

自动驾驶实际道路测试标准化需求 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

2020年9月

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布

前言

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、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、中国第一汽车集团有限公司研发总院、上海淞泓智能汽车科技有限公司、上海汽车股份有限公司、北京百度网讯科技有限公司、重庆车辆检测研究院、宝马（中国）服务有限公司、北京汽车股份有限公司、北京智能车联产业创新中心有限公司、戴姆勒大中华区投资有限公司、东风汽车集团有限公司技术中心、浙江亚太机电有限公司、东风汽车有限公司东风日产乘用车公司、湖南湘江智能科技创新中心有限公司、华为技术有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、通用汽车（中国）投资有限公司、襄阳达安汽车检测中心有限公司、一汽-大众汽车有限公司、一汽解放汽车有限公司。

主要编写人：陈振宇、曹建永、王霖宇、郑建明、郭润清、彭剑、邢亮、徐建勋、顾海雷、秦孔健、孙航、党利冈、魏芳、杨继峰、郑文荣、张伟、谭永岗、陈音、程周、谢陈江、谢国富、陆欢、姜灏、刘楠、游国平、樊晓旭、沈红荣、叶帆、周文涵、黎艳杨、高海龙、李焱、夏露、刘永恒、罗骞、张新生、胡旭辉、吴南洋、李晴宇、端帅、邵星辰、赵利红、周正、李颖、孙瑞、王兴东、程悦、张行。

目录

第一章 实际道路测试的研究意义.....	1
1.1 智能网联汽车发展现状及需求分析.....	1
1.2 自动驾驶测试发展现状.....	2
1.3 实际道路测试标准研究意义.....	4
第二章 实际道路测试流程分析.....	1
2.1 实际道路测试与其他测试方法的关系.....	6
2.2 实际道路测试实施流程.....	8
2.3 实际道路测试实施中的问题.....	10
第三章 实际道路测试环境要素及条件.....	13
3.1 实际道路测试环境要素需求分析.....	13
3.2 实际道路测试场景元素需求研究.....	15
3.3 实际道路选择匹配方法研究.....	21
第四章 实际道路测试标准需求及实施方案.....	24
4.1 评价方法.....	24
4.2 测试评价指标.....	34
第五章 实际道路测试设备研究.....	38
5.1 实际道路测试设备技术难点.....	38
5.2 自动驾驶实际道路测试设备特征.....	38
5.3 自动驾驶实际道路测试设备现状及分类.....	39
附录 相关标准框架结构.....	48
附录 I	48
附录 II	49

第一章 实际道路测试的研究意义

1.1 智能网联汽车发展现状及需求分析

当今世界，以移动互联网、大数据及云计算等技术为代表的新一轮科技革命方兴未艾，推动传统制造业向“智能制造”转型升级的趋势日益明显。我国政府提出了“中国制造 2025”及“互联网+”的发展战略，大力推动产业转型升级和结构优化调整。汽车产业作为国民经济的支柱产业，其自身规模大、带动效应强、国际化程度高、资金技术人才密集，将成为新一轮科技革命以及中国制造业转型升级的重要产业。作为汽车产业人工智能领域的先驱者以及相关技术的重要应用对象，智能网联汽车能够通过环境感知系统获取车辆周围环境信息，并根据感知系统所获得的道路、车辆位置和障碍物信息，利用车辆自身的电子控制系统控制车辆行驶的速度和方向，从而使车辆安全、可靠地在道路上行驶，进而有效的降低出行成本，同时能够有效提升社会运行效率及行驶安全，是构建绿色汽车社会的核心要素。其意义不仅在于汽车产品与技术的升级，更将带来汽车领域相关产业全业态和价值链体系的重塑，是国际公认的未来发展方向和关注焦点之一。

推荐性国家标准《汽车驾驶自动化分级》将智能网联汽车功能分为 L0~L5 六个级别，其中 L0~L2 属于先进驾驶辅助系统 (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 功能，L3 及以上为自动驾驶 (Autonomous Driving, AD) 功能。依据智能网联汽车分标委前期调研结果，截至 2019 年，国内已有 27 家企业推出超 60 款 L2 产品，ADAS 产品已具备市场化规模，为进一步提升车辆智能化程度，多数主流汽车企业陆续加大 AD 领域产品的研发工作，并将 2021-2022 年视为 AD 产品量产的关键节点（如图 1.1 所示），诸如一汽、上汽、长安、北汽等主要整车企业分别制定了智能网联汽车发展战略，北汽基于新能源智能网联汽车启动了面向普通公众的长距离试驾体验，长安更是首次在国内进行了 2000 公里的自动驾驶公共道路测试试验。



图 1.1 汽车企业自动驾驶量产计划

随着智能网联汽车进入新的纵深发展阶段，如何测试自动驾驶安全性，政府机构、科研院所、相关企业已经开展了大量研究工作。传统车辆测试评价的对象是人-车二元独立系统中的“车”，而自动驾驶测试评价对象变为人-车-环境-驾驶任务强耦合的功能实现系统，车辆从“由人控制”的驾驶执行机构，逐步转变为“人出环”而系统自动进行环境感知、决策预警、控制执行等驾驶任务的“智慧体”。因此自动驾驶功能优劣、性能高低不仅仅取决于执行机构性能表现，更取决于感知、决策、控制等全过程综合性能表现，原有的以车辆装置（包括整车系统和部件）为基础、以机械式硬件为主要形态的基于工况的汽车测试评价方法，已无法满足自动驾驶功能测试需求，亟需建立适应自动驾驶的全新测试方法和评价体系。

1.2 自动驾驶测试发展现状

自动驾驶领域技术的发展对测试方法提出了更多要求。首先，由于自动化水平不断提高，汽车要应对的场景数量以及应具备的能力急剧增加。从ADAS系统只需满足特定场景下的功能要求，扩展到有条件自动驾驶（L3）或高度自动驾驶（L4）系统等需要满足各类场景的功能要求，导致用于自动驾驶测试与验证的场景数量呈几何级数增加，无法通过场地搭建固定场景的方式穷举。其次，自动驾驶系统应对的场景复杂程度急剧上升，如从较为封闭的高速公路向开放的城市交通环境扩展，这也致使测试场景包含的要素种类和数量增加。综上，对于自动驾驶系统测试亟需形成系统性理论、方法和标准等，规范测试试验方法，提高自动驾驶测试规范性和一致性，推动自动驾驶测试技术的发展。

2018年联合国整合原ITS/AD非正式工作组相关业务成立新的自动驾驶车辆

工作组（GRVA），并在 GRVA 下建立了自动驾驶评价与管理办法非正式工作组（VMAD），以在自动驾驶测试面临的新问题和新挑战背景下，在联合国层面开展自动驾驶型式认证及相应流程等管理方法，明确提出仅通过基于特定场景、特定指标（即“检测核定车辆在完全相同的测试条件下必须能够产生相同的结果”）的场地测试评价方法，无法满足自动驾驶系统在各种复杂场景条件下全天候进行测试评价，并基于此提出目前最被国际社会接受认可的自动驾驶测试方法——“多支柱法”自动驾驶测试准则（详见图 1.2），即通过仿真测试、场地测试和实际道路测试等多种途径与方式进行测试，其中利用仿真测试覆盖全场景测试，利用场地测试覆盖典型场景和危险场景，利用实际道路道路测试覆盖典型场景，综合测试自动驾驶系统应对各种交通情况下的安全性和鲁棒性。

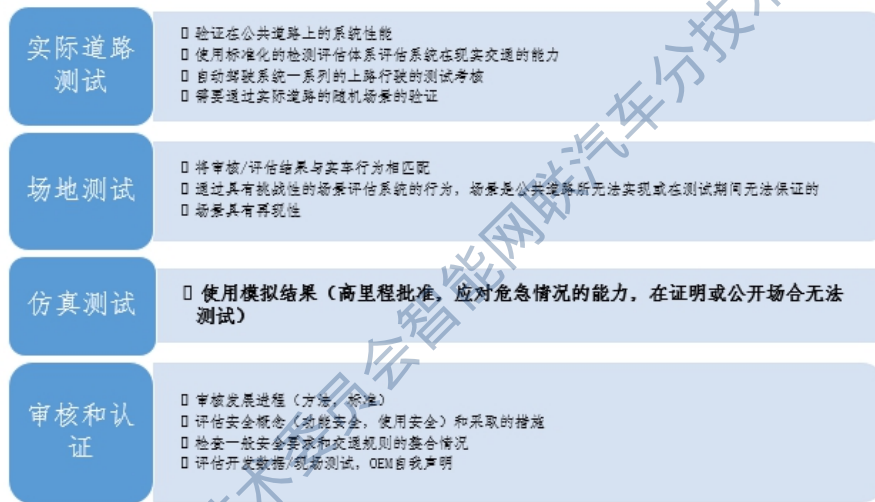


图 1.2 多支柱法测试方法

由于自动驾驶实际道路测试可利用实际道路各种事件随机化的特点，可验证自动驾驶车辆：

- 1) 在实际道路运行的安全性；
- 2) 对于不同的随机动态事件的应对方式；
- 3) 对于实际道路上经常出现的典型动态事件响应是否符合预期；及
- 4) 对于整体道路交通环境的安全性。

因此实际道路测试是自动驾驶系统测试及评价过程中不可或缺的重要环节，也被普遍认为是量产自动驾驶产品市场准入前必经的最后一步。

相较于在智能网联汽车领域已较为广泛和应用的场地测试方法，国际范围内对于实际道路测试方法目前仍处于研究探讨阶段，暂未明确具体的测试评价方法

及要求。如何完善实际道路测试部分内容，支撑多支柱法实施，是目前智能网联汽车测试评价领域最新也是最为关键的研究重点与难点。

1.3 实际道路测试标准研究意义

自动驾驶作为智能网联汽车智能化和网联化两条技术路径的最终结合点与实现形式，是汽车产业发展、技术开发和标准制定的重要对象。实际道路测试对于验证自动驾驶功能与性能的优劣具备重要意义，也是有待突破的自动驾驶测试评价核心难题。开展自动驾驶实际道路测试的研究工作，是贯彻落实政府主管部门关于智能网联汽车产业发展有关要求的重要手段，也是智能网联汽车标准体系建设的有力举措，有助于产业与各研究机构建立对自动驾驶实际道路测试的统一理解、规范基本概念，使不同测试机构检测结果具备互认基础，对发挥资源集聚优势和节约开发测试成本具有重要作用，并对提升我国汽车标准化水平和加强国际标准法规协调工作具有重要意义。

(1) 自动驾驶实际道路测试研究工作是贯彻政府部门有关要求和落实智能网联汽车标准体系建设的重要措施。

我国汽车行业主管部门高度重视智能网联汽车行业良性发展，陆续规划并发布多项产业政策，《中国制造2025》、《汽车产业中长期发展规划》、《智能汽车创新发展战略》、《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》等国家顶层设计均将智能网联汽车定义为汽车行业的战略发展方向，并将自动驾驶系统的测试方法视为支撑行业发展的重点工作，开展自动驾驶测试方法研究，尤其是相关标准化工作的开展，是我国汽车行业主管部门为促进智能网联汽车产业发展拟定的重要产业发展规划，将为我国智能网联汽车产业发展战略目标的实现贡献力量。

(2) 自动驾驶实际道路测试研究工作有助于建立对自动驾驶测试的统一理解、规范基本概念。

自动驾驶测试实际道路测试是伴随自动驾驶这一新兴产业而产生的技术领域，在全球范围内还未建立统一的概念，对于相关术语定义、技术范畴和核心要素尚无统一理解，在该领域的各个层面都还未形成相应的准则，不利于行业技术交流、产业合作及标准制定工作的开展。产业亟需开展自动驾驶实际道路测试的相关研究工作并构建适应于我国智能网联汽车产业发展的标准体系，以相关概念

的统一为基础，满足产业发展的切实需求。

(3) 自动驾驶实际道路测试标准化工作使不同测试机构测试结果具备互认基础，有效节约开发和测试成本。

近年来，包括中国在内的世界主要汽车产业国家和地区都纷纷启动了有关自动驾驶实际道路测试的研究工作，各个国际化组织和产业联盟也开展了实际道路测试研究并开始尝试探索产业化运营模式，逐步形成了多种测试评价方案。通过将实际道路测试研究的成果以标准的形式进行实现，将不同技术方案之间共性要素进行提取、分析和统一，有助于实现测试机构结果互认，有效降低试验成本、显著提高测试效率，促进实际道路测试的实施。

