

团 体 标 准

T/ZQB XXX—XXXX

增强现实型抬头显示系统人机交互 设计指南

Human-machine interaction design guide for augmented reality head-up display
system

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国汽车保修设备行业协会 发布

目 次

前 言..... II

引 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总体原则..... 3

5 AR-HUD 系统人机交互设计原则..... 3

参考文献..... 16

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》与GB/T20001.7—2017《标准管理体系 第七部分 指南标准》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。

本文件由中国汽车保修设备行业协会运输装备专业委员会提出。

本文件由中国汽车保修设备行业协会归口。

本标准起草单位：中国汽车工程研究院股份有限公司、北京工业大学、交通运输部公路科学研究院、北京梧桐车联科技有限责任公司、长安汽车股份有限公司、吉利控股集团有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、东软集团梅赛德斯-奔驰（中国）投资有限公司。

本标准主要起草人：曾梦瑾、赵晓华、边扬、陈晨、唐秋阳、刘璐、李辉、程泽辉、肖华飞、王颖杰、张兵兵、林裕佳、孙然、汤轲、向华、苏雅婷、邓平平。

本文件为首次发布。

引 言

在智能座舱技术快速发展的背景下，增强现实型抬头显示（AR-HUD）作为提升驾驶安全性和用户体验的重要组成部分，逐渐成为汽车行业创新的焦点。为了有效指导AR-HUD的设计与应用，确保其能够在不同车型和驾驶场景下实现最佳的功能性、易用性和安全性，制定一套系统性、规范化的设计指南至关重要。

本指南的编制旨在为AR-HUD系统的设计提供全面的方向性指导，涵盖视觉设计、动态设计和系统集成等多个方面，帮助设计人员在满足技术要求的同时，注重用户体验的优化。与传统的汽车显示系统不同，AR-HUD不仅要求显示内容的清晰性和准确性，还需要在动态信息的展示、实时响应的稳定性以及驾驶员的认知负担控制等方面，提供更为精确的设计准则。

本指南依据国内外标准化的相关规定，结合AR-HUD技术发展的最新动态和实际应用需求，旨在为相关技术开发人员、设计人员以及测试人员提供具体的设计框架和操作规范。通过标准化设计和测试流程的实施，确保AR-HUD系统能够在各种复杂的驾驶环境中有效运作，提高驾驶的安全性、舒适性和用户体验。

作为对AR-HUD设计与应用的基础性规范，本指南的实施将为未来智能座舱系统的优化、升级以及广泛应用奠定坚实的基础，为智能驾驶技术的普及与发展贡献力量。

增强现实型抬头显示系统人机交互设计指南

1 范围

本部分提供了增强现实抬头显示（AR-HUD）系统人机交互（以下简称“系统”）设计方面的指导和建议。给出了增强现实抬头显示（AR-HUD）系统人机交互中视觉设计、动态设计阶段中需考虑要点有关的信息。

本文件适用于增强现实抬头显示系统人机交互的界面设计、设计评估，其他AR-HUD系统可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的参考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 5768.2-2022 道路交通标志和标线 第2部分：道路交通标志

ISO 15008:2017 道路车辆 交通信息和控制系统的人类工效学方面. 车内视觉呈现规范和测试程序 (Road vehicles — Ergonomic aspects of transport information and control systems — Specifications and test procedures for in-vehicle visual presentation)

SAE J2400 前方碰撞预警系统中的人为因素：操作特性和用户界面要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

成像介质 imaging medium

抬头显示系统清晰成像所需的光学载体，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。

3.2

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。

3.3

增强现实型抬头显示系统 augmented reality head-up display system

成像介质为前风窗玻璃，不需要自带成像介质，并结合增强现实技术建立实际环境与虚像之间的映射关系，使驾驶员看到的是与实际环境相结合后图像的抬头显示系统。

注：增强现实式抬头显示系统是风挡式抬头显示系统的一种类型。

3.4

显著信息 salient information

重要的、时间相关的，需要吸引驾驶员的注意力的信息。例如，紧急警告、碰撞预警等。

3.5

非显著信息 non-salient information

不紧急、不与时间相关的信息，不会干扰驾驶任务，驾驶员无需立即关注。例如，天气信息、多媒体信息、车辆状态、驾驶员的日程安排提示、个人消息。

3.6

认知负荷 cognitive load

驾驶员在使用系统时所需的认知资源和注意力程度。

3.7

视觉疲劳 visual fatigue

由于长期注视显示屏导致驾驶员眼睛产生的不适和疲劳感。

3.8

连续可用信息 continuously available information

传达静态状态的信息，驾驶员可以在需要时自主访问，这些信息持续存在且不具有时效性。例如，车速显示、导航地图等。

3.9

临时发布信息 temporarily released information

传达与时间相关的信息，需要驾驶员在特定的时间段内采取行动。这类信息有明确的开始时间和可能的结束时间。例如，弯道预警、红绿灯倒计时等。

3.10

驾驶相关信息 Driving-related information

驾驶相关信息是指与驾驶员当前驾驶行为、环境以及车辆控制等直接相关的信息。这些信息通常具有时效性、紧急性，并且对驾驶安全至关重要。驾驶员需要根据这些信息迅速做出反应。

3.11

非驾驶相关信息 Non-driving related information

非驾驶相关信息是指与驾驶员当前的驾驶行为或车辆状态没有直接关联的信息，这些信息可能会影响驾驶员的舒适性、娱乐需求或其他次要任务。通常，这些信息不会立即影响驾驶员的反应或决策，因此显示的优先级较低。

