁兼容 通用标准 第 4 部分:工业环境中的发射

GB/T 20272—2019 信息技术安全 操作系统安全技术要求

GB/T 20273—2019 信息安全技术 数据库管理系统安全技术要求

GB/T 20721—2022 自动导引车 通用技术条件

GB/T 23821—2022 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离

GB/T 33509—2017 机械密封通用规范

GB/T 36896.1—2018 轻型有缆遥控水下机器人 第 1 部分:总则

GB/T 36954—2018 机械安全 人类工效学原则在风险评估与风险减小中的应用

GB/T 38244—2019 机器人安全总则
GB/T 38326—2019 工业、科学和医疗机器人 电磁兼容 抗扰度试验
GB/T 38674—2020 信息安全技术 应用软件安全编程指南
GB/T 38834.2—2023 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第2部分：导航
GB/T 39785—2021 服务机器人 机械安全评估与测试方法
GB/T 40013—2021 服务机器人 电气安全要求及测试方法
GB 40050—2021 网络关键设备安全通用要求
SJ/T 11852—2022 服务型机器人用锂离子电池和电池组通用规范
NB/T 33026—2016 电动汽车模块化电池仓技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机器人 robot

具有两个或两个以上可编程的轴,以及一定程度的自主能力,可在其环境内运动以执行预定任务的执行机构。

[来源:GB/T 36530—2018,3.2]

3.2

巡检机器人 inspection robot

代替或辅助人类巡检的机器人。

3.3

机械安全 mechanical safety

在机械生命周期内,物理上(机械机构产生的直接伤害)所有风险被降低到可接受的,确保其不产生损伤或危害健康的能力。

[来源:GB/T 38244—2019,3.14]

3.4

电气安全 electrical safety

机器人在生产、运输、安装、调试、运行、拆卸、维修、检测和作业等过程中,其电气系统对人身伤害以及对设备和周围环境的物理损害等风险处于可接受状态。

[来源:GB/T 39586—2020,8.3,有修改]

3.5

控制安全 control safety

为使机器人控制系统在预定的使用条件下执行其预定功能而不对人、设备和环境产生危害的能力。

3.6

信息安全 information security

对信息的保密性、完整性和可用性的保持。

注:另外,也包括诸如真实性、可核查性、抗抵赖和可靠性等其他性质。

[来源:GB/T 25069—2022,3.673]

3.7

运行安全 operational safety

在巡检过程中,具有保护机器人自身、巡检对象设备、使用者和周围环境不受危险、不受侵害、不出事故等的状态,包括应具备的功能,加装的装置或采取的措施等。

[来源:GB/T 39586—2020,3.7,有修改]

3.8

验证 verification

通过提供客观证据对巡检机器人的规定要求已得到满足的认定。

[来源:ISO 9000:2015,3.8.12,有修改]

3.9

确认 validation

通过提供客观证据对巡检机器人特定的预定用途或应用要求已得到满足的认定。

[来源:ISO 9000:2015,3.8.13,有修改]

4 风险评估

一般情况下巡检机器人(以下简称“机器人”)可能出现的危险见附录 A,但其并非包含全部可能的危险,特定巡检机器人可能由于其特殊设计、预定应用或可合理预见的误用而带来其他危险。机器人设计时,应识别在机器人生命周期内所有阶段可合理预见的危险,并进行风险评估。这种风险评估应对下列情况给予特别关注:

- a) 机器人的例行操作,包括调试、维护和清洁等;
- b) 意外启动;
- c) 与人员共同工作的区域;
- d) 可合理预见的误用或误操作;
- e) 控制系统故障的影响;
- f) 与机器人应用任务有关的危险;
- g) 与通信有关的危险。

机器人的安全包括人员安全、设备设施安全和环境安全。机器人安全设计应通过本质安全设计措施减少或消除风险,使机器人产生的危害控制在可接受的范围内。若通过本质安全设计措施无法消除或充分减少危害,则应采取安全防护和补充保护措施以减少危害。若本质安全设计措施、安全防护和补充保护措施仍不能减少遗留危害,则应通过信息、流程和培训等控制手段减少危害。即使机器人不受控制,也不应产生危害,应有相应保护手段强制其停止运动或进行隔离。第 5 章中的要求是通过附录 A 中识别的危险,采取安全措施(与 GB/T 15706—2012 中图 2 一致)经反复处理而得到的。

注:GB/T 15706—2012 和 GB/T 16856—2015 对进行危险识别及减少风险提出了要求和指导。

5 安全要求

5.1 总体原则

机器人安全设计原则如下:

- a) 采用最小风险设计:在设计上消除风险,若不能消除已经判定的风险,通过设计方案优化,使风险控制可在可接受的范围内;
- b) 采用安全装置:采用永久性的、自动的或其他安全防护装置,使风险减少至可接受的范围内;
- c) 采用告警装置:采用告警装置来检测或标示危险,并发出告警信号,告警标记或信号需明显且规范;

- d) 制定安全操作规程:制定安全操作规程以保证机器人的安全操作,包括正常操作流程、异常处理流程和应急处理流程等;
- e) 开展人员培训:对从事机器人安全相关的工作人员进行培训。

5.2 机械安全

5.2.1 通则

机器人的机械安全范围涵盖机器人本体及其相关附属设施(如充电桩、运行导轨和水下机器人的脐带缆等),并应遵循以下规则:

