

T/CRSS

重庆市机器人学会团体标准

T/CRSS 0008—2023

移动操作臂复合机器人 安全规范

Mobile manipulator compound robots-Safety specification

2023 - 12 - 29 发布

2023 - 12 - 29 实施

重庆市机器人学会 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 1

4 危险识别及风险减小 3

 4.1 危险分析 3

 4.2 安全防护补救措施 3

5 技术要求 3

 5.1 移动操作臂复合机器人电气安全要求 3

 5.2 移动操作臂复合机器人设计安全要求 3

 5.3 基础性能要求 6

 5.4 协同工作稳定性要求（如适用） 6

6 试验方法 7

 6.1 试验条件 7

 6.2 移动操作臂复合机器人电气安全要求 7

 6.3 防止未经授权的使用 7

 6.4 制动系统 7

 6.5 紧急和维护操作的控制 7

 6.6 运动控制 7

 6.7 电池充电 7

 6.8 保护装置 7

 6.9 机器人操作方式 8

 6.10 机器人的安全限位 8

 6.11 安全适用的受监控停止 8

 6.12 手动引导 8

 6.13 速度与分离监控 8

 6.14 功率和力的限制 8

 6.15 示教控制器和指示器 9

 6.16 自动控制系统安全 9

 6.17 其他附加功能 9

 6.18 综合重复定位精度 9

 6.19 额定速度 9

 6.20 负载能力 9

 6.21 协同工作稳定性（如适用） 10

7 使用资料 11

 7.1 总的要求 11

 7.2 产品铭牌 11

 7.3 安全警示标识 11

8 说明书..... 11

附录 A（资料性） 危险类型 13

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。

本文件由重庆市机器人学会提出并归口。

本文件起草单位：重庆凯瑞机器人技术有限公司、遨博（北京）智能科技股份有限公司、库卡机器人（广东）有限公司、美的集团（上海）有限公司、重庆凯瑞认证服务有限公司、浙江大学、合肥工业大学、南瑞集团有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、航天信息股份有限公司、上海添唯认证技术有限公司、上海机器人产业技术研究院有限公司、东方电气集团科学技术研究院有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、重庆炬子兴智能科技有限公司、重庆鲁班机器人技术研究院有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、遨博（江苏）机器人有限公司、重庆大学、河北工业大学、重庆文理学院、重庆遨博智能科技研究院有限公司、机科发展科技股份有限公司、重庆三峡学院。

本文件主要起草人：李本旺、魏洪兴、丁新余、唐剑、公续银、孙添飞、王茂林、顾演浩、王殿君、李欣航、赵赢、尚明生、彭鹏、唐臣玉、曾丽敏、訾斌、王正雨、刘必晶、何国田、宁红宙、周珅坤、皇甫亚波、贾晓艳、史运伟、凌乐、刘标、魏清平、王俊平、赵科龙、李新熠、宴明瑞、王松、张锋、左涛、邵乔林、雷建勇、陈才、李辉、向学位、王嘉、李辉、向学位、罗天蒨、谷明信、杨鑫凯、车正平、张胜、陈仕聪、谭泽富。

移动操作臂复合机器人 安全规范

1 范围

本文件规定了移动操作臂复合机器人的术语和定义、技术要求、试验条件、电气安全、机械安全、附加功能的安全等方面的要求及试验方法，此外还规定了标记和说明书要求。

本文件适用于多关节机械臂安装在移动平台上的复合机器人。

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 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 8196-2003 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 11291.1-2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人
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
GB/T 12643-2013 机器人与机器人装备 词汇
GB/T 15706-2012 机械安全设计通则风险评估与风险减小
GB 16754-2008 机械安全急停设计原则
GB/T 16855.1-2008 机械安全控制系统有关安全部件第1部分：设计通则
GB/T 16856.1-2008 机械安全风险评价第1部分：原则
GB/T 17799.2-2003 电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验
GB 17799.4-2012 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射
GB/T 20438.1-2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求
GB/T 30030-2013 自动导引车（AGV）术语
GB/T 36008-2018 机器人与机器人装备 协作机器人
GB/T 38871-2020 工业环境用移动操作臂复合机器人通用技术条件
GB/T 39402-2020 面向人机协作的工业机器人设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

操作机 manipulator

用来抓取和(或)移动物体、由一些相互铰接或相对滑动的构件组成的多自由度机器。

注1：操作机可由操作员、可编程控制器、或某些逻辑系统(如凸轮装置、线路)来控制。

注2：操作机不包括末端执行器。

[来源：GB/T 12643-2013,2.1]

