

## 向前行驶： 自动驾驶汽车在中国、欧洲、日本、 韩国和美国的发展情况



达瑞尔·韦斯特  
布鲁金斯学会

Darrell M. West is vice president and director of Governance Studies and the founding director of the Center for Technology Innovation at Brookings. His studies include technology policy, electronic government, and mass media.  
DWest@Brookings.edu

### 执行概要

“汽车是最大的移动设备之一。” 布里杰特·卡尔林<sup>1</sup>

配备感应器和摄像头的汽车行驶在加州山景城、德州奥斯汀、华盛顿科尔科兰、密歇根迪尔伯恩、宾州匹茨堡、中国北京和武汉、瑞典哥德堡、荷兰鹿特丹、日本的珠州和藤泽以及韩国首尔等地的大街上。精密的车载软件整合数十个来源的数据，进行实时分析，并自动引导车辆避开潜在危险。

人们已经习惯了从交通的角度思考汽车，但是汽车已经越来越多地成为拥有庞大信息处理能力的大型移动设备。<sup>2</sup> 专家们估计，现有的汽车技术已经创造出“超过10万个数据点”。<sup>3</sup> 人工智能（即运用高级运算解决问题的软件）的进步和深度学习（从过往经验中学习的软件分析法）可以让车载计算机接入云处理平台，瞬间整合数据，并且行驶到预期目的地。随着5G网络和物联网的兴起，上述趋势将开辟汽车发展的新时代。

到2021年，无人驾驶汽车将进入市场，从此开启一个崭新的阶段。<sup>4</sup> 世界经济论坛估计，汽车行业的数字化变革将创造670亿美元的价值，带来3.1万亿的社会效益，<sup>5</sup>其中包括自动驾驶汽车的改进、乘客互联以及整个交通行业生态系统的完善。

本研究列举了不同种类的自动驾驶汽车，展示了其潜在影响力，探讨了无人驾驶轿车和卡车带来的预算、政策和监管等问题。本研究认为车辆互联可提高高速公路交通安全、缓解拥堵和减少空气污染。但是，设计者必须为此解决基础设施匮乏、恶劣天气、频谱不足、黑客威胁和公众接受度等障碍。

解决上述问题的技术已取得快速进展，即将开始商业应用。但是，要进一步推广应用，各国还需解决一些具体问题，这包括预算、政策、法律和监管等问题。

在中国，关键是要制定国家层面的自动驾驶汽车政策框架。中国有多个部委负责自动驾驶技术的监管（其中存在责任交叉和重复），因此需要进一步明确监管部门和监管方式。另外，政府还需要投资建设针对无人驾驶车辆的高速公路基础设施，取消全国范围内对于道路测试的禁止，减少公路地图发展方面的限制，进而让汽车制造商和软件设计者开发精确的导航系统。

欧洲的挑战在于如何提高人工智能水平，这对无人驾驶汽车至关重要。美国的谷歌和中国的百度等大型技术企业已经进军交通领域，其中一个原因是，它们有机会将搜索引擎技术开发获取的信息处理专长和快速学习能力应用到新的领域。若想获得自动驾驶汽车领域的竞争能力，奥迪、宝马（与英特尔合作）、大众、戴姆勒、奔驰和沃尔沃等欧洲车企需要精通人工智能技术和高性能计算能力的人才，因为汽车制造不再只是实体设计，还应包括软件开发和实时数据分析。欧盟还应确保其数据保护规定不会对人们的移动和位置信息带来过分限制，因为这类信息对无人驾驶所需的高精度地图至关重要。

在日本和韩国，政府和车企一直对无人驾驶汽车持谨慎态度。丰田、本田、日产、起亚、现代等企业投入了大量资源。它们关注其他国家的情况，也在实施试点项目。但是它们必须确定是否将无人驾驶汽车列为发展重点。如果要优先发展无人驾驶汽车，就必须在人工智能、高精度地图和数据分析等对行业未来发展至关重要的领域投入资源。否则，它们将在未来数年无人驾驶汽车的行业发展中落后。

在美国，主要挑战在于解决监管碎片化的问题，因为五十个州在许可、车辆标准、监管和隐私保护等领域的政策各有不同。目前，车企（如福特和通用）和软件开发商在多个州都面临规则和监管相冲突的问题。这会影影响创新，因为企业在制造轿车和卡车时，要满足全国或国际市场需要。另外，在法律责任、数据保护以及立法处罚恶意扰乱自动驾驶车等领域还需要进一步明确。

各国政府官员和企业界领袖都必须解决上述问题，因为在可预见的未来，自动驾驶技术将实现长足发展，智能汽车将随之进入一些关键部门，如分享出行、出租车、卡车货运、工业应用以及老年人和残疾人士用车。个人和企业都能选择无人驾驶，安全抵达目的地。政府还需要合理引导先进交通技术的商业化应用。

### 人工智能、高精度地图和深度学习对无人驾驶车辆的重要意义

自动驾驶汽车意味着将先进技术应用到轿车、卡车和巴士。其中包括自动车辆引导和制动、变道系统、使用摄像头和感应器避免碰撞、使用人工智能实时分析信息、安装高性能计算和深度学习系统，通过高清3D地图适应新环境。

光探测和测距系统（又称“光雷达”LiDARs）和人工智能是导航和防碰撞的关键。前者是安装在车辆顶部的光和雷达设备，通过雷达和光束实现360度成像，测算周围物体的速度和距离。因为车辆的前后左右都装有感应器，这一设备可以获取必要信息，保证快速移动的车辆在车

道内行驶，避开其他车辆，在必要时瞬间启动制动和转向，从而避免事故发生。

高精度地图对无人驾驶也至关重要。百度在中国绘制的高精度地图达到了厘米级精度。高精度地图比GPS更精确，后者的准确度只有5-10米（约16-32英寸）。百度使用约250辆测绘车收集道路信息用以制作准确度在5-10米的传统导航地图以及高精度地图。另外，所有测绘车可以实现快速升级，支持高精度地图数据收集。针对自动驾驶汽车，百度使用的厘米级高精度地图，包含交通信号灯、车道标记（如白线、黄线、双车道或单车道、实线、虚线）、路缘石、障碍物、电线杆、立交桥、地下通道等详细信息。所有上述信息都有地理编码，因此导航系统可以准确定位地形、物体和道路轮廓，从而引导车辆行驶。

百度已经绘制了约670万公里（400万英里）的中国普通公路和高速公路，用以制作传统导航地图。百度的道路导航系统可以实现95%以上的路标和车道标记准确度。因为建设和其他变动，高速公路地图需要定期更新。传统地图需要每三个月重新绘制一次，但是无人驾驶车辆地图需要不断更新，以便掌握路况变化。

数字图像处理技术精确度已非常高。以人脸识别为例，人的错误率为千分之八，而安装了图像识别软件的电脑错误率只有千分之2.3。<sup>6</sup>就可见度（安全视力距离）而言，人只能看见道路前方50米（55码），而装了激光雷达和摄像头的自动驾驶车辆可以达到200米（219码）。<sup>7</sup>

摄像头和感应器收集大量信息，只有瞬间进行处理，才能避开旁边车道的车辆。为了适应新情况，无人驾驶汽车需要具备高性能计算能力、先进的算法和深度学习系统。这意味着软件才是关键，而非实体车辆本身。<sup>8</sup>先进的软件可以让汽车学习道路上其他车辆的经验，并根据天气、行驶和路况的改变调整导航系统。车载系统也可以通过机器间的交流了解路面上其他车辆情况。

如果没有先进的人工智能模型和高精度地图进行信息分析，以及了解周边环境变化的能力，无人驾驶汽车将很难安全行驶，也无法处理世界各地道路和高速公路的复杂情况。

互联网先驱人物马克·安德森（Marc Andreessen）曾预言“软件将吞掉世界”。他的意思是，企业越来越多地使用软件提供数字产品和在线服务。他认为，不需要通过实体产业满足客户需求，“软件编程工具和互联网服务使得各个行业成立以软件为驱动的新全球初创企业更加便利——不需要再投资新基础设施和培训新员工。”<sup>9</sup>卡车和轿车行业证明以软件为基础的网络可以带来多种好处。

## 自动驾驶汽车的分类

自动驾驶车辆主要分为两类：半自动驾驶（美国国家高速公路安全管理局将其分为L1-3级）和无人驾驶（完全自动驾驶L4级）。两类车辆的好处和风险各有不同。了解它们各自的特点对把握自动驾驶车辆的未来至关重要。<sup>10</sup>

### 半自动驾驶汽车

半自动驾驶汽车需要人为操控，同时也具备一些自动功能，如自动驾驶、巡航定速、自动停车、紧急制动、备用警报信号和车道保持系统。车辆可以自动行驶，驾驶员也能控制自动装置。例如，在踩下刹车之前，巡航定速可以一直处于激活状态。制动启动之后，功能关闭，驾驶员完全控制车辆。

通用汽车最近投入10亿美元，收购了Cruise Automation公司，计划明年测试自动驾驶汽车。福特也宣布扩大Fusion Hybrid测试车的规模，并计划上路测试30辆车。车辆内部安装了相当于5台笔记本电脑的设备，用于车辆控制。<sup>11</sup>

特斯拉也推出了自动辅助驾驶和自动转向功能，已有7万台车上路测试。特斯拉的自动辅助驾驶系统使用英伟达芯片，“可以保持车道，根据车流量调整速度，启动制动功能避免撞车。”<sup>12</sup>

然而，2016年5月特斯拉S型轿车在佛罗里达州发生致命车祸，这是首起自动驾驶汽车致命车祸。事发时，自动制动系统软件错把货车的白色车身当成晴朗的天空，在卡车左转弯时未能识别。司机约书亚·布朗没有控制半自动装置，结果轿车高速撞上了卡车，冲向路灯杆，司机当场死亡。<sup>13</sup>