- a) 机器人的机械安全标准是 GB/T 15706—2012 所述的 C 类标准,当本文件的内容与其他 A 类或 B 类标准的一个或多个技术规定不一致时,以本文件为准;
- b) 机器人的机械安全符合 GB/T 39785—2021 中 5.2 和 5.5 的规定,其中 5.2.5 不适用;
- c) 在具体特殊场景应用时,机器人符合额外的标准和法规,如油气化工领域需要符合防爆规定。

5.2.2 几何因素

机器人的外形、尺寸、空间布局和加工工艺应满足以下要求:

- a) 机器人机械部件的设计和加工不出现可能导致人员和周围环境产生划伤危险的毛刺、尖角或者锋利边缘;
- b) 机器人可触及部件的孔或缺口设计符合 GB/T 23821—2022 的规定;
- c) 机器人的尺寸、重心和相对位置的设计满足现场使用环境要求。

5.2.3 物理特性

机器人的相关物理特性应满足以下要求:

- a) 机器人及其附属设施的零部件材料满足现场使用环境的要求,如户外场景使用需满足防腐和防锈等要求,沿海地区使用需满足防盐雾要求,重要消防场所使用需满足阻燃防火要求,极端天气条件下使用需满足耐高低温和防潮要求等;
- b) 机器人及其附属设施零部件的强度和刚度符合安全设计要求,在其规定的使用寿命内,均不发生断裂或不可逆形变;
- c) 限制机器人的驱动力/力矩在可接受范围内,使被驱动部件不会产生机械危险;
- d) 合理设计机器人的底盘,并限制其重量和速度,不对运动接触面(如行驶路面、运行导轨等)带来破坏;
- e) 机器人的运动机构(如转向机构、云台、机械臂、伸缩臂等)设置限位装置,不存在运动机构失效或超过行程范围的问题;
- f) 机器人在斜坡、升降、高空等环境工作中出现异常时具备紧急锁紧制动功能,不发生溜坡、掉落等危险,制动装置需在专业维护人员的操作下方可解除;
- g) 机器人的电池仓符合 NB/T 33026—2016 中 5.3 的规定;
- h) 机器人及其附属设施的密封结构符合 GB/T 33509—2017 的规定;
- i) 机器人及其附属设施的连接采取必要的防松措施,不发生零部件脱落的危险;
- j) 机器人满足动态稳定性要求,在设计使用寿命期限内,受到动载荷或周期性载荷的作用时,不发生机器人功能结构失效和零部件疲劳失效的危险。

5.2.4 人类工效学

机器人的机械设计应按照 GB/T 36954—2018 的规定考虑人类工效学,以减轻使用者或维修者的心理、生理压力和紧张程度,应遵循如下要求:

- a) 避免使用者在机器人使用或维修过程中采用紧张、扭曲活动或极限位置的姿势和动作；
- b) 机器人控制机构的操作考虑在人力的可及范围之内，考虑操作便利性；
- c) 限制振动和热效应对人的影响；
- d) 关键控制和显示设备的选择、位置和标识使其清晰可见、可识别，并在必要时进行适当标记。

5.2.5 防护措施

机器人的机械安全防护措施包括防护装置、保护装置及其他补充保护措施：

- a) 采用防护装置和保护装置以防止机器人对人员、设施和环境产生伤害；
- b) 机器人的外露部件(如传感器)和易损部件(如电池)宜采用防护装置和保护装置以防止受到外力破坏；
- c) 机器人宜采用缓冲装置和减震装置，减小外部冲击和振动对机器人的影响；
- d) 采取降低噪声的防护措施，机器人的使用符合预定用途的噪声排放标准；
- e) 机器人如搭载有害物质、危险物品等应采取专业的防护措施和保护措施，避免发生泄漏对人员和环境产生伤害；
- f) 提供方便且安全搬运机器人及其重型零部件的装置。

5.3 电气安全

5.3.1 通则

机器人整机的电气安全应符合 GB/T 40013—2021 中 4.3 的规定，其中 GB/T 40013—2021 的 4.3.8~4.3.10、4.3.13.1、4.3.13.3、4.3.13.5、4.3.13.6 不适用。

机器人关键元器件的电气安全应符合 GB/T 40013—2021 中 4.2 的规定，其中 GB/T 40013—2021 的 4.2.8 不适用。

注：机器人附属的电气设施(如充电设备)的安全要求参照本文件。

5.3.2 电击防护

机器人的电气设备应具备 GB/T 5226.1—2019 中第 6 章规定的让使用人员或维修人员免受电击的能力。

5.3.3 IP 防护等级

室内机器人的 IP 防护等级应不低于 IP2X。

室外机器人的 IP 防护等级应不低于 IP55。

水下机器人的 IP 防护等级应不低于 IP67。

5.3.4 锂离子电池(组)

采用锂离子电池供电时，机器人的电池(组)应符合 SJ/T 11852—2022 中第 7 章和第 8 章的规定。

5.3.5 电气安全标识

机器人应具有清晰的电气安全标识，指示电源开关、熔断器、地线等的位置和功能，警告标识应符合 GB/T 5226.1—2019 中 16.2.1 的规定。

5.4 电磁兼容性

5.4.1 抗扰度要求

机器人根据使用环境的不同，应满足相应的电磁兼容抗扰度要求：

- a) 轻工业环境中所使用的机器人的抗扰度满足 GB/T 38326—2019 表 3 的要求；
- b) 工业场所使用的机器人的抗扰度满足 GB/T 38326—2019 表 4 的要求；
- c) 受控电磁环境场所使用的机器人的抗扰度满足 GB/T 38326—2019 表 5 的要求。

