

# 汽车开门碰撞的危险特征与防范技术研究<sup>\*</sup>

王洪明

(四川交通职业技术学院 公路交通安全四川省高校重点实验室, 四川 成都 611130)

**摘要:** 为防范汽车因开门导致的碰撞事故, 分析碰撞的形态特征、危险区范围和主要影响因素, 发现事故主要是开启车门与后方来车之间发生的纵向碰撞, 碰撞危险区整体位于车门后方并沿后方来车行驶路线呈窄带状, 范围大小取决于车门的开启宽度及后方来车的行驶速度与避险方式, 受道路和交通环境的影响, 较难通过人员观察和检测技术及时、准确地识别开门碰撞风险; 提出对车门非紧急开门过程实施强制性分段控制及增加开门预警和防撞信号的防范措施, 使车门开启后在外展宽度超出后视镜宽度之前暂停 4 s, 为来车发现和躲避危险提供条件。

**关键词:** 交通安全; 汽车; 开门碰撞; 危险区; 防范技术

**中图分类号:** U491.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2022)03-0031-06

汽车开门碰撞事故是指汽车在道路上停车开门时, 向外展开的车门或下车乘员与其他车辆、行人发生碰撞造成的人员伤亡和财产损失事故。这类事故在交通事故中所占比例较小, 以致迄今在中国只笼统将其归入汽车碰撞类事故而没有作细致统计研究。但近年来随着汽车的快速普及, 开门碰撞事故发生量显著增多, 且极易引发严重次生伤亡后果。Jansch M. 等通过分析德国深度事故研究数据库(GIDAS)数据, 发现汽车靠右侧路边停车发生的事故数约为靠左侧路边停车的 5 倍, 其中左前门占 80%、右前门占 18%, 并预测德国的开门碰撞事故发生率约为 6.4%。近年来对开门碰撞事故防范的研究多集中于通过图像或激光、超声波等传感技术获取后方来车及其速度和距离, 当发现存在安全威胁时控制车门开启或向开门乘员发出危险警示。这些研究虽然对帮助乘员发现危险和避免开门碰撞具有积极作用, 但由于对存在安全威胁的危险目标范围缺乏准确界定, 加上现有传感检测技术的局限性, 普遍存在开机响应迟缓、危险侦测精度低、误报率高和系统结构复杂、造价高等不足。为此, 该文通过分析平开式车门的碰撞危险区特征及碰撞影响因素, 研究具有较高安全可靠性和实用性的防撞技术措施。

## 1 汽车的开门碰撞危险区

### 1.1 开门碰撞事故的形态划分

开门碰撞事故是由开启的车门和下车乘员侵入

侧向道路, 与其他车辆和行人形成交通冲突, 并且双方对冲冲突避险失败而导致的。按照双方的相对运动与作用关系不同, 事故可分为 2 种形态:

(1) 横向碰撞。这类事故是指停驶车开门时, 向外展开的车门横向碰撞正处于车门外侧的其他车辆和行人。碰撞部位位于停驶车的车门外表和对方的相邻一侧表面, 其中车门的碰撞部位随碰撞时开门角度增大而向门体的开口端集中。碰撞受力主要取决于下车乘员的开门推力, 方向与车门在碰撞时的转动切线方向一致, 所造成的损害后果通常较轻。但当碰撞自行车或摩托车时也可能导致其偏驶或翻倒, 进而被其他车辆碰撞或碾压。

(2) 纵向碰撞。这类事故是指停驶车向外展开的车门或下车乘员与后方来车及行人发生碰撞, 以碰撞来车为主, 是开门碰撞事故的主要形态。碰撞部位通常位于停驶车的开门内侧和来车的车头前部, 当来车有变道避让时也可能位于开门一侧的车身。碰撞受力主要取决于来车在碰撞时的行驶动能, 方向与其行驶路线基本一致, 损害后果普遍重于横向碰撞。尤其是当自行车、摩托车碰撞车门的开口端时, 受门体转动及分力影响极易发生翻倒, 造成严重摔跌或被其他车辆碰撞碾压。

### 1.2 横向碰撞危险区

汽车在闭门状态的横向最宽处为后视镜外端, 在道路上停驶时, 其他车辆和行人需从其侧面通行

<sup>\*</sup> 基金项目: 四川交通职业技术学院科研基金项目(2020-XY-KJ-09)