(4) 自动驾驶实际道路测试标准化工作是我国深入参与国际标准法规工作的关键点和突破口。

智能网联汽车国际标准法规协调工作将是我国未来一段时间汽车产业标准化工作的重点，实际道路测试标准制定已经被世界各国及各个标准化组织列为重点工作内容之一。近年来，我国已通过制定产业发展政策、推动智能网联汽车道路测试、建立自动驾驶示范区等，为开展国内自动驾驶实际道路测试标准制定及参与国际标准法规协调工作打下了基础。制定科学合理并应用于产业实践的相关标准将有助于我国汽车行业在 GRVA 标准化活动中占据先发优势，通过相关成熟提案的提出为国际标准法规的制定贡献更多中国智慧，从而进一步提升我国汽车产品的国际影响力和地位。

(5) 自动驾驶实际道路测试研究工作有利于提升我国道路交通安全，促进行业发展。

结合中国道路交通环境特点，对于自动驾驶实际道路测试开展相关研究工作，提出符合我国道路交通特点的实际道路测试评价方法与原则，并以此为基础明确提出合理科学的自动驾驶系统实际道路测试评价方法，可以使自动驾驶系统更快适应我国实际交通道路环境，高效地促进产业的成熟和发展。

第二章 实际道路测试流程分析

2.1 实际道路测试与其他测试方法的关系

不同于 L0~L2 驾驶辅助系统功能的自动化车辆安全测试，根据 SAE J3016 国家推荐标准《汽车驾驶自动化分级》相关的标准规定，3 级驾驶自动化车辆可以实现在特定条件下的自动驾驶，即有条件的自动驾驶，3 级以上驾驶自动化车辆在符合条件的情况下可以实现高度甚至完全自动化驾驶行为，即自动驾驶系统的运行场景更加丰富。因此，3 级及以上驾驶自动化车辆的测试除了需要在封闭场地内搭建的较为理想、规范的场景、用例内进行测试外，还需要在真实的开放道路上进行测试。开放道路是车辆运行的最终真实环境，自动驾驶功能在功能范围内、符合条件的情况下，要面对复杂多样的真实环境。不管是车辆的安全行驶能力、车辆提醒接管能力、驾驶员状态监控功能、车辆通讯功能还是人机交互能力，都要经历多变、复杂的真实世界的考验。在充分保证安全的情况下，开展自动驾驶实际道路测试是测评 3 级及以上驾驶自动化车辆的必需环节。

如前所述，联合国 WP29 GRVA 工作组提出的“多支柱法”中，仿真测试、封闭场地测试和实际道路测试的测试方法各自有自身的特点，可以实现不同的测试目标。下面就仿真测试、封闭场地测试和实际道路测试的优势和不足进行论述，参考表 2.1。

表 2.1 不同测试方法的特点对比

测试方法	优势	不足
仿真/虚拟测试	<p>测试过程可控——仿真测试的过程中，对于测试中的条件、参数可以较容易的实现灵活控制。</p> <p>测试过程可预测——仿真测试的过程是设置好的，不会出现意外的情况。</p> <p>测试过程可重复——仿真测试过程可以在仿真软件中重复开展，包括极端情况。</p> <p>测试场景可泛化——仿真测试可以将场景泛化衍生出更多的测试用例。</p> <p>测试过程高效——仿真软件可以进行加速测试，提高测试效率。且仿真场景和模型调整好的情况下，每个用例之间不需要准备时间。</p> <p>测试过程安全——所有设备、车辆、人员都是虚拟化的，测试过程足够安全可靠。</p>	<p>测试过程还原度不可控——仿真场景或者模型很难完全复现真实世界中的情况，从而较难验证测试环境的精度。</p> <p>难以定义未知情况——仿真测试中不会出现场景库以外未设想过的情况，而这些情况也许就是能够引起问题的极端情况。</p> <p>仿真结果受软件影响——仿真测试的结果会因为仿真软件本身而不同，因而会导致相同场景和模型在不同的仿真平台中可能不同。</p>
封闭场地测试	<p>测试过程可控——场地测试过程中，包括ODD在内的许多测试元素都是可控的。</p> <p>测试过程真实——场地测试过程中，被测车辆和干扰车辆/假人/障碍物都是真实形象的。</p> <p>测试过程可重复——同仿真场景一样，场地测试中搭建的场景也是能够复现的。</p> <p>封闭场地测试可以搭建出已知的一些危险而又罕见的测试场景，提高闭环测试效率。</p> <p>场地测试可以用来验证仿真测试的精度和质量，通过搭建相同的场景，对比二者的</p>	<p>测试过程耗时耗力——场地测试在场景搭建和试验准备中，都会消耗较多的时间成本。</p> <p>测试成本较高——封闭场地测试需要大量人力和测试设备，包括假人/假车/障碍物等，以及测试测量设备。</p> <p>测试灵活性有限——受限于场地测试中设施的几何外形/尺寸/天气/时间和其他交通因素，很难在场地测试中灵活变化。</p> <p>测试存在安全风险——场地测试使用真实被测车辆开展，对于测试参与人员/驾驶员</p>

	测试结果。	/观察者都存在潜在的未知风险。
实际道路测试	<p>测试过程真实有效——在车辆最终的 ODD 内验证车辆功能，并且真实道路中情况多样，测试过程真实性较高。</p> <p>测试未知情况——实际道路测试过程中可能会出现未知的极端场景，以及其他未知的风险，都会全面挑战自动驾驶系统。</p> <p>兼顾数据采集——实际道路测试过程中出现的未知场景，可以用来丰富仿真和场地测试的场景和用例。</p> <p>实际道路测试的行驶表现/测试结果也可以作为封闭场地和仿真测试结果的对比。</p>	<p>测试过程受控性差——实际道路测试过程中，交通参与者为真实的车辆/行人，不受测试过程控制。</p> <p>测试过程难以复现——由于受控性差，测试过程难以复现，</p> <p>测试周期较长——研发过程中的实际道路测试，为了考察系统的稳定可靠，可能需要数以百万计公里的测试，又无法像仿真测试来加速/集群测试，在时间上的成本较高。</p>

通过不同测试方法间的对比分析，可以在建立自动驾驶功能测试评价体系的过程中，充分发挥不同测试方法的优势，进而弥补各自的不足，并较高的维度划分不同功能的测试方法，统筹研究并建立相关标准。此外，与各地示范区开展的道路测试相同，面向准入的实际道路测试也是在真实开放、公共使用的道路上进行的，因此，考虑到测试本身的安全性，实际道路测试也需要经过充分的封闭场地测试、具备必要的安全保障后才能开展。

2.2 实际道路测试实施流程

2.2.1 通用流程

通过上述内容可知，实际道路测试是在被测车辆/系统通过了对应的仿真测试、封闭场地测试后再开展的。不同于仿真和封闭场地测试中搭建的特定场景，实际道路测试很难在公共的道路上构建特定的测试场景，而是根据车辆的 ODC 选择符合要求的测试区域、道路等。因而在实际道路测试开始前，需要企业提供车辆的自动驾驶系统 ODC 描述相关文件和用户手册等，以便于第三方检测机构了解自动驾驶系统的使用范围和方法，合理的选取测试区域、道路。根据道路类型，可以将实际道路测试路段分为高速公路、快速路、城市道路、城郊道路和特殊区

域。

为了遍历不同的交通情况、流量等，实际道路测试需要在一天内的多个不同时段开展，因而测试实施过程需综合考虑人员、交通、路段的情况，制定合理的测试计划。

测试人员在测试过程中跟随车辆开展测试，并对车辆的行驶表现进行记录，除了测试人员的记录，车辆还需安装必要的测试、记录设备，包括视频记录和必要的的数据记录等。

实际道路测试评价的对象是在真实世界中运行的自动驾驶系统，要对车辆在真实世界的表现进行充分的评价，仅依靠现有的测试设备是不够的，还需要具备测试、记录功能的新型测试设备来配合测试。此外，类似于汽车底盘的研发和校准，很多情况的评估可以通过经验性的主观评价或者人工判断来完成。

在主观评价中，驾驶员同时承担了驾驶和观察汽车的双重任务。道路试验是汽车测试的传统且有效的方法，因为该过程针对性强，任务分解清晰，而且耗时短又不需要大量的准备工作。此外，这是唯一能够评价行驶过程中复杂状况的方法。不过前提条件是驾驶员接受过足够良好的训练，熟悉自动驾驶车辆的功能。

根据实际道路测试计划完成测试后，测试人员根据设备和自身记录的数据结果对被测车辆进行评价。面向准入的自动驾驶实际道路测试的核心原则是行驶的安全性，与之相关的元素有避免碰撞、不违反交通规则、系统易于操作、增强信心的感受、合理的安全冗余等等。根据核心原则，设置相关的评价指标。

不同的评价指标，需结合指标的特点设置评价评分原则。可以根据指标与行驶安全性的相关性强弱，将对应的指标分为一票否决指标和评分指标。一票否决的指标即为与行驶安全强相关，一旦不符合，会对车辆自身和车辆周围的交通参与者产生较大的影响，例如碰撞和违反交通规则等。因此，此类指标一旦未通过，则本次自动驾驶实际道路测试视为未通过。评分指标，虽然不会对车辆自身和其他交通参与者的安全产生立竿见影的影响，但较多次的发生仍然会影响车辆行驶的流畅度，并会带来潜在的安全风险，因而要在测试的过程中对其进行记录和后续的评价。

2.2.2 测试流程图

根据以上的测试流程描述，得出如下测试流程图，如图 2.1。

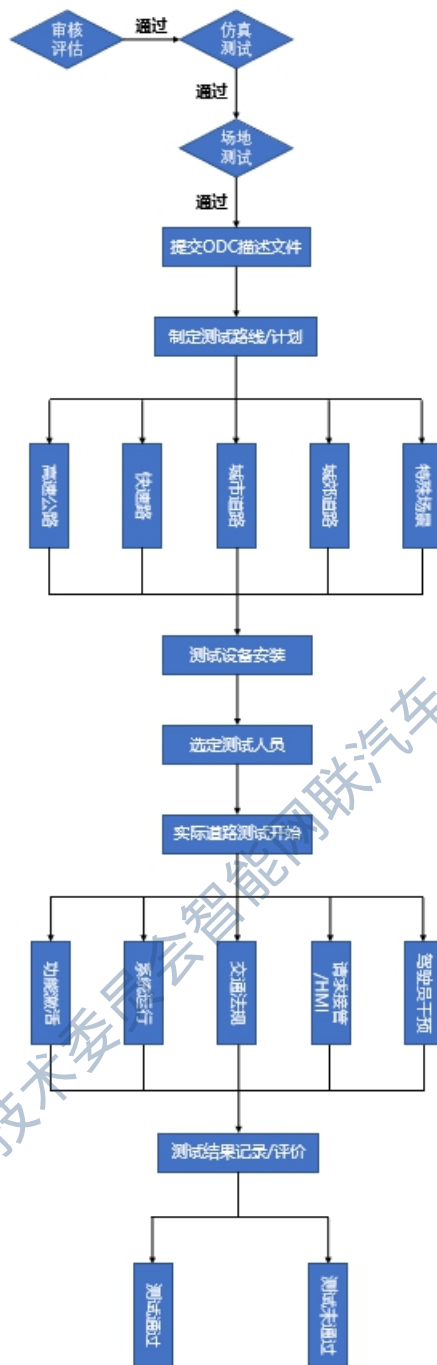


图 2.1 实际道路测试流程图

2.3 实际道路测试实施中的问题

2.3.1 与标准化相关的问题

开展实际道路测试，需充分考虑以下几方面的问题。

2.3.1.1 实际道路测试试验环境

封闭场地测试和仿真测试，能够对参与测试的目标车辆、行人进行精确的控制以搭建具体的测试用例。真实的交通环境中，自动驾驶车辆周围的行人、车辆按照各自的意愿行驶，很难在测试过程中自然的形成所需的测试场景和用例。实际道路测试考察的是自车对于道路交通流的影响，以及长时间测试对于乘客的体验，关注的是常见的场景、情况，不必搭建场景，可以通过道路的选择、控制测试执行时间、选择合适的车流量作为前提条件，保证关注的考核情况出现。因此，在实际道路测试中，应关注自动驾驶车辆 ODC 范围内所包含的道路类型、车道数量、路面情况和交通设施等。

