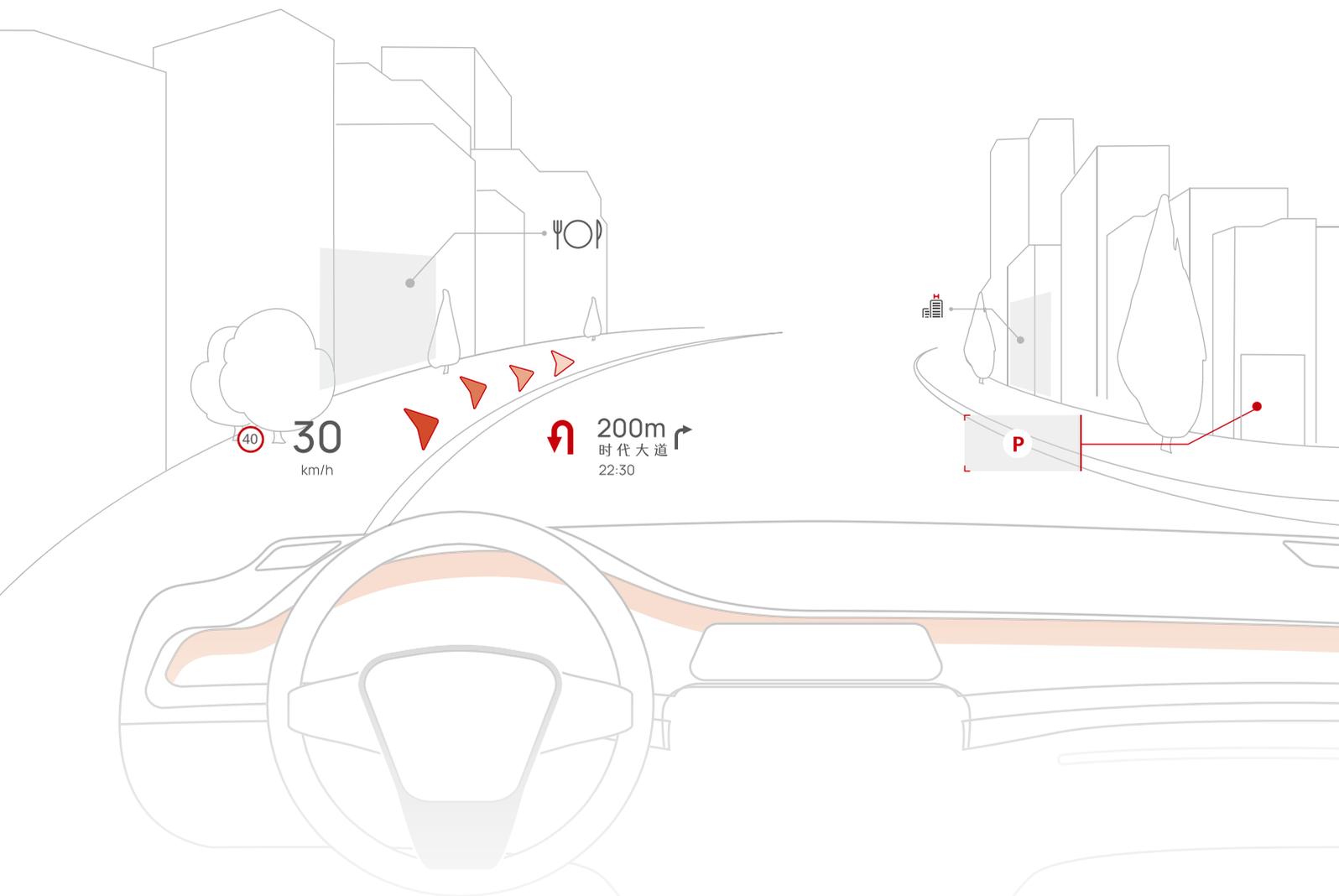


增强现实抬头显示AR-HUD白皮书

CAICV 智能车载光显示任务组 | 中汽信息科技有限公司 | 华为技术有限公司



开创智能汽车新视界

前言

随着汽车向以人为中心的“第三生活空间”演变，汽车与驾驶员之间的交互已不再局限于简单的行车状态交互，而是逐步扩大至智能驾驶、资讯娱乐等，传统仪表已无法满足用户的安全、智能、沉浸式体验需求。在此背景下，抬头显示（HUD）应运而生，它将行车状态、导航、辅助驾驶等信息直接投射在驾乘人员眼前，驾驶员无需切换视线就可以直观地感受行车状态等信息，大大缩减了盲驾时间，提升行车安全。

HUD 正在经历着三种产品形态的迭代更新，C-HUD 是第一代产品，由于成像效果差、成像尺寸有限且存在安全隐患，正逐步被淘汰；第二代产品 W-HUD 相比 C-HUD 在成像尺寸、成像质量等方面均有所提升，但 W-HUD 仍没有从根本上解决成像距离近的问题。由此第三代产品 AR-HUD 出现，通过结合虚拟现实技术，将行车信息叠加到实物上面，成像距离更远、成像效果更佳。随着 2020 年第一款 AR-HUD 成功装车，越来越多主流整车企业纷纷布局，未来将迎来大规模量产，引发人机交互革命。为了让更多的受众了解 AR-HUD，特此编制本白皮书。

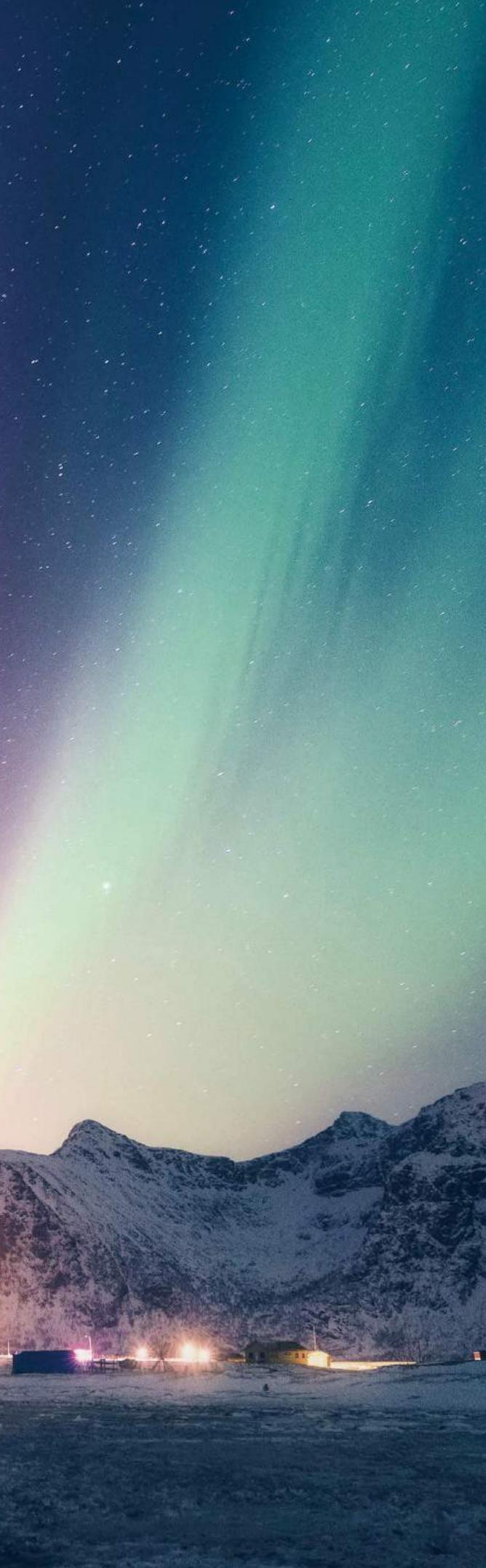
本白皮书以通俗易懂的方式对 HUD 的前世今生进行了回顾，从应用场景和关键技术两大维度入手阐明了 AR-HUD 对我们出行生活的影响，对 AR-HUD 的未来应用场景、技术发展趋势进行了展望。本白皮书的意义在于让更多消费者、车企、行业伙伴认识到 AR-HUD 的重要价值，呼吁更多整车企业、HUD 企业、行业协会、研发机构、高等院校等产学研协同推进 AR-HUD 行业发展。

本白皮书编制单位：

中汽信息科技有限公司、CAICV 智能车载光显示任务组、华为技术有限公司

本白皮书参与单位：

中国汽研、博泰车联网、比亚迪汽车工程院等



■ CONTENTS

第一章 | 第三生活空间的视觉新体验

02 1.1 第三生活空间的技术要求

02 1.3 第三生活空间中的HUD

02 1.2 第三生活空间的体验要求



第二章 | HUD的前世、今生

03 2.1 从天空到地面的迁移

09 2.4 AR-HUD的优势

03 2.1.1 HUD在飞机上的应用

09 2.4.1 传统HUD的问题分析

04 2.1.2 车载HUD的发展演变

09 2.4.2 车载AR-HUD优势

05 2.2 车载HUD的必要性

10 2.5 AR-HUD的价值

05 2.2.1 从中国道路交通安全视角分析AR-HUD的必要性

10 2.5.1 安全和体验的两全其美

05 2.2.2 从人因工效学的角度分析AR-HUD的必要性

10 2.5.2 品牌向上，生态赋能

08 2.3 HUD产品形态的变迁

08 2.3.1 需求驱动下的车载抬头显示技术发展

08 2.3.2 车载抬头显示产品发展阶段的共识



第三章 | AR-HUD如何影响出行生活

| | | | |
|----|----------------------|----|----------------------|
| 12 | 3.1 应用场景 | 16 | 3.2 AR-HUD的关键核心技术 |
| 12 | 3.1.1 安全驾驶是重中之重 | 16 | 3.2.1 显示技术是关键 |
| 12 | 3.1.2 沉浸式体验智能化功能 | 18 | 3.2.2 空间光学 |
| 14 | 3.1.3 AR提升出行体验 | 19 | 3.2.3 AR-HUD的数字显示界面 |
| 14 | 3.1.4 提供便捷式服务 | 22 | 3.2.4 AR-HUD功能安全及可靠性 |
| 15 | 3.1.5 身临其境体验车载信息娱乐功能 | | |



第四章 | 下一代HUD应用展望

| | | | |
|----|-------------------|----|------------------|
| 23 | 4.1 AR-HUD应用发展趋势 | 25 | 4.2 AR-HUD技术发展趋势 |
| 23 | 4.1.1 安全类 | 25 | 4.2.1 硅基液晶LCoS技术 |
| 24 | 4.1.2 效率类 | 26 | 4.2.2 光波导技术 |
| 25 | 4.1.3 支付类 | 27 | 4.2.3 全息光学元件HOE |
| 25 | 4.1.4 元宇宙在车端的应用载体 | 27 | 4.3 新技术的应用前景 |

第五章 | AR-HUD行业发展推进建议与倡导

| | | | |
|----|-----------|----|-----------|
| 28 | 5.1 政策规划端 | 29 | 5.3 行业应用端 |
| 28 | 5.1.1 政策端 | 30 | 附录：英文缩写解释 |
| 28 | 5.1.2 规划端 | | |
| 29 | 5.2 标准法规端 | | |

第一章

第三生活空间的视觉新体验

随着人们活动范围不断扩展，人们出行需求更加多元化，汽车作为人们日常出行最主要、最频繁的交通工具，已经成为人们生活的必需品，且功能趋于多元化发展。尤其是在智能化、网联化技术发展的大背景下，汽车正在从单纯的出行工具向“以人为中心”的第三生活空间转变。



1.1 第三生活空间的技术要求

汽车的第三生活空间属性，使汽车不再局限于“驾驶”职能，又增加了“生活”职能。而要实现“生活”职能，人们需要更多、更便捷、更智能化、更情感化的车载功能，需要更加智能化的自动驾驶功能。而这些新功能、新需求都需要智能座舱、自动驾驶技术的变革来实现。智能座舱方面，通过点击或滑动中控和仪表屏幕来输入生理信号已不能满足汽车用户需求，需要声音、手势等全新的交互技术。传统的中控和仪表屏幕已经无法满足多元化交互方式的需求，由此可以直观地呈现交互内容的抬头显示（Head-Up Display, HUD）应运而生。另外，HUD 可以将自动驾驶内容呈现在用户面前，给用户更加直观的感受，促使汽车用户与自动驾驶技术之间建立良好的信任关系。

1.2 第三生活空间的体验要求

要想使汽车拥有第三生活空间的属性，需要汽车满足用户多方面的全新使用体验。首先是安全性体验，安全始终是汽车发展的永恒主题，汽车自动化、智能化的发展过程实质上是安全功能不断升级的过程。其次是舒适性体验，第三生活空间的视觉显示应当满足驾乘人员视觉感知舒适性要求，视觉显示方案应当避免造成驾乘人员身体不适，例如：亮度刺眼、色彩眩晕、视觉压迫感等。最后是沉浸式体验，实现基于汽车使用场景和特征的沉浸式社交娱乐体验是第三生活空间需要满足的要求。沉浸式体验具体包括了大尺寸、虚拟现实、增强现实、HUD 大画幅高清显示，配合车内音响、座椅震动、香薰将带来全方位的体验。

1.3 第三生活空间中的 HUD

汽车在向第三生活空间转变的过程所需的全新功能、新技术、全新体验，使得车载功能、车载技术越来越多，由

此导致的安全隐患增加。而在针对车辆的安全隐患、对自动驾驶的信任、车内的全新体验等问题方面，HUD 均有非常大的价值。

在安全隐患方面，随着座舱电子的快速发展，中控屏幕和仪表显示的信息逐渐丰富，汽车用户在驾驶过程中低头查看导航、车辆信息等容易引发安全隐患，HUD 可以有效解决驾驶过程中低头查看车辆信息的问题，大大提高驾驶安全。在对自动驾驶的信任方面，HUD 可以实时地将 ADAS 及自动驾驶的相关信息反馈给汽车用户，提升用户对自动驾驶技术的信任。在车内全新体验方面，HUD 将助力汽车为用户提供全新的沉浸式体验。

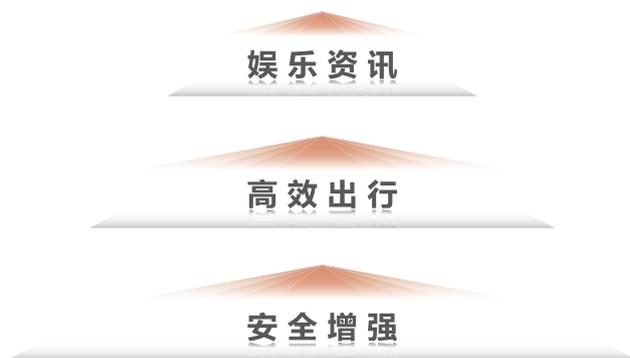


图 1-1 HUD 功能层级定义

第二章

HUD 的前世、今生

2.1 从天空到地面的迁移

2.1.1 HUD 在飞机上的应用

HUD 又被叫做平视显示系统，是一种机载光学显示系统，技术起源于飞行器辅助仪。最早作为一种飞行器辅助仪，HUD 可以把飞行信息（例如飞行参数、姿态信息、导航信息等）投射到飞行员视野正前方的透视镜上，减少飞行员低头看仪表的频率，确保飞行员保持平视状态时，在同一视野中可以兼顾仪表参数和外界目视参照物。也就是说，飞行员可几乎不用改变眼睛焦距即可方便地随时查看叠加在外景上的飞行信息，可视度也不会受到日光照射的影响，从而提升驾驶体验，确保飞行安全。

