

团体标准

T/ITS 0146-2020

智能网联扫路机系统 技术要求与测试规程

System of intelligent connected sweeper machine

Technical requirements and test procedures

2020-12-31 发布

2021-03-01 实施

中国智能交通产业联盟 发布

中国智能交通产业联盟

目 次

前言..... III

引言..... V

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 符号和缩略语..... 2

5 智能网联扫路机系统应用场景..... 2

6 智能化作业等级..... 3

7 基本要求..... 5

8 功能要求..... 5

9 性能和测试规程..... 7

附录 A（资料性附录）智能网联扫路机开放区域自动驾驶测试规程..... 23

中国智能交通产业联盟

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本标准由中国智能交通产业联盟提出并归口。

本标准主要起草单位：北京邮电大学、行道科技有限公司、广东盈峰智能环卫科技有限公司、中兴通讯股份有限公司、北京智行者科技有限公司、南京智行信息科技有限公司、同济大学、交通运输部公路科学研究院、湖南湘江智能科技创新中心有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、深圳市未来智能网联交通系统产业创新中心。

本部分主要起草人：路兆铭、邓家寅、彭瑜、俎喜杨、龚建球、吴作清、陈晓、郭勇、赵勃、张放、姜汗青、毕欣、高金、李文亮、杨静、周开宇、阳辉辉。

中国智能交通产业联盟

引 言

目前，国内智能网联扫路机的落地化进程逐渐加快，市面上推出了许多智能扫路机产品。为规范智能网联扫路机系统的功能和智能化作业分级要求，本标准阐述了智能网联扫路机系统的三个智能化作业等级和相应的功能要求及测试规程。所规定的功能要求及测试规程可以作为厂家测试扫路机智能化作业等级的参考。

中国智能交通产业联盟

智能网联扫路机系统 技术要求与测试规程

1 范围

本标准规定了智能网联扫路机系统智能化作业分级和相应的功能要求及测试规程。

本标准适用于开放区域和封闭区域下的电动自动扫路机，其它类型设备可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JB/T10856-2018 道路施工与养护机械设备 扫路机

《国家车联网产业标准体系建设指南(智能网联汽车)》[J].信息技术与标准化,2018(Z1):11.

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

垃圾倾倒点 dump site

智能网联扫路机倾倒垃圾的指定地点。

3.2

安全距离 safe distance

在保证安全的情况下，智能网联扫路机距离障碍物的最小距离。

3.3

清扫路径 cleaning path

扫路机在清扫道路时的行驶轨迹。

3.4

可清扫对象 cleanable object

扫路机可处理的特定类型路面杂物。

3.5

潜在可清扫对象 potential cleanable object

所有在负责区域可检测到的非附属于道路、消防、景观等基础设施的物体。

3.6

调度平台 dispatching platform

完成任务下发、远程接管、扫路机状态监测的控制平台。

3.7

封闭区域 close area

室外封闭路段，包括但不限于广场、园区。

3.8

开放区域 open area

开放路段，包括但不限于辅路。

3.9

网联自动驾驶 connected automated driving

能够通过 V2X 获取感知信息、协助决策信息和控制信息的自动驾驶方式。

4 符号和缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ODD：设计适用范围（Operational Design Domain）

5 智能网联扫路机系统应用场景

智能网联扫路机系统的应用场景包括封闭区域，如，工厂、园区和开放区域，如，道路辅路，封闭区域示意图见图 1，开放区域示意图见图 2。

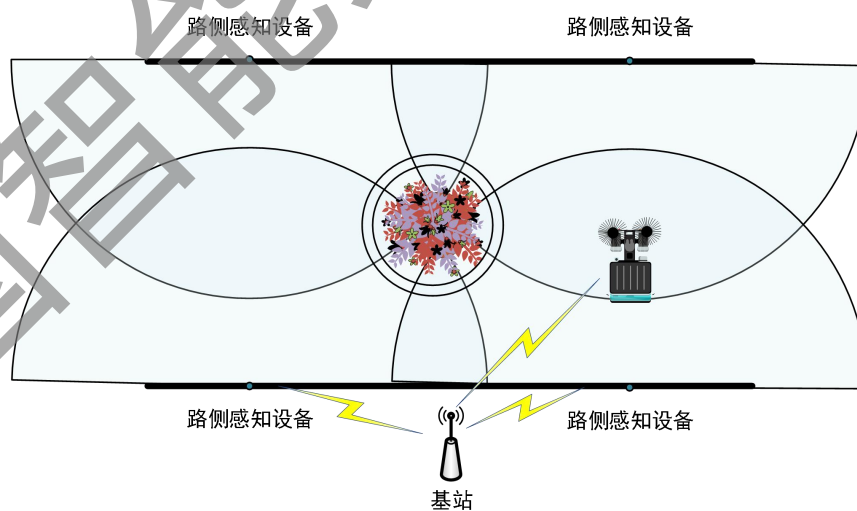


图 1 封闭区域

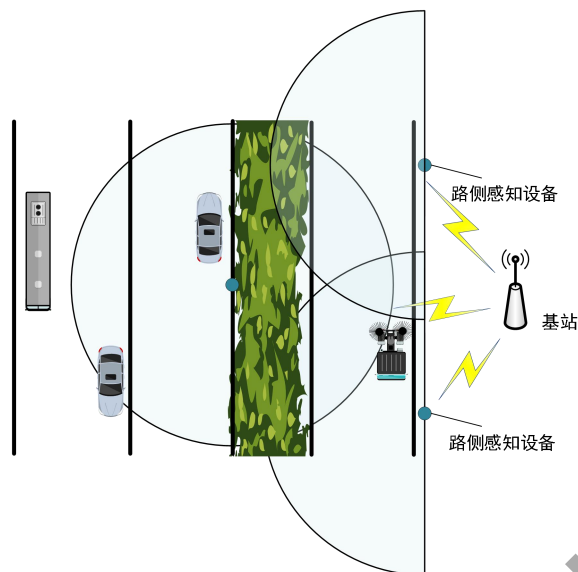


图 2 开放区域

6 智能化作业等级

6.1 智能化作业分级原则

基于扫路机系统执行清扫任务的自主化程度，根据清扫任务触发条件和清扫精细化程度，将扫路机系统的智能化作业等级分为基础智能、增强智能、综合智能。

6.2 智能化作业等级划分要素

基于如下 3 个要素对智能化作业等级进行划分：

- 扫路机系统是否按照预定时间和路线进行清扫；
- 扫路机系统是否考虑天气条件进行自主规划的清扫任务或终止预定的清扫任务；
- 扫路机系统是否执行负责区域可清扫对象检测，并自主规划目标驱动的清扫任务。

6.3 智能化作业等级划分

6.3.1 基础智能

扫路机系统执行静态规划的任务，清扫任务由管理人员制定，并通过扫路机调度平台定时将清扫指令下发到扫路机，扫路机根据指定的清扫路径进行清扫。

6.3.2 增强智能

扫路机系统执行动态规划的任务，扫路机可通过网络获取天气、温度、湿度等环境信息的变化，并针对环境变化进行动态的局部区域清扫任务或终止预定的清扫任务。

6.3.3 综合智能

扫路机系统执行事件驱动的任务，扫路机通过网络获取负责区域内的路面信息，并根据路面上潜在可清扫对象的类型和位置自主规划清扫任务。

6.4 分级要求

智能网联扫路机系统分级要求如下：

- a) 各等级智能网联扫路机系统均应具备该等级对应的功能要求；
- b) 各等级智能网联扫路机系统均应通过该功能要求对应的测试规程。

智能网联扫路机系统具体分级的功能要求见表 1。

表 1 智能网联扫路机系统分级要求

序号	功能	开放区域			封闭区域		
		基础智能	增强智能	综合智能	基础智能	增强智能	综合智能
1	开放区域自动驾驶	●	●	●			
2	通信	●	●	●	●	●	●
3	远程人工接管	●	●	●	●	●	●
4	路面清扫	●	●	●	●	●	●
5	定时自动唤醒	●	●	●	●	●	●
6	制动避障	●	●	●	●	●	●
7	变道避障	●	●	●			
8	绕行避障				●	●	●
9	沿边清扫	●	●	●	●	●	●
10	自动到达垃圾倾倒点	●	●	●	●	●	●
11	天气状况感知		●	●		●	●
12	负责区域可清扫对象检测			●			●
13	沿边式路径规划		●	●		●	●
14	覆盖式路径规划					●	●
15	目标驱动沿边式路径规划			●			●
16	目标驱动覆盖式路径规划						●

注：●表示该等级必备功能项。

7 基本要求

7.1 总则

智能网联扫路机系统要求完成网联自动驾驶以及自动清扫功能，自动驾驶策略和自动清扫模式由厂商决定。

7.2 设计适用范围

厂商应定义智能网联扫路机系统的 ODD，确定智能网联扫路机系统的应用场景和智能化作业等级，并满足对应的功能要求。ODD 应至少包含以下参数：

- 最大速度；
- 应用场景；
- 光照条件；
- 天气条件；
- 温度条件；
- 道路条件；
- 通信要求。

ODD 条件发生变化时，重新设定车辆运行参数。

8 功能要求

8.1 开放区域自动驾驶要求

按照附录 A：《智能网联扫路机开放区域自动驾驶测试规程》中规定的智能网联扫路机自动驾驶功能要求。

8.2 通信要求

应满足如下通信性能要求：

- 带宽：上行 25Mbps （支持 2 路 H.265/ HEVC 高清视频流）；下行 1Mbps；
- 时延：小于 30ms；
- 可靠性：大于 99.999%；

