



中华人民共和国国家标准

GB/T 36530—2018/ISO 13482:2014

机器人与机器人装备 个人助理机器人的安全要求

Robots and robotic devices—
Safety requirements for personal care robots

(ISO 13482:2014, IDT)

2018-07-13 发布

2019-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 风险评估	8
4.1 总则	8
4.2 危险识别	8
4.3 风险估计	8
5 安全要求和保护措施	9
5.1 总则	9
5.2 充电电池的相关危险	10
5.3 能量储存和供应相关危险	10
5.4 机器人常规启动和重启	12
5.5 静电势	13
5.6 机器人外形造成的危险	14
5.7 排放物造成的危险	14
5.8 电磁干扰造成的危险	18
5.9 压力、姿势和使用造成的危险	18
5.10 机器人运动造成的危险	20
5.11 耐用性不足造成的危险	26
5.12 机器人错误自主决策和行为造成的危险	27
5.13 与移动组件接触造成的危险	28
5.14 人员对机器人认知缺乏造成的危险	28
5.15 危险环境状况	29
5.16 定位和导航错误造成的危险	30
6 安全相关控制系统的要求	31
6.1 要求的安全性能	31
6.2 机器人停止	33
6.3 操作空间限制	36
6.4 安全相关速度控制	37
6.5 安全相关环境传感	37
6.6 稳定性控制	39
6.7 安全相关力控制	39
6.8 奇异性保护	39
6.9 用户接口的设计	40
6.10 操作模式	41
6.11 手动控制装置	42

7 验证和确认..... 43

8 使用信息..... 43

 8.1 总则 43

 8.2 标识或指示 44

 8.3 用户手册 45

 8.4 服务手册 46

附录 A (资料性附录) 个人助理机器人重大危险列表 47

附录 B (资料性附录) 个人助理机器人操作空间示例 54

附录 C (资料性附录) 安全防护空间实现示例空间 57

附录 D (资料性附录) 个人助理机器人功能性任务示例 59

附录 E (资料性附录) 个人助理机器人标志示例 62

参考文献 65

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准采用翻译法等同采用 ISO 13482:2014《机器人与机器人装备 个人助理机器人的安全要求》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

GB 2893.1—2002 图形符号 安全色和安全标志 第1部分：安全标志和安全标记的设计原则 (ISO 3864-1:2002,MOD)；

GB/T 3766—2015 液压传动系统及其元件的通用规则和安全要求 (ISO 4413:2010,MOD)；

GB/T 3768—2017 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法 (ISO 3746:2010,IDT)；

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP代码) (IEC 60529:2013,IDT)；

GB/T 7932—2017 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求 (ISO 4414:2010,IDT)；

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 (ISO 14120:2002,MOD)；

GB/T 13441 (所有部分) 机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 [ISO 2631 (所有部分)]；

GB/T 14574—2000 声学 机器和设备噪声发射值的标示和验证 (eqv ISO 4871:1996)；

GB/T 16754—2008 机械安全 急停 设计原则 (ISO 13850:2006,IDT)；

GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分 (IEC 61140:2001,IDT)；

GB/T 17454 (所有部分) 机械安全 压敏保护装置 [ISO 13856 (所有部分)]；

GB/T 18717 (所有部分) 用于机械安全的人类工效学设计 [ISO 15534 (所有部分)]；

GB/T 18831—2010 机械安全 带防护装置的联锁装置 设计和选择原则 (ISO 14119:1998,MOD)；

GB/T 19436 (所有部分) 机械电气安全 电敏保护设备 [IEC 61496 (所有部分)]；

GB/T 19670—2005 机械安全 防止意外启动 (ISO 14118:2000,MOD)；

GB/T 19876—2012 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 (ISO 13855:2010,IDT)；

GB/T 23821—2009 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离 (ISO 13857:2008,IDT)。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动化系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC 159)归口。

本标准起草单位：北京机械工业自动化研究所、纳恩博(天津)科技有限公司、江苏科沃斯机器人股份有限公司、遨博(江苏)机器人有限公司、众德云格机器人(苏州)有限公司、哈尔滨工业大学、上海交通大学。

本标准主要起草人：杨书评、黎晓东、王野、黄真、罗雪刚、杜超、李煜、杜志江、谭福生、周唯、刘颖、王海丹、王思斯、闫维新。

机器人与机器人装备 个人助理机器人的安全要求

1 范围

本标准规定了个人助理机器人的本质安全设计、保护措施和使用信息的要求和准则。本标准特别针对以下三类个人助理机器人：

- 移动仆从机器人；
- 身体辅助机器人；
- 载人机器人。

这些机器人通常执行任务，以提高预定用户的生活质量，不论用户的年龄或能力。本标准描述了使用这些机器人的危险，并且提出消除、降低其至可接受水平的要求。本标准涉及人机物理接触应用。

本标准包含了每类个人助理机器人的重大危险类型及危险处理方式。

本标准同样适用于个人助理应用中的机器人装置并将其视为个人助理机器人。

本标准仅限于地面机器人。

本标准不适用于：

- 行走速度大于 20 km/h 的机器人；
- 机器人玩具；
- 水下机器人和飞行机器人；
- 工业机器人，请参考 GB 11291；
- 用作医疗器械的机器人；
- 军事或警力用途机器人。

注：本标准建立的安全原则能应用于以上机器人。

本标准使用范围主要针对当个人助理机器人合理安装和维护，并按预定目的使用以及其他可合理预见的条件下，出现的与个人助理相关危险，酌情包括家养动物或财产的危险（定义为“安全相关对象”）。

本标准不适用于在标准发行前制造的机器人。

本标准涉及附录 A 中描述的所有重大危险、危险状况或危险事件。请注意，本标准出版时，冲击危险（如碰撞）没有为国际认可的详细数据（如疼痛或伤害极限）。

2 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 12643—2013 机器人和机器人装备 词汇(ISO 8373:2012, IDT)

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

ISO 2631（所有部分）机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价(Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration)

ISO 3746 声学 声压法测定噪声源声功率级 反射面上方采用包络测量表面的简易法(Acoustics—Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pres-

GB/T 36530—2018/ISO 13482:2014

sure—Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane)

ISO 3864-1 图形符号 安全色和安全标志 第1部分:安全标志和安全标记的设计原则 (Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Part 1: Design principles for safety signs and safety markings)

ISO 4413 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求 (Hydraulic fluid power—General rules and safety requirements for systems and their components)

ISO 4414 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求 (Pneumatic fluid power—General rules and safety requirements for systems and their components)

ISO 4871 声学 机器和设备噪声发射值的标示和验证 (Acoustics—Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment)

ISO 7000 设备用图形符号 注册符号 (Graphical symbols for use on equipment—Registered symbols)

ISO 7010 图形符号 安全色和安全标志 注册的安全标志 (Graphical symbols—Safety colours and safety signs—Registered safety signs)

ISO 11202 声学 机器和设备发射的噪声 应用近似环境校正在工作位置和其他指定位置发射声压级的测量 (Acoustics—Noise emitted by machinery and equipment—Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions applying approximate environmental corrections)

ISO 13849-1 机械安全 控制系统有关安全部件 第1部分:设计通则 (Safety of machinery—Safety-related parts of control systems—Part 1: General principles for design)

ISO 13850 机械安全 急停 设计原则 (Safety of machinery—Emergency stop—Principles for design)

ISO 13854 机械安全 避免人体各部位挤压的最小间距 (Safety of machinery—Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body)

ISO 13855¹⁾ 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 (Safety of machinery—Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body)

ISO 13856 (所有部分) 机械安全 压敏保护装置 (Safety of machinery—Pressure-sensitive protective devices)

ISO 13857 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离 (Safety of machinery—Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs)

ISO 14118 机械安全 防止意外启动 (Safety of machinery—Prevention of unexpected start-up)

ISO 14119 机械安全 带防护装置的连锁装置设计和选择原则 (Safety of machinery—Interlocking devices associated with guards—Principles for design and selection)

ISO 14120 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 (Safety of machinery—Guards—General requirements for the design and construction of fixed and movable guards)

ISO 15534 (所有部分) 用于机械安全的人类工效学设计 (Ergonomic design for the safety of machinery)¹⁾

IEC 60204-1:2009 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用要求 (Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1: General requirements)

IEC 60335-1 家用和类似用途电器的安全 第1部分:通用要求 (Household and similar electrical appliances—Safety—Part 1: General requirements)

1) 如果使用,应考虑定量数据对机器人的预定使用者,尤其是老年人和儿童的相关性和适用性。

IEC 60335-2-29 家用和类似用途电器的安全 安全 第 2-29 部分 电池充电器的特殊要求 (Household and similar electrical appliances—Safety—Part 2-29: Particular requirements for battery chargers)

IEC 60417-1 电气设备用图形符号 第 1 部分:概述与应用(Graphical symbols for use on equipment—Part 1: Overview and application)

IEC 60529 外壳防护等级(IP 代码)[Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)]

IEC 60825-1 激光产品的安全 第 1 部分:设备分类、要求(Safety of laser products—Part 1: Equipment classification and requirements)

IEC 61140 电击防护 装置和设备的通用部分(Protection against electric shock—Common aspects for installation and equipment)

IEC 61496 (所有部分) 机械电气安全 电敏保护设备(Electrical safety of machinery—Electro-sensitive protective equipment)

IEC 62061:2012 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全(Electrical safety of machinery—Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems)

IEC 62471 灯和灯系统的光生物安全(Photobiological safety of lamps and lamp systems)

3 术语和定义

GB/T 15706—2012、GB/T 12643—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自主能力 autonomy

基于当前状态和感知信息,无人为干预地执行预定任务的能力。

[GB/T 12643—2013,定义 2.2]

3.2

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(3.1),可在其环境内运动以执行预定任务的执行机构。

[改写 GB/T 12643—2013,定义 2.6]

3.3

机器人装置 robotic device

具有工业机器人或服务机器人(3.4)的特征,但缺少可编程的轴的数目或自主能力(3.1)程度的执行机构。

[改写 GB/T 12643—2013,定义 2.8]

3.4

服务机器人 service robot

除工业自动化应用外,能为人类或设备完成有用任务的机器人(3.2)。

[改写 GB/T 12643—2013,定义 2.10]

3.5

移动机器人 mobile robot

基于自身控制、可移动的机器人(3.2)。

[改写 GB/T 12643—2013,定义 2.13]

3.6

危险 hazard

潜在的伤害源。

[改写 GB/T 15706—2012, 定义 3.6]

3.7

风险 risk

伤害发生的概率与伤害严重程度的组合。

[GB/T 15706—2012, 定义 3.12]

3.8

风险评估 risk assessment

包括风险分析和风险评价的全过程。

[改写 GB/T 15706—2012, 定义 3.17]

3.9

安全状态 safe state

个人助理机器人(3.13)不存在即将发生的危险(3.6)状态。

[改写 ISO 10218-2:2011, 定义 3.11]

3.10

控制系统相关安全部件 safety-related part of a control system

控制系统中响应有关安全输入信号并生成有关安全输出信号的部件。

[改写 ISO 13489-1:2011, 定义 3.1.1]

3.11

验证 verification

通过提供客观证据对个人助理机器人的规定要求已得到满足的认定。

[改写 ISO 9000:2005, 定义 3.8.4]

3.12

确认 validation

通过提供客观证据对个人助理机器人(3.13)特定的预定用途或应用要求已得到满足的认定。

[改写 ISO 9000:2005, 定义 3.8.5]

3.13

个人助理机器人 personal care robot

为提高人类生活质量而执行活动的服务机器人(3.4), 不包括医疗应用。

注 1: 执行任务中可能会与使用人员有身体接触(3.19.1)。

注 2: 典型的个人助理机器人包括: 移动仆从机器人(3.14)、身体辅助机器人(3.15)和载人机器人(3.16)。

3.14

移动仆从机器人 mobile servant robot

能够通过与人的互动而移动执行服务任务的个人助理机器人(3.13), 如搬运物体或交换信息。

3.15

身体辅助机器人 physical assistant robot

为用户提供身体协助以执行要求的任务, 辅助或增强用户个人能力的个人助理机器人(3.13)。

3.15.1

约束型身体辅助机器人 restraint type physical assistant robot

使用时固定于人体的身体辅助机器人。

示例: 包括可穿戴套装或非医用身体辅助外骨骼。

3.15.2

非约束型身体辅助机器人 restraint-free type physical assistant robot

使用时无需固定于人体的身体辅助机器人。

注：允许自由持有或释放机器人的用户以控制/停止身体辅助，例如动力辅助装置或动力行走辅助装置。

3.16

载人机器人 person carrier robot

能实现将人运送到预定目的地的个人助理机器人(3.13)。

注 1：载人机器人可拥有一个舱，并可配备有座位或站立支撑(或类似装置)。

注 2：除了运送人员，可包括其他物体，如宠物、财物。

3.17

保护性停止 protective stop

为安全防护目的而允许运动有序停止的操作中断。

3.18.1

最大空间 maximum space

生产商定义的机器人(3.2)可移动部件并加上操作机和有效载荷所能掠过的空间。

注 1：对于移动平台，此空间可定义为机器人移动时的物理界限。

注 2：见图 1。

3.18.2

限定空间 restricted space

由限位装置限制的最大空间(3.18.1)中机器人(3.2)不可超出的部分。

注 1：对于移动机器人(3.5)来说，这个空间可通过墙和地板上的特定标记或机器人或设施内部路线图定义的软件界限(3.27)(最大空间)来限定。

注 2：见图 1。

[改写 GB/T 12643—2013, 4.8.2]

3.18.3

监控空间 monitored space

个人助理机器人(3.13)的传感器所观察到的空间，其中可检测到安全相关对象(3.21.1)。

注 1：监控空间可以超越最大空间(3.18.1)，可以定义为机器人移动传感器和最大空间内外的固定传感的集合。

注 2：此空间可以是静态或动态的，取决于个人助理机器人本身及其应用。

注 3：见图 1。

3.18.4

安全防护空间 safeguarded space

个人助理机器人(3.13)发现安全相关对象(3.21.1)时开始执行安全相关功能的空间。

注 1：安全相关功能包括轨迹变化、速度减小、保护性停止、力限制等。

注 2：附录 C 提供速度减小的算法可能实现方式的更多细节。

注 3：空间可以是静态或动态的，取决于个人助理机器人本身、应用及其(动态)外形。

注 4：见图 1。

3.18.5

保护性停止空间 protective stop space

个人助理机器人(3.13)在安全相关对象(3.21.1)进入时会执行保护性停止(3.17)的空间。

示例：附录 B 中给出了一些不同个人助理机器人的操作空间的示例。

注 1：空间可以是静态或动态的，取决于个人助理机器人本身、应用及其(动态)外形。

注 2：见图 1。

3.19.1

接触 contact

机器人(3.2)与其外界环境中的物体距离为零。

3.19.2

非接触式传感 non-contact sensing

无需接触环境中物体(包括人)的探测或测量能力。

3.19.3

接触式传感 contact sensing

需要接触环境中物体(包括人)的探测或测量能力。

3.19.4

非预定接触 unintended contact

个人助理机器人(3.13)执行预定任务时与对象的无计划的接触。

3.19.5

允许接触 allowed contact

制造商允许的对个人助理机器人(3.13)的任何接触。

3.20

相对速度 relative speed

机器人(3.2)和被接触物(包括人)的速度矢量的差值。

注：机器人的速度是指该机器人主体和运动部件的矢量和。

3.21.1

安全相关对象 safety-related object

使免于伤害的人员、家养动物或财物。

注：受保护的家养动物(特别是宠物)和财物种类取决于个人助理机器人的预定使用。

3.21.2

安全相关障碍 safety-related obstacle

与机器人(3.2)接触或相撞会产生伤害的物体、障碍或地面情况。

3.21.3

安全相关速度限制 safety-related speed limit

速度上限是指个人助理机器人(3.13)的特定点处(主体位置)可以达到而无不可接受风险(3.7)的最高速度。

注：定义中的速度可能是绝对速度或相对于参考点的相对速度。

3.21.4

安全相关力限制 safety-related force limit

力的上限是指个人助理机器人(3.13)的特定点处能作用于人或其他周围物体而无不可承受风险(3.7)的最大力。

3.21.5

安全相关地面状况 safety-related surface condition

地面状况 surface condition

移动个人助理机器人(3.13)的行走面的不利状况,其危险(3.6)可通过风险评估(3.8)识别。

示例：载人机器人(3.16)可能会翻滚或摔倒而导致受伤或损害的地面状况。

3.22

手动控制装置 manual control device

连接于控制电路用以控制个人助理机器人(3.13)的人员操作装置。

[改写 IEC 60204-1:2009, 定义 3.9]

注：一个或多个连接于仪表盘或外壳的手动控制装置组成**指令装置**（见 3.23）。

3.23

指令装置 **command device**

操作员(3.25)或用户(3.26)用以控制机器人(3.2)的装置。

3.24.1

手动模式 **manual mode**

人为直接干预,如通过按钮、操作杆对机器人(3.2)进行操作的操作方式。

注 1：此模式常用于示教、远程操作、纠错、修理、清理等。

[改写 GB/T 12643—2013, 定义 5.3.10.2]

3.24.2

自主模式 **autonomous mode**

机器人无需人为干预而完成分配任务的操作方式。

示例：移动仆从机器人(3.14)等待互动(指令)。

3.24.3

半自主模式 **Semi-autonomous mode**

机器人(3.2)需部分人为干预而完成分配任务的操作方式。

示例：身体辅助机器人(3.15)尝试纠正人为选择的路径以避免碰撞。

3.25

操作员 **operator**

指定从事个人助理机器人(3.13)的参数设置和程序修改以及启动、监控、停止等预定操作的人员。

[改写 GB/T 12643—2013, 定义 2.17]

3.26

用户 **user**

个人助理机器人(3.13)的操作员(3.25)或个人助理机器人的服务受益人。

注：在某些应用中,用户可以既是操作员,又是受益人。

3.27

软件限制 **software limits**

控制系统中定义的机器人(3.2)的一个或多个操作参数的约束。

注：软件限制可以约束操作空间、速度、力等。

3.28

奇异 **singularity**

在雅克比矩阵不满秩时出现。

注 1：从数学角度讲,在奇异构形中,为保持笛卡尔空间中的速度,关节空间中的关节速度可以无限大。在实际操作中,笛卡尔空间内定义的运动在奇异点附近将产生危险状况的高的轴转速。

注 2：雅克比矩阵通常定义为机器人自由度的一阶偏导数。

[改写 ISO 10218-1:2011, 定义 3.22]

3.29

电敏防护装置 **electro-sensitive protective equipment; ESPE**

实现保护性跳闸或现场传感目的的一系列装置和/或部件的最小构成：

——传感装置；

——控制/监视装置；

——输出信号开关装置和/或安全相关数据接口。

注 1：电敏防护装置的安全相关控制系统或 ESPE 本身可能进一步包括二级开关装置、降噪功能、停止性能监视等。

注 2: 安全相关通信接口可集成于电敏防护装置之内。

[改写 IEC 61496-1:2004, 定义 3.5]

3.30

压敏防护装置 **pressure-sensitive protective equipment; PSPE**

在危险状况下使用机械触发跳闸方式提供保护的一系列装置和部件。

注 1: PSPE 例子包括压敏地垫、地板、保护装置杠和压敏边、压敏条。

注 2: PSPE 通过使用机械接触、光纤传感器、气动传感器等不同的技术产生停止信号。

4 风险评估

4.1 总则

GB/T 15706—2012 风险评估的所有要求应适用。本标准提供实施风险评估的要求和指导,包括基于危险识别的风险分析。实施风险评估时,确定风险是否可接受取决于个人助理机器人的应用和预定使用。

GB/T 15706—2012 包括机械危险的总列表,附录 A 的个人助理机器人的危险列表源于该总列表。

4.2 危险识别

对于特定个人助理机器人的任何危险应采取危险识别。附录 A 包括本标准中描述的个人助理机器人的一系列典型危险。本列表不宜被认为包含所有危险,特定个人助理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。每个设计应实施应用危险识别过程,对于具体情况应考虑:

- a) 机器人自主决定的不确定性和错误决定的可能危险;
- b) 用户和其他在场人员的不同知识水平、经历和身体状况;
- c) 个人助理机器人正常但预料外的运动;
- d) 人、家养动物和其他安全相关对象的预料外的运动(如从一侧或高处跳到个人助理机器人面前);
- e) 个人助理机器人的非预定运动;
- f) 移动机器人的预料外的行走面和环境状况;
- g) 移动仆从机器人搬运的安全相关对象不确定性;
- h) 身体辅助机器人和载人机器人与人体骨骼的一致性和差异性。

在适当时,风险评估应特别考虑个人助理机器人的操作机和末端执行器,两者应给予与机器人相同的要求。

4.3 风险估计

根据 4.2 识别的危险应进行风险估计,应注意个人助理机器人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,个人助理机器人的剩余风险也应予以评估并证明其已减小到可接受水平。

合适的风险估计方式应依状况而设计。估计结果应表明该事件(如允许机器人和安全相关障碍或其他安全相关对象接触)不会导致不可接受的风险。若风险评估数值用于特定应用,应提供测试/测量方法的有效性验证。若风险估计数值有其他来源,则应验证引用这些数据的有效性。

