

GETTOP[®] 共达



防水扬声器结构设计白皮书

专业声学解决方案

目录

市场背景与用户需求	— 03
不同防水等级结构设计	— 05
仿真防水可行性	— 07
整机腔体对性能影响仿真	— 10
总结	— 12

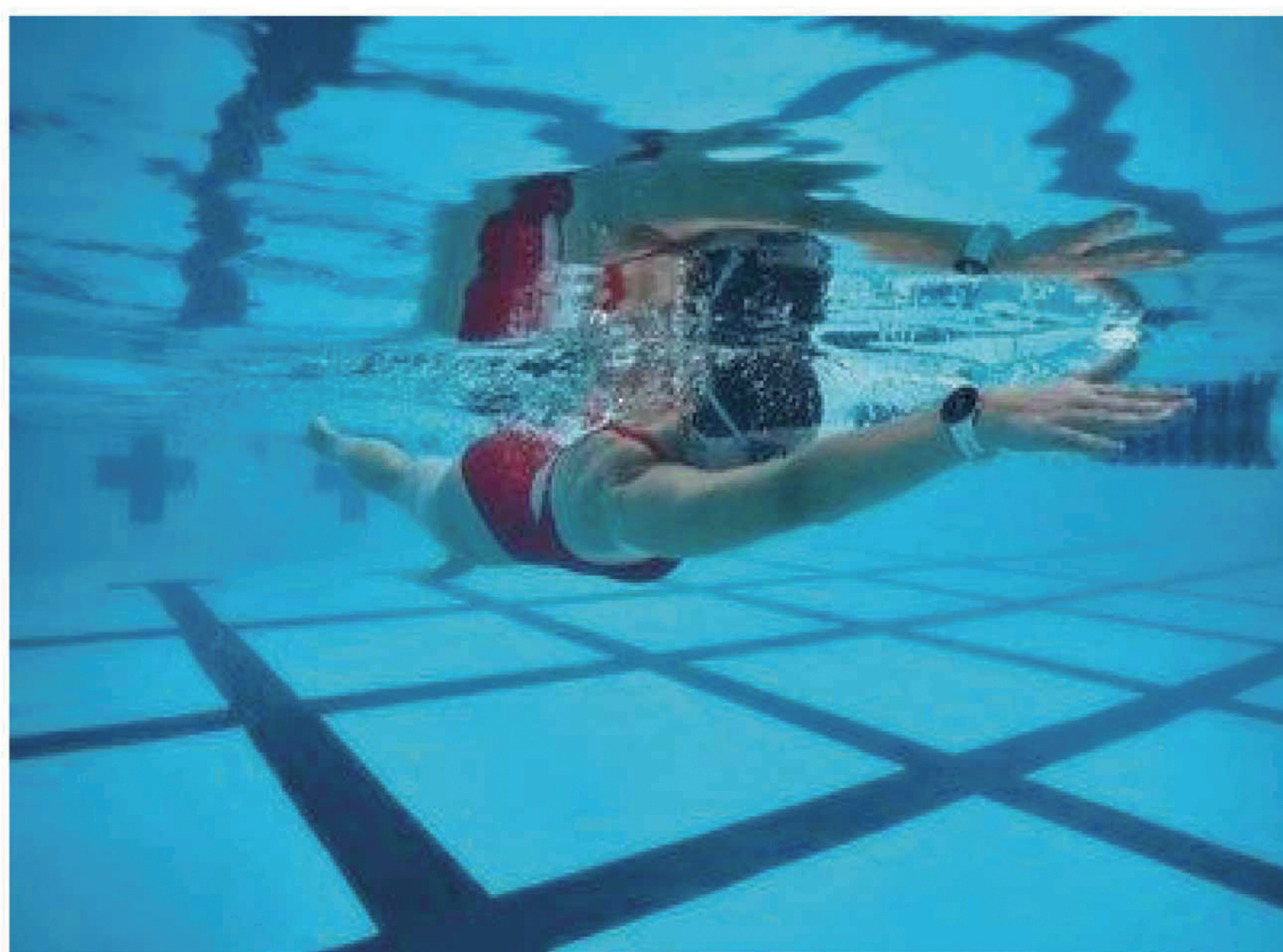
01

市场背景与用户需求

根据IDC（国际数据公司）市场分析机构的数据显示，2025年全球智能穿戴手表的出货量约为2.5亿至2.7亿台。随着技术迭代、应用场景扩展以及5G和AI技术的融合发展，预计到2026年，智能手表市场将继续保持增长势头。

智能穿戴跟随用户出现在生活的方方面面，避免不了接触水环境，其防水能力关乎到产品使用寿命和用户体验，扬声器作为智能穿戴的发声单元，不但要性能优良，还要具备整机所需的防水能力，兼顾性能和防水已经成为扬声器厂家市场竞争力的基石。

本白皮书首先展示不同防水要求下的扬声器设计与整机配合形式，然后用COMSOL软件对防水结构进行仿真，最后根据电力声理论搭建功能模型，进行整机腔体差异化性能仿真。该研究为可穿戴设备中的声学扬声器提供从理论建模到工程实现的技术路径，在无需制作物理原型情况下，即可模拟扬声器的使用场景，为智能穿戴设备扬声器的设计优化提供理论依据，展示了如何利用结构设计理论和仿真软件开展工作。

