

TCAR

机器人检测认证联盟认证技术规范

CR-3-0602TS:2025

人形机器人数据采集训练场技术规范

Technical Specifications for Humanoid Robot Data Acquisition Training Field

2025-09-16 发布

2025-09-16 实施

机器人检测认证联盟发布

目 次

1 范围	6
2 规范性引用文件	6
3 术语和定义	6
4 缩略语	7
5 训练场技术要求	7
5.1 环境要求	7
5.2 环境控制	8
5.3 场景功能	8
6 测试与验证方法	12
6.1 环境要求测试方法	12
6.2 场景功能测试方法	12
6.3 场景库与分级测试	15
7 运行维护与培训	17
7.1 运行维护	17
7.2 培训	17
附录 A	19
参考文献	20

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。

本文件起草单位：上海机器人产业技术研究院、睿尔曼智能科技（北京）有限公司、江淮前沿技术协同创新中心、湖南省产商品质量检验研究院、重庆凯瑞机器人技术有限公司、上海识度数字科技、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海添唯认证有限公司、中国信息通信研究院、北京人形机器人创新中心有限公司、人形机器人(上海)有限公司、中汽检测技术有限公司、芜湖赛宝机器人产业技术研究院有限公司、中国软件评测中心、中国科学院沈阳自动化研究所、杭州宇树科技有限公司、北京小米机器人公司、深圳市优必选科技股份有限公司、五八智能科技（杭州）有限公司、上海智元创新技术有限公司、上海库帕思科技有限公司、上汽通用动力科技(上海)有限公司、节卡机器人股份有限公司、上海ABB工程有限公司、中晶新源（上海）半导体有限公司、中国电子科技集团公司第二十一研究所、中移（杭州）信息技术有限公司、深圳市人工智能与机器人研究院、上海电气集团股份有限公司中央研究院、上汽集团北京有限公司、北京工业大学、上海工业控制安全创新科技有限公司、具身智人（北京）科技有限公司、四川具身人形机器人科技有限公司、合肥科大智能机器人技术有限公司、智昌科技集团股份有限公司、科沃斯机器人股份有限公司、苏州泰斯特智能科技有限公司、上海思岚科技有限公司、苏州大学、中国计量大学、工业和信息化部电子第五研究所、江苏省产品质量监督检验研究院、福建省特种设备检验研究院、上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司、北京市产品质量监督检验研究院、威凯检测技术有限公司、常州检验检测标准认证研究院、浙江华电器材检测研究院有限公司、中数（深圳）时代科技有限公司、UL美华认证有限公司、杭州汉德质量认证服务有限公司、深圳市北测检测技术有限公司。

本文件主要起草人：郑军奇、朱晓鹏、郑随兵、友清、李强、曹天翔、朱滨，李一朵，刘亚楠、朱晓俊、钟声、张弋、熊友军、刘宇飞、辛强、陈仟、卫能、李峰、梁学修、李志海、任容玮、全琪、王启舟、王俊芳、郭文平、陈利钦、梁乔玲、张国亮、闫维新、曹宇、徐啸顺、许雄、李顺冲、张文敏、张楠、王洪武、蒲琪然、刘佳璐、陈忠、李博程、石照耀、李嘉茂、张璇、刘宇龙、冯振宇、汪中原、甘中学、严海、宋伟、安伯廷、张丽萍、陈良、张斌、董成举、陈胜利、陈照春、江旭强、李海涛、张传甲、王直荣、张浩、王光、章韧、郑威、宛江坤、陆迪康。

本文件为首次发布。

引 言

随着人形机器人在工业、医疗、教育、应急等场景的深入应用，训练场已成为数据采集、模型迭代和安全性验证的“最后一公里”。然而，现有训练场在功能分区、设备配置、环境控制、安全体系、网络通信等方面缺乏统一规范，导致“数据孤岛”、“场景复用率低”、“安全风险高”等问题。形成面向人形机器人数据采集的完整标准，实现“一次建设、多级共享、持续迭代”。

TTCAR

人形机器人数据采集训练场技术规范

1 范围

本文件规定了人形机器人数据采集训练场（以下简称“训练场”）的功能分区、空间布局、设备设施设置、安全设施、环境控制、网络设施、场景分级、数据采集同步、作业流程、测试方法及技术保障体系。

本文件适用于人形机器人制造商、数据服务商、测试机构及科研单位开展数据采集、模型训练与性能评估，并可作为其他智能机器人训练场的建设依据。

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 2421—2020 环境试验 概述和指南
GB 3096-2008 声环境质量标准
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 5700—2023 照明测量方法
GB/T 12643—2025 机器人 词汇
GB/T 14048.2—2020 低压开关设备和控制设备 第2部分 断路器
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 17945—2024 消防应急照明和疏散指示系统
GB/T 36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范
GB/T 37283—2019 服务机器人 电磁兼容 通用标准 抗扰度要求和限值
GB 50016—2014 建筑设计防火规范
GB50084-2017 自动喷水灭火系统设计规范
GB50116-2013 火灾自动报警系统设计规范
GB 50140—2005 建筑灭火器配置设计规范
GB 50311—2016 综合布线系统工程设计规范
GB50974-2014 消防给水及消火栓系统技术规范
T/SAIAS 017—2024 人形机器人 分类分级应用指南