注 1: 人-机器人交互和冲击的研究工作已经开始,针对成人以及人体不同部位的人-机器人碰撞的疼痛承受极限,研究重大损伤的机制(见参考文献)。

注 2: 本标准的未来版本将会涉及针对不同人群(儿童、老人、孕妇等)以及各类个人助理机器人(移动仆从机器人,

身体辅助机器人、载人机器人等)的更完整的数据。工业机器人在此领域的工作已经进行,并将在 ISO TS 15066²⁾ 中出版,以帮助设计协作机器人的工作空间。

5 安全要求和保护措施

5.1 总则

个人助理机器人应符合本章的安全要求。一旦按照第 4 章中所述方法识别出与个人助理机器人应用相关的危险,机器人应被设计为能确保这些危险的风险低于可接受水平。另外,针对本标准未涉及的相关但非重大危险,机器的设计也应遵循 GB/T 15706—2012 的设计原则。

当可以通过本标准外的措施消除或减少风险时,应采用由风险评估确定的其他安全要求。这些措施应可以至少减少风险至本标准所述措施的同等水平。

应采取措施保护个人助理机器人附近的人、家养动物和其他安全相关对象免于危险,并尽可能合理可行地确保持续使用机器人的用户的安全。

在适当时,个人助理机器人可能需要符合额外的标准和法规。如载人机器人在公共道路上行驶时,需遵守机动车法规。

个人助理机器人的设计应符合 GB/T 15706—2012 的危险识别原则,包括以下方面:

- a) 本质安全设计;
- b) 保护措施;
- c) 使用信息。

注: GB/T 15706—2012 对本标准的应用是不可缺少的,因此,第一次使用本标准之前用户宜对 GB/T 15706—2012 非常熟悉。

采用本质安全设计措施是风险减少程序中首要步骤,因为个人助理机器人的本质特征最可能保持有效,而经验证明即便优化设计的安全防护措施也可能失效或出错,使用信息也可能不被遵守。

通过个人助理机器人自身,和/或人-机器人交互的合理设计特征选择,本质安全设计措施能减少或消除风险,以避免危险。本质安全设计措施要求请分别参考 5.×或 5.×.× 中 5.×.2 或 5.×.×.2。

增加安全防护和/或保护措施是减少风险的第二步。由于很多风险的出现来自安全相关障碍和个人助理机器人可能的动态交互,机器人的保护控制功能可能大幅度减少某种特定风险。保护措施的要求请分别参考 5.×或 5.×.× 中的 5.×.3 或 5.×.×.3。

若风险的降低是通过使用安全相关控制功能实现的,请参考第 6 章的要求。

除了本质安全设计和保护措施,指导手册中应提供剩余风险的信息。每个危险的使用信息的具体要求请分别参考 5.×或 5.×.× 中的 5.×.4 或 5.×.×.4。使用信息的总体要求请参考第 8 章。

下列一种或多种检验方法可以满足本章的安全要求。如:

- A:检查;
- B:实际测试;
- C:测量;
- D:操作中观察;
- E:审查电路图;
- F:审查软件;
- G:复查基于任务的风险评估;
- H:审查布局图和相关文件。

对于重大危险的各种要求所推荐的验证和确认的方法请分别参考每章末尾 5.×或 5.×.×(分别)

2) 正在准备。

条中的 5.×.5 或 5.×.×.5,本章中上述方法在每条后用 A、B 等的形式注明,相应于上面列出的方法。对验证和确认的方法的描述请参考第 7 章。

5.2 充电电池的相关危险

5.2.1 总则

若个人助理机器人已安装集成或内置电池充电系统,应保护人在意外接触机器人的充电连接装置和充电系统时无危险。机器人的充电系统应酌情遵照 IEC 60204-1 或 IEC 60335-2-29,应符合 IEC 60529和 EN 50272。

同时,充电系统应防止出现因电池过载或对过放电池充电产生的危险。

5.2.2 本质安全设计

充电触点和充电插头应设计为可防止意外接触带电部分(如插头和插座的盖子)。

根据应用和/或充电系统环境,充电触点间的电压应符合合适的标准,例如 IEC 60204-1, IEC 61140,IEC 60335-2-29 和 IEC 61851 等。

电池充电电流应选择合理可行的最低电流。

5.2.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 充电系统应设计成只有个人助理机器人与之连接时充电接口才能启动。
- b) 充电系统应具有充电状态提示或电池充满电时发出的信号。
- c) 充电系统应能自动监视正确的充电方式,以避免电池过载或对过放电池充电产生的危险。

5.2.4 使用信息

使用信息应包括充电指导,特别是:

- 个人助理机器人的充电步骤;
- 环境状况(如室外或室内充电);
- 将个人助理机器人关闭或切换至某种操作模式的要求;
- 适当的警告。

5.2.5 验证和确认

应从 B、C、D 和 E 中选择适合的方法。

5.3 能量储存和供应相关危险

5.3.1 与危险能量部件接触

5.3.1.1 总则

个人助理机器人的设计和构造应避免能量相关危险。

个人助理机器人的电气设备的设计和构造应符合 IEC 60204-1 的电气设备要求,ISO 4414 的气动设备要求和 ISO 4413 液压设备要求。

直接或间接与机器人带电部位接触的人员应受到保护。

应提供危险能源(如电能,机械能,液压能,气动能,化学能及热能)的隔离方式。这些危险能源应可以清晰的识别,如果重新连接时导致危险,隔离器应能够保持锁定状态。

5.3.1.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 电气设备根据 IEC 61140 使用安全特低电压(交流电压低于 25 V,直流电压低于 60 V);
- b) 气压/液压设备使用低级别压力。

其他储存能量应保持在合理可行的最低水平,使危险降到最低值。

5.3.1.3 安全防护和补充安全措施

若危险的能量部件安装了防护装置或外罩,其设计应符合 IEC 60529 中的电气危险 IP 等级和 ISO 13857 中的风险评估确定的其他危险的安全距离。

如存在过热现象,应采取散热措施(如散热器,气冷)。若使用风扇,建议配备风扇控制装置。

5.3.1.4 使用信息

个人助理机器人应遵照 ISO 7010 要求贴上警示标识,警示标识的含义应在使用信息中作出说明。

5.3.1.5 验证和确认

应从 A、B、C、E 和 H 中选择适合的方法。

5.3.2 储存能量的非受控释放

5.3.2.1 总则

无论机器人处于工作状态还是关闭状态,储存能量的非受控释放不应引起危险。

应提供危险储存能量的受控释放或移除的方式。储存能量的受控释放或移除不应导致另外的危险。

注:储存能量可以出现于气动和液压储能器,电容器,电池,弹簧,配重块和飞轮等。

5.3.2.2 本质安全设计

储存能量应保持在合理可行的最低水平。

5.3.2.3 安全防护和补充安全措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 能量释放时应采用防护装置或外壳将风险降到最低。
- b) 机器人应具备能量供应调节方式来避免由过载、短路、机器人热源的覆盖材料或设备失灵引起的过热或过流。

5.3.2.4 使用信息

为识别储存能量的危险及其危险位置,应粘贴标签。使用信息应包括储存电源的移除或受控释放的方法和步骤。

5.3.2.5 验证和确认

应从 B、D、E 和 H 中选择适合的方法。

5.3.3 电源失效或关闭

5.3.3.1 总则

个人助理机器人的电源故障或意外关闭及电源的重新启动不应导致不可接受的风险。以下方面应

给予特殊考虑:

- a) 装载有操作机的个人助理机器人在电源失效或关闭时,应确保操作机移动或负载坠落的风险在可接受范围内,不管动力来源为何种类型(如电能、液压、气动和真空等);
- b) 装载有移动平台的个人助理机器人在电源失效或关闭时,应确保机器人的行走风险(如失控)在可接受范围内,而不管机器人的移动机构为何种类型(如轮式、有轨式和足式);
- c) 个人助理机器人应具备能够暂时切断其推进电源的能力。应确保在电源失效或变化时,机器人部件或组件的掉落风险在可接受范围内;
- d) 在适当时,若个人助理机器人的某个部件有使人员受困的危险,应提供不依靠驱动力,使人员可以移动该部件的方法。根据风险评估,逃离或营救措施应考虑到所有可能的用户。若此措施不可实现,则应采取其他补充安全防护措施。

注:电源来源要求详见 IEC 60204-1。

5.3.3.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 所有移动部件的制动机构设计时使用“断电启动”原则;
- b) 机器人内部储存足够的能量,以便电源失效或关闭时能恢复至安全状态。

应遵照 ISO 14118 的要求以避免意外的启动。

5.3.3.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 应采取方法提供不间断电源;
- b) 使人受困于隔离位置的个人助理机器人应提供独立供电的求助方法;
- c) 若机器人的内置或储存能源,如电池电源,下降到其阈值,该机器人应通过声音、光、震动等方式将其状态告知用户和/或操作员,并且能在电池电源到达危险水平时自动进入安全状态。

5.3.3.4 使用信息

使用信息应描述电源失效或关闭相关的剩余风险。若风险评估认为有必要,则需提供电源失效或关闭后的维护步骤(见 8.4)。

5.3.3.5

应从 B、D、E 和 H 中选择适合的方法。

5.4 机器人常规启动和重启

5.4.1 总则

个人助理机器人不应在启动时立刻执行危险动作。

5.4.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 个人助理机器人启动时应执行内置控制检测以保证所有安全相关功能的正常运行。若无法进行检测,则应避免任何危险操作。
- b) 若启动后,个人助理机器人的安全相关功能不能正常运行,则应立刻启动保护性停止。
- c) 个人助理机器人启动时应保持速度和力等在限制之内(详见 6.4 和 6.7),并且应仅能通过模式

转换恢复正常控制等级(详见 6.11)。

- d) 个人助理机器人应以手动模式启动,并且应仅能通过模式转换以自动模式继续操作(详见 6.11.1)。

若检测安全相关组件时需要机器人的运动,为确保安全相关部件无缺陷,允许机器人执行所需的最小移动。此类移动的风险应保持在合理可行的最低水平。

5.4.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 启动时,安全相关功能应关闭操作机、移动平台和其他移动部件以防止非预定动作。仅当通过传感器确认没有危险状况时,应用功能才能被使能。机器人在启动后若要立刻进入自动模式时,也应采用该措施。
- b) 个人助理机器人应在监视下静止状态启动,并且应仅可通过用户行为恢复正常操作。

5.4.4 使用信息

根据采用的措施,机器人的使用信息应包括必要的启动和重启的指示。

5.4.5 验证和确认

应从 B、D 和 F 中选择适合的方法。

5.5 静电势

5.5.1 总则

个人助理机器人的设计应避免静电势和放电对人或家养动物造成危害。

应有足够的静电放电(ESD)保护而无需用户使用个人防护设备。

应对积累的有害静电势进行放电。

个人助理机器人的设计应避免静电势放电导致的有害故障。

注: IEC 61000-4-2 提供了附加的指导(见 5.6)。

5.5.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 导电材料的使用;
- b) 外壳接地放电;
- c) 其他防止外壳或可接触部件静电积累的技术。

5.5.3 安全防护和补充保护措施

电气设备外壳的使用应符合 IEC 60204-1,以避免与带电部件接触。

5.5.4 使用信息

除使用信息外,应提供 ISO 7010 的静电放电相关警示标语。

5.5.5 验证和确认

应从 B、C 和 E 中选择适合的方法。

注: 以下标准包含可行检测方式: IEC 61000-4-2, ISO 7176-21。

5.6 机器人外形造成的危险

5.6.1 总则

在预定使用状况下实施预定任务时,应考虑个人助理机器人的整体以及外部部件的形状,以避免潜在事故,如挤压、割伤或切伤。

风险评估应考虑个人助理机器人的负载的外形。

示例:外骨骼的带子设计应避免引起受伤,如割伤或擦伤。

5.6.2 本质安全设计

根据 GB/T 15706—2012,个人助理机器人的设计应避免锋利边缘或尖角。

根据 ISO 13854 和 ISO 15534,机器人的可触及部件的孔或缺口的设计应防止人体任何部位的卡入。

机器人的关节(如操作机的关节)应设计为,当其按生产商的预定移动时,人体部位不会被挤压。以上要求能够通过选择机器人几何尺寸和限制关节移动极限达成。

限制机器人搬运锋利或尖锐的负载。

5.6.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 锋利边缘和尖角应包裹软垫以消除剪切、刺戳、切割危险和减少撞击危险。详见 4.3 的注 2。
- b) 使用固定式或活动式防护装置来覆盖危险移动部件。
- c) 若搬运危险负载(如锋利或带尖角),调整机器人的速度和行为。

5.6.4 使用信息

缓解外形相关风险的警告和指示应符合 GB/T 15706—2012 和 ISO 7010。

使用信息应包括处理、使用、操作个人助理机器人所需的保护设备(如手套等)的用法说明。

若负载外形会导致其他危险,则应提供处理风险的合理指示。

5.6.5 验证和确认

应从 A、C、G 和 H 中选择适合的方法。

5.7 排放物造成的危险

5.7.1 危险的噪声

5.7.1.1 总则

如果机器人操作产生的噪声可以直接引起用户的不适、紧张感、听觉损失、丧失平衡能力或意识,或其他类似症状,应对任何靠近个人护理机器人的人员提供保护。

个人助理机器人发出的噪音应低至周围人员无需佩戴特殊保护设备的水平。

个人助理机器人应符合满足预定用途的噪声排放标准(详见 ISO 1996, ISO 3740, ISO 11200, ISO/TS 15666, ISO 15667)。

注:环境噪音评估可见 ISO 1996-1 和 ISO 1996-2。

5.7.1.2 本质安全设计

在设计低噪音机器方面 ISO/TR 11688-1 给出了总的技术信息和指导。在机器人的声音设计方面

应特别考虑,在适当时,应采用以下措施:

- a) 低噪声组件:个人助理机器人应由操作时自身安静的组件构成;
- b) 适宜的操作行为:根据机器人的任务要求,其行为和/或运动应尽可能的安静;
- c) 隔音材料:个人助理机器人应具有能限制噪音和减少噪音传到外部环境材料。

注:ISO/TR 11688-2 机械噪声产生机制方面给出了有用的信息。

5.7.1.3 安全防护和补充保护措施

应采取以下措施中的至少一条:

- a) 其他吸声材料,如吸声泡沫,吸声板,吸声帘,吸声膜;
- b) 使用主动消除噪声(抗噪声)机制。

5.7.1.4 使用信息

使用信息应列出减少噪声的安全防护、保护措施以及维护的合适指导。必要时,应提供噪声的定期检查指导。

5.7.1.5 验证和确认

应从 C 和 D 中选择适合的方法。

应使用 ISO 4871 双值噪声标示,噪声排放值的测量、标示和验证应酌情符合 ISO 3746 或 ISO 11202。

5.7.2 危险的振动

5.7.2.1 总则

个人助理机器人的用户应不受机器人的间接或直接振动的危害,操作期间他/她的身体状况应得到防护。

- a) 个人助理机器人用户应免受有害振动导致的相关损伤,如肌腱炎、背痛、不适、精神疾病、关节炎,以及持续使用机器人导致的类似疾病;
- b) 个人助理机器人用户应不受以下振动伤害:频率 0.5 Hz~80 Hz 的振动会影响人体健康、舒适度和感知能力,频率 0.1 Hz~0.5 Hz 的振动会导致眩晕。个人助理机器人的设计应符合 ISO 2631 的所有可用条款。

个人助理机器人的振动应低至用户无需使用特殊保护设备的水平。

5.7.2.2 本质安全设计

可包含但不限于以下措施:

- a) 个人助理机器人的设计应使机械部件产生的振动最小化。如减少偏心质量分布或限制移动部件的速度;
- b) 设计时选择和使用减振材料以限制人员直接暴露于个人助理机器人内振动源的程度。

5.7.2.3 安全防护和补充保护措施

应采取以下措施中的至少一条:

- a) 应用主动振动控制,如采用半主动减振机构或基于控制的减振;
- b) 限制机器人移动速度至适宜水平,以消除或减少振动。

5.7.2.4 使用信息

使用信息应包含振动组件的详细说明。

5.7.2.5 验证和确认

应从 C 和 D 中选择适合的方法。

5.7.3 危险物质和液体

5.7.3.1 总则

个人助理机器人用户应免受任何有毒有害物质,或机器人身体表面的溶剂和内部高挥发性溶剂的伤害,这可能导致烧伤或任何形式的刺激(见 ISO 14123-1)。

个人助理机器人的设计应保证无有害物质或液体的排放,正常操作期间,用户无需穿戴保护设备。

正常使用时,与人体皮肤接触的个人助理机器人表面不应涂有会引起过敏的物质。

注:镍、铬和某些类型橡胶可能引起过敏反应。

5.7.3.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 清除或避免使用具有潜在危险物质和液体,如个人助理机器人内部制动磨损产生的油、冷却液和灰尘;
- b) 用更安全或无害物质替代潜在危险物质和液体,如油、冷却液和制动材料;
- c) 个人助理机器人设计时注意将有害材料置于内部而非释放到外部环境中。

5.7.3.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 若危险物质或液体必不可少,则须采取措施检测有害物质和液体(如油等)的损耗;
- b) 关闭泄漏液体管道的阀门或保险丝;
- c) 防止人接触到泄漏物的措施(如封盖)。

5.7.3.4 验证和确认

应提供个人助理机器人内部危险物质的使用信息。必要时,应提供使用、操纵、维护和拆卸机器人的预警指示。

若使用了致敏物质,应提供该物质的信息。

5.7.3.5 验证和确认

应从 E、G 和 H 中选择适合的方法。

5.7.4 极端温度

5.7.4.1 总则

个人助理机器人的用户应不受机器人及其组件的极端温度(高温或低温)伤害,此类伤害可能会引起烧伤、冻疮、压力、不安或其他不适。要达到此要求,个人助理机器人应符合 ISO 13732。

注:表面温度在 10 °C ~ 43 °C 通常不认为是极端温度。

5.7.4.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 消除或避免个人助理机器人内部的极端热源;
- b) 选择具有适宜导热性能的材料和结构。

5.7.4.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 使用合适冷却(或加热)系统来减少(或增加)表面温度;
- b) 隔离或使用防护装置(详见 ISO 13732)。

5.7.4.4 使用信息

遵照 ISO 3864-1,使用信息应包括具有极端温度的高温/低温部件的警告和标识。必要时,须提供使用、操纵、维护和拆卸机器人时预防措施的指示。

5.7.4.5 验证和确认

应从 C 和 D 中选择适合的方法。

5.7.5 危险的非电离辐射

5.7.5.1 总则

应避免有危害激光、灯光和其他电磁波源的发射。激光以外光源的设计应依据 IEC 62471 控制在用户的暴露限值以内。

激光使用应符合 IEC 60825-1,并且应使用符合应用要求的最低激光等级。

5.7.5.2 本质安全设计

使用的激光设备应不超过 IEC 60825-1 中的 1 类。

5.7.5.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 保护窗;
- b) 活动的连锁防护装置;
- c) 激光光束的方向控制,如依据 6.1 的要求,光束应避免射向人眼方向;
- d) 依据 6.1,控制激光功率(如脉冲宽度,强度);
- e) 2 类及以上激光的保护措施应符合 IEC 60825-1。

5.7.5.4 使用信息

使用信息应提供人会遇到潜在危险辐射的细节,必要时,包括家养动物或个人助理机器人操作环境中财物。使用信息应建议不要直视光线,提供个人保护设备和其他特殊行为的信息。同时,机器人应贴上标识,使用信息中应描述标识的意思。

5.7.5.5 验证和确认

应从 C、D 和 G 中选择适合的方法。

5.7.6 危险的电离辐射

个人助理机器人用户和第三方应免受机器人本身及其组件发出的电离辐射。暴露在此类辐射的情况应降到最低以避免造成任何身体伤害或不适。

会产生电离辐射的机械装置通常不应在个人助理机器人中使用。若此装置必不可少(即没有其他达成应用目标的替代方式),那么应制定特殊的保护要求。特殊安全保护措施制定应符合适当的标准(如 ISO 2919, ISO 3925, ISO 14152)。

5.8 电磁干扰造成的危险

5.8.1 总则

对于所有合理可预见的电磁干扰,应避免其导致有危害的机器人运动和不安全系统状态。

个人助理机器人应符合所有与 EMC 相关标准,如 IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-4 和 IEC 60204-1。

注:此外,IEC/TS 61000-1-2 可以提供在电磁现象下,实现包括设备在内的电气、电子系统功能安全的方法。

5.8.2 本质安全设计

6.1 所述控制系统的功能设计应符合 IEC 62061:2012 中 6.4.3 的电磁抗扰要求。

个人助理机器人的其他功能设计应根据预定操作环境,符合 IEC 61000-6-1 或 IEC 61000-6-2。

5.8.3 安全防护和补充保护措施

通过对辐射的电磁屏蔽,将风险降低到可接受水平。

5.8.4 使用信息

使用信息应提供辐射电磁波的性质以及会导致潜在干扰的电磁波的性质必要信息。

5.8.5 验证和确认

应从 B、C 和 D 中选择适合的方法。

5.9 压力、姿势和使用造成的危险

5.9.1 总则

使用个人助理机器人可能引起身体和精神的危险。除了要降低 5.7.2 和 5.7.3 所描述的单个影响,风险评估还应考虑其二者共同影响。

5.9.2 身体压力和姿势危险

5.9.2.1 总则

风险评估应识别身体压力和姿势的危险,个人助理机器人的设计应确保此类风险降到最小值。这可以但不限于通过以下要求实现:

- a) 个人助理机器人的设计应将其对用户因长期使用所致的身体压力或压迫降到最小值或减少,包括但不限于会直接导致身体轻微病痛(如疲劳和肌腱炎)的不舒适姿势和操作环境。
- b) 个人助理机器人的设计应考虑目标用户的典型身材,以避免对身体姿势的要求,保证操作简易。ISO 14738 通过建造工作站和机器的实例详述了人体工程学参数的应用原则。当建造机

器人时,人员若坐或站在机器人的情况也应该考虑。

5.9.2.2 本质安全设计

可包含但不限于以下措施:

- a) 手动控制装置的设计和位置,应确保操作这类装置时不会导致身体压力或不适;
- b) 合适的人体工效学设计和座椅的位置,应确保操作个人助理机器人时能维持良好姿势;
- c) 指令装置应该可拆分或是便携式,而非固定在个人助理机器人的不当位置。

5.9.2.3 安全防护和补充保护措施

可包含但不限于以下措施:

- a) 使用减震(悬挂)机构;
- b) 使用姿势支撑。

5.9.2.4 使用信息

使用信息应包括操作手动控制装置的正确方式和如何使用个人助理机器人的指示。使用信息应包括合理的培训需求,以避免操作员行走时间长于推荐时间。

5.9.2.5 验证和确认

应从 A、C、D 和 H 中选择适合的方法。

5.9.3 精神压力和使用危险

5.9.3.1 总则

风险评估应识别精神压力和使用引起的危险。个人助理机器人的设计应确保此类风险降到最小值。这可以但不限于通过以下要求实现:

- a) 个人助理机器人的设计应做到,用户长期使用带来的精神压力降到最低;
- b) 用户界面,如控制、发信号或数据显示器件的设计应简单易懂,以保证人-机器人间的交互清晰明确;
- c) 个人助理机器人应根据其预定目标,符合人体工程学标准(详见 ISO 9241-100, ISO 9241-210, ISO 9241-400, ISO 9241-920, ISO 11228)。

5.9.3.2 本质安全设计

可包含但不限于以下措施:

- a) 提供充足的照明;
- b) 对个人护理机器人进行设计,以避免持续注意(尽可能发现临界信号或长期注意)的需求;
- c) 充足的显示设计;
- d) 降低信号的不确定性,改善信号的可探测性。

5.9.3.3 安全防护和补充保护措施

此类危险没有推荐的保障措施。

5.9.3.4 使用信息

使用信息应包括操作手动控制装置的正确方式和如何使用个人助理机器人的指示。使用信息应包

括必要的适当培训。

5.9.3.5 验证和确认

应从 A、C、D 和 H 中选择适合的方法。

5.10 机器人运动造成的危险

5.10.1 总则

个人助理机器人的任何预定或非预定运动造成的危险应降低到可接受水平。机器人的部件应经过特殊设计、制造、紧固或封装,以将损坏或松弛带来的危害的风险降到可接受水平。

个人助理机器人执行危险运动时,如正常使用和操作产生的翻滚、失控,以及曲面、斜面及工作环境中类似的操作状况下,应保护工作人员的安全。

5.10.2 机械不稳定性

5.10.2.1 总则

个人助理机器人的设计应做到具有充足的稳定性,以保证其能在特定条件下使用。具体机器人型号在特定状况下的稳定性要求详见 5.10.6~5.10.7;

个人助理机器人的设计应将机器故障或合理可预见错误操作造成的机械不稳定性(如运动时翻转、掉落或过度倾斜)降到最低;

个人助理机器人的设计应做到,用户无需采取非常规动作或步骤来维护机械稳定性;

机器人的使用周期中的任何阶段(包括装卸、运输、安装、使用、停止使用和拆卸阶段),机械稳定性应不受影响;

个人助理机器人应遵照符合其预定目标的机械安全标准(如移动仆从机器人的轮椅静态和动态稳定性,参考 ISO 7176-1 和 ISO 7176-2);

个人助理机器人在任何移动部件和负载的动态和静态力作用下(如可伸缩操作机),都应维持稳定性。

5.10.2.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 地面支撑区域在合理可行范围内应设计成尽可能大;
- b) 个人助理机器人的重心在合理可行范围内应设计成尽可能低;
- c) 设计个人助理机器人应确保机械共振影响不会导致不稳定性;
- d) 大部分运动部件,特别是机械臂的质量在合理可行范围内应设计成尽可能小。

5.10.2.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 使用稳定性控制;
- b) 检测不稳定因素并采取(或不采取)行为以降低其危害的措施;
- c) 限制机械臂的速度或活动范围的措施;
- d) 防止过载的措施。

示例: 倾角传感器、挽具、加固杠、反馈控制、监视和控制零力矩点。

根据机器人风险评估,任何执行上述功能的控制系统应符合 6.1。

5.10.2.4 使用信息

使用信息应包括个人助理机器人的使用限制,包括行走面的坡度、速度、有效载重等。

5.10.2.5 验证和确认

应从 B、D 和 H 中选择适合的方法。

注:升降椅的标准参照 ISO 7176,但个人助理机器人的测试也可以包含升降用户的能力。

5.10.3 行走不稳定性

5.10.3.1 总则

具有行走功能的个人助理机器人的设计应确保机器人不会引起任何危险的翻滚、失控或行走途中身体部件或负载物的掉落。应考虑其特定操作环境中的所有预定行走形式(如前进、后退、旋转、转向/U 形转弯,加速和减速),行走形式取决于特定使用类型和设计。

对于稳定性因构形和负载而异的个人助理机器人,应确定每个预定状况的最大速度和加速度。

对于自主行走的个人助理机器人,控制系统的设计应在合理可行范围内,确保可预见状况下的行走稳定性。

个人助理机器人跌倒或翻滚时,不应伤害到周围的任何人员。

风险评估应考虑载人机器人内/上乘客的不当姿势导致的潜在危险。

5.10.3.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 个人助理机器人的质量分布应做到,即使机器人在特定预定环境中以最大加速度/减速度或以最大速度在最坏条件的行走面行走时,不会跌倒、翻滚或翻转。
- b) 应确保行走致动器(如轮、腿/足等)与所有地面类型具有足够的表面附着度,甚至是光滑表面,详见个人助理机器人的预定环境状况的规范。
- c) 个人助理机器人的稳定性设计应确保机器人在不平整地面行走时,即使在机器人特定预定环境状况的最坏情况下,不会跌倒、翻滚或翻转。

5.10.3.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 行走面传感详见 6.5.3。
- b) 个人助理机器人应能够基于环境传感技术规划其行走路径。
- c) 个人助理机器人在预定环境中应有保护其不会因高度差(如楼梯、孔洞等)而跌倒或翻滚的措施(详见 6.5.2.2)。
- d) 设置个人助理机器人的动力限制(如速度、加速度和重心),确保机器人即使在预定特定环境中最差的行走面转弯也不会造成翻转。
- e) 载人机器人应装置安全带。
- f) 载人机器人应持续感应乘客的位置以保证安全运输,若检测到乘客处于不当位置,则应采取合适的反应(如保护性停止)。
- g) 使用警示信号,如听觉、视觉、振动信号或以上信号组合。

根据机器人风险评估,任何执行上述功能的控制系统应符合 6.1。

5.10.3.4 使用信息

使用信息应详细说明个人助理机器人的操作环境。使用信息应包括机器人执行任务时可能会导致危险情况的环境状况的警示。

对于载人机器人,使用信息应提供为用户(乘客)适宜的指导和警告以鼓励用户使用保护措施(即,安全带、头盔等)。

提供合适的培训以避免异常操作和意外操作,如突然转弯、加速或减速。

5.10.3.5 验证和确认

行走稳定性能应根据风险评估结果,在各种地面条件(如地毯、金属瓦、塑料薄板和草皮)下进行评价。

应从 B、D 和 F 中选择适合的方法。

5.10.4 负载时的不稳定性

5.10.4.1 总则

个人助理机器人载物(包括乘客)导致的运动性能改变不应引起任何危险。

机器人执行任务时或负载量达到最大值时,任何附近的人员都应不受掉落的安全相关对象的危险。应考虑不均匀负载和活动负载(如储存容器中晃动的液体)的情况。

风险评估应考虑负载物掉落的后果及掉落后需采取的行动。

对于紧急操作,最大减速度应与紧急制动的动力标准相符合,包括负载稳定性和保持性的要求。

5.10.4.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 个人助理机器人上的夹持器、放置区、挂架,特别是末端执行器,如夹持器或机械手的设计应避免负载掉落事故的可能性;
- b) 使用贴合设计;
- c) 使用被动紧固负载方式(如螺丝、弹力带、弹簧夹等);
- d) 避免搬运负载超过最大额定载荷的限制装置。

5.10.4.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 负载应通过螺栓或插销装置系牢或锁住,或者由夹持器夹持;
- b) 最大速度和加速度应符合正常操作时的负载稳定要求;
- c) 进行包括保护性停止或紧急停止的正常操作时,减速度应符合负载稳定要求。

根据机器人风险评估,任何执行上述功能的控制系统应符合 6.1。

5.10.4.4 使用信息

使用信息应包括最大尺寸和/或重量,负载类型(适当时),以及负载能力的限制。若负载物需要加固,则应提供指示。

5.10.4.5 验证和确认

机械手、夹持器和配件的性能应由一系列的极端移动决定,如个人助理机器人的加速、停止、U 形

转弯和操作机的快速移动。所有测试应在最大负载和最大速度下进行。

应从 B、D 和 F 中选择适合的方法。

5.10.5 碰撞时的不稳定性

5.10.5.1 总则

应保护安全相关对象在碰撞之后/期间不受危险。个人助理机器人和其他任何安全相关障碍的碰撞不应该导致机器人的不稳定性。

- a) 风险评估应决定适宜参数(如接触力)的允许最大值,允许最大值会影响整个操作范围的接触导致的风险;
- b) 即使个人助理机器人受到碰撞力或达到预定操作的极限而接收到安全相关障碍的检测信号,机器人的设计应确保其不会导致危险的翻滚、失控或部件的脱离。

5.10.5.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 个人助理机器人的质量分布和外形设计,使得在最大预定限制内的意外碰撞不会导致翻转;
- b) 使用柔软材料吸收可导致危险的不稳定性的力。

5.10.5.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 使用气囊或安全带避免个人助理机器人翻转导致的危害;
- b) 设计个人助理机器人移动平台的制动性能,避免最大预定力的碰撞导致的机器失控;
- c) 设计个人助理机器人的运动行为,将冲击力减到最小值(详见 6.6);
- d) 使用安全相关速度控制(详见 6.4),将不稳定性和碰撞的高冲击力减少到最小值。

5.10.5.4 使用信息

使用信息应包括所有用以评估潜在危险作用力的范围和可承受碰撞状况的详细参数。

5.10.5.5 验证和确认

应从 B、D、F 和 G 中选择适合的方法。

5.10.6 连接或移除约束型身体辅助机器人时的不稳定性

5.10.6.1 总则

约束型个人助理机器人(如外骨骼)的设计应确保机器人连接/移除时的稳定性。

在连接/移除时保持关闭状态的机器人应设计成能在要求位置轻易移除,并且不会导致意外开机。

需要驱动力连接/移除的机器人时,应确保不会发生危险的运动,作用于人体部位的力不会导致伤害。

5.10.6.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 连接/移除机器人时,人体在能够保持稳定的位置(如坐,躺等)的措施;
- b) 使用动力足够低的致动器,使得用户在连接/移除机器人时不会受到伤害。

5.10.6.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 机器人应设计成能够检测用户与机器人的连接不当情况。若不当连接发生时,机器人应提供警告或进入安全状态;
- b) 在连接过程中,机器人关节的力和速度应局限于安全相关速度控制(详见 6.4)和安全相关力控制(详见 6.7);
- c) 正常操作中,机器人预定移除或非预定脱离时,应进入安全状态。

5.10.6.4 使用信息

使用信息应包括连接/移除机器人的指示,以及机器人的必要构形与适宜的环境和地形状况。

5.10.6.5 验证和确认

应从 B、C、D、E、F 和 G 中选择适合的方法。

5.10.7 搭乘/离开载人机器人时的不稳定性

5.10.7.1 总则

对于载人机器人,应确保乘客在预定使用环境下,上下机器人不会导致其翻滚或失控。

5.10.7.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 设计机器人质量分布和外形,使得搭乘/离开机器人不会导致翻转。
- b) 设计载人机器人移动平台的制动性能,避免乘客搭乘/离开机器人时使其失控。

5.10.7.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 根据 6.1,载人机器人的设计应包括主动稳定控制措施,能够调节机器人的平衡来抵消乘客上下机器人导致的重心变动。
- b) 在正常情况的搭乘/离开机器人前,载人机器人应保持适宜的构形。
- c) 载人机器人应设计成,在紧急情况下能进入足够安全的构形,允许用户离开机器人。
- d) 行走前检测机器人内/上的乘客位置是否正确。

5.10.7.4 使用信息

使用信息应包括搭乘/离开机器人的步骤和用户注意事项。还要包括搭乘/离开机器人时的必要构形信息。

5.10.7.5 验证和确认

应从 B 和 D 中选择适合的方法。

5.10.8 与安全相关障碍的碰撞

5.10.8.1 总则

个人助理机器人的设计应确保机器人与安全相关障碍的危险碰撞的风险在合理可行范围内尽量低

(详见 3.21.2)。见 4.3 中注 2。应对如何处理个人助理机器人和安全相关障碍的碰撞进行风险评估。

5.10.8.2 本质安全设计

可包含但不限于以下措施(见 5.10.5):

- a) 在物理上限制个人助理机器人的行走速度到本质安全最大值;
- b) 移动部件的设计保证冲击能量不超过可接受范围;
- c) 使用某些材料或结构使冲击力降低至不会导致危害的水平。

5.10.8.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 根据 ISO 13855,计算个人助理机器人和安全相关障碍的最小距离。人的接近速度因应用而异,若距离小于此最小距离,则停止机器人。这可以通过位置和速度控制(详见 6.3)或避免安全障碍的功能(如电敏防护装置)实现(详见 6.5.2.1)。

注 1: 附录 B 包括个人助理机器人的安全标准。

注 2: 附录 C 列举了具有安全相关障碍躲避能力的个人助理移动机器人的应用。在安全防护空间内机器人的速度可受控制,检测到的安全相关障碍相对速度可用于慢速控制。

- b) 当个人助理机器人的保护性停止空间内存在安全相关障碍时,采用保护性停止(详见 6.2.2.3)。
- c) 手动引导或驾驶个人助理机器人。在此情况下,风险评估应考虑所有与机器人的碰撞是否都可以避免。

注 3: 由于 ISO 13855 系列使用标准不针对低龄儿童和婴儿,因此风险评估认为必要时,考虑更严格(更高)的检测要求(如更低的保护装置缸驱动压力,更小的电敏防护装置分辨率以检测儿童的四肢)。

为了减少可能碰撞的影响,应采用以下措施中一条或多条:

- 使用安全相关速度控制(详见 6.3);
- 使用安全相关力控制(详见 6.7);
- 使用安全相关接触传感(详见 6.5.2.2)。

5.10.8.4 使用信息

使用信息应描述机器人的碰撞躲避行为。若碰撞躲避需要任何程度的手动控制,使用信息应提供用户指示和应用控制措施的限制。

5.10.8.5 验证和确认

应从 C、D、E、F 和 G 中选择适合的方法。

5.10.9 人-机器人交互时的危险身体接触

5.10.9.1 总则

个人助理机器人使用时,若人与机器人有预定的接触交互,风险评估应识别保障使用人员接触交互期间安全的功能:

- a) 机器人最大空间内的人员检测;
- b) 在预定接触交互中,机器人对人员的物理反作用力(如接触力)应在合理可行范围内尽可能低;
- c) 除预定交互外,个人助理机器人的设计应避免人员和机器人其他部件的非预定接触交互。

5.10.9.2 本质安全设计

所有人-机器人物理交互的应用任务中,个人助理机器人的设计应将以下情况减少到合理可行范

围：皮肤-机器人的摩擦、剪切应力、动态冲击、扭矩、重心弧、负重转移和对人体的支撑。

5.10.9.3 安全防护和补充保护措施

在适当时，应采用以下措施：

- a) 软件控制限于个人助理机器人的工作空间(详见 6.3)；
- b) 速度限制和安全相关速度控制(详见 6.3)；
- c) 力限制和安全相关力控制(详见 6.7)。

5.10.9.4 使用信息

使用信息应提供预定任务和人-机器人交互的预定状况的信息，包括用户群体、环境状况的可能限制。

应提供用户如何操作个人助理机器人以避免受伤的使用说明，以及不遵守使用说明可能会导致潜在危险的警告。

5.10.9.5 验证和确认

应从 C、D、F 和 G 中选择适合的方法。

5.11 耐用性不足造成的危险

5.11.1 总则

个人助理机器人的设计应确保其设计寿命内的耐用性，不会导致危险。

个人助理机器人的最低耐用要求应根据其风险评估决定。应考虑以下方面内容：

- 机械应力；
- 材料及其特性；
- 振动和其他排放物；
- 环境状况(热度、湿度等)；
- 在极端情况下操作的最大操作条件(如非预定转弯、加速、减速和不利环境状况)，包括可预见的错误使用情景和状况。

5.11.2 本质安全设计

可包含但不限于以下措施：

- a) 符合 ISO 13823 的适宜标准，避免机械故障；
- b) 个人助理机器人的设计应包含过载的预防措施，包括使用 GB/T 15706—2012 描述的机构。
若使用上述机构，则应符合适宜的现有标准；
- c) 个人助理机器人中处于各类压力下的部件应采用适宜的疲劳极限；
- d) 旋转部件的适宜静态和动态平衡；
- e) 电气装置的设计，特别是电线线束和电线接头，应考虑使用周期的长度；
- f) 将被动散热考虑在内(如通过传导或对流)。

5.11.3 安全防护和补充保护措施

可包含但不限于以下措施：

- a) 监视/调整作用力的控制功能，详见 6.7；
- b) 使用主动散热措施(如风扇或其他冷却系统)；

- c) 必要时,应监视个人助理机器人的内部温度,特别是热源附近区域。若温度超过极限值,机器人应以合理方式作出反应(如以安全方式关闭);
- d) 监视个人助理机器人的生命周期,到达维护时间或使用期限时应通知用户。

5.11.4 使用信息

使用信息应详细说明保障个人助理机器人的耐用性的维护步骤,如部件的定期更换。

若需更换电气连接器以保护个人助理机器人不受连接器的电噪音影响,用户信息应根据连接器的连接/断开频率,详述电器连接器的使用限制。

若电源是直接供应的(使用电缆),使用信息应根据其连接/断开频率详述插头的使用限制。

5.11.5 验证和确认

应从 B、D、E 和 H 中选择适合的方法。

5.12 机器人错误自主决策和行为造成的危险

5.12.1 总则

个人助理机器人的设计应保证,机器人自主决策和行动产生的错误决策和行为不会导致不可接受的危害风险。

示例 1: 移动仆从机器人拿错饮料,拿了一杯咖啡而非水是可接受的风险,但用破损的杯子装饮品可能导致不可接受的风险。

示例 2: 载人机器人在平整地面上突然做出预定外的躲避动作可能是可接受的风险,但是在光滑地面上做出此动作可能导致不可接受的风险。

可以通过增加决策的可靠度(如使用更灵敏的传感器)或限制错误风险的影响(如缩小使用限制),来降低错误决策引起的危害风险。

5.12.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 限制操作情景以减少错误行为的危害风险;
- b) 安全相关对象、行走路径等使用唯一识别码。

5.12.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 传感器的性能/可靠度和传感算法应增强到不会发生不可接受风险的水平;
- b) 识别算法的设计应确保某种决策的正确的可能性得到计算和监控。高度不确定结果的决策应使用替代方法和/或额外信息再次计算。若再次结算后的不确定性仍为不可接受,应寻求外部协助或启动保护性停止;
- c) 会导致危险情况的决策应进行有效性检查;

示例: 安全相关对象的正确识别可以考虑发现该物体的位置以及最后一次发现该物体的时间和位置。

- d) 决策应通过多种传感原理验证。

根据机器人的风险评估,a)~d)中所有个人助理机器人的功能实现要求应符合 6.1 的控制系统性能要求。

5.12.4 使用信息

考虑到可预见的误用,使用限制应排除决策会导致不可接受的危害风险的情况。

使用信息应告知个人助理机器人的传感和决策能力,以及如何预防错误行为和决策的危害的指示。

5.12.5 验证和确认

应从 B、C、D、F 和 G 中选择适合的方法。

5.13 与移动组件接触造成的危险

5.13.1 总则

个人助理机器人的设计应确保,靠近机器人组件如电机轴、齿轮、传动皮带、轮、轨道或连杆时,产生的危害风险是可接受的。

个人助理机器人的设计应符合 ISO 13857,以预防部分人体接触危险区域。

5.13.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 个人助理机器人设计应使用最少数量的可接触运动部件;
- b) 个人助理机器人运动部件的组成部分,如电机轴、齿轮、传动皮带、轮子、轨道或连杆不应暴露在外。

