

主题研究

AI+汽车：通用无人驾驶距离我们还有多远？

观点聚焦

投资建议

2017 年年中，车企普遍预期 2021 年实现 L5 级自动驾驶，Elon Musk 甚至在 2017 年 5 月的一次 TED 演讲中宣称，Tesla 将在 2019 年之前实现 L5。站在当前的时点，我们看到虽然通用无人驾驶推进放缓，但限定场景自动驾驶成长迅速，看好智能汽车产业链的发展。

理由

通用领域无人驾驶进度放缓。2018 年 3 月，Uber 行人致死事件暴露出当前自动驾驶技术的成熟度不足，同时凸显出自动驾驶模拟器的重要性。实现通用无人驾驶的前提是保证安全，且由安全需求展开，通用无人驾驶的实现需待软硬件技术、V2X、基础设施建设、政策法律、公众接受度等五项基础的成熟和完善。按照各大车企目前的规划，有望 2021 年前后实现 L4、2025 年前后实现 L5 级自动驾驶。此外，Waymo 计划 2018 年内，在凤凰城的有限区域内试点无人驾驶打车服务；通用 Cruise 计划 2019 年量产 Cruise AV 并分配到美国部分城市作为共享汽车。

限定场景自动驾驶成长超预期。在物流、工程、农业、园区等限定场景下，行驶速度较慢或者场景较为简单，使得自动驾驶的难度大幅降低。近年来，限定场景下的自动驾驶成长迅速，多个领域中陆续有试验性项目落地或小规模量产。我们看到的典型案例有物流领域的京东校园快递无人车、Otto 自动驾驶卡车、Clearpath 仓储自主移动机器人，公共交通领域的百度自动驾驶巴士阿波龙、nuTonomy 自动驾驶出租车、驭势科技无人驾驶摆渡车等。

AI 赋能汽车理解决策能力。自动驾驶是一种类人驾驶，其功能实现分为感知、理解、决策和执行四个层次，由各类传感器、ECU 和执行器来实现。AI 在理解层和决策层中赋能自动驾驶，担任“大脑”角色。其中，深度学习算法在自动驾驶中广泛应用。不同于问题拆解式深度学习，端到端式不需人工拆解问题，可以基于输入信息直接对车辆的加减速和转向等进行控制，目前发展仍处初级阶段。

盈利预测与估值

我们维持公司之前盈利预测与估值不变。

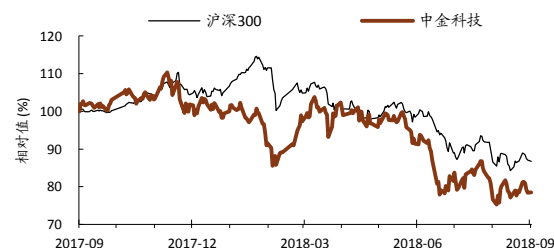
风险

自动驾驶发展不及预期；全球宏观形势影响汽车销量。

股票名称	评级	目标	P/E (x)	
		价格	2018E	2019E
德赛西威-A	推荐	30.00	17.9	16.0
舜宇光学科技-H	推荐	133.00	29.1	21.0

主要涉及行业

科技



相关研究报告

- 汽车电子：自动驾驶推动汽车传感器市场快速发展 (2018.08.20)
- AI+安防：AI 助力安防行业拓宽边界 (2018.08.16)
- 电子元器件、零售 | AI+零售：不只是无人零售，看人工智能如何撬动零售变革 (2018.08.14)
- 金融、科技 | AI+金融：人工智能成为长远发展的有力发动机 (2018.08.13)

资料来源：万得资讯、彭博资讯、中金公司研究部

黄乐平

杨俊杰

分析员

联系人

leping.huang@cicc.com.cn

junjie.yang@cicc.com.cn

SAC 执证编号：S0080518070001 SAC 执证编号：S0080117090047

SFC CE Ref: AUZ066



目录

通用领域无人驾驶进度放缓，前途仍旧光明	3
Uber 事故引技术成熟度担忧，网络安全问题是潜在威胁	3
路测统计显 Waymo 技术实力，模拟测试重要性开始突出	4
自动驾驶狂热期已过，L5 规划料将推迟	6
实现通用无人驾驶，安全是核心、需五大基础	7
自动驾驶蕴含巨大的长期社会效益和经济效益	8
限定场景自动驾驶成长超预期，商业化只待成本降低	10
物流领域：快递、卡车货运、仓储	10
公共交通：巴士、出租车、摆渡车	11
限定场景自动驾驶商业化只待成本下降	12
AI 赋能汽车理解决策能力，端到端自动驾驶是终极目标	13
AI 技术在理解层和决策层中赋能自动驾驶	13
深度学习算法在自动驾驶中广泛应用，端到端自动驾驶仍具挑战	14
智能汽车产业链	16

图表

图表 1: 自动驾驶汽车事故	3
图表 2: Uber 公共道路行人致死事故现场	4
图表 3: Jeep 自由光车载系统遭破解	4
图表 4: Waymo 及其他公司加州自动驾驶汽车测试统计 (2016.12-2017.11)	4
图表 5: Waymo 的自动驾驶模拟系统 Carcraft	5
图表 6: 自动驾驶模拟系统结构示意图	5
图表 7: Gartner 2017 年新兴技术成熟度曲线	6
图表 8: Gartner 2018 年新兴技术成熟度曲线	6
图表 9: 自动驾驶汽车时间表	6
图表 10: 通用无人驾驶需五大基础的完善	7
图表 11: 汽车传感器早期融合方案	7
图表 12: 汽车传感器后期融合方案	7
图表 13: 中国消费者自动驾驶功能接受度	8
图表 14: 1953-2017 年德国交通事故死亡人数	8
图表 15: ITF 共享的全自动驾驶汽车需求数量模型	9
图表 16: 限定场景自动驾驶商业化速度较快	10
图表 17: 京东校园快递无人车	11
图表 18: Otto 自动驾驶卡车	11
图表 19: AGV vs. AMR	11
图表 20: Clearpath OTTO 100 自主移动机器人	11
图表 21: 百度自动驾驶巴士阿波龙	12
图表 22: nuTonomy 自动驾驶出租车	12
图表 23: 限定场景下自动驾驶与其他方案成本对比	12
图表 24: 自动驾驶技术框架	13
图表 25: 基于激光雷达和视觉的物体识别	14
图表 26: 深度学习在自动驾驶中的应用	15
图表 27: 智能汽车产业链	16



通用领域无人驾驶进度放缓，前途仍旧光明

Uber 事故引技术成熟度担忧，网络安全问题是潜在威胁

事故频发暴露自动驾驶技术成熟度不足

2018 年 3 月，美国亚利桑那州坦佩市一条 4 车道公共道路上，处于自动驾驶状态的 Uber 测试车撞倒一名骑自行车横穿街道的行人，并致其死亡，这是**世界上首起自动驾驶汽车在公共道路上撞击行人并致死事件**。录像显示，事故发生时虽是深夜，但天气良好、道路环境简单。

Uber 事故并不是孤例，自动驾驶系统、驾驶员以及道路上其他车辆或行人都有可能导致事故的发生。虽然数据显示搭载 Autopilot 的特斯拉比普通汽车更加安全(美国汽车平均每 8600 万英里有一起致命车祸，搭载 Autopilot 的特斯拉平均 3.2 亿英里一起死亡事故)，但频发的自动驾驶汽车事故暴露出当前自动驾驶技术的不成熟，引发了公众对自动驾驶商业化的担忧。Cox Automotive 2018 年最新调查显示，**49%的受访者表示永远不会购买全自动驾驶汽车，而 2016 年时这一数字仅为 30%**。

