

# 基于场景交互理论的智能道路清扫车安全设计研究

高曩<sup>1,2</sup>, 丁栋<sup>1</sup>, 姜乾喆<sup>1</sup>, 刘昊鑫<sup>1</sup>

(1.上海工程技术大学, 上海 201620; 2.同济大学 上海国际设计创新研究院, 上海 200092)

**摘要:** **目的** 通过“场景交互理论”分析智能道路清扫车作业安全问题, 以进行科学、合理的作业安全警示方式创新设计。**方法** 基于场景交互理论内涵, 将城市智能清扫语境下的交互场景细分为内部智能场景和外部现实场景; 依据现实场景中道路使用者与智能道路清扫车交互关系的特殊性, 构建以作业安全设计为目标的场景交互五要素, 对主流作业安全警示方式进行分析得出创新方向; 基于投影技术进行作业安全警示方式的框架构建和模块的结构设计, 完成了作业安全警示图案的尺寸设计、位置设计及图案内容设计的方法构建。**结果** 利用 Lumion 对设计方案进行了 3D 模拟, 验证了其合理性。**结论** 基于场景交互五要素设计的投影作业安全警示图案可为道路使用者营造更为安全的道路交通环境。

**关键词:** 场景交互理论; 智能道路清扫车; 作业安全设计; 投影警示图案

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)06-0410-10

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.06.047

## Safety Design of Intelligent Road Sweeper Based on Scene Interaction Theory

GAO Zhu<sup>1,2</sup>, DING Dong<sup>1</sup>, JIANG Qian-zhe<sup>1</sup>, LIU Hao-xin<sup>1</sup>

(1.Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China; 2.Shanghai International Institute of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**ABSTRACT:** The work aims to analyze the operation safety of intelligent road sweepers through the "scene interaction theory" to carry out scientific and reasonable innovative design on operation safety warning methods. Based on the connotation of scene interaction theory, the interaction scene in the context of urban intelligent cleaning was subdivided into internal intelligent scene and external realistic scene. According to the particularity of the interactive relationship between road users and intelligent road sweepers in real scenes, five elements of scene interaction aiming at operation safety design were constructed, and the innovation direction was obtained by analyzing the mainstream operation safety warning methods. Based on the projection technology, the framework construction and module structure design of the operation safety warning mode were carried out, and the size design, location design and pattern content design methods of the operation safety warning pattern were completed. The design scheme was simulated by Lumion in 3D and its rationality was verified. The projection operation safety warning pattern designed based on the five elements of scene interaction can create a safer road traffic environment for road users.

**KEY WORDS:** scene interaction theory; intelligent road sweeper; operation safety design; projection warning pattern

随着国内经济与社会的快速发展, 城镇化进程不断加快, 2020 年末城镇化率已超 60%, 给城市环卫行业带来极大的压力。国家统计局数据表明, 为应对多方清扫压力, 多年来各级政府不断提高环卫专用车辆保有量。然而随着居民对城市公共卫生要求的提

高, 需要清扫的场景也更加多样、复杂, 迫使传统环卫车辆升级换代, 智能道路清扫车也就应运而生。但城市道路的清洁环境充斥着许多不确定性, 道路使用者的行为也具有随机性, 导致近几年内发生了多起有关道路清扫车的交通安全事故, 在很大程度上是由于

收稿日期: 2022-11-05

基金项目: 上海工程技术大学博士单位培育-艺术学院硕博学科支撑项目

作者简介: 高曩(1965—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为交通工具设计形态学及其产业化。

道路清扫车在作业时未能提供有效、及时的安全警示。为增强城市道路智能清扫车的作业安全性, 本文将通过对作业安全警示方式的分析, 开发基于投影的作业警示方式, 增强其作业安全性, 以有效保护清扫车自身和其他道路使用者的安全。

## 1 智能道路清扫车与场景交互理论

### 1.1 智能道路清扫车定义及其分类

智能道路清扫车是依托智能控制系统, 借助吸盘、刷头对地面污水、垃圾进行清洁、清运、回收处理的环卫设备<sup>[1]</sup>, 被广泛应用于市区道路、工业厂区、机场车站、码头港口、物业小区等场所。从除污方式角度对其进行分类, 可以分为干式道路清扫车、湿式道路清扫车和干湿两用道路清扫车, 且干式清扫车和湿式清扫车具有不同的特点, 见表 1。本文主要对适用于各级城市道路与内部道路的无人智能道路清扫车进行安全设计探索, 以期提出一种无人作业的智能道路清扫车安全警示方式, 以保障行车、行人的道路安全。

### 1.2 场景交互理论在城市智能清扫语境下的延伸

场景交互理论是场景理论和交互理论的交叉衍生物<sup>[2]</sup>, 既是场景理论在交互设计中的实践和应用,

也是以交互设计原理为基础的细化和衍生, 主要研究特定场景中人的行为, 并以此对用户产品提出新的交互设计模式。

在既往的研究中, 学者倾向于按照场景结构对场景进行分类, 但无论怎样划分, 场景中人与产品的交互始终是一种主动发生的行为, 即客观场景激发了用户需求, 用户为达到特定目标, 从而对产品建立使用场景。事实上, 在场景交互研究中人的参与并非一直处于主导地位, 人与产品之间的联系也并非都是直接建立的。