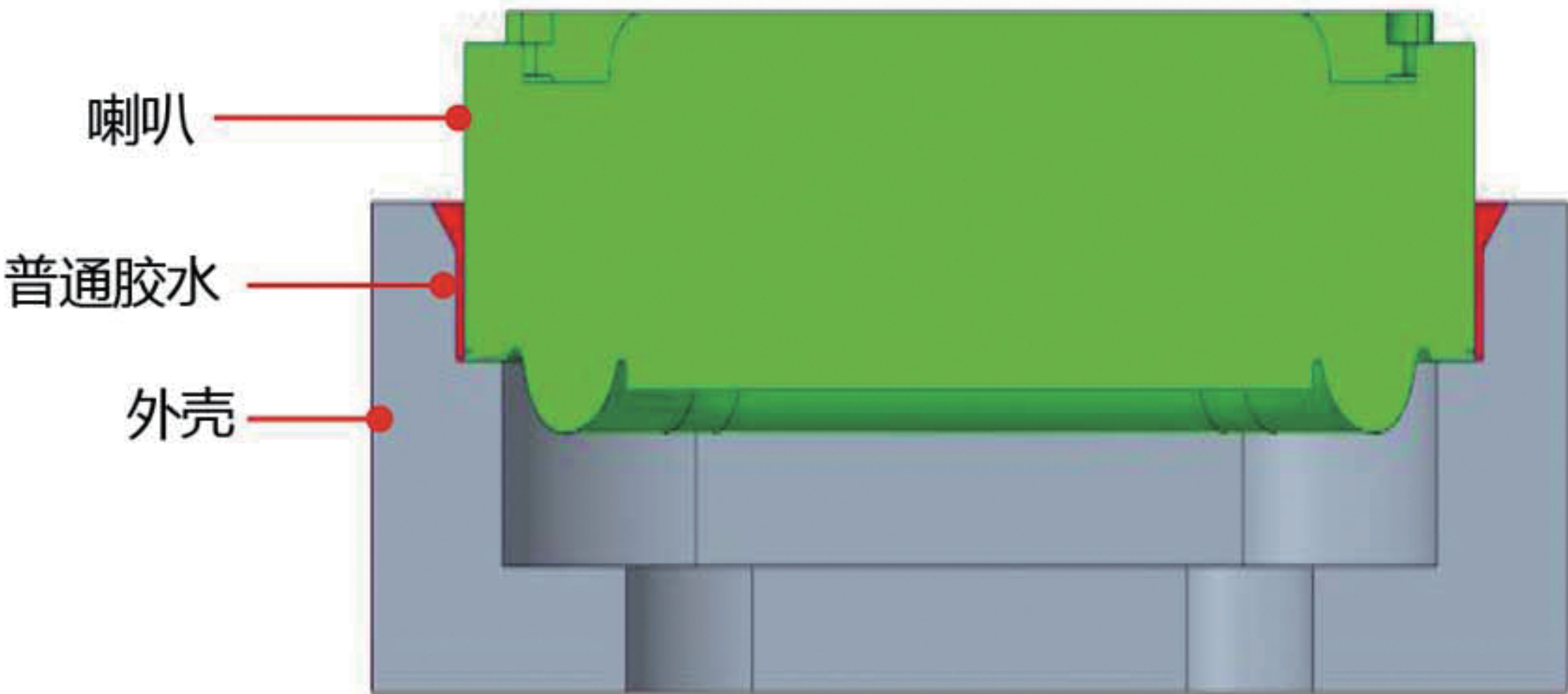
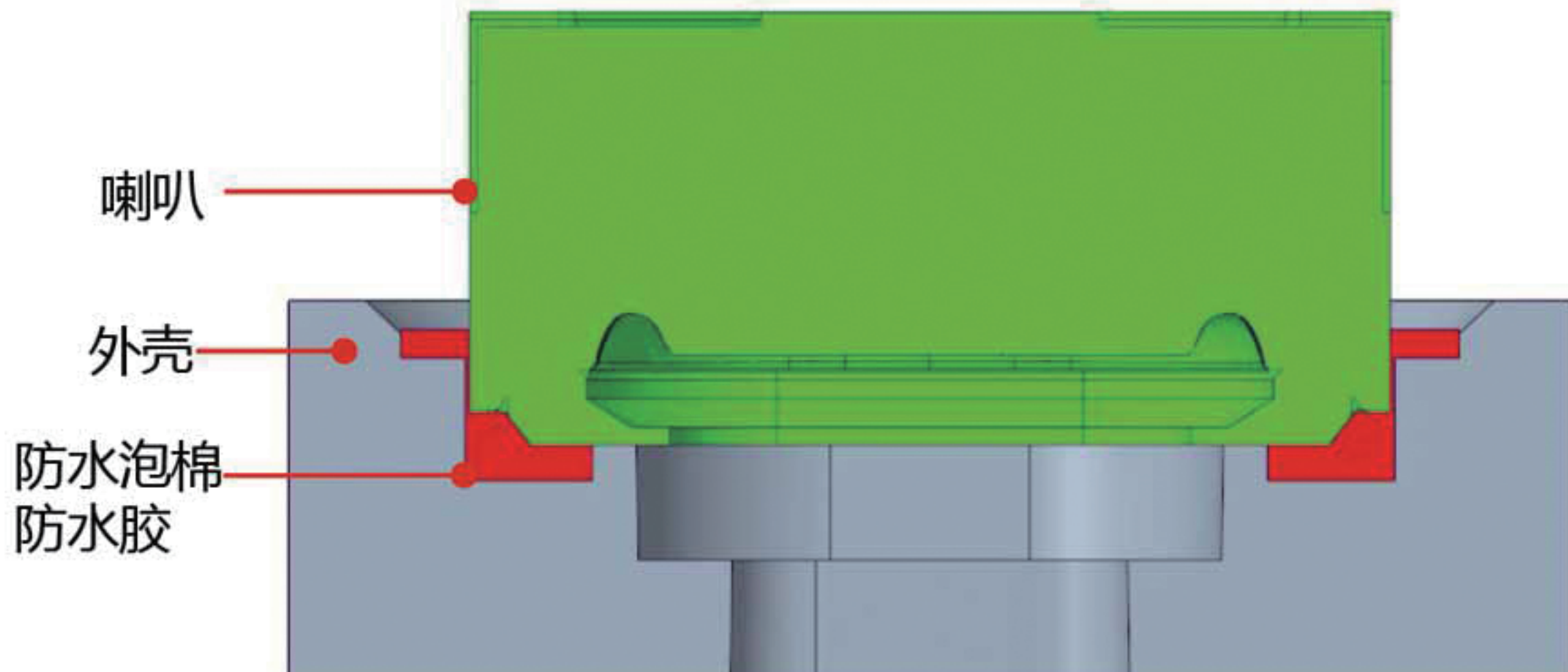
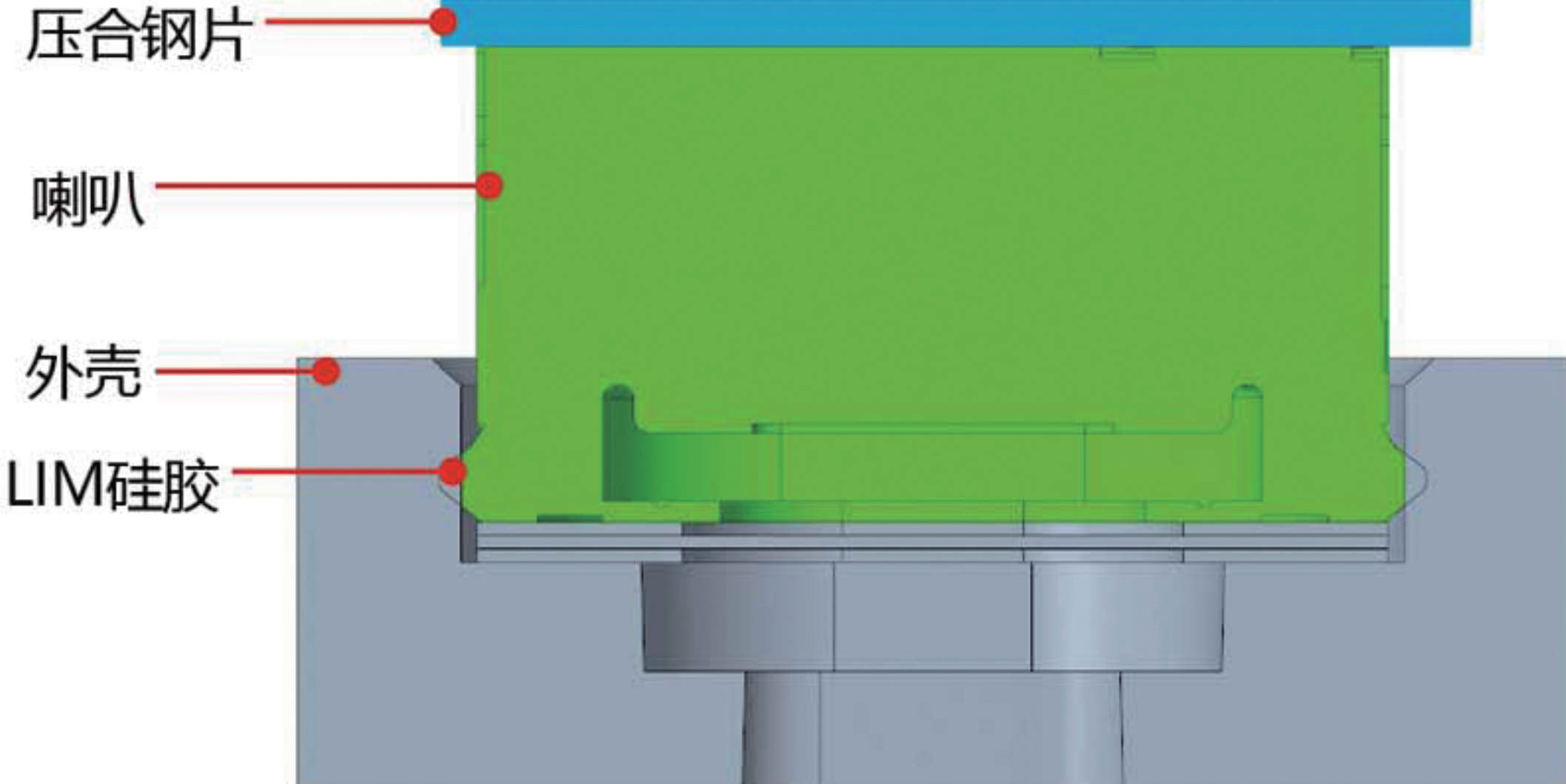


02

不同防水等级结构设计

智能穿戴防水要求不同，对内部扬声器结构设计和与整机配合方式也不相同，下述举例不同防水等级扬声器的结构设计要点，说明与整机组装方式差异，为兼顾性能与防水的扬声器设计提供方案参考。

➤ 2. 不同防水等级结构设计

对比维度	无防水要求	低防水要求	高防水要求
产品设计	振膜选用普通材料，不限制折环方向	振膜选用抗拉伸材料，通常为凹折环	振膜选用硅胶材料，与支架一体注塑，为凹折环
产品与整机组装	普通胶水粘接	防水泡棉或防水胶水粘接	LIM硅胶与整机侧壁挤压密封，且整机压合钢片缩紧喇叭
示意图			
总结	扬声器通过振膜材料选型及设计，配合整机组装方式，满足不同防水等级需求。		