4 总体原则

系统设计总体原则如下：

- a) 在设计过程中，应优先考虑AR-HUD的准确性、直观性、无干扰性等特性，以确保驾驶员能够获得及时、精准的反馈。
- b) 准确性：虚拟道路指示图标与现实道路结合，指向准确；
- c) 直观性：驾驶相关信息优先呈现，重要信息应在驾驶员视线中心附近，减少头部和眼睛的移动，确保驾驶员能迅速获取关键数据。界面设计应简洁明了，避免信息过载，减少驾驶员的认知负荷；
- d) 无干扰性：信息显示应避免出现干扰驾驶员的视线和注意力的内容；
- e) 可预见性：显示车辆的下一步操作，帮助驾驶员更好地准备和反应，提升车辆与驾驶员之间的信任；
- f) 自适应性：根据驾驶条件（速度、驾驶模式、光线等）动态调整显示信息的内容和方式。
- g) 一致性：信息字体、符号、同类元素的颜色、提示方式保持一致，避免增加驾驶员认知负荷。
- h) 高可见性：界面文字和图标需具有高对比度，在各种光照条件下清晰可读。
- i) 实时性：驾驶信息、动态提示信息需实时更新显示，确保驾驶员始终掌握最新的驾驶环境数据。
- 个性化：界面应允许驾驶员根据个人偏好调整显示信息，提高使用满意度。

5 AR-HUD 系统人机交互设计原则

5.1 设计理念

AR-HUD系统人机交互的设计包含视觉设计、动态设计与系统集成三个方面，围绕安全与体验，确保AR-HUD系统在设计上以安全和体验为核心，为驾驶者提供安全、高效、便捷的用户体验。同时，设计师及相关工作者宜结合实际驾驶环境和任务需求，灵活运用各种设计原则，提升AR-HUD的整体设计质量与实用性。

5.2 视觉设计原则

5.2.1 视觉设计总体原则

视觉设计涉及信息重要度区分、信息显示的字体、颜色、符号选择和布局，确保驾驶员能快速获取重要信息，信息易于阅读且不干扰驾驶视线，提高驾驶员的视觉舒适度。建议设计师通过控制以上要素，进行合理的视觉设计，确保信息传递准确性、直观性、无干扰性及一致性，减少视觉疲劳和认读负荷。

5.2.2 视觉信息的类型和重要性

5.2.2.1 设计目的

AR-HUD系统中的视觉信息种类繁多，每种信息的重要性和优先级也有所不同。合理区分信息的类型和重要性，可以帮助驾驶员快速获取关键数据，减少信息过载，确保信息传递准确性、直观性。设计师应通过合理的视觉信息分类和优先级设置，确保重要信息优先呈现，不被其他信息干扰，减少驾驶员的认知负荷与视觉疲劳。

5.2.2.2 设计原则

5.2.2.2.1 按照信息的功能性划分，视觉信息可分为车辆状态信息、安全预警信息、导航提示信息和

通讯娱乐信息。建议设计师参考以下信息分类形式进行布局设计：

- a) 车辆状态信息：主要包括转速显示、剩余油量/里程、系统异常状态、档位信息、行程信息、胎压信息。
- b) 安全预警信息：主要包括当前道路限速、特殊路况/道路信息（急转弯/施工区等）、车辆/行人/非机动车/障碍物预警、安全车距提示、用户警示信息（疲劳/分心预警）、车道偏离提示、超车辅助提示。
- c) 导航提示信息：主要包括行驶方向、距离信息、变道提示、转向/掉头提示、道路名称、到达目的地时间、所在车道、转向提示。
- d) 通讯娱乐信息：主要包括通讯信息、音乐信息。

5.2.2.2.2 视觉信息的优先级如下：

- a) 临时发布信息宜优先连续可用信息显示；
- b) 显著信息宜优先非显著信息显示；
- c) 非显著信息宜在次要位置展示，或在不影响显著信息显示的情况下提供；
- d) 与驾驶情况相关信息优先于非驾驶相关信息的呈现。
- e) 限制使用值不断变化(指频繁变化、会不断刷新或者更新速度过快的视觉信息，例如显示地图信息、3D道路环境渲染动画)或与道路标志信息冗余的符号、文字或指示符。

常用信息属性如表1，设计师可参考每个常用信息的属性进行合理的布局设计。

表 1 常用信息属性

信息类型		连续可用 信息	临时发布 信息	显著信息	非显著信息	驾驶相关 信息	非驾驶相关 信息
车辆状态 信息	转速显示	✓		✓		✓	
	剩余油量/里程	✓		✓		✓	
	系统异常状态		✓	✓		✓	
	档位信息	✓		✓		✓	
	行程信息	✓			✓	✓	
	胎压信息	✓			✓	✓	
安全预警 信息	道路限速		✓	✓		✓	
	特殊路况/道路 信息		✓	✓		✓	
	车辆/行人/非 机动车/障碍物 预警		✓	✓		✓	
	安全车距提示		✓	✓		✓	
	用户警示信息 （疲劳/分心预 警）		✓	✓		✓	
	车道偏离提示		✓	✓		✓	
	超车辅助提示		✓	✓		✓	
导航提示 信息	行驶方向	✓		✓		✓	
	距离信息	✓		✓		✓	
	变道提示		✓	✓		✓	
	转向/掉头提示		✓	✓		✓	

	道路名称	✓			✓	✓	
	到达目的地时间	✓			✓	✓	
	所在车道	✓			✓	✓	
	转向提示		✓	✓		✓	
通讯娱乐信息	通讯信息		✓		✓		✓
	音乐信息	✓			✓		✓

5.2.2.2.3 当同时所需信息的显示数量超过最佳数量限制时，应遵循优先显示高重要度权重信息的原则。即对重要度排序最高的 1-3 个类别提示信息（参考 5.3.2.2.1、5.3.2.2.2）进行突出显示，可采用更高的亮度、颜色对比或字体大小等方式，使其在视觉上更加醒目。同时，适当降低低重要度信息的显示亮度，以减少视觉干扰，确保在高信息量显示的情况下驾驶员能够快速、准确地获取关键信息，避免视觉认知负荷过载。

