

# 湘江新区无人驾驶开放测试道路停车视距研究

陆超, 李振发, 王武生, 胡圣魁

(广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510507)

**摘要:**国家发展改革委办公厅〔2020〕年202号文《智能汽车创新发展战略》规划了无人驾驶配套技术在部分城市、高速公路逐步开展、应用,但是尚未出台有关无人驾驶道路技术标准的规范和文件。随着无人驾驶技术的飞速发展,相关开放性测试道路、专用道路技术指标的研究必不可少,尤其是关乎人、车、路、环境安全的指标——停车视距。该文结合传统道路停车视距计算公式和无人驾驶制动原理,提出新的停车视距计算公式,以便为将来无人驾驶专用道路停车视距的研究提供理论指导。

**关键词:**道路工程;无人驾驶;停车视距;计算公式

**中图分类号:** U412.3      **文献标志码:** A

近年来,随着社会经济和城市的快速发展,汽车作为日常生活出行不可或缺的一种交通工具,保有量在持续不断地攀升,由此带来的是严重拥堵的交通和逐年上升的交通安全事故率。为了有效地缓解交通压力、减少交通事故带来的人员伤亡和财产损失,无人驾驶汽车的研发落地显得尤为迫切。

目前,无人驾驶技术经过国内外近半个世纪的深入研究和大力发展,已经逐渐趋于完善和成熟,俨然成

为汽车产业发展的新动力、新方向,具有广阔的发展前景。为了使无人驾驶汽车从试验室、试验场走向市场化和规模化,相应配套测试道路的建设 and 改造必不可少,中国包括北京、上海、广州、深圳、长沙等在内的多个城市均打造了开放道路智能测试区,同时各城市也制定了相应开放道路技术要求试行办法。这些试行办法规定了开放测试道路的选取标准、测试时段、测试地点及标志标线样式等,但未对测试道路具体指标作出

\*\*\*\*\*

## 8 结论

该文对黑山南北高速公路项目设计中的分包管理工作进行梳理,明确分包商选择的必需流程,对分包商的设计进度和质量控制提供管理手段,同时对设计分包管理中存在的一些问题进行分析并给出解决思路。对于类似项目的设计分包管理给出以下建议:

- (1) 根据项目特点,合理确定分包内容。
- (2) 充分进行尽职调查,避免“低价中标”对项目产生的负面影响。以合同为依据,以分包商评分制度作为手段对分包商设计进度进行管理。
- (3) 以统一标准严格控制分包商设计质量,避免低质量设计造成的后期变更。
- (4) 中外文化与习惯的碰撞与融合、交流与理解是中国企业走向世界(尤其是欧洲、美洲)无法回避的

课题。沟通—理解—信任—融合,是解决争议,推动项目进行的必由之路。

## 参考文献:

- [1] 高翊宸,凤跃森.黑山南北高速公路项目在FIDIC合同条件下的设计管理工作分析探讨[J].中外公路,2018,38(2):328-330.
- [2] 韩信.海外总承包项目设计合同及取费探讨[J].中外公路,2018,38(3):332-335.
- [3] 国际咨询工程师联合会,中国工程咨询协会,编译.菲迪克(FIDIC)文献译丛:菲迪克合同指南[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [4] Ministry of Transport and Maritime Affairs of Montenegro. Terms of Reference for Development of the Main Design of the Bar-Boljare Highway Section Smokovac-Matesevo L=41 km[M]. Podgorica: Ministry of Transport and Maritime Affairs of Montenegro,2014.

要求。该文以长沙市湘江新区《开放道路智能化改造项目二期工程可行性研究报告》为依托,对无人驾驶开放测试道路涉及人、车安全的其中一项指标——停车视距进行研究,希望能为今后无人驾驶专用道路相关设计或技术标准的制定提供一定帮助。

《开放道路智能化改造项目二期工程可行性研究报告》是落实长沙“火炬计划”“头羊计划”和湖南湘江新区 2020 年重大项目投资计划的重要环节,拟从车端、路端、云端对湘江新区 150 个路口进行智能化改造以及在路侧和路口增加 100 个高配点位,形成连续路段和快速路段集成路侧感知单元、边缘计算单元、V2X 通讯单元的部署,以满足无人驾驶开放测试道路要求。

