

团体标准

T/ITS 0222-2023

道路车辆抬头显示系统技术要求和测试方法

Road vehicles head up display systems performance requirements and testing methods

2023-12-26 发布

2023-12-26 实施

中国智能交通产业联盟 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 技术要求 3

5 测试方法 7

附录 A（资料性） 测试设备技术要求参考 19

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。

本文件主要起草单位：交通运输部公路科学研究所、清华大学、重庆渝微电子技术研究院有限公司、北京汽车研究总院有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、北京华为云计算技术有限公司、东风商用车有限公司、浙江大华技术股份有限公司、中国信息通信科技集团有限公司、腾讯云计算（北京）有限责任公司、深圳拜波赫技术有限公司。

本文件起草人：汪旗航、周炜、董轩、刘璐、耿心、王建强、袁泉、漆奇、王丽丽、苑春霞、王有为、贾红、唐秋阳、李博、夏海英、李阳、樊景帅、吴琳琦、杨天、房家奕、张宇、王恩子、王昊、任治辉。

本标准由交通运输部公路科学研究所负责解释。

本标准首次发布。

道路车辆抬头显示系统技术要求和测试方法

1 范围

本文件规定了道路车辆使用的抬头显示系统的技术要求及测试方法。

本文件适用于安装在道路车辆上的风挡式抬头显示系统和增强现实式抬头显示系统（以下简称HUD系统）。

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 4094-2016 汽车操纵件、指示器及信号装置

GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法

GB/T 28046.4-2011 电气及电子设备的环境条件和试验气候负荷测试

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

成像介质 imaging medium

用于辅助抬头显示系统显示虚像画面的光学介质，比如风挡式抬头显示系统和增强现实式抬头显示系统所用成像介质为前挡风玻璃。

3.1.2

光机 light engine

抬头显示系统的图像来源装置，其光学输出经成像介质可呈现清晰虚像。

3.1.3

抬头显示系统 head-up display system

用于向驾驶员前方视野范围内投影车辆有关信息虚像的车载影像系统，包含成像介质与光机。

3.1.4

虚像 virtual image

抬头显示器光机显示的影像经成像介质投影后形成的可以被驾驶员直接看到的图像，此图像无法被光屏承接。

3.1.5

风挡式抬头显示系统 windshield head-up display system

成像介质为前挡风玻璃且未自带成像介质的抬头显示系统，该系统不具备增强显示功能。

3.1.6

增强现实式抬头显示系统 augmented reality head-up display system

成像介质为前挡风玻璃且未自带成像介质的抬头显示系统，其采用增强现实技术，使驾驶员看到的画面是虚像信息与实际环境相叠加的图像。

3.1.7

眼盒 eyebox

驾驶员眼睛对应虚像有效孔径立体角的并集，规定了能观察到完整虚像显示信息的人眼最大移动范围，一般包括水平参数和垂直参数。

3.1.8

眼点 eye point

驾驶员两眼之间的中心点。

3.1.9

三维基准坐标系 three-dimensional reference grid

车辆制造商在最初设计阶段确定的由三个正交的基准平面组成的坐标系统。如图1所示，这三个基准平面是：

X基准平面——垂直于Y基准平面的铅垂平面通常规定通过左右前轮中心；

Y基准平面——汽车纵向对称平面；

Z基准平面——垂直于Y和X基准平面的水平面。

三维坐标系用来确定图样上设计点的位置和实车上这些点位置之间的尺寸关系。

[来源：GB 11562-2014, 3.2]

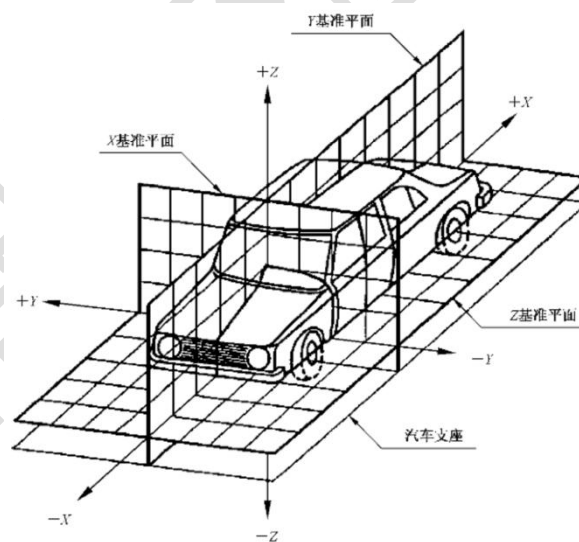


图1 三维基准坐标系

3.1.10

参考平面 reference plane

平移三维基准坐标系的坐标原点到虚像中心点得到新坐标系 $X' Y' Z'$ ，绕坐标轴 Y' 和坐标轴 Z' 旋转后使得 $Y' O' Z'$ 平面与设计虚像成像面重合，得到新的参考坐标系 $X'' Y'' Z''$ ，即HUD的参考平面。

