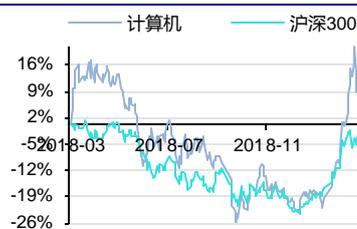


## 自动驾驶：百年汽车产业的“iPhone”时刻

- **自动驾驶是百年汽车工业史上又一次伟大的范式转移。**自动驾驶将重新定义汽车产业规则。汽车的产品定义将不再是“行走的精密仪器”，也不只是一台“行走的计算机”，而是“行走的第三空间”；车厂的角色将从传统的汽车制造商向移动出行服务商转型。自动驾驶是产业发展的必然趋势，关乎时间、生命，是重塑未来出行生态的关键技术。2018年下半年以来，全球自动驾驶产业现象级事件频发，商业化序幕已经拉开。
- **自动驾驶概念定义——L3是产业分水岭。**本文所强调的自动驾驶是指L3及以上的高等级自动驾驶技术。高等级自动驾驶意味着手、脚、眼和注意力将逐步被解放，从“机器辅助人开车”（L2）到“机器开车人辅助”（L3）、“机器开车”（L4/L5）意味着车主的生产力、时间的释放，应用价值发生质变，L3是用户价值感受的临界点，将成为产业重要分水岭。
- **技术：5G+AI打通自动驾驶“任督二脉”。**自动驾驶技术的本质是用机器视角去模拟人类驾驶员的行为，其技术框架可以分为三个环节：感知层、决策层和执行层，具体涉及传感器、计算平台、算法、高精度地图、OS、HMI等多个技术模块。广义的理解，在单车智能技术路线的基础上，未来整个自动驾驶的技术体系将是“车端”、“云端”、“路端”同步升级发展。5G+AI是解锁高等级自动驾驶技术的关键所在。纵观全球主流科技公司以及整车厂，自动驾驶L3商业化技术已经成熟，L4/5加速发展进入验证试点阶段。
- **政策：“绿灯”频开，合法上路在即。**自动驾驶汽车已成为全球汽车产业的战略制高点，国家层面指导意见有望出台，监管将不再缺位，确保自动驾驶车辆上路的“合法性”。预计高等级自动驾驶车辆上路合法化的路径，将跟随技术的成熟度逐渐放开，先从简单的高速公路路况开始，逐步开放城区等复杂场景，直至全场景。
- **成本：有望骤降，从Demo跨越到准量产阶段。**产业界普遍对于自动驾驶成本大幅度骤降持乐观态度。至2025年，L3-L4的自动驾驶硬件改造成本约在1900-4400美元/车。同时，“聪明”的车和“智能”的路配合，国内有望拥有全球最好的基础设施（5G+V2X），显著降低单车改造成本。此外，从封闭到开放，车企已经开始广泛的合纵连横联合研发，显著降低单个车厂的投入，缩短技术创新周期。
- **市场：蓄势待发，大幕将启。**国内消费者对于自动驾驶的接受程度、需求、支付意愿均位于全球前列。中国有望成为全球自动驾驶第一大市场。自动驾驶商业化路径分为两类：1) 主机厂主导—前装市场。2020/2021年将成为主机厂量产的重要节点，未来前装市场规模有望超过1400亿美金；2) 科技公司主导—Mobility as a Service。Waymo（谷歌）正式商用，开启Robo-taxi元年。商业化落地的大门开启在即，供应链的链条已经率先启动。
- **投资建议：**自动驾驶是百年汽车工业的又一次伟大范式转移，交通出行的生态体系、汽车产业链的游戏规则都将被重新定义。5G+AI技术创新的推动下，

投资评级 **领先大市-A**  
维持评级

### 行业表现



数据来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	-0.11	-11.64	0.31
绝对收益	8.80	14.91	-1.51

胡又文

分析师

SAC 执业证书编号：S1450511050001

huyw@essence.com.cn

021-35082010

凌晨

分析师

SAC 执业证书编号：S1450517120005

lingchen@essence.com.cn

021-35082059

### 相关报告

- 人工智能再迎重磅政策催化：中央深改组通过《关于促进人工智能和实体经济深度融合的指导意见》 2019-03-20
- 布局一季报高预增——计算机行业周报（3月17日） 2019-03-17
- 315 再曝食品安全隐患，溯源技术有望成为刚需应用 2019-03-16
- 全面落实教育信息化建设和网络安全战略布局 2019-03-14
- Intel 牵头八大 IT 巨头打造新标准，开创 AI 基础计算新纪元 2019-03-13

自动驾驶“黑科技”得以解锁，跨越技术、成本、政策三座大山之后，迎来商业化的全面落地。我们预计，国内自动驾驶产业将呈现指数级增长；与之伴随的，自动驾驶的供应链体系也启动在即，无论是传统的 Tier1、Tier2 供应商、亦或者是新兴的自动驾驶技术供应商都将面临黄金的发展机遇。考虑到自动驾驶作为复杂的工程体系，所涉及的技术环节众多，我们建议优先选择“黄金赛道”（卡位绕不开、进入壁垒高、市场空间大）中的“顶级赛手”，重点推荐四维图新、千方科技、中科创达、中海达、德赛西威和格尔软件，建议关注路畅科技、华阳集团、合众思壮、华测导航、高新兴等。

- **风险提示：**自动驾驶行业发展低于预期；竞争者加速涌入导致行业竞争加剧；政策监管风险。

## 内容目录

<b>1. 自动驾驶是百年汽车工业史上又一次伟大的范式转移</b> .....	<b>6</b>
1.1. 重新定义汽车产业的游戏规则.....	6
1.2. 自动驾驶是汽车产业发展的必然趋势.....	7
1.1. 现象级事件频发，自动驾驶拉开商业化序幕.....	9
<b>2. 自动驾驶概念定义——L3 是分水岭</b> .....	<b>11</b>
<b>3. 技术：5G+AI 打通自动驾驶“任督二脉”</b> .....	<b>13</b>
3.1. 自动驾驶技术框架概述.....	13
3.2. 解构自动驾驶核心技术模块.....	14
3.2.1. 自动驾驶感知层传感器.....	14
3.2.1.1. 自动驾驶感知层传感器的定义和分类.....	14
3.2.1.2. 环境感知传感器的发展趋势.....	15
3.2.1.3. 高精度定位传感器的发展趋势.....	16
3.2.1.4. 5G/V2X 技术为自动驾驶打通外部“大脑”.....	17
3.2.2. 计算平台（主控芯片）.....	17
3.2.2.1. 高等级自动驾驶的本质是 AI 计算问题，车载计算平台是刚需.....	17
3.2.2.2. 算法和芯片协同设计是计算平台的重要发展趋势.....	18
3.2.3. 自动驾驶算法.....	19
3.2.3.1. 自动驾驶算法的定义和分类.....	19
3.2.3.2. 算法验证迭代之路——仿真 or 路测.....	20
3.2.4. 高精度地图.....	21
3.2.5. 自动驾驶 OS.....	23
3.2.6. HMI（人机交互）.....	23
3.3. 5G+AI 黑科技打通自动驾驶技术的“任督二脉”.....	24
<b>4. 政策：“绿灯”频开，合法上路在即</b> .....	<b>26</b>
<b>5. 成本：有望骤降，从 Demo 跨越到准量产阶段</b> .....	<b>28</b>
5.1. 技术创新推动核心部件成本骤降.....	28
5.1.1. L3 自动驾驶硬件改造成本有望降至 2000 美元/车以下.....	28
5.1.2. 核心部件成本趋势分析.....	29
5.2. 政府助力车路协同（V2X）基建普及，显著降低单车改造成本.....	31
5.3. 从封闭到开放，联合研发分摊开发成本.....	32
<b>6. 市场：蓄势待发，大幕将启</b> .....	<b>33</b>
6.1. 态度开放，需求旺盛，中国或成全球自动驾驶第一大市场.....	33
6.2. 商业化路径之车厂前装：进入大规模量产前夕，规模有望超过 1400 亿美金.....	35
6.2.1. 车厂大规模自动驾驶计划进入倒计时.....	35
6.2.1. 2030 年自动驾驶前装市场空间有望达到 1400 亿美金.....	37
6.3. 商业化路径之 MaaS：终极场景，潜力无限.....	37
6.3.1. Waymo 开启 Robo-taxi 元年.....	37
6.3.2. 商用场景的 MaaS 有望率先落地.....	38
<b>7. 投资建议与重点推荐公司</b> .....	<b>40</b>
7.1. 投资建议.....	40
7.2. 重点推荐公司.....	41
7.2.1. 四维图新：国内高精度地图领军企业.....	41
7.2.2. 千方科技：国内交通信息化龙头，积极布局 V2X 业务.....	41

7.2.3. 中科创达：全球领先的智能驾驶舱软件解决方案提供商.....	42
7.2.4. 中海达：高精度定位龙头，迈入自动驾驶新时代.....	42
7.2.5. 德赛西威：车机先行者，加码智能网联.....	43
7.2.6. 格尔软件：国内领先的车联网信息安全提供商.....	43
<b>8. 风险提示.....</b>	<b>44</b>

## 图表目录

图 1：自动驾驶独领汽车产业风骚.....	6
图 2：汽车进化为第三生活空间.....	7
图 3：以丰田 e-Palette 为例，未来汽车的产品形态.....	7
图 4：车厂的角色重新定义.....	7
图 5：自动驾驶破局现有交通出行的困局的关键.....	8
图 6：自动驾驶关乎时间、关乎生命.....	8
图 7：自动驾驶将激活、重塑和创造多个万亿级市场.....	9
图 8：自动驾驶产业发展史和标示性时间.....	10
图 9：自动驾驶产业持续吸金.....	11
图 10：自动驾驶分级.....	12
图 11：自动驾驶的实现难度随着路况复杂程度上升.....	12
图 12：自动驾驶实现功能&时间表.....	13
图 13：自动驾驶的技术框架.....	14
图 14：自动驾驶感知层传感器的功能以及优缺点.....	15
图 15：感知层传感器捕捉外部环境信息.....	15
图 16：环境感知传感器的两种思路.....	15
图 17：传感器各有优劣，融合发展是趋势.....	16
图 18：车辆运动传感器模块的定义.....	16
图 19：高精度定位模块的定义.....	16
图 20：高精度定位模块的三种技术原理.....	17
图 21：主流定位方案普遍采取融合的技术路线.....	17
图 22：5G/ V2X 为自动驾驶车辆提供“外部信息”.....	17
图 23：5G/ V2X 的结束特点.....	17
图 24：自动驾驶汽车各传感器所产生的数据量.....	18
图 25：百度自动驾驶解决方案在后备箱搭载“计算平台”.....	18
图 26：自动驾驶每提升一个等级，算力要求就提升一个等级.....	18
图 27：芯片+算法协同演进是产业发展方向.....	19
图 28：感知层算法的核心任务.....	20
图 29：感知层算法的核心任务.....	20
图 30：决策层算法的核心任务.....	20
图 31：自动驾驶仿真算法的界面（类似汽车游戏场景）.....	21
图 32：高精度地图的内容.....	22
图 33：高精度地图的内容.....	22
图 34：高精度地图的作用.....	22
图 35：从 level3 开始，自动驾驶需要高精地图的支持.....	23
图 36：自动驾驶需要新一代的操作系统——RTOS.....	23
图 37：HMI 的组成构件.....	24

图 38: HMI 成为连接用户与外部互联服务的重要入口 .....	24
图 39: 自动驾驶技术升级的核心能力 .....	25
图 40: 深度学习引入大幅提升了机器视觉的能力 .....	25
图 41: AlphaGo 的成功标志着机器智能的重要突破 .....	25
图 42: 自动驾驶 L3 已经实现商业化 .....	26
图 43: 全球多数国家已将自动驾驶纳入国家顶层规划 .....	27
图 44: 国家自动驾驶顶层计划 .....	27
图 45: 全国自动驾驶路测牌照发放城市及公司 .....	27
图 46: 自动驾驶车辆上路“合法化”的渐进路径 .....	28
图 47: 摄像头价格曲线 .....	29
图 48: 毫米波雷达价格曲线 .....	29
图 49: 超声波雷达价格曲线 .....	30
图 50: GPS&IMU 价格曲线 .....	30
图 51: 芯片厂的定价策略 .....	30
图 52: 计算平台的价格曲线 .....	30
图 53: 激光雷达的技术趋势 .....	31
图 54: 激光雷达现阶段报价 .....	31
图 55: 激光雷达的价格曲线 .....	31
图 56: 交通杆改造增加边缘计算设备 .....	32
图 57: 自动驾驶改造 .....	32
图 58: 5G 是车路协同系统的核心技术 .....	32
图 59: 车企自动驾驶联盟 .....	33
图 60: 国内消费者对于自动驾驶技术接纳程度更高 .....	34
图 61: 消费者对于自动驾驶技术是否有需求 .....	34
图 62: 消费者愿意为购买自动驾驶车辆支付 4600 美元的溢价 .....	34
图 63: 全球前十国家汽车产量情况 (2017 年) .....	35
图 64: Tier1/2 自动驾驶时间表 .....	35
图 65: 国内车厂自动驾驶时间表 .....	35
图 66: 国际车自动驾驶时间表 .....	36
图 67: 国内自动驾驶前装渗透率 .....	36
图 68: 现阶段量产的自动驾驶系统的报价 .....	37
图 69: Waymo 推出的 Robo-taxi 的 APP 界面 .....	38
图 70: Waymo 自动驾驶车的内部情况 .....	38
图 71: 麦肯锡预测 2025-2027 年将是 Robo-taxi 的成本拐点 .....	38
图 72: 自动驾驶应用场景的目标市场规模 (百亿元/年) .....	39
图 73: 自动驾驶卡车的 TCO 成本 .....	40
图 74: 自动驾驶产业链涉及公司概况 .....	41
表 1: 高等级自动驾驶核心部件配置&部件的价格趋势预测 .....	29
表 2: 自动驾驶硬件配置成本趋势预测 .....	29
表 3: 国内自动驾驶前装渗透率预测 .....	36
表 4: 国内自动驾驶前装套件的市场规模 .....	37

## 1. 自动驾驶是百年汽车工业史上又一次伟大的范式转移

### 1.1. 重新定义汽车产业的游戏规则

汽车产业升级换代，自动驾驶独领风骚。直观理解，自动驾驶就是“机器替代驾驶员开车”，国内亦称之为智能网联汽车。与电动化、共享化相并列，自动驾驶（智能化+网联化）早已被产业界普遍认可为汽车产业未来发展的“新四化”趋势之一。春江水暖鸭先知，从嗅觉灵敏的资本市场的表现来看，自动驾驶早已是汽车产业升级的绝对主角。代表目前全球最强自动驾驶实力的 Waymo（谷歌）尽管尚未产生正式的收入，已经被 Morgan Stanley 率先定价到了 1750 亿美元，远超传统车企代表通用、福特、电动化势力代表特斯拉以及共享出行代表 Uber 的估值。Morgan Stanley 对于自动驾驶的热捧绝非孤例，根据德国《经理人》杂志报道，大众集团 CEO Herbert Diess 曾计划以 1370 亿美元的报价参股 Waymo 10% 股份（提议最终未得到董事会支持而告终），产业资本对于自动驾驶的认可度和追捧可见一般。我们认为，自动驾驶独领风骚的背后原因在于——自动驾驶将是未来汽车产业游戏规则的定义者。

图 1：自动驾驶独领汽车产业风骚



数据来源：安信证券研究中心整理，附注：1) 上述营收皆为 2018 年最新披露值。2) 市值截止至 3 月 29 日；Uber 的市值参考最新一轮融资估值；Waymo 的市值参考 Morgan Stanley 2018 年给予的最新估值

自动驾驶时代，汽车被重新定义。自动驾驶时代，汽车不再只是汽车，而是用户的第三空间。高等级自动驾驶意味着手、脚、眼和注意力将逐步被解放，从“机器辅助人开车”（L2）到“机器开车人辅助”（L3）、“机器开车”（L4/L5）意味着车主的生产力、时间的释放，汽车将不再是代步工具，用户在车内即可实现娱乐和办公，汽车有望进化成为家庭、办公场所之外的第三生活空间。从本质上来说，自动驾驶汽车不再是“行走的精密仪器”，也不只是一台“行走的计算机”，而是“行走的第三空间”，汽车的产品形态将被重新定义，商业价值也将更多维度地展开（自动驾驶创造了新的消费经济和生产市场——乘客经济，乘客在路上或消费，或工作，或娱乐，每一辆车都可以变成移动的商业地产）。

图 2：汽车进化为第三生活空间



数据来源：安信证券研究中心整理

图 3：以丰田 e-Palette 为例，未来汽车的产品形态



数据来源：丰田，安信证券研究中心

自动驾驶时代，车厂角色将重新定义。未来汽车可能分为两类，一类是有人驾驶的汽车，一类是移动服务汽车。传统的汽车制造商将逐步向移动出行服务商转型，为用户提供 Car as a Service 或者说是 Mobility as a Service (MaaS) 的一站式出行服务。从用户角度来看，相对于私有车的模式，转向移动出行服务，可以充分利用路上的时间做自己的事；从车厂的角度来看，商业模式将从产权交易到使用权交易，即不再是一锤子买卖的整车销售，而是类似“手机流量套餐”一样，对用户的出行服务进行按需收费。从广义来看，未来出行服务需要具备三大要素：移动平台（车）、自动驾驶技术、用户服务入口。其中，自动驾驶将是关键技术，可以大幅度的降低出行服务平台的最大的运营成本项（司机的工资），直接决定了车企转型移动出行服务商的盈利潜力。

图 4：车厂的角色重新定义



数据来源：安信证券研究中心整理，图标来源于各公司官网

## 1.2. 自动驾驶是汽车产业发展的必然趋势

依从第一性原理思考现有交通出行的困局，发展自动驾驶是破局之道。现在很多大城市每年汽车增长 20%，道路增长 1%，人、车、路间供需不平衡，消费者被车厂教育了都想买车，可车还是不够人用（限购限行，打车难），路不够车用（拥堵），车已经塞满了城市；另一方面，汽车又是使用率最低的工业品，城市不得不为 95% 时间闲置的汽车建造大量的停车场，车位比车贵。现有交通出行的困局的根源是因为——人、车、路，三者之间在特定时间段的供需矛盾，增加车、修路都是治标不治本的措施，即使是共享出行，也只解决了一半的问题。我们需要从底层创新上寻求现有交通出行问题解决之道。从第一性原理出发，唯有，也只有代表着更高效率的 MaaS（自动驾驶驱动）的普及，才能根本性地解决现有的交通出行困局。

