

自动驾驶的期待与现实

郝博洋（部分内容编译自德国 Automobil Industrie）

摘要：本文探讨了自动驾驶技术在全球范围内的发展现状、面临的挑战以及技术创新与实践。美国、德国和中国在自动驾驶技术研发、政策支持和商业化落地方面各有特色，形成了多元化的竞争格局。尽管 L3 和 L4 级自动驾驶技术持续进步，但 L5 级全自动驾驶仍面临技术复杂性和不可控性的挑战。各国政府和企业通过政策扶持、技术创新和国际合作，推动自动驾驶技术的发展和运用。

关键词：自动驾驶技术；全球发展；技术创新

0 前言

自动驾驶技术作为未来交通的核心驱动力，近年来在全球范围内取得了显著进展，同时面临诸多挑战。美国、德国和中国在技术研发、政策支持和商业化落地方面各具特色，形成了多元化的竞争格局。尽管 L3 和 L4 级自动驾驶技术持续进步并逐步发展成熟，L5 级全自动驾驶因技术复杂性和不可控性而仍被视为难以实现的目标。

1 自动驾驶技术现状

美国在自动驾驶立法领域处于全球前列，自 2016 年起陆续发布《自动驾驶政策指南》（1.0 至 5.0 版本），旨在为技术测试和商业化提供安全优先、技术中立的指导原则。2017 年，美国众议院和参议院分别通过《SELF-DRIVE Act》和《AV Start Act》，提出安全标准、网络安全要求及豁免条款，但尚未形成统一的联邦法律。从各个州的情况来看，例如加州，作为自动驾驶测试核心区域，要求企业提交测试里程及“退出”（人工接管）次数报告，并允许无安全员的测试。2021 年提出的法案要求自动驾驶汽车到 2025 年实现零排放，但该法案尚未通过。亚利桑那州则允许完全无人驾驶测试，吸引了 Waymo 等企业入驻。

美国相关企业在自动驾驶技术领域一直处于领先地位，尤其是在自动驾驶商用车领域。2025 年 4 月 4 日，特斯拉在美国正式启动了 FSD 早期体验计划，让部分车主提前体验新的 FSD 功能，并提供反馈，以帮助特斯拉进一步完善技术。特斯拉计划在 2025 年 6 月在德克萨斯州的奥斯汀推出无监督的 FSD 服务，并计

划在年底前扩展到美国更多城市。此外，特斯拉还计划在 2025 年中在奥斯汀进行“有限地理围栏的无监督驾驶”Robotaxi 试点。

戴姆勒卡车与 Torc 合作的 L4 级自动驾驶重卡已完成了 10 万 km 路测，商业化进程提前至 2025 年第二季度。与此同时，Waymo 在乘用车领域持续领跑——继 Argo AI 解散和 Cruise 因旧金山事故暂停运营后，Waymo 于 2024 年 8 月发布了新一代驾驶系统，采用极氪品牌车辆且计划首批量产车型将于 2025 年交付。Waymo 通过传感器（摄像头、雷达、激光雷达）的集成优化将成本降低 30%。截至目前，其自动驾驶出租车服务范围已扩展至美国 6 个主要城市。

2024 年 5 月的美国拉斯维加斯 ACT 博览会上，沃尔沃卡车展出了新一代装备 L4 级自动驾驶系统的 VNL 车型，并宣称已具备量产条件。该车的自动驾驶系统 VNL Autonomous（图 1）是由沃尔沃自动驾驶解决方案部门与美国科技公司 Aurora 合作开发的。2025 年年初，这辆自动驾驶的 VNL 车型已经开始投入商业运营，被 DHL 物流公司用于美国得克萨斯州境内的两条线路上（图 2）。不过驾驶员仍在驾驶室内监督自动驾驶系统的运行，在紧急情况下及时接管车辆规避危险，与此同时，自动驾驶系统的运行也会同步给后端的车队管理系统，实现多方位监控。

2021 年，德国《自动驾驶法》正式生效，允许车辆在特定条件下于公共道路进行无人驾驶测试。该法案旨在加速自动驾驶技术的开发和商业化进程，但实际效果尚未完全达到预期。尽管德国拥有完善的法律框架和领先的科研基础，弗劳恩霍夫实验软件 engineering 研究所（IESE）安全工程部门负责人 Jan Reich 指出：“欧