在城市智能无人清扫的语境下, 智能道路清扫车取代了以往环卫工人的角色, 在清扫能力、清扫效率和作业安全等方面进行了诸多提升, 但同时交互场景也变得更加复合与细化, 如无人驾驶技术的植入增加了清扫车的内部智能交互场景。复合了多重传感技术的智能场景主要由导航场景、行走场景、识别场景和作业场景构成。传统导航场景依赖于 SLAM 地图的绘制、路径规划和运动控制, 现在深度学习成为无人驾驶领域自主定位导航的新方式; 行走场景包括循迹场景和避障场景, 循迹场景下的智能清扫车所触发的行为包括自动唤醒、正常行进、自动泊车, 避障场景下的行为包括停止、绕行和急停; 识别场景一般由激光雷达和计算机视觉辅助搭建而成, 包括距离识别、

表 1 干式、湿式道路清扫车作业详情  
Tab.1 Dry type, wet type road-sweeper operation details

分类	作业方式及示例	作业原理	适应性	优点	缺点
	 纯扫式	一组刷盘或其他机械装置通过旋转将道路垃圾扫至道路两侧或垃圾箱	市区街道 大颗粒垃圾较多的场合	结构简单 噪音低	易产生扬尘 小颗粒垃圾控制较差
干式清扫	 吸扫式	刷盘或其他作业装置通过旋转将路面垃圾扫至吸盘前面, 通过风道负压将垃圾吸入	较广	效率高 适应性广	易产生扬尘 盘刷易磨损
	 纯吸式	利用风道负压吸入灰尘及垃圾	高架、矿区等以粉尘垃圾为主的区域	吸尘范围广 效率高 维护方便	能耗较大 无法清扫潮湿路面 操作简单
湿式清扫	 冲吸式	通过一组高压喷水设备将路面垃圾冲至吸盘前面, 然后将污水与垃圾吸入垃圾箱	路面污渍较多的区域	无扬尘 路面污渍清扫力强	冬季易失效 污水吸不净 作业续航短 水资源匮乏区域无法用

信号识别和图像识别三种主要类型；作业场景可分为垃圾清扫场景和垃圾处理场景。在内部智能场景中，用户的概念开始变得模糊。从任务执行的角度来说，用户从清扫车的驾驶员转变为云端在线操作人员，依靠车体搭载的5G远程驾驶技术，通过驾驶指控中心调度台对外部运行的无人驾驶清扫车进行远程监控与车辆控制<sup>[3]</sup>。用户与车辆的直接交互行为消失不见，场景交互的核心发生了迁移，人的参与则从主导地位退为从属地位。

除上述内部智能场景外，智能道路清扫车与周围环境的交互行为构筑了外部的现实场景。在现实场景中，道路使用者成为场景交互设计的核心，其与智能道路清扫车进行交互的条件往往是双方处于同一车道，并因不同的道路通行需求产生多样的交互行为。中华人民共和国道路交通安全法第五十四条规定：洒水车、清扫车等机动车应当按照安全作业标准作业；在不影响其他车辆通行的情况下，可以不受车辆分道行驶的限制。由此，根据不同车道的道路使用者，现实场景可细分为三种交互场景：第一种是驾驶人员与智能道路清扫车的交互场景；第二种是骑行人员与智能道路清扫车的交互场景；第三种是行人与智能道路清扫车的交互场景。

### 1.3 以作业安全设计为目标的智能道路清扫车场景交互核心要素

在现实场景中，作业安全构筑了智能道路清扫车与道路使用者之间的问题场景。由于城市环卫行业的特殊性，无人驾驶技术应用于道路清洁车，可以有效解决工人凌晨工作、作业不安全的问题，但也因其“24小时均可工作”的特征，更需要提供较强的作业安全警示，在特殊时间段对其他的道路使用者进行提醒。为解决正常作业场景下可能与道路使用者发生的系列交互问题，需提出以安全设计为目标的智能道路清扫车场景交互核心要素。

2015年，辛向阳<sup>[4]</sup>在《交互设计：从物理逻辑到行为逻辑》一文中，提出传统设计可理解为对“物”的创造，在交互设计中“物”成为了研究人类行为的工具或媒介，认为“人、动作、工具或媒介、目的和场景”是交互设计的核心五要素，这里的人特指产品用户。而道路使用者与智能道路清扫车之间不是“使用”与“被使用”的关系，对道路使用者而言，与之直接发生交互动作的产品是汽车、电瓶车、自行车等载运工具；对智能道路清扫车而言，其全部作业行为由智能终端操控，不存在用户概念。因此，两者交互行为的出现以双方目标场景的交集为背景，即智能道路清扫车介入了道路使用者的通行场景，或道路使用者介入了智能道路清扫车的作业场景，在这两类场景下的智能道路清扫车作业安全警示问题是本文所关注的重点。由此，根据辛向阳教授的交互设计五要素，可提出以作业安全设计为目标的智能道路清扫车场景

