

# 团体标准

T/ITS 0150-2021

## 自动驾驶车辆 决策安全保障系统 测试规范

Test specification for safety assurance of automated vehicles decision making

2021-12-31 发布

2022-03-01 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.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	1
4 自动驾驶车辆决策安全的仿真测试.....	1
4.1 纵向场景测试.....	1
4.2 并线场景测试.....	9
5 自动驾驶车辆决策安全的场地测试.....	10
5.1 场地测试要求.....	11
5.2 纵向场地测试.....	11
5.3 并线场地测试.....	18
6 测试车辆数据记录要求.....	19
附 录 A （资料性） 文中公式推导及仿真参数格式定义.....	23



## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国智能交通产业联盟（C-ITS）提出并归口。

本文件起草单位：英特尔（中国）研究中心有限公司、交通运输部公路科学研究院、上海蔚来汽车有限公司、同济大学、北京市交通信息中心、新境智能交通技术（南京）研究院有限公司、北京百度智行科技有限公司、北京汽车研究总院有限公司、威马汽车科技集团有限公司、潍柴动力股份有限公司、博世汽车部件（苏州）有限公司、北京智行者科技有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、武汉光昱明晟智能科技有限公司、北京赛目科技有限公司

本文件主要起草人：朱倩影、吴向斌、田忠、焦伟赞、陈炯、毕欣、刘建锋、李靖、彭伟、王亚丽、闫涛、李彪、孙成帅、赵学岩、王艳华、阳东波、傅靖江、赵勍、张卓筠、吴鑫、祝浪、薛晓卿

## 引 言

本文件为《T/ITS 0116-2019 自动驾驶车辆决策的安全保障技术要求》的配套文件之一，是针对T/ITS 0116-2019文件中第6章与第7章内容的最小安全距离、危险工况及适当响应等关键技术制定的测试规范，用以明确自动驾驶车辆决策安全的测试方法，参阅本文件前宜了解T/ITS 0116-2019整个文件。

本文件作为自动驾驶功能决策安全的测试规范，仅针对仿真实验及场地试验提出相对应的测试方法和通过要求，后续将与道路试验等相关标准结合，形成完整试验相关标准体系。

同时，自动驾驶功能在应用过程中将面临复杂多样的随机场景，仿真测试的可扩充性更强，后续可以根据需求扩充不同的测试场景；场地测试则受实际条件限制，支持的场景变化有限，但是真实性更佳。由于测试场景无法进行穷举，本标准中所进行的试验仅作为安全性验证的一部分，对于车辆运行范围中典型场景、典型道路、典型交通环境进行抽样检查，无法完全体现全部场景。



# 自动驾驶车辆 决策安全保障系统测试规范

## 1 范围

本文件针对自动驾驶车辆决策安全中的关键技术制定测试规范,为支持决策安全的车辆提供明确的评价标准。

本文件适用于3级及以上自动驾驶乘用车,适用范围限定为决策安全相关的仿真测试和封闭场地测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 40429 汽车驾驶自动化分级

T/ITS 0116 自动驾驶车辆决策的安全保障技术要求

## 3 术语和定义、缩略语

### 3.1 术语和定义

T/ITS 0116-2019规定的术语定义适用于本文件。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AV: 自动驾驶车辆 (Automated Vehicle)

ODD: 运行设计域 (Operational Design Domain)

## 4 自动驾驶车辆决策安全的仿真测试

### 4.1 纵向场景测试

#### 4.1.1 直道跟车

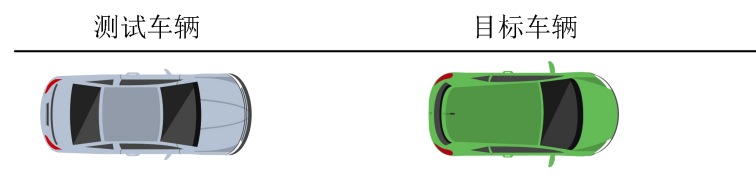


图1 直线跟车测试

## 4.1.1.1 前后车均匀速行驶，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

## 4.1.1.1.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为直道，且车道线标识清晰。

## 4.1.1.1.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- a) 测试车辆最大加速度 $a_{max,accel}^{long}$ ;
- b) 测试车辆最小制动加速度 $a_{min,brake}^{long}$ ;
- c) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{max}$ ;
- d) 安全距离裕量 $\epsilon$ 。

注：文中所提的所有反应时间单位为 $s$ ，加速度单位为 $m/s^2$ ，速率单位为 $m/s$ ，距离单位为 $m$ 。另代入公式计算时所有加速度应采用无符号值。

## 4.1.1.1.3 测试参数

- a)  $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 50\%, v_{max} * 80\%, v_{max}\} km/h$ ;  
注：该参数格式定义参照资料性附录 A.3。
- b)  $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 km/h$ ;
- c)  $a_{max,brake}^{long}$ : 目标车辆减速度，设定为 $6.1 m/s^2$ ;
- d)  $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- e)  $d_{0\_min}$ : 测试开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最小初始距离;

$$d_{0\_min} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + d_{min}(t_0) \dots\dots\dots (3)$$

$$d_{min}(t_0) = \left[ v_r(t_0) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{max,brake}^{long}} \right] + \epsilon$$

式中:

$v_r(t_0)$ ——测试车辆初始速度;

$v_f(t_0)$ ——目标车辆初始速度;

$\rho$ ——测试车辆反应时间；

$a_{max,accel}^{long}$ ——测试车辆最大加速度；

$a_{min,brake}^{long}$ ——测试车辆最小制动加速度；

$a_{max,brake}^{long}$ ——目标车辆减速度；

$\epsilon$ ——安全距离裕量。

注：该公式的推导过程详见资料性附录A.1.2.1。

f)  $d_{0,max}$ ：测试开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最大初始距离。

$$d_{0,max} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + v_r(t_0) * \frac{v_f(t_0)}{a_{max,brake}^{long}} + d_{min}(t_0) \dots\dots\dots (4)$$

$$d_{min}(t_0) = \left[ v_r(t_0) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{max,brake}^{long}} \right] + \epsilon$$

式中：

$t_1$ ——初始时刻 $t_0$ 到前车开始刹车时刻 $t_{fb}$ 经过的时间；

$v_r(t_0)$ ——测试车辆初始速度；

$v_f(t_0)$ ——目标车辆初始速度；

$\rho$ ——测试车辆反应时间；

$a_{max,accel}^{long}$ ——测试车辆最大加速度；

$a_{min,brake}^{long}$ ——测试车辆最小制动加速度；

$a_{max,brake}^{long}$ ——目标车辆减速度；

$\epsilon$ ——安全距离裕量。

注：该公式的推导过程详见资料性附录A.1.2.2。

#### 4.1.1.1.4 测试步骤

- $t_0$ 时刻，测试车辆（后车）和目标车辆（前车）均匀速沿车道中心线行驶，后车速率大于前车，且两车的初始距离在 $[d_{0,min} : d_{0,max}]$ 之间。
- $t_{fb}$ 时刻，目标车辆以制动加速度 $a_{max,brake}^{long}$ 进行刹车（注： $t_{fb}$ 为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）；
- $t_s$ 时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

## 4.1.1.1.5 记录参数

- a)  $[t_{fb}: t_s]$  时间内目标车辆与测试车辆之间的距离  $d(t)$ ;
- b) 危险工况触发时刻  $t_b$ ;
- c) 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间  $\rho_{real}$ ;
- d)  $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$  时间内测试车辆的实时加速度  $a_{real, accel}^{long}(t)$ ;
- e)  $[t_b + \rho_{real}: t_s]$  时间内测试车辆的实时制动加速度  $a_{real, brake}^{long}(t)$ 。

