

引用格式: 许文倩. 园区机器人性能标准化检测系统研究[J]. 标准化学报, 2026(8): 46–53.

XU Wenqian. Research on the Standardized Testing System for Robot Performance in Parks[J]. Journal of Standardization, 2026 (8): 46–53.

园区机器人性能标准化检测系统研究

许文倩

(福建省特种设备检验研究院)

摘要: 【目的】针对园区机器人性能检测中标准适配性不足、场景复现与现行标准脱节、检测流程无标准化闭环的问题,明确标准化检测体系构建需求,为检测标准化落地及智慧园区安全运营提供技术支撑。【方法】基于国内外机器人与低速自动驾驶测试标准,解构园区典型工况与标准核心要求,研发标准化一体化检测平台,构建完整检测技术流程。【结果】构建园区机器人性能标准化检测系统,实现标准与场景匹配及检测全流程闭环,解决传统检测与标准脱节、结果不可追溯难题。【结论】该系统可提升检测规范性、准确性和可追溯性,满足标准化需求,为智慧园区机器人安全运营提供保障。

关键词: 自动化检测; 机器人测试; 标准化测试

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.08.006

Research on the Standardized Testing System for Robot Performance in Parks

XU Wenqian

(Fujian Special Equipment Inspection and Research Institute)

Abstract: [Objective] To address the core issues in the performance test of robots in parks, such as insufficient standard adaptability, disconnection between scenario reproduction and standards, and failure to form a standardized closed-loop testing process, this research clarifies the construction needs of a standardized testing system, so as to provide technical support for the standardized implementation of park robot testing and the safe operation of smart parks. [Methods] Based on domestic and international testing standards for robots and low-speed autonomous driving, this research deconstructs the typical working conditions of parks and the core technical requirements of standards, develops a standardized integrated testing platform, and constructs a complete technical process covering standard interpretation, scenario construction, automated testing, and compliance judgment. [Results] A standardized performance testing system for park robots is constructed, which can achieve the matching between standards and testing scenarios, complete the closed-loop of the entire automated testing process, and effectively solve the practical problems of traditional testing being disconnected from standards and untraceable testing results. [Conclusion] The standardized

基金项目: 本文受福建省市场监督管理局科技项目“园区复杂场景自动驾驶感知设备一体化智能检测装置研发与应用”(项目编号: FJMS2024030); 2026年度福建省科学技术厅科技人员育成项目“人机交互地面移动机器人检测系统”(项目编号: 2026350177)资助。

作者简介: 许文倩, 硕士, 工程师, 研究方向为特种机器人检验检测、自动化技术。

testing system can improve the standardization, accuracy and traceability of park robot performance testing, meet the needs of standardized implementation of park robot testing, and provide reliable technical support for the safe and orderly operation of robots in smart parks.

Keywords: automated testing; robot testing; standardized testing

0 引言

随着智慧园区建设在全国范围内加速推进, 园区机器人(涵盖巡检、配送、安防等多个品类)已成为提升园区管理效率、保障运营安全的核心装备。然而, 目前针对园区机器人性能检测存在标准适用边界模糊、专项标准尚未完善、检测实施与标准要求脱节等突出问题^[1-4]。为此, 开展园区机器人性能标准化检测系统研究, 通过标准梳理与解构、标准化场景构建、一体化检测平台研发, 形成与现行标准深度适配的检测解决方案, 推动园区机器人性能检测的标准化、高效化发展。

1 机器人性能检测现状

1.1 国内外现状

当前, 国内外已围绕机器人功能、安全、性能

等维度制定多项测试标准。然而, 园区场景特有的复杂工况(如不规则地形、密集人流、多变气象条件、智能设施交互等), 对机器人导航精度、避障能力、核心零部件稳定性等提出了严苛要求。为解决园区场景测试无规可依、评价维度不统一的问题, 本文系统梳理部分现行标准的核心定位与适用场景, 明确各标准对园区机器人测试的指导价值, 为后续测试方案制定提供统一规范参考。具体参考标准如表1所示。

国外检测技术研究重点聚焦多传感器融合技术的深度优化以及场景模拟的高度还原, 旨在为智能装备的感知与决策提供更可靠的测试环境。美国密歇根大学打造的MCity测试场通过精准复刻城市交通常见的十字路口、人行道、交通信号灯, 以及突发障碍物、恶劣天气模拟装置等, 能够全方位模拟雨天、雾天等不同天气条件, 为机器人感知系统的性能测试提供了高度逼真的实测环境, 使得研发人

