

特色专题

中国噪声防治技术整体情况

隋富生^{1,2}, 吕亚东¹, 程晓斌¹, 田静¹

摘要 噪声控制是成为保障民生“宁静权”的技术刚需。综述了噪声防治技术在研究前沿和在技术应用层面的适用性。噪声源控制主要是减少振动、降低噪声辐射面的法向振速并同时减小噪声辐射效率。在不可能或没有条件去更改设备结构本身,又或者声源在已经优化之后仍然有过量的噪声辐射,就要考虑在噪声传播途径上采取技术手段,如吸声、隔声、消声、隔振、阻尼、主动噪声控制等。针对不同场景,如城市环境、交通、建筑等的噪声防治策略进行分析,并对未来噪声防治技术发展趋势进行展望:一是智能监测技术,二是更加注重产品的声学设计,三是新颖的声学结构和材料的研发,强调噪声源机理研究和源头控制、新的声学结构材料在噪声防治领域的重要作用。

关键词 宁静中国;噪声控制技术;防治策略

随着中国工业化、城市化进程的加速,噪声污染问题日益严重,给人们的生活、工作和健康带来诸多负面影响。在经济社会发展和人民生活水平不断提高的大背景下,人民追求的幸福生活品质自然而然包含着宁静和谐的内涵。《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出,要加强环境噪声污染治理。中国科学院声学研究所总结中国60多年的噪声污染防治经验,担起新时代的历史责任,组织论证提出了“宁静中国专项科技行动计划”^[1],其目的是面向相关主要装备设备噪声控制的战略需求,系统发展和应用噪声控制核心关键技术,推动相关科技领域全面走向国际前列,有力支撑《中华人民共和国噪声污染防治法》^[2]实施,支撑“宁静、和谐、美丽”社会建设,支撑制造强国建设。这个行动计划也成为了声学研究机构、政府噪声管理职能部门和众多工业产业领域的共识。噪声

不仅对人的身心有重大危害,也对生态环境中的动植物的生理、行为带来明显的影响,受到了全世界研究者的关注^[3-4],如欧盟环境署报告(《Environmental noise in Europe-2020》)中也有介绍。因此,研究和利用各种技术手段来有效地防治噪声污染具有重要现实意义。噪声防治技术涵盖从噪声源控制到传播途径阻断,再到对受影响对象防护的一系列技术措施。通过综合运用各类噪声防治技术,能够降低噪声强度,减少噪声干扰范围,从而改善声环境质量,保障人们的身心健康。

1 中国噪声防治技术的发展阶段

中国噪声防治技术发展可分为起步探索、体系化发展、成熟升级、智能创新4个核心阶段,对应于“理论突破—材料创新—工程应用—政策规范”的正向循环:从解决国防、工业刚需,到满足城市化、智能化时代的全场景需求,已形成覆盖材料、设备、监测、工程的完整产业体系,部分技术(如微穿孔板、声学超材料)达国际领先水平^[5-6]。

1. 中国科学院声学研究所,噪声与音频声学实验室,北京 100190

2. 中国科学院大学物理学院,北京 101408

收稿日期:2025-06-18;修回日期:2026-01-05

作者简介:隋富生,研究员,研究方向为振动和噪声控制,电子邮箱:sui@mail.ioa.ac.cn

引用格式:隋富生,吕亚东,程晓斌,等.中国噪声防治技术整体情况[J].科技导报,2026,44(4):55-61;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2025.09.00076

1) 起步探索期(20 世纪 50—70 年代)。

技术特征:以基础吸声、隔声、隔振为主。1965 年,国内举办了第一届噪声控制训练班。1973 年,国务院召开的第一次全国环境保护会议上,马大猷院士提出应将噪声列为废气、废水和废渣 3 大公害之外的第 4 大公害,被大会认可。这一时期标志性理论突破是马大猷提出的微穿孔板吸声结构。20 世纪 70 年代末,方丹群组织了由北京市劳动保护科学研究所、北京市耳研所、北京医学院、中国科学院心理研究所、北京市卫生防疫站等组成的大协作组,深入研究了噪声对听力、心血管、神经系统的影响。根据这一研究成果,制定了第一个综合性的国家噪声标准——《工业企业噪声卫生标准》(试行草案)。强噪声设备的隔声间、建筑隔声构件等技术产品得到应用。

