

# 自动驾驶车辆对城市的影响与规划应对： 基于涟漪模型的文献综述

The Impacts of Autonomous Vehicle on the Cities and Planning Responses:  
A Literature Review Based on Ripple Effect Model

秦波 陈筱璇 屈伸  
Qin Bo, Chen Xiaoxuan, Qu Shen

**摘要：**近年来自动驾驶技术实现突破，将从根本上改变个体交通出行的方式，进而可能对经济社会各方面产生重要而深远的影响。本文聚焦于自动驾驶车辆对城市的系统影响与规划的应对，以涟漪模型为分析框架对国内外相关文献展开梳理：在认识自动驾驶技术特点和发展现状基础上，依次剖析自动驾驶车辆对城市交通、土地利用，以及经济、社会、环境带来的影响，并提出可能的交通规划、土地利用规划以及社会经济发展规划应对举措。通过文献综述，可以看到自动驾驶技术的发展对城市的影响有利有弊；而作为规划师，须密切关注甚至参与其发展，并对规划原则和技术进行相应调整。

**Abstract:** Recently the autonomous driving technology has achieved breakthrough, which will affect our travel behaviors, and thus bring changes to socio-economic systems. By using Ripple Effect Model, this paper conducts a systematic literature review on the impacts of autonomous vehicle on the cities and planning responses. After introducing the development of autonomous driving technology, the paper summarizes the impacts of autonomous vehicle on urban transportation, land use, and socio-economic system, and proposes potential responses for planners. By the literature review, it is suggested that the impacts of autonomous driving technology to the cities contain both positive and negative sides. For urban planners it is necessary to keep update with and even participate in the technical advancement, and to adjust the existing planning principles and techniques accordingly.

**关键词：**自动驾驶车辆；涟漪模型；城市系统；交通规划；空间形态；社会公平；规划应对；文献综述

**Keywords:** Autonomous Vehicle; Ripple Effect Model; Urban System; Transport Planning; Spatial Form; Social Equity; Planning Response; Literature Review

中国人民大学科学研究基金（中央高校基本科研业务费专项资金资助）项目（16XN1001），北京建筑大学未来城市设计高精尖创新中心资助项目（UDC2018010921）

**作者：**秦波，博士，中国人民大学公共管理学院城市规划与管理系，教授，博导。  
qinbo@ruc.edu.cn  
陈筱璇，中国人民大学公共管理学院城市规划与管理系  
屈伸，波特兰州立大学城市与公共事务学院

自动驾驶车辆是指能够感知周边环境，无需人力投入即可以自动控制驾驶的车辆。自动驾驶技术是通过给车辆装备智能软件和多种感应设备，包括车载传感器、雷达、GPS 以及摄像头等，来确定合适的行驶路径与方式<sup>[1]</sup>。随着相关技术逐步成熟，自动驾驶车辆发展迅速，成为国内外关注的重要话题。根据麦肯锡的预测，到 2025 年自动驾驶车辆可以产生 2 000 亿 ~ 1.9 万亿美元的产值；到 2030 年，自动驾驶车辆将占据机动车销售总量的 15%<sup>[2]</sup>。虽仍然有少数怀疑派存在，但大多数专家相信自动驾驶车辆将在本世纪中叶实现大规模使用。

发展如火如荼的自动驾驶车辆将对人类社会产生极大影响，毫无疑问也会对城市产生重大影响。国内已有学者关注到这一新兴技术并进行研究<sup>[3,4]</sup>，但总体来看相关文献数量较少，并且缺乏系统性。本文以政策研究常用的涟漪模型作为分析框架<sup>[5]</sup>，对各国自动驾驶车辆与城市规划相关文献进行梳理，总结归纳自动驾驶车辆对城市的影响；并以此为基础，提出规划师面对自动驾驶车辆发展的应对措施，以期对我国城市规划中道路设计、空间规划、发展规划等不同领域研究提供参考。

## 1 自动驾驶车辆的发展历程

如今已现雏形的自动驾驶车辆并非一蹴而就，而是经历反复探索和实验逐步发展而来<sup>[6]</sup>。事实上自动驾驶车辆是一个复合概念，按照其自动化程度可以分为六个等级<sup>[1]</sup>。从完全人工操控的 0 级到完全自动化的 5 级，车辆自动化控制的程度依次递增（表 1）。其中第 2 和第 3 级为重要的分水岭——2 级及以下仍需要驾驶

员的控制，只有3级及以上才能称之为具备自动驾驶能力。

自1970年代，美国和德国等国家已开始进行自动驾驶研究。1980年代美国提出自主地面车辆计划，卡耐基梅隆大学、麻省理工大学等高校也对自动驾驶展开了大量研发和测试。但当时处理器的计算能力以及编程技术都不足以应对实际行驶过程中路况环境的复杂性，于是研究重点逐步转移到自动驾驶的辅助部分（表1中1、2、3级别），研发出包括防抱死制动系统、自动巡航功能、自动泊车等成熟工艺，并为车企广泛运用<sup>[7]</sup>。

