



智能网联汽车 自动驾驶系 统测试场景自然语言描述 方法标准化需求研究报告

全国汽车标准化技术委员会
智能网联汽车分技术委员会

自动驾驶标准工作组

2023年11月

目 录

前言.....	1
1 基于场景的自动驾驶测试背景及现状.....	3
1.1 测试背景.....	3
1.2 测试现状.....	4
1.2.1 国外基于场景的自动驾驶汽车测试现状.....	4
1.2.2 国内基于场景的自动驾驶汽车测试现状.....	5
2 场景要素分类研究.....	17
2.1 场景要素背景.....	17
2.2 场景要素分类现状.....	17
2.2.1 美国国家公路交通安全管理局 NTHSA.....	17
2.2.2 ISO 34503.....	19
2.2.3 GB/T 《智能网联汽车 自动驾驶系统设计运行条件》.....	20
2.2.4 ISO 21448 & GB/T 《道路车辆 预期功能安全》.....	23
2.2.5 PEGASUS 项目.....	26
2.3 场景要素分类方法.....	27
2.3.1 道路层级描述方法及类别.....	29
2.3.2 基础设施描述方法及类别.....	30
2.3.3 暂时性操作描述方法及类别.....	32
2.3.4 目标物描述方法及类别.....	34
2.3.5 自车描述方法.....	37
2.3.6 自然环境描述方法及类别.....	38
2.3.7 数字信息描述方法及类别.....	38
3 测试场景描述语言及方法.....	39
3.1 场景描述语言背景.....	39
3.2 场景描述语言现状.....	40
3.3 场景描述语言方法.....	44
3.3.1 静态场景描述方法.....	45
3.3.2 动态场景描述方法.....	47
3.3.3 动静态场景描述方法.....	48

4 场景描述语言标准化研究.....	63
4.1 场景描述语言标准化现状.....	63
4.2 场景描述语言标准化需求分析.....	65
5 场景自然语言描述方法标准化建议.....	67
参考文献.....	70

汽标委智能网联汽车分会

前言

随着自动驾驶等级的提高，面向传统汽车的测试工具与测试方法已不能满足自动驾驶汽车测试的需要。基于场景的虚拟测试方法在测试效率、测试成本等方面具有巨大的技术优势，是未来自动驾驶汽车测试验证的重要手段，已成为当前的研究热点。基于场景的测试方法在国际范围内被认为是开展自动驾驶测试的有效方式。联合国世界车辆法规协调论坛（UN/WP.29）、国际标准化组织（ISO）和国际团体标准制定组织就自动驾驶测试场景标准法规研究开展了大量工作，形成了丰富的研究成果。由于自动驾驶是人-车-环境-任务强耦合系统，行业普遍认为需要引进高效全面的场景化测试手段才能全面综合地对其开展功能及性能测试，因此，严谨、灵活并且标准化的测试场景是支撑上述工作开展的重要基础性支撑。一种设计良好的自动驾驶仿真场景自然语言描述方法是构建测试场景的关键要素，与此同时，国际国内相关领域技术标准和管理规范尚未建立，场景描述方式碎片化，行业应用存在一定的盲目性，不利于技术发展和应用落地。基于对自动驾驶系统测试场景自然语言描述方法的标准化需求的研究，梳理形成其标准研究思路，将对后续标准研制工作进行顶层规划，有利于推动形成行业共识，明确标准化工作重点，统筹协调优势资源，加速相关产业链及生态的建立与完善。

本研究广泛联合整车企业、零部件供应商、自动驾驶解决方案企业、第三方研究机构，聚焦自动驾驶系统测试场景描述方法，充分调研国内外基于场景的自动驾驶测试背景及现状，并对场景要素分类框架、场景要素描述方式、基于描述语言的场景分析技术等重

点内容深入分析，并在此基础上分析得出自动驾驶系统测试场景描述方法的标准化需求，给出相应的下一步标准制定工作的相关建议。

在本研究报告编制过程中，各起草单位参阅了大量材料，并借鉴了行业的部分素材，鉴于篇幅有限，这里不一一列举，仅作诚挚的感谢！

在此，再次衷心感谢参与研究报告编写的各个单位和组织：中国汽车技术研究中心有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、北京与之科技有限公司、小米汽车科技有限公司、上海交通大学、北京国家新能源汽车技术创新中心有限公司、北京赛目科技有限公司、北京航迹科技有限公司、清华大学苏州汽车研究院、北京百度智行科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、吉利汽车研究院（宁波）有限公司、启明信息技术股份有限公司、惠州市德赛西威汽车电子股份有限公司、华为技术有限公司、一汽解放汽车有限公司、中国第一汽车集团有限公司、西华大学、北京智能车联产业创新中心有限公司、北京汽车研究总院有限公司、苏州智加科技有限公司、极氪汽车（宁波杭州湾新区）有限公司、华东师范大学、信通院车联网创新中心（成都）有限公司。

主要编写人员：华一丁、李志杰、周博林、陈韵巧、李牧、王亚飞、刘旭磊、黄思德、白智敏、鞠晓男、朱振夏、王艳华、程汉、周辰霖、牟柯、王野、郭建华、易礼艳、高鲁涛、吴爱文、郑建明、于鹏、林强、吕佳颖、曹莹琦、刘鑫、杜德慧、程周、王宇航、李鹏、黄志凌、徐娟、李泽星、王泽兴、孙磊、刘秀玲、孙良、邢晓航、胡孟夏、查仁方、孙凯、肖丽莉、陈星筑、王龙翔。

1 基于场景的自动驾驶测试背景及现状

1.1 测试背景

自动驾驶汽车测试是自动驾驶研发中的重要环节，也是自动驾驶技术发展的重要支撑。自动驾驶车辆从研发到商业化运营，一般可分成仿真测试、封闭场测试、开放道路测试、开放区域测试、规模化部署五个阶段。由于各国交通环境不一样、极端情况应对难、实际路测成本高等原因，基于场景库的仿真测试已成为业内主要的测试手段。目前的实际工作中，自动驾驶算法测试大约 90%通过仿真平台完成，9%在测试场完成，1%通过实际道路测试完成。

自动驾驶测试场景是指在一定的时间和空间范围内，自动驾驶汽车与行驶环境中的其它车辆、道路、交通设施、气象条件等元素综合交互过程的一种总体动态描述。这是自动驾驶汽车的驾驶情景与行驶环境的有机组合，既包括各类实体元素，也涵盖了实体执行的动作及实体之间的连接关系。场景是自动驾驶汽车测试技术的基础，基于场景的自动驾驶汽车测试是指在特定场景下对自动驾驶汽车进行测试的方法。测试人员会模拟各种真实场景，如城市道路、高速公路、山路等，通过不同的测试用例来验证自动驾驶汽车在各种场景下的表现。此类测试方法能够帮助开发人员发现和解决自动驾驶汽车在特定场景下可能出现的问题，从而提高自动驾驶汽车的安全性和可靠性。

基于场景的自动驾驶测试，目的是为了验证自动驾驶汽车的各种功能和性能是否达到预期；为了充分暴露自动驾驶汽车的设计缺陷，需要以场景为基础，构建起包括仿真测试、封闭场地测试及开放道路测试等在内的 workflow，解决场景定义、分类、数据挖掘分析、场景生成等多个方面的技术难题。

基于场景的自动驾驶汽车测试具有重要的意义，一是能帮助开发人员和汽车认证检测机构了解自动驾驶汽车在不同场景下的表现，进一步完善优化对自动驾驶系统产品的验证测试流程和认证检测方法，从而进一步提高自动驾驶汽车的性能和功能。二是通过多场景测试提高自动驾驶系统的安全性，基于日益丰富的测试数据积累、场景库建设及应用，进而大幅提升自动驾驶汽车系统的安全性与持续升级。三是帮助政府机构和组织制定相关的法规和标准，以标准化指导自动驾驶汽车行业在设计、生产制造及应用等方面的工作开展。

1.2 测试现状

基于场景的测试方法是通过预先设定的场景，要求被测车辆完成某项特定目标或任务而对其进行测试的方法。相比于里程测试，基于场景的测试方法应用更加灵活，测试效率高且更有针对性。测试场景的筛选，缩减了里程测试过程中大量“无风险”里程，有助于自动驾驶汽车功能的快速迭代和完善，故基于场景的自动驾驶汽车测试得到普遍应用。

基于场景的自动驾驶汽车测试方法在受控程度不同的各级测试环境内实施，包括模型在环（MIL）、软件在环（SIL）、硬件在环（HIL）、驾驶员在环（DIL）、整车在环（VIL）等基于虚拟技术的测试环境，以及受控封闭场地、开放道路等真实测试环境。基于场景的自动驾驶汽车测试中，针对场景测试基础理论、应用方法、技术的研究越来越受到国内外产业界和学术界的重视。

1.2.1 国外基于场景的自动驾驶汽车测试现状

国外，基于场景的自动驾驶汽车测试方面的研究主要集中在日本、德国及美国等国家。主要如下：

2013年，日本启动了名为SIP(战略性创新创造方案)的项目SIP-ADUS(Innovation of Automated Driving for Universal Services)，其中涉及自动驾驶场地操作测试(FOT)等研究内容，于2018年日本就已完成30万公里公路的3D高精地图绘制，进行了基于自动驾驶测试场景动态地图实验和人机交互实验，并进行驾驶人集中度、接管所需时长的验证。

2016年，德国发起PEGASUS项目，于2019年年底建成应用于系统开发和测试验证的场景库。

2018年，美国国家公路交通安全管理局(NHTSA)启动了“自动驾驶系统测试用例和场景框架”研究项目，旨在为自动驾驶系统概念开发提供测试场景框架。该项目的目标是通过将模拟仿真、场地测试和道路测试相结合的基本思想，开发一个通用的场景框架，以帮助测试人员识别并测试自动驾驶系统在不同情境下的表现；美国SAE International(Society of Automotive Engineers)发起的基于场景的测试方法研究项目“自动驾驶汽车可变性能测试”，该测试方法包括模拟及虚拟测试、封闭道路测试和开放道路测试三个类别。

1.2.2 国内基于场景的自动驾驶汽车测试现状

我国基于场景的自动驾驶测试技术或项目研究方面取得了显著进展，主要集中在以下几个方面：

(1) 基于场景的自动驾驶仿真测试

基于场景的自动驾驶仿真测试的研究与应用，主要表现在数据采集、场景建模与仿真测试等方面。数据是自动驾驶系统训练和测试的重要基础，中国的相关研究机构和公司已经在数据采集和处理技术方面做了大量的工作。而基于场景的虚拟仿真测试主要通过建

立虚拟的道路场景和车辆行驶行为模型，实现自动驾驶系统在虚拟环境下的测试。

根据公开资料以及各参编单位提供的调研资料整理，国内有许多机构和公司开展了相关的研究，以下列举部分案例：

2011年，中国汽车技术研究中心启动了中国交通事故深入研究项目 China In-Depth Accident Study (CIDAS) 对于中国典型的交通事故进行了广泛的收集，对自动驾驶的场景库仿真与研究具有重要意义，其自2015年开展驾驶场景数据采集及分析研究，经过多年的经验积累，逐步形成了完善的数据采集规范、数据处理流程、特征提取方法、场景数据库结构规范、测试用例数据格式、驾驶场景虚拟仿真测试方法等理论体系。

2011年8月，由缺陷产品管理中心联合国内多家车辆事故研究机构、机动车司法鉴定中心共同建立国家车辆事故深度调查体系（National Automobile Accident In-Depth Investigation System, NAIS），服务我国汽车召回、车辆事故研究、汽车产品安全性改进等。目前，NAIS车辆事故深度调查采集站点在全国已发展有7个站点，区域分布在华北、华东、西南和中部地区，涵盖了平原、丘陵、山区和高原等多种地域，事故采集类型包括道路交通事故、车辆火灾事故以及其他疑似安全隐患事故等。

2016年，清华大学苏州汽车研究院开始致力于对交通视频的分析与挖掘工作，运用这些数据可以仿真再现道路上的真实场景。

2017年6月，国家智能网联汽车(上海)试点示范区启动“昆仑计划：中国智能驾驶全息场景库建设”项目。

另外，吉利汽车于2017年开展智能驾驶在环仿真平台项目研究，目前已覆盖场景库构建、车辆动力学模型开发、自动化测试工具开

发、评价体系开发、传感器模型开发等模块。图 1.1、图 1.2 所示为已实现的部分功能展示：

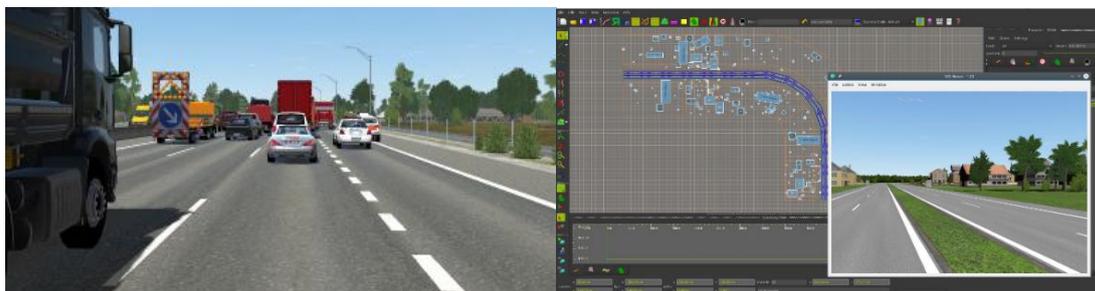


图 1.1 静态地图及动态场景展示



图 1.2 传感器模型展示（鱼眼相机、激光雷达点云信息）

2018 年，国汽智联公司组织行业相关企业成立了联合项目组进行“中国标准 ICV 场景库理论架构体系”的研究，共同完成了基于中国道路特色的 ICV 场景库理论架构体系研究报告(草案)，为下一阶段规模化的场景数据采集提供理论指导和作业过程方法；中国汽车工程研究院于 2018 年发布“中国典型驾驶场景库 V1.0”，同时在数据采集方面发布了数据采集规范、设备方案、数据标定与融合算法、道路试验平台，在场景库构建工具方面，发布了场景数据的提取、标注、聚类、虚拟转换的软件工具，该场景库已在 2023 年升级到 3.0 版本。百度的 Apollo 开放平台于 2018 年发布 Apollo Scape 自动驾驶数据集。