2) 体系化发展期(20 世纪 80—90 年代)。

1982 年,第一届全国噪声与振动工程学术会议在安徽黄山举行。噪声控制进入标准化、规模化阶段,监测与工程能力显著提升。当时的噪声控制领域专家学者历时 5 年,对全国 1034 个工厂的 11794 个噪声源进行了测试分析,对 62726 名工人的噪声暴露状况进行了调查研究,在全国 13 个省市 40 个企业组织进行了近百项噪声控制工作试点,控制工程实践涉及了风机、压缩机、内燃机、锅炉排气放空、球磨机、空气锤、剥齿机、绕线机、手动砂轮机、轴承钢球锉球机等噪声源,最终形成了国家标准《工业企业噪声控制设计规范 GBJ 87-85》(现标准号为 GB/T 50087—2013)。中国的噪声防治技术从少数声学单位的科学研究发展到工程技术界广泛应用到工程实践和产品设计中的新阶段。

3) 升级创新期(2000 年至今)。

进入 21 世纪以来,噪声控制思路从“被动治理”转向了“主动调控”,覆盖城市、工业、民用全场景,创新能力显著增强。主动降噪技术在汽车、航空、消费电子领域规模化应用(例如主动降噪耳机、车载降噪系统);新型材料(例如声学超材料、智能阻尼结构)实现宽频、自适应降噪;数字孪生技术用于噪声预测与优化设计。

社会发展和时代进步对噪声控制技术提出了更高的要求。噪声控制技术的深入研究,既可以满足人民追求更美好生活需求,同时低噪声技术也会对行业

和产业的健康发展,提高产品竞争力带来正面的推动和引领作用。核心装备、设备的噪声水平是装备性能的重要指标,也是装备产品国际竞争力的必要前提。因此加快、加强噪声机理研究和技术应用的步伐,力争掌握噪声控制的核心技术、知识产权和标准设定,对中国由制造业大国向制造业强国转型升级有特殊意义。

2 噪声防治技术

噪声传播过程包括声源、传播途径和接收者 3 个要素,噪声防治技术也从这 3 个方面入手^[7-8]。源头控制是优先考虑的措施,通过降低各类声源的噪声发射,从根本上减少噪声产生;当源头控制无法完全满足要求时,需在传播途径上采取措施,利用声音的吸收、反射、干涉等特性,阻断或减弱噪声传播;若上述措施仍不能达到理想效果,则需对敏感目标进行防护,减少噪声对接收者的影响。在实际应用中,往往需要综合运用多种技术,制定全面的噪声防治方案^[9-10]。

2.1 声源控制是第一优先级

在很多场合下,如果有机会、有条件对声源做处理,可以起到事半功倍的效果。噪声源控制的主要思路是减少振动、降低噪声辐射面的法向振速并同时减小噪声辐射效率。例如,在大功率设备的外层面板上敷贴一层薄薄的阻尼材料,或者将面板与振动载荷隔离去耦,就可以很大程度上减小噪声辐射。在很多工业噪声产生的场合,第一步往往是要减小振动源。在机械工程和流体力学领域,噪声最小化的关键在于控制力的变化率或压力梯度。所以,在机械过程噪声控制方面,因为冲击载荷和瞬时加速度是主要噪声源,应选择力变化率最小的工艺有效降低噪声。例如,采用渐进式冲压比瞬时冲压更安静。在气动过程噪声控制方面,通过降低压力梯度实现降低喷流噪声^[11],如优化叶轮机械的流道设计可减少涡流和压力脉动。风洞实验表明,平滑的压力分布能使气动噪声降低 10~15 dB。这为跨领域的低噪声设计提供了统一理论框架。

