国内外汽车安全沙盒监管实践及监管建议*

文洋[1]　冯永琴[2]　朱云尧[1]

（1.中国汽车工程研究院股份有限公司，重庆 401122；2.国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心，北京 100101）

【欢迎引用】文洋，冯永琴，朱云尧. 国内外汽车安全沙盒监管实践及监管建议[J]. 汽车文摘，2026(7): 37-44.

【Cite this paper】WEN Y, FENG Y Q, ZHU Y Y. Domestic and Overseas Automotive Safety Regulatory Sandbox Practices and Supervision Recommendations[J]. Automotive Digest (Chinese), 2026(7): 37-44.

【摘要】为应对智能网联汽车技术快速发展带来的技术创新与安全监管平衡挑战，深入探讨智能网联汽车（ICV）发展面临的监管挑战与创新解决方案，分析了智能网联汽车产业安全发展面临的难点问题，并系统梳理分析国内外汽车沙盒监管经验，提出了制度完善、数据驱动、安全评估、推广应用等监管创新建议，为构建更加高效的智能网联汽车安全监管体系提供了系统性建议。

关键词：智能网联汽车；沙盒监管；安全风险；动态监管

中图分类号：U463.6；F426.471　　**文献标志码：**A　　**DOI:** 10.19822/j.cnki.1671-6329.20250145

Domestic and Overseas Automotive Safety Regulatory Sandbox Practices and Supervision Recommendations

Wen Yang[1], Feng Yongqin[2], Zhu Yunyao[1]

（1. China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing 401122; 2. State Administration for Market Regulation Defective Product Recall Technical Center, Beijing 100101）

【Abstract】To address the challenge of balancing technological innovation and safety regulation brought about by the rapid development of Intelligent Connected Vehicle (ICV) technology, the paper deeply explores the regulatory challenges and innovative solutions faced by the development of intelligent connected vehicles. By analyzing the difficulties faced by ICVs and systematically analyzing the domestic and foreign automotive sandbox regulatory experience, the paper proposes regulatory innovation suggestions such as system improvement, data driven, safety assessment and widespread application, providing systematic insights and suggestions for constructing a more efficient intelligent connected vehicle safety regulatory system.

Key words: Intelligent Connected Vehicle (ICV), Regulatory sandbox, Safety risk, Dynamic supervision

0　引言

随着智能网联汽车快速发展，汽车产业正经历技术变革。人工智能、5G通信、电子控制系统和软件算法等新兴技术的深度融合，推动汽车产品功能持续创新，技术迭代速度显著加快。然而，新技术迅速发展使现有的汽车监管体系难以适应新技术、新功能的监管需求。在此背景下，如何确保创新技术产品的质量安全，平衡技术发展与风险防控，成为全球汽车产业面临的重要问题。

本文通过系统分析智能网联汽车面临的监管挑战，探讨沙盒监管模式的创新价值与实践路径。通过梳理全球监管经验和中国实践现状，提出符合技术发展规律的监管创新建议。采用文献分析、案例研究和

*基金项目：国家市场监督管理总局科技计划项目“面向沙盒监管的汽车安全全流程监管服务云平台技术架构设计研究”（2024MK189）。

比较研究方法，重点分析了现有政策在应对技术快速迭代中的有效性，以及如何优化监管框架以更好地促进技术创新与安全平衡，为完善我国汽车安全沙盒监管体系提供理论参考，推动智能网联汽车产业高质量发展。

1　智能网联汽车技术风险与监管挑战

当前，我国智能网联汽车生态体系正逐步完善，其市场正迎来前所未有的发展机遇，其中组合驾驶辅助（L2级）智能网联汽车正从高端市场向大众市场快速普及。据统计，2026年1~2月，具备L2级组合驾驶辅助功能的乘用车新车渗透率达69%，较去年同期提升10%[1]。L3、L4级智能网联汽车正逐步进入试点应用阶段，在无人出租车、物流配送等特定场景中加速商业化探索。《2025—2030年中国具身智能机器人深度分析及发展前景研究预测报告》显示，2025年中国自动驾驶市场规模达4 502亿元，同比增长17.5%，预计到2026年底，该规模将达到5 293亿元[2]。智能网联汽车的发展前景广阔，但仍面临诸多技术风险和监管挑战。

1.1　智能网联汽车安全风险

功能安全和预期功能安全风险是智能网联汽车面临的主要挑战。功能安全旨在避免因电子电气系统故障（如系统性失效和硬件随机失效）导致的不合理风险[3]。预期功能安全旨在解决由功能不足或可预见的人员误用（环境感知的不确定性、算法决策的局限性以及长尾场景的适应能力不足）所导致的风险[4]。其中，预期功能安全问题是智能网联汽车安全的主要问题。文献[5]表明，99%的自动驾驶汽车引发的安全问题来源于预期功能安全。根据车辆运行场景，可将其分为4类，即已知安全场景、已知不安全场景、未知不安全场景以及未知安全场景，如图1所示[6]。其中，已知安全场景已验证无风险，未知安全场景无需干预。因此，预期功能安全重点解决已知不安全场景和未知不安全场景。一方面，将已知不安全场景通过设计优化转化为已知安全场景。另一方面，通过深度测试挖掘未知不安全场景，将其转化成已知不安全场景完成风险识别。