交互核心五要素，即道路使用者、目的、情境、警示方式和行为，其逻辑关系如图1所示。

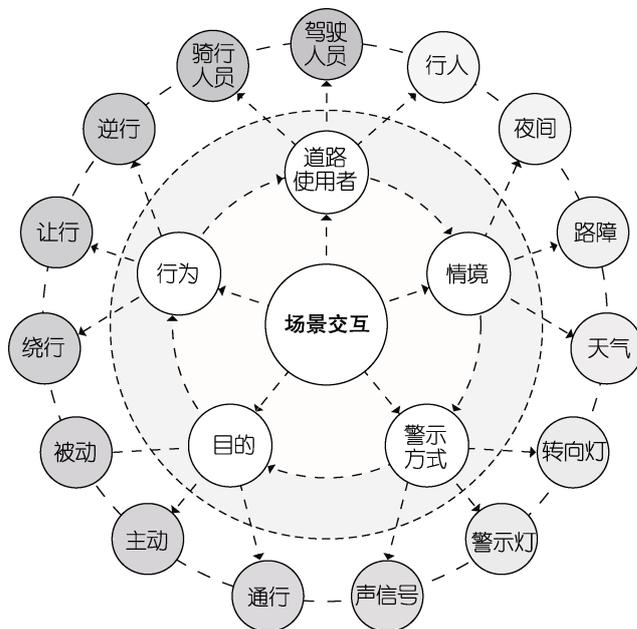


图1 智能道路清扫车场景交互核心要素  
Fig.1 Core elements for scene interaction of intelligent road sweepers

#### 1.3.1 道路使用者

道路使用者主要包括驾驶人员、骑行人员和行人三类人群，在通行过程中受道路障碍、车辆密度、行车行为、突发事件、自然因素等影响容易与周围环境产生联系或冲突。

#### 1.3.2 情境

情境是指任何一切可以用来描述某个对象情形和特征的信息，包括时间、位置、人物关系、自然状况以及社会事件等<sup>[5]</sup>。在通行场景中，道路使用者周围的情境包括雨雪天气、遇到路障、堵车、逆行、出现交通事故等；在作业场景中，智能道路清扫车周围的情境包括在循迹过程中出现障碍物、发现地面垃圾、遇到交通信号灯等。

#### 1.3.3 警示方式

在不同情境下智能道路清扫车选择的警示方式有所不同，如遇到路障、行人闯入，则执行刹车任务，同时刹车灯亮起提醒后方通行者降速；当遇到道路施工，则执行掉头任务，倒车灯、转向灯亮起提醒通行者提前做好变道、转向准备；在大雾天气下，主动亮起示廓灯以警示通行者车辆所在位置。除灯光警示外，部分清扫车还配备有语音警示系统，不过在环境嘈杂的道路上效果不佳。

#### 1.3.4 目的

目的贯穿于道路场景交互的始终，指导着道路使用者在不同情境下的交互行为，具体可分为通行目

的和行为目的。通行目的在进入情境前就已经出现了, 包括工作目的、生活目的、娱乐目的等; 行为目的亦称作行为动机, 有主动和被动之分, 受情境影响较大。主动目的在有选择的情况下产生, 如发现前方正在进行清扫作业时, 主动做出变道行为; 被动目的在无选择的情况下产生, 如非机动车道的逆行者在路口转弯时收到清扫车传来的声信号, 从而选择避让。

### 1.3.5 行为

人的行为是场景交互理论的研究重点。在城市道路中道路使用者与智能道路清扫车相遇的情境各不相同, 因接收了不同的警示信号所诱发的行为也具有显著差异。如驾驶人员遇到前方闪烁黄色双箭头的清扫车, 清楚此时清扫车正在进行正常作业, 往往会采取超车行为且一般不会发生交通事故, 总体来说安全系数中等; 骑行人员在夜间, 尤其是阴雨天气, 地面湿滑且个人视线可见度相对白天或平时大幅降低, 在车辆较少的情况下容易逆行, 如果道路清扫车的灯光警示无法准确向骑行者传达安全距离, 那么容易造成双方刮蹭或碰撞, 安全系数较低; 行人相对于前两类人群有着较强的自主性, 在看到清扫车发出转向、刹车、作业等警示符号时, 能够灵活机动地提前做出反应, 安全系数较高。

## 2 智能道路清扫车作业安全警示方式设计

智能道路清扫车可以 24 小时全天候工作, 在这种情况下, 如何有效警示过往行人至关重要。因此, 基于前文提出的场景交互五要素对智能道路清扫车作业安全警示方式进行分析, 提出了一种基于投影的作业安全警示方式及其系统设计方法, 并用设计案例来证明其合理性与高效性。

### 2.1 基于场景交互五要素的作业安全警示方式分析

常见智能道路清扫车的警示应用有如下四种:

(1) 转向灯警示; (2) 反光条警示; (3) 警示灯警示; (4) 声信号警示。基于场景交互五要素对其内部系统和优缺点进行如下分析。

#### 2.1.1 转向灯警示方式

以光信号为信息载体, 主动发光, 较为直观, 能够适应不同道路情境 (如雨雪天气、夜间), 警示道路使用者做好跟车、慢行、让行的道路行为。

#### 2.1.2 反光条警示方式

以光信号为信息载体, 被动发光, 效果局限性较大, 依赖于车辆射入的光线强度及其入射角参数, 使用情境具有局限性, 基本只能在傍晚和夜间奏效, 因此此类方式通常结合其他警示方式一起使用。

#### 2.1.3 警示灯警示方式

以光信号为信息载体, 主动发光, 动态旋转的灯光效果会吸引人的视线, 在多种现实情境下具有较强的适应性。

#### 2.1.4 声信号警示方式

以声信号为载体, 具有较强的天气适应性, 在视线盲区, 声信号可以提早告知人们有车辆驶入。但通常会产生一定的噪音, 并且会同其他交通工具经过所产生的噪音相互影响, 不具备 24 小时工作的警示条件。