近三年，在基于场景的自动驾驶仿真测试方面，各企业或研究机构逐渐在成体系化地研究。主要如下：

2020年，中国汽车技术研究中心牵头，与北京赛目科技股份有限公司等9家单位成立联合项目组承担工信部“智能网联汽车关键技术标准及仿真测试验证公共服务平台”研究项目，以“一个标准体系+一个测试平台+一个资源管理站+一个产业服务中心”为主要内容，开展智能化场景库建设（详见图1.3），开发场景生成自动化工具链，同时支持30路信号的同步采集；场景自动化识别准确率85%以上，搭建模拟仿真场景库，场景数量不少于10000个。测试平台部分以建立模拟仿真测试评价体系为重点，构建全面支撑智能网联汽车模拟仿真、封闭场地和实际道路等测试评价实施的技术服务体系。



图 1.3 智能化测试场景库

2020年，中国汽车工程研究院股份有限公司与公安部道路交通安全研究中心联合开展了“公安部道研中心-自动驾驶道交法准入仿真测试平台”研究项目，基于自动驾驶行业发展，针对《中华人民共和国道路交通安全法》研究基于交规符合性、运行安全性的评价体系，从而构建自动驾驶准入仿真平台，该项目已于2023年9月份完成验收结项。

2021年6月，国家新能源汽车技术创新中心启动建设新能源汽车数字化场景体验试验室项目，该项目主要开展基于数字化场景的用户驾乘体验研究，已于2023年9月份投入使用。该数字化场景体

验实验室投入使用后，能实现在车辆研发早期产品定义阶段，为主机厂或零部件供应商的用户体验设计开发提供高还原场景的研究和评测手段，开展用户体验一站式测评闭环服务，比如客户需求调研、用户体验场景还原（柔性座舱+VR+车外环境还原模拟 见图 1.4）、用户体验测试（构建评价体系：主观评价+人因客观测试）以及用户场景体验评价及设计等服务，帮助其发掘用户关注的热点及潜在趋势，开发以用户体验为核心的、有亮点、有卖点的产品提供助力。



图 1.4 国创中心基于数字化场景的用户体验驾驶模拟平台

2021 年 7 月，百度启动自动驾驶模拟仿真平台项目研究，该项目致力于建立面向国内道路环境场景仿真覆盖度高、数据全、精度高的道路环境场景仿真平台，为国内自动驾驶道路环境仿真提供高可用的基础仿真云平台服务。重点突破静态场景还原、动态案例仿真、传感器仿真、车辆动力学仿真、并行加速计算等功能，并能够接入自动驾驶感知和决策控制系统，自研自动驾驶模拟仿真配套工具。具备为全产业链企业提供道路环境场景仿真测试与应用服务的能力。

另外一汽解放、北汽等整车企业对 L2 级别自动驾驶进行仿真测试研究，根据内部项目功能测试需求，进行仿真场景设计。基于仿真软件进行场景搭建，通过编程语言对场景泛化用以满足当前阶段测试。

(2) 基于场景的封闭道路及开放道路的测试现状

除了虚拟环境下的仿真测试外，实地测试也是自动驾驶技术研究的必要手段。中国已经建设了三十多个自动驾驶测试场地（如表 1.1 所示），以及包括北京自动驾驶示范区、上海自动驾驶示范区等在内的若干示范区。同时，国内多个城市也已经开始在公共道路上测试自动驾驶车辆，并逐步试点无人驾驶商业化运营测试。

表 1.1 国内智能网联汽车封闭测试场情况表

区域	省份	城市	名称	所属单位
华东	上海	上海	国家智能网联汽车（上海）试点示范区封闭道路测试区	上海国际汽车城（集团）有限公司
		上海	同济大学智能网联汽车测试评价基地	同济大学
		上海	上海临港智能网联汽车综合测试示范区	上海临港智能网联汽车研究中心有限公司
	江苏	无锡	国家智能交通综合测试基地（无锡）	公安部交通管理科学研究所
		常熟	中国智能车综合技术研发与测试中心	中国科学院自动化研究所、西安交通大学、长安大学、青岛智能产业技术研究

区域	省份	城市	名称	所属单位
华				院
		泰兴	自动驾驶封闭场地测试基地 (泰兴)	国家 ITS 中心 智能驾驶及智能交通研究院
		盐城	中汽中心盐城汽车试验场	中国汽车技术 研究中心
	浙江	嘉兴	嘉善智能网联汽车产业园 5G 封闭测试场	嘉善产业新城
		嘉兴	嘉兴桐乡封闭测试场	中电海康集团 有限公司
		德清	智能网联汽车封闭测试场	德清车百高新 智能汽车示范区运营有限公司
	安徽	合肥	智能网联汽车封闭测试场	合肥市包河城市 建设投资有限公司
	福建	福州	平潭无人驾驶汽车测试基地	平潭综合实验 区
	山东	济南	齐鲁交通智能网联高速公路测 试基地	齐鲁交通发展 集团
		东营	华东(东营)智能网联汽车试 验场	中国一汽、赛 轮集团
		青岛	即墨智能网联汽车测试基地	一汽大众西侧 零部件园区
	江西	上饶	上饶新能源智能化汽车综合试 验场	中交(上饶) 汽车综合试验 有限公司
	湖南	长沙	国家智能网联汽车(长沙)测	湖南湘江智能

区域	省份	城市	名称	所属单位
中			试区（原“湖南湘江新区智能系统测试区”）	科技创新中心有限公司
	湖北	武汉	智能网联汽车封闭测试场	国家智能网联汽车（武汉）测试示范区
		襄阳	襄阳汽车试验场/襄阳市智能网联汽车道路测试封闭试验场	东风汽车工程研究院
	河南	焦作	河南凯瑞车辆检测认证中心	中国汽车工程研究院股份有限公司、黄河交通学院
华北	北京	北京	交通部公路交通试验场/北京通州国家运营车辆自动驾驶与车路协同测试基地	交通部公路科学研究所
		北京	国家智能汽车与智慧交通（京津冀）示范区亦庄基地	北京智能车联产业创新中心
		北京	国家智能汽车与智慧交通（京津冀）示范区顺义基地	北京顺创智能网联科技发展有限公司
	河北	保定	徐水长城汽车综合试验场	长城汽车股份有限公司
	天津	天津	西青区王稳庄镇封闭测试场	国家智能网联汽车质量监督检验中心（天津）
东北	吉林	长春	国家智能网联汽车应用（北方）示范区净月测试场	启明信息技术股份有限公司
	黑龙江	黑河	黑龙江省黑河市自动驾驶测试场项目	黑龙江省交投智能网联汽车产业创新有限

区域	省份	城市	名称	所属单位
				公司
华南	广东	广州	番禺区广汽智能网联汽车封闭测试场	广州汽车集团股份有限公司
		广州	南沙区庆盛智能网联汽车封闭测试场	广州南沙开发区管委会、广东省交通集团有限公司、交通运输部公路科学研究院
		广州	花都区智能网联汽车封闭测试场	广州市花都汽车城管理委员会
		广州	中汽中心华南基地智能网联汽车封闭试验场	中国汽车技术研究中心
		广州	增城区工信部电子五所封闭测试场	工信部电子五所
		韶关	南方（韶关）智能网联新能源汽车试验检测中心	广州汽车集团股份有限公司
		深圳	坪山智能网联汽车封闭测试场	深圳市未来智能网联交通系统产业创新中心
	广西	柳州	柳汽智能网联测试场	东风柳州汽车有限公司
		柳州	上汽通用五菱研发与试验认证中心整车试验场	上汽通用五菱汽车股份有限公司
	海南	琼海	海南热带汽车试验场（国家智能网联汽车封闭测试基地（海南））	中国第一汽车集团有限公司

区域	省份	城市	名称	所属单位
西南	重庆	重庆	城市模拟道路测试评价及试验示范区	中国汽车工程研究院股份有限公司
		重庆	中国汽研智能网联汽车试验基地（大足基地）	中国汽车工程研究院股份有限公司
		重庆	重庆机动车强检试验场/重庆车检院自动驾驶测试应用示范基地	招商局检测车辆技术研究院有限公司
	四川	成都	中德合作智能网联汽车、车联网四川试验基地	成都市龙泉驿区
		德阳	德阳 Dicity 智能网联汽车测试与示范运营基地	中国汽车技术研究中心、中国人工智能学会及密西根大学
西北	陕西	西安	长安大学车联网与智能汽车试验场	长安大学
	宁夏	银川	中国银川智能网联汽车测试与示范运营基地	中国汽车技术研究中心

备注：截止 2022 年国内智能网联汽车封闭测试场汇总

公安部交通管理研究所综合了国内交通情况及国外测试基地管理模式，初步设计了我国自动驾驶能力测试场景，包含封闭、半开放、开放、高速和虚拟五种测试环境，测试场景库和评价规则库两个测试评价库，以及1个自动驾驶能力测试评价平台。目前，测试环境已形成以封闭场地为点、以半开放道路为线、以全开放道路为面的测试布局。其中，封闭场地占地200亩，拥有公路、城市道路、高速公路、环道、多功能、室内六大测试区；半开放道路环境拥有10公里测试道路、146个视频全程监控点和9个信控路口。下一步将围绕这些设计方面，不断完善测试环境、评价库和评价平台建设，对车企开放测试环境，提供驾驶能力测试评价服务。

工业和信息化部近年推进了重庆、北京、浙江、武汉、长春、上海、无锡、天津等城市的智能网联或自动驾驶示范区，打造基于自动驾驶技术和产业需求的智能网联汽车测试场景以智能驾驶、智慧路网、车路协同、新能源汽车、联网汽车等关键技术为牵引以构建“安全、绿色、高效、便捷”为最终目标的智能汽车与智慧交通产业创示范应用区，促进我国智能汽车、智慧交通和宽带移动互联网协同发展。

无锡车联网(LTE-V2X)城市级示范应用项目于2018年5月正式签约揭牌标志着全球第一个城市级的车路协同商用平台——车联网(LTE-V2X)城市级示范应用重大项目已经进入全面实施阶段。

据启明信息技术股份有限公司反馈，由该公司为主体于2020年执行的红旗EV测试牌照申请项目，对红旗EV网联汽车进行封闭道路测试，测试场景包括中国智能网联汽车产业创新联盟和全国汽标委智能网联汽车分技术委员会联合发布的《智能网联汽车自动驾驶功能测试规程》14项34个场景。同年9月完成封闭道路测试，10

月至次年1月，在中国第一汽车集团有限公司的总部周边开放道路进行道路测试，触发场景事件800余个。于2023年执行的红旗E-HS9测试牌照申请及技术指标三方测试项目，对红旗E-HS9 L4智驾网联汽车进行封闭道路测试、三方技术指标测试。牌照申请测试场景包括中国智能网联汽车产业创新联盟和全国汽标委智能网联汽车分技术委员会联合发布的《智能网联汽车自动驾驶功能测试规程》14项34个场景，技术指标类测试场景150余个。

(3) 自动驾驶标准和法规研究

随着自动驾驶技术的发展，标准和法规的研究也变得尤为重要。中国已经出台了多个相关政策和标准，如《智能网联汽车道路测试管理规范》、《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范（试行）》以及2021年4月工信部《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》征求意见稿等，为自动驾驶技术的研究和推广提供了法规保障。

特别值得注意的是，在《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》征求意见稿中将仿真测试写入了产品准入测试要求，从而加速了基于场景的自动驾驶测试发展及应用。从全球范围来看，针对测试场景的研究逐渐成为自动驾驶汽车测试工作的关键。而中国，总的来说在基于场景的自动驾驶汽车测试场景技术研究方面已经取得了一定的成果，未来还需要在数据质量、测试环境的真实性、标准法规等方面进一步完善和加强。

2 场景要素分类研究

2.1 场景要素背景

场景是自动驾驶车辆的驾驶情景与驾驶环境的有机结合，既包括各类实体元素，也涵盖了实体执行的动作及实体之间的连接关系，如自动驾驶车辆自身信息、环境内的实体行为、周围的事件以及相关目标和数值。确定场景要素是进行基于场景的自动驾驶汽车虚拟测试的首要环节。每一个自动驾驶仿真测试场景中测试车辆在行驶的过程中会影响周围的场景要素，反过来周围场景要素也会对测试车辆产生影响，尤其是测试车辆与其他交通参与者的交互。因此，自动驾驶汽车在测试过程中，测试车辆和周围驾驶环境之间相互作用形成闭环。但现阶段，针对场景要素的种类和具体内容，不同研究对于场景要素的分类方式也存在不同。

2.2 场景要素分类现状

当前自动驾驶场景要素分类方法大多基于欧美标准，划分为静态元素和动态元素两部分。静态场景元素在场景覆盖的较短时间内不发生改变，例如道路、交通设施等，动态场景元素是情景随时间演化的主要组成部分，例如气象条件、环境中的其他交通参与者。本节将针对国内外场景要素分类的研究与标准法规进展情况进行简单介绍。

2.2.1 美国国家公路交通安全管理局 NHTSA

美国国家公路交通安全管理局（National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA）于2018年发布了《A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios》，其中采用六大要素构建设计运行域（图2.1），包括：

