

人形机器人标准化白皮书 (2024 版)

全国机器人标准化技术委员会
2024 年 12 月



指导委员会

主任：丁 汉

委员：王德成 宋晓刚 孙立宁 曲道奎 王振林
刘 新 黄 雪 刘连庆 宋 锐 王宁威
于 括 赵 赢

编写委员会

主 任：王耀南

副主任：李金村 熊友军 熊 蓉

委 员：丁 宁 马晓帅 王斌锐 王士宁 王启舟
王俊芳 王 健 方骏玮 乔 波 任容玮
刘常昱 刘少山 刘佳璐 刘春宝 齐 为
孙洁香 孙添飞 杜振军 杜睿龙 李本旺
李志海 吴 璇 杨前进 杨秋影 杨 恒
杨 涛 张彦辉 张 锋 张锦棣 张鹏飞
张利强 陈学超 陈 仟 庞建新 林雪琴
罗小雪 季 超 周忠祥 郑子木 郑 金
房海南 孟 眉 贺 吉 赵宏剑 陶 永
秦修功 聂永丰 栾俊达 唐臣玉 黄显道
曹 钰 曹晓擎 符海芳 梁乔玲 焦继超
程宝平 蒲琪然 颜 磊 薛聪睿 瞿卫新

(委员按照姓氏笔画排名)



目 录

前 言	1
一、人形机器人概述	4
1.1 概念	4
1.1.1 定义及本文范畴	4
1.1.2 人形机器人与其他相关概念的关系	7
1.1.3 分类	9
1.2 人形机器人发展历程	11
二、人形机器人产业与技术发展现状	14
2.1 产业发展现状与趋势	14
2.1.1 产业政策	14
2.1.2 全球产业格局	18
2.1.3 产业链分析	20
2.1.4 产业发展趋势	27
2.1.5 产业对标准化的需求	28
2.2 技术发展现状与趋势	29
2.2.1 机械本体与核心部件	30
2.2.2 动力系统	36
2.2.3 多模态感知与场景理解	38
2.2.4 自主任务规划与决策	39
2.2.5 运动规划与控制	41
2.2.6 移动操作执行与人机交互	42
2.2.7 大模型训练系统	45
2.2.8 仿真训练系统	46
2.2.9 操作系统	47
2.2.10 关键技术标准化需求分析	48
三、标准化现状与需求	49
3.1 国内外标准化现状	49
3.2 人形机器人标准分析	52
四、人形机器人产业/技术与标准图谱	56
4.1 产业－标准图谱	56
4.2 技术－标准图谱	58
五、人形机器人标准体系建设	60
5.1 标准体系参考结构	60
5.2 标准体系框架图	62
5.2.1 基础通用标准	63
5.2.2 零部件	64
5.2.3 模块	64
5.2.3.1 结构模块	64
5.2.3.2 功能模块	65
5.2.3.3 系统模块	66
5.2.4 整机	67
六、人形机器人标准化发展展望	67



6.1 适应新产业发展新需求，提升有效供给	68
6.2 前瞻布局，开创国际标准化发展新空间	70
6.3 加强产业政企协作机制建设，完善政策支持体系	71
附录 I 变革性典型应用	73
案例一：人形机器人在工业场景的应用	73
案例二：人形机器人在物流场景的应用	77
附录 II 已发布的与人形机器人相关的标准清单	82
参考资料	87
参编单位	91



前 言

在全球智能化浪潮风起云涌的时代背景下，人形机器人作为人工智能、高端制造与新材料等前沿技术深度融合的结晶，正逐渐崭露头角，成为连接未来理想与现实生活的关键桥梁。它有望继计算机、智能手机和新能源汽车之后，成为重塑全球经济产业格局、改变人类生活与生产方式的又一强大驱动力，其在智能制造、家庭及商业服务、仓储物流、特种作业等诸多领域的广泛应用潜力，彰显了作为未来科技变革核心驱动力的巨大价值，人形机器人无疑是开启人类未来无限可能的一把关键钥匙。

随着人形机器人技术的迅猛发展，其在国际科技舞台上的竞争愈发激烈，已然成为各国角逐未来产业制高点的关键领域。然而，当前人形机器人产业仍处于快速发展的初期阶段，面临着诸多挑战与机遇。在这一个新兴而充满潜力的领域，标准化建设成为推动人形机器人产业稳健前行的关键动力。建立系统完善的标准体系，不仅能够及时跟踪行业快速发展的步伐，引领产业迈向更高层次，更能在维护市场秩序、促进技术创新交流、加速成果转化、降低企业研发成本与技术门槛等方面发挥不可替代的作用，进而全面提升行业整体技术水平与国际市场竞争力。因此，积极推进标准化建设对于人形机器人产业的可持续发展具有深远意义。

本白皮书的编撰工作紧密围绕《人形机器人创新发展指导意见》《关于推动未来产业创新发展的实施意见》等一系列国家政策对人形机器人产业的战略规划与具体要求，旨在深入贯彻《十四五机器人产



业发展规划》中关于机器人标准化工作的重要部署。其核心目标在于充分发挥标准化在支撑产业发展中的关键作用，着重强化产业链上下游的协同创新能力，推动科技成果向实际应用的高效转化，构建完备的产业技术创新生态链，推动软硬件系统的标准化与模块化设计，大幅提升新产品开发效率，助力应用场景的落地生根，并持续提升我国标准在国际舞台上的影响力。

白皮书全面且系统地梳理了人形机器人领域标准化工作的现状，深入剖析了当前面临的问题与挑战，精准把握标准化建设的迫切需求与未来发展方向。其内容涵盖了人形机器人的定义、分类、发展历程、产业与技术现状、标准化现状与需求、产业/技术/标准图谱、标准体系建设以及标准全生命周期管理与标准化生态构建等多个关键维度，致力于为企业、研究机构、投资者以及政府管理部门提供坚实的技术支撑与决策依据，助力各方深入洞察人形机器人产业发展趋势，加速技术创新与应用场景的深度融合。

本白皮书凝聚了众多科研人员、企业精英以及行业专家的心血与智慧，反映了大部分从业者在人形机器人标准化相关领域探索研讨的共识。在此，我们衷心感谢每一位在白皮书编撰工作中给予大力支持与做出杰出贡献的专家、学者、企业及机构。然而，我们亦认识到，面对如此复杂且尚处于快速发展阶段的人形机器人领域，受限于当前的技术认知水平、实践经验范围以及各种复杂多变的内外部环境等诸多因素，本白皮书仍存在一些考虑不周之处。在此，我们以开放且诚挚的态度，欢迎各界人士，不吝指出其中的不当之处。我们期望通过



这样的交流与反馈，在未来能够进一步完善与优化本白皮书，使其能精准地把握行业脉搏，切实地服务于整个人形机器人行业发展，为政府决策提供科学依据，为企业研发提供明确导向，为市场应用提供规范准则，为各方提供更具价值与前瞻性的指引与参考，最终共同推动人形机器人行业向着更加稳健、高效的方向大步迈进，开启人机共融的全新篇章。

编委会

2024 年 12 月



一、人形机器人概述

1.1 概念

1.1.1 定义及本文范畴

人形机器人这个概念一经提出，就在学术界、科技界和产业界引起广泛讨论，人们从各自的认知和立场给出了不同的解读。从某种程度上讲，人们对人形机器人的定义和理解，不仅会对学术研究、专业探索以及产业发展产生影响，还与政策走向息息相关。

从标准的角度来看，纵观国内外相关资料，机器人的分类大多依据应用场景、功能特性、控制模式以及移动方式来进行，截至目前，尚未发现按照机器人形状进行划分的标准或文献。因此，当“人形机器人”这一以模仿生物体形状为主要特征的全新概念首次出现时，引发热烈讨论与争论也就不足为奇了。

在学术领域，“百家争鸣，百花齐放”的氛围能够充分激发和调动每一个人、每一个专业团体的想象力、创造力与积极性，推动学术思想不断碰撞交融，产生丰硕的理论成果。但在产业化过程中，没有一个准确的、界限明确的定义，将会造成产业界的混淆甚至混乱。因此，对标准化工作而言，明确人形机器人概念的内涵与外延，已然成为一项极为紧迫且重要的任务。

首先，人形机器人属于机器人范畴。机器人是具有一定程度自主



能力的，可以执行移动、操控或定位任务，可编程的机械致动机构（programmed actuated mechanism with a degree of autonomy to perform locomotion , manipulation or positioning , ISO 8373:2021）。

人形机器人既可以是工业机器人，其定义为：自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或三个以上轴进行编程，它可以是固定式或移动式，用于工业自动化；也可以是服务机器人，其定义为：个人使用或专业用途下，可为人类或设备完成有用任务的机器人。所以，人形机器人在不同的应用背景下，具有不同的概念和含义。

目前，国内主流科技咨询公司对人形机器人概念的观点主要如下：

1）人形机器人是具备人类外形特征和行动能力的智能机器人，以双腿行走的方式，通过手臂和身体的协调完成功能，基于通用型算法和生成式 AI，具备语义理解、人机交互、自主决策等能力，并利用人机交互实现任务理解与反馈，需要强大的感知计算与运动控制能力（《创业邦》）；

2）人形机器人是一种仿生机器人，指形状与尺寸与人体相似，能够模仿人类运动、表情、互动与动作的机器人，并具有一定程度的认知和决策智能（《高工咨询》）；

3）人形机器人是一种模仿人类外形的机器人，除具备人形和模拟人类动作外还兼具智慧化和可交互性等特点。人形机器人主要包含三大核心技术模块：环境感知模块、运动控制模块和人机交互模块（《觅途咨询》）。



从上述对人形机器人概念的主要观点来看，可以归纳为如下三个主要特征：①外部特征：人形；②运动特征：双足直立行走；③智力特征：人类智能。

国际上虽然没有对人形机器人的直接定义，但国际标准 ISO 8373:2021《Robotics – Vocabulary》中有类似人形机器人的仿人机器人的概念：仿人机器人为“外观和动作与人类相似，并且具有躯干、头部和肢体的机器人（robot with body, head and limbs, looking and moving like a human）”，该标准中还给出了仿人机器人的参考图（见图1）。从该定义中可以看出，仿人机器人具有两个主要特征，即外部特征的人形和运动特征的双足直立行走，而没有强调智力特征。从目前人形机器人的发展状态来看，这是有一定道理的，否则将会把人形机器人的范畴压缩过窄。

此外，在关于人形机器人的众多观点中，有一种颇具代表性的看法，即认为人形机器人应当是：外观、行动与人类相似，具有部分或全部人类特征的机器人。人类特征包括躯干、头、肢体、语言、动作和智力等。而该观点争议较大的地方是“具有部分或全部人类特征的机器人”，因为如果是“具有部分人类特征”的话，很难看起来像“人”，如只有一只手或一个头部等，该定义的范畴又扩展过宽。

基于以上分析并结合目前人形机器人国内外技术与产业发展趋势，本文将人形机器人的概念界定为狭义和广义两种定义，即：

人形机器人（狭义）：外观和行为与人类相似，具有躯干、头部和四肢的机器人。



人形机器人（广义）：外观和行为与人类相似，具有部分或全部人类特征的机器人。人类特征包括躯干、头、肢体、语言、动作和智力等。

本白皮书所聚焦的产品以及产业研究与分析对象为广义上的人形机器人，标准化研究对象包括但不限于人形机器人产业发展历程中相关的产品、技术、过程或服务。

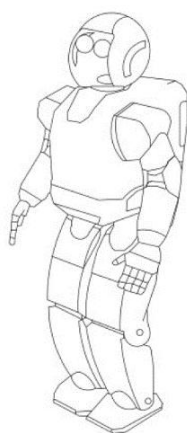


图 1 人形机器人参考图

1.1.2 人形机器人与其他相关概念的关系

近年来，由于人工智能与机器人的快速发展，为更加精确地阐述本白皮书所聚焦的研究与分析对象，特此对与人形机器人有交集的其他概念进行简要描述，各概念之间的包含及交叉关系详见图 2，图中各圆形所占据的面积仅用于示意各概念间的包含与交叉关系，并不直接反映相关概念在产品市场中的占有率，也不代表各概念间具体的包含比例。



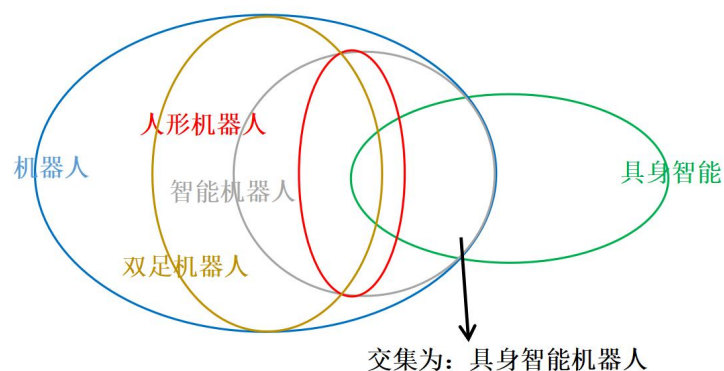


图2 人形机器人与其他相关概念的关系

1) 机器人、智能机器人的关系：根据机器人的标准定义，机器人具备一定程度的自主能力，但是具有一定程度的自主能力并不等同于具备智能性。虽然自主性和智能性在某些方面有重叠，但它们仍然是两个不同的概念。自主性是指物体或系统具有独立决策和行动的能力，能够在没有外部干预的情况下执行任务，这种能力通常基于预设的规则和指令，虽然可以在一定程度上应对环境变化，但并不一定具备真正的理解和适应能力。智能性是指物体或系统具有类似人类的智慧、学习和适应能力，智能体能够感知环境、进行决策并采取行动，同时不断学习和优化自身行为，以实现特定目标。这种能力不仅要求具备自主性，还需要具备感知、学习、适应和决策等更高级的功能。所以虽然所有机器人都具备自主性，但是并不是所有机器人都具备智能性，机器人中具备智能性的那部分为智能机器人。

2) 智能机器人、具身智能、具身智能机器人的关系：中国信息通信研究院和北京人形机器人创新中心有限公司于2024年8月联合发布的《具身智能发展报告（2024）》中对具身智能的定义为“依靠物理



实体通过与环境交互来实现智能增长的智能系统”，智能机器人的智能性可以是依靠各类数据前期训练而获得，也可以是其依靠物理实体通过与环境交互来实现智能增长。所以智能机器人也不等于具身智能，两者之间有交集，交集部分即为具身智能机器人。

3) 人形机器人（广义）、双足机器人、其他机器人的关系：国际标准 ISO 8373:2021 《Robotics – Vocabulary》中对双足机器人的定义为“legged robot that travels using two legs”，即双足机器人是用两条腿移动的腿式机器人，而腿或机器腿的定义为“mechanism of interconnected set of links and joints which are actuated to support and propel the mobile robot by making reciprocating motion and intermittent contact with the travel surface”，即由一组相互连接的连杆和关节组成的机构，通过往复运动和与行进表面的间歇接触来支撑和推进移动机器人。根据定义来看，双足机器人可以是双足的动物形态，也可以是人形形态，亦或是其他有双足的形态，在此定义中并没有十分明确其具体形态。并且如前文所讲，人形机器人并不一定用两条腿来移动，可以是其他可移动部位的动作与人类相似。所以双足机器人和人形机器人两者之间有交集但并不相等。且如（1）所言，双足机器人具备自主性但是不一定具备智能性。

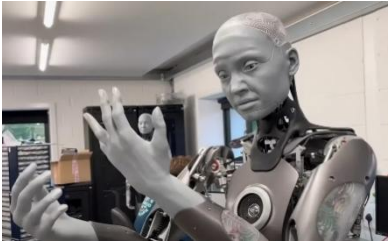
1.1.3 分类

基于对 2024 年度全球市场上多款人形机器人产品的调研分析，本白皮书按照运动部位、应用领域两个维度对人形机器人进行分类，详



见表 1。

表 1 人形机器人产品类型示例

序号	分类维度	产品类型	用途说明/产品特点	产品示例
1	运动部位	上身运动型	多强调表情与上半身肢体动作情感表达，多与用户（人类）有交互，机器人脖子、胳膊或手部等上半身部位可移动，下半身无法移动	 
		全身运动型	多在工业或公共服务场景中应用，强调单个实用任务的执行。不过目前并没有广泛应用，多见于高校、小学的机器人教育或企业、科研机构的研发训练阶段	
2	应用领域	个人/家用服务领域	目前常用于个人陪伴。	 
		公共服务领域	目前主要应用于零售商超、酒店、餐厅、银行大厅等场所，为用户提供问询、递送、导览、商品分拣、娱乐表演等服务。	 



			目前通常被用于汽车、电子等生产线上的装配、操作、维护和检测等	
--	--	--	---------------------------------------	--

1.2 人形机器人发展历程

人形机器人的探索始于 20 世纪 70 年代，经历了早期发展阶段（1970—2000 年）、集成发展阶段（2001—2011 年）、高动态运动与交互能力提升阶段（2012—2020 年）、智能化发展阶段（2020 年至今）等四个阶段（如图 3），人形机器人从最初以模仿人类外观和基本动作为起点，逐步演变成了具有人类特征的智能系统，并推动了人工智能、自动控制、机器视觉、材料科学、精密仪器等相关科学领域的研究。



图 3 国内外人形机器人发展时间轴

1.2.1 我国人形机器人发展历程



我国对人形机器人的探索起步于 20 世纪 80 年代末，并且早期的机器人研究主要集中在高校以及科研院所。自 1986 年开始，哈尔滨工业大学先后研发出 HIT 系列机器人，HIT 机器人以电机驱动，机身共 12 个自由度，可以实现静态行走。国防科技大学于 2000 年率先自行研制出我国具有历史意义的第一台仿人机器人“先行者”，这一阶段研究集中在机器人关节以及简单步态控制上；21 世纪初，伴随着传感技术和智能控制技术的突破，以北理工研发的第二代“汇童”、浙江大学研制出“悟”和“空”双胞胎人形机器人为代表，人形机器人行业步入了快速发展期，手臂活动灵巧，能够完成稳定行走、给人送递饮料以及乒乓球对打等任务；2010 年后，人工智能和机器学习的进步大幅提升了人形机器人的认知能力，以优必选 Alpha2、Walker 等为代表的人形机器人，能够稳定地执行复杂动作，甚至在挑战性场景中自主做出决策；2020 年后，随着人工智能技术快速发展与市场需求的增长，以宇树科技 H1 与升级版 G1、小米 CyberOne、浙江人形 NAVIAI 等为代表的人形机器人，能识别语义和情绪，具备平稳行走和复杂动作能力，助推我国人形机器人产业步入了智能化发展阶段。同一时期，介电弹性体、超螺旋聚合物、气动仿生肌肉等柔性材料的快速发展也带来了人形机器人的驱动器的革新，以北工大研发的气动人工肌肉驱动器、中国计量大学设计的一种拮抗气动肌肉驱动的人形机器人为例，实现了膝关节角度与刚度的精确控制，将为复杂任务和交互场景提供更加灵活和仿生的解决方案。