从上述分析可以发现, 目前主流的作业安全警示均以光信号为载体, 通过主动发光的方式来执行作业安全警示, 而其他的方式应用较少, 究其原因, 是因为人们在道路上会接收到各种信号的刺激, 但是通过视觉获取的信息超过 80%<sup>[6]</sup>。这种刺激给了人们足够的反应时间, 可以有选择地设定几种目的, 如计划绕行、计划变道、计划停车。因此, 在作业安全警示中, 光信号是一个理想的传播方式, 且红色和黄色更容易使人产生危险警示的感受<sup>[6]</sup>。

通过研究人在道路中的观察行为, 可以发现人在站立与坐姿的情况下, 其自然视线会偏离水平面, 向下偏离  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ , 在自然状态下, 人的视角落点会置于地面, 而非远处靠上的车顶位置。现有的大多数警示灯为了警示效果明显, 均安装于车体靠上的位置, 不利于唤醒人们的自我防护行为。综上, 作业安全警示应该以红色光信号为载体, 并且将该警示光照投射于地面, 不仅会起到较好的警示作用, 也可以划定清扫车的作业边界。

## 2.2 基于投影的作业安全警示方式设计

根据上述的作业安全警示方式分析, 基于投影技术进行智能道路清扫车作业安全警示方式的框架构建和模块的结构设计, 以期在现有警示灯作为白天警示的基础上, 通过投影技术, 提高在夜间情境下作业安全警示的有效性和美观度, 增强道路使用者的交互体验。

### 2.2.1 基于投影的作业安全警示方式框架构建

基于投影的作业安全警示方式, 在照明不足时具有较好的警示效果, 可以作为警示灯的一种补充手段。因此, 提出一种集成的基于投影的作业安全警示方式, 将后车灯进行重新布置, 使其在原功能的基础上, 既包含转向灯所构成的警示灯, 也包含用于投射警示图案于地面的投影功能元件, 提升作业安全性。其功能框架如图 2 所示。

在此警示方式下, 对传统道路清扫车的后车灯进行改造。由于我国道路规定“行车靠道路右侧行驶”, 因此将投影警示模组置于道路清扫车尾部的左车灯组内部, 以同时满足照明充足和照明不足的警示需求。

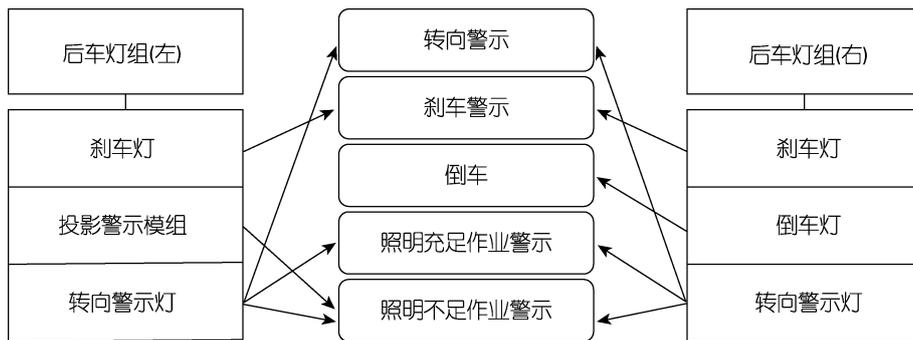


图2 集成投影警示的后车灯功能框架  
Fig.2 Functional frame of taillight integrated with projection warning

当道路清扫车在执行作业任务时,如果处于光照充足的情境,则左右两个灯组的转向灯均开始闪烁,执行预定的闪烁警示;若光照不足,转向警示灯组执行闪烁警示,投影警示模块也通电工作,将预定的图案投射于地面,起到双重警示的作用。此外,由于智能道路清扫车集成了诸多传感器,如毫米波雷达、激光雷达等,因此,可利用此类传感器,知晓周边是否有移动物体,进而主动停止作业,满足主动避障和被动警示相结合的功能,进一步提升道路清扫车24小时工作时间下的作业安全性。

2.2.2 集成投影警示的清扫车尾灯结构设计

对现有的道路清扫车后方灯组进行梳理,其功能原型可以归纳成一个包围式的矩形,并且可以根据需要进行横置或竖置,如图3a所示。

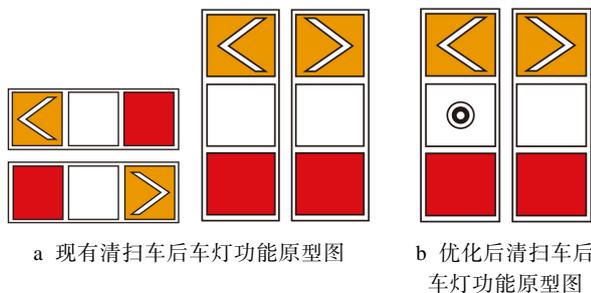


图3 清扫车后车灯原型图  
Fig.3 Prototype of taillight on road sweepers

选用竖置的车灯作为改进基础,将左侧的倒车灯舍弃,改为投影警示模块,保留右侧灯组的倒车灯,其功能原型如图3b所示。左侧灯组中间的投影警示模块,采用遮光挡板遮挡后方射入的光源,以确保形成预先设计的警示图案。采用遮光挡板的结构设计可以极大地降低投影灯组的成本并减小体积,并且在后期可以通过更换遮光挡板的形式对图案形式进行更换和定制。该投影灯模块由LED光源、光学反射镜、遮光挡板架、遮光挡板和光学透镜组成,其结构模型如图4所示。