HUD 技术最早应用在军事飞行器上。1960 年，第一台装有 HUD 的战斗机美国海军的 A-5 舰载机研发成功，该机型上的 HUD 可以显示部分导航信息和武器信息。直到二十世纪八十年代初，HUD 才开始应用于民用客机，主要用于提供导航信息。目前 HUD 已经广泛应用于航空领域，被越来越多的航空公司选用，美国波音公司、欧洲空客公司和一些公务机制造商都把 HUD 作为驾驶舱必备设备安装安装在部分新型号飞机上。

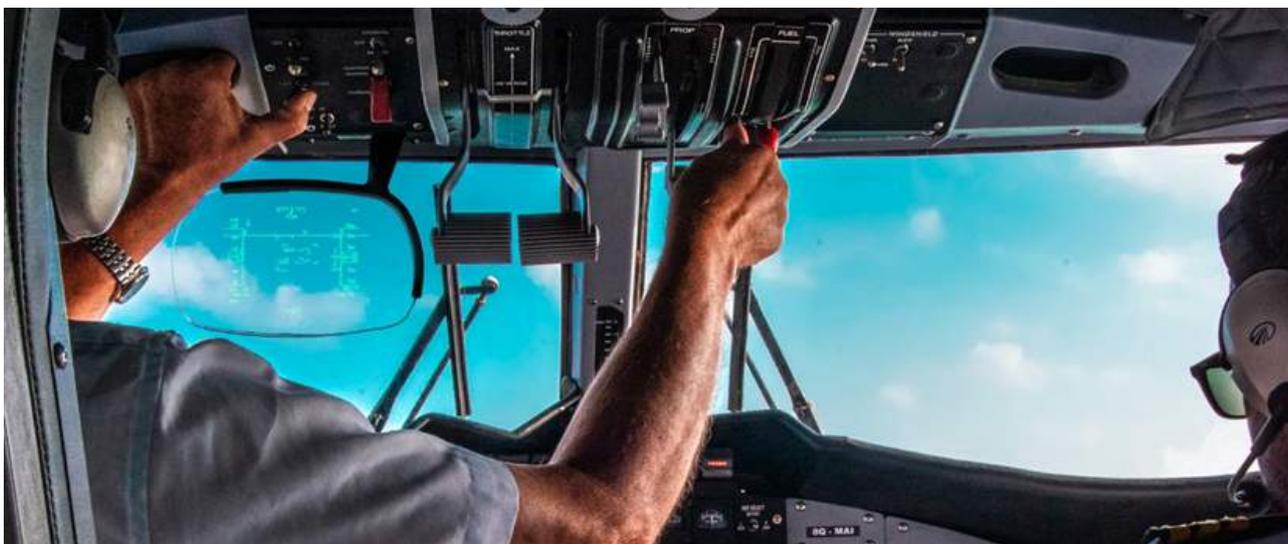


图 2-1 民用客机上 HUD 显示的飞行信息

民用客机的 HUD 上可以显示各种飞行信息，例如：空速、高度、航向、垂直速度、迎角、飞行航径或速度矢量、有坡度姿态和 / 或起始俯仰姿态、带有偏离指示的航线和下滑道、自动驾驶相关仪器运行状态显示（如导航传感器、自动驾驶仪、飞行指引仪）和警告显示（如机载防撞系统、风切变、近地警告）等。在飞机整个飞行运行期间，尤其是在滑行、起飞、进近和着陆时，HUD 对飞行员的态势感知发挥着重要作用：

（1）HUD 可以辅助飞行员在不间断观察外界情景的同时，及时地了解相关飞行参数和状态信息，做到一目了然，有效减少了飞行员在外界环境和飞行参数之间频繁切换视线，减轻视觉疲劳，减轻飞行疲劳。

（2）HUD 可以为飞行员提供更多更及时的信息和指引，减少起飞、进近和着陆时的飞行技术差错，从而有效降低误判或操作失误风险，提升飞机运行品质，确保飞行安全。

（3）HUD 的推广可以有效降低天气因素对航班运行的影响，在确保安全的前提下，提高航班运行效率，保证航班的正常运行。例如：HUD 技术可以使飞机起飞 / 降落时的天气能见度标准降低。

2.1.2 车载 HUD 的发展演变

1988 年，通用汽车首次将 HUD 技术应用于汽车，同年，又在一款装有夜视系统的车型上安装了 HUD 系统，可以由夜视系统识别到的红外图像，通过 HUD 直接投射到驾驶员前方的视野。2003 年，电装开发出了一款新型抬头显示系统，既可以显示各类行车信息，又能显示红外图像，成为世界上第一款可以同时显示行车信息与夜视成像信息的抬头显示器。2006 年，通用汽车在其高端品牌车型凯迪拉克 STS4.6 车型上装备了 HUD 系统，车速信息显示颜色可随车速改变，自此，HUD 从只能单色显示，发展成为可以多种颜色显示，技术发展迈出了重要一步。2012 年，先锋公司首次将导航信息引入车载 HUD，开发出世界上首个应用 HUD 技术的车载导航系统。

可以说，在汽车上引入 HUD，主要目的是使驾驶员不用转移视线就可以看到行驶关键信息，从而集中注意力观察路面情况，减少眼睛离开路面的时间，提升驾驶安全。同时，可以有效避免眼睛焦点在汽车仪表与前方道路之间频繁切换，从而减少瞳孔调整频率，缓解眼睛疲劳。

近年来，随着汽车的智能化与网联化趋势越来越明确，汽车驾驶安全问题日益受到各方重视，奔驰、宝马、奥迪、雷克萨斯等大部分豪华品牌厂商都推出了搭载 HUD 装置的车型。同时随着技术成熟和成本下降，HUD 已经逐渐走向平民化，大众、马自达和标致等大众化品牌的高端车型也纷纷装配 HUD，将数字信息投射在挡风玻璃前一块独立可折叠的反射玻璃上，但与豪华品牌相比，它们显示的信息较为单一，功能相对较少。与此同时，前装 HUD 正在从外资品牌的高端车型向国内自主品牌的中高端车型拓展，部分国内自主品牌厂商，如长城、吉利等也相继分别在其 WEY 摩卡、吉利星越 L、几何 A 等车型上前装 HUD。

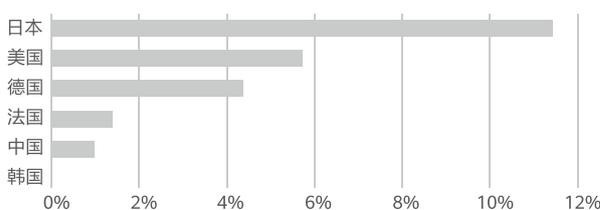
中国汽车市场 HUD 应用情况可从装备率、装车率角度来看。从装备率来看，由于成本压力、技术成熟度等问题，2021 年 1-12 月，HUD 的平均装备率为 6.56%，仍处于较低水平。但是，随着人机交互技术的不断升级，HUD 有望成为汽车全新的流量入口，将迎来快速发展阶段。



数据来源：中汽信科

图 2-2 2021 年 HUD 车型装备率

从各系别来看，由于日本精机、电装等日系零部件供应商在 HUD 领域具备技术先发优势，日系车型的 HUD 装备率远远高于美系、德系、法系、中系车型，达到了 11.48%。我国自主品牌车型受制于成本压力，目前的装备率尚低。



数据来源：中汽信科

图 2-3 各系别车型 HUD 车型装备率

从车型级别来看，目前由于 HUD 成本居高不下，中大型车的装备率明显高于紧凑型、小型车等。不过，随着

技术提升、成本下降，HUD 装备有望不断向紧凑型、小型车型渗透。

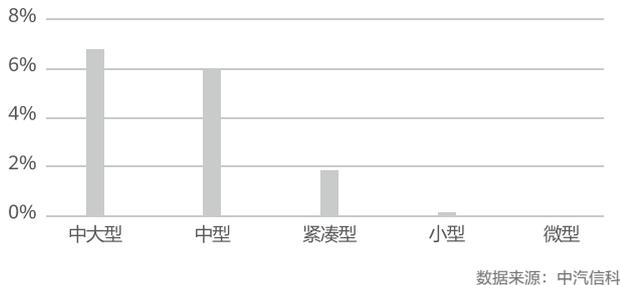


图 2-4 各级别车型 HUD 款型装备率

在汽车消费升级的大趋势下，HUD 装车率呈现波动上升趋势，2021 年的装车率已经近 6% 左右。我国汽车市场已经从增量市场迈入存量市场，置换需求潜力巨大，汽车消费升级将是顺势所趋，预计中高端车型销量将持续增加。随着中高端车型的 HUD 装备率持续提升，加之 HUD 装备逐渐向中低端车型渗透，预计未来 HUD 装车率会持续走高。

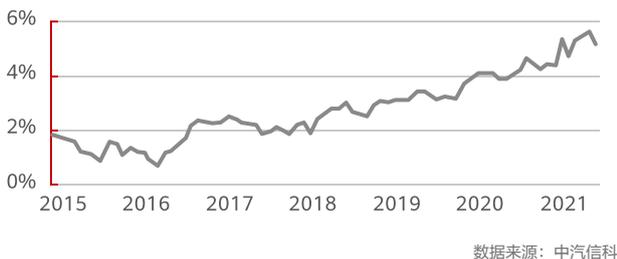


图 2-5 历年 HUD 装车率

2.2 车载 HUD 的必要性

2.2.1 从中国道路交通安全视角分析 AR-HUD 的必要性

随着经济社会发展和生活水平提高，人民群众对汽车的消费意愿和能力增强，在这一大背景下，我国汽车保有量急剧增加，根据公安部交通管理局统计数据显示，2020 年我国机动车保有量达到了 3.72 亿辆，全国有近 70 个城市的汽车保有量超过百万辆，与之相对，道路交通参与者的道路安全理念却明显滞后于汽车市场的发展速度，道路交通安全形势日益严峻。根据《中国道路交通事故统计年报(2020 年度)》

统计显示，2020 年，全国道路交通事故共发生 1297.4 万起，与 2019 年相比，增加了 50.1 万起，其中涉及人员伤亡的道路交通事故 24.5 万起，相比 2019 年有所回落。但是，因操作失误导致的交通事故仍然存在，如何减少驾驶过程中的操作失误仍是汽车厂商的关注重点。

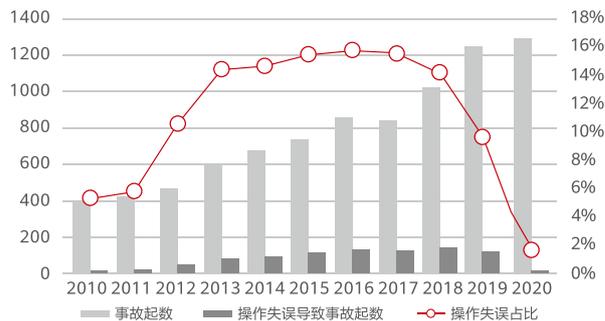


图 2-6 历年因操作失误造成事故分布

从历年因操作失误造成的事故分布来看，随着汽车驾驶辅助技术的不断成熟、量产装车，驾驶人员操作失误造成的交通事故自 2018 年后达到顶峰后，逐年下降，2020 年更是有明显下降，在充分证明技术进步可有效提高交通安全的同时，更表明驾驶员分心造成的交通事故仍然存在，仍需要汽车产业从业人员打磨安全技术。另外，交通安全不能完全用概率学来解释，因为每起交通事故的背后，可能就是一个家庭的破碎，零交通事故才是汽车交通安全的终极目标。在这一终极目标下，严格杜绝驾驶员分心导致的交通事故，将驾驶员分心有可能导致的制动和转向不当、油门控制不当等操作失误减少到零，仍是整个汽车从业者应该努力的方向。

2.2.2 从人因工效学的角度分析 AR-HUD 的必要性

车载信息娱乐系统丰富了驾乘人员的驾驶体验，使驾乘不再仅是一种移动手段，更是一种舒适体验，但是由信息娱乐等一系列车内次级任务引起的驾驶分心也严重降低了驾驶员的驾驶效能和驾驶安全。为减少驾驶员因观察仪表眼睛离开路面的时间，抬头显示技术应用于汽车便成了水到渠成。HUD 可以为驾驶员提供更加直观简洁的信息和更加舒适方便的信息查看方式，增强驾驶员的环境感知能力，减少其视线离开路面的时间，从而使驾驶员能将注意力更多集中在路面上，提高驾驶安全。

(1) 可以有效减少驾驶员视线离开路面的时间，降低盲驾风险。

驾驶员通过仪表盘获取车辆信息时，需要低头查看，视线离开路面容易引发交通事故，且需要穿过方向盘看仪表，视线易受方向盘阻挡。通过 HUD 获取相关信息时，信息显示的位置始终处于驾驶员正常驾驶时的视线范围之内，这样可以有效降低交通事故发生的概率。HUD（抬头显示）相比于 HDD（传统仪表）而言，驾驶员完成查看仪表获取行驶信息的时间可以得到有效地减少，减少的部分主要由“路面—显示器的实现转移”和“显示器—路面的实现转移”构成，如图 2-7 中 t_6 所示，而这部分时间又受到多个因素的影响，包括驾驶员年龄以及驾驶负荷情况等，通常为 $0.25\sim 1s^1$ 。在时速 100 公里/小时下，低头 $0.25\sim 1s$ 意味着产生 7~28 米盲驾，存在较大安全隐患。而采用 HUD 之后，可以降低盲驾风险，提升车辆、驾乘人员以及道路安全。

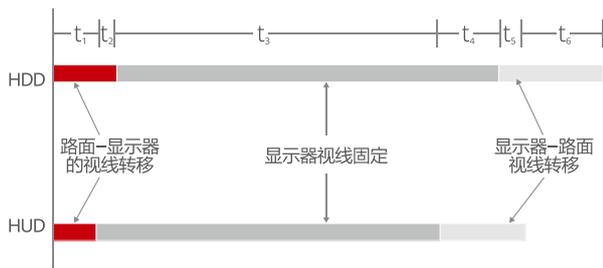


图 2-7 HUD（抬头显示）和 HDD（传统仪表）的信息获取时间窗对比²

(2) 有效提升驾驶员专注度，增强安全驾驶。

从图 2-8 AR-HUD 眼动实验结果可以看到：在未开启 AR-HUD 功能的模拟驾驶环境下，被试的注视点分布更离散，这意味着驾驶员在驾驶过程中视觉分心程度更高。而在开启了 AR-HUD 功能的模拟驾驶环境下，被试的眼动热点图显示其注视点基本集中在路面上，这说明驾驶员的注意力更加聚焦于驾驶任务本身，更加有益于提升行车安全。



图 2-8 AR-HUD 眼动热点模拟实验：AR-HUD 关闭（左图）vs AR-HUD 开启（右图）

(3) 有效缓解驾驶过程中的视觉疲劳。

在驾驶过程中，驾驶员查看驾驶信息时，视线需要从道路转移到组合仪表再转移到道路，这个过程中，需要瞳孔、睫状肌、眼部肌肉不断调整来适应亮度、焦距、辐辏的变化，容易造成眼睛疲劳。首先，由于白天外部环境亮度高而组合仪表（车内）的亮度低，视线从道路到组合仪表再到道路的过程，眼睛会经历由亮到暗再到亮的变化，瞳孔需要频繁调整来适应不同的亮度，容易造成眼睛疲劳，如图 2-9 所示。而 HUD 可以减少视线转移的距离，避免瞳孔频发调整造成的驾驶疲劳。