3 术语和定义

下列术语、定义适用于本文件。

3.1

机器人 robot

具有一定自主能力，执行运动、操作或定位的可编程机构。

注1：机器人包括控制系统。

注2：机器人机械结构示例为操作机、移动平台和可穿戴机器人。

[来源：GB/T 12643—2025 机器人 词汇 3.1]

3.2

人形机器人 humanoid robot

具有类似于人的躯干、头部、四肢和关节，外观和动作与人类相似，基于通用具身智能来实现的感知、认知、决策、执行等能力的机器人。

[来源：T/SAIAS 017—2024 人形机器人 分类分级应用指南 3.1.2]

3.3

数据采集 data acquisition

从数据源中得到原始数据，通过标准化处理并转化为满足数据共享与利用需求的功能。

[来源：GB/T 36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范 3.2]

3.4

电磁干扰 electromagnetic interference

由电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能下降。

注1：术语“电磁骚扰”和“电磁干扰”分别表示“起因”和“后果”。

注2：过去“电磁骚扰”和“电磁干扰”常混用。

[来源：GB/T 37283—2019 服务机器人 电磁兼容 通用标准 抗扰度要求和限值 3.7]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

表1 缩略语

缩略语	中文名称	英文全称
GIS	气体绝缘开关设备	Gas Insulated Switchgear
GNSS	全球导航卫星系统	Global Navigation Satellite System
GPU	图形处理器	Graphics Processing Unit
IPerf	网络性能测试工具	Internet Performance
PCB	印制电路板	Printed Circuit Board
RMSE	均方根误差	Root Mean Square Error
SOP	标准操作程序	Standard Operating Procedure
Tensor Board	TensorFlow 可视化工具	TensorFlow Visualization Tool
TFLOPS	每秒万亿次浮点运算	Tera Floating-point Operations Per Second
TPU	张量处理器	Tensor Processing Unit
TTL	晶体管与晶体管之间的逻辑电路	Transistor-Transistor Logic
WandB	权重与偏置（机器学习实验管理平台）	Weights & Biases
XR	扩展现实	Extended Reality

5 训练场技术要求

5.1 环境要求

依据GB 50311-2016标准，网络设施要求的主要内容包括：以太网光纤/双绞线；骨干 $\geq 10\text{Gbps}$ ，接入 $\geq 10\text{Gbps}$ ，预留 20Gbps 。

注：骨干网是负责连接各个功能区（如数据采集区、计算集群区、存储区）的核心交换机，承载所有区域之间的汇总流量，所有数据最终都要通过骨干网交换流量极其巨大； 25Gbps 是当前高性能数据中心骨干网的常见起点标准，确保了核心链路绝不会成为瓶颈。接入网负责将单个数据采集节点如一台机器人、

一个高清相机阵列、一个传感器工位连接到网络；1Gbps(千兆网)用于连接数据量较小的传感器或调试终端；10Gbps(万兆网)接入能确保数据无阻塞地实时上传，避免丢帧。

5.2 环境控制

人形机器人数据采集与训练场在运行过程中所需维持的环境物理条件与参数范围，用于保证机器人系统的稳定运行、数据采集的准确性以及人员操作的安全性。其内容应符合GB/T 2421—2020、GB 3096-2008、GB/T 5700—2023 等国家或行业标准的相关要求，主要内容如下：

- a) 温湿度、气压：15℃~35℃，相对湿度25%~75%，气压86kPa~106kPa用于测试和测量。
- b) 光照：50 - 500lx可调，避免直射视觉传感器。
- c) 噪声：停机≤55dB(A)，运行≤65dB(A)。

5.3 场景功能

5.3.1 功能分区

根据人形机器人的功能将人形机器人数据采集训练场分为如下区域：

- a) 场景训练区宜包含以下区域：
 - 1) 作业训练区：专注于训练和测试机器人完成特定作业任务的区域。例如：操作工具、搬运物体、装配零件等精细或高负载的作业，旨在提升其上半身的操作灵巧性、抓取能力和任务执行能力。
 - 2) 移动训练区：专注于训练和测试机器人的移动与导航的区域。通过在复杂地形如斜坡、台阶、不平整地面上的行走、奔跑、避障、路径规划等，提升其下半身的运动稳定性、环境适应性和自主移动能力。
 - 3) 虚实融合试验区：利用扩展现实技术，将虚拟元素与物理环境融合的区域。在此区域，可以构建高风险、高成本或难以复现的虚拟场景（如火灾、地震），让机器人在安全的实体环境中进行“高风险”的虚拟训练，实现高效、低成本的数字孪生训练和算法验证。
 - 4) 人机交互区：模拟人类在日常环境中的动态行为，用于训练和验证机器人与人类之间的自然、安全的多模态交互能力。包括语音对话、手势识别、表情理解、跟随协作等，确保机器人能在人类身边顺畅工作。
- b) 数据管理区宜包含以下区域：
 - 1) 数据标注审核区：对采集到的原始数据（如图像、视频、点云、力觉信息）进行人工或半自动的清洗、分类、标注和质量审核，为机器学习算法生成高质量、高精度的训练数据集。
 - 2) 数据存储和保障区：集中存储和管理所有训练数据、模型及日志。配备高性能服务器和存储阵列，为了更高的可靠性，宜提供不间断电源、制冷等基础设施，确保持续稳定（7×24小时）的数据访问和安全保障。
 - 3) 数据监控区：实时显示轨迹、进度、能耗实时可视化监控整个训练过程。大屏显示机器人的运动轨迹、任务进度、系统状态、能耗情况等关键指标，便于研究人员即时分析性能、调试算法和发现问题。
- c) 维保区宜包含以下区域：
 - 1) 设备标定区：传感器外参、节零位标定提供一个稳定、精确的环境，用于对机器人的各种传感器如摄像头、激光雷达、执行器如关节等，进行参数校准和原点标定，确保其感知数据的准确性和运动控制的精度，且可支持稳定不间断（7×24小时）自动化标定。
 - 2) 设备维护区：专用工具、备件提供进行日常检修、故障诊断和硬件更换的场所。存放专用的维修工具、测试仪器和备用零部件，支持技术人员对机器人进行快速的维护和修复工作。
 - 3) 充电区：为机器人及其备用电池提供集中、安全、高效的能源补给。配备多种充电接口和智能充电管理系统，确保能源供应稳定，并具备防火、防爆等安全防护措施。