1.2.2 国际人形机器人发展历程

国际上对人形机器人的研究起步较早，得益于 20 世纪领先的科研水平与先进的技术基础设施，人形机器人早期发展主要集中在美国和日本。



1967 年，日本启动了极具影响力的 WABOT 项目，并于 1972 年成功研制了世界上第一个全尺寸人形“智能”机器人——WABOT-1；2000 年，本田推出了 ASIMO，能够行走、跑步、跳跃并上下楼梯，最高运动速度可达 9 公里/小时。自 2006 年起，ASIMO 逐步融合视觉识别等技术，具备了基本的交互能力，能够完成如拧瓶、倒水、端茶和踢球等任务，标志着人形机器人进入了集成的发展阶段。然而，ASIMO 在应对不平整地面和未知扰动方面的适应性仍然较为有限。

2013 年，波士顿动力公司发布了更具影响力的由液压驱动的 Atlas 人形机器人，能够推开房门、在各种复杂地形中行走，并具备自我恢复平衡的能力。2017 年，第四版 Atlas 成功完成了跳跃、跳高、后空翻等高难度体操动作，并在 2019 年展示了更复杂的体操动作组合，展现了极高的动态运动能力。尽管 Atlas 的动态运动性能处于领先水平，并且能够通过二维码进行物体识别，但复杂的搬运任务依然容易导致机器人失稳，且其智能性仍较为薄弱。

2020 年伊始，以特斯拉 Optimus、Optimus 二代人形机器人为代表，人形机器人进入了智能化的发展阶段，朝着高度集成、感知环境、运动自如、精细操作的方向迈进。人形机器人能够自主执行更复杂的任务，如从传送带上捡起电池单元并精确放入托盘中。Optimus 配备五指灵巧型机器人手，具备触觉感知和 11 个自由度，展现出强大的稳健性，可以在无需持续维护的情况下长时间执行物体交互任务。目前，特斯拉已在其工厂部署了 Optimus 机器人，进行日常工作和任务测试，进一步加速其智能化发展。

1.2.3 总结与趋势分析



随着国家、地区相关政策出台，全球资本大量涌入，龙头企业及科研院校研发投入等掀起的人形机器人热潮，人形机器人正朝着更高性能、更强适应性的方向爆发式发展。电驱动、液压驱动以及人工肌肉和气动技术在人形机器人上的应用将会保持较长时间探索，融合眼一手一足，结合智能芯片、智能算法，构建形成类人“超级大脑”，形成机器人元宇宙，未来人形机器人将广泛应用于工业生产、社会服务、救援救灾等领域。伴随着人形机器人的多场景实地应用，为确保机器人能够在多样化环境中安全、高效地运行，安全测评的需求愈发重要。未来人形机器人技术的发展不仅需要持续的技术创新，更需要系统的安全保障技术与标准化支持，以满足不同交互环境下对机器人安全性、互操作性和环境适应性的需求。提升人机交互的安全性，不仅能够推动技术在特定应用领域的推广，还将引领机器人技术的规范发展，为人形机器人在多元化场景中的普及奠定基础。

二、人形机器人产业与技术发展现状

2.1 产业发展现状与趋势

2.1.1 产业政策

2.1.1.1 全球产业政策特点

人形机器人作为新一代人工智能的集大成者，已经成为全球科技和产业竞争的新高地。各国政府高度重视，从促进多方协同、加大研发投入、完善产业生态、重视人才培养、加强国际合作以及关注伦理安全等维度，出台了一系列政策措施，为本国的人形机器人产业发展提供强力支持。



以中国、欧美、日韩地区为例，各国政府在技术创新与研究支持方面，集中资源推动核心技术的突破，包括人工智能、机器学习、机器人技术和人机交互等领域的研发，并为相关技术研究提供资金和政策支持；在市场拓展与应用推广方面，重点关注人形机器人在提升生产力、改善产品质量及缓解劳动力短缺等领域的实际应用，特别是在工业自动化、医疗与老龄化护理、商业服务等行业；在标准化方面，各国强调本国产业标准的制定与国际合作，以促进全球产业体系的兼容性和互操作性。

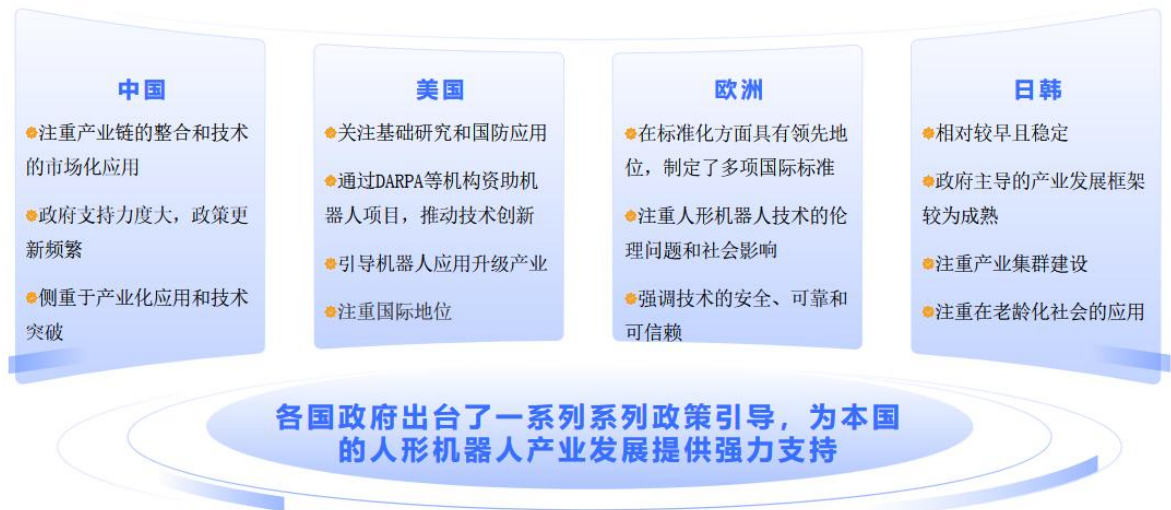


图 4 不同国家和地区关于人形机器人产业政策特点对比

2.1.1.2 国内相关政策

1) 国家政策

我国从标准化规划引导、产业战略布局、激发创新活力等维度，出台了一系列人形机器人相关政策。

通过制定人形机器人产业发展规划和实施方案，明确发展路径并提升产业战略地位，推动了产业的顶层设计和方向指引。同时，借助“揭榜挂帅”制度激发企业与研究机构的创新活力，推动关键核心技



术突破。在此基础上，全国机器人标准化技术委员会成立人形机器人标准工作组，制定标准体系，规范产业发展，并前瞻性布局未来的标准化方向。

表 2 中国国家层面出台的人形机器人产业政策

政策文件	发布时间	内容
《人形机器人创新发展指导意见》	2023 年	提出了国内人形机器人发展目标和任务
《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》	2023 年	前瞻布局人形机器人产业标准研究
《关于组织开展 2023 年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知》	2023 年	提出面向元宇宙、人形机器人、脑机接口、通用人工智能等 4 个重点方向，突破关键技术
《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	2024 年	提出做强未来高端装备，打造包括人形机器人在内的多项标志性产品

2) 地方政策

自 2023 年以来，地方政府积极响应国家政策，出台支持人形机器人发展的措施，推动产业创新与升级。各地加大资金支持，助力技术攻关与产业链完善，鼓励企业与科研机构合作，推动核心技术突破和自主创新。政策重点推动人形机器人在工业、服务、医疗等领域的应用，拓展市场空间，加速产业化进程。

表 3 各地方人形机器人产业政策

地区	政策文件	发布时间	内容
北京市	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025 年）》	2023 年	提出加紧布局人形机器人。对标国际领先人形机器人产品，支持企业和高校院所开展人形机器人整机产品、关键零部件攻关和工程化
上海市	《关于推进本市元宇宙标准体系建设的指导意见》（上海）	2022 年	提出要规范和引导人形服务机器人、仿生机器人等代理机器设备的接口、数据交换、性能、功能等
上海市	《上海市推动制造业 高质量发展三年行动计划（2023—2025 年）》	2023 年	提出打造世界级产业集群，加快人形机器人创新发展
上海市	《上海市促进智能机器人产业高质量创新发展行动方案（2023—2025 年）》	2023 年	提出建设人形机器人制造业创新中心，开发通用人形机器人原型机，打



			造具有国际影响力的人形机器人产品等
浙江省	《关于培育发展未来产业的指导意见》 (浙江省)	2023年	提出发展仿生机器人,开展仿生感知认知、生机电融等技术研究突破与系统集成,强化商用场景和个人、家庭应用场景探索
浙江省	《浙江省人民政府办公厅关于加快人工智能产业发展的指导意见》	2024年	提出人工智能技术集群化发展方向,因地制宜建设人工智能特色产业园区,发展类脑智能、人形机器人、元宇宙等未来产业
浙江省	《浙江省人形机器人产业创新发展实施方案(2024—2027年)》	2024年	围绕人形机器人整机制造、整零协同、技术攻关、产业培育、多元应用等维度提出具体的产业发展方针与目标
广东省	《关于人工智能赋能千行百业若干措施》	2024年	提出推进智能机器人创新发展,推动人形机器人等具身智能机器人研制和应用
广东省	广东省培育未来智能装备产业集群行动计划	2024年	提出了到2030年人形机器人等领域工作目标以及重点任务、工程

2.1.1.3 国外相关政策

机器人产业作为衡量国家科技创新与高端制造水平的重要标志,备受全球关注。主要经济体纷纷将机器人产业发展上升为国家战略,抢占科技和产业制高点,并相继出台多项政策,加速推动人形机器人行业发展。

表 4 国外人形机器人相关政策

国家	政策文件	发布时间	内容
美国	《国家先进制造业战略》	2022年	强调了机器人技术与太空增材制造相结合,尤其是在深空探索方面的应用
美国	《先进制造业合作伙伴计划(AMPP) 机器人技术发展(2023年)》	2023年	为人形机器人发展提供资金援助、技术创新、标准化工作和国际合作等资源
欧洲	《欧洲机器人技术民事法律规则》	2022年	通过制定有效的伦理指导框架、成立欧盟统一的机器人技术和人工智能的监管机构、明确损害赔偿的严格责任、建立适用于智能机器人的强制保险制度、建立赔偿基金、为复杂自动化机器人创设“电子人”的法律地位等内容



欧洲	《地平线欧洲》	2021 年	将医疗保健、基础设施检查维护、农业食品和快速生产四个主要领域，与机器人融合，再配合由公司和学术界的机器人创新者组成的机器人圈层，全面推动欧盟机器人领域的发展
德国	《“机器人研究行动计划”1.1 版》	2024 年	提出：（1）将基础科技创新应用于机器人开发。（2）汇聚机器人研究机构。（3）为未来机器人的研发人才提供支持。（4）开展智能机器人应用
韩国	《第三代智能机器人基本计划》	2022 年	提出推动将机器人技术发展为第四次工业革命的核心产业，并为“智能机器人 2022 年实施计划”拨款 1.722 亿美元
韩国	《尖端机器人产业愿景和战略》	2023 年	至 2030 年拟投资约 22.4 亿美元，在多个行业普及 100 万台机器人，并大力培养机器人相关核心技术和专业人才
韩国	《智能型机器人法》	修订中	从法律的层面，计划重新定义“人工智能”及“人形机器人”等新技术和产业，彻底重新审视机器人产业、机器人技术的相关规则
日本	《科学技术白皮书》	2021 年	强调在超级计算机、人工智能、量子、机器人等未来产业领域，加大科技基础研究与人才开发力度
日本	《AI 战略 2021》	2021 年	鼓励 AI 与机器人技术结合，以开发更先进的服务型的人形机器人
日本	新机器人战略	2022 年	旨在使该国成为世界第一的机器人创新中心。战略提供了超过 9.305 亿美元的支持，重点领域是制造业、护理和医疗、基础设施和农业

2.1.2 全球产业格局

人形机器人作为全球科技竞争的新高地、经济发展新引擎以及未来产业发展的新赛道，展现出巨大的发展潜力和广阔的应用前景。它不仅是加快形成新质生产力、推动科技自立自强的重要支撑，也将深刻影响多个行业的变革。自 2022 年以来，全球人形机器人产业规模持续扩大，预计未来十年将继续保持高速增长的趋势。

目前，全球人形机器人产业的格局呈现出多元化、区域化和跨界



融合的特点，其中中国、欧洲、北美、日本和韩国等地区在技术研发、企业培育和产业应用方面处于全球领先地位。特别是在工业制造、商业服务和家庭看护等领域，人形机器人已初步展现其巨大的市场价值。

在这一进程中，全球涌现出一大批优质的整机企业。其中，中国、美国、日本和欧洲等国家和地区是全球人形机器人企业分布最为集中的区域，例如中国的优必选、宇树科技、傅里叶智能、小米等公司；美国的特斯拉、波士顿动力、Figure AI 等公司；日本的本田公司；欧洲的 Aldebaran Robotics SAS 公司（法国）、1X Technologies（挪威）等。这些企业的集中分布成为推动全球人形机器人产业发展的重要力量。

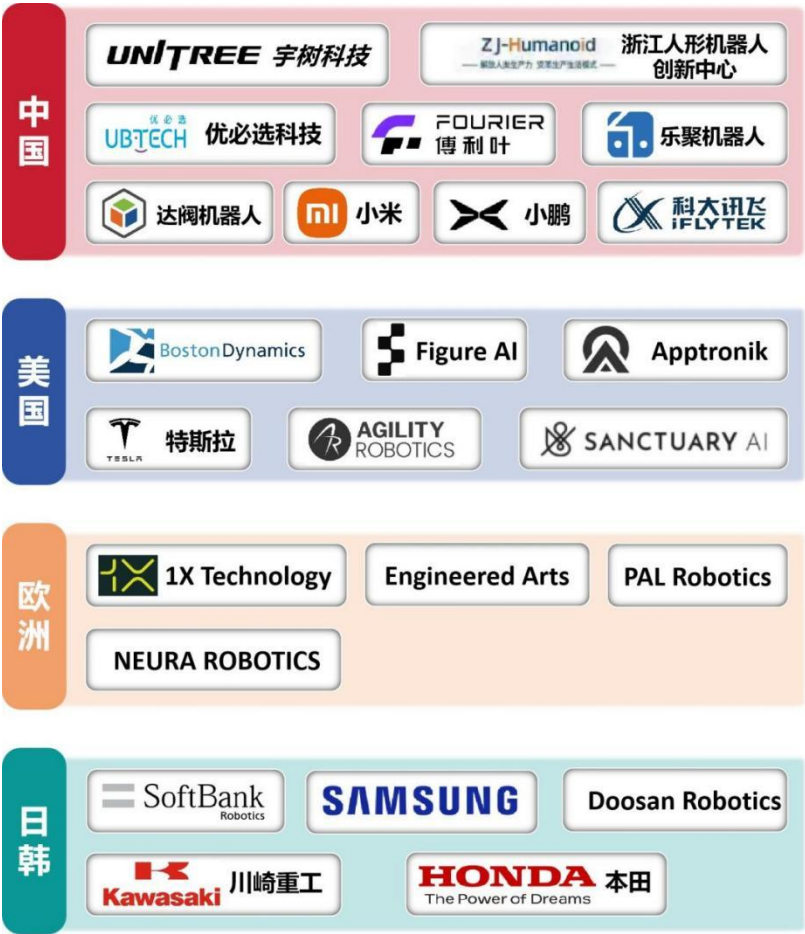


图 5 全球主要人形机器人企业分布



未来，随着人工智能、机器学习和机器人硬件技术的不断突破，人形机器人将持续提升智能化水平，为人类提供更加多元化的服务支持，进一步推动社会各行业的数字化转型和自动化进程。

与此同时，人形机器人产业的发展也面临诸多挑战，涉及技术创新、市场需求、标准化和伦理安全等方面。因此，全球各国、各地区以及行业企业需加强协作，推动跨界融合，解决技术与市场的问题，确保产业健康有序地发展。

2.1.3 产业链分析

2.1.3.1 总体情况

人形机器人上游产业链涵盖零部件和基础软件供应，包括电机、减速器、传感器、控制器、芯片，以及基础软件等核心技术支持；中游主要由整机系统制造商构成，负责机器人本体的研发设计、组装、测试和系统集成；下游聚焦于终端应用场景，覆盖工业制造、家庭服务、医疗康养、高危作业、教育培训等多个领域。

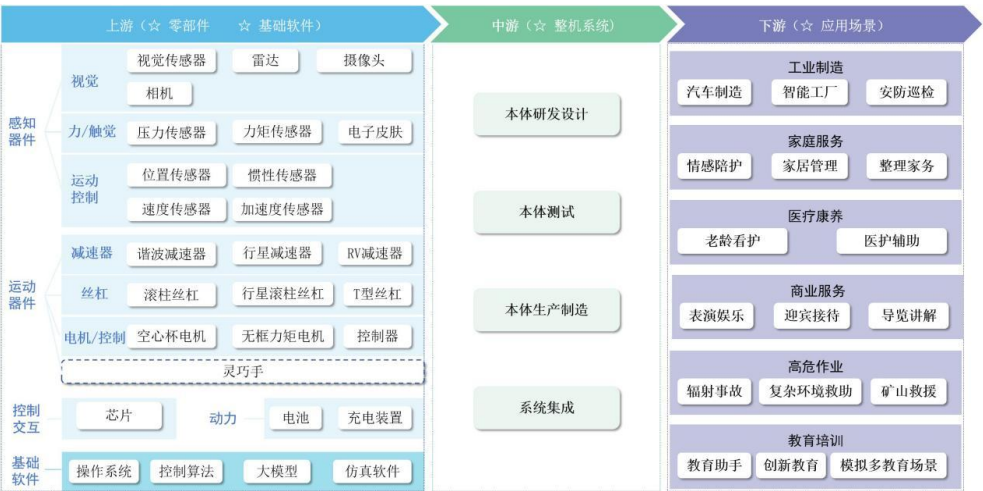


图6 人形机器人产业链图



2.1.3.2 上游

1) 核心零部件（硬件）

人形机器人本体的核心零部件包括感知器件、运动器件、灵巧手、芯片和动力模块，这些部件构成了机器人实现环境感知、精确控制和自主运行的关键基础。

感知器件——涵盖视觉、力/触觉和运动感知的多种传感器，例如视觉传感器、惯性传感器和力矩传感器，用于采集外部环境信息和机器人的自身状态数据；

运动器件——包括减速器、丝杠、电机及运动控制器等，负责驱动机器人完成精确、稳定的动作；

灵巧手——作为精细操作的关键部件，对结构设计、反馈系统和尺寸规格要求极高；

芯片——主要涵盖 CPU、GPU、NPU 等计算芯片和各类控制芯片，是机器人执行复杂算法和智能决策的“大脑”；

动力模块——包括电池、充电装置等，为整机提供可靠的能量支持。

目前，人形机器人核心零部件的国产化程度整体处于中等水平。部分关键零部件如无框力矩电机、T 型丝杠、滚珠丝杠和视觉传感器件有较高的国产化率，性能和性价比具备一定竞争力。然而，空心杯电机、高算力芯片、RV 减速器等高端核心部件仍高度依赖进口，这些领域存在明显的技术差距，国产化空间巨大。随着国内产业的快速发展，供应链体系正在逐步完善。一批优质供应商，如绿的谐波、步科股份、



