

北京市自动驾驶车辆 道路测试报告

(2022年)



编制

北京智能车联产业创新中心
中关村智通智能交通产业联盟

指导

北京市自动驾驶测试管理联席工作小组
北京市高级别自动驾驶示范区工作办公室



■ 犯其至难而图其至远

2022 年，自动驾驶政策陆续发布，自动驾驶产业进入新常态，迈入新阶段，站在新起点。在政策有力支撑下，企业积极推进 L2 级技术持续完善、L3 级技术量产落地、L4 级技术快速布局。通过自动驾驶产品测试评价积极转型，努力探索形成新发展格局的有效途径，实现自动驾驶产业更高质量、更有效率、更可持续、更为安全的发展。

一、国家政策持续出台，为深化自动驾驶商业化、市场化模式谋篇布局

2022 年国家层面持续强化自动驾驶产业顶层设计。中央有关自动驾驶产品准入、使用管理、场景建设等方面的政策不断涌现，构筑我国自动驾驶的产业竞争力，为深化自动驾驶商业化、市场化模式奠定了基石。

工信部、市场监管总局、自然资源部、交通运输部、科技部陆续发布《道路机动车辆生产准入许可管理条例》（征求意见稿）《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知》（征求意见稿）《关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告》《自动驾驶汽车运输安全服务指南（试行）》（征求意见稿）《关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知》等政策，为智能网联汽车进入机动车产品管理体系并广泛落地应用完善管理机制。

二、各地勇闯深水区，为自动驾驶产业加速落地强心铸魂

2022 年我国各地以政策驱动技术发展，出台了多项自动驾驶方面的法规条例，各地应用实践也呈现多种趋势，国内以城市为单位的自动驾驶产业创新正在加速推进。

北京市作为自动驾驶高地，在先期工作基础上进一步开展先行先试，以北京经济技术开发区为核心区域建设北京市高级别自动驾驶示范区，并设立北京市智能网联汽车政策先行区，颁发国内首个无人化出行服务商业化试点许可，推动一系列先行先试政策实施，通过资源集中统筹，勇闯以车路云融合技术为代表的自动驾驶创新深水区。

三、产品技术测试向产品评价发展，非量产评价向量产评价兼容，助力自动驾驶产业创新爬坡过坎

自动驾驶领域经过抓重点、补短板、强弱项，相关技术日臻成熟、完善。为进一步提高产业发展质量，突出产业发展全面性、创新性、统筹性，提升自动驾驶技术核心竞争力，北京智能车联产业创新中心（以下简称“北京智能车联”）着重推进产品技术测试向产品评价发展，非量产评价向量产评价兼容。

以探索自动驾驶产品级评价为目标，北京智能车联创新虚实结合测试技术，解决动态测试场景单一、多变量空间难于实现、测试效率低等问题。在深耕 L4 级自动驾驶能力测试的基础上，同步探索量产车的智能辅助驾驶能力评价，拟将北京市自动驾驶测试经验向量产车方向兼容。北京智能车联结合对自动驾驶的测试能力和相关数据集积累，推进量产车型智能性评价指数建设，助推自动驾驶领域测试评价工作升级创新。

2022 年，我国自动驾驶领域持续贯彻新发展理念，构建新发展格局，遵循产业发展规律，发挥政策引领作用，加快创新升级步伐，从“新”出发推动自动驾驶产业进一步产品化、市场化、商业化。始终保持一往无前的奋斗姿态，风雨无阻的精神状态，在危机中育先机，于变局中开新局，在自动驾驶领域我们定能赢得优势、赢得主动、赢得未来。

目录

犯其至难而图其至远	i
一、全面布局发展要素，拓展产业发展空间	1
（一）以政策之力护航产业创新发展	1
（二）以标准之力引领产业快速发展	1
（三）以测试评价推动产业融合发展	3
二、稳步提高测试能力，促进产业提质增效	8
（一）优化技术测试，实现技术进步	8
（二）创新服务模式，增强内生动力	14
三、强化道路实践测试，加速产业落地运营	18
（一）注重开放道路测试，提升运营测试体验	18
（二）分析道路测试结果，总结关键脱离情况	21
（三）规范测试管理服务，保障道路测试安全	26
结 语	29
北京智能车联产业创新中心介绍	30

一、全面布局发展要素，拓展产业发展空间

（一）以政策之力护航产业创新发展

北京是国内较早发展自动驾驶产业的城市之一，2022 年北京市为激励技术创新，持续完善政策体系，优化发展环境，有力推动了自动驾驶产业发展，并取得积极成效。

北京市自动驾驶测试管理联席工作小组持续贯彻“安全第一、有序创新”的工作原则，在《北京市关于加快推进自动驾驶车辆道路测试有关工作的指导意见（试行）》和《北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则（试行）》政策规范下，稳步推进测试道路开放、测试时段延伸、测试类型丰富等工作，持续保障自动驾驶车辆道路测试示范安全有序开展，为智能网联汽车产业发展打下坚实基础。为扩展自动驾驶技术应用，鼓励发展新产品新业态，北京市交通委会同市经济和信息化局、市公安交管局、市商务局、市邮政管理局联合开展《北京市无人配送车道路测试与商业示范管理办法（试行）》研究发布工作，支持无人配送车技术发展。

北京市高级别自动驾驶示范区工作办公室依托市高级别自动驾驶示范区和智能网联汽车政策先行区，以亦庄新城 225 平方公里区域和 143 公里城市高快速路为主要实施范围，陆续出台《北京市智能网联汽车政策先行区智能网联客运巴士道路测试、示范区应用管理实施细则（试行）》、《北京市智能网联汽车政策先行区乘用车无人化道路测试与示范应用管理实施细则》、《北京市智能网联汽车政策先行区自动驾驶出行服务商业化试点管理实施细则（试行）》、《北京市智能网联汽车政策先行区无人接驳车管理细则（道路测试与示范应用）》等先行先试管理政策，并逐步构建“2+5+N”的政策管理体系。

北京市针对国内智能网联与自动驾驶领域的新产品、新应用完成关键性管理突破，为各地相关法规政策创新提供研究样板。

（二）以标准之力引领产业快速发展

北京市作为住房和城乡建设部、工业和信息化部发布的首批智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展试点城市，坚持“单车智能 + 网联赋能”的战略定位，做好标准法规协同，引领智能交通管理和智慧城市建设快速发展。

为稳步提升智能网联汽车新动能，在北京市自动驾驶测试管理联席工作小组的指导下，在北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会等单位的支持下，中关村智通智能交通产业联盟联合产业上中下游龙头企业、科研院所等，持续推进智能网联汽车相关标准研制，解决产业发展中的瓶颈问题。产业联盟牵头并参与累计 69 项智能网联汽车国际、国家、行业、地方和团体标准的制定工作，并通过团标实践、地标固化、国标升级的方式，打造完善的智能网联汽车标准体系。

2022 年 12 月，北京市地方标准 DB11/T 2050-2022《自动驾驶车辆封闭试验场地技术要求》发布，成为国内首个自动驾驶封闭试验场地地方标准。2022 年 10 月，国家标准 GB/T 41798-2022《智能网联汽车 自动驾驶功能场地试验方法及要求》发布，北京智能车联作为该标准主要编制单位，将北京测试经验在国家标准中成功应用，并引领全国自动驾驶功能场地测试工作规范发展。此外，由中国牵头制定的首个自动驾驶测试场景领域国际标准 ISO 34501《道路车辆自动驾驶系统测试场景词汇》于 2022 年 10 月正式发布，引领全球自动驾驶测试评价工作快速发展。

表 1 2022 年智能网联汽车领域重点标准摘录

标准类型	序号	标准（计划）编号	标准名称	公布日期
国家标准	1	GB/T 41798-2022	智能网联汽车 自动驾驶功能场地试验方法及要求	2022/10
	2	20213609-T-339	智能网联汽车 自动驾驶功能道路试验方法及要求	未公布
	3	20204960-T-469	自动驾驶封闭测试场地建设技术要求	未公布
	4	20205084-T-312	智能网联汽车运行安全测试环境技术条件 第1部分 公共道路	未公布
国际标准	5	ISO34501	Road Vehicles - Terms and Definitions of Test Scenarios for Automated Driving Systems	2022/10
	6	ISO34502	Road Vehicles- Engineering Framework and Process of Scenario-based Safety Evaluation	2022/11
	7	ISO34503	Road Vehicles - Taxonomy for Operational Design Domain for Automated Driving Systems	未公布
	8	ISO34504	Road Vehicles - Scenario Attributes and Categorization	未公布
	9	ISO34505	Road Vehicles - Evaluation of Test Scenarios for Automated Driving Systems	未公布
地方标准	10	DB11/T 2050-2022	自动驾驶车辆封闭试验场地技术要求	2022/12
团体标准	11	T/CMAx 21004—2022	面向C-V2X的城市一般道路应用场景测试内容与方法	2022/7
	12	T/CMAx 24001—2022	面向C-V2X的智能化交通安全设施技术要求	2022/7
	13	T/CMAx 43004—2022	商用车智能网联系统智能车载终端技术规范	2022/1
	14	T/CMAx 43003—2022	商用车智能网联系统平台数据交换通讯协议	2022/1
	15	T/CMAx 43002—2022	商用车智能网联系统平台技术要求	2022/1
	16	T/CMAx 43001—2022	商用车智能网联系统车载终端通讯协议规范与数据格式	2022/1
	17	T/CMAx 22001—2022	自动驾驶车辆载人功能测试内容与方法	2022/1
	18	/	自动驾驶车辆编队行驶能力测试内容与方法	未公布
	19	/	自动驾驶车辆无人化道路测试内容与方法	未公布
	20	/	自动驾驶车辆虚实结合测试平台 数据交互协议	未公布

为打造网联赋能“北京模式”，以车路云融合技术路线为牵引，2022年4月，北京市高级别自动驾驶示范区发布首个完整的车路云一体化高级别自动驾驶标准体系，将标准体系定义在智能网联汽车技术、车路协同基础设施、云控基础平台、专用通信网络、基础地图、安全管理6部分，构建车-路-云-网-图-安全标准共计71项。其中，10项车路协同基础设施和4项智能网联汽车自动驾驶功能测试标准已正式发布，为车路协同行业推广提供标准支撑。

车路云一体化 高级别自动驾驶标准体系



图1 网联赋能“北京模式”标准体系

（三）以测试评价推动产业融合发展

1. 完善环境建设，夯实基础保障

2022年，北京市持续践行“场-路-区”三级测试示范环境建设，通过扩大和完善测试环境，为自动驾驶测试评价深度赋能。

测试场地方面，国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地（以下简称“亦庄基地”）拓展测试能力，建设形成涵盖量产车ADAS、3级驾驶自动化（有条件自动驾驶）功能、4级驾驶自动化（高度自动驾驶）及以上高级别自动驾驶功能等完整测试体系。测试道路方面，截至2022年底，北京市累计开放自动驾驶测试道路1571.32公里，其中全市6区依据《北京市自动驾驶车辆测试道路要求（试行）》累计开放自动驾驶测试道路1143.78公里，高级别自动驾驶示范区完成329个路口750公里车路云一体化城市道路建设。北京市自动驾驶测试道路进一步开放，道路测试时段进一步拓展，专项技术测试进一步深化。测试区域方面，高级别自动驾驶示范区2.0阶段已建设覆盖北京经济技术开发区核心区60平方公里，同时支持单车智能和车路协同测试验证。