并避开后视镜。当停驶车开门时,由于车门的外展宽度大于后视镜宽度,容易与侧面相距较近的行进车辆和行人形成交叉冲突,引起横向碰撞危险。

由于在交叉冲突形成之初对方车辆或行人已到达或濒临到达开门位置,不仅与车门大致呈横向并列状态,驾驶人或行人的注视点通常投向行进前方,很难觉察到侧面的停驶车开门动态,而且与车门相距很近,缺乏对其横向展开运动的躲避条件,冲突的发生与向事故转化的风险几乎完全受下车乘员开门行为的影响,相应的碰撞危险区也由车门的横向展开范围决定。如图1所示,横向碰撞的危险区范围包括车门扇形展开区横向超出后视镜外端纵切线 $L_1$ 的部分,其长度 $s$ 和宽度 $w$ 分别为:

$$s \leq w_m \quad (1)$$

$$w = w_m \sin \alpha - w_j \quad (2)$$

式中: $w_m$ 为车门的水平宽度(m); $\alpha$ 为车门的向外开启角度( $^\circ$ ); $w_j$ 为后视镜宽度(m)。

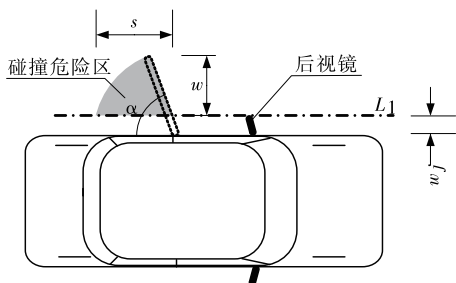


图1 横向碰撞危险区示意图

### 1.3 纵向碰撞危险区

当停驶车开门向外超出后视镜宽度后,行进路线靠近停驶车的后方来车需进一步横向避开向外展开的车门,否则将与展开的车门和露出车外的下车乘员形成定点冲突,引起纵向碰撞危险。由于冲突点相对静止于来车的行进方向,驾驶人除视线受其他车辆或环境因素影响外,通常能直接观察到开门冲突,但能否阻止冲突向事故转化同时取决于停驶车的开门状态和来车的避险条件。

如图2所示,由于下车乘员随开门过程最初露出车外的范围通常横向不超出车门的展开宽度,纵向不超出车门的对应门框区域,而来车对开门冲突有从停驶车的侧面超越通过和在停驶车后方减速乃至停车等候2种避险方式,纵向碰撞的危险区位于所开启车门的门框后方,并沿来车行驶路线呈一带状。其宽度与横向碰撞相似,为沿来车行驶方向的后视镜外端切线 $L_1$ 和车门开口端切线 $L_2$ 之间区

域,长度则等于来车从发现开门冲突时所在位置 $A$ 至到达下车乘员露出区后端位置 $C$ 之前成功避开危险的临界避险距离。

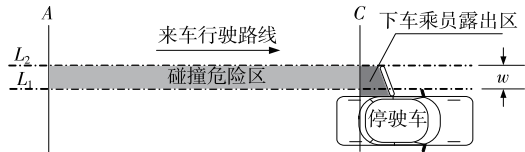


图2 纵向碰撞危险区示意图

#### 1.3.1 超越方式的临界避险距离

当停驶车的侧面具有可供来车超越的道路和交通条件时,来车通常采取向其侧面部分变道超越的方式避险,并且为了避免变道过程中转弯内轮差影响其他车辆、行人通行和避险失败,需要先向外后向内交替进行2次转向操作,使后轴车轮在到达避险行程止点之前完成向一侧变道行驶。

如图3所示,假设来车驾驶人在其车辆后轴到达 $A$ 线时发现开门冲突,经反应后从车辆后轴到达 $B$ 线开始,交替以一定方向盘转角进行变道行驶,使后轴在到达 $C$ 线之前横向驶出碰撞危险区,忽略转向轮对方向盘转角的瞬态响应过程,则根据勾股定律,来车后轴中心点的转弯半径 $r$ 可按式(3)计算,来车的后轴中心位置横向加速度 $a$ 可按式(4)计算,后车从发现前方停驶车开门冲突开始至完成向侧面变道的临界避险距离 $s_b$ 可按式(5)计算。

$$r = \frac{(w_m \sin \alpha - w_j)^2 + s_r^2}{4(w_m \sin \alpha - w_j)} \quad (3)$$