在此系统中,LED光源可发出较强的单色红光,作为警示光源的基础;光学反射镜采用非直面设计,

可改变发散出来的光源方向,将其反射成平行光源,以更好地通过遮光挡板;遮光挡板架用于支撑及固定上方的遮光挡板;遮光挡板用于遮挡不必要的光线,而通过挡板上的透光孔洞对射来的光线重新分配,可得到预设透过的光线形状;光学透镜采用非球面设计,可进一步将挡板透过的光线以一定角度扩散成合适的尺寸及面积,并投射于车旁的地面上。

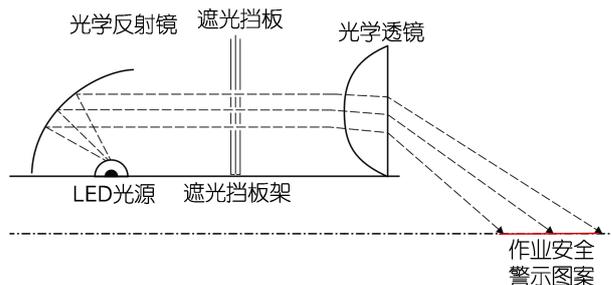


图4 投影警示灯结构模型  
Fig.4 Structure model of projection warning light

考虑到遮光挡板若只有一个透光孔洞,透过的光线形成的投影图案将会比较单一。因此,将遮光挡板进一步优化为不同透光率的挡板组合,如图5所示。通过此种组合,改变不同区域内的透光率,进而形成不同的亮度,以丰富投射的层次。

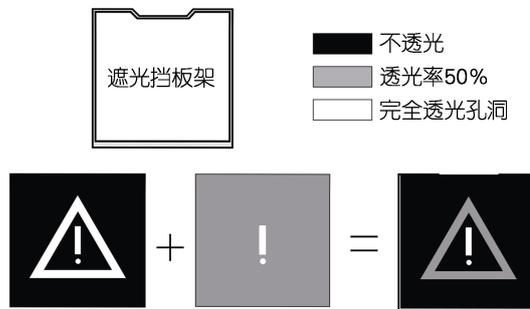


图5 遮光挡板架结构设计  
Fig.5 Structure of light-blocked panel holder

根据上述功能原型设计及功能框架,建立该道路清扫车左右尾灯的三维模型,其不同角度透视图如图6所示,左尾灯爆炸图如图7a所示,右尾灯爆炸图如图7b所示。



及投影设备带来较大的压力。为了与清扫车侧面尺寸相匹配,减轻侧面投影压力以及空间占用,将纵向视觉尺寸改为 45 cm,选择作业安全投影警示图案的视觉尺寸为 60 cm×45 cm 的矩形,既可以有效满足警示性需求,也可以降低成本。

### 3.1.2 实际尺寸反求

根据前文提到的人机工程学参数可知,人在正常情况下视线会向下偏移 15°,进而形成了由人的身高、视线延长线以及前进距离构成的视距直角三角形。由于骑行者的速度较快,需要更长的安全距离,而走路的人需要的安全距离较短,考虑采用骑行者构建此视距直角三角形,如图 9 所示。

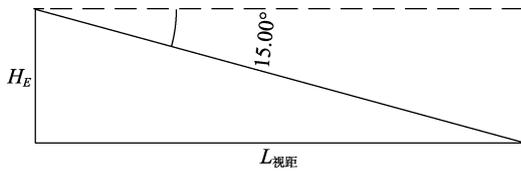


图 9 视距三角形  
Fig.9 Triangle of visual distance

$$H_E = H_b + H_s \quad (1)$$

式中,  $H_E$  为坐姿眼高,根据 GB/T 10000-1988,取第五百分位值 695 mm;  $H_b$  为鞍座高,根据调研,取 800 mm;

根据三角关系可得:

$$L_{\text{视距}} = \frac{H_E}{\tan 15^\circ} \quad (2)$$

根据上述公式及参数可求得  $L_{\text{视距}} = 557.94 \text{ cm}$ 。投影警示图案视觉尺寸为 60 cm×45 cm,综合驾驶眼高为 1 495 mm,在 Rhinoceros7.0 软件中绘制该尺寸关系,首先从平面求得警示图案的纵向长度,进而转到三维视角并延伸相关直线求得与地平面的交点,连接相关点后得到投影警示图案的实际尺寸,如图 10 所示。

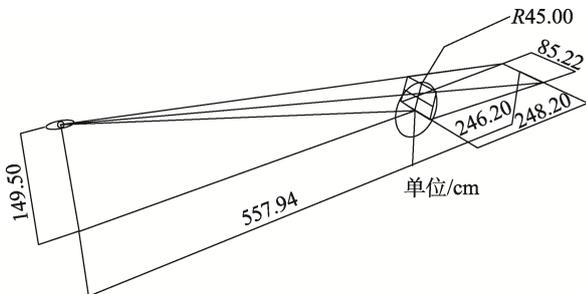


图 10 警示图案尺寸反求  
Fig.10 Dimension reverse of warning pattern

最终对数据取整后得出,构建一个实际投影尺寸为:上底 60 cm、下底 85.22 cm、高 246.2 cm 的梯形,如图 11 所示,可令道路使用者在 558 cm 以外看到 60 cm×45 cm 的视觉图案。