5.13.3 安全防护和补充保护措施

根据可预见收放频率,应通过固定式或活动式防护装置避免运动部件的危险(参见 ISO 14120)。

应从以下措施中采用适合的方法:

- a) 使用固定式防护装置,应采用以下措施:
 - 1) 固定式防护装置应安装后只能通过工具打开或移除;
 - 2) 若风险评估认为必要,防护装置被移除时,底座应与防护装置或个人助理机器人保持连接;
 - 3) 若有可能,确保防护装置在未固定时无法保持在原处。
- b) 使用活动式防护装置,应采用以下措施:
 - 1) 活动式防护装置的设计应确保其不易被移除,以及打开后继续与个人助理机器人保持连接。
 - 2) 活动式防护装置应锁定危险运动,使危险动作停止。根据个人助理机器人的风险评估,执行此项功能的控制系统应符合第 6 章。根据 ISO 14119,防护装置应保持关闭或锁定状态,直到危险的机器功能的风险消失。
- c) 使用外罩防止转动组件的危险。

5.13.4 使用信息

当固定式或活动式防护装置集成于个人助理机器人时,使用信息应包括它们的正确安装、调整和拆卸说明。

5.13.5 验证和确认

应从 A、B 和 H 中选择适合的方法。

5.14 人员对机器人认知缺乏造成的危险

5.14.1 总则

若风险评估显示使用人员缺乏对机器人的认知会导致危险,如无声操作会增加机器人与人的碰撞

可能,个人助理机器人应发出可感知的声音,但不应违反其他噪音限制规定。

使用警告或警报时,应进行风险评估以平衡无声操作造成的危险和高分贝噪音或预定外噪音造成的危险。

注 1: 警告(声音警告、视觉警告等)可能会打扰用户或个人助理机器人周围的其他人员,导致他们为停止该信号操纵机器人。

注 2: 残障用户如有视力障碍或听觉障碍的用户,可能需要其他替代指示。

5.14.2 本质安全设计

必要时,个人助理机器人应设计为具有高度可见的外观,能发出无噪音危害但可感知的声音。

5.14.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 应安装发声器警告用户潜在的危险情况。
- b) 应安装警示灯或其他光学装置警戒用户和第三方人员注意个人助理机器人。
- c) 当安全相关对象在保护性停止空间内时,个人助理机器人应停止,并在该物体离开后继续行使任务。

5.14.4 使用信息

若制造商已知某种特定缺乏注意而产生的危险,应在使用信息中为用户提供警告和建议。

5.14.5 验证和确认

应从 B、D、F 和 G 中选择适合的方法。

5.15 危险环境状况

5.15.1 总则

在可预见环境状况中使用机器人应不会导致危险。

应确保当环境中存在/积累泥沙或灰尘时,个人助理机器人不会导致危险。根据 IEC 60529,当机器人受到灰尘污染导致危害风险时,所有被影响的机器人部件、组件或子系统应达到 IP6X 的最低保护等级。根据 IEC 60529,若无灰尘进入的危险,只有泥沙进入的危险(由风险评估确定),则所有被影响的机器人部件、组件或子系统应达到 IP5X 的最低保护等级。

个人助理机器人的设计应避免高温部件的灰尘引发的火灾(详见 5.7.4)。机器人的设计应避免危险的静电荷积累(详见 5.5),以避免灰尘在带电外表面积累。

个人助理机器人的设计应确保水和湿气进入时不会导致风险。根据 IEC 60529,若存在水或湿气导致机器人的危害风险(由风险评估确定),个人助理机器人的部件、组件、子系统和内壳应达到 IPX6 最低保护等级(能够抵抗三分钟的加压喷淋)。

若机器人将在寒冷的外部环境中作业,则应设计成能够抵御冰雪环境。活动部位和电子部件在结冰时不会停止作业。活动部位应能够抵御水、湿气、灰尘和泥沙。电子部件应密封或安装保护外壳以隔离水或湿气。供电电源和电池应避免水或湿气积累造成的短路。

若个人助理机器人可能在沿海地区或其他近洋、近海和其他咸水水体区域或船舷环境作业,风险评估应考虑高盐度空气和盐水飞溅。若评估显示盐腐蚀有潜在危险,机器人应提供充足的保护以确保风险降到可接受水平。

5.15.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 密封关节和其他活动部件；
- b) 活动部件采用防尘材料；
- c) 电子部件加涂层或密封；
- d) 选择材料和采取相应措施作为抵御极端温度的本质保护(详见 5.7.4.2)；
- e) 使用防水或防湿气材料；
- f) 使用防盐腐蚀材料或使用油漆、清漆涂层或有机涂层。

5.15.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 防止灰尘积累的机械装置(如强制通风或清洗装置)；
- b) 灰尘检测和警告,以指示用户采取必要措施；
- c) 外罩开口处的空气过滤器；
- d) 使用供热设备融化冰雪或蒸发湿气或小水珠,以烘干个人助理机器人,避免后期危险；

注 1: 若设计不当,融化的冰雪可能产生水/湿气导致危险。

- e) 去除表面水/湿气(如使用雨刷)；
- f) 外部去除表面冰雪(如用热水冲洗)；
- g) 主动检测冰雪/冷气环境,在冰雪积累到不可接受水平前,采取保护性停止。机器人应采取合适的指示告知用户停止的原因；
- h) 个人助理机器人应内置安全防护功能,周期性停止或关闭机器人以进行维护(典型情况包括检查和清理或部件更换)。机器人应告知用户即将关闭的目的。为达到以上要求,关闭间隔长短取决于腐蚀或泥沙、灰尘、雪的积累等导致的不可接受风险的水平。

注 2: ISO 4629 提供油漆和清漆脱落的评估的指导。

5.15.4 使用信息

若用户需采取行动预防风险,使用信息应提供必要行动以及适宜材料(如工具、衣着、液体)的指南,包括:

- 对如盐腐蚀或泥沙磨损的检查；
- 清理或除去泥沙、灰尘、冰雪；
- 烘干；
- 部件维护和更换。

5.15.5 验证和确认

应从 B、C、D、F 和 H 中选择适合的方法。

个人助理机器人的 IP 等级应通过 IEC 60529 的验证。

若需进行盐水喷溅试验,应符合 ISO 9227。若光学传感器表面的腐蚀严重,试验应符合 ISO 21227-3。

5.16 定位和导航错误造成的危险

5.16.1 总则

具有定位和导航功能的个人助理机器人的设计应确保定位不确定和导航错误不会导致不可接受的风险。

定位不确定性不应导致移动平台或机器人其他部位的危险运动。应避免会导致机器人进入禁止区域或失去机械稳定性而产生危险举动的定位错误。

个人助理机器人应具备良好的导航性能以确保运动规划可以达到任何目标,生成的路径能够避开任何已知安全相关障碍所在地点,不会导致任何碰撞和机械不稳定性带来的不可接受风险。

若定位和导航用于减少风险,这些控制系统功能应符合 6.1 的要求。

5.16.2 本质安全设计

在适当时,应采用以下措施:

- a) 依据无需用导航功能减少风险的环境或任务设计个人助理机器人;
- b) 以避免撞击,行走面传感等安全功能的实现,需确保无需导航功能即可达到个人助理机器人的安全操作要求;
- c) 若使用(天然或人工)地标定位,需确保地标数量充足,并且个人助理机器人在限制区域的任何角度都能够检测到这些标记。用于导航地标或标识应明确清晰。

5.16.3 安全防护和补充保护措施

在适当时,应采用以下措施:

- a) 监视定位的稳定性和可信度,若定位不稳定则进入安全状态;
- b) 补偿不稳定定位,如使用测距法或其他传感数据;
- c) 导航地图应更新信息(如通过网络传感器或外部来源),根据风险评估决定更新频率,以避免使用过时地图导致的风险。

5.16.4 使用信息

使用信息应明确说明预定操作环境,并提供定位错误或导航错误发生条件的信息。

5.16.5 验证和确认

应从 B、F 和 G 中选择适合的方法。

6 安全相关控制系统的要求

6.1 要求的安全性能

6.1.1 总则

若通过控制系统实施保护措施,应符合第 6 章的要求。个人助理机器人的控制系统功能(电子、液压、气动和软件)要求的性能等级(PL)或安全完整性(SIL)等级应由风险评估确定,应符合 ISO 13849-1 或 IEC 62061,应包括验证和确认。

若以下一条或多条功能用于减少风险,应为每个使用的功能定义一个-PL 或-SIL 等级,除非适用 6.1.4:

- a) 紧急停止(6.2.2.2);
- b) 保护性停止(6.2.2.3);
- c) 工作空间限制(包括避开禁止区域 6.5.3);
- d) 安全相关速度控制(6.4);
- e) 安全相关力控制(6.7);
- f) 避免危险碰撞(6.5.2.1, 6.5.2.2);
- g) 稳定性控制(包括过载保护 6.6, 6.7)。

以下条款包括每类个人助理机器人的两个子类型定义,代表了两个风险等级。制造商可决定使用

其中一类或几类。

6.1.2 个人助理机器人

6.1.2.1 移动仆从机器人

- 1.1 型：小且轻且慢且无操作机；
- 1.2 型：大或重或快或有操作机。

6.1.2.2 身体辅助机器人

6.1.2.2.1 约束型

- 2.1 型：小功率身体辅助（用户能够控制个人助理机器人）；
- 2.2 型：大功率身体辅助（用户不能够控制个人助理机器人）。

6.1.2.2.2 非约束型

- 2.3 型：小功率且无自主模式且静态稳定且轻且慢；
- 2.4 型：非小功率或有自主模式或非静态稳定或重或快。

6.1.2.3 载人机器人

- 3.1 型：站立，单乘客且室内平整表面且慢且轻且半自主式；
- 3.2 型：多乘客或无站立乘客或室外或不平整表面或非慢型或非轻型或自主式。

注 1：“小型”是指尺寸足够小，机器人跌倒或翻转不会与用户上身碰撞（包括坐卧时，取决于预定用途）。制造商可以根据预定任务和使用人群确定小型机器人的最大尺寸。

注 2：“轻型”是指重量足够轻，撞击只会导致轻微伤害。用户受困时，可以将机器人举起以脱困。制造商可以根据预定任务和使用人群确定轻型机器人的最大重量。

注 3：“慢型”是指速度低于风险评估确定的预定用户群体的正常行走速度。健康成年人的行走速度一般定为 6 km/h。

注 4：“小功率”是指功率足够低，采取本质安全设计措施时只会导致轻微伤害。制造商可以根据预定任务和使用人群确定小功率机器人的最大功率。

注 5：“静态稳定”是指机器人采取本质安全设计措施后无驱动源静止不动时，不采用驱动力能维持稳定。根据机器人的预定用途，静态稳定包括用户与机器人接触时保持稳定，如通过紧握机器人的把手或倚靠在机器人上时，要维持用户和机器人两者的稳定。

6.1.3 部分个人助理机器人的性能等级要求

表 1 中详述的性能等级给出了标准性能的定义。标准性能在大部分应用中可以充分减少风险。但这并不意味着在所有应用中，达到这些性能等级的安全功能可以全部减少风险。除非 6.1.4 有不同要求，以下性能等级应满足。

表 1 个人助理机器人的性能等级

个人助理机器人安全功能	机器人种类							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
6.2.2.2 紧急停止	d (无/低风险选择)		c	d	c	d	d	d

表 1 (续)

个人助理机器人安全功能	机器人种类							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
6.2.2.3 保护性停止	b	d	b	d	b	c	c	e
6.3 操作空间限制(包括禁止区域避免 6.5.3)	b ¹	d	b	d	a	d	N/A	e
6.4 安全相关速度控制	b	d	b	b	b	d	c	e
6.7 安全相关力控制	b	d	b ³	e ⁴	a	b ⁵	N/A	N/A
6.5.2.1, 6.5.2.2 危险碰撞避免	b	d	N/A	N/A	b	d	N/A	e ⁶
6.6, 6.7 稳定控制(包括过载保护)	b	d ²	N/A	c	b	d ²	b ⁷	d ²
¹ 避免进入禁止区域的应达到 PL d; ² 若个人助理机器人具有本质不稳定性,应达到 PL e; ³ 若风险评估显示用户在特定情况下(如不清醒状态),可能导致力量弱于个人助理机器人,除非机器人具备本质限制能预防危害发生,否则应采用 2.2 型机器人的要求; ⁴ 若其他限制功能(如工作空间或速度限制)也提供同样风险下的保护,只要所有相关功能的设计达到此等级,允许 PL d; ⁵ 若使用力控制避免碰撞或主动握住人员,应达到 PL d; ⁶ 控制系统达到 PL e,但传感机构可能无法达到此标准。此情况下,传感器的系统故障导致的风险应降低到合理可接受等级; ⁷ 若个人助理机器人具有内在不稳定性,应达到 PL c。								

6.1.4 应用特定性能等级要求

个人助理机器人的综合风险评估结果及其预定应用可能决定安全相关控制系统的性能等级比上述要求更高或更低,综合分析的结果应与预定应用相符合。

选择更高或更低的安全相关性能等级应详细说明,用户信息应包括相关设备的合适限制和警告。

6.1.5 替代方式

可以采用其他可替代的性能要求标准,如控制可靠性(如 ANSI/RIA R15.06-1999 的 4.5.4)。当使用这些替代标准设计安全相关控制系统时,应符合同等等级的风险降低要求。

6.2 机器人停止

6.2.1 总则

个人助理机器人的设计应确保其在任何速度下制动安全停止时不会导致危险的翻滚,失控或机器人部件和负载的掉落。

个人助理机器人停止状态因其类型不同而异,因此制造商应定义机器人的停止状态。若通过机器人的正常速度控制功能达到和维持停止状态,则此功能应符合 6.6。若通过独立停止功能达到停止状态,则应仅使用制动机构,且应符合以下要求:

- a) 电源中断时,制动机构应工作;

- b) 考虑所有明确参数限制,如负载、速度、行走面摩擦系数和坡度以及机器人部件的预定磨损状况,个人助理机器人应停止在配备的安全相关对象检测装置的操作范围内;
- c) 应将个人助理机器人和其最大容许负载维持在制造商指定的最大行走坡度上;
- d) 关键控制功能失效时,制动机构应工作。

6.2.2 机器人停止功能

6.2.2.1 总则

个人助理机器人应具有保护性停止功能,应根据风险评估要求提供独立的紧急停止功能。也可选择连接外部防护装置提供以上功能,且可提供紧急停止时的输出信号。表 2 提供了紧急停止功能和保护性停止功能的比较。

注:在某些应用中,保护性停止包括使用驱动力维护系统稳定。如行走中的个人辅助机器人。

表 2 紧急停止和保护性停止比较

功能	紧急停止	保护性停止
目的	紧急情况	安全防护或风险减少
停止种类(IEC 60204-1)	0 或 1	0, 1 或 2
触发方式	手动	手动、自动或通过安全相关功能自动触发
安全相关系统性能	应符合 6.1 的性能	应符合 6.1 的性能
重启方式	仅手动	手动或自动
使用频率	不频繁	常见至不频繁
影响	移除致动器电源以停止危险状况扩散	对已保障的危险的安全控制

6.2.2.2 紧急停止

若需机器人具备紧急停止能力,每个能够触发机器人移动或其他危险状况的指令装置应具备手动触发紧急停止功能:

- a) 遵照 6.1 和 IEC 60204-1 要求,优先于其他机器人控制执行;
- b) 停止所有受控的危险;
- c) 若机器人处于安全状态,移除机器人致动器的驱动源;
- d) 能够控制受机器人系统操控的危险;
- e) 保持生效直至重启;
- f) 只能通过手动重置,并且重置后不会导致重启(机器人),但应仅允许重启。

若指令装置没有紧急停止按钮(如语音界面、基于远程应用的电脑屏幕),则应确保现有机器人或附近的紧急停止设备能直接使机器人达到同样等级的安全状态。

根据 IEC 60204-1,选择类别 0 停止或 1 停止取决于风险评估。

紧急停止装置应符合 IEC 60204-1 和 ISO 13850。

紧急停止性能应符合 6.1。不同的个人助理机器人应符合表 3 性能等级:

表 3 个人助理机器人的紧急停止性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
紧急停止	d (无/低风险选择)		c	d	c	d	d	d

6.2.2.3 保护性停止

当风险通过使用安全相关控制功能降低时,个人助理机器人应具备一种或多种保护性停止功能。此类停止功能的分类应由应用的风险评估确定(如 IEC 60204-1 所述)。

此类停止功能通过以下途径控制已保障的危险:停止一切危险机器人动作,移除或控制机器人驱动器的能源,允许机器人系统控制任何其他危险。可以通过手动或控制逻辑触发机器人停止。除非风险分析允许自动启动,否则应手动启动。

保护性停止功能性能应符合 6.1 的要求。

个人助理机器人可以使用 2 类停止配备保护性停止功能,如 IEC 60204-1 所述,不应导致驱动源移除,但机器人停止后,应监控其静止状态。根据风险评估,静止状态时,机器人的任何非预定动作或保护性停止功能的失效都应该采取 0 类停止,如 IEC 60204-1 所述。站立静止和监控功能的性能应符合 6.1。见表 4。

注:包括电力推进系统提供的监控 2 类停止功能(依据 IEC 60204-1),与安全操作性停止一致(依据 IEC 61800-5-2)。

表 4 个人助理机器人保护性停止的性能等级

个人助理机器人安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
保护性停止	b	d	b	d	b	c	c	e

6.2.3 制动性能

触发机器人移动平台的保护性停止的控制系统功能的设计应考虑平台的制动性能,以及个人助理机器人在所有可预见的行走面状况下的所需停止距离。

制动性能应确保,个人助理机器人以额定速度和额定负载在指定的行走面状况下,可以避免与安全相关障碍发生危险碰撞。在合理可行范围内,机器人在风险评估确定的预定最差行走面上行走时,应能够在碰撞安全相关障碍前停止。

以下中的一条适用:

- 若控制系统功能用于评价个人助理机器人的制动性能和/或设定特定行走面的安全相关速度限制,考虑到所有预定运行状态,应符合 6.1;
- 个人助理机器人应能够提前估算地面状态,若合理可行,应避免危险地面状态。考虑到所有预定运行状态,此项功能应符合 6.1。

6.3 操作空间限制

个人助理机器人的操作空间见图 1。

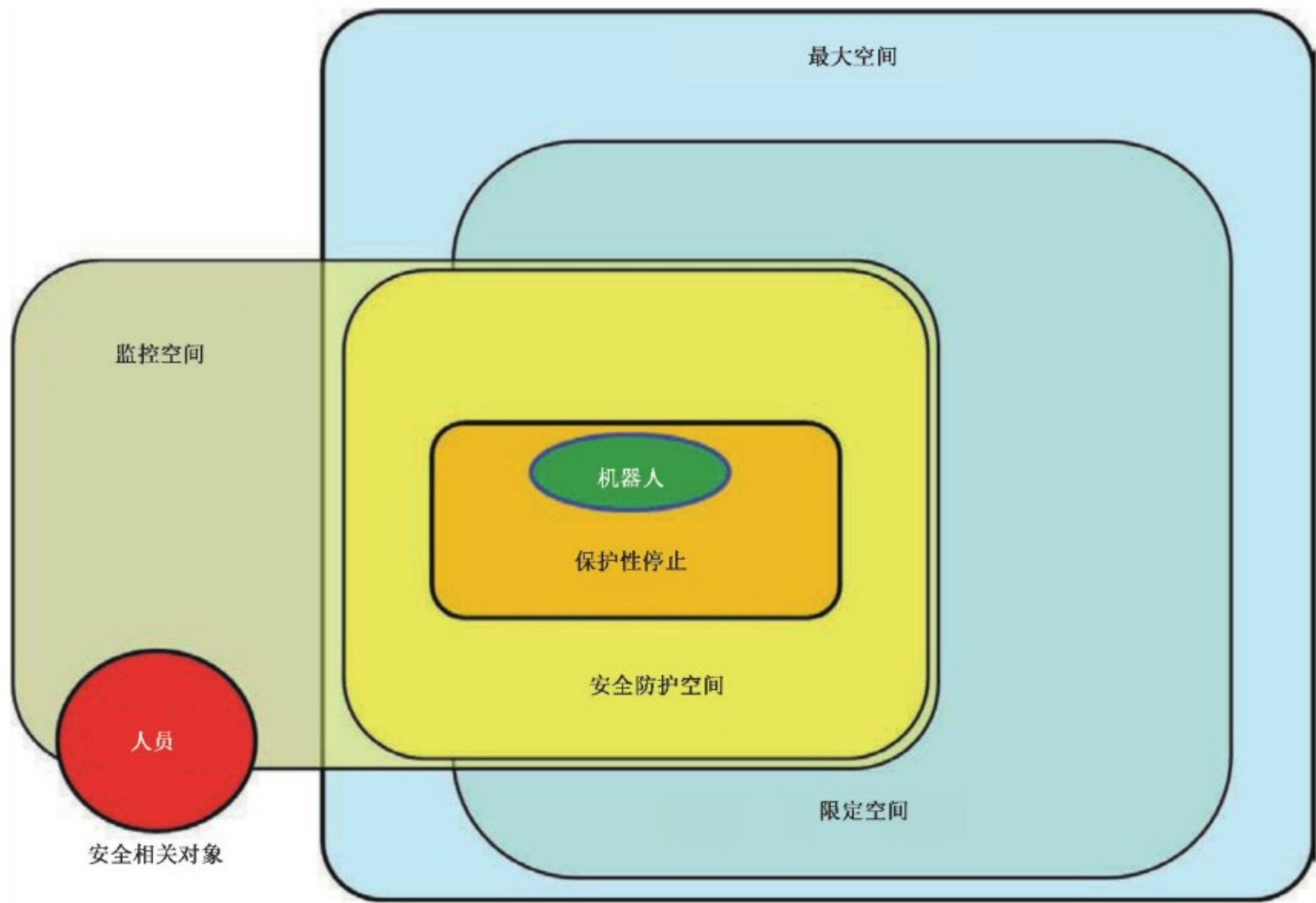


图 1 个人助理机器人的操作空间

限制操作空间可用于减少风险,无论是限制个人助理机器人在指定的空间内移动,还是防止机器人进入该区域(包含和不包含操作空间的区域,见附录 B)。

只要其能够使机器人在额定负载和速度下停止,软件限制可以用作定义和减少受限空间。受限空间的界定取决于实际预期停止空间,即行走的停止距离。制造商在用户信息中应说明此性能,若不支持此功能,则应禁用软件限制。