从声源控制的角度出发,很容易就引出产品结构声学优化的技术需求^[12]。工程师在设计工业及民用产品时,如果能把结构的声学优化和产品功能实现结合起来进行通盘考虑,就可以避免后续还要为工业产品

的降噪做很多额外的工作。“低噪声”品质是产品用户界面友好、质量上乘、有市场竞争力的属性标签,也是贯穿于产品的开发、设计、生产和销售整个链条的客观要求。

声源控制或产品声学设计的难点是需要工程师具备振动、噪声产生机理的认识和分析能力,也就是要对振源/声源的特性有比较专业的理解。

2.2 噪声传播途径的控制技术

虽然在降噪技术实现的过程中,声源控制是最值得优先考虑的,但由于受到其他条件的制约,很多情形下不可能或没有条件去更改设备结构本身;又或者声源在已经优化之后仍然有过量的噪声辐射,这就要考虑在噪声传播途径上采取技术手段。一般来说,有以下3种技术手段。

1) 吸声技术。

吸声是利用吸声材料或吸声结构吸收声能,降低噪声强度。吸声材料大多为多孔材料,例如玻璃纤维、矿棉、有机纤维等,其内部具有大量微小孔隙,当声波入射到材料表面时,引起孔隙内空气振动,由于空气与孔壁的摩擦及黏滞阻力,声能转化为热能而被消耗。在实际应用中,对于空间较大且噪声源分布复杂的场所,例如大型车间、剧院、录音棚等,常采用在顶面安装空间吸声体、墙面安装吸声材料的方式降噪。吸声效果取决于材料的吸声系数、设置方式以及噪声源的频率特性等因素,合理设置吸声措施一般可降低5~10 dB噪声。

多孔吸声材料的吸声性能一般在中高频比较突出,低频性能取决于吸声材料的厚度。例如,100 mm厚的多孔吸声材料对300 Hz以下的低频噪声作用有限。为了解决低频噪声问题,有时需要在有限厚度的吸声材料后面设置背腔。纤维状吸声材料在使用过程中,会有纤维逸出破坏环境并影响人体健康的风险,因此对无纤维的吸声结构做了很多探索,最早可以追溯到亥姆霍兹谐振腔。20世纪,马大猷院士提出的微穿孔板吸声理论^[13-14]和基于这一理论而发展出来各种吸声结构,在近年来得到广泛地研究。依据微穿孔吸声理论可以对需要吸声的频段做针对性的结构设计,这就为工程实际中使用微穿孔吸声结构提供了便利,特别是在低频吸声的场合。微穿孔吸声体符合共振吸收的机理,吸声带宽受到了限制。为解决这个

问题,研究人员采用双层微孔板、应用柔性管束等手段进行优化。当前研究的热点技术是把不同长度的微孔管与不同体积的空腔做各种计算组合^[15-18],可形成具有超构材料^[19-21]特征的全频段高吸声系数的声学设计。未来吸声材料/结构的发展趋势是定制频段设计并兼具轻薄化^[22-23]。

2) 隔声技术。

隔声是通过采用隔声结构,例如隔声室、隔声罩、隔声屏障、隔声墙、隔声门窗等,阻碍噪声向特定空间或需要保护的目标空间传播,将接收者与噪声声源分隔。描述材料结构隔声效果的常用量有3个:隔声量、噪声衰减量和插入损失。隔声量一般用来表示材料本身固有的隔声能力,通常在符合规范要求的实验室按照某一标准(例如GB/T 19889.3—2022《建筑和建筑构件隔声测量 第3部分:空气声隔声实验室测量》)来测定。隔声量采用的单值评价量,即取各频带隔声量的算术平均值。噪声衰减量和插入损失则是用来现场评价隔声装置的效果。