图 5：自动驾驶破局现有交通出行的困局的关键



数据来源：安信证券研究中心整理，图标来源于各公司官网

自动驾驶关乎时间、关乎生命，将释放巨大的社会价值：

1) 自动驾驶关乎生命。滴滴程维曾表示，理论上，机器比人更适合开车。人其实并不很适合开车，人类的可靠视距大概只有两三百米，但是激光雷达可以看到更远。人类只能看到前面 180°的视角，看不到后面有车追尾，机器可以环顾 360°。人只能靠个体学习积累驾驶经验，用公里数换经验，但是机器可以 100 万辆车共享一个大脑，去学习沉淀经验。人类开车走复杂路段，是靠自己的经验控制方向盘，但是机器可以学习舒马赫怎样精准过弯。人类操纵汽车是靠手感，是靠脚踩下去的感觉，机器人可以精确到毫米、微米去控制机械。机器也不会疲劳驾驶、酒驾。在技术足够成熟的前提下，机器驾驶的综合安全性会比人类高一个量级，而这意味着全球每年死于交通事故的 125 万人死于道路交通事故的人员（WHO《2015 年全球道路安全现状报告》），有更多生命得到拯救。

2) 自动驾驶关乎时间。罗振宇提出了“国民总时间”的概念，时间是最有价值、也是最稀缺的资源。在大部分人的一天 24 小时中，上下班通勤是逃不掉的固定时间支出，尤其是在地理尺度较大和职住问题严重的大城市，交通拥堵会令本已很长的通勤时间加倍延长。高德地图《2018 年度中国主要城市交通分析报告》显示，以北京为例，人均年拥堵时间高达 174 小时。按照拥堵损失=城市平均时薪\*因拥堵造成的延时\*人均全年通勤次数的计算公式，根据百度测算，国内每年因为交通拥堵大概会造成 GDP 的 5% 到 8% 的损失。自动驾驶时代，用户在车上的时间会被解放出来，这些时间都可以转化成生产力，释放巨大的经济价值。

图 6：自动驾驶关乎时间、关乎生命



数据来源：安信证券研究中心整理，附注，图片来源于网络

在释放巨大社会价值的基础上，自动驾驶将激活、重塑和创造多个万亿级市场。1) 自动驾

驶将激活汽车市场。智能、安全和人机共驾的新体验将重新激发人们换车的需求；2) 自动驾驶将重塑出行市场。MaaS 将解决如今困扰消费者和出行服务商的最大问题——司机成本和“坏人”风险。如果说当前的网约车只解决了出行需求的一半问题，那么未来自动驾驶出租车将是另一半问题的答案。此外，自动驾驶应用到商用场景，用机器替代日益高昂的人力成本，也将创造巨大价值；3) 自动驾驶将创造新的消费经济和生产市场——乘客经济。这些时间，乘客在路上或消费，或工作，或娱乐，每一辆车都可以变成移动的商业地产。更进一步，除了上述三个市场之外，自动驾驶技术的普及还会产生间接的二级效应，对能源、房地产、保险等行业都会产生深远而巨大的影响。

图 7：自动驾驶将激活、重塑和创造多个万亿级市场

自动驾驶前装套件市场

出行服务市场

乘客经济市场

万亿级别

万亿级别

万亿级别



数据来源：安信证券研究中心整理，附注：自动驾驶前装套件、MaaS 的市场规模具体测算在后续章节；乘客经济的目标市场是重新利用拥堵时间造成的 GDP 损失

### 1.1. 现象级事件频发，自动驾驶拉开商业化序幕

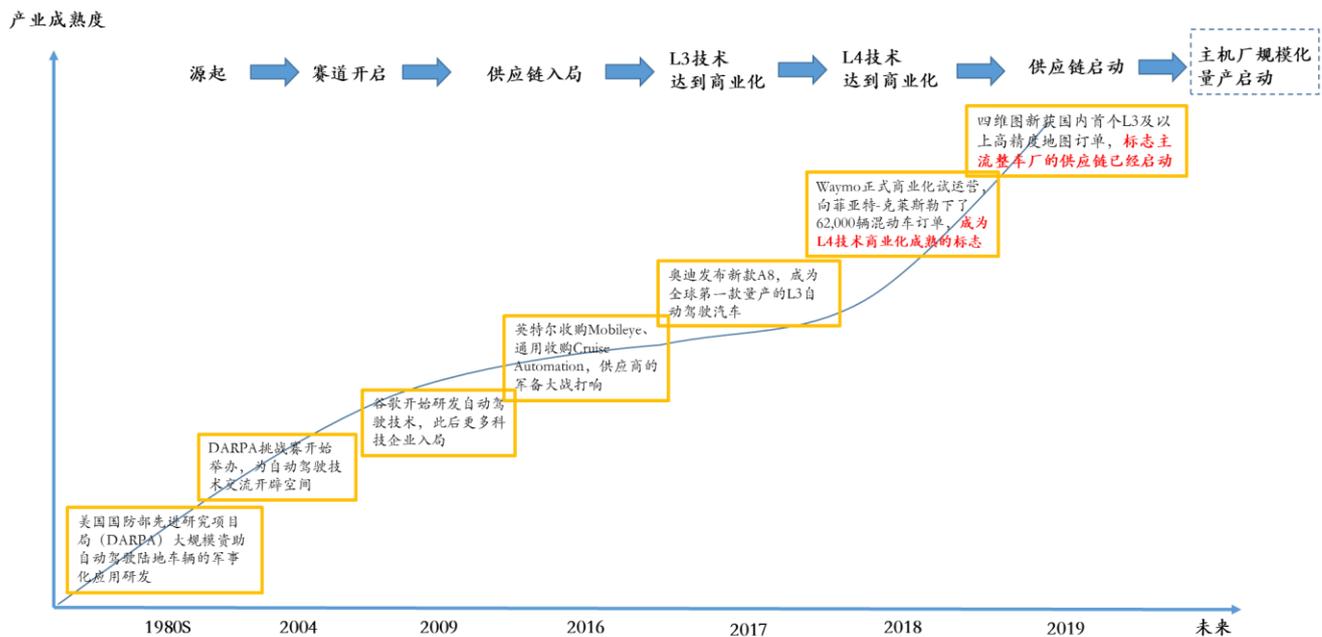
自动驾驶不再是梦想，主机厂规模化量产即将启动。回顾自动驾驶产业发展历史，大致可以分为如下阶段：

- 1) **源起。**自动驾驶技术的探索最早可以追溯到 1980 年，美国率先开启了自动驾驶汽车在军事领域的应用。美国的国防高级研究计划局 (DARPA) 和卡内基梅隆大学，分别以“摄像头为主、其他传感器为辅”开发出不同的自动驾驶汽车的原型，并且在真实路况中展现出了令人信服的能力。2004 年开始，美国 (DARPA) 发布无人车挑战赛。时值“第二次海湾战争”刚刚开始，国防部注意到沙漠行动中的士兵伤亡，希望用无人驾驶来解决这一问题。DARPA 无人车挑战赛为自动驾驶技术交流开辟了空间和研究的土壤，为产业贡献了大量的人才。第一代的自动驾驶技术大牛，都是以 DARPA 无人车挑战赛为起点。
- 2) **赛道开启。**自动驾驶产业化的正式开启是从 2009 年拉开序幕，Google X 确立了多个登计划 (Moonshot)，旨在捕捉未来惠及全人类的核心技术。无人车项目在谷歌的资金支持下正式开启。随后，陆续有更多的科技巨头入场。
- 3) **核心技术跨越式发展。**自动驾驶技术经过多年打磨后，日趋成熟，绝大部分主流车企也宣布了自动驾驶的量产计划表。为了更好的捕捉自动驾驶技术衍生出来的需求，从芯片厂到 Tier1 开始了供应链整合之路。标志性的事件就是英特尔宣布以 153 亿美元收购 Mobileye (自动驾驶视觉芯片公司)，并正式成立自动驾驶事业部。
- 4) **技术得到商业化验证。**2017、2018 年开始，自动驾驶技术得到商业化验证。车厂领跑者——奥迪首发了全球第一款 L3 级别的量产自动驾驶车辆；科技公司的领跑者——Waymo 在经过 10 年的测试和技术打磨之后，推出 Waymo One 的自动驾驶出租车服务，试水商业化运

营，并在18年分别向捷豹、菲亚特-克莱斯勒下了20000量捷豹I-PACE车型以及62,000辆Pacifica混动车的订单，用于在未来3年内在全美扩大自动驾驶车队阵容。无独有偶，Uber早期也与沃尔沃达成协议，计划采购2.4万辆车辆，用于自动驾驶车队。

5) **供应链启动**。随着车厂自动驾驶量产计划日益临近，前装供应链的“车轮”也已经率先启动，标志性的事件就是2019年年初，四维图新斩获国内首个L3及以上的高精度地图的主流车厂订单（宝马）。从2019年开始，到2020、2021年，根据全球主流车厂的计划表，将陆续开始有量产的自动驾驶车辆出炉，自动驾驶产业有望进入黄金发展期。

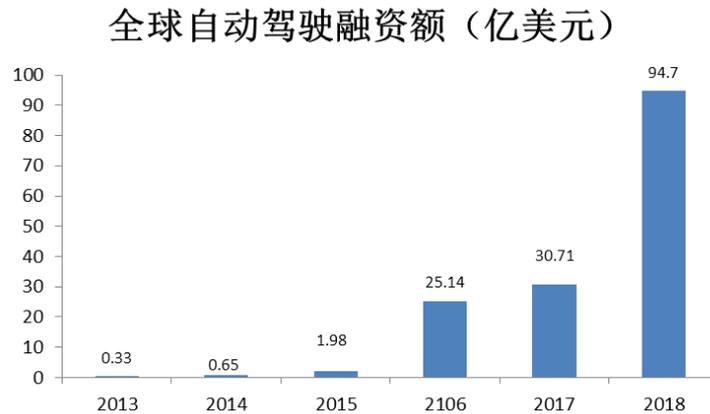
图8：自动驾驶产业发展史和标示性时间



数据来源：各公司官网，安信证券研究中心整理

**现象级事件频发，自动驾驶产业发展全面提速。**1) 资金层面。自动驾驶在一级市场已经成为最火热的赛道，展现出超强的吸金能力，仅2018年就全球狂揽94.7亿美元的融资。充裕的资金资质将成为自动驾驶产业最好的助推器之一；2) 产业层面。科技巨头继续引领行业风向标；车厂相继争先宣布转型移动出行服务商（典型代表丰田、通用、大众），继续加码自动驾驶研发投入；3) 政策。全球政府为自动驾驶的合法化上路正紧锣密鼓的修订政策法规。日本政府近期通过了《道路运输车辆法》修正案，确保自动驾驶的合法性；国内方面，交通部部长李小鹏也在近期表示将力争在国家层面出台《自动驾驶发展指导意见》。总体来看，自动驾驶产业生机勃勃，在资金、产业、政策的共振下，发展不断提速，快马加鞭纵情向前。

图 9：自动驾驶产业持续吸金



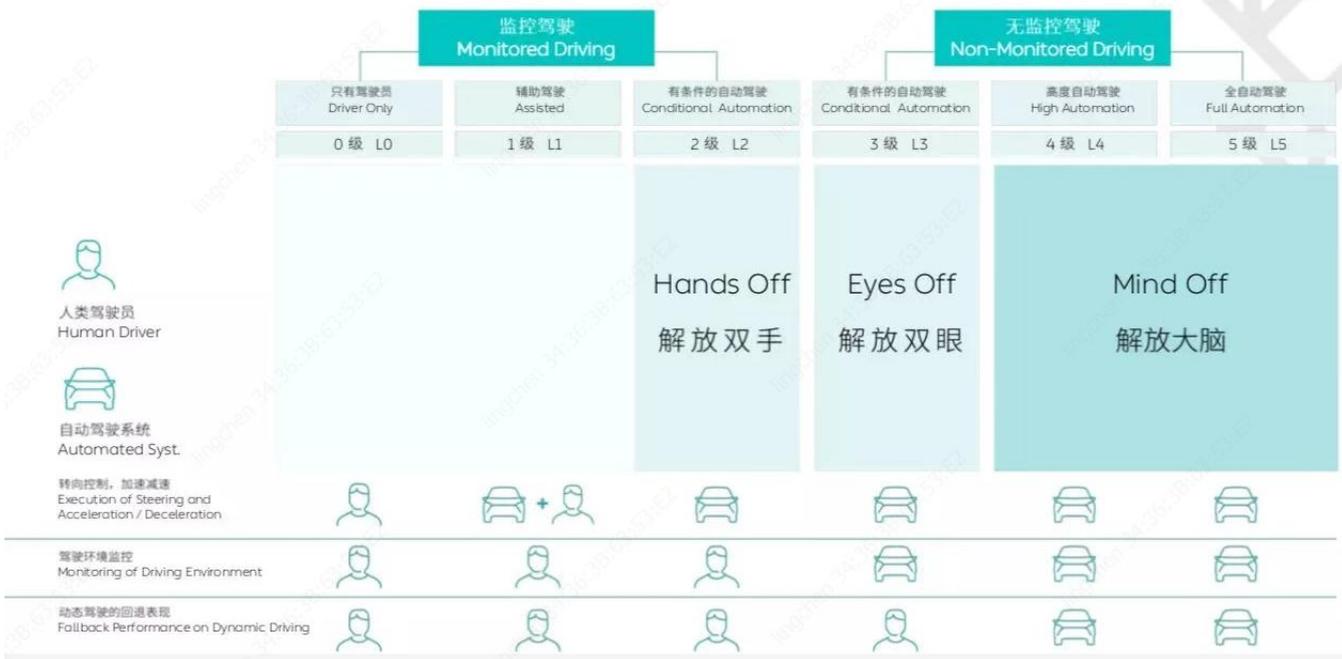
数据来源：《全球无人驾驶投资笔记》，安信证券研究中心；附注：融资额不考虑并购事件，如英特赫收购 mobileye

## 2. 自动驾驶概念定义——L3 是分水岭

**L3 将是自动驾驶技术的飞跃。**对于自动驾驶技术和概念的定义，国际上通用的是美国 SAE 协会定义的标准。我们日常生活中接触的最多的仍然是 L2 级别的自动驾驶技术（以特斯拉 AutoPilot 为典型代表），本文所强调的自动驾驶是指 L3 及以上的高等级自动驾驶技术。在自动驾驶技术分级中，L2 和 L3 是重要的分水岭，在 L2 及以下的自动驾驶技术仍然是辅助驾驶技术，尽管可以一定程度上解放双手（Hands Off），但是环境感知、接管仍然需要人来完成，即由人来进行驾驶环境的观察，并且在紧急情况下直接接管。而在 L3 级中，环境感知的工作将交由机器来完成，车主可以不用再关注路况，从而实现了车主双眼的解放（Eyes Off）。而 L4、L5 则带来自动驾驶终极的驾驶体验，在规定的使用范围内，车主可以完全实现双手脱离方向盘以及注意力的解放（Minds Off），被释放了手、脚、眼和注意力的人类，将能真正摆脱驾驶的羁绊，享受自由的移动生活。从实际应用价值来看，L3/L4 相对于辅助驾驶技术有质的提升，从“机器辅助人开车”（L2）到“机器开车人辅助”（L3），最终实现“机器开车”（L4/L5），L3 将成为是用户价值感受的临界点，将成为产业重要分水岭。

图 10：自动驾驶分级

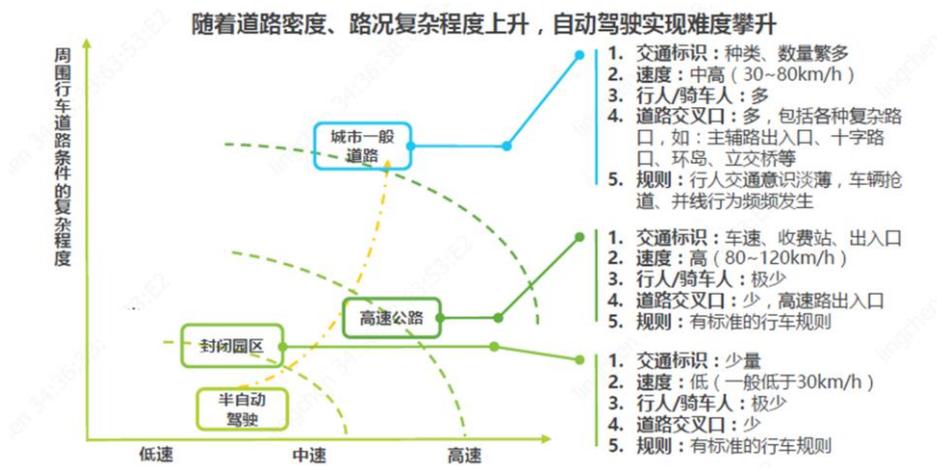
SAE 自动驾驶分级 Autonomous Driving Level



数据来源：蔚来汽车，安信证券研究中心

跟消费者普遍希望的“全能”所不同，自动驾驶技术是有应用场景和功能要求的。除了基础的分级之外，SAE 协会还给出了自动驾驶系统的重要设计维度：设计运行范围（ODD），即自动驾驶技术可以安全工作的环境，包括车辆自动驾驶时的速度、地形、路况、基础环境、交通情况、时段（白天、晚上）。以消费者最常见的量产自动驾驶系统——特斯拉 Autopilot 为例，虽然很多粉丝在城市环境试过 Autopilot，但官方给出的启用范围依然是高速公路和行车缓慢的路段，并对时速做出了限制。很显然，路况越复杂，自动驾驶的实现难度将越高。