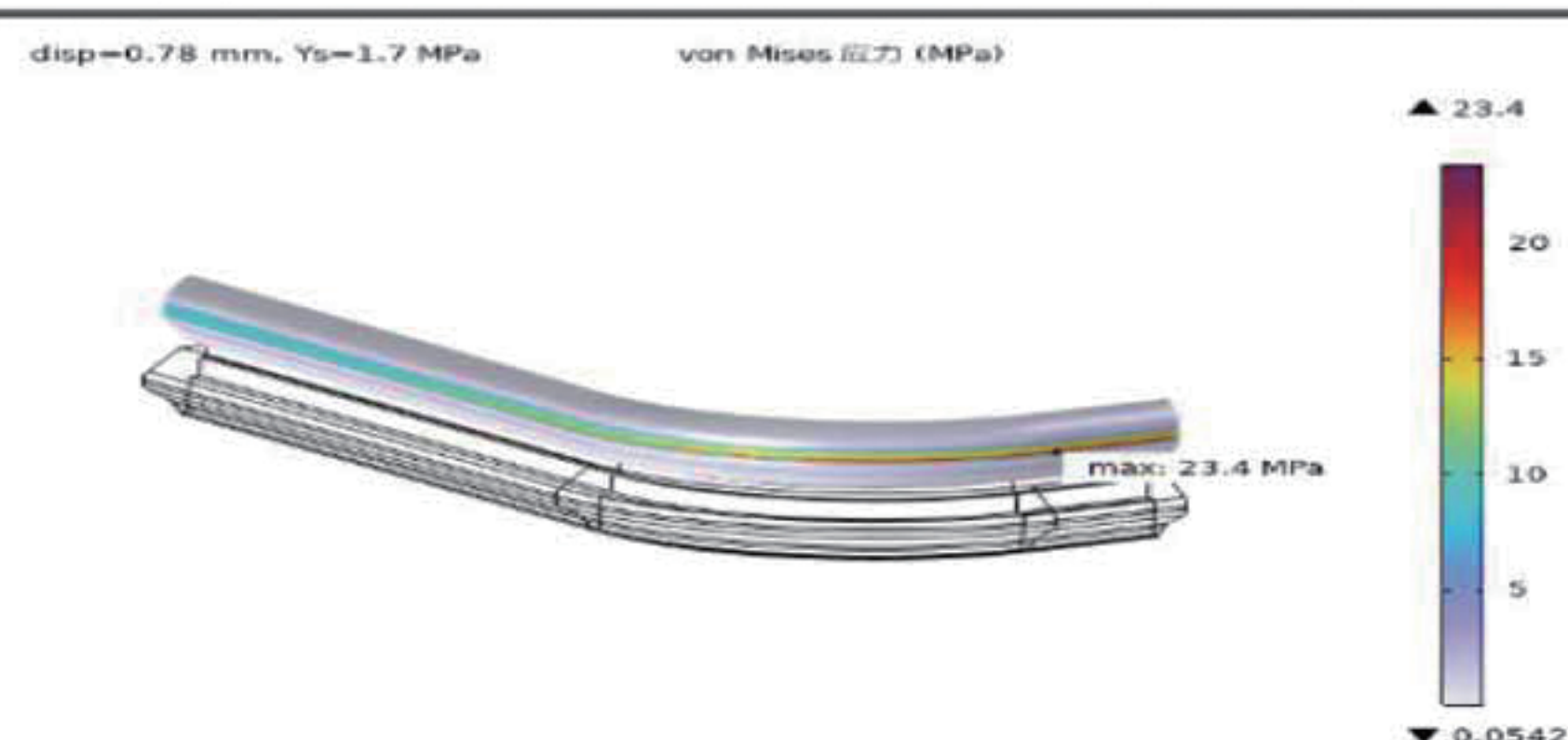
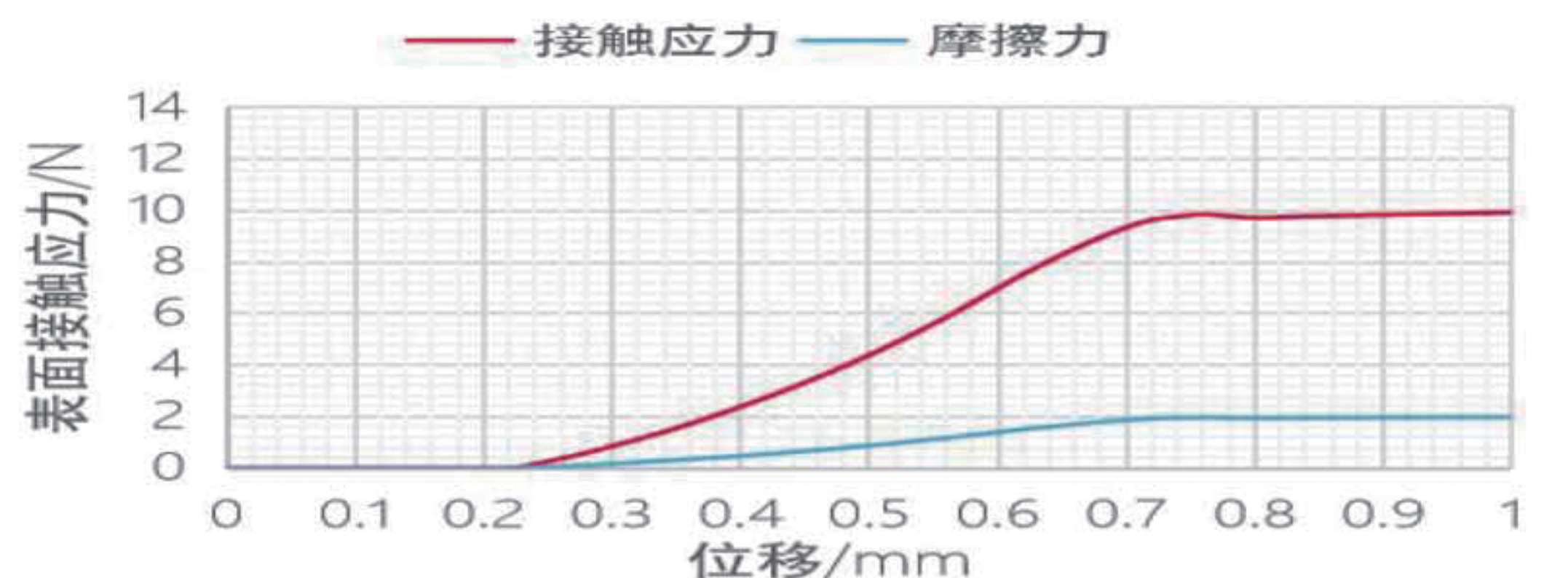
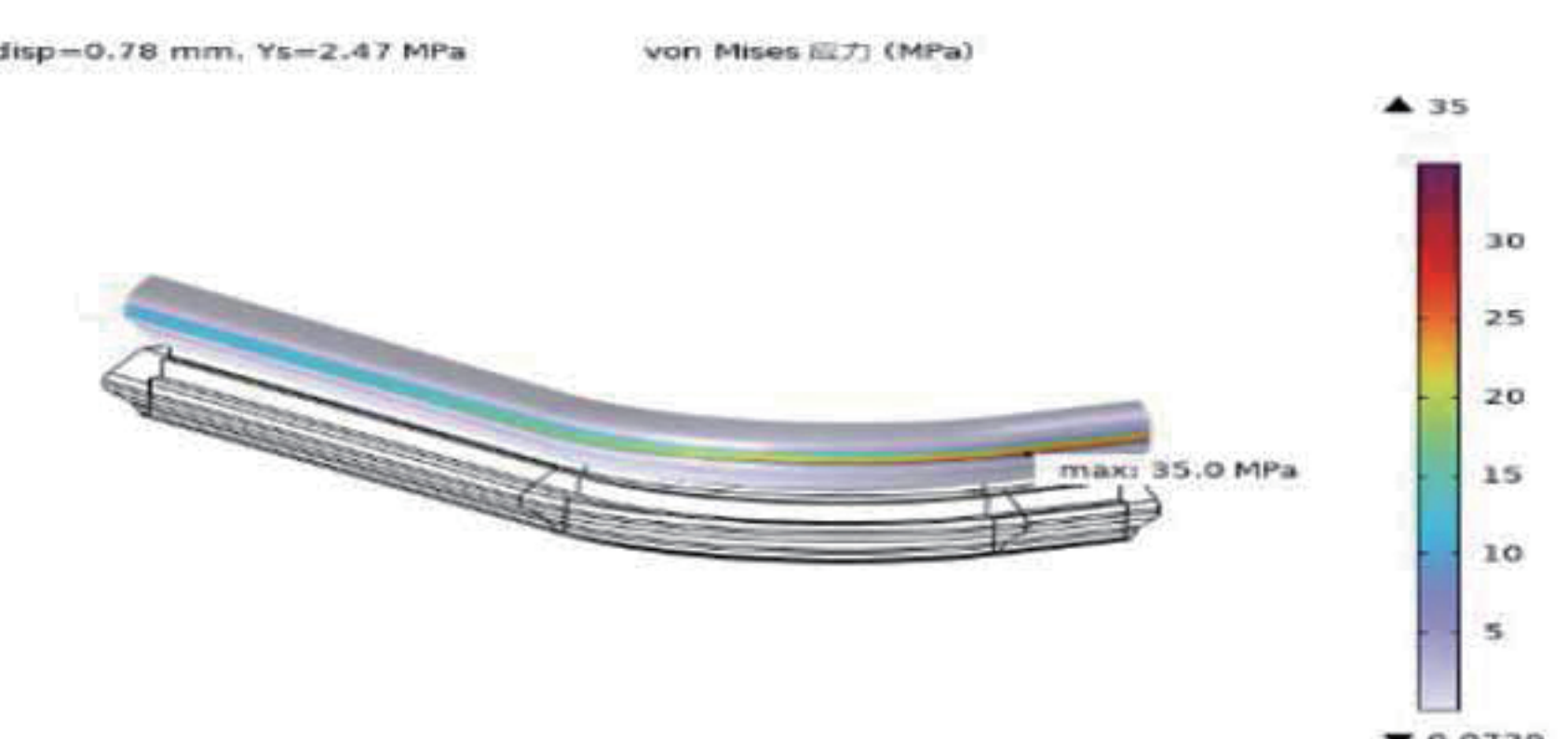