3.1.11

虚像畸变 virtual image distortion

成像过程中所产生的虚像的几何位置相对于参考平面发生的挤压、伸展、偏移和扭曲等变形，使虚像的几何位置、尺寸、形状、方位等发生改变。

3.1.12

视场角 field of view

驾驶员眼点与虚像边界线形成的夹角，水平面内驾驶员眼点与虚像纵向边界线的夹角为水平视场角，垂直面内驾驶员眼点与虚像水平边界线的夹角为垂直视场角。

3.1.13

虚像距离 virtual image distance

驾驶员眼点到虚像的距离。

3.1.14

虚像重影 virtual ghost image

因成像介质对光机发出的出射光进行多次反射而产生多个可见且位置偏差的虚像。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DUT: 受试装置 (Device Under Test)

VUT: 测试车辆 (Vehicle Under Test)

HUD: 抬头显示 (Head-up Display)

W-HUD: 一般风挡式抬头显示 (Windshield Head-up Display)

AR-HUD: 增强现实式抬头显示 (Augmented Reality Head-up Display)

FOV: 视场角 (Field of View)

HFOV: 水平视场角 (Horizontal Field of View)

VFOV: 垂直视场角 (Vertical Field of View)

VID: 虚像距离 (Virtual Image Distance)

LLA: 左视角 (Look Left Angle)

LDA: 下视角 (Look Down Angle)

MTF: 调制传递函数 (Modulation Transfer Function)

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 系统开启与关闭

4.1.1.1 HUD系统可手动关闭与开启。

4.1.1.2 车辆行驶状态下，驾驶员关闭HUD系统的操作步骤不能多于两个连续动作，单击、双击、滑动等操作视为一个动作。

4.1.1.3 车辆上电后，HUD系统开启至显示常态信息的时间应不大于10s；车辆行驶状态下，HUD系统开启至显示常态信息的时间应不大于6s。

4.1.1.4 车辆行驶状态下，HUD系统关闭时间应不大于3s。

4.1.2 系统自检及故障报警

4.1.2.1 车辆上电后，HUD系统应进行自检，若出现故障，应采用声学或光学方式进行提示。

4.1.2.2 车辆行驶过程中，HUD系统应持续进行故障监测，若出现故障，应采用声学或光学方式进行提示。

4.1.3 过温保护

HUD系统应当具有过温保护功能，且满足以下要求：

- a) 当 $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{环境温度} \leq 55^{\circ}\text{C}$ ，HUD系统应能保持在最大亮度稳定工作；
- b) 当 $55^{\circ}\text{C} < \text{环境温度} \leq 85^{\circ}\text{C}$ 时，HUD系统应能自适应调节最大亮度并正常工作；
- c) 当环境温度 $> 85^{\circ}\text{C}$ 时，HUD系统应采用声学或光学方式提示驾驶员是否关闭HUD系统。

4.1.4 耐阳光倒灌及提醒

HUD系统应具有耐阳光倒灌及提醒功能，发生阳光倒灌情况时，HUD系统不应出现明显的图像缺失及黑屏等问题影响虚像画面显示，同时应通过光学或声学方式对驾驶员提示；恢复正常后，系统显示功能应正常。

4.1.5 系统噪音

HUD系统开启和关闭过程中，噪音应小于40dB。

4.2 功能要求

4.2.1 系统显示

4.2.1.1 显示要求

按照5.3.1.1进行测试，车辆在行驶过程中，HUD系统应能持续运行并显示流畅、清晰的画面。

4.2.1.2 显示尺寸

按照5.3.1.2进行测试，HUD系统虚像常态信息显示尺寸应如下表1所示。

表1 虚像常态信息显示尺寸

常态信息	HF $\text{FOV} \times \text{VFOV}$
单一中文字符	$\geq 16' \times 16'$
单一数字信息	$\geq 30' \times 20'$
单一图标	$\geq 19' \times 19'$

4.2.1.3 显示位置及范围

按照5.3.1.3进行测试, HUD系统虚像常态信息显示水平显示范围, 应以通过虚像采集基准位置且平行于车辆纵向垂直基准面的纵向垂直平面为界, 左右侧均不大于 5.5° 。