图 11：自动驾驶的实现难度随着路况复杂程度上升

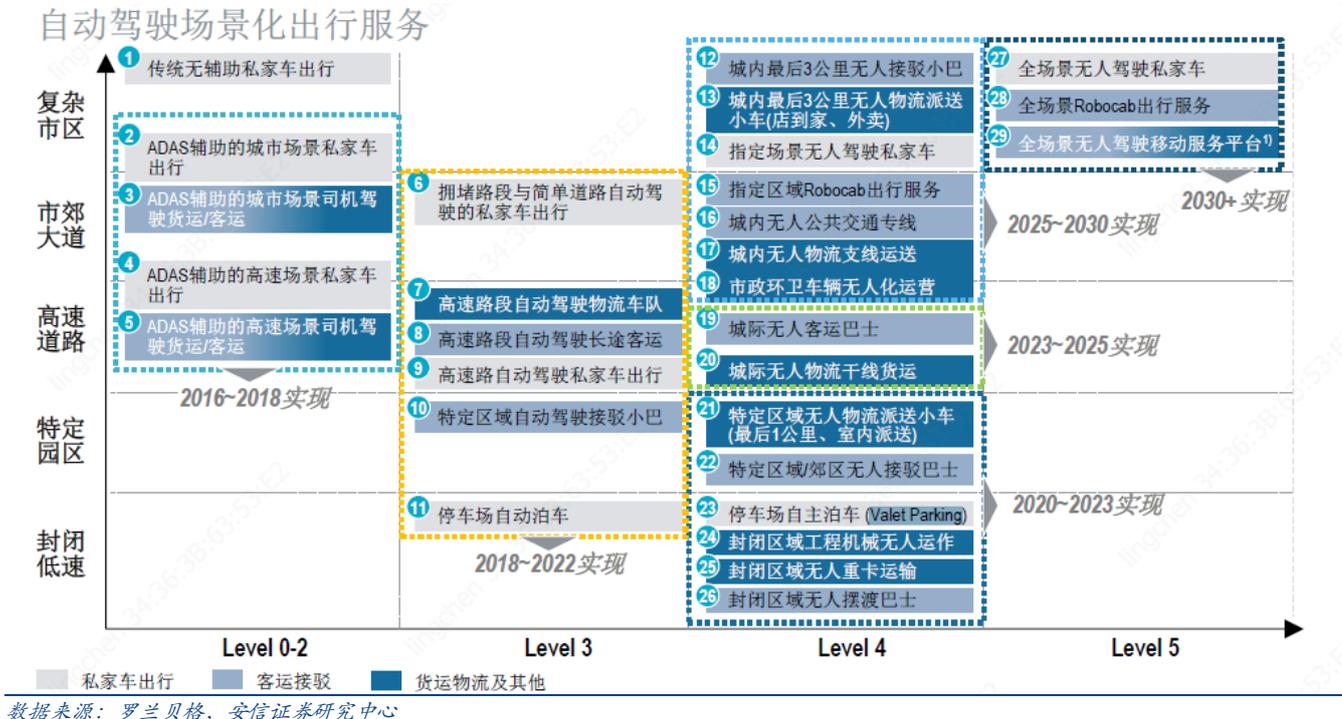


数据来源：艾瑞，安信证券研究中心

国内自动驾驶将渐进式落地。SAE 的自动驾驶分级是较为粗线条的，容易产生歧义。我们按照路况复杂程度进一步细化自动驾驶的功能定义，并对其落地时间进行预测。参考罗兰贝格的报告，我们整体上判断国内自动驾驶将以 L0-L5 的路线渐进式展开，主要落地应用场景将以私家车出行、共享客运接驳、货运物流为主，从低难度的区域（封闭低速路段）向高难度的区域（复杂城市道路）循序渐进地落地。2019 年，国内将在城市特定区域开放道路进行自

自动驾驶车辆测试，并有望在部分高速公路允许 L3 自动驾驶。到 2025 年城市特定区域 L4、L5 自动驾驶有望开放，自动驾驶将步入分区域推进的新阶段。而 2025 年之后，才会逐步放开自动驾驶区域限制，从限定场景逐步拓展到全场景。

图 12：自动驾驶实现功能&时间表



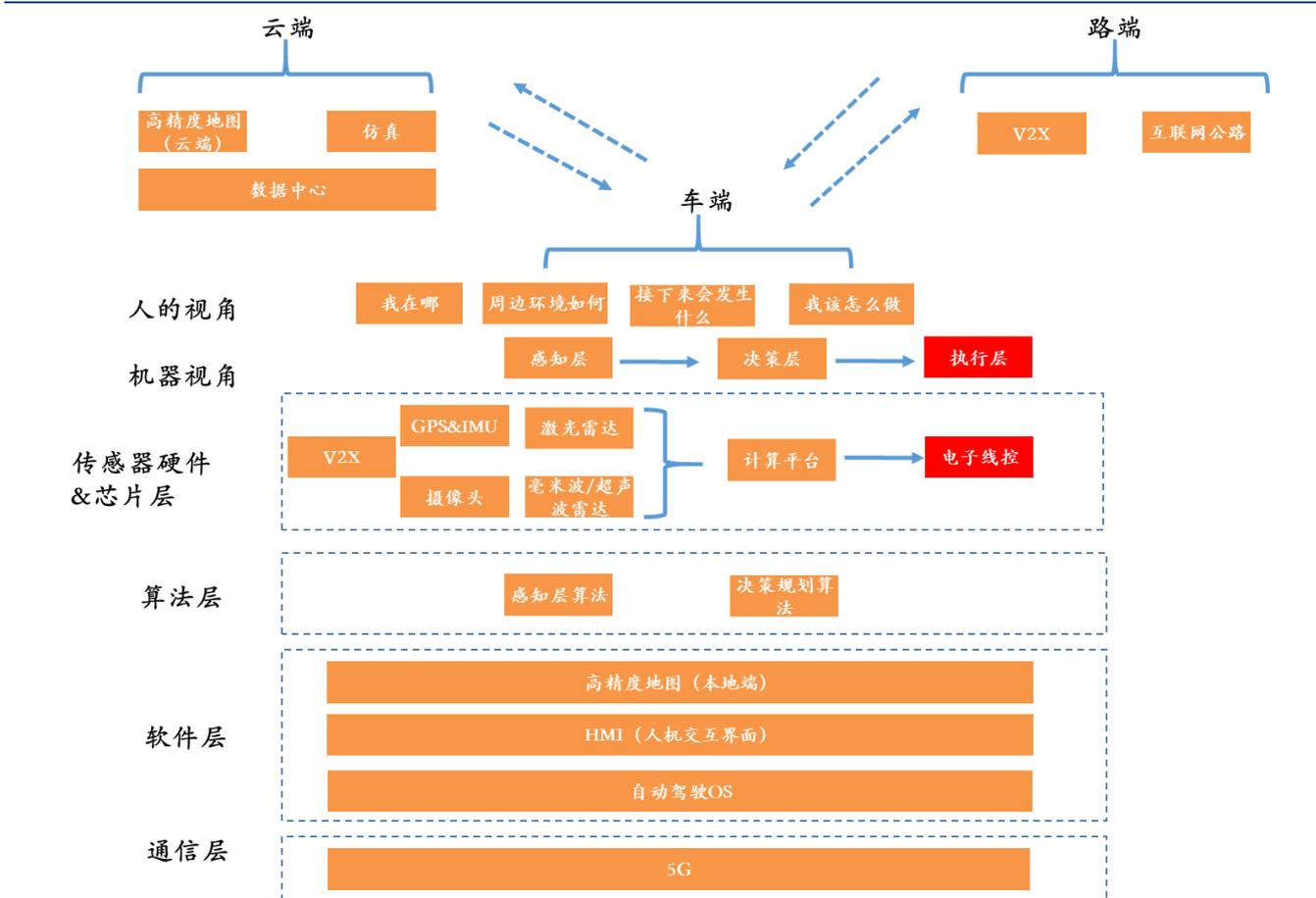
### 3. 技术：5G+AI 打通自动驾驶“任督二脉”

#### 3.1. 自动驾驶技术框架概述

单车智能的三大核心环节——感知层、决策层和执行层。狭义的理解，从单车智能的角度，自动驾驶技术的本质就是用机器视角去模拟人类驾驶员的行为，其技术框架可以分为三个环节：感知层、决策层和执行层。感知层解决的是“我在哪？”、“周边环境如何？”的问题；决策层则要判断“周边环境接下来要发生什么变化”、“我该怎么做”；执行层则是偏机械控制，将机器的决策转换为实际的车辆行为。根据上述三个环节的分析框架，自动驾驶技术实现的基本原理是：感知层的各类硬件传感器捕捉车辆的位置信息以及外部环境（行人、车辆）信息。决策层的大脑（计算平台+算法）基于感知层输入的信息进行环境建模（预判行人、车辆的行为），形成对全局的理解并作出决策判断，发出车辆执行的信号指令（加速、超车、减速、刹车等）。最后执行层将决策层的信号转换为汽车的动作行为（转向、刹车、加速）。鉴于高等级自动驾驶是极为复杂的系统性工程，其技术方案尚未完全定型，无论传统车厂、Tier1 还是互联网科技企业，对于高等级自动驾驶均有自己的技术路线，我们将在后续章节详细分析自动驾驶技术框架下不同模块的作用和技术趋势。

“车”、“云”、“路”协同进化是产业发展趋势。广义的理解，在单车智能技术路线的基础上，未来整个自动驾驶的技术体系将是“车端”、“云端”、“路端”同步升级发展。云端的意义在于：1) 收集大量数据，训练自动驾驶算法；2) 通过云端更新高精度地图，为自动驾驶车辆提供更实时的环境模型和动态信息。路端的意义在于：通过打造互联网化的道路，以车路协同技术，为自动驾驶车辆提供一个联网的“外脑”，从而减少单车智能的硬件成本。

图 13：自动驾驶的技术框架



数据来源：安信证券研究中心整理，附注：红色表示偏机械硬件改造，本文不重点讨论

### 3.2. 解构自动驾驶核心技术模块

#### 3.2.1. 自动驾驶感知层传感器

##### 3.2.1.1. 自动驾驶感知层传感器的定义和分类

感知层传感器是自动驾驶车辆所有数据的输入源。根据不同的目标功能，自动驾驶汽车搭载的传感器类型一般分为两类——环境感知传感器和车辆运动传感器。环境感知传感器主要包括摄像头、毫米波雷达、超声波传感器、激光雷达以及 GPS&惯导组合等，环境感知传感器类似于人的视觉和听觉，帮助自动驾驶车辆做外部环境的建模；车辆运动传感器（高精度定位模块），主要包括 GNSS、IMU、速度传感器等，提供车辆的位置信息、速度、姿态等信息。目前自动驾驶需要依赖不同的传感器来收集信息，尚不具有一个具备所有感知功能于一身的“万能”传感器。不同传感器所发挥的功能各不相同，在不同场景中各自发挥自身优势，难以相互替代。

图 14：自动驾驶感知层传感器的功能以及优缺点

	优点	缺点	范围	功能
<b>激光雷达</b>	精度高、探测范围较广、可构建车辆周边环境3D模型	容易受到雨雪雾等恶劣天气影响，技术不够成熟，产品造价高昂	200米以内	障碍物探测识别 车道线识别 辅助定位 地图构建
<b>摄像头</b>	可对物体几何特征、色彩及文字等信息进行识别，可通过算法实现对障碍物距离的探测，技术成熟成本低廉	受光照变化影响大，容易受到恶劣环境干扰	最近探测范围可超过500米	障碍物探测识别 车道线识别 辅助定位 道路信息读取 地图构建
<b>毫米波雷达</b>	对烟雾、灰尘的穿透能力较强，抗干扰能力强，对相对速度、距离的测量准确度非常高	测量范围相对Lidar更窄，难以辨别物体大小和形状	200米以内	障碍物探测（中远）
<b>超声波雷达</b>	技术成熟、成本低，受天气干扰小，抗干扰能力强	测量精度差、测量范围小、距离近	3米以内	障碍物探测（近距）
<b>GNSS/IMU</b>	通过对卫星三角定位和惯性导航进行结合实现对车辆进行定位	容易受到、城市建筑、隧道等障碍物的干扰使得测量精度大打折扣	广域高精度定位保持在10米以内	车辆导航、定位

数据来源：艾瑞，安信证券研究中心

图 15：感知层传感器捕捉外部环境信息



数据来源：图森，安信证券研究中心

### 3.2.1.2. 环境感知传感器的发展趋势

环境感知传感器的技术方案主要可以分为视觉主导和激光雷达主导。1) 视觉主导的方案：摄像头（主导）+毫米波雷达+超声波雷达+低成本激光雷达，典型的车厂是特斯拉。特斯拉最为激进，创始人马斯克坚持在其方案中不加入激光雷达；2) 激光雷达主导的方案：低成本激光雷达（主导）+毫米波雷达+超声波传感器+摄像头，典型的代表是 Google Waymo。目前，谷歌 Waymo 自己组建团队研发激光雷达的硬件，把成本削减了 90% 以上，基本上是 7000 美金左右，同时也已经在美国凤凰城地区进行商业化的试运营。

图 16：环境感知传感器的两种思路

★ 视觉或低成本激光雷达主导的多传感器组合感知方案

- 视觉主导 —— 以特斯拉为代表  
摄像头 + 毫米波雷达 + 超声波传感器 + 低成本激光雷达
- 激光雷达主导 —— 以 Google Waymo 为代表  
低成本激光雷达 + 毫米波雷达 + 超声波传感器 + 摄像头

数据来源：清华大学，安信证券研究中心

传感器各有优劣势，技术方向的最终定型取决于技术的发展速度以及部件成本的价格曲线。

- 1) 摄像头**——非常适用于物体分类。摄像头视觉属于被动视觉，受环境光照的影响较大，但成本低。摄像头生成的数据，人就能看懂，不过其测距能力堪忧。摄像头非常适用于物体分类。
- 2) 雷达**——在探测范围和应对恶劣天气方面占优势。在探测距离上优势巨大，也不怕天气影响，但不善于识别物体分辨率。
- 3) 激光雷达**——优势在于障碍物检测。激光雷达是主动视觉，和摄像头这类被动传感器相比，激光雷达可以主动探测周围环境，即使在夜间仍能准确地检测障碍物。因为激光光束更加聚拢，所以比毫米波雷达拥有更高的探测精度。但激光雷达现阶段的成本较高。总体来看，为了更好的安全冗余，各类传感器的融合是技术路线的必由之路，而最终技术方向的定型取

决于技术的发展速度以及部件成本的价格。

图 17：传感器各有优劣，融合发展是趋势

图3 传感器融合将为无人驾驶提供更大冗余



McKinsey & Company 3

数据来源：麦肯锡，安信证券研究中心

### 3.2.1.3. 高精度定位传感器的发展趋势

高精度定位模块是自动驾驶的标配。要实现车辆的自动驾驶，就要解决在哪里（即刻位置）、要去哪里（目标位置）的问题，因此高精度定位传感器（厘米级精度）模块需要应用于 L3 以上自动驾驶。

图 18：车辆运动传感器模块的定义



数据来源：百度 apollo，安信证券研究中心

图 19：高精度定位模块的定义

什么是无人车自定位系统

相对某一个坐标系，确定无人车的位置和姿态

项目	内容	自由度
位置	X、Y、Z	3
姿态	Yaw、Pitch、Roll	3
速度	$V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$	3
加速度	$a_x$ 、 $a_y$ 、 $a_z$	3
角速度	$\omega_x$ 、 $\omega_y$ 、 $\omega_z$	3

数据来源：百度 apollo，安信证券研究中心

按照不同的定位实现技术，高精度定位可以分为三类。第一类，基于信号的定位，代表就是 GNSS 定位，即全球导航卫星系统；第二类，航迹推算，依靠 IMU（惯性测量单元）等，根据上一时刻的位置和方位推断现在的位置和方位；第三类是环境特征匹配，基于激光雷达的定位，用观测到的特征和数据库中的特征和存储的特征进行匹配，得到现在车的位置和姿态。

观察目前产业的主流方案，普遍采取融合的形式，大体上有：1) 基于 GPS 和惯性传感器的传感器融合；2) 基于激光雷达点云与高精地图的匹配；3) 基于计算机视觉技术的道路特征识别，GPS 卫星定位为辅助的形式。

图 20：高精度定位模块的三种技术原理



数据来源：百度 apollo，安信证券研究中心

图 21：主流定位方案普遍采取融合的技术路线

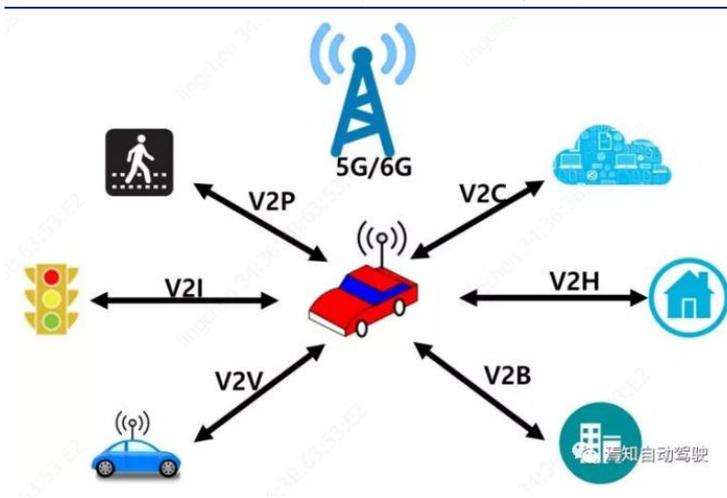


数据来源：百度 apollo，安信证券研究中心整理

### 3.2.1.4. 5G/V2X 技术为自动驾驶打通外部“大脑”

**5G/V2X 技术为自动驾驶打通外部“大脑”。**车联网 V2X 就是把车连到网或者把车连成网，包括汽车对汽车(V2V)、汽车对基础设施(V2I)、汽车对互联网(V2N)和汽车对行人(V2P)。通过 V2X 网络，相当于自动驾驶打通外部“大脑”，提供了丰富、及时的“外部信息”输入，能够有效弥补单车智能的感知盲点。可以说，V2X 是自动驾驶加速剂，能够有效补充单车智能的技术、加速反应效率。5G 网络具备低时延、高吞吐、高可靠的特性，大大提升了 V2X 传输信息的丰富性和及时性，也提高了 V2X 传感器的技术价值。

