

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXXX—XXXX

汽车 HUD 自由曲面镜技术要求及试验方法

Automotive HUD freeform mirror technical requirements and test methods

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国中小商业企业协会 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 一般要求 2

5 技术要求 4

6 检验方法 4

7 检验 7

8 标志、包装、运输、贮存 8

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××××提出。

本文件由中国中小商业企业协会归口。

本文件起草单位：××××、××××、××××。

本文件主要起草人：××××、××××、××××。

汽车 HUD 自由曲面镜技术要求及试验方法

1 范围

本文件规定了汽车抬头显示器（HUD）自由曲面镜的一般要求、技术要求、检验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存。

本文件适用于汽车HUD自由曲面镜的生产制造。

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 1185—2006 光学零件表面疵病
- 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 2831—2009 光学零件的面形偏差
- GB/T 3505 产品几何技术规范 表面结构 轮廓法 表面结构的术语、定义及参数
- GB/T 6682—2008 分析实验室用水规格和试验方法
- GB 8410—2006 汽车内饰材料的燃烧特性
- GB/T 9286—2021 色漆和清漆 划格试验
- GB/T 10610—2009 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 评定表面结构的规则和方法
- GB/T 13966—2013 分析仪器术语
- GB/T 18777 产品几何量技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 相位修正滤波器的计量特性
- GB/T 24067—2024 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南
- GB/T 28046.4—2011 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
- GB/T 28046.5—2013 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
- GB/T 30512—2014 汽车禁用物质要求
- 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 40726—2021 橡胶或塑料涂覆织物 汽车内饰材料雾化性能的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

自由曲面镜 free-form mirror

设计上采用非球面、非旋转对称或任意曲率分布的反射元件，用于实现精确的光束整形和波前校正。

3.2

抬头显示器 head-up display

安装于汽车驾驶舱内的光学显示系统，通过投射图像、符号或文字至驾驶员前方的透明介质（如前风挡玻璃或专用显示屏）上，实时显示车辆行驶信息、导航和告警信息等，确保驾驶员在不移开视线的情况下获取驾驶及车辆状况关键信息。

3.3

表面粗糙度 surface roughness

镜面微观尺度上因加工等原因产生的不规则性，通常采用 R_a 或 R_q 值表征。表面粗糙度对散射、反射效率以及光学成像质量具有显著影响，其要求应参照相应的国家标准。