注：电力行业参照附录 B 中的表 B.1，其他特殊环境的电磁兼容抗扰度要求由用户根据实际情况另行提出。

5.4.2 电磁发射要求

机器人应限制其电磁发射的水平以避免对环境中的设施产生干扰：

- a) 机器人的外壳端口的辐射发射要求满足 GB/T 17799.4—2022 表 3 的要求；
- b) 机器人的直流电源端口的传导发射满足 GB/T 17799.4—2022 表 A.1 的要求，低压交流电源端口的传导发射满足 GB/T 17799.4—2022 表 4 的要求；
- c) 机器人的有线网络端口的传导发射满足 GB/T 17799.4—2022 表 5 的要求。

注：对电磁发射有特殊要求的场景由用户根据实际情况另行提出。

5.5 控制安全

5.5.1 通则

与机器人安全相关的控制系统及部件应符合 GB 11291.1—2011 中 5.3 和 5.4 以及 GB/T 38244—2019 中 7.1 的规定，并满足以下要求：

- a) 合理设置控制权限和优先级，只有在授权情况下才能控制机器人；
- b) 在特定场景下触发的因设计不足、性能局限导致的风险控制在合理可接受的范围内，这些特定场景包括特定的天气条件、特定的环境条件、特定的道路交通条件、用电故障（接地故障、电压中断、电路连续性及干扰等）、人员误用及其他；
- c) 机器人可具有手动模式、半自动模式和全自动模式等执行指令的方式，方式切换按照 GB/T 5226.1—2019 的要求，防止操作者意外触及导致方式切换；
- d) 在解决故障的过程中，机器人宜采用手动模式，且控制权移交给专业人员；
- e) 机器人在工作过程中避免多用户同时控制带来的风险。

5.5.2 位置控制

机器人的整体和局部位置控制应满足如下要求：

- a) 机器人划定安全工作区域范围，当机器人超出安全区域范围且无法自主纠偏时，停止运行，并给出相应的故障提示；
- b) 机器人上的运动部件划定行程范围，当超出行程范围时停止运动，并给出相应的故障提示。

5.5.3 速度控制

机器人速度控制应满足以下要求：

- a) 根据巡检任务与周围环境，综合风险评估后确定合理的速度控制逻辑与速度范围；
- b) 对机器人的速度进行实时监测，并对监测出的超速情况进行告警；
- c) 机器人的设计速度和移动速度确保在预定的速度范围之内，不存在发生损坏性碰撞的风险；
- d) 机器人设计的安全速度在保证机器人能够长期稳定运行所承受的驱动能力范围内；
- e) 机器人的速度设置，只有特定权限的人员才可调节允许最大速度。

5.5.4 接触力控制

机器人采用抵近检测或接触式检测时，应采取控制措施使机器人的接触力不超过安全极限：

- a) 危险评估确定巡检接触对象所能承受接触力的安全范围；
- b) 在接触过程中,控制运动机构的速度逐步递减；
- c) 接触部件有缓冲措施,避免刚性接触；
- d) 有接触反馈信号,接触成功后停止运动；
- e) 当发生误接触事故后,自动采取急停措施。

5.5.5 失效防护控制

机器人应具备正常控制失效后的防护功能,满足以下要求：

- a) 具备定位导航功能的机器人在定位导航失效后,满足 GB/T 20721—2022 中 6.3.7.6 规定的导航丢失保护的要求；
- b) 机器人与外部通信网络系统中断通信超过一定时间时,机器人停止运行,并发出警告信息,如在一定时间内通信恢复,机器人自行恢复运行；

注 1: 通信中断的时间限值由供应商自行设定。

注 2: 具备离线自主巡检功能的机器人除外。

- c) 在失效未得到解决之前,机器人保持故障告警状态,并在人工干预的方式下恢复至正常状态,恢复后解除报警状态；
- d) 各个部件或功能模块之间采取一定的隔离和保护措施,避免发生连锁失效。

5.5.6 避障防护

机器人在巡检过程中,不应受到静态和/或动态障碍物带来的碰撞风险,应满足如下要求：

- a) 机器人根据现场实际情况,适当采取停止运行和绕障运行不同避障模式；
- b) 机器人具备提前感知障碍物的能力,确保在与人或其他障碍物接触碰撞之前有足够时间和空间响应停止运行或绕开运行；
- c) 机器人在避障停止运行过程中根据响应时间和空间的实际情况分别采取减速停止和紧急停止两种不同方式,在确保不与障碍物发生碰撞的前提条件下,尽可能减少急停对机器人自身带来的冲击破坏；
- d) 机器人检测到障碍物时采取声光报警方式进行安全告警和让行提示,障碍物移除后恢复运行；
- e) 为减小机器人与障碍物因误碰撞产生的危险,采用安全触边等措施减缓碰撞力和触发急停开关信号。

