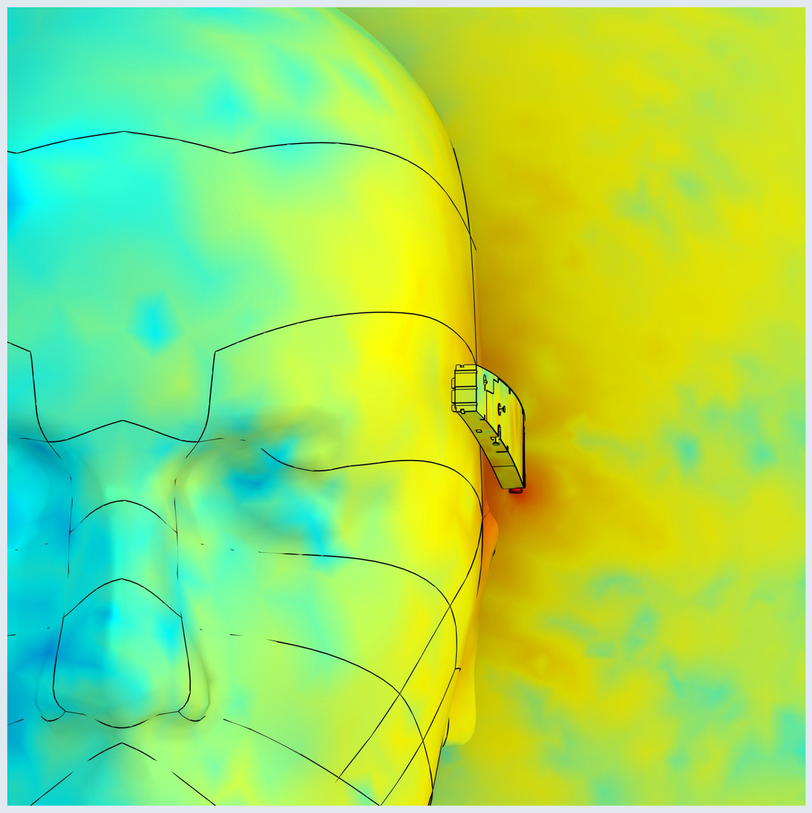


智能眼镜远场消音技术

本研究聚焦智能眼镜远场消音这一革命性音频技术方案，通过 COMSOL 多物理场仿真对眼镜扬声器结构开展优化设计，模拟近场人耳区域与远场自由场环境下的声压分布差异，精准实现近场增音、远场消音的效果，在保障优质听觉体验的同时，充分兼顾语音隐私安全。

栾尊玲[1]，麻钊润[1]，谢帅博[1]

1. 共达电声股份有限公司，山东潍坊，中国

摘要

随着人工智能与可穿戴技术深度融合，智能眼镜正从专业设备快速向大众消费电子产品普及。据IDC预测，2026年中国智能眼镜市场出货量将突破450万台，同比增长近80%。市场高速扩容的同时，公共场景音频干扰、语音隐私泄露等用户痛点日益凸显，成为制约产品大规模普及的核心瓶颈。

本研究聚焦智能眼镜远场消音这一革命性音频方案，以实现“近场增音、远场消音”为核心目标，通过COMSOL仿真对扬声器结构开展优化设计，对比模拟近场与远场自由场下的声压分布特性，有效抑制声音远距离扩散，兼顾优质听觉体验与语音隐私安全。

方法

本文采用COMSOL多物理场平台的压力声学物理场，基于腔体干涉消音原理开展设计——通过腔体设计将扬声器振膜两面产生的相位相反的声波分别导向前后出音孔，在远场位置相互叠加实现声音消减，构建“扬声器腔体—扬声器单体—人头模型—外部自由空气域”三维声学仿真模型，以近场声压增益、远场声压衰减量与声场指向性为核心评价指标，在扬声器布置方案、振膜等效参数、箱体声学结构、工作频段等多组参数条件下，系统评估智能眼镜远场消音技术的声学性能。

扬声器通过电力声类比方法，基于Thiele-Small（TS）参数对复杂振动系统进行数学等效，简化为振膜边界条件，以此统一表征声学激励工况。控制方程采用频域压力声学波动方程，忽略高频非线性声学效应与空气微弱黏性损耗；几何模型在保留扬声器核心发声机理与远场声传播主导规律的前提下，对眼镜镜架非声学结构、人头表面次要细节进行适度简化。