## 4.1.1.1.6 通过标准

以下条件必须同时满足:

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_{fb}: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho$ ;
- c)  $a_{real, max, accel}^{long} \leq a_{max, accel}^{long}$ ;
- d)  $a_{min, brake}^{long} \leq a_{real, min, brake}^{long} \leq a_{max, brake}^{long}$ 。

## 4.1.1.2 后车以最大加速度加速时, 前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

## 4.1.1.2.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行, 测试路段选用柏油路面及干燥路况, 车道线为直道, 且车道线标识清晰。

## 4.1.1.2.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间  $\rho$ ;
- b) 测试车辆最大前进加速度  $a_{max, accel}^{long}$ ;
- c) 测试车辆最小制动加速度  $a_{min, brake}^{long}$ ;
- d) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率  $v_{max}$ ;
- e) 安全距离裕量  $\varepsilon$ 。

## 4.1.1.2.3 测试参数

- a)  $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度, 分别设定为  $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 40\%, v_{max} * 60\%\} km/h$ ;
- b)  $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度, 设定为  $v_f(t_0) = v_r(t_0)$ ;
- c)  $a_{max, brake}^{long}$ : 目标车辆减速度, 设定为  $6.1 m/s^2$ ;
- d)  $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- e)  $d_{0\_min}$ : 测试开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最小初始距离;

$$d_{0\_min} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + \frac{1}{2} a_{max, accel}^{long} * t_1^2 + d_{min}(t_{fb}) \dots\dots\dots (5)$$

$$d_{\min}(t_{fb}) = \left[ (v_r(t_0) + a_{\max,acce}^{long} * t_1) * \rho + \frac{a_{\max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + a_{\max,acce}^{long} * t_1 + \rho a_{\max,accel}^{long})^2}{2a_{\min,brake}^{long}} - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{\max,brake}^{long}} \right] +$$

$\varepsilon$

$$d_{0\_min} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + \frac{1}{2} a_{\max,accel}^{long} * t_1^2 + d_{\min}(t_{fb})$$

式中:

$t_1$ ——初始时刻 $t_0$ 到前车开始刹车时刻 $t_{fb}$ 经过的时间;

$v_r(t_0)$ ——测试车辆初始速度;

$v_f(t_0)$ ——目标车辆初始速度;

$\rho$ ——测试车辆反应时间;

$a_{\max,accel}^{long}$ ——测试车辆最大加速度;

$a_{\min,brake}^{long}$ ——测试车辆最小制动加速度;

$a_{\max,brake}^{long}$ ——目标车辆减速度;

$\varepsilon$ ——安全距离裕量。

注: 该公式的推导过程详见资料性附录 A.1.3.1。

f)  $d_{0\_max}$ : 测试开始时刻( $t_0$ )两车之间的最大初始距离;

$$d_{0\_max} = v_r(t_0) * t_2 + a_{\max,accel}^{long} * t_1 * t_2 + \frac{1}{2} a_{\max,accel}^{long} * (t_1^2 + t_2^2) - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{\max,brake}^{long}} + d_{\min}(t_{fs}) \dots\dots\dots$$

(6)

$$d_{\min}(t_{fs}) = \left[ (v_r(t_0) + a_{\max,accel}^{long} * (t_1 + t_2)) * \rho + \frac{a_{\max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + a_{\max,accel}^{long} * (t_1 + t_2) + \rho a_{\max,accel}^{long})^2}{2a_{\min,brake}^{long}} \right] + \varepsilon$$

式中:

$t_1$ ——初始时刻 $t_0$ 到前车开始刹车时刻 $t_{fb}$ 经过的时间;

$t_2$ ——前车开始刹车时刻 $t_{fb}$ 到前车停止时刻 $t_{fs}$ 经过的时间;

$v_r(t_0)$ ——测试车辆初始速度;

$v_f(t_0)$ ——目标车辆初始速度;

$\rho$ ——测试车辆反应时间;

$a_{\max,accel}^{long}$ ——测试车辆最大加速度;

$a_{\min,brake}^{long}$ ——测试车辆最小制动加速度;

$a_{\max,brake}^{long}$ ——目标车辆减速度;

$\varepsilon$ ——安全距离裕量。

注：该公式的推导过程详见资料性附录 A.1.3.2。

#### 4.1.1.2.4 测试步骤

- 测试车辆（后车）和目标车辆（前车）以相同初速度行驶沿车道中心线，两车的初始距离在  $[d_{0\_min}: d_{0\_max}]$  之间；
- $t_0$  时刻，测试车辆开始以  $a_{max,accel}^{long}$  加速，目标车辆继续匀速行驶；
- $t_{fb}$  时刻，目标车辆以制动加速度  $a_{max,brake}^{long}$  进行刹车（注： $t_{fb}$  为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）；
- $t_s$  时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

#### 4.1.1.2.5 记录参数

- $[t_{fb}: t_s]$  时间内目标车辆与测试车辆之间的距离  $d(t)$ ；
- 危险工况触发时刻  $t_b$ ；
- 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间  $\rho_{real}$ ；
- $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$  时间内测试车辆的实时加速度  $a_{real,accel}^{long}(t)$ ；
- $[t_b + \rho_{real}: t_s]$  时间内测试车辆的实时制动加速度  $a_{real,brake}^{long}(t)$ 。

#### 4.1.1.2.6 通过标准

以下条件必须同时满足：

- $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ；
- $\rho_{real} \leq \rho$ ；
- $a_{real,max,accel}^{long} \leq a_{max,accel}^{long}$ ；
- $a_{min,brake}^{long} \leq a_{real,min,brake}^{long} \leq a_{max,brake}^{long}$ 。

#### 4.1.2 弯道跟车

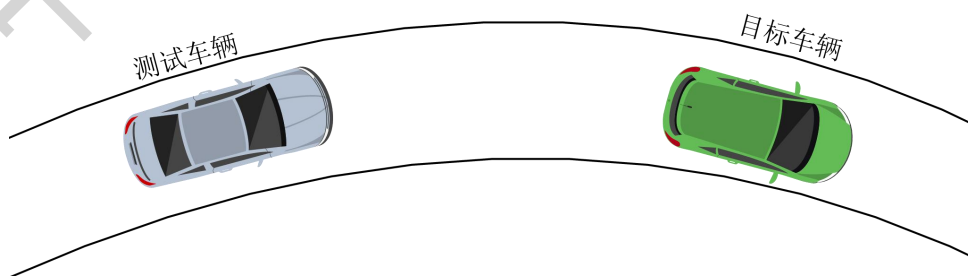


图2 弯道跟车测试

#### 4.1.2.1 前后车均匀速行驶，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

##### 4.1.2.1.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为弯道（曲率半径 $>200\text{m}$ ），且车道线标识清晰。

##### 4.1.2.1.2 输入参数

- 测试车辆反应时间 $\rho$ ；
- 测试车辆最大加速度 $a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}}$ ；
- 测试车辆最小制动加速度 $a_{\min, \text{brake}}^{\text{long}}$ ；
- 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{\max}$ ；
- 安全距离裕量 $\varepsilon$ 。

##### 4.1.2.1.3 测试参数

- $v_r(t_0)$ ：测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{\max} * 20\%, v_{\max} * 50\%, v_{\max} * 80\%, v_{\max}\} \text{km/h}$ ；
- $v_f(t_0)$ ：目标车辆初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 \text{ km/h}$ ；
- $a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}$ ：目标车辆减速度，设定为 $6.1 \text{ m/s}^2$ ；
- $t_{fb}$ ：前车刹车时刻；
- $d_{0, \min}$ ：开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最小初始距离，由于采用车道线坐标系，所以初始距离计算方法同直道跟车场景中的公式（3）；
- $d_{0, \max}$ ：测试开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最大初始距离，同直道跟车场景中的公式（4）。

