

# 团体标准

T/CI 275-2024

## 自动驾驶车辆驾驶员接管能力评价 标准

Evaluation standard of driver's take-over ability for autonomous vehicles

2024-01-18 发布

2024-01-18 实施

中国国际科技促进会 发布

# 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这些专利的责任。

本文件由合肥工业大学提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：合肥工业大学、武汉理工大学、东南大学、清华大学、安徽江淮汽车集团股份有限公司、安徽建筑大学、重庆交通大学、同济大学、兰州交通大学、北京车网科技发展有限公司、国科联盟（北京）国际信息科学研究院。

本文件主要起草人：冯忠祥、吕能超、马永锋、袁泉、张雷、高雅、刘静、郭延永、程泽阳、郑玉冰、徐进、陈丰、马昌喜、黄志鹏、朱殿臣、李梦凡、李靖宇、曾嘉宾、岳全胜、张秀伟、高景伯、于士超、赵芳萱。

本文件为首次发布。

# 自动驾驶车辆驾驶员接管能力评价标准

## 1 范围

本文件规定了自动驾驶车辆驾驶员接管能力检测设备、检测场景、检测方法、评价指标与方法。

本文件适用于自动驾驶车辆驾驶员接管计划内事件接管能力的评价与提升。

## 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。

GB/T 40429 汽车驾驶自动化分级

JT/T 378 汽车驾驶培训模拟器

YY/T 1635 多道生理记录仪

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**自动驾驶车辆** autonomous vehicles

是一种依靠人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统协同合作，通过电脑系统实现无人驾驶的智能汽车。

### 3.2

**人机共驾阶段** human-machine codriving phase

在不能保证完全自动驾驶的场景下，驾驶车辆的任务由自然驾驶员与自动驾驶系统共同承担，驾驶员和自动驾驶系统共同享有车辆操纵权的阶段。

### 3.3

#### 接管 take-over

自动驾驶车辆人机共驾阶段从自动驾驶模式转换到手动驾驶模式时驾驶员的操作。

### 3.4

#### 接管能力 take-over ability

驾驶员执行接管操作过程中，在眼动特性、生理特性、车辆操纵特性和接管行为特性方面的综合表现情况。

## 4 接管能力检测设备

### 4.1 驾驶模拟器

#### 4.1.1 驾驶模拟器应满足如下要求：

- 1) 应符合 JT/T 378 的规定。
- 2) 应由控制软件和硬件两部分组成，用于驾驶员车辆操纵指标数据的采集与分析。
- 3) 应具备道路线形设计、道路环境构建、道路场景模拟、车辆运行参数的采集与分析功能。
- 4) 应具备自动驾驶模块，用于驾驶员切换自动驾驶模式、接管车辆控制权。
- 5) 方向盘、加速踏板、制动踏板等均应符合真实道路场景，同时左右后视镜和仪表盘也能实时显示周围驾驶环境情况及车辆速度信息。

#### 4.1.2 测试方法

驾驶员在驾驶模拟器上进行练习驾驶，以熟悉驾驶模拟器的各项操作，包括加速、转向、制动等，同时在练习驾驶期间，驾驶员被告知如何在驾驶模拟器上进入或退出自动驾驶模式，并进行了自动驾驶模式的进入与退出练习。

练习驾驶结束后，如果驾驶员未出现晕眩等不适症状，则可进入实际驾驶。

### 4.2 眼动仪

#### 4.2.1 眼动仪应满足如下要求：

- (1) 应由眼镜、记录装置和控制软件三部分组成，用于驾驶员眼动特性指标数据的采集与分析。
- (2) 应具备瞳孔直径、扫视频率、注视点、注视时间等眼动数据采集与分析功能。
- (3) 轻便且易于操作，可实时采集和捕捉佩戴者视角下的场景画面及佩戴者的眼睛注视点位置。

#### 4.2.2 测试方法

- (1) 驾驶员在实际驾驶前进行眼动仪佩戴并开启。
- (2) 双眼平视校准器，进行仪器校准。
- (3) 接管能力检测实验结束，关闭眼动仪并保存数据。

#### 4.3 生理记录仪

##### 4.3.1 生理记录仪应满足如下要求：

- (1) 应符合 YY/T 1635 的规定。
- (2) 应由主机和软件两部分组成，用于驾驶员生理特性指标数据的采集与分析。
- (3) 应具备脑电、心电、肌电等多种电生理信号的采集与分析功能。

