

无人驾驶汽车技术发展对未来城市轨道交通影响研究

葛世平

(上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海)

摘要 [目的]探讨无人驾驶汽车技术的发展对未来城市轨道交通可能产生的影响,并分析无人驾驶汽车在城市交通系统中的作用及其对现有城市交通结构的影响。[方法]概述了无人驾驶汽车的通行特征,分析了无人驾驶汽车对城市交通结构的影响,详细讨论了无人驾驶汽车对城市轨道交通的具体影响。[结果及结论]无人驾驶汽车能提高交通效率和乘客体验,可能会导致城市轨道交通短途客流下降,但长途客流对其依赖性仍很强。无人驾驶汽车的普及将促使城市轨道交通规划更注重速度和效率,更注重优化中心城与卫星城间的交通联系方式,也更注重促进各种交通方式信息系统的互通与信息交互,提升城市交通一体化的强度。无人驾驶汽车的发展将引发城市交通的重大变革,需要城市规划者和交通管理者采取相应措施以适应技术发展。

关键词 城市轨道交通;无人驾驶汽车;交通规划;出行效率

中图分类号 F530.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.01.001

Research on the Impact of Driverless Car Technology Development on Future Urban Rail Transit

GE Shipping

(Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The possible impact of the development of driverless car technology on future urban rail transit is explored, and the role of driverless cars in urban transportation systems as well as their impact on the existing urban transportation structure are analyzed. [Method] The traffic characteristics of driverless cars are outlined, the impact of driverless cars on urban transportation structure is analyzed, and the specific impact of driverless cars on urban rail transit is discussed in detail. [Result & Conclusion] Driverless cars can improve traffic efficiency and passenger experience, which may lead to a decrease in short-distance passenger flow in urban rail transit, but long-distance passenger flow still is still highly dependent on it. The popularization of driverless cars will prompt urban rail transit planning to pay more attention to speed and efficiency, optimization of transportation connection between the cen-

tral city and satellite cities, and promotion of the interoperability and information interaction of various transportation modes' information systems, thereby enhancing the intensity of urban transportation integration. The development of driverless cars will trigger major changes in urban transportation, requiring urban planners and transportation managers to take corresponding measures to adapt to technological development.

Key words urban rail transit; driverless cars; transportation planning; travel efficiency

随着无人驾驶汽车技术的飞速发展,许多国家和地区都开始大规模开展无人驾驶汽车技术的区域化试点。近年来,我国正在积极推动无人驾驶汽车试点运营,商用车 L3、L4 级无人驾驶汽车技术已在矿山、港口、物流、环卫等领域逐步落地,上海、广州、苏州等地已经试点 Robotaxi 车队示范运营,“萝卜快跑”更是在武汉被大规模投放并引起市场轰动。2024 年下半年,特斯拉发布的无人驾驶出租车 Cybercab 和全新城市公交车 Robovan 这两款车已经超越了交通工具的范畴,更具类似机器人的智能化特征,这一创新无疑将给公共交通领域带来革命性的变革。英伟达等国际化大企业近期也积极利用 AI 算法进行场景模型构建,加之算力的提升,这将极大缩短无人驾驶汽车技术训练的周期。可以预见,无人驾驶汽车技术快速推广并商用将在不久后成为现实。无人驾驶汽车在诸多方面会对原有城市公共交通系统产生冲击,未来对城市轨道交通的影响有可能会是巨大的,需要积极面对,增强在城市轨道交通规划、设计、运营等方面的预判性并及时作出策略调整。

1 无人驾驶汽车通行特征

无人驾驶汽车技术本质是基于移动互联网并通过中央集中调控将城市道路中的无人驾驶汽车进行统一规划并调配,同时具有全方位探测及实时感知、信息实时互联、智能精准决策、动态决策零延