图表 1: 自动驾驶汽车事故

时间	公司	SAE 等级	地点	车型	事故描述	事故原因	结果
自动驾驶系统识别或判断失误							
2016.2	Waymo	L2	美国加州	Lexus SUV	无人驾驶汽车试图绕开道路上的沙袋、向左并入道路中央时，意外与一辆公共汽车的右侧方相撞	自动驾驶设计缺陷，预测后方车辆行为错误	无人员伤亡
2016.5	Tesla	L2	美国佛罗里达州	Model S	拖挂车正在横穿公路，Autopilot 未能识别并及时避让，导致 Model S 从挂车底部穿过，且其前挡风玻璃与挂车底部发生撞击	在强烈的日照条件下，自动驾驶系统未能正确识别拖挂车的白色车身，因此未能及时制动	特斯拉司机死亡
2018.1	Tesla	L2	美国加州	Model S	追尾停在路边的消防车	系统识别静止车辆存在缺陷	无人员伤亡
2018.3	Uber	L4	美国亚利桑那州	Volvo XC90	撞倒一名骑自行车横穿街道的行人	Uber 传感器发现了这名行人，但被判断为“误报”	行人死亡
自动驾驶汽车驾驶员/安全员过错							
2016.1	Tesla	L2	中国河北	Model S	追尾一辆正在作业的道路清扫车	驾驶员未按 Autopilot 要求操作	特斯拉司机死亡，Model S 当场损毁
2017.8	Waymo	L4	美国加州	Chrysler Pacifica	与一辆 Odyssey 车发生碰撞	安全员错误干预	无人员伤亡
2018.3	Tesla	L2	美国加州	Model X	撞上高速路隔离带并现场起火，后面两车追尾	驾驶员收到仪表盘警报后，未按要求操作	特斯拉司机一人死亡，Model X 起火焚毁
普通车辆过错							
2017.3	Uber	L3	美国亚利桑那州	Volvo SUV	由北向南行驶的 Uber 自动驾驶汽车与一辆东西行驶试图左拐的普通汽车发生了碰撞	普通汽车司机未让行直行的自动驾驶车辆所致	无人员伤亡，Uber 车侧翻，普通车严重受损
2017.12	通用 Cruise	L4	美国加州	Chevrolet Bolt EV	在变道过程中刮蹭了变道中的摩托车	摩托车司机的变道超车动作	摩托车驾驶员受伤
2018.1	福特 Argo	L4	美国宾夕法尼亚州	Ford Fusion	一辆厢式卡车闯红灯，从侧面撞上了 Argo 测试车	人为失误	两名乘客轻伤
2018.5	Waymo	L4	美国亚利桑那州	Chrysler Pacifica	一辆本田汽车向东行驶时，为避免撞到一辆向北行驶的车辆而撞向了 Waymo 测试车	本田汽车突然转向	Waymo 车上一名测试员轻伤

资料来源: 网易新闻, 腾讯新闻, 中金公司研究部



汽车网络安全是巨大隐患

自动驾驶汽车的车载系统拥有很高的车辆操控权限，这将给予不法份子破解车载系统、进而操控汽车的机会。同时，随着车联网的发展，智能网联汽车由于接入了互联网，黑客更有可能远程向车载系统发起恶意攻击，汽车网络安全问题日益突出。

早在 2015 年的黑帽技术大会上，2 名白帽黑客成功远程攻破了一辆 Jeep 自由光的车载系统，并在其行驶过程中向 CAN 总线发送错误指令，使车辆偏离路面栽入沟中。大会后，Jeep 母公司菲亚特-克莱斯勒在美国召回 140 万辆车，对其车载软件进行升级。

图表 2: Uber 公共道路行人致死事故现场



资料来源: ABC15, 中金公司研究部

图表 3: Jeep 自由光车载系统遭破解



资料来源: 车讯网, 中金公司研究部

路测统计显 Waymo 技术实力，模拟测试重要性开始突出

据 RAND 利用统计学方法测算，自动驾驶汽车需要连续安全行驶 150 万英里，才能证明其可靠性。谷歌自 2009 年开始自动驾驶汽车项目，无论从累计测试里程数，还是从人工接管次数的角度，都代表了技术的前沿。截止到 2017 年 11 月，谷歌已经在德州奥斯汀市、凤凰城、加州山景城、华盛顿州科克兰市等遍布 4 个州的 23 个城市里进行了超过 350 万英里的道路测试，其中大部分在城市街道；人工接管次数上，Waymo 自动驾驶汽车行驶 1000 英里仅需要 0.2 次人工接管。通用 Cruise 的路测里程、每千英里人工接管次数两项指标，仅次于 Waymo，位列第二。

图表 4: Waymo 及其他公司加州自动驾驶汽车测试统计 (2016.12-2017.11)

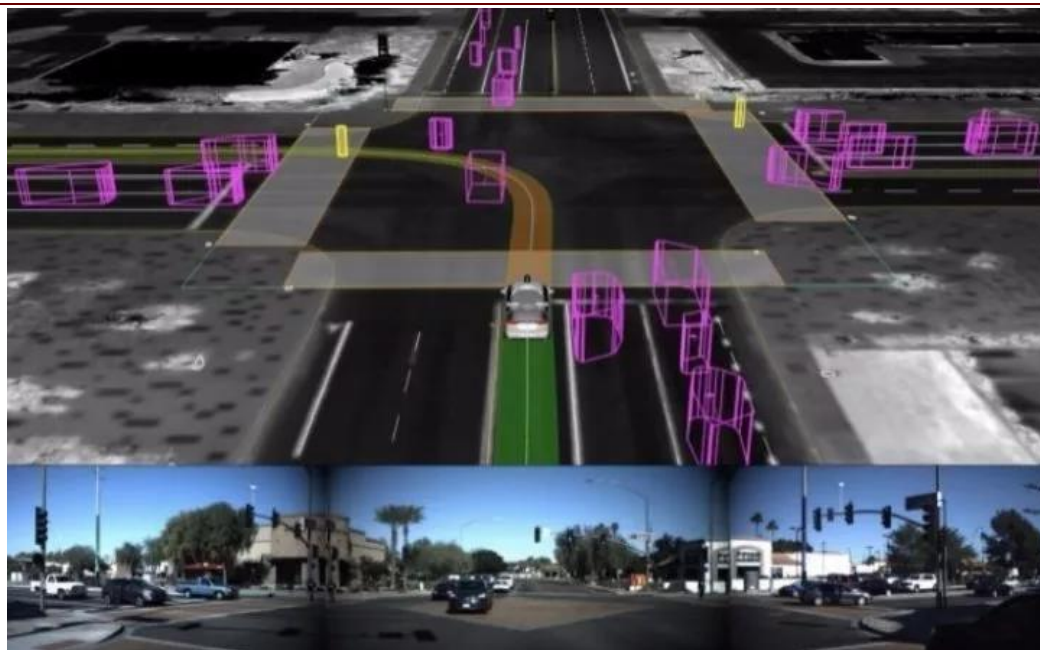
公司	车队规模 (辆)	路测里程 (英里)	总人工接管次数	人工接管次数/千英里
Waymo	75	352,545	63	0.2
GM Cruise	94	131,676	105	0.8
Nissan	5	5,007	24	4.8
Zoox	11	2,255	14	6.2
Drive.ai	7	6,015	92	15.3
Baidu	4	1,949	43	22.1
Telenav	1	1,824	59	32.3
Delphi	1	1,810	82	45.3
NVIDIA	2	505	109	215.8
Valeo	1	574	215	374.6
Bosch	3	1,454	598	411.3
Benz	3	1,087	652	599.8

资料来源: California DMV, 36 氪, 中金公司研究部



Uber 事故的发生地在美国亚利桑那州，该州对于自动驾驶路测的政策比较宽松。而在美国加州，立法机构要求公司首先证明其系统已通过模拟环境测试后，才会批准其公共道路测试。**Google Waymo 的安全报告显示，其测试环节包括模拟器测试、封闭路段测试、最后才是现实道路测试。**在 Waymo 自行设计的模拟器 Carcraft 中，自动驾驶系统可以在精心设计的极端场景下进行千万次模拟，快速迭代系统智能。2016 年，Waymo 在 Carcraft 中模拟行驶了 25 亿英里，而公共道路测试仅为 300 万英里。

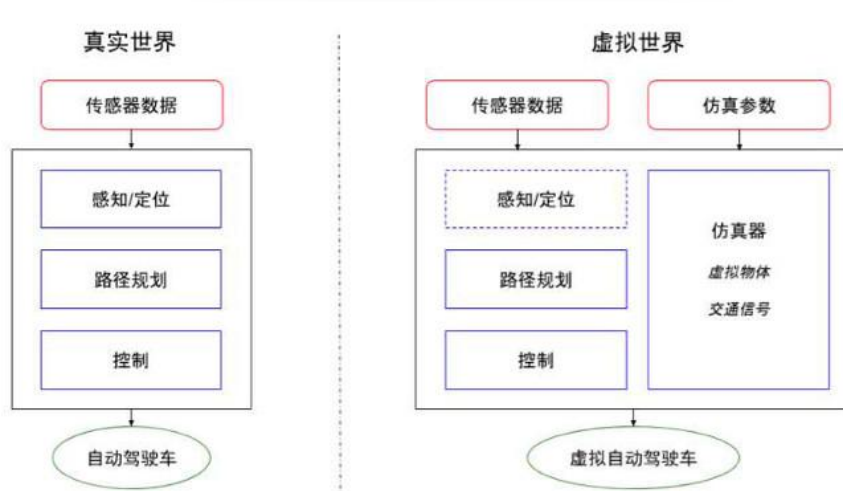
图表 5: Waymo 的自动驾驶模拟系统 Carcraft



资料来源: Waymo, 中金公司研究部

自动驾驶模拟器不仅为系统快速改进提供了可能，还将对现实交通的影响、对其他车辆行人的安全威胁降为 0。**模拟器及模拟测试越来越成为自动驾驶公司必备的技术之一。**不仅是 Waymo，百度、Roadstar.ai、AutoX 等公司也都拥有自制的仿真器，Pony.ai、Drive.ai 等正在布局研发。目前市面上有 NVIDIA Drive Constellation、Cognata、rFpro 等商业化的仿真平台，同时有 Intel CARLA、Microsoft AirSim 等开源模拟器。但是，各自动驾驶公司的硬件架构和软件方案不尽相同，自主研发的模拟器具有更高的可控性和贴合度，模拟效果更好。