不管是车辆自主智能或者车辆网联协同智能的方式，或者自动驾驶功能启动是否依赖于高精地图，标准和测试方法流程都不应该限制技术的发展和选择。

2.3.1.2 试验方法与评价指标

自动驾驶实际道路测试是整车系统上市前最接近真实使用环节的测试，类似于驾照考试的路考环节，因此，对于驾驶行为及驾驶过程的评价，存在诸多无法用数值或者参数进行判断的情况。例如，在自动驾驶车辆行驶过程中，即便本车行驶较为稳定，但导致周围其他车辆行驶节奏发生明显变化，这种情况显然在实际运行中不合理。研究并制定合理的测试方法和评价体系，是自动驾驶实际道路测试的重要研究内容。

2.3.2 其他问题

除以上与标准化相关的问题外，还有一些关于测试流程管理、责任处理、人员资质等相关的问题。

测试过程中，车内的驾驶位的安全员和车内其他位置的测试员应该为测试机构的人员。测试人员要提前阅读车辆用户手册。测试过程中通过车载监控和外部监控，作为测试过程中责任划分的主要依据。

测试过程中若发生交通事故，若测试方（车辆和测试人员组成）负有事故责任，判断具体责任的归属依据为：功能正常开启及运行过程中，事故的责任由企业负责；车辆提示接管而测试人员没有接管并且触发车辆风险减缓策略，事故的责任由测试机构负责。其他情况具体分析。测试过程中出现企业为非责任方的交通事故，如测试车辆被追尾，且无其他违规、异常行为的，不视为企业测试未通过。在实际道路测试过程中，测试车辆应具备满足一定条件的商业险。

实际道路测试主要用于自动驾驶车辆量产上市前的检验，测试过程中，不能够出现其为责任方的交通事故，即便导致事故的场景为极端情况。如果出现此情况导致事故和测试未通过，检测机构视情况而接受测试企业再次提出的测试申请。

关于已经上市的车辆进行 OTA 升级的情况，建议对 OTA 升级带来的自动驾驶系统功能和性能变化进行分级分类，按分级的结果而定对于 OTA 升级的系统视同与否。

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布

第三章 实际道路测试环境要素及条件

3.1 实际道路测试环境要素需求分析

自动驾驶功能实际道路评价中测试道路选择需要涵盖车辆自动驾驶功能测试，车辆自动驾驶运行范围，符合实际交通场景测试的要求。测试道路选择应使自动驾驶测试具备连贯性，避免过多人工接管和自动驾驶功能场景路段过于单一。测试道路选择应满足监管要求，测试道路应具有风险评估，风险预案处理和测试监管。

综合考虑工业和信息化部、公安部、交通运输部等三部委共同发布的《智能网联汽车道路测试管理规范（试行）》，实际道路测试针对下述内容开展：

1. 基本交通管理设施检测与响应能力测试，测试内容应包含《GB5768 道路交通标志和标线》、《GB14887 道路交通信号灯》、《GB14886 道路交通信号灯设置与安装规范》等标准要求的道路交通设施种类和安装规范等内容；

2. 前方车道内动静态目标（机动车、非机动车、行人、障碍物等）识别与响应能力测试，测试内容应包含感知识别不同目标（机动车、非机动车、行人、障碍物等）的类型和状态、跟随不同交通参与者（机动车、非机动车、行人）行驶、车速车距控制等内容；

3. 遵守规则行车能力测试，测试内容应包含超车、并道、通过交叉口等内容；

4. 安全接管与应急制动能力测试，测试内容应包含靠边停车与起步、应急车道内停车、人工接管等内容；

5. 综合能力测试，综合考察自动驾驶系统对交通语言认知能力、安全文明驾驶能力、复杂环境通行能力、多参与对象协同行驶能力、网联通讯能力等内容。

因此实际道路测试的测试道路应至少满足道路要素、网联环境以及配套设施等方面相应需求，以顺利支撑自动驾驶实际道路测试实施。

3.1.1 道路要素需求分析

实际道路测试作为智能汽车上路前的重要测试环节之一，是智能汽车发展的重要组成部分。而实际道路作为车辆运行的载体，要求基础设施提供的服务和管理水平要与智能汽车的发展水平相匹配。为支撑自动驾驶实际道路测试，测试道

路应至少满足以下需求：

- 智能汽车的实际道路测试应符合《智能网联汽车道路测试管理规范（试行）》要求。
- 自动驾驶实际测试道路评价中测试道路选择需要涵盖车辆自动驾驶功能测试，车辆自动驾驶运行范围，符合实际交通场景测试的要求。测试道路选择应使自动驾驶测试具备连贯性，避免过多人工接管和自动驾驶功能场景路段过于单一。测试道路选择应满足监管要求，测试道路应具有风险评估，风险预案处理和测试监管。
- 测试实施过程不限定在某个省市及自治区的自动驾驶功能实际道路测试规定道路上，可在多个省市及自治区完成。不同省市及自治区的自动驾驶实际道路测试结果可进行互认。

3.1.2 网联环境需求分析

在全球车联网产业发展浪潮中，我国在 C-V2X 和 5G 蜂窝技术方面都处于领先地位。我国面向商用的 C-V2X 端到端体系架构已经建立，相关核心技术和标准制修订基本完成，芯片、模组以及 OBU(On-Board-Unit)和 RSU(Road-Side-Unit)配套的软硬件设备都已具备成熟商用基础。在车端，上汽、一汽、东风、长安、北汽、广汽、比亚迪、长城、江淮、东南、众泰、江铃集团新能源、宇通客车、吉利、福特等众多车企明确 2020 下半年至 2021 上半年陆续推出 C-V2X 量产汽车。为支撑相应车辆的自动驾驶实际道路测试，测试道路应满足以下需求：

- 自动驾驶实际测试道路应满足测试车辆的网联环境需求，自动驾驶测试道路应满足定位要求。
- 若测试车辆存在网联环境需求，则自动驾驶实际测试道路需充分保障车辆与道路网联设施的通信功能。
- 自动驾驶实际测试道路的 GNSS 卫星定位信号和差分信号应覆盖良好。
- 若测试车辆存在网联环境需求，则自动驾驶实际测试道路应部署 V2X 交通信号控制系统，为自动驾驶车辆测试提供相应 V2X 测试场景。

3.1.3 配套设施要求分析

为支撑自动驾驶实际道路测试，测试道路相应配套设施要求应满足以下需求：

- 自动驾驶实际测试道路的配套设施需按照有关管理部门要求进行建设配置，并由有关管理部门指定第三方机构或专家组进行评审，确保符合相关测试需求；
- 自动驾驶实际测试道路的配套服务设施应具有普遍性，能够满足不同省市及自治区相互认证测试结果的需求；
- 自动驾驶实际测试道路的配套设施不应干扰周围其他非测试道路、交通设施、公共服务设施等的正常工作；
- 自动驾驶实际测试道路应配套建设数据中心平台，主要功能应包括测试数据采集及存储、视频监控、数据管理、电子围栏、测试业务受理等；
- 自动驾驶实际测试道路应配套建设云控平台，为智能网联汽车和智能路侧设备数据交互提供标准认证、车辆与路侧系统数据分析及存储、以及提供车路协同感知、决策与控制辅助与增强等能力。

3.2 实际道路测试场景元素需求研究

3.2.1 实际道路测试复杂性分析

从测试场景三维架构角度来讲，测试场景是行驶场地和驾驶情景的组合，在环境的影响下，由不同场景（高速公路、乡村道路、城市道路等）与驾驶任务、驾驶模式、驾驶速度等一同构成。针对传统测试场景构建方法存在的效率低、适应差、规划程度弱等问题，应从以下维度出发，构建符合我国典型实际道路交通情景的测试场景：

1. 借鉴我国机动车道路交通通行原则与法律法规在实施过程中的成功经验，从安全驾驶技能、安全驾驶意识等角度构建基于中国道路交通环境特殊需求的实际道路测试场景；

2. 基于我国典型道路环境、道路类型、典型交通流、典型天气及光照等条件，通过道路设计、交通流仿真分析、实际道路交通场景采集分析等方法，构建基于道路交通情景的实际道路测试场景。

3.2.2 实际道路测试实景研究分析

我国对于道路等级的分类主要是按照道路使用特点，可分为城市道路、公路、厂矿道路、林区道路和乡村道路。除对公路和城市道路有准确的等级划分标准外，

对林区道路、厂矿道路和乡村道路一般不再划分等级。

城市道路等级分快速路、主干路、次干路、支路四级(根据《城市道路工程设计规范》(CJJ37-2012),对于道路的红线宽度并没有作强制性要求,仅对道路的路幅要求、横断面组成及各功能带最小宽度进行了要求),具体要求如下:

1. 快速路:城市道路中设有中央分隔带,具有四条以上机动车道,全部或部分采用立体交叉与控制出入,供汽车以较高速行驶的道路。又称汽车专用道。快速路的设计行车速度为 60-100km/h。
2. 主干路:连接城市各分区的干路,以交通功能为主。主干路的设计行车速度为 40-60km/h。
3. 次干路:承担主干路与各分区间的交通集散作用,兼有服务功能。次干路的设计行车速度为 30-50km/h。
4. 支路:次干路与街坊路(小区路)的连接线,以服务功能为主。支路的设计行车速度为 20-40km/h。

公路是连接各城市、城市和乡村、乡村和厂矿地区的道路。根据交通量、公路使用任务和性质,将公路分为以下五个等级:

1. 高速公路:是具有特别重要的政治经济意义的公路,有四个或四个以上车道,并设有中央分隔带,全部立体交叉并具有完善的交通安全设施与管理设施、服务设施,全部控制出入,专供汽车高速行驶的专用公路。
四车道高速公路应能适应年平均日交通量(ADT) 25000-55000 辆;
六车道高速公路应能适应年平均日交通量(ADT) 45000-80000 辆;
八车道高速公路应能适应年平均日交通量(ADT) 60000-100000 辆;
2. 一级公路:是连接重要政治经济文化中心、部分立交的公路。
四车道一级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 15000-30000 辆;
六车道一级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 25000-55000 辆;
3. 二级公路:是连接政治、经济中心或大工矿区的干线公路、或运输繁忙的城郊公路。
双车道二级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 5000-15000 辆;
4. 三级公路:是沟通县或县以上城市的支线公路。
双车道三级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 2000-6000 辆;
5. 四级公路:是沟通县或镇、乡的支线公路。
单车道四级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 400 辆以下;
双车道四级公路应能适应年平均日交通量(ADT) 2000 辆以下;

表 3.1 实际道路设置要求

道路级别	设计车速 (km/h)	双向机动车道数 (条)	机动车道宽度 (m)	道路总宽 (m)	分隔带设置
高速	80~120	不少于 4 条	3.75	40~70	(必须设)
一级	60~80	不少于 4 条	3.75	40~70	(必须设)
二级	40~60	不少于 4 条	3.5	30~60	(应设)
三级	30~40	不少于 2 条	3.5	20~40	(可设)
四级	30 公里以下	不少于 2 条	3.5	16~30	(不设)

根据自动驾驶运行特征和功能要求，结合实际道路具体运行情况，进行实际道路实景采集分析研究，具体场景如图 3.1-3.4 所示。研究对象道路基本覆盖城市道路、公路、林区道路和乡村道路，具体场景分布如图 3.5 所示，能够为目前自动驾驶系统发展测试的实际需求提供有效参考。