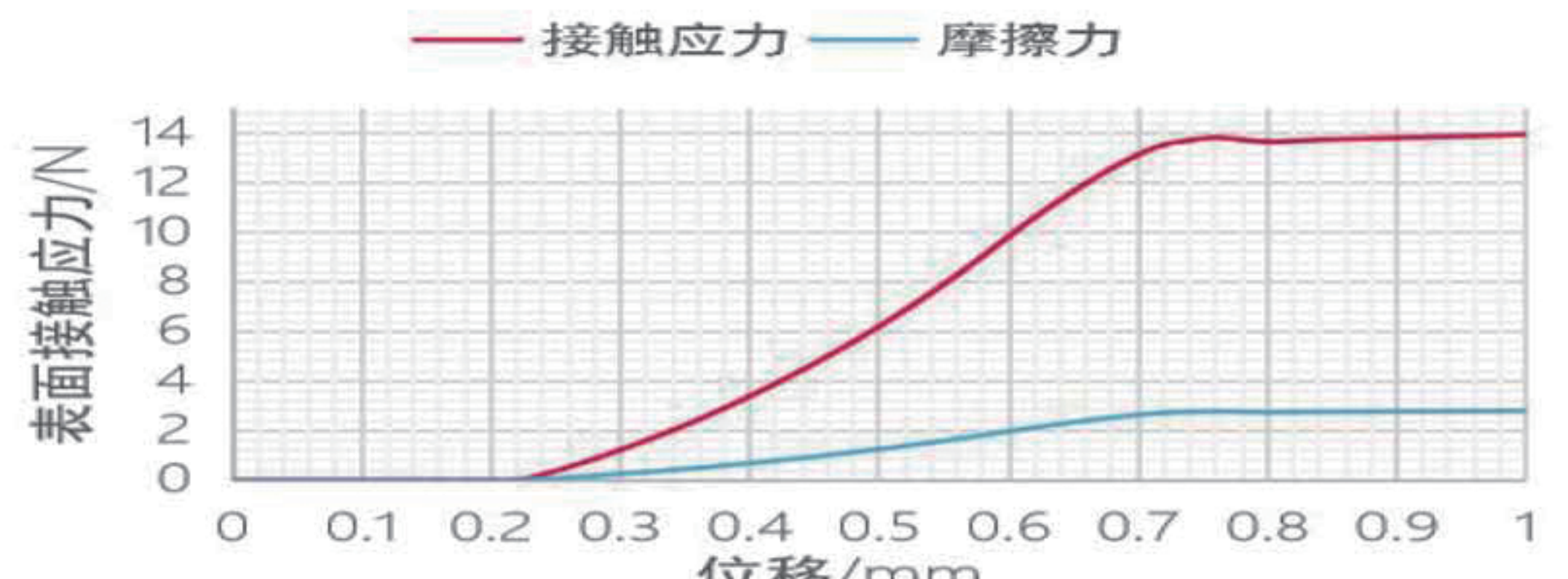
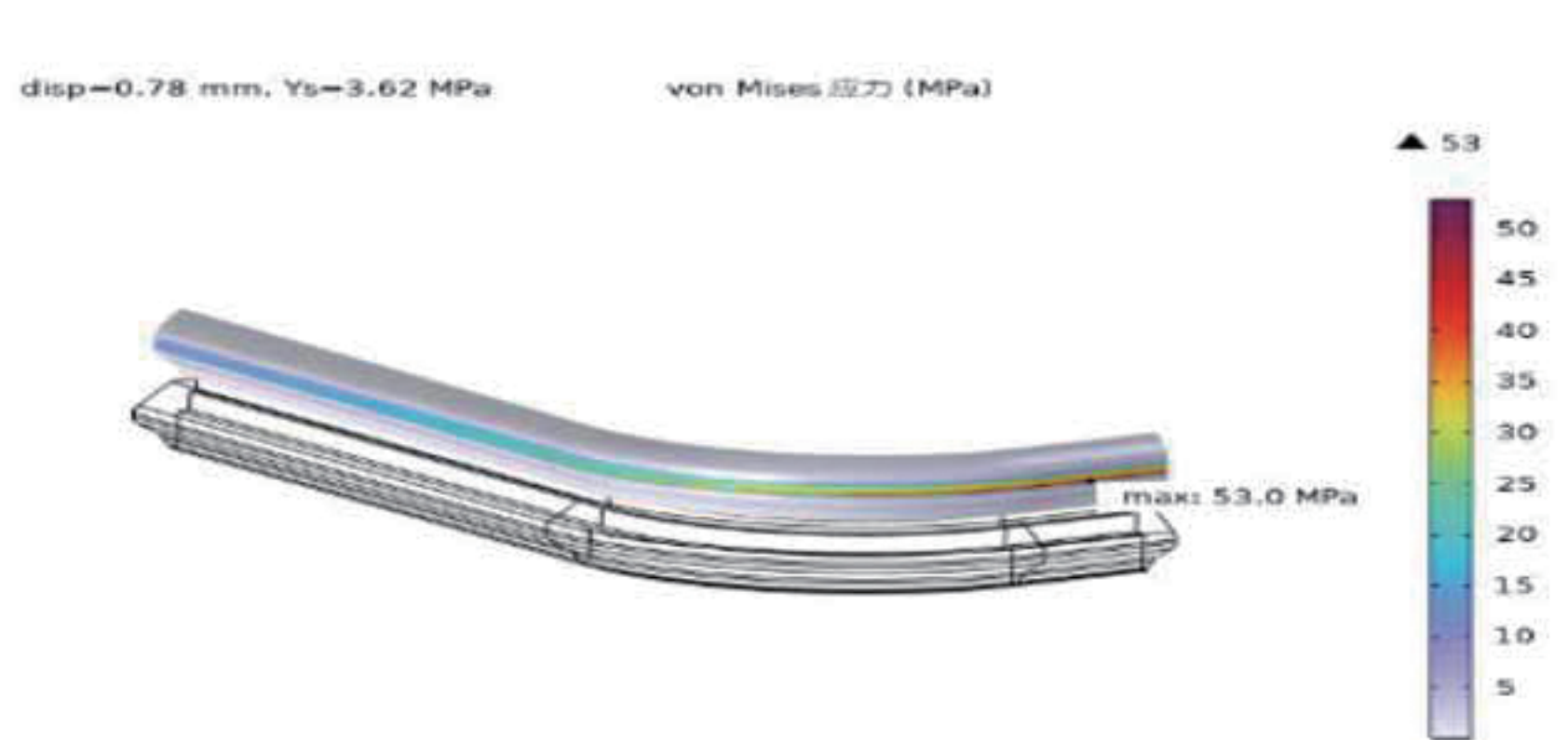
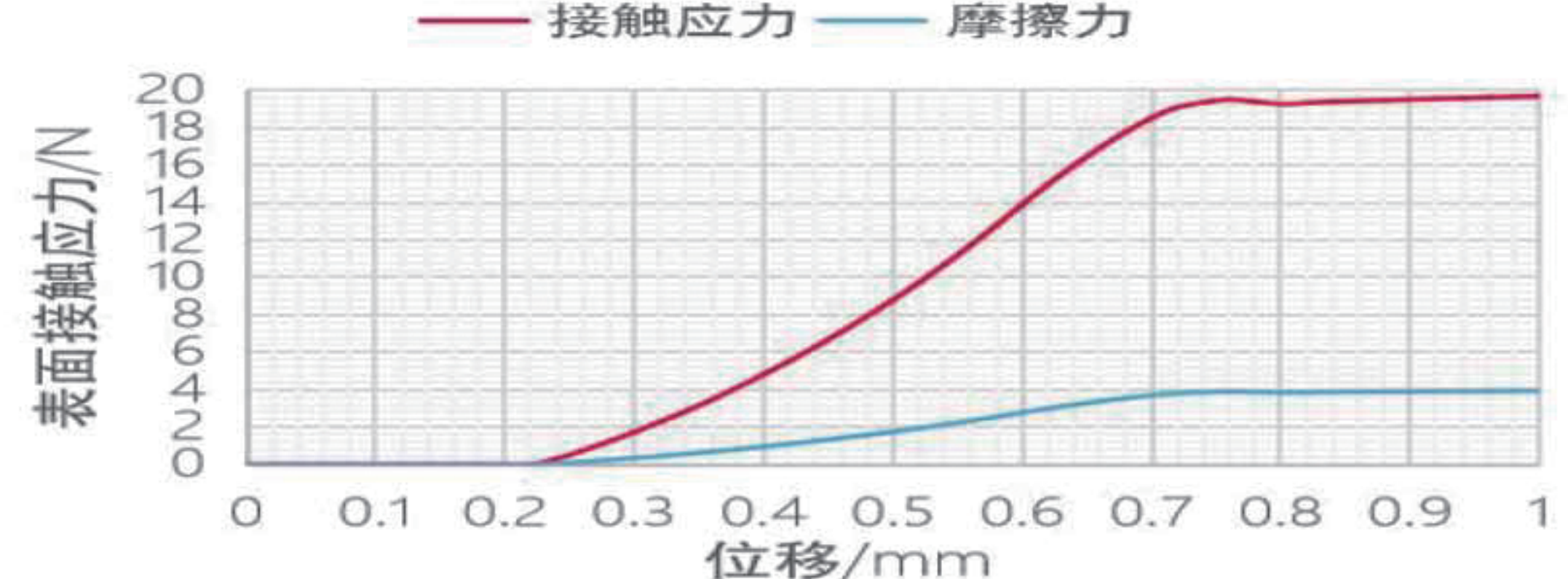
03