3.4

面形误差（PV值） peak to valley surface form error

自由曲面镜实际加工得到的曲面与设计曲面之间的几何偏差，反映在局部或整体形貌上的误差。面形误差是控制像差和畸变的重要指标，其公差范围应依据具体光学系统要求制定。

3.5

反射率 reflectivity

镜面对入射光的反射能力，通常以百分比表示。高反射率对于提升HUD系统的显示亮度和对比度至关重要，相关要求应符合现行的光学反射标准。

3.6

制造公差 manufacturing tolerance

自由曲面镜在加工制造过程中允许的尺寸、形状和光学参数偏差范围。明确制造公差有助于确保批量生产产品的性能一致性，其要求应参照相关国家标准制定。

3.7

自由曲面设计参数 free-form surface design parameters

包括描述自由曲面形状的数学表达式（如多项式、Zernike多项式等）及相关设计约束条件，这些参数为后续加工、检测及误差分析提供理论依据。

3.8

光学系统整合 optical system integration

将自由曲面镜与HUD系统内其他光学元件（如投影模组、透明显示介质、校准板等）进行整体设计、匹配和集成的过程，确保整体系统的成像质量和稳定性。

3.9

自由曲面镜加工精度 freeform mirror processing accuracy

自由曲面镜在加工过程中达到的形状精度和微观表面误差，包括面形误差、波前误差等，是评估镜面质量的关键指标。

3.10

自由曲面镜环境适应性 environmental stability of free-form mirror

自由曲面镜在实际工作环境（如温度、湿度、振动、冲击等）下保持其光学性能和几何形态稳定的能力。此项要求确保产品在长期使用和恶劣环境下仍能满足设计指标。

3.11

PV 面型误差分布对称性 PV distribution symmetry

指物体表面形状相对于某一基准（如轴线、平面或中心点）的对称程度，实际面型误差（如起伏、偏差）相对于基准的分布是否对称，与几何对称性不同，侧重误差的统计特征。

3.12

斜率误差 slope error

实际表面各点的法向量（或切线斜率）与理想设计值的偏差，本质是面型梯度的局部偏差。

3.13

区率误差 curvature error

实际表面各局部区域的光学曲面实际曲率半径与设计（理论）曲率半径之间的偏差。如果曲率误差太大，会导致光学系统的焦距偏移、成像畸变、模糊、杂散光等问题。

3.14

高通滤波 high pass

一种允许高频信号通过、抑制低频信号的处理技术，其核心作用是提取信号中的细节变化或局部特征。在光学与面型误差分析中，高通滤波主要用于提取面型的高频波动（如加工痕迹、微结构偏差），与低频趋势（如整体弯曲）分离。

4 一般要求

4.1 总体描述

4.1.1 HUD 自由曲面镜应符合本技术条件的要求，并按按照经规定程序批准的图样及设计文件制造。其设计应满足光学成像优化、图像均匀性和扩展视场角等系统总体要求。

4.1.2 本标准适用于汽车 HUD 系统所使用的自由曲面镜，从设计、制造、检测、实验、安装均应符合

合本标准规定，并应按照经规定程序批准的图样及设计文件制造。

4.2 温度范围

4.2.1 工作温度范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.2 贮存温度范围为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 产品结构与设计原则

4.3.1 自由曲面镜的设计应基于成熟的光学设计理论（例如采用多项式或 Zernike 多项式描述），确保实现预定的波前校正和像差控制。

4.3.2 产品设计须考虑与 HUD 其他光学元件（如投影模组、透明显示介质等）的匹配，保证整体系统光路稳定、成像准确。

4.3.3 设计过程中应确定合理的制造公差和允许偏差范围，确保批量生产时产品性能的一致性。

4.4 材料与表面处理要求

4.4.1 自由曲面镜所用基材应具有良好的热稳定性和机械强度，同时满足轻量化和耐腐蚀要求。

4.4.2 镜面表面处理应确保高反射率、低表面粗糙度和低散射，同时满足相应的国家标准要求。

4.5 制造工艺及质量控制要求

4.5.1 规定关键加工工序（初加工、精加工、抛光、涂层等）须采用先进的数控及检测设备，确保产品达到设计形状和光学性能要求。

4.5.2 建立完整的过程控制和质量检测体系，关键指标（如波前误差、面形误差、反射率等）应在制造和出厂前进行抽检或全检，确保产品的一致性和稳定性。检验项目包括：

- a) PV：按 6.2.1 试验，应满足供需方协商一致的指标要求；
- b) 粗糙度：按 6.2.2 试验，应满足供需方协商一致的指标要求；
- c) 斜率误差：按 6.2.3 试验，应满足供需方协商一致的指标要求；
- d) 高通滤波：按 6.2.4 试验，应满足供需方协商一致的指标要求；
- e) 反射率：按 6.2.5 试验，应满足供需方协商一致的指标要求；
- f) 附着力：按 6.2.6 试验，试验后等级 ≤ 1 级；
- g) 水煮测试：按 6.2.7 试验，实验后满足外观要求。

