

团 体 标 准

T/CAAMTB 301—2025

汽车座舱电子信息抬头显示系统

Electronic information head-up display in automobile cockpit

2025 - 08 - 26 发布

2025 - 09 - 01 实施

中国汽车工业协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 技术要求 3

 4.1 一般要求 3

 4.2 启动时间 4

 4.3 噪音要求 4

 4.4 光学性能要求 4

 4.5 气候负荷 6

 4.6 机械负荷 7

 4.7 寿命试验 7

 4.8 化学负荷 8

 4.9 电气负荷 8

 4.10 电磁兼容 9

5 试验方法 10

 5.1 启动时间测试 10

 5.2 噪声测试 11

 5.3 光学性能测试 11

6 检验规则 31

7 标志、包装、运输及储存 32

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。

本文件由中国汽车工业协会提出并归口。

本文件起草单位：未来（北京）黑科技有限公司、华为技术有限公司、惠州市华阳多媒体电子有限公司、宁波锦辉光学科技有限公司、江苏新通达电子科技股份有限公司、重庆利龙中宝智能技术有限公司、小米汽车股份有限公司、天马微电子股份有限公司、京东方精电有限公司、南京睿维视科技有限公司、上海仪电电子（集团）有限公司、上汽通用五菱汽车股份有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、重庆梧桐科技有限公司、浙江吉利控股集团有限公司、长城汽车股份有限公司、江铃福特汽车有限公司、上海汽车集团股份有限公司创新研究开发院、苏州怡利电子科技有限公司、四川吉利大学、浙江水晶光电科技股份有限公司、伯泰克汽车电子（芜湖）有限公司、合肥疆程技术有限公司、宁波威奇尔电子有限公司、山东魏桥创业集团有限公司、常州星宇车灯股份有限公司、常州柏木德电子科技有限公司、中机科（北京）车辆检测工程研究有限公司、天博智能科技（山东）股份有限公司。

本文件主要起草人：李孝哲、羊绍林、鲁明刚、伍跃洪、张环宇、曹刚、杨洋、杨晶、王波、邹耀、苏世虎、封秀珍、苏宁、程巍、孙仲辉、孙旭科、邓远博、魏鹿义、段迎新、杜平、吴刚、李元年、张圣恒、姚永利、贺刚、魏晓燕、刁楷、何文、徐杰明、朱德康、王晓琴、陈丽芳、余军、赖岚、钱沓丰、刘艳、夏开君、童志敏、李娟、李礼操、谭波、刘艳、许秀香、朱桂林、刘春勇、胡海龙、康栋、叶丽华、唐秀良、沙文翰、唐炜、顾惠良、方蕴赛、牛维兵、周瑞、陈彦均、安德英、吕亚玮。

汽车座舱电子信息抬头显示系统

1 范围

本文件规定了汽车座舱电子信息抬头显示系统(以下简称抬头显示系统)的术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装运输及储存等。

本文件适用于M类和N1类汽车。

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 8702-2014 电磁环境控制限值
GB/T 191 包装储运图示标志
GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
GB/T 32088-2015 汽车非金属部件及材料氙灯加速老化试验方法
GB/T 36606-2018 人类工效学 车辆驾驶员眼睛位置
GB/T 37130-2018 车辆电磁场相对于人体暴露的测量方法
GJB 151B-2013 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量
ISO 10605:2023 道路车辆 静电放电产生的电骚扰试验方法
ISO 11452-2:2019 道路车辆 窄带射频电磁干扰的零部件试验方法 第2部分 装有吸波材料的屏蔽室
ISO 11452-4:2020 道路车辆 窄带射频电磁能量电磁干扰的零部件试验方法 第4部分 线束激励法
ISO 11452-8:2015 道路车辆 窄带射频电磁能量电磁干扰的零部件试验方法 第8部分 磁场抗干扰
ISO 11452-9:2012 道路车辆 窄带射频电磁能量电磁干扰的零部件试验方法 第9部分 手持发射机
ISO 16750-1:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第1部分 一般规定
ISO 16750-2:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分 电气负荷
ISO 16750-3:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分 机械负荷
ISO 16750-4:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分 气候负荷
ISO 16750-5:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第5部分 化学负荷
ISO 7637-2:2011 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第2部分 沿电源线的电瞬态传导
ISO 7637-3:2016 道路车辆 由传导和耦合引起的电骚扰 第3部分 除电源线外的导线通过容性和感性耦合的电瞬态发射
SAE J1757-1-2021 机动车辆显示器的标准度量衡
CISPR 25:202116 车辆、船和内燃机无线电骚扰特性用于保护车载接收机的限值和测量方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

抬头显示器 Head-up display (HUD)

将车速、导航信息、告警等信息,以图像、字符的形式,通过光学部件投射到驾驶员前方的综合电子显示设备。

3.2

抬头显示系统 Head-up display System (HUD system)

抬头显示器加上前风挡玻璃或其它透明成像介质构成的显示系统。

3.3

眼椭圆 Eyellipse

驾驶员眼睛在空间相对车辆内部参考点位置的统计表示,如错误!未找到引用源。。

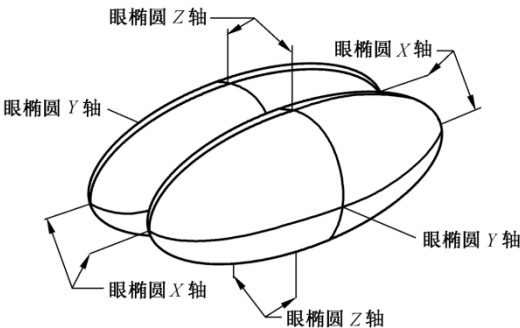


图1 驾驶员眼椭圆三维示意图

[来源：GB/T 36606-2018，定义3.1]

3.4

眼盒 Eyebox

驾驶员眼睛能够看到完整HUD图像的空间范围。其位置一般为眼椭圆质心投射的垂直平面。

3.5

眼盒调节范围 Eyebox Adjustment Range

眼盒垂直方向上可调节的空间范围。

3.6

下视角 Look-down angle (LDA)

眼盒中心点到虚像中心点的连线与整车坐标系XY平面的夹角。

3.7

左视角 Look-over angle (LOA)

眼盒中心到虚像中心的连线与整车坐标系XZ平面的夹角。

3.8

视场角 Field of View (FOV)

从眼盒中心处可以观察到整个图像的水平张角和垂直张角。

3.9

角分辨率 Angular Resolution

每度视角内的像素个数。

3.10

虚像距离 Virtual image distance (VID)

眼盒中心到虚像的垂直距离。

3.11

虚像尺寸 Virtual image distance (VID)

虚像画面的尺寸大小，以对角线尺寸表示。

3.12

静态畸变 Static Distortion

在眼盒范围内固定位置观察虚像，与标准图像的差异。

3.13

动态畸变 Dynamic Distortion

在眼盒范围内移动到不同位置观察虚像，虚像的变化程度。

3.14

双目视差误差 Binocular Parallax Error

在眼盒范围内双眼观察图像，左右眼看到的图像差异（不包含深度的信息）。

3.15

重影 Ghost image

在投影过程中，同一图像在投影画面上出现了一个或多个不完全重合、相互重叠或有偏差的影像。

3.16

虚像最大亮度 Maximum Virtual image brightness

虚像显示纯白图像时，能够显示的最大亮度。

3.17

虚像最小亮度 Minimum Virtual Image Brightness

虚像显示纯白图像时，能够显示的最小亮度。

3.18

虚像亮度均匀性 Virtual image brightness uniformity

在眼盒中心位置静态观察图像，虚像画面亮度的均匀程度。

3.19

亮度动态均匀性 Brightness Dynamic Uniformity

在眼盒范围内移动观察图像，虚像画面亮度变化的均匀程度。

3.20

对比度 Contrast ratio

虚像画面中，纯白图片与纯黑图片的亮度比值。

3.21

虚像色坐标 Virtual image color coordinates

虚像在色度图上的坐标位置。

3.22

杂散光 Stray light

指HUD外界光源（太阳或路灯等）或内部光源（PGU），经过镜面反射或漫反射后，到达驾驶员观察区域，对驾驶员的视觉产生干扰的光线。

3.23

眩光 Glare light

指HUD外界光源（太阳或路灯等）进入HUD内部，经过镜面反射后，到达驾驶员观察区域，对驾驶员的视觉产生强烈干扰，影响驾驶安全的光线。

4 技术要求

4.1 一般要求

抬头显示系统应符合本技术条件的要求，并应按照经规定程序批准的图样及设计文件制造。

4.1.1 外观

- a) 产品外观应整洁，表面不应有凹痕、划伤、裂缝、变形、毛刺、霉斑等缺陷；
- b) 金属件不应有锈蚀及其他机械损伤。

4.1.2 温度要求

- a) 工作温度范围：-40℃～85℃；
- b) 贮存温度范围：-40℃～90℃。

4.1.3 工作电压范围

工作电压范围应在9V～16V。

4.1.4 功能状态等级

抬头显示系统功能状态等级见表1。

表1 功能状态等级

等级	功能描述
A	试验中和试验后，抬头显示系统所有功能满足设计要求。 1、通讯信号正常，无故障码； 2、图像显示正常，无功能缺失、功能性不良（乱显、无显、花屏和闪烁等异常显示）； 3、图像亮度和高度控制正常。
B	试验中抬头显示系统所有功能满足设计要求，但允许有一个或多个超出规定允差。试验后所有功能应自动恢复到规定限值。存储器功能应符合A级。 1、通讯信号基本正常，偶尔有错误帧显示，能恢复正常； 2、图像显示正常，无功能缺失、功能性不良（乱显、无显、花屏和闪烁等异常显示）； 3、图像亮度和高度控制正常。
C	试验中抬头显示系统一个或多个功能不满足设计要求，但试验后所有功能应自动恢复正常运行。 1、通讯信号异常，有错误帧或故障码显示，停止试验后自动恢复正常； 2、图像显示异常，包括功能缺失、功能性不良（乱显，无显，花屏，闪烁等异常显示），停止试验后自动恢复正常； 3、亮度/高度控制异常，停止试验后自动恢复正常。
D	试验中抬头显示系统一个或多个功能不满足设计要求，且试验后不能自动恢复到正常运行，需要对抬头显示系统通过简单操作重新激活。
E	试验中，一个或多个功能不满足设计要求，且试验后不能自动恢复到正常运行，需要对抬头显示系统进行修理或更换。