禾川科技、华为海思等，正在加速攻关关键技术，集中突破高精度减速器、高性能电机、高算力芯片等“卡脖子”领域，努力打破国外技术垄断，为实现自主可控的核心部件供应提供重要支撑。

未来，为推动人形机器人产业高质量发展，应加速制定上游核心零部件的技术标准，以提升国产化水平和全球竞争力。标准化不仅是实现模块化设计和部件互换性的关键，也是优化生产流程、提升系统集成效率的重要手段。统一的技术规范和接口标准将有效降低企业在研发和制造环节的成本，同时促进产业链上下游企业间的协同创新与资源整合，进一步优化供应链效率。同时，建立标准化体系并营造良好的技术创新环境，可以加速核心零部件的技术攻关与国产化进程，推动国内企业在高精度减速器、高性能电机、高算力芯片等关键领域实现突破，逐步摆脱对进口的依赖。与此同时，标准化建设将为我国企业在全产业中树立技术标杆，提升国际话语权和市场竞争力。

2) 基础软件

随着人形机器人技术的不断发展，其构型以及感知、控制、决策等能力日益复杂，基础软件体系也经历了从简单到复杂、从低级到高级的演变。



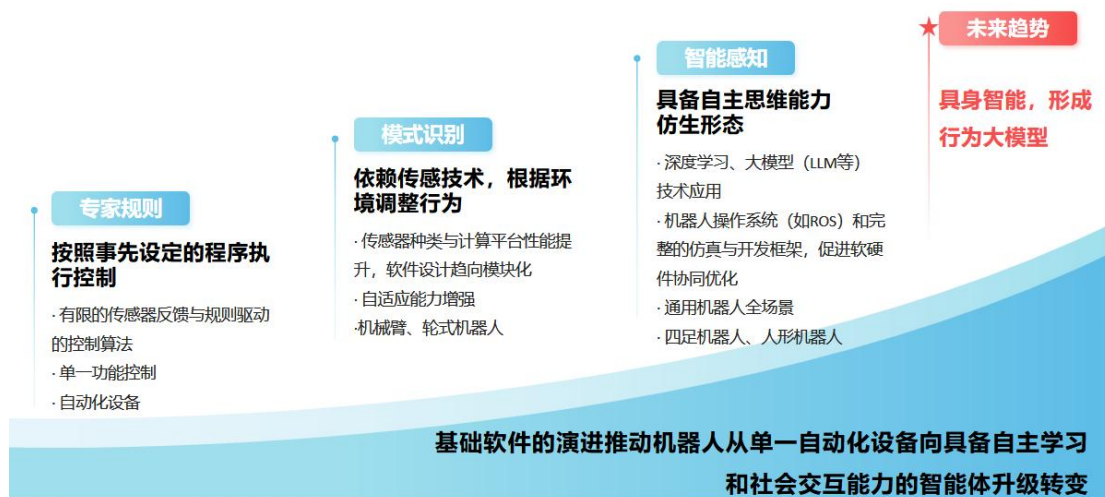


图 7 基础软件发展历程

人形机器人基础软件逐渐涵盖了操作系统、核心算法、大模型及仿真软件等多个方面，且各环节的标准化已成为推动产业发展的关键。

目前，操作系统的国产化程度中等，国际上以 ROS 为代表的开源操作系统为产业提供了通用框架，国内天鹤 OS 和 kaihongOS 等本土系统则聚焦场景化应用和生态连接，推动国产化进程；控制算法的国产化程度较高，国内企业可以自主研发人形机器人整机系统的核心算法，部分头部企业在核心算法领域展现出强大的研发实力，例如宇树科技、优必选等在步态规划、视觉识别、平衡控制等关键领域均取得了显著成果；大模型技术的国产化程度正处于快速发展阶段，国内大模型（如华为盘古、阿里云通义）在机器人视觉、语言和动作协作领域展现出强大潜力，并与国际知名大模型（如 ChatGPT、PaLM-E）同台竞技；仿真软件的国产化程度正在逐步提高，国外软件如 Gazebo 和 MATLAB 等在仿真领域被广泛应用，而国内则正在加大力度发展自研仿真工具，并推动其标准化与推广。通过建立统一的建模规范、仿真精度和接口标准，国内仿真软件逐渐具备更高的适配性，推动数字孪生系统的发



展。

未来，应加快基础软件的标准化进程，通过制定接口标准、算法评估标准、数据集标准、仿真性能标准及开发工具和协议标准等，为不同厂商和研发团队提供统一的规范和框架，提升基础软件的互操作性、可扩展性和效率，降低研发成本，推动技术创新，并促进产业链协同发展，加速技术自主可控，提升国际接受度与竞争力。

2.1.3.3 中游

人形机器人整机系统是人形机器人产业链的核心环节，也是实现人形机器人功能集成和商业化应用的关键。近几年，国内外涌现了一批优秀的整机系统企业和极具代表性的人形机器人整机产品。

表 5 全球人形机器人整机代表企业

	代表企业	特点
引领者	波士顿动力（Boston Dynamics）、特斯拉（Tesla）、本田（Honda）等	技术实力雄厚，拥有核心技术专利，产品具有较强的竞争力，具有较高的知名度和影响力
追随者	Figure Ai、Agility Robotics、优必选（UBTECH）、宇树科技（Unitree）等	技术实力较强，产品具有特色，在细分市场具有一定的竞争力，正在积极追赶第一梯队
新兴力量	一些初创企业和高校实验室孵化的公司	技术实力不断提升，产品具有创新性，在某些领域具备潜在的竞争优势

表 6 国内外代表性人形机器人整机系统对比表

	波士顿动力 Atlas	特斯拉 Optimus	Figure AI Figure 01	Agility Robotics Digit	宇树 H1	宇树 G1	浙江人形 NAVIAI	优必选 Walker S1
国家	美国	美国	美国	美国	中国	中国	中国	中国
身高	150cm	178cm	167cm	175cm	180CM	130cm	160cm	172cm
体重	89kg	63kg	60kg	63kg	47kg	35kg	52kg	76kg
自由度	28	42	41	20	19~53	23~43	41	41
运行速度	2.5m/s	0.6m/s	1.2m/s	1.67m/s	3.3m/s	2m/s	1.67m/s	未披露
展现能力	行走、上下台阶、跑酷、搬运物品	行走、瑜伽、单腿站立、物品抓取	泡咖啡、整理桌面、搬运物品	搬运物品	行走、上下台阶、舞蹈、奔跑	行走、跳跃、跳高、抓放物品	行走、舞蹈、端水	行走、抓放物品、搬运物品





当前，我国人形机器人产业在国际上处于领先并跑阶段。未来，可通过制定人形机器人本体整机系统相关标准，涵盖模块化设计、接口兼容性、整机性能评价和安全规范等核心要素，进一步提升我国产品在性能、可靠性、互操作性等方面的竞争力，加速产业链协同，推动产业升级，同时助力国内企业在全球市场中打造技术优势和品牌效应，实现从并跑到领跑的跨越。

2.1.3.4 下游：应用场景

人形机器人下游产业链是推动商业化应用的关键环节。随着技术进步和市场需求的不断增长，下游产业链正迅速扩展，成为人形机器人普及的重要驱动力。未来可通过制定不同应用下的评价标准、场景互联互通标准、应用安全标准、交互标准等，形成人形机器人标准化应用，推动产业链各环节高效协同与资源共享，为商业化普及和产业规模化发展提供坚实的基础。

1) 工业制造场景

人形机器人有望成为工业制造的核心技术，特别是在汽车制造等标准化场景中已开始推广应用，如底盘装配、外观检测、物料搬运等。此外，3C 制造和安防巡检领域也在逐步实现“机器替人”的应用。

2) 家庭服务场景



家庭场景是人形机器人最具应用潜力的市场应用。从功能看，人形机器人走入家庭可分为陪伴和服务两个路线，陪伴是针对老幼的情感陪护、安全看护、教育/娱乐等，服务是整理家务、家居管理等活动。已有部分厂商尝试将人形机器人应用于家庭场景，完成简单家务、互动交流等。

3) 医疗康养场景

在人形机器人医疗康养领域，人形机器人正成为应对老龄化和提供高质量医疗服务的重要工具。它们可替代危险、高强度、精准操作的工作场景，并在看护和服务方面提供支持。例如，Paro 治疗机器人为老年人和儿童提供情感支持，缓解焦虑和孤独。

4) 商业服务场景

商业服务人形机器人主要应用在封闭环境下的室内场景中，迎宾接待、导览讲解等场景对机器人的运动性能要求不高，且部署周期短，将成为商业服务领域最先落地的场景。当前，商业服务人形机器人产品应用在展览展厅、商超酒店、网点大厅等场合，主要用于迎宾接待、导览讲解、需求解答、舞蹈表演等。

5) 高危作业场景

人形机器人在核、危、化、害等高危环境下的应用实现对人力替代、能力互补，降低作业人员危险性，在应急救援场景的应用是与人协作共融，提高救援效率，两类场景下的地形复杂、环境极端，人形机器人在高危/救援下的应用成为最有价值的场景，也对机器人的性能和形态提出了更高的要求。



6) 教育培训

在教育培训领域，人形机器人可以作为教育助手或辅助教师使用，他们可以与学生进行互动，解答问题，提供个性化教学。此外，人形机器人还可以用于模拟实验、演示科学原理、编程教育等教学场景，丰富教学内容，为教育注入更多创新元素，激发学生的创造力和想象力。

7) 物流运输场景

人形机器人可以在仓储、装卸、分拣、包装、配送等环节提升工作效率和管理水平。亚马逊正在测试 Agility Robotics 开发的双足机器人 Digit，提升仓库作业效率，包括卸货、搬运和管理货架等任务。人形机器人在物流运输行业的运用将助力物流产线的智能化升级，实现低成本、高效且智能化的物流运输体系。

8) 其他场景

人形机器人还能在其他更多场景开展应用。例如在极端环境下开展科学探测和研究、在特殊场景下进行搬运物资、执行特定任务等。

未来，随着人形机器人运动性能和智能化水平的不断提升，以及生产成本的降低，人形机器人在上述应用领域的集群化和规模化的应用将成为可能。

2.1.4 产业发展趋势

目前人形机器人尚未在下游终端应用领域实现规模化商业落地，且部分核心零部件的应用仍未得到充分验证，全球人形机器人供应链



仍处于持续构建阶段。然而，随着创新体系的逐步建立以及关键技术如“大脑、小脑、肢体”的持续突破，未来有望形成高效可靠的人形机器人产业链和供应链。人形机器人不仅能够将人类从繁重和危险的劳动中解放出来，提升企业经济价值，还能满足人类情感沟通需求。随着技术进步和应用领域拓展，预计未来几年人形机器人市场将迎来显著扩张和商业化突破，并被广泛应用于个人、家庭、企业、工厂等各类场景，推动人类社会往更高智、更协同、更高效的方向发展。



图 8 人形机器人发展趋势

2.1.5 产业对标准化的需求

随着人形机器人产业的快速发展，其在社会各领域的广泛应用凸显了产业标准化的迫切需求。从产业技术发展与创新推动出发，需要通过标准化推动基础共性技术通用化、零部件模块化、接口统一化，助力产业降本提质；从产业生态构建和持续优化出发，需要通过标准化降低生产和维护成本、建立全产业链协助网络、激发市场活力；从



提升用户体验和社会接受度出发，需要通过标准化规范集成与应用要求、规范伦理和隐私保护，进而提高用户信任度；从监管角度，需要通过标准化，促进产业合法合规，提升市场信心。未来，人形机器人产业将在技术创新、标准引领和市场需求的三重驱动下迅速发展，实现商业化和全球化的突破，推动社会向更加智能化、协同化和高效化的未来迈进。

2.2 技术发展现状与趋势

人形机器人由大脑、小脑、机械臂、灵巧手、腿足、一体化关节等关键部分组成，集成实现对环境的感知交互、运动控制、任务执行等功能，涉及整机、传感器、执行器、控制器和动力能源等关键部组件，本白皮书将从机械本体与核心部件、动力系统、多模态感知与场景理解、自主任务规划与决策、运动规划与控制、移动操作与人机交互、大模型训练系统、仿真训练系统、操作系统等维度分析人形机器人的关键技术研究现状和发展趋势，并从中识别标准化需求。人形机器人核心技术架构见图 9。



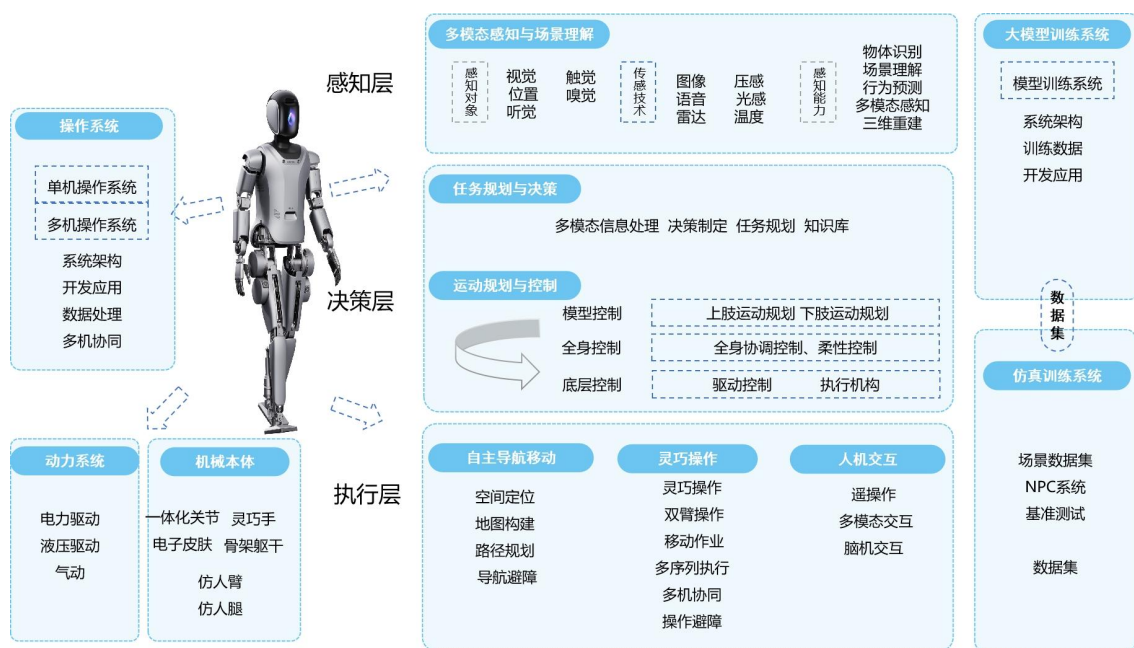


图 9 人形机器人技术体系架构

2.2.1 机械本体与核心部件

人形机器人机械本体的技术特点在于其高度模拟人类形态，具备灵活的“肢体”，包括一体化关节、灵巧手、仿人机械臂、仿人腿、骨架躯干、柔性电子皮肤，需要高强度紧凑的机械结构，也需要实现灵活性和轻量化。

人形机器人一体化关节是一种高度集成化的机器人关节组件，它将伺服驱动器、无框力矩电机、减速器（谐波、行星、滚柱丝杠）、编码器等关键部件集成在一个模块中，可以提高人形机器人的运动精度、灵活性和负载能力，是实现高效、稳定操作的核心部件。通过采用精密传动系统、高速通信接口、优化热设计以及标准线束装配等方式实现精准力控、高扭矩密度、降低功耗和控制发热、提升一体化关节的可装配性和可维护性。实现一体化关节的集成需要克服一系列技



术难点，如驱动器等组件的精密度和可靠性保证、控制算法的开发和优化、接口的标准化等。此外，如何在保证性能的同时实现关节的小型化和轻量化，也是当前面临的重要技术问题，需要在整体设计、材料应用、制造工艺等方面进一步提升。未来，人形机器人一体化关节模组将不断向轻量化、紧凑化、高性能化、高可靠性、标准化、模块化以及智能化方向发展，包括建立标准接口实现模块化设计，降低生产成本和维修成本，提高可扩展性和可升级性。

灵巧手是一种高度模仿人手功能的机器人末端执行机构，它融合了深度仿生、柔性感知、微机电系统以及高性能材料等前沿技术，是实现智能机器人技术变革的关键组件，是人形机器人实现灵巧操作、人机交互的关键部件，决定了人形机器人的操作能力和工作性能。灵巧手的分类按驱动方式分为电机驱动式、气压/液压驱动式（Festo）以及形状记忆合金驱动式（Hitachi），当前全球范围内，电机驱动已成为商业化灵巧手主流驱动方式，具有高效能、低噪音、易控制等特点。按照手指数量分为2指、3指、多指（3/4指）和5指，按照主动自由度分为小于6自由度、6-12自由度以及12自由度以上。灵巧手能够执行精细的操作任务，如抓取、搬运、操作工具等，通过集成各种传感器，具备触觉、视觉等多模态感知能力，能够实时感知环境变化和操作对象的状态。当前灵巧手的技术方案尚未完全收敛，在传动方式和传感器方案上尚未有统一意见，连杆具有大负载、高精度和低成本的优势，但在灵活性上不及腱绳，齿轮方式受限于加工精度和空间尺寸也一直未能推广。如何收敛灵巧手技术路线，在保证灵巧手可靠



性、负载能力、精度和成本的条件下，进一步提升灵巧手的自由度和灵活性，提高灵巧手的操作精细度，使其在更多领域得到广泛应用，是未来技术发展和突破的关键。

仿人机械臂的设计灵感来源于人类的手臂，这使得它能够模仿人类手臂的各种动作，如抓取、搬运、操作等。在人形机器人中，仿人机械臂的存在大大增强了机器人的功能性和实用性，使其能够胜任更多复杂、精细的任务。仿人机械臂的构型与传统机械臂不同，通常包括模拟肩关节、肘关节与腕关节的多个自由度。肩关节通常配置三个自由度，使机械臂具备较强的旋转能力和较大的运动范围，肘关节则通常设计为一个自由度，以确保机械臂能够进行精确的弯曲与伸展，腕关节通常设计为二自由度或三自由度的球铰，用于末端姿态调节。这些自由度配置赋予机械臂与人类手臂类似的运动特性，能够完成复杂的操作任务。通过对人类手臂的构型研究与运动学仿真优化，进一步提高仿人机械臂的工作空间与灵活度。其中腕关节的球铰设计要求末端同时具备俯仰和侧摆能力，传统串联关节难以实现。通过新型的线性执行器与并联机构的组合，能够更好地分配负载，降低惯性和反冲效应，提高机械臂的响应速度与操作精度。通过拓扑优化与增材制造技术，机械臂的每一部分都能够根据实际工作进行精确设计，既保证了结构的强度，又降低了整体的重量。利用新型复合材料与多材料加工技术，能够提高机械臂在高强度、高频率操作下的耐用性与稳定性，确保其在各种复杂环境下的长期可靠性。仿人机械臂将朝着多功能化、模块化和标准化方向发展，通过模块化设计，不同的功能