进入21世纪，以谷歌为代表的IT企业加入自动驾驶车辆的研发行列并取得相当瞩目的进展。2011年，美国内华达州机动车辆管理部门为谷歌的自动驾驶车辆颁发了首例驾驶许可证，意味谷歌自动驾驶车辆获得了上路许可。随后，谷歌的自动驾驶车辆在加州等多地进行测试，目前已在自动驾驶模式下行驶超过800万英里<sup>[8]</sup>。截至2015年底，美国已有密歇根、佐治亚、得克萨斯、亚利桑那、加利福尼亚和华盛顿等州获得了允许自动驾驶车辆进行路测的许可。面对愈发激烈的市场竞争，宝马、奥迪、奔驰、福特、大众、沃尔沃、日产汽车等也纷纷投入巨资进行自动驾驶技术的探索。

紧跟国际研发前沿，国内自动驾驶车辆的研发也取得了相当进展。1980年代，国防科技大学等机构开始对自动驾驶技术进行研发。2003年国防科技大学与一汽合作研制的红旗CA7460实现了在高速公路上根据前方障碍车辆的情况自动变换车道；2011年研制的HQ3自行从长沙通过高速公路驶到武汉，平均时速为87 km/h<sup>[9]</sup>。我国IT企业中的百度于2015年12月成立了自动驾驶事业部，专注于自动驾驶车辆的研发。随后，百度连续发布可以依靠高精度地图和导航定位，在封闭场地循迹自动驾驶的Apollo1.0汽车，拥有定车道昼夜自动驾驶能力的Apollo1.5汽车，并在2018年初推出能够实现简单城市道路自动驾驶的Apollo2.0汽车<sup>[10]</sup>。

如今，自动驾驶车辆所属的智能交通领域已被列入我国

的重点战略发展方向，得到国家政策全力支持。2015年国务院印发的《中国制造2025》提到的打造具有国际竞争力的制造业目标中即包含智能网联汽车<sup>[11]</sup>。工信部于2016年6月正式批准成立国内首个“国家智能网联汽车（上海）试点示范区”封闭测试区，意味着中国的智能网联和自动驾驶车辆进入了实际操作的试运行阶段。

## 2 自动驾驶车辆对城市的系统影响

自动驾驶车辆的出现将对传统交通出行方式、城市土地利用与空间布局和社会的发展产生显著影响。国内外已有大量文献探讨自动驾驶对城市的各方面影响，为免挂一漏万，本文运用涟漪效应模型梳理这些文献。涟漪效应描述了某个事物造成的影响渐渐扩散的情形，类似物体落入水面所产生的涟漪逐渐扩大。涟漪模型已被广泛地应用于针对政策或技术影响的研究<sup>[12-14]</sup>。米拉基思等（Milakis et al.）已经运用涟漪模型对自动驾驶的政策和社会影响进行梳理<sup>[5]</sup>，与其不同之处在于本文的研究问题聚焦于自动驾驶车辆及其普及对城市的影响以及规划的应对，分析的文献也因此聚焦于城市交通和城市研究领域。

自动驾驶车辆对城市产生影响的涟漪模型见图1。其中自动驾驶车辆在圆环中心，其影响由微观到宏观逐渐由内向外扩散。最内圈层涉及自动驾驶车辆对于个体出行方式和出行成本产生的作用，以及对交通设施的影响；第二圈层包括自动驾驶车辆对城市空间形态和功能布局的影响，如停车位分布、土地利用以及城市蔓延等；第三圈层则为自动驾驶车辆对城市经济、社会和生态系统等宏观层面的影响。由于缺乏文献佐证，本文的涟漪模型暂不考虑“涟漪”随时间和距离扩散而产生的复杂交互作用，即假定圈层之间没有耦合、

表1 自动驾驶车辆自动化程度

级别	对应自动化程度
0	没有任何自动驾驶功能，完全依靠驾驶员控制一切（刹车、自动、转向）
1	驾驶员辅助，自动驾驶系统会辅助驾驶员完成部分驾驶（如电子稳定性控制和预充电制动）
2	部分自动，自动驾驶系统能够独立完成部分驾驶工作（如自动巡航控制和车道保持功能），其余驾驶工作仍需驾驶员控制
3	有条件的自动化，在某些情况下自动驾驶系统可以完全独立完成驾驶，但仍需要驾驶员做好随时控制车辆的准备（当驾驶系统出现问题）
4	高度自动化，自动驾驶系统在特定的环境和情况下（如高速公路、封闭式校园）能够完全独立完成驾驶，不需要人工介入
5	完全自动化，自动驾驶系统能够完全像驾驶员一样进行驾驶