均质材料的隔声性能主要取决于材料的面密度。密度越大,隔声效果越好,这就是隔声质量定律。高于质量控制区的频带内,由于吻合效应板件隔声量有明显的下降,这就需要了解板件的特征频率,有针对性地加以避免。隔声材料的厚度也对隔声量有影响。但需要注意的是,并非简单增加材料厚度就能大幅提升隔声量,例如相同厚度的2块钢板并在一起,隔声量仅提高6 dB。因此,声学工程师会考虑采用复合隔声结构,即在双层板件夹层中放置吸声材料作为内衬,这样在2层板件间形成驻波,使声音在前后反射过程中逐渐损耗能量。因此,对于这种复合隔声结构来说,内置的吸声材料对总体的隔声量起到主要贡献^[24]。类似这种复合声学结构,如蜂窝夹芯结构^[25],现已在航空航天、高速列车、车辆等壁板结构中大量使用。

对于工业场景的强噪声设备,通常可采用隔声罩进行降噪,但要确保不影响设备正常生产、散热及保留维修空间。特别强调的是,隔声装置要跟被隔离设备做定制化设计,根据实际情况和限制条件做全封闭、半封闭或单侧设置的选择。常见的隔声罩设计失效形式有:(1)隔声罩的基础与设备的基础同频共振,容易引起隔声罩体的二次噪声辐射;(2)双层隔振结

构刚性连接,形成“声桥”,导致振动直接传递,降低了隔声能力。这些需要工程师在设计时注意。

新的《住宅项目规范》(GB 55038—2025)对建筑隔声标准进行了全面升级,要求分户墙隔声量大于等于 50 dB;楼板撞击声压级小于等于 65 dB,标准均比原有规定有所提高。这对建筑结构的声学设计提出更高的要求,也会吸引更多的科技手段去实现这些需求。

3) 消声技术。

消声主要用于控制空气动力性噪声。通过在通风机、鼓风机、压缩机、燃气机、内燃机及各类有气流通过的进出风管、管路等适当位置设置消声器,允许气流通过的同时阻止噪声传播。

消声器分为阻性消声器、抗性消声器、阻抗复合式消声器等类型。阻性消声器利用多孔吸声材料将声能转化为热能消耗掉,其降噪性能与风速、消声器截面积、长度、填充吸声棉的吸声系数等因素有关。阻性消声器本质上属于材料吸声的范畴,因此在中高频段消声效果较好;抗性消声器则通过改变声阻抗,使声波在传播过程中发生反射、干涉等,从而降低噪声,常用于中低频噪声控制。抗性消声器实际上可以被看作是一种“滤波器”,它有明显的频率选择特性。在实际应用场合,一般会把上述 2 种消声器综合设计在一起,形成阻抗复合式消声器,它结合了阻性和抗性消声器的优点,在较宽频率范围内具有良好消声效果^[26-27]。

抗性消声器是利用腔体内部的驻波共振原理来实现消声的。理论上这种驻波共振一直可以延续到很高次驻波模式,也就是说此类消声器的消声频带可以一直延续到较高的频率。但实际应用时常常在较高频率时损失或完全失去消声效果。这种高频失效的原因是高频条件下声音辐射会向四周均匀辐射,逐渐变为具有很强的指向性,与管壁之间的互易关系消失,也就是说扩张腔的存在随着频率升高而逐渐失去作用。在高压高速气流存在的场合,消声器设计特别要注意气流的再生(二次)噪声。

特定设备的管道和排气口需要安装消声器以降低空气动力性噪声,应根据设备的气流特性和噪声频率,选择合适类型的消声器。工程师在实际应用中创造性地提出了阵列式通风消声器^[28-29],在消声效果和工程施工方面都有很大的优势。未来的消声技术会