表1 国内外机器人测试标准

标准号	标准名
ISO 18646-2:2024	Robotics — Performance criteria and related test methods for service robots Part 2: Navigation
ISO 22737:2021	Intelligent transport systems — Low-speed automated driving (LSAD) systems for predefined routes — Performance requirements, system requirements and performance test procedures
ISO 34501: 2022	Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Vocabulary
ISO 34502:2022	Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario based safety evaluation framework
GB/T 38124—2019	服务机器人性能测试方法
GB/T 38834.3—2023	机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第3部分: 操作
GB/T 39785—2021	服务机器人 机械安全评估与测试方法
GB/T 40013—2021	服务机器人 电气安全要求及测试方法
DB50/T 1571—2024	智能网联汽车自动驾驶功能测试规范(已废止)
SJ/T 11852—2022	服务机器人用锂离子电池和电池组通用规范
T/CIE 174—2023	家庭服务机器人 智能化分级评价规范

员能够更准确地检测多传感器融合技术在复杂环境下的感知精度、响应速度及抗干扰能力^[5-6]。

在场景模拟的软件层面,美国和德国研发的仿真软件在全球市场的占比超过50%,成为行业内的主流选择。目前,常用的场景模拟仿真软件主要包括Carsim、Prescan、Vissim、VTD、Coanata、Right Hook、51Sim-One等。它们凭借各自在场景渲染、实时仿真、多平台兼容性等方面的优势,满足了不同研发团队在多传感器融合与智能装备测试中的多样化需求^[7]。

国内机器人检测产业在政策与市场驱动下也发展迅猛。在技术创新上,上海测试示范区含100余种场景,涵盖了城市道路、高速公路等常规行驶环境,还重点覆盖了园区窄路会车、行人密集区域避让等园区特有的复杂工况,为园区机器人、智能网联汽车在特定场景下的性能测试提供了重要保障^[8];济南打造国内领先的机器人测试验证平台^[9];百度Apollo平台作为国内智能驾驶领域的代表性平台,为众多研发机构与企业提供了多传感器融合算法开发、场景模拟测试等方面的支持^[10]。

在标准层面,工业和信息化部已出台一系列智能网联汽车相关的检测规范。这些规范对智能网联汽车的测试项目、测试方法、性能指标等作出了明确规定^[11]。同时,针对园区机器人这一新兴领域,专项标准的制定工作也在加速推进。园区机器人专项标准的逐步完善,将进一步推动国内园区机器人测试工作的规范化、标准化发展,为行业的技术创新与市场推广提供有力的制度保障^[12]。

1.2 现存问题剖析

尽管国内外在机器人检测领域已开展大量研究,且出台了一系列相关测试标准,但园区机器人作为服务机器人与低速自动驾驶装备的交叉细分领域,其性能检测仍存在诸多短板。核心问题集中在标准适配性不足、场景构建与标准脱节、检测实施不规范、成本管控不合理四大方面。这些问题严重制约了园区机器人检测的标准化、规模化发展,难以满足智慧园区安全运营对机器人性能验证的核心需求,具体剖析如下:

(1) 标准适配性不足,专项规范缺失且落地困难。当前,园区机器人性能检测面临“标准体系碎片化、专项标准缺失、现有标准适配性差”的三重困境。一方面,园区机器人兼具服务机器人的功能属性与低速自动驾驶装备的场景属性,其检测需融合两类装备的相关标准。但现有国际、国内标准多针对通用服务机器人或城市道路智能装备制定,未充分考虑园区特有的窄路会车、密集人流、智能设施交互等细分工况,导致标准条款与园区机器人实际检测需求脱节。另一方面,园区机器人专项检测标准的制定进度滞后于产业发展速度。不同检测机构、企业多依据自身经验制定检测方案,导致检测指标、检测方法、判定阈值不统一,检测结果缺乏可比性与公信力。此外,现有标准多侧重技术要求,缺乏具体的落地实施细则。部分中小企业因技术能力有限,难以准确解读标准条款、规范执行检测流程,进一步加剧了标准落地难的问题。