式中: $s_r$ 为 $B$ 、 $C$ 两线的纵向距离(m)。

$$a = \frac{(w_m \sin \alpha - w_j) v^2}{3.24[(w_m \sin \alpha - w_j)^2 + s_r^2]} \quad (4)$$

式中: $v$ 为来车的行驶速度(km/h)。

$$s_b = \frac{t_0 v}{3.6} + \sqrt{(w_m \sin \alpha - w_j) \left( \frac{v^2}{3.24a} - w_m \sin \alpha + w_j \right)} \quad (5)$$

式中: $t_0$ 为驾驶人反应时间,宜按较大值取1.0 s;为

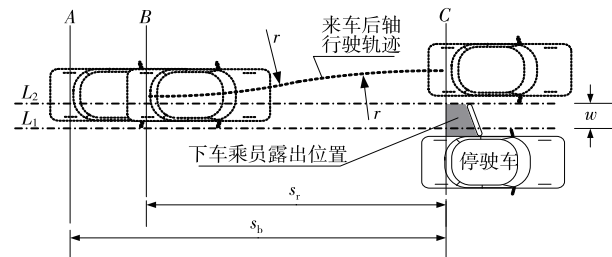


图3 超越避险距离示意图

确保来车安全避险且不过分影响其行驶平顺性,参照人体的“不舒服”减速度值, $a$  不超过  $2.0 \text{ m/s}^2$ 。

### 1.3.2 停车方式的临界避险距离

当停驶车开门一侧的道路上有其他车辆、行人或路面障碍时,后方来车只能在停驶车的后方减速或停车避险,以停车为避险极限状态。此外,与超越避险所不同的是,来车在停止后需确保其车头前部不超出避险行程止点。

如图 4 所示,假设来车驾驶人在其车头到达 A 线时发现开门冲突,经反应后从车头到达 B 线开始以一定减速度制动减速,使车辆在车头到达 C 线之前停止。根据制动原理,来车制动停车所需临界避险距离  $s_t$  为:

$$s_t = \frac{1}{3.6}(t_0 + t_1 + 0.5t_2)v + \frac{v^2}{7.2k\varphi g} \quad (6)$$

式中: $t_1$ 、 $t_2$ 分别为来车的制动系统去间隙时间和制动力上升时间,二者合称制动协调时间,不同类型汽车的最大允许值为  $0.35 \sim 0.80 \text{ s}$ ;  $k$  为附着系数修正值,全轮制动取 1;  $\varphi$  为路面附着系数,沥青和水泥路面为  $0.5 \sim 1.0$ ;  $g$  为重力加速度。

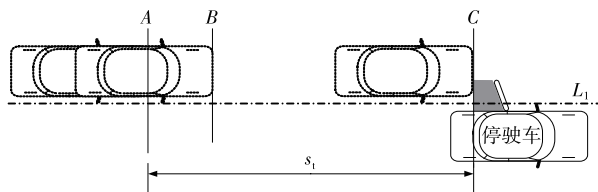


图 4 停车避险距离示意图

### 1.4 碰撞危险区的综合范围

显然,汽车开门发生横向和纵向碰撞的危险区范围在长度方向上首尾相接为一整体,对于有前后多道车门的汽车,各车门的危险区范围有相当部分彼此重叠。为方便对开门碰撞风险的整体识别,将同侧不同车门的横向、纵向碰撞危险区统一整合为由最前车门的横向碰撞危险区前端至最后车门的纵向碰撞危险区后端的整个区域,同时为提高避险的安全可靠性,在确定最后车门的纵向碰撞危险区后端位置时,将停驶车的尾部横切线作为来车的避险行程止点。

## 2 影响碰撞的主要因素

虽然汽车开门形成交通冲突是造成碰撞的最直接原因,但除非冲突双方对危险躲避失败,否则冲突并不必然会演变为碰撞事故。影响冲突形成和避险成败的因素主要有:

(1) 视野盲区。视野是影响双方观察发现开门冲突的最主要因素。一方面,车内乘员的视野受门柱、窗框等车体构件阻挡,且不同座位和观察方向的差异较大,其中以各座位的侧后方受影响最严重,易引起开门冲突。而汽车现有后视镜等间接视野措施都主要供驾驶人使用,对其他乘员的侧后方视野盲区几乎没有弥补作用,乘员在开门时较难准确观察后方来车及行人情况。另一方面,由于道路交通实行单侧通行制,不仅停车一般位于道路右(或左)侧,而且汽车的驾驶座偏置于左(或右)侧,在近距离跟随大型车辆行驶时,驾驶人的视线易受到遮挡而难以观察到路边停车的开门情况。