自动驾驶测试环境的建设和完善为测试评价工作夯实了基础保障，进一步支持自动驾驶商业模式探索，促进自动驾驶产业融合发展。

2. 加强道路测试，提升技术保障

2022 年，北京市自动驾驶道路测试工作安全有序推进。截至 2022 年底，累计 28 家企业在北京市开展自动驾驶车辆道路测试。其中，17 家企业 379 辆自动驾驶汽车取得全市范围内测试通知；14 家企业 269 辆自动驾驶汽车获准在高级别自动驾驶示范区开展道路测试、示范应用及商业化试点的先行先试。

自动驾驶车辆规模化布局进一步扩大，道路测试里程显著提升。自动驾驶车辆道路测试持续为产业发展提供试验验证及数据支撑，有效推动自动驾驶技术快速迭代，实现自动驾驶技术更高质量、更为安全的发展。

表 2 在京测试自动驾驶企业道路测试里程累计情况（2018-2022）

测试主体名称	累计测试里程（公里）
北京百度网讯科技有限公司	17795261
萝卜运力（北京）科技有限公司	
上海蔚来汽车有限公司	3515
北京新能源汽车股份有限公司	2944
戴姆勒大中华区投资有限公司	929
北京小马智行科技有限公司	3770109
上海小马科技（上海）有限公司	
腾讯大地通途（北京）科技有限公司	4157
苏州滴滴旅行科技有限公司	1332
奥迪（中国）企业管理有限公司	3615
北京智行者科技有限公司	1453
重庆金康新能源汽车设计院有限公司	0
北京四维图新科技股份有限公司	1220
丰田汽车研发中心（中国）有限公司	15022
北京三快在线科技有限公司	464
北京沃芽科技有限公司	247201
北京汽车股份有限公司	2354
北京汽车研究总院有限公司	1391

测试主体名称	累计测试里程（公里）
安途智行（北京）科技有限公司	5363
文远京行（北京）科技有限公司	8948
北京小马智卡科技有限公司	15758
北京主线科技有限公司	32030
北京擎天智卡科技有限公司	5751
北京京深深向科技有限公司	0
北京福田欧辉新能源汽车有限公司	925
阿波罗智联（北京）科技有限公司	1683
北京轻舟智航科技有限公司	25087
北京商汤科技发展有限公司	1970
总计里程	21948482

3. 推进测试示范，建立落地保障

2022 年，北京市自动驾驶开放道路试运营测试进入规模化阶段，试运营测试在实操层面验证了自动驾驶车辆的各项性能，进一步完善了相关参数指标，为加快构建绿色、高效、安全的自动驾驶商业化模式提供了落地保障。

——载人试运营测试方面

截至 2022 年底，取得北京市自动驾驶测试管理联席工作小组意见的载人试运营测试车辆达到 291 辆。

高级别自动驾驶示范区内 141 辆车获准开展可载人的示范应用及商业化试点，其中 47 辆自动驾驶乘用车获准主驾无人副驾有人自动驾驶载人示范试点。

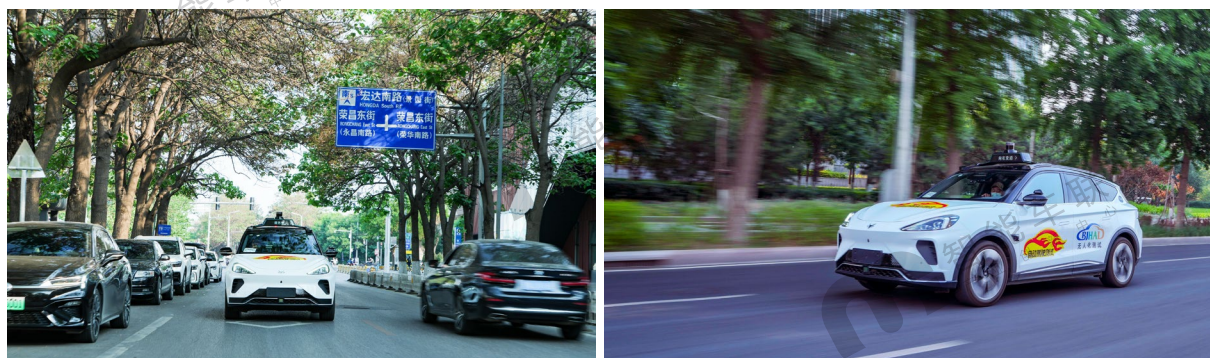


图 2 北京市载人试运营测试

——无人配送车道路测试与商业示范

无人配送作为人工智能科技创新应用的重要方向一直备受关注。2020 年起，无人配送车在北京市智能网联汽车示范运行区（首钢园）开展封闭园区内的常态化运营。2020 年 9 月，顺义区以政府通知公告方式启动了无人配送车试点，美团、京东、毫末智行在区内累计投入 127 台无人配送车常态化运行。高级别自动驾驶示范区自 2021 年 5 月陆续向京东、美团、新石器的 278 台无人配送车发放车身编码，开展无人配送车道路测试与商业示范先行先试。

为鼓励、支持无人配送车技术发展，形成全市统一的管理办法和技术规范，北京市交通委会同市经济和信息化局、市公安交管局、市商务局、市邮政管理局联合开展《北京市无人配送车道路测试与商业示范管理办法（试行）》研究制定工作，2023 年 1 月发布实施。



图 3 北京市无人配送车道路测试与商业示范

——智能网联客运巴士道路测试及示范应用

2022 年度，有来自北京轻舟智航、北京商汤科技、阿波罗智联（北京）、北京福田欧辉 4 家企业的 6 辆智能网联客运巴士获准在高级别自动驾驶示范区开展测试示范工作，年度累计测试里程超 2.8 万公里。其中，轻舟智航已获准在高级别自动驾驶示范区开展智能网联客运巴士示范应用。



图 4 智能网联客运巴士商业示范

4. 深化专项技术，拓展应用场景

《北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则（试行）》自 2020 年起拓展专项技术测试，支持特殊天气、无人化、高速公路、编队行驶等场景的开放道路测试。北京市高级别自动驾驶示范区在北京经济技术开发区进一步深化高速公路与无人化测试的先行先试。

——无人化测试方面

2021 年，萝卜运力 10 台车辆首次获得北京市自动驾驶无人化测试牌照，无人化测试范围覆盖北京经济技术开发区、海淀区、顺义区。

高级别自动驾驶示范区向萝卜运力、小马智行、文远知行三家企业累计发放 72 张无人化道路测试通知，无人化累计测试里程超过 138 万公里。



图 5 北京市无人化测试

——高速测试方面

截至 2022 年底，高级别自动驾驶示范区向小马智卡、主线科技、滴滴、擎天智卡、北京京深深向发放了 7 张高速公路测试牌照，高速公路累计测试里程达 5.3 万公里。开放测试的京台高速北京段双向 10 公里路段囊括了上下匝道、直行、转弯等高速环境常见的场景元素。同时完成了各类智慧化硬件基础设施部署，高清视频数据、激光雷达点云数据、毫米波雷达结构化数据、路侧单元（RSU）应用层数据、边缘计算单元事件检测等计算结果数据全部联通。可助力企业实现自动驾驶、车路协同、车网融合的多重技术探索。



图 6 京台高速北京段测试情况

二、稳步提高测试能力，促进产业提质增效

（一）优化技术测试，实现技术进步

2022 年度，作为北京市认定的自动驾驶车辆封闭测试场地（T1-T5 级）和交通运输部认定自动驾驶封闭场地测试基地，国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地为 14 家国内外测试主体、科研院所、高等院校提供了测试服务，测试服务时长 1600 余小时，封闭试验场内全年测试里程近 3 万公里，累计测试里程约 29 万公里。

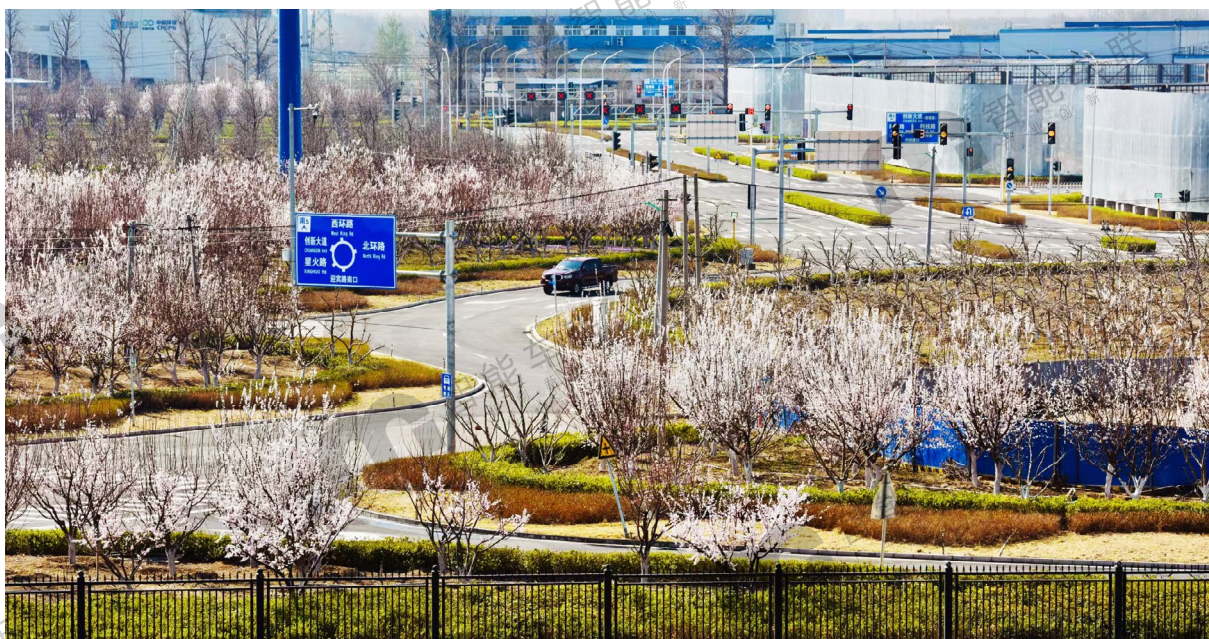


图 7 国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地

1. 加强基础性能测试，建立技术进步“晴雨表”

2022 年，北京智能车联在封闭试验场内持续开展包括感知、规划、控制在内的车辆基础性能测试，为企业技术开发、性能优化、查缺补漏提供了切实可行的意见建议。

感知系统是自动驾驶的核心，感知能力测试旨在保障自动驾驶软件系统安全可靠。该项测试包括儿童感知盲区测试、交通目标物感知距离测试、交通目标物感知类别测试等。2019-2022 年，北京市封闭试验场内最优感知方案持续升级。