基于软件限制的监视、执行关节和空间限制功能的控制程序应符合 6.1,且只能通过授权人员改变。若违反软件限制,应启动安全状态。在违反限制时运动应在安全相关速度控制中,详见 6.4。安全限制的主动设置和配置应留下记录,以便配置的改变能被简单的识别和复查。见表 5。

表 5 个人助理机器人的工作空间控制功能限制的性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
工作空间限制(包括禁区回避)	b ¹	d	b	d	a	d	N/A	e
¹ 避开禁区应达到 PL d。								

6.4 安全相关速度控制

风险评估应确定个人助理机器人的安全相关速度限制,机器人超过限制时可能会引起危害。这应通过计算机器人可接近移动部位的典型点的速度完成。只有授权人员才能调整最大容许速度。

根据个人助理机器人的不同任务,可以存在不同的速度限制,特定状况下应用其中一种速度限制。转换速度限制的合理方式应由风险评估确定。

个人助理机器人的整体速度应控制一定范围内,确保移动部件速度不会超过安全相关速度限制。

安全相关速度控制的设计和制造应确保错误发生时,操作机的末端执行器和其他机器人部件的速度不会超过安全相关速度限制,且错误发生时,应启动安全状态。安全相关速度控制的性能应符合 6.1 和表 6。

表 6 个人助理机器人的安全相关速度控制的性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
安全相关速度控制	b	d	b	b	b	d	c	e

6.5 安全相关环境传感

6.5.1 总则

安全相关环境传感应符合 6.1 的要求。安全相关环境传感的对象有以下内容:

- a) 安全相关对象传感:此功能应用于避免危险碰撞。被探测的安全相关对象可能包括人员、家养动物和环境内其他安全相关对象(见 3.21.1 的注)。物体探测装置应用于确定安全相关对象与个人助理机器人的可接近距离或接触力;
- b) 行走面传感:此功能包括感应行走面的性质(如平滑、粗糙和坚固)和行走面的几何特征(如平整度、倾斜度、阶梯和间隙),且应用于避免不稳定性带来的危险。

6.5.2 物体传感

6.5.2.1 非接触式传感

非接触式传感用于:

- 确保操作距离的最小范围和/或;
- 减少相对接近速度。

为了避免危险碰撞和维护安全要求等级,应采用以下要求:

- a) 若需要对人员探测,应使用 IEC 61496 对于电敏防护装置相关规定;
- b) 若使用电敏防护装置作为主传感装置,其应具有足够的可靠性,装配应符合个人助理机器人的风险估计;
- c) 若需要探测安全相关对象而非人员,可以使用其他非接触传感装置(非电敏防护装置),此类设备的探测功能和可靠性应符合风险评估的要求。

注 1: IEC TS 62046 提供了保护性设备的使用指导。

最短距离内的一个或多个安全相关对象探测应通过以下方式使个人助理机器人进入安全状态:

- 根据 6.2.2.3 启动安全性停止,或

——根据 6.4,通过安全相关速度控制启动安全减速,或
——维持与安全相关对象的间隔距离。

若需要探测人员,最短距离应根据 ISO 13855 确定。

若需要探测人员以外的其他安全相关对象(家养动物、墙体、家具、最大空间界限),间隔距离应根据 ISO 13855 的公式确定,但不包括侵入距离参数“C”。

若非接触式传感装置提供了人员的相对接近速度的可靠信息,并允许个人助理机器人决定机器人和正在接近的安全相关对象的最坏情况下的相对速度,最小距离的计算可以使用此速度替代 ISO 13855 的参数 K。非接触式传感装置的性能等级不应降低所要求的安全功能性能等级。见表 7。

注 2: 附录 C 描述了如何计算个人助理机器人和安全相关对象(该物体朝不同方向运动,但可能在之后移动阶段与机器人碰撞)的相对速度的典型例子。

表 7 个人助理机器人的危险碰撞回避控制的性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
危险碰撞回避	b	d	N/A	N/A	b	d	N/A	e ¹
¹ 控制系统应达到 PL e,但传感机构可能达不到该等级。此情况下,传感器的系统故障导致的风险应降低到合理可操作等级。								

6.5.2.2 接触式传感

很多人-机器人交互任务需要接触式传感。为此,机器人需要安全探测出甚至微小的接触力,并对此作出合理方式的反馈。必要时,接触探测需要确保以下能力:

- a) 整个机器人结构上的接触都应可探测(如关节层面);
- b) 接触力应在风险评估确定的适宜值范围内。建议通过其他技术标准和科学出版物中所述的限制获得这些限制范围(见参考文献)。

用于探测人员的接触式传感应符合 ISO 13856 相关部分的要求。若要探测人员以外的安全相关对象,应由风险评估确定所要求的探测性能和可靠性。

压敏防护装置(PSPE)(如压敏角、压敏条、压敏装置、保护装置杠、薄板、电线等),应用于防止危险影响。此类传感装置应符合本条规定,根据个人助理机器人的用途和风险估计。若用作安全相关传感装置,此类部件应符合 6.1,且应根据 ISO 13856 所述装配。

6.5.3 行走面传感

若行走面的状态或几何形状导致的机械不稳定性具有不可接受风险,有自动移动功能的个人助理机器人应具备传感或探测安全相关地面的几何形状和状态的功能,如不平整地形,阶梯等。

探测地面几何形状和行走状态的方式(机上探测或机下探测)应能够探测和判断机器人是否能够通过监测区域。

地面状态探测性能应能够允许个人助理机器人评估其制动性能是否符合 6.2.3 的要求,同时维持其机械稳定性。

若个人助理机器人的运行环境中配备可以被机器人安全探测的标记、标签和/或磁带,这类物体应数量充足,且放置在机器人的非盲点区域。

注: 为了验证行走面的传感功能,建议将各类地面安全相关障碍(即,缝隙、凸起和/或台阶)放置于个人助理机器人和其移动目的地之间,然后可以检查机器人性能,以确定它是否能够安全避开不利地面条件或安全停止以免被困。

6.6 稳定性控制

个人助理机器人在所有预定和合理可预见状况中应稳定。提供稳定性的功能的安全性能应符合 6.1。不同类型的个人助理机器人应符合表 8 的性能等级：

表 8 个人助理机器人稳定性控制的性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
稳定性控制(包括过载保护)	b	d ¹	N/A	c	b	d ¹	b ²	d ¹
¹ 若个人助理机器人具有本质不稳定性,需达到 PL c; ² 若个人助理机器人具有本质不稳定性,需达到 PL c。								

6.7 安全相关力控制

个人助理机器人的任何部位施加给人或其他安全相关对象的力应控制在最大安全接触标准内,如力限制。

最大安全接触力/扭矩的量化要求应由人体工程学实验进行详细测试确定。与安全相关对象的意外接触力的限度可能由使用情景而异,应由风险评估确定。

安全相关力控制应由安全相关接触传感和反应机制完成,使个人助理机器人进入力不会超过阈值的安全状态。

意外接触的反应应至少符合以下要求：

- a) 反应要足够快以使接触力能够保持在安全相关力限制之内；
- b) 接触事件发生后,使个人助理机器人进入安全状态。

注：关于文献中提出的确定允许接触力和疼痛承受度的方法,参见参考文献。

安全相关力控制器的功能安全性能应符合 6.1。见表 9。

表 9 个人助理机器人的安全相关力控制的性能等级

个人助理机器人的安全功能	机器人类别							
	移动仆从机器人		身体辅助机器人				载人机器人	
	1.1 型	1.2 型	2.1 型	2.2 型	2.3 型	2.4 型	3.1 型	3.2 型
安全相关力控制	b	d	b ¹	e ²	a	b ³	N/A	N/A
¹ 若风险评估显示用户在特定情况下(如不清醒状态),可能导致力量弱于个人助理机器人,除非机器人具备本质限制能预防危害发生,否则应采用 2.2 型机器人的要求; ² 若其他限定功能(如工作空间或速度限定)也能提供同类风险下的保护,只要所有相关功能都设计成同等等级,则允许采用 PL d 级; ³ 若力控制用于避免碰撞或主动握住人员,要求符合 PL d 级。								

6.8 奇异性保护

经过奇异点的运动会产生很高的轴转速。这些高速度可能是非预定的且会导致对用户、操作机和在场人员的风险。

对于个人助理机器人经过奇异点的运动,应采取以下一条或多条措施:

- a) 控制经过奇异点的运动以避免危险;
- b) 机器人应避开奇异点,如通过调整路径规划实现;
- c) 在机器人通过奇异点之前停止机器人运动并发出警告或在协调运动期间进行回避。

6.9 用户接口的设计

6.9.1 总则

当指令装置(如操作杆,操作员控制面板,声音和手势识别系统和/或其他工具)用以控制个人助理机器人功能时,这些工具在运行时应有适宜的可靠性。

不管指令装置是否安装于个人助理机器人上,该装置与机器人的电气连接不应导致危险。

在手动和半自主控制模式下,指令装置应能够提供单独或联合机器人的控制功能。

6.9.2 状态指示

指令装置的状态应在任何时候都清晰显示,如电源开启,操作模式,检测到错误等。对于操作者来说,状态宜显示在明显的位置。

在远程控制时,每个指令装置应清楚的识别其控制的个人助理机器人的部件。远程控制系统的的设计和建造应只能针对:

- 机器人的相关部件;
- 相关功能。

6.9.3 连接和断开

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,则个人助理机器人应启动保护性停止。

远程控制的个人助理机器人应设计、制造成只对来自预定控制单元的信号做出响应。

6.9.4 多机器人的单指令装置

使用一个指令装置对多个个人助理机器人进行控制和控制切换,不应对用户或任何在场人员造成伤害。指令装置可以独立或同时控制一个机器人或多个机器人。

个人助理机器人在受指令装置控制时,其状态应对操作员清晰可见。应首先选择每个受控机器人,再发送指令。应避免任何未选择机器人的意外启动。

6.9.5 多指令装置

若使用多指令装置,应采用以下措施:

- a) 应提供清晰的指示以识别每个有效的指令装置。
- b) 除了保护性停止功能和紧急停止功能,每个个人助理机器人的功能在任何时候只能受一个指令装置的控制。若使用多模式的单个用户接口(如同步语言和手势识别),这种多模式的通讯接口可以认为是同一个指令装置。
- c) 应采取措施避免多指令间冲突造成的危险。
- d) 改变控制的指令装置时不应造成不可接受的风险。
- e) 当不同的指令装置激活独立的功能时,控制系统的设计应避免操作员之间造成伤害或伤害其他安全相关对象。
- f) 在控制可以从一个指令装置传送到另外一个指令装置前应执行明确的转换行为。

注：可能包含以下情况：没有有效的指令装置（如个人助理机器人处于安全状态）以及任意指令装置都能进行控制。
g) 适当时，所有指令装置应清晰的表明其目前是否有效。

6.9.6 无线或可拆指令装置

- 若通过一个或多个无线或可拆指令装置操纵个人助理机器人，应采用以下措施：
- a) 当通信失败或没有收到正确的控制信号时，如果继续任务会导致不可接受风险，则任何受此类装置控制的机器人都应进入保护性停止；
 - b) 适当时，应考虑数据通信（包括错误校正）以及通信失败的最大响应时间，以计算总体停止性能（时间），最大响应时间应在使用信息中说明；
 - c) 在集成了紧急停止功能的指令装置中，应提供避免有效指令装置和无效指令装置之间混淆的方法（如将无效装置置于适当区域）。

6.9.7 未授权使用的保护措施

必要时，即使通过远程访问，也应采取措施以避免未授权的控制或参数改变。根据风险评估，应提供避免非授权使用的方法（如密码保护）。例如使用防止恶意破坏的方法，如使用密钥卡和指纹识别装置以避免非预定的个人助理机器人启动或移动。制造商应考虑到不同用户的不同访问权限。

6.10 操作模式

6.10.1 总则

个人助理机器人应设计为同时仅能在一种定义模式下操作。若风险评估显示两种模式间的切换会导致潜在危险，机器人应在模式改变前立刻执行保护性停止。模式选择应清晰的显示，且不应由模式本身、机器人运动或其他危险启动。

对于所有的操作模式，应清晰的显示安全功能的有效性，尤其是哪些功能无效。当切换模式时，所有暂停的安全功能应返回完全作用状态。为实现安全相关目标的操作模式选择功能应符合 6.1 的要求。

表 10 总结了个人助理机器人操作模式的主要特点：

表 10 个人助理机器人操作模式的特点

	自主模式	半自主模式	手动模式	维护模式
动作触发方式	由机器人或用户	由用户	由用户	由有权限的人员
人员干预频率	一次/很少	频繁	持续	持续
人员监督程度	无/很低	低至高	高	高
任务示例	移动仆从机器人拿取和搬运	具有自主导航能力的载人机器人。人员可以重置速度和方向	教育、远程操作、编程、程序验证	维护
用户限制	无	无	无	需密钥锁或密码保护

6.10.2 自主模式

在此操作模式下个人助理机器人可以自动或自主移动。风险评估定义的自主模式下的安全要求功能应有效。

6.10.3 手动模式

手动模式允许通过人员干预操纵个人助理机器人。此模式可用于机器人的示教,远程操作,编程以及程序验证。使用信息应包括正在执行手动导航/指引操作的适当指示和警告。

应进行风险评估以确定手动模式下,为降低特定危险应执行何种安全防护及保护措施。

6.10.4 半自主模式

半自主模式应允许用户覆盖或修改个人助理机器人的功能,如机器人执行其任务程序时的转向、手动引导及人-机器人交互任务。在半自主模式中,自主进程也可能覆盖手动操作,如自主碰撞回避功能。风险评估应确定半自主操作的风险,特别是人员干预的开始方式。

当自主进程覆盖手动操作时,个人助理机器人应为操作员提供覆盖状态的可感知指示。覆盖指示(如可见光,声音,振动等)应设计为易于被操作员识别。

注:身体辅助机器人的动力辅助不视为覆盖操作。当操作员踩踏加速器时,为回避碰撞的自主制动视为覆盖操作。

自主进程和手动操作的优先级由风险评估确定。

6.10.5 维护模式

在维护操作中,若个人助理机器人需要在移除或替换防护装置和/或停用防护装置情况下工作,机器人应具备维护模式。若进入此模式,模式选择器应同时:

- a) 停止所有其他控制或操作模式;
- b) 仅允许通过需要持续工作(保持-运行)的控制装置来进行危险功能的操作;
- c) 仅允许已减少风险(如低速、低力)的条件下进行危险功能操作,同时避免相关联顺序造成的危险;
- d) 避免机器人传感器自发或非自发行为造成的危险功能操作。

应只能通过适当方式进入维护模式,这些方式只能锁定并专门启动该模式,如钥匙控制的开关或提供同等的安全性的其他方法(如密码访问)。

另外,操作员应只能通过致动控制方法或系在/附在个人助理机器人上的指令装置,来控制移动部件。远程控制(见 6.9.2 及 6.9.3)或无线/可拆控制装置(见 6.9.6)在此模式下应停止使用。如风险评估认为必要,此模式下通过连接电缆进行控制的线缆长度不应超过机器人的最大长度、宽度或高度(取三者最大值)。

若以上条件的任意一个在移除了防护装置或关闭了安全功能的操作时无效,依据 6.2.2.3,机器人应启动保护性停止。

注:如将个人助理机器人夹持固定以限制它的运动,则无需将机器人切换至维护模式即可进行维护。

此模式下的个人助理机器人操作指示,及移除防护装置下的操作带来相关危险的警告,应在使用信息中说明(见第 8 章)。

6.11 手动控制装置

6.11.1 总则

若指令装置通过手动控制装置启动电源或移动,其设计和制造应符合 6.9.2~6.9.6 的性能标准。

6.11.2 状态显示

手动控制装置的状态应在任何时候都清晰显示,如电源开启,操作模式,检测到错误等。对于操作者来说,状态宜显示在明显的位置。

在远程控制时,每个指令装置应清晰识别个人助理机器人受其控制的部件。远程控制系统的设计

和制造应只能针对：

- 所指的机器人部件；
- 所指的功能。

若使用指示灯，则其应符合人体工学设计原则，指示灯的安装及其颜色应符合 IEC 60204-1 的要求。

6.11.3 标签

手动控制装置应按照 ISO 7000 贴上标签以明确显示其功能。

6.11.4 意外操作的保护

手动控制装置的设计和制造应使用以下方式以防止意外操作：

- a) 当个人助理机器人处于手动控制或远程控制时，机器人运动的启动或本地控制选择的改变应只能由一个控制源专门操作。
- b) 使用恰当设计的手动控制装置，如防护式按钮，触摸屏的动作顺序，钥匙选择器开关等。
- c) 合理放置手动控制装置，以预防意外接触。
- d) 适当时，使用不同级别访问权限来预防意外动作或设置改变。

注：若不但通过“个人”，还通过“角色”进行访问，受过培训的操作员可以使用用户账号进行日常权限内访问，只有必要时才转换到特许账户。

7 验证和确认

在风险减小程序后，应对个人助理机器人的所有安全相关的性能值进行验证和确认。验证和确认应包括第 6 章中所述的控制系统的性能要求。

所有安全要求应根据其相应的验证标准进行验证。

5.1 所列的验证和确认方法详述如下：

- A(检查)：使用人员感官而不借助于任何特定检验设备，检查个人助理机器人的状况或设备和结构。当机器人没有运行时，要通过视觉或听觉进行检验；
- B(实际试验)：测试在正常或异常条件下的个人助理机器人或其设备；功能测试(如错误引入测试)，循环测试(如耐久测试)，性能测试(如制动性能测试)；
- C(测量)：比较个人助理机器人特征的实际值和限定值；
- D(操作中观察)：检查(如方法 A)个人助理机器人或设备在正常或异常条件下，如在额定负载下、过载情况下和冲击条件下的功能；
- E(检查线路图)：有条理的复查或排查线路图(电气、气动、液压等)的设计和 Related 说明书；
- F(检查软件)：有条理的复查或排查软件代码和相关说明书。宜按规定进行软件代码的检查或测试；
- G(复查基于任务的风险评估)：有条理的复查或排查风险分析，风险估计和相关文件；
- H(检查设计图和相关文件)：有条理的复查或排查布局图设计和相关文件。

8 使用信息

8.1 总则

使用信息包括个人助理机器人的正确使用信息。使用信息应不仅针对用户，也针对维护人员。使用说明和其他本标准要求的文本应以个人助理机器人销售地国家的官方语言书写。

标识、符号和书面警告应明确易懂,尤其关于机器人功能部分的内容。易懂的符号(图形)的使用宜优先于书面警告。宜使用个人助理机器人销售地文化能够理解的符号和图形。

应注意,在使用个人助理机器人的特定环境中,并非所有用户都能够阅读使用说明手册或注意和理解音频或视觉警告。这包括但不限于以下情景和用户群体:

- a) 儿童、老年人、智力不健全者;
- b) 动物;
- c) 私人区域的客人/来访者;
- d) 公共区域中机器人附近的第三方群体。

在可预见的情景下,若某些群体无法看到使用信息,这不应导致额外的风险。

此标准要求的标识应清晰耐用。

注:要考虑标识的耐久性,正常使用的影响要考虑。如需经常清洗的容器使用油漆或除玻化搪瓷的搪瓷标识,是不耐用的。

除了 8.2 所述的信息,只要个人助理机器人销售地区条件允许,使用信息不仅可以是印刷材料,也可以使用电子传媒形式。

8.2 标识或指示

从机器人外部或如需拿掉外罩后,个人助理机器人的标识应清晰可辨。

个人助理机器人正常使用时,以下信息应可见:制造商或供应商的名字、商标或识别标志以及型号或类型编号。若机器人内置于建筑或其他结构中(如家具),机器人按照说明安装后也需符合此要求。