长尾效应是智能网联汽车大规模安全应用的关键制约因素。尽管智能驾驶系统在常规场景下表现稳定，但其在边缘场景中的性能表现仍存在不确定性。边缘场景具有低频性、多样性以及动态演化性的特点。同时，受限于数据稀缺性、测试覆盖不足以及组合复杂性，边缘场景长期处于未知状态，对智能网联汽车安全运行构成潜在安全威胁。

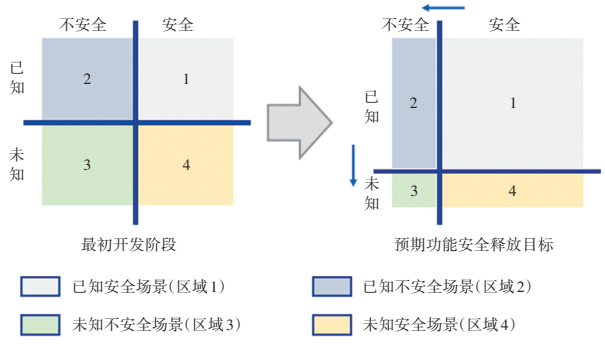


图1　预期功能安全活动引起的场景区域演变

1.2　智能网联汽车监管挑战

当前，我国已构建了覆盖汽车全生命周期的安全监管体系。近年来，为适应新技术快速迭代与行业发展需求，工业和信息化部、国家市场监督管理总局等主管部门积极探索新型监管模式。例如，2022年4月，国家市场监督管理总局、工业和信息化部、交通运输部等五部门联合发布《关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告》[7]，建立了汽车安全沙盒监管制度，允许企业在受控环境下开展新技术深度测试与安全验证，促进技术创新与产业升级；2023年11月，工业和信息化部、公安部等四部门联合发布《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知》[8]，促进智能网联汽车推广应用，提升智能网联汽车产品性能和安全运行水平；2025年2月，工业和信息化部和国家市场监督管理总局联合发布《关于进一步加强智能网联汽车产品准入、召回及软件在线升级管理的通知》[9]，明确提出细化产品准入与召回管理要求、深化产品沙盒监管、健全事件事故报告与研判机制。然而，随着技术不断创新与快速迭代，需持续优化新技术新功能相关监管机制。

传统技术测试验证方法存在局限性，制约了监管的有效性。当前，智能网联汽车的测试验证主要依靠“三支柱法”，即通过仿真测试构建大量虚拟场景，通过场地测试复现典型危险场景，通过实际道路测试捕捉真实交通场景的复杂特征。传统通过性测试模式无法适应智能网联汽车持续迭代升级的特点。此外，现有方法在数据采集、场景生成和风险评估等方面仍存在局限性，限制了潜在安全风险的有效管理。

2　全球智能网联汽车沙盒监管实践

面对智能网联汽车技术快速发展带来的监管挑战，新加坡、德国、美国等国家积极探索沙盒监管模

式。在特定条件下和范围内，针对车辆应用的前沿技术进行深度安全测试，以确保现有监管体系不会阻碍创新产品与新技术投入市场[10]。各国沙盒监管在平衡技术创新与安全监管方面取得了较好效果。一方面，建立科学测试评估体系，显著提高了前沿技术安全验证的效率；另一方面，将现有管理方式和沙盒监管创新模式相结合，有效提升了新技术产品安全监管效能。上述经验为我国汽车安全沙盒监管制度的建立和完善提供了参考。

2.1 新加坡沙盒监管实践

新加坡通过创新立法和系统性制度设计构建了完善的沙盒监管体系。

法律法规方面，2017年2月，新加坡颁布了《道路交通法修正案》（The Amendment of the Road Traffic Act，RTA），对自动驾驶汽车试验的时间和空间进行限制，在全球范围内率先探索构建自动驾驶沙盒监管，并规定了制定自动驾驶汽车设备的设计和使用标准[11]。该修正案旨在发挥监管沙盒作用，有效期为5年，现已将监管沙盒有效期延长至10年。2017年8月，新加坡正式出台了专门针对自动驾驶汽车的道路交通规则，明确了自动驾驶汽车试验申请标准，并要求每辆自动驾驶汽车必须安装数据记录仪，以便在授权到期后的3年内收集和存储数据[12-13]。新加坡实施自动驾驶汽车沙盒监管增强了监管框架的灵活性，以评估监管规则的合理性。