注：曲面镜为光学外观件，能透过HUD防尘膜看到HUD的轮廓。具体要求以与需方协商一致的外观质量标准为准。对表面的样式和点线团类的瑕疵缺陷状态进行定义。

4.6 环境适应性与耐久性要求

4.6.1 气候负荷

4.6.1.1 低温储存

按照6.3.1的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.1.2 高温储存

按照6.3.2的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.1.3 温度循环

按照6.3.3的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.1.4 温度冲击

按照6.3.4的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.1.5 盐雾试验

按照6.3.5的规定进行试验，不得有任何可能损害正常性能的变化。

4.6.1.6 湿热循环

按照6.3.6的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求

4.6.1.7 恒定湿热

按照6.3.7的规定进行试验，实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.1.8 氙灯老化

按照6.3.8的规定进行试验，试验后灰标等级：大于等于4级，试样表面无龟裂、粉化、发粘、斑点、

4.6.1.9 高温耐久

按照6.4.1的规定进行试验。实验后满足外观、附着力、反射率要求。

4.6.2 化学负荷

4.6.3 耐试剂稳定性

按照6.5.1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。

4.6.3.1 气味性

按照6.5.2的规定进行试验，满足限值小于等于3.3级。

4.6.3.2 雾化性

按照6.5.3的规定进行试验，满足限值小于等于3 mg。

4.6.3.3 阻燃性

按照6.5.4的规定进行试验，燃烧速度小于等于100 mm/min。

4.6.3.4 禁用、限用物质

按照6.5.5的规定进行试验，满足GB/T 30512—2014中4.2的限制要求。

5 技术要求

汽车HUD自由曲面镜光学参数应符合表1的要求。

表1 HUD 自由曲面镜技术要求

技术要求	指标参数
外观	80/50
外形尺寸	参照图纸
表面粗糙度	<5 nm 按5.1.2试验，应满足供需方协商一致的指标要求。
镜面面型精度(μm)	X<200 PV<60 μm X<250 PV<75 μm X<300 PV<90 μm X<350 PV<120 μm X<400 PV<150 μm 按5.1.1试验，应满足供需方协商一致的指标要求
反射率	>85% @420~680 nm 按5.1.5试验，应满足供需方协商一致的指标要求。
斜率误差(mrad)	X<200 PV<1.2 mrad X<250 PV<1.6 mrad X<300 PV<2 mrad X<350 PV<2.5 mrad X<400 PV<3 mrad 按5.1.3试验，应满足供需方协商一致的指标要求。
曲率误差	
高通滤波(highpass)	X, Y max PV<0.5 μm

技术要求	指标参数
	按5.1.4试验，应满足供需方协商一致的指标要求。
镀膜附着力	按5.1.6试验，试验后等级 ≤ 1 级。

6 检验方法

6.1 外观

检验要求包括但不限于：

- 环境光照度在（800~1500）Lx；
- 目测距离（30~40）cm、（19~90）° 角度范围内旋转观察、检查人员视力不低于 1.0，且视觉正常；
- 不可有色盲、斜视、散光。

注：以上条件下不可见的缺陷均判为合格。

6.2 基本性能测试

6.2.1 PV 测试

按照GB/T 10610—2009的规定进行测试。

6.2.2 粗糙度

6.2.2.1 接触式测量按照 GB/T 3505 的规定进行测试。

6.2.2.2 非接触式测量按照 GB/T 1185—2006 的规定进行测试。

6.2.3 斜率误差

采用GB/T 2831—2009中规定的检查方法。

6.2.4 高通滤波

采用GB/T 18777—2002中规定的检查方法。

6.2.5 反射率

采用GB/T 13966—2013中规定的检查方法。

6.2.6 附着力

采用GB/T 9286—2021单刃刀具手工切割，切透至样板底材，划痕间隔2 mm，确保3M600胶带与涂层接触良好，以接近60 ° 角在0.5 s~1.0 s内平稳撕离胶带进行观察。