时等技术优势。目前,受制于私人交通工具的影响,道路交通处于混合运行状态,但未来,无人驾驶汽车由于具有低廉、高效且便捷的特性,大量挤占私人出行方式空间将成为必然,城市交通出行结构将必然演变为以无人驾驶汽车为主体的方式。

1.1 出行效率提升

基于中央集中控制的大规模车队,在道路中行进将变得更加有序,车流将更加规律。由于自动规划了行车路线并能自动控制到达的预定目的地,沿途变道干扰、判断干扰、信号灯干扰、交叉口延误干扰以及道路交通事故干扰(交通事故下降)等都将会有大幅降低,车速将大幅提升。同时由于车体小型化且车间距变短,道路上的车辆密度可以增大。以 1 条设计速度 60 km/h 的城市主干道为例,按照道路通行能力 $C = 1\,000v/L$ (v 为车辆行驶速度(单位 km/h), L 为车辆长度(单位 m)) 计算,如果无人驾驶汽车的行驶速度可以达到 30 km/h,其长度按照 4 m(考虑了城市专用无人驾驶汽车车长缩短,考虑了安全距离但不考虑反应距离)计算,单向 3 车道的通行能力就可高达 22 500 辆/h,如果考虑潮汐车流的可变车道设计,通行能力将更大。

另外,基于无人驾驶汽车在共享出行、降低无效出行方面所具有的优势,实际的乘客出行效率还要高于无人驾驶汽车行驶效率的提升,城市交通出行的实质性行为能力将能得到更为有效的提升。

1.2 资源使用效率提升

由于无人驾驶汽车是根据其个性化特征配给的,因此可以有效减少无人驾驶汽车冗余。如按照安全距离、最高车速、车载乘客、车载货物等特定功能需求及冗余要求,进行无人驾驶汽车的定制化设计,可有效缩减其体积。以谷歌无人驾驶汽车为例,其体积仅为传统汽车的 50%。同时,为避免司机的不规范驾驶行为而设置的相关安全保障措施也有进一步被取消和缩减的可能,如取消道路中央分隔带、缩减道路车道宽度、加大潮汐车道比例等,这些都能有效提升道路供给效能。

根据美国高盛集团发布的《2025 汽车行业预测报告》,汽车闲置时间将高达 95%。同时,有人驾驶汽车所需停车位与汽车保有量之比为 1.2,这是对城市汽车停放空间的巨大浪费。无人驾驶汽车将会使汽车作为私人财产的所有权和使用权的一体化属性变为所有权和使用权分离,汽车的私人财产属性将转变为第三方共有属性。这样可以提升无

人驾驶汽车的有效周转效率,降低其在库时间,从而会使闲置的汽车停放资源得到巨大释放。

1.3 乘客出行舒适便捷性提升

由于无人驾驶汽车采用的是点对点运输方式,与传统公共交通模式相比,乘客走行时间、等待时间等将有所缩短。如乘客预约无人驾驶汽车时可同时规划其出行路径及换乘要求,则可实现无缝换乘衔接。与传统私人小汽车相比,无人驾驶汽车有效减少了驾驶者的负担,同时减少了私人小汽车拥有者在汽车保养等方面的耗时。

1.4 乘客出行成本降低

无人驾驶汽车功能结构简单,不需要司机,而且随着未来的大规模推广应用,相关的智能计算及控制成本将能得以进一步降低,乘客的出行成本将会随之大幅度降低。以 1 辆 10 万元的新能源无人驾驶汽车为例,按照 40 万 km 使用周期(行驶 20 万 km 后的换电池费用为 6 万元)、电费 0.1 元/km 计算,出行成本仅为 0.5 元/km(虽然智能控制系统会增加设备成本,但对于时速不高的公交化无人驾驶汽车而言,因其结构、功能等简单,也会相应降低制造成本)。特斯拉旗下的 Robotaxi 是一种个性化的公共交通工具,可使平均出行成本大幅降低。马斯克预期特斯拉旗下的 Cybercab 的平均出行成本未来可以降至每英里约 0.2 美元,而车辆成本将低于 3 万美元;Robovan 货车的平均出行成本将低至每英里约 10 ~ 15 美分。这些未来将会成为特斯拉网络(Tesla Network)的重要组成部分,为乘客提供自动驾驶乘车服务。