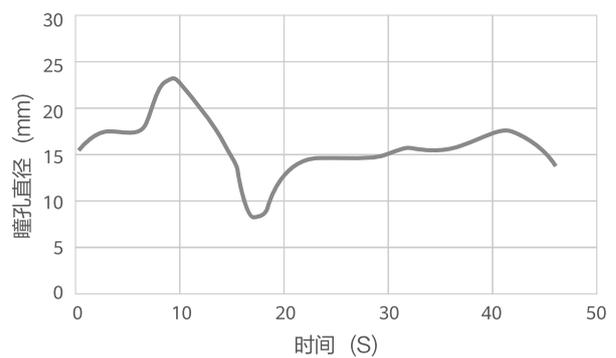


图 2-9 明暗切换造成的眼睛瞳孔直径变化（明亮环境为 $4000cd/m^2$ ，黑暗环境为 $2cd/m^2$ ）³

其次，视线从道路到组合仪表再到道路的切换过程中，眼睛的睫状肌和悬韧带需要不断收缩和放松来调节眼睛焦距，以便远近不同距离的物体都能清晰地呈现在视网膜表面。如图 2-10 所示，对于近距离物体，睫状肌需要收缩使晶状体变圆，而对于远距离物体，则需要调整使晶状体变平，这就容易导致视觉疲劳。而当 HUD 显示图像距离驾驶员眼睛大于 6m 时，睫状肌将处于放松状态，不易造成疲劳。

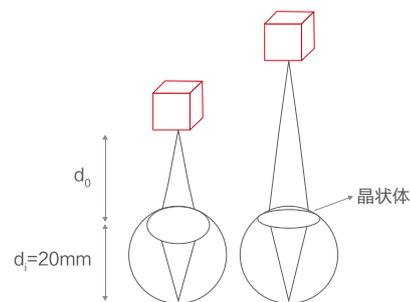


图 2-10 观察距离不同的物体时眼睛调节过程示意图

1 Gish, K.; Staplin, L. (1995): Human Factors Aspects of Using Head UP Displays in Automobiles: A Review of the Literature. Report No. 145402-LR. The Scientex Corporation, Human Factors Division.
 2 Kiefer, R.J. (in press). Defining the HUD benefit time window. In A.G. Gale (Ed.), Vision in vehicles-VI. Amsterdam: North-Holland-Elsevier
 3 Weng J., Du F., Hu Y., Cai X., 2017, Dark Adaptation Time Study on Road Tunnel Daytime Lighting Based on Visual Performance Method, Chemical Engineering Transactions, 59, 691-696

再者，从图中可以看出，由于驾驶员在驾驶时大部分时间视线聚焦于距离眼睛大于 6m 的车外道路，而不论使用传统仪表还是 W-HUD 都需要调整眼睛的焦距，以适应显示画面的距离。由于 AR-HUD 能够显示在距离眼睛大于 6m 的位置，与道路和环境相融合，因此不需要调整眼睛焦距，从而避免因眼睛焦距调整带来的驾驶疲劳，如图 2-11 所示。

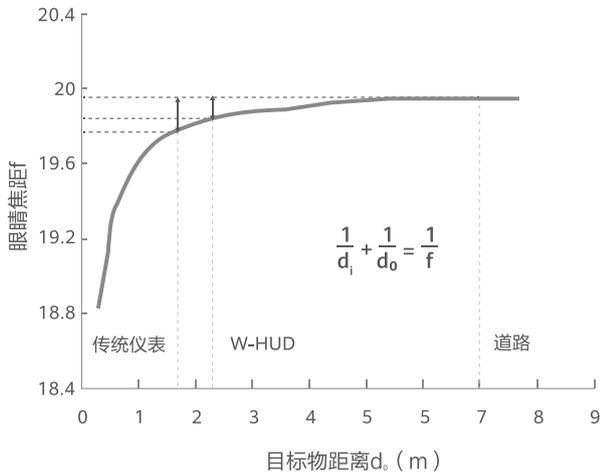


图 2-11 所观察目标物距离与眼睛焦距关系

另外，驾驶员观察不同距离的物体时，还需要转动眼睛以保证双眼视线聚焦于物体。对于远距离物体，视线相对平行，眼睛转动的角度较小，对于近距离物体，则需要双眼向内转动更多的角度，如图 2-12 所示，需要更多的眼部肌肉活动，容易造成眼睛疲劳。而 HUD 可以有效减少视线远近的切换，减小视觉辐辏缓解驾驶疲劳。

同样的，由于 AR-HUD 能够显示在距离眼睛大于 6m 的位置，与道路和环境相融合，因此视线相对平行，减少了眼睛旋转造成的驾驶疲劳，如图 2-13 所示。

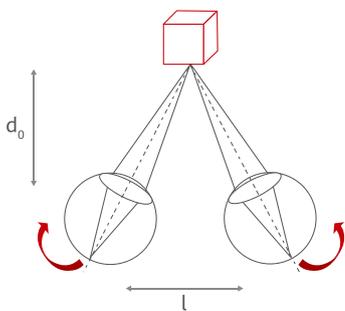


图 2-12 观察物体时双眼转动示意

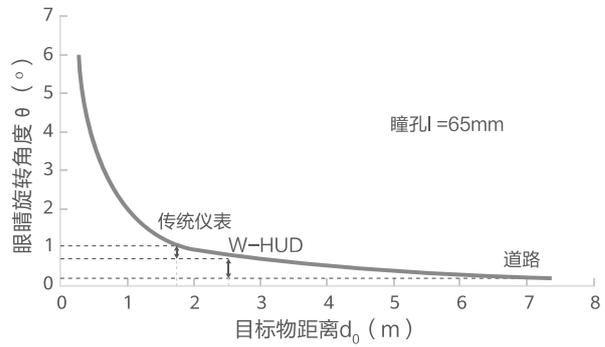


图 2-13 所观察目标距离与眼睛旋转角度关系

(4) 有效降低双眼视差，提高驾驶安全性和舒适性。

视差是由于双眼存在一定间距，左右两只眼睛分别具有各自的瞬时视场角，并且存在一小部分的重叠，称为重叠视场角，只有物体位于重叠视场角内时才能被双眼同时看到⁴，如图 2-14 所示。

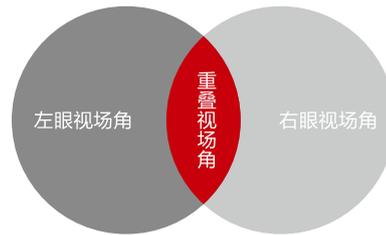


图 2-14 双眼视场角示意

当驾驶员正常驾驶的时候，眼睛聚焦于车外道路，即双眼的轴线汇聚于车外道路，以便其图像投影在双眼视网膜相同的位置，而 HUD 虚像位于道路与人眼之间，其图像在左右眼视网膜的投影位置将存在差异，从而出现视差，如图 2-15 所示。

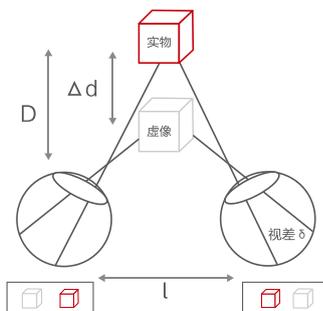


图 2-15 HUD 虚像视差产生原理示意

4 Gibson, C. P.. "Binocular Disparity and Head-Up Displays." Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society 22 (1980): 435 - 444.

双目视差可以定义为左右眼轴线汇聚于物体时的夹角，如公式(1)所示⁵，视差与虚像距离的关系如图2-16所示。

$$\delta = 2\arctan\left(\frac{1}{2D}\right) \quad (1)$$

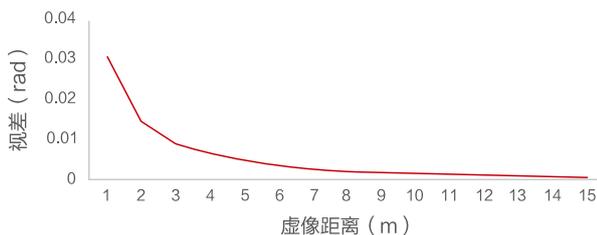


图 2-16 HUD 虚像距离与视差之间的关系

从图2-16中可以看出，当虚像距离大于10m的时候，双目视差接近于零，因此AR-HUD由于具有虚像距离大的特点，可以有效地降低双目视差，从而提升驾驶安全性和舒适性。

2.3 HUD 产品形态的变迁

2.3.1 需求驱动下的车载抬头显示技术发展

虽然 HUD 目前应用还比较有限，但其全面推广具备必然性。与传统仪表盘的显示方法相比，HUD 将驾驶信息、车辆状况、路面状况、周边环境等信息直接投射到挡风玻璃上，明显减少了驾驶员因视线偏移、车内人机交互而导致的驾驶分心。因此，汽车厂商装配 HUD 对于终端使用者来说具备三大必要性：驾乘的安全性、交互的简单便捷性、行车过程的智能性，需求端的三大必要性将推动 HUD 的技术升级和全面普及。

目前市场上抬头显示产品根据实现方式和产品形态的不同，大致可分为三大类型：

(1) C-HUD (Combiner HUD) 安装方式较为灵活，是一种既可以前装也可以后装的产品形态，C-HUD 一般是将一块透明树脂镜面安装在仪表盘上方，可以作为独立系统进行光学设计，根据成像条件对镜面进行特殊处理即可显

示信息，设计成本及难度较低。

(2) W-HUD (Windshield-HUD) 需要汽车前装，因为它需要与挡风玻璃统一做光学设计，将重要的行车信息直接投射在挡风玻璃上，使得显示效果更加一体化。但是由于挡风玻璃为自由曲面，内外两个反射面的反射光线不重叠，将 HUD 图像直接投射在这样的玻璃上会造成图像存在重影的问题，因此需要将挡风玻璃夹层的 PVB 膜设计成楔形的，并通过调整楔形膜的角度和玻璃的厚度达到消除重影的效果。

(3) AR-HUD (Augmented Reality-HUD) 为增强现实抬头显示器，同样应用于前装市场。AR-HUD 可提供更远距离及与实景相结合的图像，因此能够有效地提升驾驶安全性和使用体验。AR-HUD 技术被汽车行业重视，不仅因为它能提高驾驶安全性和显示效果，更重要的是 AR 技术的应用，让 HUD 的使用场景有了更多可能。比如，行车时可以直接将导航的道路信息显示到 HUD 上，并融合周围实际的路况场景进行显示，使得道路信息一目了然；也能结合 ADAS 功能，提供前向碰撞预警、车道偏离预警及交通标志标线识别等提示，及时预告路况和行人预警信息；可将行车电脑中的车辆数据与道路实景有机结合，进行 AR 呈现。

| 对比项目 | C-HUD | W-HUD | AR-HUD |
|--------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 名称 | Combiner HUD 组合型 HUD | Windshield HUD 挡风玻璃 HUD | Augmented Reality HUD 增强现实 HUD |
| 视觉显示区域 | 透明树脂玻璃 | 前挡风玻璃 | 前挡风玻璃 |
| 产业应用情况 | 后装或前装， 已实现量产 | 前装，已实现量产 | 前装，少量量产 |
| 主要优点 | 成本较低 | 一体化显示 节省车内空间 | 驾驶安全性高 显示效果更加真实 |
| 主要缺点 | 发生事故时透明树脂玻璃容易对驾驶员造成二次伤害 | 易造成驾驶疲劳 沉浸感不佳 | 技术难度大 制造成本高 |
| 代表厂商 | Navdy 等 | 大陆、博世等 | 华为、大陆等 |

表 2-1 不同类别 HUD 对比

2.3.2 车载抬头显示产品发展阶段的共识

由于消费需求的驱动，车载抬头显示产品不断演化发展，在这个过程中，产品代际的跃迁其实是抬头显示产品关键性能指标的更迭，而这背后是汽车产业的变革以及关键技术的突破。

⁵ Mon-Williams, Mark and James R. Tresilian. "Some Recent Studies on the Extraretinal Contribution to Distance Perception." Perception 28 (1999): 167 - 181.

在安全和体验两个目标的牵引和驱动下，车载抬头显示产品的关键指标包括显示画幅、显示效果以及与智能网联的融合。

根据关键指标的情况，三种不同类型的抬头显示方案分布如图 2-17 所示。C-HUD 的主要特征是显示位置为仪表盘前方的树脂镜面，显示画幅非常小，且显示效果差；W-HUD 的特征是显示位置由树脂镜面变成了挡风玻璃，且显示画幅增加，显示效果也得到较大的提升；AR-HUD 的特征是显示画幅得到进一步提升，支持图像与现实叠加，同时与智能网联深度融合。

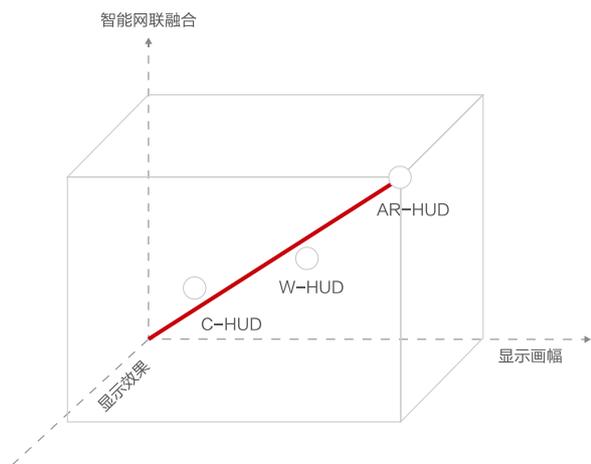


图 2-17 不同类型抬头显示的特征分布

从图中的分布可以对于车载抬头显示发展的不同阶段进行定义，如图 2-18 所示。根据各个抬头显示类型的特征，可以认为 C-HUD 只是车辆仪表信息简单的图形和文本显示，W-HUD 则是简单图形显示；AR-HUD 则是利用增强现实技术，与智能网联数据深度融合，实现虚拟图像与现实的叠加显示。而未来 HOLO HUD 结合 3D 技术和 AR 显示，可实现内容更加丰富，形式更加生动的全视场显示。



图 2-18 车载抬头显示的代际定义

2.4 AR-HUD 的优势

2.4.1 传统 HUD 的问题分析

从产品形态来看，C-HUD 和 W-HUD 一般称为传统 HUD，由于其成像距离、成像尺寸以及采用的光机技术等原因，存在固有的缺点和问题。

第一，成像距离较近，易造成驾驶疲劳。C-HUD 显示的图像距离通常小于 2 米，因此驾驶员在观察 HUD 图像的过程中需要不断调节眼睛焦距和角度，很容易造成驾驶疲劳。W-HUD 成像距离在 2.1 至 2.5m 之间，与 C-HUD 相比，成像距离有所提高，但仍不能彻底解决成像距离较近的问题。

第二，成像尺寸过小，呈现的信息量有限，沉浸式体验感不佳。传统 HUD 图像的画面尺寸、眼盒尺寸都比较小，很难将车辆多维的传感器信息进行有效展示，显示内容单一，显示效果不佳。例如，C-HUD 成像尺寸在 6 ~ 8 寸，只能显示车速、油耗、距离等数字信息，呈现的信息量有限；W-HUD 以汽车前挡风玻璃作为成像载体，尺寸相比 C-HUD 有所改善，但是由于其光学结构较为复杂，如果不对挡风玻璃进行特殊化处理容易造成重影。

第三，存在驾驶安全隐患，C-HUD 成像载体树脂玻璃对驾驶员存在二次伤害风险。C-HUD 一般以一块外置的半透明树脂玻璃作为成像载体，驾驶员行车过程中，一旦发生交通事故，外置的树脂玻璃有可能发生破碎，对驾驶员造成二次伤害。

2.4.2 车载 AR-HUD 优势

相比于传统的仪表显示、中控显示以及传统 HUD，AR-HUD 体验更佳。传统仪表显示系统位于方向盘后面，容易受到方向盘阻挡，或需要低头去看，容易产生驾驶安全隐患。另外中控显示的位置需要驾驶员侧面观看，驾驶员容易产生不适感。传统的 HUD 则存在易产生驾驶疲劳、沉浸感不佳等问题。这一系列问题，通过 AR-HUD 都可以迎刃而解。AR-HUD 可以将图像投影至驾驶员前方至少 7 米距离的位置，一般可以达到 10~20 米的距离，在这样的距离下，驾驶员对于视场中图像或物体的视觉深度区分能力下降，感觉投影图像与环境融为一体，这样也就可以提升驾驶员使用过程中的沉浸式体验。