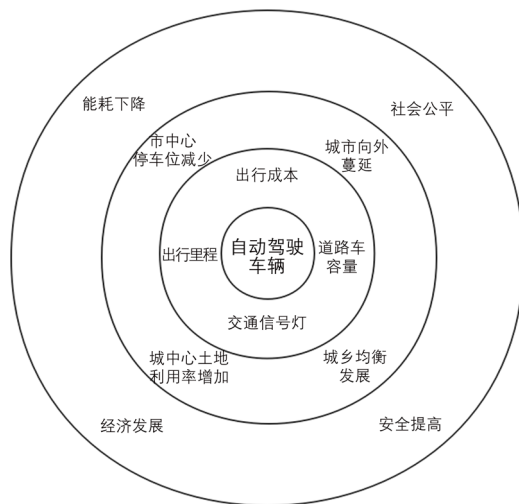


图1 自动驾驶车辆对城市产生的影响

共鸣、激荡等复杂性问题。

## 2.1 涟漪模型第一圈层：城市交通

涟漪模型的第一圈层主要集中在交通领域，是自动驾驶车辆对城市最为直接的影响，包括可能导致出行时间成本降低但经济成本提高；出行总里程增加，可能加剧交通拥堵；交通基础设施更新，可能导致不均衡发展；以及道路车容量增加，需要创新规划与设计等。

### (1) 出行时间成本降低，但经济成本可能提高

随着自动驾驶车辆的普及，人们不再需要亲自驾驶。这意味着原本用于驾驶的时间被节省下来，人们可以选择在车里聊天、睡觉、工作、学习、游戏甚至盥洗和用餐。同时，由于当前驾驶中最大的不确定性因素“驾驶员”被移除，驾驶体系变得更为精确，道路上的车流效率可能会提高，从而进一步降低出行的时间成本<sup>[15]</sup>。瓦杜等（Wadud et al.）的研究表明，自动驾驶提高了车辆的行驶速度，削减了寻找车位的时间，从而大幅降低了出行的每公里时耗<sup>[16]</sup>。据模型估算，到2050年人们出行的每公里时耗将下降5%~50%不等<sup>[17]</sup>。

另一方面，新技术应用的初期总是会带来更高的经济成本。在实现规模经济之前，自动驾驶车辆的售价会高于普通车辆，而道路基础设施更新改造同样会给政府带来巨大的财政压力。利特曼（Litman）在其最新的政策报告中进一步指出，因为人们可能在自动驾驶车辆里休息和工作，车辆本身可能越变越大，设备可能越来越多（如床、书桌、电脑），所以不仅自动驾驶车辆总价会更高，每公里出行的经济成本可能也会更高<sup>[15]</sup>。

### (2) 出行总里程增加，可能加剧交通拥堵

由于出行时间成本的降低，人们的出行更加灵活自由，这将使得出行的总里程数增加<sup>[18]</sup>。同时，自动驾驶车辆的普及将扩大出行的群体范围，包括未达到法定驾驶年龄的年轻人、残疾人和老年人等<sup>[19]</sup>。这部分群体的出行增加，也将增加出行的总里程数。例如：麻省理工大学资助的Optimus Ride科技公司研制出了触摸屏声控系统的4级别自动驾驶车辆，并在帕金斯盲人学校试运行，受到普遍欢迎<sup>[20]</sup>。除出行需求增加，可能导致出行总里程增加的因素还有公交客源转移以及空驶<sup>[21]</sup>。

不少文献综合考虑各因素，建立模型对自动驾驶带来的出行增量进行量化研究。法尼亚特和考科曼（Fagnant & Kockelman）预测：在市场上自动驾驶车辆普及率为90%的条件下，美国出行总里程会增加26%左右<sup>[22]</sup>。奇尔德雷斯等（Childress et al.）使用4种不同的模型对西雅图地区进行预测，认为出行总里程会增加4%~20%不等<sup>[17]</sup>。出行总里

程增加，无疑会给城市交通系统带来更大压力，加剧热点区域的交通拥堵。毛尔楚克等（Marczuk et al.）和阿泽维多等（Azevedo et al.）利用新加坡交通数据进行模拟分析，研究显示不必要的空驶会导致CBD地区严重拥堵。如果没有其他交通政策干预，自动驾驶车辆的普及不仅不会缓解拥堵，反而可能加剧拥堵<sup>[23-24]</sup>。

### (3) 交通基础设施需要更新换代，可能导致不均衡发展

自动驾驶车辆的大规模使用离不开交通基础设施的升级改造甚至是重建。车对车（V2V）和车对基础设施（V2I）的物联网以及IT技术发展，使得交通信息可以通过无线网络实时传输到自动驾驶车辆，并指导车辆通过交叉路口。这些网络链接的车辆不再需要绝大多数的交通信号标志，从而减少了交通信号灯和信息标志的数量。当然在自动驾驶车辆主导的交通系统中，行人和自行车交通仍然需要信号标志来保护和辅助<sup>[18,25]</sup>。