事故发生后，特斯拉接受美国政府的高速公路安全审查。国家高速公路交通安全管理局要求特斯拉提供详细信息，如“所有在美国出售的安装自动辅助驾驶系统的车辆清单，自动转向功能开启状态下车辆运行里程，以及自动系统发出过多少次警告，要求驾驶员把手放回方向盘之上。”另外，特斯拉还被要求提供“涉及开启自动紧急制动的事故数量”，“消费者投诉或撞车报告，以及其他预防系统没有正常运行的事故”等信息。特斯拉正在努力提供相关数据。<sup>14</sup>

尽管出了这次事故，特斯拉仍有一个在业界备受瞩目的特色。车主无需开车到经销店，在家里通过无线网络就可以远程升级车载软件。特斯拉副总裁Diarmuid O'Connell称，在常规召回中，事实上只有70%的车辆进行了维修，因为车主没有时间把车送回经销店。其余30%则不需要接受安全维护。<sup>15</sup> 福特、通用、宝马、沃尔沃、奔驰等公司也开发了类似的能力。<sup>16</sup>

半自动驾驶的优点在于，驾驶员可以在认为有障碍，或看到出现了全新的需要人为判断的情况，取代自动控制装置。举个例子，如果司机看到车辆将因为其他司机的非正常行驶方式而遭遇事故，如酒驾后发生的情形，那么人为选择要胜过计算机算法给定的选择。

潜在的缺陷在于，人过于信赖车辆自动装置。司机有时错误地认为所有的选择都可以交给自动驾驶装置，而如果电脑模式无法预测其他司机的行为，则有事故的风险。

无人驾驶（完全自动驾驶）汽车可能比半自动驾驶汽车更安全，因为可以在车辆行驶时排除人为错误和不明智的判断。例如弗吉尼亚理工大学交通学院的调查表明“L3级自动驾驶车辆的司机回应接管车辆的请求平均需要17秒。而在这个时间内，一辆时速65英里（105公里）的汽车已经开出1621英尺（494米）——超过5个足球场的长度。”<sup>17</sup>

百度的工程师也发现了类似的结果。司机从看到路面物体到踩刹车需要1.2秒，远远长于车载计算机所用的0.2秒。这一时间差意味着，如果汽车时速是120公里（75英里），等到司机停车时，车子已经开出了40米（44码），而如果是车载电脑做判断，开出的距离只有6.7米（7码）。<sup>18</sup> 在很多事故中，这一差距将决定乘客的生死。

由于人们对半自动驾驶汽车过于自信，可能没有准备好接过方向盘，而且在需要判断的情况下，可能会做出不利于车辆安全的其他举动。因为精力有限，有人认为无人驾驶汽车可能比半自动驾驶汽车更安全，因为人无法足够快地做出反应，避开危险。谷歌前自动驾驶汽车事业部总监Chris Urmson认为，“舒服地坐在车里享受的时候，人们不总能妥妥地完成驾驶任务。”<sup>19</sup>

## 无人驾驶汽车

无人驾驶汽车完全由自动化系统控制，如人工智能、自动制动系统、机器学习、变道技术和深度学习。有些无人驾驶汽车没有安装方向盘、油门和刹车，完全由人工智能系统做决定。车载电脑利用一整套的感应器、激光和摄像头执行运动、速度和方向的决定。

百度“汽车大脑”控制的汽车利用人工智能软件和深度学习模型，“训练计算机像驾驶员一样工作。”<sup>20</sup>汽车的“无人驾驶地图记录3D道路数据，车辆定位的准确度控制在几厘米之内。物体识别和环境感知技术使得汽车能够非常准确地发现和跟踪其他车辆，识别车道和精确测算距离和速度。”<sup>21</sup>

谷歌的60辆自动驾驶汽车已经行驶超过200万英里。<sup>22</sup>该公司每月事故报告透明数据显示，7年间只发生过17次小事故，没出现一例重伤。多数事故的原因是其他车辆的行驶难以预测，或者后方车辆追尾。<sup>23</sup>谷歌开发了备用制动、转向和计算系统，以防备主系统失灵。另外还设计了软件，确保谷歌汽车“在其他司机的盲区之外”，远离车道上的摩托车，并且在绿灯亮起后停顿1.5秒，以避免闯红灯的车辆、行人。<sup>24</sup>

装有这种系统的无人驾驶汽车最终依靠软件设计。百度CEO李彦宏认为“汽车将更像有轮子的电脑。”<sup>25</sup>百度的电脑化系统能及时做出关乎生死的决定，引导车辆在多变的街道和高速公路上通行。通过内部运算，系统可处理海量数据，并指示车辆转向。

这种无人驾驶系统的好处在于司机不用进行自我判断，不会因为发短信或听音乐受到干扰，也没有酒驾。前方有物体时，车辆可以躲避碰撞。计算机运算可以根据感应器读取的信息或摄像头捕捉的图像指示危险。司机也不会像对待半自动驾驶技术那样自鸣得意或过于自信。

### 市场潜力和早期消费群体

据估计，半自动驾驶和无人驾驶（完全自动驾驶）汽车未来几十年的市场潜力相当大。例如，到2035年，仅中国就将有约860万辆自动驾驶汽车，其中约340万辆为全自动驾驶，520万辆为半自动驾驶。<sup>26</sup>有行业主管部门人士认为，“中国轿车销售、巴士、出租车和相关交通服务年收入有望超过1.5万亿美元。”<sup>27</sup>

波士顿咨询集团预测，“无人驾驶车辆的全球市场份额要达到25%，需要花15-20年的时间。”<sup>28</sup>由于无人驾驶汽车预计到2021年才上市，这意味着2035-2040年，无人驾驶汽车将占全球市场25%的份额。

无人驾驶汽车可能会先进入特殊群体，随后在普通消费市场热卖。因为安装了摄像头、感应器、激光和人工智能系统，无人驾驶汽车的最初成本会很高，普通消费者难以接受。但是企业和一些特殊行业将是早期消费群体。最有可能采纳无人车的行业包括约车、巴士、出租车、快递车辆、工业应用以及老年人和残疾人士出行。

### 约车、巴士和出租车

约车公司对无人驾驶汽车非常感兴趣，认为在客户服务和劳动生产率方面具备优势。主要的约车公司都在探索使用无人车。

约车和出租车服务的兴起，如美国的Uber和Lyft，戴姆勒的Mytaxi和Hailo，新加坡的nu-

Tonomy以及中国的滴滴出行,表明这是一项可行的交通选择。<sup>29</sup>Uber成立于2010年,市值680亿美元,目前在美国90个城市和世界多地有业务。<sup>30</sup>Uber与沃尔沃合作在匹茨堡推出了自动驾驶汽车,将逐步取代部分司机。目前Uber有100万名司机。<sup>31</sup>

Lyft也倍受消费者欢迎,已获得通用汽车5亿美元投资,在多个城市开展业务。<sup>32</sup>滴滴目前市值350亿美元,每天在中国400个城市提供1400万次服务。<sup>33</sup>以出车次数计算,滴滴已经成为世界第一大约车服务公司。因为看好其长期发展,苹果最近购买滴滴10亿美元股份。因为最近收购了Uber的中国业务,滴滴的规模进一步扩大。<sup>34</sup>

德克萨斯大学奥斯汀分校做了一项关于分享自动驾驶汽车(SAV)的研究,分析表明“每辆SAV可以取代约11辆常规汽车,但是运营里程可以增加10%以上。”<sup>35</sup>这意味着,此类服务能缓解交通拥堵和环境恶化。车辆分享可以大幅减少交通拥堵,但是具体数字将会因为里程增加而被抵消,因为约车方便,受消费者欢迎。

约车或出租车将缓解拥堵,因为很多地方的年轻人倾向这两种选择,而不是购买自己的汽车。例如,罗兰贝格的调查显示,“51%的中国车主称愿意使用机器人出租车,而不是购买新车。在美国,这一比例只有26%。”<sup>36</sup>在日本,机器人出租车公司称,“希望能够为2020年东京奥运会开发数千辆无人驾驶汽车。”<sup>37</sup>

无人驾驶汽车也可能成为公共交通系统的重要选择。百度计划三年后商业推广无人驾驶汽车,将首先在中国城市试运行。<sup>38</sup>百度目前已经获得几个地方监管部门的批准,在事先确定的路线进行试验,希望在不远的将来推出这类车辆。<sup>39</sup>2016年8月31日,百度获得美国加州机动车辆局自动驾驶汽车试验许可,将能够在加州的公共道路上测试无人驾驶汽车。

一些城市还在考虑将某些街区划定为无人驾驶专区。在30或40个街区将不再出现人驾汽车和无人车同时存在的现象,自动驾驶出租车和共享出行车辆将提供全部交通服务。城市规划部门将进行区域优化,为无人车服务。英特尔公司的Jack Weast认为这将是未来的有效出行方式。<sup>40</sup>

## 快递用车和工业应用

快递用车和“列队”卡车将是另一个可能较快采用无人驾驶汽车的领域。<sup>41</sup>在线购物和电子商务网站快速兴起,给快递公司带来利好。人们喜欢在网上订购物品(如食品、货物和服务),几小时就能送货上门。中国电商2015年总额达到5900亿美元,很多产品承诺同日送达。这促进了电动车和卡车快递。2015年,中国电商规模比2014年增长33%。<sup>42</sup>

卡车占美国机动车行驶里程的5.6%,但是却占交通死亡事故的9.5%。<sup>43</sup>因此,在经济效益和避免人员伤亡方面,无人驾驶汽车可以创造不少增加值。大型卡车成本通常超过150000美元,安装摄像头和感应器成本效益比较高,因为相比之下,小轿车的自身成本原本就很低。美国的Ottomotto公司正在测试18轮的全自动驾驶卡车,希望能在不远的将来推向市场。<sup>44</sup>