图1 VNL Autonomous



图2 VNL Autonomous 在美国德州

洲，尤其是德国，仍需在受控环境中逐步推动自动驾驶系统的实际应用。”

以德国达姆施塔特和奥芬巴赫县的“KIRA”项目为例，德国铁路公司与莱茵-美茵交通集团计划分阶段引入6辆L4级高度自动驾驶汽车，将其整合至公共交通系统。2024年6月，由博世集团、Mobileye等企业组成的联盟宣布获得了德国联邦机动车运输管理局的运营许可，技术团队正通过测试车辆验证高精度地图及交通数据采集能力。测试初期，车辆会配备安全驾驶员，后续将开放封闭用户群体呼叫自动驾驶出租车服务，覆盖达姆施塔特、埃格尔斯巴赫及朗根等区域的指定道路网。

中国政府通过政策扶持加速技术落地，2024年，北京、武汉等地率先发布《自动驾驶汽车条例》，明确L3级车辆的责任划分及运营规范。2025年4月，《北京市自动驾驶汽车条例》正式实施，涵盖个人乘用车、物流运输等多种场景。中国已批准9家车企（如比亚迪、蔚来、小鹏和广汽）开展L3级道路测试，为大规模应用奠定基础。北京、上海两地已经开放首批自动驾驶高速测试路段，允许L4级车辆在限定时段通行，目前

已有包括广汽、东风等15家企业获得自动驾驶公共道路测试许可。

国际车企也在积极与中国本地供应商合作，加速自动驾驶的本地化发展。梅赛德斯-奔驰与文远知行合作的L4级自动驾驶S级轿车，已在北京、上海同步测试，并计划2025年扩展至深圳、广州。大众汽车（中国）则展示了其与地平线的合资公司酷睿程共同研发的自动驾驶技术，测试车辆搭载定制化辅助驾驶芯片，目标直指L3级功能量产。

2 自动驾驶技术面临的挑战

2.1 技术瓶颈

当前行业共识显示，L3和L4级自动驾驶是当前的研发核心，而L5级全自动驾驶因技术复杂性被普遍认为难以实现。对于其中的关键技术瓶颈，德国乌尔姆应用技术大学人工智能教授Ralf Otte指出：“交通场景中存在大量不可计算的变量，现有AI（人工智能）系统仅能处理结构化问题。”这一观点得到了多数企业认同，Waymo、Mobileye等头部公司均将资源集中于有限场景的L4级技术优化，而非一味去追求“完全无人驾驶”。

2.2 信任构建

高度自动驾驶技术（L3及以上）常被宣称“几年内将实现量产”，这一做法已成为行业惯常的宣传手段，然而现实进展远未及预期。

以梅赛德斯-奔驰为例，其L3级自动驾驶系统Drive Pilot最开始发布的时候宣称可在时速95km/h内接管驾驶，但受限于德国境内高速公路右侧车道、跟随前车行驶、禁用隧道场景，且要求驾驶员全程保持

清醒。虽然 Drive Pilot 系统目前新增法国高速公路试点，最高时速限制也已提升至 130km/h，可在隧道场景进入测试阶段，但种种限制条件仍凸显了技术落地的复杂性。

核心挑战之一在于驾驶责任的动态移交，尤其是在 L3 级场景中，系统需频繁将控制权交还驾驶员。由于人类认知能力的显著差异，目前尚未形成普适、安全的移交流程。弗劳恩霍夫 IOSB 研究所的 Frederik Diederichs 博士指出：“责任移交需平衡安全性与用户体验，这对人机交互系统（HMI）提出了更高要求。”

另一个痛点在于驾驶员“模式意识”的认识。目前来看，驾驶员普遍缺乏对 L2+ 至 L4 级自动驾驶场景下操作规范与职责的清晰认知。

针对这些问题，德国联邦经济与气候保护部资助的“Karli”项目应运而生，该项目联合了 12 家机构，围绕以下三大课题展开攻关：

(1) 动态角色切换——如何在多级自动驾驶中实现驾驶员与车辆的高效协作？

(2) 人机交互优化——如何通过 HMI 设计提升用户对 AI 系统的感知与信任？

(3) 晕动症预防——如何通过 AI 主动监测并预防乘客的非驾驶活动和不适？

作为项目负责人，Frederik Diederichs 博士表示：“我们的任务是尽可能安全、舒适地实现主动与被动驾驶角色之间的切换。为此，我们充分利用了当今 AI 所提供的可能性”。其核心在于正确解析车内环境，并根据个体需求设计必要的人机交互方式。”截至目前，“Karli”项目发布了《L3/L4 级人机交互白皮书》，提出了“动态责任分配框架”，并已被 ISO 纳入自动驾驶标准草案。