仿真防水可行性

使用COMSOL软件对设计结构进行仿真，模拟扬声器设计与整机配合防水情况，作为扬声器材料选型、结构防水可行性的理论依据，探寻防水的最佳技术方案。

➤ 3. 仿真防水可行性

一款13mm*6mm矩形扬声器，需求组装智能手表后满足100m静态防水。下述用COMSOL仿真扬声器不同LIM硅胶硬度与整机装配接触应力和摩擦力，依据校核公式： $\sigma_{\text{contact}} \geq P_{\text{water}}$ 确认理论防水可行性，作为LIM硅胶材料选择依据。

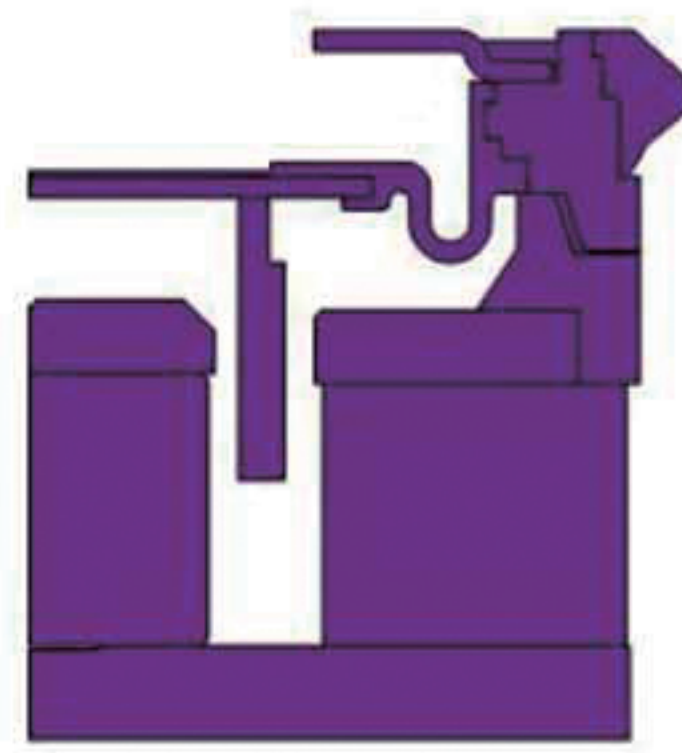
对比维度	整机配合形变图	硅胶圈应力图	表面接触应力/摩擦力
LIM硅胶低硬度			
LIM硅胶中硬度			
LIM硅胶高硬度			

➤ 3. 仿真防水可行性

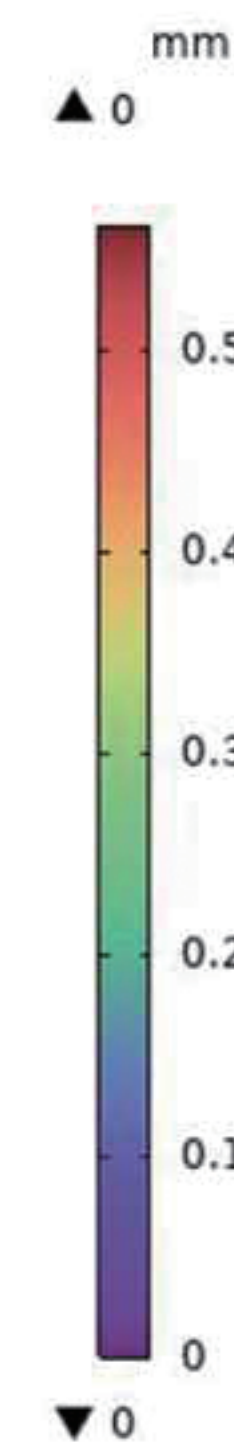
一款13mm*6mm矩形扬声器，需求扬声器本体设计结构满足100m静态防水。模拟扬声器水下静压振动系统结构变形和材料应力情况，依据材料安全系数公式，确认扬声器内部设计及材料选型是否合理。

PA(1)=0 Pa

位移大小 (mm)