——儿童感知盲区逐渐减小

选取身高为 120cm 的模拟儿童作为测试目标，测试车辆周围各个方向的感知盲区，2019-2022 年北京市封闭试验场儿童感知盲区测试结果如图 8 所示。

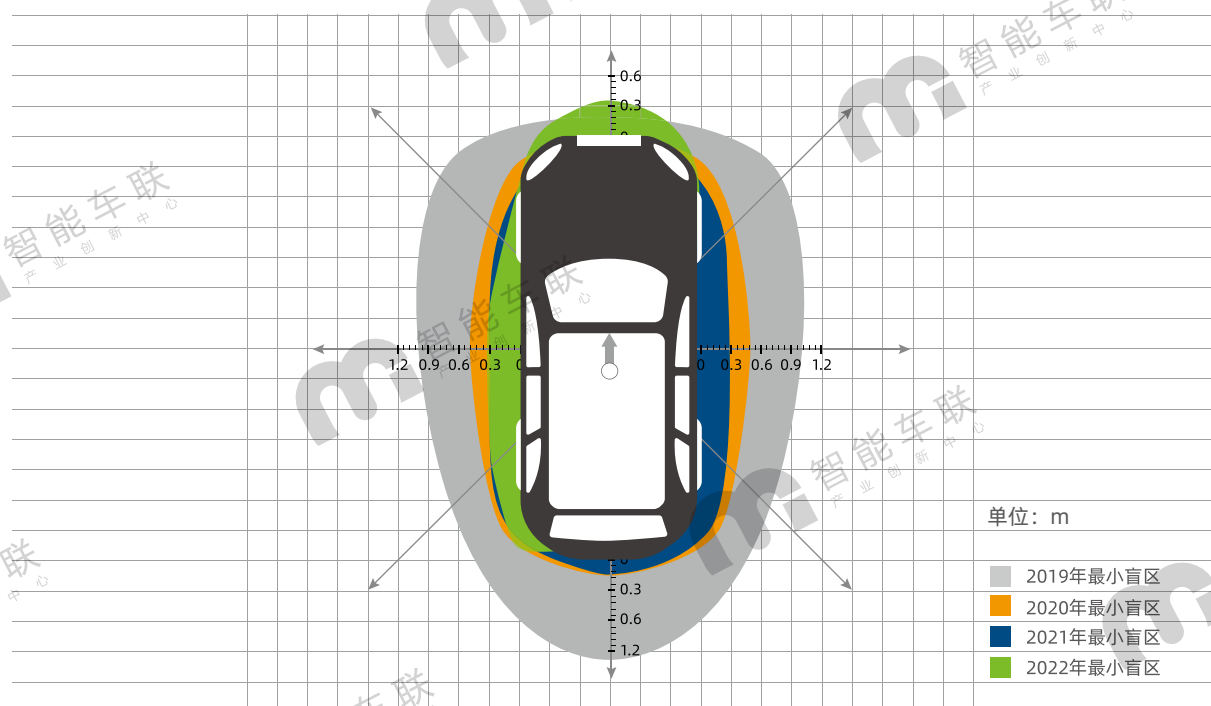


图 8 2019 至 2022 年封闭试验场内儿童感知盲区最优方案对比

——前向最大感知距离指标高于国际法规要求

前向最大感知距离是自动驾驶车辆在前方向对机动车辆、成人、儿童、自行车、锥桶的最大感知距离。2019-2022 年封闭试验场内最大前向感知距离结果如图 9 所示。根据联合国《自动车道保持系统 (ALKS) 》^[1]，在城市工况下 (60km/h 以内)，车辆至少需要提前 46m 感知到前方交通目标，以保证行车安全。从 2022 年在封闭试验场内测试情况来看，自动驾驶车辆最优方案在前向对上述典型交通目标物的感知距离均高于相关法规的要求。封闭试验场测试对感知技术的研发发挥了“晴雨表”的重要作用。

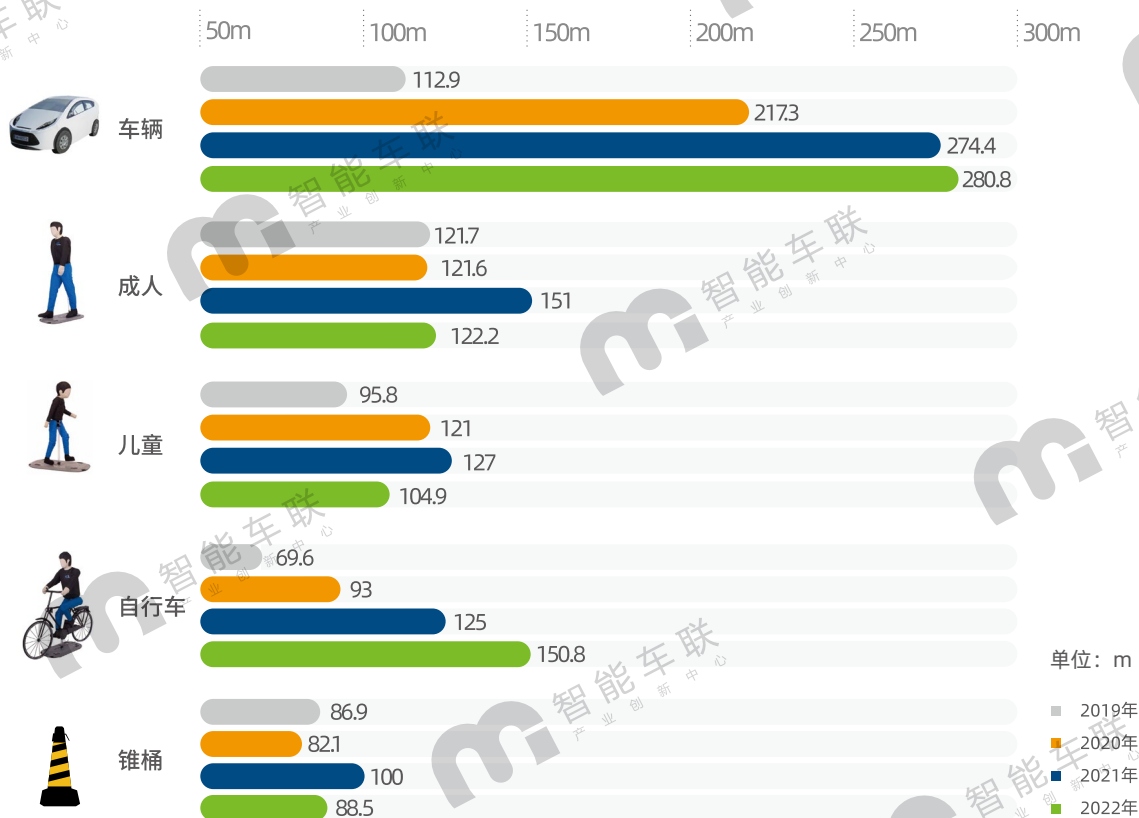


图9 2019至2022年封闭试验场前向最大感知距离最优方案对比

2. 完善能力评估测试，筑牢技术底线“压舱石”

能力评估测试包括可靠性测试、单项能力评估测试和综合能力评估测试。能力评估测试对自动驾驶车辆整体性能做出评判，车辆通过测试后才具备取得自动驾驶开放道路测试牌照的先决条件。该项测试是检验车辆自动驾驶技术是否满足开放道路测试基本能力最后一道防线，是自动驾驶技术安全发展的“压舱石”。2022年，北京智能车联继续开展了自动驾驶系统能力评估各项测试。

——可靠性测试助力技术升级

可靠性测试要求车辆在长时间负载运行的同时完成封闭试验场内布设的道路交通测试场景，从而加速暴露出设备、系统、车辆存在的问题，以验证自动驾驶车辆的可靠性、稳定性。同时，通过基于自然驾驶环境的自动驾驶性能加速测试方案，以提升测试效率。

截至2022年12月底，封闭试验场内累计测试里程29万余公里，发生测试事故24起，发现并解决测试主体自动驾驶系统问题百余种。这些问题涉及规则设计、传感器标定、控制系统标定、改装方案、地图定位、感知算法、路径规划、执行控制等多个方面。其中，交规遵守机制不健全、障碍物误识别或漏识别等感知错误、控制精度不稳定等问题较为普遍。

根据事故情况分析来看，封闭试验场平均每行驶1.21万公里发生一起测试事故，平均百万公里事故数82.76起，国外有报道的自动驾驶头部企业百万公里开放道路事故数为12.02起。封闭场地内事故率远高于开放道路，一方面是由于封闭场地内场景密度高、边缘场景多；另一方面开放道路测试的企业都在封

封闭场地内进行了测试验证后才进入开放道路测试。充分、完善的封闭测试场地演练，帮助测试主体在开放道路测试前完善安全策略，优化系统方案，提升应急事件处置能力，从而降低车辆开放道路自动驾驶事故率。封闭场地测试为自动驾驶车辆道路测试筑牢技术底线“压舱石”。

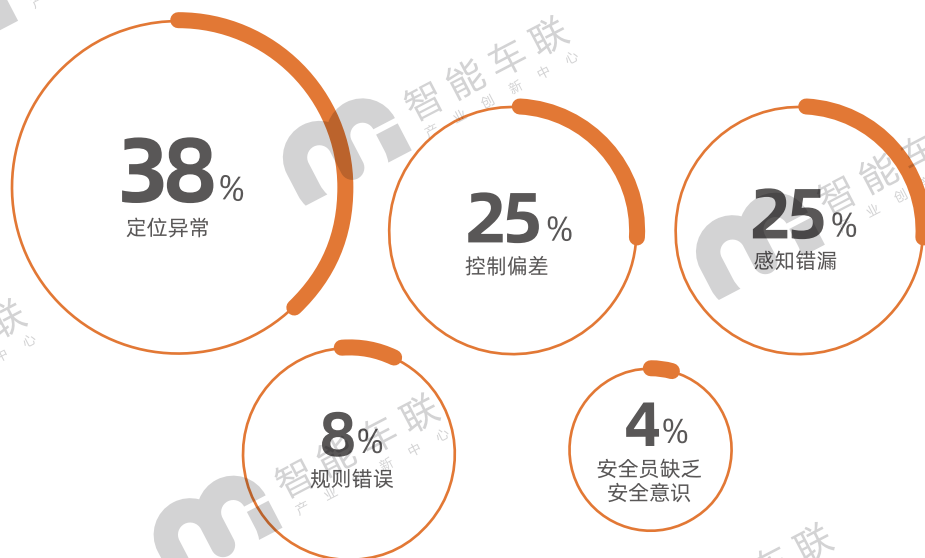


图 10 封闭试验场主要事故原因占比

——单项能力评估测试通过率稳步提升

单项能力评估测试是根据测试主体所选的评估分级，以专项为单位，对自动驾驶车辆进行逐个场景测试，旨在完整验证车辆在每个场景下的自动驾驶能力。2019-2022 年，封闭试验场内自动驾驶车辆在各专项场景的通过率如图 11 所示。单项能力评估测试严格按照相关标准检测要求，引导自动驾驶车辆在专项场景的通过率稳步提升。