5.2.3 信息布局

5.2.3.1 设计目的

在AR-HUD系统中，信息显示的位置和视野的覆盖范围直接影响驾驶员对信息的获取速度和准确性。合理设计信息的显示位置和视野覆盖范围，可以提高驾驶员对信息的可预见性、注意力集中度和反应速度。设计师宜通过优化信息的显示位置和视野覆盖范围，确保重要信息始终在驾驶员的视线中心或附近，减少无关信息的干扰头与部和眼睛的移动，提高信息获取的效率和准确性。

5.2.3.2 设计原则

5.3.3.2.1 HUD 位置及其显示信息要求如下：

- a) 通过HUD呈现的信息在HUD内可以解释，并且不需要通过其他向下头部显示器进行视觉参考；
- b) HUD是可调节的，可以让戴着偏光太阳镜的司机清楚地看到信息；
- c) 与车辆连续控制有关的关键显示或与车辆前进路径相关的关键警告宜在视线中心线附近位置提示；
- d) 在HUD上最小化连续呈现的稳定值信息（例如，发动机转速、油量等常规状态信息。这类信息变化频率较低，通常可以通过仪表盘或其他显示器轻松查看，而无需持续占据HUD的显示空间）的使用；
- e) 根据本条规定，将AR-HUD界面六等分为两行三列（上从左至右为区域一、二、三，下从左至右为区域四、五、六）；
- f) 城市道路最优布局（信息放置最优区域排序）：区域一 > 区域二 > 区域六 > 区域四 > 区域五 > 区域三；
- g) 高速公路最优布局（信息放置最优区域排序）：区域二 > 区域六 > 区域五 > 区域四 > 区域三 > 区域一；
- h) AR-HUD位置关系可参考图1。



图 1 AR-HUD 信息布局位置图（示意）

5.3.3.2.2 将显著的信息放在显眼的位置，以便驾驶员能够快速获取。各区域布设示例见表 2：

表 2 区域信息布设

场景	城市道路信息内容	高速道路信息内容
区域一	一般作为区域四的补充，可显示当前当前驾驶模式（如手动模式、自动驾驶模式）、自适应巡航控制状态、ADAS系统状态、以及环境监测等信息	驾驶模式状态：显示当前的驾驶模式（如自动驾驶、手动驾驶、自适应巡航状态等），补充车辆的驾驶控制信息；辅助提示信息：提供额外的车辆状态、传感器信息，或环境监测数据等；也可作为区域四的补充
区域二	实时导航箭头叠加（显示在实际道路上）；行人或障碍物高亮显示；停车辅助指引（停车位可用性、倒车辅助）；特殊区域提示（如学校区、医院区）；出口和入口的动态指引；车道保持辅助（显示车道线）；动态速度限制变化指示（临时限速）；特殊车道使用指引（如HOV车道）；前方道路环境的增强显示（如坡道、桥梁）；车道保持和变道宜，碰撞预警（车距过近高亮显示障碍物及距离、盲区检测）等	侧重于显示AR引导和预警信息；核心导航信息：主要显示导航路径（如实时路线指引、前方道路转弯提示）以及车道保持信息；高亮显示前方道路的出口和入口（包括距离出口的剩余距离提示）；车道变化提示：提供动态车道宜；车道状态：例如车道线显示、车道占用提示等；状态警示：如道路施工或交通事故
区域三	一般作为区域六的拓展区域	拓展导航信息：扩展导航信息显示，可以显示长距离的路线预览、下一个服务区或休息区的距离与位置提示；车道信息：显示更多关于车道的状态信息，如HOV车道使用指引等；也可作为区域六的拓展区域
区域四	前方交通信号灯状态（红灯、绿灯、黄灯倒计时）；交通标志识别（限速标志、停车标志等）；行人、骑行者检测及预警；交通拥堵或道路施工提示；道路表面状态（湿滑、结冰提示）；紧急事件警报（事故、路封闭等）；道路状况提示（如即将的急弯、隧道、桥梁）、电量及续航里程信息、室内温度和空调状态等	侧重于实时道路及周围环境状态显示；道路状况预警：包括前方急弯、隧道、桥梁等特殊路况的提示；紧急事件警告：显示紧急事件，如前方发生交通事故、道路封闭等；天气与路面状况提示：例如湿滑、冰冻的路面提示
区域五	当前车速及与限速的对比；燃油或电量状态；车辆诊断信息（如胎压警告、发动机状态）；刹车片磨损、机油状态等维护信息；多媒体播放信息（如当前歌曲或广播频道）	车速与限速信息：实时显示当前车速，并与限速信息做对比；车辆状态信息：显示车辆的基本状态，包括油量/电量、胎压、发动机诊断信息等；驾驶员状态提示：例如长时间驾驶、疲劳驾驶
区域六	目的地距离和预计到达时间；即将到来的出口和入口	侧重于导航信息显示，包括城市道路信息内容；高速

场景	城市道路信息内容	高速道路信息内容
	信息；当前街道名称；目的地距离和预计到达时间；可用停车位指示和停车场位置；行车路线宜（如避开拥堵路线）；周边POI（兴趣点）信息（如餐厅、加油站）等	公路环境信息增强：提供坡度、桥梁、隧道等道路地形的增强显示

5.2.4 颜色和对比度

5.2.4.1 设计目的

颜色与对比度的设计直接影响信息的可读性和视觉舒适度。建议设计师根据信息的重要性和环境条件，灵活使用颜色、对比度和透明度，确保信息在各种驾驶环境中的高可见性，确保信息传达既直观又安全，减少视觉疲劳，提升驾驶员的反应速度。