8.3 远程人工接管

通过网联方式测试智能网联扫路机的远程人工操作接管功能，评价测试对象自动驾驶和远程人工操作两种模式转换的人机共驾能力。

应进行接管请求提醒功能和接管功能测试。

8.4 清扫能力要求

参照 JB/T10856-2018 规定的扫路机的清扫宽度、扫净率的要求。

8.5 定时自动唤醒要求

到达预定任务开始时间，扫路机自动开始清扫任务。

8.6 制动避障要求

检测到动态障碍物，采取制动避障方案，以保证清扫效果，障碍物移开后，沿清扫路径继续清扫任务。

8.7 变道避障要求

在有车道线的情况下，检测到清扫路径上出现静止障碍物，从当前车道变换到相邻车道避障，避障完成后，回到原清扫路径。

8.8 绕行避障要求

在无车道线的情况下，检测到清扫路径上出现静止障碍物，向未清扫区域绕行避障，避障完成后，回到原清扫路径。

8.9 沿边清扫要求

扫路机需要具备沿道路边沿清扫的能力。一方面，为了保证清扫质量，扫路机需要靠近道路边沿清扫；另一方面，为了保护扫路机的扫盘，应避免扫盘与路沿石发生碰撞。

8.10 自动到达垃圾倾倒点要求

需要进行垃圾倾倒时，扫路机应自动到达垃圾倾倒点。

8.11 天气状况感知要求

具备感知温度、湿度、PM2.5/10、雨天、雪天等环境状况的能力，以通过移动网络获得路侧感知信息为主。

8.12 负责区域可清扫对象检测

首先检测负责区域内的潜在可清扫对象，提取扫路机特定可清扫对象，将不可清扫的潜在清扫对象

视为静止障碍物。

8.13 沿边式路径规划要求

进行非预先设定的清扫路径规划，根据需要清扫的区域边沿进行清扫路径规划。

8.14 覆盖式路径规划要求

进行非预先设定的清扫路径规划，根据需要清扫的区域进行全覆盖式清扫路径规划。

8.15 目标驱动沿边式路径规划要求

在沿道路边沿清扫时，根据检测到的可清扫对象和区域边沿进行清扫路径规划。

8.16 目标驱动覆盖式路径规划要求

在全覆盖清扫时，根据检测到的可清扫对象和静止障碍物进行清扫路径规划。

9 性能和测试规程

9.1 总则

本标准定义了智能网联扫路机应满足的测试项目，不适用于全面的合规性测试。厂商或第三方可增加相应的测试项目，以保证智能网联扫路机系统符合本标准规定的功能要求。

9.2 开放区域自动驾驶测试

按照附录 A：《智能网联扫路机开放区域自动驾驶测试规程》中规定的智能网联汽车自动驾驶测试规程进行测试。

9.3 通信能力质量测试

9.3.1 测试过程如下：

a) 测试通信时延：

- 1) 调度平台向智能网联扫路机发送 5 个连续的 ping 包；
- 2) 待调度平台发送完毕后，扫路机向调度平台发送 5 个连续的 ping 包；
- 3) 进行 20 次测试，记录调度平台与扫路机之间往返的平均通信时延。

b) 测试通信带宽：

- 1) 扫路机使用 iperf 命令向调度平台发送 UDP 包，持续 1 分钟；

2) 重复 10 次测试, 记录每次测试的平均带宽。

9.3.2 实验通过性要求:

- a) 所有 20 次时延测试, 通信时延均低于 30ms;
- b) 所有 10 次带宽测试, 平均上行带宽均不小于 25Mbps.

9.4 远程人工接管测试

9.4.1 测试过程如下:

- a) 测试对象在清扫模式下, 以恒定速度(推荐的测试速度不低于 3km/h)直线行驶。稳定行驶后, 以适当方式向测试对象发出远程人工操作接管指令;
- b) 记录扫路机的远程人工操作接管请求的提醒方式;
- c) 驾驶员操纵制动装置远程控制扫路机;
- d) 驾驶员操纵方向盘远程控制扫路机;
- e) 驾驶员操纵清扫装置远程控制扫路机。

9.4.2 实验通过性要求:

- a) 扫路机进行远程人工操作接管提醒时, 至少包含声音和视觉提醒。报警声音清晰、响亮, 视觉警告处于驾驶员前方视野范围内, 且信号装置点亮后应足够明亮醒目;
- b) 驾驶员进行远程制动, 扫路机正确进行制动操作;
- c) 驾驶员尽心远程转向, 扫路机正确进行转向操作;
- d) 驾驶员远程开启清扫装置, 扫路机正确开启清扫装置。

9.5 路面扫路机清扫能力测试

参照 QC/T51-2019 对清扫宽度、扫净率、清扫能力进行测试。

9.6 定时自动唤醒

9.6.1 测试过程如下:

- a) 以网联方式预先下发清扫任务到扫路机, 并记录清扫任务开始时间;
- b) 待到达清扫任务开始时间后, 观察 10s, 记录扫路机对该清扫任务的响应情况;
- c) 在初始状态为休眠和无线充电的情况下, 分别连续进行 5 次测试, 记录测试结果。

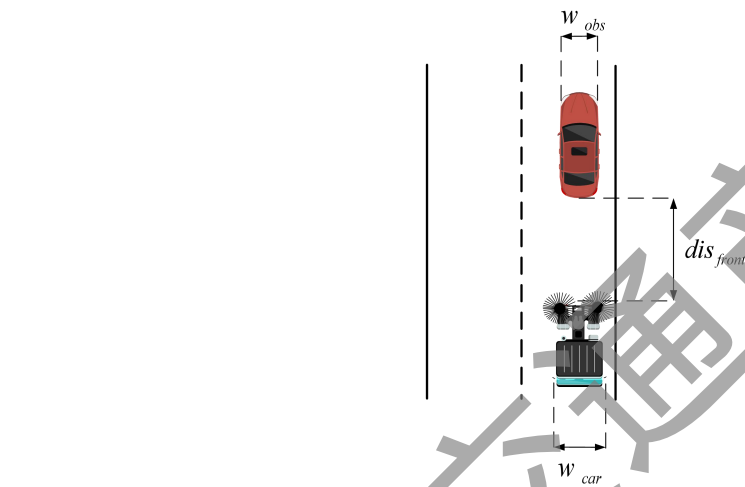
9.6.2 实验通过性要求:

- a) 休眠状态下, 在观察期间, 扫路机对所有 10 次清扫任务产生响应;
- b) 无线充电状态下, 在观察期间, 扫路机对所有 10 次清扫任务产生响应。

9.7 制动避障测试

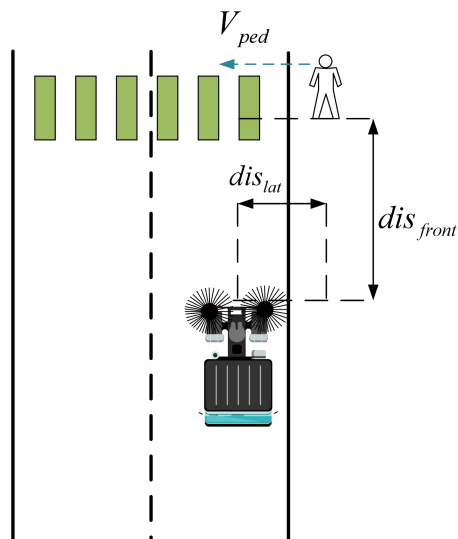
9.7.1 测试布置

在静态障碍物场景和动态障碍物场景下分别进行测试。静态障碍物场景见图 3, 动态障碍物场景见图 4。该功能可通过网联或非网联方式实现。



说明:
 w_{obs} ——障碍物宽度;
 w_{car} ——扫路机的宽度;
 dis_{front} ——扫路机前端距离前方最近障碍物的纵向距离;

图 3 静态障碍物布置



说明:

dis_{front} ——扫路机前端距离前方最近障碍物的纵向距离;

dis_{lat} ——扫路机前端距离左侧或者右侧最近障碍物的横向距离;

V_{ped} ——行人的速度。

图 4 动态障碍物布置

9.7.2 车辆参数

车辆在作业模式下, 且行驶速率不低于 3km/h。

9.7.3 静态障碍物工况距离和障碍物参数

首先设置一个距离阈值 $threshold$, 初始状态 $dis_{front} \leq threshold$ 。距离阈值的具体计算公式如下所示:

$$threshold = \sqrt{r^2 - (R - w_{obs}/2)^2} - l \dots\dots\dots (1)$$

式中:

r ——车前轴中心转向曲率半径;

R ——转向曲率半径;

w_{obs} ——障碍物宽度;

l ——扫路机车长;

9.7.4 动态障碍物工况距离和行人参数

行人目标速度 (V_{ped}) 应为 $(5 \pm 0.5)\text{km/h}$ 。距离阈值与 9.6.3 中一致。初始状态 $(dis_{front} > threshold + 2)m$ 。初始状态 $1.5w_{car} \leq dis_{lat} \leq 3w_{car}$ 。