图 3.1 高速公路及快速路区域



图 3.2 城市道路区域



图 3.3 城郊道路区域



图 3.4 特殊道路区域

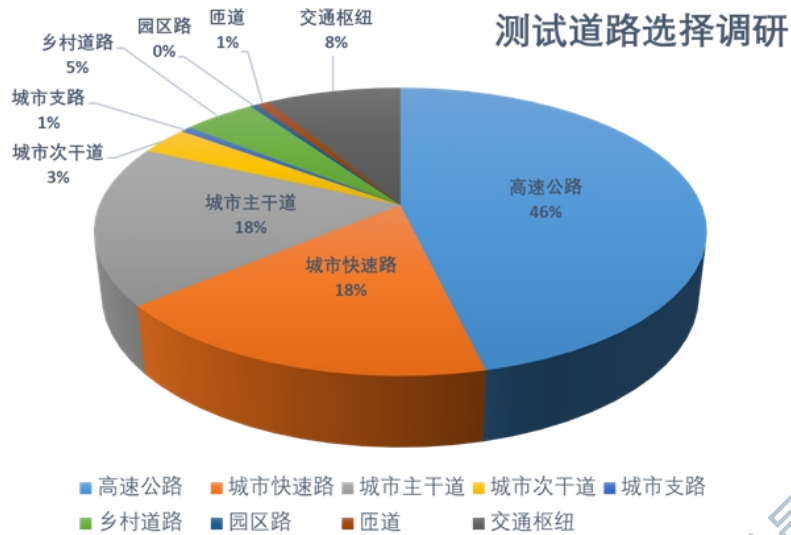


图 3.5 调研场景分布

通过实景研究并结合自动驾驶系统场景需求，将测试所需实际道路分为以下区域：

1. 高速公路及快速路道路区域

主要是指高速公路以及一级公路，仅由机动车行驶，应能全部控制出入或者根据需要控制出入的多车道道路区域。

2. 城市道路区域

主要是指二级公路和三级公路，机动车和非机动车公用道路，由连接住宅区、经济中心或工业园区的干线公路、或运输繁忙的次干线公路区域。

3. 城郊道路区域

主要是指三级和四级公路，机动车和非机动车公用道路，由联通县或镇、乡的支线道路区域。

4. 特殊行驶区域

主要是指专供或主要供厂矿、林区、农场、油田、旅游区等与外部联系的道路以及具有特殊道路辅助设施的行驶区域。

3.2.3 设计运行域（ODD）场景元素分析

道路选择目的是为了选择测试场景，科学的选择测试场景必须考虑自动驾驶车辆 ODD 因素。ODD 描述方法目前主要有 PEGASUS 和 ISO34503 的方法等。

在 PEGASUS 5 层分类法中，其将 ODD 分为 5 层。L1：道路集合结构和拓扑结构；L2：交通基础设施，包括交通标志等；L3：道路临时设施，如筑路时临时设施；L4：交通参与者，包括车辆、行人等；L5：环境条件和环境条件对其它层级

的影响。在 ISO WD 34503 Road vehicles - Road Vehicles - Taxonomy for Operational Design Domain for an Automated Driving System 中。其将 ODD 分为场景、环境条件和动态元素三类。

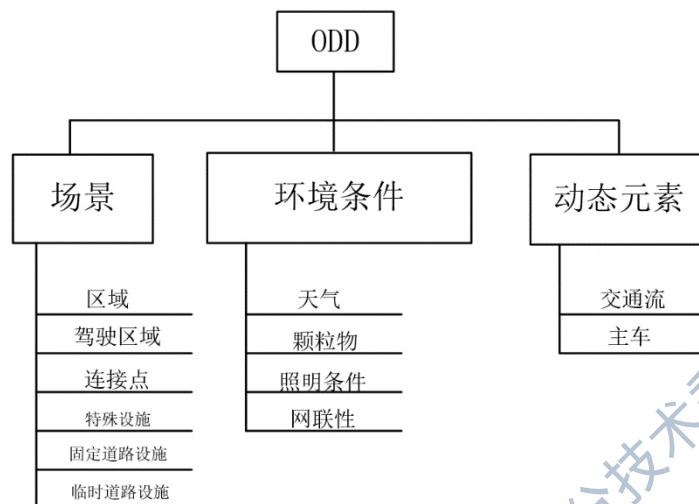


图 3.6 ISO WD34503 ODD 顶层分类法

本文通过分析相关文献并结合实际道路实景研究，基于 ODD 的元素分类归为静态要素、动态要素和辅助要素三大类。静态要素中包含：区域要素、形态要素、路面要素、交通设施要素等；动态要素中包含交通参与者要素、天气、交通运行状态等；辅助要素中包含网联通信要素等。三大类的归类方法能够使道路要素快速归类，大类后进行子类划分能够使类别准确细分。这种归类方法兼具快速与准确的优点，在实际道路测试道路选择能更有效选择合适的测试道路。

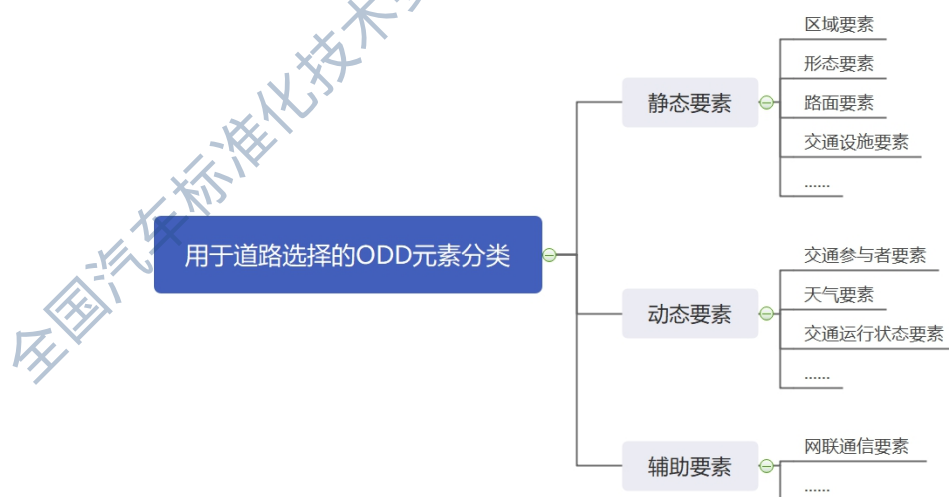


图 3.7 ODD 元素分类框架

3.2.4 实际道路测试场景元素分析

综合考量测试连贯性因素，对于 L3 级自动驾驶，其自动驾驶功能如 TJP、HWP 功能一般满足高速公路场景，现阶段其 ODD 一般定义为高速和城快等除，收

费站、检查站、隧道、施工道路、红绿灯区域及其前后一定距离以外的道路。尤其对于 TJP 功能而言，城市内的红绿灯区域会使得车辆频繁要求驾驶员接管，自动驾驶功能并不能体现其技术先进性。故从自动驾驶测试路线连贯性考虑，路线设置可考虑以任务形式测试。如在测试起点设置测试目的地任务。这种路线设定既可以确定连续路线，又可以考察自动驾驶车辆的路线规划能力。

根据实际道路实景采集以及实际道路 ODD 归纳分析，对实际道路中和自动驾驶系统场景功能强相关的道路元素进行研究，再结合上文中对于实际道路区域的分类，将道路元素进行相互对应，具体如表 3.2 所示。其中特殊行驶场景，因为其特殊性，暂未进行归纳对应分析。

表 3.2 实际道路测试场景元素

要素		高速公路及快速路 道路区域	城市道路区域	城郊道路区域	
静态要素	区域要素	高速公路	●		
		一级公路	●		
		二级公路		●	
		三级公路		●	●
		四级公路			●
	形态要素	直道	●	●	●
		单车道		●	●
		双车道	●	●	●
	
	路面要素	路面平整	●	●	●
		路面颠簸		●	●
		沥青路面	●	●	●
	
	交通设施要素	交通标志	●	●	●
		限速标志	●	●	●
		限高标识	●	●	●
...		
动态要素	交通参与者要素	行人		●	●
		机动车	●	●	●
		非机动车		●	●
	
	天气	光照	○	○	○
		雨	○	○	○
		雪	○	○	○
	
	交通运行状态	畅通	●	●	●

		基本畅通	●	●	●
		轻度拥堵	●	●	●
	
辅助要素	网联通信要素	2G/3G/4G/5G	○	○	○
		V2X	○	○	○
		差分信号	●	●	○
	

●：测试必选道路要素；○：测试可选道路要素；

3.3 实际道路选择匹配方法研究

3.3.1 实际道路元素数据采集

1. 数据采集人员

随车数据采集人员应为具备国家认可的自动驾驶试验评价第三方人员，并对所采数据负责。

2. 数据采集设备

实际道路元素数据采集设备需实时记录车辆行驶道路情况，将实时采集数据进行存储并能够随时调用回查。试验设备应满足如下要求：

试验车辆及目标车辆运动状态采样和存储的频率至少为 100 Hz；

视频采集设备分辨率不应小于 (640×480) 像素点；

3. 数据采集车辆

实际道路元素数据采集车辆应是市面常见的具备L3及以上自动驾驶功能的量产汽车。

4. 数据采集对象

实际道路元素数据采集对象为测试所需道路区域规定道路范围。

5. 数据采集方法

由评价人员乘坐具有L3及以上自动驾驶功能的车辆，依据表3.2所描述的实际道路测试场景元素范围，实地采集预进行自动驾驶实际道路测试道路元素数据。

3.3.2 测试道路选择评估方法

结合前文对于测试道路选择元素和道路实际场景的归纳总结，可以得到对于实际道路测试所需的理想道路。再与实地调研给出的实际测试道路进行匹配度计

算则可确认实际可进行自动驾驶测试的道路。具体路线图如图 3.8 所示。

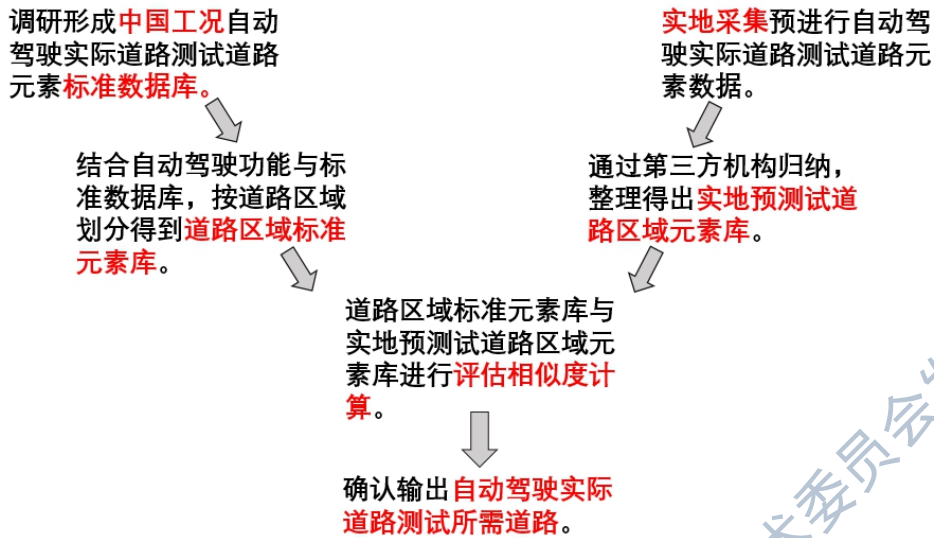


图 3.8 道路选择方法路线

针对实际道路测试所需的理想道路与主管机构给出的实际测试道路进行匹配度计算，本文研究选择 Jaccard Similarity 进行相似度计算。

项目相似性度量是协同过滤系统的核心。相关研究中，基于物品协同过滤系统的相似性度量方法普遍使用余弦相似性。然而，在许多实际应用中，评价数据稀疏度过高，物品之间通过余弦相似度计算会产生误导性结果。将 Jaccard Similarity 度量应用到基于物品的协同过滤系统中，并建立起相应的评价分析方法。与传统相似性度量方法相比，Jaccard Similarity 方法完善了余弦相似性只考虑用户评分而忽略了其他信息量的弊端，特别适合于应用到稀疏度过高的数据，更关心个体间共同具有特征是否一致的问题。其公式为：

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

在数据挖掘领域，常常需要比较两个具有布尔值属性的对象之间的距离，Jaccard 距离就是常用的一种方法。给定两个比较对象 A、B。并且 A、B 均具有二元属性，即每个属性取值为 {0,1}。定义如下 4 个统计量：