- 4) 仓储区：对训练所需的各种物资、配件、耗材以及暂时不用的设备进行分区、分类的规范化存储和流转管理，保证物流顺畅，提高物资调配和使用效率。
- 5) 办公区：为研发、算法和工程人员提供协同工作与研发管理的环境。同时也是进行代码开发、算法调试、数据安全策略制定和访问权限管理的核心区域，确保核心技术资产的安全。

5.3.2 空间布局要求

空间布局要求是指在人形机器人数据采集与训练场中，为保障机器人运行安全、设备维护便利以及人员应急疏散高效，而对各功能区的空间尺寸、隔离方式及通道设置所提出的规范性要求。依据GB/T 12643—2025标准有如下要求：

- a) 机器人活动区域安全半径 ≥ 3 倍本体高度（基座中心至最大伸展距离），本体高度 $\geq 1.2\text{m}$ 。
- b) 场景训练区采用物理隔离，相邻区域间距 $\geq 2\text{m}$ 。
- c) 设备维护区间距 $\geq 0.8\text{m}$ ，防静电工作台。
- d) 紧急逃生通道 $\geq 1.5\text{m}$ 。

5.3.3 设备设施设置要求

设备设施设置要求是指为支持人形机器人在训练、验证、技能提升及数据采集过程中高效、安全、可控运行而必须具备的物理场地、硬件装置、传感器系统、数据采集与处理平台、计算资源及软件工具的整体配置规范。其涵盖防碰撞、防滑、制动、结构防护、电气安全、敏感区域电磁与静电防护，以及消防应急响应等方面，依据GB/T 5226.1—2019、GB 50140—2005等标准，设备设施要求的主要内容包括：

- a) 防碰撞：防护材料如特种泡沫、橡胶、工程塑料等的缓冲吸能 $\geq 60\%$ ，邵氏硬度 $70\pm 5\text{HA}$ ，地面防滑摩擦系数 ≥ 0.6 。
- b) 漏电保护：动作电流 $\leq 30\text{mA}$ ，接地电阻 $\leq 1\Omega$ 。
注：动作电流指漏电保护器（RCD）动作的临界电流值。当电路中（如火线对地）的泄漏电流达到或超过30毫安时，保护器必须在极短时间内（通常 $< 0.1\text{s}$ ）自动切断电源。
- c) 敏感区域：静电 $\leq 100\text{V}$ 。
- d) 消防：火灾自动报警、自动灭火、应急照明、疏散指示应符合GB50116-2013、GB 17945—2024、GB 50140—2005、GB50974-2014、GB50084-2017要求。

5.3.3.1 训练环境设施

训练环境设施是指为机器人完成各类任务训练和仿真所配置的物理与数字化环境，包括典型任务场景、地形类型、照明、电力及网络点位、标定与维修区、物料存放区及专用机房等，主要内容包包括：

- a) 典型任务空间与常态环境：物理场景、地形、强弱电、灯光。
- b) 可拆卸、快速重构。
- c) 地形以平地为主，阶梯换坡 $\leq 5^\circ$ ，材质宜包含软垫、光滑地砖、防滑胶面、凹凸地板、斜坡，坡度 $0 - 15^\circ$ 。
- d) 训练场地周围每隔 2m 设置不小于 1kW 的强电插座等电源装置。

5.3.3.2 技能训练设施

技能训练设施是指用于机器人动作学习、操作能力提升及复杂任务训练的设备与系统，包括光学与惯性动作捕捉系统、遥操作系统、训练装置及动态环境挑战系统等。

- a) 光学动作捕捉：采集系统宜符合《人形机器人数据集采集系统通用要求》。
- b) 遥操作系统：主从臂的延迟 $\leq 5\text{ms}$ ，支持虚拟现实连接主从臂控制。

5.3.3.3 数据采集与传输设施

数据采集与传输设施是指用于机器人及环境数据的获取、标定、同步、落盘、传输与实时监控的硬件与软件系统，包括多源传感器数据采集、异步/实时传输通道、RGB相机采集、组帧与丢帧控制、人机交互接口及可视化监控工具。

- a) 数据采集系统宜符合《人形机器人数据集采集系统通用要求》。
- b) 人机交互界面：下发指令、状态监控、实时质检、虚拟现实/动捕切换与可视化校正。

5.3.3.4 数据存储与处理设施

数据存储与处理设施是指为机器人训练和数据管理提供容量充足、支持版本控制、快照机制、弹性扩容及多协议访问的存储平台，并能进行并行计算、数据去畸变、清洗、压缩、脱敏和多模态标注处理，同时支持云端质检和历史数据再处理，以保障数据安全、完整和高效处理。