9.7.5 测试过程

9.7.5.1 静态障碍物工况测试过程如下：

扫路机需要制动，避免与前方车辆发生碰撞。分别设置不同的初始距离，测试 5 次，分别记录扫路机完全停下后与前车尾部距离。

9.7.5.2 动态障碍物工况测试过程如下：

- a) 厂商自定车辆前方一定范围为检测区域，当区域内检测到运动障碍物距离车辆较近时，车辆应执行制动操作。分别以不同的 dis_{lat} 和 dis_{front} 初始值测试 5 次，记录每一次制动后车辆的 dis_{front} 值；
- b) 当区域内运动障碍物距离车辆较远后，车辆重新启动，继续清扫任务。进行 5 次测试，记录障碍物移走之后车辆能否重新开始作业。

9.7.6 实验通过性要求

9.7.6.1 静态障碍物工况实验通过性要求：

5 次测试扫路机完全制动后距离前车尾部距离大于 0.5m。

9.7.6.2 动态障碍物工况实验通过性要求：

- a) 5 次测试对象完全制动后距离障碍物最近距离大于 1m；
- b) 5 次测试对象均能够继续清扫任务。

9.8 变道避障测试

9.8.1 测试布置

在有车道线，只包含静态障碍物场景下进行测试，场景布置与 9.6.1 中的静态障碍物场景一致。该功能可通过网联或非网联方式实现。

9.8.2 车辆参数

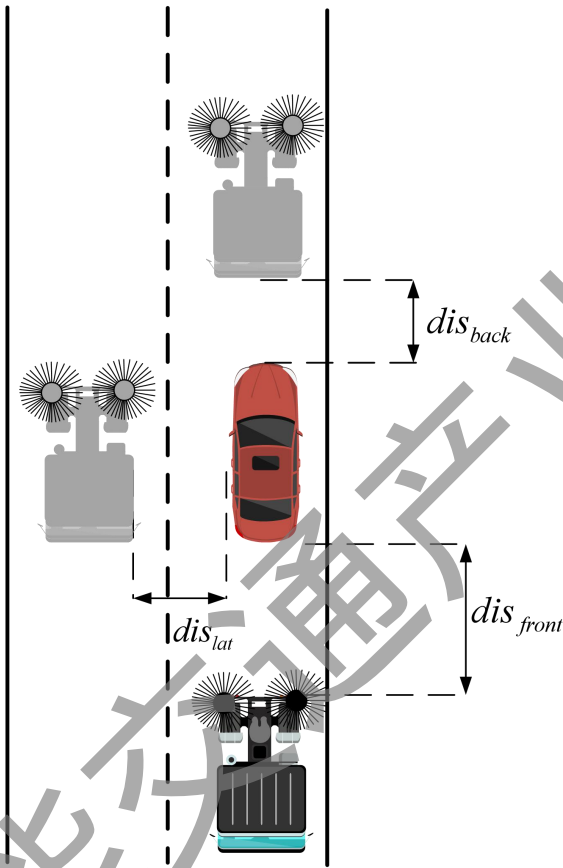
与 9.6.2 一致。

9.8.3 静态障碍物工况距离和障碍物参数

初始状态 $threshold < dis_{front} \leq 3threshold$ 。

9.8.4 测试过程

当 $threshold < dis_{front} \leq 3threshold$ 时，需要完成避障。扫路机变道避障见图 5；当扫路机检测到可以安全返回原车道，则进行向回变道操作。设置不同初始距离，测试 5 次，记录变道开始位置，变道之后与障碍物距离，向回变道之后与障碍物距离。



说明：
 dis_{front} ——扫路机前端距离前方最近障碍物的纵向距离；
 dis_{lat} ——扫路机前端距离左侧或者右侧最近障碍物的横向距离；
 dis_{back} ——绕过障碍物之后，扫路机后端距离障碍物前端的纵向距离。

图 5 扫路机变道过程中参数

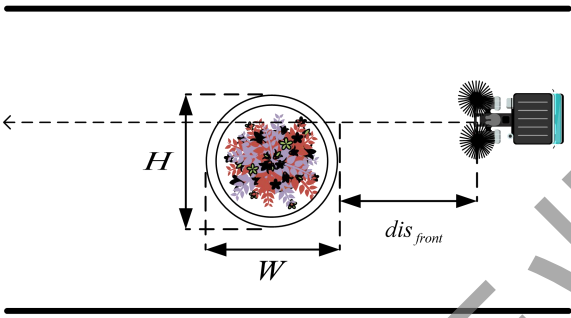
9.8.5 实验通过性要求

5 次测试对应变道过程中，车侧距离障碍物均满足 $dis_{lat} \geq 1m$ 。向回变道之后，车尾部距离障碍物均满足 $dis_{back} \leq l$ 。

9.9 绕行避障测试

9.9.1 测试过程如下：

- a) 绕行避障测试的布置见图 7。图中虚线箭头为车辆预定行驶轨迹，障碍物尺寸根据工作场地进行设置；该功能可通过网联或非网联方式实现。
- b) 测试 5 次，记录越过障碍物后的 dis_{back} 值。



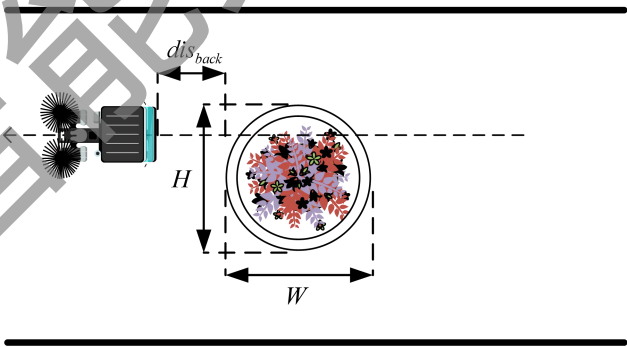
说明：

H ——障碍物的长；

W ——障碍物的宽；

dis_{front} ——扫路机前端距离前方最近障碍物的纵向距离。

图 6 绕行避障测试布置



说明：

H ——障碍物的长；

W ——障碍物的宽；

dis_{back} 表示扫路机后端距离最近障碍物的纵向距离。

图 7 绕行避障通过标准

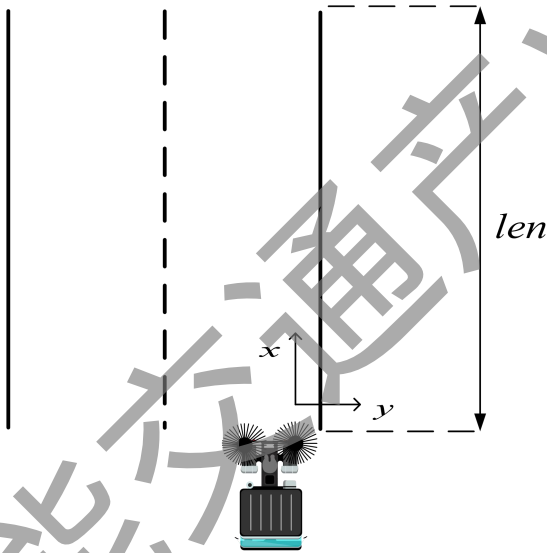
9.9.2 实验通过性要求:

- a) 5 次测试越过障碍物后均有 $dis_{back} \leq l$;
- b) 5 次测试扫路机行进过程中均不发生碰撞, 通过标准见图 7。

9.10 沿边清扫测试

9.10.1 测试布置

测试布置场景见图 8。其中, 清扫路线长度不小于 50m。当扫路机的扫刷与道路边沿恰好接触时, 以扫盘中心所在位置为原点, 垂直道路边沿方向为 y 轴, 平行路边沿为 x 轴建系, 该坐标系不随车的移动而移动。该功能可通过网联或非网联方式实现。



说明:
 len ——清扫路线长度。

图 8 沿边清扫布置

9.10.2 车辆参数

车辆在作业模式下, 且行驶速率不低于 3km/h。

9.10.3 测试过程

进行 5 次测试, 记录测试路线内, 扫盘中心的 y 轴坐标变化曲线。

9.10.4 实验通过性要求

5 次测试, y 坐标偏差应在 0.15m 范围内。

9.11 自动到达垃圾倾倒点测试

9.11.1 测试布置

测试布置场景见图 9，扫路机从停车点开始作为测试初始位置。该功能可通过网联或非网联方式实现。



图 9 自动到达垃圾倾倒点测试布置

9.11.2 测试过程如下：

- 厂商根据设计需求对 range 进行设置；
- 进行 5 次测试，记录是否到达垃圾倾倒点附近的区域内。



图 10 自动到达垃圾倾倒点通过标准

9.11.3 实验通过性要求

5 次测试均能到达图 10 所示区域。

9.12 天气状况感知测试

9.12.1 测试布置

通过网联方式分别测试扫路机在停车点和清扫路径上某一位置的环境状况感知能力。

9.12.2 车辆及路侧设备布置

路侧至少应具备感知温度、湿度、空气污染情况、路面情况的传感器。路侧传感器的分布情况根据扫路机工作区域自定，传感信息发送速率自定。

9.12.3 测试过程如下：

- a) 路侧传感器设备通过网络连续向扫路机发送天气传感信息，持续 60s，记录发送端发送的信息和接收端接收到的信息；
- b) 在停车点测试 5 次，记录丢包率和正确率；
- c) 在可行的清扫区域中的多个位置分别测试 5 次，记录丢包率和正确率。