4.2 启动时间

按照错误!未找到引用源。试验，启动时间不应大于10s。

4.3 噪音要求

按照错误!未找到引用源。试验，HUD开机、关机、高度调节中的噪音不应大于40dB(A)。

4.4 光学性能要求

4.4.1 眼盒尺寸

按照5.3.2.1试验，眼盒尺寸如图2，A~H所形成的矩形范围，眼盒尺寸宜满足130*50mm，或由供需方协商。

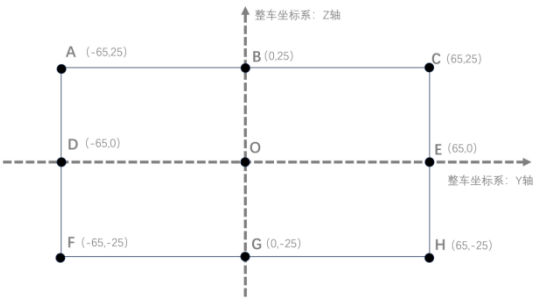


图2 眼盒尺寸示意图

4.4.2 眼盒调节范围

按照5.3.2.2试验，眼盒调节范围如图3，沿着Z方向眼盒调节范围宜为±50mm，或由供需方协商。

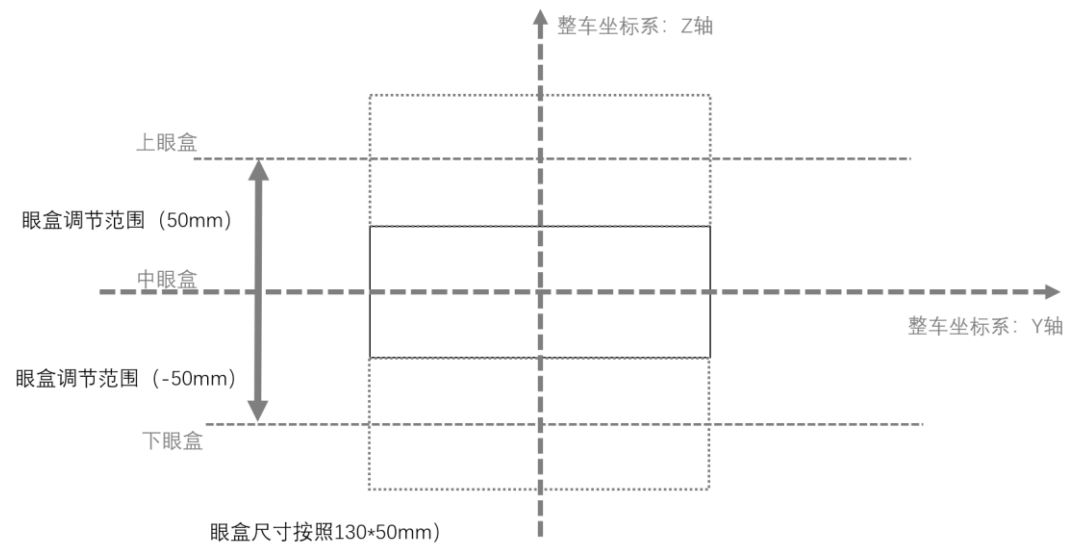


图3 眼盒调节范围示意图

- 4.4.3 下视角
按照5.3.2.3试验，下视角参数由供需方协商，公差范围宜为 $\pm 0.3^\circ$ 。
- 4.4.4 左视角
按照5.3.2.4试验，左视角参数由供需方协商，公差范围宜为 $\pm 0.3^\circ$ 。
- 4.4.5 视场角
按照5.3.2.5 试验，视场角参数由供需方协商，公差范围宜为 $\pm 10\%$ 。
- 4.4.6 角分辨率
按照5.3.2.6 试验，角分辨率应大于等于70pixel/ $^\circ$ 。
- 4.4.7 虚像距离
按照5.3.2.7试验，虚像距离参数由供需方协商，公差范围宜为 $\pm 10\% \sim \pm 30\%$ 。
- 4.4.8 虚像尺寸
按照5.3.2.8试验，虚像尺寸（单位为英寸）参数由供需方协商。
- 4.4.9 静态畸变
按照5.3.2.9 试验，静态畸变应小于3%。
- 4.4.10 动态畸变
按照5.3.2.10试验，动态畸变应小于5%。
- 4.4.11 双目视差误差
按照5.3.2.11试验，水平双目视差误差应不超过3mrad，垂直双目视差误差应不超过2mrad。
- 4.4.12 重影
按照5.3.2.12试验，水平方向和垂直方向重影参数由供需方协商，不宜超过1.2mrad。
- 4.4.13 虚像最大亮度
按照5.3.2.13 试验，虚像最大亮度参数由供需方协商，不宜小于10000cd/m²。

4.4.14 虚像最小亮度

按照5.3.2.14 试验, 虚像最小亮度应不大于100cd/m²。

4.4.15 虚像亮度均匀性

按照5.3.2.15 试验, 虚像亮度均匀性应不小于70%。

4.4.16 亮度动态均匀性

按照5.3.2.16 试验, 亮度动态均匀性应不小于60%。

4.4.17 对比度

按照5.3.2.17试验, 对比度应不小于1200:1。其中最高亮度等级下的黑图亮度不高于20 cd/m²。

4.4.18 虚像色坐标

按照5.3.2.18 试验, 虚像色坐标由供需方协商。

4.4.19 杂散光校核范围

按照5.3.2.19试验, 杂散光校核范围宜为300mm*300mm, 或由供需方协商。

4.4.20 眩光校核范围

按照5.3.2.20试验, 眩光校核范围宜为300mm*300mm, 或由供需方协商。

4.5 气候负荷

4.5.1 低温储存

按照5.4.1 的规定进行试验, 功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.2 低温工作

按照5.4.2 的规定进行试验, 功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.5.3 高温储存

按照5.4.3 的规定进行试验, 功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.4 高温工作

按照5.4.4 的规定进行试验, 功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.5.5 温度梯度

按照5.4.5 的规定进行试验, 上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级, 其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.6 温度循环

按照5.4.6 的规定进行试验, 上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级, 其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.7 温度冲击

按照5.4.7 的规定进行试验, 功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.8 盐雾试验

按照5.4.8的规定进行实验, 不得有任何可能损害正常性能的变化, 上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级, 其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.9 湿热循环

按照5.4.9的规定进行试验,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级;绝缘电阻应满足4.9.17的要求。

4.5.10 稳态湿热

按照5.4.10的规定进行试验,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.11 冷凝试验

按照5.4.11的规定进行试验,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.5.12 防尘试验

按照5.4.12的规定进行试验,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。防尘应满足IP5X的要求。

4.5.13 防水试验

按照5.4.13的规定进行试验,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。防水应满足IPX2的要求。

4.5.14 氙灯老化

按照5.4.14 的规定进行试验,外观应符合4.1.1的要求。

4.5.15 阳光倒灌

按照5.4.15的规定进行试验,试验期间和试验后,抬头显示系统图像显示正产,不应出现图像缺失、烧屏、永久损坏等现象。

4.6 机械负荷

4.6.1 温度循环振动

按照5.5.1的规定进行试验,不得出现损坏,上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.6.2 机械冲击

按照5.5.2的规定进行试验,试验后外观应满足4.1.1的要求,功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.6.3 自由跌落

按照5.5.3的规定进行试验,试验后不允许出现隐形损坏,晃动无异响,功能状态应满足4.1.4中的C级,若出现明显损坏,与客户共同进行最终判定是否接受。若产品文件定义为易碎零件,允许不执行该试验。

4.7 寿命试验

4.7.1 高温耐久

按照5.6.1 的规定进行试验,试验后虚像最大亮度衰减不允许超过设计值30%,噪音应符合4.3的规定,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.7.2 温度循环耐久

按照5.6.2 的规定进行试验,试验后虚像最大亮度衰减不允许超过设计值的30%,噪音应符合4.3的规定,上电工作模式下功能状态应满足4.1.4中的A级,其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.7.3 上下电耐久

按照5.6.3的规定进行试验，上电工作模式功能状态应满足4.1.4中的A级，其他工作模式功能状态应满足4.1.4中的C级，噪音应符合4.3的要求。

4.8 化学负荷

4.8.1 耐试剂稳定性

按照5.7.1的规定进行试验，不允许出现溶解、膨胀、褪色或者开裂等任何变化。

4.9 电气负荷

4.9.1 直流供电电压

按照5.8.1的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.9.2 长时间过电压

按照5.8.2的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.3 跳跃启动

按照5.8.3 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.4 瞬时过电压

按照5.8.4的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.5 叠加交流电压

按照5.8.5 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.9.6 供电电压的缓降和缓升

按照5.8.6的规定进行试验，在工作电压范围内，功能状态应满足4.1.4中的A级，在工作电压范围外，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.7 供电电压瞬时下降

按照5.8.7 的规定进行试验，功能状态至少应达到4.1.4中的 B 级。是否复位可协商确定。

4.9.8 供电电压微中断

按照5.8.8 的规定进行试验：

- a) 测试工况 1：当 t_{micro} 小于等于 $100\ \mu\text{s}$ ，功能状态应满足 4.1.4 中的 A 级；当 t_{micro} 大于 $100\ \mu\text{s}$ ，功能状态应满足 4.1.4 中的 C 级。
- c) 测试工况 2：功能状态应满足 4.1.4 中的 C 级。

4.9.9 复位特性

按照5.8.9的规定进行试验，当电压达到 U_{Smin} 时，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.9.10 启动特性

按照5.8.10的规定进行试验，满足ISO 16750-2:2023中的4.6.3.2的功能状态要求。

4.9.11 抛负载

按照5.8.11 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.12 反向电压

按照5.8.12 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.13 参考接地和供电偏移

按照5.8.13 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.9.14 开路试验

按照5.8.14的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.15 短路保护

按照5.8.15的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级。

4.9.16 耐电压

按照5.8.16的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的C级，不允许击穿和电弧产生。

4.9.17 绝缘电阻

按照5.8.17的规定进行试验，绝缘电阻至少需要10 MΩ。测试结束后需要满足功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.9.18 静态电流