图 22：5G/V2X 为自动驾驶车辆提供“外部信息”



数据来源：焉知自动驾驶，安信证券研究中心

图 23：5G/V2X 的结束特点

- 1 能够突破视觉死角和跨越遮挡物
- 2 可以和其他车辆及设施共享实时驾驶状态信息
- 3 可以通过研判算法产生预测信息
- 4 V2X是唯一不受天气状况影响的用车传感技术，无论雨、雾或强光照射都不会影响其正常工作

数据来源：亿欧，安信证券研究中心

### 3.2.2. 计算平台（主控芯片）

#### 3.2.2.1. 高等级自动驾驶的本质是 AI 计算问题，车载计算平台是刚需

自动驾驶就是“四个轮子上的数据中心”，车载计算平台成为刚需。随着汽车自动驾驶程度的提高，汽车自身所产生的数据量将越来越庞大。根据英特尔 CEO 测算，假设一辆自动驾驶汽车配置了 GPS、摄像头、雷达和激光雷达等传感器，则上述一辆自动驾驶汽车每天将产生约 4000GB 待处理的传感器数据。不夸张的讲，自动驾驶就是“四个轮子上的数据中心”，而

如何使自动驾驶汽车能够实时处理如此海量的数据，并在提炼出的信息基础上得出合乎逻辑且形成安全驾驶行为的决策，需要强大的计算能力做支持。考虑到自动驾驶对延迟要求很高，传统的云计算面临着延迟明显、连接不稳定等问题，这意味着一个强大的车载计算平台（芯片）成为了刚需。事实上，如果我们打开现阶段展示的自动驾驶测试汽车的后备箱，会明显发现其与传统汽车的不同之处，都会装载一个“计算平台”，用于处理传感器输入的信号数据并输出决策及控制信号。

图 24：自动驾驶汽车各传感器所产生的数据量



数据来源：英特尔，安信证券研究中心

图 25：百度自动驾驶解决方案在后备箱搭载“计算平台”



数据来源：百度，安信证券研究中心

高等级自动驾驶的本质是 AI 计算问题，车载计算平台的算力需求至少在 20T 以上。从最终实现的功能来看，计算平台在自动驾驶中主要负责解决两个主要问题：1) 处理输入的信号（雷达、激光雷达、摄像头等）；2) 做出决策判断、给出控制信号：该加速还是刹车？该左转还是右转？英伟达 CEO 黄仁勋的观点是“自动驾驶本质是 AI 计算问题，需求的算力取决于希望实现的功能”，其认为自动驾驶汽车需要对周边的环境进行判断之后还作出决策，到底要采取什么样的行动，本质上是一个 AI 计算的问题，车上必须配备一台 AI 超级处理器，然后基于 AI 算法能够进行认知、推理以及驾驶。根据国内领先的自动驾驶芯片设计初创公司地平线的观点，要实现 L3 级的自动驾驶起码需要 20 个 teraflops（每秒万亿次浮点运算）以上的的算力级别，而在 L4 级、L5 级，算力的要求将继续指数级上升。

图 26：自动驾驶每提升一个等级，算力要求就提升一个等级

自动驾驶等级每提高一级，算力就增加一个数量级

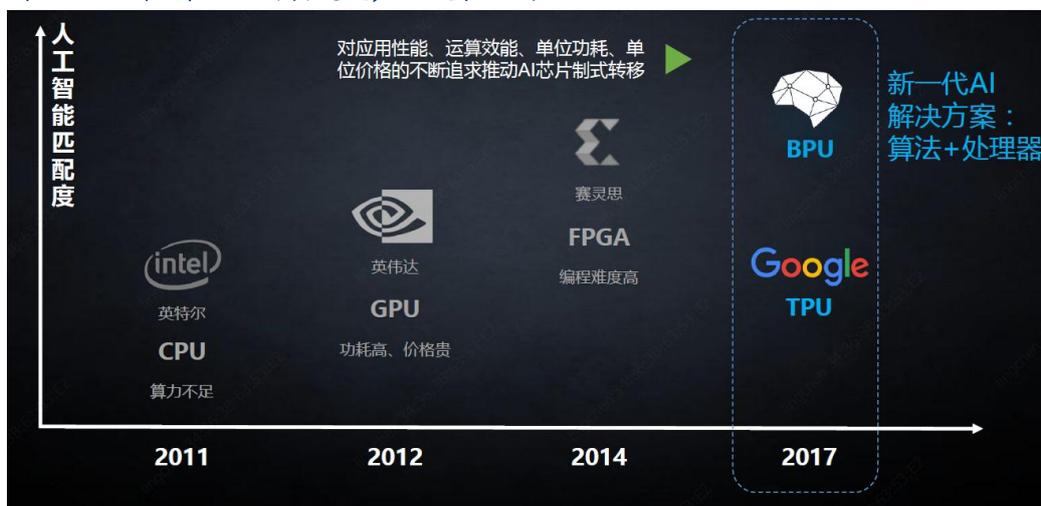


数据来源：地平线，安信证券研究中心

### 3.2.2.2. 算法和芯片协同设计是计算平台的重要发展趋势

**自动驾驶计算平台演进方向——芯片+算法协同设计。**目前运用于自动驾驶的芯片架构主要有4种：CPU、GPU、FPGA（现场可编程门阵列）和ASIC（专用集成电路）。从应用性能、单位功耗、性价比、成本等多维度分析，ASIC架构具备相当优势。参考我们之前发布的行业报告《芯际争霸——人工智能芯片研发攻略》的观点，未来芯片有望迎来全新的设计模式——应用场景决定算法，算法定义芯片。如果说过去是算法根据芯片进行优化设计的时代（通用CPU+算法），现在则是算法和芯片协同设计的时代（专用芯片ASIC+算法），这一定程度上称得上是“AI时代的新摩尔定律”。具体而言，自动驾驶核心计算平台的研发路径将是根据应用场景需求，设计算法模型，在大数据情况下做充分验证，待模型成熟以后，再开发一个芯片架构去实现，该芯片并不是通用的处理器，而是针对应用场景，跟算法协同设计的人工智能算法芯片。根据业界预估，相比于通用的设计思路，算法定义的芯片将至少有三个数量级的效率提升。

图 27：芯片+算法协同演进是产业发展方向



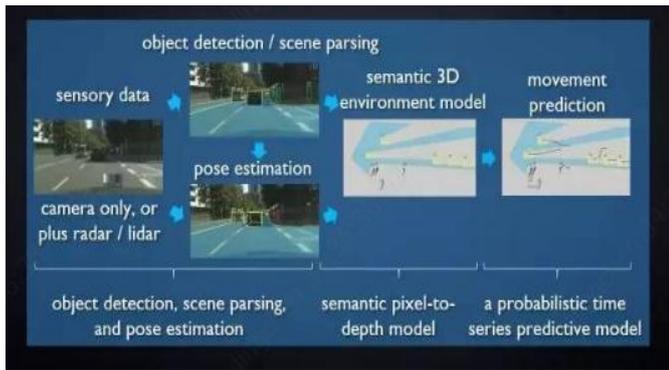
数据来源：地平线，安信证券研究中心

### 3.2.3. 自动驾驶算法

#### 3.2.3.1. 自动驾驶算法的定义和分类

**算法是自动驾驶的大脑。**根据面向的不同环节，可以分为感知层的算法和决策层的算法。其中，1) 感知层算法核心任务——是将传感器的输入数据最终转换成计算机能够理解的自动驾驶车辆所处场景的语义表达、物体的结构化表达，具体可以包括：物体检测、识别和跟踪、3D 环境建模、物体的运动估计；2) 决策层算法的核心任务——是基于感知层算法的输出结果，给出最终的行为/动作指令，包括行为决策（汽车的跟随、停止和追赶）、动作决策（汽车的转向、速度等）、反馈控制（向油门、刹车等车辆核心控制部件发出指令）。整体来看，不同等级的自动驾驶算法的焦点不同。L3 级别的自动驾驶，侧重于替代人的环境感知能力，因此感知层算法将是核心。L4 级别的自动驾驶，除了环境感知能力之外，侧重点更在于复杂场景的决策算法的突破。

图 28：感知层算法的核心任务



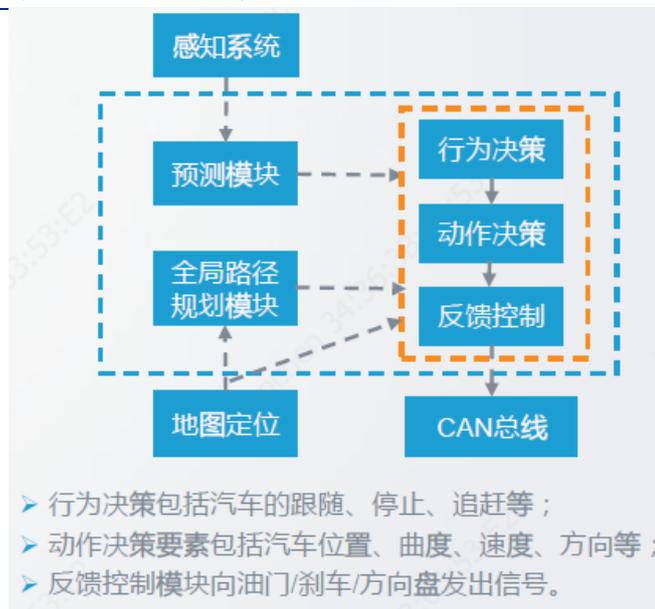
数据来源：地平线，安信证券研究中心

图 29：感知层算法的核心任务



数据来源：亿欧，安信证券研究中心

图 30：决策层算法的核心任务



数据来源：安信证券研究中心，附：橘色框表示决策层算法的核心任务

### 3.2.3.2. 算法验证迭代之路——仿真 or 路测

**算法的验证及迭代需要路测+仿真。**按照产业普遍观点，车企需要 100 亿英里的试驾数据来优化其自动驾驶系统，若要达到该测试里程数，按照目前的实际路测能力计算，即便是一支拥有 100 辆测试车的自动驾驶车队，7X24 小时一刻不停歇地测试，要想完成 100 亿英里的测试里程也需要花费大约 500 年的时间。为了破解这一难题，仿真测试成为大多数公司的共同选择。所谓自动驾驶仿真测试，简单来说，就是计算机模拟重构现实场景，让自动驾驶算法在虚拟道路上做自动驾驶测试，虚拟场景中也可以包含道路设施、老人小孩等各种行人。目前仿真测试已经成为了真实路测的一个有益补充，而未来随着深度学习技术地进一步深入运用，仿真测试将来自动驾驶研发方面发挥越来越重要的作用，并将推动自动驾驶技术早日实现商业化。相对于真实的路测而言，仿真的一大优势就是其可重复性，毕竟“人不能两次踏进同一条河流”，但仿真通过在计算机的虚拟世界中重构现实场景可以做到这一点。从产业来看，为了更高效的迭代和验证自动驾驶算法，仿真系统已经逐渐成为标配，Waymo、百度、腾讯将仿真系统研发作为头等大事；AutoX、Roadstar.ai、Pony.ai 等诸多自动驾驶初创公司也在自主研发仿真环境；业内开始出现 CARLA、AirSim 等开源式自动驾驶仿真平台。

图 31：自动驾驶仿真算法的界面（类似汽车游戏场景）



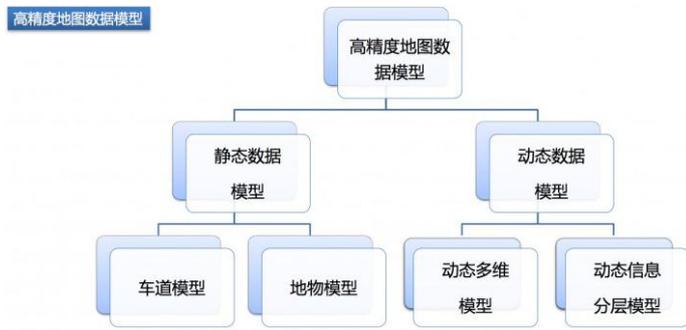
数据来源：waymo，安信证券研究中心

### 3.2.4. 高精度地图

**高精度地图的定义和特性。**在自动驾驶时代，“地图”一词已经失去了其传统路线图的含义。目前大多数车载地图的分辨率已足够用于导航功能，但想要实现自动驾驶，需要掌握更精确、更新的车辆周边环境信息，从而通过其他驾驶辅助系统做出实时反应。因此，未来的“地图”实际上指的是非常精确且不断更新的自动驾驶环境模型。目前，业界对于高精度地图所包含的内容尚未有准群的定义，但大体上高精度地图将满足“高精度+高鲜度”的两高特性：1) 高精度是指地图对整个道路的描述更加准确、清晰和全面。高精地图除了传统地图的道路级别，还有道路之间的连接关系（专业术语叫 Link）。高精地图最主要的特征是需要描述车道、车道的边界线、道路上各种交通设施和人行横道。即它把所有东西、所有人能看到的影响交通驾驶行为的特性全部表述出来；2) 高鲜度则是指数据将更为丰富以及需要动态实时更新。实时性是非常关键的指标，因为自动驾驶完全依赖于车辆对于周围环境的处理，如果实时性达不到要求，可能在车辆行驶过程中会有各种各样的问题及危险。

**按照数据的更新频率，高精度地图可以分为静态数据和动态数据两层。**1) 静态数据是指高精度地图需要将道路基本形态（车道线等数据），通过地图或矢量数据来正确表达出来。在静态高精地图模型中，车道要素模型包括车道中心线、车道边界线、参考点、虚拟连接线等；2) 动态数据是指天气、地理环境、道路交通、自车状态等需要动态更新的数据。通过静态数据和动态数据的叠加，高精度地图将最终实现对于自动驾驶的环境建模。

图 32: 高精度地图的内容



数据来源: 光庭, 安信证券研究中心

图 33: 高精度地图的内容



数据来源: 光庭, 安信证券研究中心

高精度地图对于自动驾驶的意义在于：1) 提升传感器的性能边界，作为感知层的安全冗余。在自动驾驶行业，传感器方案供应商正在致力于使汽车拥有“眼睛”，代替驾驶员完成感知的过程。然而，现有的传感器方案仍然存在改进的空间，包括传感器测量的边界（视觉、激光感知范围有限）、传感器应用的工况限制（如摄像头在雨雪天气无法正常工作）。高精度地图超视距的特点意味着其可以对整体道路流量、交通事件、路况进行预判，可以作为感知层的安全冗余；2) 提供先验知识。自动驾驶的基本原则：让车的判断越少、也就越安全。高精度地图可以提供车辆环境模型的先验知识，一定程度上减少自动驾驶车辆感知层的压力；3) 确定车辆在地图中的位置：人可以通过观察和记忆，而自动驾驶汽车只能通过高精度地图以及其创建的环境模型确定车辆在地图中的位置。4) 提供车道级的规划路径。正如前文所述，高精度地图会把道路基本形态，特别是车道线展现出来，辅助自动驾驶车辆实现车道级的路径规划，支持并线超车等高等级的驾驶决策。

图 34: 高精度地图的作用



数据来源: 高德, 安信证券研究中心

高精度地图是实现自动驾驶的必要条件吗？——Level3 及以上是必选项。基于美国 SAE 协会对自动驾驶技术等级的划分，在 Level 2 以下的辅助驾驶阶段（ADAS 阶段），高精度地图对整个辅助驾驶系统来说是一个可选项。当自动驾驶技术发展 Level3 及以上时，要求车辆



自动驾驶时代，HMI 是连接用户与外部互联服务的重要入口。HMI 是驾驶员与车辆交互的桥梁，驾驶员可以方便快捷地在 HMI 中查询、设置和切换车辆系统的各种信息，在增强驾驶乐趣的同时，提升驾驶安全性。HMI 由中控、仪表、抬头显示、ADAS 系统等多个组件构成。传统汽车的人机界面 HMI 也被称作驾驶员界面（Driver Interface），驾驶员的首要使命（Primary Task）是驾驶，因此支撑和辅佐驾驶就天然成为 HMI 的中心功能，信息娱乐等作为次要功能（Secondary Task）。而在自动驾驶时代，随着驾驶员的注意力逐步释放出来，汽车从生产工具进化为家庭、办公场所之外的第三生活空间，HMI 将成为连接用户与外部互联服务的重要入口，产业地位将显著提升，HMI 的设计理念也将被颠覆。

图 37：HMI 的组成构件



数据来源：盖世汽车，安信证券研究中心

图 38：HMI 成为连接用户与外部互联服务的重要入口

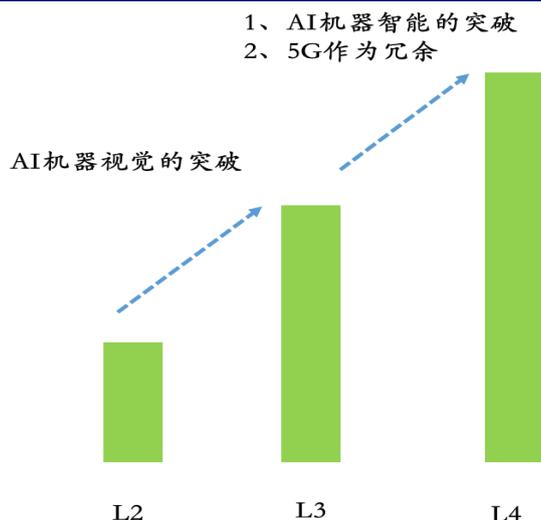


数据来源：百度，安信证券研究中心

### 3.3. 5G+AI 黑科技打通自动驾驶技术的“任督二脉”

5G+AI 是解锁高等级自动驾驶技术的关键所在。L2 升级到 L3、L3 升级到 L4，每一个自动驾驶级别的升级，都是一个质的飞跃。其中：1) L2 过渡到 L3。L3 的主要升级在于实时监测环境并作出反应，其主要难点在于机器的感知能力能否达到要求。驾驶这种等级的车辆，司机只需要在系统提示的时候接管车辆的掌控权或者完成判断，正常加减速、转弯等操作基本可以交给系统来处理。这一过渡需要解决的问题是，机器如何代替人进行可靠的周边行车环境感知？特别是在极端环境下仍然可以做到可靠感知，确保行车安全；2) L3 过渡到 L4。L4 的主要升级在于完全交由机器来进行自主决策（即使是在紧急情况、激烈的驾驶情况下）。这意味着机器的认知智能要有实质性进步。上述问题的关键所在正是 5G+AI。