9.12.4 实验通过性要求：

- a) 试验对象做出单次测试后，按如下规则进行单次测试结果判定：
 - 1) 接收端的丢包率应小于10%；
 - 2) 在60s的接收数据中，正确率应达到99%。
- b) 重复10次测试，每次测试均达到a)的判定要求。

9.13 负责区域可清扫对象检测测试

9.13.1 测试布置

通过网联方式进行负责区域单个可清扫对象检测，见图 11 和区域污染情况检测，见图 12。

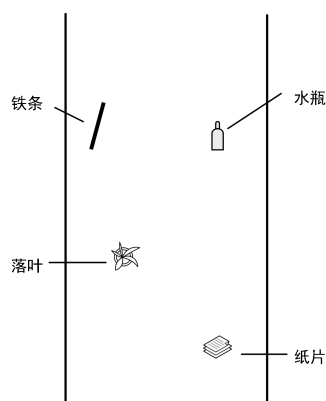


图 11 可清扫单个对象检测测试布置

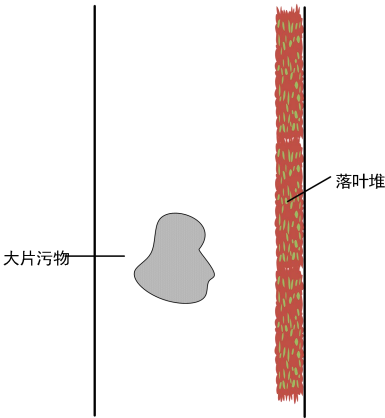


图 12 可清扫区域对象检测测试布置

9.13.2 测试过程如下：

- a) 设置不同的杂物放置情况，记录扫路机检测结果包括：
 - 1) 记录扫路机能否检测到所有潜在可清扫对象；
 - 2) 记录从潜在可清扫对象中提取的对于该类扫路机的可清扫对象；
 - 3) 记录区分可清扫对象类型结果。
- b) 在单个对象场景和区域对象场景下，分别测试 5 次。

9.13.3 实验通过性要求

可清扫单个对象检测结果见图 13，可清扫区域对象检测结果见图 14：

- a) 10 次测试均检测出可清扫对象；
- b) 10 次测试均正确区分可清扫对象的类型。

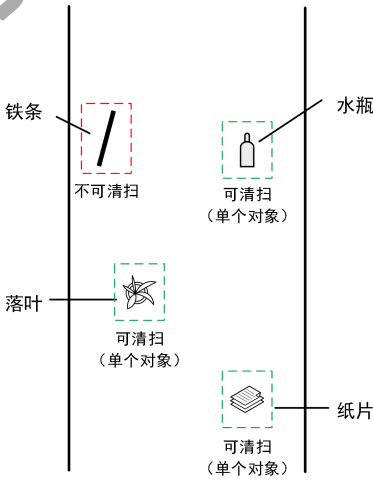


图 13 可清扫单个对象检测结果

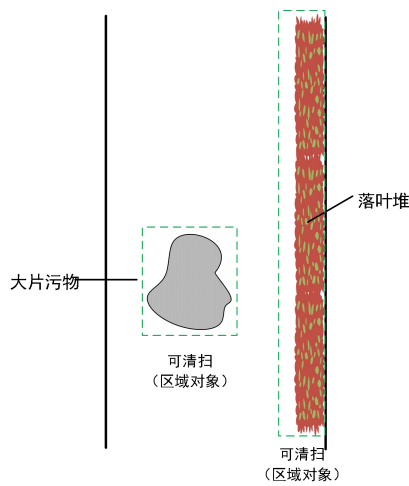
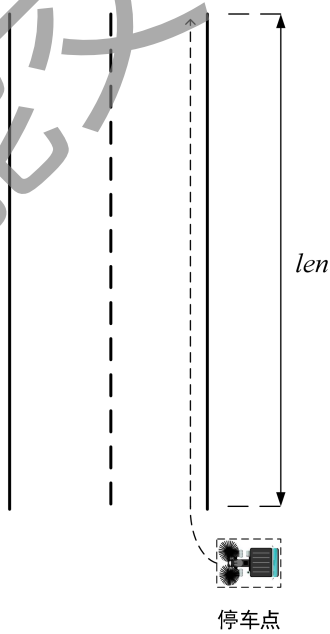


图 14 可清扫区域对象检测结果

9.14 沿边式路径规划测试

9.14.1 测试布置

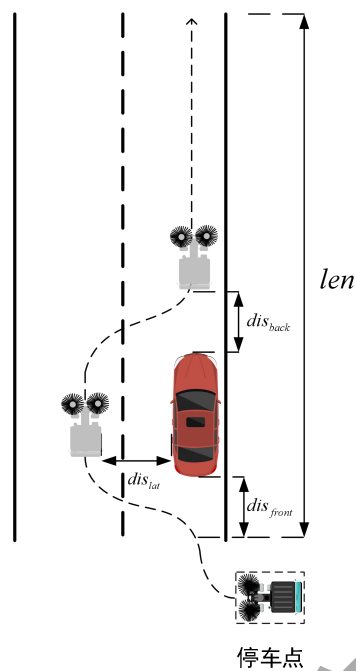
沿道路边沿路径规划分为无障碍物的路径规划场景,见图 15;有静态障碍物的路径规划场景,见图 16。图中预期的清扫路线用虚线箭头标注。其中 len 为测试路段长度,应不小于 50m。该功能可通过网联或非网联方式实现。



说明:

len —— 清扫路线长度。

图 15 无障碍物沿边式路径规划



9.14.2 车辆配置

扫路机具有获取路侧感知信息的能力, 从而获取清扫区域内的障碍物分布信息。扫路机具有将路径规划结果显示或者传输到调度平台的功能。

9.14.3 测试过程如下:

- a) 在有障碍物场景下进行不少于5次规划测试:
 - 1) 障碍物宽度和高度为1.6-1.8米, 长度小于3.4米;
 - 2) 障碍物宽度和高度大于2米, 长度大于4米。
- b) 在无障场景下进行不少于5次规划测试。

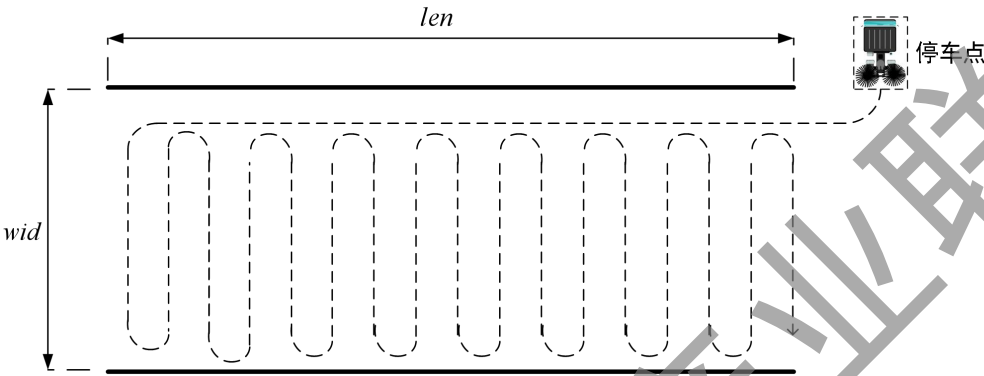
9.14.4 实验通过性要求:

- a) 所有 10 次测试均满足 9.7.5 的实验通过性要求;
- b) 所有 10 次测试均满足 9.9.4 的实验通过性要求。

9.15 覆盖式路径规划测试

9.15.1 测试布置

全覆盖路径规划分为无障碍物的路径规划场景，见图 17；有静态障碍物的规划场景，见图 18。图中虚线箭头为建议清扫路线。测试场地面积不小于 150 平方米。该功能可通过网联或非网联方式实现。

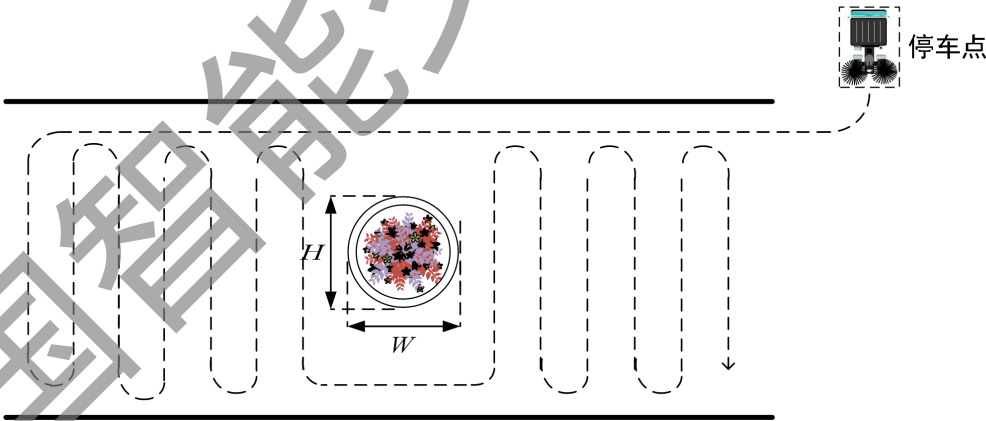


说明：

len ——测试路段长度；

wid ——测试路段宽度。

图 17 无障碍物覆盖式路径规划



说明：

H ——障碍物的长；

W ——障碍物的宽；

图 18 静态障碍物覆盖式路径规划

9.15.2 车辆配置

与 9.13.2 一致。

9.15.3 测试过程如下：

- a) 在有障碍物场景下进行不少于5次规划测试：
 - 1) 障碍物宽度和高度为1.6-1.8米，长度小于3.4米；
 - 2) 障碍物宽度和高度大于2米，长度大于4米。
- b) 在无障碍场景下进行不少于5次规划测试；
- c) 每一次完成清扫后，获得扫路机实际的运动路线图，根据扫路机的大小，绘制实际覆盖区域图；
- d) 记录实际清扫的覆盖率、完成时间。

