

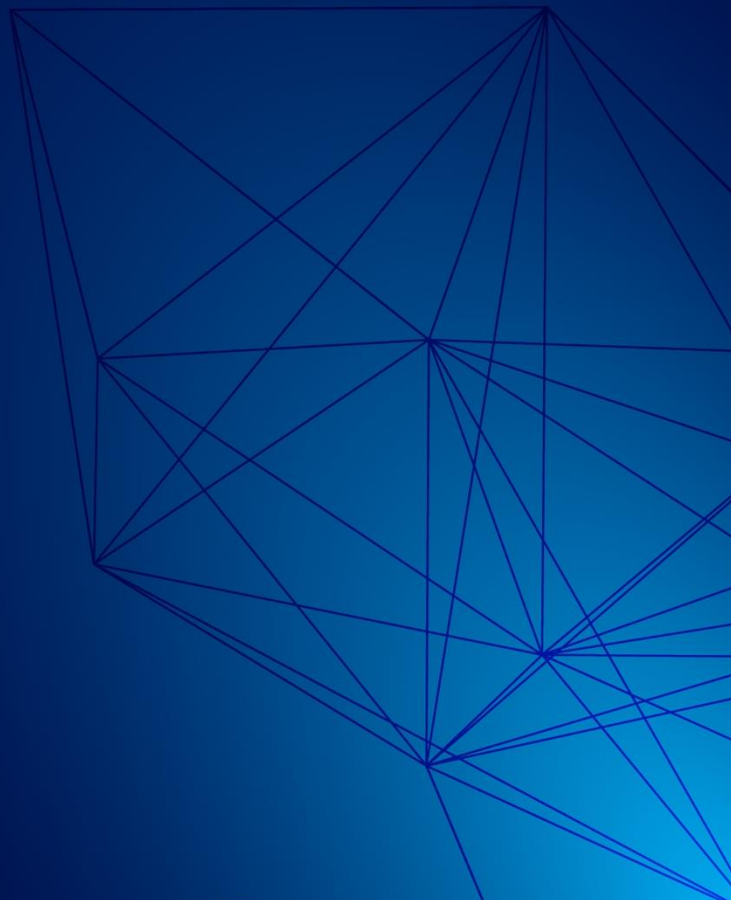


# 北大汇丰

PHBS FINANCIAL FRONTIER DIALOGUE

## 金融前沿对话

2021年第4期 总第90期



**PHBS HFRI**  
北京大学汇丰金融研究院

主办单位：北京大学汇丰金融研究院

院长：海闻

执行院长：巴曙松

秘书长：本力

编辑：钟龙军（执行） 曹明明 方堉豪 朱伟豪

## 北京大学汇丰金融研究院简介

北京大学汇丰金融研究院（The HSBC Financial Research Institute at Peking University，缩写HFRI）成立于2008年12月，研究院接受汇丰银行慈善基金会资助，致力于促进金融学术研究、金融市场运行、金融机构监管、金融政策决策之间的交流互动；立足粤港澳大湾区，以全球视野，构建开放的金融专业交流平台，使金融教学与金融研究相互带动，通过编辑出版专业刊物、发布专业研究报告、举办专业讲座、组织前沿学术会议等多种形式，为区域金融发展和国家金融决策提供积极的智力支持，努力将北京大学汇丰金融研究院打造成为聚焦市场前沿的金融专业智库。

北京大学汇丰金融研究院院长为北京大学校务委员会副主任、北京大学汇丰商学院院长海闻教授，执行院长为中国银行业协会首席经济学家、中国宏观经济学会副会长巴曙松教授。

# 自动驾驶技术及行业发展趋势

## 【对话主持】

巴曙松（北京大学汇丰金融研究院执行院长、中国银行业协会首席经济学家、中国宏观经济学会副会长）

## 【特邀嘉宾】

邝子平（启明创投创始主管合伙人）

## 一、自动驾驶技术的背景及技术

美国机动车工程师协会（SAE）根据驾驶主要负责对象的不同，把自动驾驶分为 L0~L5 等级。L0~L2 级，人类负完全责任；L3 级，汽车可自动做出驾驶决定，可负主要责任；L4~L5 级，人类完全无需负责，L4 仅在指定区域及限定外部环境中才需人为干预，L5 实现“随时随地”全自动化，是终极理想状态。