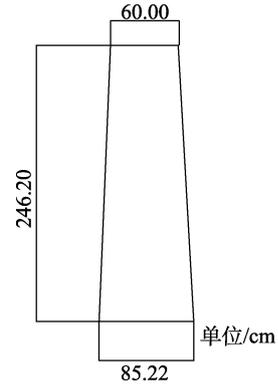


图 11 警示图案实际尺寸  
Fig.11 Exact dimension of warning pattern

## 3.2 位置设计

### 3.2.1 视距模型与安全距离

为保证道路使用者有充足的时间和距离对前方提示的信息进行识读和反应,应对其视认过程进行梳理,建立视距模型,进而求得道路使用者与警示图案间的安全距离。

根据皮尔斯的符号学理论,一个符号是由表现体、对象和解释项构成的<sup>[8]</sup>。结合乘用车驾驶员视认和操作模型<sup>[9]</sup>与皮尔斯三元关系理论,符号的三个构成对应着人看到符号后从识读到理解的三个阶段。因此,若将该投影于地面的作业安全警示图案视为一个符号,道路使用者看到后,将会经历识读阶段、反应阶段和操作阶段,分别需要驶过的距离为  $L_{\text{总}} = L_{\text{识读}} + L_{\text{反应}} + L_{\text{操作}}$ 。

其中:

$$L_S \geq L_{\text{总}} = L_{\text{识读}} + L_{\text{反应}} + L_{\text{操作}} \quad (3)$$

$$L_{\text{识读}} = \frac{V_0}{3.6} \times T_1 \quad (4)$$

$$L_{\text{反应}} = \frac{V_0}{3.6} \times T_R \quad (5)$$

$$L_{\text{操作}} = \frac{V_0^2 - V_S^2}{254\phi} \quad (6)$$

式中,  $L_S$  为安全距离,  $L_{\text{识读}}$ 、 $L_{\text{反应}}$ 、 $L_{\text{操作}}$  分别为识读阶段、反应阶段、操作阶段骑电动车的人走过的距离。 $T_1$  为识读时间,取  $T_1 = 300 \text{ ms}$ <sup>[10]</sup>;  $V_0$  为初速度,取  $V_0 = 20 \text{ km/h}$ ;  $T_R$  为看到图像的反应时间,根据研究<sup>[11]</sup>取反应时间  $T_R = 600 \text{ ms}$ ;  $V_S$  为安全速度,取完全停车的最小值  $V_S = 0$ ;  $\phi$  为路面附着系数,取  $\phi = 0.4$ <sup>[12]</sup>。

代入以上数据,求得  $L_{\text{视认}} = 8.9 \text{ m}$ 。当安全距离  $L_S \geq 8.9 \text{ m}$  时,可以保证道路使用者能有效识读该警示图案并有足够的时间作出反应,安全避开此区域。

### 3.2.2 纵向位置设计

根据前文可得,安全距离  $L_S$  应大于 8.9 m。此时

由视距距离和图案纵向长度构成的总长为:  $558\text{ cm} + 246\text{ cm} = 804\text{ cm}$ 。该长度和  $L_5$  具有  $86\text{ cm}$  的差值。因此, 作业安全警示图案的纵向位置为: 警示图案的较长底边与清扫车尾之间的距离应大于  $86\text{ cm}$ 。

### 3.2.3 横向位置设计

横向位置应使道路使用者在避开警示图案时, 不与清扫车发生碰撞行为。因此, 警示图案的横向位置应为: 以警示图案长底边外端点作纵向的线, 其位置应与道路清扫车外边缘在一条纵向的线上。

## 3.3 图案内容设计方法构建

道路清扫车的作业安全警示图案在场景交互中应具有明确的含义和良好的警示效果, 其图案内容是设计重点。本文梳理了警示图案的内容设计方法, 分为确定语义因子、形态因子的抽象与重构以及因子组合三个步骤进行。

### 3.3.1 确定语义因子

设计因子可以分为显性设计因子和隐性内涵因子<sup>[13]</sup>, 语义因子是一种隐性的设计因子。在 DOW 警示图案设计的第一步, 设计者要明确图案表达的含义, 得出语义因子, 作为设计的出发点。根据提醒方法的不同, 将语义因子分为: 警告、禁止、引导转向三种, 常见的释义与实例如表 2 所示。设计者可从中选取单个或多个语义因子作为设计的出发点。

表 2 语义因子释义与实例

Tab.2 Examples and paraphrase of semantic factors

项目	警告	禁止	引导转向
语义因子释义	正在作业, 请注意安全	作业区域, 请勿驶入	正在作业, 请转向避让
相似语义交通标志			

### 3.3.2 形态因子的抽象与重构

形态因子是一种显性因子, 是指从图解思维角度直接用图形的形态来表达设计者试图与受众沟通的信息。警示图案中的形态因子, 应具有较高的可读性、直观性以及易识别性。

在前文确定语义因子后, 需要根据不同地域文化

及交通标识等因素, 确定对应的对象元素, 并抽象成形态因子。之后, 可使用一定的设计手法进行因子重构, 得到全新的形态因子。

### 3.3.3 因子组合

根据不同的语义, 可以将作业安全警示图案的构成分为主形态因子和辅助形态因子。而主形态因子可进一步分为: (1) 单个主形态因子 (2) 多个主形态因子。单个主形态因子表意较为直接明确, 多个主形态因子表意较丰富, 若有多个主形态因子产出, 可运用置换构成、解构重组、几何抽象、平面因子立体化以及图形转译的设计方法进行设计<sup>[14]</sup>。