另外,随着城市轨道交通运营成本的增加,政府长期补贴压力将会增大,城市轨道交通的票价将会上涨,由此将会导致城市轨道交通的短途出行成本优势进一步降低。在不含建设成本、大修改造及政府补贴的前提下,城市轨道交通的运输成本要达到 0.3 ~ 0.5 元/(车·km)(网络规模越大,运行成本越高,乘客边际效益越低)。按照客运强度 3.00 万人次/(km·d)、建设成本 4 亿元/km、使用年限 100 年计算,建设费用分摊到每位乘客为 0.37 元/人(2019 年上海轨道交通第一季度全网客运强度仅为 1.46 万人次/(km·d))。乘客是在享受政府大量财政补贴的情况下,获得优惠票价,乘客一次出行成本由个人与政府共同负担。

1.5 出行控制能力更高

无人驾驶汽车处于中央系统集中控制下,在乘

客出行的 OD(起讫点)不变的情况下,乘客的出行路径将由中央系统进行规划并实施。同时,中央系统可以根据乘客的出行习惯、出行要求、道路管控要求、事故控制要求等对无人驾驶汽车进行灵活调控,确保无人驾驶汽车运行始终处于最优状态。

1.6 出行舒适度更高

谷歌无人驾驶汽车在准乘 2 人的条件下,人均占有道路空间为 1.6 m^2 ,相较准乘 5 人的小汽车,在体积仅为传统汽车 40% 的条件下,使人均道路空间利用率提升了 2.3 倍。无人驾驶汽车采用智能化的座舱设计,因而无人驾驶汽车能够提供更多附加服务,如健康监测、视频推送、娱乐服务等,这也使乘客乘坐无人驾驶汽车出行的舒适度得到显著改善。

2 无人驾驶汽车对城市交通的影响

无人驾驶将重塑城市公共交通生态。无人驾驶汽车的出现,尤其是当具有对无人驾驶汽车进行集中控制的能力以后,交通规划的理念会产生巨大变化。传统的交通规划是通过基础设施规划和相应的政策配套引导城市交通的出行,而未来的交通规划会演变成为对交通运行的实时控制。

特大城市的公共交通运能决定其公共交通的形态。无人驾驶汽车本质上提升了市民出行的效率,同时未来又将会具有公共交通的属性,因此无人驾驶汽车将推动汽车公交系统在未来城市交通系统中的占比提升。需要指出的是,无人驾驶汽车未来有可能会分化出面向大容量交通的无人驾驶公交车及面向私人乘客的无人驾驶出租车,运输方式也将由单一转为复合,在中央系统集中控制下,各种交通方式换乘将更加紧密便捷。这样,未来城市公共交通的结构将按照运输速度、运能、运输距离、运输成本等形成结构更加合理的公共交通结构体系,而不是目前以城市轨道交通为主的公共交通体系。

1) 速度结构方面。城市轨道交通是城市交通的骨干网络,满足的是更长距离(10 km 以上)的运输需求,追求的是更大容量、更加快速的运输功能。对于旅行速度的要求,可能会从目前的 $30 \sim 40 \text{ km/h}$ 提升至 $40 \sim 60 \text{ km/h}$,实现以城市中心为核心的 50 km 半径范围内 60 min 通达,联络城市周边主要卫星城。另外,其中的地铁制式具有大容量集散功能,因此能够担负起对处于大型交通枢纽、体育场