3.2

移动平台 mobile platform

能使移动机器人实现运动的全部部件的组装件。

注：移动平台包含一个用于支撑负载的底盘。

[来源：GB/T 12643-2013,3.18，有修改]

3.3

控制系统 control system

一套具有逻辑控制和动力功能的系统，能控制和监测机器人机械结构并与环境(设备和使用者)进行通信。

[来源: GB/T 12643-2013,2.7]

3.4

移动操作臂复合机器人 mobile manipulator hybrid robot

由操作机(3.1)、移动平台(3.2)和控制系统(3.3)组成的工业机器人。

注: 操作机通常安装在移动平台上。

[来源: GB/T 38871-2020,3.4]

3.5

协作型移动复合机器人 collaborative mobile hybrid robot

具有协同操作功能的移动复合机器人。

3.6

接触式防护 bumper

当人或物体与移动操作臂复合机器人有接触式碰撞时, 能够对碰撞人或物体起到防护作用的装置。

[来源: GB/T 30030-2013,12.8]

3.7

非接触式防护 contactless safety device

移动操作臂复合机器人在运行过程中, 避免移动操作臂复合机器人与机器人工作路径上的人或物体发生接触式碰撞的装置。

[来源: GB/T 30030-2013,12.9]

3.8

触发力 actuating force

产生停车信号时正向施加在防撞挡板上的最小力。

3.9

操作人员 operator

任何负责移动操作臂复合机器人及其系统运行、故障处理等工作的人员。

3.10

协作操作 collaborative operation

规定了一种专门设计的机器人系统与操作人员工作于协作工作空间中的行为。

[来源: GB/T 36008-2018,3.1]

3.11

协作工作空间 collaborative workspace

在安全防护空间内,机器人与操作人员在生产活动中可同时执行任务的工作空间。

[来源: GB/T 36008-2018,3.3]

3.12

公共区域 common zone

一个专门用于移动操作臂复合机器人自动运行的区域。

3.13

危险区域 hazard zone

存在危险增加的一部分公共区域以及降低移动操作臂复合机器人防护等级的区域, 例如由于留给人员的空间不足或进行负载转移操作的区域。

3.14

限制区域 restricted zone

为移动操作臂复合机器人自动运行预留的物理上分开的区域, 其中只有被授权的操作人员允许进入。

3.15

危险 hazard

潜在的伤害源。

[来源: GB/T 15706-2012,3.6]

3.16

风险 risk

伤害发生的概率与伤害严重程度的组合。

[来源：GB/T 15706-2012,3.12]

3.17

静态碰撞保护 quasi-statics collision protection

移动操作臂复合机器人在有源(带电)处于静止状态时,外部人或设备与机器人发生非预期物理碰撞触发的机器人安全保护功能。

4 危险识别及风险减小

4.1 危险分析

移动操作臂复合机器人可能出现的危险(参见附录A),应该进行危险分析,以便确定可能出现的任何其他危险,对在危险识别中确定的危险,应该进行风险评估。这种风险评估应该对下列情况给予特别关注:

- a) 移动操作臂复合机器人的例行操作,包括设置、维护和清洁;
- b) 意外启动;
- c) 与人员共同工作的区域;
- d) 可合理预见的移动操作臂复合机器人误用或误操作;
- e) 控制系统故障的影响;
- f) 与移动操作臂复合机器人的应用有关的危险。

4.2 安全防护补救措施

- a) 首先应通过设计或替代,然后再用安全防护和其他补救措施,消除或减少风险。任何遗留的风险应采用其他措施(如:警告、标记、培训)来减小。
- b) 第5章中的要求是通过对附录A中识别的危险,使用安全措施(与GB/T 15706.1-2012的图2一致)经反复处理而得到的。

注:GB/T 15706-2012、GB/T 16856.1-2008和GB 11291.1-2011对进行危险识别及减少风险提出了要求和指导。

5 技术要求

5.1 移动操作臂复合机器人电气安全要求

移动操作臂复合机器人的电气安全性应符合GB/T 27544-2011及GB 5226.1-2008中的相关要求。移动操作臂复合机器人的电池和电池组及充电器应符合相关国家标准或行业标准。

5.2 移动操作臂复合机器人设计安全要求

5.2.1 防止未经授权的使用

对于仅用于维护或紧急情况的手动控制,在不降低移动操作臂复合机器人安全的前提下,应提供防止未经授权使用的措施。

5.2.2 制动系统

按照GB/T 15706-2012进行风险评估,需要机械制动系统的移动操作臂复合机器人,其制动系统应满足下列条件:

- 在断电的情况下制动;
- 将移动操作臂复合机器人停在障碍物检测装置的工作范围内(考虑到负载,速度,摩擦力,坡度和磨损);
- 在由制造商规定的最大坡度上,能够保持移动操作臂复合机器人及其最大允许负载静止;
- 在失去速度或转向控制时制动;
- 移动操作臂复合机器人的制动器应符合GB/T 18849-2011的性能试验的要求。

5.2.3 紧急和维护操作的控制

应提供用于紧急情况的控制装置,以执行维护或制造商规定的其他临时任务。

在操作过程中控制装置应与移动操作臂复合机器人物理连接，并应设计为只允许有意的手动操作。

5.2.4 运动控制

运动控制（如速度、转向等）系统的安全相关部件应符合GB/T 16855.1PLc。如果移动操作臂复合机器人行进方向通过障碍物检测装置来实现安全停车时，运动控制系统应符合GB/T 16855.1 PLd。

5.2.5 电池充电

- 应保护人员免受由于意外接触移动操作臂复合机器人及其充电系统的充电连接而造成的危险。自动充电系统（不包括防止人员接触的母线），应设计成充电连接只有在移动操作臂复合机器人与其连接时才能激活。若移动操作臂复合机器人的充电连接不能通过GB/T 27544-2011中6.2.3电弧试验，则移动操作臂复合机器人应在充电机关闭后才能离开。电池充电系统的安全相关部分应符合GB/T 16855.1 PLc。
- 对于手动充电及更换电池等充电方式应提供保护措施。

5.2.6 稳定性

在按照预期正常运行时，应保证移动操作臂复合机器人在所有操作位置、操作机所有姿态位置以及所有负载装卸和运行过程中（包括紧急停车）的稳定性。如果使用过程中机器人举升高度超过1.8米，应进行稳定性试验，移动操作臂复合机器人应按照GB/T 26949中要求进行试验。机器人举升高度小于等于1.8米，可通过计算验证。移动操作臂复合机器人在公共区域或危险区域运行且机器人举升高度大于等于1.8米时，若控制系统中的速度、转向或负载处理故障可能导致丧失稳定性，则控制系统的安全相关部分应符合GB/T 16855.1 PLc。

5.2.7 保护装置

5.2.7.1 整机自检功能

移动操作臂复合机器人应具备整机自检功能应至少包含：遥控遥测信号，电池模块、驱动模块、机械臂模块、各类传感器状态数据；以上任一部件（模块）故障，均能在本地监控后台（或）手柄上以明显的声（光）进行报警提示，并能上传故障信息；根据报警提示，能直接确定故障的部件（或模块）。

5.2.7.2 遥控操作

移动操作臂复合机器人在手动模式下提供遥控操作时，保护装置应满足下列要求：

- 手动操作应符合GB 10827.5；
- 只有当示教装置位于移动操作臂复合机器人的平面轮廓内时才能进行自动操作；
- 将示教装置移动到手动操作位置应停止所有自动功能。
- 如无特殊要求，手动控制器宜物理连接。如采用无线控制，应满足现有无线电管理要求及GB 5226.1-2008中9.2.7的要求。

5.2.7.3 报警与指示

- a) 当移动操作臂复合机器人准备动作或正在动作（该动作可能造成风险）时，应当启动一个视觉和（或）听觉的警报装置，如闪光灯、蜂鸣器等。
- b) 在必要的情况下，移动操作臂复合机器人在接近具有一条以上路径可选择行驶的地方时应能清楚地指出将要采取的运动方向。
- c) 当移动操作臂复合机器人移动方向上无障碍物检测装置时，应产生特定的声音报警信号。
- d) 报警系统应符合 GB/T 15706-2012 的要求，并符合 GB/T 16855.1 PLc。

5.2.7.4 紧急停止装置

移动操作臂复合机器人上应设置符合GB 16754 0类或1类的紧急停车装置。紧急停止装置的执行器应易于从移动操作臂复合机器人的两端和两侧可见，可识别和可接近。然而，在移动操作臂复合机器人一端装有负载时只需要从相反的一端安装执行器。根据移动操作臂复合机器人的尺寸和类型的不同，在某些情况下可能需要在移动操作臂复合机器人的每一侧安装多个执行器。紧急停止功能的安全相关部件应符合GB/T 16855.1 PLd。