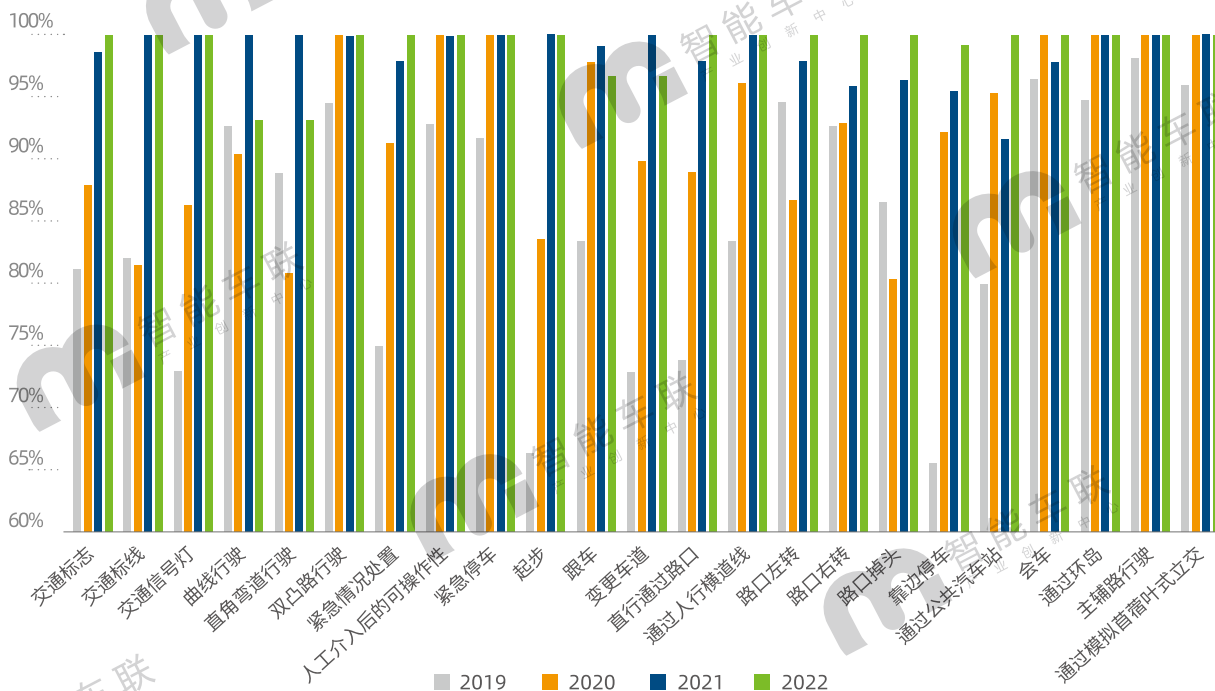


图 11 2019 至 2022 年各专项场景测试通过率

——综合能力评估测试守住安全防线

综合能力评估测试以路线方式将对应等级的专项测试场景进行随机串联，对自动驾驶车辆连续执行动态驾驶任务的能力及稳定性进行评估。2022 年度，封闭试验场内进行了 20 余次综合能力评估测试，发现并协助测试主体解决相关问题 70 余项，部分问题类型分布情况如图 12 所示。

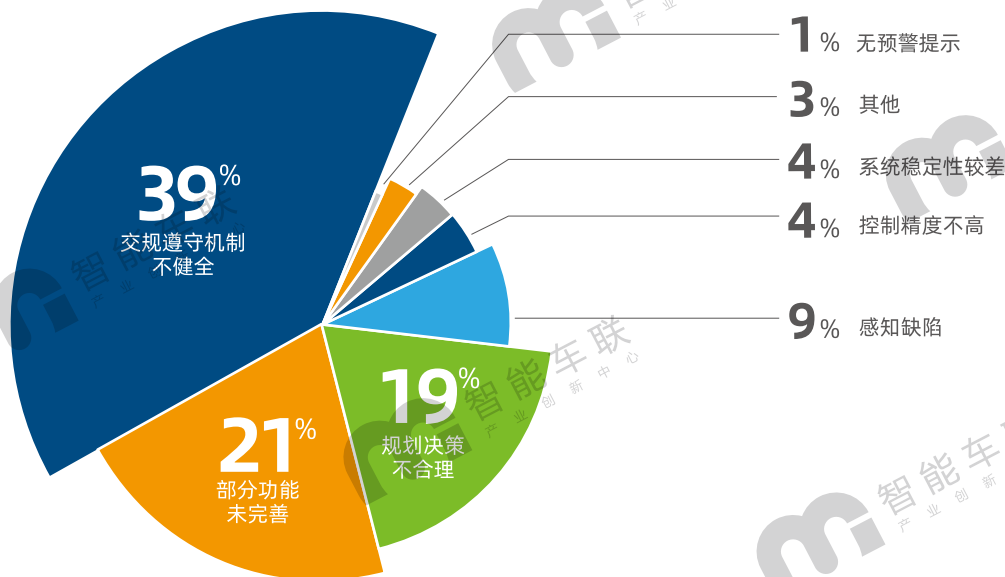


图 12 2022 年综合能力评估主要问题占比

通过对车辆测试效果的针对性分析，北京智能车联帮助测试主体在健全交规遵守机制、合理规划决策、完善系统功能、提高控制精度等技术方面取得了全面提升，为自动驾驶车辆上路行驶守住最后一道安全防线。

3. 夯实无人配送测试，抓住测试安全“定星盘”

人工智能、自动驾驶技术在城市交通中的应用日趋成熟，基于自动驾驶技术的各类新场景和新型运载工具相继出现。无人配送车作为自动驾驶技术应用产品之一，是未来物流行业发展的重要趋势。

自 2018 年开始，在北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会支持下，北京市自动驾驶测试管理联席工作小组指导下，北京智能车联牵头，中关村智通智能交通产业联盟组织行业内企业、高校、科研院所等开展无人配送车标准化研究工作。亦庄基地陆续开展基于 T/CMAX117.1-2021《服务型电动自动行驶轮式车 第 1 部分 技术要求》、T/CMAX 21001-2020《服务型电动自动行驶轮式车道路测试能力评估内容与方法》、《北京智能网联汽车政策先行区无人配送车测试规范》等标准规范的无人配送车封闭试验场地测试。

截至 2022 年底，北京智能车联先后为美团、京东、毫末智行等多家车企提供了包括技术开发测试、稳定性测试、自动驾驶道路适应性测试、测试主体管理能力测试等多种测试服务。通过封闭试验场内有组织、有目标的结构化测试方式验证自动驾驶技术，保障产业安全推进。



图 13 亦庄基地内的无人配送车测试

封闭场地测试帮助测试主体发现并解决多类自动驾驶系统问题，测试主体在合规遵守、感知算法、控制精度等方面明显提升，部分企业在车辆与其他交通参与者灯光、语音交互等方面提升巨大。

亦庄基地将在后续的工作中，不断丰富、细化无人配送测试，以保障大规模道路测试的开展。

(二) 创新服务模式，增强内生动力

1. 探索评价新模式，解决发展新问题

自动驾驶产业已从关键技术验证阶段进入商业模式验证阶段，自动驾驶测评也应从侧重于技术验证的功能性评价转向产品和用户体验等评价上。尤其在将来相当长一段时间内，自动驾驶车辆仍将处于与人类驾驶车辆混合行驶的阶段。如何保证自动驾驶车辆在混合行驶交通环境中的安全行驶，以及如何对该环境下的自动驾驶车辆开展评价，成为当前自动驾驶车辆在商业化落地与技术提升过程中面临的主要问题。基于此，北京智能车联在提升测试技术水平的同时，积极推动新测试技术研发创新，从自动驾驶车辆与人类驾驶行为一致性（以下简称“类人性”）角度出发，研究解决自动驾驶车辆与人类驾驶车辆混合行驶阶段的测试评价问题，切实推进自动驾驶产业早日实现商业化运营。

北京智能车联构建了基于真实世界交通场景的全息交通场景库（以下简称场景库），场景库包含海量自然驾驶行为数据。通过深度挖掘这些数据，提取了人类驾驶特征参数。基于特征参数，从自动驾驶车辆驾驶行为类人性角度出发，建立了中国智能网联汽车类人指数模型，并将该模型用于评价自动驾驶产品功能。

以跟车为例，基于数十万量级的中国高速路自然驾驶跟车场景数据，通过分析车速、跟车距离、跟车时距等人类跟车微观驾驶行为指标特征，开展数据特征分析、分布拟合，并以指标分布中的众数中心，划分指标评价边界。再以人群数量为边界，区分不同的驾驶风格或等级，最终实现自动驾驶车辆的跟车行为类人性评价。

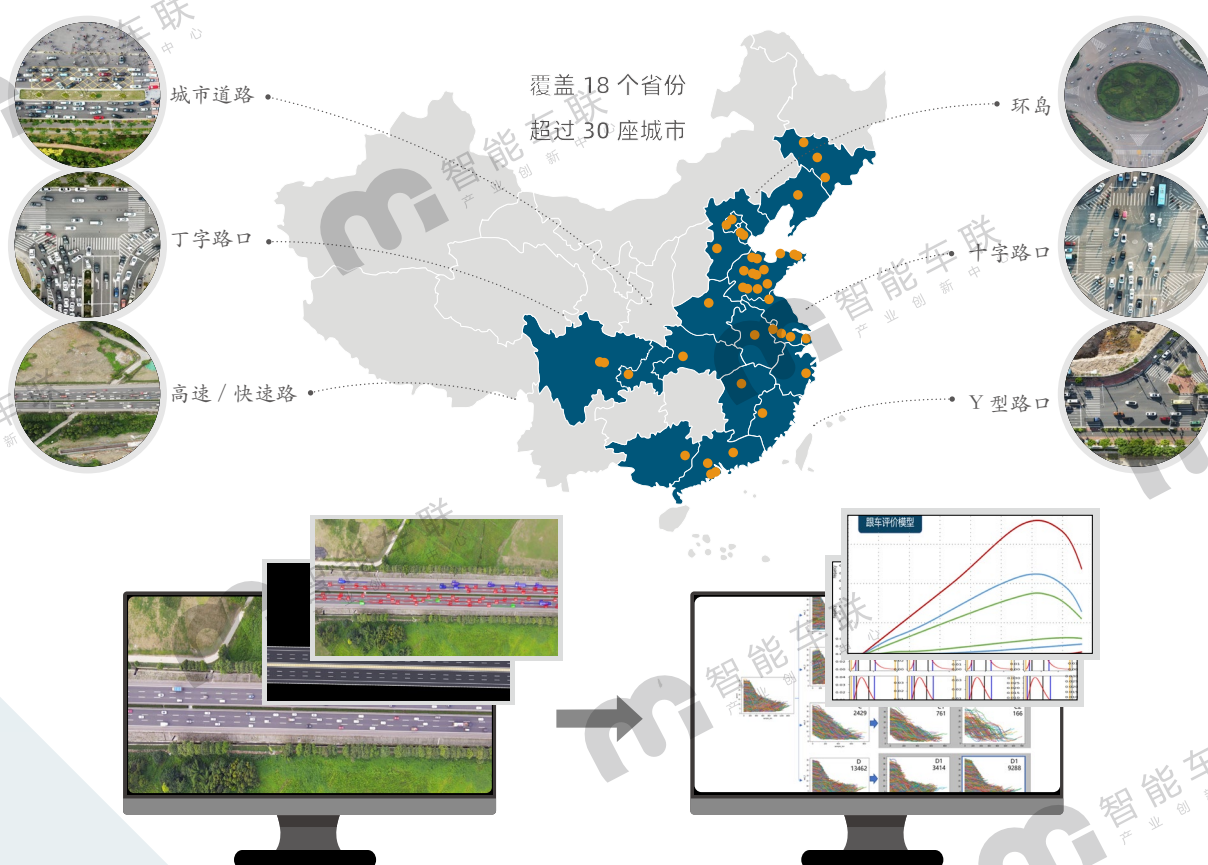


图 14 全息交通场景库数据（部分）及中国智能网联汽车类人指数建立过程

2. 研究评价新实践，孕育发展新方向

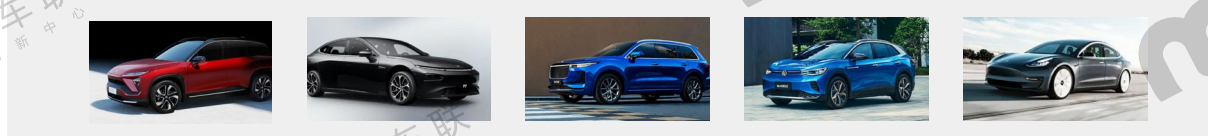
随着自动驾驶产业的快速发展，量产车型逐渐增多，解决量产车型跟车评价工作，将大幅度提升车辆测试效率，促进企业实现进一步技术升级，推动自动驾驶产业进入新的发展方向。基于此，2022 年北京智能车联以当前量产车型为测试目标，开展了 ACC 功能评价验证，建立了自动驾驶 ACC 功能评价模型。评价模型以类人性为评价核心，从安全、高效、舒适角度评价 ACC 功能，评价形式分为百分制分数评价和星级评价两种。自动驾驶 ACC 功能评价指标如图 15 所示。