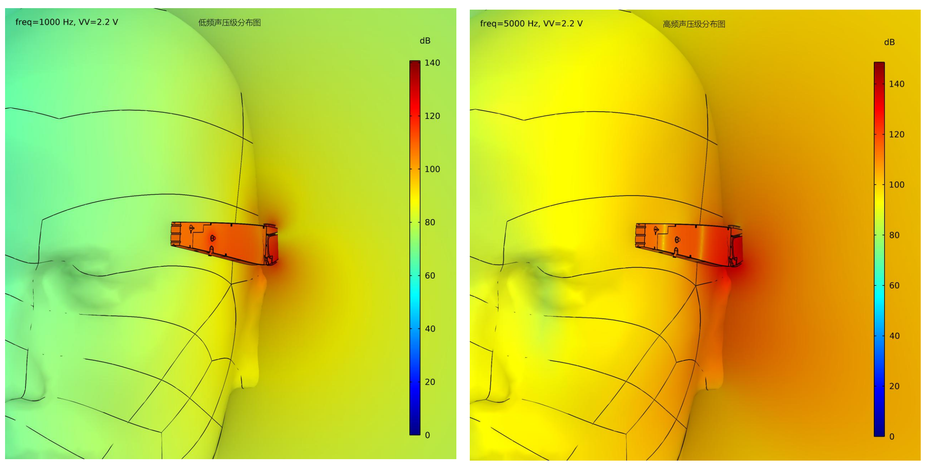


图1 智能眼镜扬声器不同频率声压级分布图

结果

人的语音能量主要集中于300Hz–3400Hz频段，该频段的远场声压衰减效果直接决定了公共场所场景下的语音隐私防护能力。仿真结果表明，基于腔体干涉的远场消音方案在语音核心频段表现出优异的消音性能：距前出音孔2.5cm的耳旁近场可维持较高的声压灵敏度，保障清晰自然的听觉体验；而侧面30cm处的远场位置，语音频段内声压灵敏度较近场衰减20~60dB，可大幅降低公共场景下的语音外泄风险。

研究同时验证，前后出音孔的尺寸配比与相对空间位置是影响语音频段消音效果的关键结构参数。通过对该类参数的优化设计，可进一步提升语音主频段的远场衰减均匀性，实现近场音质与远场隐私保护的更佳平衡，为智能眼镜低泄露音频系统的工程化设计提供了核心仿真依据。

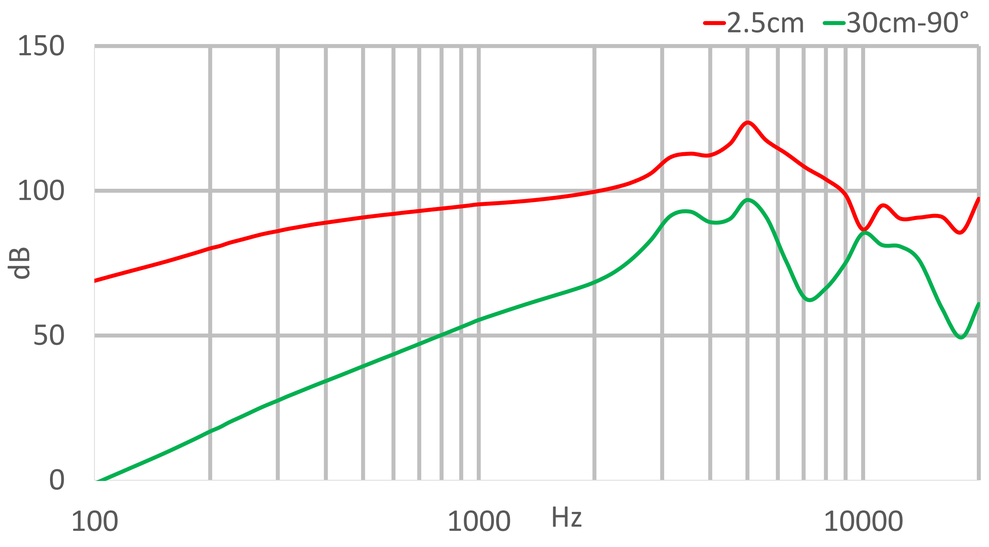


图2 不同距离频率响应曲线