馆等人流高密度区域站点客流的疏散作用。道路无人驾驶公交系统满足的则是中心城近郊非主要交通走廊的客运需求,在以无人驾驶汽车为主的城市交通系统中,如果无人驾驶汽车在道路及道路交叉口具有行驶优先权,道路无人驾驶公交汽车的旅行速度将会更高,可达到 $35 \sim 45 \text{ km/h}$,实现居住圈 15 km 半径范围内 30 min 通达。无人驾驶小汽车是对城市轨道交通及道路公交系统的补充,满足衔接换乘及近距离出行需求。在中心城区,无人驾驶汽车的速度可达到 $25 \sim 35 \text{ km/h}$,实现中心城 3 km 半径范围内 8 min 通达;在郊区,无人驾驶汽车的速度可达到 $30 \sim 40 \text{ km/h}$,实现郊区 5 km 半径范围内 10 min 通达。

2) 出行结构方面。在无人驾驶汽车速度提升的前提下,城市公共交通出行结构也将发生质的变化。越来越多的市民会放弃私家车出行,甚至放弃购买私家车。由此,公共交通系统在城市交通出行中的比重将得到极大提升,甚至可能超过 90%。城市轨道交通在城市公共交通中承担的角色将更加回归其技术特征,将不再承担短途客流运输,力求通过线网加密解决“最后一公里”问题。除了极少数大客流集散点外,城市轨道交通客流在城市公共交通系统中的占比也会进一步下降,被无人驾驶汽车分流。同时,鉴于城市轨道交通高昂的造价及运行成本,其网络建设规模将会进一步优化精简,城市轨道交通仅用于满足大容量交通走廊的运输需求。而道路公交因具有布设更加灵活的优势及交通更加有序的环境条件,将会重新兴起,在城市公共交通中的比重将得到回升。未来“城市轨道交通为骨干、道路公交为主体、多种交通方式相互补充”的城市交通结构将成为可能。

低廉的出行成本,更加舒适、便捷的乘车体验,以及点对点的出行可达性,将会使无人驾驶小汽车成为城市公共交通中出行占比最高的交通方式。

3 对城市轨道交通的影响

3.1 对客流的影响

城市客流分为长途客流和短途客流。长途客流主要包括居住在郊区、工作在市区的通勤往返客流。短途客流是指居住地与工作地相距在几公里内、出行距离相对较短的客流,如市中心内部客流或郊区新城内部客流。城市轨道交通的出行时间包括:出行起点到出行起点车站时间、车站候车时

间、车上乘坐时间、换乘时间、换乘后车上乘坐时间、出行终点车站到出行目的地时间。由城市轨道交通的出行时间组成可知,乘坐城市轨道交通的出行时间是由多段时间构成的。影响乘客出行方式选择的因素除时间之外,还受到可获得性(是否容易叫到车)、隐私、天气、身体、安检、舒适度、环境、成本等因素的影响。无人驾驶汽车除时间因素不确定之外,其他任何影响因素都要优于城市轨道交通的,因此城市轨道交通的速度价值必须要远大于无人驾驶汽车的,只有这样,对乘客而言才有更强的吸引力。在无人驾驶汽车速度提升的情况下,城市轨道交通速度要变得更快,再加之在长距离运输上的优势,才能以其综合优势在竞争中胜出。

未来,城市轨道交通客流可能会出现的一些变化趋势为:受无人驾驶汽车分流效应影响,总体客流呈下降趋势;无人驾驶汽车对短途客流的分流效应会更加明显,尤其对出发地或目的地距离城市轨道交通车站较远的乘客更为明显;长距离运输和速度优势仍然保持,仍然会是长途客流首选出行交通方式,但通过无人驾驶汽车接驳的客流比例将会上升。

3.2 对规划的影响

在传统城市轨道交通规划中,规划区域内是以道路公交为主还是以城市轨道交通为主,相对而言,界限不是特别明确,这造成许多已建成城市轨道交通线路中起讫点客流量大的线路很少。在未来的线路规划中,更加强调综合交通概念,因此可以取消断面客流较小的线路区段的建设,以充分发挥无人驾驶系统(道路公交车及小汽车)的末端客流多方向延伸输送功能及站点周边的客流横向搜集功能。对于大流量交通走廊,定位为规划地铁制式,轻轨、有轨电车制式以及出行不那么便捷的其他交通制式或将成为历史。