让驾驶更安全。更远的虚像距离可以减少驾驶员视觉焦点在虚像与现实之间切换的视觉深度适应时间，从而减轻了

眼睛疲劳。同时，AR-HUD 还可以结合 ADAS 系统，将 ADAS 功能呈现在挡风玻璃上，能够在低能见度的极端天气条件下增强驾驶员对周围环境的感知能力。另外，通过将驾驶视觉盲区监控信息呈现在驾驶员视野前方，使驾驶员能够及时发现驾驶环境中存在的安全隐患，增强驾驶员行车安全意识，提高行车安全，减少交通事故的发生。

让汽车更智能。虽然目前很多车辆已经实现了 L2 甚至 L2+ 的功能，但是智能化的决策和控制并不能直观地为驾驶员呈现，用户无法感受到车辆的智能化功能，AR-HUD 能够通过智能驾驶控制系统的数据，将车辆的智能驾驶功能展现在用户的眼前，实现“所见即所知”；另外，人类感知的信息 80% 以上是依靠视觉来获取的，AR-HUD 丰富的显示功能可以赋能座舱的智能化，让座舱的视觉交互更加直观和有效，为驾乘人员提供沉浸式体验。

2.5 AR-HUD 的价值

2.5.1 安全和体验的两全其美

AR-HUD 可以对导航信息进行直观显示，并可以结合实际路况，实时利用虚拟箭头来提示驾驶员，避免在驾驶过程中出现开过路口或分散驾驶员注意力的情况发生。在驾驶安全方面，由于座舱电子产品搭载数量的增多，驾驶员低头查看导航、车辆信息的需求也相应增多，而低头查看车辆信息时，容易产生盲驾风险。例如一辆以 100km/h 速度行驶的车辆，驾驶员低头 1s 的时间内，汽车大约行驶了 27.8m，在这 27.8m 的盲驾阶段，容易引发安全隐患。AR-HUD 通过将行车信息投射到前挡风玻璃上，可以有效避免驾驶员因低头查看行车信息引发的安全隐患。另外，AR-HUD 还可以与 ADAS、汽车传感器等进行协同，对驾驶员进行安全提醒，比如车距过近预警、压线预警、红绿灯监测预警、变道预警、行人预警、路标显示、车道偏离预警、前方障碍物预警、驾驶员状态提醒预警等，还可以通过变换颜色来对不同安全度的危险隐患进行提醒。

在驾驶体验方面，AR-HUD 具备自动侦测环境亮度功能，实现自动调节 HUD 照明亮度以适应环境的能力，减轻驾驶员在光照条件变化之后眼睛出现的短暂不适感。另外，AR-HUD 还可以结合车辆的当前位置、车载地图和场景

AI 等为驾驶员提供旅游景区、商场、餐厅、服务站等信息，实现车与道路环境的互联。最后，AR-HUD 还可以分为两个部分来显示信息，以满足驾驶员和乘车人的不同需求，驾驶员前方提供道路导航信息，副驾驶视野前方显示音乐、视频、通话等信息。对于用户而言，驾驶沉浸感和行驶安全均有明显提升。

2.5.2 品牌向上，生态赋能

当前，我国正处于由汽车大国迈向汽车强国的关键时期，作为汽车强国的重要标志之一，拥有具备全球竞争力和影响力的汽车品牌不可或缺。我国自主品牌汽车正在不遗余力地推动“品牌向上”，一方面打造高端自主品牌，推出高端车型，另一方面则是紧跟智能化、网联化发展趋势，加大智能化研发力度，实现创新驱动，科技赋能，争夺智能化的战略制高点。

AR-HUD 作为 W-HUD 的升级产品形态，能够为车辆提供更加完善的视觉显示解决方案。由于技术难、成本高的特点，目前也只在部分高端车型上实现了装备。AR-HUD 的装车将有助于提升汽车产品和品牌的智能化属性，推动品牌和产品高端化进程。

智能化和网联化已然成为全球汽车产业未来的发展重点。抢占智能化的战略制高点，是我们国家汽车产业实现转型升级、由大变强的重要突破口。AR-HUD 与汽车的智能化和网联化紧密相关，是智能化和网联化应用的载体，同时也是推进智能化和网联化进程的助推剂。AR-HUD 核心技术的突破也正是我国汽车智能化和网联化实现创新驱动的实施路径，是解决我国核心零部件产业链安全问题，实施强链、补链、延链的重要一环，将推动我国汽车产业向价值链中高端水平迈进，助推我国汽车产业高质量发展。

第三章

AR-HUD 如何影响出行生活

截至 2021 年底，我国汽车保有量超过 2.94 亿辆，汽车已成为人们出行的第一选择，并在自动驾驶技术、智能座舱革命的驱动下，向第三生活空间转变。但交通越来越拥堵，路况越来越复杂，如何将更安全、更舒适的驾驶梦想走进现实，仍是汽车人不懈努力的动力。2020 年，AR-HUD 开始成为人车交互的新窗口，让人们看到了安全舒适驾驶的希望。

清晨，一辆搭载 AR-HUD 的私家车启动，车载导航快速规划出最优行驶路线。一路上，驾驶员无需低头查看手机与中控导航，只需专注前挡风玻璃即将路线一目了然，脱眼驾驶大幅减少。在即将到达三岔路口、转弯处前，AR-HUD 实时将 3D 箭头、立体地图信息贴合实际道路增强显示，帮助驾驶员准确判定道路，不再犹豫，彻底避免了走错路口、下错高架。

一路上车水马龙，车流、人流络绎不绝，路口处“低头族”突然闯入前方，AR-HUD 立即在行人身上浮现醒目警示符，跃然前挡风玻璃上，驾驶员瞬时获取信息，及时采取减速及制动措施，一场交通事故就此规避；行至拥堵场景，长期的驾驶行为让驾驶员对车距已不再敏感，但 AR-HUD 精准显示出车距信息，警示驾驶员保持安全跟车距离，规避追尾风险；行车途中，醒目的车道警示线贴地显示，提醒驾驶员车道巡航功能启用中，不要越过车道线。AR-HUD 与 ADAS 全面深度融合，直观醒目的安全警示伴随驾驶旅程始终，最终将驾驶员安全快速送达目的地。

在汽车智能化发展的进程中，AR-HUD 正在成为更多信息的显示载体，成为车内信息显示最主要的方式之一。

AR-HUD 不仅带给驾驶员前所未有的安全价值，它正在以智能汽车第一屏的身份无限丰富驾驶体验。

自驾游已成为当今人们的一种崭新生活方式，带给人们无限新的感官体验与精神愉悦，AR-HUD 缔造的新一代车生活正在将这种行车体验推向新的高地。

自驾途中，AR-HUD 可以向用户呈现琳琅满目的生活服务信息。结合实景道路、建筑，清晰指引餐饮、购物、加油、停车等各类生活所需信息，解决行车途中的衣食住行，极大地方便出行生活，感受生活新体验。

AR-HUD 在丰富行车生活的同时还优化了驻车体验，远超中控屏的超大画幅、超高分辨率、科学的平视视角让 AR-HUD 具备了天然的娱乐属性，让驾驶员可以在驻车场景下体验车载影院、沉浸 AR 游戏、畅享视频通话，感受全新社交和娱乐体验。

伴随汽车第三空间丰富的属性，AR-HUD 还将实现多种新体验，成为人车交互的新窗口。

3.1 应用场景

3.1.1 安全驾驶是重中之重

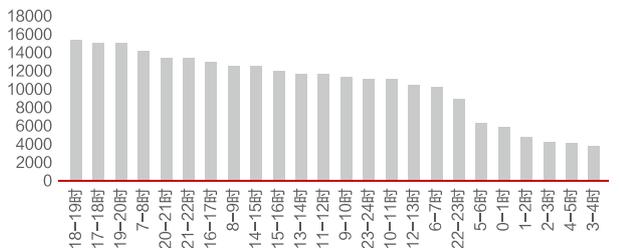
(1) 安全提醒

通过醒目的危险警示符号，及时提醒驾驶员其他道路参与者的情况，助力行车安全。繁华闹市区是车辆高频通行场景，行车环境十分复杂，突然出现的行人、自行车及加塞车辆常常让驾驶员措手不及。根据公安部交通管理局统计数据，2020年刮撞行人的交通事故大约发生4.8万起，占整体交通事故的比重高达19.63%，可见如果可以有效降低行人刮撞，将可以大大提升道路行驶安全。尽管行人监测、碰撞预警等ADAS功能能够有效监测前方障碍物，但无法通过直观、有效的显示方式提醒驾驶员，AR-HUD正在成为破解这个最常见危险问题的有效方案。它可以在距离前车过近、行人及自行车出现时，自动投射醒目的危险警示符号至前方车辆、行人、非机动车等实物之上，帮助驾驶员以最直观的方式获取危险信息，及时采取应对策略，实现安全驾驶。



图 3-1 AR-HUD 安全辅助驾驶功能

(2) 提升极端环境下的驾驶安全



数据来源：公安部交通管理局

图 3-2 国内各时段道路交通事故数量分布

另外，据公安部交通管理局统计数据，雨雾等极端天气下，一旦发生交通事故，其造成的人身及财产损失均远高于风和日丽的正常天气。如表 3-1 所示，雨雾天气所发生的交通事故死亡人数、受伤人数、财产损失相对于全国总共交通事故数的占比都超过 10% 以上。雨雾等极端天气造成驾驶员能见度变低、视野变窄等，容易引发交通事故。AR-HUD 可以将摄像头、激光雷达、毫米波雷达等检测到的行人、障碍物、周边车辆行驶方向等信息直接呈现在驾驶员面前，提升车辆在极端环境下的行驶安全。

| | 交通事故数量(起) | 占总数 | 死亡人数(人) | 占总数 |
|---|-----------|--------|---------|--------|
| 雨 | 25369 | 10.37% | 6474 | 10.49% |
| 雾 | 533 | 0.22% | 211 | 0.34% |

| | 受伤人数(人) | 占总数 | 直接财产损失(亿元) | 占总数 |
|---|---------|--------|------------|--------|
| 雨 | 26184 | 10.44% | 1.53 | 11.66% |
| 雾 | 623 | 0.25% | 4435983 | 0.34% |

数据来源：公安部交通管理局

表 3-1 国内雨雾天气条件下的交通事故情况



图 3-3 AR-HUD 雨雾夜视画面显示

3.1.2 沉浸式体验智能化功能

将 ADAS 功能直观地展现在驾驶员面前，加强驾驶员对智能化功能、自动驾驶的信任，减轻对自动驾驶的安全焦虑。近两年，伴随智能化设备成长的年轻一代正在成为汽车消费的主力军，对汽车的智能化需求日趋高涨，推动 ADAS 功能迎来几近爆发式的发展，功能日益丰富、落地规模与日俱增。相关数据显示，我国 L2 级乘用车新车市场渗透率已经达到 20%，碰撞预警、自适应巡航、车道偏离

预警等辅助驾驶（ADAS）功能正在得到广泛应用，渗透现代人的用车生活。

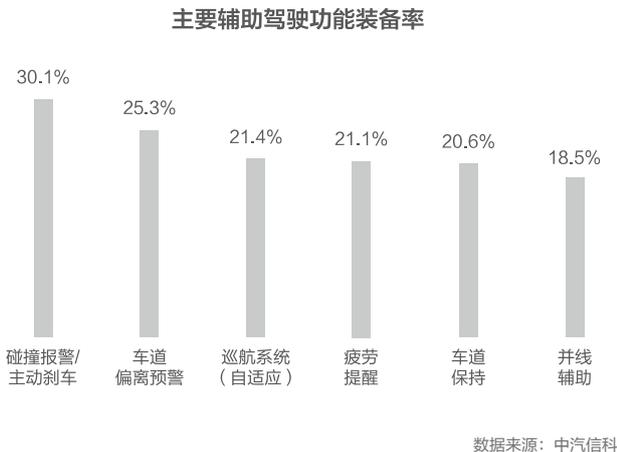


图 3-4 ADAS 功能装备率

根据《道路车辆先进驾驶辅助系统 (ADAS) 术语及定义》，未来，辅助驾驶功能种类将会继续增加，甚至可能超出 40 余项，这些与行车安全密切相关的驾驶信息亟须通过安全可靠的可视化平台更加直观地呈现在驾驶员面前，帮助驾驶员在充满不可预测的行车途中对危险一目了然。

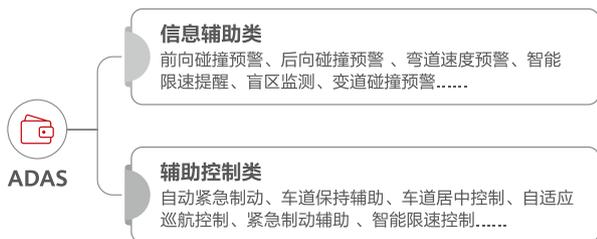


图 3-5 日益丰富的 ADAS 功能类别

ADAS 信息目前主要通过车载信息娱乐屏、仪表、传统 HUD 的方式传递给驾驶员，能够达成“有”的初级效果，却无法第一时间跃然眼前。

中控屏位于驾驶员视野下方，驾驶员低头、扭头获取信息，易引发脱眼驾驶风险和风险滞后处理，进而造成安全事故。传统的 W-HUD 虽可呈现驾驶辅助信息，解决了脱眼问题，但受投影尺寸限制，以安全强相关信息呈现为主，信息显示数量有限，无法满足日益丰富的 ADAS 功能呈现需求，且在显示距离、信息与实景的融合度上存

在不足，无法更逼真地呈现路况信息。

AR-HUD 技术的出现使得上述问题迎刃而解，通过虚拟结合现实的技术，为辅助驾驶信息的呈现提供了高效可视化平台，能够在不影响驾驶员视线的情况下，通过在实景信息上标记虚拟警示符号的方式准确定位驾驶过程中的危险情形，实现虚拟警示符号与实景路况高度融合，以此提醒驾驶员采取相应的措施。

具体表现形式为，在显示基本信息的同时，AR-HUD 还可以对实际情况进行模拟，将警示符号叠加在真实的人、车、物体上，以纯视觉的方式在驾驶员视场角内凸显潜在的警示信息，自然而真实，帮助驾驶员将看到的实景与辅助性信息连接，感受更加真实的车道偏离、交通灯预警、障碍物等监测信息，更容易在第一时间清晰地察觉到危险，为处理安全隐患争取时间。

例如，配备车道巡航功能的车辆，一旦偏离既定车道，AR-HUD 系统将及时地在车道线边缘处标出醒目的提示线提醒用户不要偏离车道，将提示信息以立体化效果逼真地融入行驶道路，让驾驶员瞬间得以决策纠偏。

此外，AR-HUD 具有更大的成像尺寸，主要整车企业当前推出的 AR-HUD 最大图像显示尺寸已经达到超 70 英寸的高水平，基本可以满足丰富的 ADAS 信息显示需求。

在辅助驾驶功能快速发展的基础上，L3 级、L4 级别自动驾驶也正在加快脚步进入我们的车生活。AR-HUD 将在高级别自动驾驶中发挥更大的价值，承载人机接管等关键信息显示，提升用户对高级别自动驾驶的信任感、接受度，减轻安全焦虑。