4.2.1.4 显示颜色

按照5.3.1.4进行测试, HUD系统各类信息显示的颜色应满足GB 4094-2016中4.2.2的相关要求:

- a) 红色: 危及人身安全的, 或易对设备、系统造成严重损害的, 紧急的或紧迫的;
- b) 黄色或琥珀色: 需要引起注意的, 非正常的操作限制, 汽车系统故障, 可能导致汽车损害, 或其他将来可能导致危险的情况;
- c) 绿色或其他颜色: 安全的, 正常的操作方式或工作状态。

4.2.1.5 增强显示贴合度

按照5.3.1.5进行测试, AR-HUD系统增强显示信息与对应实景贴合偏差应小于 $6'$ 。

4.2.2 虚像亮度调节

按照5.3.2进行测试, W-HUD、AR-HUD系统应可自动随外部光环境照度变化且手动调节虚像亮度。

4.2.3 眼盒高度调节

按照5.3.3进行测试, W-HUD、AR-HUD系统应具有眼盒高度调节功能。

4.3 性能要求

4.3.1 下视角

按照5.4.1进行测试, HUD系统的下视角应满足表2的要求。

表2 下视角

W-HUD	AR-HUD
$1^{\circ} \sim 5^{\circ}$	$1^{\circ} \sim 4^{\circ}$

4.3.2 左视角

按照5.4.2进行测试, HUD系统的左视角应在 $-0.5^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$ 范围内, 左视角宜为 0° 。

4.3.3 虚像距离

按照5.4.3进行测试, HUD系统的虚像距离应满足表3的要求。

表 3 虚像距离

W-HUD	AR-HUD
$\geq 2\text{m}$	$\geq 7\text{m}$

4.3.4 视场角

按照5.4.4进行测试，系统的视场角应满足表4的要求。

表 4 视场角

参数名称	W-HUD	AR-HUD
HFOV	$\geq 5^\circ$	$\geq 10^\circ$
VFOV	$\geq 2^\circ$	$\geq 3^\circ$

4.3.5 亮度

按照5.4.5进行测试，HUD系统虚像白场亮度应满足表5的要求。

表 5 最高亮度

参数名称	W-HUD	AR-HUD
最高亮度	$\geq 10000\text{cd/m}^2$	$\geq 12000\text{cd/m}^2$

4.3.6 亮度均匀度

按照5.4.6进行测试，系统的亮度均匀度应不小于70%。

4.3.7 对比度

按照5.4.7进行测试，HUD系统虚像白场对比度应不小于1000:1。

4.3.8 色域覆盖率

按照5.4.8进行测试，HUD系统虚像NTSC色域覆盖率应不小于80%。

4.3.9 眼盒尺寸

按照5.4.9进行测试，HUD系统眼盒尺寸应满足以下要求：

a) 若HUD系统具备眼盒调节功能，眼盒水平尺寸应不小于130mm，垂直尺寸应不小于70mm，眼盒高度调节范围应不小于 $\pm 30\text{mm}$ 。

b) 若HUD系统不具备眼盒调节功能，眼盒水平尺寸应不小于130mm，垂直尺寸应不小于130mm。

4.3.10 虚像重影

按照5.4.10进行测试，HUD系统的虚像重影最大值应不大于3'。

4.3.11 杂散光

按照5.4.11进行测试，HUD系统的杂散光亮度值应不大于3000cd/m²。

4.3.12 双目视差

按照5.4.12进行测试，HUD系统的双目视差水平均值应不大于10'，双目视差垂直均值应不大于5'。

4.3.13 虚像畸变

按照5.4.13进行测试，HUD系统的虚像畸变率应不大于5%。

4.3.14 MTF

按照5.4.14进行测试，HUD系统虚像水平与垂直MTF值应不小于0.3。

5 测试方法

5.1 测试条件

5.1.1 环境条件

测试环境条件应符合表6的要求。

表 6 测试环境条件

温度	相对湿度	气压
23℃±5℃	25%~75%	86kPa~106kPa

5.1.2 虚像采集基准位置

虚像采集基准位置及R点相对位置应符合表7的规定。

表 7 虚像采集基准位置定义

车辆坐标系方向	X方向	Y方向	Z方向
相对距离	68mm	-5mm	627mm

5.1.3 虚像采集基准姿态

虚像采集设备的基准姿态应符合以下规定：

- 虚像采集设备光学成像点应位于虚像采集基准位置，其中X、Y、Z单方向误差应不大于5mm；
- 虚像采集设备焦距调整至系统虚像在设备视野中清晰成像；
- 虚像采集设备倾角调整至系统虚像在设备成像视野中央。