5.2.4.2 设计原则

- 5.2.4.2.1 基础颜色选择宜具有明确含义的颜色，以帮助用户快速理解信息，具体参考 5.3.4.2.2。
- 5.2.4.2.2 颜色宜与警告级别相关联，红色通常与危险或危急情况有关，黄色通常与警告谨慎有关，绿色，通常与正常操作有关。使用的颜色与基于先前关联的符号兼容，例如红色表示八角形停止符号，黄色表示三角形或菱形警告。
- 5.2.4.2.3 建议用于编码信息的颜色数量最小化，建议不超过 4 种颜色代码，与危险，警告和正常操作的警告级别相对应。
- 5.2.4.2.4 避免以下颜色对比组合：绿色/红色，绿色/蓝色，黄色/红色，黄色/蓝色，紫色/红色。
- 5.2.4.2.5 在整个设计中保持颜色的一致性，以避免混淆。例如，所有警告提示都是用红色，2D 区域与 AR 动态指引预警区域都应该使用红色表示警告。
- 5.2.4.2.6 建议选择具有足够对比度的颜色组合，以确保信息清晰可读。一般来说，黑色或深灰色背景与白色或亮色文本是最常见的选择，因为它们具有高对比度和可读性。
- 5.2.4.2.7 设计过程中宜综合考虑车载 AR-HUD 使用特性，选用波长较长视觉分辨率较高的色彩，确保用户在不同时间段的不同天气环境下均能准确获取界面显示的信息。
- 5.2.4.2.8 建议交通指示信息使用蓝底白图的配色方案视觉搜索效率更高。

5.2.5 字符和图标的大小

5.2.5.1 设计目的

字符和图标的大小直接影响信息的可读性和识别速度。合理设计字符和图标的大小，可以确保驾驶员在各种驾驶条件下快速、准确地获取信息。设计师宜确保图标文字显示大小的合理性与一致性，减少驾驶员的视觉疲劳和认知负担，提高信息传达的效率和准确性。

5.2.5.2 设计原则

- 5.2.5.2.1 在视觉设计文字/图标尺寸定义阶段，宜利用公式 $h = 2 \times d \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$ ，（h 是文字/图标的物理高度（mm），d 是虚像距离（即 AR-HUD 的虚像距离，已知为 7.5m = 7500mm），θ 是文字/图标的视角（以弧分为单位，需要先转换为度）），结合 AR-HUD 物理硬件数据，定义文字像素尺寸。
- 5.2.5.2.2 建议文本大小最佳视角：20 弧分；建议最小高度：16 弧分（时间要求严格的，指带有“时间属性”的文本信息，例如接管预警倒计时）/12 弧分（时间要求不严格的）。
- 5.2.5.2.3 视距 7.5m 的条件下，建议车速文本显示高度大约 46mm，像素尺寸需结合 AR-HUD 硬件

参数计算。

5.2.5.2.4 视距 7.5m 的条件下，建议导航文本显示高度大约 33.2mm，像素尺寸需结合 AR-HUD 硬件参数计算。

5.2.5.2.5 建议图标大小最佳视角：86 弧分；建议最小高度：41 弧分（时间要求严格的，指带有“时间属性”的文本信息，例如接管预警倒计时）/34 弧分（时间要求不严格的）。

5.2.5.2.6 视距 7.5m 的条件下，建议 2D 图标显示高度最小需大于 84mm，尽量不超过 189mm，像素尺寸需结合 AR-HUD 硬件参数计算。

5.2.5.2.7 选择合适的字符高度后，字符的宽高比范围建议为 0.6~0.85。笔画宽度与高度的比值范围建议为 0.08 至 0.2 是可以接受的，对于关键信息，建议首选为 0.167~0.2。

5.2.5.2.8 一般来说，无衬线字体（如 Arial、Helvetica、Roboto）比有衬线字体（如 Times New Roman）更适合用于显示文字。

5.2.6 字符和图标的间距与显示数量

5.2.6.1 设计目的

合理的字符与图标的间距与现实数量是确保驾驶员能够快速、准确、直观获取信息的关键因素。设计师应通过控制文字排布数量、文字间距行距、图标的排布数量，以减少驾驶员的认知负担和视觉疲劳，提升驾驶员反应速度。

5.2.6.2 设计原则

5.2.6.2.1 宜采用现有交通图标作为 AR-HUD 的警示信息图标，有利于用户快速识别关键信息，减少记忆负担，可参考 GB 5768.2-2022。

5.2.6.2.2 避免在图标周围放置过多的干扰元素，以免影响驾驶员对信息的理解。

5.2.6.2.3 正确的合理设计案例：

- a) 简洁的背景：导航箭头指引上只显示箭头和距离信息；
- b) 说明：这种设计避免了在图标周围添加多余的装饰，确保图标清晰易见，不受干扰；
- c) 统一且简洁的图标：交通标志识别图标宜与实际道路标识颜色、形状保持一致，没有额外的背景装饰；
- d) 说明：保持图标的简单和一致，避免在图标周围添加不必要的装饰元素，有助于驾驶员快速识别和理解。

5.2.6.2.4 文字和图标布局应简单明了，确保驾驶人快速理解：

- a) 根据交互设计中的希克定律，HUD界面上实时呈现的主要设计图标数量最好保持在1~3个以内，如图2所示；
- b) 呈现最关键信息的设计元素（或视觉元素组）数量最好只有一个，如图3所示；
- c) 文字应该排列整齐，避免出现换行和截断的情况。