9.15.4 实验通过性要求：

- a) 10次测试均不与障碍物发生碰撞；
- b) 清扫完成后，应输出实际清扫的覆盖率和完成时间。

9.16 目标驱动沿边式路径规划测试

9.16.1 测试布置

测试布置见图 19，图中预期的清扫路线用虚线箭头标注。可清扫对象的大小根据不同清扫适用范围由厂家自定。该功能可通过网联或非网联方式实现。

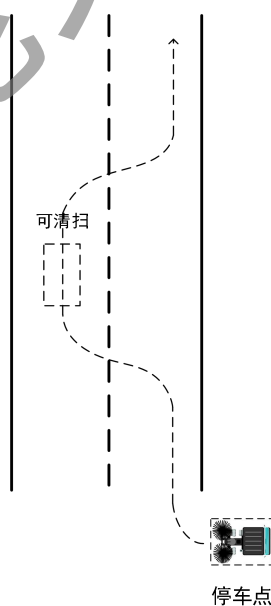


图 19 目标驱动沿边式路径规划

9.16.2 测试过程

对于可清扫对象设置不同放置位置和大小，测试 5 次。

9.16.3 实验通过性要求

5 次测试，清扫过程中均不发生碰撞，规划得到路径与图 19 类似。

9.17 目标驱动覆盖式路径规划测试

9.17.1 测试布置

测试布置见图 20，图中预期的清扫路线用虚线箭头标注。可清扫对象的大小根据不同清扫适用范围由厂家自定。该功能可通过网联或非网联方式实现。

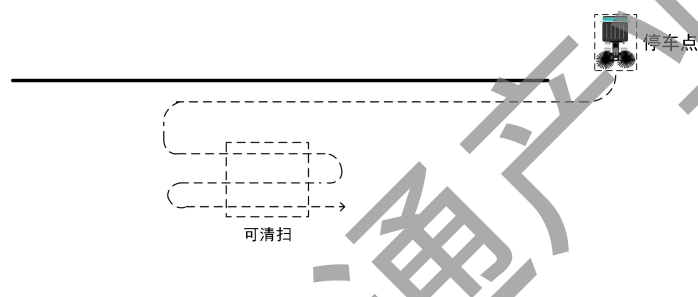


图 20 目标驱动覆盖式路径规划

9.17.2 测试过程

对于可清扫对象设置不同放置位置和大小，测试 5 次。

9.17.3 实验通过性要求

5 次测试，清扫过程中均不发生碰撞，规划得到路径与图 20 类似。

附录 A

(资料性附录)

智能网联扫路机开放区域自动驾驶测试规程

A.1 交通标志和标线的识别及响应

A.1.1 概述

本测试项目旨在测试智能网联扫路机对交通标志和标线的识别和响应,评价测试对象遵守交通法规的能力。

本测试项目应进行停车让行标志标线、人行横道线两类标志标线场景的测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关禁令/禁止、警告和指示类标志和标线的测试。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.1.2 停车让行标志标线识别及响应

A.1.2.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道,并于该路段设置停车让行标志牌和停车让行线,测试对象匀速驶向停车让行线见图 A.1。

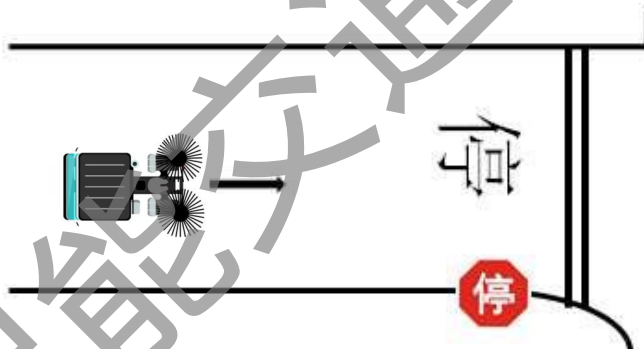


图 A.1 停车让行标志标线识别及响应示意图

A.1.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下,在距离停车让行线 50 米前达到不低于 3km/h 的速度,并匀减速沿车道中间驶向停车让行线。测试中,停车让行线前无车辆、行人及障碍物等。

A.1.2.3 要求

- a) 测试对象应在停车让行线前停车,且最外侧轮廓不应超过停止线及两侧实线;
- b) 测试对象的停止时间应不超过 5s。

A.1.3 人行横道线识别及响应

A.1.3.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道,并在路段内设置人行横道线,测试对象沿测试道路驶向人

行横道线见图 A.2。

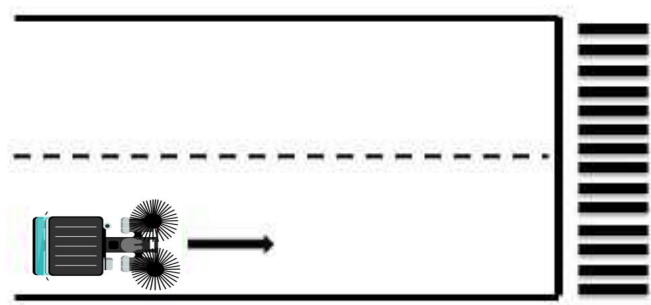


图 A.2 人行横道线识别及响应示意图

A. 1. 3. 2 测试方法

测试对象在清扫模式下，在距离停止线 10m 前达到不低于 3km/h 的速度，并匀速沿车道中间驶向停止线。测试中，人行横道线上无行人、非机动车及障碍物等。

A. 1. 3. 3 要求：

- a) 测试对象应能减速慢行通过人行横道线；
- b) 测试对象允许短时间停于停止线前方，但停止时间不能超过 5s。

A. 2 交通信号灯的识别及响应

A. 2. 1 概述

本测试项目旨在测试智能网联扫路机对交通信号灯的识别和响应，评价测试对象遵守交通信号灯指示的能力。

本测试项目应进行信号灯、方向指示信号灯场景测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关方向指示信号灯、人行横道信号灯、车道信号灯、闪光警告信号灯、道路与铁路平面交叉道口信号灯的场景区测试。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A. 2. 2 信号灯识别及响应

A. 2. 2. 1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道并在路段内设置信号灯，信号灯类型可根据实际测试路段情况选择见图 A.3。

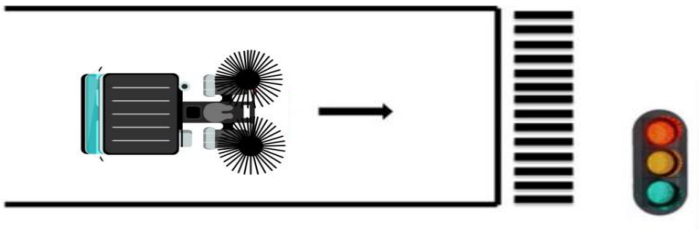


图 A. 3 信号灯识别及响应示意图

A. 2. 2. 2 测试方法

测试对象在清扫模式下，在距离停止线 10m 前达到不低于 3km/h 的速度，并匀减速沿车道中间驶向信号灯。信号灯初始状态为红色，待测试对象停稳后，信号灯由红灯变为绿灯。

A. 2. 2. 3 要求：

- a) 测试对象应在红灯期间停车等待，且不得越过停止线；
- b) 当信号灯由红灯变为绿灯后，测试对象应及时起步通行，且启动时间不得超过 5s。。

A. 3. 车辆驶入识别及响应

A. 3. 1 概述

本测试项目旨在测试自动驾驶系统对前方车辆行驶状态的识别和响应，评价测试对象对前方车辆的感知、行为预测和响应能力。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A. 3. 2 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线。测试对象和目标车辆在各自车道内匀速行驶，在测试对象接近目标车辆过程中，目标车辆驶入测试对象所在车道见图 A.4。

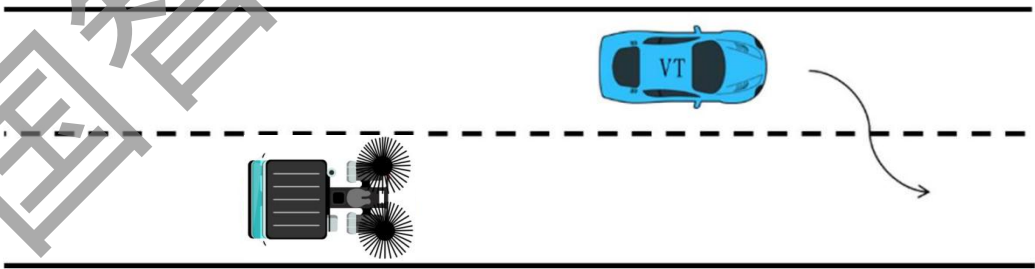


图 A. 4 车辆驶入识别及响应示意图

A. 3. 3 测试方法

测试对象在作业模式下以不低于 3km/h 的速度沿车道中间匀速行驶，目标车辆以低于测试对象行驶速度的速度沿相邻车道中间匀速同向行驶。当两车时距不大于 2s 时，目标车辆切入测试对象所在车道。