图 39：自动驾驶技术升级的核心能力

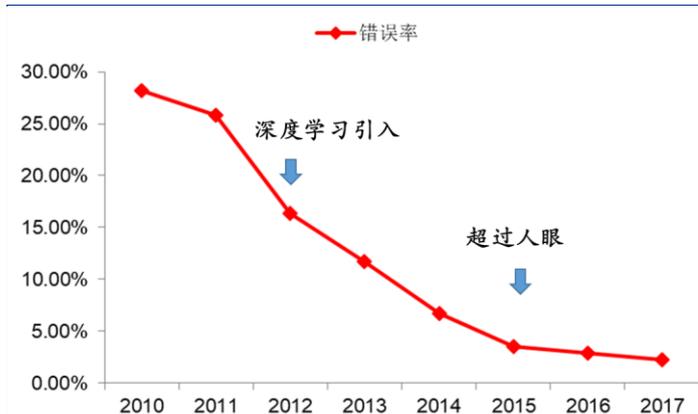


数据来源：安信证券研究中心整理

以深度学习为代表的 AI 机器视觉崛起，成功突破 L3 的技术瓶颈。以 Mobileye 的 L2 级别辅助驾驶为例，仍然是基于后端规则库的传统机器视觉，通过匹配后端规则库与前端摄像头的输入数据，进行物体的识别和跟踪。传统机器视觉最大的问题是，规则库是有限的，而汽车面对的环境是无限的。而在深度学习的框架引进并发扬光大后，AI 处理图像分类任务的能力大幅提升，错误率直接下降。以 ImageNet 机器视觉大赛为例，深度学习技术框架下的机器视觉和传统的机器视觉有着明显的量级的提升。我们认为，不断成熟完善的 AI 机器视觉配合高精度地图作为安全冗余，对于突破 L3 的技术瓶颈起到了关键的作用。

引入以强化学习为代表的 AI 技术，5G 打通外部“大脑”，助力 L4 自动驾驶场景的实现。传统基于搜索或者规则引擎的驾驶决策系统，往往只能采取非常保守的驾驶策略，即遇到障碍物立即刹停。而变道超车，加塞卡位等等在日常驾驶中经常需要面对的情况，目前的系统需要人为设计各种精妙的策略进行应对，在设计策略时一旦有所疏忽，后果很可能是车毁人亡。如何让机器真正像人一样的开车，学会自主的决策，是 L4 的关键所在。谷歌 AlphaGo 在围棋领域的成功是一个重要的标志性事件，其创新的引入了强化学习等全新的 AI 学习框架，模拟了人的思考方式，标志着机器智能的重要突破。引入强化学习的框架后，自动驾驶车辆可以像 AlphaGo 一样思考学习，进行自主决策。此外，以 5G 为代表的 V2X 的引入，相当于打通了自动驾驶的外部“大脑”，可以为自动驾驶车辆提供更实时、更全面的外部信息，更好的实现多车的协同、交互，突破单车智能的技术瓶颈，助力 L4 自动驾驶场景的实现。

图 40：深度学习引入大幅提升了机器视觉的能力



数据来源：imagenet, 安信证券研究中心

图 41：AlphaGo 的成功标志着机器智能的重要突破



数据来源：deepmind, 安信证券研究中心

自动驾驶 L3 商业化技术已经成熟，L4/5 加速发展进入验证试点阶段。纵观全球主流科技公司和整车厂的自动驾驶技术商业化进展，除了个别领跑者如整车厂（奥迪已经量产 L3 级别的自动驾驶车辆）、科技公司（Waymo 已启动 L4 级别机器人出租车的商业化运营），大部分公司的节奏是已初步掌握 L3 的核心技术，进入由 L2 向 L3 商业化过渡的关键阶段，同时 L4/5 加速发展进入验证试点阶段。

图 42：自动驾驶 L3 已经实现商业化

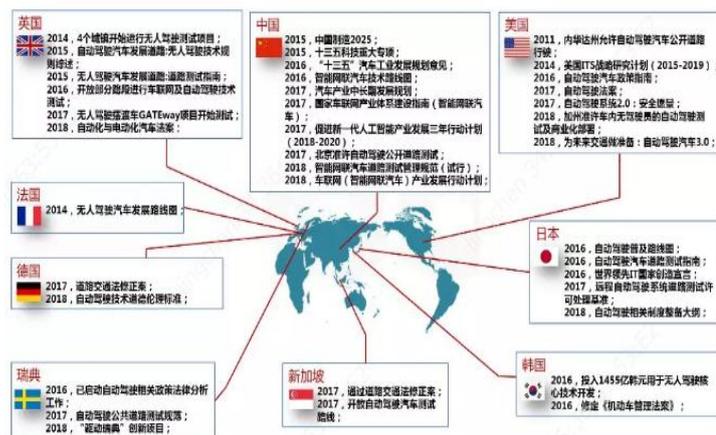


数据来源：艾瑞，安信证券研究中心

## 4. 政策：“绿灯”频开，合法上路在即

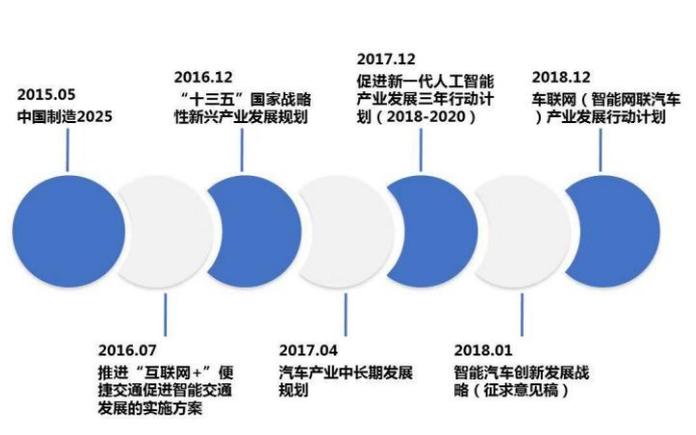
**国家层面：自动驾驶汽车已成为全球汽车产业发展的战略制高点，国内顶层设计政策已出台。**制造强国离不开汽车强国，汽车强国离不开智能汽车强国。全球众多国家已将自动驾驶汽车发展纳入国家顶层规划，争抢未来汽车产业发展的战略制高点，以求在汽车产业转型升级之际抢占先机。比如，美国交通运输部于2016年9月发布联邦《自动驾驶汽车政策指南》，持续推进自动驾驶汽车的安全监管与测试，并于2018年10月发布《为未来交通做准备：自动驾驶汽车3.0》，加强自动驾驶汽车与整个交通出行体系的安全融合。日本在2017年发布《2017官民ITS构想及路线图》，公布日本自动驾驶汽车发展时间表，提出2020年实现高速公路L3级自动驾驶功能，并在特定区域实现L4级自动驾驶应用。国内也已启动自动驾驶汽车发展国家战略规划，《汽车产业中长期发展规划》、《智能汽车创新发展战略（征求意见稿）》、《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》等多部文件均对自动驾驶产业提出了清晰而具体的发展规划。

图 43：全球多数国家已将自动驾驶纳入国家顶层规划



数据来源：电动车百人会，安信证券研究中心

图 44：国家自动驾驶顶层计划



数据来源：电动车百人会，安信证券研究中心

地方政府“绿灯”频开，自动驾驶政策、牌照和路测成为一场关于“城市名片”的竞赛。考虑到汽车工业对于地方 GDP 的拉动作用以及自动驾驶的技术引领作用，国内地方政府对于自动驾驶技术可谓“绿灯”频开。根据亿欧统计，截止 2018 年底，国内已有 12 座城市和地区发放自动驾驶道路测试牌照，并鼓励相关企业开展商业化的试运营下项目，为自动驾驶汽车相关的技术标准和法规体系的建立提供必要支持。除了路测的支持之外，例如北京市等先行城市还发布了地方政府版的产业扶持政策(《北京市智能网联汽车创新发展行动方案(2019 年-2022 年)》)，自动驾驶产业已经成为一场关于“城市名片”的竞赛。

图 45：全国自动驾驶路测牌照发放城市及公司

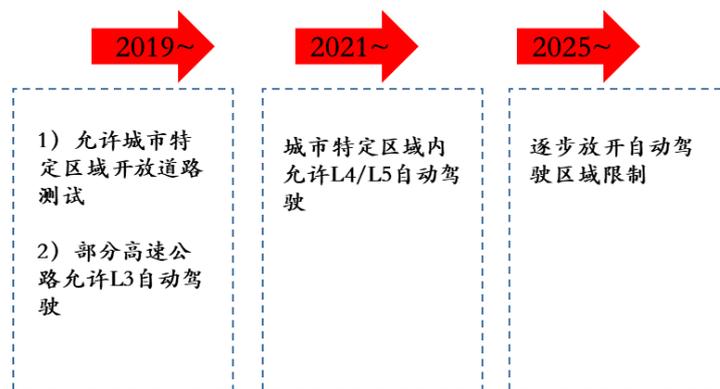


数据来源：亿欧，安信证券研究中心

国家层面指导意见有望出台，监管有望不再缺位，确保自动驾驶车辆上路的“合法性”。目前的交通法规都围绕着一个关键要素——驾驶员，而且驾照、车险、交通法规等所有制度环节都假定“汽车是在人的操控下运行的”。而对于高等级自动驾驶汽车而言（驾驶权逐步更替成机器），在现有的制度下，会引发一系列现实的困境，例如：在交通事故中，如何判定哪辆车是事故责任方？自动驾驶车辆和传统车辆的路权如何分配？自动驾驶车辆想要规模化的

上路，离不开底层的法律监管的创新，来确保其基本的合法性。可以说，相对于已出台的众多产业政策的大力支持，目前国内在关于自动驾驶技术的法律监管方面是缺位的。但考虑到国内的整个法律体制相对于全球其他国家，更具有集中的、自上而下的监管特点；具有不同职能部门之间可以实现更好协调的优势，我们乐观地判断，自动驾驶车辆上路合法性的监管文件有望尽快出台。最新的好消息是，交通运输部李部长在 2019 年 2 月 28 日表示，将力争在国家层面出台《自动驾驶发展指导意见》，有望彻底扫除自动驾驶车辆上路的法律障碍。整体上，高等级自动驾驶车辆上路合法化的路径，将跟随技术的成熟度逐渐放开，先从简单的高速公路路况开始，逐步开放城区等复杂场景，直至全场景。

图 46：自动驾驶车辆上路“合法化”的渐进路径



数据来源：安信证券研究中心预测

## 5. 成本：有望骤降，从 Demo 跨越到准量产阶段

### 5.1. 技术创新推动核心部件成本骤降

#### 5.1.1. L3 自动驾驶硬件改造成本有望降至 2000 美元/车以下

产业界普遍对于自动驾驶成本大幅度骤降持乐观态度。政策法规、技术两大难题越过之后，自动驾驶产业规模化落地的最后一座大山就是成本。尽管目前高等级自动驾驶（L4）的单车改造成本仍然居高不下，但产业界对于自动驾驶成本随着技术进步大幅下降均持有乐观态度。国际 Tier1 巨头德尔福汽车 CEO Kevin Clark 此前曾表示，到 2025 年，德尔福希望将自动驾驶汽车的成本降低逾 90% 至 5000 美元左右。

预计至 2025 年，L3 的自动驾驶硬件改造成本约在 1900 美元/车。参考三菱日联摩根士丹利 (MUMSS)、英飞凌、IHS、蔚来资本等多方产业报告以及多位产业链专家调研，我们拆解高等级自动驾驶（L3 及以上）的核心部件配置以及价格趋势做出预测。其中，自动驾驶硬件改造成本最高的核心部件是激光雷达和计算平台，也是现阶段自动驾驶成本居高不下的最大障碍。从产业发展趋势来看，随着固态激光雷达等新的技术路线替代传统机械式雷达，工艺成本有望显著下降，带动价格曲线下行；计算平台则由于芯片设计厂考虑摊销前期的研发成本，在小批量量产期间定价较高；在大规模量产后价格有望全面下降。综合来看，我们预计技术创新将推动核心部件成本骤降，至 2025 年，L3-L4 的自动驾驶硬件改造成本约在 1900-4400 美元/车。

**表 1：高等级自动驾驶核心部件配置&部件的价格趋势预测**

核心部件配置	L0	L1	L2	L3	L4	L5	2018 年成本 (美元/件)	~2021 年成本 (美元/件)	~2025 年成本 (美元/件)
摄像头	-	1	4	6	8	8	~100	~60	~35
毫米波雷达	-	1	1	1	2	2	~110	~90	~70
超声波雷达		4	8	12	12	12	~15	~12	~10
激光雷达	-	-	-	0 或 1	4	4	~20000	~3000	~600
GPS&IMU	-	-	-	1	1	1	~1000	~700	~500
计算平台 (类英伟达 Drive PX2)	-	-	-	1	1 或 2	2	~2500	~1500	~1000

数据来源：安信证券研究中心预测

附注：1) L3 级别的自动驾驶对于激光雷达的需求将视路况、工况决定，复杂路况、工况将需要配置一颗激光雷达（低线束、低成本）；

2) L4 级别的自动驾驶对于计算平台的需求将视路况、工况决定，复杂路况、工况将需要配置 2 颗类英伟达 Drive PX2 的芯片

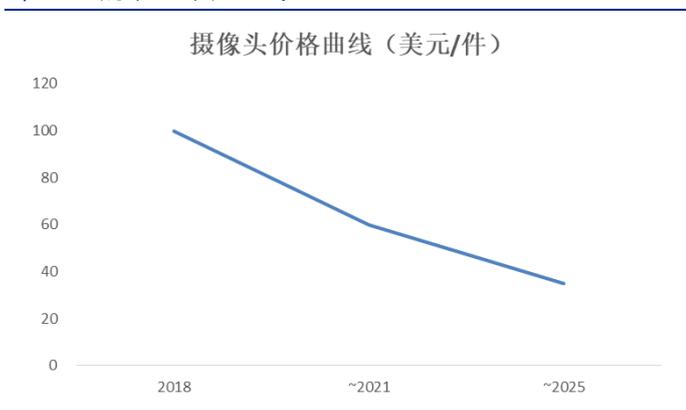
**表 2：自动驾驶硬件配置成本趋势预测**

自动驾驶硬件配置成本 (美元/车)	L3	L4
2018	4390	44700
~2021	2794	15004
~2025	1900	4440

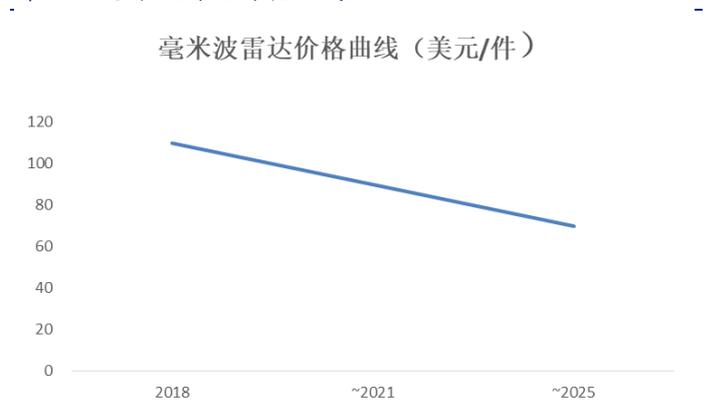
数据来源：安信证券研究中心预测

### 5.1.2. 核心部件成本趋势分析

核心部件——摄像头、毫米波雷达、超声波雷达、及 GPS&IMU 的价格曲线及趋势。以上 4 个部件的生产工艺、技术路线较为成熟，产业竞争充分，随着产量上升带来的规模效应释放，预计价格将稳步下降。