(2) 视距不足或强光耀眼。视距不足或强光耀眼也是影响碰撞双方及时观察发现开门冲突的重要因素。人的视力在夜晚、隧道等低照度环境,雾、雨、雪、沙尘等不良天气,夜晚被汽车前照灯的强光耀眼时均会变差,有效视距相比正常情况缩短,在相应道路环境中停车开门发生碰撞的风险显著增大。

(3) 碰撞风险不易识别。由于开门碰撞危险区整体沿来车行进路线呈一狭长区域,且长度取决于来车的行进速度和避险方式,当停车路段限速较高且道路存在明显平纵曲线或路面标线不清晰、有其他车辆干扰和障碍物等时,来车行进路线往往并不稳定,从开门乘员的视角位置无论是人工观察还是传感器检测,均难以确保及时发现和准确判断存在碰撞危险的对象,易导致风险误判。

(4) 开门过程不受控制。汽车一般具有多道车门,除驾驶人主动控制或汽车经一定速度行驶后自动锁止车门外,所有乘员都能不受限地自行开启其所在侧的车门。即便是车门已被锁止的情况下需要驾驶人操作解锁,其操作目的也仅限于解除车门锁止,并不能控制车门的具体开启时机和展开过程,在驾驶人自身和乘员任一方存在疏忽的情况下均可能未观察确认外部情况就径直开门,从而引发开门冲突乃至碰撞事故。

(5) 乘员缺乏开门风险意识。包括驾驶人在内的停驶车乘员开门行为是引起开门冲突的关键。对成都市温江区万盛地铁站和杨柳河地铁站外道路临时停车进行观测发现,在能够观察到乘员开门行为的 112 起停车下人过程中,有 19 起的乘员在开门前没有明显的向后观察动作,并且是未加任何停顿地一次性将车门向外推开,而其中 7 起引起后方摩托车、汽车鸣笛示警和制动绕行。虽然经询问了解,上

述人员疏于观察和确认来车的急开门行为主要受急于下车赶时间和有车外人员召唤、接打电话等因素影响,但根本还是主观上缺乏在路上停车开门可能引发碰撞的风险意识。

(6) 来车及行人对停驶车开门缺乏防备。在路上停车开门引起交通冲突和造成事故也与目前汽车对其开门过程没有相应的警示信号,其他车辆和行人对其开门活动缺乏防备有关。一般而言,任何在路边停放且不能确认其内部无人的车辆都有突然开门的可能,行进路线与其靠近的其他车辆和行人都必须对其开门风险保持警惕,与之保持相应横向间距或提前做好变道、制动准备。

### 3 防范措施

针对目前人工观察和传感器检测碰撞风险方面的不足,建议从控制开门过程和增加开门警示措施入手,提高事故防范措施的可靠性和实用性。

#### 3.1 防止乘员急开门行为

下车乘员未观察确认车外情况就径直开门的急开门行为是引发碰撞的根源。鉴于车内向后观察视野不足及部分乘员对开门行为缺乏自律等,有必要对乘员在非紧急情况下开门过程采取强制性分段控制措施,使车门在解锁后的向外开启过程首先经历一个开幅受限的预开段,并在段内稍作停顿后才能继续向外大幅展开。采取分段控制不仅有助于防止车门突然大幅外开危及其他车辆及行人,还能在预开段使乘员不降下车窗玻璃即可扩大侧后方视野以方便观察,也有助于引起外部车辆和行人的注意。为防止预开状态的车门与外部车辆和行人发生刮撞,车门的预开幅应严格限制在同侧后视镜的外端纵切线  $L_1$  以内。

受结构原理的影响,汽车现有门锁的半锁档位不具有强制开门约束功能,并且允许的车门开幅极小,不能达到防碰撞预开目的。为此,设计一种由锁芯、电磁座和控制电路组成,可有效控制车门预开幅和预开停顿的防急开装置。如图5所示,锁芯的推板与中心柱、底板连为整体,固定安装于车门内侧与门框贴合位置,导板通过其中部的方孔套装在中心柱上,并与柱销、衔铁组成可沿中心柱往复滑动的动组,动组在初始状态被弹簧推压至衔铁外表与车门内饰板平齐;电磁座装设于门框上并与车门关闭时的锁芯衔铁贴合,其内部为通电时可产生磁力的线圈及磁芯;当电磁座与衔铁贴合时,控制电路通过