技术标准方面，2018年11月，陆路交通管理局（Land Transport Authority，LTA）强化了对自动驾驶汽车的强制性要求，将严格执行安全驾驶员、黑匣子记录器、车辆故障报警系统、第三方风险保险以及通过封闭场地测试等要求。2019年1月，新加坡发布了一套临时国家标准《技术参考》（Technical Reference 68，TR68），作为支持自动驾驶汽车安全部署的临时指南，并于2021年引入了关于机器学习应用、软件更新管理、网络安全原则和测试框架，确保自动驾驶汽车持续适应前沿技术发展[14-15]。目前，TR68包括4个部分：基本行为、安全、网络安全原则和评估以及车辆数据类型和格式。该标准要求自动驾驶汽车必须配备“黑匣子”数据记录器，用于存储关键的车辆远程信息，以供陆路交通管理局调用。

安全评估方面，为保障自动驾驶沙盒监管安全性，LTA和交警部门对自动驾驶汽车进行严格的安全评估。自动驾驶汽车评估框架分为3个步骤，确定试验区域、提交申请和启动批准的评估轨道，如图2所示[16]。目前，公共道路自动驾驶汽车申请包括6个部分：自动驾驶技术或自动驾驶汽车试验授权申请、每辆车的详细信息、各车型详细信息、无人驾驶部署申请、申请退出自动驾驶汽车试验、初步事故/报告[17]。自动驾驶汽车注册并获得试用批准后，进入可部署的自动驾驶汽车解决方案，完成里程碑测试、必要的演示、文件审查、远程操作评估以及部署准备情况评估后，即可获得无人驾驶车辆的部署资格。

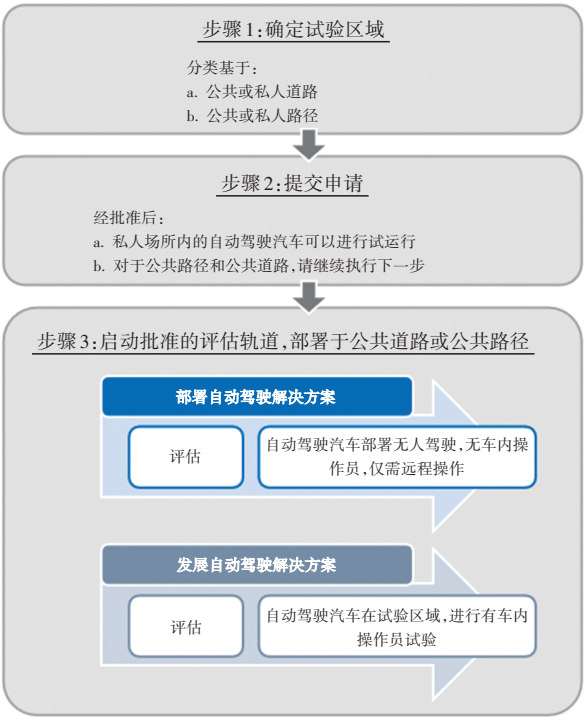


图2 自动驾驶汽车评估框架

2.2 德国沙盒监管实践

德国通过立法与制定“试验条款”等创新机制相结合的方式，推动智能网联汽车沙盒监管发展。

顶层设计方面，德国联邦经济事务和能源部（Federal Ministry for Economic Affairs and Energy，BMWK）于2018年发布了《沙盒监管战略》（BMWi-strategie: Reallabore als Testräume für Innovation und Regulierung），主要包括3项内容[18-19]。（1）沙盒监管的法律可能性：制定沙盒监管和试验条款的总体标准，例如对于自动驾驶，规定（《道路交通法》（Road Traffic Act）第1i条及《关于规范具有自动驾驶功能的机动车运行的条例》（Ordinance Regulating the Operation of Motor Vehicles with Automated and Autonomous Driving Function）第16条，提供灵活性和法律确定性；（2）信息和网络：BMWK于2019年成立了监管沙盒协调办公室，并于2019年7月发布了《释放创新空间——沙盒监管手册》（Making Space for

Innovation: The Handbook for Regulatory Sandboxes)，以实施和推进监管沙盒战略；(3)启动和支持：包括沙盒监管创新奖、试点项目支持、创新门户试运行。自2020年起，BMWK通过举办沙盒监管创新奖，遴选优秀项目并予以表彰和推广，分为“展望”(面向监管沙盒的新理念)、“洞察”(面向实施阶段的监管沙盒)以及“回顾”(面向已完成的监管沙盒)3个类别[20]。2025年5月22日，监管沙盒创新门户开始试运行，作为监管沙盒相关的咨询、信息、网络和知识转移的中心联络点试运行3~4年[21]。

政策法规方面，2025年5月19日，联邦内阁通过了《关于改善监管沙盒中创新测试框架条件和促进监管学习的法案》(Act for the Improvement of Framework Conditions the Testing of Innovations in Regulatory Sandboxes and the Promotion of Regulatory Learning)草案(以下简称《监管沙盒法案》)，旨在强化沙盒监管和实验条款。该法案支持在审批流程中提供有利于创新的决策指导，从而提高沙盒监管的审批效率。法案还规定了相关程序要求，例如在沙盒监管中测试的适当截止日期和延期[22]。2024年7月，BMWK发布了《试验条款制定指南》(New Flexibility for Innovation: Guide for Formulating Experimention Clauses)，支持立法者在其特定领域制定试验条款，最多由18个要素构成，且必须包括能力、主管部门授权、决定内容、测试内容的定义、实质性限制、程序要求、附带义务、测试期限和评估与转移9个要素，如图3所示[23]。