按照5.9.1的规定进行试验，应满足CISPR 25:2021中等级3的限值要求。

4.10 电磁兼容

4.10.1 辐射发射（RE）

按照5.9.1的规定进行试验，应满足CISPR 25:2021中等级3的限值要求。

4.10.2 传导发射（CE）

按照5.9.2的规定进行试验，应满足CISPR 25:2021中等级3的限值要求。

4.10.3 瞬态传导发射（CTE）

按照5.9.3的规定进行试验，应满足ISO 7637-2:2011中等级3的限值要求。

4.10.4 磁场发射

按照5.9.4的规定进行试验，磁场发射限值应满足表2。

表2 磁场发射限值要求

频率（kHz）	限值要求dBpT
0.02~1	162
1~100	162-30lgFreq（kHz）
100~200	95

4.10.5 零部件人体电磁暴露测试（EMF）

按照5.9.5的规定进行试验，测试的限值标准主要参考GB 8702-2014, 环境中磁感应强度参数应满足表3。

表3 零部件人体电磁暴露测试参数要求

频率（Hz）	磁感应强度 B（μT）
10-25	5000/f
0.025k-1.2k	5/f
1.2k-2.9k	4.1
2.9k-57k	12/f
57k-100k	12/f
0.1M -0.4M	0.12

4.10.6 大电流注入法（BCI）

按照5.9.6的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.10.7 电波暗室法（RI）

按照5.9.7的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.10.8 磁场抗扰度（MFI）

按照5.9.7的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.10.9 手持发射机抗扰度（PT）

按照5.9.9的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.10.10 电源线瞬态传导抗扰度

按照5.9.10的规定进行试验，电源线瞬态传导抗扰度应满足表4。

表4 电源线瞬态传导抗扰度功能等级要求

试验脉冲	功能状态
1	C
2a	A
2b	C
3a	A
3b	A

4.10.11 信号线瞬态耦合抗扰度

按照5.9.11 的规定进行试验，功能状态应满足4.1.4中的A级。

4.10.12 静电放电（ESD）

按照5.9.12的规定进行试验，静电放电应满足表5和表6。

表5 静电放电参数（非工作模式）

放电类型	测试等级	放电网络	功能状态
接触放电-Pin	$\pm 4\text{kV}$ $\pm 6\text{kV}$	$330\ \Omega$ 150pF	C
接触放电	$\pm 6\text{kV}$ $\pm 8\text{kV}$	$330\ \Omega$ 150pF	
空气放电	$\pm 8\text{kV}$ $\pm 15\text{kV}$	$330\ \Omega$ 150pF	

表6 静电放电参数（工作模式）

放电类型	测试等级	放电网络	功能状态
接触放电	$\pm 6\text{kV}$	$330\ \Omega$ 330pF	A
接触放电	$\pm 8\text{kV}$	$330\ \Omega$ 330pF	C
空气放电	$\pm 8\text{kV}$	$330\ \Omega$ 330pF	A
空气放电	$\pm 15\text{kV}$	$330\ \Omega$ 330pF	C
接触放电-间接	$\pm 8\text{kV}$ $\pm 15\text{kV}$	$330\ \Omega$ 330pF	C

5 试验方法

5.1 启动时间测试

镜面从停止位置到最大的调整位置所需的时间。

5.2 噪声测试

- a) 测试环境：半消声室，背景噪声小于等于 20dB(A)；测试电压与整车电压保持一致(14V)；
- d) 测试条件：HUD 总成安装在测试工装台架上，模拟整车状态运行；
- e) 测点位置：距 HUD 侧面 50cm，如图 4；
- f) 测试频率：分析频率 20Hz~20KHz；
- g) 测试工况 1：采集 HUD 开关机的噪声，记录最大声压级；
- h) 测试工况 2：采集 HUD 高度逐级调节的噪声，从低到高，从高到低的全过程，记录最大声压级。

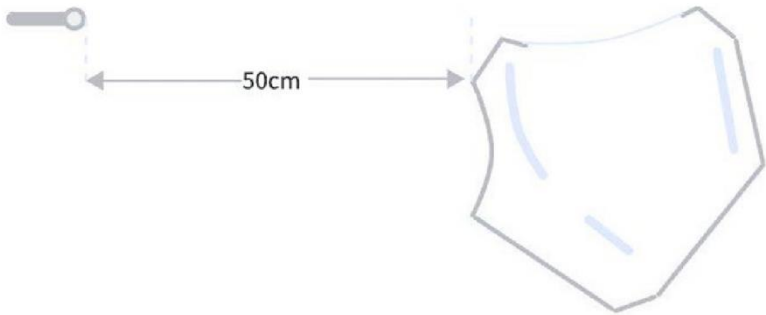


图4 噪声测试 mic 距离位置图

5.3 光学性能测试

5.3.1 试验条件

5.3.1.1 光学测试台架组成

测试系统由光学测试设备、控制系统、与对应车型匹配的汽车风挡、抬头显示器等组成。

5.3.1.2 测试环境

- a) 环境温度：室温（23℃±5℃）测试；
- b) 环境湿度：25%~75%；
- c) 检测设备和风挡之间、风挡和背景屏幕之间无遮挡物；
- d) 风挡清洁无污渍；
- e) 环境光照度：照度≤50lux。

5.3.1.3 测试台架坐标系

测试台架坐标系如图5。

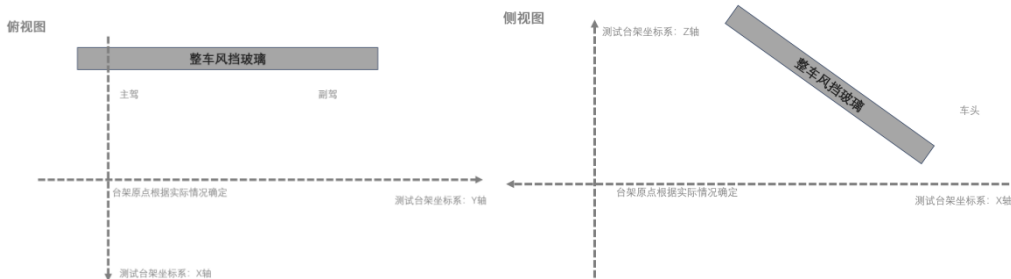


图5 测试台架坐标系示意图

5.3.1.4 标准图源

HUD光学性能测试中，需要使用和显示的标准图源，根据抬头显示系统的基本参数制定尺寸，主要包含以下图像。

a) 网格图

图片的画布尺寸、具体的网格尺寸、网格在画布上的位置根据具体项目参数确认。见**错误!未找到引用源。**，网格图通常绘制为9横17竖（线条），每条线宽2个像素，整体网格平均分布。
注：可根据测试项，替换为其他能达到同等效果的测试图片。

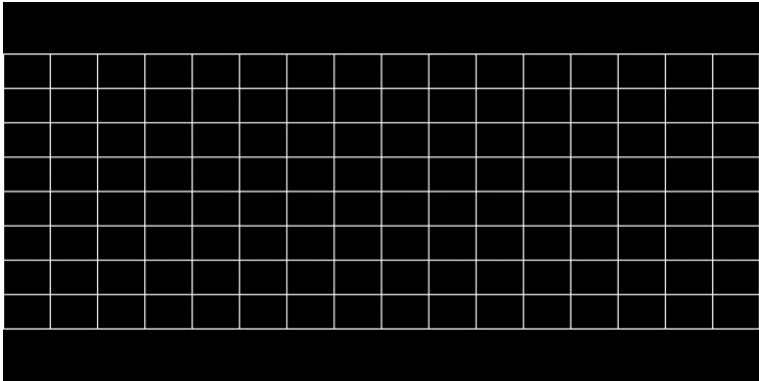


图6 网格图

b) 分格纯白图

图片的画布尺寸根据具体项目参数确认，如**错误!未找到引用源。**，分割存白图通常绘制为3横4竖（线条），每条线宽2个像素，整体分格平均分布。
注：可根据测试项，替换为其他能达到同等效果的测试图片。

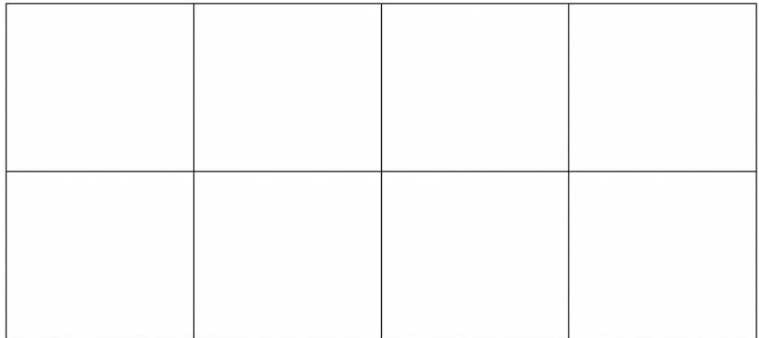


图7 分格纯白图

c) 纯白图片（255, 255, 255）

图片的画布尺寸、具体的白图尺寸根据具体项目参数确认。

d) 纯黑图片（0, 0, 0）

图片的画布尺寸、具体的黑图尺寸根据具体项目参数确认。

5.3.1.5 眼盒测量点位

如**错误!未找到引用源。**，以下测量点位以中眼盒位置（眼盒尺寸130*50mm）举例，在实际测试中，还需要在上眼盒、下眼盒位置完成测试，测量点位坐标与中眼盒一致。