(2) 场景构建与标准脱节,工况覆盖不全面且可复现性差。场景构建是机器人性能检测的核心基础,而现有检测场景的构建存在“与标准要求不符、工况覆盖不全、可复现性差”的突出问题,无法满足标准对场景标准化、量化的检测要求。现有检测场景多聚焦主干道直行、简单避障等基础工况,对园区特有的不规则地形、强光反光、智能设施干扰等特殊工况模拟不足,尤其缺乏对极端复杂工况的验证,导致机器人在实际应用中易出现性能失效问题,而此类问题无法通过现有检测场景提前发现。现有测试场景多为固定结构,未采用标准化模块化设计,场景参数调节缺乏统一规范。不同批次、不同机构的检测场景无法保持一致,不符合标准对检测结果可追溯、可重复的核心要求,导致检测数据的可靠性不足。

(3) 检测实施不规范,自动化程度低且结果可信度不足。现有园区机器人检测实施过程未对标国内国际标准,流程缺乏标准化闭环,多数检测机构仍采用“人工配置场景—人工启动检测—人工采集数据—人工判定结果”的传统模式,未形成标准化流程,易出现流程遗漏、操作不规范等问

题,且人工干预过多会导致检测结果受人为因素影响较大,无法满足标准对检测客观性的要求。此外,现有检测平台多缺乏自动化控制与数据处理能力,场景配置、参数调节、数据整理等环节仍依赖人工完成,不仅检测效率低下,难以满足大规模、高频次的检测需求,还易出现数据记录错误、遗漏等问题,影响检测结果的可追溯性。

(4) 检测成本高昂,标准化规模化发展受限。

一方面,高精度检测平台的搭建成本过高,为满足现有标准对检测精度、场景模拟的要求,需投入大量资金用于标准化工装购置、场景建设、软件研发等。大型测试基地的建设与运营更是需要持续的资金投入,这对中小企业而言门槛过高,导致多数中小企业无法开展规范的标准化检测,只能依赖第三方检测机构,进一步增加了企业的检测成本。另一方面,检测运营成本居高不下。现有检测平台的场景更新、设备维护、人员培训等均需持续投入资金,且因检测自动化程度低,需配备专业的检测人员解读标准、操作设备,人力成本较高;同时,真实路测过程中存在的安全风险,也增加了检测的综合成本与实施难度。此外,部分检测机构为控制成本,未严格按照标准要求配置检测设备、构建测试场景,采用简化检测流程、降低检测精度的方式开展检测,导致检测结果不符合标准要求,进一步加剧了行业乱象,制约了检测行业的标准化、规模化发展^[13-15]。

综上,现有园区机器人性能检测的核心痛点集中在“与标准脱节”。无论是标准适配、场景构建,还是检测实施、成本管控,均未充分遵循现行标准要求,导致检测结果缺乏合规性、可靠性与可比性。因此,构建与标准体系深度适配的一体化标准检测系统解决上述核心问题,是推动园区机器人检测标准化落地、助力智慧园区安全运营的关键。

2 标准测试场景研究

2.1 测试场景标准解构

依据表1的测试标准,结合ISO 34501:2022、

ISO 34502:2022等标准,将园区测试场景分为路形、路面、智能设施、气象、动态目标五大核心要素,确定标准化的场景参数(如斜坡坡度范围、淋雨强度等级、动态目标运动速度),实现场景的可定义、可复现、可量化。结合ISO 18646-2:2024、GB/T 38124—2019等标准,明确导航精度、避障性能、传感器性能等核心检测指标,且参考制定与标准对应的误差计算方法。

此外,依据ISO 22737:2021、GB/T 38124—2019,检测流程可遵循“方案制定→场景配置→自动化检测→数据采集→结果分析→合规性判定→报告生成”的标准化闭环管理,且数据采集、存储、分析需满足可追溯要求。

为保障安全防护合规化,系统设计按照GB/T 39785—2021、GB/T 40013—2021,设置物理防护、故障停机、异常报警等安全模块,保障检测过程中人员与设备安全。

场景重点针对机器人测试中“功能性能”“安全保障”“场景适配”,明确机器人场景化测试的框架。基于此,对标准核心要求进行解构后,针对园区复杂场景重点模拟“路形多样、路面复杂、智能设施密集、气象多变、动态目标随机”等园区显著特征,通过场景解构明确测试场景的核心要素与交互逻辑。