L3、L4 级别自动驾驶虽已逐步趋向无人驾驶，但仍存在行驶条件、设计运行范围的限制，尤其是 L3 级自动驾驶需要驾驶员及时响应并执行动态驾驶任务接管，驾驶员需要在极短时间内直观了解系统运行及驾驶环境情况，才能实现有效接管，降低安全风险。对于 L4 级别自动驾驶，动态驾驶任务虽然可由自动驾驶系统执行，但在系统运营超出设计运行范围或发生失效等情况时，也可发出接管请求，人类驾驶员可执行动态驾驶任务，此时，直观的实景路况呈现对 L4 级别自动驾驶也具备重要意义。

AR-HUD 接近实景的路况、车况展示可以在第一时间向驾驶员反馈车内外信息，减少信息转换时间，帮助驾驶员及时实现脱手驾驶与接管任务的快速切换，有效完成

动态驾驶任务的接管，规避事故，实现安全驾驶。

此外，虽然高级别自动驾驶系统可以代替人类驾驶员，但是驾驶员对自动驾驶难免存在安全焦虑，AR-HUD对于车况与路况等系列信息所见即所知的展示效果，感知与决策过程的可视化，可以减轻驾驶员对自动驾驶的安全焦虑。

3.1.3 AR 提升出行体验

(1) AR 导航直观生动，不再错过任何一个路口

AR 导航是 AR-HUD 带给驾驶员最直观、实用的功能体验之一，实现了将手机导航、中控导航的信息与车道线走势等车道特征进行融合，可以将虚拟图像投射至驾驶员前方视野、显示在道路上，让驾驶员感受最真实的道路信息。

传统的车载导航显示在中控屏、手机屏等二维界面，驾驶员获取信息一方面需要进行听觉、视线的转移与切换，一方面需要对二维信息进行加工，与环境信息匹配为三维信息，降低对真实路线判断的及时性与准确性，容易走错路，同时也会因注意力分散造成潜在的安全风险。

AR-HUD 首先可以在驾驶员视场角内呈现导航信息，避免低头查看导航信息引起注意力分散。同时，AR-HUD 具有更远的成像距离，可以将图像投影至驾驶员前方至少 7 米距离的位置，将远景、细节信息清晰显示。此外，更大的视场角，使显示内容覆盖多车道信息。最终，实现 AR 信息直接显示在实景路面，与现实环境进行互动，达到一目了然的效果。



图 3-6 AR 导航的应用价值

例如，在即将进行路口转向时，AR-HUD 上会显示出箭头，达到附着在路面的可视效果，指引驾驶员在正确的路

口完成转弯，无需低头查看导航确认语音播报的路口位置。



图 3-7 AR-HUD AR 导航显示

(2) 全面显示车况、路况、ADAS 等多维信息

信息显示功能是车内视觉硬件的基础功能，仪表盘、中控屏作为传统屏显，历来各司其职，仪表盘以车辆基础信息显示为主，但信息较为单一；中控屏承载了当前车载导航、娱乐、通讯及部分 ADAS 等多类信息的显示功能，但受限于尺寸，信息呈现量有限。HUD 出现以后，开始承载部分仪表及中控屏信息，但传统 HUD 的虚像距离一般为 2-3 米，图像的尺寸一般小于 12 英寸，可显示的内容有限，以安全强相关信息展示为主，无法满足当下日益丰富的智能座舱及 ADAS 功能的呈现。

AR-HUD 基于增强现实的技术，实现了图像更远距离和更大画幅的显示，让图像更真实直观，让信息更丰富多维，在汽车智能化发展的进程中，AR-HUD 将会为更多信息的显示提供载体，成为车内信息显示最主要的方式之一。

| 显示屏 | 车况 | 路况 | 导航 | 娱乐 | | 通讯 | | ADAS |
|--------|----|----|----|----|----|------|------|------|
| | | | | 音乐 | 视频 | 视频通话 | 电话信息 | |
| 仪表 | √ | | | | | | | 部分 |
| 中控 | | √ | √ | √ | √ | | √ | 部分 |
| 普通HUD | √ | √ | √ | √ | | | √ | 强相关 |
| AR-HUD | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |

表 3-2 各类视觉显示硬件信息显示内容

3.1.4 提供便捷式服务

AR-HUD 可以通过 AR 将地图 POI 信息与实景叠加，

将行进途中的停车场、餐厅、购物场所、加油站等消费、车辆服务相关的地点信息实时标注显示，尤其是在陌生的地方利用 POI 信息可以极大方便出行。



图 3-8 AR-HUD POI 信息显示类别

POI 信息在自动驾驶到来之后将会具有更大的服务价值，脱离驾驶任务的驾驶员对生活服务信息的诉求将增多。同时，基于日益增多的 POI 信息服务需求，车企与内容提供方之间将激发产生新的商业模式，为 AR-HUD 整体产业繁荣注入新的活力。



图 3-9 AR-HUD POI 信息显示效果

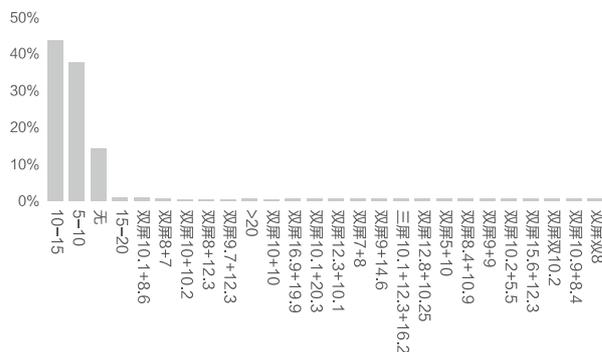
3.1.5 身临其境体验车载信息娱乐功能

(1) 中控屏对车载信息娱乐功能的呈现有限

中控屏是目前智能网联汽车车载娱乐系统的重要组成部分，在数量及尺寸上正在不断升级，多联屏、超大屏不断涌现，但目前仍以 15 英寸以下单屏占比较高，大屏尺寸也基本在 40 英寸以下，屏幕尺寸制约了影院级视频功能体验。且中控屏的位置不在驾驶员视线前方范围，需要低头、扭头使用，长时间娱乐功能的体验不佳。

伴随自动驾驶技术的发展，一旦驾驶员的双手双脚逐步

解放，汽车的功能将从代步向移动生活空间转移，驾驶员以及乘客将产生更多的娱乐需求，观看视频、视频聊天、车机游戏将成为主要需求，而中控屏将难以实现沉浸式体验。



数据来源：中汽信科

图 3-10 目前汽车中控屏尺寸分布

(2) 驻车场景下，高清大画幅 AR-HUD 让畅玩游戏、影院级观影成为现实

汽车正在向“第三生活空间”发展，用户视觉体验诉求激增，既要画面足够大，又要体验沉浸感，AR-HUD 恰好可以满足高视觉体验诉求。

屏幕尺寸、分辨率对于智能座舱信息娱乐体验有着关键的影响作用，当前主流 AR-HUD 的画幅可以达到 70 英寸水平，远超中控屏尺寸，分辨率可达 2K，足以呈现高清画面效果，体现更多的图像内容。驾驶员在驻车场景下，可以通过 AR-HUD 身临其境体验高清视频、游戏画面、视频通话，感受家庭影院式的沉浸感。

体验车载影院。AR-HUD 可将超大电影画面直接显示在视线正前方，让观影无需低头，配合音响设备，可让前排驾乘人员真正享受影院级观影体验。

沉浸趣味游戏。汽车正在变得更加有趣，电子游戏将是视频体验之外又一热门车载娱乐功能，AR-HUD 让车载游戏以大画幅呈现的同时，还可以与现实融合，并实现协同游戏，极大地增加了车载游戏的趣味性。

视频交流更自然。通讯是汽车用户必不可少的用车需求，社交软件已经培养了人们视频通讯的社交习惯，车载视频通讯需求旺盛，但传统车载屏幕无法提供直视通讯效果，

AR-HUD 结合车内摄像头可直接将视频通话画面信息投射到挡风玻璃上，驾驶员无需低头，目视挡风玻璃即可视频通话，让通讯更自然。

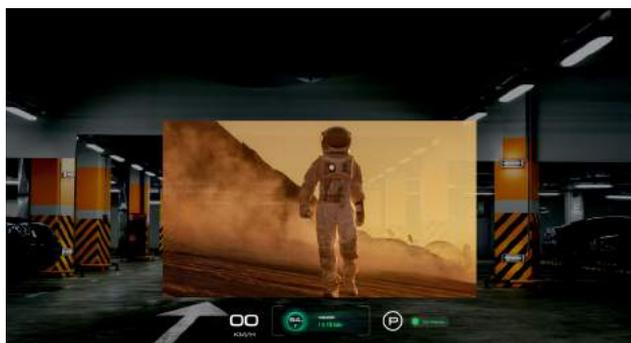


图 3-11 AR-HUD 车载影院

3.2 AR-HUD 的关键核心技术

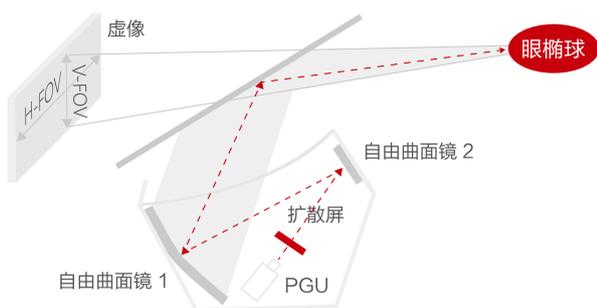


图 3-12 AR-HUD 结构示意图

AR-HUD 硬件结构主要包含 PGU 成像与空间光学两部分。

3.2.1 显示技术是关键

PGU (Picture Generation Unit) 成像单元是 AR-HUD 的关键部件，直接影响 HUD 的成像效果与产品化成本等。目前 PGU 主流成像技术主要有三种：TFT-LCD、DLP 和 LCoS，成像技术的工作原理不同，在 HUD 上的应用表现存在很大差异。

(1) TFT-LCD 显示技术

TFT 是 LCD 液晶显示的一种，指的是图像是由集成在

LCD 面板每个像素点背后的薄膜晶体管 (TFT) 驱动改变光源偏振状态进行显示的。TFT-LCD 抬头显示的原理是背光光源照亮 LCD，并由 TFT 驱动像素点的光源偏振状态改变，呈现不同的明暗度，然后通过 RGB 滤色片呈现彩色的图像。由于一般 TFT-LCD 是在玻璃基板非晶硅或多晶硅层上制作，而非晶硅、多晶硅的电子迁移率低，导致有源器件所占面积较大。

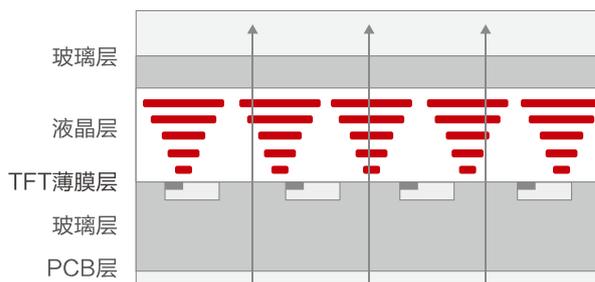


图 3-13 TFT 显示芯片结构示意图

TFT-LCD 是最常见且应用最广泛的抬头显示光机类型，具有技术成熟、成本低的优点，但是同时也存在热管理难度大、亮度对比度有限、视场有限、清晰度有限的问题。

(2) DLP 显示技术

DLP 是一种数字光处理技术，是首先将信号经过数字化处理后再进行投影显示的技术。DLP 技术的核心是 DMD 即数字微镜芯片。

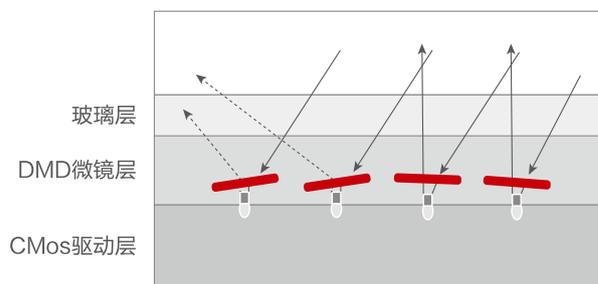


图 3-14 DLP 显示芯片结构示意图

在 DMD 中微反射镜是最小工作单位，也是影响其性能的关键零部件。微反射镜的体积非常小，但是依然拥有非常复杂的机械机构，如图 3-15 所示。

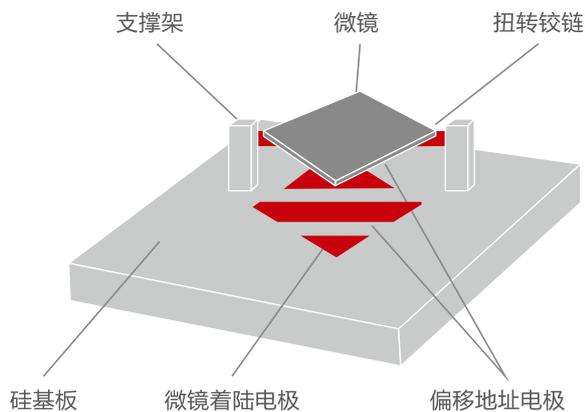


图 3-15 DMD 微反射镜结构示意图

微反射镜可以在 -12° 和 $+12^\circ$ 之间倾斜，从而实现信号投影的开关。微反射镜的倾斜与水平是由施加在电极上的电压形成作用力以及铰链上的恢复力来进行控制，从而实现每个像素光的通断。当 DLP 光机工作的时候，需要进行投影的图像最终转化为二进制信号输入到 DMD，图像的每一个像素将会由微反射镜进行精确的控制和映射。

一块 DMD 通常是由数百万个铰接安装的微反射镜组成的矩形阵列，每一个微反射镜对应一个像素，通过倾斜角度的方式控制像素的显示效果。

DLP 相较于 LCD 光机，具有高亮度、高对比度、高可靠性的优势，在温控领域存在显著优势，可有效解决阳光倒灌问题。但是同时 DLP 光机也存在机械稳定性较差以及支持 2K 分辨率较困难的问题。

(3) LCoS 显示技术

LCoS(Liquid Crystal on Silicon) 是一种新型的反射式投影技术。其原理是利用半导体技术和镀铝膜技术，形成有源点阵反射 CMOS 基板，然后将基板与含有 ITO 透明电极的玻璃贴合，最后在基板和玻璃之间灌入液晶形成并封装成 LCoS 器件。

LCoS 光机工作时，需要对入射光做启偏处理形成偏振光（比如 S 光），光线进入 LCoS 面板到达反射层后全部原路返回。控制 LCoS 背板的电极可精确控制经过每个液晶像素中的 S 光转换为另一偏振方向的线偏振光（例如 P 光）的比例，成像光路中仅处理 P 光最终实现可视图象生成。

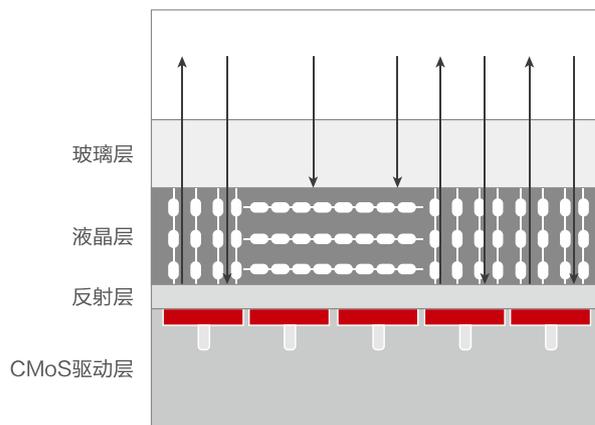


图 3-16 LCoS 芯片结构示意图

LCoS 相较于 DLP，具有高分辨率、高对比度、高可靠性（同分辨率下）等优势。

· 高分辨率

LCoS 成像芯片采用半导体加工技术，每个像素最小尺寸可达 $2.5\mu\text{m}$ ，可实现小尺寸芯片上 2K 甚至 4K 高分辨率。同时反射式成像技术，开口率（像素光路面积利用率）高达 96% 以上，使得像素边缘更加平滑，画面更加柔和自然。