以交通信号系统为代表的基础设施更新换代，需要政府的大量投入，在实施过程中难免会有区域和城乡建设进度差异，导致不均衡发展，尤其是在建设初期。弗雷德里克等（Fraedrich et al.）在德国对规划师进行访谈，发现了其对自动驾驶车辆的普及可能加剧发展不平衡、社会不平等的担忧<sup>[26]</sup>。科恩和卡沃利（Cohen & Cavoli）同样表达出这种担忧，并强调自动驾驶技术的发展需要政府公共政策的干预，以尽可能地扬长避短<sup>[27]</sup>。

### (4) 道路车容量增加，需要创新规划与设计

基于技术优势，自动驾驶车辆行驶的精确性会提高，道路车辆渗透率理论上可达100%，意味着车道可以容纳更多的车辆<sup>[25]</sup>。在蔡平等（Chapin et al.）为佛罗里达州交通局提交的研究报告中，预测自动驾驶车道宽度较传统车道将降低20%；在原有道路总宽度不变的情况下，无人车的普及可使得原本四车道的道路扩展为五到六车道，大大增加道路的车容量<sup>[28]</sup>。传统道路设计中关于交叉口冲突点、转弯半径、安全视距等的参数标准都需要重新测算与校验。

## 2.2 涟漪模型第二圈层：城市空间形态与土地利用

涟漪模型的第二圈层在于自动驾驶车辆对城市空间形态和土地利用模式的影响。这些影响有利有弊：自动驾驶车辆可以自由返航，使得中心城区大量的停车空间被节省出来，这部分土地可以再开发并创造更高价值的用途；但与此同时，人们对于通勤时长承受度的提高可能激励郊区开发，导致城市用地持续向外蔓延。

### (1) 中心城区停车位减少，用地结构得以优化

自动驾驶车辆送通勤者到达目的地后可驶离市区，在郊区寻找理想的停车位甚至直接回家。此外，可以预见车主



会将车辆出租给共享汽车公司，这些车辆在放下车主后会不断接送其他乘客，无需寻找停车位。据测算中心城区将减少50%~90%的停车位，用地结构得到优化<sup>[29-30]</sup>。

#### (2) 中心城区实现再发展，但郊区租金可能下跌

中心城区大量用于停车的土地和空间可以进行再开发，用作酒店、办公、商业等其他用途，从而创造更高的经济效益，中心城区得以进一步发展。扎哈连科（Zakharenko）从经济角度对自动驾驶车辆普及的空间影响进行分析，预测中心城区97%的日常停车需求将转移到郊区，中心城区经济活动的密度进一步增加，导致土地租金价格提高34%左右。另一方面，城市郊区的土地租金价格则将下降40%左右<sup>[31]</sup>。当然，政策上是否允许空驶、是否鼓励共享乘车是影响这一变化的重要因素<sup>[32]</sup>。

#### (3) 居住用地外延，对生态环境造成压力

自动驾驶车辆将人们从驾驶中解放出来，得以自由安排通勤过程中的时间，因此人们能够接受居住在离工作地更远的居所。这种转变将使得人们倾向于居住在离市中心更远、房价租金更低、自然环境更好的区域，因此居住用地会整体向外扩展，造成城市进一步蔓延，对保护生态用地和农业用地造成压力<sup>[28,31]</sup>。

### 2.3 涟漪模型的第三圈层：城市经济、社会和环境

涟漪模型的第三圈层在于自动驾驶车辆对城市经济、社会和环境带来的影响。自动驾驶车辆的运用首先会大幅提升交通安全，显著减少交通事故相关的经济和社会损失；经济效益方面，自动驾驶车辆可以为中心城区节省土地资源，提升单位时间和空间内创造的经济价值，从而促进产业发展；社会效益方面，虽然短期内自动驾驶车辆会使部分驾驶员失业，长远看来它却能够使残疾人、老年人等弱势群体享受便利出行，推动社会向更公平的方向发展；环境效益方面，自动驾驶车辆提升了燃料利用效率，但也会增加行驶里程，总的来看可能会降低总能耗和温室气体排放。

#### (1) 减少交通事故，提升城市公共安全

大多数文献认为，自动驾驶车辆可以大幅减少交通事故<sup>[22]</sup>。根据美国国家公路交通管理局的统计，超过40%的致命交通事故都是由酒后驾驶、吸毒者驾驶、驾驶员注意力分散等原因造成的。如果加上超速驾驶、攻击性驾驶、驾驶员缺乏经验或反应迟钝等原因，人为因素导致的交通事故占到全部交通事故的90%<sup>[33]</sup>。因此，可以预见自动驾驶车辆能够避免这类人为交通事故，减少事故带来的公众生命财产损失，提升城市公共安全。当然重要前提是确保自动驾驶系统的可靠性、交通管理数据中心的安全性以及计算机网络的稳定性和安全性。