5.2.7.5 行驶路径上的障碍物检测

- a) 移动操作臂复合机器人应配备行驶路径上的障碍物检测装置（例如接触式防护，接近传感器）。这些障碍物检测装置应符合下列要求：
- 在每一个行驶方向上，障碍物检测装置至少要在移动操作臂复合机器人的全部宽度上进行操作；
 - 在移动操作臂复合机器人与人之间接触之前，它们应发出一个信号使移动操作臂复合机器人在指定的地面条件下（参见附录B.1）停车；
 - 应至少检测本文件5.2.7.5 b)中的试件，并且对于接触式障碍物检测装置，应尽可能靠近地面检测障碍物；
 - 这种装置的激活不应对人或物造成伤害。此外，在移动操作臂复合机器人预定运行的环境条件下装置施加的静态力，不得超过5.2.7.5 b)中的数值；
 - 测试非接触式的障碍物检测装置时，试件的反射特性应与由制造商声明的代表性障碍物的反射特性一致。
 - 若移动操作臂复合机器人（负载处理部分除外）边缘离地间隙超过35mm，应提供安全防护措施。
- b) 障碍物检测装置在主要行驶方向上与安全有关的部分应符合 GB/T 16855.1 PLd。应用以下试件检测：
- 直径为200mm，长度为600mm的试件，安装在与移动操作臂复合机器人的路径成直角的任何位置。对于人员防护的接触式的障碍物检测装置，试件的受力不得超过750N；对于非接触式的障碍物检测装置，产生触发信号的检测距离应满足制造商规定的要求。
 - 直径为70毫米，高度为400mm的试件，垂直安装在车辆路径的任何位置。对于人员防护的接触式的障碍物检测装置，试件的受力不得超过250N。移动操作臂复合机器人以最大速度和负荷压缩防撞挡板至移动操作臂复合机器人停止的过程中，对于人员防护的接触式障碍物检测装置受到的力，不得超过400N；对于非接触式的障碍物检测装置，产生触发信号的检测距离应满足制造商规定的要求。
- c) 其他障碍物检测装置的安全相关部件（例如转弯的侧面保护）应符合 GB/T 16855.1 PLc。该装置应检测在车辆路径内垂直放置本文件 5.2.7.5 b)中的试件。。
- d) 当障碍物离开移动操作臂复合机器人行驶路径时，移动操作臂复合机器人可以伴随适当的报警,且在最少延迟 2 秒后自动重新开始运行。
- e) 当移动操作臂复合机器人在限制区域内或在手动操作模式下工作时，可以无需障碍物检测装置或可以停用障碍物检测装置。
- f) 在移动操作臂复合机器人不能符合 5.2.7.4 中要求的方向上（例如装有叉臂的移动操作臂复合机器人，接近装载货物和存放站的移动操作臂复合机器人），被困人员无法逃离时，该方向上的最大速度应限制在 0.3 m/s，并应在移动操作臂复合机器人的对应端 600 mm 范围内提供停车措施。这种装置的安全相关部分应符合 GB/T 16855.1 PLc。
- g) 如果障碍物检测装置无法在可预见的工作条件下保证人与物的安全（例如移动操作臂复合机器人侧面防撞条的行程太短）则需要其他方法消除或减少风险（例如通过指定一个危险区——参见附录 B.2，或对遗留风险采用其他措施，如：警告、培训）。
- h) 禁用障碍物检测装置的相关安全控制部件应符合 GB/T 16855.1 PLc。

5.2.8 机器人操作方式

应采用安全的方法选择操作模式，操作模式包含手动模式和自动模式，手动模式有低速和高速模式，操作模式的选择需要审慎的操作并且需要额外确认。

在自动模式下，机器人应执行任务程序，如果检测到任何停机条件，自动操作模式应被阻止，机器人紧急停止。

5.2.9 机器人的安全限位

机器人具备安全限位或软件限位功能。

安全限位为机械限位，能在额定负载、最大速度、最大臂长条件下停止机器人运动。

软件限位可以确定和减小限定空间，在满载和全速状态下可使机器人停止。

5.2.10 安全适用的受监控停止

协作型移动复合机器人应满足安全适用的受监控停止的限制条件，满足GB/T 36008-2018中5.5.2的要求。

5.2.11 手动引导

协作型移动复合机器人应满足手动引导的限制条件，满足GB/T 36008-2018中5.5.3的要求。

5.2.12 速度与分离监控

协作型移动复合机器人应满足速度与分离监控的限制条件，满足GB/T 36008-2018中5.5.4的要求。

5.2.13 功率和力的限制

协作型移动复合机器人应满足功率和力的限制条件，满足GB/T 36008-2018中5.5.5的要求。

5.2.14 示教控制器和指示器

- a) 所有自动功能只应通过单独采用示教控制器进行选择。自动功能的控制装置应明显标识出其用途，并应设计成可避免除人为手动操作之外的启动。
- b) 当移动操作臂复合机器人和 / 或自动控制系统关闭时，自动功能应自动恢复到手动位置或关闭位置。
- c) 应尽可能使操作人员任何时候都能撤销自动功能。自动功能只能由操作人员重启。当使用手动控制功能时，自动功能应被自动解除。
- d) 移动操作臂复合机器人应配备一个警示装置，其形式可以是听觉的或视觉的，或两者组合的，在自动功能启动时警示装置自动工作。该装置在移动操作臂复合机器人进行自动动作时应能连续动作。