A.3.4 要求:

- a) 测试对象应根据目标车辆切入的距离和速度,自适应调整自身速度;
- b) 测试对象应与目标车辆保持安全距离不发生碰撞;
- c) 测试对象应在目标车辆切入后能稳定跟随目标车辆行驶。

A.4 障碍物识别及响应

A.4.1 概述

本检测项目旨在测试智能网联扫路机对影响道路行驶的障碍物的识别和响应,评价测试对象对前方障碍物的感知、决策及执行能力。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关的障碍物类别。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.4.2 障碍物测试

A.4.2.1 测试场景

在测试辅道中间分别放置锥形交通路标(推荐尺寸:50cm*35cm)和隔离栏(推荐尺寸:70 cm*200 cm),测试对象匀速驶向前方障碍物见图 A.5。

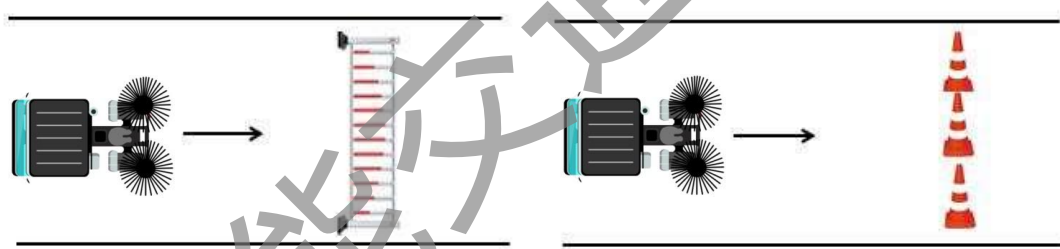


图 A.5 障碍物测试示意图

A.4.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下,在距离前方障碍物 10 m 前达到不低于 3km/h 的速度,并匀速沿车道中间驶向前方障碍物。障碍物为测试道路内垂直于道路方向并排分开放置的 3 个锥形交通路标或 1 个隔离栏。测试应分别进行。

A.4.2.3 要求

测试对象应能通过制动、转向或组合方式避免与上述障碍物发生碰撞。

A.5 行人和非机动车识别及响应

A.5.1 概述

本测试项目旨在测试智能网联扫路机对行人和非机动车的识别和响应,评价测试对象对前方行人和非机动车的感知、行为预测和响应能力。

本测试项目应进行行人横穿马路、行人沿道路行走、两轮车横穿马路和两轮车沿道路骑行四项场景测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.5.2 行人横穿马路

A.5.2.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，并在路段内设置人行横道线。测试对象匀速驶向人行横道线，同时行人沿人行横道线横穿马路，两者存在碰撞风险见图 A.6。

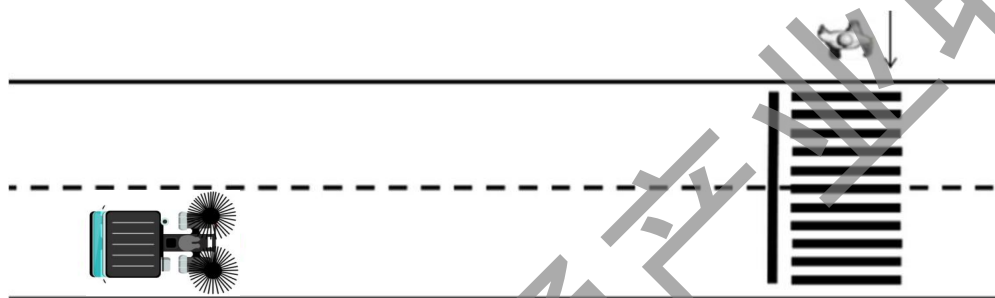


图 A.6 行人横穿马路示意图

A.5.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度匀速行驶，当测试对象到达人行横道线所需时间为 3.5s 时，行人自车辆左侧路侧开始起步，以低于测试对象行驶速度的速度通过人行横道线。

A.5.2.3 要求：

- a) 测试对象应能提前减速并保证行人安全通过车辆所在车道；
- b) 测试对象停止于人行横道前方时，待行人穿过测试对象所在车道后，车辆应能自动启动继续行驶，启动时间不得超过 5s。

A.5.3 行人沿道路行走

A.5.3.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线。测试对象沿车道中间匀速行驶，同时行人于车辆正前方沿车道向前行走见图 A.7。

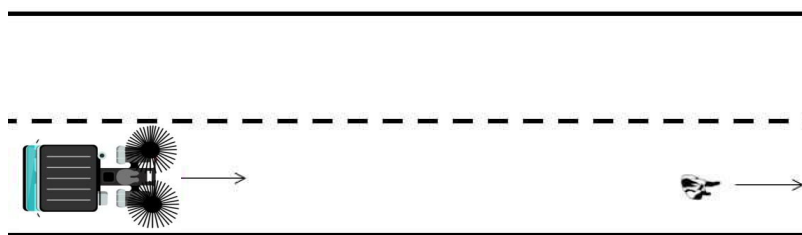


图 A.7 行人沿道路行走示意图

A.5.3.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，在距离行人 10 m 前达到不低于 3km/h 的速度，并匀速沿车道中间驶向行人。行人速度低于测试对象行驶速度。

A.5.3.3 要求

测试对象应能通过制动、绕行或组合方式避让行人。

A.5.4 两轮车横穿马路

A.5.4.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，并在路段内设置人行横道线。测试对象匀速驶向人行横道线，同时两轮车正沿人行横道线横穿马路，两者存在碰撞风险见图 A.8。

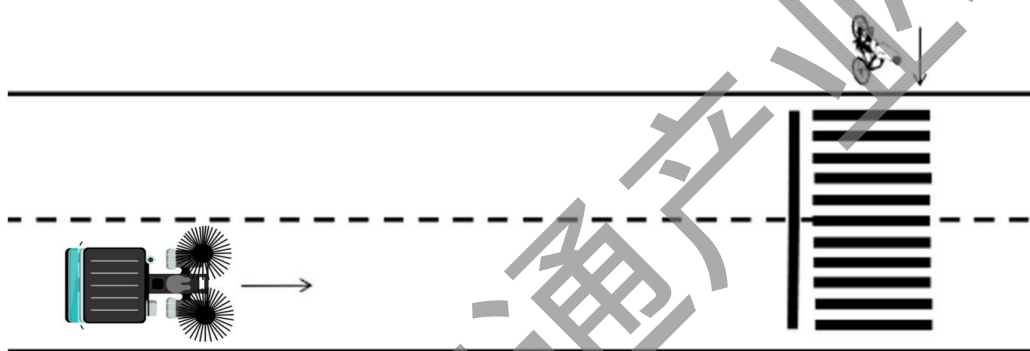


图 A.8 两轮车横穿马路示意图

A.5.4.2 测试方法

测试对象在清扫模式，以不低于 3km/h 的速度匀速行驶，当测试对象到达人行横道线所需时间为 2s 时，两轮车以相同速度由车辆左侧路测开始横穿马路。

A.5.4.3 要求：

- a) 测试对象应能提前减速并保证两轮车安全通过车辆所在车道，不得发生碰撞；
- b) 测试对象停止于人行横道前方时，待两轮车穿过测试对象所在车道后，车辆应能自动启动继续行驶，启动时间不得超过 5 s。

A.5.5 两轮车沿道路骑行

A.5.5.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为白色虚线。测试对象沿车道中间匀速行驶，同时两轮车于车辆正前方沿车道向前行驶见图 A.9。

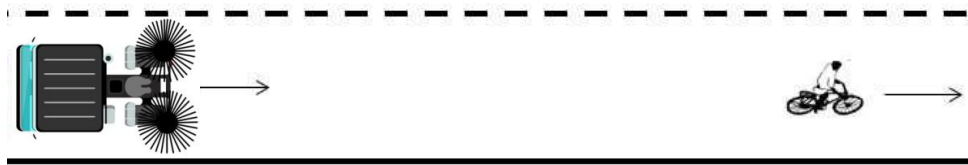


图 A.9 两轮车沿道路骑行示意图

A.5.5.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，在距离两轮车 10 m 前达到不低于 3km/h 的速度，并匀速沿车道中间驶向两轮车。两轮速度度低于测试对象行驶速度。

A.5.5.3 要求

测试对象应能通过制动、转向或组合方式避让两轮车。

A.6 跟车行驶

A.6.1 概述

本测试项目旨在测试智能网联扫路机跟随前车行驶的能力。

本测试项目应进行稳定跟车行驶和停-走功能测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.6.2 稳定跟车行驶

A.6.2.1 测试场景

测试道路为两侧车道线为实线的长直道。测试对象沿车道接近前方匀速行驶的目标车辆见图 A.10。



图 A.10 稳定跟车行驶示意图

A.6.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度沿车道中间匀速接近目标车辆，目标车辆以低于测试对象行驶速度的速度匀速行驶。