沙盒实践方面，汉堡电动自动驾驶交通项目(Hamburg Electric Autonomous Transportation，HEAT)旨在研究安全地使用全自动或无人驾驶电动小巴在城市道路上运送乘客，试验期为4年。巴登符腾堡州自动驾驶测试平台作为一个出行概念的沙盒监管平台，允许企业和研究机构测试联网和自动驾驶领域的技术和服务[24]。数字试验台是德国汽车领域沙盒监管的典型代表，其中法德卢数字测试验台作为全球首个三边自动化和网联驾驶测试平台，旨在结合智能交通系统和现实条件，促进自动化和联网驾驶技术开发和试验[25]。

2.3 美国沙盒监管实践

美国沙盒监管采取“联邦+州级”的监管模式，通过政策迭代与豁免机制为技术创新提供空间。

联邦层面，美国交通部相继发布AV1.0~AV4.0自动驾驶政策，构建了渐进式的监管框架，其中安全豁免制度是美国自动驾驶汽车上路测试和部署的重要保障[26]。首先，前市场监管以自我认证为主，依据《联邦机动车安全标准》(Federal Motor Vehicle Safety Standards，FMVSS)，美国交通部实施豁免审批，允许企业突破部分传统车辆标准限制。2024年12月，美国国家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration，NHTSA)发布《配备自动驾驶系统车辆的安全、透明度与评估计划》(ADS-Equipped Vehicle Safety, Transparency, and Evaluation Program，AV STEP)拟议规则制定的通知，为参与该计划的配备自动驾驶系统(Automated Driving Systems，ADS)的车辆建立自愿审查和报告框架，并提出2个新的豁免流程：“FMVSS豁免”和“使无效豁免”，即“用于特定用途的车辆”豁免和“ADS设备或相关的售后改装”豁免[27]。其次，强化后市场安全监管。NHTSA于2021年6月发布《标准常规命令2021-1》(Standing General Order 2021-01，SGO)，建立自动驾驶和组合驾驶辅助系统事故强制报告机制。综合上述数据，NHTSA通过进一步调查来应对引发ADS和2级高级驾驶辅助系统(Advanced Driver Assistance Systems，ADAS)技术安全隐患的碰撞事故。根据SGO，2021年7月至2025年6月，配备2级ADAS系统的车辆事故报告共计2 640起，配备ADS系统的车辆事故报告共计1 473起[28]。

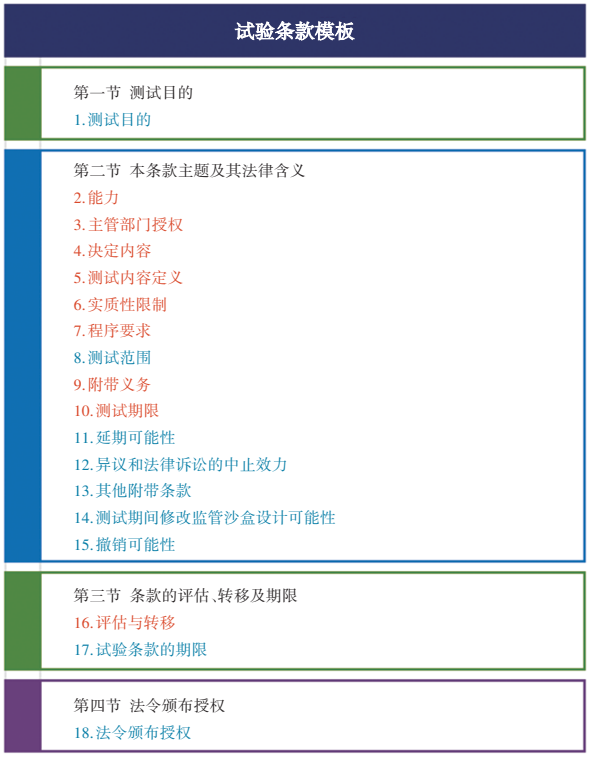


图3 试验条款模板[23]

州级层面，各州机动车管理部门负责制定测试规则、审核方案并颁发许可，类似沙盒监管模式。其中加州作为自动驾驶技术发展的重要地区之一，其机动

车管理局(Department of Motor Vehicles,DMV)在自动驾驶汽车测试员(Autonomous Vehicle Tester,AVT)计划和AVT无人驾驶计划中规定,自动驾驶测试车辆的制造商需要提交年度报告,以分享其车辆在测试期间脱离自动驾驶模式的频率[29]。第三方机构The Last Driver License Holder汇总每家制造商的行驶里程报告和自动驾驶汽车脱离报告提出,2018—2024年,Waymo、Pony.ai、Weride等多家制造商的车辆平均脱离间隔里程整体呈逐年上升的趋势,如图4所示[30]。经过长期测试运营,车辆脱离的频率持续下降,自动驾驶系统的安全性能显著提高。