5.1.4 光照条件

5.1.4.1 夜间条件

测试光应从车辆上方均匀向下照射，光照覆盖地面，地面处光照度应不大于10lx，色温为（6500±325）K。

5.1.4.2 黄昏条件

测试光应从车辆上方均匀向下照射，光照覆盖地面，地面处光照度应为（1000±100）lx，色温为（6500±325）K。

5.1.4.3 日间条件

测试光应从车辆上方均匀向下照射，光照覆盖地面，地面处光照度应为（10000±1000）lx，色温为（6500±325）K。

5.1.4.4 阳光直射条件

测试光为均匀照射的光，虚像背景处光照度应为（100000±10000）lx，色温为（6500±325）K。

5.1.4.5 暗室条件

暗室内光照度应不大于0.5lx。

5.1.5 车辆条件

应在以下车辆条件下进行：

- VUT质量为车辆整备质量加驾驶员和一个前排乘客的质量（各75kg）；
- VUT所用轮胎气压应为车辆制造商推荐的冷胎充气压力。

- c) 如果VUT配备了可调式悬架,则将其设置为车辆制造商默认设置进行测试。

5.2 一般要求

5.2.1 系统开启与关闭

测试步骤如下:

- a) 测试人员开启VUT后,将VUT处于闭锁状态,并确保所有电子系统处于停用状态;
- b) 测试人员解锁VUT,该时间点记为 t_0 ,测试人员进入车内,系上安全带,VUT启动后,该时间点记为 t_1 , t_0 至 t_1 应控制在12s~15s内;
- c) 将HUD系统输出常态显示信息的时间点记为 t_2 ,HUD系统启动时间为 t_2 与 t_1 的差值;
- d) 测试人员主动关闭HUD系统,主动关闭HUD系统的最后一个步骤的操作时间点记为 t_3 ,HUD系统所有显示信息完全消失的时间记为 t_4 ,系统关闭的时间为 t_4 与 t_3 的差值;
- e) 关闭VUT系统后,将VUT处于闭锁状态,并确保所有电子系统均已停用;
- f) 测试人员开启VUT系统后,解锁VUT,进入车内,系上安全带,启动VUT并关闭HUD系统后,连续行驶10s以上;
- g) 开启HUD系统,该时间点记为 t_5 ;
- h) 将系统输出常态显示信息的时间点记为 t_6 ,车辆行驶过程中的HUD系统启动时间为 t_6 与 t_5 的差值。

5.2.2 系统自检及故障报警

测试步骤如下:

- a) 开启VUT系统后,将VUT处于闭锁状态,并确保所有电子系统均已停用;
- b) VUT上电后,检查HUD系统自检提示状态;
- c) VUT行驶过程中,检查HUD系统故障提示状态。

5.2.3 过温保护

测试步骤如下:

- a) DUT以-40℃和正常电气连接、所有功能正常运行工作模式,按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.2.2的方法进行测试,测试持续5h,在测试最后1h内进行不少于5次的亮度测试并进行功能检查;
- b) DUT分别以55℃、85℃和正常电气连接、所有功能正常运行工作模式,按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.2.2的方法进行试验,测试持续5h,在测试最后1h内进行不少于5次的亮度测试并进行功能检查;
- c) DUT以90℃和正常电气连接、所有功能正常运行工作模式,按照GB/T 28046.4-2011中5.1.1.2.2的方法进行测试,测试持续5h,在测试最后1h内进行功能检查。

5.2.4 耐阳光倒灌及提醒

测试步骤如下：

- a) 将DUT以正常电气连接、所有功能正常运行、输出最大亮度显示白线矩阵画面的状态，置于 $45^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、30%R. H. 条件下持续1h；
- b) 将太阳光模拟光源对DUT的出光角度设置成DUT聚焦角度，并调节光源辐射强度为 $830\text{W}/\text{m}^2$ ，持续15min，其中模拟光源的光谱应符合地表太阳光谱分布AM1.5G，且发散角度不大于 0.5° ，太阳光斑要覆盖HUD系统的整个通光孔径；
- c) 测试过程中观察DUT显示画面及检查DUT提示状态，测试结束2h后检查DUT外观及功能状态。

5.2.5 系统噪音

测试方法：DUT以正常电气连接的工作模式，在背景噪音不大于25dB的环境条件下，距离抬头显示器光机上表面中心点80cm处（前、后、左、右、上），测量DUT开启与关闭时的噪音峰值。