- a) 容量 $\geq 50\text{TB}$ ，版本控制与快照，存储协议支持NFS/S3/HDFS，弹性扩容。
- b) 并行计算：切分、组帧、去畸变、清洗、脱敏、挖掘、压缩。
- c) 云端质检：视觉RGB丢帧 $\leq 1\%$ （组帧前）、丢帧 $\leq 0.5\%$ （组帧后），深度丢帧 $\leq 0.5\%$ 。

注：组帧指视觉二维 RGB 数据和视觉三维深度数据的时间戳对齐。

示例：采集使用的三个二维 RGB 相机及三维深度相机在分辨率为 1280*720p 的条件下进行组帧。

- d) 多模态标注工具：支持图像、语音、文本、动作等不少于2种模态标注。
- e) 历史数据再处理。

5.3.3.5 数据分析与计算设施

数据分析与计算设施是指用于机器人训练和模型优化的高性能计算集群与软件工具，包括GPU集群；分布式训练框架如：TensorFlow、PyTorch；性能监控与可视化平台如：WandB、TensorBoard，应满足大规模并行计算、混合精度训练及实时监控需求。

- a) 用于机器人训练的高性能计算集群GPU集群，在进行半精度浮点运算时，其峰值计算性能总和不能低于每秒1000TFLOPS。

注：TFLOPS是一种衡量计算机系统，尤其是科学计算和AI计算系统计算能力的核心单位。数值越高，代表计算速度越快，能更迅速地处理大规模数学运算。FP16是一种计算机中表示实数（即带有小数的数字）的方法，指使用16位（16bits）的二进制数来存储一个浮点数。

5.3.4 场景库与分级

场景库与分级是指为人形机器人数据采集、训练与验证提供系统化、可复用的实验场景集合及复杂度等级划分的规范。场景库包括工业制造、家庭服务、医疗康养、户外巡检、应急救援五大类，每类场景分为L1 - L5五级。

5.3.5 工业制造场景分级表

表2 工业制造场景分级表

级别	场景描述	要求
L1	1种工件，如：塑料瓶（圆柱形、轻量约200g）。	无人员，抓取成功率 $\geq 85\%$ 。
L2	2种工件，如塑料瓶+纸箱盒（方形、质量约500g）。	1人巡检，抓取成功率 $\geq 90\%$ 。
L3	5种工件，随机缺陷如断裂、破裂等，工件种类如：塑料瓶、纸箱盒、金属零件（螺栓、约50g）、陶瓷杯（圆柱/碗形、200 - 300g）、玻璃瓶。	光照强度变化 $\leq 3501x$ ， ≥ 1 人巡检，抓取成功率 $\geq 92\%$ 。
L4	传送带 $\geq 0.2\text{m/s}$ ，多机器人协作， ≥ 20 种工件，如各类塑料容器（瓶、盒）、金属零件（螺栓、齿轮、轴承）、陶瓷件、玻璃瓶、纸箱包装、电子组件（PCB、模块）、橡胶密封件、混凝土小部件、木制零件等。	光照强度变化 $\leq 3501x$ ， ≥ 2 人巡检，噪声 $\leq 75\text{dB(A)}$ ，抓取成功率 $\geq 95\%$ 。

L5	传送带 $\geq 0.2\text{m/s}$ ，高混合流水线，实时工艺调整，如：不规则形状零件（异形塑料、非标金属件）、带液体的容器、柔性材料件（布料、泡沫）、小批量定制工件。	光照强度变化 $\leq 350\text{lx}$ ，协作人员 ≥ 3 人巡检，噪声 $\leq 70\text{dB(A)}$ ，自适应抓取成功率 $\geq 80\%$ 。
----	--	--

5.3.6 家庭服务场景分级表

表3 家庭服务场景分级表

级别	场景描述	要求
L1	静态客厅，物品 ≥ 10 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 800\text{lX}$ ，噪声 $\leq 85\text{dB(A)}$ mm。
L2	1人行走，物品 ≥ 30 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 600\text{lX}$ ，噪声 $\leq 80\text{dB(A)}$ mm。
L3	2人行走，物品 ≥ 60 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 400\text{lX}$ ，噪声 $\leq 75\text{dB(A)}$ mm。
L4	3人，物品 ≥ 90 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 200\text{lX}$ ，噪声 $\leq 70\text{dB(A)}$ mm。
L5	≥ 6 人，物品 ≥ 120 类，场景实时重配置。	光照强度变化 $\leq 100\text{lX}$ ，噪声 $\leq 65\text{dB(A)}$ mm。

5.3.7 办公场景分级表

表4 办公场景分级表

级别	场景描述	要求
L1	静态办公，物品 ≥ 10 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 800\text{lX}$ ，噪声 $\leq 85\text{dB(A)}$ mm。
L2	1人行走，物品 ≥ 20 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 600\text{lX}$ ，噪声 $\leq 80\text{dB(A)}$ mm。
L3	2人行走，物品 ≥ 30 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 400\text{lX}$ ，噪声 $\leq 75\text{dB(A)}$ mm。
L4	3人，物品 ≥ 40 类，物品类型详见附录A。	光照强度变化 $\leq 200\text{lX}$ ，噪声 $\leq 70\text{dB(A)}$ mm。
L5	会议 ≥ 6 人，物品 ≥ 50 类，场景实时重配置。	光照强度变化 $\leq 100\text{lX}$ ，噪声 $\leq 65\text{dB(A)}$ mm。