M_{00} : A、B 属性值同时为 0 的属性个数；

M_{01} : A 属性值为 0 且 B 属性值为 1 的属性个数；

M_{10} : A 属性值为 1 且 B 属性值为 0 的属性个数；

M_{11} : A、B 属性值同时为 1 的属性个数。

统计量	A
-----	---

关系		0	1
B	0	M_{00}	M_{10}
	1	M_{01}	M_{11}

$$J(A,B) = \frac{M_{11}}{M_{01} + M_{10} + M_{11}}$$

针对道路区域标准元素库与实地预测道路区域元素库进行评估相似度计算。

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

式中： A_i ($i =$ 高速路及快速路区域、城市道路区域、城郊道路区域)；

B_j ($j = 1、2、3、\dots$) [PS: 代表不同的实际道路]。

A、B 均具有二元属性，即每个属性取值为 $\{0, 1\}$ 。

在实际道路测试道路选择研究中，二元属性中的 0 代表没有，1 代表有。则有 A、B 二者匹配存在关系有 S_{10} 、 S_{11} 。

S_{10} ：表示 A 中标准要求道路区域元素库存在元素而 B_j 中实际道路元素数据库中不存在的。

S_{11} ：表示 A、B 中都存在的道路元素，则说明能够完全匹配的。

$$J(A_i, B_j) = \frac{S_{11}}{S_{10} + S_{11}} \times 100\%$$

评估相似度 $\geq 95\%$ ，实际道路相似度对比（同行比对）。则所选道路符合自动驾驶功能实际道路测试要求。

第四章 实际道路测试标准需求及实施方案

4.1 评价方法

4.1.1 车辆评价原则

安全：安全是自动驾驶车辆的一种状态，即通过持续的危险识别和风险管理过程，将人员伤害或财产损失的风险降低并保持在可接受的水平或其以下。提升道路安全与行驶效率是自动驾驶车辆的主要目的，因此安全性能直接影响着自动驾驶车辆的性能评价结果，属于测试中的一票否决项，若车辆的安全性能未通过测评，则本次测试未通过。此处的安全不应只关注本车是否可通过相应措施尽量降低本车风险，同样需要关注本车的相应措施是否会严重影响交通流，造成外界其他交通参与者与本车产生危险。同时关于安全性能的评估需要关注车辆的状态转换以及驾驶权转移是否与企业 ODC 描述文件一致，以及可能在测试期间出现的风险减缓策略是否足够合理并且安全。

准确：准确是指自动驾驶车辆是否能够精准的执行相关驾驶行为，不会由于车辆的驾驶行为对其他交通参与者产生过大影响，甚至发生碰撞事故。自动驾驶车辆应该在正确识别功能运行边界及道路条件的基础上准确作出驾驶决策、实施符合交通法规的合理的驾驶行为。其应该符合其他交通参与者的一般预期，不对车流速度造成负面影响，不让其他驾驶参与者对其行为感到迷惑，不影响道路安全。本项测试内容中对于车辆巡线行驶能力、限速行驶能力等要求可通过客观方式进行测试，其余测试内容可通过主观评价方式进行测评。

及时：及时是指自动驾驶车辆是否能够依据实时道路情况执行相关行驶行为，而不会对于其他交通参与者产生影响。此项内容主要依靠主观测试方法加以测评。包括车辆的起步、停车，车辆的换道，车辆的信息提示等响应是否足够及时等。

顺畅：顺畅是指自动驾驶车辆能否通畅、没有阻碍的执行相关驾驶行为，不会频繁的被其他交通参与者打断本车驾驶行为，也不会频繁、不合理地退出自动驾驶模式，要求驾驶员接管。

与安全相关的指标作为一票否决项，需在测试过程中保证通过，与及时、准确、顺畅相关的指标作为评分项，测试人员和测试系统根据车辆实际表现进行打分并统计。

4.1.2 企业 ODC 声明文件

实际道路测试的前提是车辆通过仿真测试以及封闭场地测试，因此车辆的基本性能已经有所保证，基于此实际道路测试不会进行相关的场景搭建，关注于车辆在面对实际交通情况下性能表现是否与其 ODC 声明文件描述一致，在其 ODC 内是否能够保证基本行驶安全，本项测试也将是实际道路测试的一票否决项及重点环节，因此实际道路测试的前提是需要明确企业声明材料的大致内容。

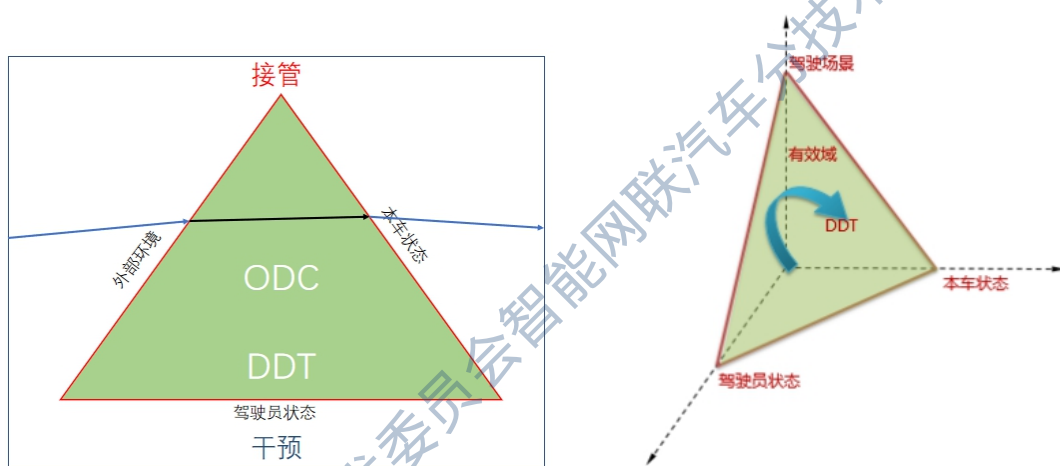


图 4.1 ODC 范围定义

设计运行条件（ODC）的定义为设计运行时确定的驾驶自动化功能可以正常工作的条件，包括设计运行范围、驾驶员状态以及其他必要条件，依据上述定义，通过图像方式表述企业的 ODC。图中绿色三角区域即为 ODC，三角形边分别对应为外部环境、本车状态以及驾驶员状态三类，同时表示车辆的接管条件。三角形内部为车辆执行 DDT 区域，外部白色区域是车辆整体行驶区域，白色区域与绿色三角为驾驶员可对车辆进行干预区域。箭头表示的是具体的某次测试。因此企业 ODC 材料至少需要对于以下三个方面进行描述：

驾驶员状态：尤其是针对 L3 自动驾驶车辆，需要驾驶员时刻做好接管准备，要求驾驶员时刻保持清醒状态，并时刻关注外部环境以及本车状态，待车辆发出接管需求时可立即接管车辆。因此企业提交 ODC 报告中需要对于驾驶员的状态加

以描述。

外部环境：外部环境是指车辆外界包括天气、路况、网联环境等在内的总集合，是影响自动驾驶功能是否可以启动的关键条件，因此需要企业在申报 ODC 环节进行详细描述。车辆外界包括天气、路况、网联环境等在内的总集合，是影响自动驾驶功能是否正常和驾驶安全风险是否可控的关键因素。其中测试天气包含自动驾驶系统能否适应不同气温、不同海拔、不同降雨强度（小雨、中雨、大雨）、不同能见度、恶劣天气（包含大风、冰雹、沙尘等）。路况包含自动驾驶系统适配的 ODD 场景（比如左转待转、隧道、换道、主辅路等）、交通流量、道路积水或结冰路段。网联环境包含是否接受路侧感知设备信息，是否作为主信号参与自动驾驶决策。

本车状态：本车状态是指车辆本身系统以及零部件状态是否能够支撑开启自动驾驶功能，原则上测试环节不应出现由于本车状态原因发生的接管。确保本车安装的自动驾驶软件版本经过了仿真和封闭测试场测试并具备测试通过的证据，同时保证本车硬件 bom 状态与取得测试牌照时 bom 状态相同，为了确保测试安全，正式测试前需要确认本车接管功能正常，确保危险发生时安全员可及时接管车辆。

表 4.1 ODC 范围列表（参考示例）

车辆级别		L3/L4/L5	
驾驶员状态	接管能力	驾驶员位置	
		驾驶员意识	
		驾驶员行为能力	
		驾驶员安全带	
	驾驶员职责	车辆状态确认	
		完成系统分配任务	
本车状态	自动化系统	自动驾驶控制器	
		感知系统	
		远程监管系统	
		HMI 系统	
	车辆其他系统	车辆悬架部件	
		动力系统	
		转向系统	
		制动系统	

		车身电子系统 (BCM)	
		车姿、车重 四轮定位 胎压等参数	
	速度范围		
外部环境	道路基本特征	道路类型	结构化 非结构化
		道路种类	高速公路、城市快速路、城市主干道、城市次干道、城市支路
		道路几何特性	曲率、坡度等
		道路情况	路口、车道变化、隧道、桥梁
		道路边界	路沿、护栏、屏障、铁路交叉口
	交通设施	交通标线标示	信号灯、交通指示标志
		道路车道特征	车道数、车道线
		照明	光源、光照强度、光照方向、光源高度
	道路临时变更	临时设施	交通锥、施工标示
		路面情况	特殊覆盖 (钢板)
		其他	障碍物、散落物
	移动目标	交通参与者	行人、自行车、摩托车、机动车
		特殊车辆	特种车辆 (洒水车等)、消防车、救护车、警车等
		动物	不同动物类型
	气候环境条件	天气	雨、雪、雾、霾
		时间	白天、黑夜
		天气导致的路面条件	积水、结冰、积雪等
		能见度	烟尘、灰尘
	信息环境条件	GNSS 条件	
		4G/5G/V2X	
最小风险状态	进入条件	L3 —— 在发出接管请求后, 如果动态驾驶任务接管用户未响应, 适时执行风险减缓策略; L4 ——即将不满足设计运行条件; ——驾驶自动化系统失效或车辆其他系统失效; ——用户未响应接管请求; ——用户要求实现最小风险状态; L5 ——驾驶自动化系统失效或车辆其他系统失效; ——用户未响应接管请求; ——用户要求实现最小风险状态。	
	风险减缓策略	本车道停车 靠边停车	

4.1.3 主客观评价方法

自动驾驶是人工智能领域的先驱者，是全球汽车行业转型升级的突破口，这一阶段对于所有的测试方法都保持开放态度，需要创新性的对于测试方法进行讨论与论证。

国际范围内都认为自动驾驶车辆的安全不应该只局限于车辆本身的安全，同样需要关注车辆对于整体交通流是否足够安全。客观测试方法更关注针对本车功能与性能进行的测试，而对于其他交通参与者的影响通过客观方式则很难进行测试，因此需要引入主观测试方法。

自动驾驶能力通过自动驾驶车辆在开放道路内通过不同场景内与交通参与者交互效果综合体现，行驶表现的评估视角一般分为用户视角和研发视角。

主观评价一般是从用户视角出发，不考虑技术实现方式，对开放道路行驶的安全性、智能性、舒适性、便利性和交互体验等多个维度形成直观感受并按照主观评价方法进行分级打分。

客观评价一般是从技术研发视角出发，评价无人车在起步、变道、通过路口、识别信号灯、应对切入切出、主辅路通行等场景下的通过能力，各项能力形成考核指标，对测试数据进行数据清洗解析、场景挖掘和分析，通过得到的指标对自动驾驶车辆进行客观评价。

主观和客观评价各有优缺点，将二者优点结合起来对无人车的道路测试进行综合评价的方法即是主客观相结合的评价方法。对于车辆的测试方法来讲，必要性以及可行性是其必须考虑的两个维度，缺一不可，而主客观结合的测试方式是可以经得起科学推敲的。

汽车用户对产品的各项需求并不是都能够用客观定量的指标来评价，同时，用户对产品的感知与产品的客观指标并不呈现线性关系，因此，用主观评价的方法更能体现产品的用户体验。

自动驾驶系统在行驶时车辆与驾驶员（或乘员）、外部道路环境和外部交通环境进行持续交互，而行驶环境复杂多变，自动驾驶系统在每个事件中都应有正确的响应，这些响应体现车辆的匀速行驶、加速、减速、转向、制动等动作，车辆的这些匀速行驶、加速、减速、转向、制动等动作都会给车内人员和车外的交

通参与者造成不同主观感受。车内驾驶员（乘员）对车辆行驶中的感受并不是完全能够用车辆的速度、加速度、横摆角、俯仰角等能够量化的指标来评判，而是综合了一些主观感受，例如，车辆行驶的稳健，对前面车辆响应及时精准，对行人礼让等等。

自动驾驶系统在满足法律法规的要求同时需要满足用户的需求，自动驾驶系统的驾驶员，车内乘员，车辆调度在使用车辆中既要启动自动驾驶功能或退出自动驾驶功能，同时需要享受自动驾驶系统的乘坐体验。对自动驾驶系统的主观评价主要由驾驶员，乘员，调度员对自动驾驶功能的开启、激活、关闭、接管，车内乘员感受及车辆在行驶环境中的表现等几个方面构成。