5.3 功能要求

5.3.1 系统显示

5.3.1.1 显示要求

测试方法：测试人员启动VUT，在行车过程中目测HUD系统显示的画面是否流畅、清晰。

5.3.1.2 显示尺寸

测试步骤如下：

- a) 开启VUT，并将HUD系统眼盒高度调整至正常位置；
- b) 虚像采集设备以虚像采集基准姿态，测量自虚像采集基准位置至虚像的实际观测距离 a_{eye} ；
- c) 采集并记录虚像；
- d) 按式（1）计算虚像中常态显示信息的单向角分 θ ：

$$\theta = 60 \sin^{-1} \left(\frac{d}{a_{\text{eye}}} \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

d ——常态显示信息的单向线性尺寸（单位：mm）。

5.3.1.3 显示位置及范围

测试步骤如下：

- a) 开启VUT，并将HUD系统眼盒高度调整至默认位置；
- b) 虚像采集设备以虚像采集基准姿态，测量自虚像采集基准位置至虚像的实际观测距离 a_{eye} ；
- c) 采集并记录虚像；

d) 按式(2)计算虚像中常态显示信息单侧显示范围 α :

$$\alpha = 60 \sin^{-1} \left(\frac{h}{a_{\text{eye}}} \right) \quad (2)$$

式中:

h ——常态显示信息的单侧水平显示范围线性尺寸(单位: mm)。

5.3.1.4 显示颜色

测试步骤如下:

- a) 虚像采集设备以虚像采集基准姿态, 采集并记录虚像;
- b) 测量单一常态显示信息的色坐标(u' , v')。

5.3.1.5 增强显示贴合度

测试步骤如下:

将仿生机器人云台支架安装在驾驶员的位置, 使用车辆定位系统对整车进行四轮定位, 确保投影光轴一致, 调节相机的位置, 然后调节环境光源系统和太阳光模拟系统, 进行对应测试; 播放测试场景, 给予车辆一定的速度, 同时, 采集不同场景下AR-HUD虚拟图像和真实场景的图像, 进行贴合度的计算。贴合度包括道路的虚拟图像和真实道路、虚拟人和标牌的图像与真实人和标牌、虚拟车辆图像与真实车辆。贴合度按照公式(3)进行计算, 且应满足4.2.1.5的要求。

$$\beta = 60 \sin^{-1} \left(\frac{m}{a_{\text{eye}}} \right) \quad (3)$$

式中:

m ——系统增强显示信息与对应实景贴合偏差线性尺寸(单位: mm);

a_e ——系统增强显示信息虚像距离(单位: mm)。

5.3.2 虚像亮度调节

测试人员开启VUT, 通过目测检查HUD系统在不同环境光场景下的虚像亮度。如HUD系统支持手动调节, 手动调节人为操作与虚像显示亮度变化应一致。

5.3.3 眼盒高度调节

测试人员开启VUT并激活HUD系统的眼盒高度手动调节功能后, 目视检查HUD系统虚像变化。如系统支持自动调节, 应由不少于4名测试人员调节驾驶位座椅至对应驾驶员正常驾驶坐姿位置后, 目视检查HUD系统虚像变化。

5.4 性能要求测试

5.4.1 下视角

测试步骤如下：

- a) DUT设置为正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像中心点标志测试画面的工作模式；
- b) 暗室条件下，虚像采集设备光学成像点位于眼椭圆中心位置，X、Y、Z单方向误差应不大于1mm；
- c) 虚像采集设备镜头光轴呈水平姿态；
- d) 虚像采集设备焦距调整至系统虚像在设备视野中清晰成像；
- e) 以 0.1° 为调整步长逐步使虚像采集设备呈下视（俯角）姿态，直至DUT 虚像中心点标志与设备成像中心重合或处于同一水平线，记录此时的下视角为LDA。

5.4.2 左视角

测试步骤如下：

- a) 重复5.4.1中的a)至d)的测试步骤；
- b) 以 0.1° 为调整步长逐步使虚像采集设备呈左视（偏转角）姿态，直至DUT虚像中心点标志与设备成像中心重合或处于同一垂直线，记录此时的下视角为LLA。

5.4.3 虚像距离

测试步骤如下：

- a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像中心点标志画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；
- b) 暗室条件下，虚像采集设备分别左移和右移32.5mm后采集并记录虚像；
- c) 按式（4）计算虚像距离 V_{id} ：

$$V_{id} = \frac{f \cdot B}{x_l - x_r} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