#### (2) 推动技术创新，带动经济发展

自动驾驶技术的发展将反作用于人工智能等科技产业，不断促进理论和技术的更新迭代，并带动相关行业的整体发展，从而对国民经济的发展起到推动作用。事实上，斯坦福大学、麻省理工大学、谷歌公司在自动驾驶车辆上的研发投入显著推动了机器学习、图像识别等技术的大踏步前进。有研究认为，自动驾驶车辆对于缺乏足够资金进行传统车辆所需基础设施建设的国家来说可能是一个福音。相较而言，自动驾驶所需的交通基础设施（如道路护栏）更少，这笔节省下来的经费可以投入其他领域，从长远来看有利于带动这些国家的经济发展<sup>[34]</sup>。

#### (3) 导致一定失业，但长远可能会促进社会公平

自动驾驶车辆的普及短期内会导致大量从事驾驶相关的人员失业，可能会造成一定的社会问题，而且应用初期可能对富裕阶层更有利。但从更长远角度来看，自动驾驶车辆能够使更多群体（如残疾人、老年人、青少年等不能或难以驾驶车辆的人群）享受更便利的出行，提升这些群体的交通可达性。随着规模经济效益出现，长远看应该是促进了社会公平<sup>[35]</sup>。

#### (4) 有可能降低总能耗和温室气体排放

虽然自动驾驶车辆会激发更多的出行里程和出行时间，但综合考虑各方面因素，大部分文献还是认为其会降低交通总能耗和温室气体排放<sup>[36]</sup>。一方面是因为自动驾驶车辆通过提前预判，在加速、制动、变速等方面优化技术，提高燃油率，降低碳排放。另一方面，自动驾驶车辆的普及使得人们自购车辆的意愿下降，很多人会倾向于乘坐共享自动驾驶车辆出行，也减少了汽车污染排放总量<sup>[37-38]</sup>。还有一个潜在原因是，自动驾驶车辆可以“自行”去充电桩充电，适宜与新能源技术的发展深度融合（表2）。

### 3 面对自动驾驶车辆影响的规划应对

面对自动驾驶时代的来临，规划师必须积极应对，因为技术的发展只有与公共政策的制定相结合，方能扬长避短<sup>[27,39]</sup>。首先，规划师应密切关注自动驾驶技术的发展动态，结合规划领域的技术知识，为未来自动驾驶时代的来临预留城市发展空间；其次，应主动参与自动驾驶技术的发展，辅助研发企业通过测试、制定合理标准来规范自动驾驶车辆的行驶，在交通规划、土地利用规划上把握技术方向和话语权。基于上文涟漪模型的归纳，本节依次探讨交通规划、土地利用规划以及社会经济发展规划应如何应对自动驾驶时代的到来。

#### 3.1 城市交通规划

##### (1) 规划自动驾驶车道

自动驾驶车辆的发展不会一蹴而就<sup>[40]</sup>。在发展过程中，

将会出现自动驾驶车辆和传统车辆在交通出行中并行的状态。由于双方对道路的需求不同,为减少自动驾驶车辆和传统车辆在道路行驶中相互影响和可能引发的交通事故责任纠纷,规划师可以考虑在自动驾驶车辆完全取代传统车辆前进行自动驾驶车辆专用车道的规划,整合各种交通方式。

### (2) 研究改进道路设计

自动驾驶车辆提高了驾驶精准度,同样的道路上可以容纳更多车辆,因此在进行道路设计和规划时,应减小车道之间的间距,将每条车道的宽度从4 m下降到3 m。曾经四道的高速公路现在可以变为五道,道路中间用于分隔相向车流的护栏也可以拆除,这些空间可以用作人行道、自行车道或绿道<sup>[28]</sup>。同时由于车道转弯半径的减小,可以适当减少天桥、地下通道等通行设施,增加斑马线,为行人和骑行者提供便利。

### (3) 规划自动驾驶车辆上下客区域

由于自动驾驶车辆可以在指定地点接送乘客,因而需要而在各建筑周边增加专门的上下客区域,并对该区域的数量、面积、分布进行统一规划。在不影响其他道路使用者(行人和骑行者)利益的前提下,充分利用临街空间,优化自动驾驶

驶车辆上下客货的效率。

### (4) 优化信号灯等交通标志设施

自动驾驶时代的交通信号灯和信息标志灯将大幅减少,因此需要重新规划交通信号标志的布局,加强智能交通信号标识设施建设。例如通过交通管理系统发出指令,可以改变车道的车速限定甚至行驶方向。与此同时,一定要注意新的人行道与自行车道标志与已有自动驾驶车辆道路之间的关系<sup>[18,28]</sup>。

## 3.2 土地利用规划

### (1) 调整中心城区停车空间

中心城区停车位的减少将释放出大量土地和空间,规划师需要对这些土地的利用方式进行重新定位和规划设计<sup>[18]</sup>。无论是用作写字楼、酒店或是购物中心,都能提高单位土地所创造的经济价值。为了公共利益,也可以将其规划为绿地、公园、博物馆等文化休闲场所,提供更多公共空间,提升城市活力。