开关和控制器应清晰标记,以免引起混淆。

个人助理机器人应包括以下标识:

- 制造商的企业名称和详细地址,以及授权代理商(如适用);
- 个人助理机器人的类型/名称;
- 如果适用,法律规定的标识;
- 个人助理机器人的类型或系列名称;
- 序列号(若存在);
- 生产年份,即制造过程完成的年份。

以下技术信息应在个人助理机器人主要部位标注:

- 额定电压或额定电压范围(单位为伏特);
- 除非额定频率已标识,否则应给出电源性质的符号;
- 额定功率输入(单位为伏特)或额定电流输入(单位为安培);
- IP 号根据防水的保护等级,除了等级为 IPX0 的;
- 个人助理机器人的二级制造符号 IEC 60417-5172 (2003-02)(参见 IEC 60335-1);
- 个人助理机器人的三级制造符号 IEC 60417-5180 (2003-02)(参见 IEC 60335-1);只通过电池供电的个人助理机器人无需此标识(由个人助理机器人外部充电的原电池或蓄电池);
- 超过 10 千克的个人助理机器人和/或可移除部位的质量(单位为千克)。

物理量的单位及其符号应使用国际标准系统(SI)。

具有额定电压值以及在此范围内无需调整就可运行的个人助理机器人,应标明其额定电功率范围的上下限。

具有不同额定电压值以及使用时需用户或安装者将电压调整到特定值的个人助理机器人,应标明不同值。

标明一种以上额定电压或具有一种或多种额定电压范围的个人助理机器人,应标明每个额定电压或范围下的额定功率输入或额定电流。但是如果额定电压范围限定不超过范围的算术平均值的 10%,

额定功率输入或额定电流的标识可以与范围的算术平均值相关。个人助理机器人应标明额定功率输入和额定电流的上下限,以明确功率输入和电压的关系。

若用符号做标记,应符合 IEC 60417, IEC 60204-1 和 ISO 7010 的要求。部分例子见附录 E。

注 1: 可以发现上述标准中的符号意义有些不一致。如同一符号在 IEC 60417-5007 (DB:2002-10) 中仅意为“ON”(电源),然而在 IEC 60204-1 中意为“START”或“ON”。

对于开关标识,个人助理机器人与供电电源的不同连接位置和控制装置的不同位置应用数字、字母或其他可见符号标明。此要求同样适用于指令装置的开关。

若用数字标明不同位置,关闭位置应使用数字“0”标明,更高值的位置(如输出、输入、速度或冷却功能)应使用更高数字标明。

除非与其他数字一起使用,其他任何指示都不应用数字“0”,以避免造成与关闭位置指示的混淆。

对于信号和警告装置,可见信号如闪光灯和声音信号如警报,可以用于警告发生危险状况,如个人助理机器人的启动或超速。此类信号也可以用于触发自动保护措施前警告操作者。

此类信号应:

- a) 明确,与其他信号可以清楚区分。且
- b) 对于操作者和其他人员清楚可见。

警告装置的设计和安装位置应确保容易检查。使用信息应规定定期检查警告装置。

设计者应注意由信号过多引起的“用户过载”的可能性,“用户过载”会导致信号混淆,从而降低警告装置的效果。

注 2: 与用户的协商往往是必要的。

对于可替换的保护性装置,是否符合此标准取决于可替换热熔断丝或保险丝的运行,用于识别保险丝的参数或其他内容应标注于清晰可见的位置,在需要拆开个人助理机器人以替换保险丝时依然可见。

注 3: 只要保证在保险丝在熔断后依然可辨,标识可置于保险丝上。

此项要求不适用于和个人助理机器人的某个部件一起替换的保险丝。

8.3 用户手册

个人助理机器人应提供用户手册,以保证机器人的正确使用。用户手册应包括以下内容:

- a) 个人助理机器人的详细描述;
- b) 个人助理机器人所预定的全面的应用范围,包括禁止使用内容(若存在),适当时考虑原来个人助理机器人的改变;
- c) 指令装置;
- d) 设置与调整;
- e) 模式和停止方式(特别是紧急停止);
- f) 特殊风险,包括特定功能或使用特定配件导致的剩余风险;以及这类功能必要的具体安全防护措施;
- g) 合理可预见的错误使用和禁止应用,如让个人助理机器人与儿童玩耍;
- h) 错误识别和定位,用以干预后重置和重启;
- i) 事故和故障后的操作方法。

注: 可以在个人助理机器人上标注使用说明,保证正常使用时可见。

若用户维护期间有必要采取预防措施,则应提供合适细节。

用户更换个人助理机器人内置电池的说明应包括:

- 电池的型号标识;
- 正确的充电步骤/设备;
- 更换电池的方法;

- 安全处理废旧电池的细节；
- 使用非充电电池的警告；
- 错误使用电池(如锂电池的深度放电)的警告；
- 电池泄漏的处理方式。

若安装个人助理机器人时有必要采取预防措施,应提供合适的细节;若安装只能由维护人员进行,则安装信息应包含于服务手册。

使用说明应包括个人助理机器人的运输、搬运和贮存信息,如:

- 质量值,重心位置;
- 搬运指示(如标出起重设备的作用点);
- 贮存环境条件。

拆开、停用、报废个人助理机器人的信息应提供。

8.4 服务手册

服务手册应包括个人助理机器人维护/再补给的指示,此类操作要求明确的技术知识或特定技能,因此只能技术人员执行(如维护人员,专家)。

针对专业人员的维护说明和针对非技术人员的维护说明应清楚的予以区分。

维护说明应包含足够的信息以确保维持个人助理机器人的安全、质量、功能在同等水平。

个人助理机器人的信息必要时应包括以下内容:

- a) 对设备安装和固定及电源设备连接的清楚易懂的描述;
- b) 电源要求;
- c) 适当时,提供物理环境信息(如照明,振动,噪音水平,大气污染物);
- d) 以下方面的信息(如适用):
 - 个人助理机器人的安装、使用或维护所需的编程;
 - 操作顺序;
 - 检查频率;
 - 功能测试频率和方法;
 - 校正、维护和修理的指导,特别是保护性装置和电路;
 - 推荐配件列表;
 - 提供工具的列表。
- e) 安全防护,联锁功能和抗危险的联锁防护装置的相关描述(包括互联图解),特别是针对多个人助理机器人协同操作下;
- f) 安全防护和必要时中止安全防护方式的相关描述(例如安装或维护);
- g) 保障机器人安全维护的步骤说明;
- h) 负载电流,峰值启动电流和允许电压降的信息(如适用);
- i) 采取安全措施后的剩余风险信息。

附录 A

(资料性附录)

个人助理机器人重大危险列表

如 GB/T 15706—2012 中所述,危险识别分析是进行风险评估的重要步骤之一。

这种形式的分析是一种系统化的流程,基于系统或机器通用规范中某些方面的规定来识别系统或机器可能造成的潜在危险。此种系统化的流程既可以包含对于功能性规范或接口的分析或对于既有的类似产品危险的分析,也可以使用一般危险类型的综合集/列表。

考虑到个人助理机器人所有可能应用的范围之广,提出一份全面囊括所有相关危险的目录是不现实的。然而,提供一份宜包含所有应用可能造成的危险的目录是可行的。

本标准对所有涉及的个人助理机器人提供了一份综合列表 A.1,推荐了所有给定的危险源辨识宜达到的最少的覆盖内容。特定危险识别方法的识别结果宜与列表相比较,若发现结果不包括所有列表涉及的全部危险,则宜将危险识别结果扩展或增加,以覆盖剩余风险。

表 A.1 个人助理机器人的危险

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
1	电池充电危险	电池过载	火灾、释放危险气体或物质	5.2	
2		过放电的电池的充电	火灾、释放危险气体或物质	5.2	
3		接触带电的电池接口	电击	5.2	
4		电池短路	火灾、释放危险气体或物质	5.2	
5	能量储存和 供给的危险	高电能的有害接触	触电、烧伤	5.3.1	
6		设备故障时电气组件/ 部件带电	电击	5.3.1	
7		高机械能源的有害 接触	挤压、割伤、受困、烧伤	5.3.1	高机械能部件包括旋 转/高速运动部件、高 压液压或高压气动部 件、燃料燃烧和部件 装配
8		高气动能源的有害 接触	挤压、割伤、受困、烧伤、充血	5.3.1	
9		高液压能源的有害 接触	挤压、割伤、受困、烧伤、充血	5.3.1	
10		高化学能源的有害 接触	烧伤、刺激	5.3.1	
11		高温\高热能源的有害 接触	烧伤	5.3.1	
12		储存能量的非受控释 放(快速放电、爆炸)	火灾、烧伤、挤压、刺伤、割伤	5.3.2	储存能源可出现于气 动和液压蓄力器,电容 器,电池,弹簧,配重 块,飞轮等中

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
13	能量存储和 供给的危险	动力失效	挤压、受困、负载跌落、系统失控	5.3.3	
14		非计划性关闭	挤压、受困、负载跌落	5.3.3	
15		电力过载	火灾	5.3.3	
16		部分掉电(供电电压突降)	其他危险	5.3.3	
17		有害静电放电	电击	5.5.1	
18	机器人启动 造成的危险	非计划/意外启动	其他危险	5.4	
19		启动或重启时的危险 行为	其他危险	5.4	
20	机器人外形 造成的危险	锋利边缘	割伤、切伤、刺伤、擦伤	5.6	
21		运动部件间的孔或 缺口	挤压、受困、夹伤、割伤、切伤、擦伤	5.6	
22		危险部件脱离/跌落	挤压、受困	5.6	
23		碰撞时机器人危险外 形轮廓	冲击受伤、挤压、受困、割伤	5.6	
24	噪声造成的 危险	有害等级的噪音	听力损失、紧张感、不适、丧失平衡 能力、丧失知觉	5.7.1	
25		机器人的有害超声波 排放	听力损失、紧张感、不适、丧失平衡 能力、丧失知觉	5.7.1	
26	认知缺乏 造成的危险	缺乏噪声/无声操作	碰撞人员(造成冲击受伤)或其他 安全相关障碍	5.14	若个人助理机器人的 用户有听觉障碍,并因 此无法在机器人发出 噪声时察觉,此种危险 应予以考虑。 不适用于约束型身体 辅助机器人
27	危险的振动	有害等级的振动	肌腱炎、背痛、不适、精神疾病、关 节炎、运动疾病以及其他振动相关 损伤	5.7.2	
28		由振动产生的显示可 读性降低	错误的用户操作或失去用户控制 造成的有害事件	5.7.2	
29	危险物质和 液体	接触个人助理机器人 泄漏的有害物质/液体 (如液压液体)	烧伤、刺激、过敏	5.7.3	
30		个人助理机器人散发 的挥发性溶剂或气体	过敏、刺激、窒息、致盲	5.7.3	
31		接触机器人表面引起 的过敏反应	刺激、过敏	5.7.3	

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
32	危险环境状况	高灰尘等级	火灾、其他危险	5.15	个人助理机器人在以下情形进行操作时应给予考虑： ——家庭环境； ——存在大量粉尘或细颗粒物(如厨房)； ——机器人在维护检查间隔中长期工作
33		泥沙	磨损表面造成的锋利边缘、运动部件阻塞造成不安全的位姿/构形、降低制动性能造成碰撞	5.15	个人助理机器人在户外环境下进行操作时应给予考虑
34		个人助理机器人暴露于冰雪	运动部件阻塞、短路、传感器干扰造成的错误动作、其他危险	5.15	个人助理机器人在冬季环境或寒冷区域进行操作时应给予考虑
35		个人助理机器人暴露于水和湿气	短路造成的功能故障、火灾、掉电	5.15	个人助理机器人在户外环境或近水体、水源、水喷溅进行操作时应给予考虑
36		机器人暴露于含盐空气或盐水喷溅(如海洋或沿海环境)	结构失效、腐蚀造成的功能失效引起的其他危险、电池/电源失效、短路危险	5.15	个人助理机器人在近洋、近海或其他盐水水体(或船舰上)的户外环境下进行操作时应给予考虑
37	极端温度	热表面	烧伤、紧张感、不适	5.7.4	
38		冷表面	烧伤、冻疮、紧张感、不适	5.7.4	
39		显示可读性降低	错误的用户操作或失去用户控制造成的有害事件	5.7.4	
40	危险非 电离辐射	机器人的有害非相干光辐射	烧伤、眼外伤	5.7.5	
41		机器人的有害相干光(激光)辐射	眼睛损伤(盲点、完全失明)	5.7.5	不适用于约束型身体辅助机器人
42		机器人的有害等级电磁干扰	对医疗植入物/设备造成危险的影响,对外部机械、电气系统造成危险的影响,对基础设施控制系统(如交通、电力输送、照明系统、通信)造成危险的影响	未包含在此标准使用范围。相关设备请参考电磁兼容性标准如 IEC 61000 系列	

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
43	危险电离辐射	机器人的有害等级电离辐射	放射性疾病、影响生殖能力、突变	5.7.6	除了机器人应用没有其他选择的情况,个人助理机器人不应使用电离辐射源。 涉及电离辐射的所有用户都应接受单独的特殊风险评估
44	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	如各功能定义	5.8	个人助理机器人的所有安全功能都应给予考虑
45		外部电磁干扰造成的意外功能操作	如各功能定义	5.8	个人助理机器人的所有功能都应给予考虑(应用/服务功能和安全功能) 后果和影响区域由功能危险分析确定(参见条目 66)
46		外部电磁干扰造成的个人助理机器人危险运动(如失控、意外运动)	挤压、受困、冲击、碰撞、割伤、切伤	5.8	
47		外部电磁干扰造成的机器人不安全状态	挤压、受困、冲击、割伤、切伤、火灾、烧伤	5.8	
48	压力、姿势和使用危险	机器人操作需要的有压力的姿势	肌肉骨骼疾病	5.9.2	
49		操作环境引起的身体不适	疲劳、肌肉紧张或发炎	5.9.2	疲劳可能由长期承受引人不适的声音/噪声、光、热或其他因素导致
50		错误的用户身材设定	有压力的身体姿势、用户疲劳、肌肉损伤/产生疾病	5.9	
51		低劣的用户界面设计及/或指示位置,以及视觉显示装置	用户对个人助理机器人错误理解引起的不适	5.9.3	
52			用户在危险情况下反应迟缓	5.9.3	个人助理机器人的所有需要用户通过界面适时操作的安全功能都应给予考虑

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
53	压力、姿势和使用危险		过量的虚假警报促使用户忽视/关闭警报,导致用户没有对报警信号作出反应	5.9.3	
54			低劣的控制-显示关系,导致错误/不当的用户反应	5.9.3	当用户状况恶化时,应同时考虑性能的变化
55		个人助理机器人能见度差	人员过失造成其他危险的出现	5.9	
56	机器人运动造成的危险	机械不稳定性(翻转、掉落、过度倾斜)	挤压、受困、负载坠落	5.10.2	
57		机械不稳定性——搬运负载时翻转	挤压、受困、负载坠落	5.10.2	
58		行走不稳定性——基本行走模式中翻滚	挤压、受困、割伤/切伤、负载坠落	5.10.3	基本行走模式包括: ——向前/向后行走; ——旋转; ——转弯; ——加速; ——减速。 不适用于约束型身体辅助机器人
59		行走不稳定性——基本行走模式中失控	碰撞、负载坠落、环境损坏	5.10.3	
60		行走不稳定性——由于乘客位置错误引起翻滚	挤压、受困、割伤/切伤、负载坠落	5.10.3	仅适用于载人机器人
61		负载时不稳定性——在执行任务时安全相关对象掉落或坠落	环境损坏、释放有害物质、(灼热液体的)烧伤、(锋利物体的)割伤/切伤	5.10.4	
62		碰撞不稳定性——碰撞后翻滚或翻转	挤压、受困、割伤/切伤、负载坠落	5.10.5	不适用于约束型身体辅助机器人
63		碰撞不稳定性——碰撞后失控	碰撞、负载坠落、环境损坏	5.10.5	不适用于约束型身体辅助机器人
64		碰撞后主体部件脱离	挤压、受困	5.10.5	
65		使用约束型身体协助机器人时的不稳定性	挤压、受困、冲击伤害	5.10.6	仅适用于约束型身体辅助机器人
66		移除约束型身体协助机器人时的不稳定性	挤压、受困、冲击伤害	5.10.6	仅适用于约束型身体辅助机器人
67		乘客上下机器人时翻倒	乘客跌落受伤、挤压、受困	5.10.7	仅适用于载人机器人
68		乘客上下机器人时失控	乘客跌落受伤、挤压、受困	5.10.7	仅适用于载人机器人

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
69	与安全相关 障碍的碰撞	与安全相关障碍的碰撞	B 钝击创伤、割伤/切伤	5.10.8	不适用于约束型身体辅助机器人
70		与家养动物的碰撞	动物受伤(或死亡)、人员受伤或环境损坏导致动物受惊吓	5.10.8	动物的反应可包含 动物撕咬机器人 动物踩踏机器人 动物受机器人惊吓而逃离 动物由于机器人在场而惊恐或忧虑 动物由于机器人的行为而受伤 不适用于约束型身体辅助机器人
71		与其他机器人的碰撞	挤压、受困、负载坠落	5.10.8	不适用于约束型身体辅助机器人
72		与易碎的安全相关障碍的碰撞	环境损坏、负载坠落、有害物质释放、(灼热液体的)烧伤、(锋利安全相关对象的)割伤/切伤	5.10.8	不适用于约束型身体辅助机器人
73		与墙壁、固定/不可移动障碍的碰撞	环境损坏、有害物质释放、(灼热液体的)烧伤、(锋利安全相关对象的)割伤/切伤	5.10.8	不适用于约束型身体辅助机器人
74	人机交互时的 危险身体接触	无法探测工作空间内的安全相关对象	与安全相关对象的碰撞(参见序号 62)	5.10.9	所有功能和任务(服务/应用相关及安全相关)都应给予考虑不适用于约束型身体辅助机器人
75		接触交互时的有害的物理反应水平	割伤/切伤、挤压、受困	5.10.9	所有计划的接触式人机交互都应给予考虑交互时以下(相关)物理参数应包含: ——皮肤-机器人的摩擦; ——剪切应力; ——动态冲击; ——扭矩; ——重心弧; ——负重转移; ——对人体的支撑
76		与机器人部件的非预定接触交互	钝击受伤、受困、挤压	5.10.9	

表 A.1 (续)

序号	危险项	危险分析		安全要求 相关条款	备注
		危险	可能后果		
77	耐用性不足	耐用性不足导致机器人部件失效	其他危险	5.11	所有功能和任务都应给予考虑 (相关)耐用性的缺乏可包括: ——机械应力/疲劳; ——材料及其特性; ——振动和其他排放物; ——(正常和不利的)环境状况; ——正常操作; ——可预见的异常操作(非预定的行走形式、负载); ——可预见的误用(如超负荷、故意破坏)
78	危险的自主行为	执行任务时的有害行为	其他危险	5.12	所有个人助理机器人(安全相关以及服务/应用相关的)功能和任务都应进行功能危险识别分析
79	与运动部件的危险接触	与机械运动部件的有害接触	卷入、受困、挤压、割伤	5.13	
80	定位和导航错误造成的危险	定位错误导致个人助理机器人意外移动	挤压、受困、冲击受伤、负载坠落	5.16	
81		定位错误导致进入禁止区域	碰撞、挤压、受困、冲击受伤、负载坠落	5.16	
82		定位错误导致机械不稳定性	翻滚、挤压、受困、负载坠落	5.16	
83		导航错误导致无法到达目标位置或无法避开安全相关障碍	碰撞、挤压、受困、冲击受伤、环境损坏	5.16	
84	其他危险项	拙劣/不恰当的指示和培训材料	由用户失误或错误行为导致的有害事件	全部	
85		穿着户外服饰,包括手套、帽子、太阳镜、靴子,导致用户操控能力下降	传感度减弱、控制精度减弱、由用户失误或错误行为导致的有害事件	全部	

附录 B
(资料性附录)
个人助理机器人操作空间示例

B.1 自主移动载人载具(载人机器人)

一个 200 kg 的载人机器人正在博物馆中自行移动。房间的墙壁决定了最大可移动空间。机器人工作空间的地面规划源自博物馆的地面规划。机器人具有一支有一定的体积,可移动和可伸展的机器人手臂,机器人手臂不宜接触墙壁。以上条件确定了限定空间。见图 B.1。