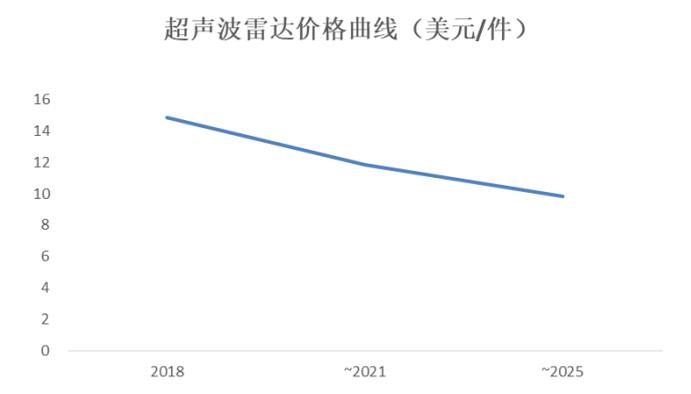
**图 47：摄像头价格曲线**


数据来源：安信证券研究中心预测

**图 48：毫米波雷达价格曲线**


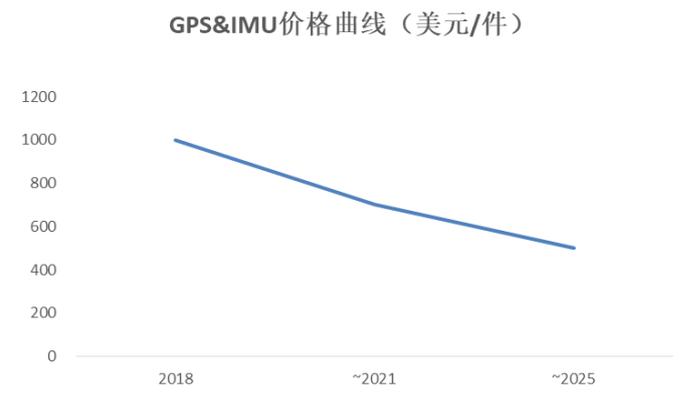
数据来源：安信证券研究中心预测

图 49：超声波雷达价格曲线



数据来源：安信证券研究中心预测

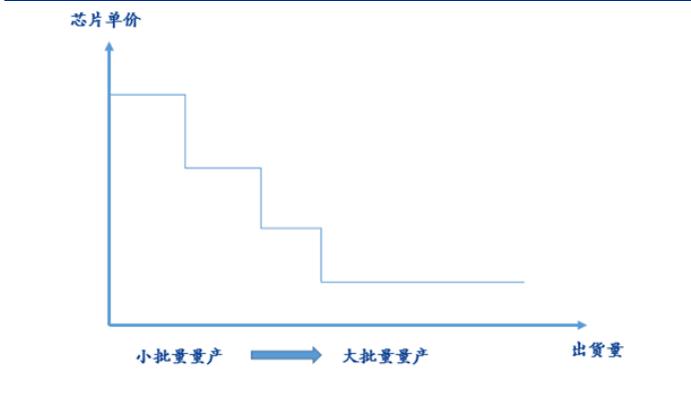
图 50：GPS&IMU 价格曲线



数据来源：安信证券研究中心预测

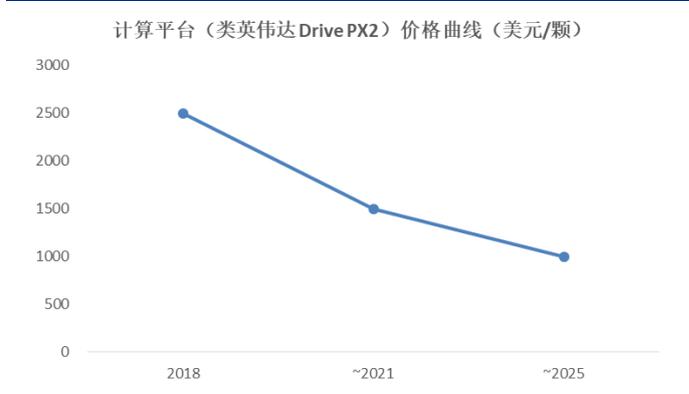
**核心部件——计算平台，随着大规模量产，价格将大幅下降。**市场对于自动驾驶量产的一大疑虑就是作为核心硬件的自动驾驶芯片的单价迟迟没有达到合理的水平，导致自动驾驶的整体解决方案成本超过消费者可以承受的合理范围，会对自动驾驶的大规模普及造成严重的影响。我们认为，鉴于芯片的出货定价与量产情况有着密切的关系，不必过分担忧芯片的出货价格。考虑到自动驾驶计算平台高昂的研发成本（英伟达最新一代的 Xavier 芯片研发投入高达 20 亿美金），芯片厂必然会在尚未大规模量产的初期选择高定价的模式，来部分覆盖前期的投入。而一旦达到大规模量产（比如年出货量达到 100 万颗），则芯片厂能够很快回本前期的投入，芯片的定价之后有望与成本相挂钩，价格会急剧下降。

图 51：芯片厂的定价策略



数据来源：安信证券研究中心整理

图 52：计算平台的价格曲线



数据来源：安信证券研究中心预测

**核心部件——激光雷达，合理的技术路径带动成本降低。**激光雷达部件现阶段成本较高，以行业主要企业 Velodyne 的激光雷达为例，按照线束的密度进行报价——8 万美元（64 线）、4 万美元（32 线）、4 千美元（16 线）。Velodyne 的激光雷达报价居高不下的原因，并非激光雷达的物料成本，而在于其采用了传统的机械式扫描的技术方案——机械式激光雷达的光学系统的装配和标定过程要求高度严谨的机械系统校准，同时，量产的一致性要求也会导致产能低下。现阶段，产业界的一致看法是打造出一台售价低廉的激光雷达关键就是将传统的旋转式机械设计换成固态设计，这样能大量减少可移动部件，激光雷达的结构和量产简单了，成本也就自然降低了。在新的技术路径下，众多产业界的厂商（包括 Velodyne）均预测未来激光雷达的量产成本将下调到数百美金/颗。

图 53：激光雷达的技术趋势



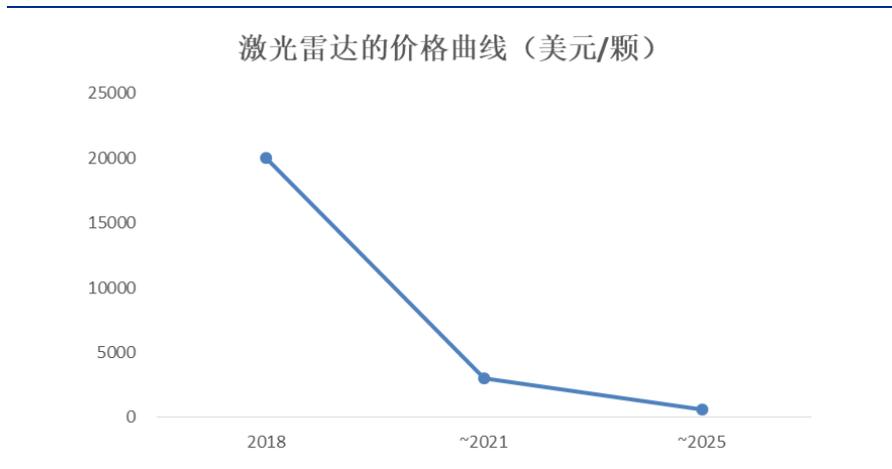
数据来源：力策科技，安信证券研究中心

图 54：激光雷达现阶段报价



数据来源：力策科技，安信证券研究中心

图 55：激光雷达的价格曲线



数据来源：安信证券研究中心预测

## 5.2. 政府助力车路协同（V2X）基建普及，显著降低单车改造成本

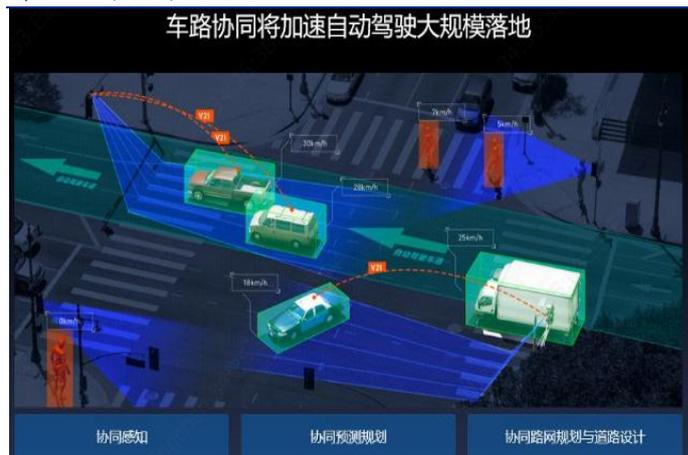
“聪明”的车+“智能”的路，车路协同（V2X）发展将显著降低单车改造成本。目前大部分对于自动驾驶硬件改造成本的讨论都停留在单车智能的技术路线和视角。实际上，国内的自动驾驶技术路线是智能网联的路线，即“单车智能”与“车路协同”协同发展。车路协同的价值和意义在于，如果说自动驾驶单车智能的价值是让路上的车辆都能变成由“二十年驾龄老司机”驾驶的话，那么车路协同则像是又给每辆车配备了一个开了“天眼”的交警，“他”将站在“完美”视角保障安全、疏导交通，高效分配道路资源。以一个交通路况复杂的路口为例，人类司机和自动驾驶车车载传感器由于视角和视线的局限，都只能感知到路况信息的一部分，那些看不到的障碍物造成了危险隐患；如果车路协同配备了“完美视角”路侧感知设备以后，利用高清摄像头等多种传感器加上边缘计算设备的识别能力，可以感知到路口范围内全部的交通参与方，并实现多种分析功能，把这些信息通过 V2X 通信实时的共享给路口的全部车辆，即可最大限度消除危险隐患。“车路协同”技术的演进和基础设施的普及，将会显著降低单车智能的改造成本。根据百度的预测，在车路协同的基础上，自动驾驶的研发成本可以降低 30%，接管数会下降 62%，预计可让自动驾驶提前 2-3 年在中国落地。

图 56：交通杆改造增加边缘计算设备



数据来源：华人运通，安信证券研究中心；附：高精摄像头、微波雷达、V2X-RSU 路侧单元、路边缘计算单元等

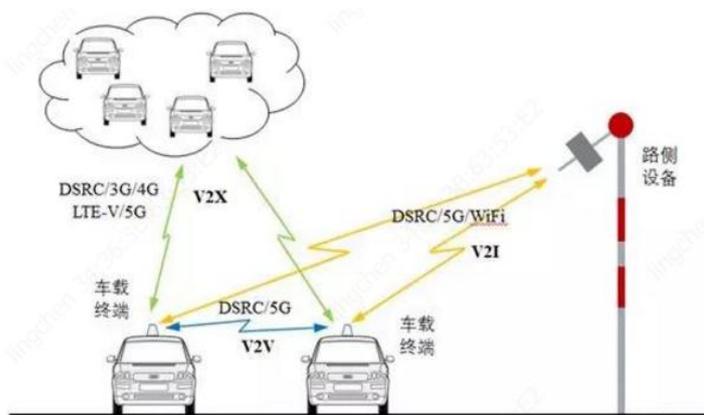
图 57：自动驾驶改造



数据来源：百度，安信证券研究中心

**车路协同（V2X）已经成为国家重点发展战略，5G 基建点火助力。**目前发展车路协同技术及其应用已纳入交通部智能交通系统发展战略。国家的在建项目有：新一代国家交通控制网和智慧公路试点工程/北京冬奥会、雄安新区项目等。从车路协同的技术体系来看，我们认为，5G 的普及将进一步提升车路协同的技术价值。根据中移动测算，自动驾驶车辆以每小时 60 英里(约 96.56 公里/小时)的速度行驶，在使用 5G 通讯网络的情况下，其收到某一反馈信息后实际上只移动了 3 厘米左右。现有 4G 网络时延条件之下，时速 100 公里的汽车，从发现障碍到启动制动系统至少移动 1.4 米。2019 年以来政府提出了科技新“基建”的政策发展方针。发改委副主任连维良表示今年将的“建设”的重点有五个方面，“加强新型基础设施建设”居于首位（包括 5G 的商用），我们预计政府将有财政资金配套产业政策扶持 5G 产业，快速完善科技新“基建”，为自动驾驶产业铺路。政府的保驾护航下，国内有望拥有全球最领先的自动驾驶基础设施（5G+V2X）。

图 58：5G 是车路协同系统的核心技术



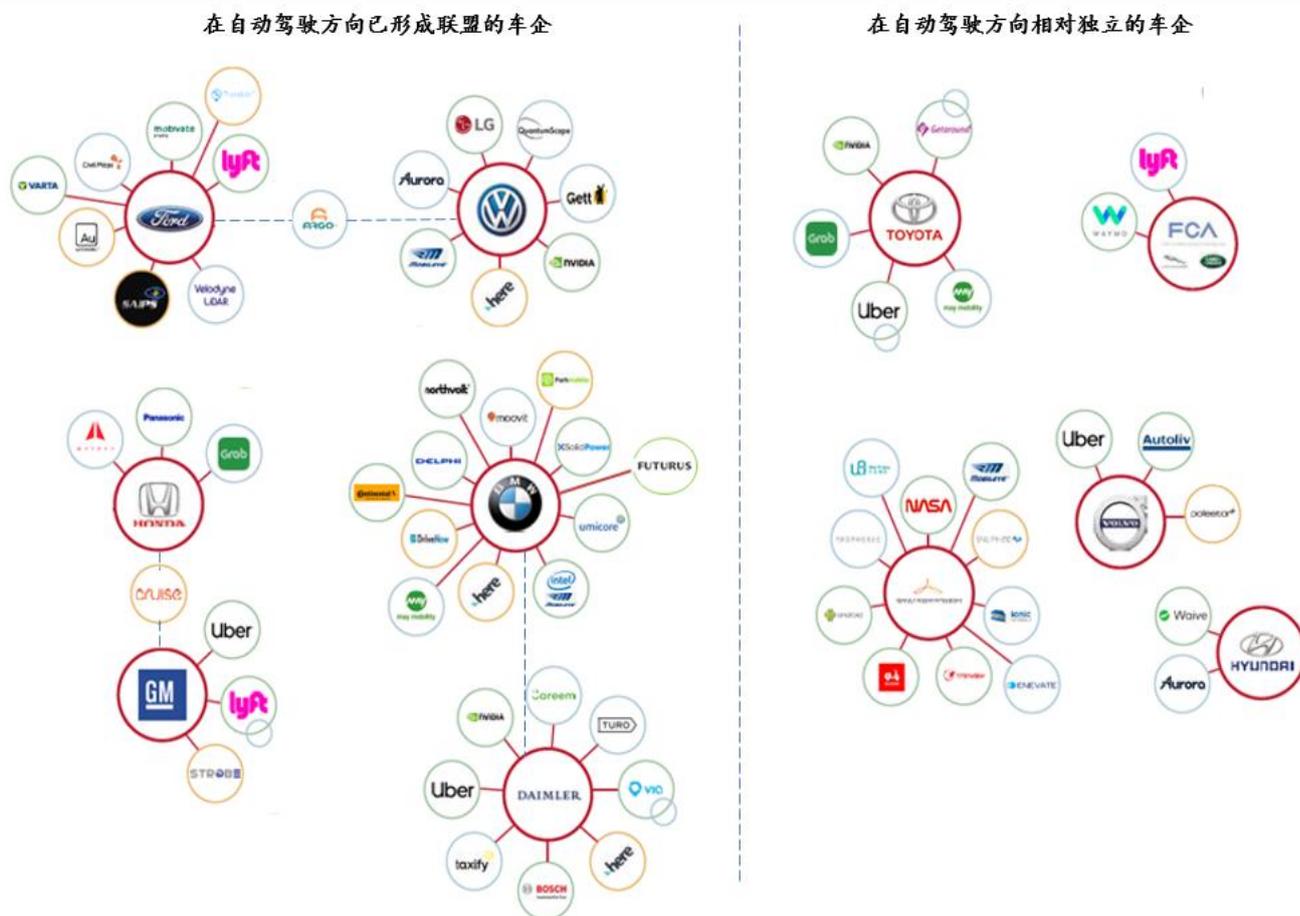
数据来源：车云网，安信证券研究中心

### 5.3. 从封闭到开放，联合研发分摊开发成本

从封闭到开放，车企合纵连横，联合研发分摊开发成本。自动驾驶研发对于软硬件投入的门槛之高、投资回报周期之长无需赘言。整车厂选择自研的优势在于垂直整合，利于持续迭代，但劣势在于成本高，研发周期长。能否担负起初期一次性的研发成本，并在整个汽车销售过程中将其摊薄，这是车厂需要解决的问题。实际上，与其自身冒险的大规模投入，车企间从封闭到开放，合纵连横组建联盟，分摊无人驾驶先期的风险成本，缩短技术创新周期，形成

规模效应，抢占时间窗口，成为产业新趋势。在共同利益的驱动下，我们已经看到奔驰、宝马、通用、本田、大众、福特等一线车厂，在自动驾驶技术研发领域达成战略合作协议，预计后续将有更多的车企加入到联盟中。

图 59：车企自动驾驶联盟



数据来源：车云网，凯辉汽车基金，安信证券研究中心

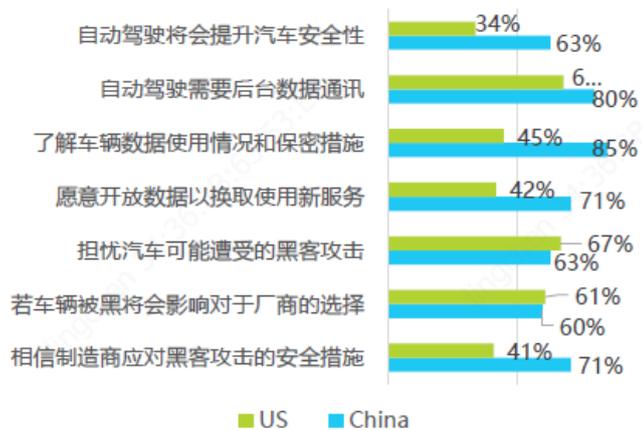
## 6. 市场：蓄势待发，大幕将启

### 6.1. 态度开放，需求旺盛，中国或成全球自动驾驶第一大市场

国内消费者对于自动驾驶的接受程度、需求、支付意愿均居于全球前列。1) 接受程度。根据艾瑞的调研报告，相对于较为保守的美国消费市场，国内消费者对于自动驾驶持更加开放的态度，尤其在数据、安全性等领域；2) 需求：腾讯人工智能与自动驾驶消费者调研，则表明国内消费者对于自动驾驶的需求较为普遍，近60%的人口对自动驾驶有需求。从调研样本来看，自动驾驶对女性与大年龄层消费人群存在更强的需求吸引力，在经济更发达且交通环境更复杂的一二线城市中接受程度更高；3) 支付意愿。麦肯锡在2018年4月的调研显示，49%的中国消费者认为全自动驾驶“非常重要”。国内消费者愿意为购买自动驾驶车辆支付高达4600美元的溢价，而美国和德国则分别为3900美元和2900美元。