在自动驾驶功能开启，激活，关闭与退出方面，L3级自动驾驶车辆需要驾驶员在驾驶车辆过程中在驾驶位开启、激活、接管或关闭车辆自动驾驶功能，因此，驾驶员在操作的过程中对自动驾驶功能的开启、激活、接管、关闭和车辆设置调节的操作应方便，自动驾驶状态转换反应及时准确，操作完成后车辆能够清晰明确的提醒驾驶员车辆当前的驾驶状态。L4-5级自动驾驶车辆允许驾驶员在驾驶位开启、激活、接管、干预、关闭和车辆设置调节自动驾驶功能，也允许驾驶员、车内乘员或车外调度员对车辆进行远程开启、激活、接管、干预、关闭和车辆设置调节自动驾驶功能。除了与L3级自动驾驶车辆驾驶员在驾驶位操作时车辆的相同要求以外，远程操作车辆开启、激活、接管或关闭时车辆自动驾驶功能，操作人员的操作应该方便，车辆状态清晰明确，车辆状态转换提示及时准确、清晰明了。车内乘员能够及时准确了解车辆的自动驾驶状态。车内驾驶员或乘员乘坐体验。自动驾驶系统在自动驾驶状态行驶中，乘员希望乘坐在一个安全、舒适、平稳的移动环境中聊天、办公、或休闲娱乐，评价人员代表大多数乘客的感受评价车辆在自动驾驶过程中的加速，减速，制动，转向等动作的平稳程度能否给乘员提供一个舒适的乘坐环境。自动驾驶车辆在外环境中的反应以及对外部环境的影响。自动驾驶车辆会行驶在高速公路，城市快速路，城市干道，城区道路和城乡道路等各种环境中，在这些行驶环境中所有人都希望有一个和谐顺畅的交通环境。自动驾驶系统是否能够安全、舒适、高效的行驶是评价的关键内容。自动驾驶系统在行驶中是否能够按照道路限速、交通标志、交通标线行驶，合理规划行驶轨迹，以及与周围交通参与者的交互。自动驾驶系统与周围车辆交通参与者

交互过程中，自动驾驶系统保持与前车合理的车头时距，对切入本车前方的车辆能够合理避让，在前车切出后正确规划车辆的行驶方式，超越相邻车道慢车的规划行驶逻辑，对特种车辆的响应。自动驾驶系统与行人、非机动车等弱势交通参与者的交互中应保持合理的时间与空间，不但要保持安全的时距，更需要弱势交通参与者对自动驾驶车有亲切的感受。

自动驾驶系统在实际道路测试中不仅要进行主观评价测试，同时客观评价测试也非常重要。自动驾驶功能开启，激活，关闭与退出操作中系统的反应都是可以用客观的时长来描述。驾驶员乘客在车内对车辆因加减速、转向、制动等行为带来的驾驶乘坐体验，应根据纵向加速度，纵向减速度，纵向加减速度的变化，制动频度，侧向加速度，侧向加速度的变化率，横向位置的变化等客观参数来衡量。自动驾驶系统在实际道路测试中在每段试验道路上的完成时间，接管次数，与其他车辆交互的车头时距，安全距离，横向距离，信号提示；对弱势交通参与者反应与警示，与弱势交通参与者保持的安全时距及心理安全时距等客观数据是自动驾驶系统实际道路试验中的客观评价依据。

4.1.4 测试人员要求

从行业角度着眼，为保证实际道路测试的公平性、专业性以及可操作性，需要对参与自动驾驶测试的测评人员的提出相应要求

1. 测试人员资质

评价人员应为具备国家认可的自动驾驶测试评价第三方人员，评价人员需具有在试验场进行传统车辆性能试验的经验，如直线加速、制动、车辆主观评价、车辆动态评估，高速测试等，并从事自动驾驶测试专业满5年。

其中，负责控制车辆的人员应取得相应准驾车型驾驶证并具有3年以上驾驶经历，近1年内应无超速50%以上、超员、超载、违反交通信号灯通行等严重交通违法行为记录。无连续3个记分周期内应无满分记录，无致人死亡或者重伤的交通事故责任记录，无饮酒后驾驶或者醉酒驾驶机动车记录，无服用国家管制的精神药品或者麻醉药品记录。熟悉并掌握机动车驾驶证申请条件、证件使用、驾驶行为要求，交通违法行为及所应承担的法律责任的相关规定。熟悉并掌握自动驾驶评价所涉及的测试规范、实施细则、管理办法等文件中，有关测试驾驶人从业

素质要求、测试指定区域、指定时段、随车必备材料等基本内容。了解并掌握车辆动力传动系统、悬架系统、转向系统、制动系统、线控系统汽车构造基础知识。熟悉自动驾驶分级标准、自动驾驶测试操作系统、自动驾驶测试规程等相关知识，自动驾驶系统整体架构、环境感知传感器技术、定位系统、高精地图技术、规划与决策系统、V2X 技术等自动驾驶系统技术架构基础知识。

2. 测试人员数量

由于主观评价分数带有强烈的个人喜好，为保证主观评价项目评分的科学性与合理性，需要奇数名测试人员同时对于车辆性能进行评价，至少包括 1 名承担驾驶人职责的安全员，以及至少 2 名具备相关资质的测试人员。

3. 测试人员职责

安全员：承担驾驶接管职责，需要时刻做好接管准备，并于测试阶段完成后对于前一阶段的车辆性能做出评价，尤其需要关注人机界面、驾驶员干预性能等驾驶强相关项。

其他评价人员：于测试阶段完成后对前一阶段的车辆性能做出评价，重点关注车辆的安全性、舒适度、相关驾驶动作的合理性与合法合规等。

测试前安全员应检查随车文件是否齐全，根据状态检查表确认车辆状态是否正常，测试区域和车辆是否符合规范要求，安全员应该通过酒精度检测和疲劳度检测确保符合上岗条件。测试中必须按规范正确使用安全带，高度集中注意力，时刻关注外部环境，双手和右脚随时待命，关注车辆是否按照交通规则行驶，路上行为是否符合预期，出现预期范围外的行为第一时间做出反应，避免危险的发生，保证测试安全。

4.1.5 测试设备要求

为保证测试有效性及科学性，试验过程记录数据应完全独立于自动驾驶系统，并能明确记录包含但不限于以下数据内容：

- 能记录车辆控制模式变化并记录时间戳；
- 能测试并记录车辆运动状态参数：

- 车辆位置信息；

- 试验持续时间；
- 车辆纵向速度；
- 车辆横向速度；
- 车辆纵向加速度；
- 车辆横向加速度。

——能记录车辆灯光和相关提示信息状态；

——能记录反映试验驾驶人（安全员）及人机交互状态的车内视频及语音监控情况；

——能记录反映试验车辆行驶状态的视频信息；

——能记录与本车行驶相关的外界交通参与者的位置及运动数据；

——能记录试验过程中记录的标记信息（时间戳）并编号。

4.1.6 测试完成条件

为保证对于企业 ODC 进行充分测试，从以下四方面共同确定车辆测试完成的判定。

1. 测试时长

交通流随着时间和空间的变化而变化，受到车辆、行人和其他干扰因素的影响，表现出强烈的随机性和不确定性，交通流具有周期性，由于工作日和非工作日的周期性，人们的驾驶出行也表现出一定的规律性，体现在交通流上，即一定周期内同一路段的交通流表现出周期出现的畅通、拥挤等现象，而同一路段每间隔一定周期，交通流状态呈现一定的重复性，这也是能实现短时交通流预测的基础和前提。

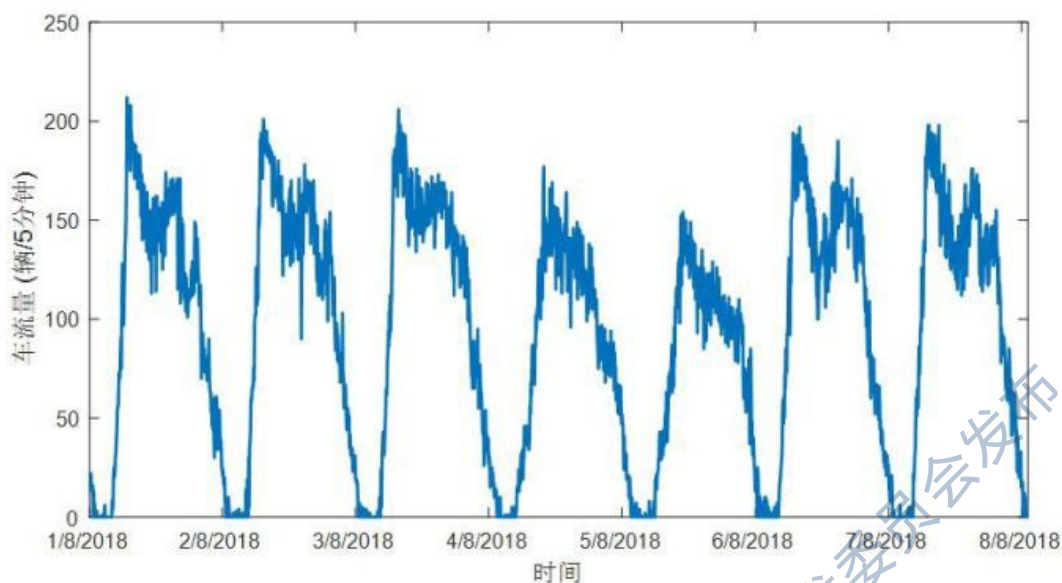


图 4.2 美国加州高速公路车流量表现出的周期特性

正是由于交通流这一特性，当自动驾驶系统不规定特殊的开启时间，要求测试时长至少需要历遍一天的 24h，需要特殊说明的是并非一次进行连续 24h 的测试。若自动驾驶系统规定了功能的开启时段，则要求测试时长需遍历系统规定的时段。

2. 测试天气

受相关技术制约，自动驾驶车辆目前无法实现全天气、全气候的自动化行驶，因此需要企业在 ODC 声明中描述车辆可自动驾驶的全部天气，测试中需要历遍测试天气方可证明该车辆可在声明天气中行驶。

表 4.2 测试天气列表

	晴	雨	雪	雾	霾
白天					
黑夜					

3. 测试里程

目前，自动驾驶系统测试方法主要分为基于场景的测试方法和基于里程的测试方法两大类。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。基于里程的测试方法是让被测车辆在一定的环境条件下连续行驶，而不预先设定其测试任务或目标。对应到三支柱法中，封闭场地测试对应于基于场景的测试，通过搭建特点测试场景的方式加速试验过程，实际道路测试中无法搭建场景，在关注车辆行驶事件的基础上更多对应于基于里程的测试，因此

需要通过试验里程这一维度判断自动驾驶测试是否已经完成。

4. 测试过程中车辆交互事件

相较于封闭场地测试，实际道路测试的特点在于测试过程中存在外界交通参与者，无法保证全部交通要素按照设计执行动作，因此在测试过程中需要保证车辆与外界交通参与者有交互现象，为此要求测试中车辆必须经过诸如跟车、超车、换道、切入切出等事件。

自动驾驶车辆的能力是道路交通场景通过能力的综合体现，自动驾驶车辆的研发也是基于场景进行，封闭测试场测试构造了不同能力下的语义集和 case 级场景进行针对性验证。实际道路是各类场景的有机集合，从状态来讲分为静态场景和动态场景，静态场景指不含交通参与者（人、车辆，即交通体）时路网本身的元素集成，如路口、机动车道和非机动车道、红绿灯、左右转、环岛等，动态场景指静态场景中添加不同类型的交通参与者，形成与无人车之间的交互场景。为了全面测试自动驾驶车辆在开放道路行驶效果要求测试中车辆必须经过诸如跟车、超车、换道、切入切出等各类事件及各类事件叠加后场景，才能满足测试覆盖性要求，保证测试安全

自动驾驶车辆在实际道路行驶出现超出 ODC 的场景、社会车辆危险驾驶行为、自动驾驶车辆策略缺陷无法应对产生安全风险时都需要安全员第一时间接管车辆确保车辆安全，因此主动接管能力是自动驾驶车辆的必要且重要的能力，为了确保万无一失，需要对主动接管方式（一般包含制动踏板、油门踏板和方向盘接管）、主动接管成功率进行充分测试，后期在每次更新版本和更换车辆时需进行回归测试。

4.2 测试评价指标

4.2.1. 参数指标

根据主客观评价相结合的评价原则，评价指标分为两大类，一类为评估类，另一类为测试类。评估类分为安全评估项与安全评分项，其中安全评估项针对与安全相关测试项逐一进行判定，安全评分项针对自动驾驶过程中车辆整体表现进