A.6.2.3 要求

测试对象应能识别目标车辆，并自适应调节速度，实现稳定跟随目标车辆行驶。

A. 6.3 停-走功能

A. 6.3.1 测试场景

测试道路为两侧车道线为实线的长直道。测试对象稳定跟随目标车辆行驶，目标车辆制动直至停止，停止时间 5s 以内，目标车辆起步加速见图 A.11。

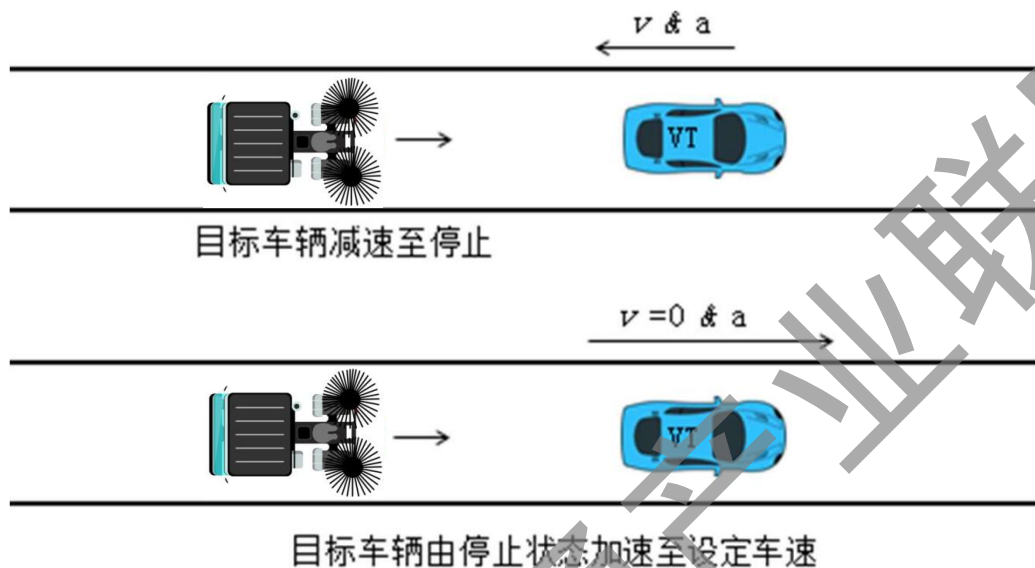


图 A.11 停-走功能示意图

A. 6.3.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，跟随前方目标车辆行驶，目标车辆以不低于 3km/h 的速度匀速行驶。测试时，两车保持车道中间行驶，测试对象稳定跟随目标车辆行驶至少 3 s 后，目标车辆减速直至停止。测试对象停止至少 5 s 后，目标车辆起步并加速恢复至原匀速行驶时的速度。

A. 6.3.3 要求：

- a) 当目标车辆减速至停止后，测试对象应能跟随目标车辆停止，不能与目标车辆发生碰撞；
- b) 当目标车辆重新启动时，测试对象应在 5s 内随其重新起步；
- c) 测试对象重新起步后，应能稳定跟随目标车辆行驶。

A. 7 靠路边停靠

A. 7.1 概述

本测试项目旨在测试智能网联扫路机在遇到驾驶风险时靠边停车的功能，评价测试对象最小风险状态实现的能力。

本测试项目应进行最右车道内靠边停靠场景测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加靠边停靠相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A. 7.2 最右车道内靠边停车

A.7.2.1 测试场景

测试道路为至少包含两条车道的长直道，中间车道线为虚线，测试对象在左车道内匀速行驶见图 A.12。

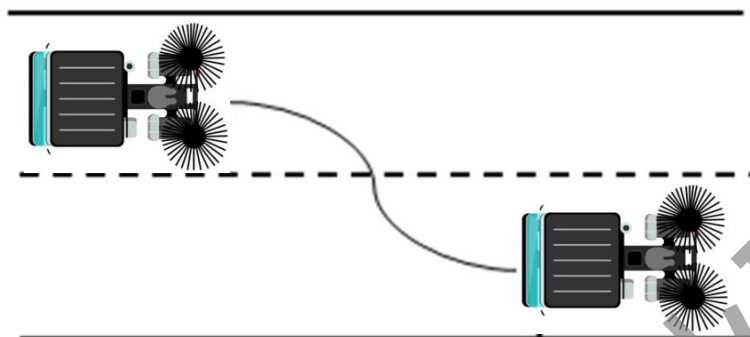


图 A.12 最右车道内靠边停车示意图

A.7.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下以不低于 3km/h 的速度，沿车道中间匀速行驶。以适当方式向测试对象发出靠边停靠指令。

A.7.2.3 要求：

- a) 测试对象应能够自动开启右侧转向灯，实现变道并停于右侧车道内；
- b) 测试对象应能一次性完成停靠，不可出现倒车等动作；
- c) 测试对象停靠后车身应基本平行于右侧车道，且距离小于 0.5m；
- d) 测试对象停靠后应能正确开启危险警告信号灯。

A.8 交叉路口通行

A.8.1 概述

本测试项目旨在测试自动驾驶系统的交叉路口通行，评价测试对象的路径规划和导航能力。

本测试项目应进行直行车辆冲突通行、右转车辆冲突通行、左转车辆冲突通行三项场景测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.8.2 直行通行

A.8.2.1 测试场景

测试道路为至少包含双向两车道的十字交叉路口。测试对象匀速行驶在标有直行和右转指示标线的车道直行通过该路口，目标车辆从测试对象右方横向匀速直线驶入路口，两车存在碰撞风险见图 A.13。

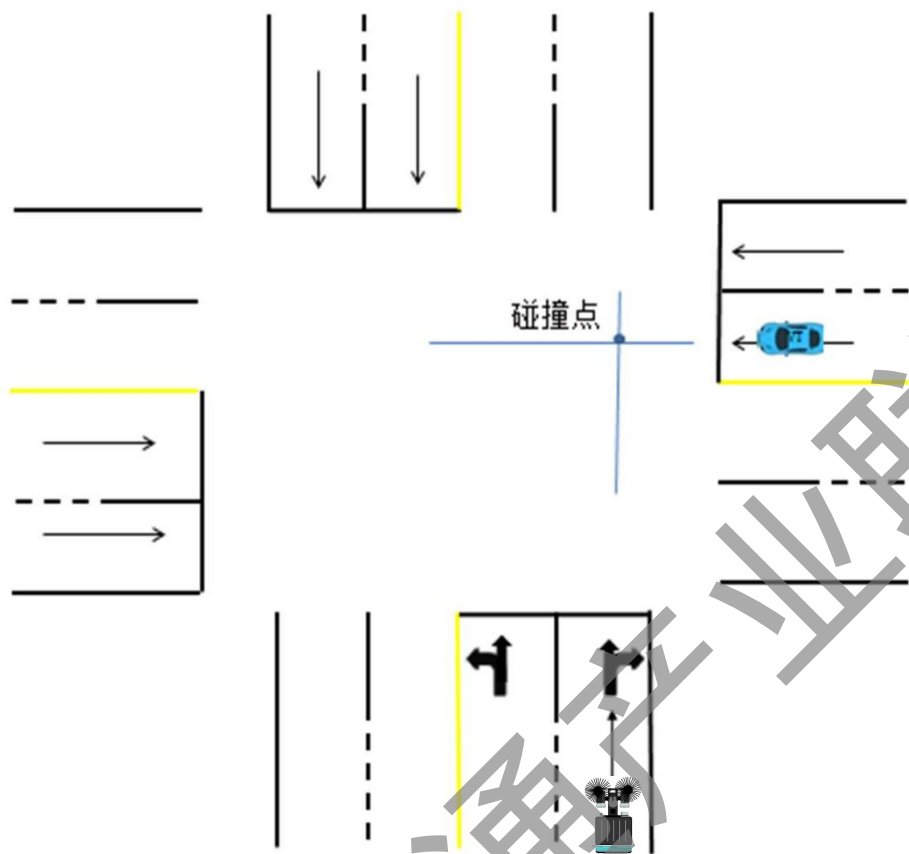


图 A.13 直行通行示意图

A.8.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度匀速驶向交叉路口，目标车辆以低于测试对象行驶速度的速度匀速行驶。若测试对象保持当前行驶状态，两车可同时到达碰撞点。

A.8.2.3 要求：

- a) 测试对象不应与目标车辆发生碰撞；
- b) 测试对象应遵守右方来车先行的交通规则，实现通行并进入对应车道行驶。

A.8.3 右转通行

A.8.3.1 测试场景

测试道路为至少包含双向两车道的十字交叉路口。测试对象在标有直行和右转指示标线的车道内右转行驶通过该路口，同时路口横向左侧存在匀速直线行驶的目标车辆驶向测试对象将转入车道，两车存在碰撞风险见图 A.14。