图 2 图标显示区域显示数量最大限度



图 3 图标显示区域显示推荐数量

5.2.6.2.5 图标和文字间距应适当，确保驾驶人快速理解：

- a) 当图标之间的间距与图标尺寸比例为 1/3 时，视觉认知绩效为最佳，比例超过 2/3 后搜索难度逐渐增加；
- b) 一般来说，文字行距应该为 1.5 倍或 2 倍字高，字间距应该为 0.5 倍或 1 倍字宽。如图 4 所示。

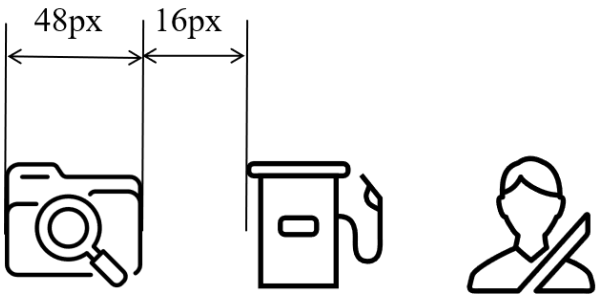


图 4 图标间距与尺寸比例

5.2.6.2.6 将相关信息分组，可以提高信息的可读性和易读性。例如，将速度、系统状态和油温等信息分组显示。

5.2.6.2.7 将图标或文字对齐，以便驾驶员能够快速找到所需的信息。

5.2.7 视觉设计方案验证

在视觉设计中，设计师应通过合理的字体、颜色、符号选择和信息布局，确保信息的准确性、直观性、无干扰性和一致性，从而提高驾驶员的视觉舒适度。为此，设计师在完成视觉设计后，建议关注以下几个评估指标：

——瞳孔面积：评估驾驶员的视觉负担，瞳孔面积越大，表示视觉负荷越高，设计应避免过多的信息显示；

——注视持续时间：评估驾驶员对信息的提取能力，注视时间长意味着认知负担大，设计应通过简洁的布局减少信息的复杂度；

——视线偏移路面时间比：评估驾驶员在与系统交互时，是否容易偏离驾驶任务。较低的比率表示较好的视觉引导，以评估视觉信息的可读性和驾驶员的认知负荷。

同时，建议通过以下指标来确认信息传递是否有效，确保驾驶员能快速并准确地接收到关键信息，从而减少视觉疲劳并提升整体驾驶体验。

——任务反应时间：是指车载设备发出预警或功能生效时刻至驾驶人做出反应（如手脚接触方向盘、制动器时刻）时刻的持续时间/行驶时间。表征驾驶人的反应能力。通常，行为反应时间越短，则驾驶人的反应能力越好；

——任务成功率：驾驶人成功完成车载设备发出交互任务的次数的比例。表征驾驶人的任务完成能力。通常，任务成功率越高，则驾驶人的任务完成能力越好。

5.3 动态设计原则

动态显示在AR-HUD系统中，指在驾驶过程中实时更新和变化的信息展示。动态设计的合理性直接影响到驾驶员的信息获取效率和视觉舒适性。设计师宜控制动态信息提示方式、动态信息优先级、信息更新频率、动画复杂程度、动画过渡效果、动态信息反馈方式，确保信息更新的及时性和可读性，提高驾驶员的注意力、反应速度及驾驶沉浸感，同时弥补驾驶能力的不足。

5.3.1 动态信息提示

5.3.1.1 设计目的

通过动态信息提示设计，确保信息的展示能够帮助驾驶员及时了解路况和环境信息，减少认知负荷，提高驾驶安全性和舒适性，增加驾驶沉浸感，弥补驾驶能力不足。

5.3.1.2 设计原则

5.3.1.2.1 AR动态信息包括导航类、警示类、道路环境提示类。

- a) 导航类：提供实时的行车路线指引和方向信息，帮助驾驶员在复杂的交通环境中准确导航。包括当前道路或交叉口处的方向指示信息、车道选择提示信息、超车/换道信息；
- b) 警示类：用于提醒驾驶员注意潜在的危险或需要立即响应的情况。这包括机动车/行人预警/非机动车/障碍物碰撞预警信息、车辆接近预警信息、安全距离提示信息、弯道预警信息、车道偏离辅助信息；
- c) 道路环境提示类：向驾驶员提供关于当前道路环境的相关信息，有助于驾驶员更好地了解并适应外部环境，做出适当的驾驶决策。如目的地位置信息、信号灯/标志信息。

AR动态信息优先级：警示类>导航类>道路环境。

5.3.1.2.2 AR动态信息提示形式分为4大类，视觉提示、声音提示、动画提示及触觉反馈，结合提示类型与AR-HUD动态信息分类，构成AR-HUD动态信息提示策略概览表，作为AR-HUD动态信息设计参考，详细信息如表3所示。

表 3 AR-HUD 动态信息提示策略概览表

信息类型	具体信息	提示形式	提示方式	优先级
警示类	碰撞预警（机动车/行人/非机动车/障碍物）	视觉提示	通过闪烁、高亮或颜色变化的动态效果展示潜在的碰撞风险。	高
		声音提示	伴随警告音效，以高优先级提醒驾驶员注意即将发生的潜在碰撞。	
		动画提示	—	
		触觉反馈	通过方向盘或座椅的强烈震动提醒驾驶员潜在危险。	
	安全距离提示	视觉提示	使用渐变颜色或动态箭头来表示与前车的距离变化。	
		声音提示	使用低频音效提示临近车辆的接近。	
		动画提示	—	
		触觉反馈	—	
	弯道预警	视觉提示	通过动态旋转箭头或高亮显示弯道，提醒驾驶员注意即将到来的急	