### (2) 应对郊区蔓延开发

由于更多人会倾向于搬到距离市中心更远的郊区以降低居住成本,规划师需适当考虑将住宅区规划的范围向郊区扩展,同时在更远离市中心的郊区规划更多配套服务设施,或者至少预留相关用地<sup>[15,18]</sup>。此外,规划师还是要坚持紧凑集约发展的原则,鼓励土地混合利用,减少低效率的出行需求。

### (3) 打开封闭式小区

道路安全性的提高和车行道路的变窄都将带动沿街商业的发展,提升街道空间的利用效率。规划师应结合自动驾驶车辆的发展,重新认识公共服务和配套设施的服务半径和等级,打开封闭式的居住小区,将小区内部空间纳入城市的整体公共空间,方便居民出行的同时也有利于城市街区活力的提升。

## 3.3 社会经济发展规划

### (1) 有序完成产业替代,缓解社会冲击

自动驾驶技术同样属于“创造性破坏”,势必对一些传统产业类型和就业岗位带来冲击,如传统车辆制造业和零部件供应商、出租车行业以及职业驾驶员等。为缓解对经济和社会的冲击,实现包容性经济发展,有必要针对这些被替代的产业和就业提供补助和救助,帮助企业更快实现升级,帮助劳动力尽快实现再就业<sup>[31]</sup>。

### (2) 加强数据利用和监管

自动驾驶车辆通过传感器实时产生大量数据。通过对这些海量数据进行整理、分析,实现城市交通的自动化管理,如根据道路车流量的情况设置交通信号灯的时长,根据车行方向转换车道方向,都是通过物联网实现智慧城市基础设施

表2 自动驾驶车辆对城市的影响

影响	影响方向	主要结论
出行时间成本	降低	人们可利用车上时间做其他事,故出行时间成本降低 <sup>[16,17]</sup>
出行经济成本	增加	车辆会变得更贵,也可能变得更大,导致经济成本可能增加 <sup>[15]</sup>
出行里程	增加	方便更多群体出行,进而增加出行的总里程,可能加剧城区交通拥堵 <sup>[16,19]</sup>
道路车容量	增加	提高了驾驶精准度,每辆车所需的道路宽度减小,道路车容量增加 <sup>[15,28]</sup>
交通信号灯	减少	交通的信息可以通过无线实时传输到车辆,对交通信号灯的依赖降低 <sup>[18,28]</sup>
市中心停车位	减少	车辆可以自行到郊区寻找车位或直接送下一位乘客,将市中心原本用于停车的空间节省出来 <sup>[29,31]</sup>
城市蔓延发展	增加	由于通勤成本的降低,人们可以忍受更长距离的通勤,搬到距离市中心更远的郊区,导致城市蔓延发展,给生态环境带来更大压力 <sup>[34,36,40]</sup>
城中心土地利用	增加	市中心的停车空间可以节省出来再开发,创造更高经济价值,但郊区土地价格会相应下跌 <sup>[15,31]</sup>
公共安全	增加	能避免酒驾、吸毒者驾驶、疲劳者驾驶等人因为因素造成的交通事故 <sup>[22,33]</sup>
经济发展	增加	带动相关技术发展,可能为缺乏资金的发展中国家经济发展节省成本 <sup>[31,34,36]</sup>
社会公平	增加	会造成驾驶员等失业,但会提升更多群体的出行性,长远看会促进社会公平 <sup>[19,35]</sup>
降低能耗	降低	会增加出行里程,但通过优化车辆操作,与新能源技术融合,可能会降低能耗和碳排放 <sup>[36,38]</sup>

系统运行的方式。与此同时要严格监管此类数据和信息系统，防止被篡改、被入侵，甚至被控制。既要保护个人隐私，又要保障公共知情权，避免为少数企业所垄断或侵害公众利益。

### (3) 推动立法建设，促进社会公平

尽管自动驾驶车辆可以带来诸多便利，但其安全性一直是人们担心的问题。因此对自动驾驶车辆及其使用进行相关的规定极为必要，例如：车辆达到什么标准才能上路，对乘客和载货的具体要求，交通事故责任制等<sup>[5]</sup>。自动驾驶技术把驾驶员的角色分散到乘客、制造商、城市交通管理者当中，由此带来了车内、车外各种权益再分配和责任认定的新问题。

在立法方面，规划师可以提供城市建设尤其是道路设计和运营管理方面的建议，要注意保障各群体的利益，将残疾人和老年人纳入允许进行自动驾驶的范围；对不同类型和场景的自动驾驶进行社会效益与环境影响评估，推行差异化的路权分配和收费标准；鼓励和补贴共享出行，维护弱势群体的出行权利，促进社会公平和可持续发展。

## 4 结语

自动驾驶时代的来临几乎不可阻挡，其对城市的影响有利有弊。本文利用涟漪模型，对既有文献进行了总结归纳。

(1) 在城市交通方面，自动驾驶车辆降低了交通出行时间成本，使得更多人选择乘坐车辆出行，客观上会增加交通出行需求，有可能导致更严重的交通拥塞；自动化系统的精准控制使得同样的道路能够容纳更多车辆，提高了道路承载量，但也需要大规模的政府投入，可能导致区域和城乡不均衡发展。