图表 6: 自动驾驶模拟系统结构示意图



资料来源: Roadstar.ai, 中金公司研究部



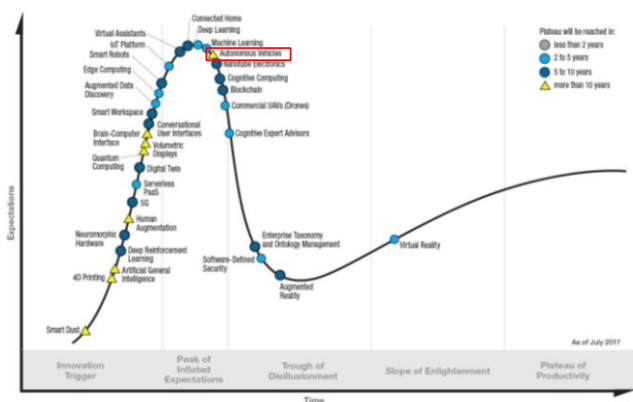
自动驾驶狂热期已过, L5 规划料将推迟

2017 年年中, 车企普遍预期 2021 年实现 L5。Elon Musk 在 2017 年 5 月的一次 TED 演讲中宣称, Tesla 将在 2019 年之前实现 Level 5 级全自动驾驶; 我们也在[去年 6 月的报告](#)中提到, “主要车企规划到 2020~2021 年间实现 Level 5 的完全自动驾驶”。

然而, 站在 2018 年下半年的时点来看, L5 并不会这么快到来, 部分车企已经推迟了 L5 规划或暂停部分自动驾驶研发计划。Gartner 的技术成熟度曲线中, 自动驾驶技术已由 2017 年的“过高期望峰值期”, 开始进入“泡沫低谷期”。

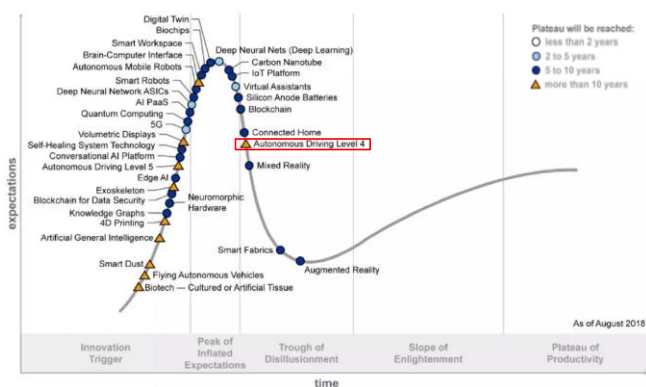
- ▶ 2017 年 12 月, Volvo 将原定于 2017 年开始的“Drive Me 项目”推迟至 2021 年。
- ▶ 2018 年 1 月, CES 2018 上, Ford 新任 CEO Jim Hackett 发表了题为“让我们一起寻回街道”的演讲, 表示 Ford 的研究重点已从自动驾驶转移到车联网。Hackett 在 2017 年 8 月接受 SFGate 采访时曾表示, “公众关于自动驾驶汽车的浪漫想象有点过头了”。

图表 7: Gartner 2017 年新兴技术成熟度曲线



资料来源: Gartner, 中金公司研究部

图表 8: Gartner 2018 年新兴技术成熟度曲线



资料来源: Gartner, 中金公司研究部

L5 级自动驾驶可能需要 2025 年前后才能够实现。根据各公司公开披露的计划, 福特、宝马、百度等公司宣称 2021 年开始量产至少 L4 级别的自动驾驶汽车。德尔福与 Mobileye 合作, 宣布将于 2019 年提供 L4 级别的自动驾驶系统。Tesla 则更加激进, 2018 年实现至少 L4 级别的自动驾驶。对此, 学术界则显得没有这么乐观, 卡内基梅隆大学机器人中心 Raj Kumar 认为至少要到 2026 年才能实现 L5 级别的自动驾驶。此外, Waymo 计划 2018 年内, 在凤凰城的有限区域内试点无人驾驶打车服务; 通用 Cruise 在 2018 年 1 月发布了无方向盘、油门、制动踏板的第四代无人驾驶汽车 Cruise AV, 计划 2019 年量产并分配到美国部分城市作为共享汽车。

图表 9: 自动驾驶汽车时间表



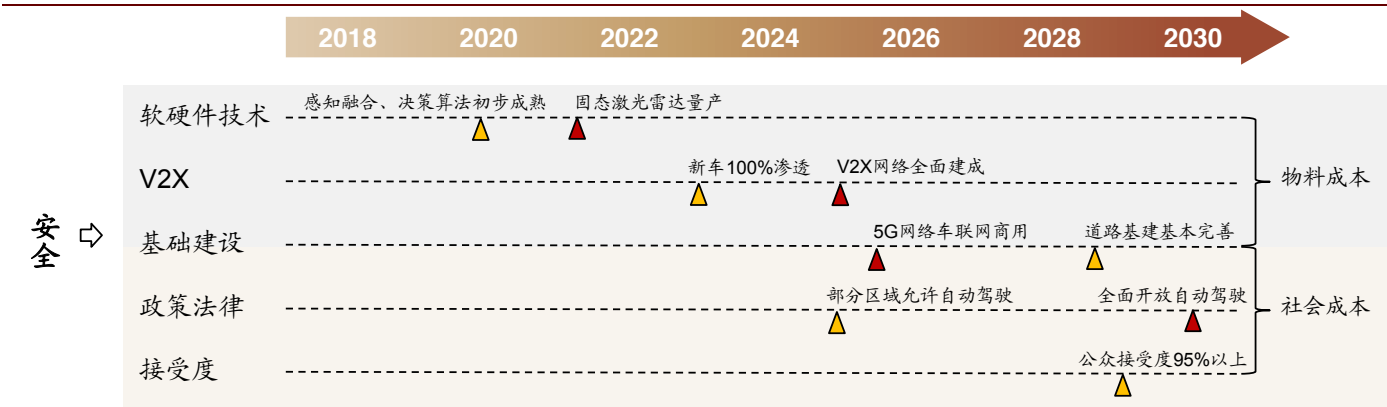
资料来源: 特斯拉, 宝马, 奔驰, 沃尔沃, 福特, 德尔福, 中金公司研究部



实现通用无人驾驶，安全是核心、需五大基础

实现通用无人驾驶的前提是保证安全。由安全需求展开，通用无人驾驶的实现需软硬件技术、V2X、基础建设、政策法律、公众接受度等五项基础的成熟和完善。其中，软硬件技术、V2X 的发展将耗费大量的物料成本，政策法律、公众接受度的成熟需投入不可计数的社会成本，基建则将同时花费物料成本和社会成本。

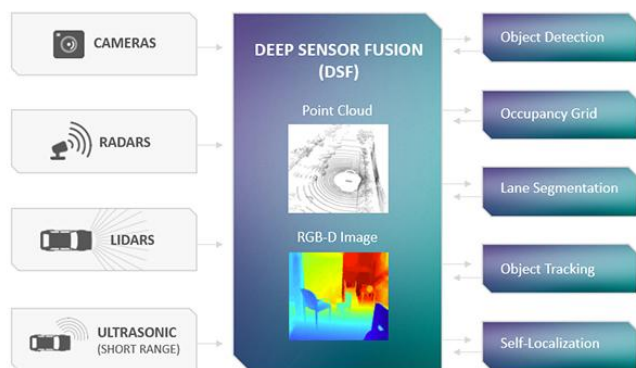
图表 10: 通用无人驾驶需五大基础的完善



资料来源: 盖世汽车, 36 氪, 中金公司研究部

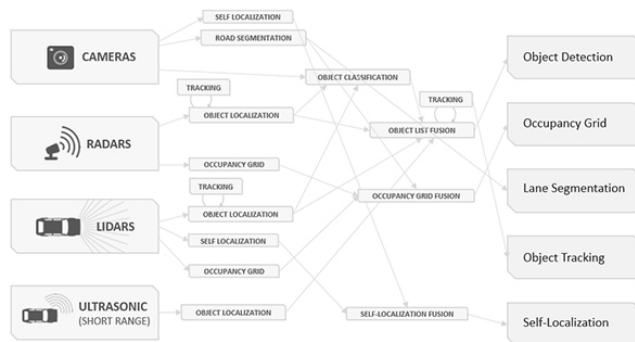
- **软硬件技术:** 1) 汽车传感器中激光雷达价格高昂, 且目前缺少 L4+车规级产品。固态激光雷达是车规级激光雷达的发展方向, 待成功量产后将大幅拉低激光雷达的成本。2) 传感器融合算法以及决策算法还在初级阶段。此外, 汽车半导体、高精度地图等其他技术也有待进一步成熟。