V_{id} ——虚像距离；

f ——虚像采集设备成像点至虚像中心点距离（单位：mm）；

B ——65mm，驾驶员双眼间距；

x_l ——虚像采集设备基于虚像采集基准姿态左移32.5mm后，系统虚像中心点标志在虚像采集设备成像面上的水平位置值（单位：mm）；

x_r ——虚像采集设备基于虚像采集基准姿态右移32.5mm后，系统虚像中心点标志在虚像采集设备成像面上的水平位置值（单位：mm）。

5.4.4 视场角

测试步骤如下：

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像边界方框测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；

b) 暗室条件下，采集并记录虚像；

c) 按式（5）、（6）计算水平视场角HFOV和垂直视场角VFOV：

$$\text{HFOV} = 2 \times \tan^{-1} \frac{x}{2 \times V_{id}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{VFOV} = 2 \times \tan^{-1} \frac{y}{2 \times V_{id}} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

V_{id} ——虚像距离（单位：mm）；

x ——全虚像边界方框平均横向尺寸（单位：mm）；

y ——全虚像边界方框平均纵向尺寸（单位：mm）。

5.4.5 亮度

测试步骤如下：

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出最高亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全白测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；

b) 暗室条件下，采集并记录虚像；

c) 选取画面中不少于9个亮度的取样点并计算均值，作为系统虚像白场亮度。

5.4.6 亮度均匀性

测试步骤如下：

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出最高亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全白测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；

b) 暗室条件下，采集并记录虚像；

c) 选取画面中不少于9个亮度的取样点并按照式（7）计算亮度均匀性U：

$$U = \left(1 - \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中：

L_{\max} ——取样点亮度最大值；

L_{\min} ——取样点亮度最小值。

5.4.7 对比度

测试步骤如下：

- a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全白测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；
- b) 暗室条件下，采集并记录虚像；
- c) 选取画面中不少于9个亮度取样点并计算均值为 L_{white} ；
- d) 设置DUT显示全黑测试画面并重复步骤a)、b)；
- e) 选取画面中不少于9个亮度取样点并计算均值为 L_{black} ；
- f) 按式(8)计算对比度CR：

$$CR = \frac{L_{white}}{L_{black}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

5.4.8 色域覆盖率

试验步骤如下：

- a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出最高亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全红测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；
- b) 暗室条件下，采集并记录虚像；
- c) 测量虚像画面中心点色坐标为 (u'_r, v'_r) ；
- d) 以全绿人工影像测试画面重复步骤a)、b)，测量虚像画面中心点色坐标为 (u'_g, v'_g) ；
- e) 以全蓝人工影像测试画面重复步骤a)、b)，测量虚像画面中心点色坐标为 (u'_b, v'_b) ；
- f) 按式(9)计算三色色域面积S：

$$S = \frac{|(u'_r - u'_b)(v'_g - v'_b) - (u'_g - u'_b)(v'_r - v'_b)|}{2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

- g) 按式(10)计算NTSC色域覆盖率 G_p ：

$$G_p = \frac{S}{0.1582} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

5.4.9 眼盒尺寸

若HUD系统眼盒高度不可调节，其测试步骤如下：

- a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像边界方框测试画面的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；
- b) 暗室条件下，虚像采集设备左右分别水平移动至眼盒边缘，采集并记录虚像，左移动距离 x_{el} 、右移动距离 x_{er} 之和为眼盒水平尺寸 x_e ；

c) 暗室条件下, 虚像采集设备回归虚像采集基准姿态后, 上下分别垂直移动至眼盒边缘, 采集并记录虚像, 上移动距离 y_{ue} 、下移动距离 y_{el} 之和为眼盒垂直尺寸 y_e 。

若HUD系统眼盒高度可调节, 其测试步骤如下:

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像边界方框测试画面的工作模式, 与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态;

b) 暗室条件下, 将DUT眼盒高度调整至上极限, 虚像采集设备左右分别水平移动至眼盒边缘, 采集并记录虚像, 记左移动距离为 x_{uel} 、记右移动距离为 x_{uer} ;

c) 暗室条件下, 虚像采集设备回归虚像采集基准姿态后, 上下分别垂直移动至眼盒边缘, 采集并记录虚像, 记上移动距离为 y_{ueu} 、记下移动距离为 y_{uel} ;

d) 暗室条件下, 将DUT眼盒高度调整至下极限, 虚像采集设备左右分别水平移动至眼盒边缘, 采集并记录虚像, 记左移动距离为 x_{lel} 、记右移动距离为 x_{ler} ;