5.5.7 保护性停止

机器人应具备保护性停止功能,并满足以下要求。

- a) 机器人具备保护性停止功能,其功能的实现不对系统产生不合理的负面影响。
- b) 保护性停止功能通过以下方式来确保控制安全：
 - 1) 停止机器人所有运动；
 - 2) 撤除机器人驱动器动力；
 - 3) 中止可由机器人系统控制的任何其他危险方式；
 - 4) 其他。
- c) 停止功能由控制逻辑自动启动。

5.5.8 急停

机器人应具备急停功能,并满足以下要求,以避免机器人失控对周围人或环境造成伤害：

- a) 急停功能的实现不对系统产生不合理的负面影响；

- b) 急停功能满足 GB/T 38244—2019 中 7.3 的要求,急停装置符合 GB/T 5226.1—2019 中 10.7 和 GB/T 16754—2021 的设计要求;
- c) 急停功能由人工干预启动。

5.6 信息安全

5.6.1 通则

机器人的信息安全除了应满足 GB/T 38244—2019 中 8.1 的规定要求之外,所使用的硬件设备和软件系统还应满足以下要求:

- a) 所使用的网络设备满足 GB 40050—2021 规定的要求;
- b) 所使用的操作系统满足 GB/T 20272—2019 规定的不低于一级的要求;
- c) 所使用的数据库管理系统满足 GB/T 20273—2019 规定的要求;
- d) 所使用的应用软件满足 GB/T 38674—2020 规定的要求。

5.6.2 网络准入控制

机器人接入网络系统时,满足如下网络准入要求:

- a) 网络系统宜布设网络安全设备(如防火墙等);
- b) 对机器人所处的网络进行准入控制,通过无线方式接入时,宜配置安全接入模块。

5.6.3 数据传输安全

机器人信息系统与外部系统之间的通信宜采取加密方式传输。

系统应采取适当的措施保证传输过程中信息的保密性和真实性。

5.6.4 身份鉴别

机器人应具备身份鉴别机制,应满足如下要求:

- a) 对登录用户进行身份标识和鉴别,对身份标识的唯一性进行自动检查,对身份鉴别信息的复杂度进行检查;
- b) 提供登录失败处理功能,多次登录失败后采取必要的保护措施,防止暴力破解口令;
- c) 当进行远程管理时,采取加密等必要措施,防止鉴别信息在网络传输过程中被窃听。

5.6.5 访问控制

机器人应具备访问控制机制,应满足如下要求:

- a) 能够对登录机器人的管理员登录地址进行限制;
- b) 能够对登录的用户分配账户和权限;
- c) 能够重命名或删除默认账户,修改默认账户的默认口令;
- d) 能够及时删除或停用多余的过期的账户,避免共享账户的存在;
- e) 授予用户最小的权限,实现管理用户的权限分离;
- f) 当用户在登录超时时间内未进行任何操作时,能够自动结束该用户会话并退出登录。

5.6.6 安全审计

机器人安全审计应满足如下要求:

- a) 提供安全审计功能,审计覆盖到每个用户,对重要的用户行为和重要安全事件进行审计;

- b) 审计记录包括事件的日期和时间、用户、事件类型、事件是否成功及其他与审计相关的信息；
- c) 对审计记录进行保护,避免受到未预期的删除、修改或覆盖等；
- d) 审计记录的留存时间不少于 6 个月。

5.6.7 备份和恢复

应具备重要信息备份与恢复功能,如机器人配置文件、操作日志记录等。

5.6.8 入侵防御

不应使用易遭受恶意攻击的高危端口作为服务端口,或开启与业务无关的服务端口,应支持空闲端口关闭功能。

5.7 运行安全要求

5.7.1 通则

机器人在运行过程中应满足如下基本要求：

- a) 机器人在运行过程中对机器人自身运行状态进行实时监测,并在故障发生时发出告警信息；
- b) 机器人具备一定的故障诊断能力,便于故障准确定位与快速恢复；
- c) 机器人在特定场所应用时,满足特定行业或场所规定的安全要求。

5.7.2 运行前检查

机器人在运行前应进行以下检查：

- a) 机器人运行前进行开机自检,只有在状态正常的情况下才能开始运行；
- b) 机器人运行前进行参数设置合理性检查,对超范围可疑参数进行提示；
- c) 机器人运行前根据天气等工况条件,只有在工况符合使用条件的情况下才能开始运行。

5.7.3 运行过程安全

机器人在运行过程中应满足以下要求。

- a) 机器人在启动成功提示 2 s 之后才能开始巡检任务工作,不在启动时立刻执行危险动作。
- b) 当指令装置(如操作杆,控制面板,声音和手势识别系统和/或其他工具)用以控制机器人运动时,发出的指令与预期运动相一致,不会产生误操作。
- c) 无论有意或无意的任何指令装置的连接、断开和重连接,或指令装置发生连接故障时,若继续进行任务会导致不可接受的风险,则机器人启动保护性停止。
- d) 提供储存的危险能量受控释放和被困人员逃生和救援的措施。
- e) 机器人受到有效地监督和管理,确保其执行正确和合理的任务。
- f) 机器人提供透明和可追溯的数据和记录,便于审查和评估。
- g) 机器人通过人机交互系统显示如下运行过程信息：
 - 1) 显示巡检系统任务状态；
 - 2) 显示机器人运行状态；
 - 3) 显示机器人安全状态、传感器状态、通信状态；
 - 4) 显示电量信息；
 - 5) 显示故障信息。