##### 4.3.2 测试方法

- (1) 驾驶员在实际驾驶前进行生理记录仪佩戴并开启。
- (2) 观察数据分析软件，进行仪器校准。
- (3) 接管能力检测实验结束，关闭生理记录仪并保存数据。

#### 4.4 行车记录仪

##### 4.4.1 行车记录仪应满足如下要求：

- (1) 应由广角主摄像头和辅助摄像头两部分组成，用于驾驶员接管行为指标数据的采集与分析。
- (2) 应具备实时查看功能。

##### 4.4.2 测试方法

- (1) 将主摄像头安装在驾驶座位右侧，记录驾驶员接管时的手部动作情况，将辅助摄像头安装在驾驶座位左侧，记录驾驶员接管时的脚部动作情况。
- (2) 驾驶员在实际驾驶前开启。
- (3) 实时观察仪器记录情况。
- (4) 接管能力检测实验结束，关闭行车记录仪并保存数据。

### 5 接管能力检测场景

接管能力检测场景应为虚拟的驾驶模拟器场景。场景布置一般要求如下：

- (1) 自然环境：晴天，白天，能见度 500m 以上，路面干燥。
- (2) 道路：高速公路，全长大于 15km，限速 120km/h，如图 1 所示。

(3) 交通流：交通流量适中，交通量宜  $3600 \text{ pcu/h} \sim 5000 \text{ pcu/h}$ ，行车速度宜  $80 \text{ km/h} \sim 120 \text{ km/h}$ ，车流密度宜  $300 \text{ pcu/km} \sim 450 \text{ pcu/km}$ 。

(4) 速度：自动驾驶巡航速度设定为  $100 \text{ km/h}$ 。

(5) 接管时间提前量： $5 \text{ s} \sim 10 \text{ s}$ 。

(6) 接管事件：模拟不同的接管事件，包括但不限于前方道路施工、车辆系统故障、前方有障碍物、前方车道线消失、前方车辆切入。

(7) 非驾驶相关任务：在自动驾驶期间，驾驶员被要求闭上双眼，手和脚不放在方向盘、踏板上，保持放松状态，并需要回答实验人员提问的计算题。

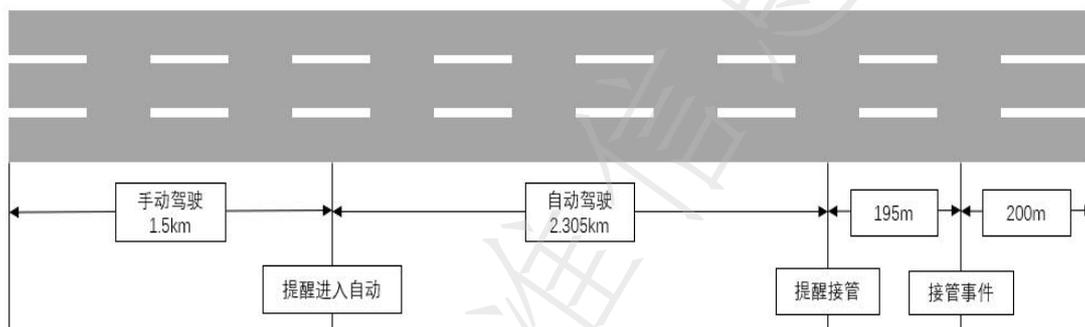


图1 检测场景道路

## 6 接管能力检测方法

该检测方法可用于检测驾驶员接管培训前后的接管能力，进而进行评价与分析。

### 6.1 检测前练习驾驶阶段

驾驶员在正式检测前，应在驾驶模拟器上开展不少于  $5 \text{ min}$  的练习驾驶，以熟悉驾驶模拟器的各项操作，包括加速、转向、制动等，同时进行自动驾驶模式的进入与退出练习。

### 6.2 检测准备阶段

练习驾驶结束后，驾驶员进行眼动仪和生理记录仪的佩戴与校准，并熟悉检测要求和检测步骤。

### 6.3 正式检测阶段

准备工作结束后，工作人员同时开启驾驶模拟器、眼动仪、生理记录仪和行车记录仪，开始正式检测。驾驶员经历接管事件后，场景结束，由工作人员同时关闭驾驶模拟器、眼动仪、生理记录仪和行车记录仪。