触点和触头连接向线圈提供工作电流。下车乘员开始解锁开门时,线圈通电产生磁力将衔铁吸合,之后动组在乘员的开门推力作用下压缩弹簧使衔铁向门框方向伸出锁芯,车门得以部分开启;弹簧被压缩至极限位置后,车门到达预开段的最大开幅,这时乘员必须停止推门,使车门在弹簧张力作用下微幅回收;控制电路在检测到车门微幅回收后,停止向线圈供电,使动组因衔铁失去磁力吸合而在弹簧作用下缩回锁芯,车门得以越过初开段继续向外推开。

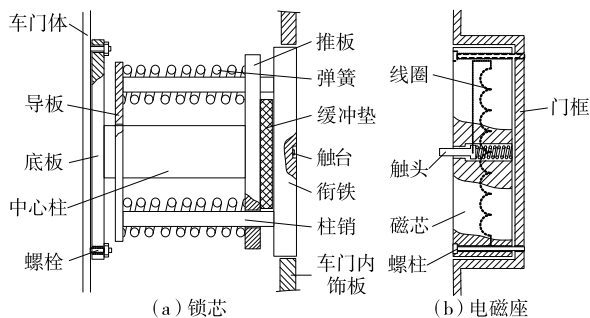


图5 防车门急开装置示意图

#### 3.2 为外部车辆和行人保留避险时间

车门在预开段应停顿必要的时长,以满足在其开门时已进入相应碰撞危险区的车辆及行人能正常通过,同时为还未进入碰撞危险区的后续来车提供足够的观察和避险反应时间。

尽管碰撞危险区的长度与来车实际采取的避险方式有关,且开门乘员无法准确预测来车将采取怎样的避险措施,但根据式(5)、式(6),来车在相同行驶速度下有  $s_a > s_b$ ,且二者均远大于  $s$ 。为确保避险安全,如式(7)所示,可统一按照对纵向碰撞的停车避险方式来确定车门预开段的停顿时长  $t$ ,使  $t$  不小于濒临进入碰撞危险区的来车从发现开门冲突开始至到达停驶车尾部之前实现停车的制动反应与减速时间,保证开门时已在相应危险区内的车辆和行人能正常通过,而尚在危险区外的车辆及行人能从容绕行或停止避让。

$$t = t_0 + t_1 + 0.5t_2 + \frac{v}{7.2k\varphi g} + \frac{3.6s'}{v} \quad (7)$$

式中:  $s'$  为停驶车的最后一道车门框后端至车尾的距离(m)。

由于  $s'$  通常较小,为简化  $t$  的计算并确保不同类型的来车都能安全避险,将式(7)中的第2、3、5项整体参照最大汽车制动协调时间允许值取  $0.80\text{ s}$ ,并按常规沥青和水泥路面的较低值取  $\varphi = 0.5$ ,使  $t$  只根据来车的行驶速度  $v$  确定。



汽车在道路上的行驶速度受多种因素影响,其中道路条件和交通管理因素的影响最重要。中国高速公路和城市快速路都禁止车辆在非紧急情况下停车,并设有专门紧急停车带和应急车道供应急停车使用,只有在普通公路和城市道路上停车才有为外部车辆保留避险时间的必要。为简化控制装置的结构以确保其可靠性,同时不过分增加下车乘员的开门延误,在不能及时、准确地检测后方来车行驶速度的情况下,可按普通道路的最高限速 80 km/h 统一设定车门在预开段的停顿时长,由式(7)计算得  $t = 3.9\text{ s}$ ,取整为 4 s。

### 3.3 向车辆内外发出开门警示信号

包括乘员遭遇危险需紧急逃离的应急开门情形在内,让汽车在车门开始向外展开之前和展开期间都发出一定的警示信号,将有助于提示开门乘员注意观察车外危险和提醒后方来车及行人注意避让。根据人的感知特性和对不同警告方式的应激反应能力,对开门乘员采用不受视野限制且易于引起无意注意的声音信号警示,对外部车辆和行人采用在道路环境中不受噪声掩蔽且具有较好辨识度的红色或黄色闪烁光信号。如图 6 所示,为便于其他车辆驾驶人 and 行人观察,以开门前发出预警信号和开门后持续提示来车避让车门为目的,分别为每道车门在外侧门钮后端设置一预警灯,在门内侧的开口端设置一防撞灯。