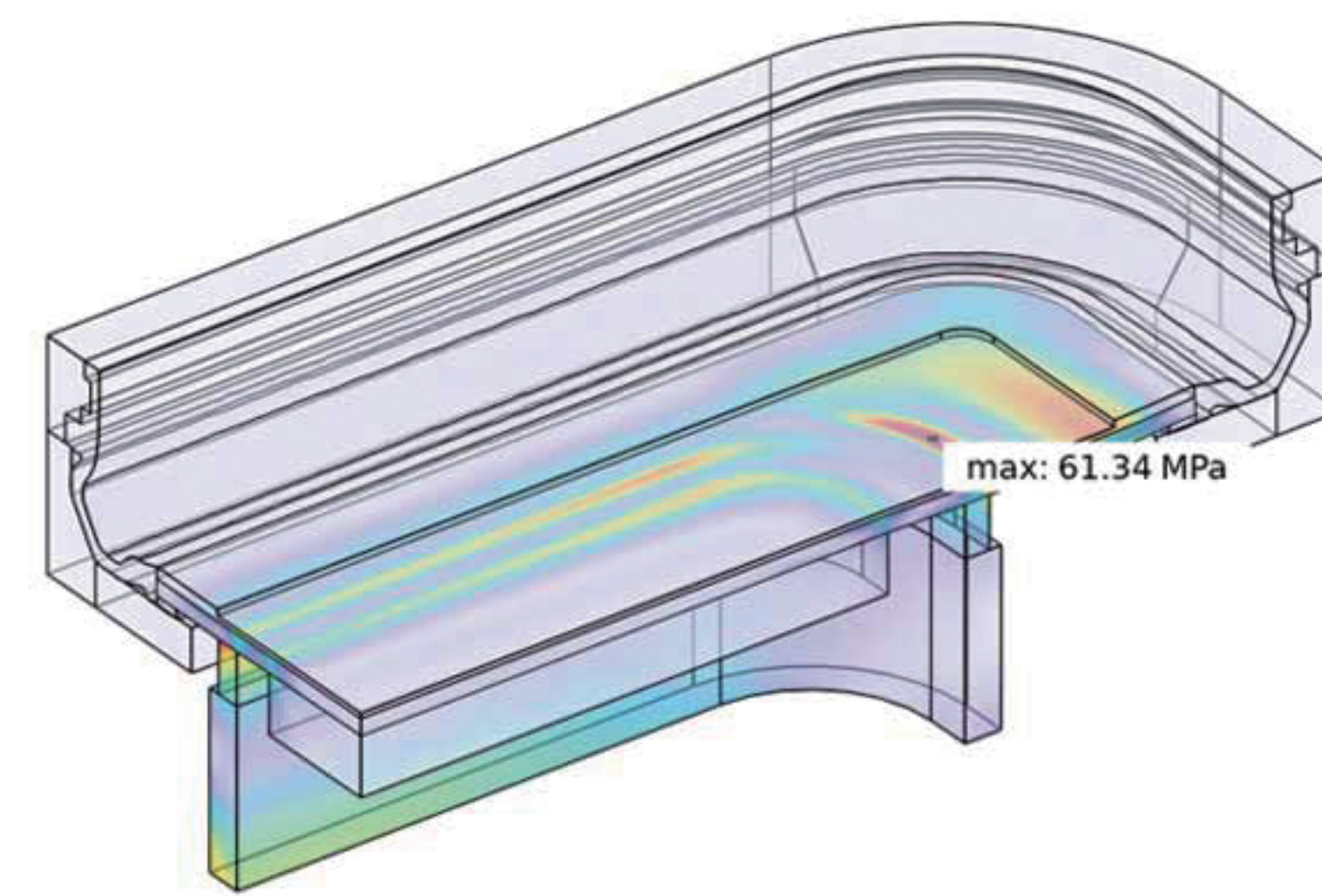


水压下结构支撑图

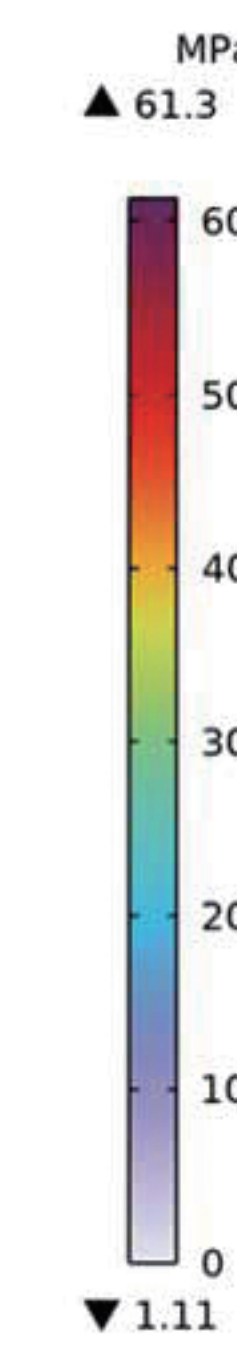


PA(1079)=9.8E5 Pa

von Mises 应力 (MPa)



水压应力图



1. 材料安全系数公式

$$S = \frac{\sigma_{\text{break}}}{\sigma_{\text{max}}}$$

- S : 安全系数 ($S > 1$ 安全)
- σ_{break} : 材料抗拉强度 (PEN=174.3MPa)
- σ_{max} : 水压下最大应力 (100m 时 61.3MPa)