## 老年人和残疾人

在老年人和残疾人这两个消费群体中,无人驾驶汽车已经开始大规模应用。由于身体条件的限制和视力原因,这两类人都面临出行困难,因此智能车辆能给他们带来不少好处。

美国老龄人口到2050年预计超过8000万, 占总人口20%。届时, 老龄人口将是目前的两倍, 这其中三分之一将有出行困难。<sup>45</sup>中国也面临同样的情况。到2050年, 中国老龄人口预计将占总人口的33%。<sup>46</sup>而在日本, 到2060年, 65岁及以上人群将占总人口约40%。<sup>47</sup>

残疾人的市场也很庞大。例如, 在美国, 约5300万成年人有残疾, 占成年人人口22%左右。约13%的美国成年人有出行障碍, 约4.6%的成年人有视力障碍。<sup>48</sup>

这些有关老年人和残疾人士的庞大数据为无人驾驶汽车提供了现成的市场。这两类群体都重视独立, 无人驾驶汽车可以让他们自由出行, 无需依靠朋友、家人。因此, 老年人和残疾人维权人士对自动驾驶汽车的问世持积极态度。

## 无人驾驶汽车的优点

无人驾驶汽车优点很多, 包括增强高速公路安全、缓解交通拥堵、减少空气污染。研究表明, 无人车对这三个领域都会有大幅改善。

### 增强高速公路安全

高速公路事故死亡是全世界面临的重大问题。在美国, 每年估计有35000人死于车祸, 中国这一数字约为260000。<sup>49</sup>日本每年高速公路事故死亡人数为4000左右。<sup>50</sup>

根据世界卫生组织统计, 全世界每年有124万人死于高速公路事故。<sup>51</sup>据估计, 致命车祸每年造成2600亿损失, 而车祸致伤带来3650亿美元的损失。高速公路伤亡每年导致6250亿美元的损失。<sup>52</sup>

美国兰德公司研究显示, “2011年车祸死亡中39%涉及酒驾。”<sup>53</sup>几乎可以肯定, 在这方面, 无人驾驶汽车将带来大幅改善, 避免车祸伤亡。

在中国, 约60%的交通事故和骑车人、行人或电动自行车与小轿车和卡车相撞有关。<sup>54</sup>美国机动车事故中, 94%与人为失误有关, 因此可以得到有效避免。<sup>55</sup>

美国高速公路安全保险研究所的一项研究表明, 全部安装自动安全装置能使高速公路事故死亡数量减少31%, 每年将挽救11000条生命。<sup>56</sup>这类装置包括前部碰撞警告体系、碰撞制动、车道偏离警告和盲点探测。

### 缓解交通拥堵

交通拥堵是几乎每个大都市都面临的问题。以美国为例, 每个司机平均遇到40个小时的交通堵塞, 年均成本为1210亿美元。<sup>57</sup>在莫斯科、伊斯坦布尔、墨西哥城或里约热内卢, 浪费的时间更长, “每位司机每年将在交通拥堵中度过超过100小时。”<sup>58</sup>

“在中国, 汽车数量超过100万的城市有35个, 超过200万的有10个。在最繁忙的市区, 约75%的道路会出现高峰拥堵。”中国私家车总数已达1.26亿, 同比增加15%。<sup>59</sup>仅北京就有560万汽车。<sup>60</sup>

Donald Shoup的研究发现, 都市区30%的交通是由于司机为了寻找附近的停车场而在商务区绕圈造成的。<sup>61</sup>这是交通拥挤、空气污染和环境恶化的重要原因。“造成气候变化的二氧化碳排

放中约30%来自汽车”。<sup>62</sup>

另外，根据估算，都市交通拥堵中有23—45%发生在道路交叉处。<sup>63</sup>交通灯和停车标志不能发挥作用，因为它们是静止的，无法将交通流量考虑其中。绿灯或红灯是按照固定间隔提前设定好的，不管某个方向的车流量有多大。

一旦无人驾驶汽车逐渐投入使用，并占到车流量比较大的比例，车载感应器将能够与智能交通系统联合工作，优化道路交叉口的车流量。红绿灯的间隔也将是动态的，根据道路车流量实时变动。这样可以通过提高车辆通行效率，缓解拥堵。

## 减少空气污染

汽车是造成空气质量下降的主要原因之一。兰德公司研究表明，“无人驾驶技术能提高燃料效率，通过更顺畅的加速、减速，能比手动驾驶提高4-10%。”<sup>64</sup>由于工业区的烟雾与汽车数量有关，增加无人驾驶汽车的数量能减少空气污染。一项2016年的研究估计，“等红灯或交通拥堵时汽车造成的污染比车辆行驶时高40%。”<sup>65</sup>

无人驾驶汽车共享系统也能带来减排和节能的好处。德克萨斯大学奥斯汀分校的研究人员研究了二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物、挥发性有机化合物、温室气体和细小颗粒物。结果发现，“使用无人驾驶汽车共享系统不仅节省能源，还能减少各种污染物的排放。”<sup>66</sup>

约车公司Uber发现，该公司在旧金山和洛杉矶的车辆出行中分别有50%和30%是多乘客拼车。在全球范围内，这一数字为20%。<sup>67</sup>无论是传统车，还是自动驾驶车，拼车越多，对环境越好，也越能缓解交通拥堵。改变一车一人的模式将能大大改善空气质量。

## 采纳和使用无人驾驶汽车的障碍

智能汽车面临几大重要挑战。其中包括恶劣天气和数字黑客攻击带来的技术挑战，以及通过制度和社会行动才能逾越的障碍，如基础设施改善、频谱分配和公众接受度。上述每个领域都给自动驾驶汽车及其市场成功带来挑战。

### 恶劣天气

在恶劣天气里，无人驾驶汽车无法良好运行。大雨、大雪或大气雾霾遮挡道路标示和车道标记，因此增加事故风险。在这种情况下，自动驾驶汽车无法做出准确判断。Lyft公司的Rob Grant认为，自动驾驶汽车“在某些天气条件下或路况不佳时表现得不好。”<sup>68</sup>

另外，杜克大学的Mary Cummings教授特别强调恶劣天气对自动驾驶汽车的影响。“降水、雾和沙尘影响光雷达感应器，分散或阻挡激光束，干扰摄像头捕捉图像的能力。因此，车辆无法感知与其他汽车的距离，或者分辨停车标示、交通灯和行人。”<sup>69</sup>

### 数字黑客攻击

安全是自动驾驶汽车行业的重要考虑因素。目前已经有车辆被黑客攻击、系统被破坏的报道。自动驾驶汽车依靠车辆与车辆（V2V）的交流，以及车辆与基础设施（V2I）的连接。维护这些通道以及电子邮件、电话、短信、上网和定位数据等乘客个人电子通信的安全至关重要。<sup>70</sup>

Jonathan Petit 和 Steven Shladover描述了几个联网车辆面临的威胁。其中包括黑客攻

击、人为干扰、幽灵车或者其他恶意行为，如使用亮灯导致摄像头无法捕捉图像、雷达干扰或操控感应器等。上述每种行为都能扰乱通信，造成人工智能运算出错。他们的研究将“GNSS（全球卫星导航系统）欺骗和虚假信息列为最危险（即最可能或最严重）的攻击。”<sup>71</sup> 操控这类信息给乘客带来风险，而且可能引发严重事故。

网络安全专家已经证实能够远程攻击吉普大切诺基。《连线》杂志上刊登的一篇报道称，他们能够破坏车辆的转向、刹车、无线电、雨刷和车内环境控制系统，并且证实通过Uconnect软件能够很容易破坏车辆。这一例子说明，设计者需要高度重视车辆安全，避免不必要的风险。

### 高速公路基础设施不完善

基础设施问题困扰许多国家。例如，在印度，高速公路和普通公路是主要挑战。印度的道路中有36%是土路，而在中国，这一数字为16%左右。因此，在世界经济论坛的基础设施排行榜中，印度排第87位，远低于日本的第6位，德国的第7位，中国的46位，泰国的48位和巴西的76位。<sup>72</sup>

高速公路状况不佳给自动驾驶汽车带来挑战。车辆行驶需要可预测的路面和标示清晰的车道。在一次跨越国内多地的试驾过程中，Delphi公司的工程师发现各地车道标示有很大差别。Glen De Vos称，“自动驾驶车遇到有些路面标有宽的白条，有的则是窄的黄线。有些标示是新的，而有的模糊不清，有些道路还凹凸不平。”<sup>73</sup>

由于这些道路标示不到位或工程质量不佳，半自动驾驶汽车或全自动驾驶汽车都无法顺利行驶。事故风险随之上升，电脑运算也很有可能做出错误判断。如果不加以解决，这将限制自动驾驶汽车的发展。北京民族证券的分析师高贺（音译）认为，“由于各地道路状况千差万别，任何一家公司都不可能在五年的时间内发展到较大规模。”<sup>74</sup>

桥梁也是自动驾驶汽车面临的特殊问题。桥梁“提供的环境信息很少——如上面没有建筑物——因此车辆很难分辨确切位置。”Uber的工程总监Raffi Krikorian这样认为。<sup>75</sup>

### 频谱不足

频谱不足是很多国家面临的主要障碍。确定专用的频率范围是支持自动驾驶汽车发展的关键。有了具体的频段，无人车才能在任何天气或交通状况下行使。由于需要平衡联网速度和可靠的无线连接，自动驾驶车和工业应用需要6GHz以下中等范围频谱，而这种频率的需求量大，很难确保无人车所需的可靠服务。电话断线让人厌烦，而如果无人车掉线则可能出人命。