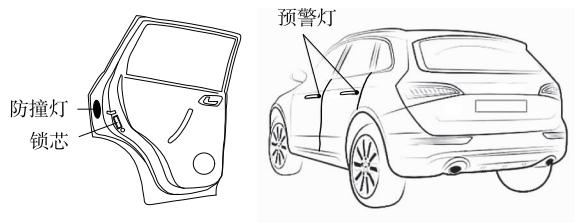


图 6 报警灯安装位置示意图

防急开装置和警示信号的工作状态由车门内侧的门钮和控制电路综合控制。如图 7 所示,当下车乘员拉开门钮时,警示信号将先于车门解锁之前开启,并持续至车门被重新关闭,防急开装置则在汽车的应急开关(即危险报警灯开关)未按下的情况下使衔铁吸合,车门开启处于受控状态;当乘员遭遇危险必须紧急逃离时,按下汽车的应急开关,使防急开装置的衔铁释放,车门可自由开启,但警示信号仍照常工作。

## 4 结论

(1) 汽车开门碰撞是由乘员的急开门行为引起

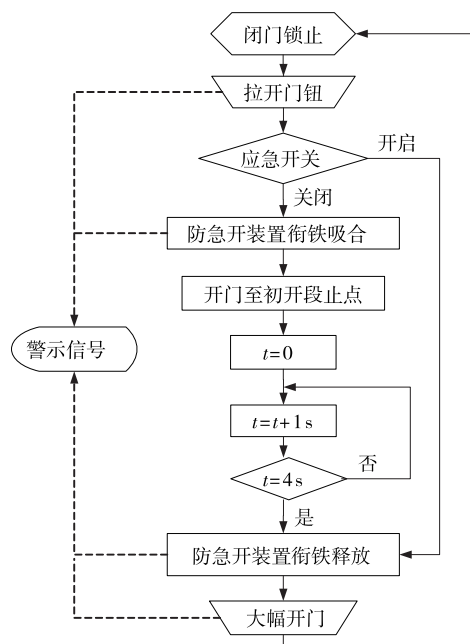


图 7 开门控制流程

的,受车内视野盲区、环境视距、碰撞危险区特征和人员安全意识等因素影响,当碰撞自行车、摩托车时容易导致严重次生伤亡事故。

(2) 开门碰撞危险区整体位于车门展开位置后方,沿来车的行驶路线呈狭长带状,具体范围取决于开门宽度和来车的行进速度与避险方式。受道路及交通环境影响,通常难以通过人员观察和检测技术准确、及时地识别来车的碰撞风险。

(3) 为防范乘员急开门行为和改善来车及行人的避险条件,应对车门的非紧急开启采取强制性分段限制,使车门在预开段的最大开幅不超过同侧后视镜宽度,停顿时长按照来车在普通道路上以最高限速行驶的停车避险需要统一设为 4 s,并在开门时向车内发出声音警示信号、向车外发出红色或黄色闪烁预警光信号和防撞光信号。

### 参考文献:

- [1] JANSCH M, QTTE D, JOHANNSEN H. Investigation of bicycle accidents involving collisions with the opening door of parking vehicles and demands for a suitable driver assistance system[C]//IRCOCI Conference, 2015: 13-21.
- [2] 王早霖, 赵翔, 王春香, 等. 一种基于环视图像的车辆开门碰撞预警方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(增刊 1): 113-116.
- [3] 刘贵如, 周鸣争, 陈效华, 等. 基于连续波毫米波雷达的车辆开门防撞预警技术[J]. 江苏大学学报(自然科学

版),2015,36(6):634—640.

- [4] 滕兆霞,徐帅帅,经洪.一种汽车开门主动防撞预警装置的设计与研发[J].工业技术,2020(6):71—72.
- [5] 赵梦彤,张岱,赵文俊,等.复杂路况下车门智能防撞预警系统[J].智能城市,2018,4(9):16—18.
- [6] 孙会明,秦永法,张纯.汽车开门防撞预警技术研究进展[J].机械工程与自动化,2018(6):223—226.
- [7] 张骏,吴志敏,潘雨帆,等.基于SVR模型的驾驶简单反应时间预测方法[J].中国公路学报,2017,30(4):127—132.
- [8] 全国机械振动与冲击标准化技术委员会.机械振动与冲击 人体暴露于全身振动的评价 第1部分:一般评价:GB/T 13441.1—2007/ISO 2631—1:1997[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [9] 中华人民共和国公安部.机动车运行安全技术条件:GB 7258—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [10] 公安部道路交通安全管理标准化技术委员会.道路交通事故

故车辆速度鉴定:GB/T 33195—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.