##### 4.1.2.1.4 测试步骤

- $t_0$ 时刻，测试车辆（后车）和目标车辆（前车）均匀速沿车道中心线行驶，后车速率大于前车，且两车的初始距离在 $[d_{0, \min} : d_{0, \max}]$ 之间。
- $t_{fb}$ 时刻，目标车辆以制动加速度 $a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}$ 进行刹车（注： $t_{fb}$ 为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）；
- $t_s$ 时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

##### 4.1.2.1.5 记录参数

- $[t_{fb} : t_s]$ 时间内目标车辆与测试车辆之间的距离 $d(t)$ ；
- 危险工况触发时刻 $t_b$ ；
- 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间 $\rho_{\text{real}}$ ；
- $[t_b : (t_b + \rho_{\text{real}})]$ 时间内测试车辆的实时加速度 $a_{\text{real}, \text{accel}}^{\text{long}}(t)$ ；
- $[t_b + \rho_{\text{real}} : t_s]$ 时间内测试车辆的实时制动加速度 $a_{\text{real}, \text{brake}}^{\text{long}}(t)$ 。

## 4.1.2.1.6 通过标准

以下条件必须同时满足：

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_{fb}: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho$ ;
- c)  $a_{real,max,accel}^{long} \leq a_{max,accel}^{long}$ ;
- d)  $a_{min,brake}^{long} \leq a_{real,min,brake}^{long} \leq a_{max,brake}^{long}$ 。

## 4.1.2.2 后车以最大加速度加速时，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

## 4.1.2.2.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为弯道（曲率半径>200m），且车道线标识清晰。

## 4.1.2.2.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- b) 测试车辆最大前进加速度 $a_{max,accel}^{long}$ ;
- c) 测试车辆最小制动加速度 $a_{min,brake}^{long}$ ;
- d) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{max}$ ;
- e) 安全距离裕量 $\varepsilon$ 。

## 4.1.2.2.3 测试参数

- a)  $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 40\%, v_{max} * 60\%\}km/h$ ;
- b)  $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0)$ ;
- c)  $a_{max,brake}^{long}$ : 目标车辆减速度，设定为 $6.1m/s^2$ ;
- d)  $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- e)  $d_{0,min}$ : 测试开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最小初始距离，同直道跟车场景中的公式（5）;
- f)  $d_{0,max}$ : 测试开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最大初始距离，同直道跟车场景中的公式（6）;

## 4.1.2.2.4 测试步骤

- a) 测试车辆（后车）和目标车辆（前车）以相同初速度行驶沿车道中心线，两车的初始距离在 $[d_{0,min}: d_{0,max}]$ 之间;
- b)  $t_0$ 时刻，测试车辆开始以 $a_{max,accel}^{long}$ 加速，目标车辆继续匀速行驶;
- c)  $t_{fb}$ 时刻，目标车辆以制动加速度 $a_{max,brake}^{long}$ 进行刹车（注： $t_{fb}$ 为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）;



d)  $t_s$ 时刻, 测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

#### 4.1.2.2.5 记录参数

- a)  $[t_{fb}: t_s]$ 时间内目标车辆与测试车辆之间的距离 $d(t)$ ;
- b) 危险工况触发时刻 $t_b$ ;
- c) 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间 $\rho_{real}$ ;
- d)  $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$ 时间内测试车辆的实时加速度 $a_{real, accel}^{long}(t)$ ;
- e)  $[t_b + \rho_{real}: t_s]$ 时间内测试车辆的实时制动加速度 $a_{real, brake}^{long}(t)$ 。

#### 4.1.2.2.6 通过标准

以下条件必须同时满足:

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho$ ;
- c)  $a_{real, max, accel}^{long} \leq a_{max, accel}^{long}$ ;
- d)  $a_{min, brake}^{long} \leq a_{real, min, brake}^{long} \leq a_{max, brake}^{long}$ 。

### 4.2 并线场景测试

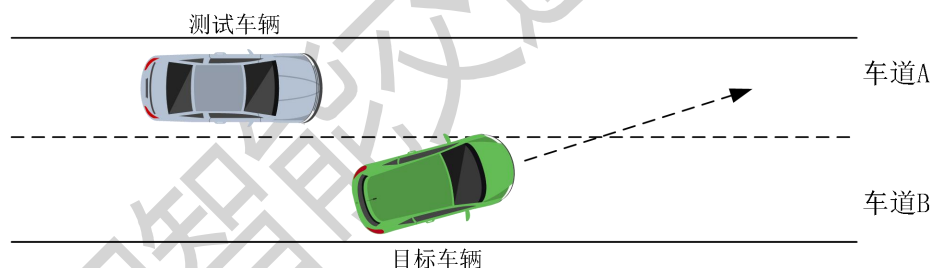


图3 并线场景测试

#### 4.2.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行, 测试路段选用柏油路面及干燥路况, 车道线为直道双车道, 且车道线标识清晰。

#### 4.2.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- b) 测试车辆最大加速度 $a_{max, accel}^{long}$ ;
- c) 测试车辆最小制动加速度 $a_{min, brake}^{long}$ ;

- d) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率  $v_{max}$ ;
- e) 安全距离裕量  $\varepsilon$ 。

#### 4.2.3 测试参数

- a)  $v_1^{long}(t_0)$ : 测试车辆纵向初始速度, 分别设定为  $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 40\%, v_{max} * 60\%\} km/h$ ;
- b)  $v_2^{long}(t_0)$ : 目标车辆纵向初始速度, 设定为  $v_f(t_0) = v_r(t_0)$ ;
- c)  $v_1^{lateral}(t_0)$ : 测试车辆横向初始速度, 设定为  $0 km/h$ ;
- d)  $v_2^{lateral}(t_0)$ : 目标车辆横向初始速度, 设定为  $0 km/h$ ;
- e)  $a_{2,accel}^{lateral}$ : 目标车辆横向加速度, 设定为  $0.6 m/s^2$ ;
- f)  $a_{2,accel,thrd}^{long}$ : 目标车辆并线过程中的纵向加速度阈值:

$$a_{2,accel,thrd}^{long} = \frac{\sqrt{B^2 - 4AC} - B}{2A} m/s^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

其中:

$$A = \frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{2a_{2,accel}^{lateral} * a_{max,brake,ref}^{long}}$$

$$B = \frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{2a_{2,accel}^{lateral}} + \frac{v_1^{long}(t_0) * \sqrt{\frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{a_{2,accel}^{lateral}}}}{a_{max,brake,ref}^{long}}$$

$$C = \frac{v_1^{long}(t_0)^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} - v_1^{long}(t_0)\rho - \frac{a_{max,accel}^{long} * \rho^2}{2} - \frac{(v_1^{long}(t_0) + \rho * a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \varepsilon$$

式中:

$w_{lane1}$ ——车道 A 宽度;

$w_{lane2}$ ——车道 B 宽度;

该公式的推导过程详见资料性附录 A. 2。

#### 4.2.4 测试步骤

- a) 测试车辆  $C_1$  以及相邻车道上的目标车辆  $C_2$  各自沿车道中心线以相同速度并排匀速行驶, 初始横向距离为  $\frac{1}{2}(w_{lane1} + w_{lane2})$ ;
- b) 目标车辆  $C_2$  突然加速并且快速并入测试车辆  $C_1$  所在的车道, 横向加速度为  $0.6 m/s^2$ , 纵向加速度为公式 (7) 计算的纵向加速度阈值的 80%, 以保证并入时刻后车进入危险工况。