1) 将不再过于强调中心城区线网密度。过去比较重视城市轨道交通对中心城区的覆盖率,力求解决“最后一公里”的问题,但在交通出行总量不会极大增加的情况下,城市轨道交通线网规模与客运量的不匹配性也越来越大,导致城市轨道交通的经济效益差,矛盾日益凸显。未来将会有效控制城市轨道交通线网规模,城市轨道交通的功能将会从高密度均衡覆盖转变为联通主要交通走廊,与短驳系统共同实现对区域的均衡覆盖。未来城市轨道交通线路敷设方式也将以功能型为主,简单实用,合

理回归城市轨道交通核心骨干网络功能。

2) 将更加注重中心城与卫星城的联络。合理的城市布局是:中心城+近郊卧城+远郊卫星城。受城市中心高地价挤出效应影响,出现了近郊卧城(或近郊居住组团区域),该区域客流均以向心通勤客流为主,即居住在近郊、工作在市中心的客流。卧城之间不存在较大客流运输需求(近郊两个居住生活区之间的交通需求较少)。因此,在中心城区与近郊卧城、远郊卫星城之间,应更偏重以规划穿越中心城区并连接近郊卧城及远郊卫星城的放射线为主,起到快速贯通城市区域的功能。对于二三线城市,仅需要利用少量城市轨道交通放射线满足城市快速交通走廊需求。对于特大城市,由于城市中心区面积较大,还可结合区域交通走廊设置小环线或少量径向线,加密对城市中心区的覆盖,提升可达性;对于近郊区域少量的出行需求,可通过道路公交车或无人驾驶小汽车承担。

3) 更加偏重提升旅行速度。随着道路交通运输效率的增强,旅行速度为 30~40 km/h 的城市轨道交通线路的竞争优势将下降,中心城区线路站间距 1 km、郊区线路站间距 2~3 km 的站点设置模式可能会发生改变,将加大站间距,线路设计将以最高设计速度为主转变为以旅行速度为主,确保线路旅行速度能够达到 50~60 km/h 的快速通达目标。

3.3 对列车运行方式的影响

1) 早晚高峰列车开行方式更加灵活。根据城市客流出行特征的变化,城市轨道交通运输功能可以更加简化,主要保障高峰时期的大运量快速运输,利用高密度行车解决超高峰、超大客流需求,适当降低非高峰行车密度。早高峰之前,中心城区的短途出行需求可由无人驾驶汽车承担,可开行少量长途列车,以满足部分郊区客流需求。

2) 列车交路可更加灵活。随着城市轨道交通定位发生变化,客流量将会在现有基础上有所减少。城市轨道交通主要提供长距离、快速运力,可根据客流方向,采用高密度、不对称运行方案,交路设计可以更加灵活。非高峰时段客流量将进一步减少,可考虑开行定点班次列车。同时,在大间隔条件下,跨线运行需求可能会成为未来的思考方向,尤其是对于郊区线路而言。另外,为了提升城市轨道交通旅行速度,对于客流量较小的车站,可以采取跳停方式。以上海轨道交通为例,目前 9 号线的平均乘距超过 11 km,属于典型的市郊线客流

出行特征。

3.4 对接驳方式的影响

车站周边设计时,要考虑到为无人驾驶系统接驳提供便利条件。尤其对于郊区站点,随着接驳需求量增大,需要考虑站点周边无人驾驶汽车的快速集散规划与导乘指引,如车站区域道路设计、停车设计及信息系统设计等。