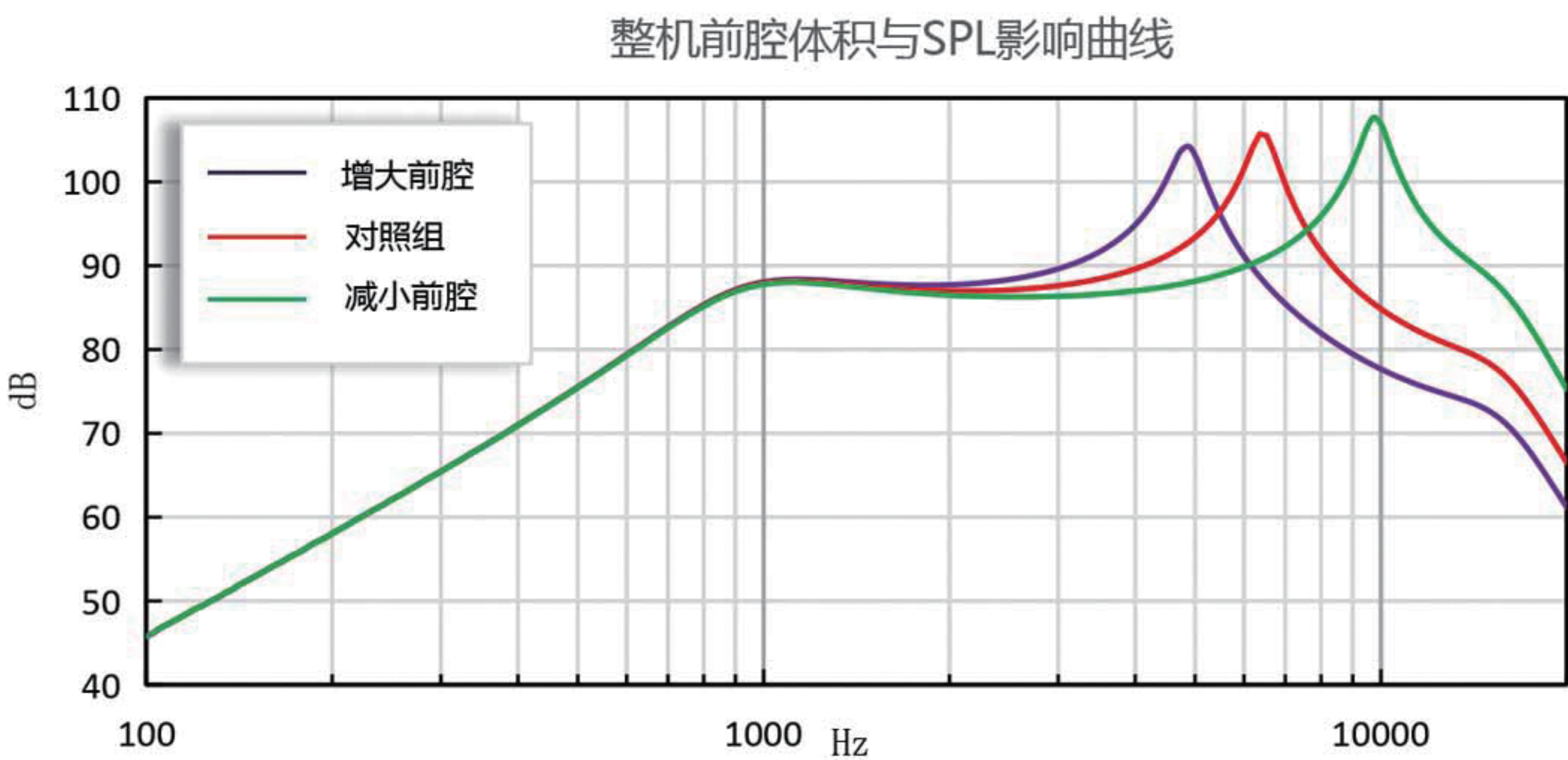
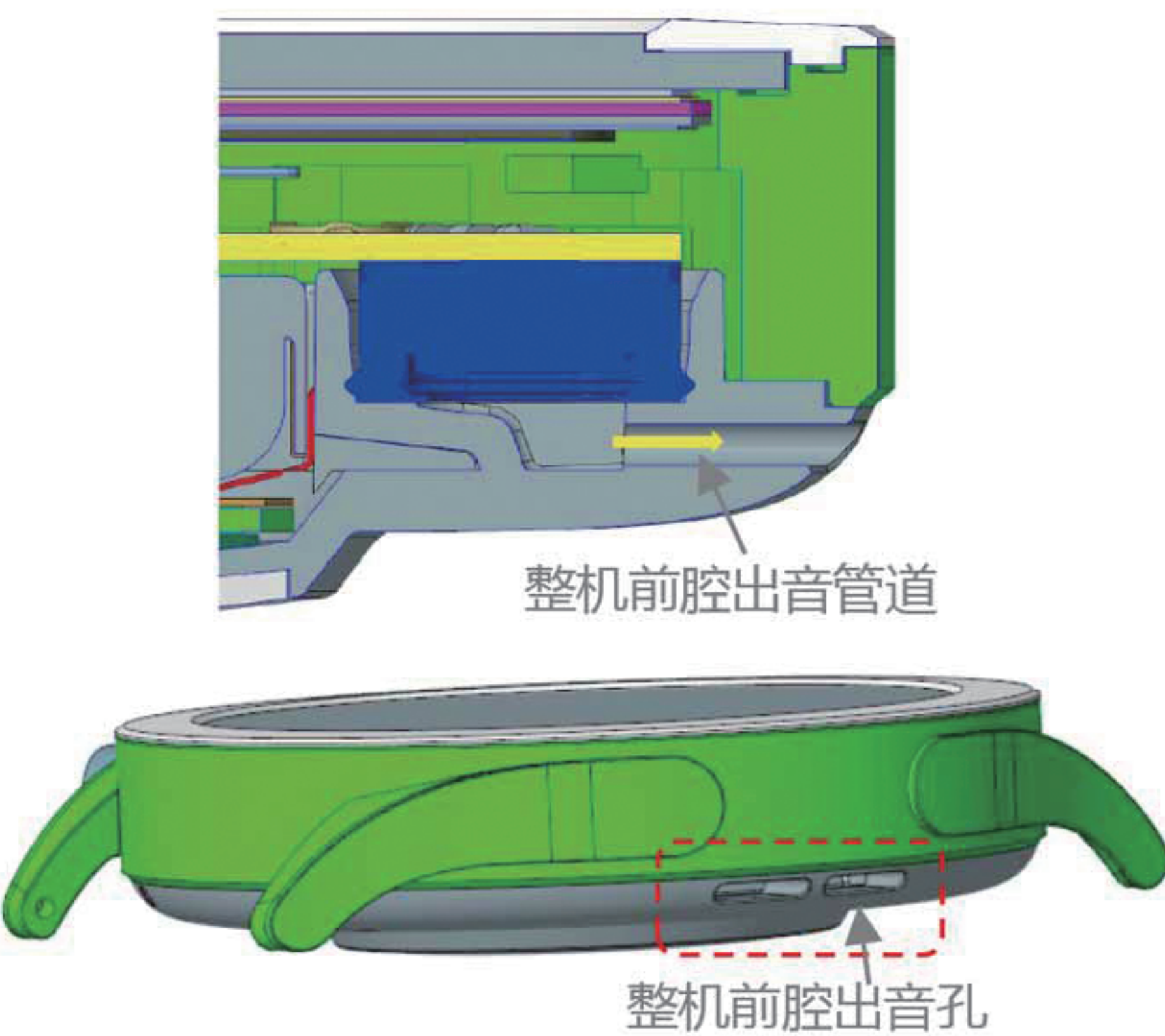
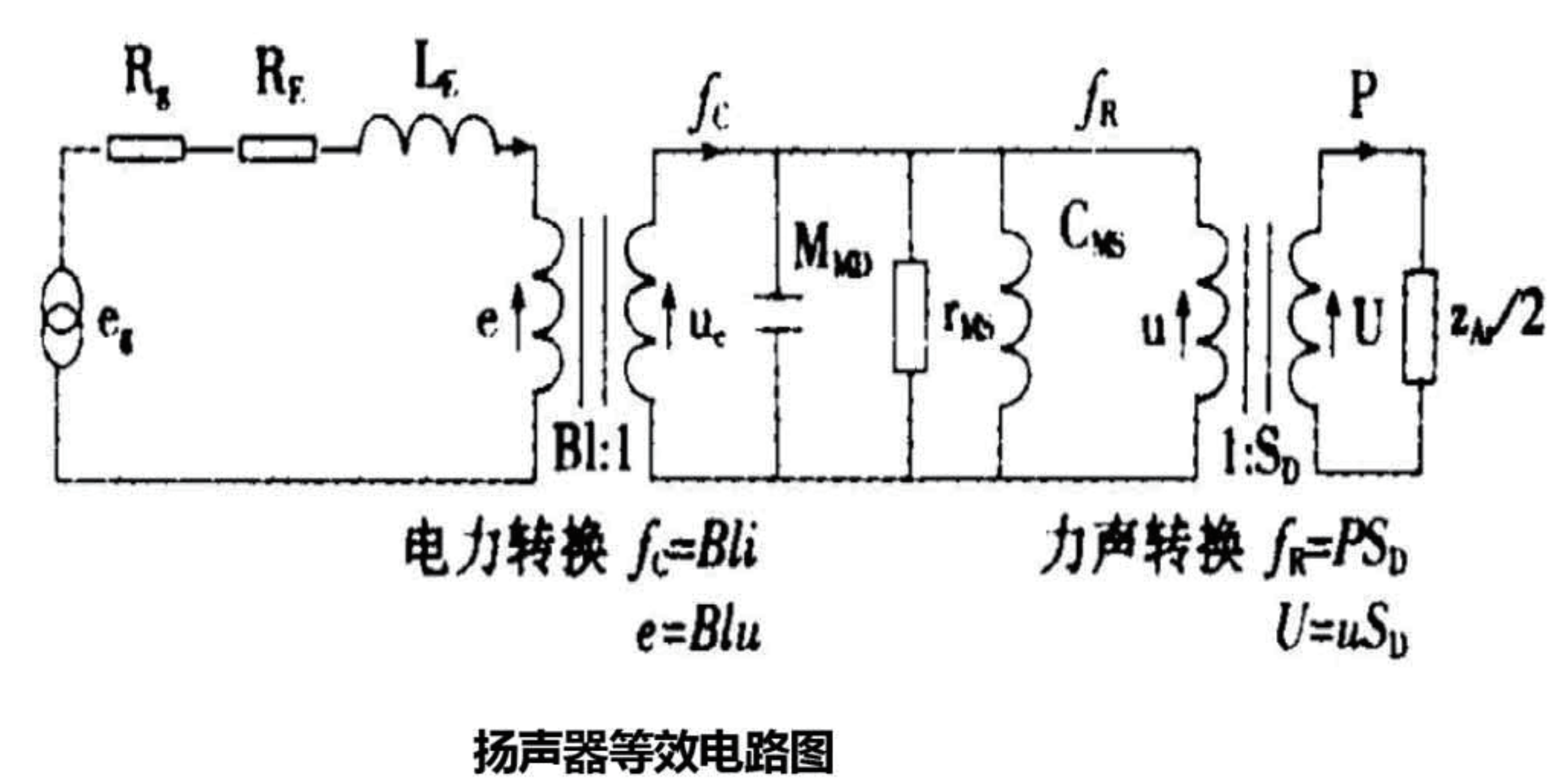
04

整机腔体对性能影响仿真

结构设计经过仿真模拟确认防水可行性后，下一步对扬声器性能表现进行仿真，确认整机腔体体积差异化对灵敏度影响，确认最优性能设计方案。

➤ 4. 仿真腔体体积对性能影响

为了便于扬声器的仿真分析及仿真设计，我们建立由电、力、声三部分组成的扬声器等效电路，利用电力转换、力声转换理论，使用MC软件搭建仿真模型，进行整机腔体对性能的影响仿真，减少DOE验证所需要的样机数量，节约开发成本，缩短既定项目周期。