#### 4.2.5 通过标准

邻车并入过程中, 测试车辆可以检测到危险工况的发生, 并采取适当响应, 则认定为通过。

### 5 自动驾驶车辆决策安全的场地测试

## 5.1 场地测试要求

### 5.1.1 一般要求

- a) 试验场地具有良好附着能力的混凝土或沥青路面；
- b) 交通标志和标线清晰可见，并符合 GB 5768 要求；
- c) 道路及基础设施符合 GB 14886、GB 14887、GB/T 24973 要求；
- d) 车道宽度不小于 3.0m 且不大于 3.75m。

### 5.1.2 数据采集要求

由于决策安全测试通过的标准不仅仅是有无发生碰撞，还要求危险工况下的行为符合适当响应的要求，因此需要监控并采集测试车辆的过程数据，保证其正确执行安全策略。主要测采集数据包括：

- a) 测试车辆与目标车辆的实时距离；
- b) 测试车辆和目标车辆的实时速度；
- c) 测试车辆和目标车辆的实时加速度；
- d) 测试车辆实际反应时间

从危险工况阈值时刻（测试车辆与目标车辆之间的距离等于最小安全距离时刻）开始计时，测试车辆从当前状态（匀速或者加速）变化为减速的时刻停止计时，该时间差即为测试车辆实际反应时间，该参数的测量精度应达到 20ms 量级。

### 5.1.3 测试设备要求

测试设备应满足以下要求：

- a) 运动状态采样和存储的频率不少于 50hz；
- b) 横向和纵向位置测量误差不大于 0.1m；
- c) 速度测量误差不大于 0.1km/h；
- d) 加速度测量误差不大于  $0.1 \text{ m/s}^2$ 。

## 5.2 纵向场地测试

### 5.2.1 直道跟车场地测试

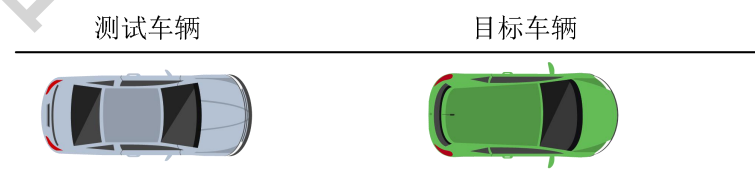


图 4 直道跟车场地测试

#### 5.2.1.1 前后车均匀速行驶，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

##### 5.2.1.1.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为直道，且车道线标识清晰。

#### 5.2.1.1.2 输入参数

- 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- 测试车辆最大加速度 $a_{max,accel}^{long}$ ;
- 测试车辆最小制动加速度 $a_{min,brake}^{long}$ ;
- 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{max}$ ;
- 安全距离裕量 $\epsilon$ 。

#### 5.2.1.1.3 测试参数

- $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 50\%, v_{max} * 80\%, v_{max}\}km/h$ ;
- $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 km/h$ ;
- $a_{max,brake}^{long}$ : 目标车辆减速度，设定为 $6.1m/s^2$ ;
- $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- $d_{0,min}$ : 开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最小初始距离，参见公式 (3);
- $d_{0,max}$ : 测试开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最大初始距离，参见公式 (4)。

#### 5.2.1.1.4 测试步骤

- $t_0$ 时刻，测试车辆（后车）和目标车辆（前车）均匀速沿车道中心线行驶，后车速率大于前车，且两车的初始距离在 $[d_{0,min}: d_{0,max}]$ 之间。
- $t_{fb}$ 时刻，目标车辆以制动加速度 $a_{max,brake}^{long}$ 进行刹车（注： $t_{fb}$ 为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）;
- $t_s$ 时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

#### 5.2.1.1.5 记录参数

- $[t_{fb}: t_s]$ 时间内目标车辆与测试车辆之间的距离 $d(t)$ ;
- 危险工况触发时刻 $t_b$ ;
- 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间 $\rho_{real}$ ;
- $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$ 时间内测试车辆的实时加速度 $a_{real,accel}^{long}(t)$ ;
- $[t_b + \rho_{real}: t_s]$ 时间内测试车辆的实时制动加速度 $a_{real,brake}^{long}(t)$ 。

#### 5.2.1.1.6 计算参数

- 测试反应时间内的最大加速度 $a_{real,max,accel}^{long} = \max(a_{real,accel}^{long}(t))$ ;

b) 测试反应时间后的最小制动加速度  $a_{real,min,brake}^{long} = \min(a_{real,accel}^{long}(t))$ 。

#### 5.2.1.1.7 通过标准

以下条件必须同时满足：

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho + \delta_\rho$ ;
- c)  $a_{real,max,accel}^{long} \leq a_{max,accel}^{long} + \delta_{accel}$ ;
- d)  $a_{min,brake}^{long} - \delta_{brake} \leq a_{real,min,brake}^{long} \leq a_{max,brake}^{long} + \delta_{accel}$ ;

注： $\delta_\rho$ 为测量仪器带来的导致的偏差， $\delta_{accel}$ ， $\delta_{brake}$ 为实际路面导致的偏差（具体值根据测试场实际情况而定）。

#### 5.2.1.2 后车以最大加速度加速时，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

##### 5.2.1.2.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为直道，且车道线标识清晰。

##### 5.2.1.2.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- b) 测试车辆最大加速度 $a_{max,accel}^{long}$ ;
- c) 测试车辆最小制动加速度 $a_{min,brake}^{long}$ ;
- d) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{max}$ ;
- e) 安全距离裕量 $\varepsilon$ 。

##### 5.2.1.2.3 测试参数

- a)  $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 50\%, v_{max} * 80\%, v_{max}\} km/h$ ;
- b)  $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度，设定为  $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 km/h$ ;
- c)  $a_{max,brake}^{long}$ : 目标车辆减速度，设定为  $6.1 m/s^2$ ;
- d)  $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- e)  $d_{0,min}$ : 开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最小初始距离，参见公式 (5) ;
- f)  $d_{0,max}$ : 测试开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最大初始距离，参见公式 (6) 。

##### 5.2.1.2.4 测试步骤

- a) 测试车辆（后车）和目标车辆（前车）以相同初速度行驶沿车道中心线，两车的初始距离在  $[d_{0\_min}: d_{0\_max}]$  之间；
- b)  $t_0$  时刻，测试车辆开始以  $a_{max,accel}^{long}$  加速，目标车辆继续匀速行驶；
- c)  $t_{fb}$  时刻，目标车辆以制动加速度  $a_{max,brake}^{long}$  进行刹车（注： $t_{fb}$  为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）；
- d)  $t_s$  时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

#### 5.2.1.2.5 记录参数

- a)  $[t_b: t_s]$  时间内目标车辆与测试车辆之间的距离  $d(t)$ ；
- b) 危险工况触发时刻  $t_b$ ；
- c) 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间  $\rho_{real}$ ；
- d)  $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$  时间内测试车辆反应时间内的实时加速度  $a_{real,accel}^{long}(t)$ ；
- e)  $[t_b + \rho_{real}: t_s]$  时间内测试车辆反应时间后的实时制动加速度  $a_{real,brake}^{long}(t)$ 。

#### 5.2.1.2.6 计算参数

- a) 测试反应时间内的最大加速度  $a_{real,max,accel}^{long} = \max(a_{real,accel}^{long}(t))$ ；
- b) 测试反应时间后的最小制动加速度  $a_{real,min,brake}^{long} = \min(a_{real,brake}^{long}(t))$ 。

#### 5.2.1.2.7 通过标准

以下条件必须同时满足：

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ；
- b)  $\rho_{real} \leq \rho + \delta_\rho$ ；
- c)  $a_{real,max,accel}^{long} \leq a_{max,accel}^{long} + \delta_{accel}$ ；
- d)  $a_{min,brake}^{long} - \delta_{brake} \leq a_{real,min,brake}^{long} \leq a_{max,brake}^{long} + \delta_{accel}$ ；