美国的车企大都支持专用短程通信（DSRC）系统。丰田的Sandy Lobenstein说，“DSRC是双向、中短距离无线通信协议，车辆之间可以相互沟通，发现和避开危险。装有DSRC的车辆在几百米的距离内每秒钟会多次播送准确信息，如位置、速度和加速情况。其他装有DSRC的车辆收到信息后会根据信息计算相邻车辆的运行轨迹，与自己的预计路径进行比较，再决定邻车是否有碰撞的威胁。”<sup>76</sup>

联邦通信委员会于1999年规定5.9GHz波段的75MHz频谱为DSRC专有，为防碰撞技术的测试和应用打下了基础。但是，业界领袖希望给这一技术和联网汽车的其他功能留有足够的频谱。因为预计自动驾驶汽车将大量上市，应该为行业发展保留可用的频谱。

## 公众接受度

归根到底，公众必须要能接受自动驾驶汽车，市场才能发展。和任何新兴技术一样，让消费者接受新模式和不同的行车方式，还需要时间。就像从马转向汽车、从汽车发展到火车一样充满了争议，对待向自动驾驶汽车的过渡也会有不同的看法。

密歇根大学的美国公众调查显示，很多人仍然选择传统开车方式。当问及个人喜好时，46%的美国人称不喜欢自动驾驶车，39%的受众喜欢部分自动驾驶（半自动驾驶），16%的人支持全自驾（全自动驾驶）汽车。<sup>77</sup>

有趣的是，不同性别和年龄人群的态度也不同。男性（19%）与女性（12%）相比更倾向全自动驾驶。18-29岁（19%）和30-44岁（22%）的年轻人最愿意选择无人车，而60岁及以上的人群中只有10%，45-59岁的人中只有12%。

当被问到具体装置时，95%的人希望即使是全自动驾驶车也要有方向盘、油门和刹车板。37%的人对乘坐全自动驾驶车表示十分担心，29%的人称中度担忧，24%的人轻度忧虑，10%的受众毫无担心。

中国司机似乎对车辆试验更开放。世界经济论坛的一项调查发现，“75%的中国人愿意乘坐无人车。”<sup>78</sup>这种观点也得到了罗兰贝格公司单独调查的印证。后一项调查显示，“96%的中国人愿意考虑每天都乘坐自动驾驶车，而美国人和德国人只有58%。”<sup>79</sup> 中国人对驾车和自己的汽车没有同样积极的情感关系，因此更能接受无人车。

## 中国的问题

中国在自动驾驶汽车领域有明显优势。“中国汽车行业晚于别国100年，中国人不掌握很多核心技术，如发动机。”百度高级副总裁、自动驾驶事业部总经理王劲如是说。“但是从电动汽车到智能汽车，核心技术已从发动机和变速箱转向人工智能。而在这一领域，中国已经非常接近美国，中国有机会赶上并处于领先地位。”<sup>80</sup>

中国面临的最大挑战是制定国家层面的无人汽车发展框架。目前负责自动驾驶技术管理的有多个部委。设计者需要清晰了解具体监管的是哪个部门，监管方式是什么。另外，政府还需要为自动驾驶汽车的发展投资高速公路基础设施建设，取消现有全国范围内对于道路测试的普遍限制，减少道路测绘的限制。只有这样，汽车制造商和软件设计者才能从试验中学习，制定自动驾驶汽车的技术标准，解决车祸的法律责任问题，提高公众对无人车的认知。

需要制定国家政策，进行国家投资

中国的优势在于，大部分自动驾驶汽车的监管规范的制定都在国家一级。其自上而下的做法也能简化监管规则和程序，这一特点是联邦体制所没有的。中国正在制定监管规范，待征求行业和政府部门意见后将报送国务院审批。

但是，关于哪个部门负责监管和行业发展，仍然存在碎片化的问题。国家质量监督检验检疫总局（负责产品召回）、工业和信息化部（负责制定产业政策）、交通部（制定交通行业发展规划）、公安部（负责车辆登记、牌照管理和交通安全监督）、国家测绘地理信息局（负责执行地图信息采集规定）都有管辖权。还有其他部门负责环境保护、回收利用、商务和金融。加起来一共有近10个政府部门管理自动驾驶汽车的某一部分内容。

让这些部门协调配合是当前规划者的任务。中国的决策者必须认真考虑如何管理自动驾驶汽车。一方面需要创新，另一方面又需要保证社会价值，保护司机、数据和安全。他们的决策将为企业发展设定总体框架。

另外，中央政府还需要对研究和基础设施进行投入，助力自动驾驶汽车发展。通过投入资源对外表明这一行业是政府的重点，将对自动驾驶汽车的未来发展非常重要。这也是在向世界和国内行业传递信号：智能汽车很重要，国家将推动其发展。

### 改善高速公路基础设施和交通管理

改善道路应该是发展自动驾驶汽车的重点。软件开发是私营部门的责任，但是修建有路灯和清晰车道标示的优质道路也非常重要。半自动驾驶和全自动驾驶汽车需要在道路上有效运行摄像头和感应器。如果车载摄像头无法识别车道标示，3D高精度地图也无用武之地。

另外，还需要安装智能路灯，发送电子信号，让自动驾驶车能判断绿灯、黄灯和红灯。光雷达非常擅长捕捉传统交通灯，但是如果太阳低悬在地平面上，又在交通灯后，摄像头将很难工作。在这种视线受到限制的情况之下，自动驾驶汽车可以读取电子信号，判断是否应该前进。

投资建设智能交通系统是政府扶持私营部门的另一方式。正如前面所提到的，现在的交通信号灯效率低，因为是静止的，没有考虑到车流信息。如果交通灯是动态的，根据车流量调整间隔，将可以缓解道路交叉口的拥堵，减少空气污染。

### 允许道路测试和精准道路绘图

中国现有法规要求司机必须在车内，而且双手置于方向盘之上，这明显给自动驾驶汽车的推行带来限制。除非给予特别安排，否则试验项目也无法开展。<sup>81</sup>如果政府不灵活处理，放开道路测试，全自动驾驶汽车将无法在实际道路上测试。非实际道路环境下，也很难模拟公路驾驶的情形。

中国地方政府可以开放道路进行车辆测试。道路测试是自动驾驶汽车证明自己应对实际情况的最佳方式。软件设计师能够因此获得更多信息，进行车辆编程。从长期看，这将保证车辆最安全。成功的试验项目也让公众更相信自动驾驶汽车的安全性和可靠性。

减少道路测绘的限制也很重要。精确的地图关乎自动驾驶汽车的未来发展。现有技术可以将线路图的误差降低到几厘米。出于安全考虑，政府规定公共地图的精确度不能超过50米（165英尺）。因此，很难为自动驾驶汽车绘制精确的3D高精度地图。如果达不到这一精确度，车辆则无法安全行驶。企业需要获得国家测绘和地理信息局的特殊许可才能收集路况和桥梁高度、宽度等数据。企业还禁止收集军事管理区周围的任何道路信息。这给行业创新带来不必要的负担，也给行业收集所需信息带来难题。因为多数西方国家没有这类限制，这会让中国企业处于竞争劣势。

地图信息的收集也有繁冗的规定。企业不仅需要收集导航信息的许可，车里的每一位工程师也需要数据收集许可证。发放许可证的规定十分严格，从而影响绘制自动驾驶汽车不可或缺的高精度地图。

## 制定技术标准

技术标准对自动驾驶汽车至关重要。重庆长安汽车的自动驾驶项目总监李玉生（音译）认为，“如果能说服政府让每个企业、每辆车都采用单一标准……那么中国有望在自动驾驶汽车行业领先世界。”<sup>82</sup> 技术帮助企业了解如何制造产品，依靠最佳专业经验。

许多领域都需要技术标准。例如，标准可以帮助高精度地图的测绘。指南也可以规定测量、分析和精确度等方面的要求。这样可以在政府规定模糊的领域进行澄清。

车辆无线技术是一个尚不明确的领域。政府专家组的李玉生说，“中国可能会采纳手机信号技术用于车辆通信——这一技术已经广泛用于车辆上网——而不会使用欧美的DSRC标准。”<sup>83</sup> 中国可能会依靠LTE无线宽带或新兴的5G标准，后者预计将于2020年开始商业应用。

## 法律责任

要实现全面发展，自动驾驶汽车行业必须解决法律责任的问题。目前，保险公司根据司机年龄、性别、经验等进行详细的风险评估。由于多数事故都是人为造成的，保险公司关注谁有过错，超速、酒驾、忽视道路标示或撞车等造成的事故责任在谁。

目前还不清楚在没有司机或司机依靠自动控制系统的情况下，应该如何评估责任。中国的政策制定者正考虑不让司机承担法律责任。吉利公司董事长李书福说，“中国必须修改法律，自动驾驶模式下的车祸责任应当由制造商而不是司机承担。”<sup>84</sup>

这样的决策很重要。因为中国的道路上既有人，也有车。罗兰贝格公司的张君怡（音译）称，“在中国更难，因为中国的路上有行人、自行车、低速车和高速车，全都混在一起。环境十分复杂。很多人都不按照一个标准骑车或开车。”<sup>85</sup>

## 公众意识

行业和政府应当考虑组织公众宣传活动，让人们认识自动驾驶汽车及其对长期就业和经济发展的贡献。中国的自动驾驶汽车市场十分庞大，能创造巨大的经济效益。但是政府官员应当重视公众宣传，享受交通领域新技术的好处。

这种宣传活动将帮助人们了解什么是自动驾驶汽车，与传统汽车和卡车有何不同，半自动驾驶汽车和全自动自动驾驶汽车又有什么差别。公众参与很重要，这样才能让每个人都了解智能汽车和交通系统对社会、经济和人们生活的影响。<sup>86</sup>