· 高对比度

LCoS 使用像素级相位调制的方式实现多彩显示，对入射光和出射光进行高精度的相位提纯和相位调控，可实现 2000:1 以上的对比度，达到暗场几乎无漏光的高对比度效果。

· 高可靠性

LCoS 采用成熟的单晶硅基板上的 CMOS 半导体技术，反射技术和灌晶技术的，实现了全集成电路和光学器件合一封装。因此可以实现很高的稳定性和高寿命。

目前应用于 AR-HUD 显示三种技术方案的对比如下表所示：

| 性能参数 | TFT-LCD | DLP | LCoS |
|------|---------|-----|------|
| 分辨率 | 低 | 中 | 高 |
| 亮度 | 一般 | 高 | 高 |
| 对比度 | 一般 | 高 | 高 |

| 性能参数 | TFT-LCD | DLP | LCoS |
|---------|---------------|-----------------|----------------|
| 光源 | LED | 激光/LED | 激光/LED |
| 体积 | 小 | 大 | 中 |
| 成本 | 较低 | 高 | 一般 |
| 防阳光倒灌能力 | 弱 | 强 | 强 |
| 工艺难度 | 低 (成熟面板技术) | 高 (特殊立体蚀刻工艺) | 中 (成熟半导体工艺) |
| 良品率 | 高 | 中 | 高 |
| 机械稳定性 | 全固态不易振动 | 机械机构易振动 | 全固态不易振动 |
| 像素尺寸 | >48 μm | 最小 5.4 μm | 最小 2.5 μm |

表 3-3 AR-HUD 显示技术方案性能对比

从表中可以看出, TFT-LCD 的方案显示效果表现一般, 同时温升控制表现不佳, 但是其成本较低; DLP 方案的温升问题得到了较好地解决, 但是 DLP 由于其固有的技术特性, 在图像分辨率提升上具有一定的局限性, 同时成本相对较高; LCoS 相对于前两种技术方案, 发展成熟的时间较短, 处于技术研发阶段, 目前已经有华为、一数科技等企业在该领域有布局, 并且实现了图像分辨率的提升以及成本的一定程度降低。另外, TFT-LCD 在良品率和机械稳定性方面具有明显优势, 但是像素尺寸大于 >48 μm; DLP 图像尺寸做到了最小 5.4 μm, 但是在良品率和机械稳定性方面的表现则明显弱于 TFT-LCD; LCoS 最小 2.5 μm 像素尺寸, 高良品率、全固态不易振动的机械稳定性, 有效融合了 TFT-LCD 和 DLP 的优点。

3.2.2 空间光学

(1) 空间光学原理

PGU 输出成像光扩散屏形成可视图像, 经过反射镜将图像投射到自由曲面镜。自由曲面镜将原图像放大并适配风挡面型完成光学畸变矫正后, 投射到风挡玻璃上。利用风挡玻璃将图像反射进入眼椭圆范围, 人眼接收到反射光之后在风挡玻璃前形成虚拟图像。

(2) 小体积大画幅 AR-HUD 设计

小体积大画幅的 AR-HUD 设计一直是业内普遍面临的难题。AR-HUD 要求更大的画幅 (FOV) 和更远的虚像距

离 (VID), 往往需要更大的体积支撑。然而, AR-HUD 模块布置受到车身空间限制较大, 大体积 HUD 模块存在布置困难的问题。

体积更小的 PGU 和高度折叠的空间光路可以实现小体积 AR-HUD。相比 TFT-LCD 和 DLP 光机方案, LCoS 光机方案可以在保证高分辨率和高对比度的同时, 兼顾小体积。通过两片反射镜对 PGU 和自由曲面镜之间的光路进行折叠, 在优化成像质量, 消除像差和畸变的同时, 做到充分利用车身空间, 实现小体积。

(3) 阳光倒灌

车载 HUD 使用凹面镜, 凹面镜具有光学聚焦作用, 会对倒灌进入 HUD 内部的太阳光进行聚焦, 产生高温, 甚至导致 PGU 或结构件烧毁。传统 W-HUD 使用 TFT-LCD 作为显示屏, 由于其吸收率较高 (一般高达 80% 以上), 这会导致显示屏上的阳光光斑能量大部分被屏幕本身吸收产生局部高温, 引发烧屏现象。

基于 LCoS PGU 方案的 AR-HUD 使用高清高透过率扩散屏作为中继显示屏, 其吸收率小于 1%, 因此聚焦光斑能量几乎都被透过, 吸收极少, 温升也很低。而后端光路, 由于扩散屏对阳光有扩散作用, 因此能通过 PGU 镜头, 再落入 LCoS 芯片表面的阳光能量会很少, 因此阳光倒灌造成的温升问题也可以得到有效解决。

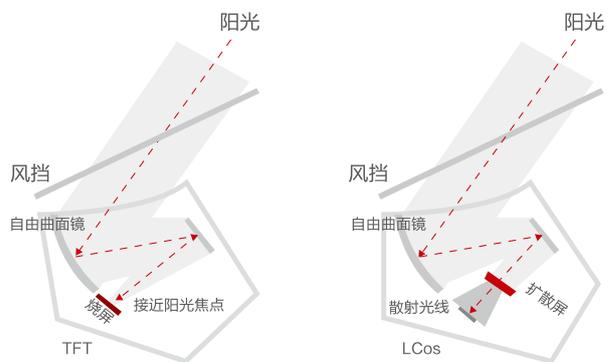


图 3-17 TFT-LCD 与 LCoS 阳光倒灌示意图

(4) 眩光

眩光是 AR-HUD 设计过程中面临的另一个重要难题。HUD 的眩光来源主要有两种: 防尘罩眩光和屏幕眩光。

防尘罩眩光：在 HUD 出光口会添加防尘膜来防止灰尘进入 HUD 内部，影响投影光路；普通的平面防尘罩会反射太阳光，在眼盒范围内产生大面积的亮斑，即防尘罩眩光。防尘罩眩光会影响驾驶员的视力，严重危害行车安全。这就要求防尘膜的面型需要通过特殊的设计消除眩光。

屏幕眩光：在某些特定的太阳角度内，阳光沿着 HUD 成像光路在屏上聚焦产生倒灌白斑，白斑在屏幕表面反射并重新沿着 HUD 成像光路进入人眼，造成屏幕眩光，影响驾驶体验。

此外，空间光学设计需要在保证高品质成像质量的同时，在系统化和工程化设计的层面引入防阳光倒灌及消眩光设计，实现防阳光倒灌和消眩光的效果。

(5) 图像畸变与双目视差

HUD 的图像畸变分为两种：静态畸变和动态畸变。静态畸变指的是眼睛在固定位置观察时，看到的图像与标准投影图之间的图像差；动态畸变指的是眼睛在不同位置观察时，看到的图像与中心眼点观察到的图像之间的图像差。图像畸变受曲面镜及风挡面型、两片曲面镜与风挡之间的装配精度影响较大。这是因为眼睛在不同观察位置时，所观察到的图像来自不同的投影光路，对应不同的自由曲面镜区域和风挡区域，此时若安装位置及面型出现偏差，会导致实际投影光路偏离设计光路，造成图像畸变。

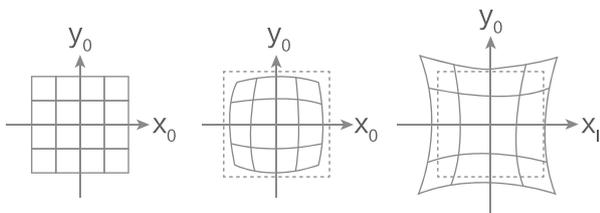


图 3-18 图像畸变示意图

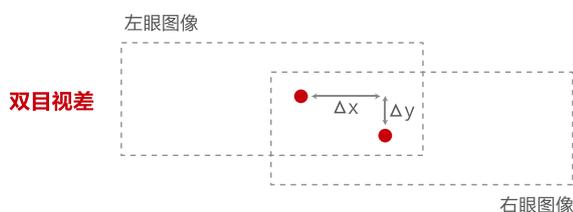


图 3-19 双目视差示意图

(6) 重影

AR-HUD 使用风挡玻璃作为反射面，将图像光反射进入人眼。风挡玻璃有内外两片，中间有一层 PVB 夹层。普通风挡的玻璃厚度均匀，PGU 透射的图像光在风挡玻璃的内外表面分别反射后，在人眼视线前方产生两个虚像（主像和副像），造成重影。

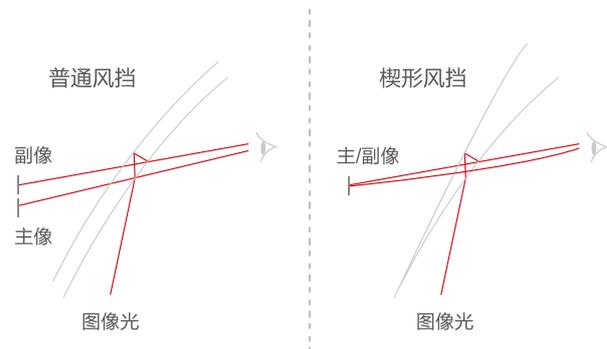


图 3-20 楔形风挡消重影原理图

目前 HUD 消重影的方案主要分为两种：一种是前装式楔形风挡，通过在内外两片风挡玻璃中间夹入一层楔形 PVB 薄膜，使得图像光在楔形风挡的内外表面反射的两图像重叠在一起，消除风挡重影；另一种方案是通过增大反射主像和副像的亮度差，降低人眼对副像的感知，一般可通过前装式镀膜风挡或后装式风挡贴膜实现。

3.2.3 AR-HUD 的数字显示界面

(1) 沉浸感的视觉提升

AR-HUD 在传统 HUD 基础上，凭借更大的视场角、图像叠加增强技术的导入、大眼盒、高分辨率、高对比度等特点为车内驾乘人员带来了更优的沉浸式体验效果。



图 3-21 AR-HUD 影响沉浸感关键技术参数

· 大 FOV 提升视野覆盖范围，体验开阔场景

FOV 是从驾驶员眼点位置出发到 HUD 虚像边缘的连线夹角，表征了图像的大小，其大小影响驾驶员所观看到的场景尺寸。传统 HUD 的水平 FOV 一般在 8 度以内，而 AR-HUD 对 FOV 的要求需要达到 10 度以上，这样才能实现跨车道显示。

FOV 分为 HFOV（水平虚像视场角）和 VFOV（垂直虚像视场角）。目前普通的 HUD 产品 HFOV 主要在 5° ~ 8° 水平，少数产品可以达到 9°；VFOV 多数处于 3° 以下水平。

在车道级导航时，AR-HUD 的 HFOV 数值达到 10°，在 30 米远处可覆盖 1 个车道；HFOV 数值 13°，在 30 米处可以覆盖 2 个车道。在和远景贴合，VFOV 为 3° 时，虚像无法同时覆盖车头地面近距离和人眼水平及以上的视野范围，影响虚像贴合体验；VFOV 为 5° 时，虚像可同时覆盖车头前地面 15 米到水平视野范围。

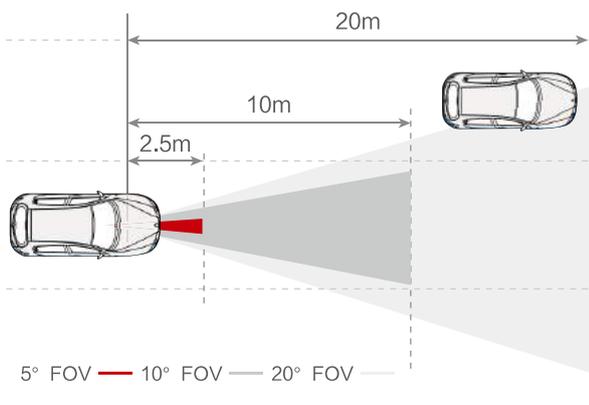


图 3-22 不同虚像距离下的视觉效果

图 3-23 呈现了 AR-HUD 不同 FoV 视场角内警示信息可显示的范围。FoV 13*5（如左图所示）在距离前车 100 米处就可以将完整警示标识呈现在风挡上；而 FoV 10*3（如右图所示）需要在距离前车 0~26 米这个范围才能显示完整警示标识，超过 26 米车距就无法将完整警示图标显示在前车之上。换言之，FoV 越大安全警示信息提示得越早，留给驾驶员反应的时间越充裕；FoV 越小警示信息提示得越晚，留给驾驶员反应时间越有限。



图 3-23 AR-HUD 不同 FoV 覆盖范围示意图

· 图像叠加增强技术，虚拟与现实合而为一

AR-HUD 的 AR 导航效果取决于 AR 引擎功能的实现，AR 引擎的功能可分为两大类：融合数据和生成图像。AR 引擎可以从车机系统、车载导航定位模块、ADAS 模块获取驾驶员感兴趣的信息，结合观察者当前视线方向，完成感兴趣信息与实景的准确贴合，并利用构图渲染引擎将需要显示的信息以自然的距离叠加在实物上，融为一体，使人眼、HUD 显示画面与真实道路在一条视线之上，与实际状况实时匹配，让驾驶员体验沉浸式视觉效果。

AR 引擎的原理是在现实世界的基础上叠加数字信息，从而提高驾驶员对路面信息的认知能力，并改善驾驶体验。这种虚拟与现实的融合体验取决于 AR 引擎所能支持的 AR-HUD 光学 FOV 尺寸和虚拟图标与现实世界的贴合精度。

图 3-24 对比了车辆在距离路口同为 100 米处，不同 FoV 所显示的 AR 导航信息。左侧 FoV 13*5 的显示画面可以清晰看到车辆右转的导航箭头得以完整显示，同时路边咖啡馆的 POI 信息也可标注在 AR-HUD 显示画面之中。而在右侧 FoV 10*3 的画面中，右转的导航箭头无法完整显示，而咖啡馆的 POI 信息则完全无法标注出来。



图 3-24 AR-HUD 不同 FoV 显示 AR 导航示意图

由此可见，在驾驶员视野进行有意义的信息表达，FOV 越大、图标与现实世界贴合精度越高，用户的沉浸式体验越好。

· 亮度自动调节，高分辨率呈现高清画面，全环境清晰显示

亮度是影响 HUD 显示的关键因素。为保证 HUD 图像显示的视觉舒适性，避免强光下模糊和暗光下刺眼的问题，HUD 需要根据外部环境光的强度自动调节显示图像的亮度，保证显示图像的亮度与外部环境光强度比值始终保持在一定合理的范围，否则就需要人眼通过调整瞳孔来调节眼睛的舒适度，影响视觉体验甚至驾驶安全。同时由于 AR-HUD 显示图像与现实融合，其背景的颜色、亮度等复杂多变，这就要求 AR-HUD 光机需要具备更高的显示亮度能力。

AR-HUD 对比 W-HUD 画幅更大、位置更高，受外界环境光影响更大，其自适应亮度策略要兼容多种复杂的工况场景，以确保亮度自适应变化的及时性，自适应渐变过程的均匀性及亮度的舒适性。例如，从 AR-HUD 亮度通常需要达到 12000nit 才能使驾驶员看清图像的强烈阳光场景下进入隧道，需要确保在 1 秒内完成亮度调整，让驾驶员