注： $\delta_\rho$  为测量仪器带来的导致的偏差， $\delta_{accel}$ ， $\delta_{brake}$  为实际路面导致的偏差（具体值根据测试场实际情况而定）。

### 5.2.2 弯道跟车场地测试

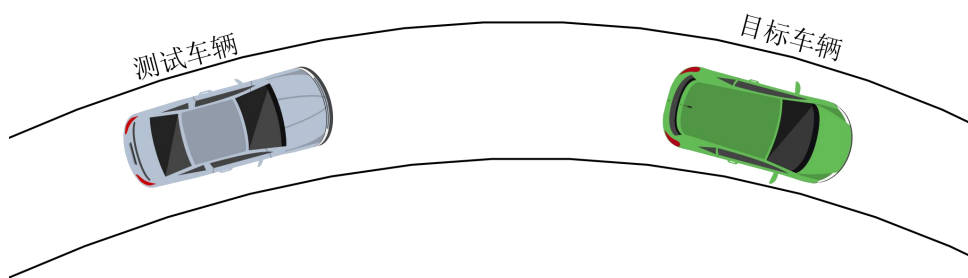


图5 弯道跟车场地测试

#### 5.2.2.1 前后车均匀速行驶，前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

##### 5.2.2.1.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为弯道（曲率半径 $>200\text{m}$ ），且车道线标识清晰。

##### 5.2.2.1.2 输入参数

- 测试车辆反应时间 $\rho$ ;
- 测试车辆最大加速度 $a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}}$ ;
- 测试车辆最小制动加速度 $a_{\min, \text{brake}}^{\text{long}}$ ;
- 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{\max}$ ;
- 安全距离裕量 $\varepsilon$ 。

##### 5.2.2.1.3 测试参数

- $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度，分别设定为 $\{v_{\max} * 20\%, v_{\max} * 50\%, v_{\max} * 80\%, v_{\max}\} \text{km/h}$ ;
- $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 \text{ km/h}$ ;
- $a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}$ : 目标车辆减速度，设定为 $6.1 \text{ m/s}^2$ ;
- $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- $d_{0, \min}$ : 开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最小初始距离，同直道跟车场景中的公式（3）;
- $d_{0, \max}$ : 测试开始时刻（ $t_0$ ）两车之间的最大初始距离，同直道跟车场景中的公式（4）。

##### 5.2.2.1.4 测试步骤

- $t_0$ 时刻，测试车辆（后车）和目标车辆（前车）均匀速沿车道中心线行驶，后车速率大于前车，且两车的初始距离在 $[d_{0, \min}: d_{0, \max}]$ 之间。
- $t_{fb}$ 时刻，目标车辆以制动加速度 $a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}$ 进行刹车（注： $t_{fb}$ 为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间）;
- $t_s$ 时刻，测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

## 5.2.2.1.5 记录参数

- a)  $[t_{fb}: t_s]$  时间内目标车辆与测试车辆之间的距离  $d(t)$ ;
- b) 危险工况触发时刻  $t_b$ ;
- c) 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间  $\rho_{real}$ ;
- d)  $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$  时间内测试车辆的实时加速度  $a_{real, accel}^{long}(t)$ ;
- e)  $[t_b + \rho_{real}: t_s]$  时间内测试车辆的实时制动加速度  $a_{real, brake}^{long}(t)$ 。

## 5.2.2.1.6 计算参数

- a) 测试反应时间内的最大加速度  $a_{real, max, accel}^{long} = \max(a_{real, accel}^{long}(t))$ ;
- b) 测试反应时间后的最小制动加速度  $a_{real, min, brake}^{long} = \min(a_{real, accel}^{long}(t))$ 。

## 5.2.2.1.7 通过标准

以下条件必须同时满足:

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho + \delta_\rho$ ;
- c)  $a_{real, max, accel}^{long} \leq a_{max, accel}^{long} + \delta_{accel}$ ;
- d)  $a_{min, brake}^{long} - \delta_{brake} \leq a_{real, min, brake}^{long} \leq a_{max, brake}^{long} + \delta_{accel}$ ;

注:  $\delta_\rho$  为测量仪器带来的导致的偏差,  $\delta_{accel}$ ,  $\delta_{brake}$  为实际路面导致的偏差 (具体值根据测试场实际情况而定)。

## 5.2.2.2 后车以最大加速度加速时, 前车刹车且刹车加速度等于最大制动加速度参考值

## 5.2.2.2.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行, 测试路段选用柏油路面及干燥路况, 车道线为弯道 (曲率半径  $> 200m$ ), 且车道线标识清晰。

## 5.2.2.2.2 输入参数

- a) 测试车辆反应时间  $\rho$ ;
- b) 测试车辆最大加速度  $a_{max, accel}^{long}$ ;
- c) 测试车辆最小制动加速度  $a_{min, brake}^{long}$ ;
- d) 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率  $v_{max}$ ;
- e) 安全距离裕量  $\varepsilon$ 。



#### 5.2.2.2.3 测试参数

- a)  $v_r(t_0)$ : 测试车辆初始速度, 分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 50\%, v_{max} * 80\%, v_{max}\} km/h$
- b)  $v_f(t_0)$ : 目标车辆初始速度, 设定为  $v_f(t_0) = v_r(t_0) - 5 km/h$ ;
- c)  $a_{max,brake}^{long}$ : 目标车辆减速度, 设定为  $6.1 m/s^2$ ;
- d)  $t_{fb}$ : 前车刹车时刻;
- e)  $d_{0\_min}$ : 开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最小初始距离, 同直道跟车场景中的公式 (5);
- f)  $d_{0\_max}$ : 测试开始时刻 ( $t_0$ ) 两车之间的最大初始距离, 同直道跟车场景中的公式 (6)。

#### 5.2.2.2.4 测试步骤

- a) 测试车辆 (后车) 和目标车辆 (前车) 以相同初速度行驶沿车道中心线, 两车的初始距离在  $[d_{0\_min}: d_{0\_max}]$  之间;
- b)  $t_0$  时刻, 测试车辆开始以  $a_{max,accel}^{long}$  加速, 目标车辆继续匀速行驶;
- c)  $t_{fb}$  时刻, 目标车辆以制动加速度  $a_{max,brake}^{long}$  进行刹车 (注:  $t_{fb}$  为测试人员设定的目标车辆开始刹车时间);
- d)  $t_s$  时刻, 测试车辆与目标车辆均达到停止状态。

#### 5.2.2.2.5 记录参数

- a)  $[t_{fb}: t_s]$  时间内目标车辆与测试车辆之间的距离  $d(t)$ ;
- b) 危险工况触发时刻  $t_b$ ;
- c) 测试车辆从危险阈值时刻到开始刹车时刻的实际反应时间  $\rho_{real}$ ;
- d)  $[t_b: (t_b + \rho_{real})]$  时间内测试车辆的实时加速度  $a_{real,accel}^{long}(t)$ ;
- e)  $[t_b + \rho_{real}: t_s]$  时间内测试车辆的实时制动加速度  $a_{real,brake}^{long}(t)$ 。

#### 5.2.2.2.6 计算参数

- a) 测试反应时间内的最大加速度  $a_{real,max,accel}^{long} = \max (a_{real,accel}^{long}(t))$ ;
- b) 测试反应时间后的最小制动加速度  $a_{real,min,brake}^{long} = \min (a_{real,brake}^{long}(t))$ 。

#### 5.2.2.2.7 通过标准

以下条件必须同时满足:

- a)  $d(t) \geq \varepsilon, t \in [t_b: t_s]$ ;
- b)  $\rho_{real} \leq \rho + \delta_\rho$ ;
- c)  $a_{real,max,accel}^{long} \leq a_{max,accel}^{long} + \delta_{accel}$ ;

$$d) \quad a_{min,brake}^{long} - \delta_{brake} \leq a_{real,min,brake}^{long} \leq a_{max,brake}^{long} + \delta_{accel} ;$$

注： $\delta_\rho$ 为测量仪器带来的导致的偏差， $\delta_{accel}$ ， $\delta_{brake}$ 为实际路面导致的偏差（具体值根据测试场实际情况而定）。

### 5.3 并线场地测试

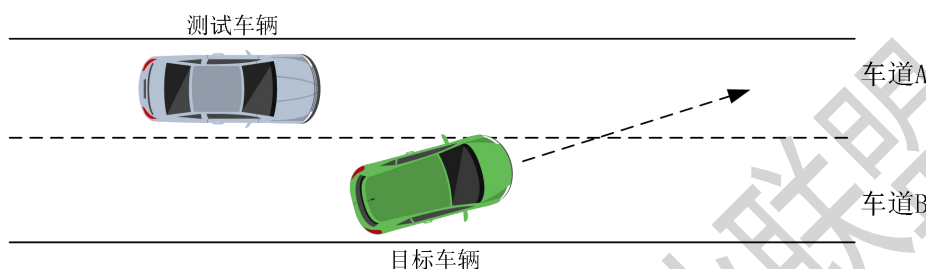


图6 并线场地测试

#### 5.3.1 测试条件

本测试应在白天晴朗天气下进行，测试路段选用柏油路面及干燥路况，车道线为直道双车道，且车道线标识清晰。

#### 5.3.2 输入参数

- 测试车辆反应时间 $\rho$ ；
- 测试车辆最大加速度 $a_{max,accel}^{long}$ ；
- 测试车辆最小制动加速度 $a_{min,brake}^{long}$ ；
- 测试车辆 ODD 运行范围内的最高速率 $v_{max}$ ；
- 安全距离裕量 $\epsilon$ 。

#### 5.3.3 测试参数

- $v_1^{long}(t_0)$ ：测试车辆纵向初始速度，分别设定为 $\{v_{max} * 20\%, v_{max} * 40\%, v_{max} * 60\%\} km/h$ ；
- $v_2^{long}(t_0)$ ：目标车辆纵向初始速度，设定为 $v_f(t_0) = v_r(t_0)$ ；
- $v_1^{lateral}(t_0)$ ：测试车辆横向初始速度，设定为 $0 km/h$ ；
- $v_2^{lateral}(t_0)$ ：目标车辆横向初始速度，设定为 $0 km/h$ ；
- $a_{2,accel}^{lateral}$ ：目标车辆横向加速度，设定为 $0.6 m/s^2$ ；
- $a_{2,accel,thrd}^{long}$ ：目标车辆并线过程中的纵向加速度阈值，参见公式（7）。

#### 5.3.4 测试步骤

- a) 测试车辆 $C_1$ 以及相邻车道上的目标车辆 $C_2$ 各自沿车道中心线以相同速度并排匀速行驶，初始横向距离为 $\frac{1}{2}(w_{lane1} + w_{lane2})$ ；
- b) 目标车辆 $C_2$ 突然加速并且快速并入测试车辆 $C_1$ 所在的车道，横向加速度为 $0.6m/s^2$ ，纵向加速度为公式（7）计算的纵向加速度阈值的80%，以保证并入时刻后车进入危险工况。

### 5.3.5 通过标准

邻车并入过程中，测试车辆可以检测到危险工况的发生，并采取适当响应，则认定为通过。

## 6 测试车辆数据记录要求

本文件规定所有遵循T/ITS 0116-2019自动驾驶车辆决策的安全保障技术要求的车辆，在测试过程中必须配备决策安全相关数据的记录装置，并以10帧/秒的速率自动记录和存储车辆被触发危险工况前至少90秒及发生后30秒的下列各项信息数据，以供后期做事故分析或者决策安全方面的分析。

为了便于不同厂家之间做横向对比，本文件规定了结构化的记录方式（表1）：采集到的数据根据数据的私密性分别存入公开数据桶和私有数据桶，私有数据桶采用加密方式存储，并控制访问权限，加密算法由厂家自行选择。

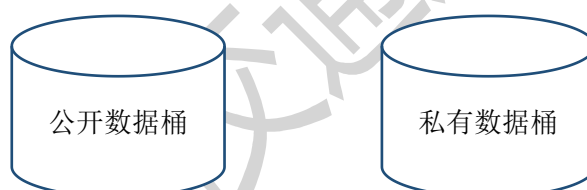


表1 公开数据字段定义

字段名称	字段含义	长度
Item sequence	日志项序号，由ASCII码“ITEM”+序列号组成	ASCII码：32bit 序列号：32bit
Timestamp	时间戳	64bit
Vehicle ID	车辆ID（厂家自定义）	64bit
Ego Vehicle longitudinal Speed	测试车辆当前纵向速度值(km/h)	64bit
Ego Vehicle lateral Speed	测试车辆当前横向速度值(km/h)	64bit
Lane position	测试车辆当前所在车道信息（遵循Opendrive定义）	16bit

	同向车道： 1：行车方向最内侧车道 2：行车方向次内侧车道 。 。 。 对向车道： -1：对向最内侧车道 -2：对向次内侧测到 。 。 。	
Throttle	测试车辆当前油门控制量	Double, 64bit
Brake	测试车辆当前刹车控制量	Double, 64bit
Steering	测试车辆当前转向角	Double, 64bit
Inertial	姿态信息，由如下六个分量组成： $\Delta x$ : x轴方向的加速度( $m/s^2$ ) $\Delta y$ : y轴方向的加速度( $m/s^2$ ) $\Delta z$ : z轴方向的加速度( $m/s^2$ ) $\Delta pitch$ : x轴方向角速度(rad/s) $\Delta roll$ : y轴方向角速度(rad/s) $\Delta yaw$ : z轴方向角速度(rad/s)	Double, 64bit (x6)
Parameter table index	安全决策参数表索引（安全决策参数表参见表5，只有一套参数集时指针为0）	integer_index, 16bit
Actuated	是否触发安全车辆进入危险工况响应	True or False
Target vehicle longitudinal Speed	目标车辆当前纵向速度值(km/h)	64bit
Target vehicle lateral Speed	目标车辆当前横向速度值(km/h)	64bit
Longitudinal distance to target	与目标车辆的纵向距离	Double, 64bit
Longitudinal distance to target	与目标车辆的横向距离	Double, 64bit

表 2 私有数据字段定义

字段名称	字段含义	长度
Item sequence	日志项序号，由ASCII码“ITEM”+序列号组成	ASCII码：32bit 序列号：32bit
Timestamp	时间戳	64bit
Vehicle ID	车辆ID（厂家自定义）	64bit
Driver ID	驾驶员ID	64bit
Position longitude	车辆位置经度	64bit
Position latitude	车辆位置纬度	64bit
Location method	定位方式：  GPS = 0  Diff-GPS = 1  BeiDou = 2  GLONASS = 3  Galileo = 4  QZSS = 5  Inertial = 6（隧道等情况）	integer, 16bit
Picture from camera 1	相机1采样数据，由如下字段组成：  size: 数据总长度（bytes）  data: 采样数据（Blob in JPEG format）	size: integer, 32bit  data: size*8bit
Picture from camera 2	相机2采样数据	size: integer, 32bit  data: size*8bit
.....		
Picture from camera N	相机N采样数据	size: integer, 32bit  data: size*8bit

为了保证数据的完整性，防止被篡改，每100个记录项做为一个数据块，对应一个1024bit的MD5摘要信息（计算摘要时需要包含上一个数据块的MD5数值），每个数据块为128字节的整数倍，如果不是，则需要在末尾填充字符串（“FF”）补足，最后一个字节为填充字符串的长度。