- 基础设施
- 驾驶操作限制
- 目标物
- 互联
- 环境条件
- 区域

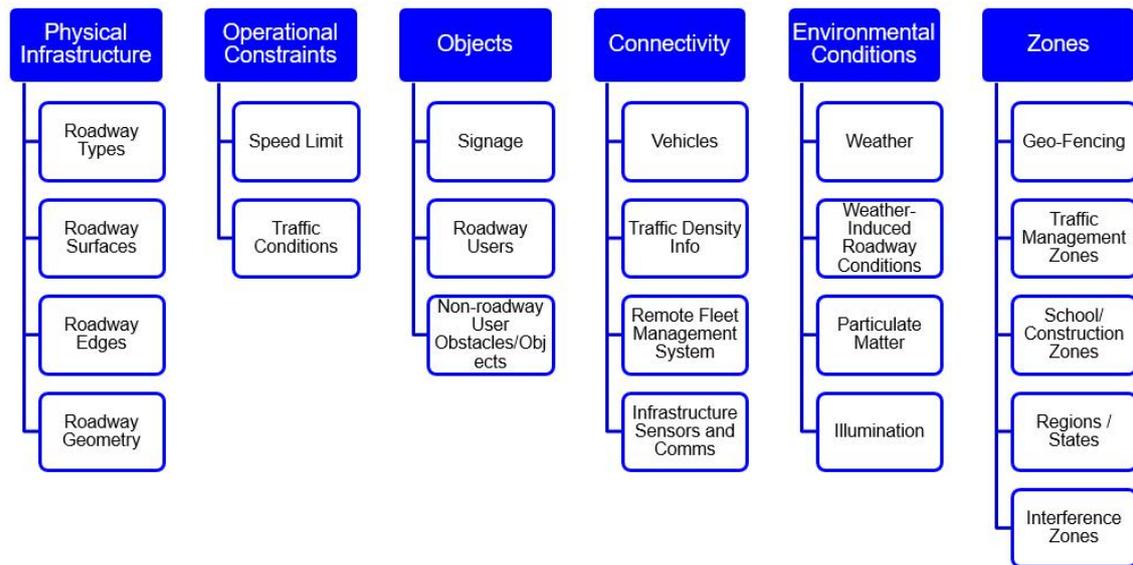


图 2.1 NTHSA-设计运行域分类框架

NTHSA 中对于场景要素各层级分类如表 2.1 所示。

表 2.1 NTHSA 场景要素分类

一级要素	二级要素	三级要素
基础设施	道路类型	分车道公路、无分隔带公路、可逆车道等
	道路表面	沥青、泥土等
	道路边缘和标记	车道标志、路肩、铁轨等
	道路几何	直道、弯道、车道宽度等
驾驶操作限制	速度限制	最低限速、最高限速等
	交通状况	交通流密度、临时状况等
目标物	标志标牌	交通标志、人行横道、信号、手势等
	道路使用者	机动车、行人、自行车等
	非道路使用者（障碍物）	动物、购物车、垃圾等
环境条件	天气	风、雨、雪、温度等
	天气诱发的道路条件	坑洼、结冰、积雪等
	颗粒物	雾、霾、扬尘等
	照明	白天、傍晚、路灯、前照灯等
互联	车辆通信	V2I和V2V通信、应急车辆等
	远程舰队管理系统	-
	基础设施传感器	工作区警报、事故管理等
	数字基础设施	GPS、三维地图、气象资料等
区域	地理围栏	校园、退休社区、固定路线等
	交通管控区域	临时管控、动态交通标志等
	学校/建筑区域	动态速度限制、车辆行为等
	地区/国家	法律法规、注意事项等
	干扰区域	隧道、停车场、GPS信号弱、密林等

2.2.2 ISO 34503

ISO 34503:2023-道路车辆-自动驾驶系统测试场景-ODD 运行设计域规范 (Road Vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Specification for operational design

domain) 中规定了用于定义自动驾驶系统 (ADS) 设计运行范围 (ODD) 的分层分类法的基本要求。ODD 包括静态和动态属性, 可以用来开发测试场景, 其中关于 ODD 的顶层描述如下:

(1) 静态环境

- 区域
- 可行驶区域
- 交叉口
- 基本道路结构
- 特殊结构
- 临时可行驶区域结构

(2) 环境条件

- 天气
- 颗粒物
- 光照
- 互联

(3) 动态元素

- 交通参与者
- 目标车辆

2.2.3 GB/T 《智能网联汽车 自动驾驶系统设计运行条件》

对标国际标准 ISO 34503, 国内针对自动驾驶系统设计运行条件也制定了符合中国特色的国家标准 GB/T 《智能网联汽车 自动驾驶系统设计运行条件 (征求意见稿) 》, 该标准规定了设计运行条件 (ODC) 的基础元素集合及要求。其中基础元素包含设计运行范围、驾乘人员状态和车辆状态三部分 (图 2.2)。

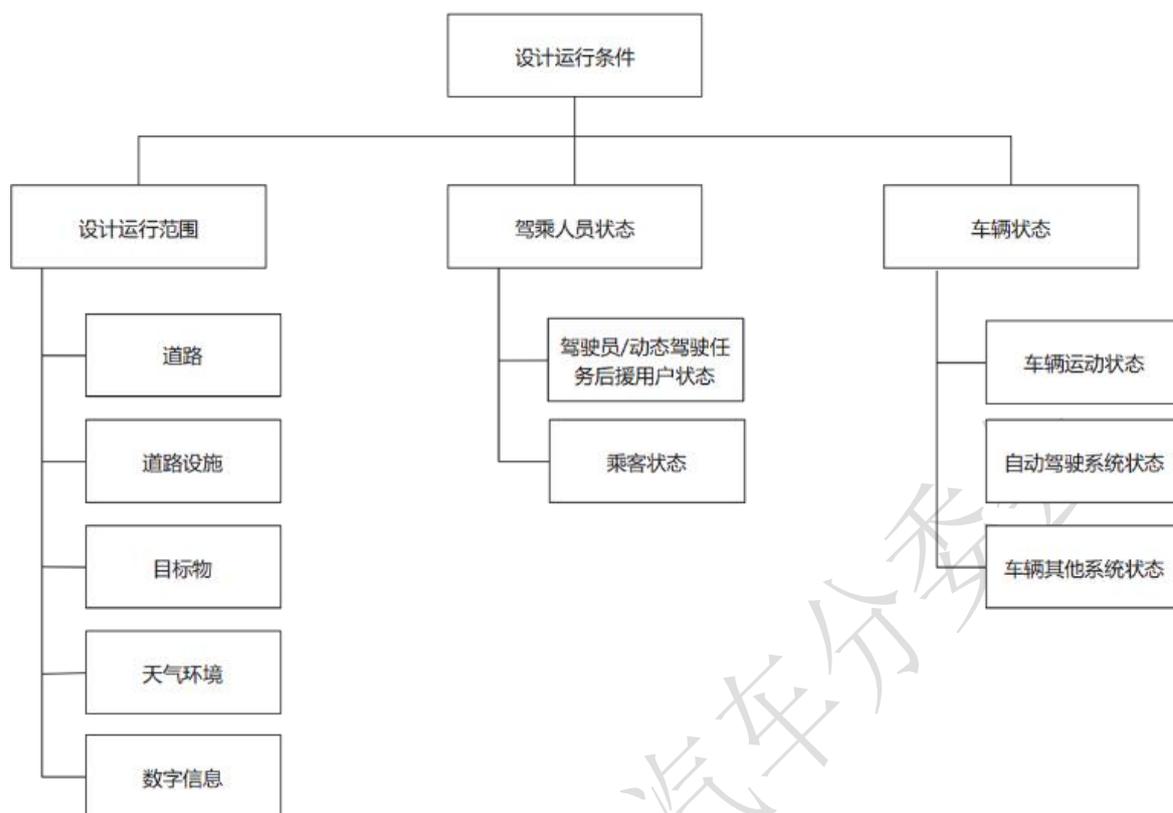


图 2.2 ODC 基础元素集合第一及第二层级

自第一层级的 ODC 元素向下可进行更为细致的元素分类，设计运行范围、驾乘人员状态和车辆状态分别如表 2.2、表 2.3 和表 2.4 所示。

表 2.2 ODD 基础元素集合

第二层级	第三层级	第四层级
道路	道路类型	区域、城市道路、公路、乡村道路、其他道路、停车区域
	道路表面	类型、道路表面质量、道路表面覆盖物
	道路几何	平面、纵断面、横断面
	车道特征	道路交通标线、车道类型、车道数、车道宽度
	道路边缘	护栏、路缘石、临时道路边缘、硬路肩、土路肩、边沟
	道路交叉	平面交叉、环岛、立体交叉、互通、匝道

第二层级	第三层级	第四层级
道路设施	交通控制设施	道路交通标志、交通信号灯
	道路基础设施	建筑、树木、路灯、交通警示柱
	特殊设施	道闸系统、桥梁、人行横道、限高/限宽设施、井盖、减速带、铁路交叉、隧道、收费站、临时铺路钢板
	道路临时设施	道路施工、事故现场、交通管制
目标物	机动车	-
	非机动车	-
	行人	-
	动物	-
	障碍物	-
天气环境	天气	风、雨、雪、特殊天气
	颗粒物	雾、霾、扬尘、烟雾
	光照	自然光源、人工光源
	气温	-
数字信息	无线通信	V2V、V2I、V2P、V2N
	位置信号	全球卫星导航定位系统类型、RTK

表 2.3 驾乘人员状态基础元素集合

第二层级	第三层级	第四层级
驾驶员/动态驾驶任务 (DDT) 后援用户状态	接管能力状态	注意力状态、其他状态
	安全带状态	-
	位姿状态	-
乘客状态	干扰状态	-
	安全带状态	-
	其他状态	-

表 2.4 车辆状态基础元素集合

第二层级	第三层级	第四层级
车辆运动状态	速度	运行速度、激活速度
	加速度	运行加速度、激活加速度
系统状态	-	-
车辆其他系统状态	-	-

2.2.4 ISO 21448 & GB/T 《道路车辆 预期功能安全》

ISO 21448: 2022-道路车辆 预期功能安全 (Road vehicles — Safety of the intended functionality) 和 GB/T 《道路车辆 预期功能安全》在附录 B 中展示了针对 SOTIF 安全分析方法的场景因素构建示例，其中表 B.3 给出的场景要素示例分类如下：

- 天气
- 一天中的时间
- 道路/车道形状
- 道路特征
- 路面条件
- 光照条件
- 周围车辆：前车、侧边车辆、对向来车
- 其他交通参与者
- 路边目标
- 路面标线
- 路面异物
- 自车状态
- 自车行为

同时，附录 B 中对于场景要素结构层级定义如下，场景因素结构（非穷举）示例如表 2.5 所示。

- 第 1 层：街道布局和路面条件；
- 第 2 层：交通引导设施，例如标识，障碍和标记；
- 第 3 层：临时建筑工地的拓扑和几何叠加；
- 第 4 层：道路使用者和目标，包括基于操作的交互；

➤第5层：环境条件（例如：天气和时刻），包括其对第1到第4层的影响；

➤第6层：数字信息，包括其对第1到第5层的影响。

表 2.5 场景因素结构（非穷举）示例

第1层因素	第2层因素	第3层因素	第4层因素		
道路几何形状和拓扑	道路类型	高速公路			
		乡村路			
		城市路			
	道路几何形状	直道	弯道		
			水平		
	道路海拔	上坡	下坡		
			道路横断面	车道数量	
				车道标记	
	道路表面	粗糙度	沥青		
			混凝土		
			铺装路面		
		损坏情况	碎石路面		
	裂缝				
	道路交叉口		坑洞		
			发散		
			汇合		
交织					
道路设施和限制	边界	路口			
		柱			
		护栏			
		混凝土屏障			
		噪音屏障			
		隧道	架空间降		
	桥梁	架空间障			
		实体在桥下移动			
	交通标识		交通灯		

第1层因素	第2层因素	第3层因素	第4层因素
		警告	
		限速	
临时物理限制	车道重新分配		
	车道标记		
	道路作业标识		
	道路作业路障		
可移动实体	实体类型	车辆	小轿车
			卡车
			大巴
			轻轨
			摩托车
			应急车辆
			农用车
			脚踏车
			婴儿
			幼儿
	成人		
		动物	
		目标	
	操作	巡航	高速
			低速
		速度变化	减速
			加速
		跟随	
		靠近	
		通过	
		变道	左
			右
		转向	左
	右		
掉头			
安全停车			
相对位置	左		
	右		
	前		
	后		

第1层因素	第2层因素	第3层因素	第4层因素	
环境条件	一天中的时间	清晨		
		白天		
		傍晚		
		夜间		
	气候条件	温度		
		能见度		
		风		
		云		
		降水	雨	
			冰雹	
			雨夹雪	
	雪			
	光照条件	日光		
		月光		
	路面条件	干燥		
潮湿				
雪覆盖				
结冰				
数字信息	V2X信息			
	数字地图数据			

2.2.5 PEGASUS 项目

目前仿真场景普遍沿用 PEGASUS 项目的场景六层模型（见图 2.3），静态场景描述了道路网络，从而描述了六层模型的前三层。动态场景描述了交通参与者之间的交互作用以及环境条件，从而描述了六层模型的后三层。



图 2.3 PEGASUS 场景六层模型

- 第一层：道路层级，要素主要包括几何结构，路面质量、边界（路面）。
- 第二层：基础设施，要素主要包括边界（结构）、交通标志牌、信号灯等。
- 第三层：第一层与第二层的暂时性操纵，要素主要包括道路的临时性设施，如临时封路、道路施工现场等。
- 第四层：目标物，要素主要包括交通参与者状态、行为等。
- 第五层：自然环境，要素主要包括天气、光照等其他环境信息。
- 第六层：数字信息，要素主要包括 V2X 信息、数字地图信息等数字信息。