5.3.8 商超场景分级表

表5 商超场景分级表

级别	场景描述	要求
L1	仓储式超市后仓：开阔、平整地面，货架整齐，货物规则堆放，无人。	货架操作成功率 $\geq 80\%$ 。
L2	超市货架区：存在顾客和购物车，货架排列规整，光照均匀，1人。	货架操作成功率 $\geq 85\%$ 。
L3	高密度货架区：商品密集，商品存在堆叠摆放，2人。	货架操作成功率 $\geq 90\%$ 。
L4	大型商超公共区：存在临时促销台、展架等非固定障碍，环境光照强度变化大，5人。	环境光照 $\geq 350\text{lX}$ ；货架操作成功率 $\geq 92\%$ 。

L5	商超特殊场景：如冷链仓储区、夜间无人超市、或密闭货架内部巡检。环境特殊，对机器人自主适应与防护要求极高，10人以上。	环境光照 $\geq 3501x$ ；货架操作成功率 $\geq 95\%$ 。
----	--	--

6 测试与验证方法

6.1 环境要求测试方法

6.1.1 网络设施测试

6.1.1.1 以太网光纤/双绞线性能测试

本测试验证训练场有线骨干与接入网络带宽是否满足设计要求，支持高并发数据采集和传输。
测试方法：

- a) 使用PING命令测试骨干链路传输速度 $\geq 10\text{Gbps}$ ，接入链路传输速度 $\geq 10\text{Gbps}$ 。
- a) 验证骨干链路预留容量是否可达到20Gbps扩展要求。

结果判断：

- a) 验证实际吞吐量 \geq 设计值，骨干 $\geq 10\text{Gbps}$ ，接入 $\geq 10\text{Gbps}$ 。
- a) 验证预留带宽可支持20Gbps扩容。

6.1.2 安全设施测试

6.1.2.1 漏电保护测试

漏电保护测试的相关计算及实验条件见GB/T 14048.2—2020。

6.1.2.2 敏感区域电磁与静电防护测试

敏感区域电磁与静电防护测试的相关计算及实验条件见GB/T 17626.2—2018。

6.1.2.3 消防测试

消防测试的相关计算及实验条件见GB 50140—2005以及GB 50016—2014。

6.1.3 环境控制测试

6.1.3.1 温湿度、气压测试

温湿度、气压测试的相关计算及实验条件见GB/T 2421—2020。

6.1.3.2 光照测试

光照测试的相关计算及实验条件见GB/T 5700—2023。

6.1.3.3 噪声测试

噪声测试的相关计算及实验条件见GB/T 3096—2008。

6.2 场景功能测试方法

6.2.1 功能分区测试

6.2.1.1 场景训练区

a) 作业训练区

测试方法：

- 1) 人工评判作业训练区的设施布置，是否存在机器人训练所需物品、零件、区域等。

b) 移动训练区

测试方法：

- 1) 同作业训练区。

c) 虚实融合试验区

测试方法:

- 1) 安装XR设备并连接数字孪生系统。
- 2) 执行3种典型训练任务, 监测设备延迟和同步性能。
注: 3种典型任务包括但不限于: 摆放水果, 往杯子里倒水, 叠放书本, 叠衣服, 操作微波炉。
- 3) 人工评判3种典型任务是否正常执行。

d) 人机交互区

测试方法:

- 1) 设置2-3名操作人员走动。
- 2) 下发语音/手势/触控命令, 机器人完成指定任务。
- 3) 记录执行成功率。
- 4) 人工评判执行成功率 $\geq 95\%$ 。

6.2.2 空间布局测试

本测试验证空间布局的安全性和合理性。

测试设备: 激光测距仪测量。

测试方法:

- 1) 测量机器人活动安全半径 ≥ 3 倍本体高度。
- 2) 测量相邻训练区间距 $\geq 2\text{m}$ 。
- 3) 评估是否有独立充电区域。
- 4) 测量维护区间距 $\geq 0.8\text{m}$, 评估是否有防静电工作台。

6.2.3 设备设施设置测试

6.2.3.1 训练环境设施测试

训练环境设施测试方法是指依据相关标准, 通过测量、核查与功能验证, 对训练场地的空间布局、模块重构能力、典型场景配置、地形条件及电力网络点位等进行系统化评价的方法, 用于判定设施是否满足机器人任务训练与仿真要求。主要方法如下:

a) 典型任务空间与常态环境

测试设备: 激光测距仪、数字照度计

测试方法:

- 1) 布局验证: 根据设计图纸, 使用激光测距仪测量物理场景的尺寸、障碍物位置及关键通道宽度, 确认与图纸一致。
- 2) 照明测试: 测量方法见GB/T 5700-2023。
- 3) 强电测试: 随机选择不少于3个强电点位, 依次连接一个 $\geq 1\text{kW}$ 的负载(如电暖器), 持续运行10分钟, 测试电压稳定性。

b) 可拆卸及重构

测试方法:

- 1) 初始基准: 记录一个标准场景(如客厅)的完整布局状态, 并使用地面标签标志关键物品位置。
- 2) 拆卸与重构: 由两名操作人员使用标准工具, 将当前场景完全拆卸并存储, 并重构为相同的标准场景。
- 3) 精度验证: 重构完成后, 再次测量步骤1中的关键标志物坐标, 与基准值对比。验证场景模块可快速重构且定位精度满足要求。

c) 地形多样性及切换

测试设备: 数字角度仪

测试方法:

- 1) 地形验证:
-坡度: 将角度仪放置于斜坡、阶梯转换坡道等区域, 测量其实际角度。
-材质: 目视及触摸检查地砖、胶面、软垫等材质铺设是否正确平整。

d) 强电点位密度

测试设备：钢卷尺

测试方法：

- 1) 密度验证：在环境中任选一段 ≥ 5 米的连续路径，用卷尺测量距离。清点该路径两侧2米范围内的强电点位数量。通过点位间距、电负载，验证每2m配置强电 ≥ 1 kW点位满足要求。

6.2.3.2 技能训练设施测试

技能训练设施测试方法是指通过精度、延迟、续航、动作流程和动态干扰等多维度测试，系统性验证机器人训练设备在动作捕捉、遥操作、操作训练及环境挑战方面的性能是否满足要求的方法。

a) 光学动作捕捉

测试方法参考《人形机器人数据集采集系统通用要求》。

b) 惯性动作捕捉：

测试方法参考《人形机器人数据集采集系统通用要求》。

c) 遥操作系统：

测试设备：高帧率工业相机/示波器

测试方法：

- 1) 端到端延迟：在主臂侧按下触发按钮，使用高帧率工业相机记录从臂侧执行/显示变化的时间戳（编码器跃迁或屏幕亮度变化被光电传感器捕捉），计算延迟。
- 2) 评判延迟是否 ≤ 5 ms。

6.2.3.3 数据采集与传输设施测试

测试方法参考《人形机器人数据集采集系统通用要求》。

6.2.3.4 数据存储与处理设施测试

数据存储与处理设施测试方法是指通过容量验证、协议兼容性检查、并行计算任务、云端质检、多模态标注与历史数据再处理等手段，对设施的存储性能、处理能力与数据可靠性进行系统化评估的方法。

a) 容量与协议支持：

测试设备：专业存储测试软件、Windows资源管理器

测试方法：

- 1) 使用容量检测工具验证存储系统的总容量是否 ≥ 50 TB。
- 2) 创建、恢复多组快照，验证版本控制与快照功能可用。
- 3) 分别通过NFS、S3、HDFS协议对客户端进行文件读写，确认协议兼容性与扩容机制。

b) 图像处理能力：

测试设备：图像检测测试软件

测试方法：

- 1) 将大规模原始数据分配至计算节点。
- 2) 执行去畸变、清洗、脱敏、压缩等任务，记录处理成功率。

c) 云端质检：

测试设备：专业丢帧监测软件。

测试方法：

- 1) 上传未组帧数据至质检平台，检测RGB/深度丢帧率。
- 2) 执行组帧处理并再次检测丢帧率。
- 3) 对比检测结果，确认二维RGB视觉数据丢帧 $\leq 1\%$ （组帧前）、丢帧 $\leq 0.5\%$ （组帧后），深度视觉数据丢帧 $\leq 0.5\%$ 。

d) 多模态标注工具：

测试设备：样例数据集（不少于2种模态，包括但不限于图像、语音、文本、动作）

测试方法：

- 1) 在平台导入多模态数据集。
- 2) 分别执行图像、语音、文本、动作的标注任务。

- 3) 验证工具对多模态任务标注的支持性。

6.2.3.5 数据分析与计算设施测试

数据分析与计算设施测试方法：通过基准算力验证、分布式框架兼容性测试及训练过程监控，全面评估计算集群在大规模并行训练与实时优化中的性能与可视化能力。通过运行标准基准测试(如LINPACK、MLPerf)，测量混合精度(FP16)下的实际峰值算力是否达到 ≥ 1000 TFLOPS。

测试方法：

- 1) 进行分布式训练兼容性测试：在TensorFlow与PyTorch框架下运行典型分布式训练任务，计算节点间的并行效率良好与同步稳定性。
- 2) 进行性能监控与可视化测试：部署WandB与TensorBoard，对训练过程进行实时监控，验证训练曲线、资源利用率与可视化功能是否完整准确。

6.3 场景库与分级测试

6.3.1 工业制造场景测试

测试设备：标准光照度计、声级计。

L1测试方法：

- 1) 人工统计工业制造场景的物品数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统，要求成功抓取并放置到指定位置，重复10次，成功率需 $\geq 85\%$ 。

L2测试方法：

- 1) 人工统计工业制造场景的物品数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统，要求成功抓取并放置到指定位置，重复10次，成功率 $\geq 90\%$ 。

L3测试方法：

- 1) 人工统计工业制造场景的物品数量是否符合要求。
- 2) 标准光照度计测试光照 $\leq 3501x$ 。
- 3) 启动机器人抓取系统，要求成功抓取并放置到指定位置，重复10次，成功率 $\geq 92\%$ 。