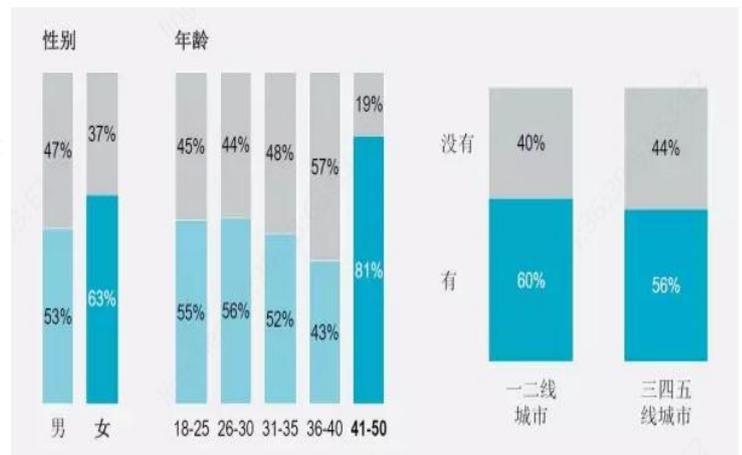
图 60：国内消费者对于自动驾驶技术接纳程度更高

中国消费者对于自动驾驶抱持更加开放的态度



数据来源：艾瑞，安信证券研究中心

图 61：消费者对于自动驾驶技术是否有需求



数据来源：腾讯人工智能与自动驾驶消费者调研，安信证券研究中心

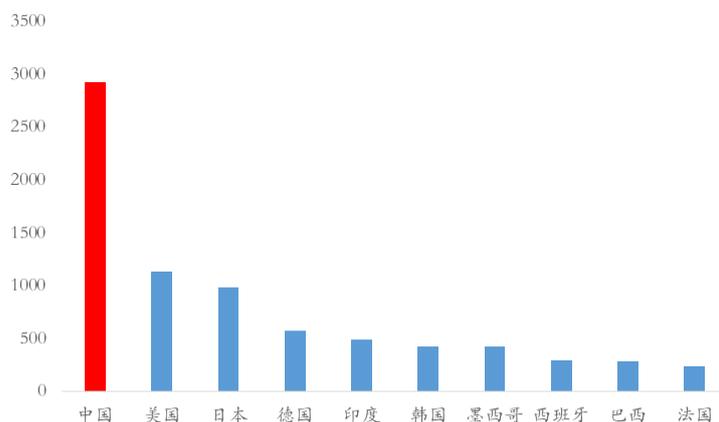
图 62：消费者愿意为购买自动驾驶车辆支付 4600 美元的溢价



数据来源：麦肯锡，安信证券研究中心

中国已经是全球最大的汽车市场，有望成为全球自动驾驶市场第一大市场。从 1956 年中国第一辆解放牌卡车在一汽下线开始，经过 60 多年的努力，从自力更生到以市场换技术、合资建厂，再到自主研发，如今中国已经成为世界上汽车产销量最多的国家，根据 wind 数据，约占全球汽车市场 1/3。尽管 2018 年国内汽车销量市场首度出现负增长，但考虑到“汽车下乡”政策的托底，以及消费升级的趋势，我们对国内汽车市场的未来仍然保持乐观态度。巨大的消费市场叠加旺盛的自动驾驶需求，我们预计中国在未来同样将成为全球自动驾驶第一大市场。

图 63：全球前十国家汽车产量情况（2017 年）



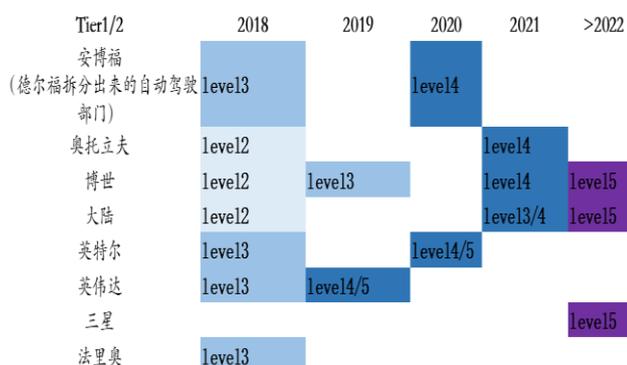
数据来源：wind, 安信证券研究中心

## 6.2. 商业化路径之车厂前装：进入大规模量产前夕，规模有望超过 1400 亿美金

### 6.2.1. 车厂大规模自动驾驶计划进入倒计时

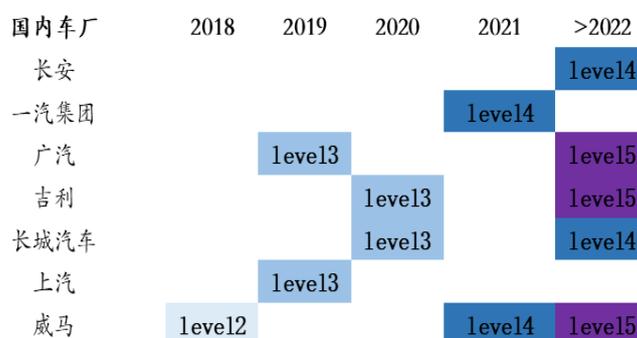
自动驾驶产业进入大范围量产前夕，2020/2021 年将成为主机厂量产的重要节点。观察自动驾驶产业主流企业（Tier1/2、车厂）的量产时间表，2020/2021 年是绝大部分企业高等级自动驾驶（Level3/4）量产的节点。可以说，自动驾驶产业已经进入大范围量产前夕。

图 64：Tier1/2 自动驾驶时间表



数据来源：各家 Tier1/2 公开新闻，安信证券研究中心

图 65：国内车厂自动驾驶时间表



数据来源：各家车厂/出行服务公司公开新闻，安信证券研究中心

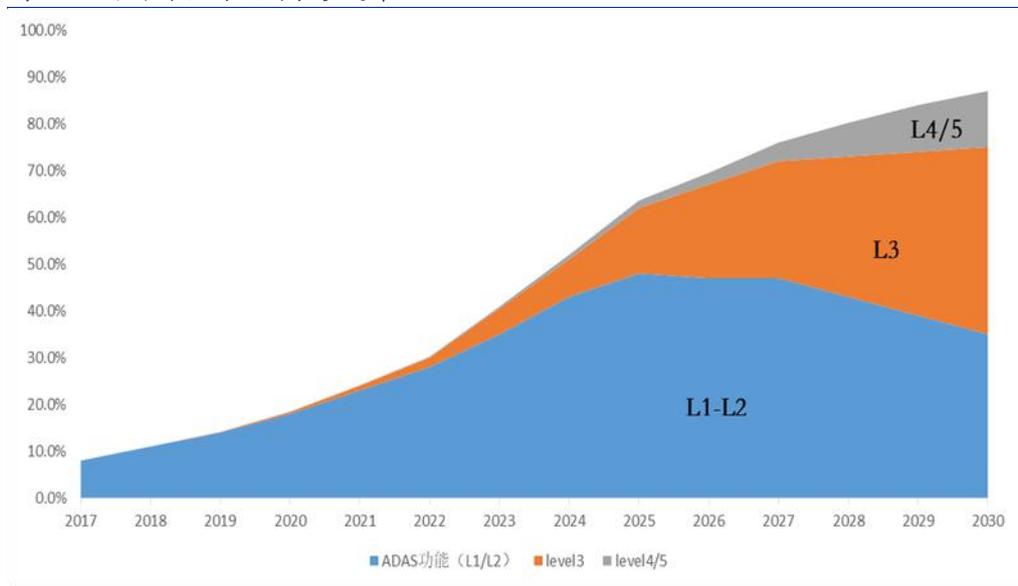
图 66：国际车自动驾驶时间表

国外车厂	2018	2019	2020	2021	>2022
奥迪	level4		level4		level5
宝马	level2			level3/4	level5
戴勒姆	level2	level3		level4	level5
菲亚特克莱斯勒				level3/4	
福特	level2			level4	
通用	level2	level4			
丰田	level2		level3		level4
现代			level3	level4	
捷豹	level2			level4	level5
雪铁龙	level2		level3		
尼桑	level2		level3		level5
斯巴鲁	level2		level3		level4
特斯拉	level2	level4			
沃尔沃	level2		level4		

数据来源：各家车厂/出行服务公司公开新闻，安信证券研究中心

以 2020、2021 年为界，国内自动驾驶产业链即将开启黄金 10 年发展期。结合国家《汽车产业中长期发展规划》、《智能汽车创新发展战略》（征求意见稿）以及产业链调研的结果。我们认为，以 2020、2021 年为界，国内自动驾驶产业链即将开启黄金 10 年发展期。

图 67：国内自动驾驶前装渗透率



数据来源：安信证券研究中心预测

表 3：国内自动驾驶前装渗透率预测

	2017E	2018E	2019E	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
L1/L2	8.0%	11.0%	14.0%	18.0%	23.0%	28.0%	35.0%	43.0%	48.0%	47.0%	47.0%	43.0%	39.0%	35.0%
level3	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	1.0%	2.0%	5.5%	8.0%	14.0%	20.0%	25.0%	30.0%	35.0%	40.0%
level4/5	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.4%	1.0%	1.6%	2.5%	4.0%	7.2%	10.0%	12.0%
L1-L5 总渗透率	8.0%	11.0%	14.1%	18.5%	24.1%	30.2%	40.9%	52.0%	63.6%	69.5%	76.0%	80.2%	84.0%	87.0%

数据来源：安信证券研究中心预测，附注：17 年、18 年数据来源于产业专家调研

### 6.2.1. 2030 年自动驾驶前装市场空间有望达到 1400 亿美金

L3 级别及以上的自动驾驶前装套件预计报价将在 3000-10000 美金/套。现阶段已经量产的自动驾驶系统中，实现 L2+功能的通用-凯迪拉克 CT6 的智能驾驶配置包的报价在 5000 美金/套；特斯拉的 AutoPilot 系统，根据不同的实现功能，分别报价在 5000 美金/套、8000 美金/套。奥迪 A8 代表现阶段量产的自动驾驶的最高水平，已经达到 L3 级别，可以实现在高速公路上，以 60 公里/小时的速度完成自动驾驶功能，让驾驶员完全不用手握方向盘而去做其他的事情，在遇到紧急情况的时候，车辆会发出接管请求，并且给驾驶员提供 8-10 秒的时间评估路况，重新接管车辆进行控制，其报价在 10000 美金/套。参考上述车厂的自动驾驶前装套件报价，我们预计在大规模普及之后，L3 级别及以上的自动驾驶前装套件预计报价将在 3000-10000 美金/套。当然，不排除成本大幅降低后，整车厂将降低报价，让利消费者。

图 68：现阶段量产的自动驾驶系统的报价



数据来源: 艾瑞, 安信证券研究中心整理

国内自动驾驶前装套件的市场规模 2030 年有望突破 1400 亿美金。根据前文所预测的国内自动驾驶渗透率曲线以及自动驾驶前装套件预计报价，只估算 L3 及以上的高等级自动驾驶的前装套件的国内市场规模，我们预测在 2030 年有望突破 1400 亿美金。

表 4：国内自动驾驶前装套件的市场规模

单位 (亿美元)	2025 市场规模	2030 市场规模
保守预测 (L3 3000 美金/套, L4 6000 美金/套)	166	684
中性预测 (L3 5000 美金/套, L4 8000 美金/套)	267	1054
乐观预测 (L3 7000 美金/套, L4 10000 美金/套)	368	1424

数据来源: 安信证券研究中心预测

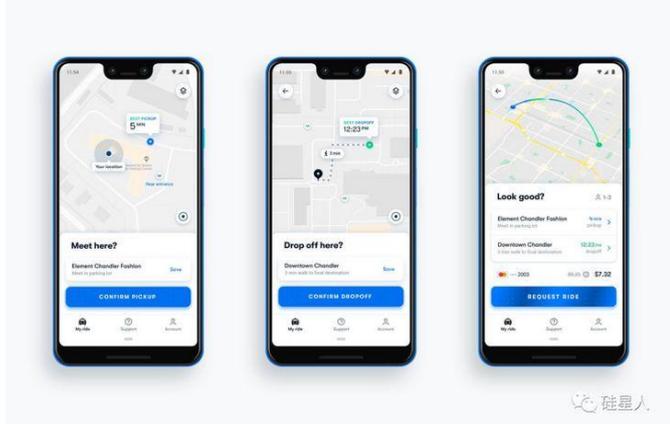
## 6.3. 商业化路径之 MaaS: 终极场景, 潜力无限

### 6.3.1. Waymo 开启 Robo-taxi 元年

Waymo 正式商业化试运营, 开启 Robo-taxi 元年。在 Waymo 首席执行官 John Krafcik 看来, Waymo 在产业中的角色不止是“卖水人”, 更是“掘金者”。Waymo 的 L4 级别自动驾驶车辆, 实际上就是生产力工具, 可以为 C 端用户提供 MaaS (Mobility as a service, 无缝出行服务) 自动驾驶网约车服务 (Robo-taxi), 并从中获利。从 2009 年成立以来, 经过近 10 年的技术

打磨，2018 年 12 月 5 日，John Krafcik 发布内部信宣布自动驾驶服务正式商用，推出自自动  
驾驶网约车服务 (Robo-taxi) ——Waymo One。虽然定价还在测试中，但是模式基本基于行程  
时间和距离，这和 Uber、Lyft 以及中国的滴滴是类似的定价模式。据 The Verge 实验，大  
约 8 分钟、3 英里的行程在 Waymo One 上需要花费 7 美元，定价与 Uber 和 Lyft 相差不大。  
从整个乘车体验流畅性来看，The Verge 报道认为已经基本上等同于正常人在开车，技术变得  
更为成熟了，例如：遇到减速带会减速、改变车道会加速、人行道前会让人 (如果太靠近斑  
马线会倒车)，如此人性化让人感受到机器的温暖。

图 69: Waymo 推出的 Robo-taxi 的 APP 界面



数据来源: 硅星人, 安信证券研究中心

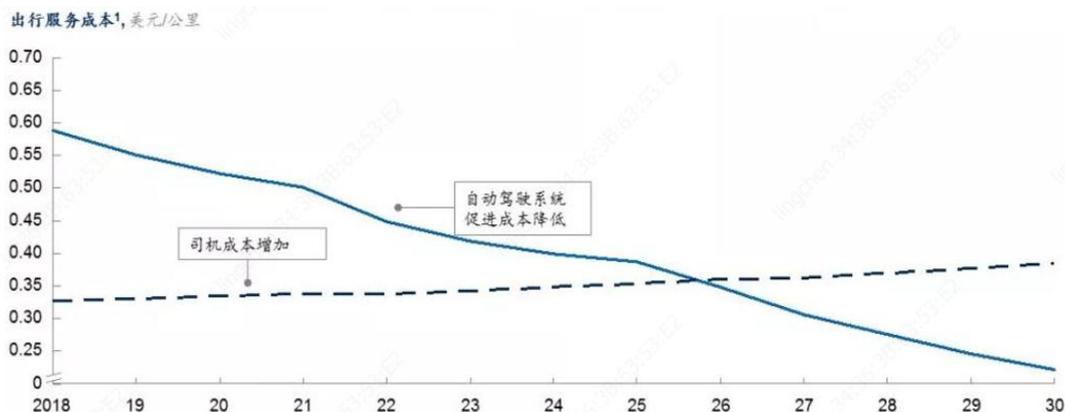
图 70: Waymo 自动驾驶车的内部情况



数据来源: 硅星人, 安信证券研究中心

**Robo-taxi 彻底变革传统车企的商业模式，潜力无限。**Robo-taxi 的商业模式彻底完成了对于  
传统汽车制造商商业模式的颠覆。根据驭势科技 CEO 测算，同样是一辆车，传统的汽车厂  
商每卖出一台车利润是 1400 美金，假设这台车在生命周期当中开 14-15 万英里，也就是说传  
统车厂在整个汽车的生命周期中，赚取的利润是 0.01 美元/公里。以 Waymo 为代表的 Robo-taxi  
模式，因为自动驾驶带来的人力成本的节约以及效率的提升，在整个汽车的生命周期中，收  
费可以达到 1.25 美金/英里 (值得一提的是，除了基准的出行服务收费模型外，MaaS 未来还  
可以在车内提供有偿的娱乐项目或广告项目来获得收入)，而期间运营成本随着自动驾驶技  
术升级将显著下降。当成本下降到，自动驾驶每公里的总成本将与司机驾驶传统汽车的成本  
大致持平的平衡点时，市场的平衡将被打破，Robo-taxi 的商业模式将开始显露出威力。

图 71: 麦肯锡预测 2025-2027 年将是 Robo-taxi 的成本拐点

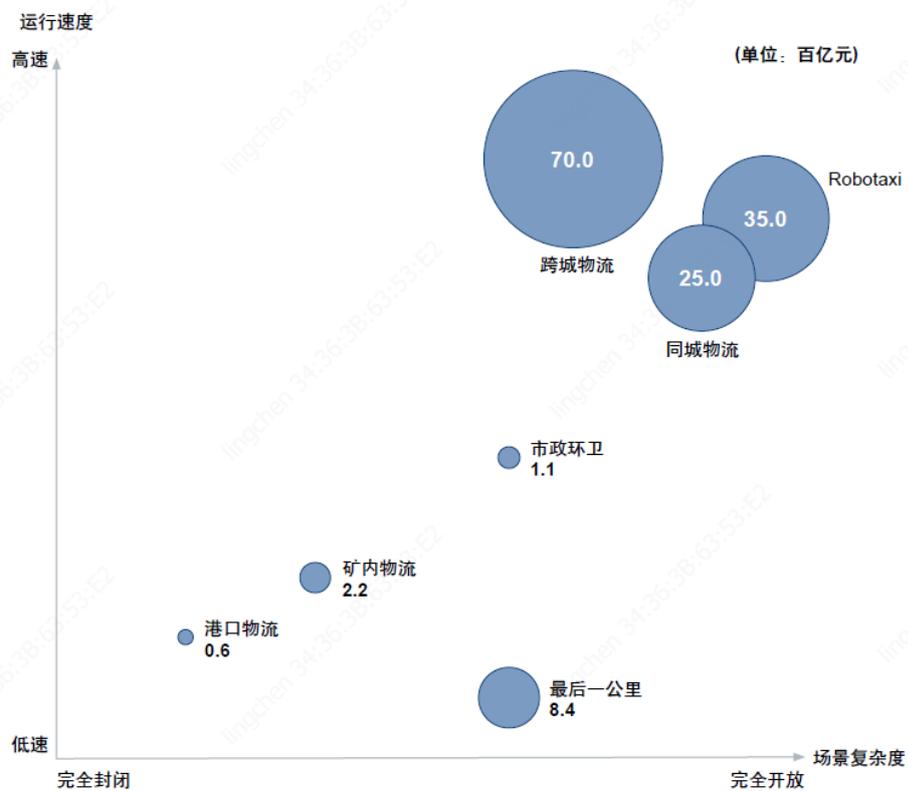


数据来源: 麦肯锡, 安信证券研究中心

### 6.3.2. 商用场景的 MaaS 有望率先落地

自动驾驶的落地场景，主要考虑三个方面：市场规模、技术难度、经济性。自动驾驶 MaaS 的落地场景十分多样，乘用车场景主要以自动驾驶出租车(Robo-taxi)为主；商用场景根据不同的使用用途，可以划分为港口货运、园区摆渡车、高速公路物流、矿区、市政环卫、最后一公里配送等。根据蔚来资本的研究，具备大的市场规模体量、技术难度相对较低、成本可接受具备经济性的场景将最快实现自动驾驶的落地。市场规模方面，蔚来资本对各个场景的自动驾驶规模进行了估算。以长途物流为例，中国重型卡车的保有量 570 万台，假定用于长途物流的卡车占到 30%，以每辆车 2 位司机，每位司机年工资 15-20 万元估算，长途物流自动驾驶的潜在替代规模在 5,000 到 7,000 亿元。而末端配送也是不可忽视的一块市场。2018 年预计中国的快递业务量有望突破 490 亿件，快递业务收入达到 5,950 亿元，而网络外卖方面，市场份额第一的美团外卖号称峰值日订单量已达到 2,000 万。结合末端配送每单的成本，蔚来资本预计最后一公里的自动驾驶配送市场规模超 840 亿元。