(2) 在土地和空间利用方面，自动驾驶将人们从寻找停车位中解放出来，停车空间从中心城区向郊区的转移使得城市中土地被重新分配利用；人们对通勤时间接受度的提高也会推动居所郊区化，导致城市进一步蔓延，对保护生态环境带来挑战。

(3) 在宏观层面，交通安全事故的降低保障了居民的生命财产安全；自动驾驶技术可能带动其他技术共同发展，推动国民经济发展；自动驾驶会导致失业，但也降低了社会弱势群体的出行门槛，长远看推动了社会公平发展；自动驾驶可能会减少机动车的总能耗，对环境保护有积极影响。

作为规划师，需密切关注新技术的发展状况，了解自动驾驶的发展特点和阶段，有针对性地进行交通规划，为自动驾驶车辆的落地提供基础设施保障；同时结合城市整体发展规划的需要，充分利用城乡土地资源，使空间产生更高的价值。自动驾驶车辆带来深远影响，规划师不仅要认识到技术变革对城市形态与用地产生的重大影响，同时要未雨绸缪，思考与探索如何在规划的编制和实施中更好地应对变革，让

科技的发展成为城市美好生活的强大动力。UPI

文中图表均为作者绘制。非常感谢匿名审稿人的专业意见和精准建议，以及期刊编辑的细致修改。

## 参考文献

- [1] SAE International[EB/OL]. (2018) [2018-08-30]. <https://www.sae.org/automated-unmanned-vehicles/>.
- [2] McKinsey Company. Self-driving car technology: when will the robots hit the road? [R/OL]. (2017) [2018-08-30]. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly>.
- [3] 沈旺荣. 浅谈自动驾驶对城市规划的影响[J]. 建材与装饰, 2017(3): 112-113.
- [4] 张凤霖. 基于自动驾驶汽车的城市交通变革与展望[C]. 中国城市规划学会, 2015.
- [5] MILAKIS D, AREM B V, WEE B V. Policy and society related implications of automated driving: a review of literature and directions for future research[J]. Journal of intelligent transportation systems, 2017, 21(4): 324-348.
- [6] 乔维高, 徐学进. 无人驾驶汽车的发展现状及方向[J]. 上海汽车, 2006(7): 40-43.
- [7] GEHRIG S K, STEIN F J. Dead reckoning and cartography using stereo vision for an autonomous car[C]. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999. DOI:10.1109/IROS.1999.811692.
- [8] WAYMO[EB/OL]. (2018) [2018-08-31]. <https://waymo.com>.
- [9] 端木庆玲, 阮界望, 马骏. 无人驾驶汽车的先进技术与发展[J]. 农业装备与车辆工程, 2014, 52(3): 30-33.
- [10] APOLLO[EB/OL]. (2018) [2018-08-31]. <https://apollo.auto>.
- [11] 中华人民共和国工业和信息化部. 中国制造 2025[EB/OL]. (2018) [2018-08-30]. <http://www.miit.gov.cn>.
- [12] BARSAD S. The ripple effect: emotional contagion and its influence on group behavior[J]. Administrative science quarterly, 2002, 47: 644-675.
- [13] COOPER C, ORFORD S, WEBSTER C, et al. Exploring the ripple effect and spatial volatility in house prices in England and Wales: regressing interaction domain cross-correlations against reactive statistics[J]. Environment and planning b, 2013, 40(5): 763-782.
- [14] IVANOV D, SOKOLOV B, DOLGUI A. The ripple effect in supply chains: trade-off efficiency-flexibility-resilience in disruption management[J]. International journal of production research, 2014, 52(7): 2154-2172.
- [15] LITMAN T. Autonomous vehicle implementation predictions implications for transport planning [R/OL]. (2018) [2018-08-30]. <http://www.vtpi.org>.
- [16] WADUD Z D, MACKENZIE, LEIBY P. Help or hindrance? the travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles[J]. Transportation research part a, 2016, 86: 1-18.
- [17] CHILDRESS S, NICHOLS B, CHARLTON B, et al. Using an activity-based model to explore potential impacts of automated vehicles[J]. Journal of the transportation research board, 2015, 2493: 99-106.
- [18] GUERRA E. Planning for cars that drive themselves: metropolitan planning organizations, regional transportation plans, and autonomous vehicles[J]. Journal of planning education and research, 2016, 36(2): 210-224.
- [19] HARPER C D, HENDRICKSON C T, MANGONES S, et al. Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions[J]. Transportation research part c, 2016, 72: 1-9.
- [20] WOYKE E. The blind community has high hopes for self-driving cars[R/OL]. (2016) [2018-08-30]. <https://www.technologyreview.com/s/602555/the-blind-community-has-high-hopes-for-self-driving-cars>.
- [21] LEVIN M W, BOYLES S D. Effects of autonomous vehicle ownership on trip, mode and route choice[J]. Journal of the transportation research board,