5.7.4 维修与保养

机器人在维修和保养方面与安全有关的工作应满足如下要求：

- a) 机器人在运行后静置一段时间冷机,随后才能开展维修和保养工作；
- b) 机器人定期进行保养,确保各项安全措施实时有效,确保良好的工作状态；
- c) 保养分为例行保养和专业保养,例行保养内容以清洁、安全、检视、排查机器人本体及配套系统运行隐患为主；专业保养指根据机器人巡检系统运行使用情况,由专业维护人员进行的检查、维护和保养工作；
- d) 当机器人出现故障,通过常规保养不能消除时进行维修处理,维修由机器人制造商或专业维保单位完成；
- e) 机器人在维护或修理等阶段,在不妨碍人员执行任务的前提下,使用保护人员的安全防护装置。

5.7.5 特殊运行安全要求

机器人在特殊场景应用时需满足额外的运行安全规范,机器人在电力电网、轨道交通、石油化工和水下等几个典型应用领域应符合附录 B 的运行安全要求,其他应用领域也可参考。

6 验证与确认

6.1 验证与确认的方法类别

应按照第 4 章和第 5 章所述要求,对机器人安全要求进行验证和确认；宜复查风险评估,评价是否所有合理可预见的危险均被确定,是否采取了纠正措施。通过下列(但不限于)方法实现验证和确认：

A:检查(使用人员感官而不借助于任何特定检验设备来检查机器人的情况,一般指在机器人不工作时通过视觉和听觉进行检查)；

B:测量(将测得的实际值与要求限值进行比较)；

C:实际测试(测试机器人在正常或异常状态下的功能和性能等)；

D:审查或复查与安全相关的图纸资料 and 文件(有条理地排查或复查诸如机械图纸、设计计算书、电气图纸、软件代码、使用说明书、合格证以及第三方检测报告等资料文件)；

E:操作中观察(在机器人正常或异常条件下,在操作中使用方法 A 进行检查)；

F:复现验证(模拟或复现机器人的特殊异常状况,并进行功能和性能检验)；

G:复查基于任务的风险评估(有条理地复查或排查风险分析、风险评估和相关文件)。

6.2 验证与确认的条件

6.2.1 测试顺序

采用 6.1 中方法 C 进行实际测试时应按下述顺序进行：

- 确定适用的项目；
- 元器件或部件单独试验；
- 机器人不通电试验；
- 带电试验。

6.2.2 测试环境

除非另有规定,测试均在下述条件下进行：

- 温度:15 ℃~35 ℃;
- 相对湿度:25%~75%;
- 大气压:86 kPa~106 kPa。

6.3 安全试验和验证方法

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	安全要求和/或措施	验证和确认的方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.2.1	结构设计安全评估	√	√		√	√			按 GB/T 39785—2021 中 5.2 的方法
5.2.2	避免机械部件的毛刺、尖角或锋利边缘对人员和周围环境产生划伤危险	√	√		√	√			—
	防止人体的任何部位被机器人可触及部件的孔或缺口卡入造成伤害	√	√		√	√			按 GB/T 23821—2022 的方法
	满足静态稳定性要求,避免机器人发生倾覆、侧翻的危险					√	√		按 GB/T 39785—2021 中 5.5.1 的方法
5.2.3	材料满足现场使用环境的要求	√			√				—
	强度和刚度满足安全要求				√				—
	限定驱动力/力矩在可接受范围内				√	√			—
	合理设计底盘,并限制其重量和速度				√	√			—
	运动机构设置限位装置				√	√			按 GB/T 39785—2021 中 5.2.4 的方法
	异常时紧急锁紧制动						√		按附录 C
	电池仓满足要求				√			√	—
	机械密封性能满足要求				√			√	按 GB/T 14211—2019 的方法
	防松要求	√	√			√		√	—
	动态稳定性要求			√					按 GB/T 39785—2021 中 5.5.2 的方法
5.2.4	避免使用者采用紧张姿势和动作					√			—
	控制机构的操作应在人力的可及范围之内,方便操作					√			—
	限制振动和热效应对人的影响				√			√	—
	关键控制和显示设备的选择、位置和标识清晰可见	√				√			—

表 1 安全要求的试验和验证方法 (续)