6.2.7 水煮

试验用水应符合GB/T 6682中 II 级水的标准，水温应维持在100 ℃，放入样品开始测试，保持8 h。

6.3 气候负荷

6.3.1 低温储存

按照GB/T 28046.4—2011中5.1.1规定的方法试验，实验时间：48 h。

6.3.2 高温储存

按照GB/T 28046.4—2011中5.1.2规定的方法试验，实验时间：48 h。

6.3.3 温度循环

按照GB/T 28046.4—2011中5.3.1.2规定的方法试验。

6.3.4 温度冲击

按照GB/T 28046.4—2011中5.3.2.2规定的方法试验， T_{max} 、 T_{min} 各保持30 min、实验时间100 h。

6.3.5 盐雾试验

按照GB/T 28046.4—2011中5.5.1.2规定的方法试验，实验时间：96 h。

6.3.6 湿热循环

按照GB/T 28046.4—2011中5.6规定的方法试验，实验时间：240 h。

6.3.7 恒定湿热

按照GB/T 28046.4—2011中5.7.2规定的方法试验。

6.3.8 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2134 Kj/m^2 ，试验时间624 h。

6.4 寿命试验

6.4.1 高温耐久

HUD在 T_{op} 环境下会降低LCD的背光，依据高温下性能降低的Arrhenius模型，设定HUD工作时间为8000 h， $E_a=0.7 \text{ eV}$ ，温度集中分布如表3。计算后的高温耐久寿命试验方法见表2。

表 2 高温耐久试验方法

工作模式	1.1
测试时长	1596 h
测试温度	$T_{op,max}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $T_{max}=85\text{ }^{\circ}\text{C}$
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	1596 h
测试曲线	见图1

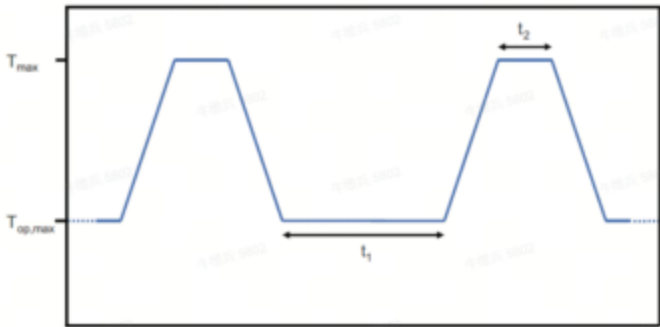


图 1 在高温下性能降低试验曲线图

表 3 温度分布

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	分布 (%)
-40	2
10	8
23	14
40	60

65	9
75	6
80	1

6.4.2 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4。

表 4 温度循环耐久试验方法

工作模式	1.1
最低测试温度	$T_{min} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$
最高测试温度	$T_{max} = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$
在 T_{min} 和 T_{max} 的停留时间	40 min
温变速率	4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$
循环次数	325 (总时长772 h)
测试曲线	见图x

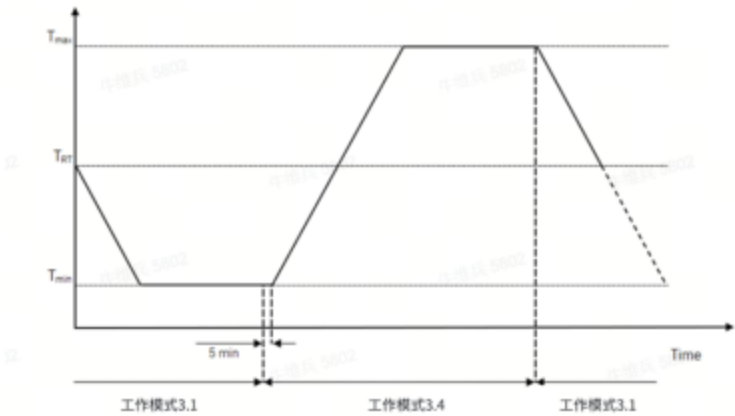


图 2 温度循环耐久试验曲线图

6.5 化学负荷

6.5.1 耐试剂稳定性

按照GB/T 28046.5的规定进行试验。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。

6.5.2 气味性

按照GB/T 24067—2024中的要求进行试验。

6.5.3 雾化性

按照GB/T 40726—2021中的要求进行试验。

6.5.4 阻燃性

按照GB 8410—2006中的要求进行试验。

6.5.5 禁用、限用物质

按照GB/T 30512—2014中要求进行试验。

7 检验规则

7.1 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。

7.2 出厂检验

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

7.2.2 出厂检测项目需要满足 4.4、4.5 光学特性要求。

7.2.3 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。

7.3 型式检验

7.3.1 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剂定型鉴定；
- 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。