## 欧洲的问题

欧盟在《阿姆斯特丹宣言》中宣布了自动驾驶汽车发展蓝图。荷兰官员Melanie Schultz van Haegen在宣言中指出，“我们希望加快速度，因为交通出行还可以取得很多进步。联网的自动化车辆将让道路更安全、可持续和高效。”<sup>87</sup>

为彰显其决心，荷兰派了6辆无人驾驶卡车以半自动驾驶的模式在全国巡游。卡车列队行驶，到达目的地时没有发生任何事故。这一试验项目引起媒体的积极关注，也增强了欧洲自动驾驶汽车发展的势头。

但是，欧洲的挑战在于提高人工智能水平，这对自动驾驶汽车至关重要。同时还要保证其严

格的隐私规定不限制高精度地图绘制。要增强这一领域的竞争力，欧洲车企需要掌握人工智能技术和高性能计算能力的专家，因为汽车制造不再只是实体设计，更包括软件开发和实时数据分析。欧盟也要保证其政策不影响对自动驾驶汽车至关重要的人工智能系统的开发。

### 提高人工智能和高精度测绘水平

欧洲车企对自动驾驶汽车感兴趣。奥迪A4的动态模式有几个半自动功能，安装了由Delphi、Mobileye、博世和高通设计的芯片。车上的感应器和制动系统可以实现驾驶过程的部分自动化。沃尔沃也有自己的智能安全辅助 (IntelliSafe Assist) 和巡航辅助 (Pilot Assist) 系统，奔驰使用限距控制系统 (Distronic Plus) 和转向辅助。<sup>88</sup> 宝马已经与英特尔和Mobileye合作开发半自动驾驶汽车。

但是欧洲国家没有很多实力雄厚的本土技术公司，在网络、绘图、芯片、感应器、设备和服务方面往往需要依靠外部企业。例如，Mobileye是一家生产摄像头和感应器的以色列公司。欧盟应该培养人工智能、深度学习、大数据分析、高精度测绘等领域的人才，这些技术对未来汽车发展至关重要。

### 数据收集和隐私保护的法规

欧盟在数据收集和分析领域采取限制性立场。例如，欧盟法规限制谷歌等企业收集路况数据和绘制街景地图。很多国家担心在非加密无线网络上的个人信息会在收集数据时被一并获取，欧盟已经多次因此处罚谷歌，索要谷歌的数据，并对收集的资料进行限制。<sup>89</sup>因此，在欧洲的企业很难绘制无人车所需的高精度地图。而没有这些地图，车辆就无法安全行驶。

更不幸的是，最近通过的《欧盟数据保护总则》严格限制人工智能和机器学习的使用。新规定“禁止任何‘严重影响’欧盟公民的自动化决定。这包括用于评估个人‘工作表现’、经济状况、健康、个人喜好、兴趣、可靠性、行为、位置或行踪”的技术。”<sup>90</sup>另外，这些新规定让公民有权评判数字服务如何做出影响个人的具体运算决策。

如果进行严格解读，这些规定将让欧洲软件设计者很难将人工智能和高精度测绘纳入到自动驾驶汽车之中。而汽车、卡车导航最关键的是跟踪位置和行踪。没有包含地理编码数据和利用此类信息的深度学习，自动驾驶技术将在欧洲停滞。通过上述数据保护措施，欧盟让其国内汽车企业处于不利的位置。

### 简化监管

和其他地区一样，欧盟有复杂的自动驾驶汽车监管流程。以德国为例。谷歌在采集公共道路街景数据之前，必须告知公众。除此之外，德国还限制公司保留私人住宅周围街道和高速公路图像数据的时间。人们也可以选择排除在数据采集之外，已经有三分之一德国人这样做了。<sup>91</sup>这些规定都限制了导航地图的准确性和更新地图的能力。

很多欧洲国家有不同的政策、法律和监管做法。缺乏统一性给系统设计者制造了问题。沃尔沃研发事务高级副总裁Peter Mertens认为，“如果欧洲、北美和中国各有一套解决方案，研发将十分困难。不仅技术如此，监管也是一样。”<sup>92</sup>

## 法律责任

英国一家叫Adrian Flux的保险公司为半自动驾驶和全自动驾驶汽车提供特殊保单。因为该公司估计事故数量和理赔请求都很少，其发言人称，“我预计全自动驾驶汽车的保费会比常规汽车低很多，因此事故和理赔数量都会降低。”这将减少公司收入，但是“低事故率意味着保险公司将节省开支，因为不必提供大量理赔。”<sup>93</sup>

## 日本和韩国的問題

日本和韩国政府以及车企对自动驾驶汽车持谨慎态度。日产于2013年获得政府首个自动驾驶汽车许可证，丰田、本田、起亚和现代也投入大量资源。但是他们必须决定自动驾驶汽车在自己的优先日程上处于什么位置。否则，随着企业和消费者转向自动驾驶汽车，他们将落在人后。

## 国家重视

《华尔街日报》的一个标题这样描述日本的情况：“丰田在转向自动驾驶汽车的过程中晚了一步”。<sup>94</sup>文章称丰田公司社长丰田章男是“自动驾驶汽车的怀疑者”，但是他已经认识到这一技术越来越先进，其他竞争对手正大步迈进这一领域。

2016年4月，丰田公司宣布正在密歇根大学建立“自动驾驶汽车研究基地”，这是美国丰田研究计划10亿美元投资的一部分。<sup>95</sup>基地将招聘50人，帮助公司在人工智能和高清数据绘图领域迎头赶上。其目标是建设原始模型实验室，在模拟路况中进行低速车辆测试。

虽然做了这笔投资，公司领导却宣布“丰田相信丰田汽车绝不会发展到司机无需手握方向盘的自动驾驶状态。”<sup>96</sup>丰田似乎对全自动驾驶汽车的前景持怀疑态度，尽管谷歌、百度和其他多家车企在该领域已经展示出不错的成绩。

具有讽刺意味的是，2012年，谷歌在其早期无人车测试中使用的是丰田汽车。当谷歌提出要与丰田在此技术上合作时，丰田却拒绝了，因为不想与外界分享车辆设计信息。其结果就是，丰田正在努力追赶，而汽车行业已经转向自动驾驶汽车。<sup>97</sup>

现在的主要问题是自动驾驶汽车有多么重要，韩国和日本企业希望对这一技术进行多少投资。这不仅仅是进入高端制造领域，将机器人技术带进工厂。人工智能、数据分析和高精度测绘都需要大量投资，因为这些都是自动驾驶汽车的基础。

## 政策和监管

日本现在要求国内所有汽车都由真人驾驶。车企需要特殊许可才能进行道路测试。国家警察厅的规定要求“所有公共道路上的测试都要有司机坐在方向盘后面，”这也就限制了全自动驾驶汽车的测试。<sup>98</sup>

另外，国家还在考虑其他几项限制性措施。其中包括“限制自动驾驶车辆进入高速公路，司机要为任何事故负责。”还要求“安装防止操作人员睡着或东张西望的装置，这一装置可以使用感应器判断操作人员的状态。”<sup>99</sup>

日本政府2015年发布指南，确定2020年在车内安装半自动装置，2025年启动全自动驾驶汽车。<sup>100</sup>韩国车企起亚和现代确定2030年运行全自动驾驶汽车的目标。日本已为此投入20亿美

元,韩国投入97.5亿美元。<sup>101</sup>但是它们的计划远远慢于美国和中国,在这两国半自动驾驶汽车已经上路运行,全自动驾驶汽车也将于2020年投入使用。日本政府需要加快车辆测试和应用,收获自动驾驶汽车带来的经济、社会和环境利益。

日本在制定技术标准方面也速度缓慢。目前,该国还没有支撑行业发展的“常用零部件规格和安全规范。”<sup>102</sup>日立、电装和松下等供货商因此抱怨,称需要制定标准,让它们了解市场需求。它们担心美国或欧洲零部件标准将使得日本供货商在全球竞争中处于劣势。

企业已经要求日本土地、基础设施、交通和旅游部制定“能够实时传递交通和事故数据的智能公路基础设施标准。这一技术可用来调整电子信号速度限制,缓解交通,或向智能车辆的仪表盘直接传送道路建设警示信息。”<sup>103</sup>

韩国政府也将自动驾驶汽车列为13个工业引擎项目中的一个。韩国贸易、工业和能源部已经制定预算2955亿韩币(2.59亿美元),支持2016-2022年自动驾驶汽车行业发展。<sup>104</sup>目标是让韩国成为全球主要零部件供应国。但是由于多数国家缺乏标准,这一战略将很难实施。

为组织政府活动,政府官员成立了智能汽车理事会,以协调各部行动。这包括科学、通信技术和未来规划部、土地、基础设施和交通部及贸易、工业和能源部。<sup>105</sup>理事会的任务是确保官员合作。

与日本的情况相似,商业应用还很慢。现代已经在首尔测试半自动驾驶汽车。但是公司报告称,无人驾驶汽车到2030年才能问世,远远落后许多国家。现代公司高级研究和工程协会副主席权泰熙-利姆表示,“实现无人驾驶汽车还有一定的路要走,要把无人车变成现实需要大量研究和严格的产品测试。”<sup>106</sup>

2016年5月,韩国政府批准全国都可以进行道路测试,而不是之前的某些区域。<sup>107</sup>这是朝着无人车迈开的积极一步,因为没有实际测试,就很难完善技术。