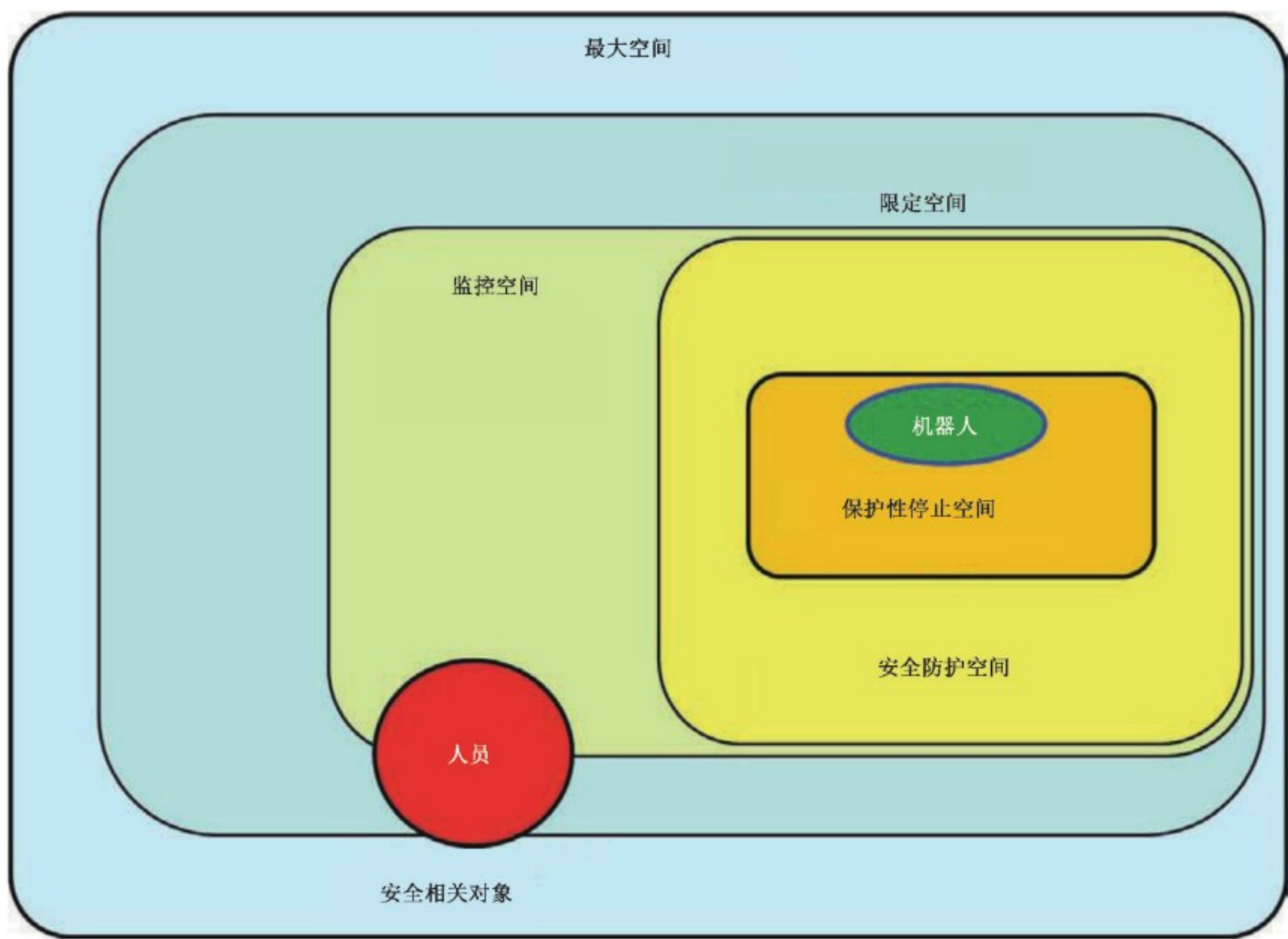


图 B.1 自主载人机器人的操作空间

- a) 机器人只允许在房间的中央区域和门口移动。机器人自主移动时,通过安装在机器人上的传感器对周围环境进行观测,通过安装在设施上的传感器定义动态监测空间。
- b) 当机器人在房间中移动时,会动态更新其安全防护空间及其保护性停止空间。一旦安全相关对象进入安全防护空间,机器人将依据机器人和安全相关对象的实际速度,降低在此环境中自身移动速度,以此维持安全相关对象的安全边界。
- c) 如果安全相关对象进入保护性停止空间,机器人将保护性停止。对于此类机器人,监控空间重叠并至少覆盖安全防护空间,以保障机器人可获取规划其运动所有信息从而不发生碰撞或陷入危险的处境非常重要。
- d) 如果安全相关对象突然进入机器人安全防护空间,机器人的路径规划器会发出机器人指令使

其立即重新计算路径,根据它们的相对速度决定绕过移动的安全相关对象或令机器人停止运动。

B.2 操作机型个人助理机器人(移动仆从机器人)

此种情况适用于工业机器人应用。最大空间由静止的机器人手臂的最大延伸长度决定,机器人需在其最大空间内与人员协作。

此类个人助理机器人的两种情况应给予区分:

- a) 手动操作:机器人完全由手工引导,因此操作员对机器人的运动可以完全的控制和操纵,无需传感器和提供空间的定义。
- b) 半自主操作:操作员只需给出需要执行的特定动作。机器人应用传感器以及路径规划的其他形式来执行要求的操作。操作员控制安全相关功能,但可能对突发状况来不及反应。机器人应使用传感器来识别目标(可能为人员)和执行预期任务的位置。接受服务的人员位于最大空间之内。

安全防护空间在同一的区域内定义,安全相关对象和机器人之间的安全交互可能在较低(安全)的速度下进行。传感器主动地保证了安全相关对象和机器人的位置。如果安全相关对象移动和机器人进入保护性停止空间,可能采用安全防护空间和保护性停止空间对机器人的控制,机器人会进行保护性停止。见图 B.2。

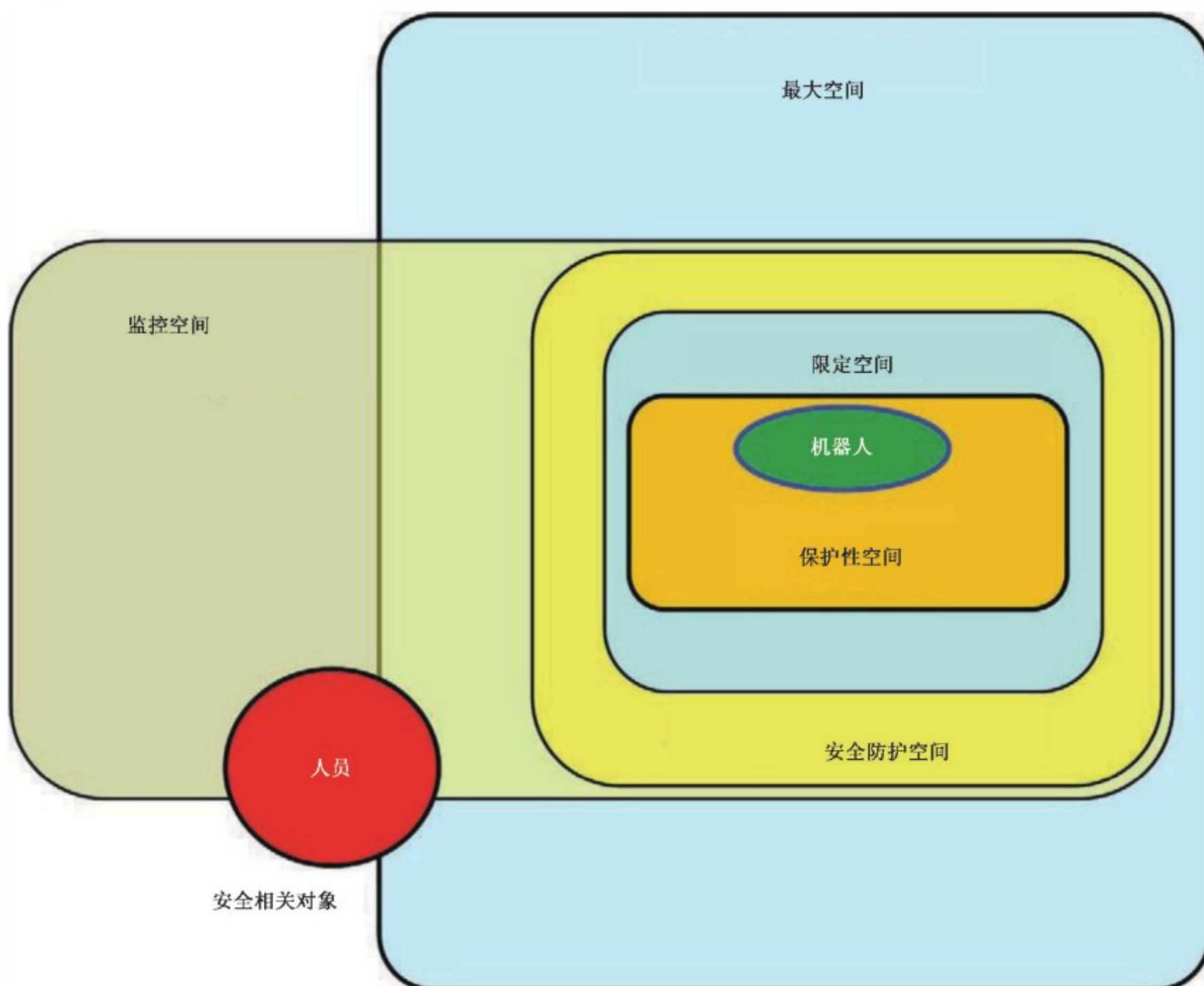
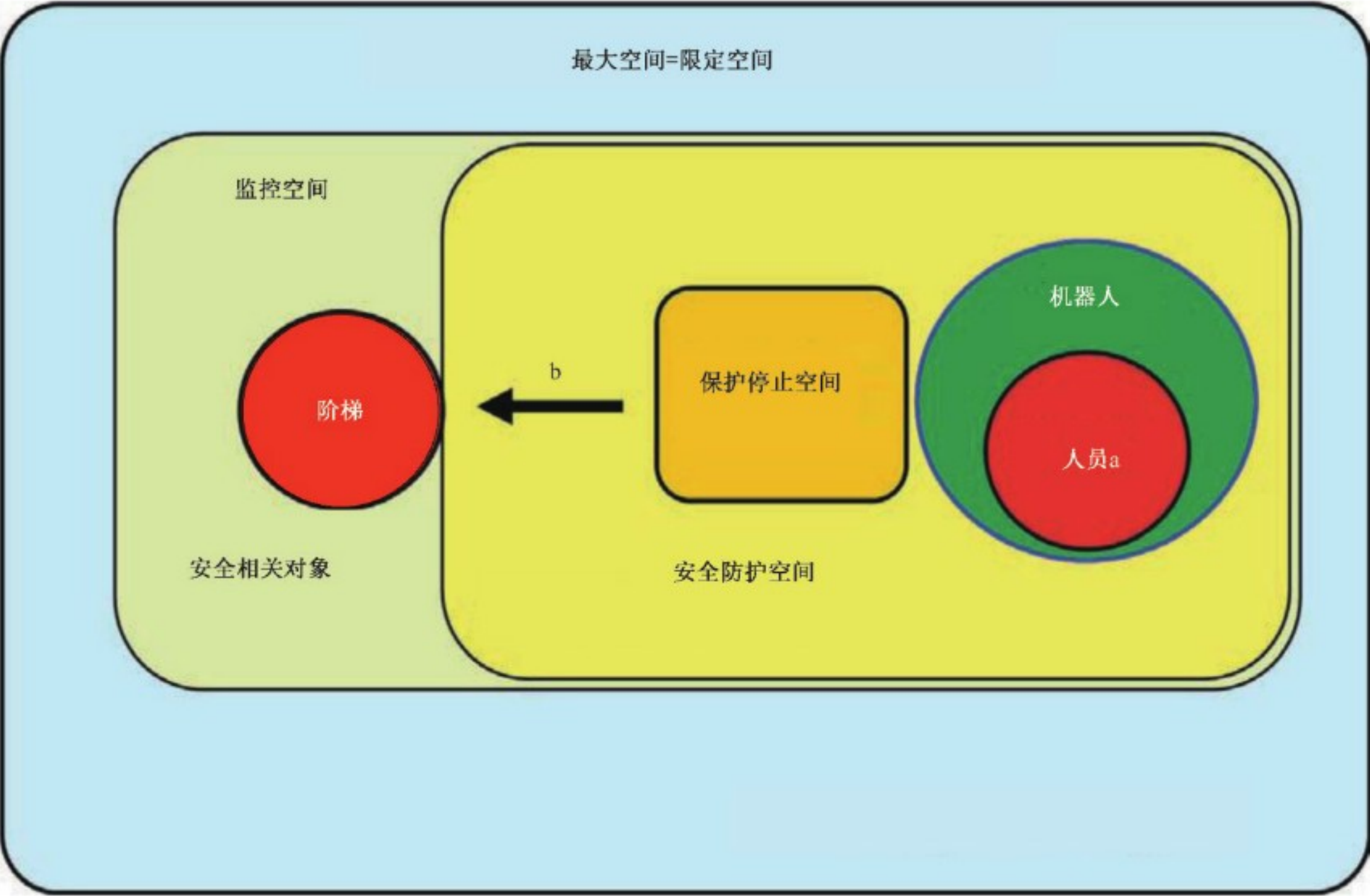


图 B.2 带有操作机的个人助理机器人的操作空间

B.3 外骨骼(身体辅助机器人)

健康人使用外骨骼来减轻其身体工作负荷。
可能存在以下两种情况：

- a) 手动控制：外骨骼的用户控制机器人(套装)的所有运动。无需环境传感器。
- b) 机器人套装配备覆盖监控空间的环境传感功能，例如，避免穿戴外骨骼的人员偶然走下阶梯（安全相关对象）。套装可控制/影响操作员。在此种应用中没有定义最大空间，载人机器人决定走向。禁止区域(阶梯及其他安全相关障碍)的位置在机器人移动时在机器人控制系统中动态更新。因此，安全防护空间和保护性停止空间在操作员/机器人移动时持续计算。如果安全相关对象进入安全防护空间，会对操作员发出信号并降低对操作员的支持使得操作员可以以此方式安全地降低速度。如果机器人进入保护性停止空间，机器人会安全停止，只容许操作员改变方向，不能继续向阶梯移动。见图 B.3。



说明：
a——安全相关对象；
b——瞬时运动方向。

图 B.3 身体辅助机器人的操作空间

附录 C

(资料性附录)

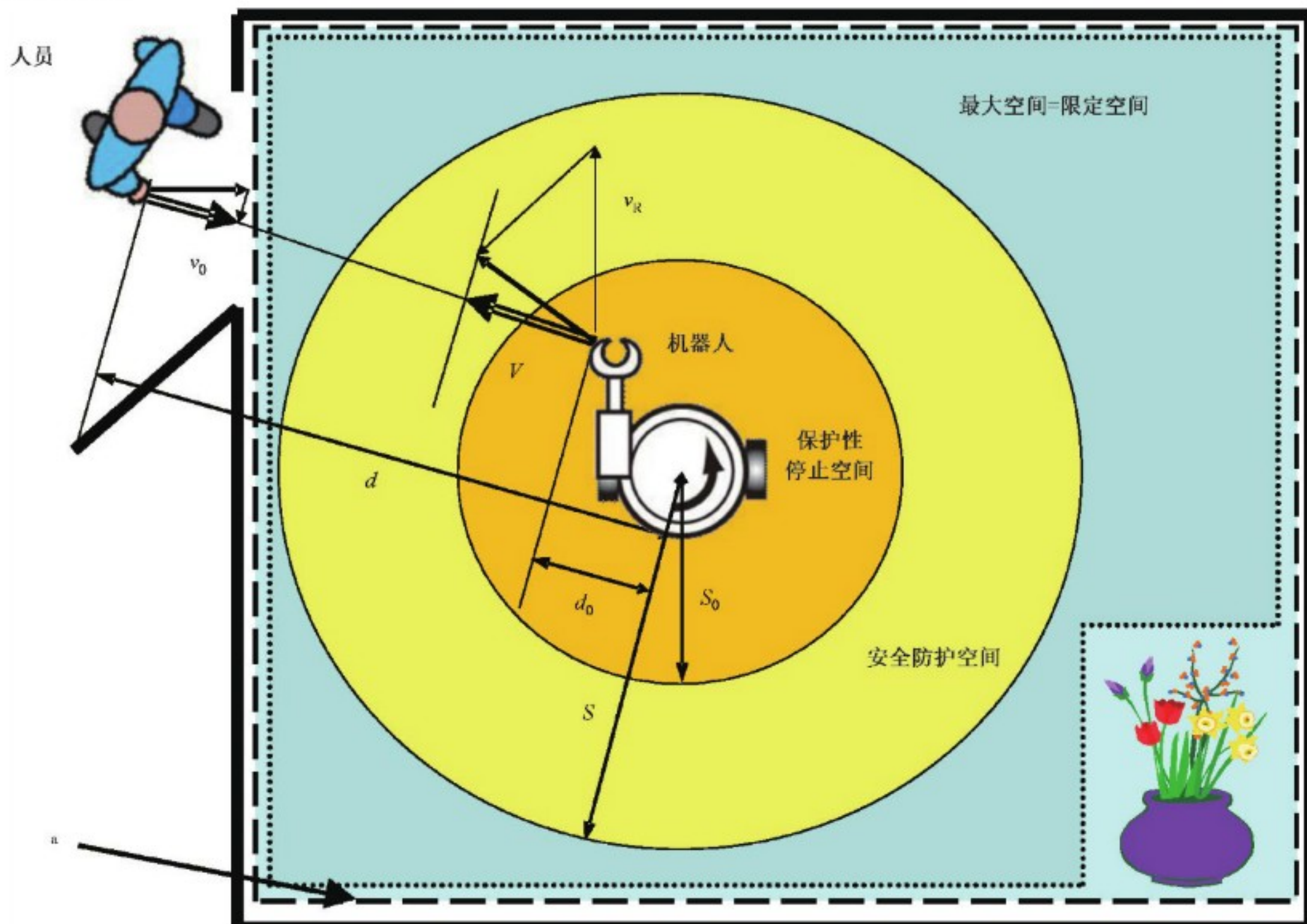
安全防护空间实现示例空间

基于 3.18.1~3.18.5 安全相关空间的定义和图 1,本附录介绍个人助理机器人的一个应用示例。采用典型的安全防护措施同时实现人-机器人共存系统的目标。此示例涉及 5.10.8 中陈述的碰撞规避,需注意这些应用中的安全相关空间定义相同。

图 C.1 显示了一个带有操作机的移动个人助理机器人,具有障碍规避的能力并通过安全相关速度控制。注意此应用中使用的是相对速度。考虑物体的远程检测接近速度 v_0 ,可根据角速度 ω 及机器人在安全相关障碍的接近方向上的速度分量 v_{req} 计算机器人速度 v_R ,它们之间满足式(C.1):

$$v_{req} \leq \frac{d - S_0}{T} - v_0, \text{当 } d - S_0 > 0 \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

其中 T 代表检测周围安全相关障碍并降低机器人速度所需的系统响应时间, d 代表机器人(中心)到安全相关障碍的距离, S_0 代表的最小距离可通过 5.10.8.3a) 的方法计算。需注意如果机器人严格保持与安全相关对象间的距离,可能导致当安全相关对象接近时,机器人以一定的相对速度向后倒退,使得 $\frac{d - S_0}{T} < v_0$ 。最后,当安全相关障碍在距离满足 $d = S_0$ 时继续接近机器人,机器人会作出保护性停止。需注意机器人和周围安全相关障碍的运动皆可以矢量形式表示。此外,很明显,如果机器人系统无法成功检测安全相关障碍的速度,在安全防护空间中机器人的速度应持续降低至一个预先精确计算的微小数值 v_{min} 。