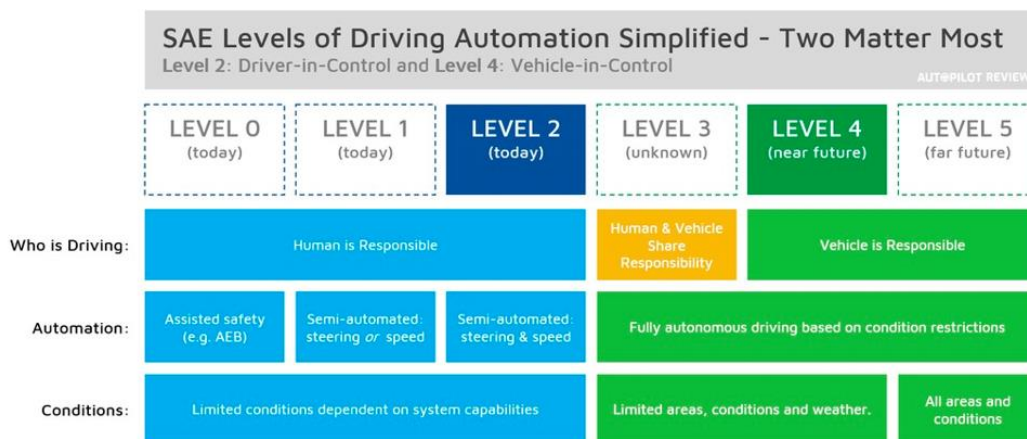


图 1：自动驾驶的等级划分

自动驾驶的优势主要有三点：一是安全，机器人驾驶员较人类驾驶员更专注；二是经济，对于出行企业而言，大部分成本在于司机，无人驾驶能够很大程度上解决人工需求；三是高效，路面上的汽车会减少，所需停车空间也减少，出行服务（Mobility Service）效率显著提升。

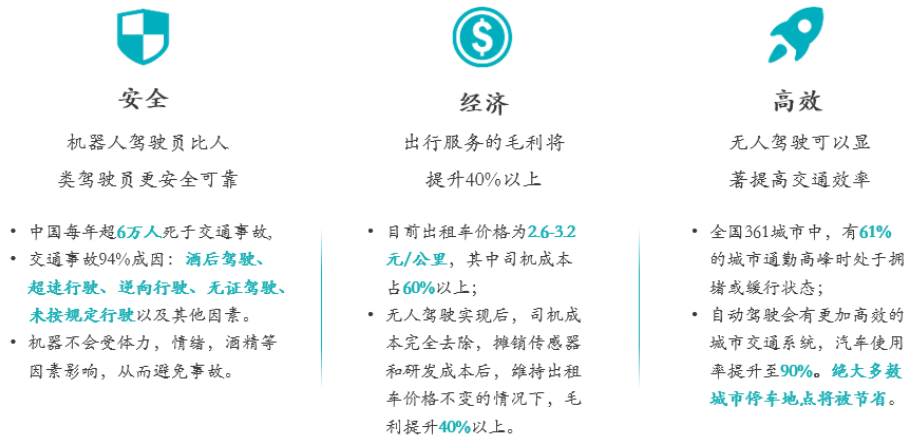


图 2：全自动驾驶的愿景

自动驾驶技术的核心组成包括四个部分，一是感知，二是高精地图和定位，三是路径规划和决策，四是控制。

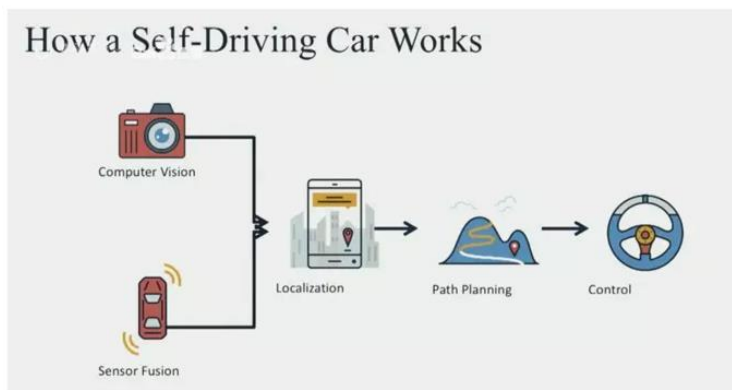


图 3：全自动驾驶的工作原理

首先是感知部分，如图 4 所示，左侧是一辆典型的无人驾驶汽车，

车顶装有 360 度激光雷达以及若干摄像头，此外还配置前向激光雷达、毫米波雷达，这些传感器均造价不菲（3~10 万美元）。右侧是通过这些传感器感知融合而成的外部世界，即车载计算机所能“看到”的画面。