序号	场景	评价指标	评价目标	评价维度
1	横向识别	横向识别范围	对前车的感知范围	安全
		跟车距离	与人类跟车表现的相似性	
		稳定性	稳定跟车状态下车辆对于速度的控制能力	
2	稳定跟车	挡位差异	ACC挡位之间是否存在实际差异	
		稳定性	稳定跟车状态下车辆对于速度的控制能力	
		最大跟车距离	跟车加速过程中车间距与人类表现的相似性	
3	跟车加速	加速度	非紧急工况下，跟车加速中过程中的舒适性	
		响应距离	对前车加速行为的响应情况	
		最小跟车距离	跟车减速过程中车间距与人类表现的相似性	
4	跟车减速	减速度	非紧急工况下，跟车减速过程中的舒适性	高效
		响应距离	对前车减速行为的响应情况	
		响应距离	车辆发现前方低速车辆并作出响应的能力	
5	前方低速车辆	最小碰撞时间	与前方低速车辆保持安全工况的能力	
		减速度	减速过程的舒适性评价	
		起步最大跟车距离	跟车起步时在车间距方面与人类驾驶的相似性	
6	跟车起停	停车距离	跟车停车后与前车车间距的合理性	
		响应距离	对前车起步行为的响应能力	
		最小碰撞时间	前车切入时的安全性	
7	前车切入	最小碰撞时间	前车切入时的安全性	舒适
8	前车切出	最小碰撞时间	前车切出时的安全性	

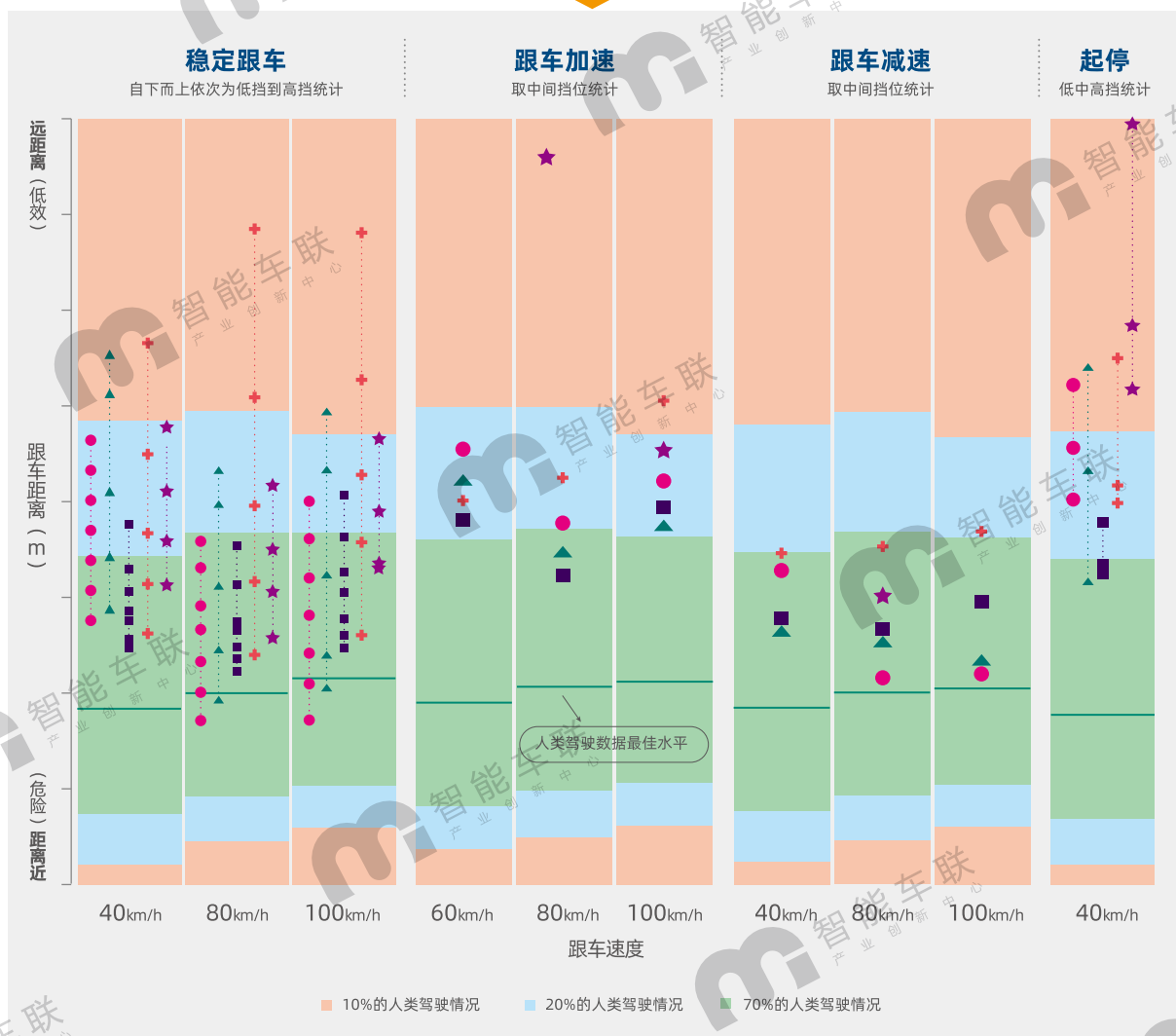
图 15 自动驾驶 ACC 功能评价指标

图 16 展示了 2022 年部分量产车型 ACC 功能评价结果，从结果来看，各车型在 ACC 功能上存在明显差异，头部产品在类人性上具有较大的领先优势，更为接近与人类的驾驶习惯。

稳定跟车状态下，大部分车型 ACC 功能的 1-5 挡位（部分车型为 1-7）下的跟车距离会投影在 70% 至 20% 的人类跟车距离水平，少部分优秀车型能将所有挡位均保持在与 70% 人类驾驶员一致的水平，极少车型的部分挡位能够接近人类最佳水平，即数值上与人类稳定跟车距离分布的众数接近，但部分车型的稳定跟车距离只能达到 10% 的人类驾驶员水平。同样，各车型 ACC 功能的中间挡位在跟车驾驶、跟车减速下的表现也不尽相同。



输入评价模型



输出评价结果



测试车型	得分	星级	评价等级
■	86.59	★★★★★	优秀 (G)
●	83.37	★★★★★	优秀 (G)
▲	80.09	★★★★★	优秀 (G)
+	73.44	★★★★	良好 (A)
★	73.19	★★★★	良好 (A)

图 16 2022 年部分量产车型 ACC 功能评价结果

3. 寻求评价新方法，助力发展新动力

2022 年，在北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会的支持下，北京智能车联联合自动驾驶行业龙头企业开展虚实结合测试技术研发，解决实际封闭试验场存在动态测试场景单一、多变量空间难于实现、高风险测试场景损毁风险大、测试效率较低，以及传统模拟仿真测试无法验证自动驾驶系统的感知、控制层测试需求等问题，为自动驾驶安全测试提供了新的技术与方法。

在北京市自动驾驶测试管理联席工作小组、北京市科学技术委员会、中关村科技园区管理委员会、北京经济技术开发区管理委员会的支持下，亦庄基地持续开展“星火计划”和“X 计划”，为企业、科研院所、高等院校提供优惠测试服务。截至 2022 年底，北京智能车联已为萝卜运力、毫末智行、中汽中心、信通院、河北工业大学等 10 余家测试主体、高校、科研团队提供了千余小时的优惠服务，并为戴姆勒、一汽红旗、小米汽车、集度、宝马等汽车主机厂提供技术研发测试服务，助力企业节约研发资金达数千万元，为自动驾驶产业快速落地增强内生动力。

——车规级量产级自动驾驶方案出现

2022 年 7 月，中国一汽智能网联开发院人工智能研究所（一汽（南京）科技开发有限公司）参与开发的第二代红旗 L4 Robotaxi 车型依照 T/CMAAX 116-01—2020《自动驾驶车辆道路测试能力评估内容与方法》，通过了 T3 级别通用技术测试，成为第一个使用车规量产级传感器通过 T3 级别测试的车型。



图 17 红旗 L4 Robotaxi 车型

三、强化道路实践测试，加速产业落地运营

（一）注重开放道路测试，提升运营测试体验

1. 测试里程稳步增长

长期以来，北京市积极坚持推动自动驾驶车辆开放道路测试，在道路测试中推进自动驾驶水平提升，为自动驾驶产业落地奠定了实践基础。

截至 2022 年底，北京市范围内自动驾驶车辆道路测试里程累计超过 2194 万公里。自 2018 年开放自动驾驶道路测试以来，北京市道路测试里程连续 4 年保持增长并保持全国领先。从 2022 年北京市道路测试热度来看，在规模化试运营阶段，测试主体对交通流量较大、交通场景更加丰富的路口及城区测试意愿更大。

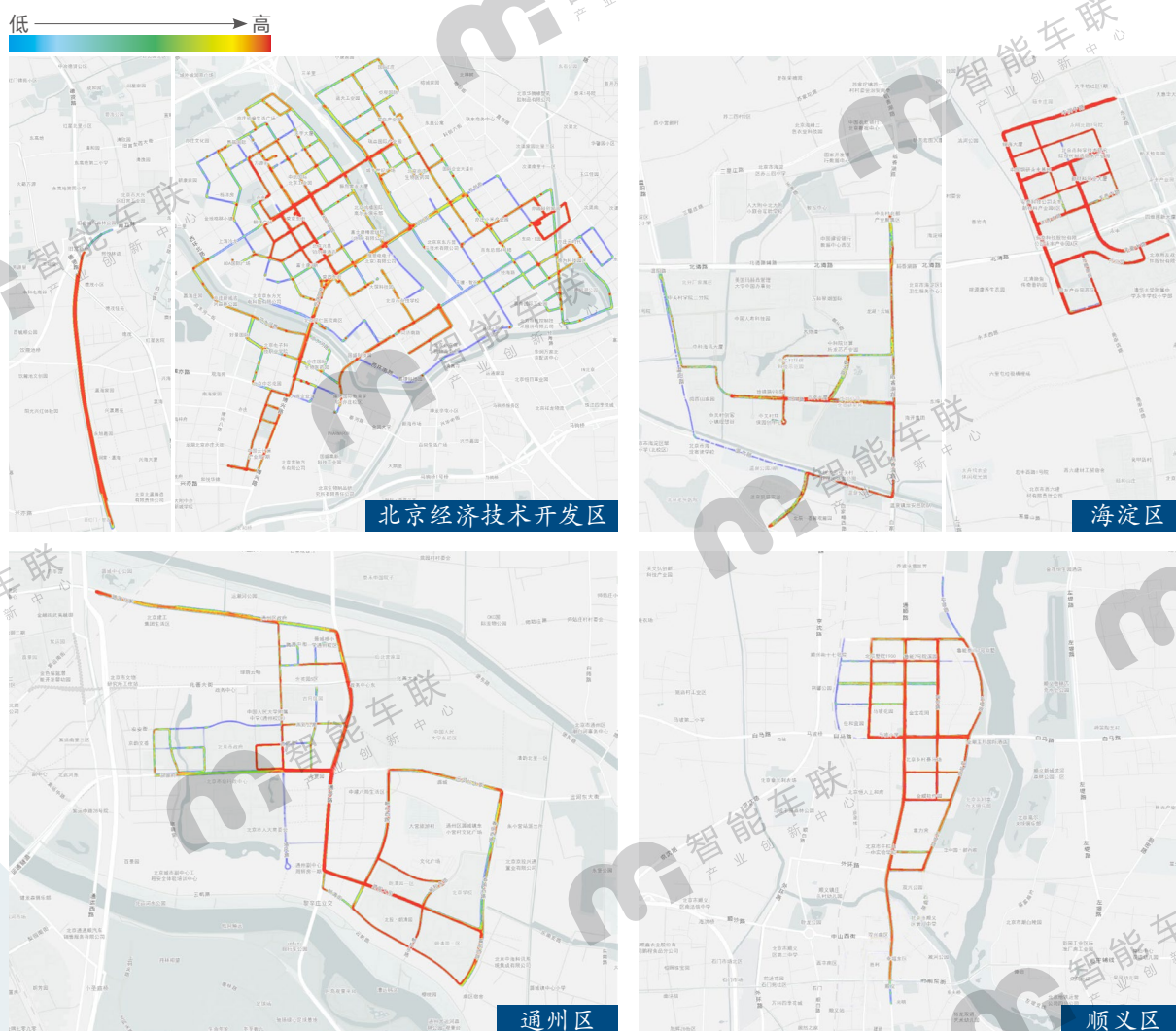


图 18 2022 年北京市道路测试热度概览（部分）

2. 运营测试持续进行

——载人试运营测试

2022 年，北京市持续开展载人试运营测试，测试成果反映了自动驾驶技术水平的发展和商业化落地的可行性。截至 2022 年底，北京市载人试运营测试里程累计超过 1400 万公里。此外，高级别自动驾驶示范区在载人示范应用基础上，于 2022 年 7 月开放无人化出行服务商业化试点。



