
一、项目名称

轻质薄层结构噪声传递与吸收的机理

二、提名单位

山东省教育厅

三、项目简介

大型客机和水下航行器中的低频声波难以控制。以飞机为例，波音 737-800 飞机舱室噪声频谱的能量主要集中在 50Hz-500Hz，难以隔离和吸收。再比如，水下航行器表面通常敷设覆盖层来吸收声波，厚度一般在 10cm 以内，而美国无暇号水声探测船主动声纳的作用频率低到 200Hz，即 7.5 米的波长，要在如此薄的材料内高效吸收如此大波长的声波，且要兼顾宽带吸声，极其困难。因此，如何在不增加重量和厚度的条件下，高效隔离和吸收低频声波是振声学中最重要的基础性问题之一。十余年来，团队在国家重大、面上基金、企业委托等课题的支持下，以大型客机和水下航行器为应用，围绕低频声波控制这一关键共性问题，持续探索轻质薄层结构噪声传递的机制和控制方法，丰富和完善结构振动、流场以及声场耦合作用的理论与分析方法，突破了水下低频声吸收的关键机理，为重要装备的噪声控制提供科学依据。

取得了如下重要成果：（1）创新性地将受纳法应用于加筋板壳在随机声场和湍流边界层（TBL）激励下的噪声计算，具有快速模拟结构阻尼、筋的参数等优点。推导并给出了

TBL 脉动压力模态激励系数的计算公式，显著提高计算精度和效率，与飞行实测数据进行了相互验证。(2) 发现飞机壁板在湍流激励下,与来流方向垂直的加强筋对结构噪声辐射的显著影响，而与来流方向平行的加强筋对噪声辐射没有影响,并从结构波数和 TBL 波数的耦合机制解释了这一重要现象。系统揭示了声场、TBL 脉动压力场、轻质结构振动和辐射声场之间的耦合机制和参数影响规律。(3) 发现一组不同于微穿孔板且特别适用于低频声吸收的结构参数，据此提出一种具有阵列式延长管的穿孔板低频宽带吸声结构，与著名的微穿孔板吸声结构相比，低频吸声性能相当条件下，总厚度减少一半，实现以更薄的尺寸控制更大的波长。(4)发现引入背衬结构可形成有益的多重局域共振机制，在不增加声学结构尺度的条件下，有效吸声频率能够向低频段拓展两到三个倍频程。揭示了声学覆盖层弹性与背衬结构质量的耦合是使吸声峰大幅向低频移动的主要机理，实现了水下低频宽带声吸收的关键机理突破，为水下低频吸声提供了明确的技术途径和坚实的理论支撑。

本项目发展的计算方法，应用于意大利 Piaggio 公司 P80 飞机 TBL 激励下舱壁振动噪声的计算和分析;设计的一种低频宽带吸声结构，应用于我国大型风洞的降噪工程。项目主要完成人曾获中国科学院优秀百人、山东省泰山学者特聘专家等人才称号，承担过包括国防 973、国防预研、国家 973、

国家基金课题在内的各类科研项目，以通讯作者通过斯普林格出版了英文专著《Vibro-Acoustics》三卷（第二版）。曾兼任第 21 届国际声与振动大会科学委员会主席，《Applied Acoustics》副主编，多次应邀在国内外重要学术会议上做报告。

四、主要完成人情况

1.姓名：刘碧龙，排序：1/5，职称：教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目创新点 1，2，3，4 均做出了重要贡献。

2.姓名：常道庆，排序：2/5，职称：研究员，工作单位：中国科学院声学研究所，完成单位：中国科学院声学研究所，对本项目对项目创新点 3 做出了重要贡献。

3.姓名：李登科，排序：3/5，职称：工程师，工作单位：中车株洲电力机车有限公司，完成单位：中国科学院声学研究所，对本项目对项目创新点 3 做出了重要贡献。

4.姓名：金中坤，排序：4/5，职称：助理研究员，工作单位：中国科学院声学研究所，完成单位：中国科学院声学研究所，对本项目对项目创新点 4 做出了重要贡献。

5.姓名：尹铄，排序：5/5，职称：副研究员，工作单位：中国科学院声学研究所，完成单位：中国科学院声学研究所，对本项目对项目创新点 4 做出了重要贡献。

五、代表性论文专著目录

[1] **B.Liu**, L. Feng and A.C. Nilsson. Sound transmission through curved aircraft panels with stringer and ring frame attachments. J SOUND VIB. Vol. 300, 949-973, 2007.

[2] **B.Liu**. Noise radiation of aircraft panels subjected to boundary layer pressure fluctuations, J SOUND VIB. Vol.314, 693-711,2008.

[3] **B.Liu**,L.Feng, A.C.Nilsson, and M.Aversano,. Predicted and measured plate velocities induced by turbulent boundary layers, J SOUND VIB. Vol.331, 5309 –5325, 2012.

[4] D.Li, D, Chang,**B.Liu**,"Enhanced low- to mid-frequency sound absorption using parallel arranged perforated plates with extended tubes and porous material" Applied Acoustics, 127: 316–323,2017.

[5] F.X.Fu;Z.Jin; Y.Yin, **B.Liu**, Sound absorption of a rib-stiffened plate covered by anechoic coatings, J. Acoust. Soc. Am., 137 (3): 1551-1557, 2015.