7.3.2 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 8 组进行，每组的检验项目及顺序见表 5。

7.3.3 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 5 分组检验项目

组别	试验顺序	检验项目
第一组 (3件)	1	高温存储
	2	温度循环
	3	温度冲击
	8	低温贮存
第二组 (按需)	1	耐试剂稳定性
	2	盐雾试验
第三组 (3件)	1	恒定湿热
第四组 (6件)	1	高温耐久试验
第五组 (6件)	1	温度循环耐久试验
其他 (1~5件)	1	氙灯老化
	2	气味性
	3	雾化性
	4	阻燃性
	5	禁用、限用物质

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

包装箱上应清晰、准确地标明产品的相关信息，如产品名称、规格型号、数量、批次、生产日期、生产厂家等，且标识不得涂改，确保与实物一致，以便于识别、追溯和管理。

8.2 包装

8.2.1 内包装

一般采用柔软、洁净且防静电的材料，如专用的光学镜片保护膜、电容纸等，将镜片单独包裹，防止镜片表面被划伤、弄脏或受到静电损害。

8.2.2 中层包装

可使用定制的海绵、泡沫塑料或吸塑包装体，其应设计有与镜片形状和尺寸相匹配的凹槽，使镜片能够紧密地嵌入其中，起到固定和缓冲的作用，避免在运输过程中发生晃动和碰撞。

8.2.3 外包装

通常选用坚固的纸箱，如双瓦楞纸箱，以提供足够的抗压和抗震能力。也可根据需要在纸箱内添加珍珠棉等缓冲材料，进一步增强对镜片的保护。

8.3 运输

8.3.1 轻拿轻放

装卸过程中要严格做到轻拿轻放，严禁扔、抛、摔等粗暴行为。放置镜片包装时要平稳，避免倾倒或碰撞其他物品。

8.3.2 短途运输

可选择厢式货车，能较好地保护镜片免受外界环境影响，且便于在城市道路中行驶和停靠。

8.3.3 长途运输

如果对运输时间要求较高，可采用航空运输，其运输速度快，能减少镜片在运输过程中的时间，降低受损风险；若考虑成本因素，铁路运输也是不错的选择，其运输稳定性较好，能提供相对平稳的运输环境。

8.4 贮存

8.4.1 温度

一般建议存储温度控制在23℃左右。但不同材质和镀膜的镜片可能有不同要求，例如某些特殊镜片的存储温度可能在-20℃至40℃之间，具体需按照产品说明书执行。同时要避免温度急剧变化，以防镜片因热胀冷缩而损坏。

8.4.2 湿度

相对湿度通常保持在40%以下。湿度过高容易导致镜片发霉、脱膜，湿度过低则可能使镜片干裂。可使用干燥剂来控制存储环境的湿度。

8.4.3 通风与清洁

存储仓库应具备良好的通风系统，保证空气流通，防止异味和有害气体积聚。同时，仓库门窗要密封良好，防止灰尘进入，影响镜片质量。

8.5 摆放要求

8.5.1 分类存放

按照镜片的品种、规格、批次等因素进行分类，划分不同的存储区域，并设置明显的标识牌，以便于查找和管理。对于有特殊存储要求的镜片，如易氧化、怕光的镜片，应单独存放，并采取相应的防护措施，如使用遮光罩或放置在避光的容器中。

8.5.2 先进先出

确保先入库的镜片先发出，减少库存积压和过期风险。在每个货位上设置库存标识牌，标明镜片的品种、规格、数量、批次、入库日期等信息，方便管理和监控库存。