行打分；安全测试项要求在试验中车辆必须能够通过表中所示测试项目。

表 4.3 安全评估项指标

类型	内容要求	结果		
		符合	不符合	不符合要求的时间戳编号
功能激活	车辆启动后功能处于关闭			
	驾驶员在座位且系安全带才可启动自动驾驶功能			
	车辆符合功能开启条件时车内开启提示提醒			
	功能激活过程中不出现因本车状态(自动化系统、车身系统)导致的激活失败			
	外部环境符合 ODC 时能够正常激活自动驾驶功能			
功能运行	车辆行驶过程中避免与全部障碍物和交通参与者发生车辆负有责任的碰撞			
	本车的正常驾驶行为是否对于其他交通参与者产生巨大影响以影响其他交通参与者的安全			
	车辆行驶过程中可以根据道路和天气情况调整车速			
	能够在安全前提下执行换道操作			
	试验过程中不发生无故的紧急避险动作			
	车辆紧急避险动作后不进入新的紧急状态			
	功能运行过程中不出现因本车状态(自动化系统、车身系统)导致的功能退出和提示			
	车辆应能优先识别对本车行驶行为产生最大影响的相关物体并告警			
交通法规类	功能运行中不主动违反 ODC 内的全部交通规则			
HMI	提前检测出超出 ODC 并提示			
	车辆立即通知驾驶员失效信息			
	自动驾驶和手动驾驶 HMI 区别明显			
	功能退出发出明显的警报及提示			
	能够检测到因驾驶员行为状态导致的功能退出并响应			
驾驶员干预	非接管请求时间, 驾驶员可通过与驾驶相关的主动动作(例如方向盘、油门刹车踏板等; 不包括雨刷器、前照灯等)接管车辆控制权, 且车辆能够执行对应的动作			

	车辆明确识别驾驶控制权并提示			
请求接管	车辆的接管提示信息能够有效通知驾驶员			
	接管请求期间,驾驶员可通过主动控制动作接管车辆控制权限(需要 OEM 提供主动接管动作列表)			
	车辆发生严重失效或无驾驶员响应接管需求条件下可进入风险最小状态			
	车辆的风险最小模式能够有效避免碰撞			
	车辆采取的风险最小模式不会危害其他交通参与者的安全			
	最小风险策略启动时对其他交通车辆的提醒			

表 4.4 安全评分项指标

类型	内容要求	得分
产品说明手册	车辆使用说明清晰易懂	
功能运行	自动驾驶功能开启方式便于驾驶员操作	
	车辆接管方式便于驾驶员操作	
	非紧急模式下本车的车速稳定,车速变化不会让人产生眩晕及其他不适症状	
	车辆能够及时响应车辆周边道路障碍物或者相关交通设施	
	车辆是否能够及时响应到车辆周边可对本车行驶产生影响的其他交通参与者	
	紧急避险动作是否过于频繁	
	车辆发出的自动驾驶接管请求是否过于频繁	
HMI	提示方式是否足够醒目	
	提示内容是否足够清晰	
	提示内容是否足够及时	
	提示方式是可以接受的方式	
总分		

表 4.5 安全测试项指标

类型	内容要求	指标
功能运行	ODC 全速域行驶	能够以全速度在 ODC 内行驶
	平稳行驶	直线行驶最大横向加速度
		最大纵向加速度
		跟车时距
		纵向加速度变化率
		横向加速度变化率
		车道偏离不超过车道边线外侧
	功能开启状态下不发生违章超速	
换道	换道前应打开转向灯	

		换道期间车辆横向加速度
		换道期间车辆横向加速度变化率
		换道行为时长
		不跨越实线执行换道
接管	接管信号提示最短时间	
	接管频率（次数/时间）	
	紧急避险动作频率（次数/时间）	

注：表 4.3-4.5 内指标为项目研究阶段的参考，不一定作为最终标准内的评价指标。

依据上述评价原则，将测试评价项分为安全评估项、安全评分项以及安全测试项三部分，要求测试车辆须分别通过三部分测评方可认定车辆通过本次实际道路测试。评分项得分结果必须符合以下要求方可认定本次试验通过：

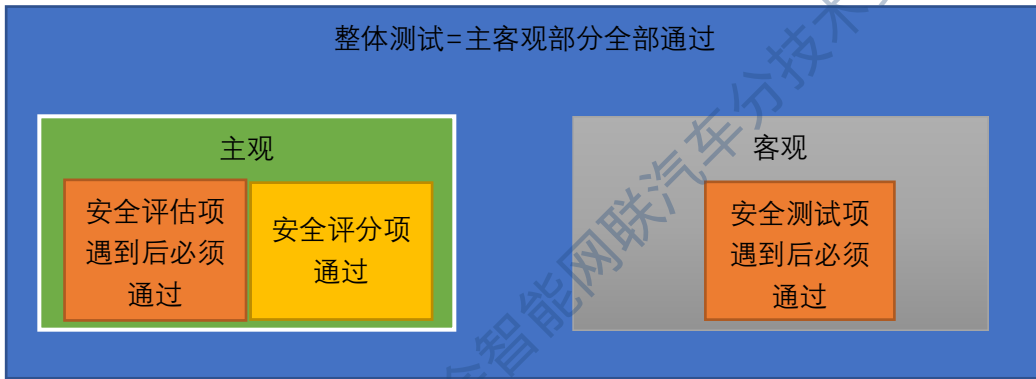


图 4.3 评价原则

第五章 实际道路测试设备研究

5.1 实际道路测试设备技术难点

实际道路测试是自动驾驶测试认证的最后一步，也是最艰难的一步；实际道路测试被认为是验证自动驾驶系统驾驶安全性、车辆性能最直接、最精确的方法，这一阶段能够真实、有效地评估整车级系统的实际性能以及用户交互层面相关性能。由安全员驾驶被测车辆在综合交通流路况的实际道路上进行性能测试与验收。

1) 高级自动驾驶带来高测试精度需求

自动驾驶技术路线非常依赖传感器设备的精确度和计算平台的算力，系统的反应级别一般在毫秒级，这样才能保障自动驾驶具有更好的体验，自动驾驶车辆安全性和稳定性也可以得到较好的保障；因此，测试设备为了真实反应出车辆及周边交通流的特征，测试出结果就需要相比车辆自主感知更高一级的测试精度，这也对设备开发和技术创新提出了更高的要求。

2) 复杂测试场景带来高速数据处理需求

自动驾驶系统决策需要充分运用计算平台的算力，系统传感器的同步协调及感知算法也需要高速数据处理能力，因此，自动驾驶测试设备为了真实反应出车辆工作特征，测试能力需要相比车辆自动驾驶系统决策和自主感知更高一级的测试精度和采集频率，这就对测试设备的数据处理能力提出了更高的要求。

3) 车联网和智慧交通的自动驾驶技术带来多学科多技术融合需求

在实际道路测试评价中，外部交通环境是测试场景的重要组成部分，针对不同的外部交通环境可以对被测车辆进行差异化的测试，提出不同权重的考核方法，对于客观评价指标具有实际意义。

5.2 自动驾驶实际道路测试设备特征

相比传统汽车，自动驾驶系统的测试设备存在三个方面的差异性。

(1) 测试设备多样化

在对传统汽车进行测试时，更多侧重测试汽车零部件产品的功能及性能，针

对自动驾驶系统测试侧重自动驾驶系统的功能及性能，因此其测试设备包含了目标物、控制系统、场景配置、实际交通流特征、实际道路场景特征等，实际道路测试的全过程相关测试，涉及的设备相比传统汽车测试更加丰富多样。

（2）测试设备智能化

在传统汽车测试中，测试设备更多侧重电气化集成的稳定性和精确度，满足对汽车测试中数据准确性的把控；在自动驾驶系统的测试中，由于自动驾驶系统本身是智能化的系统，因此更多侧重于对自动驾驶系统功能及性能的测试，测试设备在设计时也考虑更加智能化的设计，通过局域网或互联网对试验车相关测试设备数据进行实时监控。通过计算机测量仪的辅助功能，可对测试设备相关参数进行预期设置，在测试过程中，通过计算机技术对数据信息进行智能比对，并可形成立体化数据模型，以一种直观的形式展现在测试人员面前，同时可对数据进行存储，方便测试人员及时查看。

（3）测试设备网联化

随着自动驾驶系统的发展，其网联化的程度也在不断提升，传统汽车一般针对单车性能进行针对性的测试，保障汽车后续运行过程中的稳定性。自动驾驶车辆在发展智能化的进程中也在不断拓展其网联化的功能，融合现代通信与网络技术，对于自动驾驶车辆网联化的测试设备需要考虑在一致性通信协议的基础下，构建网联化的实际道路测试场景，建立自动驾驶车辆、测试设备和网联化场景一体化的实际道路测试方案。

5.3 自动驾驶实际道路测试设备现状及分类

高级驾驶员辅助系统作为车辆主动安全的关键系统，与车辆动力系统、制动系统、转向系统有直接的耦合，是车辆中要求可靠性极高的控制系统，因此针对ADAS（AD）控制器功能和性能的道路试验必不可少。现阶段，ADAS/AD道路测试主要是通过软件结合硬件的方式，按照设计好的路线在规定的测试区域范围内进行被测系统可靠性和稳定性验证工作。通过主观和客观两种方式，记录系统误报、漏报等问题事件。离线回放中，同步还原并分析事件发生时间段内的车辆总线、视频图像、音频信息、GPS定位等数据，为测试人员判定测试结果提供客观依据。

系统主要组成如下图所示：

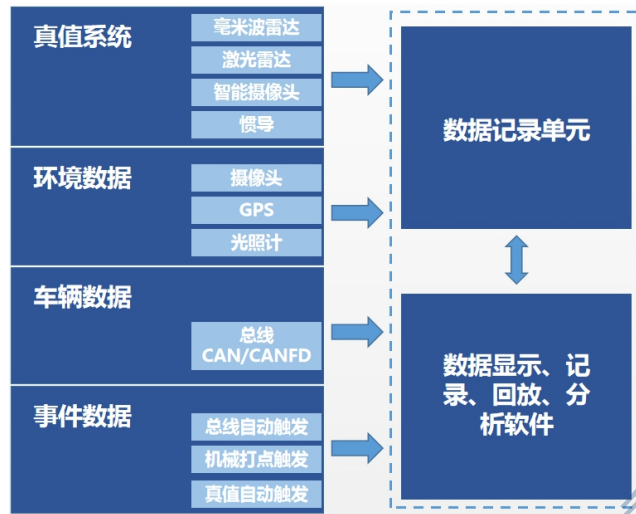


图 5.1 ADAS/AD 道路测试设备主要组成

从方法上讲，ADAS/AD 实际道路测试目前有两类方法：基于手动打点记录问题的方法，基于真值结果自动打点记录问题的方法。

基于手动打点记录问题的方法，硬件系统采集的数据主要有环境数据、车辆数据、事件数据三类。其中环境数据包括：车辆内外摄像头、GPS 定位、光照计（选配）等，车辆数据主要指车辆总线数据（CAN/CANFD 等），事件数据则有总线自动触发事件数据、手动打点触发数据。

基于真值结果自动打点记录问题的方法，硬件系统采集的数据主要有真值数据、环境数据、车辆数据、事件数据四类。环境数据和车辆数据与基于手动打点方法记录内容相同。真值数据是通过外接毫米波雷达、激光雷达、智能摄像头、惯导等传感器，融合后得到这些传感器的最终目标识别结果。事件数据则有总线自动触发事件数据、真值结果自动触发数据。

在实际方案使用中，分别从降低成本和保证数据有效性两个角度考虑，一般要么单独采用基于手动打点记录问题的方法，要么同时结合手动打点和真值自动打点来使用。

两类方法的配套软件，在功能上也会有具体差异，但总体来讲，实现的功能都主要包括项目管理、在线显示和采集、同步回放和分析、结果统计等，完成对采集的多源数据进行合理利用和分析，得到系统性能评估报告。

5.3.1 实际道路测试设备分类

从测试设备上讲，ADAS (AD) 实际道路测试设备大体上可以分为以下几大类：

数据采集系统、传感器系统、组合惯导系统、驾驶员监控系统、交通流监控系统等。

1) 数据采集与分析系统

道路试验过程中需要记录大量数据，数采系统的作用是对测试过程中的大量数据进行采集，存储，回放和分析。这些数据包括传感器数据、控制器关键参数、整车 CAN 网络数据以及环境数据等。

目前国内外在数采系统和分析系统的软硬件方面，均有大量成熟的方案。其中，硬件方面主要有 PC 和嵌入式的方案，前者的优势在于接口丰富、可扩展性强、较容易支持硬件接口的二次开发，但工控机方案普遍存在功耗大、散热慢的问题。后者的优势在于，处理速度快，功耗小，稳定性好，但产品定型后，且接口无法快速扩展。