3.5 各种交通方式运行信息高效互通下对运营模式的影响

更低的接驳成本、更便捷的接驳服务,以及更加高效的各交通方式运行信息互通,将更有助于实现交通一体化。由于各交通方式运行信息高效交互传递,车辆调度系统与乘客管理系统高度融合,将使交通衔接、换乘变得更加便捷,乘客的等待时间将大幅缩短,将使各交通方式运能和节点的匹配性变得更加适宜,多种交通方式联运中的瓶颈将得到突破,C+R(无人驾驶汽车+城市轨道交通)的新型出行模式将会成为未来发展的可能。

1) 一站式出行规划将使出行变得更加便捷。为了提升交通出行衔接的紧密性,乘客通过预约提前(出门前)规划行程的一站式出行模式将得以实现,无人驾驶汽车根据列车的运行信息实现车等人,而非传统的人等车。

2) 客流将更加容易被提前预测。由于预约制普及,可提前知晓乘客出行路径及交通方式选择等信息,提前预测并精准统计客流情况将变得更加容易,为提前精准设定列车运能提供了可能性。

3) 应急客流疏散将更加便捷。实现了列车运行信息与无人驾驶汽车信息高度交互,在突发情况下,就能更加有效地控制车站周边乘客集散及临近交通秩序,使大客流便捷集散成为可能。

4) 由于乘客OD被精准预知,在乘客出行路径的起点站和终点站,针对不同客流的附加服务将成为城市轨道交通经营收入的新增长点。

3.6 对TOD(交通引导发展)理念的影响

传统的TOD理念是通过公共交通引导城市发展,一直以来城市轨道交通都是对城市TOD发展最为有效的支撑系统。对车站周边土地进行高强度开发,借助城市轨道交通的大运量快速集散功能,为乘客提供便利的出行供给。但在无人驾驶汽车普及下,未来TOD理念将会发生以下变化。

1) TOD覆盖的区域将会有极大延伸,在未来以人为本的推动下,土地容积率将会进一步降低,

站点周边土地开发将会呈现弥散型扩展,建筑布局会更加松散以保证居住的舒适性。随着无人驾驶汽车接驳能力增强,站点周边吸引范围将不再局限于600~800 m出行半径,将受到站点周边区域规划及地理环境等因素的影响。

2) 无人驾驶小汽车的发展对TOD理念的影响将会进一步凸显,城市布局区域将更加均衡化,未来会增加更多的中低密度社区,车站周边的高密度开发要求将会有所降低。

4 结语

通过速度提升实现用时间换空间是交通发展的本质要求。无人驾驶汽车的出现对未来城市布局、城市交通乃至城市轨道交通的发展将会产生极大的影响,其提升的是出行的控制能力,改变的是城市出行方式,是近百年来城市交通的一次重大革命,必须引起重视,并尽早采取相应的调整措施,以适应技术高速发展对城市交通的变革。

参考文献

- [1] 葛世平. 关于城市轨道交通网络的总体研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 彩16.
GE Shipping. Overall research on urban rail transit network[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): C16.
- [2] 葛世平. 突破折返能力制约实现客流精准匹配的运营组织方案优化研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(6): 1.
GE Shipping. Research on optimizing operation organization plans to achieve precise passenger flow matching through breaking through the constraints of turnback capacity[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(6): 1.
- [3] 葛世平. 从运营角度谈城市轨道交通的总体设计[J]. 城市轨道交通研究, 2004, 7(2): 13.
GE Shipping. General design of UMT from the angle of operation[J]. Urban Mass Transit, 2004, 7(2): 13.
- [4] FUJIIU M, MORISAKI Y, TAKAYAMA J. Impact of autonomous vehicles on traffic flow in rural and urban areas using a traffic flow simulator[J]. Sustainability, 2024, 16(2): 658.
- [5] 贾锦云. 面向无人驾驶的车道保持智能决策控制方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
JIA Jinyun. Research on intelligent decision-making control method for lane keeping for autonomous driving[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.
- [6] 武建敏. GF汽车公司无人驾驶汽车业务发展战略研究[D]. 南京: 东南大学, 2022.
WU Jianmin. Research on development strategy of self-driving car business of GF automobile company[D]. Nanjing: Southeast University, 2022.