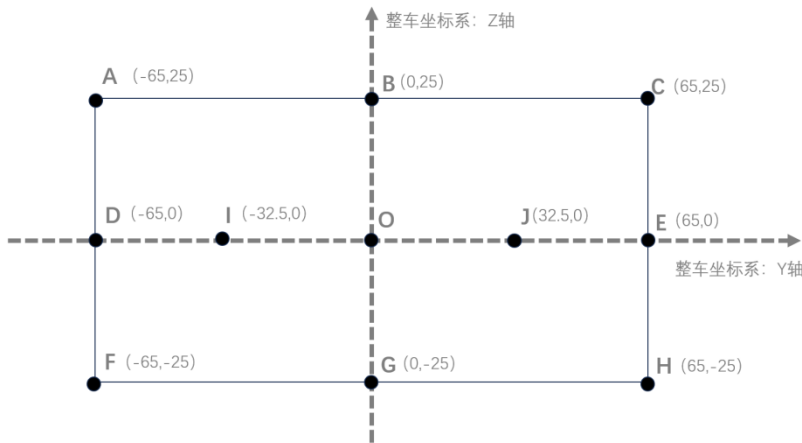


图8 眼盒测量点位坐标

5.3.1.6 网格图测量点位

如错误!未找到引用源。，在图像上选取特定位置，用于完成HUD光学性能参数的测量计算。在实际测试中，网格图上的每个交点均可识别计算。

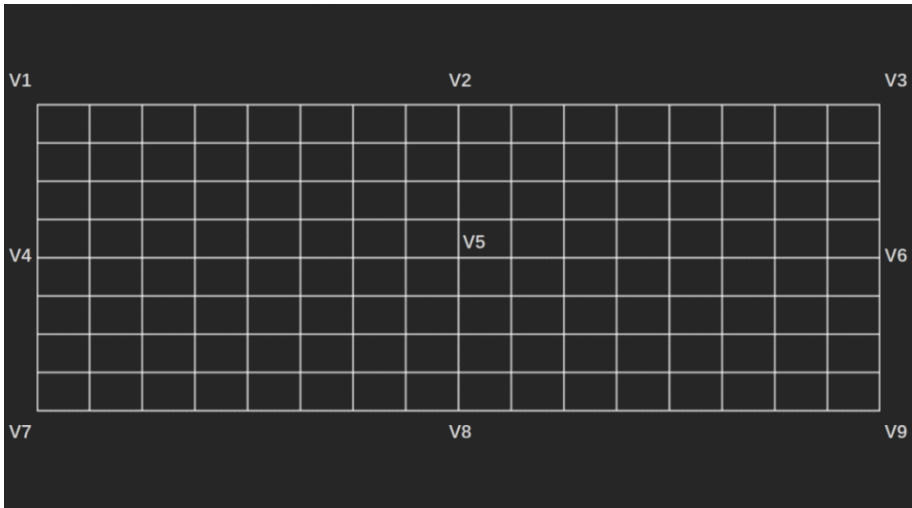


图9 网格图测量点位

5.3.1.7 杂散光和眩光校核范围

以中眼盒的眼点(Eye point)为基准测试，杂散光和眩光的校核位置坐标如错误!未找到引用源。。

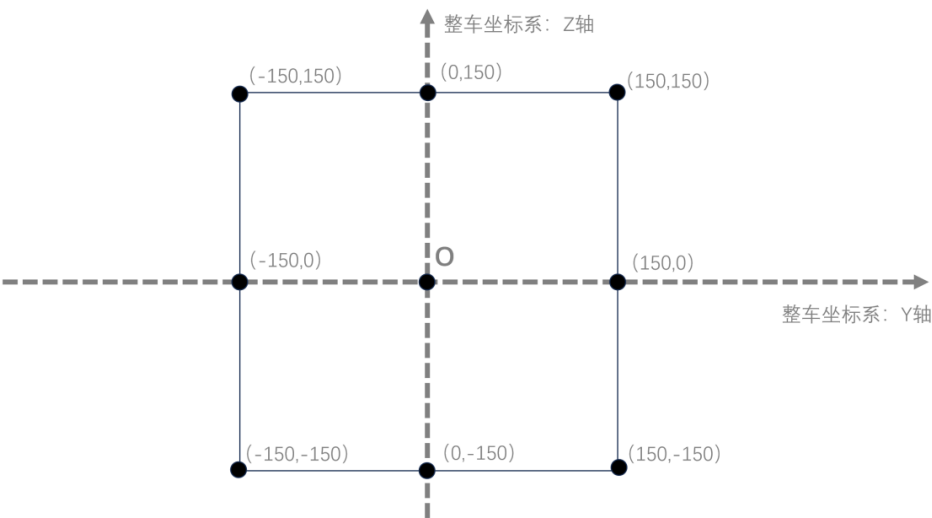


图10 杂散光和眩光的校核范围

5.3.1.8 标定板

一块标准板或者显示屏，用于校准和标定测试设备。

5.3.2 试验方法

5.3.2.1 眼盒尺寸

试验顺序如下：

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图或其他可达到同等测试效果的图片；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 B、D、E、G 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 确认对应眼位的图像是否完整，若图像完整，即可确认眼盒尺寸满足设计要求。

5.3.2.2 眼盒调节范围

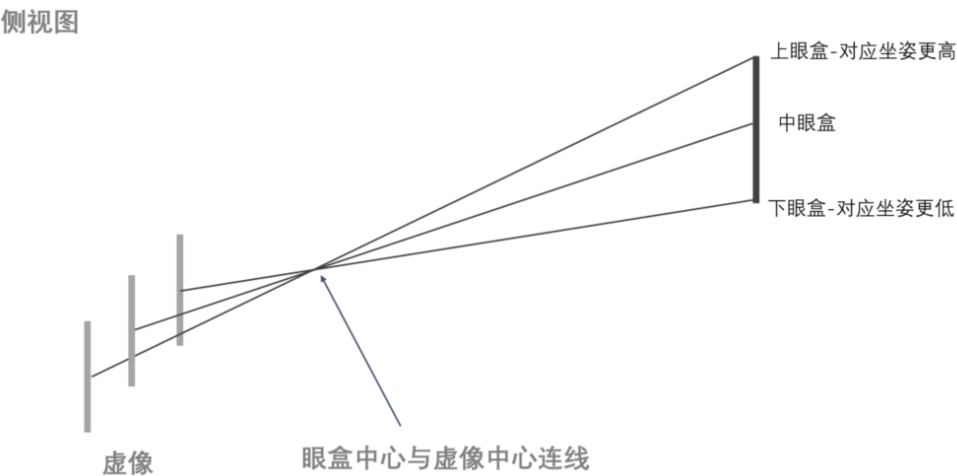


图11 眼盒调节范围测试示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图或其他可达到同等测试效果的图片；
- c) 调节虚像高度，将虚像分别调节至上眼盒和下眼盒对应高度位置；
- d) 将虚像测量设备分别放置于上眼盒和下眼盒的测量点位 O 处；
- e) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- f) 确认对应眼盒测量眼位的图像是否完整。

5.3.2.3 下视角

侧视图

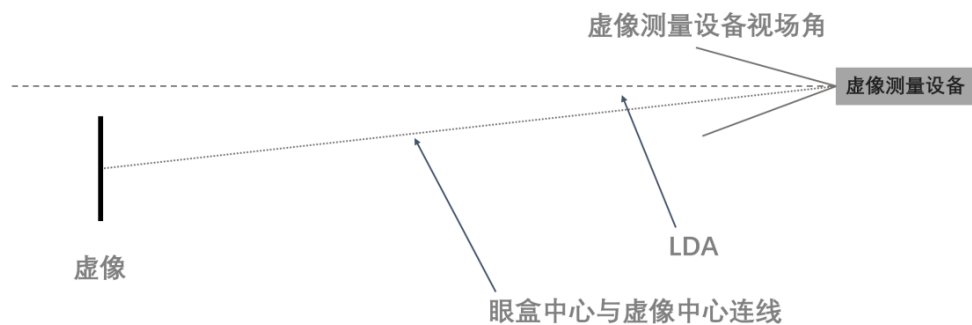


图12 下视角测试示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如图 9 示意，取网格图测量点位 V5，计算：

$$LDA = \tan^{-1} \frac{\left(N_{\text{image}} - \frac{N}{2}\right) \times k}{f}$$

式中：

- f——虚像测量设备的焦距，单位mm
- k——虚像测量设备的传感器像素尺寸，单位mm
- N——虚像测量设备的纵向分辨率
- N_{image}——虚像在虚像测量设备上所成图像中心点的纵向像素坐标

5.3.2.4 左视角

俯视图

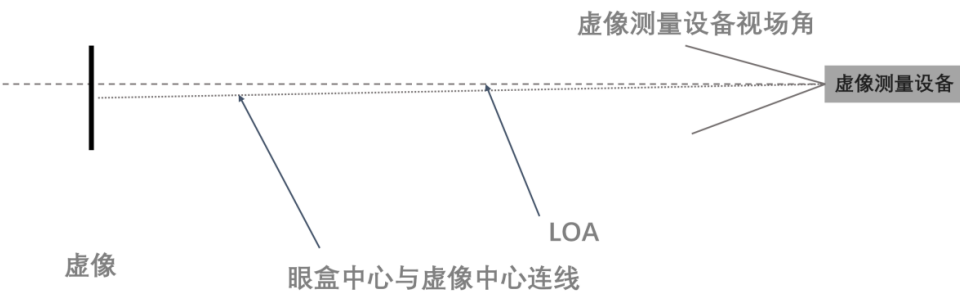


图13 左视角测试示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如图 9 示意，取网格图测量点位 V5，计算：

$$LOA = \tan^{-1} \frac{\left(M_{\text{image}} - \frac{M}{2}\right) \times k}{f}$$

式中：

- f——虚像测量设备的焦距，单位mm
- k——虚像测量设备的传感器像素尺寸，单位mm
- M——虚像测量设备的横向分辨率
- M_{image} ——虚像在虚像测量设备的上所成图像中心点的纵向像素坐标