2.3 场景要素分类方法

基于 Pegasus 场景六层模型，综合考虑测试车辆应作为测试场景的一部分，与周围行驶环境构成测试场景的整体。本章节将自动驾驶场景要素划分为测试车辆自身要素和外部环境要素 2 大类，其中外部环境要素包括动态场景要素和静态场景要素（见图 2.4）。



图 2.4 自动驾驶场景要素分类

依据对 PEGASUS 场景元素的分类，具体分类如表下 2.6 所示。

表 2.6 场景要素分类

分类	一级要素	二级要素
静态场景要素	道路属性	道路类型
		曲率与坡度
		路面材质
		路面条件
		其他
	道路拓扑	行车道
		交叉口形态
	车道类型	车道类型
	基础设置	道路标识与标线
		信号灯
		道路辅助设施
	暂时性操作	道路维修
		障碍物
交通指挥		
动态场景要素	目标物	机动车
		自行车/摩托车
		行人
		动物
		异形车辆（如轮椅、滑板车等）
	天气环境	基本天气状况
		时间
		其他
	数字信息	地图信息交互
		APP 互联
		V2X
		蜂窝网络
		蓝牙
	WIFI	
	测试车辆自身要素	自车

2.3.1 道路层级描述方法及类别

(1) 道路属性描述方法

对于道路形态/路面情况的描述如下表 2.7:

表 2.7 道路属性描述分类

项目	分类	备注
道路类型	高快公路	车道线清晰, 围栏特征明显
	城市/城际道路	通常具有车道线/车位线
	乡村道路	通常没有车道线
曲率与坡度	直路	描述长度
	弯路	描述长度、转弯半径
	坡路	描述长度、坡度
路面材质	柏油沥青、水泥、环氧地坪、其他	/
路面条件 (附着系数)	干燥路面	通常附着系数 0.7-1.0
	潮湿路面(水泥)	通常附着系数 0.4-0.6
	下雨路面	通常附着系数 0.3-0.4
	冰雪路面	通常附着系数 < 0.3
其他	坑洼路面、积水、树荫/阴影、颜色、纹理、隧道/涵洞、站台等	/

(2) 道路拓扑描述方法

对于道路形态通常分为行车道和交叉口两类，行车道通常需要描述车道数量和行驶方向，交叉口在此基础上需要描述交叉口类型。

表 2.8 道路拓扑描述分类

项目	分类
道路方向	单向、双向
车道数量	单车道、2/3/4/5/6/N 车道
交叉口形态	十字路口、T 型路口、Y 型路口、X 型路口、环形路口、多叉形交叉、错位交叉口、右进右出交叉、道路与铁路平面交叉、人行横道

(3) 车道类型描述

表 2.9 车道类型描述分类

项目	一级分类	二级分类
车道类型	常规车道	直行车道、左转车道、右转车道、掉头车道、消失车道、新增车道、直行左转车道、直行右转车道、左转掉头车道、可变导向车道、潮汐车道、渠化车道、加速车道、减速车道、机非混行车道、非机动车道、辅路车道、平面匝道、立体匝道
	专用车道	公交车专用道、应急车道、避险车道、紧急停车带

2.3.2 基础设施描述方法及类别

(1) 道路标识与标线描述方法

交通标志和交通标线在 GB 5768 中有明确的定义和图形描述，因此在自然语言场景描述中，通常只明确表述含有何种类型的交通标志、交通标线，此处仅列举部分具备测试价值，也就是会对道路行驶规则产生影响的标线、标志。

表 2.10 道路标识与标线描述分类

项目	一级分类	二级分类
交通标线	指示标线	虚线、实线、双实线、双虚线、虚实线、潮汐车道线、行车道边缘线、左弯待转区线、直行待行区线、路口导向线、导向车道线、可变导向车道线、停车位标线-平行式、停车位标线-垂直式、停车位标线-倾斜式、停靠站标线
	禁止标线	禁止停车线、停止线、减速让行线、网状线、专用车道线-公交车、专用车道线-非机动车、禁止掉头
	警告标线	铁路平交道口标线、减速标线
交通标志	禁令标志	停车让行、减速让行、禁止通行、禁止停车、限速标志
	指示标志	人行横道标志、直行标志、向左转弯标志、向右转弯标志、掉头标志、停车位标志
	指路标志	车道数减少标志、车道数增加标志

(2) 信号灯类描述方法

表 2.11 信号灯描述分类

项目	分类
灯色（静态）	红灯、绿灯、黄灯、故障（除以上三种外的其他非预期状态）
灯色（动态）	闪烁、倒计时
灯色状态转换	绿—（黄）—红—绿
灯盘类型	机动车信号灯、非机动车信号灯、人行横道信号灯、车道信号灯、方向指示信号灯、闪光警告信号灯、同步/异步信号灯、故障信号灯

(3) 道路辅助设施类描述方法

表 2.12 道路辅助设施描述分类

项目	分类
隔离护栏类	同向机动车道隔离护栏、对向机动车道隔离护栏、非机动车隔离护栏、主辅路隔离护栏
其他类	升降杆、柱、闸门、绿化带、井盖、减速带

2.3.3 暂时性操作描述方法及类别

(1) 道路维修类描述方法

表 2.13 道路维修描述分类

项目	分类
作业类型	施工、道路封闭
时间影响范围	临时性、长期性、突发性
空间影响范围	部分车道无法通行、完全无法通行

(2) 障碍物类要素描述方法

表 2.14 障碍物描述分类

项目	分类
障碍物	隔离水马、隔离墩、锥形桶、防撞桶、施工牌、施工围挡、临时障碍物（纸箱等遗撒）、其它

(3) 交通指挥描述方法

表 2.15 交通指挥描述分类

项目	分类	描述举例
停止	左臂向前上方直伸，掌心向前，不准前方车辆通行	
直行	左臂向左平伸，掌心向前；右臂向右平伸，掌心向前，向左摆动，准许右方直行的车辆通行	

项目	分类	描述举例
左转弯	右臂向前平伸，掌心向前；左臂与手掌平直向右前方摆动，掌心向右，准许车辆左转弯，在不妨碍被放行车辆通行的情况下可以掉头	
左转弯待转	左臂向左下方平伸，掌心向下；左臂与手掌平直向下方摆动，准许左方左转弯的车辆进入路口，沿左转弯行驶方向靠近路口中心，等候左转弯信号	
右转弯	左臂向前平伸，掌心向前；右臂与手掌平直向左前方摆动，手掌向左，准许右方的车辆右转弯	
变道	右臂向前平伸，掌心向左；右臂向左水平摆动，车辆应当腾空指定的车道，减速慢行	
减速慢行	右臂向右前方平伸，掌心向下；右臂与手掌平直向下方摆动，车辆应当减速慢行	
示意车辆靠边停车	左臂向前上方平伸，掌心向前；右臂向前下方平伸，掌心向左；右臂向左水平摆动，车辆应当靠边停车	

2.3.4 目标物描述方法及类别

(1) 行人类要素描述方法

表 2.16 行人描述分类

项目	一级分类	二级分类
类型	行人类型	单独行人、一群行人、打伞的行人、弯腰/蹲着的行人、手里拿着东西 / 推车的行人、其他
位置	道路位置	斑马线旁、绿化带旁/内、机动车道内、非机动车道内、小区出入口处、在车辆附近、路口内、遮挡区（鬼探头）、其他
	相对自行车位置	车道内正前方、车道内前左、车道内前右、左侧相邻车道、右侧相邻车道、自车后方、其他
行为	静止	/
	穿行	斑马线横穿、非斑马线横穿、闯红灯
	前行/后行	沿着车道行走、绕行障碍物、走走停停
	其他	上下车等

(2) 自行车/摩托车类要素描述方法

表 2.17 自行车/摩托车描述分类

内容	一级分类	二级分类
类型	自行车/摩托车类型	一群自行车/摩托车、载人自行车/摩托车、载物自行车/摩托车、倾倒自行车/摩托车、其他
位置	道路位置	斑马线旁、绿化带旁/内、机动车道内、非机动车道内、小区出入口处、在车辆附近、路口内、遮挡区（鬼探头）、其他
	相对自行车位置	车道内正前方、车道内前左、车道内前右、左侧相邻车道、右侧相邻车道、自车后方、其他
行为	静止	/
	穿行	斑马线横穿、非斑马线横穿、闯红灯
	前行/后行	沿着车道行走、绕行障碍物、走走停停
	其他	/

(3) 车辆类要素描述方法

1) 泊车车辆类要素描述方法

表 2.18 泊车要素描述分类

序号	一级要素	二级要素
1	过道闸	道闸前停车、非跟车通过道闸、跟车通过道闸
2	过保温门	保温门前停车、非跟车通过保温门、跟车通过保温门
3	场内行驶	直道行驶、弯道行驶、螺旋道路行驶、偏置跟车、下坡跟停、上坡跟起、行驶被泊入干扰、行驶被泊出干扰、行驶被行人干扰、路口行驶、通过人行横道、定点接驾
4	搜索车位	搜索车位
5	泊入车位	泊入线平行车位、泊入线垂直车位、泊入线斜向车位、泊入双边界平行车位、泊入双边界垂直车位、泊入双边界斜向车位、泊入单边界平行车位、泊入单边界垂直车位、泊入单边界斜向车位、泊入被车辆干扰泊入被行人干扰
6	泊出车位	泊出被车辆干扰、泊出被行人干扰

2) 城市车辆类要素描述方法

表 2.19 城市车辆要素描述分类

序号	一级要素	二级要素
1	巡航	直道巡航、弯道巡航、车道保持、道内避障
2	跟车	直道跟车、弯道跟车
3	跟停起步	自动跟停、自动起步
4	切入	他车切入
5	切出	他车切出
6	并道/分道	/
7	变道	拨杆换道、换道取消、超车变道
8	避让	减速避让、停车避让
9	路口通行	路口直行、路口左转、路口右转

序号	一级要素	二级要素
10	会车	/
11	上坡/下坡	/
12	其他异常	倾翻、画龙、追尾、逆行

3) 高速车辆类要素描述方法

表 2.20 高速车辆要素描述分类

序号	一级要素	二级要素
1	巡航	直行、压线行驶、入弯、驶入匝道、汇入主路
2	停车	刹停、减速停车、静止
3	变速	加速、减速
4	启动	/
5	变道	变道超车、自主变道
6	切入	切入自车/它车前方
7	过收费站	过收费站减速、收费站停车、直行通过
8	上坡/下坡	/
9	其他异常	倾翻、画龙、追尾、逆行、横穿、斜穿

(4) 动物类要素描述方法

表 2.21 动物要素描述分类

内容	一级分类	二级分类
类型	动物类型	小型动物（猫狗等）、中型动物（猪/牛/羊等）、大型动物（大象/长颈鹿等）、其他
位置	道路位置	斑马线旁、绿化带旁/内、机动车道内、非机动车道内、小区出入口处、在车辆附近、路口内、遮挡区（鬼探头）、其他
	相对自车位置	车道内正前方、车道内前左、车道内前右、左侧相邻车道、右侧相邻车道、自车后方、其他
行为	静止	/
	穿行	斑马线横穿、非斑马线横穿、闯红灯
	前行/后行	沿着车道行走、绕行障碍物、走走停停

内容	一级分类	二级分类
	其他	上下车等

2.3.5 自车描述方法

表 2.22 自车要素描述分类

序号	一级要素	二级要素
1	巡航	直道巡航、弯道巡航、车道保持、道内避障、压线行驶、入弯、驶入匝道、汇入主路、减速、加速
2	跟车	自动跟停、直道跟车、弯道跟车
3	起步	自动起步
4	切入	自车切入
5	切出	自车切出
6	并道/分道	/
7	变道	拨杆换道、换道取消、超车变道
8	避让	减速避让、停车避让、绕行避让
9	路口通行	路口直行、路口左转、路口右转
10	会车	/
11	上坡/下坡	/
12	过收费站	过收费站减速、收费站停车、直行通过
13	停车	刹停、减速停车、静止
14	其他异常	倾翻、画龙、追尾、逆行
15	搜索车位	搜索车位
16	泊入车位	泊入线平行车位、泊入线垂直车位、泊入线斜向车位、泊入双边界平行车位、泊入双边界垂直车位、泊入双边界斜向车位、泊入单边界平行车位、泊入单边界垂直车位、泊入单边界斜向车位、泊入被车辆干扰泊入被行人干扰
17	泊出车位	泊出、泊出被干扰
18	交通信号响应	进入待转区、减速、靠边停车、其他

2.3.6 自然环境描述方法及类别

表 2.23 自然环境描述分类

项目	一级分类	二级分类
基本天气状况	晴	晴、多云
	雪	小雪、中雪、大雪、暴雪、冰雹、霰、阵雪、雨夹雪
	雨	小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨、阵雨
	雾	轻雾、浓雾、大雾、强浓雾
	沙尘/霾	沙尘暴、雾霾
时间	黎明、早晨、正午、下午、黄昏、傍晚、午夜	
其他	光照强度	描述具体的 lux 数值
	日光角度	逆光、顺光
	风力	描述具体风力等级或风速
	风向	描述具体角度或风力方向
	能见度	描述能见度距离
	具体日期	指定具体日期（年月日时分秒）

2.3.7 数字信息描述方法及类别

表 2.24 数字信息描述分类

序号	一级分类	二级分类
1	地图信息交互	地图下载、地图更新、扫图建图、地图上传
2	App 互联	/
3	V2X	/
4	网络	蜂窝网络、蓝牙、Wifi

3 测试场景描述语言及方法

3.1 场景描述语言背景

自动驾驶感知、决策、控制等技术环节的总体功能设计目的是对各类驾驶场景进行准确的识别以及进行合理的应对。在算法仿真测试过程中，工程师通常需要编写可执行的虚拟场景来模拟真实场景中交通参与者的行为与周边的静态驾驶环境。场景的编写与执行需要用到场景描述语言刻画场景中的各类驾驶环境要素。