章条	安全要求和/或措施	验证和确认的方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.2.5	采用防护装置和保护装置防止对人员和环境产生伤害	√			√	√			—
	采用防护装置和保护装置防止机器人的外露部件和易损部件受外力破坏	√			√	√			—
	采用缓冲装置和减震装置,减少冲击和振动的影响	√			√	√			—
	采取降低噪声的防护措施	√	√	√		√		√	按 GB 12348—2008 的方法
	采取专业措施防止有害物质、危险物品的伤害	√			√			√	—
	安全转移和搬运	√			√	√			—
5.3.1	整机电气安全	√		√		√		√	按 GB/T 40013—2021 中 4.3 的规定(其中 4.3.8~4.3.10、4.3.13.1、4.3.13.3、4.3.13.5、4.3.13.6 不适用)
	关键元器件电气安全	√		√		√			按 GB/T 40013—2021 中 4.2 的规定(其中 4.2.8 不适用)
5.3.2	电击防护			√	√				按 GB/T 5226.1—2019 中第 6 章的方法
5.3.3	IP 防护等级			√					按 GB/T 4208—2017 中表 7 和表 8 的方法
5.3.4	锂离子电池(组)安全								按 SJ/T 11852—2022 中第 7 章和第 8 章的方法
5.3.5	电气安全标识	√			√	√			按 GB/T 5226.1—2019 中 16.2.1 的要求
5.3.5	急停器件	√		√		√			按 GB/T 5226.1—2019 中 10.7 的要求
5.4.1	电磁兼容性			√				√	按 GB/T 38326—2019 中表 3、表 4 和表 5 的要求
5.4.2	电磁发射	√	√	√					按 GB/T 17799.4—2022 中表 3、表 5 和表 A.1 的要求
5.5.1	控制系统及部件的控制安全								按 GB/T 11291.1—2011 中 5.3 和 5.4 以及 GB/T 38244—2019 中 7.1 的方法
5.5.2	位置控制	√			√	√		√	—

表 1 安全要求的试验和验证方法（续）

章条	安全要求和/或措施	验证和确认的方法							补充说明
		A	B	C	D	E	F	G	
5.5.3	速度控制	√	√	√		√		√	—
5.5.4	力控制	√	√	√		√		√	—
5.5.5	失效防护控制			√				√	—
5.5.6	避障防护	√	√	√		√	√		静态障碍物避障按附录 C 动态障碍物避障按 GB/T 38834.2—2023 中第 7 章的方法
5.5.7	保护性停止			√				√	—
5.5.8	急停	√	√	√		√		√	—
5.6.1	网络设备满足安全要求								按 GB 40050—2021
	操作系统满足安全要求								按 GB/T 20272—2019
	数据库管理系统满足安全要求								按 GB/T 20273—2019
	应用软件满足安全要求								按 GB/T 38674—2020
5.6.2	网络准入控制			√					—
5.6.3	数据传输安全			√	√				—
5.6.4	身份鉴别			√		√			—
5.6.5	访问控制			√		√			—
5.6.6	安全审计			√		√			—
5.6.7	备份与恢复			√		√			—
5.6.8	入侵防御			√	√	√			—
5.7.1	运行状态实时监测			√		√		√	—
	故障诊断与告警信息输出			√		√		√	—
5.7.2	运行前安全检查			√		√		√	—
5.7.3	运行过程安全保障			√		√		√	—
5.7.4	维修与保养			√		√			—
5.7.5	特殊运行安全			√	√	√		√	按附录 B 的要求
注：“√”表示需要验证和确认。									

7 使用资料

7.1 通则

制造商提供机器人的使用资料，使用信息可由文字、标志、符号或图表等组成，向使用者传递机器人的安全使用方法。

保证机器人的标志和符号通俗易懂,清晰,能长久保持。

7.2 标志

机器人应以特定、易读和耐久的方式标记,并且应具有以下信息:

- a) 制造商的名称,机器人的型号和编号,制造的年份和月份;
- b) 机器人的质量;
- c) 电源相关参数;
- d) 外观尺寸。

注:防护、保护装置及其他没有装配的机器人零件要清楚地标明其作用,且提供任何安装所需的信息。

7.3 用户手册

机器人应附有用户手册,用户手册应包含但不限于以下内容:

- a) 制造商或供应商的名称、地址及联系信息;
- b) 产品外观及尺寸说明;
- c) 产品技术参数说明;
- d) 产品在规定环境条件下的使用说明;
- e) 调试步骤的说明,包括通用需求,特定环境条件等使用要求;
- f) 在第一次使用机器人及投入使用前对机器人及其防护系统进行初步测试和检查的说明,包括功能测试说明;
- g) 安全操作、设置和维护的说明,包括安全使用方法、电池充电管理和为使操作设备的人员达到必要技术水平所需的培训;
- h) 关于所有控制系统电气接口的说明,包括设置和安装所必需的电气接线图纸;
- i) 机器人日常维护保养方法;
- j) 安全警告的说明。

注:用户在安装或维护过程中涉及危险时,采取必要的防护措施,在用户手册中说明。

附 录 A
(规范性)
主要危险列表

主要危险如表 A.1 所示。

表 A.1 主要危险列表

序号	危险项	危险分析		安全要求条款
		危险源	可能后果	
1	机械危险	● 机器人任何部分(端执行器、外部轴、外部尖锐工具或机器人单元移动部分)的运动、旋转(包括返回) ● 末端执行器故障(异常分离) ● 操作时机器或机器人单元部件的意外运动 ● 未打磨的毛刺、尖角和锋利边缘 ● 工具的意外释放 ● 机器人空隙,或机器人与设备周边空隙 ● 静态稳定性不足 ● 连接件,紧固件松动 ● 密封部件失效的危险 ● 耐腐蚀性不足的危险 ● 极端温度导致的热表面与冷表面	● 挤压 ● 切割或切断 ● 拖入或困住 ● 碰撞或坠砸 ● 刺伤或穿刺 ● 摩擦、磨损 ● 设备进水或短路 ● 结构件局部腐蚀,导致机器人支撑结构破坏、密封舱漏水、线缆短路 ● 烧伤、冻伤	5.2
2	电气危险	● 有害静电放电的危险 ● 带电部件的接触 ● 短路 ● 电池过载 ● 接触带电的电池接口 ● 电池短路	● 触电死亡 ● 电击 ● 灼伤 ● 火灾、释放危险气体或物质	5.3
3	电磁干扰/电磁兼容性危险	● 外部电磁干扰造成的安全功能失效 ● 外部电磁干扰造成的意外功能操作 ● 外部电磁干扰造成的机器人危险运动(如失控、意外运动)	● 挤压、受困、冲击、碰撞、割伤、切伤	5.4
4	控制危险	● 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,如为避免锋利的边缘反而碰到灼热表面	● 多种因素结合的危险及危险情况导致的任何后果 ● 机器人意外运动,偏离路径,与其他结构物碰撞或无法正常返回 ● 碰撞、挤压、割伤、跌落	5.5