模块可以根据具体需求进行组合和配置，从而实现多种应用场景下的灵活应用，如何在保证高承载能力和精确控制的同时提升机械臂的适应性与智能性是未来研究的重点。

人形机器人具有类人腿部结构，可以实现奔跑跳跃等高动态运动，也具备上台阶过沟壑等复杂环境适应能力，其设计和创新直接影响到机器人的行走稳定性、运动效率以及与环境交互能力。人形机器人腿足自由度配置普遍包括模拟人体髋关节的三个自由度、模拟膝关节屈伸的一个自由度以及模拟踝关节两个球形关节的自由度，这六个自由度的活动关节赋予机器人与人腿相似的形态与功能特性。柔性构件与肌腱材料的运用提升了人形机器人四肢的柔韧适应性和抵抗冲击负荷的能力。足部作为机器人与环境交互的主要部位，其对非结构地形的匹配适应程度直接影响人形机器人与环境的交互效果，从仿生学的角度出发，参考人足的结构和功能设计人形机器人的仿生足部结构，提高人形机器人足部的缓冲能力，能够为降低人形机器人高动态运动中的地面冲击力提供一个有效的解决方案。参考生物足功能开发仿生足也是提高机器人运动能力常见的解决方法。基于执行器的选择与布置，腿足结构设计与加工技术对人形机器人的运动能力、稳定性和效率起着关键作用。早期的大框架、大重量设计经过运动学、动力学分析和拓扑优化等技术的改进，现已成为可在保证腿足强度的同时达到轻量化与可靠性的平衡设计。同时，利用增材制造技术融合多材料多工艺方法构建复杂的机械框架也提高了腿足的灵活性，兼顾强度、惯量、运动范围、外观等多种需求。随着各个领域技术的发展，未来可



以通过新结构与新传动方式的突破提高人形机器人的能效和稳定性，通过引入柔性材料等新材料结合仿生设计实现更灵活、高效的运动和适应性，从而更好地应对各种复杂环境和任务要求。

人形机器人的骨架躯干部分是人形机器人的“支撑系统”，类似于人类的骨骼结构，为机器人提供整体的支撑、运动能力和稳定性。骨骼结构设计涉及仿生学、动力学、机械工程、材料科学等多个领域，其设计要求具备高强度、轻质和高韧性，目的在于模仿人类骨骼的结构，实现灵活自然的运动，同时确保在执行运动时的稳定性与机动性。为实现这些要求，人形机器人骨架常使用高强度且轻质的材料，其中金属材料如铝合金、钛合金，碳纤维复合材料（CFRP）、PEEK（聚醚醚酮）等具有较高的强度和刚性，适用于需要承受较大负载的部位；碳纤维和复合材料则具有较低的重量和良好的耐腐蚀性，适用于需要轻量化的部位。高强度轻量化新材料不仅轻巧耐用，而且具有高强度和抗疲劳性能。这些材料的应用可以提高人形机器人的强度和刚度，同时减轻其重量，从而提高人形机器人的机动性和能效。这对于人形机器人的运动性能和动态特性有着至关重要的影响。近年来，国内在人形机器人骨架躯干的技术研究中取得了显著进展，尤其是在材料选择、框架结构设计、驱动与控制系统方面。国内研究者在使用碳纤维复合材料（CFRP）、PEEK 材料等轻量化高强度材料方面有所突破，尤其是在优化人形机器人骨架结构和提升运动精度方面取得了初步成果。

柔性电子皮肤能够赋予人形机器人类似人类皮肤的敏感性，以及



触觉、视觉、听觉、味觉和嗅觉等感知能力。这使得机器人能够更准确地感知外界环境，如压力、温度、湿度等物理量，从而做出更加智能的反应。柔性触觉传感器的核心材料和制造工艺是当前的“技术瓶颈”。国外在柔性基底材料（如聚二甲基硅氧烷、聚对苯二甲酸乙二醇酯）以及导电填料（如石墨烯、碳纳米管等）的选择和优化上已取得较大突破，这些材料不仅具备良好的柔性，还能保证高分辨率和高耐用性。国内在这些高性能材料的研究和应用上尚处于追赶阶段，材料的耐用性和传感器的分辨率仍存在不小的差距。触觉传感器阵列的布局和集成是电子皮肤技术中的关键挑战。虽然单个传感元件的灵敏度、分辨率等性能已有较大提升，但在大面积阵列化部署时，面临着高成本、拼接问题、电路连通性差等难题，这在国内外都存在较大的技术挑战。国内在阵列式触觉传感器的生产成本和大规模部署方面仍面临较大困难。国内在信号传输和标定机制上相对滞后，尤其是在多物理量传感、信号干扰和一致性优化方面，仍依赖于国外技术的支持。相比之下，国际上尤其是欧美在算法优化和传感器标定的精度和稳定性上已经取得了显著进展。未来，柔性触觉传感器将朝着更高精度、更灵敏和更大面积的方向发展，阵列化、柔性化将成为主流趋势。智能化的传感技术将在触觉感知中发挥更大的作用，配合人工智能算法优化，电子皮肤的功能将得到显著提升，将推动人形机器人向更高智能化、柔性化的方向发展。



2.2.2 动力系统

目前人形机器人的动力能源设计包括电驱动、液压和气动等多种方式。

人形机器人电驱动技术是指利用电机作为动力源，通过电能转化为机械能，驱动人形机器人的关节、肢体等部件进行运动的一种技术。电驱动技术也开始向多样化方向发展，包括不同类型的电机（如直流电机、交流电机、伺服电机等）和传动装置（如减速器、齿轮箱等）的选择和应用。当前，人形机器人电驱动技术已经高度集成化，电机、传动装置和控制器等关键部件被高度集成在一起，形成了一个紧凑、高效的动力系统。同时，电驱动技术也开始与智能化技术相融合，通过智能算法和传感器数据来实现对电机的精准控制和优化调节，从而提高了机器人的运动性能和智能化水平。在未来的人形机器人电驱动技术研发中，轻量化与高效化设计将成为重要的趋势。通过优化电机结构、材料和制造工艺等方面的设计，可以降低机器人的重量和能耗。

液压传动从早期开关控制、比例控制，逐步发展到可精确控制位置、速度和加速度的伺服控制，目前已发展为最新的数字液压。液压相比于电机驱动，功率重量比有 5 倍以上明显优势，可为机器人提供更大负载能力和更好的运动敏捷性。同时，液压的功率可复用及动态分配，即：全部功率可集中于某一个液压作动器持续稳定输出，也可以按需分配给各个液压作动器，进一步减小了功率单元的体积重量。液压还具有更好的冲击耐受能力和集中散热的优势，因而在机器人这类移动装备中成为不可或缺的优势技术。人形机器人需要多关节协同



运动，对协同精度有极高的需求，因而通常采用伺服阀控制液压缸直线往复运动或液压马达旋转运动，通过位移和压力传感器与微处理器构成闭环反馈控制系统。近些年，集成了伺服阀、传感器、管路等一体化的液压作动器利用增材制造技术，进一步压缩和减小了液压作动器的体积和重量，也简化了液压传动系统的设计、制造、调试和维护等工作。液压驱动虽然有明显的技术优势，但伺服阀控制的液压系统受外在诸如负载、压力、温度、干扰等因素影响，可靠性与稳定性存在不足，也阻碍了人形机器人应用的进步与发展。

人工肌肉是指能够在外界物理或化学刺激下（机械应力、电、磁、热、光、生物电、分解反应等）发生伸缩、膨胀、弯曲、扭转等运动并对外做功的柔性材料或器件。近年来，人工肌肉是仿生机器人驱动研究的前沿热点之一，其核心目标是模拟生物肌肉的驱动功能。现阶段，在各种类型的人工肌肉中，气动人工肌肉研发成本低，仿生性突出，使用最为广泛。气动肌肉的工作原理是通过外部压缩空气驱动，实现推拉动作，从而模拟人类肌肉的运动，其具有高功率密度以及大比例变形的能力，为机器人关节提供较大力量的同时，能够保持轻巧的重量。随着轻质高强纤维、纳米复合材料及智能液晶高分子等新型材料的加入，气动肌肉的功率密度、疲劳寿命和可控性将进一步提高，从而在软体机器人、外骨骼、康复医疗及仿生机械臂等领域得到广泛应用。与此同时，嵌入式传感器与自适应控制算法的结合使气动肌肉能精准应对复杂环境和精细操作；微型压缩机、可变刚度元件与模块化气动控制单元的集成则促进了气动肌肉控制系统的紧凑与高效化。



然而，在实际应用过程中，气动肌肉的性能并非完美无缺，气动肌肉的使用需要配备外置气源，带来系统空间的占用。其次，气体的可压缩性也会导致控制精度的局限。未来，气动肌肉将通过材料性能突破与结构优化，实现更加柔性化、智能化和高效化的驱动，并在软体人形机器人仿生控制等领域展现出广阔前景。

综合以上分析，国内在人形机器人整机设计和电驱动关节这个核心零部件上，处于国际先进水平。但是，其他核心零部件与国外厂商存在一定差距，比如灵巧手在系统集成度、感知丰富度、灵巧自由度方面与国外存在差距；驱动器和 AI 芯片目前被 DSP、TI、英伟达、intel 等国外厂商垄断，国产厂商在生态满足度、算力上与国外厂商差距明显；dTOF 相机主要采用 intel realsense，国内厂商在深度感知与图像处理算法、高性能的图像传感器定制芯片、探测距离与视场角等关键技术上与 intel 存在较大差距。机器人相关算法和软件领域，国内在强化学习运动控制算法、智能移动与操作算法与国际持平，但这些算法需要建立在英伟达 ISAAC Sim 等国外仿真软件生态之上。所以，机器人芯片和机器人仿真软件存在卡脖子风险。

2.2.3 多模态感知与场景理解

人形机器人高精度环境感知与场景理解的技术是其实现自身状态感知、自主任务规划、任务执行和人机交互等功能的核心基础，是实现智能化和自主化的关键，这一技术涵盖了多个关键领域，包括传感器技术、算法处理、硬件支持等。



在环境感知方面，人形机器人通过集成多种传感器，如视觉、听觉、触觉、嗅觉等，实现对环境的全面感知，正逐步实现高精度、全方位的感知能力。这得益于传感器技术的飞速发展，如高精度视觉传感器、激光雷达、惯性测量单元等，它们能够实时获取并分析周围环境的数据。特别是双目三维环境感知技术，通过模拟人类双眼视觉系统的观测原理，利用双目相机对获取图像进行立体匹配，得到图像中像素点的准确视差，从而获取周围环境的准确深度信息。这一技术的运用，使得人形机器人能够在复杂的三维工业场景中，对外界环境进行真实的刻画及数字模型的重建，为后续的决策规划提供了丰富的信息支持。。

人形机器人通过对环境信息的分析和处理，理解并识别出环境中的物体、场景及它们之间的关系，从而做出合理的决策和行动。随着深度学习等人工智能技术的不断发展，人形机器人在场景理解方面也取得了显著进步，能够更准确地理解复杂的场景信息。多模态数据融合技术也提高了人形机器人对环境信息的感知和处理能力，使其能够更准确地判断环境中的情况。但目前的融合以图像、文本和语音为主，对于感知信息的运用却局限于一类信息解决一类问题，缺乏对多模态信息的有效融合与综合运用，这限制了人形机器人在人类生活环境中灵活处理各类复杂问题的能力。

2.2.4 自主任务规划与决策

人形机器人自主任务规划与决策技术是指人形机器人能够在没有



人类直接干预的情况下，根据预设的目标和任务，自主进行任务规划、路径选择、决策制定以及执行的能力。这一技术是人形机器人智能化的重要体现，也是其能够高效、自主地完成各种复杂任务的关键。

目前，人形机器人正逐步展现出强大的自主决策和智能规划能力。这得益于人工智能技术的不断突破，特别是机器学习、深度学习以及大模型等智能算法的运用。这些算法能够让人形机器人从大量数据中学习并提升其感知和决策能力，从而实现对环境的快速适应和自主决策。例如，人形机器人可以通过智能算法识别图像、理解语言、预测环境变化，并在复杂情境中做出自主决策。这种自主决策能力，让人形机器人在面对未知环境或任务时，能够迅速调整策略，确保任务的顺利完成。目前在人形机器人领域运用较多的是决策论方法，主要基于多模态数据在决策级的融合；此外应用较多的还有人工智能方法如模糊逻辑、神经网络、遗传算法、专家系统等。决策大模型在人形机器人的决策过程中扮演着核心角色。以 ChatGPT for Robotics、谷歌 PaLM-E 为代表，这些模型能够从大量数据中学习并提取出有用的信息，用于指导机器人的决策过程，技术方向从 LLM 向强化学习（RL）演进。基于 RL 的范式可以使模型能够在不同环境和任务中学习和适应，实现更高级的决策能力。

未来，建立准确的环境模型、对场景进行分析和理解、让人形机器人能够根据历史数据和先验知识对当前的环境状态和可能的动态变化进行预测和推测从而做出智能决策将是研究的重点。



2.2.5 运动规划与控制

运动规划是人形机器人技术中的关键环节，是在给定的起始状态和目标状态之间，为人形机器人找到一条符合约束条件的路径或轨迹。这些约束条件可能包括无碰撞、路径最短、机械功最小等。人形机器人的运动规划通常需要考虑机器人的动力学特性、环境障碍物以及任务需求等多个因素，通常需要利用传感器获取周围环境的信息，如障碍物位置、地形特征等。然后，基于这些信息，机器人会运用各种算法和策略来规划出一条最优或可行的运动路径。这些算法可能包括 A* 搜索算法、Dijkstra 算法、人工势场法等。通过运动规划，人形机器人能够在复杂环境中自主导航，避免碰撞，并高效地完成任务。

在人形机器人中，运动控制涉及到对机器人各个关节和肌肉的精确控制，以实现复杂的动作和姿态。为了实现高精度的运动控制，人形机器人需要采用先进的控制算法和传感器技术。控制算法可能包括 PID 控制算法、基于模型的预测控制算法等。基于深度学习和强化学习的运动规划算法使得机器人能够从大量数据中提取出有效的运动模式，并在面对未知环境时做出最优决策。这种自适应能力让人形机器人在执行任务时更加灵活和高效，无论是室内导航、室外巡逻还是复杂作业场景，都能展现出出色的表现，这也是人形机器人智能化的重要体现。控制包括了底层控制、全身控制和模型控制，底层控制主要是对人形机器人各个关节电机的直接控制，依据从上层传递下来的控制指令（比如期望的关节角度、角速度、扭矩等参数），通过电机驱动器等硬件设备精确调节电机的运转，实现关节的精准动作，主要采



用运动学分析与建模、动力学分析与建模和控制算法。全身控制是协调多个关节之间的运动关系，进行运动规划和轨迹生成。比如在人形机器人行走时，全身控制要规划好腿部各关节以及胯部、腰部等相关关节的配合，生成从起始姿态到目标姿态的连续运动轨迹，使得行走动作自然流畅且符合运动学和动力学规律。模型控制更多地从机器人整体行为和任务角度出发，基于感知到的环境信息以及预设的任务需求做出宏观的运动决策。

目前，人形机器人在运动控制方面也取得了显著进展。通过先进的步态生成算法和平衡控制技术，人形机器人能够在不同地形上稳定行走、跑步和跳跃。同时，动态避障技术的运用让人形机器人在行进过程中能够自主检测并绕过障碍物，大大提高了其安全性和可靠性。

2.2.6 移动操作执行与人机交互

平稳准确的步态移动、灵巧操作和人机交互是人形机器人的主要功能，这些功能共同构成了人形机器人在各种应用场景中高效、智能执行任务的基础。

平稳步态移动是人形机器人实现自主导航和移动的基础，依赖于高精度传感器、地图构建算法、路径规划算法以及导航与控制算法等多种技术的综合应用，可以实现机器人在多样化环境中的自主导航与控制。这项技术主要涵盖四个方面：一是环境感知和空间定位，通过激光雷达、摄像头、超声波传感器等多种传感器，实时采集周围环境的信息，包括障碍物的位置、形状、距离等，为后续的定位与导航提



供数据支持；二是地图构建，基于采集到的环境信息，结合机器人自身的运动状态，构建出环境的二维或三维地图，为机器人的路径规划提供依据；三是路径规划，在已构建的地图基础上，根据机器人的任务目标和当前位置，运用算法计算出一条最优或次优的行动路径；四是导航与控制，将规划好的路径转化为机器人的实际运动指令，通过控制算法实现机器人的精确导航。在导航过程中，机器人需不断根据环境变化和自身状态调整运动策略，以确保安全、高效地到达目的地。未来，人形机器人定位导航技术的发展趋势是基于多传感器融合的全方位环境协同感知与机器学习和人工智能相关技术的再融合，借此实现更高精度的定位与导航能力，以适应更复杂多变的环境。同时，应强化自主性与智能性，使机器人能够更灵活地应对各种突发情况。对于实际中复杂的使用场景，基于情景认知的动态物体预测及自主避障也将成为重要的研究方向。

灵巧操作是人形机器人实现复杂任务的关键。通过高度集成的传感器、执行器和先进的控制算法，人形机器人能够模拟人类的手部动作，进行精确的抓取、旋转和操作。传统的技术路线是人工解析建模物体感知与机械臂决策、规划、控制多个环节并优化求解，其可解释性强，在定义范围内有较好的通用性，但对复杂场景难以准确建模，且对场景物体变化泛化性不足，难以适应开放场景。随着物体感知技术适应性的增强，抓取规划成为了重要研究问题和研究热点。传统方法基于力闭合等抓取质量指标进行解析计算，存在依赖于已知物体模型、无法应用于物体模型未知的开放场景的问题。为解决该问题，现



有的主流方案是基于数据驱动的抓取规划算法，可用于未知物体抓取姿态预测。

人机交互是一门研究机器人与人之间交互关系的科学。在传统的工业机器人领域，机器人在无人环境下工作，按照人类预设定的程序工作，不会根据环境变化进行自我调整。进入智能化时代后，机器人可以自我调整，对不确定的操作对象、操作环境和操作任务都能够实现自适应，人与机器人之间的交互也从单向指令变成双向甚至多向。交互技术包括遥操作、多模态交互、脑机交互等。遥操作是指通过远程控制系统，使操作者能够在一定距离外对人形机器人进行操控的技术，主要由感知系统、控制系统和通信链路三部分组成，依托于高速通信网络，通过各种传感设备，测量人肢体的运动信息，并作为控制指令去控制机器人的运动与操作，同时再将机器人的视觉、力觉、触觉等各种感觉反馈给人，实现人与机器人的深度耦合。多模态人机交互将听觉、视觉、力觉、嗅觉，以及红外、激光、温度等多种模态的感知信息进行融合，更加准确地理解人、物体和场景，进而能更加自然地交互。在多模态交互中，自然语言处理技术起到了至关重要的作用。通过自然语言处理技术，机器人可以理解人类的自然语言指令，并进行相应的回应和操作。除了基本的语言交互外，业界正在研究情感识别与交互，通过面部表情识别、语调分析等技术，人形机器人可以感知人类的情感状态，并根据情感状态进行相应的回应和互动。脑机交互是利用人的大脑信号来控制人形机器人或其他设备，实现人与机器人交互之间的一种新型交互方式，该概念最早在神经科学和人工