在主形态因子的基础上, 结合辅助因子, 可提升警示图案的表现力、冲击力、构成感和设计感。辅助形态因子作为警示图案中的填充与强化物, 可以选择形态因子进一步抽象简化的变体, 也可以选择语义因子下的其他形态变体。

## 4 作业安全投影警示图案设计实践

结合前文的研究结果设计作业安全警示图案, 使用相关软件进行模拟。

### 4.1 语义因子确定

确定图案的语义因子及形态因子, 选择“引导转向”作为警示图案设计的语义因子以及设计的出发点。

### 4.2 形态因子的抽象与重构

对道路使用者而言, 最好的图案呈现就是不改变其原本的交通规则认知逻辑。在道路通行场景中, 粗细、虚实变换的线条和具有方向感的箭头让人们清楚在应对各样情境时应该作出怎样的行为。故选择箭头符号作为“引导转向”的形态因子, 将其进行进一步简化, 并填充具有警示功能的红色<sup>[15]</sup>, 背景填充黑色, 如图 12a 所示。

将形态因子进行如下重构: 首先, 将其重复以填充整个警示图案的画布, 进一步强调“引导转向”的语义, 如图 12b 所示; 其次, 将中间的两组箭头宽度减小, 调整水平间距, 提升节奏感, 如图 12c 所示; 最后, 将第一个箭头上部部分向后延伸, 对其余箭头进行调整, 增强形式感, 如图 12d 所示。

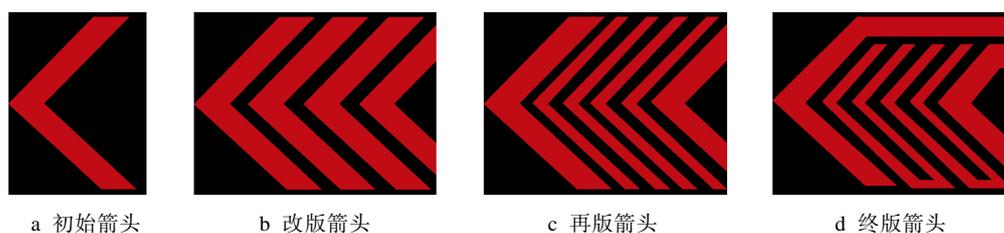


图 12 形态因子的抽象与重构

Fig.12 Abstraction and reconstruction of morphological factors

### 4.3 因子组合与效果展示

将上述形态因子进一步变形,当作辅助因子,降低红色饱和度,代表低透光度的区域,置于左侧,填充画面并强调图形边界。至此,作业安全的警示图案设计已经完成,如图 13a 所示。将其还原为实际投影于地面的图案,如图 13b 所示。



a 安全警示图案概念效果图      b 全警示图案实际效果图  
图 13 作业安全警示图案

Fig.13 Operation safety warning pattern

将图 13b 放置于模拟的场景模型,用 Lumion 从后方模拟人类视角进行仿真,如图 14 所示。投影设备对该警示图案的实际投影效果如图 15 所示。经过模拟发现,该警示方式效果明显,意图表达清晰,具有较好的效果,可以作为道路清扫车在照明不足时作业安全的警示手段。



图 14 使用效果模拟图

Fig.14 Simulation scene of projection

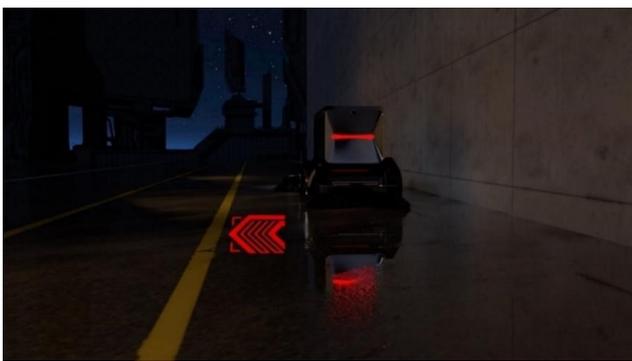


图 15 实际投影效果图

Fig.15 Effect of actual projection warning

## 5 结语

工业 4.0 时代,以“无人驾驶、智能清洁、智能调度”为核心的新一轮环卫设备的升级逐渐改变了传统以人为核心的作业模式。目前智能道路清扫车可以进入城市任一路段进行 24 小时不间断清扫,起到了节约人力、提高作业效率的重要作用。围绕作业安全设计提出的场景交互五要素正是为了更加全面、系统地讨论智能道路清扫车在各场景交织下的作业安全问题,有助于构建较为完善的作业安全警示模式,基于投影的警示图案创新设计为加强智能道路清扫车的作业安全性提供了一定的思路。