向“控制方式智能、结构材料多样和吸声消声结合”的系统性解决方案(例如基于声学黑洞效应的侧支消声器^[30])持续发展。

4) 吸、隔振技术。

吸振一般指的是在需要振动控制的结构上附加一个或一组质量-弹簧系统,使得原结构的振动位移趋近于 0,而附加系统处在近似共振状态,如同原结构所受到的激振力转移到了附加系统上。这种附加系统称之为动力吸振器。通常动力吸振器的固有频率与被控制结构的固有频率接近或相同。如果需要控制振动的结构动态特性比较复杂,则需要考虑采用复式的或非线性的动力吸振器^[31-33]。

隔振则是通过隔离振源与其他刚性结构的连接,减少振动传递,用于降低因振动引起的噪声,例如使用减震器、弹性支撑等。对于机械设备运转产生的振动噪声,可在设备底部安装金属弹簧、橡胶减振垫等隔振元件。金属弹簧对中低频振动有较好的减振效果,橡胶减振垫对高频振动抑制作用明显,两者结合使用可有效降低全频段的振动和噪声。在实际工程中,还需根据设备的质量、振动特性以及安装环境等因素,合理选择隔振元件的类型、规格和布置方式,以达到最佳隔振效果。在振动控制要求比较高的场合,有时候会把吸振和隔振 2 种技术手段结合起来使用,隔振浮筏就是这样一种技术应用。特定场合还会用到基于磁流变^[34]、电流变和超材料形式^[35]的减振结构。

在需要控制共振或减小声辐射效率的场合,阻尼材料发挥着显著的作用。阻尼是在噪声源表面粘贴或涂覆阻尼材料,例如阻尼橡胶、阻尼板等,将机械振动能量转化为热能,抑制振动幅度,从而降低振动辐射噪声。当物体振动时,阻尼材料发生变形,内部分子间产生摩擦,消耗振动能量,使振动迅速衰减。阻尼技术常用于薄板结构,如汽车车身、机器外壳等,可有效降低因薄板振动产生的噪声。阻尼材料的性能、厚度以及与被阻尼结构的贴合程度等因素,都会影响阻尼降噪效果。在应用中,需根据具体结构和噪声特性,选择合适的阻尼材料和施工工艺。

5) 噪声主动控制技术。

有源噪声控制是通过幅度和相位可调的声源(次级声源)声波与需抵消的噪声(初级噪声)声波发生相消性干涉来降噪。其与传统的无源降噪措施相比,除

了具备低频降噪效果好这一固有特性外,还有系统质量轻、环境适应性强等优点。

有源控制器的设计方法一般基于维纳滤波(Wiener filtering)原理和现代控制理论,前者为目前的主流理论,后者则适合解决声反馈及初级噪声的时变性问题。前馈有源控制器的设计思路源于自适应滤波器设计,目前自适应有源控制器的基本框架为:控制器为横向结构的有限脉冲响应(finite impulse response, FIR)滤波器,采用 FXLMS(filtered-X least mean square)作为有源控制的基准算法,这种架构具有操作简单、运算量小等优点。需注意的是,有源控制器的结构和算法既各自独立又相互依存,有时算法与结构无关,可在任意结构上实现,而有时算法必须与特定的结构联系起来才能实现。完成有源控制算法的关键步骤是利用次级通路建模,来获取次级通路传递函数(或脉冲响应)。次级通路是指从作动器到误差传感器之间的物理通路。在有源控制中主要利用自适应建模方法获取次级通路传递函数,可分为离线建模和在线建模2种方法^[36]。如果次级通路特性基本不变,则可在有源控制之前进行次级通路建模,获得次级通路传递函数的估计值,并在有源控制过程中保持不变,实现离线建模。离线建模方法分为时延估计法、双传声器法和附加随机主动噪声控制,通过产生与原始噪声相位相反的声波,与原始噪声相互抵消,达到降低噪声的目的。该技术系统一般由传声器、控制器和扬声器组成。传声器采集噪声信号,将其传输给控制器,控制器经过运算处理后,驱动扬声器发出与原始噪声相位相反、幅值相等的声波,在特定空间内实现噪声抵消。