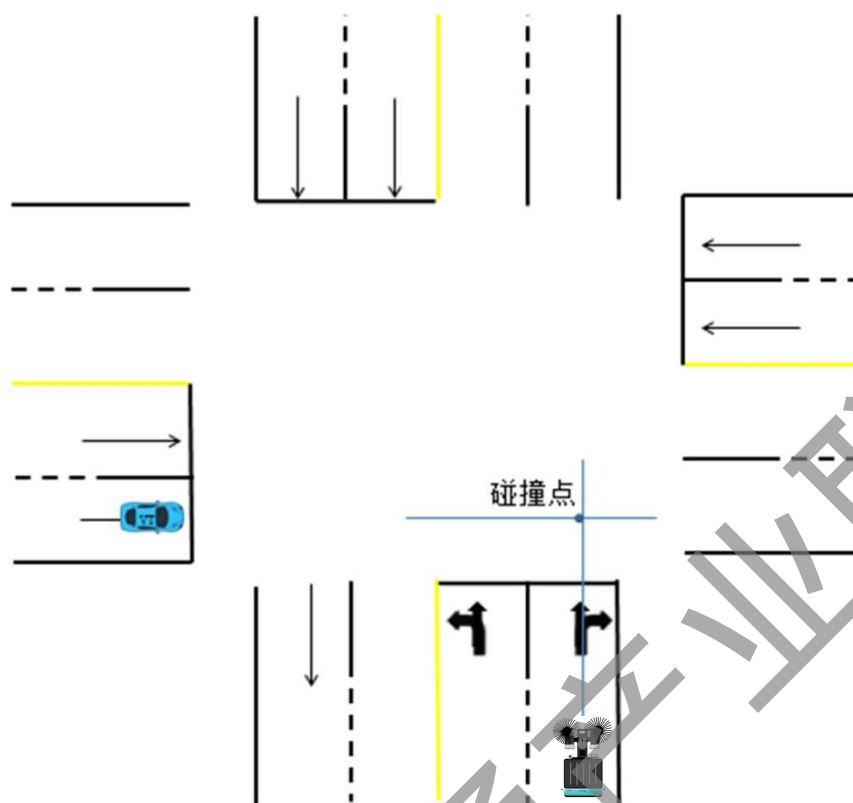


图 A.14 右转通行示意图

A.8.3.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度匀速驶向交叉路口，目标车辆以低于测试对象行驶速度的速度匀速行驶。

若测试对象保持当前行驶状态，两车可同时到达碰撞点。

A.8.3.3 要求：

- a) 测试对象不应与目标车辆发生碰撞；
- b) 测试对象应能正确开启转向灯；
- c) 测试对象应遵守直行优先的交通规则，实现右转通行并进入对应车道行驶。

A.8.4 左转通行

A.8.4.1 测试场景

测试道路为至少包含双向两车道的十字路口。测试对象在标有直行和左转指示标线的车道内左转行驶通过该路口，同时对向车道存在匀速直线行驶的目标车辆见图 A.15。

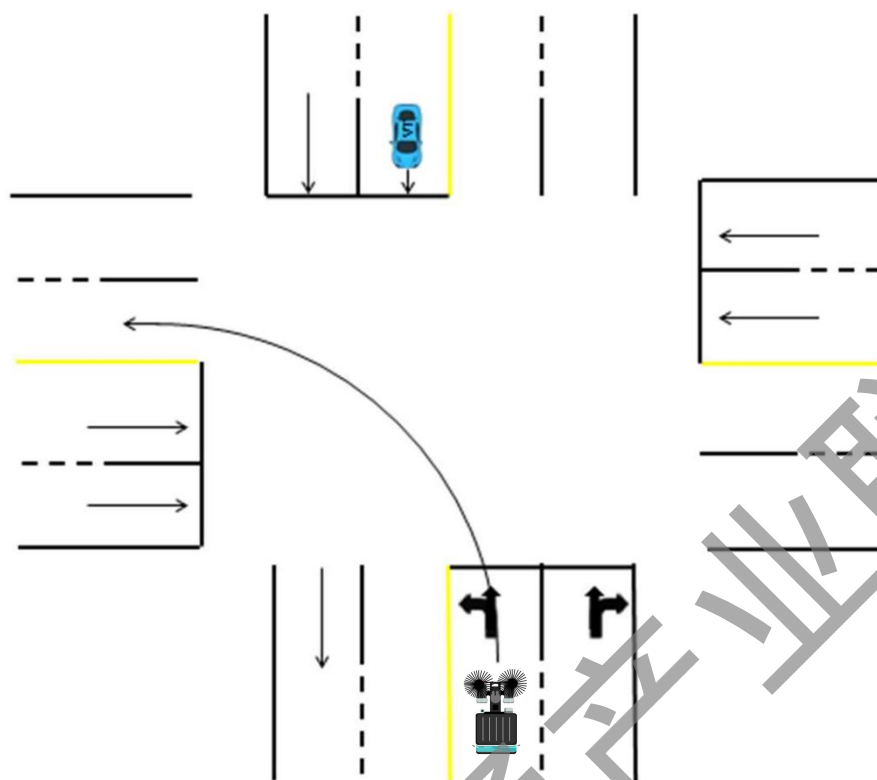


图 A.15 左转通行示意图

A.8.4.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度匀速驶向交叉路口，测试对象距离交叉路口时距 2s 时，目标车辆从对向车道以低于测试对象行驶速度的速度匀速驶出。

A.8.4.3 要求：

- a) 测试对象不应与目标车辆发生碰撞；
- b) 测试对象应能开启正确转向灯；
- c) 测试对象应遵守直行优先的交通规则，实现左转通行并进入对应车道行驶。

A.9 自动紧急制动

A.9.1 概述

本测试项目旨在测试在发生碰撞危险时测试对象自动紧急制动的性能，评价其紧急避撞能力。

本测试项目应进行前车静止、前车制动和行人横穿三项场景测试。

第三方检测机构可根据实际测试路段情况增加相关场景。

本测试可通过网联或非网联方式实现。

A.9.2 前车静止

A.9.2.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道，测试对象匀速接近前方静止目标车辆见图 A.16。

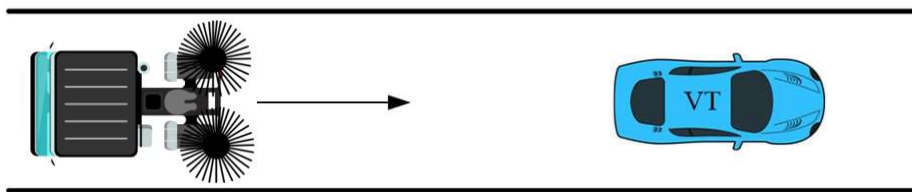


图 A.16 前车静止示意图

A.9.2.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，以不低于 3km/h 的速度沿车道中间匀速接近前方静止目标车辆，测试对象和目标车辆中心线横向距离偏差不超过 0.5 m。制动过程中，安全员不得转动方向盘和踩踏制动踏板。

A.9.2.3 要求：

- a) 测试对象应在制动之前发出报警信息，至少包含光学和声学报警信号；
- b) 测试对象不能与目标车辆发生碰撞，且测试对象完全静止后距离目标车辆尾部大于 0.5m。

A.9.3 前车制动

A.9.3.1 测试场景

测试道路为至少包含一条车道的长直道，测试对象跟随目标车辆以相同速度稳定行驶，目标车辆减速刹停见图 A.17。

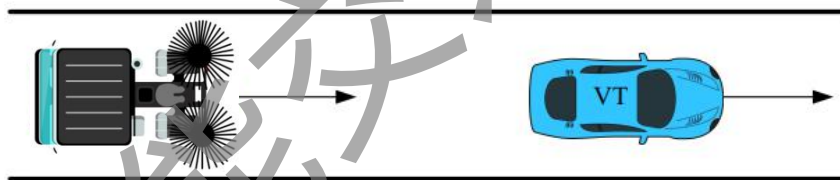


图 A.17 前车制动示意图

A.9.3.2 测试方法

测试对象在清扫模式下，与前方目标车辆均以不低于 3km/h 的速度沿车道中间匀速行驶，两车纵向间距保持在 $10\text{ m} \pm 3\text{ m}$ 范围内，横向距离偏差不超过 0.5m。该状态维持至少 3 s 后，前方车辆以 2 m/s^2 的减速度刹停。制动过程中，安全员不得转动方向盘和踩踏制动踏板。

A.9.3.3 要求：

- a) 测试对象应在制动之前发出报警信息，至少包含光学和声学报警信号；
- b) 测试对象不能与目标车辆发生碰撞，且测试对象完全静止后距离目标车辆尾部大于 0.5m。

A.9.4 行人横穿

A.9.4.1 测试场景

测试车道为至少包含一条车道的长直道，测试对象匀速行驶，前方存在行人横穿马路见图 A.18。



图 A.18 行人横穿示意图

A.9.4.2 测试方法

测试对象在手动驾驶或自动驾驶系统失效模式下，以不低于 3km/h 的速度沿车道中间匀速行驶，前方行人在设定时刻以 5 km/h 的速度横穿马路。如果自动紧急制动功能不介入，测试对象将与行人发生碰撞。

制动过程中，安全员不得转动方向盘和踩踏制动踏板。

A.9.4.3 要求：

- a) 测试对象应在制动之前发出报警信息，至少包含光学和声学报警信号；
- b) 测试对象不得与行人发生碰撞，且测试对象完全静止后距离行人大于 1m。

T/ITS 0146-2020

中国智能交通产业联盟
标准

**智能网联扫路机系统
技术要求与测试规程**

T/ITS 0146-2020

北京市海淀区西土城路 8 号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：<http://www.c-its.org.cn>

2021 年 1 月第一版 2021 年 1 月第一次印刷