5.2.15 自动控制系统安全

- a) 自动控制系统的设计应符合 GB/T 15706—2012 中 6.2.11 的要求。
- b) 可能产生危险的自动控制系统失灵（例如失速、超速、意外偏离导引路径、随车控制装置失效、电压不稳、导引信号故障、失去通讯、操作机功能异常等）应限制或停止其相关动作，使移动操作臂复合机器人不产生新的危险。
- c) 自动控制系统失灵之后，应提供应急处理的措施。
- d) 控制装置安全部件的安全类别应符合 GB/T 16855.1PLd。

5.2.16 其他附加功能

其他附加功能应参照上述要求进行安全评估。如：移动操作臂复合机器人需实现对协作空间周围环境的实时检测，包括但不限于以下检测：障碍物、环境气体等，将超过安全值的检测量保存，同时向保护装置报警，并提供报警类别、报警值、报警位置等相关信息。

5.3 基础性能要求

5.3.1 综合重复定位精度

移动操作臂复合机器人的综合定位精度应满足制造商规定的数值。

5.3.2 额定速度

移动操作臂复合机器人的额定速度应满足制造商规定的数值。

5.3.3 负载能力

移动操作臂复合机器人的负载能力应满足制造商规定的数值。

5.4 协同工作稳定性要求（如适用）

移动操作臂复合机器人中操作机和移动平台若需要在工作环境中协同工作，协同工作稳定性应满足制造商相关要求。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验样品要求

- a) 移动操作臂复合机器人应装备齐全，并按制造商规定充满电；
- b) 移动操作臂复合机器人系统应按制造商规定的要求组装好，所需的设备安装、调试完毕，试验应在携带典型任务设备与最大载重状态进行。
- c) 若移动操作臂复合机器人上安装测试仪器，应尽量减少对移动操作臂复合机器人的影响。

6.1.2 试验环境要求

移动操作臂复合机器人相关安全功能验证及性能测试中，试验环境应满足制造商规定的条件，若无要求，则需满足附录C中一般环境条件。

6.1.3 试验人员要求

移动操作臂复合机器人操作人员应按制造商规定的操作方法操作。

6.2 移动操作臂复合机器人电气安全要求

按GB/T 27544-2011及GB 5226.1-2008中的规定进行检查。

6.3 防止未经授权的使用

在仅用于维护或紧急情况的手动控制下，检测是否提供防止未经授权使用的措施，并且该措施不会降低移动操作臂复合机器人安全。

6.4 制动系统

- 6.4.1 在运行过程中断电，检测移动操作臂复合机器人是否能制动；
- 6.4.2 检测制动系统能否在检测到障碍物后立即停车，制动距离符合制造商要求；
- 6.4.3 将移动操作臂复合机器人置于制造商规定的最大坡道上，检测移动操作臂复合机器人是否能在满载状态下静止；
- 6.4.4 模拟失去速度或转向控制，检测移动操作臂复合机器人是否能制动停车；
- 6.4.5 制动器根据 GB/T 18849-2011 中性能试验进行检测。

6.5 紧急和维护操作的控制

检测是否有用于紧急情况的控制装置，控制装置应与自动导引车物理连接，设计为只允许有意的手动操作。

6.6 运动控制

按GB/T 16855.1中规定对安全相关部分进行功能安全检测。

6.7 电池充电

按GB/T 27544-2011中6.2.3进行电弧试验，按GB/T 16855.1中规定对安全相关部分进行功能安全检测。

6.8 保护装置

6.8.1 整机自检功能

检测移动操作臂复合机器人是否具备遥控遥测信号，电池模块、驱动模块、机械臂模块、各类传感器状态数据自检功能；模拟任一部件（模块）故障，是否能在本地监控后台（或）手柄上以明显的声（光）进行报警提示，并能上传故障信息；根据报警提示，是否能直接确定故障的部件（或模块）。

6.8.2 遥控操作

- a) 按 GB 10827.5 对手动操作进行检测。
- b) 检测是否只有当示教装置位于移动操作臂复合机器人的平面轮廓内时才能进行自动操作。
- c) 检测将示教装置移动到手动操作位置是否能停止所有自动功能。
- d) 手动控制器是否采用物理连接。如采用无线控制，应按现有无线电管理要求及 GB 5226.1-2008 中 9.2.7 的要求进行试验。