L4测试方法：

- 1) 人工统计工业制造场景的物品数量是否符合要求。
- 2) 使用标准光照度计测试光照 $\leq 3501x$ ，使用声级计测量噪声 ≤ 75 dB(A)，测量传送带 ≥ 0.2 m/s。
- 3) 评判是否支持多机器人协作处理 ≥ 20 类工件(含易碎件如玻璃瓶、电子组件)。
- 4) 启动机器人抓取系统，要求成功抓取并放置到指定位置，重复10次，成功率 $\geq 95\%$ 。

L5测试方法：

- 1) 人工统计工业制造场景的物品数量是否符合要求。
- 2) 使用标准光照度计测试光照 $\leq 3501x$ ，使用声级计测量噪声 ≤ 70 dB(A)，测量传送带 ≥ 0.2 m/s。
- 3) 启动机器人抓取系统，要求自适应成功抓取并放置到指定位置，重复10次，成功率 $\geq 80\%$ 。

注：自适应抓取指不使用遥操设备的前提下机器人执行自主抓取任务。

6.3.2 家庭服务场景测试

测试设备：

标准光照度计、声级计

L1测试方法：

- 1) 人工统计家庭服务场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L2测试方法：

- 1) 人工统计家庭服务场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L3测试方法：

- 1) 人工统计家庭服务场景的物品数量及人员数量是否符合要求。

2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L4测试方法:

- 1) 人工统计家庭服务场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L5测试方法:

- 1) 人工统计家庭服务场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

6.3.3 办公场景测试

测试设备:

标准光照度计、声级计

L1测试方法:

- 1) 人工统计办公场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L2测试方法:

- 1) 人工统计办公场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L3测试方法:

- 1) 人工统计办公场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L4测试方法:

- 1) 人工统计办公场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L5测试方法:

- 1) 人工统计办公场景的物品数量及人员数量是否符合要求。
- 2) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

6.3.4 商超场景测试

测试设备: 数字照度计

L1 测试方法:

- 1) 人工评估货架放置、货物堆放方式、场景环境及人员数量是否符合要求;
- 2) 启动机器人抓取系统, 要求成功抓取并放置到指定位置, 进行10次测试, 货架操作成功率 $\geq 80\%$ 。

L2 测试方法:

- 1) 人工评估货架放置、场景环境及人员数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统, 要求成功抓取并放置到指定位置, 进行10次测试, 货架操作成功率 $\geq 85\%$ 。

L3 测试方法:

- 1) 人工评估货架放置、货物堆放方式、场景环境及人员数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统, 要求成功抓取并放置到指定位置, 进行10次测试, 货架操作成功率 $\geq 90\%$ 。
3. 人工评估货架上的货物是否有堆叠排放。

L4 测试方法:

- 1) 人工评估货架放置、场景环境及人员数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统, 要求成功抓取并放置到指定位置, 进行10次测试, 货架操作成功率 $\geq 92\%$ 。
- 3) 人工评估环境内是否有临时促销台、展架等非固定障碍。
- 4) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

L5 测试方法:

- 1) 人工评估货架放置及人员数量是否符合要求。
- 2) 启动机器人抓取系统，要求成功抓取并放置到指定位置，进行10次测试，货架操作成功率 $\geq 95\%$ 。
- 3) 人工评估环境是否包含冷链仓储区、夜间无人超市、或密闭货架内部巡检。
- 4) 人工评估是否存在机器人自主适应与防护要求。
- 5) 光照强度测量方法见GB/T 5700-2023。

7 运行维护与培训

7.1 运行维护

运行维护是指通过四级运维体系、预防性维护、持续改进和运维保障等机制，确保系统在全生命周期内安全、稳定、高效运行，并通过监控、备件、应急和改进措施实现服务质量与可靠性的持续提升的管理方法。

7.1.1 四级运维体系

四级运维体系是指通过监控中心、现场值守、专业保障和研发升级四个层级协同运作，实现系统的全天候监控、快速响应、关键资源保障及持续优化升级，以确保设备与服务在全生命周期内的高可用性和可靠性。主要包含以下内容：

- a) 监控中心：实现全天候可视化监控与智能告警管理。
- b) 现场值守：提供快速现场响应与问题处理机制。
- c) 专业保障：建立关键资源快速恢复与专业支持体系。
- d) 研发升级：实施定期的功能优化与系统架构演进。

7.1.2 预防性维护

预防性维护是指通过定期传感器标定、机械润滑与易损件更换，以及按风险等级及时应用软件补丁，主动防止设备故障和性能下降，从而保障系统长期稳定、安全运行的维护策略。主要包含以下内容：

- a) 传感器标定：定期进行高精度校准与参数校验。
- b) 机械润滑：按规定周期进行润滑保养与易损件更换。
- c) 软件补丁：建立分级漏洞响应与补丁应用机制。

7.1.3 持续改进

持续改进是指通过季度PDCA循环评估、数据驱动优化和用户需求共创等手段，建立闭环改进机制，以不断提升系统性能、优化训练环境和满足用户需求的管理方法。主要包含以下内容：

- a) PDCA循环：建立定期评估与持续改进的闭环管理机制。
- b) 数据驱动：形成基于数据分析的环境优化与迭代机制。
- c) 用户共创：建立用户需求收集与反馈实施的常态化流程。

7.1.4 运维保障

运维保障是指通过全天候监控、关键备件库存管理以及定期应急演练与存档，确保系统在出现故障或突发事件时能够快速响应、及时恢复并保持长期可靠运行的保障机制。主要包含以下内容：