## 7 接管能力评价指标与方法

### 7.1 评价指标

#### 7.1.1 眼动特性指标

7.1.1.1 注视时间百分比：指驾驶员在接管事件过程中在某个兴趣区域内的注视时间与接管事件过程总的注视时间的比值。该指标能直接地反映驾驶员在接管事件过程中，将其有限的注意资源分配到哪些区域上面。

7.1.1.2 平均注视时间：指驾驶员在接管事件过程中对某个兴趣区域的注视时间与注视次数的比值。该指标能够衡量驾驶员在接管事件过程中对某一区域的注意力保持情况。

#### 7.1.2 生理特性指标

7.1.2.1 RR 间期：指驾驶员在接管事件过程中，心电图上两个 R 波之间的时限。RR 间期越小，说明心跳越快，驾驶员越紧张。

7.1.2.2 心率：指驾驶员在接管事件过程中平均每分钟心脏跳动的次数。心率越高，说明驾驶员越紧张。

#### 7.1.3 车辆操纵指标

7.1.3.1 平均制动踏板力：指驾驶员在接管事件过程中对制动踏板施加力的平均值。制动踏板力越小，说明驾驶员的接管表现越优。

7.1.3.2 平均车道偏移量：指驾驶员在接管事件过程中车辆中心与车道中心之间距离的平均值。车道偏移量越小，说明驾驶员的接管表现越优。

#### 7.1.4 接管行为指标

7.1.4.1 第一次注视道路时间：指接管请求出现到驾驶员第一次注视道路环境的时间。第一次注视道路时间越短，说明驾驶员的接管表现越优。

7.1.4.2 接管动作完成时间：指接管请求出现到驾驶员完成接管步骤按下退出自动驾驶按钮（退出自动驾驶模式）的时间。接管动作完成时间越短，说明驾驶员的接管表现越优。

### 7.2 评价方法

#### 7.2.1 综合评价

根据驾驶员的眼动特性、生理特性、车辆操纵和接管行为指标对驾驶员的接管能力进行综合评价。

#### 7.2.2 评价方法

(1) 构建初始决策矩阵  $A$ ：

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $a_{ij}$  为第  $i$  名参与者中的第  $j$  个指标,  $m$  为待评价参与者数量,  $n$  为评价指标数量, 本标准中  $n$  为 8。

(2) 决策矩阵的归一化, 得到归一化决策矩阵  $A'$ :

$$A' = (a'_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a'_{11} & \cdots & a'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a'_{m1} & \cdots & a'_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$a'_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij} - (a_{ij})_{\min}^j}{(a_{ij})_{\max}^j - (a_{ij})_{\min}^j} & \text{(正向指标)} \\ \frac{(a_{ij})_{\max}^j - a_{ij}}{(a_{ij})_{\max}^j - (a_{ij})_{\min}^j} & \text{(负向指标)} \end{cases} \quad (3)$$

其中  $a'_{ij}$  为标准化处理后的指标值。

(3) 计算各指标信息熵:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (4)$$

$$p_{ij} = a'_{ij} / \sum_{i=1}^m a'_{ij} \quad (5)$$

其中,  $e_j$  是每个因素的信息熵。

(4) 确定各指标权重:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{i=1}^n (1 - e_j) \quad (6)$$

其中,  $w_j$  是每个因素的权重。

(5) 构建加权评价矩阵  $Z$ :

$$Z = (z_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & \cdots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$z_{ij} = w_j \times a'_{ij} \quad (8)$$

(6) 计算正理想解 ( $z_j^+$ ) 和负理想解 ( $z_j^-$ ):

$$z_j^+ = \max(z_{ij}) \quad (9)$$

$$z_j^- = \min(z_{ij}) \quad (10)$$

(7) 计算最优距离 ( $d_i^+$ ) 和最劣距离 ( $d_i^-$ ):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2} \quad (11)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (12)$$

(8) 计算接近度, 即综合评价价值 ( $C_i$ ):

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (13)$$

计算出第  $i$  名驾驶员的接管能力综合评价数值  $C_i$ ， $C_i$  越接近于 1，说明该驾驶员的接管能力越强。

### 7.3 评价指标限值

综合评价指标限值见表 1。

表 1 综合评价指标限值

级别	A	B	C	D
上限	1.00	0.85	0.70	0.60
下限	>0.85	>0.70	>0.60	0

### 7.4 评价结果

- (1) 级别为 A，驾驶员的接管能力好。
- (2) 级别为 B，驾驶员的接管能力较好。
- (3) 级别为 C，驾驶员的接管能力一般，有待提升。
- (4) 级别为 D，驾驶员的接管能力差，需要进一步提升。