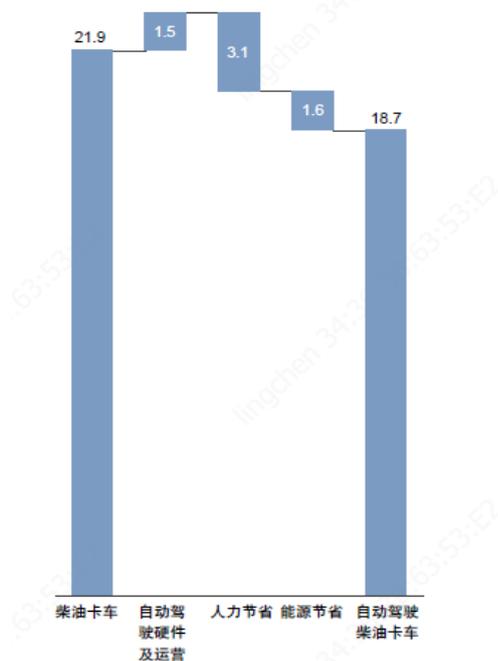
图 72：自动驾驶应用场景的目标市场规模（百亿元/年）



数据来源：蔚来资本，安信证券研究中心

产业快速爆发的转折点将发生在自动驾驶成本低于人力成本之时。本质上讲，自动驾驶之于 MaaS 就是，初期高投入（自动驾驶车辆改造成本）换取后续人工费用降低和运营效率的提升。从经济性看，只有快速地达到可取代人力成本之时，某个细分自动驾驶场景才能快速爆发。当前 L4 级自动驾驶硬件成本依然高昂，甚至比车辆自身成本还高，导致整体的经济性不高。而随着技术实现成本的降低，在人力成本愈发高昂的宏观背景下，自动驾驶 MaaS 将逐渐显现出成本和效率上的优势。以长途物流为例，根据蔚来资本的测算，比较了普通卡车与自动驾驶卡车(原有 2 名司机，取代 1 名司机)的 TCO(总拥有成本, Total Cost of Ownership)成本，当自动驾驶改造降至 20 万元/车时（年运维费为 5.1 万元/车），自动驾驶卡车 TCO 成本将比普通卡车的 TCO 成本下降 14%。

图 73：自动驾驶卡车的 TCO 成本



数据来源：蔚来资本，安信证券研究中心；核心假设：1）2021 年自动驾驶传感器直接硬件成本降至 20 万，年运维 5.1 万；2）大型快递公司车队(500 辆以上)，以跑长途干线为主(京沪线为例)；3）假定自动驾驶缩减 1 个司机，自动驾驶可节约 20% 能源

## 7. 投资建议与重点推荐公司

### 7.1. 投资建议

自动驾驶是百年汽车工业的又一次伟大范式转移，交通出行的生态体系、汽车产业链的游戏规则都将被重新定义。5G+AI 技术创新的推动下，自动驾驶“黑科技”得以解锁，跨越技术、成本、政策三座大山之后，迎来商业化的全面落地。我们预计，国内自动驾驶产业将呈现指数级增长；与之伴随的，自动驾驶的供应链体系也启动在即，无论是传统的 Tier1、Tier2 供应商、亦或者是新兴的自动驾驶技术供应商都将面临黄金的发展机遇。考虑到自动驾驶作为复杂的工程体系，所涉及的技术环节众多，我们建议优先选择“黄金赛道”（卡位绕不开、进入壁垒高、市场空间大）中的“顶级赛手”，我们重点推荐四维图新、千方科技、中科创达、中海达、德赛西威和格尔软件，建议关注路畅科技、华阳集团、合众思壮、华测导航、高新等。

图 74：自动驾驶产业链涉及公司概况



数据来源：安信证券研究中心整理

## 7.2. 重点推荐公司

### 7.2.1. 四维图新：国内高精度地图领军企业

**国内高精度地图领军企业。**参考此前深度报告《四维图新：巨变前夜，大幕将启》，从数据生态、制作&更新成本以及资质等多个维度考察，公司在高精度地图产业均有明显的竞争优势。根据 wind 数据，公司自上市以来，每年的研发投入占比均位居 A 股前十，巨额投入保障了公司业务的前瞻性和领先型。

**中标宝马订单，拉开自动驾驶业务商业化变现序幕。**公司 2 月 12 日公告，与宝马签署自动驾驶地图协议，将为宝马在中国销售的 2021-2024 年量产上市的汽车提供 Level3 及以上自动驾驶地图产品及在线发布与更新服务。该订单充分印证了公司在自动驾驶地图行业的绝对实力，也拉开了自动驾驶业务商业化变现序幕。无论是单车价值还是长期渗透率，高精度地图相对传统导航地图业务均有数倍以上提升，仅前装市场空间就具备数量级跃升潜力，公司成长空间将彻底打开。

**自动驾驶地图迎单价与渗透率的双重提升，仅前装市场空间就具备数量级跃升潜力。**根据易观数据，2018 年上半年传统车载导航前装市场渗透率仅为 14.9%，而随着 L3 级自动驾驶汽车逐步量产普及，前装导航地图将由给人看的选配品转变为车载系统的标配品，渗透率存在 6-7 倍提升空间。根据产业链调研，仅考虑一次性前装收费，高精度地图单价保守估计在公司传统导航地图（约 200 元/车）的 5-10 倍。此外，由于高精度地图要求“高鲜度”的特点，地图需要动态甚至实时更新，这意味着地图将不再是传统导航地图的一锤子数据买卖 (licence)，后续更新意味着数据服务收费的模式 (service)。此次订单合同中也明确提及公司将提供自动驾驶地图更新服务，直到相关车辆的服务周期结束为止。因此，除了一次性收费的单价提升之外，后续的数据服务收入同样值得期待。

**投资建议：**释放商誉减值风险之后，公司 2019 年有望轻装上阵，加速前行。维持“买入-A”评级。

**风险提示：**芯片业务发展不及预期；高精度地图行业竞争加剧；车联网业务变现速度低于预期；自动驾驶业务变现速度不及预期。

### 7.2.2. 千方科技：国内交通信息化龙头，积极布局 V2X 业务

**国内交通信息化龙头，交通与安防双轮驱动。**公司是国内交通信息化龙头，业务覆盖城市交通、公路交通、轨道交通、民航等领域的大交通产业布局，形成从产品到解决方案、从云端数据到出行者、从硬件基础设施到软件智慧中枢的完整产业链。在完成了对国内安防行业领军企业——宇视科技的并购之后，公司践行“一体两翼”发展战略，即以大数据+人工智能为核心优势，持续拓展“两翼——智慧交通和智能安防”两大业务领域。

**具备完整的 V2X 产品线。**公司紧跟智能网联汽车（自动驾驶）发展趋势，推出了 V2X 系列产品，涵盖了网联化路网设施与车载终端、智能化交通管理与行车服务等多领域，可面向车路协同与智能网联汽车产业提供安全、高效、环保的全系列产品与服务支持。目前，公司 V2X 系列产品已在“国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区海淀基地”、“国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地”投入应用。示范区搭载公司 V2X 网联通信设备与系统，按照 T1-T5 级别测试需求建设，支持网联驾驶研发测试。

**投资建议：**公司作为国内交通信息化领域的龙头，V2X 业务深耕多年，具有完善的 V2X 产品线。公司将充分受益自动驾驶产业的蓬勃发展以及国家对 V2X 的投入。交通与安防双轮驱动公司快速发展，维持“买入-A”评级。

### 7.2.3. 中科创达：全球领先的智能驾驶舱软件解决方案提供商

**内生外延前瞻布局智能车载业务。**公司是全球领先的智能终端操作系统及平台技术提供商。2013 年起公司开始涉足智能车载领域并加速布局。一方面，公司与汽车电子行业内领先企业展开紧密合作，如 Qualcomm、瑞萨、德州仪器、恩智浦、STMicro、百度、QNX、OpenSynergy，索尼等，快速完善智能驾驶产业链的对接；另一方面，公司通过收购爱普新思和 Rightware 等企业，与自身核心技术实现优势互补。公司可以为汽车厂商和 tier1 提供从操作系统开发、核心技术授权到应用定制的包括汽车娱乐系统、智能仪表盘、综合驾驶舱、InfoADAS 和音频产品在内的整体智能驾驶舱软件解决方案和服务。目前，全球采用公司智能驾驶舱解决方案的客户超过 70 家，覆盖了欧洲、美国、中国、日本和韩国，在中国已经超过了 30 家。有多款产品已经量产或者逐渐进入量产阶段。

**受益于软件定义汽车的产业趋势。**大众汽车集团 CEO 日前宣布大众将变为一家软件驱动的公司，并宣布重新组建集团的独立的软件部门。我们认为，软件定义汽车的产业趋势已经明晰，而作为汽车软件层面的整合提供商——中科创达将全面受益于未来汽车的软件含量将逐步提升。需要强调的是，不同于传统的智能手机业务，公司车载业务提供的软件解决方案的产品化程度目前已经超过一半以上，商业模式也在往 Loyalty 收费等模式升级，随着业务的持续扩张，规模效应有望逐步显现。

**投资建议：**我们十分看好公司在智能汽车领域的发展前景，预计 2018-2019 年 EPS 分别为 0.4、0.56 元，维持“买入-A”评级，6 个月目标价 40 元。

**风险提示：**智能车载业务发展低于预期。

### 7.2.4. 中海达：高精度定位龙头，迈入自动驾驶新时代

**传统高精度定位龙头，高精度地图应用驱动公司业绩快速增长。**公司是国内高精度定位设备龙头企业。围绕高精度地图软件的应用需求目前还处于发展初期，未来随着智慧城市、智慧旅游、航空、港口等行业需求不断增长，高精度地图应用有望驱动公司业绩增长提速。

**全球高精度定位领导者 Trimble 是公司成长的标杆。**Trimble 是全球高精度龙头企业，也是公司成长的标杆，目前市值 100 亿美元。Trimble 正在两个领域进行拓展：1) 给通用汽车 Super Cruise 系统提供高精度定位设备；2) 高精度地位软件应用已经开始向 SaaS 化转型。

**高精度定位业务受益于自动驾驶产业落地。**2020-2021 年是大部分车企高等级自动驾驶

(Level3/4) 量产的节点。无论是以谷歌 Waymo、百度 Apollo 为代表的互联网企业自动驾驶解决方案，还是传统车厂的自动驾驶解决方案，GNSS/IMU 都是必选设备。公司在高精度定位及测绘领域积累了大量的 GNSS/IMU 技术，拥有核心的定位、射频和基带算法。

**投资建议：**国内高精度地图应用刚刚起步，随着智慧城市、智慧旅游、航空、港口等行业需求不断增加，公司业绩增长有望提速。此外，自动驾驶时代正在到来，公司长期积累的大量技术有望加速落地，维持“买入-A”评级，6 个月目标价 20 元。

**风险提示：**自动驾驶产业进度低于预期；高精度地图软件应用落地低于预期。

### 7.2.5. 德赛西威：车机先行者，加码智能网联

公司是国内车载信息娱乐系统先行者，先合资后独资，24 年的合资经历为公司导入了核心稳定、高瞻远瞩的管理层、提供了一定的技术储备以及优质的合资与外资整车厂客户资源，使其具备明显先发优势。公司不止步于传统车载信息娱乐系统业务，目前正在夯实主业的基础上深化智能驾驶舱、ADAS 和车联网三大战略布局。

**车载信息娱乐系统普及，公司市占率有望提升。**当前车载信息娱乐系统渗透率 60%，随着产品日益普及，行业不断扩容。根据伟世通，2018 年车载信息娱乐系统全球市场规模约 1300 亿元，中国市场规模约 390 亿元，未来 5 年行业规模将保持 4.3% 的复合增速增长，目前全球市场主要为哈曼、爱信精机、歌乐、伟世通等多家外资占据，国内市场则由合资与自主瓜分，公司较自主具备先发优势与技术优势，较合资与外资具备响应速度及价格较低优势，预计国内市占率有望提升。

**深化三大战略布局：**1) 产品线纵向延伸，智能驾驶舱雏形初显。公司先后涉足车载信息娱乐系统、驾驶信息显示系统，立足于主业延伸出的智能驾驶舱雏形初显，目前多屏互动已获得订单，且已推出 2 代概念智能驾驶舱；2) 进军 ADAS，软硬一体化。公司在 ADAS 上的布局亦具备前瞻性，软件核心算法和硬件开发能力是公司进军 ADAS 的制胜法宝，目前已具备高清摄像头、毫米波雷达、自动泊车融合方案的量产能力，部分产品已实现销售；3) 收购德国 ATBB 公司，助力三大战略落地。高性能的智能天线是实现车辆信息交互的关键技术，ATBB 公司在天线制造领域有着雄厚的技术积累与人才储备，收购 ATBB 公司有助于强化公司车联网布局。

**投资建议：**预计公司 2018-2020 年 EPS 分别为 0.76、0.82、0.98 元，6 个月目标价 34 元，维持“买入-A”评级。

**风险提示：**下游汽车需求回暖或不达预期，新业务开拓或不及预期。

### 7.2.6. 格尔软件：国内领先的车联网信息安全提供商

**PKI 领域龙头，服务政务、军工等核心领域。**公司专注于信息安全行业 PKI 领域，主要从事以公钥基础设施 PKI 为核心，为政务、金融、军工等重要行业客户提供基于 PKI 的信息安全系列产品、安全服务和信息安全整体解决方案。公司与吉大正元、卫士通等同为国内 PKI 领域龙头企业，主营业务包括 PKI 基础设施、PKI 安全应用产品和通用安全产品等。

**联手上汽，打造车联网信息安全平台。**车联网以“两端一云”为主体，涉及车-云通信、车-车通信、车-人通信、车-路通信、车内通信五个通信场景，数据安全和隐私保护贯穿于车联网的各个环节，是车联网网络安全的重要内容。公司与上汽集团进行深度合作，参与上汽云数据中心车联网项目，为其建设云端 PKI 体系，包含证书综合管理系统和数字证书认证系统、签名联签系统，从云平台签发可信证书写入车载安全环境，用于“车—云”双向认证和安全通信，提供 SSL、TLS 传输层加密功能，增加攻击者窃听破解的难度，保障通信安全。

**PKI 应用空间巨大，龙头效应带来业绩增长动力。**PKI 技术作为信息安全领域的核心技术之

一，以身份认证与访问控制等功能实现对安全数据的防护目的。然而，作为 PKI 主要应用领域，目前军工和政府部门对于 PKI 技术主要集中于涉密等核心机关，而随着国家对于信息安全的重视程度日益加强，未来 PKI 的核心应用具备巨大的横向拓展空间。公司作为 PKI 行业的龙头企业，近四年净利润复合增长率为 18.54%，同时通过加大研发投入和人员储备等方式，将受益于行业空间不断打开。

**投资建议：**公司深耕 PKI 技术多年，在车联网等领域有望拓展出产品的全新应用空间，带动业绩增长。预计 2018、2019 年 EPS 分别为 1.44，1.86 元，给予“买入-A”评级。

**风险提示：**车联网领域拓展不达预期；PKI 行业应用空间拓展不达预期。

## 8. 风险提示

自动驾驶行业发展低于预期；竞争者加速涌入导致行业竞争加剧；政策监管风险。

## ■ 行业评级体系

### 收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

### 风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

## ■ 分析师声明

胡又文声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

## ■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

## ■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写, 但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断, 本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期, 本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态, 本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料, 但不保证及时公开发布。同时, 本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改, 投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点, 一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准, 如有需要, 客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下, 本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易, 也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务, 提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素, 亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下, 本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议, 无论是否已经明示或暗示, 本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下, 本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有, 未经事先书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的, 需在允许的范围内使用, 并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”, 且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

■ 销售联系人

上海联系人	朱贤	021-35082852	zhuxian@essence.com.cn
	孟硕丰	021-35082788	mengsf@essence.com.cn
	李栋	021-35082821	lidong1@essence.com.cn
	侯海霞	021-35082870	houhx@essence.com.cn
	潘艳	021-35082957	panyan@essence.com.cn
	刘恭懿	021-35082961	liugy@essence.com.cn
	孟昊琳	021-35082963	menghl@essence.com.cn
北京联系人	苏梦		sumeng@essence.com.cn
	孙红	18221132911	sunhong1@essence.com.cn
	温鹏	010-83321350	wenpeng@essence.com.cn
	姜东亚	010-83321351	jiangdy@essence.com.cn
	张莹	010-83321366	zhangying1@essence.com.cn
	李倩	010-83321355	liqian1@essence.com.cn
	姜雪	010-59113596	jiangxue1@essence.com.cn
深圳联系人	王帅	010-83321351	wangshuai1@essence.com.cn
	夏坤	15210845461	xiakun@essence.com.cn
	胡珍	0755-82528441	huzhen@essence.com.cn
	范洪群	0755-23991945	fanhq@essence.com.cn
	杨晔	0755-23919631	yangye@essence.com.cn
	巢莫雯	0755-23947871	chaomw@essence.com.cn
	王红彦	0755-82714067	wanghy8@essence.com.cn
黎欢	0755-23984253	lihuan@essence.com.cn	

安信证券研究中心

深圳市

地址： 深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编： 518026

上海市

地址： 上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编： 200080

北京市

地址： 北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编： 100034