6.8.3 报警与指示

- a) 检测移动操作臂复合机器人准备动作、正在动作（该动作可能造成风险）、移动方向上无障碍物检测装置时是否启动一个视觉和（或）听觉的警报装置；报警系统按 GB/T 16855.1 中规定对安全相关部分进行功能安全检测。
- b) 检测移动操作臂复合机器人在接近具有一条以上路径可选择行驶的地方时是否能清楚地指出将要采取的运动方向。

6.8.4 紧急停止装置

检测是否在按要求的所有位置加装了紧急停止装置；紧急停止功能按 GB/T 16855.1 中规定对安全相关部分进行功能安全检测。

6.8.5 行驶路径上的障碍物检测

- a) 按要求准备试验障碍物，放置于行驶路径的正前方或垂直移动操作臂复合机器人路径的任何位置，检测移动操作臂复合机器人是否能在制造商的要求距离下停止运行。
- b) 移开障碍物后检测移动操作臂复合机器人是否是在最少延迟 2 秒后自动重新开始运行。
- c) 对于人员防护的接触式的障碍物检测装置，试件的受力和障碍物检测装置受到的力是否满足要求。
- d) 按 GB/T 16855.1 中规定对要求中安全相关部分进行功能安全检测。

6.9 机器人操作方式

检测移动操作臂复合机器人是否包含手动模式和自动模式，手动模式是否有低速和高速模式，操作模式的选择是否需要额外确认；在自动模式下，移动操作臂复合机器人执行任务程序，模拟停机条件触发，检测移动操作臂复合机器人是否能立即停机。

6.10 机器人的安全限位

检测移动操作臂复合机器人是否具备安全限位或软件限位功能，在额定负载、最大速度、最大臂长条件下是否能够停止移动操作臂复合机器人运动。

6.11 安全适用的受监控停止

对于协作型移动复合机器人，按 GB/T 36008-2018 中 5.5.2 的要求进行试验。

6.12 手动引导

对于协作型移动复合机器人，按 GB/T 36008-2018 中 5.5.3 的要求进行试验。

6.13 速度与分离监控

对于协作型移动复合机器人，按 GB/T 36008-2018 中 5.5.4 的要求进行试验。

6.14 功率和力的限制

对于协作型移动复合机器人，按 GB/T 36008-2018 中 5.5.5 的要求进行试验。

6.15 示教控制器和指示器

按要求检测示教控制器和指示器的功能是否满足。

6.16 自动控制系统安全

按GB/T 16855.1中规定对安全相关部分进行功能安全检测。

6.17 其他附加功能

按附件功能要求进行功能试验验证。

6.18 综合重复定位精度

试验步骤如下：

- 按照 GB/T 12642-2013 中测试立方体选择机器人的测试点位 P1-P5；
- 移动机器人运行到固定位置 A，运行机器人并用测量设备记录机器人 P1-P5 的位置；
- 移动机器人运行到固定位置 B，A 与 B 之间距离应不小于 5L，且 A 与 B 之间无障碍物，运行机器人并用测量设备记录机器人 P1-P5 的位置；
- 重复步骤 b)、c) 至少 30 次，并按式 (1) 计算试验结果。

$$\begin{aligned}
 RP_l &= \bar{l} + 3S_l \\
 \bar{l} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j \\
 l_j &= \sqrt{(\bar{x} - x_j)^2 + (\bar{y} - y_j)^2 + (\bar{z} - z_j)^2} \\
 S_l &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{l} - l_j)^2}{n-1}} \\
 \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \\
 \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \\
 \bar{z} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

式中：

- RP_l——综合重复定位精度，单位为毫米（mm）；
- l_j——第j个位置和测量点的距离，单位为毫米（mm）；
- $\bar{x}$ ——坐标x的平均值，单位为毫米（mm）；
- $\bar{y}$ ——坐标y的平均值，单位为毫米（mm）；
- $\bar{z}$ ——坐标z的平均值，单位为毫米（mm）；
- x_j——第j次测量的坐标x值，单位为毫米（mm）；
- y_j——第j次测量的坐标y值，单位为毫米（mm）；
- z_j——第j次测量的坐标z值，单位为毫米（mm）；
- S_l——标准偏差；
- n——测试次数，≥30；
- L——移动机器人长度，单位为毫米（mm）。