中国政府也高度重视自动驾驶技术的研发与应用，正在通过多种方式支持相关项目的推进。国家智能网联汽车创新中心项目便是其中之一，该项目由汽车企业、科技企业、高校等多方参与，旨在攻克智能网联汽车共性技术难题，推动测试验证、标准制定等工作，为行业发展提供技术支撑和公共服务平台。此外，国家重点研发计划项目也涵盖了多个与自动驾驶相关的课题，如“智能汽车创新发展战略研究”“自动驾驶技术测试与示范”等，致力于提升中国自动驾驶技术的自主创新能力。

此外，早在 2024 年 7 月，工业和信息化部、公安部、自然资源部、住房和城乡建设部、交通运输部五部门联合发布了《关于开展智能网联汽车“车路云一体化”

应用试点工作的通知》，确定了北京、上海、深圳和广州等 20 个城市（联合体）作为首批应用试点城市。这一举措旨在加快形成全国可复制可推广的经验，推动智能网联汽车产业化落地。截至目前，各地的试点工作正在稳步推进。例如，江苏常州的智能网联汽车测试场项目已批准建设，将为技术研发和测试提供重要平台。北京发布了近 100 亿元的“车路云一体化”新基建项目规划，武汉的示范项目获市发展改革委批准，备案金额达 170 亿元。这些项目的实施，不仅体现了各城市对“车路云一体化”发展的坚定信心，也预示着这一领域将迎来巨大的发展机遇。

清华大学李克强院士作为智能网联汽车领域的权威专家，对“车路云一体化”有着深刻的认识 and 前瞻性的观点。他认为，“车路云一体化”对实现智能驾驶汽车产业化落地具有重要意义。他指出，智能网联汽车已进入新一代人工智能驱动的大模型、端到端的发展阶段，通过重点推动主要功能模块的全栈式网络和数据闭环训练，可以取得重要的应用进展。

李克强院士还强调，基于车路云一体化的智能网联汽车计算基础平台 / 云控基础平台的建立，为自动驾驶大模型训练提供了同时具备海量性和完备性的智能数据底座，促进产业高质量发展。此外，他还提到，推动“车路云一体化”需要确保项目形成商业闭环，使基础设施建设具备持续的投入产出机制，并进行系统设计，明确架构、方法论和流程规范。

3 技术创新与实践

基于政府的大力支持和政策引导，中国企业的自动驾驶技术发展迅速，如华为和 Momenta 等领先供应商，其前瞻技术研发进展备受关注。

华为的 ADS（Autonomous Driving Solution）系统不断迭代升级，从 2021 年的 ADS 1.0 到 2025 年的 ADS 4.0，实现了从依赖高精地图到无图化、从高速场景到城区场景的扩展。采用 WEWA 架构，云端世界引擎利用扩散生成模型技术生成极端驾驶场景，车端世界行为模型基于传感器数据训练并引入 MOE 多专家能力系统，使端到端时延降低 50%，通行效率提升 20%，重刹率降低 30%。搭载高精度固态激光雷达，最小感知精度达 3 cm，可应对多种障碍物，还配备“全目标舱内激光视觉 Limera”传感器，实现精准小目标检测和 100 km/h 下的舒适刹停。华为 ADS 的技术优势在于其强大的工程落地能力，包括自研的 AI 芯片、鸿蒙操

作系统、融合感知传感器及算法等，这些核心技术的自主可控为华为在自动驾驶领域的持续发展提供了坚实基础。

比亚迪在自动驾驶领域也取得了显著进展，其“天神之眼”系统作为重要的技术突破，引起了广泛关注。“天神之眼”是比亚迪自主研发的高级驾驶辅助系统，集成了多项先进的传感器和智能算法，能够实现从 L2+ 到 L3 级别的自动驾驶功能。该系统通过高精度摄像头、毫米波雷达和激光雷达等多种传感器的融合，提供全方位的环境感知能力，确保在复杂路况下的驾驶安全性和可靠性。比亚迪“天神之眼”不仅提升了车辆的智能化水平，也为消费者带来了更加便捷和安全的驾驶体验。随着技术的不断迭代和优化，比亚迪“天神之眼”有望在自动驾驶领域占据重要地位，推动中国汽车产业向智能化、自动化方向发展。