智能领域被提出，旨在探索如何通过大脑信号与计算机进行交互，初步的研究主要集中在大脑信号的采集、预处理和简单识别上，为人形机器人脑机交互的发展奠定了基础，目前也有研究利用脑电波探测提高目标探测的准确性，完成机器人的操作，实现军事应用。

2.2.7 大模型训练系统

大模型在人形机器人的应用可分为两个层次，一是结合任务理解与环境数据完成最优路径规划，二是自主生成运动指令以实现运动控制，最终完成机器人的人机交互、环境感知和上层规划。在完成任务路径规划方面，通常是大语言模型（LLM）、视觉-语言多模态大模型（VLM）、视觉导航模型（VNM）三个大模型相结合，人形机器人在用视觉导航模型（VNM）采集环境数据后，利用大语言模型（LLM）解析为地标文本序列，然后基于视觉-语言多模态大模型（VLM）比对到对应目标，最后用视觉导航模型（VNM）完成规划。基于任务理解，大模型能自主生成执行任务的运动控制代码，为运控模块提供运行的指令，以驱动机器人运动。大模型和 AI Agent 技术带来了相比传统基于规则和强化学习算法更强大的意图理解能力和高级任务规划能力，相应地也带来了更高的计算复杂度与能耗开销，需要更强大的硬件算力和电池技术支撑。复杂的任务决策往往需要依托网络边缘和云端部署更大规模的模型和算力支持，同时结合云端信息输入、网络通信质量、终端能耗限制等多方面因素进行综合推理计算和任务分配，因此需要通过端-网-云充分协同和通算融合，实现按需动态的算力迁移与卸载，



以及系统性的算力资源调配与综合能耗优化。

近年来，人形机器人模型训练系统取得了显著进展，深度学习算法能够处理大量的数据和信息并自动提取出有用的特征，从而实现对机器人行为的精确控制。这使得人形机器人在复杂环境中能够更加准确地识别物体、理解指令，并做出合理的决策。此外，随着传感器技术的不断进步，人形机器人模型训练系统也获得了更多的数据来源。传感器能够实时感知环境信息，并将这些信息反馈给模型训练系统。这使得系统能够根据实时数据进行调整和优化，进一步提升机器人的性能和智能化水平。数据是机器学习算法和模型的基础，算法的产生、模型的优化、能力的泛化和场景的应用都需要大量的数据作为支撑，而数据采集、分析、处理面临诸多难题。为了建设自主可控的高质量数据集，国内一些机构也开始开展数据集建设，涵盖了数据采集、数据上传、自动标注、数据增强、大规模回归测试、应用验证等环节，建设数据生产、采集、标注和存储一体化的综合数据平台。数据采集规范统一是未来行业发展面临的问题也是趋势，将数据采集内容、采集方式、采集安全标准化对于从源头规范人形机器人数据生态具有重要意义。

2.2.8 仿真训练系统

仿真测试技术能够有效地解决人形机器人收集真实世界中动作轨迹数据成本高昂的问题，提升其在不同硬件平台上的泛化能力。目前的研究已证明，通过在仿真测试环境中简单地模拟人类部分形态能够



测试人形机器人的能力。然而，现有平台在场景和任务的多样性和复杂性方面仍存在局限，难以满足策略泛化的需求。为了克服这些问题，构建一个专门针对人形机器人交互式3D场景的仿真平台是目前国内外的研究重点，主要针对场景数据集、NPC系统和基准测试三个方面进行规划。能够构建城市规模的景观场景数据集，从而大幅扩展机器人可操作的环境范围，利用大型语言模型（LLMs）生成具有不同社交角色的NPC（非玩家角色）系统，用于交互、任务创建和分配，为人机交互在仿真中增加了新的维度。仿真平台一般包含三个维度的基准测试，包括对象定位导航、社交定位导航和定位操作。在大规模场景中，现有的算法很难同时执行高层感知、规划和底层控制并取得满意结果，基准测试提供了更多的物理真实设置，有助于缩小模拟和现实世界之间的差距，优化控制策略。构建的基准测试和评估指标具有明确的难度分级，能够满足不同领域和层次的研究需求。基于人形机器人的研究进展，仿真测试在国内外都还处于起步阶段，整体上对仿真测试在平台、建模、数据集和场景等方面缺乏规范化的评测体系。

2.2.9 操作系统

传统机器人的操作系统侧重于控制机械或自动化设备，仅关注运动控制和任务执行。然而面向人形机器人的操作系统需处理十分复杂的运动协调、人机交互、环境感知等任务。因此，为了使人形机器人更智能、更高效、更稳定地执行相关动作，以满足不同行业应用的需求。



单机操作系统方面，在20世纪中后期，人形机器人的研究还处于起步阶段，那时的机器人操作系统尚未形成，主要依赖于工程师的手动编程和调试。随着计算机技术的快速发展，特别是嵌入式系统的广泛应用，人形机器人开始配备单机操作系统。这些操作系统主要负责管理机器人的硬件资源，如CPU、内存、传感器等，并提供基本的任务调度、中断处理等功能。进入21世纪，随着人工智能技术的兴起，人形机器人单机操作系统开始融入更多的智能化元素。例如，通过引入机器学习算法，机器人能够更好地适应环境变化，实现更加灵活和智能的行为控制。

多机操作系统方面，与单机操作系统相比，人形机器人多机操作系统的研究起步较晚。多机操作系统的初步探索阶段主要关注如何实现多个机器人之间的通信和协同。这包括设计高效的通信协议、开发可靠的同步机制以及构建有效的协同策略等。随着研究的深入，多机操作系统开始支持更加复杂的协同任务，如分布式感知、协同决策和协同执行等。近年来，随着云计算和大数据技术的快速发展，人形机器人多机操作系统开始融入更多的云端智能。例如，通过云计算平台，多个机器人可以共享计算资源和数据资源，实现更加高效的任务分配和协同工作。同时，大数据技术的应用也使得机器人能够更好地学习和适应环境变化，进一步提升协同工作的效率和智能化水平。

2.2.10 关键技术标准化需求分析

标准化在人形机器人的研发和应用中至关重要。如，机械本体的



标准化能确保各部件的互换性和兼容性，降低生产和维修成本，提高生产效率；环境感知模块的标准化则能统一数据格式和接口，提高数据处理效率，加速技术迭代；决策规划模块的标准化有助于提升算法的可比性和可靠性，确保机器人在不同场景下的决策规划具有一致性和稳定性；运动控制模块的标准化能提升控制精度和响应速度，降低控制系统的复杂性和维护成本；作业操作模块的标准化能够规范人形机器人灵巧操作等功能，提升机器人的易用性；人机交互模块的标准化能优化人机交互界面的设计规范和操作流程，提升用户体验和满意度；定位导航模块的标准化则能确保机器人在各种环境中准确定位和导航，提高机器人的实用性和应用范围；检验检测模块的标准化则能统一评价标准和方法，提高人形机器人的评价准确性和可信度等。

三、标准化现状与需求

3.1 国内外标准化现状

国际方面，国际标准化组织 ISO 是最早进行机器人标准化研究的国际标准化组织，于 1983 年首次创建 ISO/TC 184/SC 2 Robots for Manufacturing Environment，开展机器人与工业安全及词汇和性能等方面的标准研制。2003 年，该分标委会更名为 Robots for industrial environments，该分标委会以覆盖除制造业外更广泛的工业应用。2006 年，再次更名为 Robots and robotic devices，不仅纳入了工业和医疗机器人，还包括了非工业机器人（当时称为“个人护理机器人”，即“服务机器人”）。2016 年，ISO/TC 184/SC2 升级为 ISO/TC 299



Robotics, 全面负责除军用和玩具之外的机器人领域国际标准化工作。目前, ISO/TC 299 面向工业和服务机器人, 围绕词汇与特性、安全、性能、模块化、互操作、人机交互、能耗等方面发布国际标准 32 项, 在研 15 项。近 3 年新立项标准主要关注服务机器人(包括腿式机器人、背部支撑机器人和电动汽车充电机器人)的性能规范及试验方法、工业用自主移动机器人通信与互操作、服务机器人软硬件及模块的信息模型、工业机器人能耗等方面。

国际电工委员会 IEC 并无专门面向机器人领域的技术委员会, 其有关机器人的标准分布在多个技术委员会中。IEC/TC 129 Robotics for electricity generation, transmission and distribution systems 主要针对应用于电力系统的无人机集群; IEC/TC47 Semiconductor devices 发布与在研标准涉及自动陆地车辆的检测模块, 其毫米波雷达、超声波模块、视觉成像模块、激光雷达的性能试验方法标准同样适用于机器人传感器; IEC/TC 59 Performance of household and similar electrical appliances 发布了家用及类似用途机器人的性能评估方法标准, 可部分适用于家用环境下服务机器人性能的评估; IEC/TC 61 Safety of household and similar electrical appliances 正在研制家用和类似用途的电气设备中有关于机器人的特殊安全要求; IEC/TC 116 Safety of motor-operated electric tools 发布了有关机器人割草机的特殊安全要求标准; IEC/TC 62/SC 62D Particular medical equipment, software, and systems 发布 5 项有关自动化医疗电器系统、手术设备及康复用机器人的标准, 已被 ISO/TC 299 直接



采用。近 3 年，IEC 制定机器人相关标准主要针对传感器检测方法、家用服务机器人性能要求及测试方法等方面。

ISO 与 IEC 联合成立的信息技术委员会 ISO/IEC JTC1 下多个分会所研制标准适用于机器人。SC 42 Artificial intelligence 发布了人工智能系统可控性、人工智能风险管理、人工智能系统及其辅助决策中的偏差、神经网络鲁棒性评估、人工智能系统质量评价指南相关标准，并正在研制人工智能系统的透明度分级、验证和确认分析、功能安全、数据合成、轻量化、人机交互等标准及自然语言处理系统的准确度评估方法等标准；SC 38 Cloud computing and distributed platforms 发布了云计算互操作与接口、分布式平台标准及边缘计算场景指南，并正在研制云计算网络标准；SC 35 User interfaces 发布了自然用户界面可用性评估与声音控制交互系列标准。上述标准适用于机器人的智能化方面。

电气与电子工程师协会 IEEE 在 1987 年成立 Robotics and Automation Society，负责制定机器人相关标准，其发布标准主要关于机器人自动化本体、任务表示、伦理驱动的机器人及自动化系统、自动系统透明度、地图数据表示以及电力系统与医疗电气系统用机器人等。

美国材料试验学会 ASTM 在 2014 年成立的 Committee F45 on Robotics, Automation, and Autonomous Systems 负责制定工业/商业机器人、自动化和自主系统领域标准，目前发布与在研的标准涉及机器人术语、实践、分类、指南、测试方法和规范等方面。同时，ASTM



对人形机器人加强关注，于 2024 年成立 Subcommittee F45.06 on Legged Robot Systems，制定腿式机器人领域标准，目前有 1 项腿式机器人抗扰动测试相关标准在研。

国内方面，全国机器人标准化技术委员会（SAC/TC591）对口 ISO/TC299，负责除玩具、无人驾驶航空器以外的机器人领域国家标准制修订工作，目前已经发布标准 122 项，在研标准 21 项。

3.2 人形机器人标准分析

目前，机器人领域已发布的国际标准均未专门针对人形机器人。然而，人形机器人作为融合人工智能、计算机、机械、电子、控制、信息和传感、仿生等多领域多学科的综合技术载体，在基础共性、零部件、模块、整机等方面，可通过功能解耦、要素重构、性能重塑等方式，依托机器人领域现有标准（可参考的已发布的标准清单详见附件 II），形成面向人形机器人的系列标准。

1. 基础共性类标准

与具体用途与应用场景无关，适用于所有人形机器人的标准均可被纳入基础共性类标准。

ISO 内可直接被纳入基础共性类的标准仅有 ISO/TC299 由中国牵头在研的 ISO 18646-5 Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 5: Locomotion for legged robots，该标准规定了腿式机器人的运动性能指标及试验方法，完全适用于人形机器人，可直接纳入人形机器人标准体系。其



他关于 RACA 机器人、背部支撑机器人、下肢穿戴机器人的标准如 ISO 5363:2024、ISO 18646-4:2021、ISO 18646-6 等也可为人形机器人性能要求与评价评测标准提供参考。ISO 19649:2017 定义了移动机器人相关术语，可为未来制定人形机器人术语定义标准提供参考。

IEEE 所发布的机器人本体论方面标准如 IEEE 1872-2015、IEEE 1872.1-2024、IEEE 1872.2-2021、IEEE 7007-2021 定义了用于知识表示及推理的机器人本体论，包括一系列基本术语及其定义、属性、类型、结构、属性、约束和关系等，可面向人形机器人进行针对性优化后纳入基础共性类标准。

安全方面，ISO 内存在多项标准与人形机器人安全相关。ISO 13482:2014、ISO/TR 23482-1:2020、ISO/TR 23482-2:2019 涉及个人防护机器人安全要求；ISO 31101:2023 涉及服务机器人安全管理系统。上述标准均可为制定人形机器人安全标准提供借鉴参考。IEC 内，IEC/TC61 发布了一系列家用和类似用途电器安全标准，可为制定人形机器人在家用环境中的安全要求相关标准提供参考。

伦理方面，目前并不存在直接针对机器人伦理的标准。IEEE 发布的 IEEE 7007-2021 建立了一组具有不同抽象级别的本体，包含相关概念、定义、前设和用例，以建立以伦理为驱动力的机器人与自动化系统的设计方法，可以为未来制定机器人伦理相关标准提供借鉴参考。

2. 零部件及模块类标准

人形机器人所涉及关键模块众多，各国际标准化组织均发布多项相关标准，可直接纳入或借鉴采用至人形机器人标准体系内。关于电



子皮肤、灵巧手、仿人臂/腿、躯干等方面，ISO 发布 ISO 14539:2000，对抓握型夹持器的物体操作特性表示进行规定，ASTM 在研的 WK90228、WK86189、WK83863 等对抓握型末端执行器物体下滑力进行了规定。环境感知方面，IEC/TC47 目前多项在研标准如 PNW 47-2843、PNW 47-2844、PNW 47-2845，以及已经发布的 IEC 63551-1:2023 对毫米波雷达、超声波模块、视觉成像模块、激光雷达等可应用于人形机器人的环境感知模块针对检测方法做出规定；决策规划方面，IEEE 发布的 IEEE 1872.1—2024 对机器人任务表示方面的本体论做出定义，有助于任务相关知识推理与表示；定位导航方面，IEEE 已发布的 IEEE 1873-2015 与正在制定的 IEEE P2751 为机器人的二维、三维地图数据提供了度量地图和拓扑地图的规范以及通用表示编码；人机交互方面，ISO/IEC JTC1/SC 35 发布的 ISO/IEC 4944:2024 与 ISO/IEC 30122 系列标准对自然用户界面可用性评估与声音控制的构建、测试、适用性与管理做出相关规定。ISO 发布的 ISO 22166-201:2024 为服务机器人模块的通用信息模型做出规定，可为人形机器人模块化构建提供参考，上述标准均可作为制定人形机器人模块相关方面的标准提供借鉴参考。

3. 整机类标准

人形机器人通用性强、适用范围广，在工业、服务等场景均可应用，其在具体工况下所处应用环境的特殊要求等方面存在国际标准可以参考。

工业应用方面，在 ISO 发布的标准中，ISO/TS 15066:2016 对工业协作机器人安全要求做出规定，IEC/TC129 发布的 IEC 63439-1-1、



IEC 63439-2-1 对电力系统巡检无人机通用技术要求做出规定。服务应用方面，IEC 发布 IEC 62849:2016，对家用及类似用途机器人的性能评估方法的规定；医疗应用方面，IEC 80601-2-77:2023、IEC 80601-2-78:2024 在机器人应用于医疗的基本安全要求与关键性能做出规定。虽然上述标准针对标准化对象并非人形机器人，但其中所涵盖不同应用场景对机器人的要求仍可为未来制定人形机器人在应用方面的标准提供一定参考。

综上所述，目前人形机器人国际标准尚属空白，但是从各大国际标准化组织和世界主要经济体的标准布局可以看出，对人形机器人领域关键标准主导权和事实标准话语权的争夺即将成为大国博弈的新战场，推动人形机器人标准与国际接轨，提高我国机器人产业的国际影响力已迫在眉睫。

从标准空白角度考虑，应当迅速推动国际标准立项的领域包括仿人臂/腿（含一体化关节）、灵巧手、电子皮肤、躯干、作业操作模块（含任务规划、任务执行等）、运动控制模块（含步态控制、轨迹规划、平衡抗扰等）及能源管理模块（含充电保护、电池监控等）等。

从产业角度考虑，目前国内针对人形机器人仿真测试平台、模型训练平台及计算平台的研究处于国际一流水平，整机技术水平及单机操作/多机管理系统也处于国际领先地位，亟需迅速提出相应国际标准提案，抢占国际话语权。



四、人形机器人产业/技术与标准图谱

人形机器人具有通用泛化、智能执行任务的能力，感知、思考、动作、交互与人类行为相似，当前标准处于空白阶段。产业一标准图谱和技术一标准图谱系统性地呈现出了人形机器人产业和技术在术语、系统架构、产品准入、人机交互、兼容和互联互通规范、应用系统集成标准、安全和伦理等新的标准诉求。

4.1 产业一标准图谱

基于人形机器人生态框架，产业一标准图谱（见表7）结合当前人形机器人产业发展现状，并覆盖人形机器人全生命周期涉及的各产业角色需求。

表7 人形机器人产业一标准图谱

	零部件供应方	人形机器人 软件提供方	人形机器人 制造商	基础设施 提供方	应用解决方案 集成商	人形机器人 运维商	人形机器人 运营商	监管机构
术语、框架、 接口标准								
产品标准								
通用技术要求								
兼容和互联互 通规范								
应用系统集成 标准								
测试认证与性 能评测标准								
安全和伦理								

▶ 相关性强 ▶ 相关性中 ▶ 相关性弱

人形机器人的全生命周期（设计—制造—物流—使用—维护—回收）涉及的产业生态成员涵盖零部件供应方、人形机器人制造商、基础设施提供方、应用解决方案集成商、人形机器人运营者、人形机器人运维者、监管机构等。



人形机器人零部件供应方负责生产并提供人形机器人所需的高质量组件，如灵巧手、关节、人工智能芯片、智能控制器、多模态感知部件（和）MPU 等，侧重于制定通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人软件提供方为人形机器人的系统和软件开发提供核心技术支持，包括开发操作系统、应用软件、AI 模型和算法，确保系统的可操作性、安全性与可靠性。侧重制定通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人制造商（整机）确保产品质量与安全，同时需遵循相关标准，确保产品兼容性、互联互通等，实现产品软硬件创新。侧重于制定术语标准、框架和接口标准、产品标准、通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人基础设施提供方为人形机器人制造过程供应必要的硬件、软件和技术支持，包括但不限于云端训练算力、网络设施、数据集等，确保生产流程高效、顺畅运行。侧重于制定兼容和互联互通规范等。

人形机器人应用解决方案集成商针对最终用户的特定需求，设计并实施包含人形机器人的应用场景方案，如工业、教育、娱乐或护理服务，负责系统集成、安装调试及用户培训。侧重制定通用技术要求、兼容和互联互通规范、应用系统集成标准、测试认证与性能评测标准等。