然而，由于场景维度的复杂性和样本发生的稀疏性等特点，使得自动驾驶仿真测试的完整性、准确性等方面难以得到保障。当下出于场景测评技术中的场景建模、场景挖掘、场景生成等技术手段的研发需求，如何准确定义一个具体的场景成为了汽车测试领域的相关工程师、研究学者们关注的问题。在这一背景下，自然语言描述（Natural Language Descriptions, NLD），为这些场景提供了一个通用、直观且易于理解的表达方式。

场景描述语言，作为一种先进的场景描述工具，主要用于描绘场景要素随时间的变化模式。利用场景描述语言，可以更加高效地构建那些发生率低、危险性高、挑战性强以及路测成本昂贵的边界场景，如极端天气、复杂的交互策略和遮挡场景等。显然，对场景的精确自然语言描述在自动驾驶技术研发中扮演着至关重要的角色。场景语言作为一种领域特定语言，应具有严格的语法结构及语义模型以避免场景描述的二义性问题。场景语言大体上可分为两类：面向特定仿真模拟器的可执行语言和仿真场景的抽象语言。

1、面向特定仿真模拟器的可执行语言具有一定的优势，它可以适应特定仿真模拟器的执行特点，从而提高语言的准确性。但是，这也成为了限制其自身发展使用的一个主要障碍，因为它过于依赖

于特定的仿真模拟器。此外，这种语言的拓展性较差，对于许多非领域内的测试人员和工程师而言，编写场景程序和创建仿真测试场景的难度较大。而且，由于其单一的模拟器工具限制了测试环境，因此难以充分测试自动驾驶系统。

2、抽象语言通常采用事件驱动机制，将场景中的动态参与者定义为响应式对象。它基于同步响应式编程模型，利用对象的时空参数特征（位置、速度和方向随时间的变化）来生成具体场景。然而，这种方法存在一些问题，其中一个问题是难以准确刻画场景参与者更为复杂的行为序列。此外，由于执行过程存在较大的不确定性，可能会出现定义的参与者行为未实际执行的情况，因此难以完美的复现具体场景。

3.2 场景描述语言现状

在基于场景的自动驾驶测试发展过程中，场景描述语言和方法不断开发和演进，同时其标准化工作也在同步进行。由于欧美国家在自动驾驶技术研究和发展方面的先发优势，以及其在国际标准制定方面的主导地位，自动驾驶场景描述方法大多基于欧美标准。但是国内也逐渐积极参与和贡献于这一领域，并取得了一系列进展。

欧美国家在场景描述方面进行了许多重要的研究项目和标准化工作。其中，2016年德国联邦经济和能源部（BMWi）推出的PEGASUS项目是一个备受关注的的项目，旨在推动标准化的自动驾驶领域功能测试。该项目将场景描述按照抽象程度划分为三个层级：功能场景（Functional scenario）、逻辑场景（logical scenario）和具体场景（Concrete scenario），并制定了一系列的驾驶场景仿真格式的标准。在此基础上，德国自动化及测量系统标准协会（ASAM）对其进行标准维护与开发，形成了自动驾驶领域系统化的场景仿真

标准--OpenX 标准，包括 OpenDRIVE，OpenSCENARIO，Open-CRG 和 OpenLABEL，以及面向自动驾驶功能测试与仿真平台的统一接口标准 OSI。OpenDRIVE 标准定义了静态场景的描述方法，例如道路、地图以及建筑物等信息。OpenSCENARIO 标准主要覆盖动态场景描述，包括主车的位置与速度等信息及其他交通参与者的信息。Open-CRG 主要关注道路表面的相关物理信息描述，支持仿真软件对道路路面进行真实 3D 渲染。OpenLABEL 标准主要关注场景目标标注以及场景标签标注。OSI 标准定义了一个通用的接口，用来连接自动驾驶功能的开发和各种驾驶模拟框架，以实现兼容性。

美国国家公路交通安全管理局（National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA）一直在积极推动自动驾驶技术的研究和发展，其中包括了“自动驾驶系统测试用例和场景框架”的研究项目。这个项目的目标是制定一套测试用例和场景框架，以帮助评估自动驾驶系统的性能、安全性和合规性。该项目的一部分是制定一套多样化的测试用例，覆盖了各种交通情境和驾驶场景。这些测试用例涵盖了城市道路、高速公路、交叉口、不同气象条件等多种情境，以确保自动驾驶系统在各种情况下都能够表现良好。除了测试用例，该项目还建立了一个场景框架，用于描述和模拟不同驾驶情境。这个框架允许研究人员创建虚拟场景，并将测试用例嵌入到这些场景中，以进行仿真测试。

此外，美国 SAE（Society of Automotive Engineers International）制定了一系列关于自动驾驶场景测试的指南，其中包括一些关于场景描述的重要指南。SAE J3011 这个标准提供了自动驾驶系统相关的术语和定义，包括场景描述方面的定义，以确保在行业中有共同的理解和应用。在 SAE J3018 中描述了自动驾驶系

统的仿真模型架构，包括场景描述和环境建模的要求。它指导了如何在仿真环境中准确地模拟各种驾驶场景，SAE J3131 标准关注了动态场景建模，即如何描述和模拟在道路上的不断变化的情况，如交通流量、其他车辆的行为、行人动态等。

国内自动驾驶测试场景多样，涵盖了城市道路、高速公路、乡村道路等不同环境。近年来，一些国内科技企业和研发机构正在积极进行研究和实践，探索如何制定与国内实际情况相适应的场景描述方法和标准规范，以支持自动驾驶系统的测试和评价。

目前，中国汽研、中汽中心、腾讯、百度、51World 等公司均建立了自动驾驶仿真场景库。中国汽研构建了具备中国驾驶场景特征的虚拟仿真场景库（i-Scenario），该场景库参考 OpenDRIVE 和 OpenScenario 仿真格式，中对场景中道路、车辆、交通情况和驾驶行为等方面进行描述。目前，该产品已适配了多种主流的虚拟仿真平台，解决了不同平台之间虚拟场景的兼容性问题，有助于确保测试的准确性和可重复性。2020 年，中国汽研进一步推出中国典型驾驶场景库 V3.0 版，包含数万例自然驾驶场景、标准法规场景以及功能失效场景。2020 年 9 月，中汽中心发布的 AD Chauffeur 2.0 版本中，加入 AD Scenario 场景生成器，可以解决场景构建、多源数据格式转化 OpenSCENARIO、逻辑场景拼接及重组等行业断点问题，为场景生成提供重要支撑。腾讯发布 TAD Sim 使得用户可根据自动驾驶测试的需求，结合路采的交通流数据，形成虚实一体的测试场景。百度依托 Apollo 技术优势建立了仿真场景库；51World 发布的“城市级全要素场景自动化平台 AES2021”在场景覆盖度和精度上实现提升。

在标准制定方面，中国汽车技术研究中心有限公司（简称“中汽中心”）与自动化及测量系统标准协会（Association for Standardization of Automation and Measuring Systems, 简称“ASAM”）于2018年开展技术交流。中汽中心在驾驶场景、模拟仿真等领域取得的进展得到了ASAM的高度认可。2019年9月，中汽中心与ASAM联合发表声明，共同组建C-ASAM工作组。针对ASAM OpenX 模拟仿真测试场景标准，C-ASAM工作组将整合中国智能网联汽车行业，利用国际合作平台价值，实现互通互利，携手共进，达成共赢的局面。在此基础上，中汽中心等相关单位代表我国作为自动驾驶测试场景工作组(ISO/TC22/SC33/WG9)召集人，联合德国、日本、英国、荷兰、美国等二十余个国家的专家，在2022年10月，发布了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》，并且在ISO 34502安全评估框架、ISO 34503设计运行范围、ISO 34504场景分类、以及ISO 34505评价与用例生成等方面展开进一步的研究与共同制定工作，持续提升我国在国际标准法规体系建设和产业融合发展方面的参与度和贡献度。

3.3 场景描述语言方法

目前，许多研究机构和公司都致力于开发和标准化场景描述方法，以支持自动驾驶系统的测试和评价。这些方法中既有采用基于文本的描述方法，也有基于图形化的描述方法。部分场景描述方法采用通用文件格式，从而支持在多种模拟器中的导入。根据对场景元素的分类，场景描述方法可以分为对静态场景元素描述方法、对动态场景元素描述方法以及可以同时动静态场景描述的方法。现有的一些场景描述方法及其描述形式如表 3.1 所示：

表 3.1 现有场景描述方法及其语言形式

场景元素	描述语言	描述形式	支持平台
静态场景描述	OpenDRIVE	可扩展标记语言 XML 文件	Prescan , CARLA , ViresVTD ²
	OpenCRG	.osgb 数据文件	ViresVTD ²
	OpenStreetMap	.osm 数据文件	Prescan
	RoadXML	可扩展标记语言 XML 文件	CARLA, SUMO, PreScan
	Lanelets	可扩展标记语言 XML 文件	Autoware
动态场景描述	OpenSCENARIO	统一建模语言 (UML) 描述	Prescan, CARLA ViresVTD ²
	SCENIC	概率编程语言	VERIFAI, CARLA Webots, LGSVL
动静态场景描述	stiEF	类自然语言	ViresVTD ²
	ScEML	图形场景语言	CARLA
	Hesperia	故事卡	Prescan, CxxTest
	OAS	视图与场景自然语言描述结合	OAS

场景元素	描述语言	描述形式	支持平台
	GeoScenario	领域特定语言	Unreal, Engine
	CommonRoad	可扩展标记语言 XML	SUMO
	M-DSL	声明式编程语言	SUMO, CARLA
	TSL 语言	编程化语言	/
	Saimo 自研语言	图形场景语言	Sim Pro
	Voyager 自研语言	图形+编程化语言	/
	中国汽研自研语言	.xosc 格式文件	/

3.3.1 静态场景描述方法

(1) OpenDRIVE

OpenDRIVE 是由 ASAM (Automotive Software Architecture and Modeling) 制定的 Open X 系列标准之一，用于描述道路网络和驾驶场景。它提供了一个统一的数据模型和文件格式，以便在驾驶仿真、自动驾驶系统开发和测试等领域中使用。OpenDRIVE 允许准确描述道路的几何形状、拓扑关系和属性信息，包括车道、标志、信号灯、路口等。它通过 XML 格式的文件表示，使得数据易于阅读、编写和解析。通过 OpenDRIVE，用户可以创建精确的道路网络模型，并与各种驾驶仿真工具和系统进行交互。它为开发人员和研究人员提供了一个共享和重用道路数据的标准化方式，以便更准确地模拟和测试自动驾驶系统的行为。

(2) OpenCRG

OpenCRG 同样由 ASAM 提出，主要用于构建道路地形的高精度数字模型。包括道路曲面的几何形状、纵横断面以及相关属性信息。道路的几何形状包括道路的曲率、坡度和曲面变化等，纵横断面描述了道路的横截面特征，如车道数量、宽度以及道路边缘的特征。

此外，OpenCRG 在相关属性信息中可以填加摩擦系数、反光性和路面材质等信息，进一步描述道路地形的特征。

(3) OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) 是一个开源的地图项目，旨在创建一个免费和可编辑的全球地图。它通过社区贡献者的努力，收集和维持各种地理数据，包括道路、建筑物、地标、河流、森林等。这些数据可以使用各种地图编辑工具进行编辑和更新。OpenStreetMap 采用了一种独特的地图数据格式，即 OSM XML 格式。这种格式是基于 XML (可扩展标记语言) 的开放标准，用于描述地理元素及其属性。OSM XML 格式使用标签和属性的层次结构来表示地图要素，例如道路、节点、区域等。

(4) RoadXML

RoadXML 是一种用于描述道路网络的 XML 格式。它提供了一种通用的规范，用于表示道路的几何形状、交叉口、车道、标志和其他相关属性。RoadXML 对于交通环境的描述分为四个层次，包含拓扑层、逻辑层、物理层和可视化层。RoadXML 的优势在于其灵活性和可扩展性。它可以适应不同类型和规模的道路网络，并允许添加自定义的元素和属性以满足特定需求。RoadXML 还支持嵌套结构，使得可以描述复杂的交通环境和道路拓扑关系。

(5) Lanelets

Lanelets 是一个基于 OpenStreetMap 模型的用于处理道路地图数据的开源库。Lanelets 的设计目标是处理车辆自动驾驶领域中的地图数据，它提供了高度抽象的数据结构和功能，以便于道路拓扑结构的表示和操作。Lanelets 支持表示车道、车道标记、交叉口、车辆行驶规则等道路相关信息。Lanelets 的核心概念是

“Lanelet”，即车道单元。一个 Lanelet 代表了一段有向道路，它具有唯一的 ID 和几何形状。Lanelet 可以包含车道标记，用于描述车道的属性和限制，例如速度限制、禁止超车等。通过将多个 Lanelet 连接在一起，可以形成复杂的道路网络和交叉口拓扑结构。除了道路拓扑结构，Lanelets 还提供了丰富的地图元数据表示能力，例如坐标参考系统、地图版本信息、地图作者等。这些元数据可以帮助用户更好地理解和使用地图数据。