图 19 高级别自动驾驶示范区无人化出行服务商业化试点

2022 年参与载人试运营测试的志愿者超过 100 万人次。根据北京市载人试运营志愿者的反馈情况，志愿者的满意度维持在较高水平。2022 年，萝卜运力载人试运营志愿者满意度情况调查中，超过 98% 的社会志愿者给与了良好及以上的反馈，主要评价包括预估时间较准、驾驶平稳等；对于少数反馈较差的志愿者，主要原因是早晚高峰需求量较大，排队等车时间较长。小马智行 PonyPilot+ 服务拥有近 72% 的“回头客”，服务满意度评分达 4.9（5 分制）。以上结果反映了自动驾驶技术在接受市场检验的同时，获得了良好反馈，自动驾驶商业化进程有序推进。

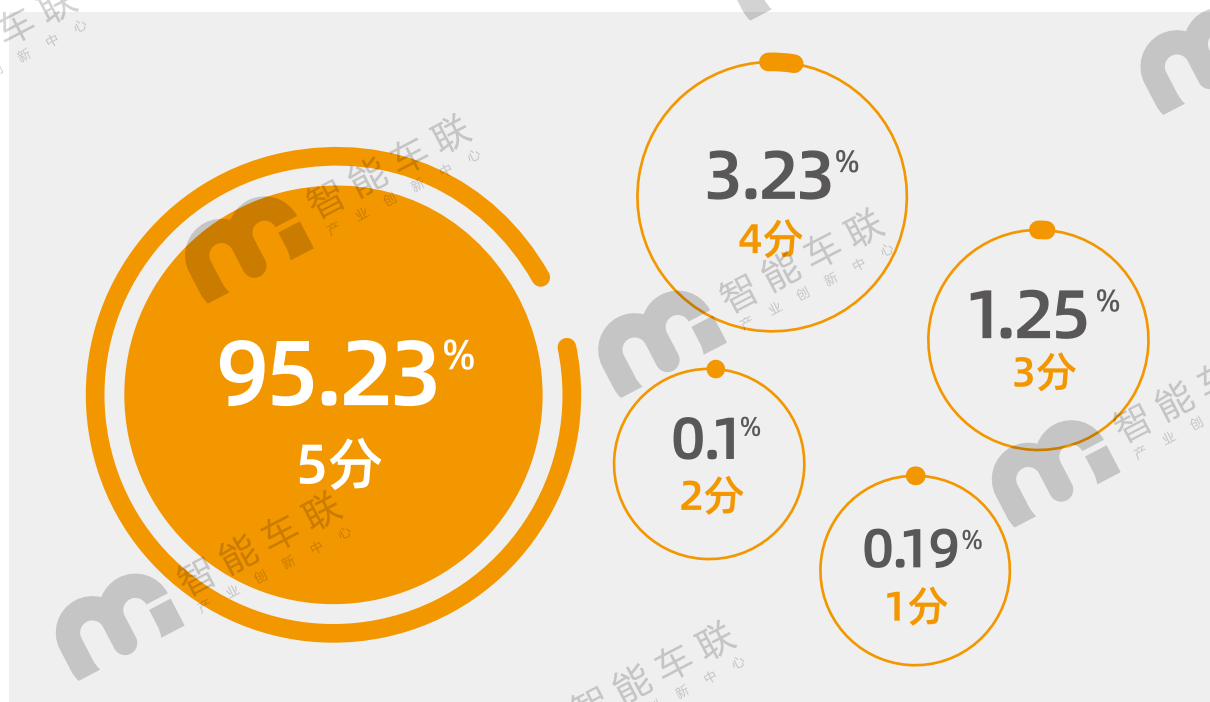


图 20 2022 年萝卜运力载人试运营志愿者满意度情况调查 (部分)

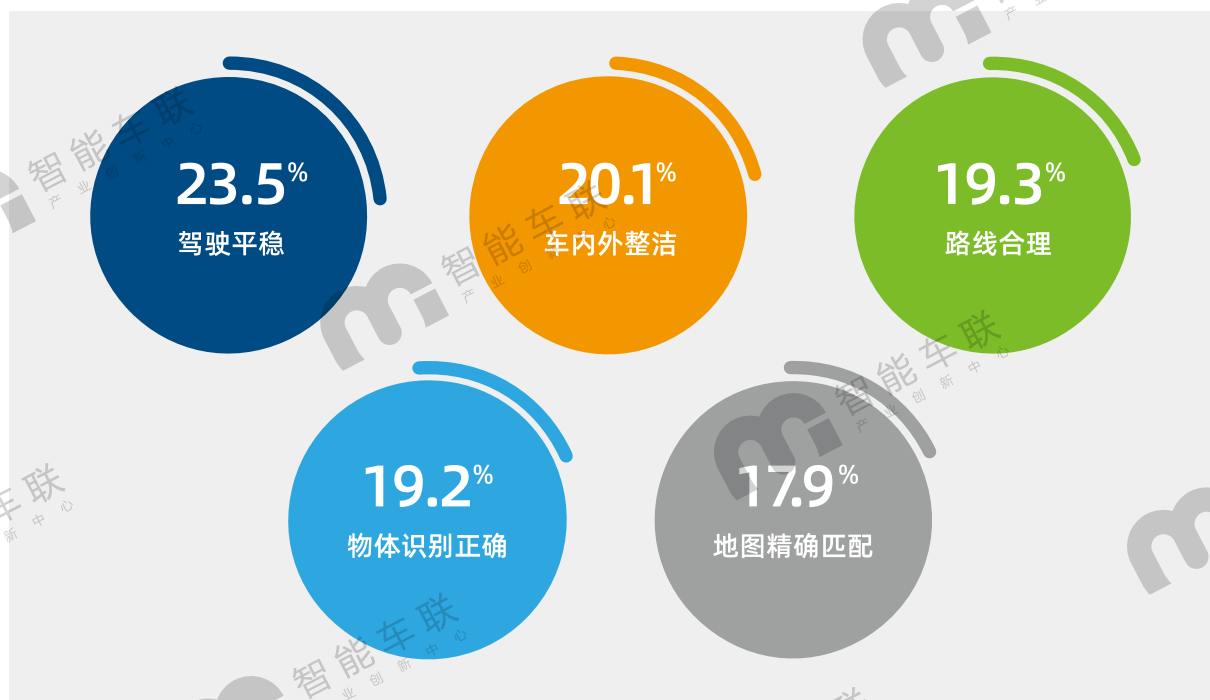


图 21 2022 年小马智行载人试运营志愿者关心的服务维度比例情况调查

——无人配送车道路测试与商业示范

截至 2022 年底，顺义区无人配送车道路测试示范累计里程超过 166 万公里，累计公开道路配送订单突破 295 万单。

高级别自动驾驶示范区内无人配送车道路测试示范里程超过 37 万公里，无人配送及无人零售累计服务逾 158 万人次，用户人数超 60 万人，累计销售金额超 1000 万元，用户满意度 99%。



图 22 无人配送车道路测试与商业示范

（二）分析道路测试结果，总结关键脱离情况

1. 关键脱离场景概述

自动驾驶关键脱离是指自动驾驶车辆因系统故障、策略问题、超出设计运行域等原因，车辆控制权限切换为人类驾驶员的事件。持续发现并解决上述原因造成的车辆关键脱离，是车辆道路测试的核心目的，也是自动驾驶技术得以不断提升的有效途径。另一方面，由于测试需求、任务结束或驾驶员休息等原因造成自动驾驶过程中车辆被接管的脱离，不能体现车辆自动驾驶技术水平，不属于关键脱离场景。

分析关键脱离原因能够为企业技术发展提供精准的优化迭代方向，切实有效促进自动驾驶技术长足进步。进入规模化试运营阶段后，北京市道路测试自动驾驶关键脱离原因逐渐由软硬件故障转向算法层面，脱离原因更加集中。

表3 近年道路测试脱离类别及脱离原因

脱离类别	2022年脱离原因	2021-2018年脱离原因
系统故障 系统检测到异常发出接管信号引发的接管	车辆及硬件问题	- 车辆及硬件问题 - 地图原因 - 定位偏离 - 系统异常 - PAD异常 - 传感器故障 - 车辆EPS控制器故障 - 数据记录设备故障
策略问题 由于算法模块策略原因导致的非预期车辆行为引发的接管	- 测试车辆停滞不前 - 社会车辆未按交规行驶 - 社会车辆过于贴近测试车辆 - 测试车辆行驶速度低,影响社会车辆通行	- 感知问题,如障碍物误识别或漏识别 - 决策规划问题,规划路径丢失 - 控制策略问题 - 测试车辆行驶速度低,影响社会车辆通行 - 测试车辆停滞不前 - 车辆出现横向控制不收敛,左右摆动 - 测试车辆无故急刹 - 测试车辆即将违反交规 - 社会车辆行为预测错误 - 社会车辆切车 - 社会车辆过于贴近测试车辆 - 社会车辆未按交规行驶 - 社会车辆行驶速度低 - 行人过于贴近测试车辆
人工安全防护 超出ODD车辆系统无法解决时的接管	周围车辆危险驾驶或交通环境复杂,进行防御性接管	- 社会车辆违章占用车道 - 社会车辆停在路中阻挡交通 - 测试路线被社会车辆阻挡 - 单车道情况下非机动车占用车道慢速行驶 - 周边车辆危险驾驶或交通环境复杂,防御性接管 - 道路施工 - 限速不正确 - 避让教练车 - 功能调试 - 前方道路拥堵 - 信号灯故障
人为接管 由于测试需求或人为原因造成的接管	- 安全员休息 - 安全员需拨打电话 - 工程师更换数据记录设备 - 工程师重新规划路径 - 行驶至测试道路边界 - 车辆自检	- 安全员休息 - 安全员需要打电话 - 工程师更换数据记录设备 - 工程师软件/设备数据整理 - 工程师重新规划路径 - 行驶至测试道路边界 - 其它运营流程操作 - 误操作 - 到达测试结束时间 - 车辆自检