能快速适应环境亮度。再例如，在道路沿途路灯分布不均的情况下，需要确保 AR-HUD 亮度渐变的均匀性，以免给驾驶员带来不适。

HUD 图像亮度均匀性指的是夜晚无光条件下，最小亮度值与最大亮度值的比值，比值越接近 100%，则表示均匀性越好。图像亮度均匀性会影响驾驶员对于图像信息的识别准确度和速度，并影响使用体验。为了保证图像效果，AR-HUD 的虚像亮度均匀性需要达到 75% 以上。

分辨率是影响 AR-HUD 成像效果的又一重要因素，由于 AR-HUD 具有大视场的特性，分辨率需要达到 2K 及以上的水平，才能实现好的显示效果，如果分辨率只有 1K 或者更低则会降低画质，影响 AR-HUD 的实际体验。

· 提升亮度对比度

AR-HUD 亮度对比度涵盖静态对比度和动态对比度，静态对比度比动态对比度更重要。静态对比度是指图像背景亮度不调节情况下的对比度，体现了虚像视场中所有无显示图像区域的透明度。AR-HUD 视场相对较大，如果视场区域内透明度不好会影响驾驶安全。对比度越大画面越通透，光窗越小则体验越好。

(2) 减少眩晕感与驾驶疲劳，提升驾驶体验

· 减少眩晕感

由于传统 HUD 虚像显示距离较近，很容易造成驾驶员的视觉辐辏问题，从而导致眩晕感，威胁驾驶安全。AR-HUD 的显示距离增大到 7 米以上，驾驶员双眼观察虚像时，双眼视线近乎平行，不在需要额外的调整，因此可以避免视觉辐辏，从而减少眩晕感。同时虚像显示距离的增大也可以有效地避免双眼视差造成的不舒适体验。

· 预防驾驶疲劳

虚像距离是驾驶员眼点到 HUD 虚像之间的距离，更远的虚像距离可以减少驾驶员视觉焦点在虚像与现实之间切换的视觉深度适应时间，从而减少驾驶疲劳。

图像质量关系到驾驶员观察图像的效果，高分辨率、合理颜色深度、亮度等多重因素共同决定了图像质量。例如，HUD 颜色饱和度的合理设置能够让驾驶员轻松有效注意到预警信息，高分辨率可以让图像清晰显示，驾驶员不必长时

间重复辨别图像。

(3) 通过科学的界面设计预防分心驾驶

AR-HUD 融合了真实世界与虚拟信息，涵盖座舱、智能驾驶等多维度信息，但多种类、大容量的信息显示容易导致分心驾驶，可与液晶仪表、中控屏分工协作，定位于车与路、车与周边环境的安全、行车信息增强现实显示，再通过科学的界面设计进一步减少分心驾驶。

根据任务类别，提供重要度高的信息。驾驶员的驾驶任务分为一般控制任务、机动控制任务和策略任务，策略任务需要驾驶员推理和构思，对注意力分配需求更为强烈，重要度最高。AR-HUD 需要优先提供与技术任务执行直接相关的信息，对非技术任务过多展现反而会导致驾驶员分心，尽可能减少信息负载和认知负荷。

考虑驾驶员的人因需求，注重数据可视化、图形差异化。对于速度信息，尽可能用数字展示，无需驾驶员再进行图形与数字的转化。对于不同类别的信息，用不同图形展现，让驾驶员更容易理解和辨别信息。展示信息均为必要信息，保证驾驶员可以在短时间内对信息进行有效识别。



图 3-25 AR-HUD 数字显示界面人因工效学设计要素

交互元素简约突出。合理设计提示和预警符号颜色，可选用不同的颜色组合吸引驾驶员注意力。动态效果设计以安全为前提，不能过于繁杂，以免分散驾驶员注意力，更不能

突兀，以免造成紧张感，影响决策；减少操作控制界面层级，避免深层结构，复杂操作容易导致分心。

3.2.4 AR-HUD 功能安全及可靠性

(1) 功能安全

AR-HUD 将信息投影至整个挡风玻璃，一旦设备出现问题，驾驶安全将受到极大威胁。如眩光的情况，高亮光源（太阳、路灯）多角度照射 HUD 光机，导致驾驶员观看虚像区域内存在高亮光斑或光条。

因此 AR-HUD 必须具备失效模式监测诊断的功能。该功能需要对两种失效模式准确检测，一种是显示图像失真，另一种是整个屏幕变白或者全屏显示，如果出现这两种失效中的任意一种，系统需要立即将 AR-HUD 的显示功能关闭。

(2) 可靠性

HUD 会产生阳光倒灌的现象，主要指太阳光沿着光路方向进入 HUD 光机内部，经过光学系统的放大和聚焦后，造成光机内部温升，影响车辆安全。使用 TFT-LCD 光机方案的 W-HUD 对于太阳光辐射的放大系数是 5 倍，而 AR-HUD 由于更大的虚像距离和更大的投影开口，放大系数一般会控制在 25 倍左右。

该问题可通过提升 AR-HUD 的滤波能力和器件高温容忍性来实现在一定时间（15-60 分钟）内阳光倒灌的容忍能力。

第四章

下一代 HUD 应用展望

4.1 AR-HUD 应用发展趋势

AR-HUD 作为车内“第一屏”，未来将会成为智慧城市信息的车载可视化窗口。智能交通作为智慧城市的六大领域之一，主要应用场景包括交通实时监控、公共车辆管理、旅行信息服务和车辆辅助控制四个方面。



图 4-1 智慧城市六大领域

通过 AR-HUD，可以将利用无线通信技术、感知技术获取的智慧城市信息直接呈现在汽车挡风玻璃上，为驾驶员提供智能座舱及导航指示、车道偏离预警（LDW）、自适应巡航控制（ACC）指示灯等 ADAS 相关功能，为驾驶员带来沉浸式的体验，允许驾驶员视线在不离开道路的情况下获取关键的 V2X 信息。AR-HUD 能够让汽车座舱成为信息、娱乐和广告的载体，成为用户真正开始延展汽车场景作为“第三空间”的桥梁。

4.1.1 安全类

AR-HUD 最重要的实际应用是安全类信息的呈现，使用增强现实和人工智能将必要的安全类信息投影到挡风玻

璃，可以让司机意识到潜在的危险，而不会分散注意力或妨碍他们的道路视野。如果司机的注意力开始分散，该系统还可以将其注意力重新转移到道路上。

(1) V2V (Vehicle to Vehicle)

V2V 技术最基础的作用是车辆间相互交流车速和位置信息，并以此延伸到实时共享路况信息、紧急交通事故等信息。



图 4-2 AR-HUD 的 V2V 安全类信息呈现

AR-HUD 通过 V2V 车 - 车通信，融合车辆定位、速度、方向、预警等方面的信息，可将车 - 车协同相关安全信息呈现在 AR-HUD 上：

前向碰撞：通过 ADAS 与 V2V 通信结合时刻监测前方车辆，当存在潜在前车碰撞危险时以增强现实的方式在挡风玻璃的视野上标记前车并报警，使驾驶员无需低头就可以看到本车与前车之间的距离、方位及相对速度。

盲区预警：通过 V2V 通信实时获取周边车辆行驶状况及其他周边信息，当检测到车辆侧后方盲区有障碍物时，综合收到的信息计算出盲区警示提示方案，然后通过 AR-HUD 将侧后方盲区物体的警示信息以增强现实的方式投射到前挡风玻璃上，由此在驾驶员视野前方辅助提醒驾驶

员车辆侧后方盲区的情况。驾驶员依据 AR-HUD 显示的警示标识准确判断出障碍物的位置情况，并采取相应的驾驶行为，防止碰撞，提高行车安全性。

逆向超车预警：获取 V2X 通信消息集并解析得到本车与目标车辆的运动状态，计算加速超车时本车与目标车辆的安全距离，判断当前是否存在逆向超车安全风险，在 AR-HUD 的挡风玻璃视野标记超车目标及预定路线，并进行预警。

异常车辆预警：接收预设范围内的道路行驶车辆发送的动态信息，计算规划得出车辆对应的预测行驶轨迹，监测车辆行驶状态，并根据车辆的预测行驶轨迹判断车辆是否存在行车突变，若目标车辆产生行车突变，用增强现实的方式在 AR-HUD 上标记突变车辆，并对该车辆进行持续监控，若该车辆发生预设异常动作，在挡风玻璃上发出警报，并向该车辆周边车辆发送异常车辆预警信息。

协同驾驶：在车队协同驾驶过程中，通过 V2V 通信收集车队内车辆的驾驶信息与道路安全信息，融合车况信息和路况信息形成驾驶建议，融合现实在 AR-HUD 挡风玻璃上呈现车队车辆标记和关键路况信息，并提供提速、超车、减速等行车建议，在挡风玻璃上以融合现实的方式标记在路面上。

感知共享：车辆行驶过程中采集到的车况信息和道路安全信息，通过 V2V 通信进行信息共享、融合，在 AR-HUD 上呈现的信息不仅仅是基于本车的传感器系统，而是基于整个道路车联网系统的融合数据，在下一个阶段将成为 V2V 技术与 AR-HUD 技术融合的重点。

(2) V2I (Vehicle to Infrastructure)

V2I 技术最主要的功能是车辆与道路基础设施间交流道路交通信息与路况信息，提供危险预警、信号灯等信息。



图 4-3 AR-HUD 的 V2I 安全类信息呈现

通过 V2I 车辆与道路基础设施的互联，在 AR-HUD 上显示道路信息、危险提示等安全类信息：

道路危险预警：通过 V2I 技术实现车况与道路情况的感知，如车速、运行方向、车与路边的距离等，与车辆进行通信，并将路边距离、运行方向、压线预警在挡风玻璃前路面进行标注，将紧急情况通过 AR-HUD 进行显示和预警。

限速预警：结合高精地图数据和实际路况 V2I 信息，若车速超过当前道路限速，在 AR-HUD 上显示当前道路的限速信息和自身车辆速度，提示已经超速，使驾驶员无需低头就可以对车速有清楚的认知。

闯红灯预警：结合高精地图数据和实际路况 V2I 信息，对路口前车速、车距进行预判，在 AR-HUD 前挡风玻璃上通过增强现实标记前方交通灯，并进行红灯预警。

VRU (Vulnerable Road Users) 预警：通过 V2I、V2P 等技术以及车内激光雷达、红外夜视等传感器信息融合感知行人，将行人位置标注投影在 AR-HUD 的挡风玻璃上对驾驶员进行提示，通过 AR-HUD 图像显示并向驾驶员提供车辆周围行人信息预警。

路径引导：通过 V2I 技术对驾驶员的驾驶路径进行监督，向车辆传输路况信息，将决策结果如刹车引导显示、跟车距离警示、路径方向引导以增强现实的方式投影在 AR-HUD 上，驾驶员无需查看另外的导航，直接跟随路面投影行车，减少分神所带来的危险。

4.1.2 效率类

在辅助驾驶、自动驾驶中逐步完善的未来，实景路况与前挡风玻璃投影配合显示会改变交互方式，提升交互效率。

(1) V2V

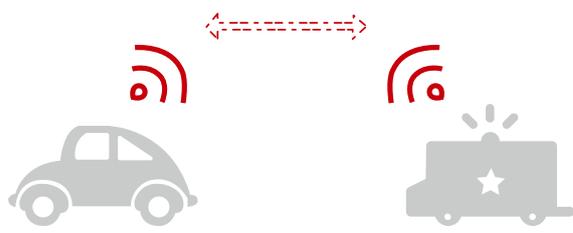


图 4-4 AR-HUD 的 V2V 效率类信息呈现

紧急碰撞避让提醒：车辆开启前车跟车模式，可以与周围车辆进行 V2V 通信，获取前方车辆的车速、与前方车辆的车距、与相邻车道车辆横向距离、相邻车道车辆的车速等，当探测到前车减速或停车、邻车道车辆向本车道并道意图时，则在挡风玻璃上进行投影提示，提前采取措施，以免发生碰撞。

(2) V2I



图 4-5 AR-HUD 的 V2I 效率类信息呈现

绿波引导：通过 V2I 通信技术获取当前道路车流平均速度，实时调整绿波引导速度，将通行状况及建议车速通过 AR-HUD 显示，为驾驶员提供前方路口交通信号灯的预报信息。

拥堵提醒：在 V2I 技术中获取当前道路路口、交通灯、车流量，融合道路信息计算出车辆预定路线上的拥挤度，发送给 AR-HUD 进行提示，以增强现实的方式提醒驾驶员更换路线，并实时更换挡风玻璃上投影的引导路线。

4.1.3 支付类

近场支付：汽车行业正在向智能驾驶和智能座舱的双智融合方向发展，也为智慧交通与智慧城市等市场创造了更多商业机会，未来车辆可将 V2I 信息中感知到支付需求并显示在 AR-HUD 上，驾驶员通过触控、凝视、点头等交互方式进行确认，就可以完成支付。

4.1.4 元宇宙在车端的应用载体

目前以 VR、AR 为主体的狭义元宇宙产业链，与汽车

上的 AR-HUD、智能座舱、智能辅助驾驶等功能有不少重合的地方，所以汽车有希望成为连接三维物理世界和元宇宙的超级智能硬件。AR-HUD 作为智能汽车第一屏，承担着最重要的人机交互功能，未来将通过 V2X、车联网技术持续加强车辆与道路之间的通信，扩展更多应用场景，搭建起现实世界与虚拟世界的一座桥梁。

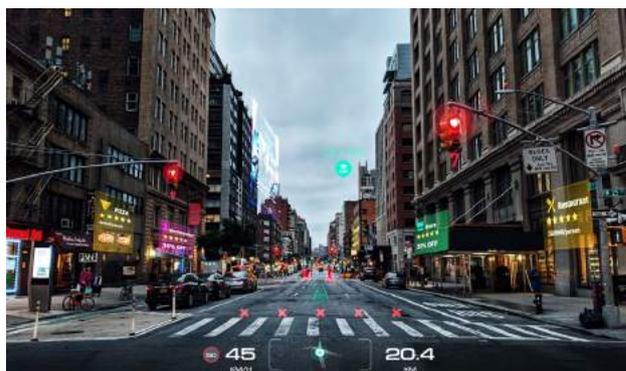


图 4-6 基于车载 AR-HUD 的元宇宙示意图

4.2 AR-HUD 技术发展趋势

目前的 AR-HUD 技术主要是从传统 HUD 升级而来，需要将 HUD 各项参数增强放大，从而得到更大的视野（FOV）和更远的虚拟图像深度（VID），但同时也会引发一些问题，尤其是基于 TFT-LCD 技术的光机问题会更加明显：

- (1) FOV 有限，显示信息不足，难以贴合路面；
- (2) 分辨率低，显示模糊，应用场景受限，娱乐体验差；
- (3) 强光无法看清，畸变抖动造成晕眩。

针对这些存在的问题，行业分别从显示技术和光学成像技术两个方面进行了技术和产品的创新。显示技术主要是硅基液晶 LCoS 技术，光学成像技术主要是光波导和全息光学元件 HOE 技术。

4.2.1 硅基液晶 LCoS 技术

硅基液晶 LCoS 技术是一种基于反射式的微型矩阵液晶

显示技术，通过反射式技术，可以达到 40%—65% 的亮度反馈，光效率较高，可以达到 4K 甚至 8K 的真实分辨率。同时，其耐热、耐潮程度也很高，可以让车载 AR-HUD 的成像效果更加稳定和清晰。