图表 11: 汽车传感器早期融合方案



资料来源: DeepScale, 中金公司研究部

图表 12: 汽车传感器后期融合方案



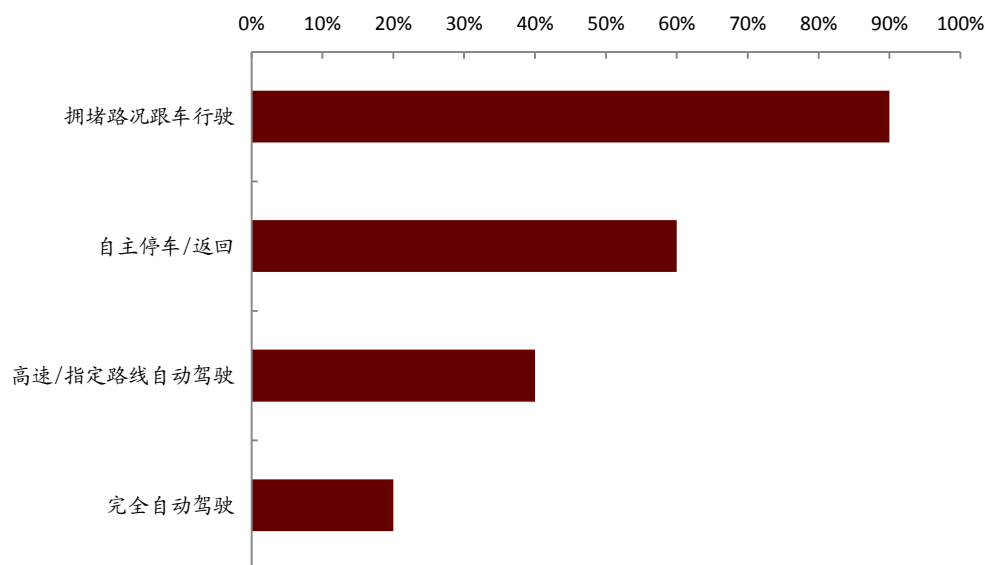
资料来源: DeepScale, 中金公司研究部

- **V2X:** V2X (Vehicle to Everything) 是物联网概念在汽车领域的延伸, 包括 V2V (Vehicle to Vehicle) 车辆之间通信、V2I (Vehicle to Infrastructure) 车与基础设施通信、V2P (Vehicle to Pedestrian) 车与行人交互等。V2X 网络的建设需要与道路、网络等基础设施相配合, 全面建成有待时日。
- **基础建设:** 1) 道路上适应于 V2I 的基础设施的建设; 2) 5G 网络具有高速、低延迟的特性, 对于 V2V、V2I 至关重要。
- **政策法律:** 1) 美国、德国、日本、新加坡、中国等已经在部分地区开放了自动驾驶汽车道路测试。而常规路段对自动驾驶汽车的开放, 目前在除英国外的大部分国家都进展缓慢。2) 自动驾驶的法律地位、民事归责、刑事归责等相关法律问题需要进一步讨论和完善。据新华社, 我国自动驾驶汽车的全面部署, 至少需要修改七个领域 (包括交通安全管理、测绘、运输、信息、通讯、质检、标准化) 24 部以上的法律。



- **接受度:** 目前, 公众对完全自动驾驶的接受度普遍较低。据罗兰贝格的消费者调研结果, 完全自动驾驶的接受度仅为 20%。公众一方面认为完全自动驾驶将剥夺驾驶乐趣, 另一方面则是对完全自动驾驶的安全性存在担忧。

图表 13: 中国消费者自动驾驶功能接受度



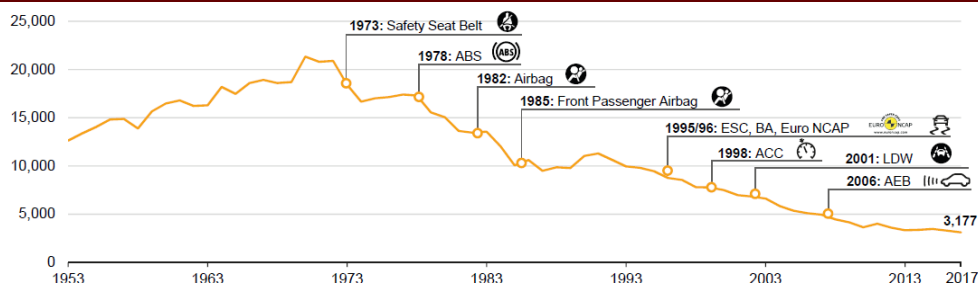
资料来源: 罗兰贝格消费者调研 (样本量=1,232), 中金公司研究部

自动驾驶蕴含巨大的长期社会效益和经济效益

全自动驾驶汽车有望避免由于人为失误导致的占总数 90% 的交通事故

据 WHO 统计, 全球拥有 15.5 亿道路车辆, 每年道路交通事故导致 120 万人死亡; NHTSA 数据显示, 93% 的交通事故主要由人为失误导致, 如醉酒驾驶、疲劳、超速、使用手机等。全自动驾驶汽车无需人类驾驶, 从而理论上有望避免这些由人为失误导致的交通事故。德国统计数据显示, 随着 ACC、LDW、AEB 等 ADAS 功能的发展, 德国每年交通事故死亡人数不断下降, 2017 年仅为 3177 人。这一变化将对汽车保险、汽车维修等行业产生重大影响。汽车保险行业可能需要转变商业模式, 设计新的保险产品, 如保险可能由面向汽车消费者转为面向 OEM 或自动驾驶整体解决方案提供者。

图表 14: 1953-2017 年德国交通事故死亡人数



资料来源: Continental AG 2017 Fact Book, 中金公司研究部



全自动驾驶提升汽车单车利用率，理论上只需要少量的自动驾驶汽车便可以满足出行需求

多个机构的研究表明，全自动驾驶实现后，得益于单车利用率的提升，理论上只需要少量的自动驾驶汽车便可以满足出行需求。ITF（International Transport Forum）以葡萄牙里斯本市为对象，发现如果全部部署自动驾驶汽车，由系统集中调配，需求的车辆规模仅为当前的 22.8%，如果采用拼车（一辆车载多名乘客）模式，需求车辆规模仅为当前的 12.8%。ITF 研究基于调研得出的里斯本市出行需求，包含出行的始点、终点和时间信息。自动驾驶车辆通过一定的规则进行集中调度，如选择距离最近的车辆，等待时间不超过 10 分钟等。此外，MIT 团队以新加坡为对象，通过建模仿真发现，如果用共享的自动驾驶车队来满足所有的个人出行需求，所需的自动驾驶车辆数量仅为当前车辆数的 1/3。哥伦比亚大学以密歇根州的安娜堡（密歇根大学所在地，汽车为其传统优势学科）为对象进行类似研究，结果表明需要的自动驾驶车辆数仅为当前的 15%。

图表 15: ITF 共享的全自动驾驶汽车需求数量模型



资料来源: International Transport Forum, 中金公司研究部

自动驾驶为特殊人群带来出行上的便利

自动驾驶能够为特殊人群提供出行上的便利，如残疾人、老年人、儿童等特殊人群。这个人群规模不可忽视。以老年人为例，根据世界银行的预测数据，到 2050 年，中国老龄人口将占总人口的约 33%，美国老龄人口占总人口的约 20%。日本到 2060 年 65 岁及以上人群将占总人口约 40%。

自动驾驶带来生产力的提升，缓解交通拥堵和降低燃油消耗

自动驾驶能够带来生产力上的提升。据 Google 统计，在美国，平均每人每天需要花费约 50 分钟开车上下班，1.2 亿人每天需要花费 60 亿分钟，相当于 162 个人一生的时间。根据 WHO 的数据，全球每年人们需要花费 3750 亿小时（4280 万年）驾驶车辆，可以想象如果把这些时间用于其他活动而不是开车，则能够带来社会生产力上的提升。