### 参考文献:

- [1] 钦松,王毅,黄海燕. 和谐化设计下的小型道路清扫车造型设计研究与应用[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 215-217.  
QIN Song, WANG Yi, HUANG Hai-yan. Study and Using of the Path Sweep Cleaner Vehicle's Shape Design Based on the Harmonious Thought[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(12): 215-217.
- [2] 王子凡. 基于场景交互理论的健身 App 设计研究——以“空巢青年”为对象[D]. 泉州: 华侨大学, 2021.  
WANG Zi-fan. Research on Interactive Design of Fitness APP Based on Scene Interaction[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2021.
- [3] 刘奎. 公共场所智能清扫机器人研制[D]. 南京: 东南大学, 2015.  
LIU Kui. Research and Development of Intelligent Cleaning Robot in Public Places[D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [4] 辛向阳. 交互设计: 从物理逻辑到行为逻辑[J]. 装饰, 2015(1): 58-62.  
XIN Xiang-yang. Interaction Design: From Logic of Things to Logic of Behaviors[J]. Art & Design, 2015(1): 58-62.
- [5] 曾子明, 陈贝贝. 移动环境下基于情境感知的个性化阅读推荐研究[J]. 情报理论与实践, 2015, 38(12): 31-36.  
ZENG Zi-ming, CHEN Bei-bei. Research on Personalized Reading Recommendation Based on Context-Aware in Mobile Environment[J]. Information Studies: Theory & Application, 2015, 38(12): 31-36.
- [6] 徐良杰, 铁文君, 奚少新. 基于路面色彩信息的驾驶员视觉心理效应分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016, 40(4): 592-596, 602.  
XU Liang-jie, TIE Wen-jun, XI Shao-xin. Analysis of Driver's Visual Psychological Effects Based on Pavement Color Information[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2016, 40(4): 592-596, 602.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委

- 员会. 道路交通标志和标线第1部分: 总则: GB 5768.1—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Road Traffic Signs and Markings - Part 1: General: GB 5768.1—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [8] 梁建飞. 皮尔斯范畴论视域下的平面广告视觉符意系统[J]. 包装工程, 2020, 41(8): 293-296.
- LIANG Jian-fei. Ideographic System of Print Advertising Visual Symbols from the Perspective of Pierce's Category Theory[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(8): 293-296.
- [9] 刘雄伟. 道路交通安全警示路面设计研究[J]. 山西交通科技, 2020(1): 104-107.
- LIU Xiong-wei. Study on Road Traffic Safety Warning Pavement Design[J]. Shanxi Science & Technology of Communications, 2020(1): 104-107.
- [10] 徐志, 关宏志, 严海, 等. 交通标志文字信息驾驶员眼动视认特性[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(12): 1830-1835.
- XU Zhi, GUAN Hong-zhi, YAN Hai, et al. Driver Eye Movement Features on Text Message from Traffic Signs[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(12): 1830-1835.
- [11] 徐杰, 杜文, 孙宏. 跟车安全距离的分析[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(1): 101-104.
- XU Jie, DU Wen, SUN Hong. Safety Distance about Car-Following[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(1): 101-104.
- [12] 程国柱, 秦丽辉, 徐亮, 等. 城市道路人行横道处夜间限速标志前置距离研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(6): 227-231, 237.
- CHENG Guo-zhu, QIN Li-hui, XU Liang, et al. Advance Distance of Speed Limit Sign for Crosswalk of Urban Road at Night[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15(6): 227-231, 237.
- [13] 许晓云, 冯静静. 传统扇文化元素在产品中的应用研究[J]. 设计, 2016(14): 124-125.
- XU Xiao-yun, FENG Jing-jing. Application Research of the Traditional Fan Culture Elements in Product Design[J]. Design, 2016(14): 124-125.
- [14] 熊佳慧, 杨梅. 青岛民俗文化因子挖掘在旅游纪念品设计中的应用[J]. 设计, 2020, 33(16): 120-123.
- XIONG Jia-hui, YANG Mei. The Application of Qingdao Folk Culture Factors Research in Tourist Souvenirs[J]. Design, 2020, 33(16): 120-123.
- [15] 曾智林. 基于色彩工学探究工程机械产品外观安全警示设计[J]. 包装工程, 2012, 33(12): 88-91.
- ZENG Zhi-lin. Safety Design of the Engineering Machinery Product Appearance Based on the Color Engineering[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(12): 88-91.

责任编辑: 马梦遥

(上接第403页)

- [8] 杨仲文. 包装设计中的地域性探索与研究[J]. 大舞台, 2015(12): 71-72.
- YANG Zhong-wen. Regional Exploration and Research in Packaging Design[J]. Grand Stage, 2015(12): 71-72.
- [9] 刘晓妮. 包装设计中的民族性、地域性的探索与研究[J]. 艺术科技, 2013, 26(7): 195.
- LIU Xiao-ni The Exploration and Research of National and Regional Characteristics in Packaging Design[J] Art and Technology, 2013, 26(7): 195.
- [10] 汪美渝. 现代产品包装的地域性特征研究[J]. 艺术科技, 2019, 32(4): 177.
- WANG Mei-yu. Study on Regional Characteristics of Modern Product Packaging[J]. Art Science and Technology, 2019, 32(4): 177.
- [11] 潘阿芳. 谈土特产包装的地域性设计[J]. 美与时代(下半月), 2008(12): 92-94.
- PAN A/E/E F. On the Regional Design of Local Product Packaging[J]. Aesthetics, 2008(12): 92-94.
- [12] 杨晔, 王杰. 农产品包装设计探析[J]. 大观, 2020(2): 75-76.
- YANG Ye, WANG Jie. Analysis on Packaging Design of Agricultural Products[J]. Dagan, 2020(2): 75-76.
- [13] 陈立民, 苟潇冉. 新零售市场中农产品包装设计研究[J]. 工业设计, 2019(4): 90-91.
- CHEN Li-min, GOU Xiao-ran. Packaging Design of Agricultural Products in New Retail Market[J]. Industrial Design, 2019(4): 90-91.

责任编辑: 马梦遥