- a) 建立全天候监控中心与快速故障恢复机制。
- b) 确保关键模块的备用资源充足可用。
- c) 定期组织应急演练并做好过程记录与归档。

7.2 培训

培训是指通过岗位能力矩阵、标准化理论学习、实操训练与考核，以及持续能力档案管理，系统提升机器人相关岗位人员在操作、数据管理、安全及运维等方面的专业技能和合规能力，以保障系统安全、稳定和高效运行。

表6 岗位能力矩阵及培训表

岗位	必备技能	认证要求	再培训周期	培训理论内容	能力评估档案
任务规划工程师	场景脚本、风险评估	内部 L3 认证	12 个月	GB/T 12643-2025 等	建立电子档案，记录培训、考核、授权、违规事件，保存≥5 年
采集操作员	传感器标定、设备点检	特种作业证	6 个月	GB/T 12643-2025 等	建立电子档案，记录培训、考核、授权、违规事件，保存≥5 年
质检员	数据质量审计	ISO-9001 内审员	12 个月	GB/T 12643-2025 等	建立电子档案，记录培训、考核、授权、违规事件，保存≥5 年
运维工程师	网络、安全、PLC	CCNP/RHCE	24 个月	GB/T 12643-2025 等	建立电子档案，记录培训、考核、授权、违规事件，保存≥5 年

附录 A

家庭服务场景物品种类明细见表7:

表7 家庭服务场景物品表

道具大类	子类	备注
衣物	T恤、裤子、衬衫、袜子、毛巾、枕头、拖鞋、皮鞋、帽子	不同颜色
餐具	筷子、勺子、刀、叉、塑料水杯、塑料碗、塑料盘子	水杯、碗和盘子需要不同颜色
水果	假苹果、假草莓、假葡萄、假香蕉、假橙子、假菠萝、假桃、假梨	
玩具	毛绒玩偶、积木块、玩具车	积木块需要多种颜色
日用品	牙膏、牙刷、纸巾、消毒喷壶、漏斗、不锈钢盆、夹子、眼镜盒、眼镜、水杯、皮鞋油、储物盒、脏衣篮、砧板、保鲜盒、折叠雨伞	
摆件	花瓶、假花、壁画、挂件	
清洁工具	扫帚、簸箕、拖把	
食品	假汉堡、假羊角面包、假吐司、假牛排、假番茄、盒装牛奶、假土豆、假玉米、假茄子、包装水、薯片、饼干、茶包、假燕麦	
家居	沙发、衣服挂架、橱柜、床头柜、水槽、花洒、马桶、茶几	
炊具	灶台、平底锅、锅铲	
电器	洗碗机、冰箱、微波炉、热水壶、吹风机、空气炸锅、洗衣机、烘干机、面包机、制冰机、全自动咖啡机、蒸锅、电饭锅、烤箱	
办公用品	碎纸机、复印机、白板、白板笔、白板擦、签字笔、鼠标、台灯、假书、相框、笔筒、报销箱、假电脑、HDMI线、铅笔盒、橡皮、电脑、手机、键盘	
工具	锤子、螺丝刀、不同颜色按钮、螺栓和螺母	
超市	超市电子秤、货架、扫描枪、购物车	
文体用品	羽毛球、网球、篮球、足球、排球、乒乓球	
机器人	扫地机器人、炒菜机器人	
其他	咖啡胶囊	

参 考 文 献

- [1] GB/T 2421—2020 环境试验 概述和指南
 - [2] GB 3096-2008 声环境质量标准
 - [3] 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
 - [4] GB/T 5700—2023 照明测量方法
 - [5] GB/T 10113—2003 分类与编码通用术语
 - [6] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
 - [7] GB/T 12643—2025 机器人 词汇
 - [8] GB 13495.1—2015 消防安全标志 第1部分：标志
 - [9] GB/T 14048.2—2020 低压开关设备和控制设备 第2部分 断路器
 - [10] GB 16927.1—2013 高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求
 - [11] 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
 - [12] GB/T 17799.1—2017 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度
 - [13] GB 17945—2024 消防应急照明和疏散指示系统
 - [14] GB/T 18233.1—2022 信息技术 用户建筑群通用布缆 第1部分：通用要求
 - [15] GB/T 20000.1—2014 标准化工作指南 第1部分：标准化和相关活动的通用术语
 - [16] GB/T 22374—2018 地坪涂装材料
 - [17] GB/T 33661—2017 机器人可靠性测试方法
 - [18] GB/T 36625.3—2021 智慧城市 数据融合 第3部分：数据采集规范
 - [19] GB/T 37283—2019 服务机器人 电磁兼容 通用标准 抗扰度要求和限值
 - [20] GB/T 37939—2019 信息安全技术 网络存储安全技术要求
 - [21] GB/T 42021—2022 工业互联网 总体网络架构
 - [22] GB 50016—2014 建筑设计防火规范
 - [23] GB 50037—2013 建筑地面设计规范
 - [24] GB 50084-2017 自动喷水灭火设计规范
 - [25] GB50116-2013 火灾自动报警系统设计规范
 - [26] GB 50140—2005 建筑灭火器配置设计规范
 - [27] GB 50311—2016 综合布线系统工程设计规范
 - [28] GB 50974-2014 消防给水及消火栓系统技术规范
 - [29] T/SAIAS 017—2024 人形机器人 分类分级应用指南
 - [30] 国家机器人标准体系建设指南
-