## 1 无人驾驶开放测试道路发展的必要性

### 1.1 传统道路的局限性

从国家战略层面看,当前中国已将无人驾驶汽车当作汽车产业发展的重要战略方向,随着国家政策支持力度进一步加大以及 5G 技术正式大规模商用,将成为无人驾驶汽车及智能网联产业最重要的催化剂,随之无人驾驶汽车进入快速发展通道。为了使无人驾驶汽车快速走向市场化,配套的测试道路必不可少,传统道路存在一定的局限性,很难满足测试要求,在建设和管理方面正面临严峻挑战,主要体现在两个方面:①传统道路传感器感知手段单一,无法及时获取应急信息,救援得不到保障;②传统道路信息发布手段单一,路况、事故、拥堵、灾害、天气等信息无法及时通知驾驶人员,无法为出行提供指导。

### 1.2 开放测试道路发展的必要性

(1) 开放道路测试是无人驾驶汽车发展的必经之路

无人驾驶汽车技术的研发和应用离不开开放道路的测试验证,测试道路是无人驾驶汽车市场化过程必不可少的一环。为了保证无人驾驶车辆能在复杂交通状况和不同的使用场景中都能安全、可靠、高效运行,还需要进行大量的现场测试和验证工作,经历大量错综复杂的演进过程。无人驾驶汽车在正式走向市场化之前,必须经过现场实际交通环境的运行考验,全方位验证汽车的无人驾驶功能,做到道路与其他交通设施、参与者之间相互适应和协调。

(2) 无人驾驶产业的落地迫切需要道路配套设施的强有力支撑

目前,无人驾驶受限条件太多,最主要的是没有相应配套的开放测试道路,无人驾驶车载系统感知存在视野受限和遮挡的情况。在传统的城市道路、高速公路、其他普通道路场景中,没有车路协同运控平台、V2-X 通信单元设备与无人驾驶车载系统进行信息交换,单靠车载传感器来感知距离信息存在很大的难度;在道路交叉口,无人驾驶汽车前方存在大车遮挡视野的情况也时有发生,存在一定安全隐患。开放测试道路路侧感知可以彻底解决视野受限和视野遮挡的问题,为无人驾驶的安全性提供充足保障。

(3) 公共出行服务品质需要靠智能化、网联化进一步提升

目前,公共交通出行仍然占据大众出行中相当大一部分比例,但是公交车准点率较低,且由于远程监管能力不足,无法规避行车过程中各种复杂交通情况。通过智能化、网联化等技术手段可以帮助公交车提高出行效率,保障准点运行,同时可以通过联网远程监管的方式加强运行状态的监管,提升公共交通运行安全性,服务品质也能进一步提升。

## 2 传统道路停车视距要求

### 2.1 传统道路停车视距概念

停车视距指的是汽车在行驶过程中,遇到前方障碍物无法变更车道来进行规避而必须采取制动措施,使汽车在障碍物前安全停止时所需要的最短行车距离。预留足够长的停车视距能为道路行车安全提供重要保障,同时停车视距也是道路几何设计的重要指标。

停车视距由两部分组成:①驾驶者在反应时间 2.5 s 内行驶的距离(该文中反应距离为  $S_1$ );②开始制动到刹车停止所行驶的距离,即制动距离(该文中制动距离为  $S_2$ )。另外,应增加安全距离 5~10 m(该文中安全距离为  $S_3$ ),如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

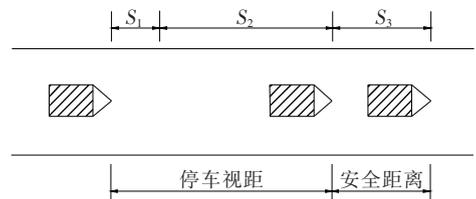


图 1 停车视距

## 2.2 传统道路停车视距要求

不同设计速度情况下道路停车视距要求见表1。

表1 不同设计速度道路对应停车视距要求

设计速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	停车视距/ m	设计速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	停车视距/ m
120	210	40	40
100	160	30	30
80	110	20	20
60	75		

## 3 无人驾驶道路停车视距计算方式

### 3.1 无人驾驶道路停车视距组成

无人驾驶道路安全停车距离为无人驾驶传感系统感知到前方存在障碍物后采取制动措施直至车辆完全停止这段时间车辆移动的距离。为方便与传统停车视距进行对比,无人驾驶道路安全停车距离即为停车视距,其组成与传统道路停车视距组成相同,也是由反应时间行驶距离  $S_1$ 、制动距离  $S_2$ 、安全距离  $S_3$  3部分组成,但是无人驾驶汽车反应时间行驶距离相对传统汽车要短。