注：LOA 为正，表明左视角方向沿 Y 轴正方向；LOA 为负，表明左视角方向沿 Y 轴负方向。

5.3.2.5 视场角

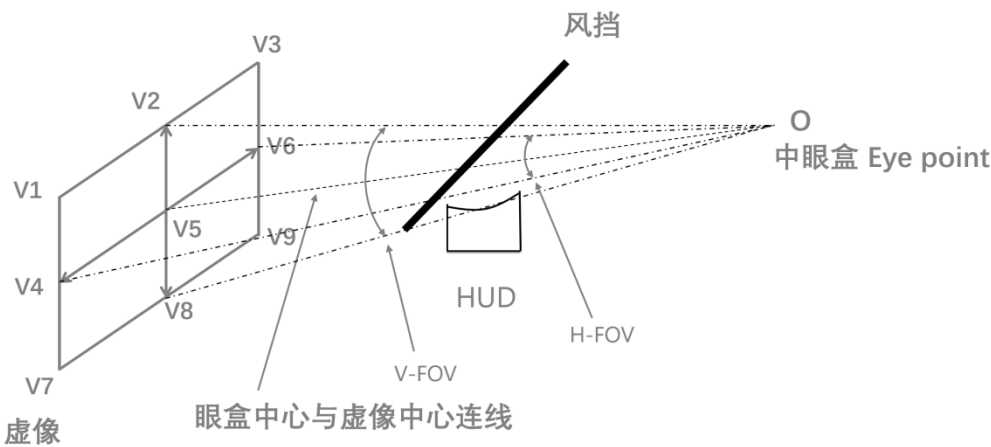


图14 视场角测试示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如**错误!未找到引用源。**示意，取网格图测量点位 V4、V6，计算水平视场角：

$$HFOV = 2 \times \tan^{-1} \frac{D_{\text{image_H}} \times k}{2 \times f}$$

- f) 取网格图测量点位 V2、V8，计算垂直视场角：

$$VFOV = 2 \times \tan^{-1} \frac{D_{\text{image_V}} \times k}{2 \times f}$$

式中：

- f——虚像测量设备的焦距，单位mm
- k——虚像测量设备的传感器像素尺寸，单位mm
- D_{image_H}——虚像在虚像测量设备的上所成图像的横向像素数
- D_{image_V}——虚像在虚像测量设备的上所成图像的竖向像素数

5.3.2.6 角分辨率

根据测量到的视场角FOV和像源使用的像素数，计算角分辨率。

- a) 如图 9 示意，取网格图测量点位 V4、V6，计算横向角分辨率：

$$Hang = \frac{D_{\text{image source_H}}}{HFOV}$$

- b) 取网格图测量点位 V2、V8，计算纵向角分辨率：

$$Vang = \frac{D_{\text{image source_V}}}{VFOV}$$

式中：

- Hang——横向角分辨率，单位pixel/°
- Vang——纵向角分辨率，单位pixel/°
- D_{image source_H}——像源上显示图像的横向像素数
- D_{image source_V}——像源上显示图像的竖向像素数
- HFOV——横向实测视场角
- VFOV——竖向实测视场角

5.3.2.7 虚像距离

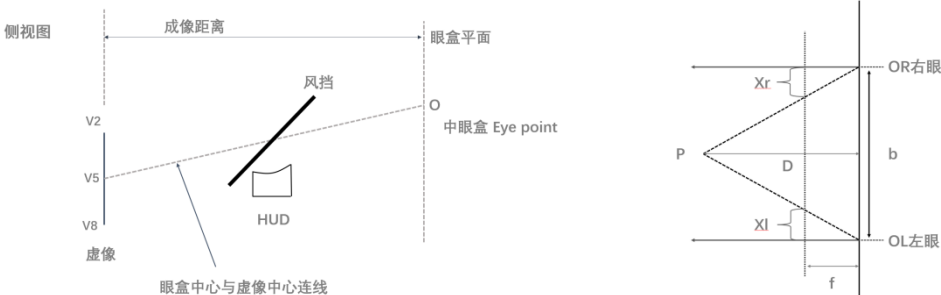


图15 虚像距离

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图；
- c) 将虚像测量设备分别放置于眼盒测量点位 I 和 J 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如图 9 示意，取网格图测量点位 V5，计算虚像距离：

$$VID = \frac{b \times f}{k \times (x_l - x_r)}$$

式中：

- f——虚像测量设备的焦距，单位mm
- k——虚像测量设备的传感器像素尺寸，单位mm
- b——虚像测量设备的间距
- x_l ——虚像测量设备的处于左眼位置I时，虚像在虚像测量设备的上所成图像的横向像素坐标
- x_r ——虚像测量设备的处于右眼位置J时，虚像在虚像测量设备的上所成图像的横向像素坐标

注：斜投影取测量点位 V2、V8，分别计算其虚像距离。

5.3.2.8 虚像尺寸

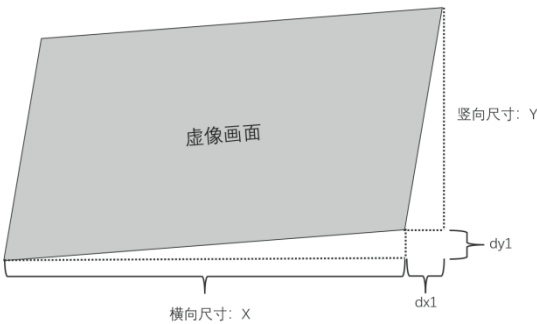
根据虚像距离VID和视场角FOV的测试结果，计算出画面的长宽尺寸；应用勾股定理，计算出画面对角线尺寸。

$$\text{Image Size} = \sqrt{\tan\left(\frac{\text{HFOV}}{2}\right) * \text{VID}^2 + \tan\left(\frac{\text{VFOV}}{2}\right) * \text{VID}^2}$$

式中：

- Image Size——虚像尺寸，单位inch
- HFOV——虚像实测横向FOV
- VFOV——虚像实测竖向FOV
- VID——实测虚像距离

5.3.2.9 静态畸变



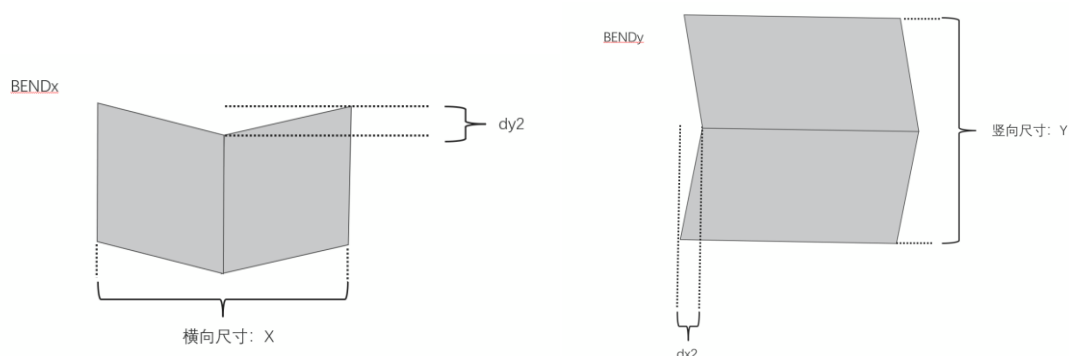


图16 静态畸变测试计算示意

- 启动测试系统与抬头显示器；
- 显示标准图源的网格图；
- 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- 如图 9 示意，取网格图测量点位 v1~v9，分别计算以下六种畸变，取最大值作为静态畸变：

$$\text{DIST}_x = \frac{d_x}{x} \times 100\%$$

$$\text{DIST}_y = \frac{d_{y1}}{y} \times 100\%$$

$$\text{BEND}_x = \frac{d_{y2}}{x} \times 100\%$$

$$\text{BEND}_y = \frac{d_{x2}}{y} \times 100\%$$

$$\text{TILT}_x = \frac{d_{y1}}{x} \times 100\%$$

$$\text{TILT}_y = \frac{d_x}{y} \times 100\%$$

式中：

DIST_x ——横向拉伸畸变

DIST_y ——竖向拉伸畸变

BEND_x ——图像横向弯曲畸变

BEND_y ——图像竖向弯曲畸变

TILT_x ——横向倾斜畸变

TILT_y ——竖向倾斜畸变

x ——平均横向尺寸

d_{x1} ——横向偏移尺寸

d_{x2} ——横向弯曲偏移尺寸

y ——平均竖向尺寸

d_{y1} ——竖向偏移尺寸

d_{y2} ——竖向弯曲偏移尺寸

5.3.2.10 动态畸变

- 启动测试系统与抬头显示器；
- 显示标准图源的网格图；

- c) 将虚像测量设备分别放置于眼盒测量点位 O、A、B、C、D、E、F、G、H 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如图 9 示意，计算每个点位的各个类型的畸变；
- f) 计算 A、B、C、D、E、F、G、H 的各畸变类型与 O 点对应静态畸变类型的差值，取最大值输出： $\max[\max(\Delta_{DIST_x}), \max(\Delta_{DIST_y}), \max(\Delta_{BEND_x}), \max(\Delta_{BEND_y}), \max(\Delta_{TILT_x}), \max(\Delta_{TILT_y})]$ 。

5.3.2.11 双目视差误差 Binocular Parallax Error

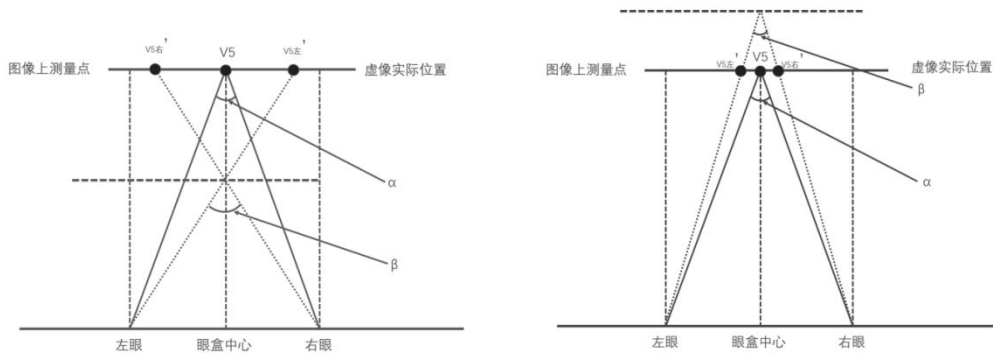


图17 双目视差测试计算示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器；
- b) 显示标准图源的网格图；
- c) 将虚像测量设备分别放置于眼盒测量点位 I、J 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 如图 9 示意，取网格图测量点位 $v1 \sim v9$ ，分别计算中心眼对的双目视差误差；

$$\begin{aligned} BPE_{v1} &= \alpha_{v5} - \beta_{v1} \\ BPE_{v2} &= \alpha_{v5} - \beta_{v2} \\ &\dots\dots \\ BPE_{v9} &= \alpha_{v5} - \beta_{v9} \end{aligned}$$