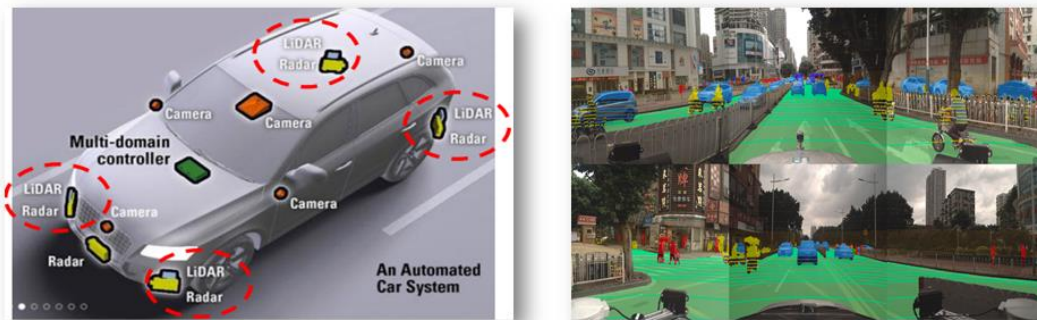


图 4：全自动驾驶的感知系统

在汽车的传感器系统中，摄像头居于核心。摄像头可分辨颜色、感知事物，造价也相对较低。但其缺陷在于：一是大部分摄像头是 2D 成像，对于景深、距离的感知效果较差，对光线也非常敏感；二是目前计算机视觉处理需要大量的计算功率，很难单纯通过摄像头观察外部世界，然后由车载计算机计算出来，所以汽车无法像人类一样靠双目就能完成对外部世界的感知和分析。

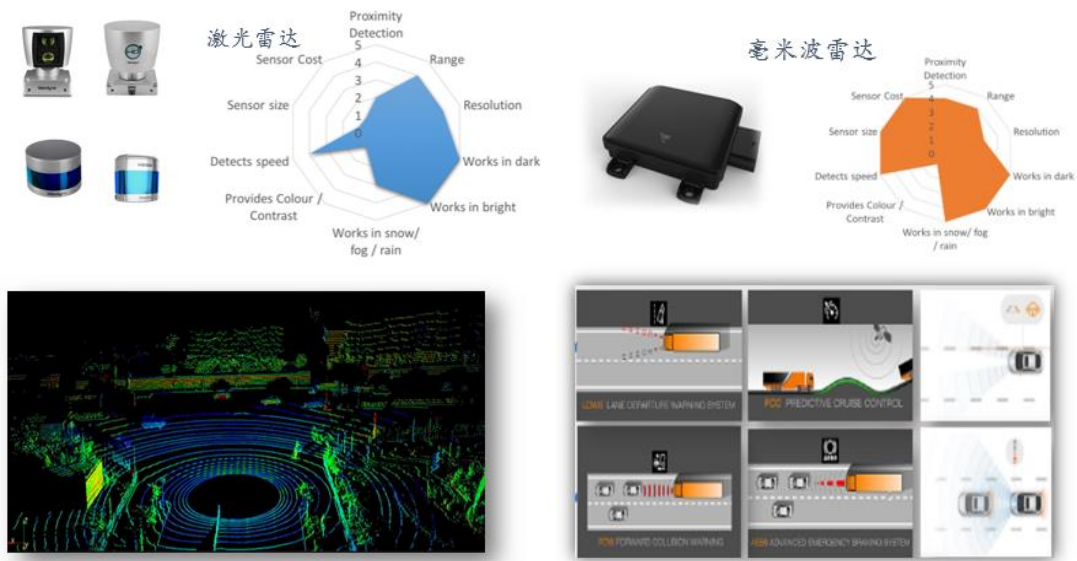


图 5：激光雷达和毫米波雷达

汽车自动驾驶中第二个非常重要的传感器是激光雷达，激光雷达通过计算发射的激光束被物体反射后回到接收器的时间差实现测距。激光雷达可以产生 3D 点云，描绘出车辆、行人等物体轮廓，最远距离约为 200 米。其优点是分辨率高，有深度信息，缺点则是造价较高。目前全球无人车主要的激光雷达供应商是美国威力登（Velodyne）与禾赛科技。

但对于玻璃类材质，激光雷达会直接穿透过去，此时需要运用到毫米波雷达。毫米波雷达发射毫米波，碰到任何实体均会反弹。毫米波雷达受天气影响小，技术成熟，价格低，但分辨率相对较低。