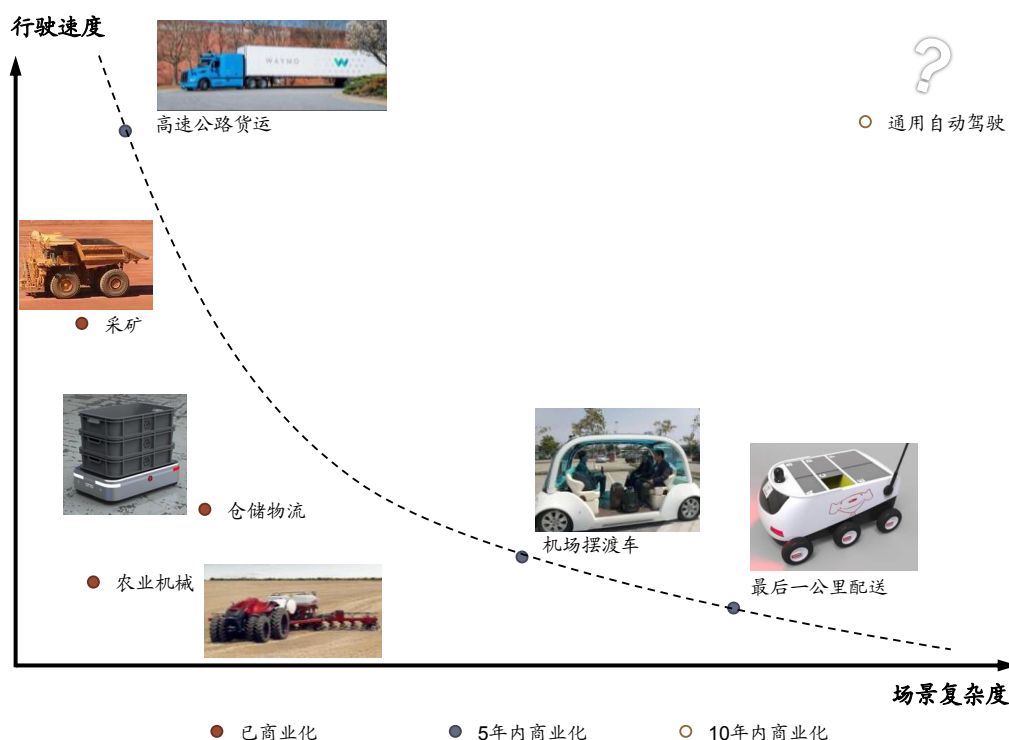
在缓解交通拥堵、降低燃油消耗上的潜力巨大。据 Eno Center for Transportation，由于更加平缓的交通流量，自动驾驶技术有望将道路通行能力提升 89%。而对于采用自动驾驶技术的传统能源汽车，燃油经济性能提升 31%，燃油消耗和 CO2 排放有望大幅降低。



限定场景自动驾驶成长超预期，商业化只待成本降低

在物流、工程、农业、园区等限定场景下，行驶速度较慢或者场景较为简单，使得自动驾驶的难度大幅降低。近年来，限定场景下的自动驾驶成长迅速，多个领域中陆续有试验性项目落地或小规模量产。

图表 16: 限定场景自动驾驶商业化速度较快



资料来源: 京东, 驭势科技, WAYMO, 中金公司研究部

物流领域: 快递、卡车货运、仓储

案例#1 京东校园快递无人车

京东在 2017 年 618 促销节期间, 宣布快递配送无人车在人大校园内投入运营。运营初期, 无人车每日派件 10 余单, 对应的工作时长约 5-6 小时。京东无人车行驶速度较慢, 正常行驶时平均速度 3~4km/h。无人车具备避障能力, 当检测到前方 3 米内的障碍物时, 会提前做好路线调整; 如果障碍物突然出现, 无人车会立即停下, 且若障碍物 2 秒后未移开, 无人车会后退并绕行。

案例#2 Otto 自动驾驶卡车

2016 年 10 月, Otto 自动驾驶卡车满载 5 万罐啤酒, 在高速公路上全程无人干预的情况下以 55 英里的平均时速行驶 120 英里后抵达目的地, 并收获了 470 美元的报酬。Otto 在 2016 年 8 月被 Uber 以 6.8 亿美元收购, 但后来经历了被 Waymo 起诉、创始人出走等事件, 甚至 2018 年 7 月时 Uber 宣布停止开发自动驾驶卡车。



图表 17: 京东校园快递无人车



资料来源: 36 氪, 中金公司研究部

图表 18: Otto 自动驾驶卡车



资料来源: TechWeb, 中金公司研究部

案例#3 Clearpath 仓储自主移动机器人

加拿大 Clearpath Robotics 公司的 OTTO¹ 100、OTTO 1500 是专为工厂和仓库设计的自主移动机器人 (Autonomous Mobile Robots, AMR), 运行速度为 2m/s。不同于传统的自动导引车 (Automated Guided Vehicles, AGV), AMR 无需建设用于导航的轨道等基础设施, 而是能够自主寻找最优路线、避开障碍物, 实现了从“自动 (Automated)”到“自主 (Autonomous)”的升级。AMR 极大地节省了前期建设成本, 具有更高的灵活性。

图表 19: AGV vs. AMR

	AGV	AMR
导航	固定路线; 需要基础设施: 电磁感应导引、磁带导引、激光导引等	无轨导航; 实时感知环境, 智能选择最佳路径
障碍	遇到障碍停下	绕开障碍物, 且能通过内部地图找到最佳绕道路径
灵活性	环境改变时, 需要重新安装导轨等基础设施	环境改变时, 仅需做软件调整即可, 灵活性高

资料来源: Clearpath Robotics, AUIT, 中金公司研究部

图表 20: Clearpath OTTO 100 自主移动机器人



资料来源: Clearpath Robotics, 中金公司研究部

公共交通: 巴士、出租车、摆渡车

案例#4 百度自动驾驶巴士阿波龙

百度在 2018 年 7 月的 AI 开发者大会上宣布, 全球首款 L4 级别的自动驾驶汽车阿波龙小巴车已量产下线。目前, 100 台阿波龙正在进行小规模运营。阿波龙完全去掉了中控台、驾驶座、方向盘、油门和刹车踏板, 最多载客 14 人, 最高时速达 70 公里, 充电两小时续航里程

¹ 与被 Uber 收购的自动驾驶卡车公司 Otto 没有关联。



程达 100 公里。除了在北京、广州、深圳、福建平潭、雄安等地运营外，百度还在日本与软银合作，将阿波龙用于核电站内部人员接驳、东京地区高龄化社区穿梭接送等。

案例#5 nuTonomy 自动驾驶出租车

nuTonomy 是由 MIT 孵化的自动驾驶出租车初创公司，2016 年 4 月开始在新加坡 One-North 园区附近为上班族提供无人驾驶出租车服务，车队由 6 辆自动驾驶车辆组成。由于新加坡人口密度大，停车位和道路有限，因此 nuTonomy 研发自动驾驶出租车得到了新加坡政府的大力支持。此外，nuTonomy 已经获得了许可，将会在美国波士顿街头进行测试。

案例#6 驭势科技无人驾驶摆渡车

2017 年 2 月，驭势科技在白云机场投入一辆无人驾驶车，在航站楼与停车场之间提供摆渡服务，这是国内机场首次采用无人驾驶摆渡车。在杭州来福士广场，驭势科技还投放了针对大型地下停车库的无人驾驶摆渡车，运行速度 8 公里/小时。消费者购物后，可以在电梯口直接输入自己的车牌号，无人车就会将消费者带到相应的停车位。

图表 21: 百度自动驾驶巴士阿波龙



资料来源: Sohu, 中金公司研究部

图表 22: nuTonomy 自动驾驶出租车



资料来源: nuTonomy, 中金公司研究部

限定场景自动驾驶商业化只待成本下降

虽然限定场景自动驾驶技术已日趋可用，但商业化仍需考虑成本问题。

- ▶ 目前自动驾驶汽车单车成本较高，可能超过司机工资及事故成本降低所节省的费用。
- ▶ 在港口、仓储等场景中，AGV 方案发展成熟，相比当前的自动驾驶更加经济高效。

图表 23: 限定场景下自动驾驶与其他方案成本对比

		固定成本	可变成本			
			能源费用 + 司机工资 + 事故成本			
自动驾驶方案成本	=	自动驾驶车辆购置成本	高	中	无	几乎无
雇佣司机方案成本	=	普通车辆购置成本	低	高	高	高
AGV方案成本	=	AGV购置成本 + 基础设施建设成本	较高	中	无	几乎无