- f) 计算

$$BPE[I, J] = \max(BPE_{v1}, BPE_{v2}, BPE_{v3}, \dots, BPE_{v9})$$

式中：

- α_{v5} ——虚像距离VID与眼对间距（默认为65mm）计算得到的角度
- β_{vn} ——眼对左眼测量到的虚像水平偏移角的绝对值与眼对右眼测量到的虚像水平偏移角的绝对值的和
- BPE_{vn} ——网格图测量点位 Vn 的双目视差误差
- $BPE[I, J]$ ——[I, J]眼对双目视差误差的最大，抬头显示系统双目视差误差

5.3.2.12 重影

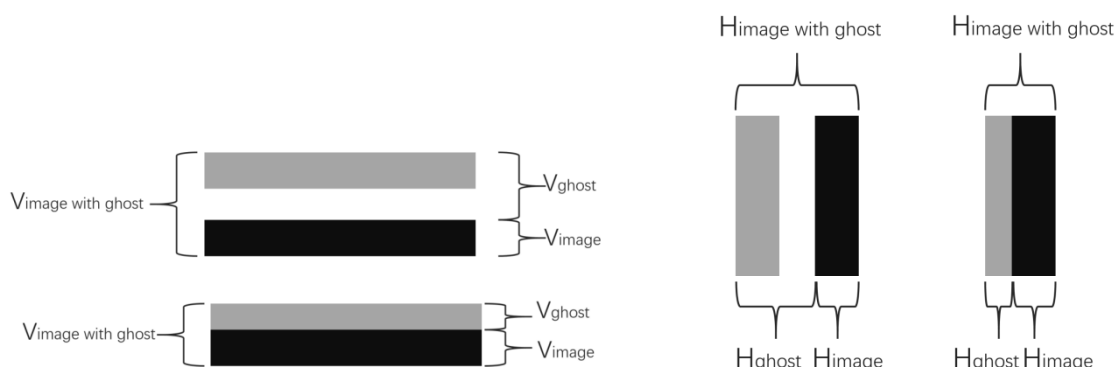


图18 重影测试计算示意

- 启动测试系统与抬头显示器；
- 显示标准图源的网格图；
- 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 0 处；
- 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- 如图 9 示意，取网格图指定的横向线段，计算垂直方向重影：

$$= \max \left[\tan^{-1} \frac{k \times (V_{\text{image with ghost}_1} - V_{\text{image}_1})}{f}, \dots, \tan^{-1} \frac{k \times (V_{\text{image with ghost}_n} - V_{\text{image}_n})}{f} \right]$$

- 取网指定的纵向线段，计算水平方向重影：

$$H_{\text{ghost}} = \max \left[\tan^{-1} \frac{k \times (H_{\text{image with ghost}_1} - H_{\text{image}_1})}{f}, \dots, \tan^{-1} \frac{k \times (H_{\text{image with ghost}_n} - H_{\text{image}_n})}{f} \right]$$

式中：

f ——虚像测量设备的焦距，单位mm

k ——虚像测量设备的传感器像素尺寸，单位mm

$V_{\text{image with ghost}_n}$ ——虚像在虚像测量设备的上所成图像形成的本影下边缘与重影上边缘（或本影上边缘与重影下边缘）的纵向像素数

V_{image_n} ——虚像在虚像测量设备的上所成图像形成的本影的纵向像素数

$H_{\text{image with ghost}_n}$ ——虚像在虚像测量设备的上所成图像形成的本影左边缘与重影右边缘（或本影右边缘与重影左边缘）的横向像素数

H_{image_n} ——虚像在虚像测量设备的上所成图像形成的本影的横向像素数

V_{ghost} ——抬头显示系统垂直方向重影大小，单位mrad

H_{ghost} ——抬头显示系统水平方向重影大小，单位mrad

5.3.2.13 虚像最大亮度

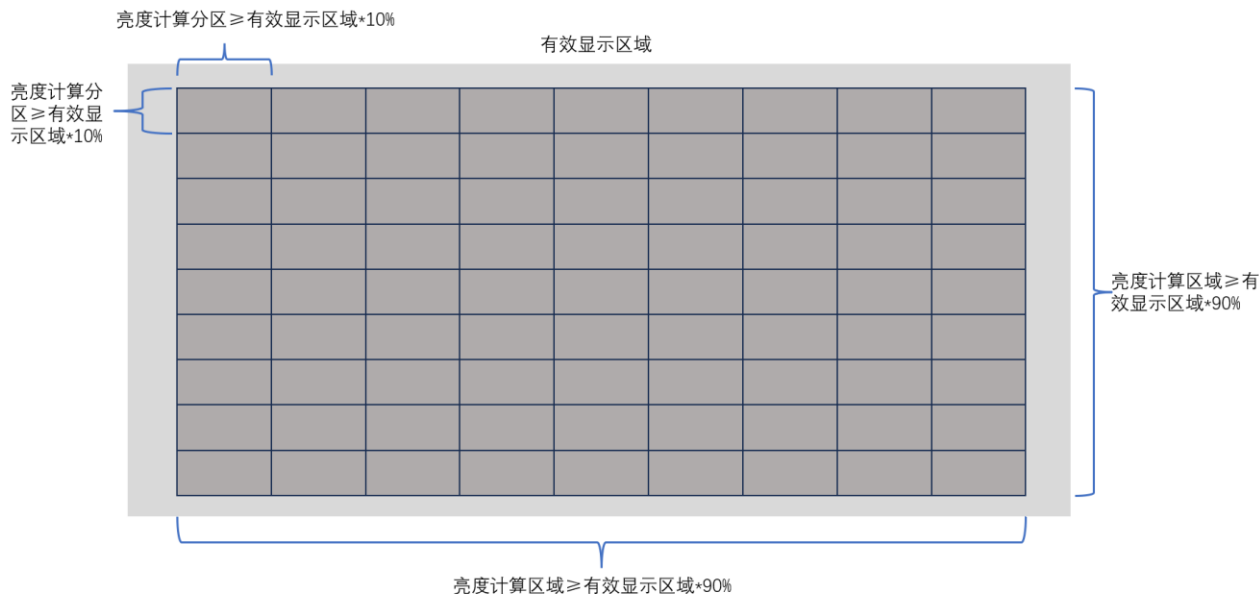


图19 亮度计算区域和计算分区示意

- a) 启动测试系统与抬头显示器，抬头显示器亮度等级调至最高；
- b) 显示标准图源的纯白图；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 推荐的计算方法，在虚像画面上框选出“亮度计算区域”，将该计算区域划分为若干“亮度计算分区”，计算出各分区的亮度平均值，取各分区平均值的最大值为虚像最大亮度：

$$\text{Brightness}_{\max} = \text{MAX}[L_1, L_2, L_3, \dots, L_n]$$

式中：

L_n ——亮度计算区域内，各亮度计算分区的平均亮度
 n ——亮度计算区域内，划分的亮度计算分区个数
 $\text{Brightness}_{\max}$ ——抬头显示系统的虚像最大亮度

- f) 如**错误!未找到引用源。**，推荐的“亮度计算区域”长宽方向像素数不小于有效显示像素的 90%，推荐的“亮度计算分区”长宽方向像素数不少于有效显示像素的 10%。

5.3.2.14 虚像最小亮度

- a) 启动测试系统与抬头显示器，抬头显示器亮度等级调至最低；
- b) 显示标准图源的纯白图；
- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 推荐的计算方法，在虚像画面上框选出“亮度计算区域”，将该计算区域划分为若干“亮度计算分区”，计算出各分区的亮度平均值，取各分区平均值的最大值为虚像最小亮度：

$$\text{Brightness}_{\min} = \text{MAX}[L_1, L_2, L_3, \dots, L_n]$$

式中:

L_n ——亮度计算区域内, 各亮度计算分区的平均亮度

n ——亮度计算区域内, 划分的亮度计算分区个数

$Brightness_{min}$ ——抬头显示系统的虚像最小亮度

- f) 如**错误!未找到引用源。**, 推荐的“亮度计算区域”长宽方向像素数不小于有效显示像素的 90%, 推荐的“亮度计算分区”长宽方向像素数不少于有效显示像素的 10%。

5.3.2.15 虚像亮度均匀性

- 启动测试系统与抬头显示器, 抬头显示器亮度等级调至最高;
- 显示标准图源的纯白图;
- 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处;
- 拍摄抬头显示系统虚像画面;
- 推荐的计算方法, 在虚像画面上框选出“亮度计算区域”, 将该计算区域划分为若干“亮度计算分区”, 计算出各分区的亮度平均值, 按照下述公式计算虚像亮度均匀性:

$$LNU_{white} = \left(1 - \frac{stddev}{Brightness_{avg}} \right) \times 100\%$$

式中:

$stddev$ ——亮度计算区域内, 虚像在虚像测量设备的上所成图像的各分区对应的分区亮度标准差

$Brightness_{avg}$ ——抬头显示系统的虚像所有分区亮度的平均值

LNU_{white} ——抬头显示系统的亮度均匀性

- f) 如**错误!未找到引用源。**, 推荐的“亮度计算区域”长宽方向像素数不小于有效显示像素的 90%, 推荐的“亮度计算分区”长宽方向像素数不少于有效显示像素的 10%。

5.3.2.16 亮度动态均匀性

- 启动测试系统与抬头显示器, 抬头显示器亮度等级调至最高;
- 显示标准图源的纯白图;
- 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O、B、G、D、E 处;
- 拍摄抬头显示系统虚像画面;
- 根据 5.3.2.13 虚像最大亮度计算方法, 计算每个眼盒位置的虚像最大亮度, 计算不同眼盒位置相对眼盒中心的亮度衰减程度, 取其中最小值作为亮度动态均匀性:

$$BDU_{white} = \frac{\min(Brightness_{max_B}, Brightness_{max_G}, Brightness_{max_D}, Brightness_{max_E})}{Brightness_{max}} \times 100\%$$

式中:

$Brightness_{max_N}$ ——不同眼盒测量点位的虚像最大亮度

$Brightness_{max}$ ——抬头显示系统的虚像最大亮度

5.3.2.17 对比度

- 启动测试系统与抬头显示器, 抬头显示器亮度等级调至最高;
- 显示标准图源的纯白图;

- c) 将虚像测量设备放置于眼盒测量点位 O 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 显示标准图源的纯黑图；
- f) 重复步骤 c) d)；
- g) 推荐的计算方法，在虚像画面上框选出“亮度计算区域”，将该计算区域划分为若干“亮度计算分区”；按照各分区进行一一对应，分别计算各分区对比度，取分区对比度最小值作为虚像对比度：

$$CR = \min \left[\frac{L_{1_white}}{L_{1_black}}, \dots, \frac{L_{n_white}}{L_{n_black}} \right]$$

式中：

Brightness_{n_white}——纯白图下的抬头显示系统的各亮度计算分区的平均亮度

Brightness_{n_black}——纯黑图下的抬头显示系统的各亮度计算分区的平均亮度

- h) 如错误!未找到引用源。., 推荐的“亮度计算区域”长宽方向像素数不小于有效显示像素的 90%，推荐的“亮度计算分区”长宽方向像素数不少于有效显示像素的 10%。

5.3.2.18 虚像色坐标

- a) 启动测试系统与抬头显示器，抬头显示器亮度等级调至最高；
- b) 显示标准图源的分格纯白图或其他可达到同等测试效果的图片；
- c) 推荐的计算方法，需将虚像测量设备分别放置于中眼盒的眼盒测量点位 O、B、G、D、E 处；
- d) 拍摄抬头显示系统虚像画面；
- e) 选取分格纯白图的每个网格区域，分别测量其各区域色坐标。
- f) 计算眼盒测量点位 O 处虚像各相邻区域的色坐标差值，评判虚像的颜色一致性；
- g) 计算眼盒测量点位 B、G、D、E 处虚像各区域的色坐标与测量点位 O 处对应区域的色坐标差值，评判眼盒范围内的颜色一致性；
- h) 色坐标差值计算基于 CIE1931 色度坐标计算公式：

$$\Delta C = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

5.3.2.19 杂散光校核

- a) 启动测试系统与抬头显示器，抬头显示器调至与当前环境适配的亮度等级，抬头显示器高度等级分别调至上、中、下眼盒对应位置；
- b) 测试图
 - (1) HUD 内部光源杂散光校核，显示标准图源的纯白图；
 - (2) HUD 外部光源杂散光校核，显示标准图源的纯黑图或实际 UI 图
- c) 模拟各种可入射至抬头显示系统的能够覆盖可能产生杂散光的全部路径；

- d) 分别在上、中、下眼盒对应的高度等级位置，在杂散光校核范围内观察、测试，确认杂散光是否可被接受。

5.3.2.20 眩光校核

- a) 启动测试系统与抬头显示器，抬头显示器高度等级分别调至上、中、下眼盒对应位置；
- b) 显示标准图源的纯黑图或实际 UI 图；
- c) 模拟各种可入射至抬头显示系统的能够覆盖可能产生眩光的全部路径；
- d) 分别在上、中、下眼盒对应的高度等级位置，进行眩光校核范围内的观察、测试，确认是否存在眩光。

5.4 气候负荷

5.4.1 低温储存

按照ISO 16750-4:2023中的5.1.1.1.2进行试验。

5.4.2 低温工作

按照ISO 16750-4:2023中的5.1.1.2.2进行试验。

5.4.3 高温储存

按照ISO 16750-4:2023中的5.1.2.1.2进行试验。

5.4.4 高温工作

按照ISO 16750-4:2023中的5.1.2.2.2进行试验。

5.4.5 温度梯度

按照ISO 16750-4:2023中的5.2.2进行试验。

5.4.6 温度循环

按照ISO 16750-4:2023中的5.3.1.2进行试验。

5.4.7 温度冲击

按照ISO 16750-4:2023中的5.3.2.2进行试验。

5.4.8 盐雾试验

按照ISO 16750-4:2023中的5.5.2.4进行试验。

5.4.9 湿热循环

按照ISO 16750-4:2023中的5.6.2.3进行试验。

5.4.10 稳态湿热

按照ISO 16750-4:2023中的5.7.2进行试验。

5.4.11 冷凝试验

按照ISO 16750-4:2023中的5.8.2进行试验。

5.4.12 防尘试验

按照ISO 16750-4:2023中的5.11.2进行试验。

5.4.13 防水试验

按照GB/T 30038-2013进行试验。

5.4.14 氙灯老化

按照GB/T 32088-2015中的6.6试验方法A-1进行试验，循环周期130个，辐照剂量2134Kj/m²，试验时间624h。

5.4.15 阳光倒灌

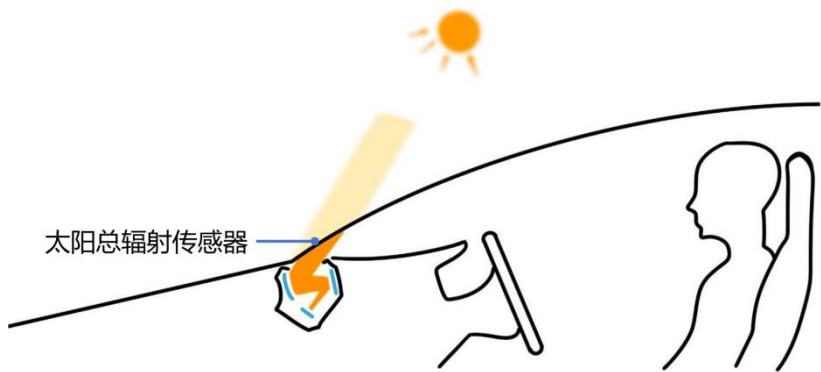


图20 辐照强度采集位置

按实车情况制作工装，需包含前挡风玻璃，抬头显示器按照实车位置装配，采用一束平行光源照射抬头显示器。

光斑直径需100%覆盖HUD出光口，与太阳AM1.5标准的光谱匹配度A级，不均匀度不大于10%，发散半角小于等于0.5°。

试验要求见表7，如有其他要求，供需双方协商。

表7 阳光倒灌试验要求

样件状态	HUD调整到最大亮度，阳光倒灌过程HUD亮度可自动调节
光照角度	与HUD光轴角度0°，确保聚焦到像源显示表面
测试温度	45±3℃
辐照强度	1000W/m²，辐射强度为挡风玻璃外侧的强度，辐照强度测量位置，见图20
持续时间	HUD背光温度平衡后，施加阳光倒灌20min

5.5 机械负荷

5.5.1 温度循环振动

按照ISO 16750-3:2023中的4.1.8.2进行试验。

5.5.2 机械冲击

按照ISO 16750-3:2023中的4.2.2.2进行试验。

5.5.3 自由跌落

按照ISO 16750-3:2023中的4.3.2.1进行试验。

5.6 寿命试验

5.6.1 高温耐久

HUD在 T_{max} 环境下会降低LCD的背光，依据高温下性能降低的Arrhenius模型，温度集中分布在如8，设定HUD工作时间为8000h， $E_a=0.7\text{eV}$ ， $T_{op,max}=60^\circ\text{C}$ ， $T_{max}=85^\circ\text{C}$ 。计算后的高温耐久寿命试验方法见9。测试温度供需双方协商。

表8 温度分布

温度（℃）	分布（%）
-40	2
10	8
23	14
40	60
65	9
75	6
80	1

表9 高温耐久试验方法

工作模式	3.4（按照ISO 16750-1:2023中的5工作模式定义）
测试时长	1596h
测试温度	$T_{op,max}=60^\circ\text{C}$ ， $T_{max}=85^\circ\text{C}$
保持时间	$t_1=33\text{h}$ ， $t_2=15\text{h}$
温变速率	$1^\circ\text{C}/\text{min}$
测试时长	1596h
测试曲线	见错误!未找到引用源。

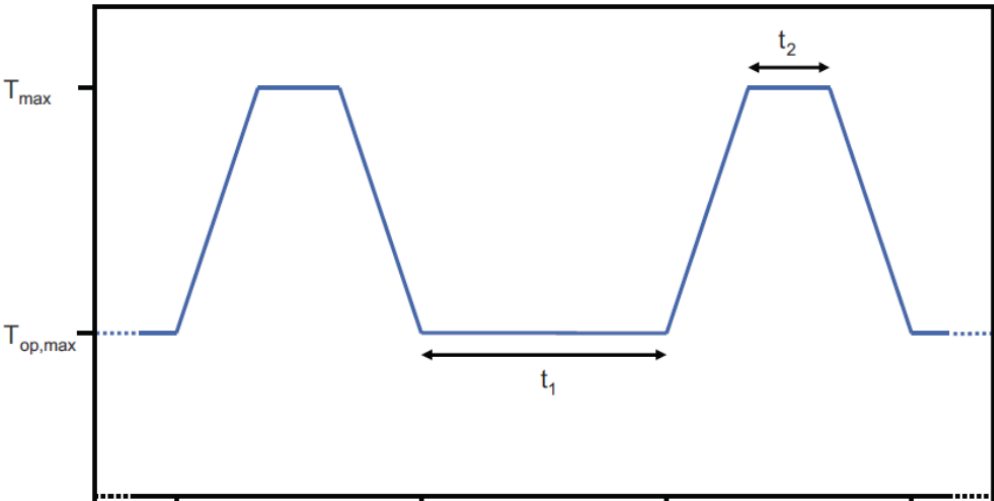


图21 在高温下性能降低试验曲线图

5.6.2 温度循环耐久

温度循环耐久寿命试验的测试持续时间的计算是基于HUD在现场的平均温度变化和在现场使用期间的温度循环次数来决定的。场地平均温差为36℃，10年内热循环为7300个周期，依据科芬-曼森模型进行计算后温度循环耐久试验方法见表10。

表10 温度循环耐久试验方法

工作模式	3.1和3.4交替进行（按照ISO 16750-1:2023中的5工作模式定义）
最低测试温度	$T_{min}=-40^{\circ}\text{C}$
最高测试温度	$T_{max}=85^{\circ}\text{C}$
在 T_{min} 和 T_{max} 的停留时间	40min
温变速率	$4^{\circ}\text{C}/\text{min}$
循环次数	325（总时长772h）
测试曲线	见错误!未找到引用源。