表 A.1 主要危险列表（续）

序号	危险项	危险分析		安全要求条款
		危险源	可能后果	
4	控制危险	● 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 ● 定位和导航错误,如偏离航向 ● 与机械运动部分的接触 ● 障碍物检测错误或失效 ● 跌落危险检测错误或失效		5.5
5	信息危险	● 信息泄漏 ● 渗透入侵	● 敏感信息泄漏、威胁公共安全	5.6
6	运行危险	● 夹具或夹持器的意外运动 ● 宽松的衣服、长发 ● 弹射出的材料及制品滑落、坠落 ● 油液泄漏的危险 ● 设计不当的示教盒、人机界面触摸屏或操作面板等 ● 设计不当的使能装置、控制装置等 ● 设计不当的拆装方式 ● 不当的零件放置(故障排除、修理、调整等) ● 对危险识别模糊、局部照明不足或者遮蔽 ● 易发地震、沙质山体、山洪区域 ● 极偏远高山区、密林等 ● 极端天气或复杂水下环境 ● 高落差区域 ● 高海拔环境(低含氧环境) ● 极端的温度、湿度环境 ● 有毒有害气体 ● 高浓度粉尘 ● 高盐度环境	● 碰撞或坠砸 ● 人员滑倒 ● 不良位姿或过分努力引起损伤(重复性过度劳累) ● 其他后果 ● 缠绕、纠缠 ● 自然灾害 ● 野兽、毒虫威胁 ● 设备损坏 ● 高空跌落 ● 缺氧 ● 中毒,呼吸系统损害 ● 设备损坏	5.2 5.7
7	爆炸危险	● 运行过程中的爆炸性环境,如可燃性气体、粉尘等 ● 防爆性能降低 ● 静电、漏电	● 意外起火、爆炸	附录 B

附录 B
(规范性)

典型行业/场景巡检机器人运行安全要求

B.1 电力巡检机器人

- 电力巡检机器人应满足以下要求：
- a) 运行在高电压强磁场环境下能满足表 B.1 中规定的电磁兼容抗扰度要求；
 - b) 运行在电力场站动态变化环境或非结构化环境下能安全稳定运行；
 - c) 机器人的巡检路径与电力场站的高压带电设备保持一定的安全距离；
 - d) 运行在电力高压环境中做好有效的绝缘措施，在特殊情况下接触高压带电体不至于损坏；
 - e) 运行在特殊路段(如电缆沟盖板)时加强防跌落、防侧翻等安全保护措施；
 - f) 电力场站在区域检修期间，机器人能通过人工标识检修区域的方法在运行过程中有效规避检修区域。

表 B.1 电力巡检机器人电磁兼容抗扰度要求

序号	应用场景	电磁兼容项目	执行标准	试验等级	性能判据
1	发电厂/变电站室外	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2—2018	4	B
		射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3—2023	3	A
		浪涌(冲击)抗扰度	GB/T 17626.5—2019	4	B
		工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8—2006	5	A
		脉冲磁场抗扰度	GB/T 17626.9—2011	5	B
2	发电厂/变电站/配电室内	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2—2018	3	B
		射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3—2023	3	A
		工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8—2006	4	A
3	架空输电线路	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2—2018	4	B
		射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3—2023	3	A
		工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8—2006	5	A
		脉冲磁场抗扰度	GB/T 17626.9—2011	5	A
		阻尼振荡磁场抗扰度	GB/T 17626.10—2017	5	A
4	配电网	静电放电抗扰度	GB/T 17626.2—2018	4	B
		射频电磁场辐射抗扰度	GB/T 17626.3—2023	3	A
		工频磁场抗扰度	GB/T 17626.8—2006	5	A
		脉冲磁场抗扰度	GB/T 17626.9—2011	5	A
		阻尼振荡磁场抗扰度	GB/T 17626.10—2017	5	A

B.2 石油化工巡检机器人

石油化工巡检机器人应满足以下要求。

- a) 运行在易燃易爆环境下时,机器人应符合 GB/T 3836—2021 规定的防爆要求。
- b) 电池供电的机器人采用无线充电方式,避免接触式充电带来火花、电弧等风险。
- c) 采取以下防静电安全措施以防止静电放电带来的危害:
 - 1) 机器人采取有效的防静电接地措施;
 - 2) 使用和维修人员在危险区域操作机器人时按规定穿着防静电服、防静电鞋,不在爆炸危险区域脱衣服、帽子或类似物。

B.3 轨道交通巡检机器人

轨道交通机器人应满足以下要求:

- a) 机器人在执行巡检任务时,遵守轨道交通的运行规则和安全制度,不影响轨道交通的正常运行或造成安全隐患;
- b) 机器人在已运营铁路线路使用,严格遵循铁路运营相关规定,线路巡检在线路运营天窗期下道工作;
- c) 轨道上运行巡检的机器人采用模块化设计,方便快速拆装,在危险来临时,能快速拆卸搬运转移到安全区域;
- d) 轨道上运行巡检的机器不破坏轨道上原有的传感检测设备和其他设备,不误动告警开关;
- e) 列车车底巡检机器在运行过程中防止与车底外露的管线发生缠绕或其他部件发生碰撞。

B.4 水下巡检机器人

水下机器人应满足以下要求:

- a) 耐水压要求:能满足 GB/T 36896.1—2018 中 5.5.3 规定的要求;
- b) 耐腐蚀要求:外壳金属材料能满足 GB/T 36896.1—2018 中 5.5.5 规定的要求;
- c) 避障要求:安装水下光学摄像机、声呐等传感器装置实现障碍物感知,避免发生影响运行的碰撞和缠绕;
- d) 抗水流要求:机器人具备抗水流能力,当预判将发生危险时,尽快将机器人潜入 2 m 以下水深或将机器人投放至离船较远的地方(≥ 5 倍机器人外形尺寸距离);
- e) 具备全方位测距功能,并将数据实时反馈至水面控制台;
- f) 有缆机器人具备应急脱缆机构,发生缠绕情况时,可将脐带缆与水下机器人脱离;
- g) 具备应急返航功能,在紧急情况下,如有缆机器人脐带缆断裂时,机器人可使用内置电池提供动力,自动回到预先设置的返航地点。

附 录 C
(规范性)
静态障碍物避障测试方法

C.1 地面巡检机器人

C.1.1 试验方法

分别测试对两种类型的障碍物的防碰撞功能,障碍物正面规格为:

- a) 高 15 cm、宽 10 cm 表面无镂空;
- b) 高 100 cm、宽 100 cm 的网状围栏, $0.3\text{ cm} \leq \text{网线直径} \leq 0.5\text{ cm}$, 最大的单个镂空网格面积不大于 150 cm^2 。

应按如下步骤进行试验:

- a) 设定机器人行走路线,在试验场地机器人行走路线中心线上设置统一尺寸的障碍物,障碍物正面垂直于机器人行进方向,且存在可通行路径(路径宽度大于 2 倍机器人宽度);
- b) 观察机器人行走过程中遇到障碍物时,能否自主绕过障碍物到达下一巡检点位;
- c) 设置路障使机器人无法到达下一点位时,观察机器人能否自主返航;
- d) 在返航路径设置路障导致机器人无法返航时,观察机器人能否自动停止运行,发出声光报警,并上传报警信息。

C.1.2 判定准则

当机器人具备避障功能,在自主行走过程中遇到实体(高 15 cm、宽 10 cm 表面无镂空)、网状物(高 100 cm、宽 100 cm 的网状围栏, $0.3\text{ cm} \leq \text{网线直径} \leq 0.5\text{ cm}$, 最大的单个镂空网格面积不大于 150 cm^2) 等障碍物,且存在可通行路径(路径宽度大于 2 倍机器人宽度)时,机器人能自主绕过障碍物到达下一巡检点位。因障碍而无法到达下一点位时,机器人自主返航。若无法返航时,机器人自动停止运行,发出声光报警,并上传报警信息。

C.2 挂轨机器人

C.2.1 试验方法

挂轨机器人在水平和垂直两个方向进行避障功能试验:

- a) 在机器人水平运动防碰撞模块中心点的正前方设置高 200 mm、宽 200 mm 的障碍物,控制机器人以正常工作速度进行水平运动,观察机器人遇障碍物前是否能自动停止,并记录机器人停止后与障碍物之间的距离;
- b) 在机器人升降运动防碰撞模块中心点的正下方设置长 200 mm、宽 200 mm 的障碍物,控制机器人以正常工作速度进行下降运动,观察机器人遇障碍物前是否能自动停止,并记录机器人停止后与障碍物之间的距离;
- c) 观察机器人在全自主模式下障碍物移除后是否能恢复巡检。

C.2.2 判定准则

当在机器人水平运动防碰撞模块中心点的正前方设置高 200 mm、宽 200 mm 的障碍物,机器人以

正常工作速度进行水平运动,遇障碍物前自动停止,且停止后距离障碍物不小于 30 cm;当在机器人升降运动防碰撞模块中心点的正下方设置长 200 mm、宽 200 mm 的障碍物,机器人以正常工作速度进行下降运动,遇障碍物前自动停止,且停止后距离障碍物 10 cm~30 cm。在全自主模式下,当障碍物被移除后,机器人能恢复巡检。

参 考 文 献

- [1] GB/T 16856—2015 机械安全 风险评估 实施指南和方法举例
 - [2] GB/T 25069—2022 信息安全技术 术语
 - [3] GB/T 36530—2018 机器人与机器人装备 个人助理机器人的安全要求
 - [4] GB/T 39586—2020 电力机器人术语
 - [5] ISO 9000:2015 质量管理体系 基础和术语(Quality management systems—Fundamentals and vocabulary)
-