6.19 额定速度

按GB/T 20721-2006中7.2.2的相关要求进行试验。

6.20 负载能力

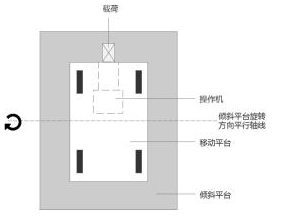
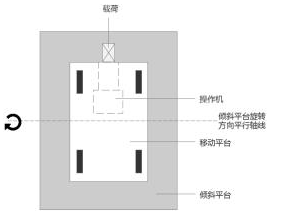
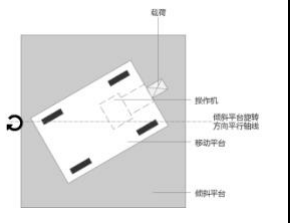
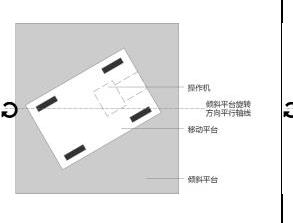
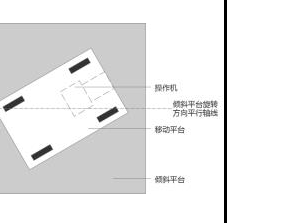
使用满足精度的测重仪器对操作臂复合机器人的负载进行测量，测量后，检测移动操作臂复合机器

人是否能搭载负载正常工作，且不出现外壳破裂、失控等危险情况。

6.21 协同工作稳定性（如适用）

把移动操作臂复合机器人手动移动到试验平台上，按照表1内容进行试验，试验过程中移动操作臂复合机器人不会出现倾覆、异常等现象。

表1 试验内容

试验要求	试验 1	试验 2	试验 3	试验 4	试验 5
试验方向	纵向	纵向	横向	横向	横向
移动平台状态	静态	静态	静态	静态	静态
操作机状态	堆垛/拆垛	运行	堆垛/拆垛	堆垛/拆垛	运行
载荷重量	满载	满载	满载	空载	空载
操作机末端位置	垂直最高和水平最远	水平最远	垂直最高和水平最远	垂直最高和水平最远	水平最远
平台坡度	4%	18%	6%	8%	(15+1.4v) %
车辆在倾斜平台的位置					

注：v 为（空载或装载实际载荷）移动平台的额定速度，单位为 km/h。

7 使用资料

7.1 总的要求

标志和说明包括移动操作臂复合机器人的正确安全使用和维护信息。以上信息应不仅针对用户的正常使用和维护，也针对维修人员。以上信息应充分考虑使用、维护和维修的安全性。标志、符号和书面警告必须明确易懂，尤其关于功能和安全相关的内容。易懂的记号（象形图）的使用优先于书面警告。

7.2 产品铭牌

7.2.1 铭牌信息

移动操作臂复合机器人的产品铭牌应包含必要但不限于的告知用户的信息及其规格参数：

- a) 产品名称及型号；
- b) 制造商名称或者商标，制造商地址；
- c) 产品序列号；
- d) 电池额定容量和额定电压；
- e) 充电电压和额定功率。

7.2.2 耐久性

- a) 移动操作臂复合机器人铭牌应经过耐久性测试，通过检查和擦拭标记来检测其是否合格。擦拭标记时，应当用一块蘸有水的棉布用手擦拭 15s，然后再用一块蘸有溶剂油的棉布用手擦拭 15s，在本条款试验后，标记仍应当清晰，标记铭牌应当不能轻易被揭掉而且不得出现卷边。
- b) 用于试验的精制溶剂油的脂肪烃类己烷溶剂具有最大芳香烃含量的体积百分比为 0.1%，贝壳松脂丁醇（溶解溶液）值为 29，初始沸点约为 65℃，干涸点约为 69℃，单位体积的质量约为 0.7kg/l。
- c) 作为替换，允许使用最低 85% 的试剂等级的己烷作为 n-己烷。

注：n-己烷的名称是化学术语“常态”的或直链碳氢化合物。这种溶剂油以后可能被认定为认证的 ACS（美国化学学会）试剂等级的乙烷。（CAS# 110-54-3）

7.3 安全警示标识

移动操作臂复合机器人本体及其充电器及电池的外部应具有必要的安全警示标识，以告知用户安全使用。必要时，应提供使用、操纵、维护和拆卸移动操作臂复合机器人时预防措施的安全警示标识。

安全警示标识包括但不限于：

- a) 移动操作臂复合机器人应在其醒目位置标有“仅适用 XX 充电器”等类似警示说明；
- b) 移动操作臂复合机器人应有工作极端温度的高温/低温部件的警告和标志；
- c) 充电器铭牌应标明“仅供 XX 移动操作臂复合机器人使用”等类似警示说明；
- d) 移动操作臂复合机器人充电器应有接口标志和说明；
- e) 电池警示标识应符合相关电池产品标准的规定；
- f) 适当的其他安全警示；
- g) 激光辐射安全标志；
- h) 电磁辐射标志。