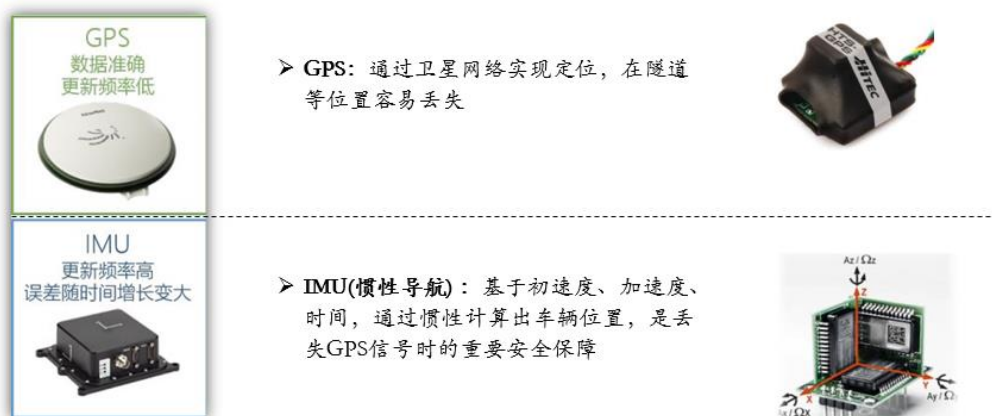


图 6: GPS 和 IMU (惯性导航)

感知部分的传感器还包括 GPS，但 GPS 定位以米为单位计算，且会受高楼大厦影响，一旦无人驾驶汽车驶入隧道或山洞，则无法接受 GPS 信号。此时就需要用到 IMU（惯性导航），IMU 基于初速度、加速度、时间，通过惯性计算出车辆位置，是丢失 GPS 信号时的重要安全保障。

上述传感器均是无人驾驶技术中非常关键的一环。现在的无人驾驶技术，不是单纯依赖于某一个传感器，而是把所有传感器采集回来的信息迅速融合，得出一个准确的位置结论。

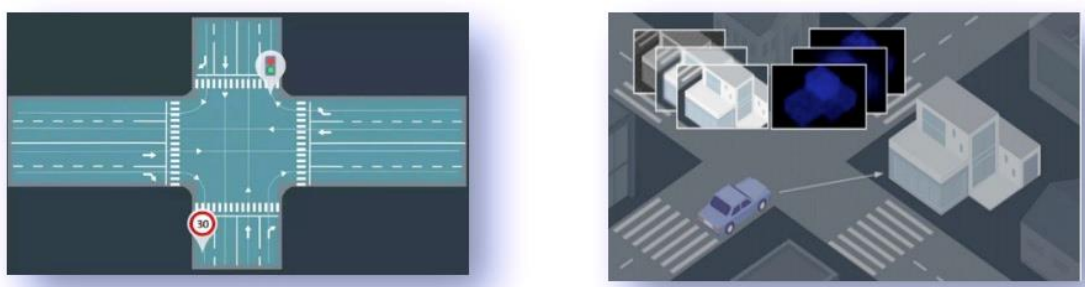


图 7: 高精地图和定位

其次，**高精地图**也是当前无人驾驶车技术不可或缺的部分。高精地图比传统 GPS 地图包含的道路信息更加丰富，包含了道路上所有

静态物体，例如车道、建筑、减速带、绿化带等；并包含了很多语义信息，例如虚实车道线含义、限速、交通灯颜色含义等。传统 GPS 地图精度为“米”级，但高精地图精度可达“10cm”级别。

车载计算机通过将各种传感器采集的数据，尤其是激光雷达的 3D 点云数据，与高精地图上已知地标进行比较，即可精确定位出无人车在高精地图中对应的位置。位置确定后，大部分驾驶规则也已根据该区域的静态道路情况提前预置，传感器可专注于处理车辆、行人、信号灯等动态道路信息。因此，高精地图可以帮助传感器缩小检测范围，例如提供需要检测的交通信号灯位置使传感器集中在该区域检测，进而提高检测精度和速度，同时节约计算资源。

在感知到外部世界和精确定位后，无人驾驶下一个重要模块就是**路径规划和决策**。路径规划包括全局规划和局部规划两种，全局规划即路线设计，局部规划就是未来几秒内汽车要做什么，比如预测外部世界中的物体将要做哪些动作等。无人驾驶车辆准备开始按照路线导航前往目的地时，需借助经过大量数据训练的 AI 模型来预测道路上其他车辆、行人的行为。例如，预测是否有足够时间完成变道，路边行人是否会横穿马路，特别是预测旁边自行车的行动轨迹等。同时，无人车会持续追踪道路中物体的运动情况反馈数据，进而帮助 AI 模型更好地了解意图做出预测。