信息类型	具体信息	提示形式	提示方式	优先级
			弯。	
		声音提示	通过语音提醒或警告音效，提示急弯的即将到来。	
		动画提示	—	
		触觉反馈	—	
	车道偏离辅助	视觉提示	滑动或闪烁效果提示驾驶员车辆正在偏离当前车道。	
		声音提示	低频震动或音效提示车辆即将偏离车道。	
		动画提示	—	
		触觉反馈	方向盘或座椅的轻微震动提示车辆偏离当前车道。	
导航类	方向指示信息	视觉提示	通过动态箭头或滑动的指引线，展示当前行驶方向或即将转向的指示	中
		声音提示	语音播报即将到达的转弯、出口或方向变化信息。	
		动画提示	通过平滑过渡的动画显示前方路线变化或转向信息，避免信息跳跃或突然出现。	
		触觉反馈	—	
	方车道选择提示	视觉提示	通过车道动态高亮或滑动箭头，指示最佳行驶车道。	
		声音提示	语音提示正确的车道选择。	
		动画提示	动态滑动的箭头或车道高亮动画指引驾驶员选择正确的车道。	
		触觉反馈	—	
	超车/换道信息	视觉提示	使用滑动的方向箭头或车道内的动态提示，指导驾驶员进行换道或超车操作。	
		声音提示	语音提醒最佳超车或换道时机。	
		动画提示	动画效果模拟超车或换道的操作，引导驾驶员顺利进行。	
		触觉反馈	—	
道路环境提示类	目的地位置信息	视觉提示	通过高亮或闪烁的动态效果，指示目的地的方向和距离。	低
		声音提示	语音通知距离目的地的剩余距离或即将到达的方向。	
		动画提示	—	
		触觉反馈	—	
	信号灯/标志信息	视觉提示	使用高亮和渐显的方式显示道路上的交通信号灯或标志信息，帮助驾驶员提前了解道路规则。	
		声音提示	语音提醒路标或信号灯的状态变化。	
		动画提示	逐渐淡入淡出的动态效果展示信号灯和路标，确保驾驶员在必要时获取信息而不受干扰。	
		触觉反馈	—	

5.3.1.2.3 动态信息提示方式宜以条形或闪现的方式呈现，注意尽可能不遮挡目标物体，同时不会影响对于其他环境物体的观察。

5.3.1.2.4 视觉提示形式中两个AOI（兴趣注意区域）之间的视角角度越小，驾驶员所付出的努力越小，信息更容易被驾驶员注意，即与驾驶员中央视野视角角度越小的信息越容易被驾驶员发现。

5.3.1.2.5 3D预警图标类型的推荐顺序为：红色三角叹号>红色三角抽象物体>红色矩形框。

5.3.2 动态信息交互

5.3.2.1 设计目的

动态信息的动效显示，能确保用户操作的反馈明确和及时，提升信息展示的生动性和易读性，增加信息的可预见性。

5.3.2.2 设计原则

5.3.2.2.1 AR-HUD 系统中所用到的动画过渡效果主要包括：平滑、出现、淡入淡出、闪烁、缩放、滑动、旋转、震动、波浪、光晕、溶解、翻转、弹性、扭曲、分离、渐显。

5.3.2.2.2 合适的动画过渡效果：

- a) 平滑：适用于所有需要流畅信息展示的场景，例如换道/超车辅助、弯道线预警等；
- b) 出现与淡入淡出：适用于信息的逐渐显示或隐藏，适合非紧急信息，地图上的兴趣点（POI）或导航标志；
- c) 闪烁：用于突出显示特定元素或警告，应避免用于持续显示的信息；
- d) 滑动：适用于导航指示，如沿道路滑动的箭头，引导驾驶员前进；
- e) 旋转：用于展示方向性信息或图标；
- f) 缩放：用于放大特定信息，如地图上重要的兴趣点标注（POI）、导航终点指示。

5.3.2.2.3 不合适的动画过渡效果：

- a) 震动：可能会分散驾驶员注意力，不适合常规使用，仅在必要时作为强烈警告；
- b) 波浪、光晕、溶解、翻转、弹性、扭曲、分离、渐显：这些动画效果过于复杂，可能会分散驾驶员的注意力，不宜使用。

5.3.2.2.4 AR动态信息宜满足可预见性、及时性、实时性的要求。导航类AR动态信息应满足可预见性（帮助驾驶员在复杂路况下做出正确决策）：

- a) 当前道路或交叉口处的方向指示信息：宜在接近路口或需要变道的路段前5s~10s发布方向指示信息，以便驾驶员有足够时间做出反应；
- b) 车道选择提示信息：建议在需要变更车道前3s~5s提供车道选择提示；
- c) 超车/换道信息：建议在系统检测到适合超车或需要换道的情况下，宜至少提前3s~5s提供指示信息；
- d) 警示类AR动态信息宜满足及时性（能让用户及时反应并作出相应操作）；
- e) 机动车/行人预警/非机动车/障碍物碰撞预警信息：建议对于紧急情况，如即将发生碰撞，至少提前2s发出预警，一般宜提前3~4s发出警告，以便驾驶员有充足的时间采取紧急制动或避让措施；
- f) 车辆接近预警信息：建议当其他车辆进入本车盲区或快速接近时，提前2s~3s提供预警；
- g) 安全距离提示信息：建议根据当前车速和前车距离，动态提供安全距离提示，提前1s~2s更新信息；
- h) 弯道预警信息：建议在车辆即将进入弯道前5s~8s提供预警信息，特别是对于视线受限或急转弯的情况；
- i) 车道偏离辅助信息：如果系统检测到车辆即将无意识偏离车道，宜在车辆接近车道线但尚未偏离前1s~2s发出预警；
- j) 前方道路障碍提示：建议通过实时标记前方道路环境，将潜在的障碍物（如行人、车辆、道路碎片等）以视觉和听觉等形式动态呈现给驾驶员的提示功能。提高驾驶员对道路状况的感知能力，提供预警信息，帮助驾驶员提前采取必要的操作，避免碰撞和其他事故的发生。