2.2 测试场景工装与误差测量

在园区机器人实际运行过程中,“路形—路面—智能设施—气象—动态目标”并非孤立存在,而是多要素动态叠加的状态。比如雨天陡坡路段的行人横穿等单一维度测试无法验证机器人在这类复合工况下的真实性能,为构建此类多维度典型测试场景,整体场景应满足场景模拟真实、测试功能兼容性、参数调节灵活性、操作安全性四大要求。

(1) 场景模拟真实。为多维度还原园区复杂场景,应复现“主干道—坡道—拐角”路网,还得模拟雨天陡坡行人横穿、高温路面反光等要素叠加情况。动态目标要模仿巡检人员往返、观光车启停等真实行为,避免单一要素复制,让测试场景贴

合园区实际,减少检测结果与应用的偏差。

(2) 测试功能兼容性。需兼顾单项与综合测试,既能单独测试传感器性能,也能验证多传感器融合下的综合表现。可适配单一、双传感器复合及多传感器融合设备,满足不同研发阶段需求。

(3) 参数调节灵活性。核心参数需按需可调,例如设计可调斜坡坡度覆盖园区常见坡度范围,淋雨流量模拟小雨到大雨量级。此外,为适配不同地域园区气候、人员活动特征,采用模块化测试场景可灵活适配多样测试需求。

(4) 操作安全性。应设置安全围栏阻挡设备失控冲出测试区域,搭配警示标志提醒人员,并加装红外感应装置,设备靠近边界时自动减速或停机,避免高精度机器人损伤。同时划定观测区,防止人员误入测试区,全方位保障测试过程安全。

整体系统依据2.1测试场景标准解构,综合考虑各类场景测试要求,归纳设计测试为园区路形、复杂路面、园区智能网联、园区环境气象及园区路况五大类测试功能模块,覆盖园区典型测试场景,具体方案见图1。

在硬件支撑体系方面,为保障目标检测方法的有效落地与稳定运行,针对性构建了“数据采集—场景执行—控制单元—安全防护”的硬件支撑体系,各模块功能与技术配置如下:

(1) 多维度数据采集模块。该模块以关键参数实时感知为核心目标,采用滑轨模块化组合测试场地,滑轨上设置多对光电传感器实现对被测设备的精准定位,确保检测对象处于预设测试区域;利用光照传感器实时监测环境强光强度,保障检测过程免受极端光照干扰;搭载水压传感器并对淋雨测试系统的水压参数进行控制采集。

(2) 场景执行机构模块。该模块依据预设检测方案实现测试场景的自动化控制。通过电机组件完成斜坡坡度调节,满足不同路况模拟需求;借助风机系统输出可调节风速,实现强风环境的动态模拟;利用喷淋装置结合水压闭环控制,模拟不同强度的淋雨场景;配置AGV平台搭载动态行人模型,实现测试场景中行人运动轨迹控制,进而完成多变量测试场景的自动化构建。

(3) 控制硬件模块。该模块以可编程逻辑控制器(PLC)作为核心控制单元,采用EtherCAT工业以太网协议构建传感器与执行机构之间的高速通信链路,可实现对各模块运行参数的实时传输与精准调控,确保测试场景参数按照预设方案稳定输出,为检测方法的标准化实施提供控制保障。

(4) 安全防护模块。为保障测试过程中的设



图1 园区典型测试场景

备与人员安全,在测试平台周边设置物理安全围栏,形成空间防护边界;同时,系统内置硬件故障检测与超范围运行监测机制,当检测到设备运行参数超出安全阈值或硬件出现故障时,可自动触发停机指令并启动报警功能,实现测试过程的安全闭环控制。

在误差采集设计方面,以直线测试为例,采用位置偏差算法计算测试误差,通过测量机器人在行走过程中实际位置与理论位置的偏差来计算误差,见图2。

在测试模块轨道对称部署多组光电传感器,设机器人在理论轨迹上的坐标为 (x_t, y_t) ,实际测量得到的坐标为 (x_a, y_a) ,则位置偏差 $\Delta x = x_a - x_t$, $\Delta y = y_a - y_t$ 。得出总位置误差 $\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ 。