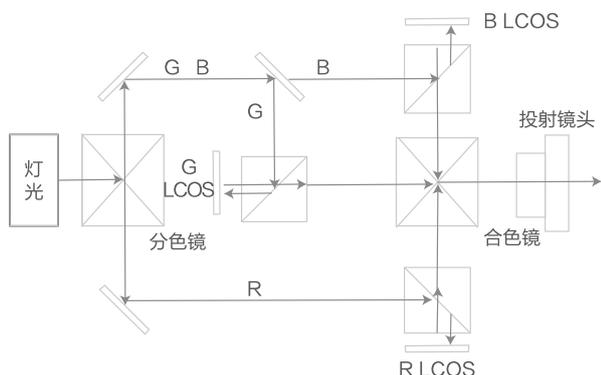


图 4-7 LCoS 投影原理图

与 LCD 技术相比，LCoS 相类似的地方在于都是光源穿过偏振滤光片到达设备，液晶充当阀门控制到达表面的光量，特定像素的晶体接收的电压越高，则晶体允许通过的光量越多，不同的地方在于 LCoS 是反射式投射，光利用效率较高，而 LCD 是透射式，光利用效率较低，因此 LCoS 可以实现更好的显示效果和可靠性。

4.2.2 光波导技术

光波导凭借平板超薄结构和极大的二维扩瞳能力，极大减少了对光机体积的需求，可以从根本上解决 HUD 模组体积过大问题，是 HUD 未来发展的重要方向，是目前 AR 眼镜的主流方案。光波导能够实现光的全反射，即光机完成成像后，将光耦合进入波导的玻璃基底，通过全反射原理将光传输到眼镜前方，再释放出来。达到全反射需要满足两个条件：

(1) 传输介质即波导材料需要具备比周围介质高的折射率；

(2) 光进入波导的入射角需要大于临界角。所以光在波导传播是平行传播，光波导的“全反射”在保证成像清晰、图像对比度高的基础上，还能为用户提高较大的视场角。

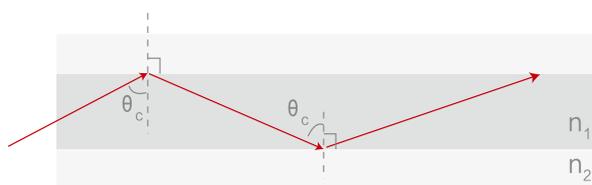


图 4-8 全反射原理示意图

目前研究的光波导技术主要分为几何光波导和衍射光波导。无论几何波导还是光栅波导，图像源和基底是相似的。图像源可以是各种类型的微显示如 LCoS, Micro-OLED、Micro-LED, 也可以是激光结合微镜扫描 LBS。几何波导和光栅波导的主要差异点在于耦合结构和耦出结构。从图中可以看出，耦合结构的作用是使得图像源的主光线变换角度斜入射进入基底，满足全反射条件；耦出结构，是使得基底内部传输的该斜光线变换方向，垂直射出到人眼。

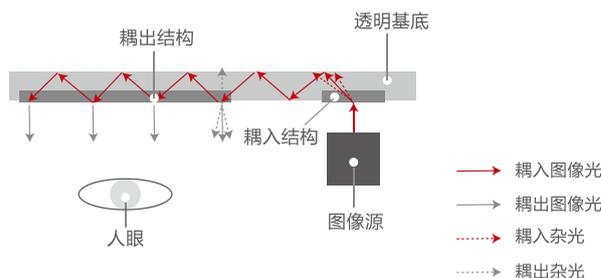


图 4-9 光波导技术成像原理图

由于光波导技术是通过光波导片传播直接被放大的图像，因此更大的显示尺寸和更远的显示距离要求光波导片部件具有更大的面积而不是体积，这也便于在仪表板空间内布置。如图 4-10 所示。

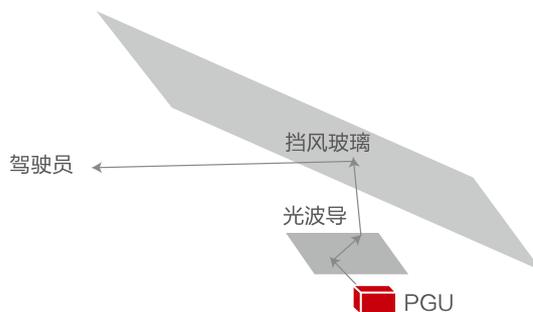


图 4-10 光波导 HUD 空间布置

另外，由于光波导技术取消了制造工艺要求严格的大尺寸非球面反射镜，降低了制造复杂性和成本。但目前光波导产品尚处于研发探索阶段，整个产业链准备尚不完善。如果要实现产品的量产化落地还需整个产业链的全面发展。

4.2.3 全息光学元件 HOE

全息技术是利用干涉原理实现光波的相位转换，因此使用相干光照明被记录物体后，来自物体的光波与另一束参考光在记录介质上产生干涉，将这些干涉图样记录下来并经过一定处理形成全息图，当再用与参考光相同的光波照明全息图时，即可重现原来景物的立体图像。

由于全息光学元件 HOE 可以像投影仪一样将图像投影到整个挡风玻璃上，因此投影图像可以覆盖整个挡风玻璃，实现大尺寸图像显示，同时光机的体积也可以控制在较小的范围，如图 4-11 所示。由于目前的全息膜还不能满足健康环保以及车规级的要求，因此基于 HOE 的 AR-HUD 还不能实现大规模量产。

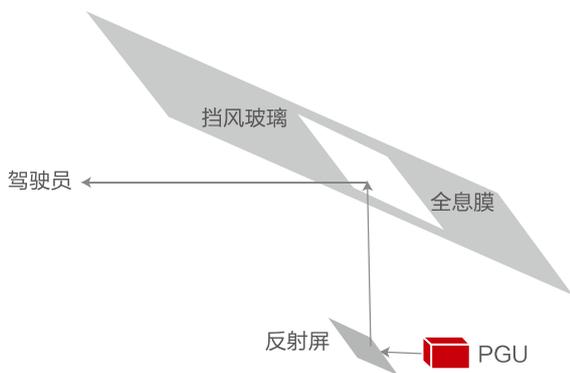


图 4-11 HOE HUD 空间布置

另外使用全息光学元件代替表面浮雕光栅实现光的引导成为全息光波导。这个全息元件是全息技术在材料内部曝光形成的明暗干涉条纹。相比雕刻光栅，全息光波导在工艺上更高效，成本也具有明显优势，但全息光波导元件的制造参数等条件需要经过大量实验获得，无法通过光学分析反推，这也导致光波导的 AR-HUD 产品量产难度大，预计短期内无法大规模量产。

4.3 新技术的应用前景

应用于 AR-HUD 的技术主要包括了显示技术和光学成像技术。

目前应用于 AR-HUD 的显示技术主要有 TFT-LCD、DLP 以及 LCoS 三种主流技术。就目前的市场现状来看，走向量产的仅有 TFT 与 DLP 两种方案。而随着华为、大陆等厂商在 LCoS 方案上发力创新，这一技术路线越来越受到行业重视，成为更有希望走向量产的新方案。

在光学成像技术方面，目前具有发展前景的技术包括光波导技术和全息光学元件 HOE 技术。两种光学成像技术都可以与不同的显示技术搭配使用。

由于光波导和 HOE 技术都取消了使用大尺寸非球面镜对光进行传输，因此可以大幅度地降低 AR-HUD 光机的体积。同时，全息光波导 AR-HUD 应用的全息光栅属于布拉格光栅，只对系统设计的可见光波长敏感，对近红外产生的热量光线不敏感，所以应用全息光波导技术的 AR-HUD 不会存在阳光倒灌的问题。

但是目前由于光波导和 HOE 技术发展还不成熟，还未有量产的 AR-HUD 产品，且距离大规模量产还需要较长的时间。

第五章

AR-HUD 行业发展推进建议与倡导

AR-HUD 为智能汽车日益发展丰富的功能和信息显示提供了理想的载体，同时也为消费者不断升级的车内多元化需求实现提供了可能性。AR-HUD 行业的发展以及应用的不断扩大离不开汽车智能化和网联化发展的大趋势，同时与智慧城市的发展也紧密相关。只有汽车具备了丰富的单车感知和远程感知能力，AR-HUD 才能有“源头活水”。

5.1 政策规划端

5.1.1 政策端

《智能汽车创新发展战略》明确了以“统筹谋划，协同推进、创新驱动，平台支撑、市场主导，跨界融合、开放合作，安全可控”的基本原则，重点推进“技术创新体系、产业生态体系、基础设施体系、法规标准体系、产品监管体系和网络安全体系”。《智能汽车创新发展战略》从顶层设计的角度引导智能网联汽车配套政策的完善和行业的稳定快速发展。

2021 年，《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》和《关于加强智能网联汽车生产企业及产品准入管理的意见》相继出台，明确了高级别自动驾驶汽车生产企业和产品准入的基本方向，但具体的技术规范仍未出台，高级别自动驾驶暂无法准入。

2021 年《道路交通安全法（修订建议稿）》发布，首次在法律层面明确了具有自动驾驶功能的汽车进行道路测试和通行的相关要求，以及违法和事故责任分担规定，但是正式稿还未发布，同时未明确细化的自动驾驶相关规定。

目前智能网联汽车产业的突破性发展依赖于准入管理、道路交通安全管理政策法规以及基础设施建设。高级别自动驾驶以及 5G-V2X 的实现将会为 AR-HUD 应用的扩展和

丰富提供可能性，一方面为 AR-HUD 显示内容提供丰富的车内外感知数据，另一方面，提升的车载算力平台也为 AR-HUD 的显示性能提升提供了支撑，更重要的是，驾驶员从驾驶任务中得到释放将会创造更多的车内需求。

5.1.2 规划端

智慧城市概念自 2008 年提出以来，全国各地加速布局实践，目前全国有超过 500 个城市发布城市大脑建设计划。在智慧城市的框架下，基于智能化和网联化的技术支撑作用，汽车将成为参与城市交通、信息采集、状态监测、数据交互以及电子支付等功能的智能体，而 AR-HUD 作为未来智能汽车第一屏，也将成为智慧城市多源信息在车内的显示终端和载体。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》首次将数字化发展专篇论述，明确加快建设数字经济、数字社会、数字政府、营造良好数字生态，以数字化转型整体驱动生产方式、生活方式和治理方式变革，开启了我国数字化转型新篇章。《国家信息化战略纲要》首次提出分级分类建设新型智慧城市的任务。国家“十四五”规划纲要提出探索建设数字孪生城市，再次强调分级分类推进新型智慧城市建设。

智慧城市的建设是一个长期的探索和完善的过程，建设工作应该坚持分级分类的原则分步推进，并加速构建智慧示范城市，带动全国整体智慧城市建设推进工作。

5.2 标准法规端

汽车抬头显示作为车辆关键信息的显示载体，以及未来车内视觉人机交互的主要方式，对于驾驶安全性有着十分重要的影响。美国汽车工程学会最早于 2018 年 11 月发布了首个抬头显示标准 SAE J1757-2（汽车抬头显示光学系统测量标准），ISO 制定的 ISO/TS 21957（抬头显示规格及测试方法）2022 年 7 月正式提交报批。

增强现实抬头显示 AR-HUD 具有画幅尺寸更大、显示信息更丰富的特点，因此会在车内视觉显示领域具有更广泛的应用范围和应用前景。然而，也正是由于 AR-HUD 的这些特征，如果图像质量和信息显示设计出现问题，将对驾驶安全造成一定影响，不利于 AR-HUD 整体产业的健康发展。

伴随着抬头显示在国内的商用普及，为推进产业的稳定和快速发展，汽标委组织推动国内抬头显示的标准化工作，2022 年成立了《乘用车抬头显示系统性能要求及试验方法》标准起草组、以及 HUD 光机行业标准起草组，当前正加快国内抬头显示国行标的制定。中国汽车工业协会也同步启动了抬头显示团体标准的制定工作。

AR-HUD 标准化，具体将包括如下内容：

（1）汽车抬头显示测试评价方法。包括零部件级和整车级的测试评价方法。

（2）汽车抬头显示测试评价技术要求。应区分不同类型的抬头显示，分别建立 W-HUD 和 AR-HUD 的技术要求。

（3）AR-HUD 数字显示界面技术要求。从驾驶员人因工效的角度规定 AR-HUD 数字显示界面满足的最低要求，避免诱发导致驾驶疲劳和驾驶分神。

（4）HUD 同车机软硬件电子电气接口的标准化工作。

标准的推进节奏应坚持分类和分级推进的原则，以团体标准为创新引导，以行业标准为规范引领，最终推动国家标准的制定和实施。在内容分类上，AR-HUD 的测试评价和技术要求可以优先在团体标准和行业标准落地和实施，抬头显示 HUD 的通用测试方法和最低技术要求应该在国家标准层面进行规定。

5.3 行业应用端

虽然汽车抬头显示的应用由来已久，但是一直以来抬头显示的应用装备率以及装车率都处于较低的水平，尤其是增强型抬头显示还处于刚开始应用的阶段，原因一方面在于光机的技术成熟度不够，另一方面在于应用场景和生态的不完善。

随着智能网联汽车技术的发展，汽车不断逼近自动驾驶的形态，同时智能座舱的功能越来越丰富和个性化，这也为增强现实抬头显示的应用提供了巨大的空间和使用场景。但是，行业应用的健康快速扩大需要在应用场景可靠的基础上形成覆盖产业链环节的生态体系，并且实现产业链各环节之间相融相促以及推进作用放大的效果。

为推动智能座舱及增强现实抬头显示行业的稳定和快速发展，建议由行业协会或学会牵头建立汽车抬头显示技术创新及应用推进联盟，联合汽车整车企业、Tier1 零部件企业、Tier2 零部件企业、高校及研究机构形成较为完整的产业链生态体系，可以从以下几个方面开展相关工作：

（1）增强现实抬头显示团体标准的研究制定

（2）整车增强现实抬头显示人机布置及数字显示界面关键技术研究

（3）增强现实抬头显示应用效果评估研究

（4）汽车增强现实抬头显示功能示范应用推广

（5）增强现实抬头显示相关应用软件开发

行业联盟和组织的建立将会集合产业链各个环节形成合力，极大地推动增强现实抬头显示技术发展、应用推广，并形成持续发展、不断扩大和有机成长的生态体系。

附录

英文缩写解释

| 英文缩写 | 英文全称 | 中文解释 |
|--------|-----------------------------------|-----------|
| HUD | Head-up Display | 抬头显示 |
| AR-HUD | Augmented Reality Head-up Display | 增强现实抬头显示 |
| C-HUD | Combiner Head-up Display | 组合型抬头显示 |
| W-HUD | Windshield Head-up Display | 挡风玻璃抬头显示 |
| ADAS | Advanced Driver Assistance System | 高级驾驶员辅助系统 |
| POI | Point of Interest | 兴趣区域 |
| PGU | Picture Generation Unit | 成像单元 |
| TFT | Thin Film Transistor | 薄膜晶体管 |
| LCD | Liquid Crystal Display | 液晶显示屏 |
| DLP | Digital Light Processing | 数字光处理器 |
| LCoS | Liquid Crystal On Silicon | 硅基液晶 |
| HOE | Holographic Optical Element | 全息光学元件 |
| LBS | Laser Beam Scan | 激光扫描 |
| DMD | Digital Mirror Device | 数字微镜器件 |

| 英文缩写 | 英文全称 | 中文解释 |
|------|---------------------------|----------|
| FOV | Field of View | 视场角 |
| VID | Virtual Image Distance | 虚像距离 |
| LDW | Lane Departure Warning | 车道偏离预警 |
| ACC | Adaptive Cruise Control | 自适应巡航 |
| V2V | Vehicle to Vehicle | 车与车通信 |
| V2I | Vehicle to Infrastructure | 车与基础设施通信 |
| VRU | Vulnerable Road Users | 弱势道路使用者 |

版权所有 © CAICV 智能车载光显示任务组 | 中汽信息科技有限公司 | 华为技术有限公司 2022，保留一切权利。

非经版权所有方书面同意，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部。

商标声明

在本手册中出现的所有商标，产品名称，服务名称以及公司名称，均由其各自的所有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此，本文档信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，版权所有方不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任，并且可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。