在感知和预测的基础上，无人驾驶车辆会对行进轨迹做整体规划，通常包括 8 个规划点，每一个点均包含位置、速度和加速度信息。这

8 个点串联形成未来的行进轨迹，它们每秒更新 10 次，从而实时调整路径规划。所有 8 个点的路径规划信息都会传送到无人驾驶的控制单元中。



图 8：控制单元

控制单元是把决策好的行动轨迹转换成汽车的执行指令，包括刹车转向、油门力度等。目前控制系统尚未形成统一标准，需要与车厂紧密合作。大部分无人驾驶团队的第一辆车是基于林肯 MKZ，这是因为 AutonomousStuff（美国自动驾驶车辆设计公司）为无人驾驶厂商改造了 MKZ 并开放了系统接口，这种改造的 MKZ 在不配备任何传感器的情况下，售价高达 10 万美金。不过，现在出现了一个新的概念 Drive by Wire (DBW)，即所谓的“线控”。随着越来越多新车型支持线控并为无人驾驶合作伙伴开放接口，情况正在改善。

在控制环节，另一个关键点是，目前达到线控冗余仍存在挑战。传统驾驶中人是电子刹车失灵的冗余，无人驾驶中系统需要有一个好的冗余系统替代人，所有关键系统都必须配备两套。



图 9：无人驾驶远程监控

对于真正 L4 级别完全无人驾驶的车辆，我们还需要考虑其他问题。例如这辆车在某地因为传感器失灵或者环境过于复杂卡住了，此时往往需要一个远程监控中心的操作员，手动将车开到安全区域。高速、低延迟的蜂窝网络是远程操控的基础，而这正是 5G 网络擅长的。

## 二、全球范围内与无人驾驶相关的法律法规

世界各地均针对无人驾驶出台了一些法律法规。在美国，加州地区的监管最为严格，但也是对自动驾驶技术理解最深的一个地方监管机构。目前有 58 家公司拥有加州发放的有安全员情况下的测试许可，该数量过去 2 年基本持平。该许可按公司发放，不具体限定每家可以测试的车辆数目。目前有 5 家公司拥有无安全员自动驾驶测试许可。2020 年 12 月，Nuro（美国自动驾驶公司）拿到了加州首张全无人车商业化部署的许可。相对加州，亚利桑那、内华达和德克萨斯等州的政策较为宽松。

从 2020 年开始，无人驾驶新车型开始获批。2020 年 2 月，Nuro

获批可以部署没有侧视镜和方向盘等人工控制装置的无人送货车(低速无人驾驶运输车)。这是美国首次发出这类监管批准,允许在不满足美国所有现行汽车安全标准(75项)的情况下部署自动驾驶系统。在此之前,Nuro已经与监管部门沟通了3年。

早在2018年4月,加州就通过了关于无安全员自动驾驶的测试和落地法案。然而,直到2020年1月前,Waymo都是唯一一家拿到该试许可的公司。2020年开始该许可发放加速,目前已有4家公司陆续拿到许可,但严格限制了每家可以测试的车辆数及测试区域。

	Waymo	Nuro	AutoX	ZooX	Cruise
许可发放时间	Oct, 2018	April, 2020	Jul, 2020	Sep, 2020	Nov, 2020
允许的测试车辆数量	39	2	1	2	5
测试区域	Palo Alto, Mountain View, Los Altos, Los Altos Hills and Sunnyvale,	Specific, designated parts of Santa Clara and San Mateo counties	Specified streets around its San Jose headquarters	Designated part of Foster City, a part of San Mateo County	Public roads in San Francisco with posted speed limits not exceeding 30 m
其他测试限定	City streets, rural roads, and highways with posted speed limits of up to 65 mph. Fair weather	The vehicles have a maximum speed of 25 mph and are only approved to operate in fair weather with a speed limit of no more than 35 mph	The vehicle is approved to operate in fair weather with a speed limit of no more than 45 mph	The vehicles are approved to operate in fair weather conditions with a speed limit of no more than 45 mph	All times of the day and night, but will not test during heavy fog or heavy rain