根据 ADAS/AD 道路测试具体需求的不同，匹配该测试项目的测试设备有多种，用户对每种测试设备的依赖程度也有不同。报告中重点列举，具有相对成熟和完整的 ADAS/AD 道路测试方案，包括硬件系统和软件系统。

表 5.1 ADAS/AD 道路测试设备

序号	产品类别	供应商序号	产品名称
1	软硬件一体化方案	01	软件：CANape 硬件：BRICK CORE COM
		02	软件：DEWESoft X3 硬件：MINITAUrs
		03	软件：DEWESoft X3/Oxygen 硬件：DEWE2 系列
		04	软件：i-DAF 智能数据采集与融合系统 硬件：i-TESTER 数据采集系统
		05	软件：ASEva 测试软件 硬件：ZR-ASFUS-H100 PC
		06	软件：VDA 硬件：PC
		07	软件：inVIEW 数据处理分析软件 硬件：INS-7000 无线数据记录仪
2	数据显示/ 采集/回放/ 分析软件	08	软件：ViCANdo

2) 传感器系统

传感器系统应用于 ADAS/AD 实际道路测试，提供环境目标信息的真值结果，该系统通常根据具体测试需求，由激光雷达、毫米波雷达、智能摄像头中的某一个或某几个共同组成。激光雷达，视觉检测以及毫米波雷达均属于传感器范畴。摄像机的主要功能是实现各种环境信息的感知，其感知能力包括对车道线，障碍物，标志牌和地面标志，可通行空间以及交通信号灯等的识别。激光雷达一般安装在车辆的四周和顶部，用于解决摄像机的测距不准确的问题。为了推进自动驾驶技术的发展，同时要解决摄像机测距、测速不够精确的问题。性价比更高的毫米波雷达被广泛用于测距和测速的传感器。毫米波雷达不仅拥有成本适中的优点，而且能够完美解决激光雷达应对不了的沙尘天气的问题。此外有些车辆还配备了超声波雷达，用于检测车辆周围的障碍物。对于实际道路测试，可以应用具有特征归属的传感器系统来记录和采集车辆周围信息，提高测试安全性和准确性。

通过激光雷达、高清网络摄像头、组合导航传感器，并结合先进的环境感知算法和传感器融合算法，可以精确地感知周围环境信息，包括周围交通参与者的类别、距离、速度、加速度、航向角等，以及周围交通标志的距离、类型、颜色等，对于车道线检测，还可以检测是否越线，以及统计压线次数等。



图 5.2 同步记录多源数据

3) 惯性导航系统

随着 ADAS/AD 系统功能的不断增加，为获取实际道路测试中更加精准的定位

信息和车辆姿态信息,越来越多的开发人员和测试人员在 ADAS/AD 实际道路测试中增加惯性导航系统,对于车辆运行轨迹、运行参数进行采集和分析,以提高测试系统工作的准确性。

惯性导航系统目前主要是来自英国制造商,另外受限于美国进出口局控制未进入公开汽车测试领域的美国设备供应商,国内有个别二次封装厂,但使用量并不大。同样受美国政府控制目前国内有少数汽车企业使用。。目前汽车行业中英国制造商市场占有率第一,美国正通过一些渠道准备进入汽车测试行业;国产的北斗等产品应用刚刚起步,在商用车在用车监控和安全防护系统中应用较为普遍,但受限于国内汽车测试设备开发方面的弱势,其在国内车辆测试领域应用还不普遍,随着新国标及新测试设备研发的突破,北斗系统的应用也发展迅速。

4) 交通环境监控系统

在实际道路测试评价中,外部交通环境是测试场景的重要组成部分,针对不同的外部交通环境可以对被测车辆进行差异化的测试,提出不同权重的考核方法,对于客观评价指标具有实际意义。

如图 5.3 所示,应用融合感知技术搭载激光雷达、毫米波雷达、视频检测器等多源传感器,搭载信号机可对外广播信号配时信息,同时可配置特种通行车辆,在信控路口为被测车辆提供测试服务。搭载 4G、LTE-V 等多模通信单元,支持扩展至 5G 通信,可为车辆提供实时数据服务。

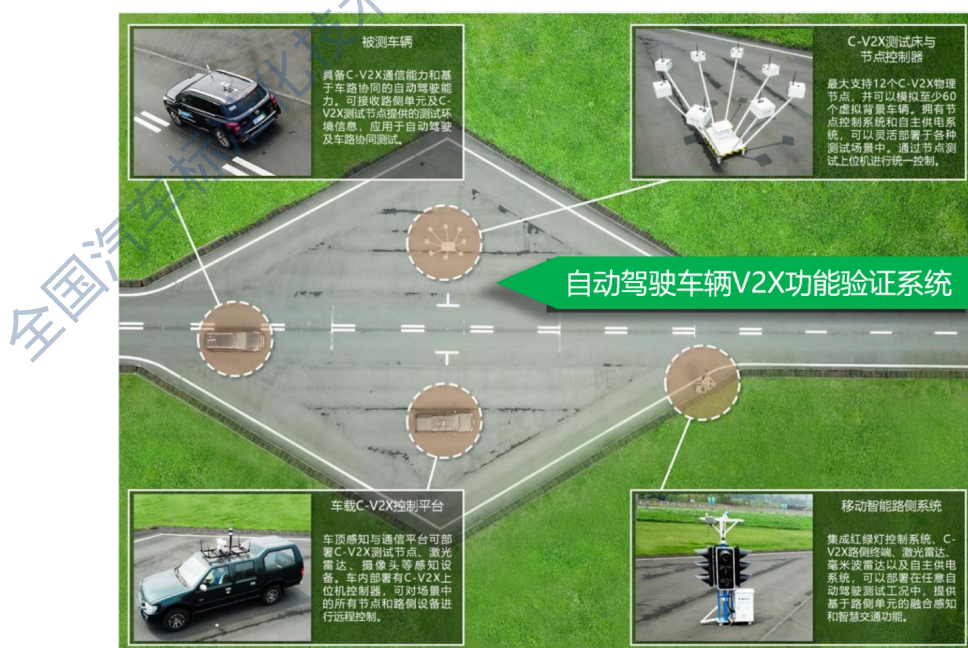


图 5.3 C-V2X 规模测试平台

5.3.2 业内主要测试设备能力

业内使用的主要测试设备供应商及其产品名称如下：

表 5.2 业内使用的主要测试设备供应商分布情况

序号	产品类别	细分类别	供应商序号	国别	
1	目标物系统	假人	01	奥地利	
			02	中国	
			03	中国	
2		两轮假车	4ActiveSystems GmbH	4activeBS、4active MC	
3		三轮假车	4ActiveSystems GmbH		
4		乘用车假车		4active C2	
				英国	
				德国	
5		控制系统	驾驶人	Anthony Best Dynamics Ltd	SR、CBAR
				DSD	---
	Stahle GmbH			---	
				松灵机器人(东莞)有限公司	---
	可移动平板		Anthony Best Dynamics Ltd	GST、LanuchPad	
			4ActiveSystems GmbH	FreeBoard Large/Small	
			Humanetics Innovative Solutions	UFO	
			DRI Advanced Test Systems, Inc	MicroLPRV	
			松灵机器人(东莞)有限公司	VOLADOR	
	长沙立中汽车设计开发股份有限公司		---		
行人拖拽系统	Anthony Best Dynamics Ltd	ABD SPT			
	4Active Systems GmbH	4Active SB、4Active XB			
6	数采	定位数据采集	Oxford Technical Solutions Ltd.	RT	
			SBG systems	---	
			GeneSys Elektronik GmbH	ADMA	
			Racelogic	Vbox IMU	
			NovAtel inc	---	
			DEWESoft measurement innovation	---	
			上海华测导航技术股份有限公司	---	
			北京北斗星通导航技术股份有限公司	---	
			上海戴世智能科技有限公司	---	
			迈普通信技术股份有限公司	---	
		iMAR Navigation GmbH	---		
		数据采集系统	Oxford Technical Solutions Ltd.	Range	
			Racelogic	Vbox	
			DEWESoft measurement innovation	---	
			Vector Informatik GmbH	---	

			Zuragon	---
			武汉英泰斯特电子有限公司	---
			北京经纬恒润科技有限公司	---
			中国汽车工程研究院股份有限公司	i-TESTER
	报警信号采集系统	DTC GmbH Navigation & Security Solutions	AVAD2、AVAD3	
7	场景搭建	红绿灯	很多	---
		道路边缘特征	MOSHON DATA Ltd	Soft Foam Pavements
		道路边缘特征	河北普傲	
		街景	MOSHON DATA Ltd	Moshon City Scapes
		夜间模拟	MOSHON DATA Ltd	Moshon Data Tunnel
		路灯	MOSHON DATA Ltd	5 Lamp Euro NCAP
			4ActiveSystems GmbH	---
指示牌	很多	---		

主要国内供应商：

(1) 长沙立中汽车设计开发股份有限公司

长沙立中汽车设计开发股份有限公司成立于2009年5月，是以湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室为技术依托成立的高科技企业，主营汽车安全新技术与新产品的开发。研发团队是国内最早从事汽车碰撞安全性研究的团队之一，开展了大量的损伤生物力学和人体防护研究工作；利用有限元方法及多刚体动力学方法建立了大量的汽车结构模型及人体模型，用于分析乘员或行人在汽车碰撞过程中的生物力学响应，从而改进汽车的结构设计。主要测试产品包括：ADAS 测试系统、AEB 行人测试装置、超平承载机器人、踏板机器人、转向机器人等。



图 5.4 长沙立中提供的各项设备图

(2) 河北普傲汽车科技有限公司

河北普傲汽车科技有限公司提供符合中国测试场景的标准化行人 AEB 测试目标物、标准化自行车 AEB 测试目标物、电动自行车 AEB 测试目标物、两轮轻便摩托车 AEB 测试目标物、车道偏离/道路偏离测试用标准化路边设施以及中央隔离带目标物（包括模拟两波金属护栏、模拟三波金属护栏、模拟水泥路桩、模拟路牙以及代表不同季节和不同地区的模拟草地等）。

(3) 松灵机器人有限公司

松灵机器人（东莞）有限公司（AGILE·X Robotics, 简称 AGX）于 2017 年在东莞松山湖科技园区注册成立，现拥有东莞研发生产中心及深圳行业应用分公司，是一家集移动机器人平台研发、生产及销售一体化的机器人公司。VOLADOR 地面飞碟是一款地面高速移动机器人，可以用于汽车试验中。

(4) 华测

致力于提供高精度数据的采集和应用解决方案，专业从事高精度卫星导航定位相关软硬件技术产品的研发、生产和销售，主要产品包括高精度 GNSS 接收机、GIS 数据采集器、海洋测绘产品、三维激光产品、无人机遥感产品等数据采集设备，以及位移监测系统、农机自动导航系统、数字施工、精密定位服务系统等数据应用解决方案。

(5) 千寻位置

千寻位置是时空智能基础设施，提供厘米级定位、毫米级感知和纳秒级授时，公司成立于 2015 年 8 月。千寻位置基于北斗卫星系统（兼容 GPS、GLONASS、Galileo）基础定位数据，利用遍及全国的超过 2500 个地基增强站以及星基增强系统和自主研发的定位算法，通过互联网技术进行大数据运算，为全球用户提供精准定位及延展服务。

(6) 北斗星通

京北斗星通导航技术股份有限公司，是我国卫星导航产业首家上市公司。公司以推动北斗产业化应用、助力导航产业发展为己任，为全球用户提供卓越的产品、解决方案及服务。形成了基础产品、汽车智能网联与工程服务、信息装备、行业应用及运营服务四大业务板块。除以上较为知名的组合惯导品牌外，国内也有一些供应商提供该类产品，经过相关国际认证的国内组合惯。

(7) 国内经过相关国际认证惯性导航厂家：中船 707 所、航天二院、航天五院、航天七院；国内未经相关认证惯性导航厂家：耐威科技、西安晨曦、北斗星通、星网宇达、导远科技、华测导航。

全国汽车标准化技术委员会智能网联汽车分技术委员会发布

附录 相关标准框架结构

附录 I

智能网联汽车 自动驾驶功能道路试验方法及要求 第1部分：试验环境要素及条件



附录 II

智能网联汽车 自动驾驶功能道路试验方法及要求 第2部分：试验方法