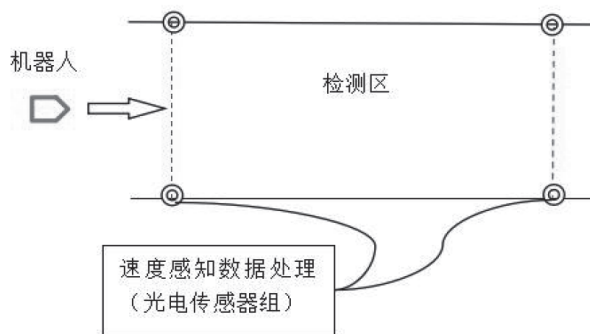


图2 直线场景设计

以U形弯道为例,采用基于轨迹拟合的算法,拟合出实际行走轨迹,再与理论直线轨迹进行对比,以两者之间的偏差作为误差指标,见图3。依据现场要求布置多组光电传感器,假设采集到 n 个实际位置点 $(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$,设理论直线方程为 $y = k_0x + b_0$ (k_0 为理论斜率, b_0 为理论截距)。根据最小二乘法原理,使各实际点到理论直线的距离平方和最小,计算拟合直线 $y=kx+b$ 的参数与每个实际点到拟合直线的距离,取距离的最大值 $D_{max} = \max_{1 \leq i \leq n} \frac{kx_i - y_i + b}{\sqrt{k^2 + 1}}$ 、平均值 $D_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{kx_i - y_i + b}{\sqrt{k^2 + 1}}$ 等作为直线行走误差,从而对园区机器人性能进行误差评判。

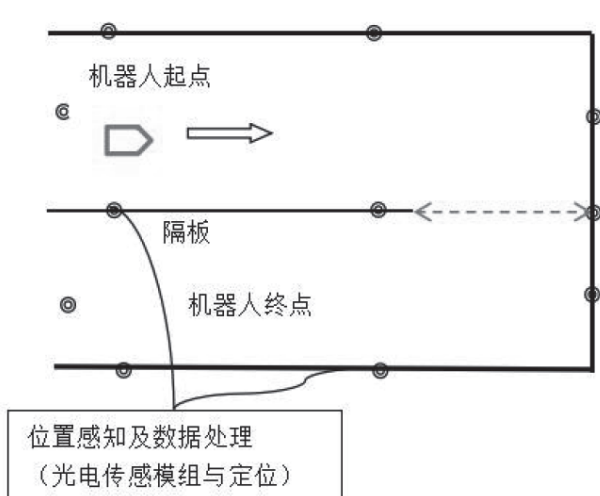


图3 U形弯道测试设计

具体模块化测试现场如图4所示。



(a) 检测系统静态障碍物测试场景

(b) 机器人模拟测试现场

图4 模块化测试场景

3 标准化检测系统设计

标准化检测整体平台结合模块化组合工装与自动化测试系统,具体流程如图5所示。标准化检测软件系统包含“检测平台”(见图6)与“检测终端”(见图7)。

操作人员通过触摸屏人机界面,输入被测设备的关键参数,包括尺寸、感知类型及应用场景。检测平台基于场景数据库,进行匹配与组合并生成综合检测方案。例如,针对园区巡检机器人,生成“U形弯路形+透明玻璃墙+强光+动态行人”的

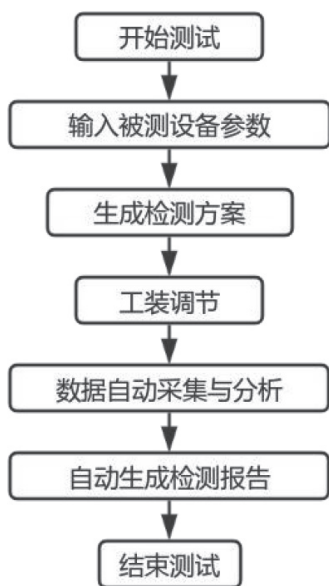


图5 检测流程

测试组合。

方案生成后,操作人员依据方案对模块化工装进行配置。在自动化检测阶段,检测终端下发指令,被测设备启动运行,检测终端开始实时采集被测设备的传感器数据和运行日志,并同步上传至云端服务器。检测终端提供触摸屏人机界面,支持测试监控、手动干预及异常报警。

检测结束后,软件自动对采集到的原始数据进行分析,计算出各项性能指标并与预设的标准进行比对,通过误差计算,判定设备性能是否达标。最后,系统将所有测试数据、分析结果和判定结论整



图7 检测终端

理成标准化报告,并支持以PDF格式导出。

4 结语

本文针对园区机器人性能检测痛点,梳理并结合国内外现行标准,开展标准化检测系统研究。基于标准解构园区测试场景要素,设计模块化工装与硬件支撑体系,复现典型工况,研发标准化的检测系统,构建检测闭环流程,实现自动化检测、合规性判定及标准化报告生成。