图 10: 拥有无安全员自动驾驶测试许可的 5 家公司

从当前中国的监管态度来看,主要是自上而下与自下而上相结合,推动自动驾驶发展。自上而下的方面是,各部委的指导性文件确立自动驾驶的核心地位,相关部门规范化立法和准入门槛。自下而上的方面是,不少城市都在发布无人驾驶的测试许可。目前有超过20个城市有自动驾驶路测条例。截至2020年6月,广州、上海、北京、长

沙、武汉、沧州 6 个城市已经允许载人测试。2020 年 7 月，广州发出了中国首张智能网联汽车远程测试许可给文远知行，这是中国首次发出全无人驾驶路测的牌照。



图 11：中国对自动驾驶技术的监管概况

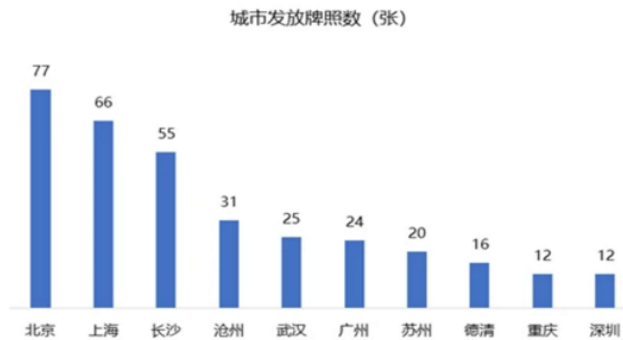


图 12：中国测试许可发放前 10 名城市（截至 2020 年 6 月）

### 三、当前无人驾驶的落地情况

从汽车发展历史看，无人驾驶汽车最早是 2004 年开始的 DARPA（国防高级研究计划局）无人驾驶挑战赛出现的。2004 年，没有一支队伍完成决赛，其中 CMU（卡内基梅隆大学）的 Sandstorm 行驶最远，共行驶了 11.78km。2005 年，Sebastian Thrun 带领的斯坦福大学的 Stanley 以平均速度 30.7km/h 夺冠，标志着无人驾驶车技术取得了

重大突破。2007年，除要求完成基本行驶外，还要求车辆遵守交通规则，最终CMU的Boss夺冠。2009年，谷歌宣布由Sebastian Thrun领导组建一支团队，开始研发无人驾驶技术。2014年，谷歌发布了无人驾驶原型车Firefly，3年后退役。

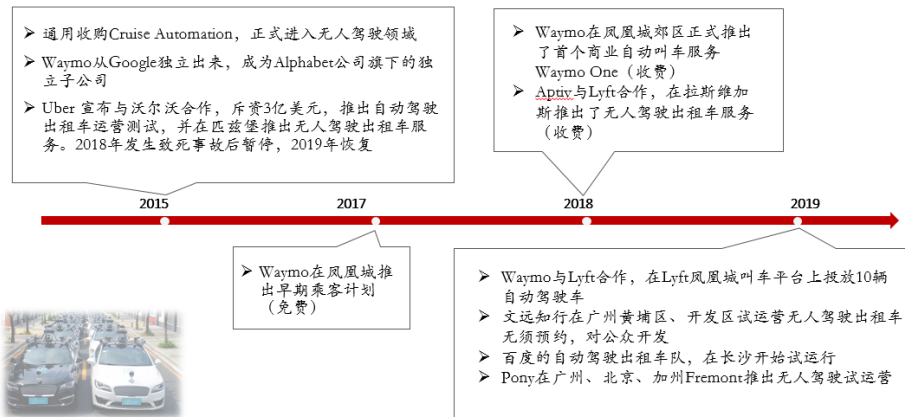


图 13：2016 年起自动驾驶进入快速发展期

2018年Waymo（谷歌无人驾驶公司）在凤凰城郊区正式推出了首个商业自动叫车服务Waymo One（收费）；在中国国内，2019年文远知行在广州黄埔区、开发区试运营无人驾驶出租车，无须预约，对公众开放。

2020年以来，无人驾驶行业又出现了一些新进展。2020年3月，Waymo首轮融资22.5亿美元，5月增加了7.5亿美元，总额达到30亿美元。2020年4月，Waymo发布第5代平台，大幅增加了传感器数量，主要是摄像头，从5个增加到了29个，其中的长距摄像头可以识别500米之外的行人和交通标记牌。同时，Waymo强调这套系统是生产就绪（Production Ready）的，成本只有第四代的一半，且经过简单配置，这套系统还能移植到Waymo的自动驾驶重卡上。2020