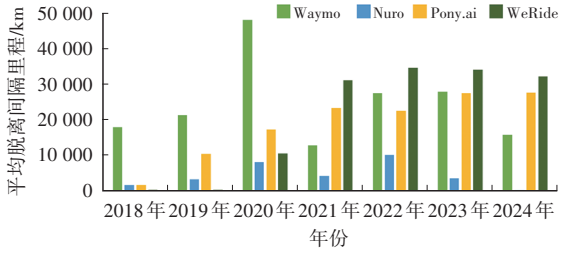


图4 自动驾驶汽车平均脱离间隔里程

安全监管方面,美国构建了事故报告、沙盒监管、召回管理融合的监管体系。首先,在沙盒测试过程中,企业发现问题、优化设计、提升安全。根据US NEWS报道,一辆电动滑板车在旧金山的一个十字路口低速转弯时,与一辆Zoox自动驾驶出租车相撞。事故发生后,亚马逊公司暂停了所有自动驾驶汽车运营,并进行了软件更新、模拟和测试,并恢复运营[31]。Zoox发布的软件更新主要解决了行人与自动驾驶汽车(停下、行驶缓慢或即将恢复行驶)间的问题,改善了车辆追踪附近行人的方式,并在有人靠近时防止其移动。此外,沙盒监管结合车辆召回管理,提升并保障前沿技术安全应用。据报道,一辆空置的Zoox自动驾驶出租车与一辆乘用车在拉斯维加斯发生碰撞后,Zoox主动向美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)提交了自愿召回申请[32-33]。根据美国联邦法规49CFR Part 57(缺陷与不合规责任及报告)对应的安全召回报告和召回声明,车道上有垂直物体侵入可能会增加碰撞风险。为此,Zoox对在公共道路上运营的270辆自动驾驶车辆均更新了ADS软件[34]。

2.4 国外沙盒监管经验借鉴

根据国外沙盒监管实践情况,各国主要通过出台顶层设计文件、修订相关法律法规、报告相关事故事件、上传并分析数据、建立安全评估机制、形成创新推广模式等方式,不断完善沙盒监管机制,如表1所示。

表1 主要国家沙盒监管实践对比

类别	新加坡	德国	美国
顶层设计		《沙盒监管战略》;《释放创新空间——沙盒监管手册》	AV1.0~4.0;AV STEP
法律依据	《道路交通法修正案》;《自动驾驶汽车道路交通规则》	《监管沙盒法案》草案;试验条款	
标准依据	TR 68		FMVSS
主管部门	陆路交通管理局	德国联邦经济事务和能源部	交通部及NHTSA、各州机动车管理部门
周期	5年	长期实施	长期实施
管理特点	要求数据记录和存储;上报事故;开展安全评估	设立协调办公室;举办创新奖;试运行创新门户	实施豁免机制;开展事故报告、脱离报告等数据监管;结合沙盒监管和召回管理
效果	逐步增加新技术沙盒监管测试项目	逐步形成沙盒监管常态化运行	有效提升产品安全,完善安全监管体系

沙盒监管是平衡技术创新和安全应用的创新平台。企业可依托沙盒监管机制,在设定的测试范围内开展充分测试,聚焦复杂现实工况和边缘场景,实现对车辆功能安全和预期功能安全风险的可控验证。通过深度测试,进一步确认已知安全场景的安全性,同时发现可能存在的未知不安全场景,并通过优化设计等方式将其转化成已知安全场景。这在一定程度上解决了因技术成熟度不足、风险认知局限以及测试范围有限性导致的长尾问题。

沙盒监管有效完善了智能网联汽车安全监管体系。沙盒监管通过构建包含顶层设计、法律体系、标准规范、数据管理等在内的完整监管框架,系统性提升智能网联汽车的安全性。在实施层面需要考虑以下3项内容:(1)统筹考虑技术创新与产品安全的平衡性,建立动态安全风险评估机制,避免统一的硬性规定对创新的抑制。(2)与现有汽车召回制度形成有效协同机制,通过沙盒监管提前发现并解决质量问题或安全风险,避免后期可能导致的大规模产品召回。(3)充分发挥沙盒测试积累的实践经验,为优化测试方法、提升安全标准提供技术支撑,并为行业技术规范和管理要求的迭代更新提供实证基础。