该系统的应用将有效推动园区机器人性能检测的标准化落地,为园区机器人的市场准入、质量管控提供技术支撑,同时也为园区机器人专项检测标准的制定提供实践依据,助力智慧园区的安全、高效运营。

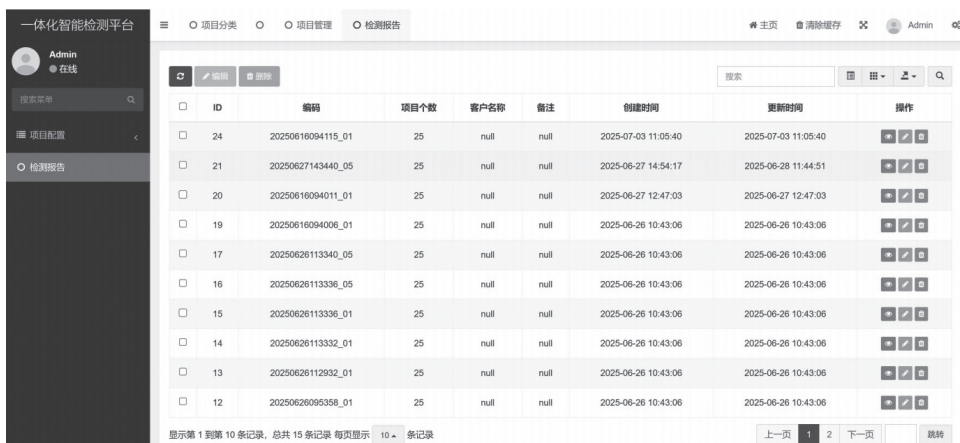


图6 检测平台

参考文献

- [1] 孙剑, 黄葵, 田野, 等. 自动驾驶测试公共服务平台构建技术及应用[J]. 中国公路学报, 2024, 37(8): 248-258.
- [2] Betz J, Zheng H, Liniger A, et al. Autonomous Vehicles on the Edge: A Survey on Autonomous Vehicle Racing[J]. arXiv e-prints, 2022.
- [3] 孙磊, 王杏. 基于场景驱动的自动驾驶“三支柱”一体化测试平台设计[J]. 时代汽车, 2025(19): 16-18.
- [4] 杜娟, 高一盼, 刘阳. 服务机器人国内外标准化现状分析与对策探讨[J]. 标准科学, 2024(11): 113-118.
- [5] 戴植毅, 黄妙华. 智能汽车试验场发展现状及其建设建议[J]. 数字制造科学, 2017, 15(4): 147-152.
- [6] 北京打造智能网联汽车小镇[J]. 传感器世界, 2019, 25(4): 34-35.
- [7] 黄刚, 史雪静. 面向自动驾驶的虚拟仿真测试平台架构设计[J]. 地理空间信息, 2024, 22(1): 96-101.
- [8] 国家智能网联汽车(上海)试点示范区封闭测试区[EB/OL]. (2022-11-04) [2022-11-23]. https://baike.baidu.com/item/19725613?fr=ge_ala.
- [9] 范俐鑫, 李佳慧. 在济南打造国内领先的机器人测试验证平台[N]. 济南日报, 2025-07-11(1).
- [10] 田野, 黎瑞, 郭慧洁, 等. 赛事数据驱动的自动驾驶测试评价方法优化与决策规划技术建议[J]. 交通运输工程学报, 2026, 26(7): 190-203.
- [11] 中华人民共和国公安部. 《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范(试行)》解读[EB/OL]. (2021-08-27) [2026-07-27]. <https://www.mps.gov.cn:8090/n6557563/c8087446/content.html>.
- [12] 提速“具身智能”! 园区推出三年行动计划[EB/OL]. (2025-02-09) [2026-02-10]. <https://www.sipac.gov.cn/szgyyq/dthg202502/202502/07a910893ef44fb5a75fb031024de213.shtml>.
- [13] 余卓平, 邢星宇, 陈君毅. 自动驾驶汽车测试技术与应用进展[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(4): 540-547.
- [14] 刘晶郁, 马辉, 张学文, 等. 自动驾驶虚拟仿真测试技术研究进展[J]. 中国科技论文, 2021, 16(6): 571-577.
- [15] 许文倩. 公共服务机器人产业发展现状及风险分析[J]. 标准科学, 2024(3): 121-124.