3.3.2 动态场景描述方法

(1) OpenSCENARIO

OpenSCENARIO 旨在成为描述驾驶场景动态方面的开放标准，由 ASAM 协会开发。OpenSCENARIO 语言对场景的描述包含路网 (RoadNetwork)、实体 (Entity) 和故事板 (Storyboard) 组成，其中路网模块用于对场景运行的道路进行说明，包括其几何形状、车道和其他对象（例如交通信号）等，也可以引用了 OpenDRIVE 文件；实体模块用于描述场景参与者的参数，参与者的类型包括车辆、行人和树木、路灯等物体。不同类型的参与者具有不同的参数，比如车辆参数有长宽高、轴距和最高车速等，行人的参数有质量、名称等；故事板用于描述参与者的行为，包括参与者的初始状态和运行过程中的行为变化。初始状态 Init 包括位置、朝向和速度等；行为变化 Story 中采用类似剧本的思路，对参与者在什么时间发生了什么行为进行了详细描述。OpenSCENARIO 数据模型由统一建模语言 (UML) 定义，采用类图用于场景数据建模，该模型可以导出为 XML 文件并进行验证。XML 文件可以通过不同的仿真平台导入，例如 ViresVTD2、Matlab、CARLA 和 PreScan。

图 3.1 显示了 openSCENARIO 生成的 XML 文件的一部分，描述了 Storyboard 中自车向左转的一个机动动作。

```
<OpenSCENARIO>
  <RoadNetwork>
    <LogicFile filepath="xxx.xodr"> // OpenDRIVE File
  </RoadNetwork>
  <Entities>
    <ScenarioObject name = "Ego Vehicle AV">
    <ScenarioObject name = "V1">
    ....
  </Entities>
  <Storyboard>
    <Init> </Init> // Locate entities using World Position
    <Story name = "Turn left onto the Main Road">
      <Act name = "Act1">
        <Maneuver name = "TurnLeftManeuver">
          <Event name = "TurnLeftEvent" priority="overwrite">
            <Action name = "TurnLeftAction">
          </Event>
        </Maneuver>
      </Act>
    </Story>
  </Storyboard>
</OpenSCENARIO>
```

图 3.1 使用 openSCENARIO 的场景描述示例

(2) SCENIC

SCENIC 是一种命令式、面向对象的概率编程语言，用于描述驾驶场景。它由加州大学伯克利分校的研究团队于 2019 年开发。SCENIC 非常适合为感知系统生成数据的领域，但该语言的语法旨在简化编写复杂场景的任务，并支持使用专门的采样技术。它的主要目标是设计一个场景系统，可以基于机器学习数据集捕捉 corner case 场景。SCENIC 还能够与开源 VERIFAI 工具包、Webots、LGSVL 和 CARLA 等模拟器配合使用，生成 3D 场景和并对机动行为编码，以生成动态场景。OpenDrive 和 OAS 可用于描述 SCENIC 中的道路网络。

3.3.3 动静态场景描述方法

(1) stiEF

stiEF 是 CARIAD 公司开发的一种领域特定的描述语言，它定义了一种可用多种语言描述某一场景的语法形式。stiEF 采用文本描述的形式，最重要的特征是它类似于自然语言，因此很容易地被人类理解。此外，它消除了其支持的自然语言之间出现翻译错误的可能性。目前，它支持英语和德语。stiEF 还提供工具来导入以自由形式的自然语言编写的场景。导入的描述将被解析和迭代优化，直到它们被完全翻译成 stiEF 语言。此外，开发工具支持场景的即时可视化。场景描述也可以以 JSON 和 XML 格式导出。后一种格式允许 openSCENARIO 和 openDRIVE 导入场景描述并与仿真工具集成（如 Vires VTD）。

stiEF 语言的实现方式基于 5 层模型描述，分别是第一层道路层，用于描述道路的基本几何形状、表面和边界；第二层描述交通标志和障碍物；第三层描述前两层的时变信息，例如道路的临时管控等；第四层是动静态障碍物信息；最后，第五层描述天气之类的环境信息，如图 3.2 所示。

```

Base Scenario: traffic jam on 2-lane freeway (A) .
State: Draft
Version: 1
Abstraction level: concrete .

Layer 1 (Road Model): ▲
Segment #1 has a main roadway (A) and an entry .
The main roadway has a straight geometry , 2 driving lane(s) and a stop lane .
Driving lane #2 has a 3.60 m width .
Stop lane #3 has a 3.20 m width .
The entry has a straight geometry and 1 driving lane(s) .
Optional Comment

Layer 2 (Infrastructure): ▲
Segment #1 contains following elements:
There is a sign group #1 with a regulation sign of type overtaking Forbidden for Trucks .
The road has guideposts and guardrails on the median and the right shoulder .
The lateral vegetation consists of bushes on the median of 50 cm height with 30 % density .
Optional Comment

Layer 3 (Temporary Modifications): ▲
No Temporary Modifications
Optional Comment

Layer 4 (Positioning and Velocity): ▲
Following Column #1 drives on Segment #1 :
Medium truck #1 with Trailer drives on driving lane #1 .
Medium truck #2 drives behind of the Medium truck #1 .
Medium truck #3 drives behind of the Medium truck #2 .
Following Vehicle group #2 drives on Segment #1 :
Station wagon #4 drives with 105 km/h left of the Medium truck #1 , 1 cm left road mark .
Ego Station wagon #5 drives with 119 km/h behind of the Station wagon #4 .
No obstacles are defined

Layer 5 (Environmental Conditions): ▲
There are no environment conditions
    
```

图 3.2 使用 stiEF 的场景描述示例

汽标委智能网联汽车分会

(2) SceML

SceML 是一种基于图形的场景建模语言，由 FZI 信息技术研究中心开发。SceML 采用分层图形场景语言帮助工程师将场景编码为机器可读的数据结构。它遵循 UML 类图约定，支持不同抽象层次的场景描述。SceML 的主要特点是基于图形的结构提供了模块化和可重用的子场景，模块之间可以采用顺序或并行的执行策略。SceML 中的每个场景都由一个行为树 (Behavior tree) 定义的。该树以一个包含其名称 (name)，操作列表 (action lists) 和其他参数 (other parameters) 的根节点开始。子节点由机动节点和条件节点、连接节点和模块组成。如图 3.3 为使用 SceML 场景描述示例。

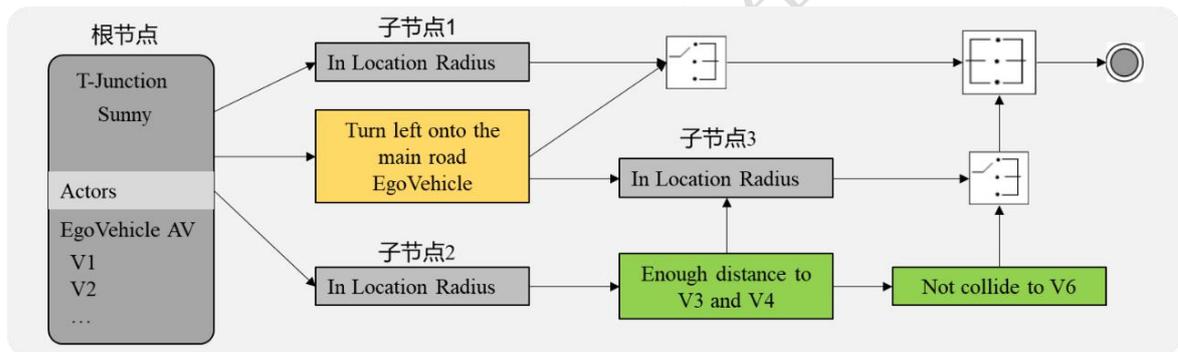


图 3.3 使用 SceML 的场景描述示例

SceML 中的图形结构可以解析为 OpenSCENARIO XML 文件以进行模型检查。然后将该场景导入模拟器，例如 CARLA。因此，SceML 可用于设计具体场景，然后对自动驾驶功能进行验证。

(3) Hesperia

Hesperia 是 2007 年为 “CarOLO” 的 AV 测试研发项目设计的软件框架，该框架采用组件的方式对场景进行构建。场景由包含标题、日期和位置的故事卡描述。它还可以使用图像描绘道路布局和周围环境。卡片底部的表格形式提供了功能要求的更多详细信息。图 3.4 显示了故事卡的示例。



CarOLO-StoryCard MS10-SC01

Beschreibung:
Meilenstein 10

Termin: 26. April 2007
Titel: Warteschlange
Ort: Site Cisit-Kurs, Campus Süd, Bradunschweig

Beschreibung: Start bei A, Folgefahrt bei C, Queueing bis zur Kreuzung. Fremdfahrzeug passiert nach Caroline stoppt. Kreuzung frei, Caroline passiert nach A, fährt eine Runde. Bei 1 wartet bereits F-Fzg. Caroline stoppt, lässt F-Fzg. Nach 3 passieren und biegt selbst nach A ab. Weitere Permutationen durchspielen!

Module	#	MS	Beschreibung	Verantwortlich	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do
					16.04	17.04	18.04	19.04	20.04	21.04	22.04	23.04	24.04	25.04	26.04
KI	KI-1	10	Erkennung der Kreuzungsreihfolge	horneier											
	KI-2	10	Queueing	horneier											
	KI-3	10	Überholmanöver bei Gegenverkehr	horneier											

图 3.4 Hesperia 故事卡对场景描述示例

基于故事卡，Hesperia 使用图形编辑器输入场景的精确描述。这个图形编辑器基于 Eclipse 富客户端框架，并重用了来自 MontiCore 框架的 Java 源代码。场景的信息由领域特定语言 (DSL) 编码，它允许分层表示。描述可以包括抽象元素和复杂的 3D 模型。

(4) OAS

OAS (Open Autonomous Safety) 语言由 Cruise LLC 开发，是一个场景描述框架，其中场景被划分为不同的行为阶段。每个阶段都包括二维视图、场景的自然语言描述和预期结果的组合。二维视图显示了参与者在空间中的位置并且定义了参与者在空间中的初始状态，自然语言文本描述了参与者的行为。预期结果来确定自动驾驶主车是否达到了预期目标。只有当达到预期的结果时，自动驾驶才会进入下一阶段。如图 3.5 所示为使用 OAS 的场景描述示例。

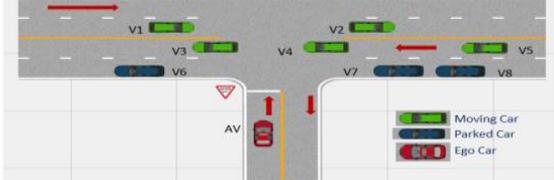
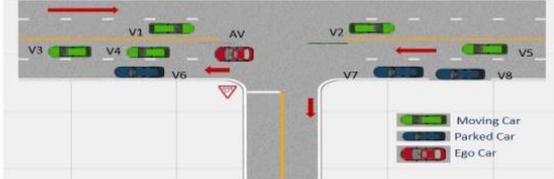
	<p>Scenario Turn left onto the Main Road</p> <p>Expected Result Ego vehicle AV observes the distance to V3 and V4.</p>
	<p>Scenario Turn left</p> <p>Expected Result Ego vehicle AV is going to turn left onto the main road at the same lane with the V3, V4 and V5, while avoiding to crash into parked vehicle V6.</p>
	<p>Scenario complete</p>

图 3.5 使用 OAS 的场景描述示例

(5) GeoScenario

GeoScenario 是 ASAM 公司开发的一种领域特定的描述语言，输出为 XML 格式，静态场景符合 Open Street Map (OSM) 标准。该语言也足够简单以供人类阅读，并且可以通过其标准组件的新功能和专业化轻松扩展。GeoScenario 语言是独立于系统的。它可以代表各种各样的交通场景，这些场景可以由专家手动设计、从真实交通数据中提取或从驾驶数据库中导入。GeoScenario 没有为自动驾驶

车辆定义动作和机动，而是仅指定初始条件和目标。主车总是在停放位置开始场景。静态对象和动态元素都包含在场景中，可以添加触发节点以激活对动态元素的不同操作。图 3.6 显示了使用 OAS 的场景描述示例和相应 XML 文件。

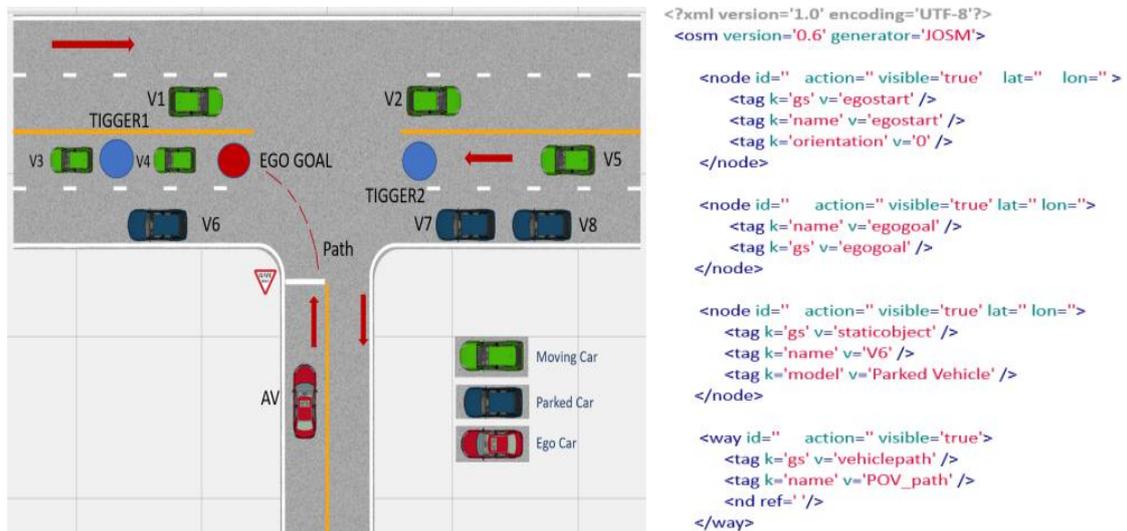


图 3.6 使用 GeoScenar io 的场景描述示例

(6) CommonRoad

CommonRoad 是一种独立于平台的语言格式，适用于特定道路交通场景，用于道路运动规划。CommonRoad 场景以 XML 文件的形式，描述道路网络、静态和动态障碍物以及自我车辆的规划问题。CommonRoad XML 格式的示例场景的部分描述如图 3-7 所示。