## 8 接管能力培训

### 8.1 接管培训对象

接管培训对象应为接管能力在级别 C 及以下等级的自动驾驶车辆驾驶员。

### 8.2 接管培训内容

#### 8.2.1 背景知识

- (1) 汽车驾驶自动化系统的分级和定义，参照 GB/T 40429。
- (2) 人机共驾阶段、自动驾驶车辆接管的定义以及该阶段对驾驶员所提出的要求。
- (3) 接管能力提升的必要性。

#### 8.2.2 接管步骤指导

(1) 接管步骤一：观察道路环境，对驾驶环境形成初步认知。当驾驶员接收到接管请求时，应该首先将视线回归到道路正前方，左右环视，观察驾驶环境状况，对驾驶环境形成初步的了解，如图 2 所示。

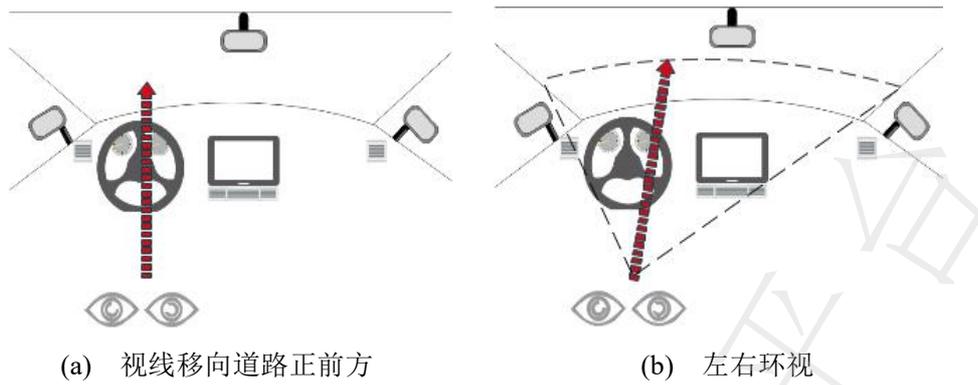


图2 接管步骤一

(2) 接管步骤二：提前做好控制车辆的准备。当驾驶员接收到接管请求时，应该首先将右脚放在制动踏板上，同时左手放在方向盘上（与接管步骤一可同步进行），提前做好控制车辆的准备，如图3所示。

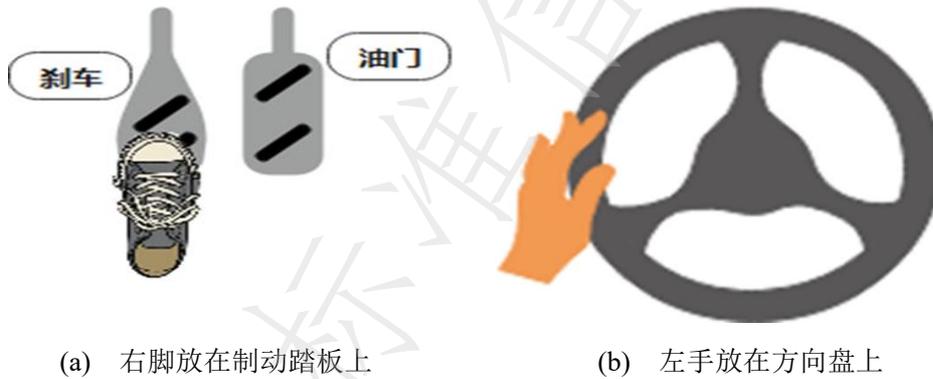


图3 接管步骤二

(3) 接管步骤三：退出自动化系统。当驾驶员对驾驶环境形成初步的认知，并做好车辆控制准备后，驾驶员应该将视线移向自动驾驶开关处（本标准驾驶模拟器的自动驾驶开关位于方向盘右侧），随后右手按下自动驾驶开关，退出自动化系统，如图4所示。