- 2015, 2493: 29-38.
- [22] FAGNANT D J, KOCKELMAN K. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations[J]. Transportation research part a, 2015, 77: 167-181.
- [23] MARCZUK K A, HONG H S S, AZEVEDO C M L, et al. Autonomous mobility on demand in sim-mobility: case study of the central business district in Singapore[C]. Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), 2015: 167-172.
- [24] AZEVEDO L, MARCZUK K, RAVEAU S, et al. Microsimulation of demand and supply of autonomous mobility on demand[J]. Journal of the transportation research board, 2016, 2564: 21-30.
- [25] SHLADOVER S, SU D, LU X. Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow[J]. Journal of the transportation research board, 2012, 2324: 63-70.
- [26] FRAEDRICH, HEINRICHS, BAHAMONDE-BIRKE, et al. Autonomous driving, the built environment and policy implications[J/OL]. Transportation research part a, 2018. [2019-01-02]. <https://doi.org/10.1016/j.trra.2018.02.018>.
- [27] COHEN T, CAVOLI C. Automated vehicles: exploring possible consequences of government (non) intervention for congestion and accessibility[J]. Transport reviews, 2018, 29: 129-151.
- [28] CHAPIN T, STEVENS L, CRUTE J, et al. Envisioning Florida's future: transportation and land use in an automated vehicle world[R]. Florida Department of Transportation, 2016, Tallahassee.
- [29] ZHANG W, GUHATHAKURTA S, FANG J, et al. Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: an agent-based simulation approach[J]. Sustainable cities and society, 2015, 19: 34-45.
- [30] SKINNER R, BIDWELL N. Making better places: autonomous vehicles and future opportunities[R/OL]. (2018)[2018-08-31]. <http://www.wsp-pb.com/Globaln/UK/WSPPB-Farrells-AV-whitepaper.pdf>.
- [31] ZAKHARENKO R. Self-driving cars will change cities[J]. Regional science and urban economics, 2016, 61: 26-37.
- [32] SMOLNICKI P M, SOLTYS J. Driverless mobility: the impact on metropolitan spatial structures[J]. Procedia engineering, 2016, 161: 2184-2190.
- [33] U.S. DOT[EB/OL]. (2017) [2018-08-31]. <https://www.nhtsa.gov/press-releases>.
- [34] BAGLOEE S A, TAVANA M, ASADI M, et al. Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies[J]. Journal of modern transport, 2016, 24(4): 284-303.
- [35] MLADENOVIC M N, MCPHERSON T. Engineering social justice into traffic control for self-driving vehicles?[J]. Science and engineering ethics, 2016, 22(4): 1131-1149.
- [36] ANDERSON J, NIDHI K, STANLEY K D, et al. Autonomous vehicle technology: a guide for policymakers[R]. Rand Corporation, 2014.
- [37] TSUGAWA S. An overview of an automated truck platoon within the Energy ITS Project[J]. IFAC proceedings, 2013, 46(21): 41-46.
- [38] LI S E, LI K, WANG J. Economy-oriented vehicle adaptive cruise control with coordinating multiple objectives function[J]. Vehicle system dynamics, 2013, 51(1): 1-13.
- [39] WADUD Z. Fully automated vehicles: a cost of ownership analysis to inform early adoption[J]. Transportation research part a, 2017, 101: 163-176.
- [40] MEYER J, BECKER P M, BOSCH A K. Autonomous vehicles: the next jump in accessibilities?[J]. Research in transportation economics, 2017, 62: 80-91.
- (上接 107 页)
- accessibility for wheelchair users: the consumer perspective and the planning implications[J]. Cities, 2007, 24(3): 229-241.
- [55] CAUWENBERG J V, HOLLE V V, BOURDEAUDHUIJ I D, et al. Neighbourhood walkability and health outcomes among older adults: the mediating role of physical activity[J]. Health & place, 2016(37): 16-25.
- [56] JANSSON M, SUNDEVALL E, WALES M. The role of green spaces and their management in a child-friendly urban village[J]. Urban forestry & urban greening, 2016(18): 228-236.
- [57] LITTLE B R. Personal Projects and free traits: personality and motivation reconsidered[J]. Social and personality psychology compass, 2008, 2(3): 1235-1254.
- [58] CURL A, THOMPSON C W, ASPINALL P. The effectiveness of 'shared space' residential street interventions on self-reported activity levels and quality of life for older people[J]. Landscape and urban planning, 2015(139): 117-125.
- [59] 曲琛, 韩西丽. 城市邻里环境在儿童户外体力活动方面的可供性研究——以北京市燕东园社区为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2015, 51(3): 531-538.
- [60] 易芬. 居住区在儿童户外体力活动方面的可供性研究——以南京市奥体新城青桐园为例[J]. 建筑与文化, 2016(6): 151-153.

(本文编辑：王枫)

(本文编辑：王枫)