2. 关键脱离场景分析

——关键脱离地点分布

2022 年北京市道路测试关键脱离与各区道路测试开展情况基本匹配，由于北京经济技术开发区承载的道路测试较多，场景丰富度高，北京市道路测试关键脱离超过九成发生在北京经济技术开发区，其余分布在顺义区、海淀区、通州区等测试区域。

从关键脱离地点的分布来看，易发生关键脱离的地点主要包括交通流量较大的十字路口，以及双向两车道的机非隔离道路等。



图 23 2022 年北京市道路测试关键脱离地点分布图（部分）

——关键脱离场景分类

从关键脱离发生的场景来看，2022 年自动驾驶关键脱离主要集中在变更车道、直行、直行通过路口、路口右转弯、路口左转弯、交通信号灯等大类场景。与 2021 年关键脱离场景相比，变更车道（2021 年占比 57%）的占比下降；路口通行（2021 年占比 24%），直行（2021 年占比 15%）的占比上升。

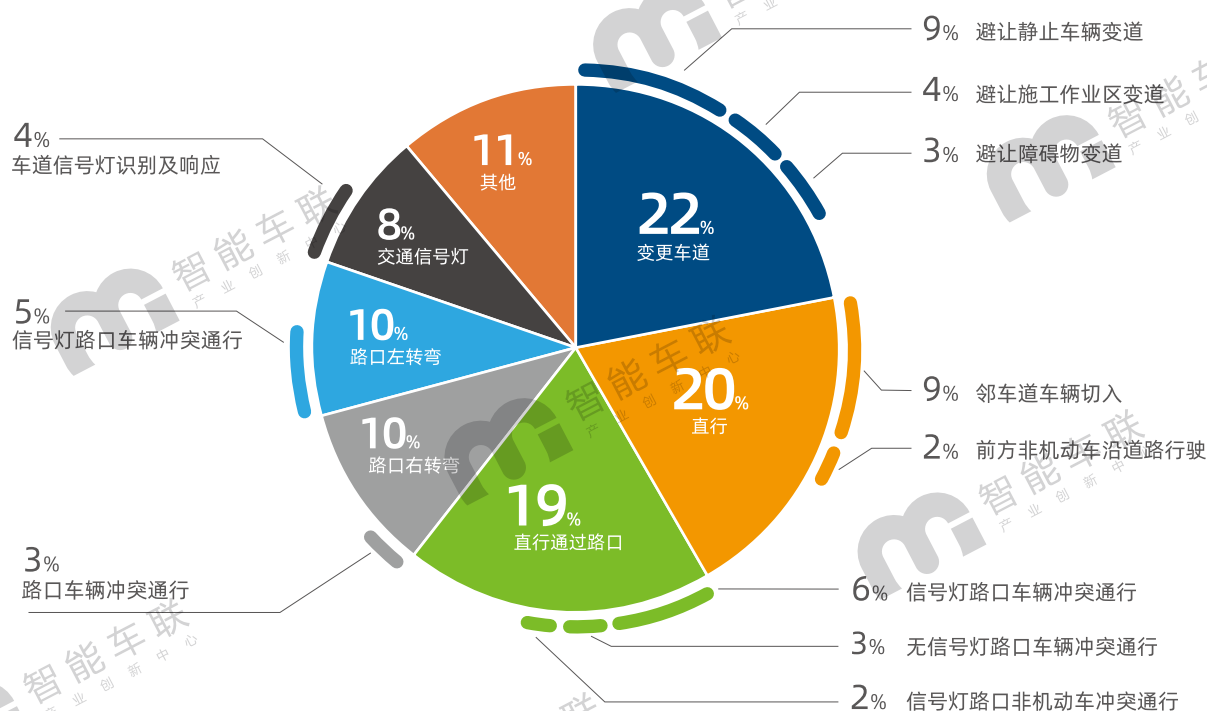


图 24 2022 年关键脱离场景类型

——关键脱离原因分类

从造成关键脱离的原因分类来看，目标物占用车道、路口博弈、目标物切入测试车辆、目标物过于贴近测试车辆是关键脱离的主要原因。相比于 2021 年，2022 年造成关键脱离的原因类型中目标物占用车道占比有所下降，路口博弈占比基本保持不变，目标物切入测试车辆、目标物过于贴近测试车辆等占比上升。对比以往自动驾驶道路测试，车辆对目标物占用车道类场景的通过率得到提升。

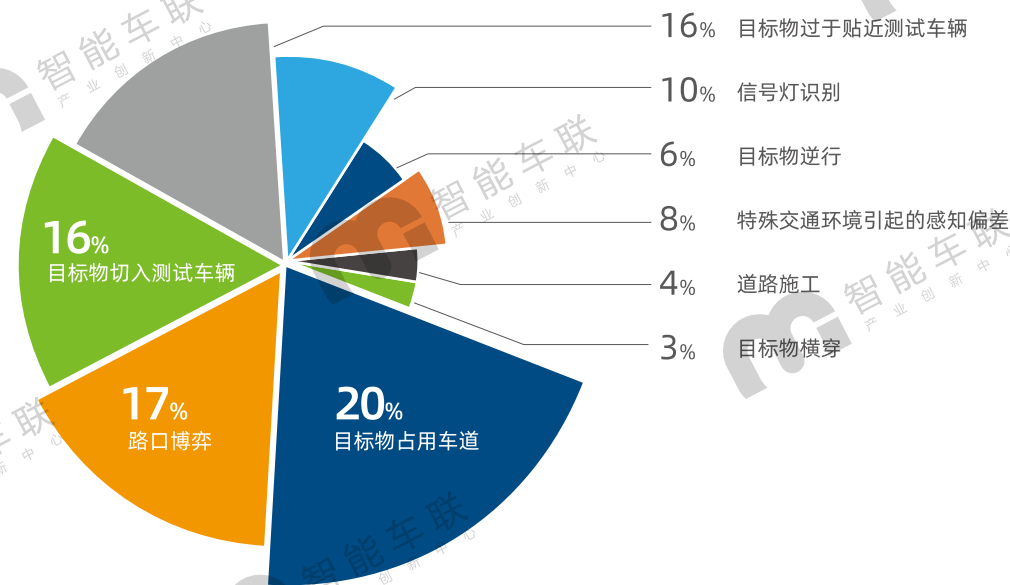


图 25 2022 年关键脱离原因

——关键脱离目标分类（从相关交通参与者类型与交通设施类型分类）

2022 年关键脱离数据显示，与 2021 年类似，小型客车仍是造成关键脱离的主要交通参与者（2021 年小型客车造成关键脱离占比为 58%，2022 年占比为 51%），其次为两轮车、行人、中大型货车。与 2021 年相比，中大型货车造成关键脱离的占比有所下降。

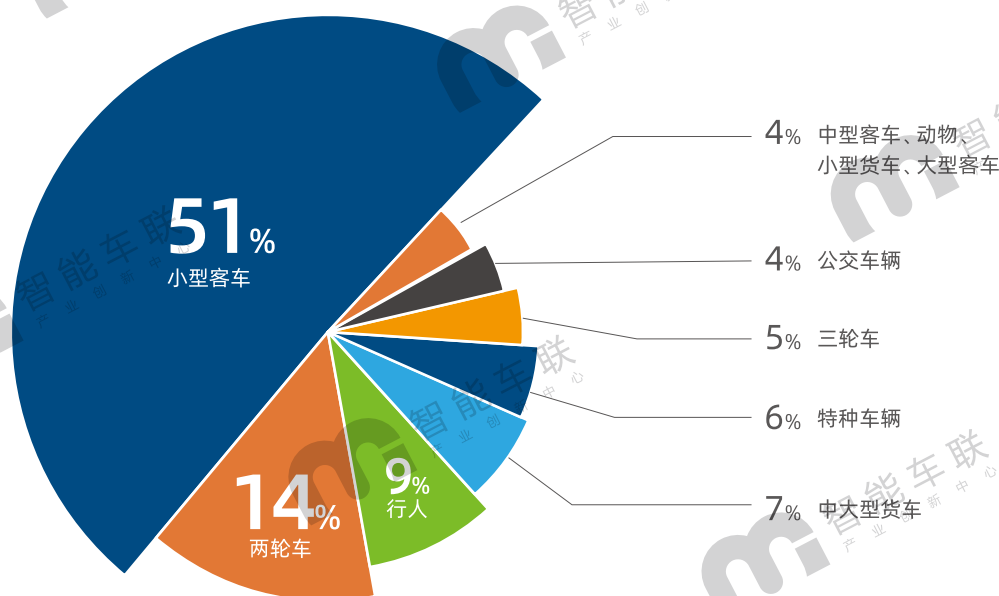


图 26 2022 年与关键脱离相关的交通参与者类型

在引起关键脱离的主要交通设施类型方面，2022 年锥桶造成车辆脱离占比为 47%，仍然是测试车辆发生脱离时出现频次最多的交通设施，但相比于 2021 年，其占比有所降低（2021 年锥桶造成车辆脱离的占比是 66%），自动驾驶对锥桶类目标的感知和认知学习能力有所增强。2022 年施工牌、隔离护栏、隔离墩造成车辆脱离的占比相比于 2021 年均有所提高，后续仍需继续加强相关模型的训练和对多类交通设施组合场景的处理能力。

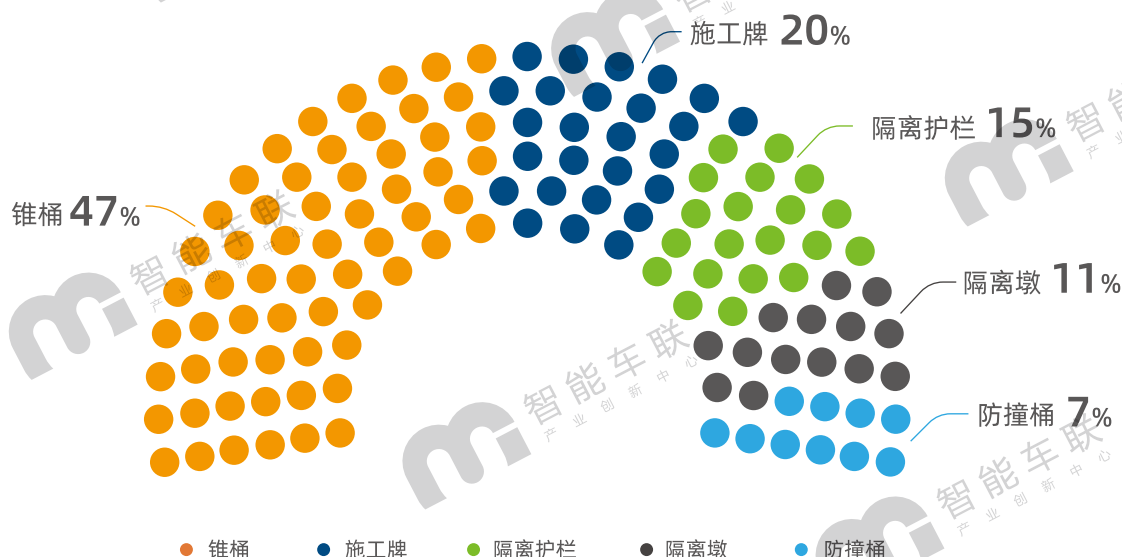


图 27 2022 年与关键脱离相关的交通设施类型

（三）规范测试管理服务，保障道路测试安全

1. 打造健全的道路测试管理与服务体系

为了更好地支持行业技术快速发展，支撑北京市自动驾驶道路测试服务水平提升，有效降低企业负担，北京市针对自动驾驶测试与示范工作持续完善管理政策，建设科学的测试与示范标准，打造健全的管理体系，包括日常管理与服务、事故预防、事故处置等多个层面。