3 中国智能网联汽车沙盒监管实践

我国在充分借鉴国际沙盒监管经验的基础上,立

足本土产业发展需求与监管实际，创新性地构建了具有中国特色的汽车安全沙盒监管制度。

政策法规方面，2021年3月，国家市场监督管理总局质量发展局发布《关于2021年全国汽车和消费品召回情况的通告》，提出创新召回监管方式，针对车辆应用的前沿技术探索开展汽车安全沙盒监管制度[35]。2022年12月，国家市场监督管理总局办公厅发布《关于启动汽车安全沙盒监管试点申报的通知》，并制定了《汽车安全沙盒监管实施方案（试行）》《汽车安全沙盒监管技术目录清单（试行）》《汽车安全沙盒监管试点申请书》，为企业开展沙盒监管提供指导[36]。企业申请新技术、新功能、新模式沙盒监管，需经过申请、评估、测试、报告、退出5个环节，通过在受控环境中进行深度测试，评估其产品的安全性能。深度测试重点对汽车运行过程中未识别的危害及触发条件、环境演变或交通规则变化、动态场景突变等进行测试，并对潜在功能不足或市场上相关功能与网络安全事件等进行复现测试。

监管实践方面，共有10家企业、9项技术进入首批沙盒监管试点名单。通过充分测试验证，防范和化解重大风险、提升产品质量安全，实现规模化应用。例如，吉利高速领航驾驶辅助（Navigate on Autopilot，NOA）技术，优化改进了由于车道宽度变化导致NOA系统异常退出、固件中存在未加密存储的敏感信息的问题，并对吉利5个车型总计3.6万辆在用车辆进行了OTA升级；比亚迪智能扭矩控制系统（intelligence Torque Adaption Control，iTAC），通过增加工况识别与路面附着估算模块，研究了模型子系统在平衡滑转程度与动力性、平顺性上的最佳参数值，利用精细化算法优化了扭矩波动，该方案已在7个车系量产应用[37]。

我国汽车安全沙盒监管制度为解决新技术快速创新与迭代升级引发的新型安全问题提供了创新的解决方案。该制度在平衡技术创新与安全应用方面发挥关键作用，是对我国质量安全监管体系的重要补充与完善。然而，面对技术革新持续加速的新形势，借鉴国外沙盒监管的经验，我国汽车安全沙盒监管制度仍需从法律法规体系、数据监管机制、安全评估体系、推广应用机制等方面进一步优化完善。

4 创新监管建议

4.1 完善制度设计是沙盒监管有序推进的基本保障

持续完善与优化沙盒监管制度设计。首先，建议参考德国《沙盒监管法案》草案，在《中华人民共和国产品质量法》《缺陷汽车产品召回管理条例》等法律法规中增加沙盒监管相关条款，将其纳入国家产品安全监管体系，明确沙盒监管的法律地位。此外，应不断优化汽车安全沙盒监管实施方案，建立健全配套规范和技术要求，包括制定测试机构遴选标准、技术评估标准、深度测试流程和出盒评估规范等文件，并清晰界定主管部门、第三方测试机构、汽车生产企业、技术服务商等的权责边界，为沙盒监管制度的有序实施提供支撑保障。

4.2 数据驱动的监管创新是提升有效性的关键路径

构建数据驱动的智能化监管体系。数据已成为核心竞争力，建议充分利用事故报告、沙盒监管深度测试用例等多元数据，完善监管体系。《关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告》明确提出市场监管总局搭建汽车质量安全监管服务云平台[7]。因此，建议尽快搭建汽车质量安全监管服务云平台，通过开展汽车安全沙盒监管全流程对云平台的需求分析，研究构建数据采集、关联分析、评价反馈的闭环管理机制，搭建面向沙盒监管的汽车安全全流程监管服务云平台，主要包括汽车安全沙盒监管全流程管理、技术评估、风险预警、数据存储、分析与挖掘、数据展示与应用以及质量服务等功能。基于汽车质量安全监管服务云平台相关数据，通过场景转化和提取，完善边缘场景测试用例，逐步构建覆盖典型道路环境、复杂交通环境和极端工况的测试场景库，为企业开展沙盒测试提供支撑，同时为实现汽车安全沙盒监管过程中企业自律、信息公开、公众监督、行政指导、质量服务等多元化管理提供支撑。

4.3 安全评估是提升汽车沙盒安全监管的必要保障

建立基于车辆安全应用的评估机制。建议参考新加坡和德国的先进经验，结合我国汽车安全沙盒监管评估模式，构建技术监测、数据分析、专家研判相结合的多层次风险评估体系，开展关键技术沙盒监管动态监测与评估，实现被动式监管向主动预防式监管的转变。首先，通过制定技术入盒评估指南、出盒评估指南、安全风险评估指南等指导性文件，为及时发现、科学研判和有效处置重大风险提供支撑，持续提升沙盒监管的安全保障能力和监管效能。此外，结合多维数据，及时研究风险分析研判、技术成熟度评估、安全风险量化分析以及系统可靠性验证等评估方法，进一步提升沙盒监管过程中的安全风险管控能力。