8 说明书

移动操作臂复合机器人说明书应包含必要的使用、操纵、维护和拆卸时的相关说明及使用信息，包括但不限于：

- a) 移动操作臂复合机器人使用、存储环境，包括温度、湿度等；
- b) 产品设置安装步骤；
- c) 操作方法；
- d) 在产品使用过程中避免造成着火、电击等危险的措施；

- e) 每次使用之前的用户维护和检查项；
- f) 移动和存储。

附 录 A
(资料性)
表 1.危险类型

序号	危险类型	危险事件	接触区	潜在后果	涉及条款
1	机械危险	因负载重心过高引起的失稳导致倾覆	危险区域、限制区域	碾压	5.2.6 5.2.7
2		因自动控制系统失灵引起的速度过大或失稳	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞、碾压	5.2.2 5.2.3 5.2.4 5.2.12 5.2.13
3		负载掉落	危险区域、限制区域	碾压	5.2.6 5.2.7
4		协作型移动复合机器人手动引导时出现非预期的运动	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞	5.2.11 5.2.13
5		意外启动	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞、碾压	5.2.1 5.2.15
6		操作控制器失灵	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞、碾压	5.2.13 5.2.14
7		未经授权人员误使用（如人员滞留在行驶路径、急停装置使用不当等）	公共区域、危险区域	冲撞、碾压	5.2.14 7
8		因缺少安全警示标识或警示装置导致接触到危险运动部件	公共区域、危险区域、限制区域	割伤、剪切	5.2.14 7
9	电气危险	充电连接处产生电弧	公共区域、危险区域、限制区域	电击	5.1 5.2.5

上表（续）

序号	危险类型	危险事件	接触区	潜在后果	涉及条款
10	电气危险	因缺少安全警示标识接触带电部件（元器件、线缆等）	公共区域、危险区域	电击	5.1 5.2.5 7
11		发生短路	公共区域、危险区域、限制区域	电击	5.1 5.2.5
12		故障条件下带电	公共区域、危险区域、限制区域	电击	5.1 5.2.5
13		电池充电及更换时操作不当引起的危险（如短路等）	公共区域、危险区域	电击	5.1 5.2.5
14	热危险	电池爆炸	公共区域、危险区域、限制区域	烧伤、着火、熔化的颗粒射出	5.1 5.2.5
15		因缺少安全警示标识接触发热元器件	公共区域、危险区域	烫伤	5.1 7
16	噪声危险	噪声过大	公共区域、危险区域、限制区域	耳鸣、疲劳、听觉丧失	5.2.16
17	与使用环境有关的危险	对其它设备或电源造成干扰	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞、碾压	5.1
18		受到电磁干扰导致工作异常或损坏	公共区域、危险区域、限制区域	冲撞、碾压	5.1
注：单个危险事件可能引起多个危险后果，表格仅举例说明。每类危险可引起多种危险事件，表格仅举例说明。					

附录 B (规范性) 路径要求

B.1 地面条件

地面规格应包括移动操作臂复合机器人制造商给出的以下特征的要求：

- a) 平坦度；
- b) 强度；
- c) 表面光洁度（例如摩擦系数和耐磨性）；
- d) 地面覆盖物；
- e) 金属含量（若涉及地面或地下铺设导航系统，则考虑导航系统的铺设）；
- f) 导电性；
- g) 地面连接处的位置；
- h) 地面坡度。

B.2 危险区域

若间隙区域不足或人员检测保护装置不能使用时，应当划定危险区和相应的标记，以适当的标志或最好的地面标志明确标示，避免与其他标记和标志混淆。

附录 C
(规范性)
环境要求

C.1 光照条件

室内环境:

——照度: 100~1000LUX;

——色温: 2000K~6000K。

室外环境:

——照度: >1000LUX。

C.2 温度

室内环境: 16~26℃;

室外环境: 环境温度应由制造商确认, 不会影响移动操作臂复合机器人的正常运行。

C.3 湿度

——不大于75%RH。

C.4 大气压力

——86kPa~106kPa。

C.5 地面

室内环境: 硬质平坦地面, 涂环氧地坪油漆, 底片坡度小于5%;

室外环境: 水泥或柏油路面, 路面应平整、干燥、整洁, 有良好的附着系数, 纵向坡度不超过0.5%, 横向坡度不超过3%。

C.6 空气质量

室内环境:

——空气中颗粒物大小及浓度应经制造商等确认, 不影响移动操作臂复合机器人的正常运行;

——风速、风向应经制造商等确认, 不影响移动操作臂复合机器人的正常运行。

C.7 其他影响

——在有电磁波、散射光、超声波和静电等干扰的环境中, 应由制造商确认, 此类干扰不影响移动操作臂复合机器人的正常运行。