在北京市自动驾驶测试管理联席工作小组的指导下，北京智能车联对“北京市自动驾驶车辆道路测试管理与服务平台”进行了持续的升级和功能拓展，实现了自动驾驶测试数据采集由实体装置向车云对接的重大转变。通过对管理数据的溯源、挖掘、分析，为北京市自动驾驶政策的改进与优化提供了数据支撑，保障了自动驾驶车辆道路测试的规范性和安全性，提高了测试企业对交通事故的防范意识和应急手段，为第三方服务机构优化和提升管理与服务水平提供了数据基础，切实保障自动驾驶车辆道路测试安全可控。



图 28 北京市自动驾驶车辆道路测试管理与服务平台

2022 年度,通过北京市自动驾驶车辆道路测试管理与服务平台持续监测道路测试隐患,告知测试主体纠正测试问题,有力地保证自动驾驶道路测试工作安全有序推进。

为持续支持自动驾驶产业稳步创新发展,在北京市自动驾驶测试管理联席工作小组的指导下,北京智能车联和中关村智通智能交通产业联盟组织开展了测试主体安全宣贯、事故模拟演练等道路测试安全事故预防和准备工作,形成快速有效的自动驾驶车辆道路测试交通事故应对机制。

2. 提出未来自动驾驶安全运营注意事项

安全是发展的前提,发展是安全的保障。在自动驾驶产业落地进程加速推进的过程中,安全仍是自动驾驶汽车面临的一大挑战。与传统汽车相比,自动驾驶汽车是一个更为复杂的系统,对安全将提出更高的要求。北京智能车联通过国内外测试事故与运营情况分析,提出当前阶段自动驾驶道路测试需要从五个方面来解决道路测试的安全问题。



图 29 当前自动驾驶道路测试面临的主要问题

当前自动驾驶测试已逐渐转向面向产品化服务化的规模化测试阶段，自动驾驶产品与运营安全问题关注度逐步提升。北京智能车联也将从车、路、人、企、管多维度入手，建立自动驾驶产品与服务运营安全评价体系、风险辨识和预警机制，以便更有力的支持保障自动驾驶测试与试运营安全。

结语

自动驾驶汽车是对传统汽车的革新和升级，代表着人类汽车工业文明发展的新方向。推进自动驾驶技术有利于形成更强创新力、更高附加值的产业链供应链，培育新业态新模式。自动驾驶测试评价工作则为自动驾驶产品研发和技术升级提供基础支撑，自动驾驶技术的快速发展离不开相关测试评价的持续创新。

北京市高度重视自动驾驶产业发展，在全国率先开放自动驾驶出行服务商业化，推动智能网联汽车技术创新。为做好全市自动驾驶车辆测评工作，配合本市自动驾驶产业转型、升级，北京智能车联将在政府领导下，主动谋划、提前布局，进一步完善测试场地建设规范，积极建立测评相关标准体系，持续提升测评队伍职业素养，深入挖掘测评技术发展空间，探索降低测评成本的有效方式，从测试评价层面助力测试主体提升自动驾驶技术的驱动力、核心力、竞争力。

唯改革者进，唯创新者强，唯改革创新者胜。未来，在坚持政府部门推动引领及社会市场协同发力的基础上，我们将一如既往地坚定发展信心，坚持创新创造，做好测评升级，以新格局打造新优势。为自动驾驶高质量发展注入澎湃动力，助推北京市自动驾驶产业发展劈波斩浪，一往无前。





■ 北京智能车联产业创新中心介绍

北京智能车联产业创新中心有限公司，是全国首家车联网、智慧交通与智能汽车检验检测领域的省级产业创新中心。北京智能车联由千方科技牵头，包括交通、汽车、互联网、通信行业 9 家龙头企业共同出资成立，定位于打造全球领先的智能网联汽车“全生命周期”测试、验证、检测与评估机构和自动驾驶应用示范产业服务平台。

北京智能车联聚焦解决制约智能网联行业发展的测试难、评价难与上路难等问题，牵头组织行业知名企业、科研院所编制了自动驾驶能力评估、道路选取、试验场建设、数据传输等系列团体标准。其中的《自动驾驶车辆道路测试能力评估内容与方法》标准入选工信部百项团标向全国推广，系列标准被北京市采纳作为自动驾驶相关适用标准。

北京智能车联支撑北京市建设完成“场 - 路 - 区”三级试验与示范环境，包括 850 亩自动驾驶封闭试验场。其中的亦庄基地是交通运输部认定的自动驾驶封闭场地测试基地，可复现京津冀地区 85% 城市、90% 高速、80% 乡村交通场景。北京智能车联搭建了全国首个自动驾驶道路测试管理与服务平台，推进自动驾驶道路测试与示范工作，同时全面负责国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区的管理、建设与运营，支撑并推进全国首个车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点工作。

当前，北京智能车联已经具备自动驾驶与车联网测试评估方法与标准研制能力和测试评估服务能力，自动驾驶与车联网测试评估政策研究推动能力、测试管理能力、技术方案咨询服务能力，以及自动驾驶与车联网测试设备、系统软硬件的设计开发与研制能力。希望与各家智能网联合作伙伴同心戮力，为智能网联行业的健康、稳步、快速发展贡献力量。



国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区

国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地 交通运输部认定自动驾驶封闭场地测试基地 车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点

城市道路测试区

- ① 城市主干道
 - ② 城市次干道
 - ③ 城市支路
 - ④ 环岛
 - ⑤ 模拟苜蓿叶立交桥
 - ⑥ 有信号灯路口
 - ⑦ 无信号灯路口
 - ⑧ 铁道口
 - ⑨ 主辅路出入口
 - ⑩ 林荫道
 - ⑪ 可变导向车道
 - ⑫ 公交专用道
 - ⑬ 单行道
 - ⑭ 机非混行道
 - ⑮ 右转专用道
 - ⑯ 潮汐车道
 - ⑰ 曲线行驶
 - ⑱ 直角转弯
 - ⑲ 左转待转区
 - ⑳ 涉水区
 - ㉑ 雨篦子
 - ㉒ 公共汽车站
 - ㉓ 城市街景
 - ㉔ 路侧停车
 - ㉕ 隧道
- 雨雾模拟
强光 / 弱光模拟

高速公路与快速道路测试区

- ① 高速公路
- ② 快速道路
- ③ 高速路环道
- ④ 快速路辅路
- ⑤ 匝道
- ⑥ 公交专用道
- ⑦ 高速路入口
- ⑧ 高速路出口

配套设施

- ① 实验楼
 - 主控中心
 - 服务中心
 - 展示中心
 - 车库、调试车间
- ② 实验室
 - C-V2X 网联测试联合实验室
 - 自动驾驶虚拟仿真联合实验室
 - 人机混驾联合实验室
 - 环境实验室

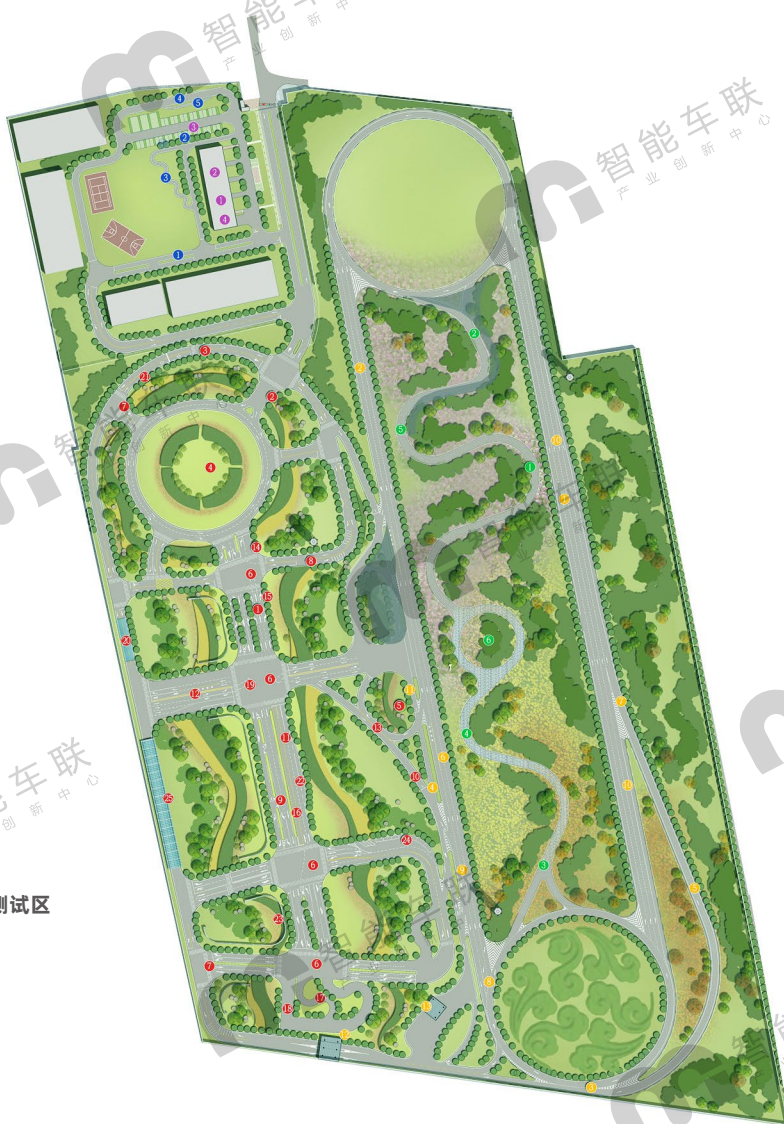
- ③ 停车场 + 充电桩
 - ④ 高精度定位增强设施
GNSS 智能参考站
- 基地 V2X 网联通信覆盖
基地 5G 网络覆盖

服务型电动自动驾驶轮式车测试区

- ① 街区道路
- ② 园区道路
- ③ 连续曲线行驶路
- ④ 上下坡路
- ⑤ 侧向倾斜路

乡村道路测试区

- ① 弯道
- ② 坡道
- ③ 水泥路
- ④ 砂石路
- ⑤ 砖块路
- ⑥ 环岛



- ⑨ 主辅路出入口
- ⑩ 高速路车道控制
- ⑪ 主辅路出入口信号控制
- ⑫ 收费站（含 ETC）
- ⑬ 充电站 + 服务区

延伸阅读

道路机动车辆生产准入许可管理条例（征求意见稿）

关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知（征求意见稿）

关于开展汽车软件在线升级备案的通知

关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告

数据安全认证实施规则

自动驾驶汽车运输安全服务指南（试行）（征求意见稿）

关于支持建设新一代人工智能示范应用场景的通知

北京市关于加快推进自动驾驶车辆道路测试有关工作的指导意见（试行）

北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则（试行）

北京市无人配送车道路测试与商业示范管理办法（试行）

北京市智能网联汽车政策先行区总体实施方案

北京市自动驾驶车辆道路测试报告（2021 年）

北京市自动驾驶车辆道路测试报告（2020 年）

北京市自动驾驶车辆道路测试报告（2019 年）

北京市自动驾驶车辆道路测试报告（2018 年）

版权声明

本报告版权属于中关村智通智能交通产业联盟、北京智能车联产业创新中心，受法律保护。如需转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中关村智通智能交通产业联盟、北京智能车联产业创新中心”。

违反上述声明者，将追究其相关法律责任。





国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区



智能车联
产业创新中心



智联会
China Mobility Alliance



+86 10 8972 5218



bicmi@mzone.site



www.mzone.site

中国北京·国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区 - 亦庄基地



扫码关注官方微信