人形机器人运维商负责人形机器人本体及系统设备的日常管理、



应用指导、维护保养、故障维修、定期检查及设备回收再利用。侧重制定通用技术要求等。

人形机器人运营商负责向人形机器人终端用户提供涵盖人形机器人租赁、管理服务、维护及技术支持的一体化服务。侧重制定安全与伦理标准等。

监管机构确保人形机器人产品符合统一术语、安全、伦理、隐私及质量规范，同时监督市场准入，规范行业和促进技术健康发展。侧重于制定术语/框架和接口标准、产品标准、通用技术要求、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

4.2 技术—标准图谱

技术—标准图谱（见表 8）清晰地显示出识别哪些领域和标准类型需要优先推进，进而确保行业在推动技术进步的同时能够同步推进标准化和规范化进程，从而促进整个产业链的协调发展与技术规范化。

表 8 人形机器人技术标准图谱

	基础共性技术	关键模块	整机	系统	应用和服务
术语、框架、接口标准					
产品标准					
通用技术要求					
兼容和互联互通规范					
应用系统集成标准					
测试认证与性能评测标准					
安全和伦理					

▶ 相关性强 ▶ 相关性中 ▶ 相关性弱

人形机器人基础共性技术涵盖性能要求、检测评测、边/端侧计算



平台、仿真测试、模型训练、数据、总线、多模通信接口等。侧重于制定术语/框架和接口标准、通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人关键模块包含了机械本体、环境感知、决策规划、运动控制、交互操作、定位导航、能源管理等模块以及对应的软件、算法等，构建本体的基础软硬件架构，完成多模态感知、计算、控制、执行、人机交互、推理学习等机器人核心功能。侧重于制定通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人整机由通用型整机和专业功能型整机组成。其中，基础版整机包括全尺寸人形机器人、小型人形机器人等，专业功能型整机包括低成本交互型人形机器人、高精度型人形机器人、高可靠型人形机器人和高运动性能型人形机器人等。侧重于制定术语标准、框架和接口标准、产品标准、通用技术要求、兼容和互联互通规范、测试认证与性能评测标准、安全和伦理标准等。

人形机器人系统包括单机操作系统、多机管理系统等，操作系统层级支持库则包括了用于驱动上述硬件的驱动程序、中间件以及用于实现基本功能的服务集合，例如 OpenHarmony、OpenEuler、Linux 或 ROS（Robot Operating System）这样的开源平台，它们为人形机器人的软件开发提供了标准化的接口和丰富的工具链。多机协同及其管理系统实现人形机器人集群的本体管理、技能管理、任务管理，以及云边端协同能力等，以实现高效的人形机器人多机管理。侧重于制定通



用技术要求、应用系统集成标准、安全和伦理标准等。

人形机器人应用和服务包括人形机器人本体及系统设备的日常管理、应用指导、维护保养、故障维修、定期检查及设备回收再利用，以及人形机器人租赁、管理服务、维护及技术支持服务，确保可以应用在工业制造、智慧物流、安防巡逻、灾害救援、危险作业、服务娱乐、家庭康养等领域适应不同的应用领域和功能需求，以确保人形机器人在不同场景下都能安全、有效地发挥作用。侧重于制定通用技术要求、测试认证与性能评测标准、安全与伦理标准等。

五、人形机器人标准体系建设

5.1 标准体系参考结构

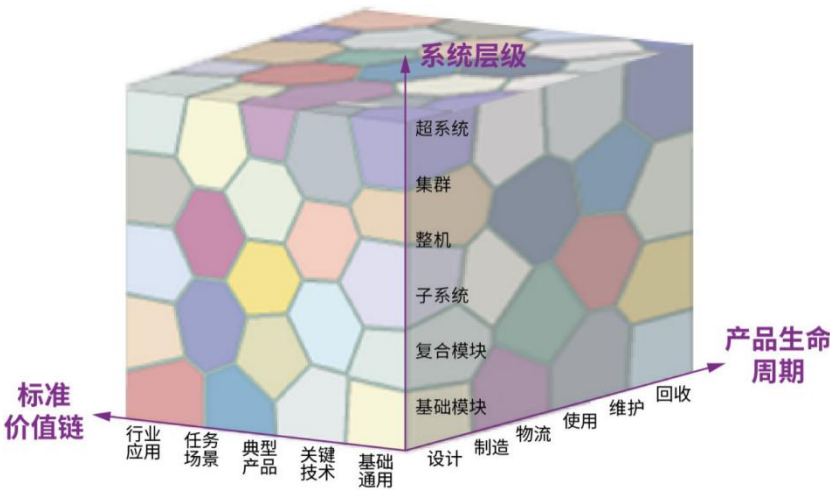


图 10 人形机器人标准体系参考架构

人形机器人标准化体系是建立人形标准质量体系的重要环节，由于人形机器人本身的复杂性，标准的必要性和可行性分析角度需要涵盖多个维度，以确保其在实际应用中的有效性和可靠性。

从标准价值链来看，标准化方向包括基础通用、关键技术、典型



产品、任务场景、行业应用等多个环节。基础通用标准是人形机器人标准化的基石，它涉及人形机器人的基本构造、尺寸、重量、材料、安全性能等通用要求。关键技术标准是人形机器人标准化的核心，它涵盖了人形机器人的感知、决策、控制、交互等关键技术领域。这些标准的制定有助于提升人形机器人的智能化水平和运动性能。典型产品标准是人形机器人标准化的重要环节，它涉及不同应用场景下人形机器人的具体产品标准和规范。任务场景标准是人形机器人标准化的关键，它涉及人形机器人在不同任务场景下的应用标准和规范。行业应用标准是人形机器人标准化的最终归宿，它涉及人形机器人在不同行业中的应用标准和规范。这些标准的制定有助于推动人形机器人在各个行业的广泛应用和深入发展。例如，在制造业中，可以制定人形机器人在生产线上的应用标准和操作流程，以提升生产效率和产品质量。

从产品全生命周期来看，人形机器人历经设计、制造、物流、使用、维护和回收等阶段，每个阶段的标准化重点不同。如研发阶段需要制定人形机器人的基础共性标准，如尺寸、重量、结构强度等，确立功能性能标准，涵盖操作能力、感知能力、决策能力等；制定安全标准，确保人形机器人在设计上就具备电气安全、机械安全等特性；制定统一的接口标准，确保各部件之间的兼容性和互换性。人形机器人全生命周期各个阶段的标准化重点涵盖了技术标准、设计标准、生产工艺标准、质量控制标准、性能测试标准、安全测试标准、应用场景标准、操作培训标准、维护保养标准、故障诊断与排除标准以及报



废标准和回收处理标准等多个方面。

从系统层面，人形机器人是一个由多个复杂部分组成的集成系统，这些部分不仅种类繁多，而且根据系统层级或应用领域的不同，其标准化和测试方法也不同。人形机器人系统可分为基础模块、复合模块、子系统、整机（系统）、集群（系统集合）、超系统（环境），其中基础模块包括各类硬件零部件，如减速器，伺服电机，编码器等；复合模块包括各类硬件组件，如控制器、执行器等；子系统包括手臂、足腿、头部、灵巧手等；集群包括多机器人组合、人机混合等。

5.2 标准体系框架图

人形机器人涉及众多模块以及复杂的软件系统协同工作。标准体系的编制依据相关的科学技术原理、工程实践经验等，准确反映其内在的技术逻辑和发展规律，以系统科学的理论和方法为基础，运用标准化的工作原理，不断优化标准之间的关系，避免了标准间不配套、不协调及组成不合理等问题；同时建立了动态更新机制，能够根据产业发展的新情况、新变化及时对标准进行修订、补充和完善，保持标准的时效性和适应性。

工作组结合人形机器人产业和技术的发展现状，整理总结形成人形机器人标准体系框架，主要包括基础通用、零部件、模块和整机四部分，如图 11 所示。



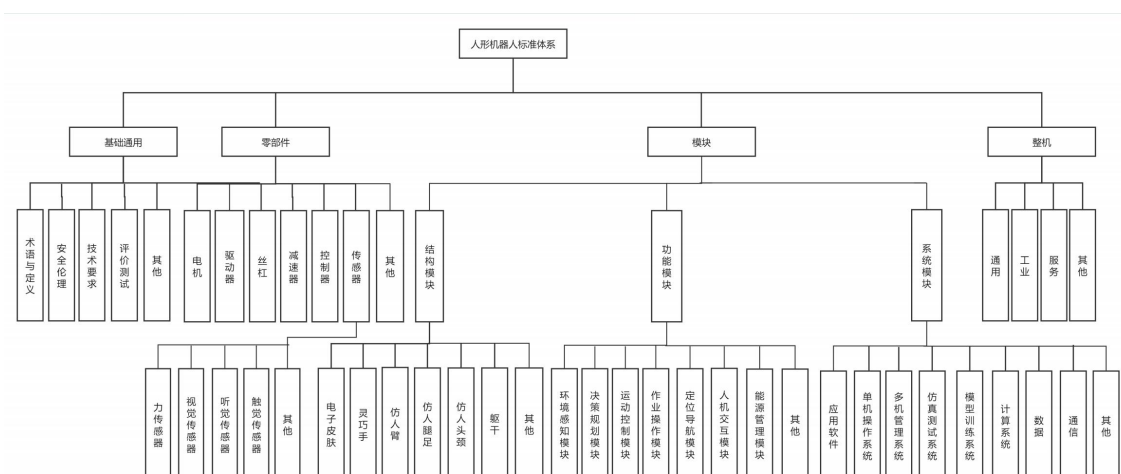


图 11 人形机器人标准体系框架图

5.2.1 基础通用标准

该类标准主要围绕人形机器人基础通用标准展开，包括人形机器人术语与定义、安全与伦理、技术要求、评价评测等标准化方向。

术语与定义：包括人形机器人专用的术语、定义和分类相关基础标准。

安全与伦理：包括人形机器人在设计、制造过程中遵循的安全要求，功能、电气和信息安全标准以及在设计以及应用过程中应遵循的社会道德、儿童认知、隐私保护以及法律法规方面的伦理标准。

技术要求：包括人形机器人设计、产品和应用阶段的性能以及功能的技术要求标准。

评价测试：包括人形机器人通用的评价、测试（包括电磁兼容、可靠性测试等）相关标准。

其他：其他基础通用标准。



5.2.2 零部件

电机:包括人形机器人通用电机的设计、技术、产品等相关标准。

驱动器: 包括人形机器人通用驱动器的设计、技术、产品等相关标准。

丝杠:包括人形机器人通用丝杠的设计、技术、产品等相关标准。

减速器:包括人形机器人通用减速器的设计、技术、产品等相关标准。

控制器: 包括人形机器人通用控制器的设计、技术、产品等相关标准。

传感器: 包括人形机器人力传感器、视觉传感器、听觉传感器、触觉传感器以及其他相关传感器的设计、技术、产品等相关标准。

其他: 其他人形机器人通用零部件相关标准。

5.2.3 模块

模块从人形机器人的本体组成的角度, 用模块化的方式去分解人形机器人组成部分, 主要包括结构模块、功能模块和系统模块。

5.2.3.1 结构模块

结构模块包括电子皮肤、灵巧手、仿人臂、仿人腿足、仿人头颈、躯干和其他结构模块。

电子皮肤: 包括电子皮肤的设计方法、组成、技术、产品等相关标准。



灵巧手：包括灵巧手的设计、组成（压力、温度等各种传感器、柔性基底材料、导电材料、传感材料）、技术、产品等相关标准。

仿人臂：包括仿人臂的设计、组成（框架、关节、连结件与传动件、驱动）、技术、产品等相关标准。

仿人腿足：包括仿人腿和足的设计、组成（框架、关节、连接件与传动件、驱动）、功能、技术、产品等相关标准。

仿人头颈：包括仿人头和颈的设计、组成（框架、关节、连接件与传动件、驱动）、功能、技术、产品等相关标准。

躯干：包括躯干的设计、组成（肩部、髋部、腰部等关节及连接件）、功能、技术、产品等相关标准。

5.2.3.2 功能模块

功能模块包括环境感知模块、决策规划模块、运动控制模块、作业操作模块、人机交互模块、定位导航模块、能源管理模块和其他模块。

环境感知模块：包括环境感知的物体识别、场景理解、行为预测、多模态感知和三维重建等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

决策规划模块：包括决策规划的多模态信息处理、决策制定、任务规划和知识库等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

运动控制模块：包括运动控制的上肢运动、下肢运动和全身协调控制等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。



作业操作模块：包括作业操作的灵巧操作、双臂操作、移动作业、长序列执行、多机协同和操作避障等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

人机交互模块：包括人机交互的遥控操作、多模态交互、脑机交互等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

定位导航模块：包括定位导航的建图定位、感知避障、语义定位等功能模块的硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

能源管理模块：包括能源管理的电池管理系统（BMS）、电池充电器、电池电量监测器等硬件设计、软件、算法及技术相关标准。

5.2.3.3 系统模块

系统模块包括应用软件、单机操作系统、多机管理系统、仿真测试系统、模型训练系统、计算系统、数据、通信和其他。

应用软件：包括人形机器人用的应用软件相关开发以及要求的标准。

单机操作系统：包括人形机器人单体的操作系统相关开发服务框架以及应用包服务规范标准。

多机管理系统：包括人形机器人集群的本体管理、技能管理、任务管理，以及云边端协同能力等，以实现高效的人形机器人多机管理系统相关标准。

仿真测试系统：包括人形机器人在设计研发阶段用的仿真测试系统相关标准。



模型训练系统：包括为人形机器人在机器学习和深度学习等大模型开发提供全面支持的综合性工具或环境的模型训练系统相关标准。

计算系统：为人形机器人能够执行复杂的任务并与人和机器安全、自然地交互的计算系统相关标准。

数据：包括人形机器人在训练阶段的训练数据集采集、标注、存储、检索和应用等过程中的相关标准。

通信：包括人形机器人通用的总线、远程通信协议接口、短距交互通信接口相关标准，人形机器人通用的通信接口标准、基础设施网络标准、端网云协同相关标准。

其他：包括人形机器人其他模块相关标准。

5.2.4 整机

通用：包括人形机器人通用的整机相关标准，包括整机本身的功能和性能标准。

工业：包括在工业场景下，人形机器人整机相关标准，以及整机与应用环境之间的通信、集成方式以及特殊的性能要求标准。

服务：包括在服务场景下，人形机器人整机相关标准，以及应用环境之间的通信、集成方式以及特殊的性能要求标准。

其他：包括其他人形机器人整机以及相关应用与集成标准。

六、人形机器人标准化发展展望

众多企业和资本纷纷看好人形机器人的市场前景，大量资本涌入，



投资增长迅速。然而，人形机器人涉及多个复杂的技术领域，企业在技术研发方面缺乏有效的协同合作，造成重复研发和资源浪费，不同企业的研发成果难以兼容和共享，投资方向不明确，资源配置分散，导致关键技术难以取得突破；在复杂环境下难以完全保证高度的可靠性，使得人形机器人在一些对安全性要求极高的场景中的应用受到限制；人形机器人在运行过程中会收集大量数据，这些数据涉及用户隐私和企业商业机密等重要信息，使得用户降低了对人形机器人的信任度，也同样限制其在需要高度信息安全保障场景中的使用。在前述章节中，我们深入探讨了人形机器人的产业与技术发展现状、标准化现状及需求，以及产业/技术与标准图谱等内容，为人形机器人标准化工作提供了方向和目标。标准化不仅能大幅降低前期试错成本和重复性资源投入，也将强化产业上下游合作、建立生态协同，带给上下游企业新的机遇。同时标准是法律法规的技术支撑，标准作为公认的、广泛接受的、可操作的技术规则，可以促进法律法规的有效实施，从而保障人形机器人的规范化应用。

6.1 适应新产业发展新需求，提升有效供给

标准化助力人形机器人技术创新，通过标准统一人形机器人的一体化关节接口、软件算法与硬件平台的适配接口等关键环节，加速人形机器人软硬件的协同适配以及算法在不同硬件配置下的迁移应用，推动人形机器人在多样化场景中的互联互通与协同作业。这将有效缩短从技术创新到实际产业应用的进程，减少适配成本，促使创新技术



迅速转化为人形机器人产品与服务，并在工业制造、家庭服务等多场景中快速部署落地。

标准化支撑人形机器人融合发展，规范人形机器人在结构设计、环境感知与理解、任务决策与执行、功能安全、信息安全及伦理等方面的基本技术准则，确保其交互过程中的安全性，保护用户隐私和数据安全。这有助于推动人形机器人在复杂环境下的稳定运行、智能交互以及精准操作，加速其在工业自动化生产、智能物流配送、医疗康养服务等新业态新模式中的应用，为人形机器人与人工智能、大数据、物联网、智能制造、网络安全、数据安全等新一代信息技术的深度融合提供坚实技术基础，促进人形机器人产业生态的形成与发展。

标准化提高人形机器人产品质量和可靠性。对于人形机器人而言，标准明确了其机械结构强度、运动控制精度、感知系统灵敏度、电池续航能力等多方面的技术要求，同时规范了环境适应性测试、可靠性测试、性能评估等方法。这些标准为检验人形机器人产品质量提供了技术依据，确保产品在不同工况下的稳定可靠运行。依据标准开展的产品检测、认证等活动为人形机器人的市场推广和广泛应用提供了有力保障，增强了消费者对人形机器人产品的信任度，推动人形机器人产业健康有序发展。

人形机器人标准化技术路线图（见图 12）可作为标准化工作发展规划的参考，引导企业、科研机构等在技术研发、标准制定等方面的投入和合作，促进产学研用协同创新，加速科技成果转化。



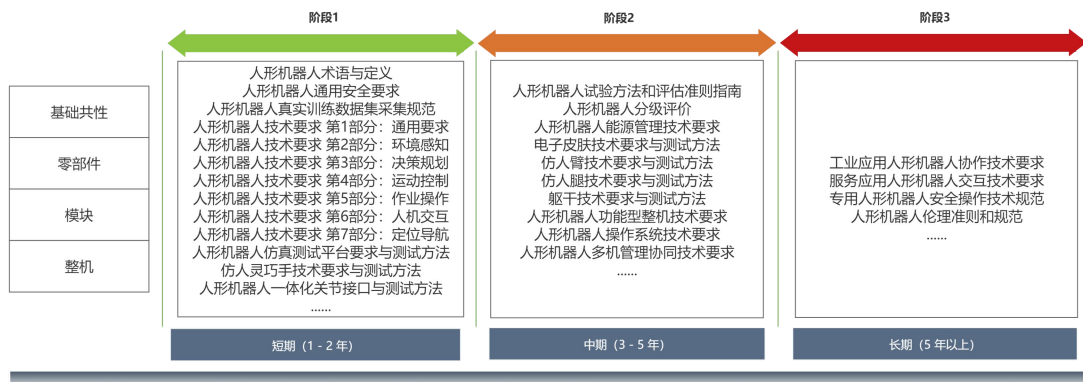


图 12 人形机器人标准化技术路线图

6.2 前瞻布局，开创国际标准化发展新空间

人形机器人是我国获取未来竞争新优势的关键领域。当前，我国在国际社会标准制定中的话语权较弱，与国家标准“走出去”“体现中国主张”的要求仍有较大差距。推动我国标准“走出去”与国际标准接轨，是搭建国际化创新合作平台、高效利用全球创新资源的桥梁，更是抢抓未来新一轮科技革命和产业变革引领优势的“先手棋”，对于赢得国际竞争优势具有重要战略意义。