5.3.2.2.5 道路环境类 AR 动态信息宜满足获取以下实时性（帮助驾驶员更好地了解并适应外部环境）：

- a) 目的地位置信息：建议在接近目的地1min~2min前开始提供更频繁的更新，以便驾驶员准备减速或转弯；

- b) 信号灯/标志信息：建议在接近信号灯或交通标志的5s~10s内提供信息，尤其是在信号灯即将变化或存在重要交通标志时。

5.3.3 动态信息反馈

5.3.3.1 设计目的

确保各类信息的动态显示能够提升驾驶员的注意力、减少认知负担、提高信息获取的效率，同时保证显示的实时性、美观和一致性。

5.3.3.2 设计原则

5.3.3.2.1 通知信息：建议用于告知驾驶员非紧急的更新或状态变化，这些信息可能与车辆的系统状态、通信状态或外部事件相关。例如：自动驾驶或辅助驾驶功能激活后，宜每隔 30s~50s 之间向驾驶员提供车辆运行状态信息，同时提供周围环境潜在的危险信息并提醒驾驶员关注。

5.3.3.2.2 警示信息：警示信息建议用于提醒驾驶员注意可能存在的安全风险或需要立即采取行动的情况。例如：当对驾驶员进行指示时，宜采用两阶段预警方式。第一阶段预警至少应在系统失效前 10s 发出，第二阶段预警宜与第一阶段预警至少间隔 4s，且第二阶段预警至少应在系统失效前 5s 发出。预警紧迫程度宜逐渐增强。

5.3.3.2.3 提示信息：建议提供给驾驶员关于如何操作车辆或如何响应特定情况的宜应根据驾驶情景向驾驶员提供定制化的操作指引，包括 AR 图像动态操作视觉指引和语音指引。

5.3.4 动态设计方案验证

在动态设计中，设计师需要确保信息的及时性、可预见性、清晰性与有效性，特别是对于实时变化的动态信息（如导航指示、警告信息等），这些信息的呈现应帮助驾驶员快速做出反应并减少认知负担。为此，设计师在完成动态设计后，建议关注以下评估指标：

——延迟时间：评估系统响应时间，确保动态信息的及时性。延迟时间越短，意味着信息传递更加高效，驾驶员能够更快地响应系统提示，避免因延迟而导致的反应不及；

——AR图像识别延迟时间：是指物体进入画面时间戳与显示时间戳的时间差值。评估AR-HUD在使用过程中，识别道路环境物体并显示在AR区域的延迟时间；

——AR图像追随延迟时间：评估AR系统对目标（如车辆、行人等）在动态驾驶中的实时追踪能力。追随延迟越小，表示AR系统的动态信息与实际情况的同步性更强，有助于提升驾驶员的信任感和安全感；

——AR图像识别目标贴合度：指AR-HUD显示的虚拟目标与实际道路环境目标的重合程度，即虚拟目标与真实目标在空间位置上的匹配情况。评估AR-HUD显示的虚拟物体与实际道路环境中的物体在位置、大小和角度上的贴合程度；

——AR图像识别目标显示稳定性：是指在AR-HUD中显示的虚拟物体标记是否稳定。稳定性衡量的是判断AR标记是否与实际目标物对齐（底部对齐，长度对齐，高度不超出）。评估由于车辆抖动或AR-HUD识别系统的原因，AR-HUD对识别物体的显示稳定性。

设计师可考虑通过这些指标对方案进行验证，以达到动态信息的有效性与及时性的效果，确保驾驶员能够在复杂的驾驶环境中高效、安全地获取关键动态信息，从而提高驾驶体验和安全性。

5.4 系统集成

系统集成设计涉及将各种独立功能模块（如视觉、交互、智驾功能等）无缝集成到一个统一的AR-HUD系统中。其目标是确保所有功能模块之间的协同工作，提升系统的整体性能和用户体验。

5.4.1 不同功能的协调和优先级

5.4.1.1 设计目的

不同功能的协调和优先级管理是确保AR-HUD系统在复杂的驾驶环境中提供一致性和高效性的关键。确保各功能模块之间的相互协调，避免功能冲突和重复。通过功能协调，提升系统的整体性能和用户体验。

5.4.1.2 设计原则

5.4.1.2.1 信息反馈的内容应该按照重要性和紧急性进行排序，以确保驾驶员能够快速注意到最重要的信息。不同信息属性反馈位置及形式具体定义如表 4 所示。

表 4 不同信息属性反馈位置及形式

信息属性		紧急重要信息	不紧急重要信息	不紧急不重要信息
定义		对驾驶安全至关重要且需要立即响应的关键信息	对驾驶有帮助但不需要立即响应的信息，适用于辅助驾驶的参考性数据	与驾驶无关或仅在某些特定情况下有用的次要信息，通常不会影响驾驶安全
内容		碰撞预警、紧急制动提示、车道偏离警告、前方障碍物警告、行人/非机动车预警等	导航路线指引、速度限制提示、下一个转弯的指示信息、超车信息、车辆状态（如油量、胎压）等	天气信息、娱乐系统信息、非驾驶任务提醒（如电话或消息通知）、目的地剩余距离、舒适性设置等
布局位置	视线位置	视线中心：紧急信息应始终显示在驾驶员的视线正前方或靠近视线中心的区域，确保驾驶员能够在不转头或大幅移动视线的情况下立即获取这些信息	次要视觉区域：此类信息可以放置在视线中心的下方或侧面区域，不需要驾驶员大幅转移视线但不会打扰到紧急信息的获取	边缘区域：不紧急不重要的信息应显示在视线边缘区域，如挡风玻璃的角落，以减少对驾驶员的干扰
	视觉特征	宜使用高亮、闪烁等突出的视觉效果，以及声音或触觉反馈（如方向盘震动）来增加提示的显著性	显示应简洁清晰，不应干扰紧急信息，宜使用平滑过渡或淡入淡出等非突兀的动效	保持简单和非突兀的显示风格，如淡显、逐渐显示，避免引起驾驶员不必要的注意