e) 暗室条件下, 虚像采集设备回归虚像采集基准姿态后, 上下分别垂直移动至眼盒边缘, 采集并记录虚像, 记上移动距离为 y_{leu} 、记下移动距离为 y_{lel} ;

f) 按式(11)计算眼盒水平尺寸 x_e :

$$x_e = \frac{x_{uel} + x_{uer} + x_{lel} + x_{ler}}{2} \dots\dots\dots (11)$$

g) 按式(12)计算眼盒垂直尺寸 y_e :

$$y_e = \frac{y_{uel} + y_{uer} + y_{lel} + y_{ler}}{2} \dots\dots\dots (12)$$

5.4.10 虚像重影

测试步骤如下:

a) 按照5中测试光照条件调整测试环境;

b) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示重影测试画面, 见图2;

c) 利用抬头显示光学特性测试设备寻找到图3中 P_5 点及 P_5 点的重影点;

d) 测量 P_5 点及 P_5 点的重影点的距离 D_5 , 见图3;

e) 重复测量 P_2 点及 P_8 点的重影距离, 分别记为 D_2 和 D_8 ;

f) 计算 D_2 、 D_5 和 D_8 的平均值 D_{avg} ;

g) 按照式(13)计算各个环境光下虚像重影角度:

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{D_{avg}}{V_{id}} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

γ ——重影角度(单位: $^{\circ}$);

D_{avg} ——重影距离平均值(单位: mm);

V_{id} ——虚像距离（单位：mm）。

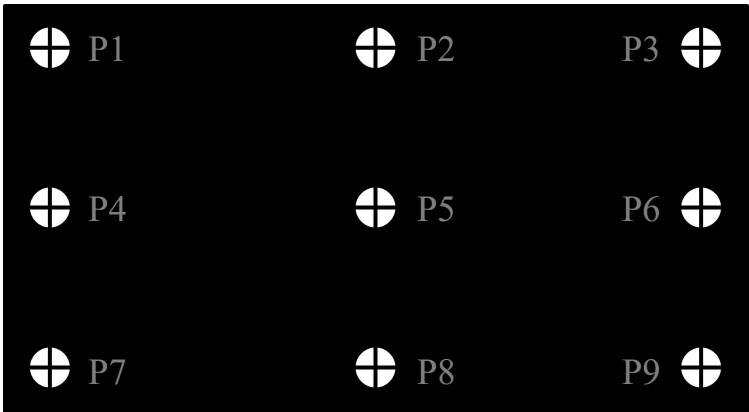


图 2 虚像重影测试图像

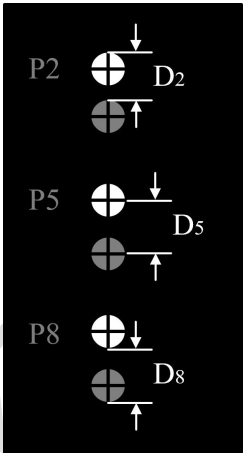


图 3 虚像重影点位重影距离

5.4.11 杂散光

测试步骤如下：

- a) 关闭DUT，断开DUT电气连接；
- b) 将太阳光模拟光源对DUT的出光角度设置为DUT杂散角度，并调节光源使光机上表面中心点处光照度为 $(100000 \pm 10000) \text{ lx}$ ；
- c) 虚像设备以虚像采集基准姿态，在DUT眼盒尺寸范围内采集杂散光并分析其亮度。

5.4.12 双目视差

测试步骤如下：

- a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示 3×3 点阵图测试画面（点直径 2×2 像素）的工作模式，与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态；
- b) 暗室条件下，虚像采集设备分别基于眼椭圆中心左移和右移 32.5 mm 的位置采集并记录虚像；

c) 按式(14)、(15)计算双目视差水平平均值 δ_h 和 δ_v :

$$\delta_h = \tan^{-1} \frac{d_h}{V_{id}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\delta_v = \tan^{-1} \frac{d_v}{V_{id}} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

V_{id} ——虚像距离(单位: mm);

d_h ——虚像中心水平方向移动距离(单位: mm);

d_v ——虚像中心垂直方向移动距离(单位: mm)。

5.4.13 虚像畸变

测试步骤如下:

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示3×3点阵图测试画面(点直径2×2像素,充满全虚像画面)的工作模式,与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态;

b) 暗室条件下,采集并记录虚像;

c) 按式(16)计算虚像畸变值D:

$$D = \frac{AD}{PD} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

式中:

AD——虚像畸变点与参考点之间的最大距离(单位: mm);

PD——参考点到虚像中心点的最大距离(单位: mm)。

5.4.14 MTF

测试步骤如下:

a) DUT以正常电气连接、显示功能正常运行、输出默认亮度、眼盒高度调整至默认位置、显示全虚像条纹测试画面(条纹宽度为2')的工作模式,与虚像采集设备呈虚像采集基准姿态;

b) 暗室条件下,采集并记录虚像;

c) 按式(17)和(18)计算单区域水平MTF_{SH}和MTF_{SV}:

$$MTF_{SH} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{L_{ulmax} - L_{ulmin}}{L_{ulmax} + L_{ulmin}} + \frac{L_{lrmax} - L_{lrmin}}{L_{lrmax} + L_{lrmin}} \right) \dots\dots\dots (17)$$

$$MTF_{SV} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{L_{urmax} - L_{urmin}}{L_{urmax} + L_{urmin}} + \frac{L_{llmax} - L_{llmin}}{L_{llmax} + L_{llmin}} \right) \dots\dots\dots (18)$$

式中：

L_{ulmax} ——单区域内左上单元格水平中线亮度最大值；

L_{ulmin} ——单区域内左上单元格水平中线亮度最小值；

L_{lrmax} ——单区域内右下单元格水平中线亮度最大值；

L_{lrmin} ——单区域内右下单元格水平中线亮度最小值；

L_{urmax} ——单区域内右上单元格水平中线亮度最大值；

L_{urmin} ——单区域内右上单元格水平中线亮度最小值；

L_{llmax} ——单区域内左下单元格水平中线亮度最大值；

L_{llmin} ——单区域内左下单元格水平中线亮度最小值。

附录 A

(资料性附录)

测试设备技术要求参考

A.1 环境光照系统

驾驶员眼位高度位置照度大于3000lx。

系统色温满足3000K~9000K的连续调节。当色温值处于3000K~6500K时，系统显色指数大于90，当色温值处于6500K~9000K时，系统显色指数大于85。

系统调光满足0~100%的连续调节。

A.2 太阳光模拟系统

系统具备总光强、亮度、照度的可调节功能。

系统满足0%~100%的连续平滑调光。

系统满足全光谱分布。

系统满足汽车位置照度最大可达50000lux的要求。

系统高度调节范围为1.2m~4m。

系统俯仰角度调节范围为 -45° ~ $+45^{\circ}$ 。

系统旋转角度调节范围为 0° ~ 180° 。

A.3 场景模拟视景模拟系统

系统满足分辨率不小于4K的要求；

系统输出图像的亮度调节范围为0nit~1000nit；

系统输出图像的对比度大于8000: 1。

A.4 仿生机器人云台支架

仿生机器人云台支架调整方向满足YZ+Z轴仰角（X轴）+三轴自稳云台的要求；

仿生机器人云台角度精度满足 $\pm 0.1^{\circ}$ 的要求，直线模组精度满足 $\pm 1\text{mm}$ 的要求；

仿生机器人云台应满足X轴行程不小于251mm、Y轴行程不小于76.4mm、Z轴行程不小于112mm的要求。

仿生机器人云台转向角调节范围为 -90° ~ $+90^{\circ}$ 。

仿生机器人云台的最大仰角应为 10° 。

仿生机器人云台的最大俯角应为 45° 。

仿生机器人云台横滚角调节范围为 -5° ~ $+5^{\circ}$ 。

相机分辨率满足200W至2900W像素可选。

A.5 车辆定位系统

轮胎内外跨距的范围为1050mm~2160mm;

车辆轮距的范围为1400mm~1800mm;

最小离地高度应不小于100mm;

适用轮胎型号大小范围为14英寸~21英寸，根据实际车型优化;

适用轴距范围为2100mm~3300mm;

最大承载能力应满足“ $\leq 3.0\text{T}$ /单轴 $\leq 1.5\text{T}$ /限速 $\leq 20\text{km/h}$ ”的要求;

车辆定位精度为 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

A.6 数据采集设备

视频收集设备分辨率不小于 1920×1080 （像素），视频采样帧率至少为30fps。

视频包括车辆左转、右转、掉头、U型弯道、进出高速\高架、进出环岛、非十字路口（向左前\右前\左后\右后方行驶）以及立交匝道等场景。

中国智能交通产业联盟
标准

智能座舱健康度技术要求和测试方法

T/ITS 0222-2023

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>

2023 年 12 月第一版 2023 年 12 月第一次印刷