◆ 整机前腔体积与灵敏度高频截止频率 F_h 关系

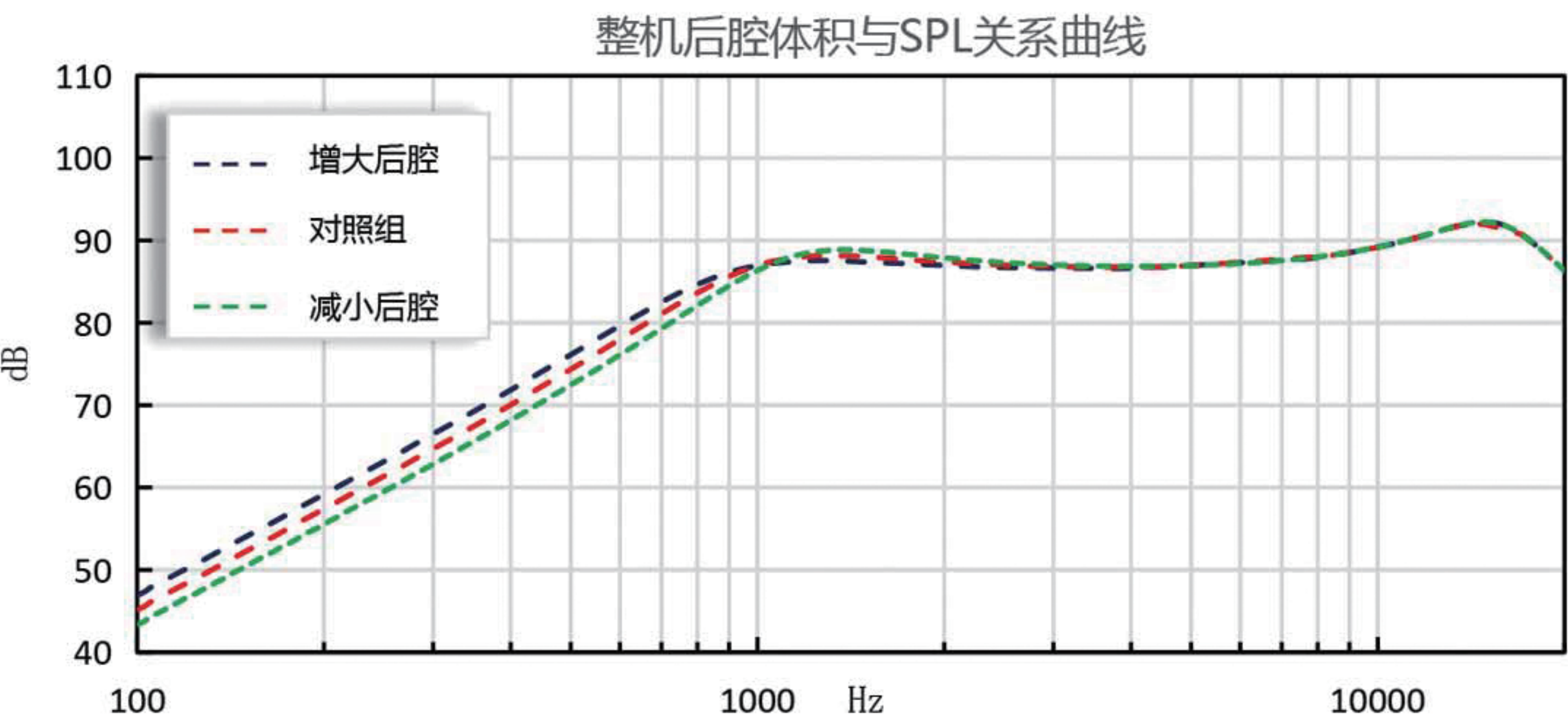
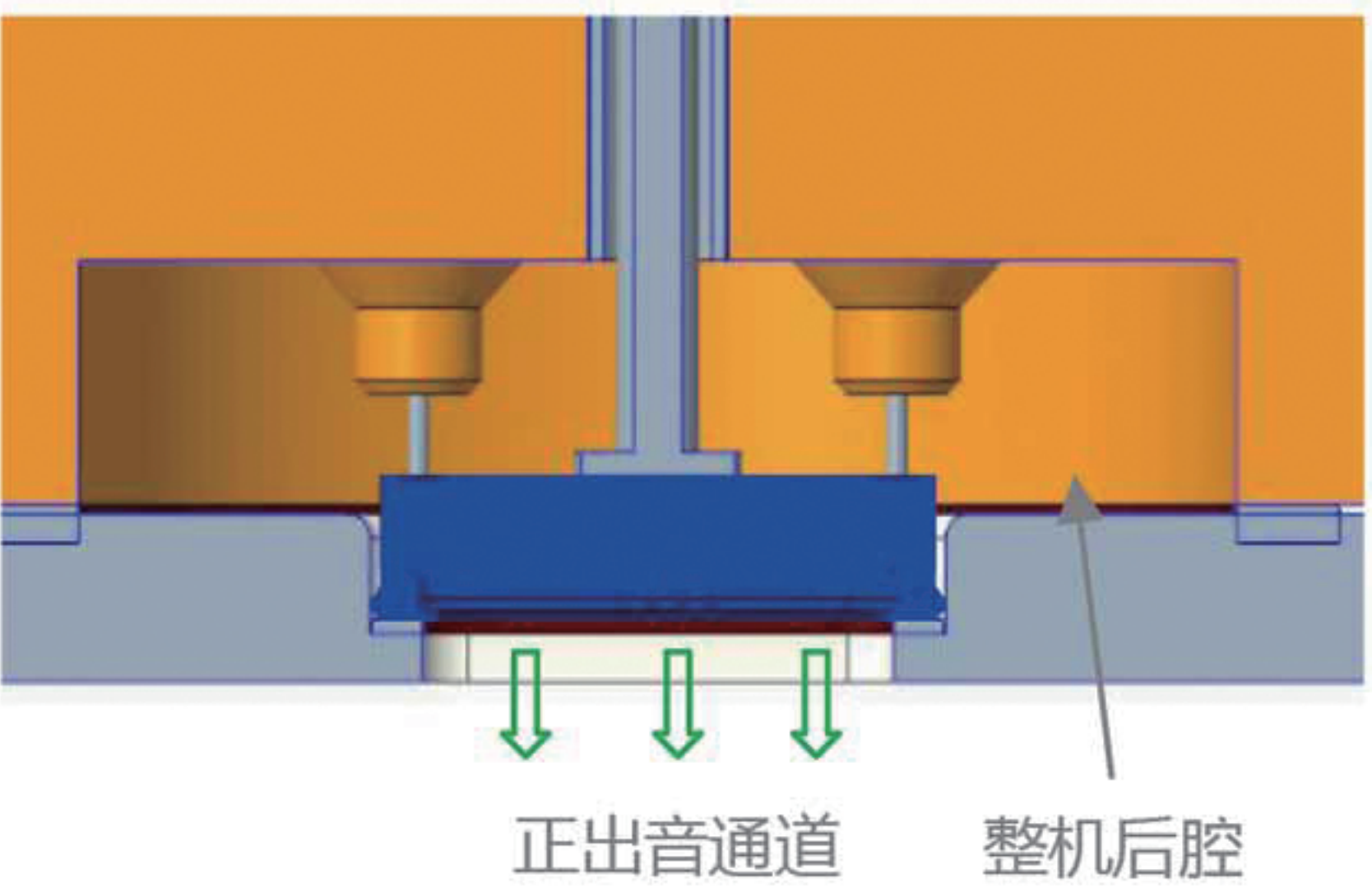
$$F_h \propto \frac{1}{\sqrt{V_{fc}}}$$

V_{fc} : 前腔体积; 前腔越小, F_h 越高, 频宽越宽。

◆ 声压级 SPL 低频提升公式

$$SPL \propto 20 \log \left(\frac{V_{bc2}}{V_{bc1}} \right)$$

后腔体积加倍, 低频 SPL 约提升 6dB。



05

总 结

基于声学理论与仿真技术的深度结合，共达电声对防水扬声器进行了深入研究。通过建立有限元模型，成功模拟了声学性能、防水结构的力学响应及流体-结构耦合效应，为优化产品设计提供了理论依据。

共达电声在微型防水扬声器设计领域有丰富的量产经验和设计仿真能力，可为客户提供最优的设计方案，为用户和企业带来双赢的价值闭环。