年6月，亚马逊以12亿美元并购ZooX。12月，ZooX发布双向无人驾驶车型，没有方向盘，最多可搭载4名乘客，最高时速75公里，目前在专用道路上进行测试。

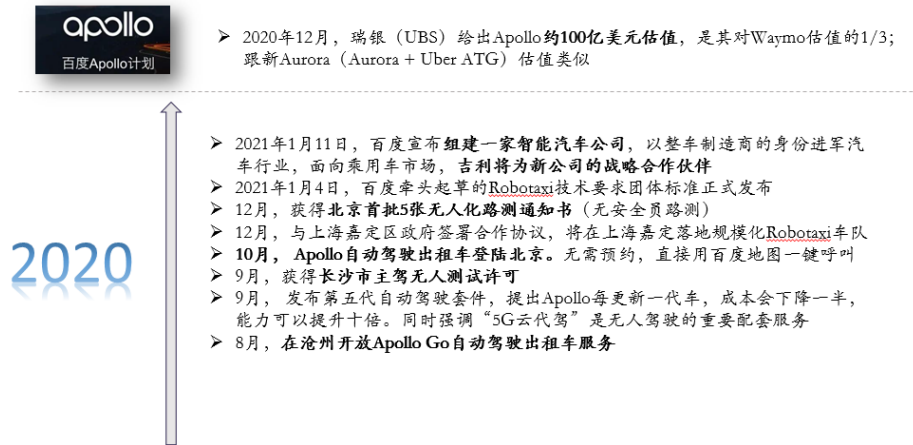


图 14：2020 年中国无人驾驶行业新进展

当前中国最引人瞩目的无人驾驶实践就是百度的阿波罗计划。阿波罗计划已在2020年迭代至第五代，每一代方案的提出，都显著降低了成本。2021年1月，百度宣布将与吉利合作组建智能汽车公司。

文远知行和Pony也是重要的自动驾驶玩家。2021年1月，文远宣布完成B2、B3轮融资，共计3.1亿美元，宇通集团领投。文远是全球首家同时获得大型商用车和乘用车（雷诺日产三菱联盟，2018年）企业战略投资的无人驾驶公司。Pony在2020年3月获4.62亿美元投资，丰田汽车领投；在2020年11月，又获2.67亿美元C轮投资。从百度、文远和Pony的发展情况来看，国内资本对无人驾驶行业的热情非常高涨。

#### 四、无人驾驶汽车发展的未来展望

从趋势看，共享的全自动驾驶车，将提高车辆使用率，减少总车辆保有数，从而带来显著的经济效益。统计数据显示，私家车超过 90% 的时间都是停在停车场；中国 361 个城市中，有 61% 的城市通勤高峰时处于拥堵或缓行状态。自动驾驶会有更加高效的的城市交通系统，汽车使用率提升至 90%，绝大多数城市停车地点将被节省。

自动驾驶另一个巨大的市场来源于“出行即服务”(MaaS)。MaaS 将从根本上改变人们的出行习惯以及对汽车的认识，未来将衍生出巨大的市场。预计到 2030 年，MaaS 市场总规模将达到 1.4 万亿美元。

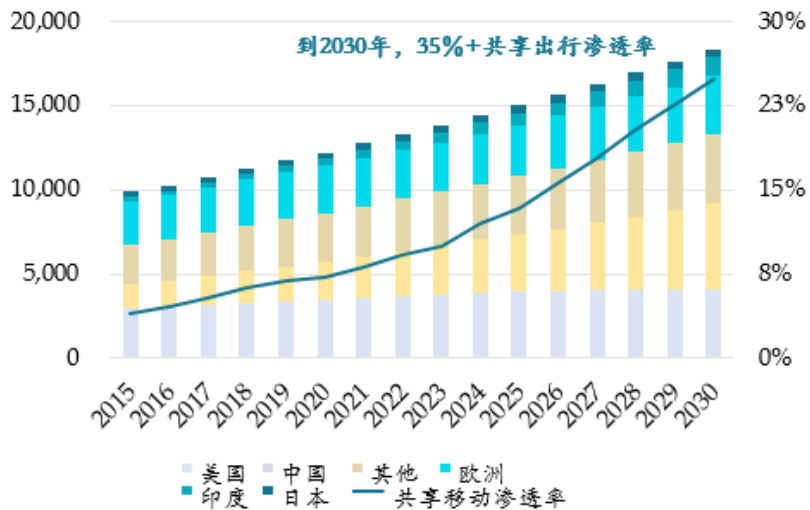


图 15: 全球主要国家及地区驾驶里程数及共享出行渗透率

从无人驾驶的成本收益来看，目前一辆无人驾驶车辆的成本，包含传感器成本和安全员的人工成本等，仅传感器就高达 3-10 万美元/每个不等。但随着技术发展的速度不断加快，感知部分传感器的成本将大幅下降，同时不需要安全员的无人驾驶有望真正实现，这样无人驾驶在经济上就可以实现可持续。