## 美国的问题

美国最大的挑战在于解决50个州政府各自为战的问题,制定超越地理界限的统一指南。政府官员需要解决谁监管、如何监管、法律责任、隐私和数据收集等问题。

## 国家投入

奥巴马总统提出10年内投入40亿美元“在全国指定的通道内测试联网车辆系统,并与行业领袖共同制定统一的联网和自动驾驶汽车跨州框架。”<sup>108</sup>然而,迄今为止,国会还未批准这项投资计划,这一项目还需要立法部门授权。国会议员应该批准这一预算请求,这样国家才能投资基础设施改善。

## 各州的国家指南

目前,在州一级几乎没有达成技术标准,监管也是五花八门。<sup>109</sup>企业需要应对千差万别的50个州的规定。前谷歌自动驾驶汽车项目主管Chris Urmson称,“在过去两年间,23个州提出了53部与自动驾驶汽车相关的法律——各自都有不同的方式和概念。5个州通过了这类法律。尽管都是要推动本地自动驾驶技术发展,这些法律却没有共同的概念、许可框架或对制造商的期望。”<sup>110</sup>这对车企带来不良影响,因为它们需要更加统一的方式。企业为德克萨斯州设计的汽车,

不能到了伊利诺伊、佛罗里达或纽约就无法运行了。

加州尤其为甚。该州的法律限制性过强，要求司机必须坐在前排，还禁止企业卸去手动操作的方向盘和刹车，从而阻碍了自动驾驶汽车的发展。这不仅抵消了无人驾驶汽车的优点，还为汽车行业的创新制造了障碍。

为简化监管，国家高速公路交通安全管理局预计将公布新的规定，在促进创新的同时，保护消费者安全。其中的一些内容包括指导各州制定统一规则，为过时的安全监管设定例外情形，为新装置制定操作指南，利用新工具鼓励自动驾驶汽车发展。<sup>111</sup>

但是制造商仍然面临一大障碍，联邦政府坚持自动驾驶汽车应保留方向盘和刹车，车内必须有具备资格的司机。一些设计者认为，让人来操控安全装置给醉驾司机创造了机会，也会让乘客掉以轻心，十分危险。

在逐步放开自动驾驶汽车的过程中，美国法规可能要求“在多年——至少5年——的时间内证明其安全和经济效益”。这无异于以往安装前置气囊和其他装置的做法。制造商一般有5-10年的时间来满足新的安全标准。<sup>112</sup>

## 法律责任

保险成本低是消费者喜欢自动驾驶汽车的理由之一。<sup>113</sup> 几乎三分之一的人给出这一理由，其他人把安全性能高和可以切换到自动驾驶模式作为购买半自动驾驶汽车的原因。

然而，还不清楚保险公司将如何在新的交通世界处理理赔请求。事故是谁的错？司机、控制自动装置的软件程序员还是制造硬件的汽车制造商？需要打几场官司才能认定责任。保险公司需要先花些时间在事故记录的基础之上制定精算表，才能知道收取司机多少保险费。

兰德公司的研究建议为无人驾驶汽车设置无过错保险。原因是无人驾驶汽车不容易受到人为失误影响，因此彻底改变了法律责任。<sup>114</sup> 无人驾驶车将更多责任从司机转移到制造商和软件设计者身上。

对后者而言，产品责任法可以用来解决法律责任。车企负责产品缺陷问题，因此他们的责任是确保产品按照期望运行，不给乘客带来不必要的风险。<sup>115</sup>

在分析产品责任时，布鲁金斯学会非常驻高级研究员John Villasenor描述了七种责任，包括疏忽大意、严格责任、制造瑕疵、设计瑕疵、未进行警告、虚假陈述和违反质量保证。上述领域都有成熟的案例法。他指出“产品责任法非常适用于新技术。”<sup>116</sup>

目前汽车责任很复杂，因为美国有2.62亿辆汽车，平均寿命是11.5年。<sup>117</sup> 由于配有高级安全装置的无人驾驶汽车投向市场速度缓慢，所有的老汽车停止使用还需要很多年的时间。因此会出现10年甚至更长时间的新老汽车混合的复杂局面。

## 数据保护、隐私和安全

到2020年，即将上市的5G网络将支持500亿联网车辆和2120亿台联网感应器，传输44ZB的数据。<sup>118</sup> 这包括智能手机、平板电脑、智能手表、自动驾驶汽车、机械、家电和远程监控设备。<sup>119</sup> 所有这些将产生海量、可供分析的“有用信息”。研究人员估计，这一相互联系的生态系统

将使得利用比以往 (5%) 更大比例的数字信息 (35%) 成为可能。<sup>120</sup>

车辆收集的数据创造新的商业模式。比如在保险业,“通过联网车辆,保险公司可以看到司机实际驾车的情况,实时风险和对情况的实时反应。这样,他们可以创新很多产品和定价战略,保护司机不受伤害,几乎可以从卖保险转向卖保障。”<sup>121</sup>

State Farm和Progressive等几家美国保险公司都有安全驾驶的保险规定,“收集行驶里程、加速、刹车、左右转弯、时速超过80英里、每天的开车时间等信息,并以此计算保费。”<sup>122</sup>消费者维权人士担心这些信息会卖给第三方,损害司机的利益。很明显,车辆收集大量关于人们位置、短信、网上购物(包括信用卡号码)和其他在联网汽车上进行的活动的信息。

鉴于此,需要采取保障措施,保护人们的IP地址、个人信息、GPS定位数据等等。电子隐私信息中心的Khaliah Barnes认为,汽车制造商和自动驾驶汽车服务企业的隐私政策允许披露司机信息,用以“解决问题、评估使用和研究”,以及向匿名第三方提供“用于营销用途”。<sup>123</sup>

在德州农工大学交通政策研究中心的一项研究中,Karlyn Stanley和Jason Wagner呼吁制定新的隐私法律。其中包括“保护某些群体(如青少年)的数据隐私和特殊情况下公民的数据隐私(如在搜捕令中使用位置数据)。”<sup>124</sup>他们还警告“利益相关方急于进行车辆信息货币化”以及“车辆数据所有者”存在不确定性。

另外,提高网络安全标准将促进合规,保证所有制造商能采取有效保护措施。无线网络连接尤其如此,无线网络往往不加密,因此容易受到破坏。安全与隐私保护不同,因为安全关注的是企图伤害司机和乘客的恶意行为。

由Josh Corman共同成立的“我是骑士”(I Am The Calvary)建议采取五项措施保护消费者:“提高设计安全性以减少攻击点、第三方测试、内部监督系统、分离架构以限制任何成功入侵造成的损害以及像电脑一样通过网络升级安全软件。”<sup>125</sup>采取以上措施将有力缓解对自动驾驶汽车数据收集的担忧。

通过恶意行动立法,惩罚破坏自动驾驶汽车的行为

新技术有时出现的一个问题是通过测试其极限和努力,破坏其运行。如果高速行驶的大型设备遇到这种情况,后果会非常严重。

自动驾驶汽车面临的危险多种多样。其中包括将激光照在汽车摄像头上破坏导航系统,攻击电脑代码,控制刹车和转向,将物体置于车前改变其运动,或发射电子信号改变其路线等等。

政策制定者应考虑制定法律,将针对自动驾驶汽车的恶意行为定罪,对从事这一行为的个人处以刑罚。重要的是自动驾驶汽车安全行驶,人们不破坏汽车软件或硬件危害乘客。任何从事这一行为的个人应依法受到严惩。

## 总结

总而言之,支撑半自动驾驶和无人驾驶(全自动驾驶)的技术发展良好,而且将进行商业应用。大型车企和软件开发企业也在导航、防碰撞和街道绘图方面取得了长足进展。

但是要充分享受自动驾驶汽车的优点,每个国家还需解决预算、政策和监管问题。政府可以

通过监管的方式加速或放缓向自动驾驶的过渡。解决相关问题，确保监管法规明确，应当是所有考虑发展自动驾驶汽车国家的重要任务。

澳大利亚国家交通委员会的一份关于自动驾驶汽车的详细报告指出，最重要的监管任务应该是“支持道路测试和澄清控制和适当控制的含义。”目前，关于“谁或什么在控制”以及什么是适当控制还存在不确定性。<sup>126</sup> 报告的作者呼吁制定道路试验、司机规则、控制期望和法律责任的指南。

从产业层角度看，还需要解决基础设施薄弱、天气恶劣、频谱限制、黑客攻击和公众接受度等障碍。只有这样，司机和企业才能享受数字创新的好处。如果车企能超越这些障碍，交通和社会才能取得实实在在的进步。

在实现商业推广的过程中，还有更广泛的社会和道德考量。程序员如何将道德的选择融入到自动装置和高级运算之中？例如，假设一辆自动汽车面临撞到一个孩子和10个孩子的后果，应该作何选择？运算中有哪些因素使得系统转向一方或另外一方？可以想象，会出现各种各样的道德问题，软件设计师必须选择如何应对。<sup>127</sup> 学习解决这些复杂的问题也是世界面临的一大挑战。

## 注释

感谢Hillary Schaub、Jacob Lineberry和 Gabrielle Jackson为本项目提供的研究帮助。Niam Yaraghi为初稿提出了意见，并解释了关键概念。