Momenta 作为中国智能驾驶行业的头部企业，其技术发展路径清晰且具有创新性。2023 年上半年，Momenta 基于深度学习的规划算法已经可以成熟量产上车。2024 年上半年，Momenta 实现了一段式端到端方案，整合了自动驾驶从感知到规划再到控制的全过程。2025 年 Momenta 的智驾大模型分为“短期记忆”和“长期记忆”两条支路，通过这种方式，能够大幅降低训练成本，提高训练效率。Momenta 目前有两大自动驾驶方案，分别为 MSD（完全无人驾驶方案）和 Mpilot（量产自动驾驶方案）。MSD Supervised 已实现“全国都能开，有路就能开”，未来将升级至 MSD Unsupervised，实现 L3/L4 自动驾驶。Mpilot 则包括 Super CP 和 Super Parking 等产品，提供无图过路口、红绿灯起停及拨杆变道等超级巡航辅助功能，以及自动泊车、遥控泊车及记忆泊车领航辅助等功能。Momenta 与全球前十车企中的一半展开了量产合作，包括上汽集团、通用汽车、丰田和奔驰等，其量产落地经验丰富，为数据闭环提供了强大支撑，进一步提升了算法能力。

特斯拉的 FSD（Full Self-Driving）系统入华也是自动驾驶领域的重要事件。特斯拉 FSD 系统以其先进的自动驾驶功能和持续的软件更新能力而闻名，入华后为中国消费者提供更加智能化的驾驶选择。特斯拉 FSD 系统通过大量的数据积累和机器学习算法，不断优化自动驾驶性能，能够在城市道路、高速公路等多种场景下实现自动驾驶。其入华不仅加剧了国内自动驾驶市场的竞争，也促使国内企业加快

技术研发和产品升级的步伐，推动整个行业的快速发展。

德国大陆集团主导开发的交互系统整合了转向盘、仪表盘以及触觉座椅等多模态物理界面，并通过摄像头与传感器实时监测驾驶员行为与环境数据。其核心为人机交互 HMI 2.0 代理系统，该系统决策基于驾驶员状态、场景复杂度和自动驾驶等级三个维度。驾驶员状态通过生物特征识别（目前新增基于脑电波的疲劳监测模块），以此判断驾驶员专注度。场景复杂度结合交通流量、天气条件等动态调整提示策略。自动驾驶等级针对 L2+ 至 L4 级设计差异化响应机制。例如，若驾驶员在 L3 级模式下违规转头向后看，系统优先触发触觉或听觉警告，而非视觉提示，以降低认知负荷。该代理机制通过强化学习进行虚拟训练，并在真实路测中优化响应逻辑。

基于驾驶员数据、环境数据以及当前自动驾驶等级，HMI 代理系统会计算符合当前自动驾驶等级的驾驶员行为，并确定该情境下最优的警告或责任移交流程。为此，HMI 库为代理提供了逻辑结构以及一组可供选择的警告信号。此外，还实现了根据环境情境进行时间限制的交互设计。每个信息元素都定义了逐步升级的警告层级，以逐步提高信号的紧迫性。大陆集团在公共道路上对 60 名受试者进行了 AI 辅助交互系统的评估。受试者在驾驶后对系统的用户友好性进行了评分，平均评分介于“良好”和“优秀”之间。试验表明，这种交互形式清晰易懂，能够显著提升自动驾驶的安全性和舒适性。

4 结语

自动驾驶技术作为未来交通的核心驱动力，虽然在技术研发和商业化落地方面取得了显著进展，但仍面临诸多挑战。美国、德国和中国在自动驾驶领域各具特色，通过政策支持和技术创新推动行业发展。美国在自动驾驶立法和企业技术领先方面具有优势，德国在法律框架和科研基础上表现出色，而中国政府通过政策扶持加速技术落地。尽管 L3 和 L4 级自动驾驶技术持续进步，但 L5 级全自动驾驶因技术复杂性仍被视为难以实现的目标。各国政府和企业通过政策扶持、技术创新和国际合作，为自动驾驶技术的发展提供了有力支持。未来，随着技术的不断突破和政策的进一步完善，自动驾驶技术有望在全球范围内实现更广泛的应用和推广。