第1个数据块输入的MD5初始摘要数值为： 当前时间（64bit）+ 车辆根证书（厂家自定义）+填充字符串（"FF"）共计128byte。

当5秒种没有新的数据写入时，该数据块自动结束。

表 3 数据块格式定义（适用于公开数据和私有数据）

<b>Block M-1</b>	
.....	
Block M-1 MD5 摘要（128 byte）	
<b>Block M</b>	
日志项 1（“ITEM”+日志项序号.....）	
日志项 2（“ITEM”+日志项序号.....）	
.....	
日志项 100 或者 n（对应超时情况）+（填充）+（填充字符串长度）	
Block M MD5 摘要（128 byte）	

每个厂家都有针对车辆的物理特性设计的安全决策参数，且可以根据车辆实际所处的环境选择不同的参数，因此决策安全参数表具体参数值由厂家根据车辆的实际性能填充，可以有一套或者多套参数。（注：计算安全距离时，所有的加速度都是无符号数）。

表 4 安全决策参数表

字段名称	字段含义	长度
$\rho_{long}$	本车纵向反应时间(ms)	16bit
$\rho_{lateral}$	本车横向反应时间(ms)	16bit
$a_{max,accel}^{long*}$	本车纵向最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	Double, 64bit
$a_{max,accel}^{lateral*}$	本车横向最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	Double, 64bit
$a_{min,brake}^{long*}$	本车纵向最小制动加速度(m/s <sup>2</sup> )	Double, 64bit
$a_{min,brake}^{lateral*}$	本车横向最小制动加速度(m/s <sup>2</sup> )	Double, 64bit
$a_{max,brake}^{long*}$	目标车辆纵向最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	Double, 64bit

## 附录 A

(资料性)

## 文中公式推导及仿真参数格式定义

## A.1 跟车初始距离

## A.1.1 初始距离定义

无论仿真还是实地进行跟车场景的测试，测试开始时，前后两车需保持一定的初始距离，该距离需要大于根据初始状态计算出的纵向最小安全距离。测试过程中前车进行刹车，刹车时刻由测试人员根据场地的情况进行预设，后车在向前车靠近的过程中，始终监测两车之间的距离，并在达到最小纵向安全距离时采取适当响应。

初始距离的设置需要保证后车进入危险阈值时刻时，前车正好处于刹车状态，这样才可以最充分地验证最小安全距离公式所示的情况。如果该初始距离设置太小，则前车还没开始刹车，后车就已经进入纵向危险工况；如果该初始距离太大，则前车刹车停止了，后车还没进入危险工况。

设初始时刻 ( $t_0$ ) 到前车开始刹车时刻 ( $t_{fb}$ ) 经过的时间为  $t_1$ ，前车开始刹车时刻 ( $t_{fb}$ ) 到前车停止时刻 ( $t_{fs}$ ) 经过的时间为  $t_2$ ，则满足上述要求的最小初始距离 ( $d_{0\_min}$ ) 定义为前车开始刹车时，两车之间的距离正好等于该时刻的最小纵向安全距离  $d_{min}(t_{fb})$ ；最大初始距离 ( $d_{0\_max}$ ) 定义为前车刹车停止时，两车之间的距离正好等于该时刻的最小纵向安全距离  $d_{min}(t_{fs})$ 。

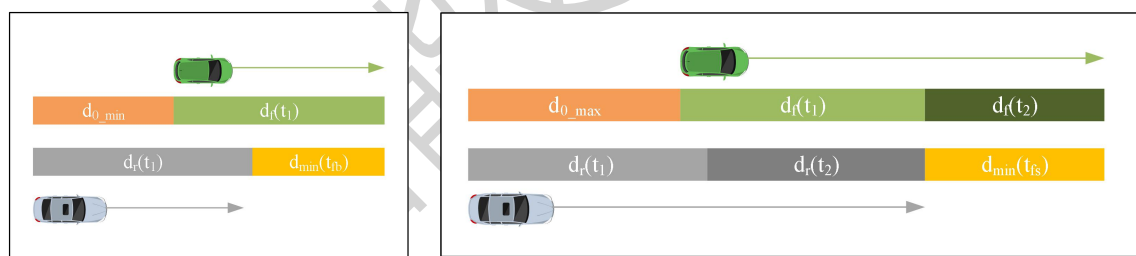


图7 初始距离设定

以下为车辆在各种运行状态下初始距离的计算公式。

## A.1.2 前后车均匀速行驶时初始距离设定

## A.1.2.1 最小初始距离

根据最小初始距离的定义可得到：

$$d_{0\_min} + d_f(t_1) = d_r(t_1) + d_{min}(t_{fb})$$

$$d_{\min}(t_{fb}) = \left[ v_r(t_{fb}) * \rho + \frac{a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_{fb}) + \rho a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}})^2}{2a_{\min, \text{brake}}^{\text{long}}} - \frac{v_f^2(t_{fb})}{2a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}} \right] + \varepsilon$$

式中：

$d_f(t_1)$ ——车从初始时刻到开始刹车时刻行驶的距离；

$d_r(t_1)$ ——后车从初始时刻到前车开始刹车时刻行驶的距离；

$d_{\min}(t_{fb})$ ——前车开始刹车时刻对应的最小纵向安全距离；

$v_f(t_{fb})$ ——前车开始刹车时刻前车的速度；

$v_r(t_{fb})$ ——前车开始刹车时刻后车的速度；

由于 $t_{fb}$ 之前两车都是匀速运动，则：

$$d_{\min}(t_{fb}) = d_{\min}(t_0) = \left[ v_r(t_0) * \rho + \frac{a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + \rho a_{\max, \text{accel}}^{\text{long}})^2}{2a_{\min, \text{brake}}^{\text{long}}} - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{\max, \text{brake}}^{\text{long}}} \right] + \varepsilon$$

式中：

$v_f(t_0)$ ——初始时刻前车的速度；

$v_r(t_0)$ ——初始时刻后车的速度；

$d_{\min}(t_0)$ ——初始时刻对应的最小纵向安全距离。

因此：

$$d_{0\_min} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + d_{\min}(t_0)$$

#### A. 1. 2. 2 最大初始距离

根据最大初始距离的定义可得到：

$$d_{0\_max} + d_f(t_1) + d_f(t_2) = d_r(t_1) + d_r(t_2) + d_{\min}(t_{fs})$$

式中：

$d_f(t_1)$ ——车从初始时刻到开始刹车时刻行驶的距离；

$d_r(t_1)$ ——后车从初始时刻到前车开始刹车时刻行驶的距离；

$d_f(t_2)$ ——前车从开始刹车时刻到停止时刻行驶的距离；

$d_r(t_2)$ ——后车从前车开始刹车时刻到前车停止时刻行驶的距离；

$d_{\min}(t_{fs})$ ——前车停止时刻对应的最小纵向安全距离。

由于 $t_2$ 期间前车为匀减速运动，后车为匀速运动，则：



$$t_2 = \frac{v_f(t_0)}{a_{max,brake}^{long}}$$

$$d_f(t_2) = \frac{v_f^2(t_0)}{a_{max,brake}^{long}}$$

$$d_r(t_2) = v_r(t_0) * \frac{v_f(t_0)}{a_{max,brake}^{long}}$$

$$d_{min}(t_{fs}) = \left[ v_r(t_0) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} \right]_+ + \varepsilon$$

因此:

$$d_{0\_max} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + v_r(t_0) * \frac{v_f(t_0)}{a_{max,brake}^{long}} + d_{min}(t_0)$$