(下转第14页)

GEORG D. Feasibility study on the connection of the rail passenger transport of a tramway operation and the deutsche bundesbahn (German federal railway), taking the karlsruhe region as an example [R]. Karlsruhe: Albtal-Verkehrs-Ges, 1985.

- [5] 東京都交通局. 東京都交通局 80 年史 [M]. 东京: 東京都交通局, 1992.

Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation. 80-year history of the Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation [M]. Tokyo: Tokyo Metropolitan Bureau of Transportation, 1992.

· 收稿日期: 2022-12-03 修回日期: 2023-02-01 出版日期: 2025-01-10
Received: 2022-12-03 Revised: 2023-02-01 Published: 2025-01-10

· 第一作者: 侯阿提·叶尔江, 硕士研究生, houati@163.com
通信作者: 叶霞飞, 教授, yxf@tongji.edu.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 5 页)

- [7] AFONSECA A, RAFAEL S, BANDEIRA J. Impact of autonomous vehicles on air quality and energy efficiency of road traffic flows—a case study in an urban round about [J]. Transportation Research Procedia, 2023, 72: 4018.

- [8] 马诗颖. 模块化设计在无人驾驶汽车内饰中的智能交互应用 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2023.

MA Shiyong. Intelligent interactive application of modular design in interior decoration of driverless car [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2023.

- [9] 王海涛. 无人驾驶汽车——基本概念、发展概况与体系架构 [J]. 电信快报, 2021(3): 6.

WANG Haitao. Autonomous vehicles: basic concepts, development overview and system architecture [J]. Telecom Express, 2021(3): 6.

- [10] ANDREI L, LUCA O. Assessing the transformative potential: an examination of the urban mobility impact based on an open-source microscopic traffic simulator for autonomous vehicles [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2024, 13(1): 16.

- [11] 王簋仪, 张薇, 罗通. 感应传感器在无人驾驶汽车轨迹控制中的应用 [J]. 机械设计与研究, 2024, 40(3): 147.

WANG Lanyi, ZHANG Wei, LUO Tong. Application of inductive sensors in trajectory control of autonomous vehicles [J]. Machine Design & Research, 2024, 40(3): 147.

- [12] 张相宇. 无人驾驶汽车连专用道网络设计问题研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2022.

ZHANG Xiangyu. Research on the design of connected lane network for driverless vehicles [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2022.

- [13] 姜允侃. 无人驾驶汽车的发展现状及展望 [J]. 微型电脑应用, 2019, 35(5): 60.

JIANG Yunkan. Development status and future prospects of pilotless vehicles [J]. Microcomputer Applications, 2019, 35(5): 60.

· 收稿日期: 2024-09-02 修回日期: 2024-10-09 出版日期: 2025-01-10
Received: 2024-09-02 Revised: 2024-10-09 Published: 2025-01-10

· 通信作者: 葛世平, 正高级工程师, Geshiping6430@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 9 页)

- [10] 钟海燕, 刘举. 在科研与教学之间: 试论高校青年教师的学术困境 [J]. 当代教育科学, 2014(15): 28.

ZHONG Haiyan, LIU Ju. Between scientific research and teaching: on the academic dilemma of young teachers in colleges and universities [J]. Contemporary Education Sciences, 2014(15): 28.

- [11] 岳宇君. 教学与科研: 关系、融合、分析及展望 [J]. 技术与创新管理, 2015, 36(1): 92.

YUE Yujun. Teaching and research: relationship, integration, a-

nalys and outlook [J]. Technology and Innovation Management, 2015, 36(1): 92.

· 收稿日期: 2024-05-30 修回日期: 2024-06-20 出版日期: 2025-01-10
Received: 2024-05-30 Revised: 2024-06-20 Published: 2025-01-10

· 通信作者: 黄世泽, 副教授, hsz@tongji.edu.cn

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址: tougao.umat1998.com