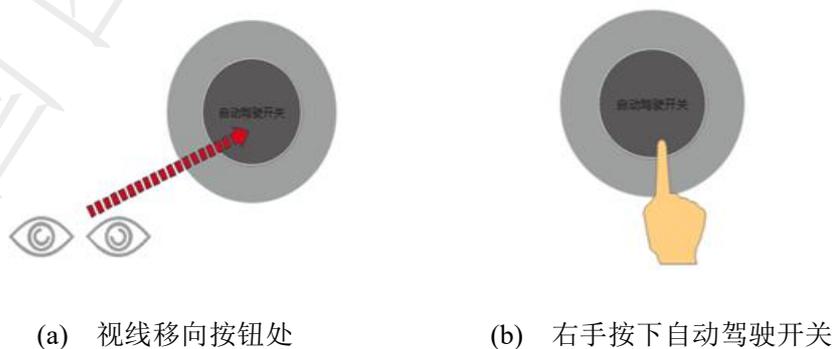


图4 接管步骤三

(4) 接管步骤四：接管完成，进行车辆操纵。退出自动化系统后，驾驶员应将视线移回道路正前方，左右环视，并观察左右后视镜，进一步掌握驾驶环境，同时将右手放回方向盘，充分做好下一步减速等车辆操纵的准备，如图 5 所示。

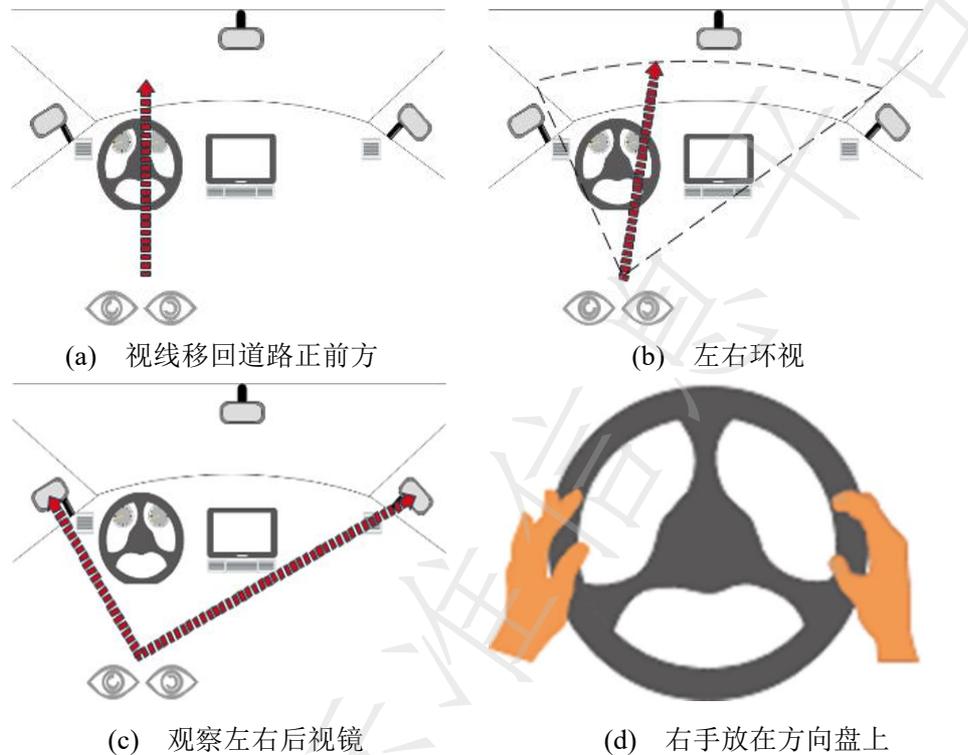


图 5 接管步骤四

### 8.3 接管练习

#### 8.3.1 接管练习方式

对驾驶员开展不同道路接管场景的接管练习，并记录驾驶全过程驾驶员的接管能力评价指标数据。具体接管练习方式如下：

- (1) 驾驶员接受接管培训，了解并掌握规范的接管操作动作，并进行第一次接管练习。
- (2) 驾驶员在第一次接管练习完成后，基于第一次接管练习的接管操作动作反馈及交互式接管培训指导，驾驶员进行第二次接管练习。
- (3) 第二次及以后的驾驶员接管练习应基于前一次接管练习的接管操作动作反馈及交互式接管培训指导进行，通过反复接管培训及多次接管练习，驾驶员逐渐掌握接管操作动作要领，直至接管能力趋于稳定。

#### 8.3.2 接管练习次数

驾驶员的接管练习次数应由接管能力综合评价结果决定，接管能力评价结果应达到级别 B 及以上，接管练习结束。

全国团体标准信息平台