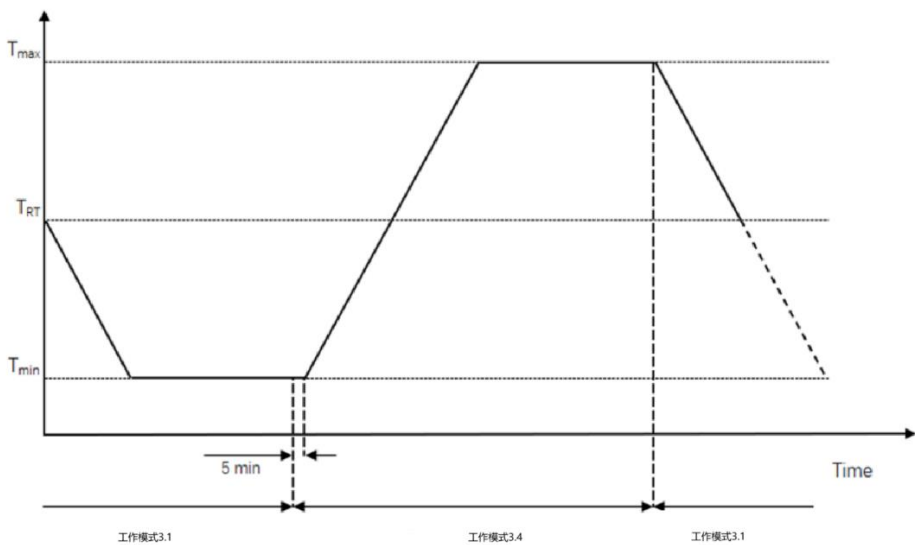


图22 温度循环耐久试验曲线图

5.6.3 上下电耐久

上下电耐久方法见11和表12。

表11 上下电耐久试验方法

工作模式	3.1 和 3.2 交替进行（按照 ISO 16750-1:2023 中的 5 工作模式定义）
样品状态	每次上下电后样品必须达到对应的稳定状态才可以开始进行下一个循环。曲面镜必须完成一次关闭和打开动作。
循环数	54000（通过通信总线休眠/唤醒DUT）
说明	试验过程中的温度和电压组合参见错误!未找到引用源。。

表12 上下电耐久试验的温度和电压组合

温度	温度比例	电压	比例	周期数
23℃	70%	9V	1/3	12600
		14V	1/3	12600
		16V	1/3	12600
85℃	20%	9V	1/3	3600
		14V	1/3	3600
		16V	1/3	3600

-40℃	10%	9V	1/3	1800
		14V	1/3	1800
		16V	1/3	1800

5.7 化学负荷

5.7.1 耐试剂稳定性

按照ISO 16750-5:2023进行试验。化学试剂做DC内饰清洗剂，DD玻璃清洗剂，DJ含氨清洗剂，DK工业酒精，EC化妆品，ED饮料，EF速溶咖啡，YY附加试剂。

5.8 电气负荷

5.8.1 直流供电电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.2.2进行试验。

5.8.2 长时间过电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.3.1.1.2进行试验。

5.8.3 跳跃启动

按照ISO 16750-2:2023中的4.3.1.2.2进行试验。

5.8.4 瞬时过电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.3.2.2进行试验。

5.8.5 叠加交流电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.4.2进行试验。

5.8.6 供电电压的缓降和缓升

按照ISO 16750-2:2023中的4.5.2进行试验。

5.8.7 供电电压瞬时下降

按照ISO 16750-2:2023中的4.6.1.1.2进行试验。

5.8.8 供电电压微中断

按照ISO 16750-2:2023中的4.6.1.2.2进行试验。

5.8.9 复位特性

按照ISO 16750-2:2023中的4.6.2.2进行试验。

5.8.10 启动特性

按照ISO 16750-2:2023中的4.6.3.2进行试验。

5.8.11 抛负载

按照ISO 16750-2:2023中的4.6.4.2进行试验。

5.8.12 反向电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.7.2进行试验。

5.8.13 参考接地和供电偏移

按照ISO 16750-2:2023中的4.8.2进行试验。

5.8.14 开路试验

按照ISO 16750-2:2023中的4.9.1.2和4.9.1.3和4.9.2.2进行试验。

5.8.15 短路保护

按照ISO 16750-2:2023中的4.10.2.1进行试验。

5.8.16 耐电压

按照ISO 16750-2:2023中的4.11.2进行试验。

5.8.17 绝缘电阻

按照ISO 16750-2:2023中的4.12.2进行试验。

5.8.18 静态电流

工作模式为休眠模式, DUT在每个温度工况下 ($T_{\max}$ 、 T_{RT} 、 $T_{\min}$) 至少需要保持2h进行静态电流数据采集。

5.9 电磁兼容

5.9.1 辐射发射(RE)

按照CISPR 25:2016中的6.5进行试验。

5.9.2 传导发射(CE)

按照CISPR 25:2016中的6.3和6.4进行试验。

5.9.3 瞬态传导发射 (CTE)

按照ISO 7637-2:2011中的4.3进行试验。

5.9.4 磁场发射(近场)

按照GJB 151B-2013中的5.19.3进行试验。测试中将近场磁场探头置于距被测样件表面或线束70 mm处,并使探头的平面平行于被测样件表面或平行于线束的轴线

5.9.5 零部件人体电磁暴露测试 (EMF)

按照GB/T 37130-2018中的6.1.2进行试验。

探头应该与样品表面直接接触, DUT 的所有面均应被测量, 结果应记录在测试报告中。

5.9.6 大电流注入法 (BCI)

按照ISO 11452-4:2020中的8.6.1.1进行试验,测试等级按照Level III执行。

5.9.7 电波暗室法 (RI)

按照ISO 11452-2:2019中的9.3.2进行试验,测试等级按照Level III执行。

5.9.8 磁场抗扰度 (MFI)

按照ISO 11452-8:2015中的8.3.1进行试验,测试等级按照Level III执行。

5.9.9 手持发射机抗扰度（PT）

按照ISO 11452-9:2012中的8.3.2进行试验，天线到DUT之间距离为50mm，测试等级按照附录表A.1执行。

5.9.10 电源线瞬态传导抗扰度

按照ISO 7637-2:2011中的4.4进行试验。

5.9.11 信号线瞬态耦合抗扰度

按照ISO 7637-3:2016中的第4章节进行试验。

5.9.12 静电放电（ESD）

按照ISO 10605:2023中的第8和9章节进行试验。

6 检验规则

6.1 检验的类别

抬头显示器的检验类型分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

6.2.1 每套抬头显示器必须经检验合格后方能出厂，并附有产品合格证或标记。

6.2.2 出厂检测项目

出厂检测项目需要满足**错误!未找到引用源。**光学特性要求；

6.2.3 出厂检验抽样方案

按照GB/T 2828.1的有关规定试验，采用一次正常抽样，一般水平为II，接收质量限（AQL）为1.0。

6.3 型式检验

6.3.1 在下列情况之一抬头显示器应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，设计、工艺、材料有较大改变而可能影响产品性能时；
- c) 正常生产每二年不少于一次；
- d) 停产一年以上，恢复生产时；
- e) 出厂试验结果与上次型式试验结果有较大差异时；
- f) 质量部门提出型式试验的要求时。

6.3.2 进行型式检验的抬头显示器应从经出厂检验合格的同一批抬头显示器中抽取，每组试验不少于3个样本。

先按出厂检验项目进行复验，复验合格将其等分成4组进行，每组的检验项目及顺序见表13。

6.3.3 抬头显示器的型式检验必须全部符合规定的要求，如有一个项目不合格时，允许重新抽取加倍数量的抬头显示器就该不合格项目进行复查，如仍有不合格时，判该型式检验不合格。寿命试验不合格时，不得重新加倍抽取。

表13 分组检验项目

组别	试验顺序	检验项目	技术要求	试验方法
第一组 (3件)	1	外观	4.1.1	/
	2	光学性能	4.4.13	5.3.2.13
			4.4.15	5.3.2.15
			4.4.17	5.3.2.17
	3	高温储存	4.5.3	5.4.3
	4	低温工作	4.5.2	5.4.2
	5	高温工作	4.5.4	5.4.4
	6	温度梯度	4.5.5	5.4.5
	7	温度冲击	4.5.7	5.4.7
	8	温度循环随机振动	4.6.1	5.5.1
第二组 (3件)	9	湿热循环	4.5.9	5.4.9
	10	光学性能	4.4.13	5.3.2.13
			4.4.15	5.3.2.15
			4.4.17	5.3.2.17
	1	外观	4.1.1	/
第三组 (3件)	2	光学性能	4.4.13	5.3.2.13
			4.4.15	5.3.2.15
			4.4.17	5.3.2.17
	3	稳态湿热	4.5.10	5.4.10
第四组 (3件)	4	光学性能	4.4.13	5.3.2.13
			4.4.15	5.3.2.15
			4.4.17	5.3.2.17
第五组 (3件)	1	噪声测试	4.3	5.2
第六组 (3件)	1	上下电耐久	4.7.3	5.6.3

7 标志、包装、运输及储存

7.1 标志

抬头显示器应具有标识，并符合GB/T 191的规定。

7.2 包装

- 7.2.1 包装储运图示应符合 GB/T 191 的规定。
- 7.2.2 包装箱的外表面应有标志或标签，一般应包括：产品型号、产品名称、图号、执行标准、规格、数量、箱体尺寸（长、宽、高）、净重和毛重、装箱年月、收货单位及地址、生产厂家厂名、厂标及供应商编码。
- 7.2.3 包装箱应牢固，产品在箱内不应窜动，产品携带之备件应装载同意向内。随同产品装箱的技术文件：装箱单、产品出厂合格证。

7.3 运输及贮存

抬头显示器在运输及贮存过程中，应避免受潮、腐蚀、重压、碰撞、不得接触酸、碱等腐蚀物质和有机溶剂。

抬头显示器贮存期为两年（从制造厂入库算起），在贮存期满两年时，抬头显示器仍应符合本标准的规定。