为开创人形机器人国际标准化发展新空间，我国应从多方面积极布局国际标准化工作。一是建立标准追踪机制。密切关注 ISO、IEC 等国际标准化组织，紧密追踪了解各国制定国家标准的动向，前瞻性把握人形机器人领域或研究方向的国际标准化动态，尽早介入国际标准化组织的国际标准起草工作。同时，需派遣专家加紧与 ISO、IEC 等相关国际标准化组织接轨，深度融入其标准制定体系，发挥我国在仿人运动控制算法、灵巧手设计等关键技术优势，积极参与标准提案讨论与文件起草修订，抢抓国际标准制定的话语权和影响力。二是建立



合作交流机制。建立双边或多边协调机制，推动自主技术标准国际化，梳理并筛选国内先进成熟标准转化为国际提案，推广我国技术特色与产业优势，还要针对未来智能工厂协同作业、与 5G/6G 网络融合应用等前沿领域开展预研，制定前瞻性提案引领发展方向。

此外，加强培养复合型、创新型国际标准化人才至关重要。构建多层次人才培养体系，完善人才高等教育和职业培训体系，加大对国内专家、国内对口单位的培养、选拔，为我国人形机器人国际标准化工作筑牢人才基础。

6.3 加强产业政企协作机制建设，完善政策支持体系

基于中国标准化发展水平及国际竞争态势，我们亟需加强顶层设计，制定具有前瞻性、综合性的人形机器人标准化战略。各级政府应制定政策，统筹做好顶层设计，紧盯标准创新发展各要素，重点围绕标准研制工作组、标准化试点、检测认证平台建设、标准国际化水平提升以及标准化人才队伍建设、承办标准化会议、承担国际标准化工作等方面提供全方位支持，引导产业发展方向，加大标准化奖补资金实质性支持，推动标准制定与实施，促进产业链上下游标准的有效衔接，强化跨行业、跨领域产业链标准化协调。

在提高标准制定效率方面，应优化人形机器人国家标准制修订程序，增加标准立项专家评估频次，增加标准审批发布频次，缩短标准立项和审批发布周期，整体提升标准制修订工作效率。发挥强制性国家标准守底线作用，在人形机器人安全领域优先制定强制性国家标准。



强化与科技创新的联动将引导人形机器人关键共性技术标准研究、试验方法与产品认证研究等。应积极构建标准化研究机构、企业、高校和科研院所紧密合作的创新生态。科研机构提供技术支撑，开展前沿研究，突破关键技术。企业作为市场主体，充分发挥其贴近市场需求的优势，积极投身于标准化工作，将市场需求及时反馈到技术研发与标准制定中。加强标准化研究机构与企业、高校、检测认证机构和科研院所合作，充分发挥人形机器人标准化工作组内部标准化主导企业、关联企业、参与企业以及高校和科研院所等各自的优势资源和力量。通过技术资源的优化配置、标准化任务的有效衔接、创新任务分解与重构，充分发挥协同创新的放大效应和催化效应。



附录 I 变革性典型应用

案例一：人形机器人在工业场景的应用

案例名称：人形机器人在工业场景的应用

案例提供：杭州宇树科技有限公司

（一）案例背景

现代制造业面临劳动力成本上升、人口减少及个性化和高产量需求增长的挑战，传统生产方式难以适应。汽车行业尤其如此，其复杂的生产工艺需要更高的柔性和自动化以应对产量和产品多样化需求。目前，汽车生产线面临自动化程度低、工艺多样性增加、劳动力短缺等问题，尤其是在物料搬运、零件装配、螺栓紧固等环节存在大量重复性劳动。传统设备缺乏灵活性，且适龄工人不足，迫使行业加速转型升级以应对不断增加的生产压力。

在此背景下，汽车制造业有望成为人形机器人应用的先导行业。通用人形机器人凭借其在非结构化环境中的适应性和灵活性，逐渐成为解决生产挑战的关键技术。它能在变化快速、环境复杂的生产线上高效执行重复性和复杂任务，弥补传统设备在柔性和智能化方面的不足，显著提升生产线的自动化和灵活性。通过引入人形机器人，制造企业可以提高生产效率，减少人工风险，应对日益增长的生产需求。

宇树科技的通用人形机器人在汽车制造生产线的成功应用，标志着人形机器人不仅能够适应汽车制造业中复杂且高速的动态工业环境，



还能在高重复性和高复杂度任务中展现出出色的适应性和高效性，为制造业的智能化升级提供了有力支持。

（二）案例介绍

1. 案例实施方案（以装配饰盖零部件任务为例）

宇树科技的人形机器人 H1 成功部署在吉利银河制造中心汽车生产流水线的零件装配和测试环节，独立完成了轮毂饰盖零件的抓取、运输和安装工作。通过与上下移动滑板线的配合，H1 机器人灵活执行了这些复杂的装配任务，不仅提高了生产效率，还确保了操作的精准与稳定。

智能物料分拣：H1 利用其先进的力控与触觉感知系统，能够精准识别并抓取轮毂饰盖零件。机器人根据零件的重量、形状、表面特性以及实时位置自动调整抓取策略。这一自适应机制确保了零件在抓取过程中不受到损伤，避免了因操作不当导致的产品瑕疵。H1 能够在不断变化的生产节奏中灵活应对不同的抓取环境，快速且稳健地完成零件的抓取与运输。

适应产线节拍：在滑板线的动态运行中，H1 机器人通过自主姿态调整技术，能够确保在生产线速度变化的过程中始终保持稳定运行。无论生产线如何加速或减速，H1 都能快速适应并调整其位置，避免因生产线的波动而导致作业中断或不精准。这一设计使得机器人不仅能够在动态环境中实现高效作业，还确保了装配任务的稳定性，为生产线提供了持续且高效的自动化支撑。

轻量化精准装配：在饰盖零件的安装环节，H1 机器人展现了其卓



越的精准定位能力和快速反应能力。通过精确的视觉系统与运动控制，机器人能够快速且准确地将饰盖定位到安装位置，并通过精细的力量控制执行卡接操作。此过程涉及到快速敲击和对装配力度的精准把控，要求机器人具备高度的精密控制能力。H1 在此过程中凭借其强大的感知技术与精确的动作控制成功完成了复杂的卡接任务，确保每个零件的正确安装与牢固固定。



2. 核心技术与创新点

自主姿态调整与稳定性：通过多自由度的运动控制系统、实时感知与反馈机制、自适应算法、视觉与力控系统的协同工作，以及柔性关节和高精度伺服系统，实现了自主姿态调整与稳定性。其运动控制系统能够根据生产线的动态变化调整机器人位置和角度，实时监测并优化机器人的姿态，确保在复杂和高速的生产环境中稳定、高效地执



行任务。

智能感知与精准定位：H1 搭载高精度的激光雷达和视觉识别系统，能够实时感知周围环境并对零件进行精准识别。通过多维度的环境扫描和物体识别，机器人能够准确判断零件的位置、形状和状态，从而在复杂的生产环境中高效完成抓取、运输和安装等精密任务。

力控与触觉反馈系统：通过高精度力传感器、触觉反馈系统、自适应力控制算法和多传感器数据融合技术，实现精确的力控与触觉反馈。力传感器和触觉传感器实时监测抓取和安装过程中的力变化，自动调整力度以防止零件损伤。自适应力控制算法和传感器融合确保机器人在执行任务时保持稳定性和准确性。

动态适应能力：通过高精度运动控制系统、实时传感与反馈机制、自适应控制算法、视觉与环境感知系统以及多任务处理能力，实现了动态适应能力。它能够根据生产线的变化快速调整作业速度、路径和工作策略，确保在动态环境中保持高效、稳定的作业表现。

（三）应用价值

该案例的应用价值与影响从更实际、落地的效果来看，如下：

本案例中，宇树科技的人形机器人 H1 通过持续稳定地执行任务，提高了生产效率，减少了因人工失误或疲劳导致的停工时间，确保生产流程连续性，进而提升了生产总量。凭借高精度的抓取和安装能力，同时减少了人为错误，确保了质量一致性和可靠性。此外，H1 的灵活性使其能够快速适应生产线上的不同任务和需求变化，提高了生产线的适应性和柔性，满足了多样化产品需求。



该案例不仅验证了人形机器人在动态工业流水线中的实际可行性，还为其他企业提供了可以借鉴的具体解决方案。通过该应用，企业能够更好地理解和应用机器人技术，推动工业生产的自动化进程，降低对人工劳动力的依赖，从而在提高产能的同时降低生产成本。此外，该成功案例也加速了机器人产业的工业化进程，推动了工业自动化技术的普及和发展。

通过机器人替代传统人工，企业能够减少对熟练劳动力的依赖，降低招聘和培训的成本，减轻劳动力短缺带来的压力。机器人系统的长期稳定性和高效性为企业带来更可持续的生产能力，也为企业在市场中争取到更强的竞争优势。随着技术的不断成熟，企业将能以更低成本、更高的质量满足日益增长的个性化和复杂化需求。

案例二：人形机器人在物流场景的应用

案例名称：行业首个人形机器人与无人物流车、工业移动机器人和智能制造管理系统（MES）协同作业的应用案例

案例提供：深圳市优必选科技股份有限公司

（一）案例背景

一个典型的生产物流场景贯穿了原材料卸货、入库、仓储、分拣、出库并配送至生产车间、加工成成品后、成品入库、仓储、分拣及出货等多个场景，涵盖了物料的存储、分拣、搬运和配送四大功能。如何实现全流程无人化，尤其是各流程之间的自动化无缝衔接，一直是行业痛点。



（二）案例介绍（创新点）

1. 案例实施方案

优必选人形机器人 Walker S1 与 Wali 瓦力工业移动机器人 T3000、L4 级无人物流车 Chitu 赤兔无缝协作，实现从分拣、搬运到配送的室内外一体化的全自动流程，这也是行业首个人形机器人与无人物流车、工业移动机器人和智能制造管理系统（MES）协同作业的应用案例。

工业人形机器人 Walker S1 接收物料转运任务，依托多模态大模型获得定位和语义信息，从货架上分拣物料至周转箱中。Wali 瓦力顶升移动机器人 U600 将分拣好的周转箱运送到指定中转位置，由另一台 Walker S1 将周转箱搬运到托盘上。接着，Wali 瓦力重载无人叉车 F3000 自主导航到转运点，将托盘从地面叉取并装载到 L4 级无人物流车 Chitu 赤兔的车厢内，实现室内外场景物流无人化的无缝衔接。

2. 核心技术及创新点

优必选工业人形机器人 Walker S1 在搬运过程中，首先构建周围环境的 3D 语义地图，实现复杂环境中的精准导航与避障。通过视觉识别与模仿学习，识别并处理多种箱子，运用变导纳控制技术确保夹抱力稳定精细。Walker S1 凭借其先进的 6D 位姿识别技术，实现毫米级精度的物料自主定位与识别，依托其内置的多模态大模型“大脑”，获得操作环境和物料的定位和语义信息，并执行任务理解和规划，遇到干扰时能够在不到 2 秒的时间内迅速响应和重启任务。通过自主手眼协调抓取技术，Walker S1 可使用双臂自主运动算法生成可泛化的无碰撞和协作抓取路径。人形机器人 Walker S1 具有如下核心技术：



(1) 自研一体化关节：最大伺服驱动器扭矩密度 $>100\text{Nm/kg}$ ；

(2) 工业级负载能力及负重稳定行走能力：自主研发的自重/负载比小于 1 的轻量化仿人双臂，双臂搬运重量 15kg，作业高度覆盖 0.4 至 1.9 米的范围；配备六维力传感器与全身运动控制，Walker S1 在无负载时速达 4km/h，负载时可达 2km/h，实现稳定的高负重行走；

(3) 先进的语义 VLSAM 导航技术：语义感知信息与传统 VSLAM 紧耦合，接入语义地图，综合定位精度 $\pm 2\text{cm}$ ；

(4) “多面”的灵巧操作技术：拥有丰富的硬件末端库，能够提供面向工厂场景的系列化末端类型；拥有全栈式的操作策略库，提供包含模仿学习、强化学习、视觉伺服、柔顺控制算法支持。机械臂末端点最大速度 $\geq 1\text{m/s}$ ，机械臂末端重复定位精度为 $\leq \pm 5\text{mm}$ ，在结构化场景的抓取成功率 $\geq 95\%$ ，在非结构化场景的抓取成功率 $\geq 90\%$ ；

(5) 面向工业制造场景的人形机器人规划大模型：可以进行子任务拆解和推理，配合端侧多模态感知模型实现精确识别定位、泛化抓取以及异常处理，确保分拣任务在受到干扰的情况下仍然能够顺利实施。

无人车 Chitu 赤兔拥有国内先进 L4 级无人驾驶技术，搭载 UPilot 智能驾驶操作系统，可在封闭园区安全畅行，是国内首个不依赖 RTK 高精定位的无人物流车，做到“真正无人”。无人车 Chitu 赤兔具有如下核心技术和创新点：

(1) L4 级无人驾驶技术：国内首个不依赖 RTK 高精定位的无人物流车，依靠自然场景语义信息辅助定位技术，以纯无人驾驶的状态在



封闭园区内实现对车辆的完全控制和驾驶环境的监控；

（2）自主研发的智能驾驶系统 Upilot：融合了计算机视觉算法、语音技术、多模态大模型、SLAM 定位与建图、自主导航、高精度感知等技术，最高车速达 25km/h，达到了国内先进的 L4 级无人驾驶技术水平；

（3）高精度感知和自主导航：通过自研的语义 VSLAM 算法，自主构建及更新工作环境地图，实现自主避障和路线选择；

（4）多模态大模型：引入多模态大模型，具备理解周围场景的能力，能够在复杂的工厂环境下进行智能决策，保证行驶过程中的安全性；

（5）超大载重和续航能力：Chitu 赤兔拥有超宽敞载物空间，可装载 600kg，可拖挂 3000kg 载重料车；具备车规级底盘，转弯半径小于 5m，最大续航里程达 120km；支持平板、厢式和牵引运输等多种运输方式，实现室内外一体化的物流无人化配送。

（三）应用价值

优必选全栈式无人物流应用案例，集“硬件+软件+服务+运营”于一体，具备 AI 赋能、真无人、高柔性三大特点，通过多模态大模型、视觉算法和语音技术等多种 AI 技术赋能，可一站式柔性调度多种设备及机器人协同作业，人形机器人与无人物流车、无人叉车等工业移动机器人和智能制造管理系统协同完成分拣、搬运和配送任务，打通物流最后 10 米，快速实现物流场景布局调整、扩建、升级等需求，真正完成无人物流的闭环。



这是行业首个人形机器人与无人物流车、工业移动机器人和智能制造管理系统（MES）协同作业的应用案例，在应用创新和实现难度上达到了全球领先水平。



图 14 应用案例



附录 II 已发布的与人形机器人相关的标准清单

序号	标准号/计划号	标准名称	标准技术组织	分类	标准体系
1	ISO 18646-5	Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 5: Locomotion for legged robots	ISO TC299	A	1—评价评测
2	IEEE 1872-2015	IEEE Standard Ontologies for Robotics and Automation	IEEE RAS	B	3—决策规划模块
3	IEEE 1872.1-2024	IEEE Standard for Robot Task Representation	IEEE RAS	B	3—决策规划模块
4	IEEE 1872.2-2021	IEEE Standard for Autonomous Robotics (AuR) Ontology	IEEE RAS	B	3—决策规划模块
5	IEEE 7007-2021	IEEE Ontological Standard for Ethically Driven Robotics and Automation Systems	IEEE RAS	B	2—伦理
6	IEEE 1873-2015	IEEE Standard for Robot Map Data Representation for Navigation	IEEE RAS	B	3—定位导航模块
7	IEEE P2751	IEEE Draft Standard for 3D Map Data Representation for Robotics and Automation	IEEE RAS	B	3—定位导航模块
8	ISO 22166-201:2024	Robotics — Modularity for service robots — Part 201: Common information model for modules	ISO TC299	B	1—软件及系统
9	ISO 5363:2024	Robotics — Test methods for exoskeleton-type walking RACA robot	ISO TC299	C	1—评价评测
10	ISO 18646-4:2021	Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 4: Lower-back support robots	ISO TC299	C	1—评价评测
11	ISO 18646-6	Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots — Part 6: Lower-limb wearable robots	ISO TC299	C	1—评价评测
12	ISO 19649:2017	Mobile robots — Vocabulary	ISO TC299	C	1—术语与定义
13	ISO 13482:2014	Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots	ISO TC299	C	1-安全
14	ISO/TR 23482-1:2020	Robotics — Application of ISO 13482 — Part 1: Safety-related test methods	ISO TC299	C	1-安全
15	ISO/TR 23482-2:2019	Robotics — Application of ISO 13482 — Part 2: Application guidelines	ISO TC299	C	1-安全



16	ISO 31101:2023	Robotics — Application services provided by service robots — Safety management systems requirements	ISO TC299	C	1-安全
17	IEC 60335-2-123	Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-123: Particular requirements for robots	IEC TC61	C	1-安全
18	ISO 14539:2000	Manipulating industrial robots — Object handling with grasp-type grippers — Vocabulary and presentation of characteristics	ISO TC299	C	3-灵巧手
19	WK90228	Standard Test Method for Grasp-Type Robot End-Effectors: Slip Resistance	ASTM F45.05	C	1—评价与测试
20	WK86189	Split Force Measurement Apparatus to Support Grasp-Type End-Effector Performance Tests	ASTM F45.05	C	1—评价与测试
21	WK83863	Grasp-Type Robot End-Effectors: Grasp Strength Performance	ASTM F45.05	C	3-灵巧手
22	PNW 47-2843	Semiconductor devices - Detection modules of autonomous land vehicle - Part 4: Testing methods of performance for millimeter-wave radar	IEC TC47	C	3—环境感知模块
23	PNW 47-2844	Semiconductor devices - Detection modules of autonomous land vehicle - Part 5: Testing methods of performance for ultrasonic modules	IEC TC47	C	3—环境感知模块
24	PNW 47-2845	Semiconductor devices - Detection modules of autonomous land vehicle - Part 6: Testing methods of performance for visual imaging modules	IEC TC47	C	3—环境感知模块
25	IEC 63551-1:2023	Semiconductor devices - Detection modules of autonomous land vehicle - Part 1: Testing methods of detection performance for LiDAR	IEC TC47	C	3—环境感知模块
26	ISO/IEC 4944:2024	Information technology — User interfaces — Evaluating usability of natural user interfaces	ISO/IEC JTC1/SC35	C	3-人机交互模块
27	ISO/IEC 30122-1:2016	Information technology — User interfaces — Voice commands — Part 1: Framework and general guidance	ISO/IEC JTC1/SC35	C	3—环境感知模块
28	ISO/IEC 30122-2:2017	Information technology — User interfaces — Voice commands — Part 2: Constructing and testing	ISO/IEC JTC1/SC35	C	3—环境感知模块
29	ISO/IEC	Information technology — User	ISO/IEC	C	3—环境感