资料来源: 中金公司研究部



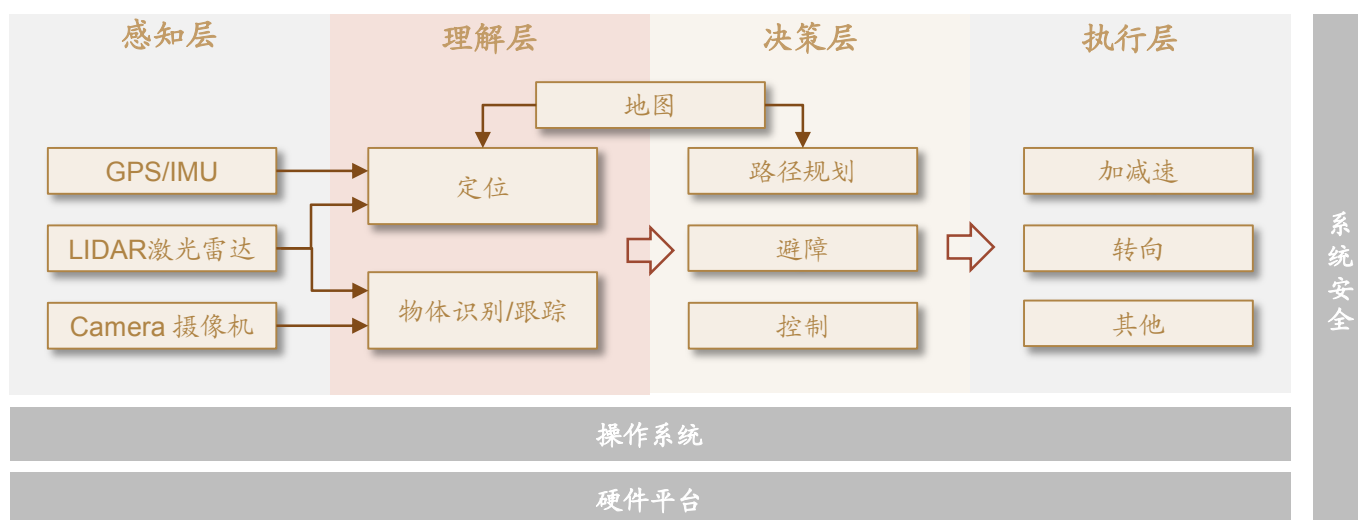
AI 赋能汽车理解决策能力，端到端自动驾驶是终极目标

AI 技术在理解层和决策层中赋能自动驾驶

人类的驾驶行为是一个周而复始的“感知→理解→决策→执行”过程。首先通过眼睛、耳朵等感知周围的交通环境；大脑对看到、听到和感觉到的信息进行处理，便知道车辆的位置、交通状况等；进而基于我们对当前状况的理解，进行路径规划、加减速、转向等决策；最终由双手和双脚完成车辆加减速和转向等操作。自动驾驶是一种类人驾驶，即计算机模拟人类的驾驶行为，其功能的实现同样分为**感知、理解、决策和执行**四个层次，由各类**传感器、ECU 和执行器**来实现。

在整个自动驾驶实现的流程中，**1) 感知层**主要依赖激光雷达和摄像头等传感器设备所采集的信息感知汽车周围环境，以硬件设备的精确度、可靠性为主要的衡量标准。**2) 执行层**通过汽车执行器，包括油门、转向和制动（刹车）等，实现车辆决策层输出的加速、转向和制动等决策，主要依靠机械技术实现。**3) AI 技术主要应用于理解层和决策层**，担任驾驶汽车“大脑”的角色。

图表 24: 自动驾驶技术框架



资料来源：盖世汽车，中金公司研究部

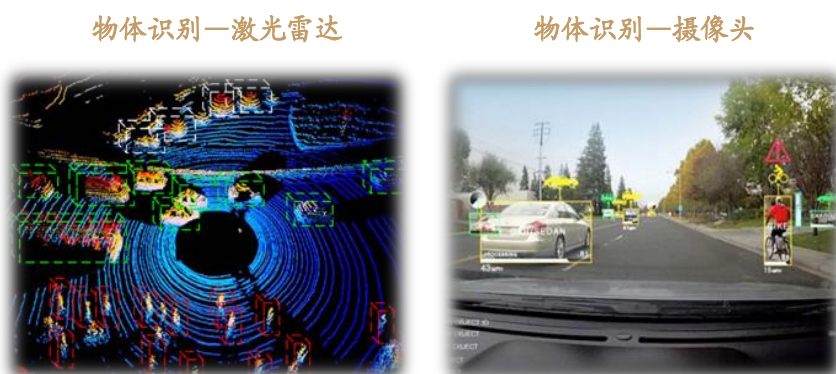
理解层对感知层数据进行解析，AI 算法技术优势尽现

依据感知层传感器的不同，理解层主要完成两个任务：车辆的高精度定位，以及物体识别和追踪。

- ▶ 高精度定位任务的实现主要是通过 GPS 或视觉的算法实现非常精准的车辆定位，目前主要的技术路线有三种：惯性传感器（IMU）和 GPS 定位、基于视觉里程计算法定位、基于雷达的定位。
- ▶ AI 算法在理解层最主要的应用是物体的识别和追踪。物体跟踪和识别包括静态物体识别和动态物体识别，对于动态物体还需要对其轨迹进行追踪，基于追踪的结果预测其下一步的位置，计算出安全的行车空间。自动驾驶车辆需要实时进行多个物体的识别和追踪，典型的物体包括车辆、行人、自行车等。



图表 25: 基于激光雷达和视觉的物体识别



资料来源: University of Oxford, NVIDIA, 中金公司研究部

激光雷达和计算机视觉是实现物体识别/跟踪的两种途径, Google 和 Tesla 分别代表了这两种不同的技术路线。

- ▶ 激光雷达生成的点云数据包含物体的 3D 轮廓信息,同时通过强度扫描成像获取物体的反射率,因此可以轻易分辨出草地、树木、建筑物、路灯、混凝土、车辆等。识别软件算法简单,很容易达到实时性的要求。
- ▶ 计算机视觉的方法是利用深度学习对摄像头图像进行处理,从像素层面的颜色、偏移和距离信息提取物体层面的空间位置(立体视觉法)和运动轨迹(光流法)。基于视觉的物体识别和跟踪是当前的研究热点,但是总体来说输出一般是有噪音,如物体的识别有可能不稳定,可能有短暂误识别等。

决策层如何应对复杂情形是自动驾驶的关键瓶颈

在理解层的基础上,决策层解决的问题是如何控制汽车行为以达到驾驶目标。在一个具有障碍物并且动态变化的环境中,按照一定的评价条件寻找一条从起始状态到目标状态的无碰撞路径。自动驾驶汽车的决策包括全局性导航规划、驾驶行为决策和运动轨迹规划。**1) 全局导航规划**在已知电子地图、路网以及宏观交通信息等先验信息下,根据某优化目标,选择不同的道路。**2) 驾驶行为决策**根据当前交通状况、交通法规、结构化道路约束,决定车辆的目标位置,抽象化为不同的驾驶行为,如变换车道、路口转向等。**3) 运动轨迹规划**是基于驾驶行为决策,躲避障碍物,对到达目标位置的路线进行规划。

基于规则的传统算法,在应对复杂情形下的决策仍存在挑战。道路上的交通参与者(车辆、行人、自行车等)的状态和意图具有不确定性,决策算法需要这样的环境下,以较短的时间进行行为决策,无疑是个技术难点。当前自动驾驶的决策算法多基于规则,如有限状态机算法、决策树等算法等。需要开发者利用专业知识对特定问题进行抽象和建模,实际上这种方式缺乏灵活性,特别是在复杂情形下,交通参与者的不确定性更高,算法更是难以做到面面俱到。

强化学习在自动驾驶决策层具有应用前景。强化学习的目的是通过和环境交互学习到如何在相应的观测中采取最优行为。行为的好坏可以通过环境给的奖励来确定。不同的环境有不同的观测和奖励。例如,驾驶中环境观测是摄像头和激光雷达采集到的周围环境的图像和点云,以及其他的传感器的输出。驾驶中的环境的奖励根据任务的不同,可以通过到达终点的速度、舒适度和安全性等指标确定。当前增强学习的算法在自动驾驶汽车决策上的研究还比较初步,有试错次数多、算法可解释性差等弱点。