- 1 2016年6月10日采访英特尔Bridget Karlin。
- 2 2016年8月18日Newsroom报道“Intel Accelerates Autonomous Driving Vision at IDF Investor Day”。
- 3 2016年7月18-24日《彭博新闻周刊》刊登的David Welch文章“The Battle for Smart Car Data”。
- 4 2016年4月8日Doug Newcomb载于《福布斯》的文章“Volvo’s China 100-Vehicle Autonomous Car Trial Pushes Self-Driving Technology, Regulation,” 2016年7月4日《纽约时报》上John Markoff的文章“Tesla and Google Take Different Roads to Self-Driving Car”。
- 5 2016年1月, 世界经济论坛与埃森哲的合作研究“Digital Transformation of Industries: Automotive Industry,” 作者Bruce Weindelt。
- 6 公开数据库Labeled Faces in the Wild (LFW)的测试结果, 内容详见 <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/results.html#attsim>。
- 7 2016年7月12日采访百度专家的内容
- 8 2016年7月12日采访百度专家的内容
- 9 2011年8月20日《华尔街日报》上的文章“Why Software Is Eating The World”, 作者Marc Andreessen
- 10 2015年波士顿咨询集团报告“Revolution in the Driver’s Seat: The Road to Autonomous Vehicles,” 作者Xavier Mosquet, Thomas Dauner, Nikolaus Lang, Michael Rubmann, Antonella Mei-Pochtler, Rakshita Agrawal和Florian Schmiege。
- 11 2016年5月11日ZDNet刊载文章“Ford: Self-Driving Cars Are Five Years Away From Changing the World,” 作者Steve Ranger。
- 12 2016年7月11日《纽约时报》文章“Lessons from the Tesla Crash,” 2016年8月Hal Singer博客文章“You Had Me At Autopilot, Elon,”
- 13 《纽约时报》2016年7月12日文章“As U.S. Investigates Fatal Crash, Company Defends Autopilot System,” 作者Bill Vlasic and Neal Boudette。2016年7月29日文章“Tesla Faults Brakes, but Not Autopilot, in Fatal Crash,” 作者Neal Boudette。
- 14 Bill Vlasic and Neal Boudette, “As U.S. Investigates Fatal Crash, Company Defends Autopilot System,” New York Times, July 12, 2016. 《纽约时报》2016年7月12日文章“As U.S. Investigates Fatal Crash, Company Defends Autopilot System,” 作者Bill Vlasic 和Neal Boudette。
- 15 2015年11月18日Diarmuid O’Connell在众议院监督和政府改革委员会的证词第3页。
- 16 《纽约时报》9月9日文章“Your Car’s New Software Is Ready. Update Now?”, 作者Eric Taub。
- 17 《纽约时报》2016年7月8日文章“The Autonomous Car Vs. Human Nature,” 作者John Quain。第B4页。
- 18 2016年7月12日采访百度专家的内容
- 19 Chris Urmson2016年3月15日在参议院商业、科学与技术委员会证词第2页。
- 20 2016年1月24日彭博新闻“Baidu Enters the Global Race for Driverless Car Domination”。

- 21 2016年1月24日彭博新闻“Baidu Enters the Global Race for Driverless Car Domination”。
- 22 2016年6月21日采访谷歌George Ivanov。
- 23 2015年7月17日CBS新闻“Google Driverless Car Involved in First Injury-Causing Accident”。
- 24 Chris Urmson 2016年3月15日在参议院商业、科学与技术委员会证词第3页。
- 25 2015年12月18日《中国日报》文章“Tech Tycoons Take a Ride Into the Future,” 作者Meng Jing。
- 26 2016年6月22日《中国日报》文章“Officials Want to Open Way for Autonomous Driving”。
- 27 2016年1月24日彭博新闻“Baidu Enters the Global Race for Driverless Car Domination”。
- 28 2015年4月波士顿咨询集团报告“Revolution in the Driver’s Seat: The Road to Autonomous Vehicles,” 作者Xavier Mosquet, Thomas Dauner, Nikolaus Lang, Michael Rubmann, Antonella Mei-Pochtler, Rakshita Agrawal和Florian Schmieg。第16页。
- 29 2016年8月25日美联社新闻“World’s First Self-Driving Taxis Debut in Singapore。” 作者Annabelle Liang。
- 30 美国交通部报告“Beyond Traffic, 2045: Trends and Choices”。第35页。
- 31 2016年8月18日彭博新闻周刊文章“Uber’s First Self-Driving Fleet Arrives in Pittsburgh This Month”, 作者Max Chafkin。
- 32 2016年6月17日《纽约时报》文章“China’s Didi, Uber Rival, Adds Cash for Battle”, 作者Paul Mozur 和Michael de la Merced。
- 33 2016年7月11日Top News文章“Didi Travel Quietly Raise Prices Chinese Taxi Market Subsidies or War Will End”, 2016年6月17日《纽约时报》文章“China’s Didi, Uber Rival, Adds Cash for Battle,” 作者Paul Mozur和Michael de la Merced。2016年5月16日《华盛顿邮报》文章“Apple’s Big Bet on China is Also a Bet on Driverless Cars,” 作者Brian Fung。
- 34 2016年8月1日《纽约时报》文章“Uber to Sell to Rival Didi Chuxing and Create New Businesses in China,” 作者Paul Mozur 和Mike Isaac。
- 35 Daniel Fagnant 和Kara Kockelman在2014年1月交通研究理事会第93次年会提交的文章“The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles Using Agent-Based Model Scenarios”。第1-13页。
- 36 2016年4月23日phys.org上的文章“Chinese Firms Accelerate in Race Toward Driverless Future”, 作者Julien Girault。
- 37 2016年2月11日2025 AD Team的文章“Japan’s Olympics Dream: Driverless Cars on the Road for 2020”。
- 38 2016年4月23日phys.org上的文章“Chinese Firms Accelerate in Race Toward Driverless Future”, 作者Julien Girault。
- 39 2016年4月3日《纽约时报》文章“China’s Companies Poised to Take Leap in Developing a Driverless Car”, 作者John Markoff 和Paul Mozur。
- 40 2016年9月6日采访英特尔Jack Weast。
- 41 2016年7月25日采访兰德公司Karlyn Stanley。
- 42 2016年5月30日《纽约时报》文章“Beijing’s Electric Bikes, the Wheels of E-Commerce, Face Traffic Backlash”, 作者Chris Buckley。
- 43 2016年5月17日《纽约时报》文章“Want to Buy a Self-Driving Car? Trucks May Come First”, 作者John Markoff。

- 44 2016年5月17日《华尔街日报》文章“Autonomous-Driving Venture Targets Heavy Trucks”，作者Mike Ramsey。
- 45 美国统计局2014年5月报告An Aging Nation: The Older Population in the United States”，作者Jennifer Ortman, Victoria Velkoff和Howard Hogan。美国交通部报告“Beyond Traffic, 2045: Trends and Choices”，第11页。
- 46 布鲁金斯学会技术创新中心2014年报告“mHealth in China and the United States”，作者Yu Xiaohui, Han Han, Du Jiadong, Wei Liurong, Li Cheng, Zhang Xueli, Li Haihua, Huang Ying, Sun Ke, Li Na, Darrell West 和 Joshua Bleiberg。第9页。
- 47 彭博技术2015年10月28日文章“Japan’s Carmakers Proceed With Caution on Self-Driving Cars”，作者Jie Ma。
- 48 2015年疾控中心报告”53 Million Adults in the US Live with a Disability”。
- 49 2016年5月30日《纽约时报》文章“Beijing’s Electric Bikes, the Wheels of E-Commerce, Face Traffic Backlash”，作者Chris Buckley
- 50 2015年10月28日彭博技术文章“Japan’s Carmakers Proceed With Caution on Self-Driving Cars”，作者Jie Ma。
- 51 世界卫生组织2010年报告“Global Health Observatory Data: Number of Road Traffic Deaths”
- 52 2014年2月25日摩根斯坦利研究“Nikola’s Revenge: TSLA’s New Path of Disruption”，24-26页。
- 53 兰德公司2016年报告“Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers”，作者James Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras和Oluwatobi Oluwatola。
- 54 《纽约时报》2016年5月30日文章“Beijing’s Electric Bikes, the Wheels of E-Commerce, Face Traffic Backlash”，作者Chris Buckley。
- 55 2015年11月18日Nathaniel Beuse在众议院监督和政府改革委员会的证词。2016年6月2日《华尔街日报》文章“Baidu Plans to Mass Produce Autonomous Cars in Five Years”，作者Alyssa Abkowitz。
- 56 Delphi公司的Glen De Vos 2016年3月15在参议院商业、科学和技术委员会听证会上的证词，第4页。
- 57 美国交通部2015年报告“Beyond Traffic, 2045: Trends and Choices”，第11页。
- 58 2016年1月世界经济论坛与埃森哲联合报告“Digital Transformation of Industries: Automotive Industry”，第4页。作者Bruce Weindelt。
- 59 2016年4月21日李书福《华尔街日报》文章“Paving the Way for Autonomous Cars in China”。
- 60 《纽约时报》2016年5月30日文章“Beijing’s Electric Bikes, the Wheels of E-Commerce, Face Traffic Backlash”，作者Chris Buckley。
- 61 Access 2007年第30卷文章“Cruising for Parking”，第16-22页。作者Daniel Shoup。
- 62 2016年1月世界经济论坛与埃森哲联合报告“Digital Transformation of Industries: Automotive Industry”，第4页。作者Bruce Weindelt。
- 63 2016年7月12日采访百度专家。
- 64 兰德公司2016年报告“Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers”，作者James Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras和Oluwatobi Oluwatola，第 xvi页。
- 65 2016年8月29日《纽约时报》文章“Stuck in Traffic, Polluting the Inside of Our Cars”，作者Tatiana Schlossberg。
- 66 Daniel Fagnant 和Kara Kockelman在2014年1月交通研究理事会第93次年会提交的文章“The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles Using Agent-Based Model Scenarios”。第1-13页。