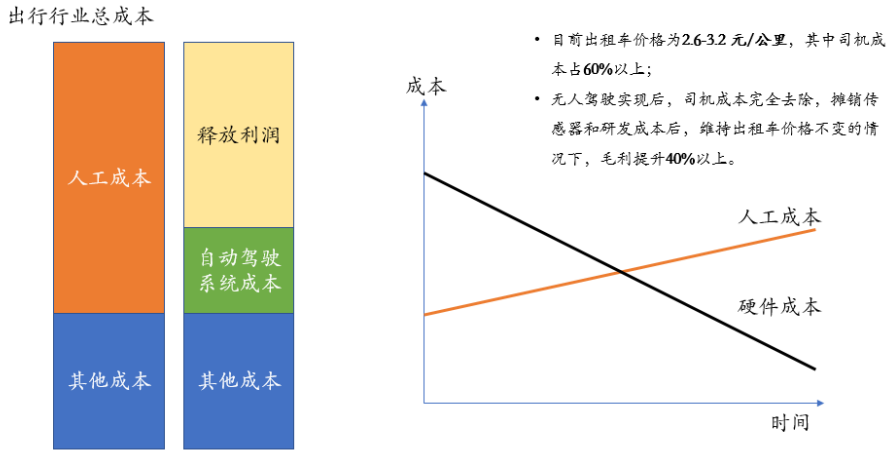


图 16：自动驾驶的成本构成

从当前的发展趋势看，自动驾驶很可能会在中美两国最快落地。欧洲城市的规模效应似乎还不足以支持自动驾驶出行服务，中国和美国会是主要市场。尽管美国在无人驾驶领域开始的更早，但中国无人驾驶公司在技术层面落后并不多，而且有政府的大力支持。同时，中国厂商的解决方案远比 Waymo 的方案便宜。Waymo 会持续作为自动驾驶行业灯塔，但未来 5 年，相比美国，在中国会有更多的无人驾驶厂商拥有可观的运营收入甚至利润。

## 五、问答环节

**Q:**自动驾驶在国内落地最大的难点是什么？

**A:** 最大的难点还是落地过程中的经济效益。在比较长时间内，大部分落地场景中仍需要有安全员，如果汽车本身造价高昂，再加上安全员成本，经济上并不划算。

本文根据北京大学汇丰金融研究院执行院长巴曙松教授发起并主持的“全球市场与中国连线”第三百四十四期（2021年01月24日）内容整理而成，特邀嘉宾为启明创投创始主管合伙人邝子平先生。

邝子平先生是启明创投的创始主管合伙人，投资委员会成员。他拥有30多年的企业管理和投资经验，1999年开始从事风险投资。邝子平先生主要关注在信息技术、人工智能、自动化设备等方面的投资，他负责投资过的公司包括：触宝（NYSE:CTK）、石头科技（688169.SH）、旷视科技、优必选、云知声、禾赛科技、运泰利自动化、长亭科技、七牛信息技术、文远知行等。

邝子平先生目前是中华股权投资协会理事，中国证券投资基金业协会风险投资委员会委员。邝子平先生入选2020福布斯全球最佳创投人榜。创办启明创投前，邝子平先生曾是英特尔投资部中国区总监，主导英特尔在中国大陆的战略投资业务。加入英特尔前，他在思科中国任职5年，担任过多个高级管理职位。邝子平先生在硅谷开始了他的职业生涯，早年曾是软件工程师，后又在数字通信领域担任技术管理。邝子平先生生于中国广州，留学于美国。他拥有美国加州大学旧金山分校计算机科学学士学位，美国斯坦福大学计算机科学硕士学位，及美国加州大学伯克利分校MBA。

**【免责声明】**

“全球市场与中国连线”为中国与全球市场间内部专业高端金融交流平台。本期报告由巴曙松教授和居姍博士共同整理，未经嘉宾本人审阅，文中观点仅代表嘉宾个人观点，不代表任何机构的意见，也不构成投资建议。

本文版权为“全球市场与中国连线”会议秘书处所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复印、发表或引用本文的任何部分。



**PHBS HFRI**  
北京大学汇丰金融研究院