CommonRoad 使用 Lanelets 作为道路描述，允许将道路网络建模为有向图。CommonRoad 合并了一小部分 OSM 属性。因此，这些边界由形成折线的 OSM 节点数组编码。它不仅能够构建复杂的道路情况，而且还可以结合路线信息以生成机动动作。另外 OpenDRIVE 的格式可以在 CommonRoad 中转换成 lanelets。运动规划涉及指定初始状态，例如车辆的位置和速度，以及一个或多个目标状态。SUMO 可以读取 CommonRoad XML 文件并执行模拟。

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<commonRoad commonRoadVersion="2020a" benchmarkID="example"
date="" author="" affiliation="" source="OpenStreetMaps (OSM)" timeStepSize="0.1">
  <location>
    <geoNameId> </geoNameId>
  </location>
  <scenarioTags>
    <T-junction/>
  </scenarioTags>
  <lanelet id="1">
    ...
  </lanelet>
  <T-junction id="1">
    ...
  </T-junction>
  ...
  <staticObstacle id="1">
    <type>V6</type>
    <position>
      ..
    </staticObstacle>
  <dynamicObstacle id="1">
    <type>V4</type>
    <initialState>
      ...
    </dynamicObstacle>
  <planningProblem id="1">
    <initialState>
    <goalState>
  </planningProblem>
</commonRoad>

```

图 3.7 使用 CommonRoad 的场景描述示例

(7) M-SDL

M-SDL 场景描述语言由以色列公司 Foretellix Ltd 发布。M-SDL 的语法类似于 python，主要是一种声明式编程语言。它采用 OpenSCENARIO 2.0 文档，并提供 Foretify 图形用户界面 (GUI) 来创建地图和场景，用于选择地图和绘制场景。如图 3.8 所示，可以通过电子表格指定不同的参数组合来扩展场景，可以从单个基本场景生成大量有意义的核心和边缘案例。

Using spreadsheets to quickly try many combinations for example scenario				
Runs	Simulator	AV_direction	V4_direction	V5_direction
10	Carla	left	Straight_take over_AV	Straight
100	SUMO	left	Straight	Straight
20	Carla	left	Straight	Straight_take over_AV
18	SUMO	left	Straight_take over_AV	Straight



- Consider the table over, each line will run many combinations of our example scenario.
- The table or any spreadsheets can be used to generate scenarios after executing many combinations.

图 3.8 使用电子表格组合扩展场景

M-SDL 的构建采用语句、结构、参与者、场景成员、场景调用和表达式。由于 M-SDL 具有类似 Python 的语法和词法约定，因此可以轻松定义通用的抽象场景，描述如图 3.9 所示。

```
# The T-junction scenario

scenario t_junction:
  car1: AV # The ego vehicle
  side: av_side # A side: left or right
  path: path

  path_min_driving_lanes(path: path, min_driving_lanes: 2) # at least two lanes

  do serial():
    av.drive(path: path, adjust: true) with:
      position(distance: [5..100]m
    turn_left: parallel(duration: [2..5]s): # turn_left
```

图 3.9 使用 M-SDL 的场景描述示例

(8) TSL 语言

华为的时序场景描述语言(Temporal Scenario Language, TSL)用同一种场景描述语言统一描述自动驾驶汽车 ODD/ODC、静态场景、动态场景以及验证评价，这几个步骤中相同的场景元素用相同的语言元素描述，这样会提升整个自动驾驶测试与评价流程中相关描述语言的统一性、系统性，高效性，准确性，以更好的支撑自动驾驶汽车的准入测试与评价测试。

TSL 是以度量时序逻辑(Metric Temporal Logic, MTL)为基础，并结合自动驾驶场景描述需求，形成的一种自动驾驶场景描述语言。相比于其他的场景描述语言，TSL 依靠丰富多样的时序算子从时间维度刻画自动驾驶场景，使得动态场景的描述更加简洁与准确。另外，由于自动驾驶场景在设计之初都是带有一定的验证目的，场景经过 TSL 描述后，可以很方便地从中提取出验证目的所对应的形式化验证语言描述，从而打通自动驾驶的场景设计与验证评价体系。

并且度量时序逻辑凭借其严格的数学定义与逻辑，目前已广泛应用于自动驾驶车辆行为的合规性验证与评价领域，如自动驾驶汽车交通规则符合性验证，故 TSL 在描述验证评价时同样具有明显的优越性。

TSL 语言元素库由 ODD/ODC 元素库，静态场景元素库，动态场景元素库，验证评测元素库组成。所有元素库使用同一语言描述，元素库中相同元素的描述名称及参数类型相同。例如，ODD/ODC、动态场景和验证评价中都有对环境的描述，例如对三者的描述均用 environment() 表示环境，environment() 可以有两个参数，记为 environment(参数 1, 参数 2)，当参数 1 为 ‘weather’ 时表示天气环境，此时参数 2 取值为 ‘clear’，‘fog’，‘rain’，‘snow’ 等，分别表示晴朗天气，雾天，雨天，雪天等。ODD/ODC 元素库中 environment(‘weather’，‘clear’) 表示自动驾驶车辆的 ODD/ODC 为晴朗天气，动态场景中 environment(‘weather’，‘clear’) 表示该动态场景的天气为晴朗天气，验证评价中 environment(‘weather’，‘clear’) 表示天气是否为晴朗天气。具体描述方式如图 3.10 所示。

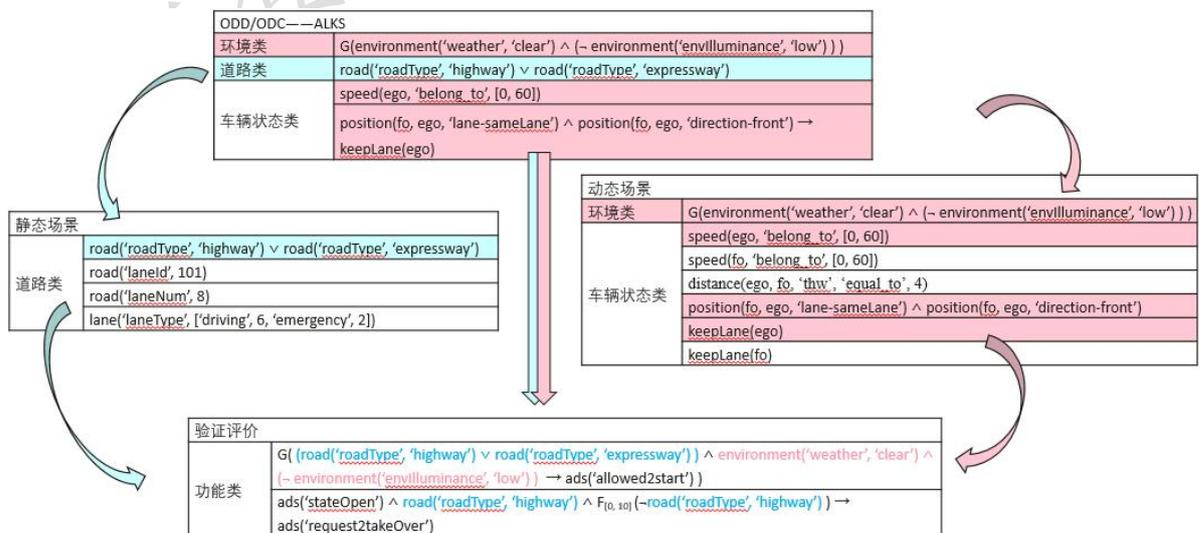


图 3.10 TSL 语言描述示例

(9) Sim Pro 平台

北京赛目科技股份有限公司基于自主研发的模拟仿真测试平台 Sim Pro，采用图形化的方法实现对场景元素的描述，如图 3.11 所示。在静态场景元素描述方面，参照 OpenDRIVE 标准，通过 Sim Pro 道路编辑器，构造场景所需的静态交通网络，包括道路表面，交通标志，路面标志，交通灯，物体（如交通锥、建筑物、交通护栏、路灯、植物、障碍物等），输出文件拓展名为“.xodr”的可拓展标记语言（XML）对路网结构进行描述。在动态场景元素描述方面，参照 OpenSCENARIO 标准，通过 Sim Pro 场景编辑器创建和编辑动态场景，在加载由道路编辑器生成“.xodr”文件的基础上，进行机动车辆、非机动车辆、行人、其他交通参与者等动态场景元素的设置，包括初始状态设置和行为规划两大部分，输出“.xosc”格式的标准文件，最终实现对动态测试场景的描述。



图 3.11 Sim Pro 基于图形化的场景描述

(10) 滴滴自动驾驶自研场景描述语言

滴滴自动驾驶（Voyager）场景描述分为场景描述标签和场景用例细节两层。场景描述标签是用来做场景库管理的，相对更加语义化、接近自然语言，以树状结构储存，例如：道路有隔离、途径斑

马线、右侧车辆切入等。场景标签分为 4 个一级维度（参考 Pegasus），包括道路结构，环境，自车功能，交通参与者。其标签树状结构如图 3.12 所示

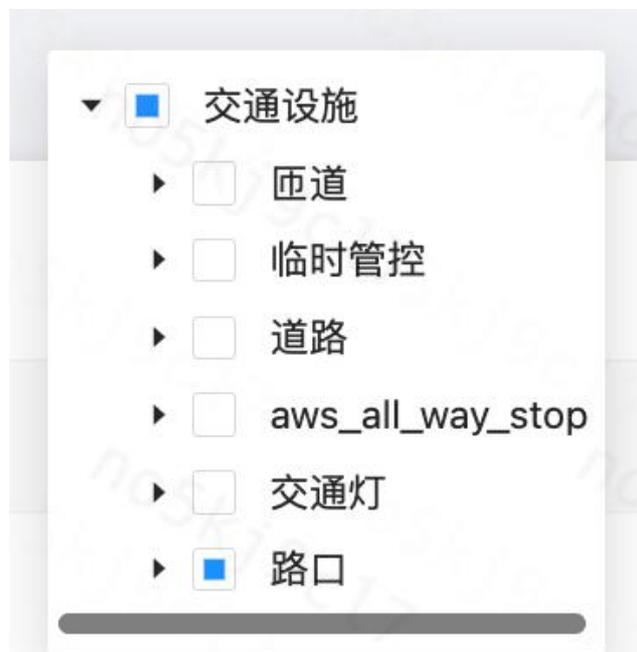


图 3.12 场景描述标签示意

场景用例细节是为算法仿真服务的，因此更加接近机器语言、需要详细的定义出各种参数，以 JSON 文件的格式储存。对于构建的场景（virtual sim）需要详细描述自车和交通参与者的行为和状态，例如：初始时刻前车在的坐标为（x=20，y=35）以 30km/h 匀速行驶。对于从路测 bag 中截取来的仿真场景（log sim）则只需要定义对应的车辆编号和起止时间即可。其部分场景用例实现语言如图 3.13 所示。