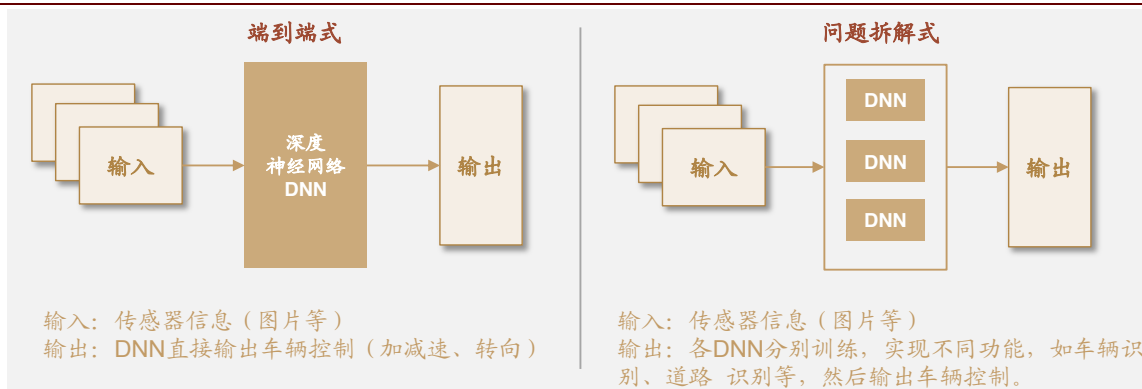
深度学习算法在自动驾驶中广泛应用,端到端自动驾驶仍具挑战

车辆的道路行驶环境非常复杂,需要处理大量非结构化数据。深度学习算法能够高效的处



理非结构化数据，并自动地从训练样本中学习特征，当训练样本足够大时，算法能够处理遇到的新的状况以应对复杂决策问题。以基本的车辆识别问题为例，在用足够多的汽车图像对算法进行训练后，算法具备了识别汽车的能力。

图表 26: 深度学习在自动驾驶中的应用



资料来源: Mobileye, 中金公司研究部

深度学习在自动驾驶中的应用可以分为两个学派: 端到端式 (End-to-End architecture) 和问题拆解式 (Semantic Abstraction)。与人类相比, 在端到端式的构架中, 一个 DNN 网络模拟了人的整个驾驶行为; 而在问题拆解式的构架中, 每个 DNN 网络仅模拟了人的一部分驾驶行为。

- ▶ 端对端式不需要人工将问题进行拆解, 只需要一个深度神经网络 (DNN), 在经过训练后, 基于传感器的输入信息 (如照片), 直接对车辆的加减速和转向等进行控制。
- ▶ 问题拆解式需要人工将问题进行拆解, 分别训练多个 DNN 网络, 实现诸如车辆识别、道路识别、交通信号灯识别等功能。然后基于各个 DNN 网络的输出, 再对车辆的加减速和转向进行控制。

目前, 问题拆解式深度学习在自动驾驶领域得到广泛的应用, 主要是进行图像识别。如识别行驶途中遇到的车辆、行人、地上的交通标志线、交通信号灯等。在 KITTI²数据集上, 排名第一的车辆识别算法已经能够达到 92.65% 的准确率³。以色列 Mobileye 是这个领域的领军人物, 其推出的基于摄像头的图像识别解决方案 EyeQ 得到了业内的认可, 被 10 多家汽车制造商超过 100 种车型所采用。众多创业公司也试图从这个角度切入自动驾驶领域, 提供图像识别算法, 如商汤科技、图森互联、地平线科技等。

NVIDIA 在测试车上通过端到端式的深度学习实现了对车辆转向的控制, 百度在 2017 年 CES 上推出了开源的端对端的自动驾驶平台 Road Hackers 及训练数据。目前端到端方案需要大量的数据进行模型训练 (模型参数更多), 算法的可解释性变差, 难以进行错误排查, 在可靠性上也存在一定问题, 仍处在较为初级的阶段。

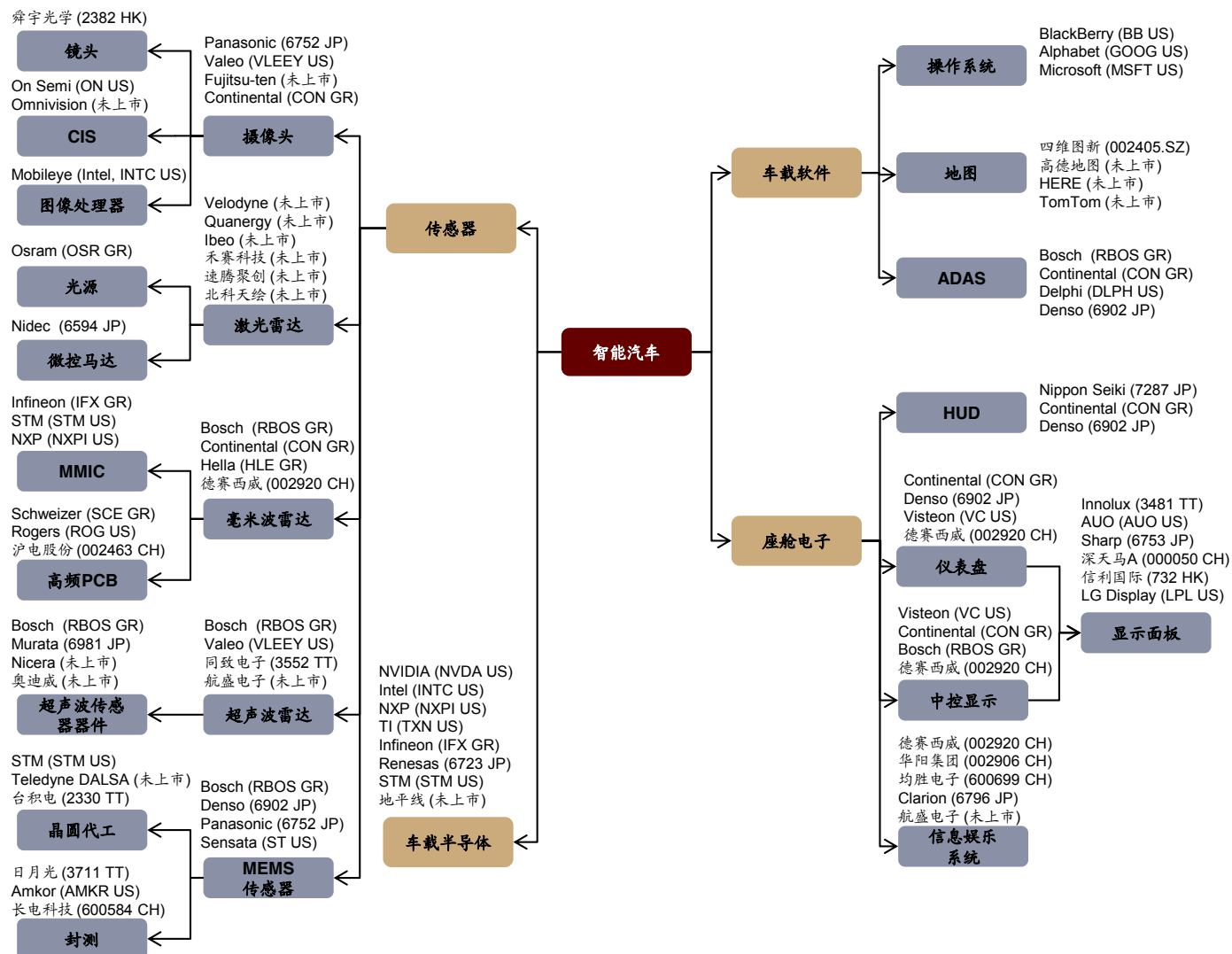
² KITTI 由德国卡尔斯鲁厄大学和丰田芝加哥研究中心共同设立, 提供标准的数据集, 对自动驾驶汽车图像处理算法进行统一标准的评价和排名。

³ 2017 年 1 月 12 日排名。



智能汽车产业链

图表 27: 智能汽车产业链



资料来源: 万得资讯, Bloomberg, 中金公司研究部



法律声明

一般声明

本报告由中国国际金融股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但中国国际金融股份有限公司及其关联机构（以下统称“中金公司”）对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供投资者参考之用，不构成对买卖任何证券或其他金融工具的出价或征价或提供任何投资决策建议的服务。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐或投资操作性建议。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，自主审慎做出决策并自行承担风险。投资者在依据本报告涉及的内容进行任何决策前，应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，并就相关决策咨询专业顾问的意见对依据或者使用本报告所造成的一切后果，中金公司及/或其关联人员均不承担任何责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，中金公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