根据近段时间中智行公布的最新无人驾驶测试数据,无人驾驶系统传感器可以实现 200~300 m 的探测距离,并且可以对行人、车辆、障碍物、交通信号灯和指示牌做出识别并进行处理。并且随着中国 5G 技术的发展,超低的延迟能使无人驾驶系统在发现前方障碍物后 0.2 s 内做出制动反应,比人为操作 2.5 s 的反应时间减短了 2.3 s,这 2.3 s 往往可能就是救命的时间。

### 3.2 无人驾驶道路停车视距计算

#### 3.2.1 反应距离 $S_1$

无人驾驶系统在发现前方障碍物时存在 0.2 s 的反应时间,在反应时间内,汽车继续以匀速运动状态向前行进,在反应时间内汽车行驶的距离按式(1)计算:

$$S_1 = \frac{Vt}{3.6} \quad (1)$$

式中: $V$  为无人驾驶测试速度; $t$  为反应时间,无人驾驶系统反应时间为 0.2 s。

设计速度并不能代表大部分汽车运行的实际速度,所以不适合采用设计速度来计算驾驶者在反应时间内行驶的实际距离,该文  $V$  值采用无人驾驶测试速度。

#### 3.2.2 制动距离 $S_2$

制动距离为驾驶员发现障碍物后采取制动措施,车辆产生制动效应开始的一瞬间到车辆完全停住所滑行的距离。JTG D20—2017《公路路线设计规范》对制动距离计算采用的物理运动模型为线性的,即从车辆产生制动效应开始轮胎便不发生滚动,与路面摩擦滑行,在此过程中减速度  $a$  值保持不变,直到车辆停止。但是,在制动持续过程中轮胎与路面的接触点处温度会不断上升,随之轮胎会变软、磨损,导致轮胎与路面之间的摩擦力降低,汽车的减速度也会随之减小,整个制动过程会由匀减速过程变为减速度递减的减速过程,物理运动模型与理论线性不符,制动距离相对也比线性减速过程长。

该文研究的无人驾驶汽车与传统汽车刹车系统一样,均配备有 ABS 防抱死系统,其工作原理是能在 1 s 内完成 60~120 次点刹,不让轮胎同一个位置与路面持续摩擦,保证汽车在刹车过程中不发生侧滑和方向失控,并且其刹车效率能达到 90%。下面按照点刹的工作原理对制动距离的计算公式进行推导。

可以将制动过程分解成  $n$  个单元,每个单元就是一次点刹过程,每次点刹又由一次刹车和一次松开组成。设单次点刹中一次刹车和一次松开所持续的时间分别为  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ ,每次刹车过程可以近似认为是匀减速运动,减速度为  $a$ ,每次松开过程可以近似认为是匀速运动,整个制动过程时间—速度关系函数见图 2。

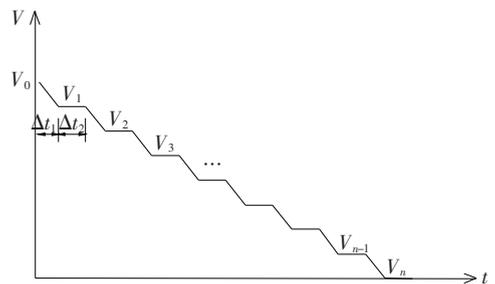


图2 制动过程时间—速度关系图

设定汽车刹车过程初始速度  $V_0$  (km/h),第一次点刹的末速度为  $V_1$ ,第二次点刹的末速度为  $V_2$ ,一直到最后末速度为  $V_n$ ;  $\Delta t_1 = V/(3.6an)$ ,ABS 防抱死系统刹车效率可以达到 90% 以上,说明系统 90% 时间为匀减速刹车过程,10% 的时间为松开过程,因此  $\Delta t_2$  取  $0.1\Delta t_1$ ,即  $\Delta t_2 = 0.1V/(3.6an)$ 。此次采用求面积的方式计算停车距离, $S_{总}$  为初始速度与制动过程总时间的乘积, $S_{单元}$  为每个点刹单元构成的三角区域面积,具体计算方式如下:

$$S_2 = S_{\text{总}} - S_{\text{单元}} = \frac{1}{2} V_0 n (\Delta t_1 + \Delta t_2) - S_{\text{单元}} \quad (2)$$

$$S_{\text{单元}} = \frac{1}{2} \Delta t_2 (V_0 - V_1) + \frac{1}{2} \Delta t_2 (V_1 - V_2) + \dots +$$

$$\frac{1}{2} \Delta t_2 (V_{n-1} - V_n) = \frac{1}{2} \Delta t_2 (V_0 - V_n) \quad (3)$$

$$\text{所以, } S_2 = S_{\text{总}} - S_{\text{单元}} = \frac{1}{2} V_0 n (\Delta t_1 + \Delta t_2) - \frac{1}{2} \times$$

$$\Delta t_2 (V_0 - V_n) = \frac{1}{2} \times \frac{V}{3.6} \times n \times 1.1 \times \frac{V}{3.6 a n} - \frac{1}{2} \times$$

$$0.1 \times \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)}{a n} = 0.55 \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{a} - 0 = 0.55 \frac{\left(\frac{V}{3.6}\right)^2}{a}$$

由力学公式推导可得  $a = g \times f_1$  ( $f_1$  为纵向摩擦系数,  $g$  为重力加速度), 得最终计算公式为:

$$S_2 = 0.55 \frac{(V/3.6)^2}{g f_1} \quad (4)$$

### 3.2.3 安全距离 $S_3$

为了保证车辆在刹停之后与前方障碍物保持足够的安全距离,同时也考虑到驾驶员的不利驾驶状态,应考虑增加 5~10 m 的安全距离,但是无人驾驶汽车完全由电脑程序控制,可靠性高,安全距离可适当缩短。奇瑞汽车股份有限公司智能车技术中心结合周期安全距离闭环控制算法,经过 3 000 次的实际工况试验,确认最小安全距离均保持在 1~2 m<sup>[3]</sup>,该文安全距离  $S_3$  取 2 m。

经过对反应距离、制动距离、安全距离的物理运动模型进行修正和计算,得到停车视距计算公式如下:

$$S_{\text{停}} = \frac{Vt}{3.6} + 0.55 \frac{(V/3.6)^2}{g f_1} + S_3 \quad (5)$$

## 4 停车视距对比

通过前文对无人驾驶道路停车视距的反应时间、制动物理运动模型、安全距离进行计算分析,可以看出无人驾驶道路停车视距相对传统道路停车视距要短,在同样的道路环境下,无人驾驶汽车安全性更有保障。为了更直观地对无人驾驶道路与传统道路停车视距进行对比,湘江新区开放测试道路无人驾驶测试车辆测

试速度时与 JTG D20—2017《公路路线设计规范》中传统道路行驶速度保持一致,具体对比数据见表 2。

表 2 停车视距对比

设计速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	测试速度/ (km · h <sup>-1</sup> )	传统道路停 车视距/m	无人驾驶道路 停车视距/m
120	102	210	163
100	85	160	111
80	68	110	70
60	54	75	44
40	36	40	19
30	30	30	13
20	20	20	7

## 5 结语

无人驾驶技术的可靠度是传统人工驾驶的 100 倍,随着人们对出行安全性、舒适性、高效性等方面的需求日益提升,无人驾驶行业的迅猛发展必将势不可挡。同时,为了无人驾驶汽车能快速走向市场化,相应配套道路、专用道路的建设必不可少。目前,中国对于无人驾驶开放测试道路、专用道路的相关技术指标研究较少,各省市相关技术标准试行办法只是对道路选取标准、测试时段、测试地点及标志标线样式做了部分要求。该文根据湘江新区无人驾驶开放测试道路相关测试结果对停车视距的研究做了有益尝试,希望能为推动无人驾驶领域配套道路的发展提供一定帮助,相关技术指标和法规也能尽快趋于完善。

### 参考文献:

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路路线设计规范: JTG D20—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
- [2] 中国通信信息研究院, 广东省交通规划设计研究院股份有限公司. 开放道路智能化改造项目二期工程可行性研究报告[R], 2020.
- [3] 王陆林, 刘贵如. 汽车制动距离估算模型和安全车距控制算法[J]. 农业装备与车辆工程, 2019, 57(12): 23—28.