5.4.1.2.2 动态显示的信息应该与其他信息设计形式保持一致，以避免混淆。

5.4.1.2.3 信息以尽可能简单的方式呈现，同时确保消息支持并为驾驶员增加价值，可视消息由简单的图标和字体组成，仅包含必要的细节，文本显示中，每个消息的文本行数最小化。当需要立即响应时，使用听觉消息比较简便，可以是同时呈现的单个或分组频率。

5.4.2 信息优先级排序

5.4.2.1 设计目的

信息优先级排序涉及根据驾驶情境和信息重要性，对显示信息进行排序和管理，确保驾驶员能及时获取最重要的信息。

5.4.2.2 设计原则

5.4.2.2.1 建议与驾驶情况相关的信息优先于非驾驶相关信息的呈现。

5.4.2.2.2 建议结合 5.3.2 对信息的重要性排序，考虑不同情境下，通过动态调整，确保驾驶员能实时获取最重要的信息。

5.4.3 多功能界面整合

5.4.3.1 设计目的

多功能界面整合涉及将各种功能和信息整合到一个统一的界面中，确保界面的简洁性和一致性。

5.4.3.2 设计原则

5.4.3.2.1 建议设计统一界面风格和布局，使不同功能模块在界面保持一致性，包括色彩、字体、图标等。

5.4.3.2.2 建议支持多模态交互（如触控、语音、眼动等），提升界面的可操作性和便捷性。

5.4.4 错误防护

5.4.4.1 设计目的

设计师应考虑驾驶环境、驾驶员状态、道路环境、天气条件组合的极端环境，通过设计预防和纠正用户在操作过程中可能产生的错误，提升系统的容错性和用户体验。

5.4.4.2 设计原则

5.4.4.2.1 显示关键信息：建议当某一特定功能（如车速警告）运行时，HUD 宜主要显示驾驶人需要的关键信息，避免显示过多的信息，以免分散驾驶人的注意力。包括车速、导航指示、警告信息等。

5.4.4.2.2 易于阅读和理解：建议 HUD 上的信息应易于阅读和理解，避免使用复杂的符号和缩写。信息应该以清晰、简洁的方式呈现，以便驾驶人能够快速理解。

5.4.4.2.3 提供清晰的指示：建议 HUD 应提供清晰的指示，以帮助驾驶人了解车辆的状态和操作。例如，当车辆需要维护或修理时，HUD 可以显示一个警告信息，告知驾驶人需要进行维护或修理。

5.4.4.2.4 提供反馈：建议 HUD 应提供反馈，以便驾驶人知道他们的操作是否成功。例如，当驾驶人按下某个按钮时，HUD 可以视觉、听觉或触觉方式反馈确认信息，或者在操作完成后反馈成功信息。

5.4.4.2.5 避免干扰：建议 HUD 不应该干扰驾驶人的视线，或者与其他车辆系统产生冲突。HUD 的位置和亮度应该经过符合要求，以确保驾驶人可以在不分散注意力的情况下读取信息。

5.4.4.2.6 撤销功能：建议提供操作撤销功能，允许用户在一定时间内撤销误操作。

5.4.4.2.7 特殊天气环境下，建议显示并加强车道线的显示亮度，确保车道线在恶劣天气条件下依然清晰可见，帮助驾驶员保持正确的行驶路线。

5.4.4.2.8 在特殊天气条件下，优先显示和优化如车速、前车距离、导航指引等关键信息。

5.4.5 系统集成设计方案验证

系统集成方案验证的目的是确保AR-HUD系统的各个功能模块能够协同工作，以提供一致、流畅的用户体验。在进行系统集成设计时，设计师宜确保信息流畅、功能模块无冲突，并且在复杂驾驶环境下能够发挥最佳性能。为此，设计师在完成系统集成设计后，建议关注以下评估指标，对方案进行验证：

——横向偏移标准差：评估车辆在进行系统交互时的横向稳定性，特别是在执行任务时，系统是否对车辆的横向稳定性产生影响。较小的标准差表示车辆的横向稳定性较好，驾驶员能够保持更为精准的驾驶控制。

——速度标准差：评估车辆在任务执行时的纵向稳定性。通过监测车速的偏差，设计师可以确保系统不会因过多的干预而导致车辆控制的异常波动。

——系统可用性问卷（SUS）：用于评估系统整体的易用性。SUS评分越高，表明系统在驾驶员操作过程中提供了更好的用户体验和更高的可操作性，系统设计得越简洁、直观。

通过这些指标的验证，可以确保系统的各个功能模块在集成后协调工作，能够为驾驶员提供一个流畅、一致的操作体验，减少系统错误和过度干预，从而提升驾驶员的控制感和驾驶舒适性。

参考文献

- [1] GB 3100-1993 国际单位制及其应用
 - [2] GB 4094-2016 汽车操纵件、指示器及信号装置
 - [3] GB 11562-2014 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法
 - [4] GB/T 40429-2021 汽车驾驶自动化分级
 - [5] SJ/T 11834-2022 车用平视显示器光学性能测试方法
 - [6] DB4403/T 358—2023 智能网联汽车自动驾驶系统设计运行条件
 - [7] ISO 9241-303:2011 人-系统交互人体工效学 第303部分：电子视觉显示器要求（Ergonomics of human-system interaction — Part 303: Requirements for electronic visual displays）
-