	30122-3:2017	interfaces — Voice commands — Part 3: Translation and localization	JTC1/SC35		知模块
30	ISO/IEC 30122-4:2016	Information technology — User interfaces — Voice commands — Part 4: Management of voice command registration	ISO/IEC JTC1/SC35	C	3—环境感知模块
31	ISO/TS 15066:2016	Robots and robotic devices — Collaborative robots	ISO TC299	C	1—软件及系统
32	IEC 62849:2016	Performance evaluation methods of robots for household and similar use	IEC TC59	C	1—评价与测试
33	IEC 80601-2-77:2019	Medical electrical equipment — Part 2-77: Particular requirements for the basic safety and essential performance of robotically assisted surgical equipment	IEC TC 62/SC 62D	C	4—专用
34	IEC 80601-2-77:2019/Amd 1:2023	Medical electrical equipment — Part 2-77: Particular requirements for the basic safety and essential performance of robotically assisted surgical equipment — Amendment 1	IEC TC 62/SC 62D	C	4—专用
35	IEC 80601-2-78:2019	Medical electrical equipment — Part 2-78: Particular requirements for basic safety and essential performance of medical robots for rehabilitation, assessment, compensation or alleviation	IEC TC 62/SC 62D	C	4—专用
36	IEC 80601-2-78:2019/Amd 1:2024	Medical electrical equipment — Part 2-78: Particular requirements for basic safety and essential performance of medical robots for rehabilitation, assessment, compensation or alleviation — Amendment 1	IEC TC 62/SC 62D	C	4—专用
37	ISO/IEC TS 8200:2024	Information technology — Artificial intelligence — Controllability of automated artificial intelligence systems	ISO/IEC JTC1/SC42	C	3—决策规划模块
38	ISO/IEC 23894:2023	Information technology — Artificial intelligence — Guidance on risk management	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1-安全
39	ISO/IEC TR 24027:2021	Information technology — Artificial intelligence (AI) — Bias in AI systems and AI aided decision making	ISO/IEC JTC1/SC42	C	3—决策规划模块
40	ISO/IEC TR 24029-1:2021	Artificial Intelligence (AI) — Assessment of the robustness of neural	ISO/IEC JTC1/SC42	C	3—决策规划模块



		networks — Part 1: Overview			
41	ISO/IEC 24029-2:2023	Artificial intelligence (AI) — Assessment of the robustness of neural networks — Part 2: Methodology for the use of formal methods	ISO/IEC JTC1/SC42	C	3—决策规划模块
42	ISO/IEC 12792	Information technology — Artificial intelligence — Transparency taxonomy of AI systems	ISO/IEC JTC1/SC42	C	4—整机
43	ISO/IEC TS 22440-1	Artificial intelligence — Functional safety and AI systems — Part 1: Requirements	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1-安全
44	ISO/IEC TS 22440-2	Artificial intelligence — Functional safety and AI systems — Part 2: Guidance	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1-安全
45	ISO/IEC TS 22440-3	Artificial intelligence — Functional safety and AI systems — Part 3: Examples of application	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1-安全
46	ISO/IEC TS 22443	Information technology — Artificial intelligence — Guidance on addressing societal concerns and ethical considerations	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1—伦理
47	ISO/IEC TS 42119-2	Artificial intelligence — Testing of AI — Part 2: Overview of testing AI systems	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1—评价与测试
48	ISO/IEC TS 42119-3	Artificial intelligence — Testing of AI — Part 3: Verification and validation analysis of AI systems	ISO/IEC JTC1/SC42	C	1—评价与测试
49	ISO/IEC TR 42109	Information technology — Artificial intelligence — Use cases of human-machine teaming	ISO/IEC JTC1/SC42	C	3-人机交互模块
50	ISO/IEC TS 42111	Information technology — Artificial intelligence — Guidance on lightweight AI systems	ISO/IEC JTC1/SC42	C	4—整机
51	ISO/IEC 19941:2017	Information technology — Cloud computing — Interoperability and portability	ISO/IEC JTC1/SC38	C	1-通信
52	ISO/IEC TR 23188:2020	Information technology — Cloud computing — Edge computing landscape	ISO/IEC JTC1/SC38	C	4—整机
53	ISO/IEC TS 10866:2024	Information technology — Cloud computing and distributed platforms — Framework and concepts for organizational autonomy and digital sovereignty	ISO/IEC JTC1/SC38	C	1—软件及系统



54	ISO/IEC 19944-1:2020	Cloud computing and distributed platforms — Data flow, data categories and data use — Part 1: Fundamentals	ISO/IEC JTC1/SC38	C	1—数据
55	ISO/IEC 19944-2:2022	Cloud computing and distributed platforms — Data flow, data categories and data use — Part 2: Guidance on application and extensibility	ISO/IEC JTC1/SC38	C	1—数据
56	ISO/IEC 19274	Information technology — Cloud computing and distributed platforms — Networking in cloud computing and edge computing	ISO/IEC JTC1/SC38	C	1-通信

注 1：分类中，A 为可直接纳入人形机器人标准体系；B 为可修改纳入人形机器人标准体系；C 为可参考其中部分内容。

注 2：标准体系中注明了本标准适用于人形机器人标准体系的哪一方面，1 为基础共性，2 为零部件，3 为模块，4 为整机。



参考资料

- [1] International Organization for Standardization , Robotics – Vocabulary ISO 8373:2021[S] 瑞士: International Organization for Standardization, 2021-11
- [2] 中国信息通信研究院和北京人形机器人创新中心有限公司, 具身智能发展报告 (2024) [R/OL].
- [3] Waseda University. Development of Waseda Robot [EB/OL].
- [4] Spectrum I. Robots-Your guide to the world of robotics [EB/OL]. <https://robotsguide.com/>
- [5] Honda humanoid robots development[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2006, 365 (1850): 11 – 19.
- [6] The intelligent ASIMO: system overview and integration [C]. In 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2002(9): 2478 – 2483.
- [7] Honda. ASIMO – The world’ s most advanced humanoid robot [EB/OL]. <https://asimo.honda.com/asimo-specs/>
- [8] Real time motion generation and control for biped robot-1st report: Walking gait pattern generation- [C]. In 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2009: 1084 – 1091.
- [9] Real time motion generation and control for biped robot-2nd report: Running gait pattern generation- [C]. In 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2009: 1092 – 1099.
- [10] Real time motion generation and control for biped robot-3rd report: Dynamics error compensation- [C]. In 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Oct. 2009: 1594 – 1600.
- [11] Real time motion generation and control for biped robot -4th report: Integrated balance control- [C]. In 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Oct. 2009: 1601 – 1608.
- [12] IEEE Spectrum. ATLAS DRC robot is 75 percent new, completely unplugged [EB/OL]. <https://spectrum.ieee.org/atlas-drc-robot-is-75-percent-new-completely-unplugged>.
- [13] 何涌. 机电一体化技术专业发展现状及对策[J]. 湖南农机, 2013, 40(01):157-158.
- [14] 崔建超. 基于足部传感信息的类人机器人稳态行走控制器研究[D]. 吉林大学, 2023. DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2023.001171.
- [15] 康凯. 基于 HI3518E 的人形机器人动态交互[D]. 汕头大学, 2022. DOI:10.27295/d.cnki.gstou.2022.000419.
- [16] 王聪聪, 钟新龙, 高旖蔚, 等. 人形机器人发展机遇与挑战并存[J]. 软件和集成电路, 2024, (07):74-84. DOI:10.19609/j.cnki.cn10-1339/tn.2024.07.019.
- [17] 窦笑, 霍国庆. 机器人发展的三种模式及其政策价值[J]. 智库理论与实践, 2024, 9(01):64-70. DOI:10.19318/j.cnki.issn.2096-1634.2024.01.07.
- [18] Valeria Villani;Fabio Pini;Francesco Leali;Cristian Secchi.Survey on human – r



obot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications[J]. Mechatronics. 2018.

[19] 顾浩楠. 人形机器人历史沿革与产业链浅析[J]. 机器人技术与应用, 2023, (04):6-8.

[20] 刘玉旺, 刘霞刚, 陈吉彪, 等. 一种机器人关节变刚度执行器[P]. 辽宁省:CN201711456376. 3, 2020-09-22.

[21] E. Villagrossi;L. Simoni;M. Beschi;N. Pedrocchi;A. Marini;L. Molinari Tosatti. A virtual force sensor for interaction tasks with conventional industrial robots [J]. A. Visioli. Mechatronics. 2018.

[22] 邱永康. 人形机器人无力矩传感器外力检测方法研究[D]. 北京工业大学, 2019. DOI:10.26935/d.cnki.gbjgu.2019.000450.

[23] Andrea Cherubini;Robin Passama;André Crosnier;Antoine Lasnier;Philippe Fraisse. Collaborative manufacturing with physical human - robot interaction[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 2016

[24] Tesla. TeslaAI day2022[EB/OL]. https://www.youtube.com/watch?v=ODSJsviD_SU&t=8792s.

[25] 觅途咨询. 2024 人形机器人产业链白皮书[R/OL]. (2024-02-03) [2024-02-03]. 网址: <https://xueqiu.com/9615908983/281000253>

[26] 玉箫音, 梁小翠, 殷建瓴. 具身智能技术发展现状与相关机遇[EB/OL]. (2024-10-21) [2024-10-21]. <http://www.guozhi.org/listing/newsshow.php?id=1843028>.

[27] 刘伟. 人形机器人是一个典型的人机环境生态系统[EB/OL]. (2024-01-03) [2024-01-03]. <https://wap.sciencenet.cn/blog-40841-1416446.html>.

[28] 幻影视界. 人形机器人与科技新革命[EB/OL]. (2024-04-02) [2024-04-02]. https://www.sohu.com/a/768671663_121709768.

[29] 开源证券、中国机器人网, 中国人形机器人产业发展白皮书(2024) [R/OL] (2024-09-09) [2024-09-09]8 网址: <https://mp.weixin.qq.com/s/7hE8P>

[30] 北京人形机器人创新中心有限公司等, 人形机器人评测体系研究报告[R] (2024 年 8 月)

[31] 全国网络安全标准化技术委员会, 人工智能安全治理框架 1.0 版[R/OL] (2024-09-09) 网址: <https://www.tc260.org.cn/front/postDetail.html?i>

[32] Gao, W. Ceccarelli, M. Design and Performance Analysis of LARMBot Torso V1. Micromachines 2022, 13, 1548.

[33] Boston Dynamics. What' s new, Atlas[ED/OL]. (2017-11-17).

[2024. 11. 8] <https://www.youtube.com/watch?v=fRj34o4hN4I>.

[34] Kaneko K, Kaminaga H, Sakaguchi T, Kajita S, Morisawa M, Kumagai I, et al. Humanoid robot HRP-5P: An electrically actuated humanoid robot with high-power and wide-range joints[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2019, 4(2):1431 - 1438.

[35] Park IW, Kim JY, Lee J, Oh JH. Mechanical design of the humanoid robot platform, HUBO[J]. Advanced Robotics, 2007, 21(11):1305 - 1322.

[36] Park IW, Kim JY, Lee J, Oh JH. Mechanical design of the humanoid robot platform, HUBO[J]. Advanced Robotics, 2007, 21(11):1305 - 1322.

[37] Xia Z, Chen K, He Y. Modeling and motion planning of the infant-size humanoid robot THBIP-II[C]. Humanoid Robots, 2007 7th IEEE-RAS International Conference on. IEEE, 2008:577-582.

[38] Huang Z, Jiang X, Liu H, et al. Design of crawling motion for a biped walking humanoid with 3-dof rigid-flexible waist[C]. IEEE-RAS 18th International Conference



ce on Humanoid Robots (Humanoids). 2018: 974 - 979

[39] Asano Y, Kozuki T, Ookubo S, Kawamura M, Nakashima S, Katayama T, et al. Human mimetic musculoskeletal humanoid Kengoro toward real world physically interactive actions[C]. 2016 IEEE/RSJ International Conference on humanoid robots (Humanoids). IEEE, 2016: 876 - 883.

[40] 上海智元新创技术有限公司。仿人机器人及其下肢装置: CN118182675A[P]. 2024-06-14.

[41] 上海开普勒探索机器人有限公司。一种双足机器人: CN117533433A[P]. 2024-02-09.

[42] 中国移动通信研究院。智能人体通信网络 (ACN) 白皮书。(2024-6-27) [2024-11-22]. <https://cmri.chinamobile.com/insight/technology/9998.html>

[43] 乐聚(深圳)机器人技术有限公司。一种机器人腿部装置及具有其的人形机器人: CN118025368A[P]. 2024-05-14.

[44] 北京小米机器人技术有限公司。机器人腿部结构及机器人: CN220518440U[P]. 2024-02-23.

[45] 陈建宇, 姜哲源。人形机器人的腿部结构和具有其的人形机器人: CN115593535A[P]. 2023-01-13.

[46] 索文豪, 刘乐锋, 钱光跃, 房雄远, 梁忠浩。一种下肢结构及机器人: CN117208115A[P]. 2023-12-12.

[47] 杭州宇树科技有限公司。一种人形机器人的腿部动力结构和人形机器人: CN118289111A[P]. 2024-07-05.

[48] 赵国增, 沈惊, 严邵军。人形机器人腿结构及机器人: CN118182677A[P]. 2024-06-14.

[49] Hirai K, Hirose M, Haikawa Y, et al. The development of honda humanoid robot [C]. Proceedings. 1998 IEEE international conference on robotics and automation (Cat. No. 98CH36146): volume 2. IEEE, 1998: 1321 - 1326.

[50] David A, Chardonnet J R, Kheddar A, et al. Study of an external passive shock-absorbing mechanism for walking robots[C]. Humanoids 2008-8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots. IEEE, 2008: 435 - 440.

[51] Choi W, Zhou C, Medrano-Cerda G A, et al. A new foot sole design for humanoid robots based on viscous air damping mechanism[C]. 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2015: 4498 - 4503.

[52] Li J, Huang Q, Zhang W, et al. Flexible foot design for a humanoid robot[C]. 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics. IEEE, 2008: 1414 - 1419.

[53] Choi W, Medrano-Cerda G A, Caldwell D G, et al. Design of a variable compliant humanoid foot with a new toe mechanism[C]. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2016: 642 - 647.

[54] Catalano M G, Frizza I, Morandi C, et al. Hrp-4 walks on soft feet[J]. IEEE Robotics and Automation Letters, 2020, 6(2): 470 - 477.

[55] Hashimoto K, Takezaki Y, Hattori K, et al. A study of function of foot's medial longitudinal arch using biped humanoid robot[C]. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2010: 2206 - 2211.

[56] Narioka K, Homma T, Hosoda K. Humanlike ankle-foot complex for a biped robot [C]. 2012 12th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2012). IEEE, 2012: 15 - 20.

[57] Davis S, Caldwell D G. The design of an anthropomorphic dexterous humanoid fo



- ot[C]. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. I
EEE, 2010: 2200 – 2205.
- [58]胡小春, 张召, 葛鹏. 仿生人体足部行走特性的两足机器人足部设计[J]. 机械设计与制造, 2018(2): 202 – 205.
- [59]赵帅, 朱荣. 多感知集成的柔性电子皮肤[J]. 化学学报, Acta Chim. Sinica 2019, 77, 1250–1262
- [60] 宋爱国. 机器人触觉传感器发展概述[J]. 测控技术, 2020, 39(5):2-8.
- [61] ZHAO Yujian, SUN Ping, MIAO Luwei, et al. Research progress of wide linear flexible piezoresistive pressure sensors [J].
Acta Materiae Compositae Sinica, 2025, 42.
- [62] 长沙亿美博智能科技有限公司, 北京亿美博科技有限公司, 天津亿美博数字装备科技有限公司. 一种数液流量匹配系统及控制方法[P]. 中国专利: CN116292466B, 2024. 08. 02.
- [63] 中国船舶工业集团. 船用数字液压缸: 第3部分: GB/T 24946-2010[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2010:08.
- [64]杨涛. 数字液压推动我国大功率机器人弯道超车[J]. 机器人技术与应用, 2015, (06):16-20
- [65] 杨涛. 亿美博谈数字液压[J]. 液压气动与密封, 2017, 37(09):16-19.
- [66]杨世祥, 杨涛, 徐悦桐. 大型数字式六自由度运动平台的开发[J]. 液压与气动, 2003, (08):46-47.
- [67]刘琛华, 杨涛, 宋辉, 等. 起重机数字液压回转系统设计与试验[J]. 机床与液压, 2024, 52(12):39-45.
- [69]刘琛华, 杨翔, 杨涛, 等. 旋挖钻机数字液压回转系统设计与试验[J]. 机械设计与研究, 2024, 40(02):203-207+213. DOI:10.13952/j.cnki.jofmdr.2024.0083.
- [70] 李耀文. 中国战略性新兴产业研究与发展 [M]. 北京:机械工业出版社, 2021:87-90.
- [71] 张涛. 智能无人系统产业发展研究报告[M]. 北京:清华大学出版社, 2022:63-64.
- [72] 陈晓东, 刘进长. 特种机器人之奥秘[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2022:138-139.
- [73] 颜景运, 马振, 牛之演, 等. 国家质量基础设施建设情况分析和建议[J]. 中国标准化, 2022, (17):202-205.
- [75]王欢, 王文华. 中国企业开展国际标准化工作的思考[J]. 中国标准化, 2020, (06): 112-116.
- [76] 张月, 方文瑞, 陈奕君, 等. 基于企业标准化良好行为评价的几点思考[J]. 中国标准化, 2024, (01):135-138.
- [77]安华娟, 马中骏, 王新新. 企业标准化引领赋能新质生产力的探讨[J]. 标准科学, 2024, (10):17-22.
- [78] 上海市人工智能行业协会. 具身智能化发展阶段分级指南: T/SAIAS 016—2024[S]. 上海:上海市人工智能行业协会, 2024-10-25.
- [79] 上海市人工智能行业协会. 人形机器人 分类分级应用指南: T/SAIAS 017—2024[S]. 上海:上海市人工智能行业协会, 2024-10-25.
- [80] 侯人鸾, 佟琨, 韩冰, 于晓龙, 杨帆. 智能机器人操作系统研究综述[J]. 杭州科技, 2023, 54(3):58-64.



参编单位
(单位排名不分先后)

北京机械工业自动化研究所有限公司

北京理工大学

北京航空航天大学

北京因时机器人科技有限公司

重庆凯瑞机器人技术有限公司

国地共建具身智能机器人创新中心

国家地方共建人形机器人创新中心（上海）

海博（苏州）机器人科技有限公司

海思技术有限公司

海信集团有限公司

杭州宇树科技有限公司

华为技术有限公司

华为云计算技术有限公司

吉林大学

科大讯飞股份有限公司

清能德创电气技术（北京）有限公司

深圳市人工智能与机器人研究院

上海人工智能实验室

深圳市优必选科技股份有限公司

沈阳新松机器人自动化股份有限公司



四川长虹电子控股集团有限公司

五八智能科技（杭州）有限公司

长沙亿美博智能科技有限公司

浙江人形机器人创新中心

之江实验室

中国电子科技集团公司第二十一研究所

中国计量大学

中国科学院沈阳自动化研究所

中移（杭州）信息技术有限公司