4.4 测试成果推广应用是提升监管影响力的重要举措

形成系统化沙盒测试成果推广应用机制。通过

沙盒监管推进经验和深度测试结果，建议对成果进行转化，进一步促进技术创新发展与安全应用。首先，在标准建设方面，参考新加坡标准体系，及时将测试验证成果转化为行业技术规范，进一步形成涵盖国标、行标、团标等的新技术标准体系，并根据技术成熟度建立动态更新机制，确保将新涌现的高风险场景及时纳入测试标准。其次，在认证管理方面，建议构建沙盒测试与3C认证的联动机制，对通过严格测试验证的技术进行权威认证，建立有序衔接事前、事中、事后监管的全链条闭环管理机制。此外，在市场推广方面，参考德国沙盒监管创新门户和创新奖机制，搭建沙盒监管门户网站，定期将通过沙盒测试的企业、技术、产品进行公示，并设立优秀项目评选与示范推广机制，加速前沿技术安全应用。通过一系列机制提升监管的时效性和科学性，为技术创新提供制度保障，不断促进智能网联汽车产业发展与安全监管的动态平衡。

参 考 文 献

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部：一季度工业和信息化发展总体实现良好开局[EB/OL]. (2026-04-21)[2026-05-20]. https://www.miit.gov.cn/xwfb/bldhd/art/2026/art_9e461fb26c75403f822cef394e0ad2d1.html.

[2] 中商情报网. 2026年中国自动驾驶市场规模及行业发展前景预测分析（图）[EB/OL]. (2026-03-20)[2026-05-20]. https://www.askci.com/news/chanye/20260320/1027052773 97362442285804.shtml.

[3] 全国汽车标准化技术委员会. 道路车辆 功能安全 第1部分：术语: GB/T 34590.1—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

[4] Auto世代. 02|SOTIF: 一文看懂SOTIF工作流程[EB/OL]. (2023-04-21) [2025-07-24]. https://mp.weixin.qq.com/s/aflH5K1q8Li6I6EYL_GtrQ.

[5] 中国汽车报. 李骏：99%自动驾驶事故源于预期功能安全|中国汽车报[EB/OL]. (2020-11-14)[2025-07-24]. https://mp.weixin.qq.com/s/nmtGspjnERqA5tXfy4dVNw.

[6] 全国汽车标准化技术委员会. 道路车辆 预期功能安全: GB/T 43267—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

[7] 国家市场监督管理总局, 工业和信息化部, 交通运输部, 等. 关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告[EB/OL]. (2022-04-01) [2025-07-24]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-04/02/content_5683 112.htm.

[8] 工业和信息化部, 公安部, 住房城乡建设部, 等. 关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知[EB/OL]. (2023-11-17) [2025-07-24]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202311/content_6915788.htm.

[9] 工业和信息化部, 国家市场监督管理总局. 关于进一步加强智能网联汽车产品准入、召回及软件在线升级管理的通知[EB/OL]. (2025-02-28)[2025-07-24]. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2025/art_1f663dddc5ee4754bb833586b2bf0853.html.

[10] 中国质量新闻网. 汽车领域“监管沙盒”的国际经验及启示[EB/OL]. (2022-04-11)[2025-07-27]. https://www.cqn.com.cn/zgzlb/content/2022-04/11/content_8805685.htm.

[11] TAN SY, TAEIHAGH A. Adaptive and Experimental Governance in the Implementation of Autonomous Vehicles: The Case of Singapore[EB/OL]. (2019-06-28)[2025-07-24]. 4rd International Conference on Public Policy (ICPP4), Montreal, Canada. https://www.ippapublicpolicy.org/file/paper/5cea683b9a45b.pdf.

[12] TAN S Y, TAEIHAGH A. Adaptive Governance of Autonomous Vehicles: Accelerating the Adoption of Disruptive Technologies in Singapore[J]. Government Information Quarterly, 2021, 38(2): 101546.

[13] 北京市高级别自动驾驶示范区. 自动驾驶监管沙盒的应用探索与法律建构[EB/OL]. (2025-03-20)[2025-07-24]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzk0NzE4MTQwMg==&mid=2247541016&idx=1&sn=b3420434bb35c690c98187d69219df54&chksm=c378a32df40f2a3bfba3ff0d0b4a0f99418f50cdedc4939f4d975c2dae6b2df92d57ba0548bb&scene=27.

[14] Land Transport Authority. Joint Media Release by the Land Transport Authority (LTA), Enterprise Singapore, Standards Development Organisation & Singapore Standards Council-Singapore Develops Provisional National Standards to Guide Development of Fully Autonomous Vehicles[EB/OL]. (2019-01-31) [2025-07-24]. https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en/newsroom/2019/1/2/joint-media-release-by-the-land-transport-authority-lta-enterprise-singapore-standards-development-organisation-singapo.html.

[15] Land Transport Authority. Joint Factsheet by the Land Transport Authority (LTA) & SSC – Enhanced National Standards for the Safe Deployment of Autonomous Vehicles in Singapore[EB/OL]. (2021-09-03) [2025-07-24]. https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en/newsroom/2021/9/news-releases/enhanced-national-standards-for-the-safe-deployment-of-autonomou.html.

[16] Land Transport Authority. Autonomous Vehicle[EB/OL]. [2025-07-22]. https://www.lta.gov.sg/content/ltagov/en/

industry_innovations/technologies/autonomous_vehicles.html.