本报告署名分析师可能会不时与中金公司的客户、销售交易人员、其他业务人员或在本报告中针对可能对本报告所涉及的标的证券或其他金融工具的市场价格产生短期影响的催化剂或事件进行交易策略的讨论。这种短期影响的分析可能与分析师已发布的关于相关证券或其他金融工具的目标价、评级、估值、预测等观点相反或不一致，相关的交易策略不同于且也不影响分析师关于其所研究标的证券或其他金融工具的基本面评级或评分。

中金公司的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。中金公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。中金公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见不一致的投资决策。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现。过往的业绩表现亦不应作为日后回报的预示。我们不承诺也不保证，任何所预示的回报会得以实现。分析中所做的预测可能是基于相应的假设。任何假设的变化可能会显著地影响所预测的回报。

本报告提供给某接收人是基于该接收人被认为有能力独立评估投资风险并就投资决策能行使独立判断。投资的独立判断是指，投资决策是投资者自身基于对潜在投资的目标、需求、机会、风险、市场因素及其他投资考虑而独立做出的。

本报告由受香港证券和期货委员会监管的中国国际金融香港证券有限公司（“中金香港”）于香港提供。香港的投资者若有任何关于中金公司研究报告的问题请直接联系中金香港的销售交易代表。本报告作者所持香港证监会牌照的牌照编号已披露在报告首页的作者姓名旁。

本报告由受新加坡金融管理局监管的中国国际金融（新加坡）有限公司（“中金新加坡”）于新加坡向符合新加坡《证券期货法》定义下的认可投资者及/或机构投资者提供。提供本报告于此类投资者，有关财务顾问将无需根据新加坡之《财务顾问法》第 36 条就任何利益及/或其代表就任何证券利益进行披露。有关本报告之任何查询，在新加坡获得本报告的人员可联系中金新加坡销售交易代表。

本报告由受金融服务监管局监管的中国国际金融（英国）有限公司（“中金英国”）于英国提供。本报告有关的投资和服务仅向符合《2000 年金融服务和市场法 2005 年（金融推介）令》第 19（5）条、38 条、47 条以及 49 条规定的人士提供。本报告并未打算提供给零售客户使用。在其他欧洲经济区国家，本报告向被其本国认定为专业投资者（或相当性质）的人士提供。

本报告将依据其他国家或地区的法律法规和监管要求于该国家或地区提供本报告

特别声明

在法律许可的情况下，中金公司可能与本报告中提及公司正在建立或争取建立业务关系或服务关系。因此，投资者应当考虑到中金公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。

与本报告所含具体公司相关的披露信息请访 <https://research.cicc.com/footer/disclosures>，亦可参见近期已发布的关于该等公司的具体研究报告。

研究报告评级分布可从 <https://research.cicc.com/footer/disclosures> 获悉。

个股评级标准：分析员估测未来 6~12 个月绝对收益在 20% 以上的个股为“推荐”、在 -10%~20% 之间的为“中性”、在 -10% 以下的为“回避”。星号代表首次覆盖或再次覆盖。

行业评级标准：“超配”，估测未来 6~12 个月某行业会跑赢大盘 10% 以上；“标配”，估测未来 6~12 个月某行业表现与大盘的关系在 -10% 与 10% 之间；“低配”，估测未来 6~12 个月某行业会跑输大盘 10% 以上。

本报告的版权仅为中金公司所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

V160908
编辑：樊荣



北京

中国国际金融股份有限公司
北京市建国门外大街1号
国贸写字楼2座28层
邮编: 100004
电话: (86-10) 6505-1166
传真: (86-10) 6505-1156

深圳

中国国际金融股份有限公司深圳分公司
深圳市福田区益田路5033号
平安金融中心72层
邮编: 518000
电话: (86-755) 8319-5000
传真: (86-755) 8319-9229

上海

中国国际金融股份有限公司上海分公司
上海市浦东新区陆家嘴环路1233号
汇亚大厦32层
邮编: 200120
电话: (86-21) 5879-6226
传真: (86-21) 5888-8976

Singapore

China International Capital
Corporation (Singapore) Pte. Limited
#39-04, 6 Battery Road
Singapore 049909
Tel: (65) 6572-1999
Fax: (65) 6327-1278

香港

中国国际金融(香港)有限公司
香港中环港景街1号
国际金融中心第一期29楼
电话: (852) 2872-2000
传真: (852) 2872-2100

United Kingdom

China International Capital
Corporation (UK) Limited
Level 25, 125 Old Broad Street
London EC2N 1AR, United Kingdom
Tel: (44-20) 7367-5718
Fax: (44-20) 7367-5719

北京建国门外大街证券营业部

北京市建国门外大街甲6号
SK大厦1层
邮编: 100022
电话: (86-10) 8567-9238
传真: (86-10) 8567-9235

上海黄浦区湖滨路证券营业部

上海市黄浦区湖滨路168号
企业天地商业中心3号楼18楼02-07室
邮编: 200021
电话: (86-21) 56386-1195、6386-1196
传真: (86-21) 6386-1180

南京汉中路证券营业部

南京市鼓楼区汉中路2号
亚太商务楼30层C区
邮编: 210005
电话: (86-25) 8316-8988
传真: (86-25) 8316-8397

厦门莲岳路证券营业部

厦门市思明区莲岳路1号
磐基中心商务楼4层
邮编: 361012
电话: (86-592) 515-7000
传真: (86-592) 511-5527

重庆洪湖西路证券营业部

重庆市北部新区洪湖西路9号
欧瑞蓝爵商务中心10层及欧瑞
蓝爵公馆1层
邮编: 401120
电话: (86-23) 6307-7088
传真: (86-23) 6739-6636

佛山季华五路证券营业部

佛山市禅城区季华五路2号
卓远商务大厦一座12层
邮编: 528000
电话: (86-757) 8290-3588
传真: (86-757) 8303-6299

宁波扬帆路证券营业部

宁波市高新区扬帆路999弄5号
11层
邮编: 315103
电话: (86-0574) 8907-7288
传真: (86-0574) 8907-7328

北京科学院南路证券营业部

北京市海淀区科学院南路2号
融科资讯中心B座13层1311单元
邮编: 100190
电话: (86-10) 8286-1086
传真: (86-10) 8286-1106

深圳福华一路证券营业部

深圳市福田区福华一路6号
免税商务大厦裙楼201
邮编: 518048
电话: (86-755) 8832-2388
传真: (86-755) 8254-8243

广州天河路证券营业部

广州市天河区天河路208号
粤海天河城大厦40层
邮编: 510620
电话: (86-20) 8396-3968
传真: (86-20) 8516-8198

武汉中南路证券营业部

武汉市武昌区中南路99号
保利广场写字楼43层4301-B
邮编: 430070
电话: (86-27) 8334-3099
传真: (86-27) 8359-0535

天津南京路证券营业部

天津市和平区南京路219号
天津环贸商务中心(天津中心)10层
邮编: 300051
电话: (86-22) 2317-6188
传真: (86-22) 2321-5079

云浮新兴东堤北路证券营业部

云浮市新兴县新城东堤北路温氏科技园服务
楼C1幢二楼
邮编: 527499
电话: (86-766) 2985-088
传真: (86-766) 2985-018

福州五四路证券营业部

福州市鼓楼区五四路128-1号恒力城办公楼
38层02-03室
邮编: 350001
电话: (86-591) 8625 3088
传真: (86-591) 8625 3050

上海浦东新区世纪大道证券营业部

上海市浦东新区世纪大道8号
上海国金中心办公楼二期46层4609-14室
邮编: 200120
电话: (86-21) 2057-9499
传真: (86-21) 2057-9488

杭州教工路证券营业部

杭州市教工路18号
世贸丽晶城欧美中心1层
邮编: 310012
电话: (86-571) 8849-8000
传真: (86-571) 8735-7743

成都滨江东路证券营业部

成都市锦江区滨江东路9号
香格里拉办公楼1层、16层
邮编: 610021
电话: (86-28) 8612-8188
传真: (86-28) 8444-7010

青岛香港中路证券营业部

青岛市市南区香港中路9号
香格里拉写字楼中心11层
邮编: 266071
电话: (86-532) 6670-6789
传真: (86-532) 6887-7018

大连港兴路证券营业部

大连市中山区港兴路6号
万达中心16层
邮编: 116001
电话: (86-411) 8237-2388
传真: (86-411) 8814-2933

长沙车站北路证券营业部

长沙市芙蓉区车站北路459号
证券大厦附楼三楼
邮编: 410001
电话: (86-731) 8878-7088
传真: (86-731) 8446-2455

西安雁塔证券营业部

西安市雁塔区二环南路西段64号
凯德广场西塔21层02/03号
邮编: 710065
电话: (+86-29) 8648 6888
传真: (+86-29) 8648 6868