```
1. {  
2.   tripSegment: {  
3.     tripId: '17123_20210629_181410',  
4.     startTimestamp: '1688034xxx102',  
5.     endTimestamp: '1688034 xxx 602'  
6.   }
```

图 3.13 场景用例细节语言描述

(11) 中国汽研自研场景描述语言

中国汽研在抽象场景和逻辑场景方面，采用场景语义化标签，定义关键场景要素及参数，参数满足六层场景模型，以 json 文件的格式储存，便于解析和筛选，同时支持自动驾驶汽车 ODD/ODC 的描述、静态场景、动态场景参数空间范围和具体时间序列参数的记录的定义，并支持导出 excel 场景用例列表（见表 3.2）。在具体测试场景方面，在静态道路场景符合 OpenDRIVE 标准，构造场景所需的静态交通网络，包括道路表面，交通标志，路面标志，交通灯，物体如交通锥、建筑物、交通护栏、路灯、植物、障碍物等，输出 “.xodr” 的标准地图文件。在动态场景方面符合 OpenSCENARIO 标准，对机动车辆、非机动车辆、行人、其他交通参与者等动态场景元素的设置，包括初始状态设置，动态行为和触发条件设置，支持行为和轨迹多种定义方式，输出 “.xosc” 格式的标准场景文件。

表 3.2 事故场景描述示例

场景名称	关键影响要素	道路 (第一层)	事故经过描述	场景示意图 (示例)
车_车事故_侧撞事故_自车转向,侧撞直行车辆	第四层: 目标车切入 第五层: 夜晚	道路类型: [城郊道路] 车道数: [2] 特殊车道: [无] 道路结构: [路口] 道路曲率: [∞]m (左_右+) 坡度: [平坦] 隔离方式: [物理隔离] 车道线隔离类	自车向左掉头, 后方车辆直行与自车发生碰撞	

场景名称	关键影响要素	道路 (第一层)	事故经过描述	场景示意图 (示例)
		型: [白实线] 车道宽度: [3.5]m 车道数量变化: [无] 左车道线类型: [实线] 右车道线类型: [虚线] 左车道线颜色: [白色] 右车道线颜色: [白色]		

(12) 其他场景构建方式

国内部分厂商例如吉利、一汽解放的仿真测试工具链主要利用表格对于场景进行描述并基于 VTD (Virtual Test Drive) 仿真软件进行搭建。VTD 是一种常用的自动驾驶仿真软件，它提供了一种场景描述语言来定义和创建虚拟环境中的各种场景 (如图 3.14)，可以帮助用户精确地模拟不同的道路、交通流量和其他环境条件。场景描述语言包含静态场景描述语言和动态场景描述语言，静态场景原生支持 OpenDRIVE 和 OpenCRG 标准，动态场景支持 OpenSCENARIO 标准。



图 3.14 基于 VTD 场景创建

VTD 的场景描述语言描述主要包括以下几个方面：

道路网络：通过场景描述语言，用户可以定义道路网络，包括道路类型、车道数目、车道宽度等。用户可以创建直线道路、弯曲道路以及交叉口等各种类型的道路。

目标物：用户可以使用场景描述语言来定义虚拟环境中的车辆、行人和动物。这包括设置目标物的类型、初始位置和速度等参数，并指定其行为模式，如直行、转弯或停车等。

交通流量：通过场景描述语言，用户可以设置虚拟环境中的交通流量情况。这包括指定不同类型车辆（如小汽车、卡车或公共汽车）在不同时间段内出现在特定位置上，并设定其运动规律。

天气条件：VTD 还允许用户使用场景描述语言来设置天气条件，如晴天、雨天或雪天等。这些天气条件会影响到视野范围、摩擦系数以及传感器性能等因素。

事件触发：通过使用场景描述语言，用户还可以定义触发特定事件的条件。例如，在某个位置上触发一个事故事件或者在某个时间点上改变交通信号灯状态等。

4 场景描述语言标准化研究

4.1 场景描述语言标准化现状

在当前研究背景下，基于场景的测试流程已经初步建立。现有的标准体系已经完成并发布了基于场景的术语定义、场景库及对应流程、基于功能的描述及对应逻辑、以及场景的分类标签体系等。基于相关标准对于场景的定义，场景是针对自动驾驶车辆与之环境中动静态环境、交通参与者、之间逻辑等的描述方式。在这种描述中，基于自然语言的行为动作是当前描述中尚未完成的部分，仍需要通过标准研究拓展相应内容。

当前在国际范围内，已经在从场景及对应使用方式进行了多项国际标准的开展。在 ISO 国际标准化组织层面上，已经在 TC22/SC33 开展自动驾驶场景工作组，形成多项研究草案。同时，在世界范围内有 ASAM 德国自动化及测量系统标准协会等行业机构开展相应的技术研究。其中在 ISO 层面，形成 ISO 3450X 系列标准为自动驾驶测试场景标准，主要内容包括：

(1) ISO 34501 自动驾驶系统的测试场景-词汇：定义了自动驾驶系统（ADS）测试场景中的术语，适用于 ISO/SAE PAS 22736 中定义的 3 级及以上的 ADS。

(2) ISO 34502 自动驾驶系统的测试场景-基于场景的安全评估框架：详细阐述在产品开发过程中应用的基于情景的安全评估过程

(3) ISO 34503 自动驾驶系统的测试场景-设计运行范围的分类：本标准定义了自动驾驶系统的测试场景-设计运行范围

(4) ISO 34504 自动驾驶系统的测试场景-场景分类：本标准定义了场景描述的要求，作为基于场景的安全评估过程的一部分，场景描述是危险场景识别的要求。

(5) ISO 34505 自动驾驶系统的测试场景-场景评估和测试用例生成：本标准定义了自动驾驶系统的测试场景评估和测试用例生成方法。

其中由中国牵头的 ISO 34501 《道路车辆自动驾驶系统测试场景词汇》标准已于 2022 年 10 月发布。该标准作为自动驾驶系统测试场景的重要基础性标准，满足了行业在开展自动驾驶测试评价相关工作时采用标准化语言描述测试场景的需求，主要规范了自动驾驶系统、动态驾驶任务、设计运行范围及条件等概念，明确了场景、动静态环境和实体要素之间的关系，并形成了包括功能场景、抽象场景、逻辑场景和具体场景在内的场景层次描述规则。

德国联邦经济与能源部（BMWI）2016 年启动 PEGASUS 项目，主要是德国本土的汽车主机厂参与，2019 年 5 月该项目结项，已建立 OpenCRG、OpenDRIVE、OpenSCENARIO 三项驾驶场景仿真格式标准。之后，该三项标准转交给德国自动化及测量系统标准协会（ASAM）。ASAM 共有来自亚洲、欧洲、北美洲的 295 家整车厂、供应商及科研机构成员，目前建立了 OpenX 标准。

作为一个完整的仿真测试场景描述方案，OpenX 系列标准包括：OpenDRIVE、OpenSCENARIO 和 OpenCRG。

(1) OpenDRIVE：OpenDRIVE 将道路分为了三个部分：道路参考线（reference line）、车道（lanes）和道路设施（features）。除此以外，还可以设置道路的高度（elevation），对于多条道路汇聚的位置需要用路口（junctions）来描述。

(2) OpenCRG：OpenCRG 于 2008 年由戴姆勒与奥迪、宝马、保时捷和大众共同发起。OpenCRG 的文件格式集成在 OpenDRIVE 中，主

要对路面格式进行了详细描述。用于以非常详细的方式描述道路表面的区块，以便进行：轮胎模拟、振动模拟、驾驶模拟等。

(3)OpenSCENARIO (OSC)：OSC 场景简单描述就是：谁什么时候在哪儿干什么。在描述的过程中还涉及非常具体的分层结构，比如，在完整的场景描述中，从故事、幕、动作组合、动作、事件，再到相应行动的触发和执行。OSC 定义了一个标准的仿真测试用例格式，兼容不同的仿真测试软件。

目前，OpenX 系列标准中主要场景描述标准 OpenSCENARIO 已经发布了 2.0 标准：为了满足更多用户需求，需开发一种高级别场景描述的指定领域语言 (Domain Specific Language)，涵盖编程语言内容，以及相应场景的生成条件与场景内容信息。内容包括：

- 为开发者，形成一套可通用、可共享的场景描述方式及生成流程；使认证机构可以检验开发流程与测试结果；
- 为工具提供商，提供更好的兼容性，使仿真测试用例可以通用；
- 为场景生成者，提供逻辑场景的通用描述方式；
- 适配功能安全场景生成流程，提供工程框架；
- 为深度学习提供一套端到端场景测试数据格式；
- 提供交通流描述方式模型，为自动化测试提供支持，可转化为场地/道路测试场景。

4.2 场景描述语言标准化需求分析

目前，国际上各标准机构在制定基于场景的标准化体系时，主要致力于制定场景规范，其中 OpenX 系列属于场景搭建标准，ISO 3450X 系列属于自动驾驶系统测试场景标准。两种标准体系主要是从场景的分类，定义，词汇，搭建等方面开展，而在基础场景语言

描述方法方面是空白。

基于场景的自动驾驶系统测试方法在测试效率、测试成本、场景覆盖度等方面具有巨大的技术优势，是未来自动驾驶汽车测试验证的重要手段，所以，基于场景的自动驾驶测试标准的完善至关重要。自动驾驶系统测试涉及各种不同技术工作，研发、测试、业务、仿真等等，如何统一各技术人员对场景的认识与理解，匹配各家场景描述内容，制定统一的自动驾驶测试场景自然语言描述方法标准，是自动驾驶系统测试标准体系中不可或缺的环节。更重要的是，在明确具体场景、逻辑场景的使用及应用逻辑后，如何使用逻辑及匹配及验证功能场景是目前自动驾驶测试中面临的风险与挑战。

在场景的设计流程中，有很大一部分场景的参与者，在使用场景描述语言及描述方式时，缺乏统一的逻辑和统一的描述格式。同时，很多的场景使用者并不是程序开发者，需要一种更加容易面向工程应用的语言完成相应的流程疏解。

此外，针对准入以及法规验证等流程，工程师以及不同的参与者需要进行场景描述的统一模式，支持形成大量及有效地测试场景。

针对以上亟待解决的问题，场景中如何有效地规范场景的使用逻辑，尤其是如何描述场景的触发条件及边界，以及如何将非量化描述内容通过计算机语言转换为逻辑语言，需要通过标准化的方式进行修正和补充。

5 场景自然语言描述方法标准化建议

基于以上研究的内容以及研究的目的，建议在汽车行业中针对特定于自动驾驶及自动驾驶测试领域开展特定领域的场景描述语言项目一项。

场景描述语言较多，形式多样，覆盖了功能场景、抽象场景、逻辑场景和具体场景等不同层级。此外，这些语言还对静态场景和动态场景进行了不同的划分和描述。但是，现有的场景描述语言主要采用编程化或图形化的形式，偏向于专业人员进行场景构建和机器可读，不利于不同开发人员之间交流以及其他非专业人员理解，进而影响了测试场景的通用性、开放性以及标准化工作。

为了满足研发工程师、公众和最终用户等可读，又便于机器理解的场景描述，基于自然语言的场景描述成为了一个重要需求。自然语言场景描述是指采用具有通用结构、人类可理解且机器可执行的自然语言对测试场景进行描述，其具有重用性、简单性、高覆盖、可拓展、独立性和可执行的特点。一种设计良好的自动驾驶仿真场景自然语言描述方法，需要具备准确表达场景要素和在不同设计人员之间迁移场景的能力，可用于设计准确且具有互操作性的测试场景，实现自动驾驶系统的表现与潜在缺陷的评估。

针对以上待解决的问题，此项标准应从以下四个方面考虑并开展相应研究。

1、针对场景中所定义的术语及词汇等，提供描述的载体。

基本术语及规范部分，结合 ISO 3450X 系列标准和 OpenX 系列标准定义包括场景的单位、动词、拼写习惯、ID 使用等术语及规范。基本术语及规范可使场景的路网信息描述更加准确。在这样的条件下，明确场景中的逻辑中的术语定义核心。

2、针对具体的描述句法以及明确的描述语言逻辑提供支持。

场景语言要素部分具体指场景中各物体要素信息及相关坐标系进行描述，包括道路、车道、交叉口、物体、标志、铁路等测试场景要素的具体类型、属性等信息，以及坐标系和几何形状进行规范化描述。通过场景语言要素及语法规则实现对场景要素按标准进行自然语言的语法描述。语法中，需要同时明确可包含的动作、行为、以及与描述主语的逻辑关系等。

3、针对场景描述语言语法及其相关事件与时序状态进行描述。

场景描述语言语法部分包括场景语义、场景、事件。场景语义对语义基础、时序状态集、行为和调用等关键概念进行准确定义，实现对场景语义的声明。场景用来描述交通系统的一个或多个演员行为，通过组合算子、场景属性及其绑定关系、场景约束、时间约束等，实现对场景信息进行有效的、准确的描述。事件通常包含发出、等待、直到等事件动作。通过确定事件与时序状态集之间的影响、工作机制、事件动作等，实现事件以及事件动作对时序状态集允许行为影响的判定。

4、针对场景中描述方法及其重要的边界条件和初始条件等进行自然语言描述。

场景描述方法应包含场景的抽象化范围、抽象化等级、具体场景、逻辑场景、抽象场景等部分。并进一步通过对描述场景的触发条件及边界的规范，实现对场景信息及其变化情况的确切描述。从而达到场景从抽象化到具体化或具体化到抽象化的转变。

场景描述语言标准化可帮助厂商完善测试过程，提高测试效率、统一开发测试人员在开发和测试过程中的认知，便于提高算法复用性、有效性。

自然语言场景描述的优点在于其对于不同人员对于场景理解的友好性，其中面向研发人员，具有通用的场景结构描述，便于在不同系统和组织之间共享和重复使用场景；面向测试人员，便于其客观理解测试场景，并根据测试场景执行测试用例；面向监管人员，其更高层次的通用结构便于非专业人员理解；面向公众/最终用户有利于其了解高级测试场景，以了解潜在的威胁、风险和安全问题

目前，对于自然语言场景描述方法的研究仍处于初期阶段，但是由于自然语言种类众多、语言使用方法不一致，容易造成场景理解的歧义性。在实际应用过程中，自然语言描述方法与设计人员强关联，标准化程度低，不同设计人员采用的自然语言描述方法间缺少互操作性，同时现有场景自然语言描述方法对场景参与者较为复杂的行为序列，难以实现准确的刻画，且执行过程存在较大的不确定性。

针对上述问题以及面临的挑战，自动驾驶场景自然语言描述的应用以及对应的标准化问题刻不容缓。此项内容可以从几方面提升自动驾驶的测试以及对应的应用效率：

- 1、此项标准可以有效地打通测试场景及对应的测试需求。在现有术语与框架统一的基础上，对所涉及工具接口进行标准化规范，便于统一厂商、工具供应商等开发部分的实现形式和开发流程。

- 2、此项标准可以有效地为其他参与者提供阅读性较强的场景描述方式。并通过这样的描述方式为不同的利益相关方提供标准化的描述及评价逻辑。

- 3、此项标准可以帮助企业在开发和测试流程中梳理对应的测试逻辑及测试指标。通过统一相应的语言形成可以容易达成共识的描述及逻辑体系。

参考文献

- [1] 全国信标委人工智能分委会 自动驾驶研究组. 自动驾驶场景描述语言白皮书[M], 2022.
- [2] 中国电动汽车百人会, 腾讯, 中汽数据. 2020 中国自动驾驶仿真蓝皮书[M], 2020.
- [3] 全国汽车标准化技术委员会 智能网联汽车分技术委员会. 自动驾驶功能仿真测试标准化需求研究报告[R], 2020.
- [4] National Highway Traffic Safety Administration. A framework for automated driving system testable cases and scenarios[R]. Virginia Tech Transportation Institute, Blacksburg, DOT HS812623. 2018.
- [5] ISO 21448: 2022 Road vehicles – Safety of the intended functionality
- [6] 20203970-T-339 《道路车辆 预期功能安全（征求意见稿）》
- [7] ISO 34503:2023 Road Vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Specification for operational design domain
- [8] WALTHER W, PHILIPP J, et al. Scenario description [R]. Germany: PEGASUS, 2019.
- [9] 20230388-T-339 智能网联汽车 自动驾驶系统设计运行条件（征求意见稿）
- [10] 冯屹, 王兆. 自动驾驶测试场景技术发展与应用[M] 北京: 机械工业出版社, 2020. 2