- [11] 张维刚,范体强.汽车侧面碰撞安全性研究探讨[J].客车技术与研究,2007,29(1):1—4+18.
- [12] 胡伟,魏春德,覃祯员,等.某轻型客车行人保护改进的试验研究[J].客车技术与研究,2018,40(5):48—51.
- [13] 芦彦兵,储江伟.基于机器视觉的汽车开门避撞预警系统研究[J].林业机械与木工设备,2019,47(6):23—26.
- [14] 张正.汽车开门防撞预警系统设计与实现[J].微型电脑应用,2021,37(8):153—156.
- [15] 李闯,庄可,周偲怡,等.车辆驻车开门防撞的智能预警系统[J].单片机与嵌入式系统应用,2019,19(9):69—72.

收稿日期:2021—09—07

\*\*\*\*\*

(上接第17页)

策略实现都市圈地区公路与城市道路多维度一体化融合发展,有利于解决都市圈地区公路与城市道路功能模糊、交通拥堵广域化蔓延等问题。该文考虑交通安全,从服务人的角度,提出都市圈地区公路与城市道路一体化相关设计标准控制建议,提升道路慢行环境品质,降低交通安全风险。

该文主要从规划视角探索都市圈地区公路与城市道路的衔接融合,下一步可从更微观视角对路基路面、桥涵、隧道等相关控制指标进行拓展研究。

#### 参考文献:

- [1] 李潭峰,郝媛,姚伟奇.国土空间规划背景下我国交通规划转型思考[J].交通运输研究,2019,5(6):50—60+84.
- [2] 杨涛.新时代跨区域综合交通运输规划的思考[J].城市规划,2021,45(3):21—23+45.
- [3] 班鹏飞,李刚,袁奇峰,等.区域视角下大城市的功能疏解及广佛都市区的实证[J].规划师,2018,34(9):18—23.
- [4] 向楠,尤文晓.新型城镇化背景下公路网规划方法研究及应用[J].交通与运输,2018(增刊1):166—169.
- [5] 林秋明.公路兼城市道路工程选线设计分析[J].福建交通科技,2019(1):7—9.
- [6] 赵佩.公路结合城市道路设计特点分析[J].公路与汽运,2018(4):30—33+39.

- [7] 涂圣文,郑克梅,赵咏财,等.干线公路与城镇道路过渡段组合式速度管理方案研究[J].中外公路,2019,39(6):281—286.
- [8] 黄正德,白瑞翔.城市道路与干线公路平交口差异化协调设计[J].城市道桥与防洪,2021(6):53—56.
- [9] 曾真.基于历史传承与城市发展融合的道路建设理念探索与实践[J].公路与汽运,2018(5):21—23+60.
- [10] 赵长相,朱信山.都市圈同城化高快速交通发展策略与规划实践[J].综合运输,2021(11):18—23+102.
- [11] 徐飞,魏景丽,刘颖慧.公路与城市道路融合发展模式研究[J].交通工程,2019(2):61—66.
- [12] 吴祖峰,茅国振,高红升,等.公路与城市道路的融合研究:以宁波市江北区为例[J].城市管理与科技,2005,7(2):75—76.
- [13] 李娟.公路与城市道路连接问题的研究[J].交通运输工程与信息学报,2010,8(1):20—24.
- [14] 吴兵.高速公路与城市道路衔接理论与方法[J].黑龙江交通科技,2013(9):57—58.
- [15] 李勇军.过境公路方案与城市规划协调性的探讨[J].广西交通科技,2003(5):116—117+120.
- [16] 彭庆艳,蒋应红.城市化进程中公路与城市道路关系研究:以上海市嘉定区道路系统为例[J].城市交通,2007,5(2):47—50.
- [17] 涂圣文,过秀成,刘海强.干线公路与城市结点典型衔接模式及适用性分析[J].山东交通学院学报,2013,21(2):43—47.

收稿日期:2021—09—06