[17] Land Transport Authority. Application for Trial of Autonomous Motor Vehicles (AVs) for Public Road Operations[EB/OL]. [2025-07-24]. https://www.lta.gov.sg/content/dam/ltagov/industry_innovations/Technologies/PDF/av_application_20250114.pdf.

[18] Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. Regulatory Sandboxes – Enabling Innovation and Advancing Regulation[EB/OL]. (2022-09)[2025-07-24]. https://www. bundeswirtschaftsministerium. de/Redaktion/EN/Downloads/I/info-reallabore. pdf? __blob=publicationFile&v=1.

[19] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. BMWi-Strategie Reallabore als Testräume für Innovation und Regulierung[EB/OL]. (2018-12-10)[2025-07-24]. https://www. bundeswirtschaftsministerium. de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/strategiepapier-reallabore. pdf? __blob=publicationFile&v=10.

[20] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Innovationspreis Reallabore[EB/OL]. (2022-06-01)[2025-07-24]. https://www. bundeswirtschaftsministerium. de/Redaktion/DE/Wettbewerb/innovationspreis-reallabore.html.

[21] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Reallabore-Innovationsportal[EB/OL]. [2025-07-24]. https://www.reallabore-innovationsportal.de/.

[22] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Regulatory Sandboxes-Testing Environments for Innovation and Regulation[EB/OL]. [2025-07-22]. https://www. bundes wirtschaftsministerium. de/Redaktion/EN/Dossier/regulatory-sandboxes.html.

[23] Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. New Flexibility for Innovation-Guide for Formulating Experimentation Clauses[EB/OL]. (2024-07) [2025-07-22]. https://www. bundeswirtschaftsministerium. de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/guide-new-flexibility-for-innovation-en-july-2024. pdf? __blob=publicationFile&v=3.

[24] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Handbook on Regulatory Sandboxes[EB/OL]. (2019-07-01) [2025-07-22]. https://www. bundeswirtschaftsministerium. de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/handbook-regulatory-sandboxes.html.

[25] Federal Ministry of Transport. Digital Test Beds[EB/OL]. (2021-05-20) [2025-07-22]. https://www. bmv. de/EN/Topics/Digital-Matters/Digital-Test-Beds/digital-test-beds. html.

[26] U.S. Department of Transportation. USDOT Automated Vehicles Activities[EB/OL]. (2022-03-28)[2025-07-24]. https://www.transportation.gov/AV.

[27] NHTSA. ADS-Equipped Vehicle Safety, Transparency, and Evaluation Program[EB/OL]. (2024-12-20)[2025-07-24]. https://www. transportation. gov/regulations/federal-register-documents/2024-30854.

[28] NHTSA. Standing General Order on Crash Reporting[EB/OL]. [2025-07-24]. https://www. nhtsa. gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting.

[29] California DMV. Disengagement Reports[EB/OL]. [2025-07-24]. https://www. dmv. ca. gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/.

[30] The Last Driver License Holder. 2024 Disengagement Reports from California[EB/OL]. (2025-02-03)[2025-07-24]. https://thelastdriverlicenseholder. com/2025/02/03/2024-disengagement-reports-from-california/.

[31] U.S. News. Amazon's Robotaxi Unit Zoox Issues Second Software Recall After San Francisco Crash[EB/OL]. (2025-05-29)[2025-07-25]. https://money.usnews.com/investing/news/articles/2025-05-29/amazons-zoox-issues-second-software-recall-this-month-after-san-francisco-crash.

[32] Forbes. Amazon Robotaxi Firm Zoox Issues Recall After Las Vegas Crash[EB/OL]. (2025-05-06) [2025-07-25]. https://www. forbes. com/sites/antoniopequenoiv/2025/05/06/amazon-robotaxi-firm-zoox-issues-recall-after-las-vegas-crash/.

[33] Zoox. Zoox issuing voluntary software recall[EB/OL]. (2025-05-06) [2025-07-25]. https://zoox. com/journal/2025-april-safety-recall-report/.

[34] NHTSA. 2024 Zoox Sedan[EB/OL]. (2025-05-25)[2025-07-25]. https://www. nhtsa. gov/vehicle/2024/Zoox/Zoox%252520Sedan#recalls.

[35] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于2021年全国汽车和消费品召回情况的通告[EB/OL]. (2022-03-11) [2025-07-24]. https://www. samr. gov. cn/zw/zh/art/2023/art_9195382794db4d0193cd7bf8615f4f00.html.

[36] 国家市场监督管理总局质量发展局. 市场监管总局办公厅关于启动汽车安全沙盒监管试点申报的通知[EB/OL]. (2022-12-30)[2025-07-24]. https://www. samr. gov. cn/zw/zfxxgk/fdzdgknr/zlfzs/art/2023/art_1ee3894063de4dd49c8287f8e89a1cbd.html.

[37] 市说新语. 一图读懂丨沙盒监管新规落地[EB/OL]. (2025-04-06)[2025-07-24]. https://mp. weixin. qq. com/s/OUUvx65SP8gtWump7TFEAQ.

（责任编辑　**梵玲**）