### A. 1. 3 前车匀速行驶，后车加速行驶时初始距离设定

#### A. 1. 3. 1 最小初始距离

根据最小初始距离的定义可得到:

$$d_{0\_min} + d_f(t_1) = d_r(t_1) + d_{min}(t_{fb})$$

式中:

$d_f(t_1)$ ——车从初始时刻到开始刹车时刻行驶的距离;

$d_r(t_1)$ ——后车从初始时刻到前车开始刹车时刻行驶的距离;

因为前车是匀速运动，后车以  $a_{max,acce}^{long}$  加速行驶，故:

$$v_r(t_{fb}) = v_r(t_0) + a_{max,acce}^{long} * t_1$$

$$d_r(t_1) = v_r(t_0) * t_1 + \frac{1}{2} a_{max,accel}^{long} * t_1^2$$

$$v_f(t_{fb}) = v_f(t_0)$$

$$d_f(t_1) = v_f(t_0) * t_1$$

因此:

$$d_{0\_min} = t_1 * (v_r(t_0) - v_f(t_0)) + \frac{1}{2} a_{max,accel}^{long} * t_1^2 + d_{min}(t_{fb})$$

$$d_{min}(t_{fb}) = \left[ (v_r(t_0) + a_{max,acce}^{long} * t_1) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + a_{max,acce}^{long} * t_1 + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{max,brake}^{long}} \right]_+ + \varepsilon$$

$\varepsilon$

## A. 1.3.2 最大初始距离

根据最大初始距离的定义可得到：

$$d_{0\_max} + d_f(t_1) + d_f(t_2) = d_r(t_1) + d_r(t_2) + d_{min}(t_{fs})$$

式中：

$d_f(t_1)$ ——车从初始时刻到开始刹车时刻行驶的距离；

$d_r(t_1)$ ——后车从初始时刻到前车开始刹车时刻行驶的距离；

$d_f(t_2)$ ——前车从开始刹车时刻到停止时刻行驶的距离；

$d_r(t_2)$ ——后车从前车开始刹车时刻到前车停止时刻行驶的距离；

$d_{min}(t_{fs})$ ——前车停止时刻对应的最小纵向安全距离。

因为前车是匀速运动，后车以 $a_{max,acce}^{long}$ 加速行驶，且两者初始速度相同，故：

$$t_2 = \frac{v_f(t_0)}{a_{max,brake}^{long}}$$

$$v_r(t_{fb}) = v_r(t_0) + a_{max,accel}^{long} * t_1$$

$$v_r(t_{fs}) = v_r(t_0) + a_{max,accel}^{long} * (t_1 + t_2)$$

$$d_r(t_1) = v_r(t_0) * t_1 + \frac{1}{2} a_{max,accel}^{long} * t_1^2$$

$$d_r(t_2) = v_r(t_0) * t_2 + a_{max,accel}^{long} * t_1 * t_2 + \frac{1}{2} a_{max,accel}^{long} * t_2^2$$

$$v_f(t_{fb}) = v_f(t_0)$$

$$d_f(t_1) = v_f(t_0) * t_1$$

$$d_f(t_2) = \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{max,brake}^{long}}$$

因此

$$d_{0\_max} = v_r(t_0) * t_2 + a_{max,accel}^{long} * t_1 * t_2 + \frac{1}{2} a_{max,accel}^{long} * (t_1^2 + t_2^2) - \frac{v_f^2(t_0)}{2a_{max,brake}^{long}} + d_{min}(t_{fs})$$

$$d_{min}(t_{fs}) = \left[ (v_r(t_0) + a_{max,accel}^{long} * (t_1 + t_2)) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_r(t_0) + a_{max,accel}^{long} * (t_1 + t_2) + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} \right] + \epsilon$$

## A. 2 并线场景下目标车辆纵向加速度

设目标车辆 $C_2$ 横向加速到测试车辆 $C_1$ 所在车道所用的时间为 $t_c$ ，则：

$$t_c = \sqrt{\frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{a_{2,accel}^{lateral}}}$$

$w_{lane1}$ ——车道A宽度；

$w_{lane2}$ ——车道B宽度；

该段时间内， $C_2$ 纵向以 $a_{2,accel}^{long}$ 的加速度超过 $C_1$ ，如果 $t_c$ 时刻两车距离小于或等于 $C_1$ 计算的纵向最小安全距离，就会触发测试车辆 $C_1$ 进入危险工况，从而触发适当响应。因此 $C_2$ 并线后可以触发危险工况的纵向加速度阈值 $a_{2,accel,thrd}^{long}$ 应满足：

$$v_2^{long}(t_0) * t_c + \frac{1}{2} a_{2,accel,thrd}^{long} * t_c^2 = v_1^{long}(t_0) * t_c + d_{min}(t_c)$$

其中：

$$d_{min}(t_c) = \left[ v_1^{long}(t_c) * \rho + \frac{a_{max,accel}^{long} \rho^2}{2} + \frac{(v_1^{long}(t_c) + \rho a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \frac{v_2^{long}(t_c)^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} \right] + \epsilon$$

因为 $C_1$ 匀速行驶， $C_2$ 以 $a_{2,accel,thrd}^{long}$ 加速行驶，故：

$$v_2^{long}(t_c) = v_2^{long}(t_0) + a_{2,accel,thrd}^{long} * t_c$$

$$v_1^{long}(t_c) = v_1^{long}(t_0)$$

$$\begin{aligned} & \frac{t_c^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} * a_{2,accel,thrd}^{long} + \left( \frac{t_c^2}{2} + \frac{v_1^{long}(t_0) * t_c}{a_{max,brake,ref}^{long}} \right) * a_{2,accel,thrd}^{long} + \frac{v_1^{long}(t_0)^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} - v_1 \rho - \frac{a_{max,accel}^{long} * \rho^2}{2} \\ & - \frac{(v_1^{long}(t_0) + \rho * a_{max,accel}^{long})^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \epsilon = 0 \end{aligned}$$

因此：

$$a_{2,accel,thrd}^{long} = \frac{\sqrt{B^2 - 4AC} - B}{2A} m/s^2$$

其中：

$$A = \frac{t_c^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} = \frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{2a_{2,accel}^{lateral} * a_{max,brake,ref}^{long}}$$

$$B = \frac{t_c^2}{2} + \frac{v_1^{long}(t_0) * t_c}{a_{max,brake,ref}^{long}} = \frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{2a_{2,accel}^{lateral}} + \frac{v_1^{long}(t_0) * \sqrt{\frac{w_{lane1} + w_{lane2}}{a_{2,accel}^{lateral}}}}{a_{max,brake,ref}^{long}}$$

$$C = \frac{v_1^{long}(t_0)^2}{2a_{max,brake,ref}^{long}} - v_1^{long}(t_0)\rho - \frac{a_{max,accel}^{long} * \rho^2}{2} - \frac{\left(v_1^{long}(t_0) + \rho * a_{max,accel}^{long}\right)^2}{2a_{min,brake}^{long}} - \varepsilon$$

### A.3 仿真参数格式定义

使用表达式对参数赋值范围及赋值方式进行描述。

示例 1:

参数V的赋值范围为1.0km/h-12.0km/h，步长选取为2.0km/h，应采用V=[1.0: 12.0: 2.0] km/h表达式进行描述；

示例 2:

参数V的赋值为赋值范围内的任意值时，应采用V=[1.0:12.0] km/h表达式进行描述；

示例 3:

参数V的赋值方式非均匀分布，如取值为1.0km/h、5.0km/h和12.0km/h三个值的任意值，应采用V={1.0, 5.0, 12.0} km/h表达式进行描述。

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

标准

**自动驾驶决策的安全保障技术要求**

T/ITS 0150-2021

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 12 月第一版 2021 年 12 月第一次印刷