- 67 2016年6月30日采访Uber公司Ashwini Chabra。
- 68 2016年7月5日采访Lyft公司Rob Grant。
- 69 TR News 2014年5-6月文章“Who Is In Charge? The Promises and Pitfalls of Driverless Cars”，第28页，作者Mary Cummings 和Jason Ryan。
- 70 《连线》2015年7月21日文章“Hackers Remotely Kill a Jeep on the Highway - With Me In It”，作者Andy Greenberg。
- 71 2015年4月第16卷IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 第554页，作者Jonathan Petit 和Steven Shladover。
- 72 波士顿咨询公司2014年11月报告“Make in India: Turning Vision Into Reality”，第20页，作者Arindam Bhattacharya, Arun Bruce, Anirban Mukherjee。
- 73 Delphi公司的Glen De Vos 2016年3月15日在参议院商业、科学和技术委员会听证会上的证词，第6页。
- 74 2016年1月24日彭博新闻“Baidu Enters the Global Race for Driverless Car Domination”。
- 75 2016年8月18日《彭博新闻周刊》文章“Uber’s First Self-Driving Fleet Arrives in Pittsburgh This Month, 作者Max Chafkin。
- 76 Sandy Lobenstein2015年11月18日在众议院监督和改革委员会的证词，第5页。
- 77 密歇根大学世界可持续交通研究所报告“Motorists’ Preferences for Different Levels of Vehicle Automaton: 2016”，作者Brandon Schoettle和Michael Sivak。
- 78 路透社 2016年4月23日文章“China’s Roadmap to Self-Driving Cars”。《中国日报》2016年6月22日文章“Officials Want to Open Way for Autonomous Driving”。
- 79 2016年4月23日phys.org上的文章“Chinese Firms Accelerate in Race Toward Driverless Future”，作者Julien Girault。
- 80 2016年1月24日《彭博新闻》文章“Baidu Enters the Global Race for Driverless Car Domination”。
- 81 《中国日报》2016年6月22日文章“Officials Want to Open Way for Autonomous Driving”。
- 82 路透社 2016年4月23日文章“China’s Roadmap to Self-Driving Cars”。
- 83 路透社 2016年4月23日文章“China’s Roadmap to Self-Driving Cars”。
- 84 路透社 2016年4月23日文章“China’s Roadmap to Self-Driving Cars”。
- 85 2016年4月3日《纽约时报》文章“China’s Companies Poised to Take Leap in Developing a Driverless Car”，作者John Markoff 和Paul Mozur。
- 86 2016年7月14日采访百度专家。
- 87 Malaymail Online 2016年4月14日文章，“European Countries Agree to Co-Operate on Connected and Autonomous Cars”。
- 88 Ars Technica 2016年5月16日文章“From Audi to Volvo, Most ‘Self-Driving’ Cars Use the Same Hardware”，作者Jonathan Gitlin。
- 89 《纽约时报》2013年4月23日文章“Germany’s Complicated Relationship with Google Street View”，作者Claire Miller和Kevin O’ Brien。
- 90 《连线》2016年7月11日文章“Artificial Intelligence is Setting Up the Internet for a Huge Clash with Europe”，

作者Cade Metz。

91 《纽约时报》2013年4月23日文章“Germany’s Complicated Relationship with Google Street View”，作者 Claire Miller 和Kevin O’ Brien。

92 《福布斯》2016年4月8日文章“Volvo’s China 100-Vehicle Autonomous Car Trial Pushes Self-Driving Technology, Regulation”，作者Doug Newcomb。

93 《华盛顿邮报》6月9日文章“This Company Just Solved One of the Thorniest Problems for Driverless Cars”，作者Brian Fung。

94 《华盛顿邮报》1月12日文章“Behind Toyota’s Late Shift Into Self-Driving Cars”。

95 《底特律新闻》2016年4月7日文章“Toyota to Launch Ann Arbor Autonomous Car Research Base”，作者Michael Martinez。

96 《底特律新闻》2016年4月7日文章“Toyota to Launch Ann Arbor Autonomous Car Research Base”，作者Michael Martinez。

97 《麻省理工学院技术评论》2016年6月21日文章“Toyota Makes a U-Turn on autonomous Cars”，作者George Anders。

98 《汽车与自行车》杂志2016年5月28日文章“Japan Won’t Allow Testing of Fully Autonomous Cars On Public Roads”，作者Sameer Contractor。

99 《亚洲评论》2016年7月10日文章“Japan, Europe to Set Rules for Self-Driving Cars”。

100 2016年1月22日文章“Toyota Accelerates Its Self-Driving Plans – But Is Japan Ready for Autonomous Cars?”，作者Yusuke Sasaki。

101 《数字潮流》文章“Kia Promises Autonomous-Driving Tech by 2020”，作者Stephen Edelstein。ZDNet2015年11月19日文章“Hyundai to Develop Fully Autonomous Cars by 2030”。

102 《国际商业时报》2015年2月26日文章“Self-Driving Cars: Japan Wants to Establish Global Standard for Autonomous Vehicle Technology, Safety, Infrastructure”，作者Angelo Young。

103 《国际商业时报》2015年2月26日文章“Self-Driving Cars: Japan Wants to Establish Global Standard for Autonomous Vehicle Technology, Safety, Infrastructure”，作者Angelo Young。

104 Jeong Eun Ha 2015年9月24日文章“Autonomous Vehicle Industry in Korea”。

105 Jeong Eun Ha 2015年9月24日文章“Autonomous Vehicle Industry in Korea”。

106 ZDNet 2015年11月19日文章“Hyundai to Develop Fully Autonomous Cars by 2030”，作者 Philip Iglauer。

107 韩联社2016年5月18日文章“S. Korea Decides to Ease Regulations on Drones, Biotech, Autonomous Vehicles”。

108 美国高速公路交通安全管理局2016年1月14日新闻“Secretary Foxx Unveils President Obama’s FY17 Budget Proposal of Nearly \$4 Billion for Automated Vehicles”。

109 2016年2月23日州立法机关全国会议“Autonomous Self-Driving Vehicles Legislation”。

110 Chris Urmson2016年3月15日在参议院商业、科学与技术委员会证词第4页。

111 《底特律新闻》2016年6月8日文章“Feds to Release New Autonomous Car Guidelines in July”，作者Michael Wayland。

112 2015年波士顿咨询集团报告“Revolution in the Driver’s Seat: The Road to Autonomous Vehicles,” 作者

Xavier Mosquet, Thomas Dauner, Nikolaus Lang, Michael Rubmann, Antonella Mei-Pochtler, Rakshita Agrawal和 Florian Schmieg, 第20页。

113 2015年波士顿咨询集团报告“Revolution in the Driver’s Seat: The Road to Autonomous Vehicles,” 作者 Xavier Mosquet, Thomas Dauner, Nikolaus Lang, Michael Rubmann, Antonella Mei-Pochtler, Rakshita Agrawal和 Florian Schmieg, 第11页。

114 兰德公司2016年报告“Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers”, 作者James Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras和Oluwatobi Oluwatola, 第116页。

115 兰德公司2016年报告“Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers”, 作者James Anderson, Nidhi Kalra, Karlyn Stanley, Paul Sorensen, Constantine Samaras和Oluwatobi Oluwatola, 第120-22页。

116 布鲁金斯学会技术创新中心2014年4月报告“Products Liability and Driverless Cars”, 作者John Villasenor。

117 Delphi公司的Glen De Vos 2016年3月15在参议院商业、科学和技术委员会听证会上的证词, 第6页。

118 数字引用《商业新闻》2013年10月3日文章“The Internet of Things Is Poised to Change Everything”, 作者Carrie MacGillivray, 以及ZDNet 2015年3月2日文章“The Internet of Things and Big Data”, 作者 Charles McLellan。

119 设备数据引自2016年5月2日《彭博新闻》文章“5G Networks Will Do Much More Than Stream Better Cat Videos”, 感应器数据引自Bridget Karlin2016年6月10日的采访。

120 EMC 2014年4月9日文章“Digital Universe Invaded By Sensors”, 作者Hadley Weinzierl。

121 《福布斯》2016年2月19日文章“Driverless Cars Could Drive Car Insurance Companies Out of Business”, 作者 Jeff McMahon。

122 Khaliah Barnes 2015年11月18日在众议院监督和政府改革委员会的证词, 第13页。

123 Khaliah Barnes 2015年11月18日在众议院监督和政府改革委员会的证词, 第11页。

124 德州农工大学交通政策研究中心2015年11月报告“Revolutionizing our Roadways: Data Privacy Considerations for Automated and Connected Vehicles”, 第一页, 作者Karlyn Stanley and Jason Wagner。

125 《连线》2015年7月21日文章“Hackers Remotely Kill a Jeep on the Highway – With Me In It”, 作者Andy Greenberg。

126 澳大利亚国家交通委员会2016年5月报告“Regulatory Options for Automated Vehicles”, 第8-9页。

127 “2016年6月24日《科学》杂志文章“The Social Dilemma of Autonomous Vehicles”, 作者Jean-Francois Bonnefon, Azim Shariff和 Iyad Rahwan。

#### GOVERNANCE STUDIES

The Brookings Institution  
1775 Massachusetts Ave., NW  
Washington, DC 20036  
Tel: 202.797.6090  
Fax: 202.797.6144  
[brookings.edu/governance](http://brookings.edu/governance)

**PRODUCTION & LAYOUT**  
Cathy Howell

#### EMAIL YOUR COMMENTS TO [GSCOMMENTS@BROOKINGS.EDU](mailto:GSCOMMENTS@BROOKINGS.EDU)

This paper is distributed in the expectation that it may elicit useful comments and is subject to subsequent revision. The views expressed in this piece are those of the authors and should not be attributed to the staff, officers or trustees of the Brookings Institution.

The Brookings Institution is a nonprofit organization devoted to independent research and policy solutions. Its mission is to conduct high-quality, independent research and, based on that research, to provide innovative, practical recommendations for policymakers and the public. The conclusions and recommendations of any Brookings publication are solely those of its author(s), and do not reflect the views of the Institution, its management, or its other scholars.