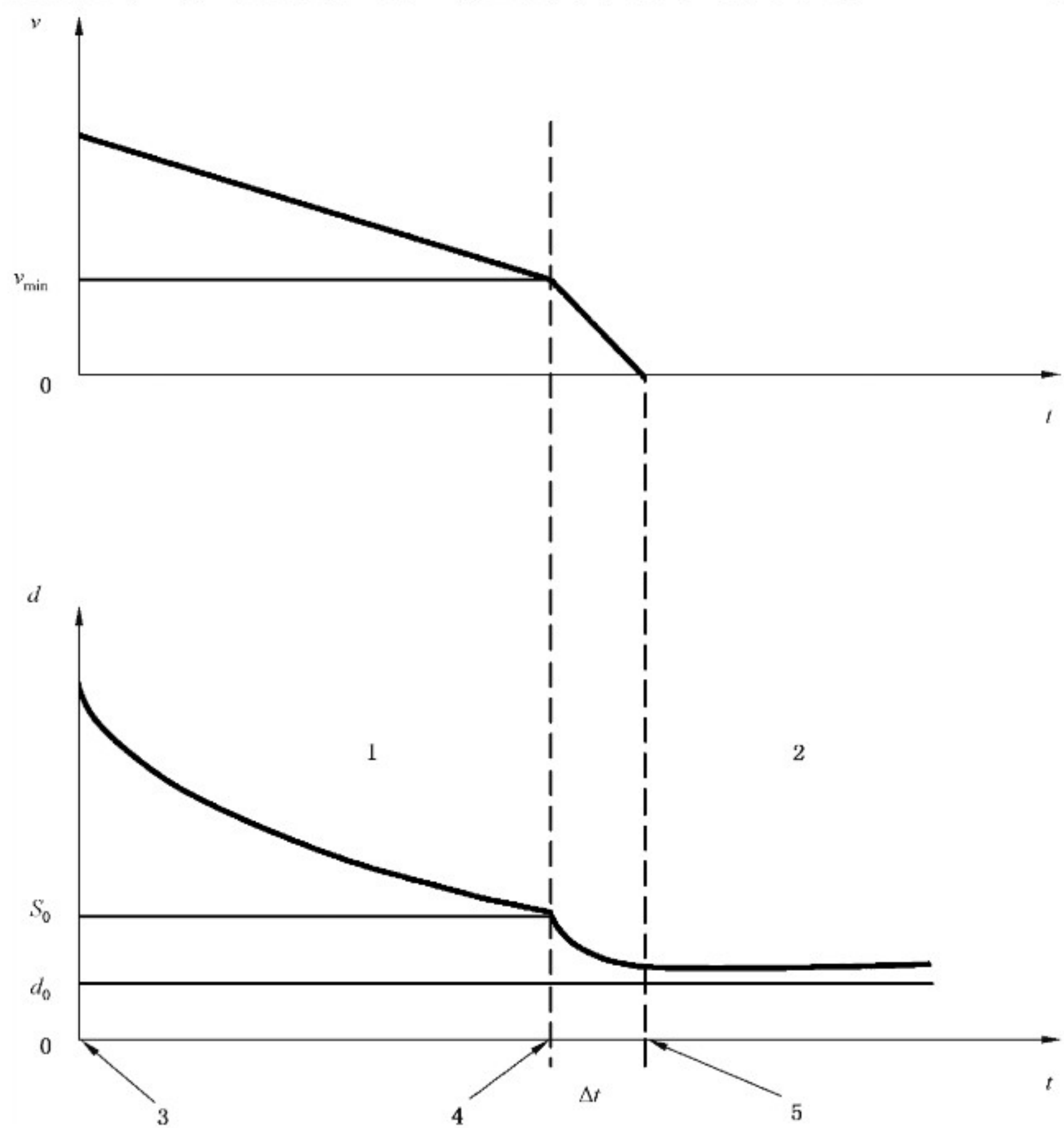


说明:

a——最大空间。

图 C.1 带有移动平台上的操作机的个人助理机器人应用

图 C.2 表示了机器人安全防护功能激活以躲避障碍时,其速度的模式及安全相关障碍的距离。如果 $d - S_0 > 0$, 则可根据式(C.1)改变 v 。在间隔 Δt 内,减速度可能为非线性,并可根据如温度、湿度等不同环境状况而改变。在线性减速度下,安全停止会导致额外的路径长度 $\Delta d = 0.5 \times v_{\min} \times \Delta t$ 。



说明:

- 1——安全防护空间;
- 2——保护性停止空间;
- 3——安全防护生效;
- 4——制动生效;
- 5——安全停止。

图 C.2 安全防护空间的安全距离和最大相对速度

附录 D

(资料性附录)

个人助理机器人功能性任务示例

表 D.1, 表 D.2 和表 D.3 提供了个人助理机器人功能性任务示例。

表 D.1 移动仆从机器人

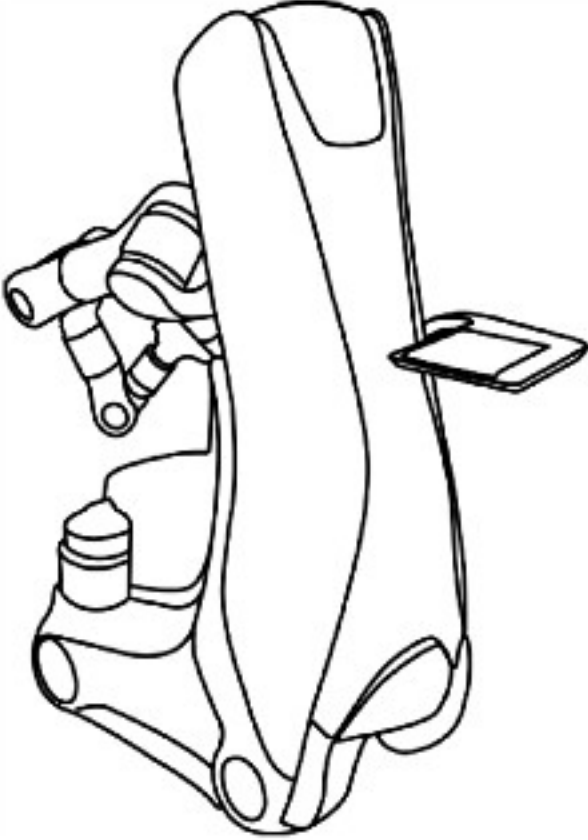
移动仆从机器人分类	需执行的功能性任务
室内环境或公共建筑中的移动仆从机器人 	在室内环境或公共建筑中行走,同时避免与静止或移动的安全相关障碍发生碰撞。此类运动可包含点到点运动和覆盖全部区域的运动。 与人员进行交换物品等交互。机器人能够主动给予或被动接受。 小型或中型物品(如咖啡杯,餐盘,书籍)的处理包括抓取、使用、运输、放置及移交物品。 处理大型物品可能受到限制,如打开门、窗、抽屉、洗碗机等活动,机器人为扩大工作空间可能需要行走

表 D.2 身体辅助机器人

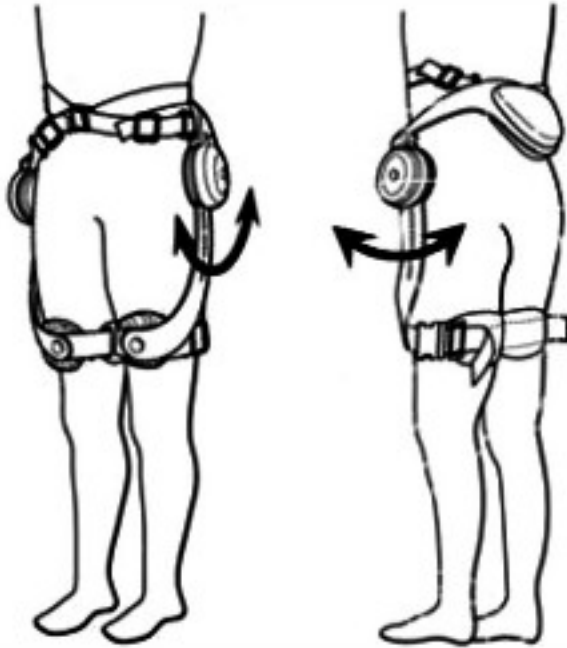
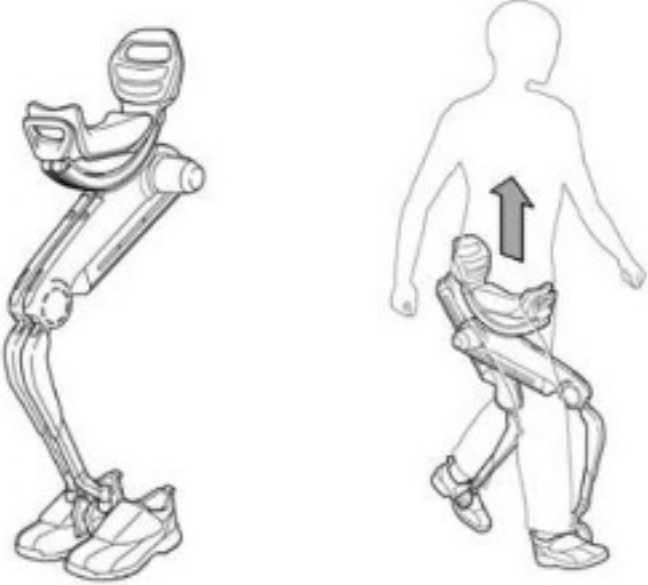
身体辅助机器人分类	需执行的功能性任务
腿部运动辅助装置 	对用户的大腿进行协作控制,以控制迈步并实现舒适行走
身体重量支撑装置 	通过支持用户身体的部分重量,减轻站立或行走时腿部、臀部、膝盖和脚踝的负担

表 D.2 (续)

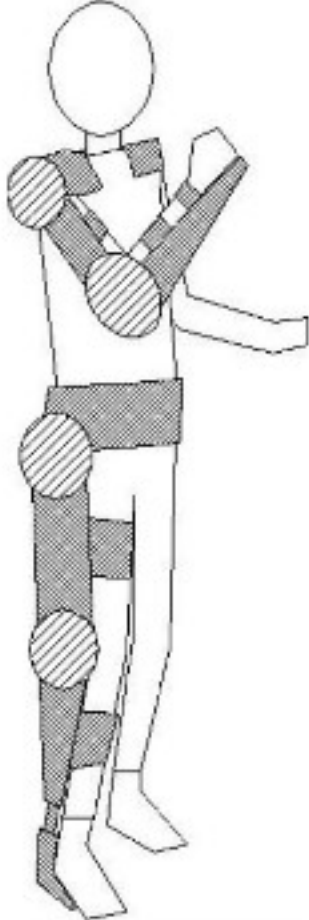
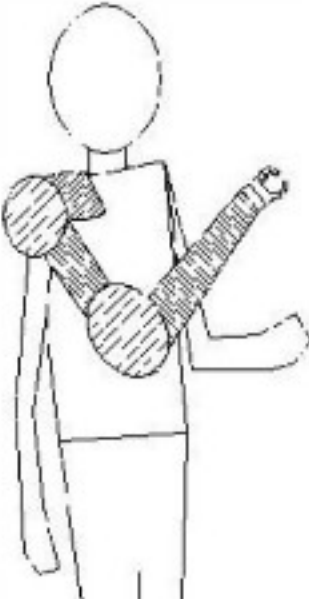
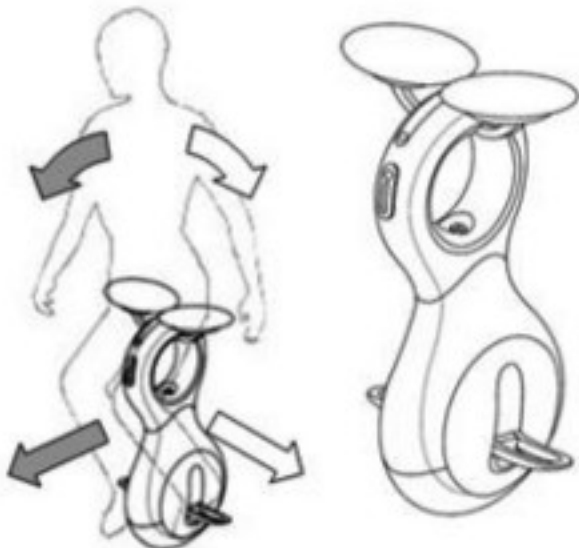
身体辅助机器人分类	需执行的功能性任务
可穿戴外骨骼机器人 	在物理上支撑人体,通过与人体的直接作用和用皮带或夹具等固定到人体操作人体部位。 用户携带相似于或高于成人平均力量的负载
可穿戴机器人 	直接为人员提供的固定夹具而无需侵入,如皮带和夹具,为灵活操作提供直接交互。 使用户能够携带类似身体健康人承受的负载
非约束型辅助机器人 	辅助老人/疲惫的人员上下座椅,床等。 在有人或无他人帮助的情况下,辅助在平地上进行基本的移动任务。 使日常独立生活提供更轻松舒适

表 D.3 载人机器人

载人机器人分类	需执行的功能性任务
乘客站在踏板上的载具 	使用轮式移动平台,以自主或手动模式,将人从平面上的一个地点移动到另一地点。 通过转移基座踏板上的乘客重量控制行走方向
腿式载人载具 	使用腿式移动平台,以自主或手动模式,将人从三维面上的一个地点移动到另一地点
乘客坐于其中的独轮式载具 	使用轮式移动平台,以自主或手动模式,将人从平面上的一个地点移动到另一地点。 通过转移乘客重量控制行走方向
轮式载人载具 	使用轮式移动平台,以自主或手动模式,将人从平面上的一个地点移动到另一地点

附录 E
(资料性附录)
个人助理机器人标志示例

表 E.1 提供了个人助理机器人标志示例。

表 E.1 个人助理机器人安全和其他标志示例

ISO 7010-W001  通用警告 表示通用警告	ISO 7010-W08  跌落 当心跌落	ISO 7010-W012  当心触电 警告小心触电
ISO 7010-W017  热表面 当心高温表面	ISO 7010-W018  自动启动 当心自动启动	ISO 7010-W019  当心挤压 当心移动的机械部件
ISO 7010-W022  锋利部件 当心锋利部件	ISO 7010-W024  当心夹手 当心设备机械部件的关闭运动	ISO 7010-W025  对转辊 当心可能拖入转辊

表 E.1 (续)

ISO 7010-W026  电池 当心电池危险	ISO 7010-M012  必须握住扶手	ISO 7010-M021  必须在维护或修理请断开电源
ISO 7010-P011  禁止用水灭火	ISO 7010-P012  禁止放置重物	ISO 7010-P015  禁止手伸入
ISO 7010-P017  禁止推移	ISO 7010, PO18  禁止坐卧	ISO 7010-P019  禁止踩踏
ISO 7010-P021  禁止犬类	ISO 7010, PO22  禁止饮食	ISO 7010-P023  禁止阻塞

表 E.1 (续)

ISO 7010-P024  禁止在此处行走或停留	ISO 7010, PO31  禁止改变开关状态	
IEC 60417-1:5210  标识“可对讲”设施	IEC 60417-1:5546  标识检测电池状态	IEC 60417-1:5569  标识该功能处于上锁状态

参 考 文 献

- [1] ISO 1996 (all parts) Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise
- [2] ISO 2919 Radiological protection—Sealed radioactive sources—General requirements and classification
- [3] ISO 3740 Acoustics—Determination of sound power levels of noise sources—Guidelines for the use of basic standards
- [4] ISO 3925 Unsealed radioactive substances—Identification and documentation
- [5] ISO 4126 (all parts) Safety devices for protection against excessive pressure
- [6] ISO 6385 Ergonomic principles in the design of work systems
- [7] ISO 7176 (all parts) Wheelchairs
- [8] ISO 7212 Enclosures for protection against ionizing radiation—Lead shielding units for 50 mm and 100 mm thick walls
- [9] ISO 7243 Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT index(wet bulb globe temperature)
- [10] ISO 7250 (all parts) Basic human body measurements for technological design
- [11] ISO 9000:2005 Quality management systems—Fundamentals and vocabulary
- [12] ISO/TR 9241-100 Ergonomics of human-system interaction—Part 100: Introduction to standards related to software ergonomics
- [13] ISO 9241-210 Ergonomics of human-system interaction—Part 210: Human-centred design for interactive systems
- [14] ISO 9241-400 Ergonomics of human—system interaction—Part 400: Principles and requirements for physical input devices
- [15] ISO 9241-920 Ergonomics of human-system interaction—Part 920: Guidance on tactile and haptic interactions
- [16] ISO 10218-1:2011 Robots and robotic devices—Safety requirements for industrial robots—Part 1: Robots
- [17] ISO 10218-2:2011 Robots and robotic devices—Safety requirements for industrial robots—Part 2: Robot systems and integration
- [18] ISO 11200 Acoustics—Noise emitted by machinery and equipment—Guidelines for the use of basic standards for the determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions
- [19] ISO 11228-1 Ergonomics—Manual handling—Part 1: Lifting and carrying
- [20] ISO/TR 11688 (all parts) Acoustics—Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment
- [21] ISO 13732 (all parts) Ergonomics of the thermal environment—Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces
- [22] ISO 13823 General principles on the design of structures for durability
- [23] ISO 13849-2 Safety of machinery—Safety-related parts of control systems—Part 2: Validation
- [24] ISO 14123 (all parts) Safety of machinery—Reduction of risks to health from hazardous

substances emitted by machinery

[25] ISO 14152 Neutron radiation protection shielding—Design principles and considerations for the choice of appropriate materials

[26] ISO 14738 Safety of machinery—Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery

[27] ISO/TS 15066 Robots and robotic devices—Safety requirements for industrial robots—Collaborative operation3)

[28] ISO/TS 15666 Acoustics—Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys

[29] ISO 15667 Acoustics—Guidelines for noise control by enclosures and cabins

[30] ISO 15686-1 Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 1: General principles and framework

[31] ISO 15686-2 Buildings and constructed assets—Service life planning—Part 2: Service life prediction procedures

[32] IEC/TS 61000-1-2 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 1-2: General—Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena

[33] IEC 61000-4-2 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-2: Testing and measurement techniques—Electrostatic discharge immunity tests

[34] IEC 61000-6-1 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-1: Generic standards—Immunity for residential, commercial and light-industrial environments

[35] IEC 61000-6-2 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-2: Generic standards—Immunity for industrial environments

[36] IEC 61000-6-3 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-3: Generic standards—Emissionstandard for residential, commercial and light-industrial environments

[37] IEC 61000-6-4 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 6-4: Generic standards—Emissionstandard for industrial environments

[38] IEC 61160 Design review

[39] IEC 61508-7 Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems—Part 7: Overview of techniques and measures

[40] IEC 61800-5-2 Adjustable speed electrical power drive systems—Part 5-2: Safety requirements—Functional

[41] IEC 61851 (all parts) Electric vehicle conductive charging system

[42] IEC/TS 62046 Safety of machinery—Application of protective equipment to detect the presence of persons

[43] IEC 62079 Preparation of instructions—Structuring, content and presentation

[44] EN 50272 (all parts) Safety requirements for secondary batteries and battery installations

[45] ANSI/RIA R15.06-1999 Industrial robots and robot systems—Safety requirements

[46] Fujikawa T., Kubota M., Yamada Y., Ikeda H. Evaluation of Injury Level and Probability for Risk Assessment of Mobile Robots, Proceedings of SIAS2012, 2012.

[47] Haddadin S., Albu-Schäffer A., Hirzinger G. Safety evaluation of physical human-robot interaction via crash-testing, Robotics: Science and Systems Conference (RSS2007), Atlanta, USA,

pp. 217-224, 2007.

[48] Haddadin S., Albu-Schäffer A., Frommberger M., Rossmann J., Hirzinger G. The DLR Crash Report: Towards a Standard Crash-Testing Protocol, for Robot Safety—Part I: Results, 2009 IEEE Int Conf on Robotics and Automation (ICRA'2009), Kobe Int Conf Center, Kobe, Japan, May 12-17, pp 272-279, 2009.

[49] Haddadin S., Albu-Schäffer A., Hirzinger G. Requirements for safe robots: Measurements, analysis and new insights. *Int. J. Robot. Res.* 2009, 28 (11-12) pp. 1507-1527.

[50] Haddadin S., Albu-Schäffer A., Hirzinger G. Soft-tissue injury in robotics. ICRA, 2010.

[51] Haddadin S., & Albu-Schäffer A. Fahed Haddadin, Jürgen Roßmann, and Gerd Hirzinger; Experimental Safety Study on Soft-tissue Injury in Robotics. *IEEE Robot. Autom. Mag.* 2011 Dec., 18 (4) pp. 20-34.

[52] Haddadin S., Haddadin A., Khourey S., Rokahr T., Parusel S., Burgkart R. et al. On making robots understand safety: Embedding injury knowledge into control. *Int. J. Robot. Res.* 2012.

[53] Haddadin S. Human Injury in Robotics: Technical Report. DLR, Germany, 2012.

[54] Khatib O. Inertial properties in robotic manipulation: an object-level framework. *Int. J. Robot. Res.* 1995, 14 (1) pp. 19-36.

[55] National Highway Traffic Safety Administration. FMVSS 208 Occupant crash protection and National Highway Traffic Safety Administration, Proposed Amendment to FMVSS No 213 Frontal Test Procedure. U.S. Department of Transportation, 2002.

[56] Ono K., Kikuchi A., Nakamura M., Kobayashi H., Nakamura N. Human head tolerance to sagittal impact—Reliable estimation deduced from experimental head injury using subhuman primates and human cadaver skulls, *Proceedings SAE Technical Paper 801303*, doi:, 1980 doi: 10.4271/801303.

[57] Yamada Y., Suita K., Imai K., Ikeda H., Sugimoto N. A failure-to-safety robot system for human robot coexistence. *Robot. Auton. Syst.* 1996, 18 (1-2) pp. 283-291.

[58] Yamada Y., Hirasawa Y., Huang S.Y., Umetani Y., Suita K. Human-Robot Contact in the Safeguarding Space, *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol.2, No.4, pp.230-236, 1997.

[59] Ruedi T.P., Buckley R.E., Morgan C.G. AO Principles of Fracture Management, Thieme, Ed., 2007. Information on the design of workplaces with collaborative robots, U 001/2009e (October 2009 edition, revised February 2011), Available from <http://www.dguv.de/ifa/en/pra/kollaborierende_roboter>.

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
机器人与机器人装备
个人助理机器人的安全要求

GB/T 36530—2018/ISO 13482:2014

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2018年7月第一版

*

书号:155066·1-60736

版权专有 侵权必究



GB/T 36530-2018