从上述原理看,主动降噪技术在实际应用中存在以下主要局限。

1) 频段局限性。

低频线谱噪声的控制优势明显,但高频噪声(>1000 Hz)处理能力弱,这是因为高频声波波长较短,需要更精密的相位控制和更快的处理速度,现有技术难以实现有效抵消。尤其是对突发性、无规律噪声(如汽车鸣笛)响应滞后,系统生成反相声波的速度难以匹配快速变化的声场环境。

2) 空间局限性。

局部降噪特征明显。降噪效果呈现“点对点”特

性,仅在特定位置达到最佳抵消效果,周围区域可能产生声压增强现象。实际上空间局限性还是与频率有关:实现有效降噪需满足声源间距与声波波长的特定比例关系,这对高频段尤为苛刻。解决这个问题多采用分布式的主动控制技术^[37]。

3) 成本与工程实现难度的制约。

从拾音、处理到反向声波生成的整个过程需在毫秒级完成,对硬件成本要求较高。高性能降噪芯片、多麦克风阵列和精密算法共同推高了技术普及的门槛。

目前最成熟的有源控制技术有3种场景:有源降噪耳机、螺旋桨飞机舱内有源噪声控制和车辆车厢内有源噪声控制。特别是对乘坐舒适度要求较高的车厢内,可以结合定向声作为次级声源,在嘈杂混响的环境中“制造出”一部分安静空间,特别适合于声场分区控制的要求^[38-39]。

主动控制技术的发展趋势是把有源控制原理和声学材料结构结合起来,研发有源-无源复合式噪声控制系统,例如有源隔声罩、有源消声器、有源振动控制等。还可以利用人工智能和机器学习技术,以及先进的传感器和算法,将更加智能化、自适应和高效实现精准控制噪声源。总之,有源噪声控制技术已成为一种不可或缺的噪声控制手段,目前开发的技术产品有一定市场前景和社会影响力。

综上,随着新版《中华人民共和国噪声污染防治法》的施行,噪声防治技术的研究、开发、成果转化和推广应用将会有更多的进步和发展。在中国,一些影响环境的新的噪声源正在得到重视和解决^[40-41]。同时,噪声污染也是一个世界性问题。国际社会也在通过签署一系列公约共同致力于减少交通、工业和社会生活噪声。例如《控制船只噪声公约》对船舶噪声排放进行限制,以减少船舶航行对海洋环境和沿岸居民的噪声干扰;《欧洲噪声指令》要求各成员国采取措施,对不同类型的噪声源进行管理和控制,保护公众免受噪声危害。国际标准化组织(ISO)制定了一系列关于噪声测量、评价和防治的国际标准。

3 结论与展望

本文从中国噪声防治技术的发展沿革和当前态势做了分析和综述。也借鉴国际先进的噪声治理的

技术、理念和相关标准,结合中国国情和社会经济发展阶段去吸收、采纳和应用。目前还有一些噪声控制的难题,例如低频噪声的评价和治理尚未完全解决,夜间累积影响等主观感受因素未被重视,“达标仍扰民”现象仍旧突出,这需要科技工作者持续努力,解决好噪声问题。当然还需要从噪声防治政策、法规与标准等方面去做全面的努力。

随着对噪声机理研究的不断深入,也会有越来越多新的噪声控制技术出现。未来的发展趋势大致可以呈现出4方面的特点:一是智能监测技术。借助物联网和传感器技术,实时监测噪声污染情况,为精准治理提供数据支持,提高治理效率。二是更加注重产品的声学设计。噪声控制技术在产品研发阶段的应用,可以避免后期在原有结构上做各种“叠床架屋”式的降噪措施;三是新颖的声学结构和材料的研发。例如近年来大量涌现的各种声学超构材料,通过特定周期性结构设计,能有效吸收和抑制对应频段噪声传播,为噪声治理提供了新的定制化的选择方案。四是智能化和数字化技术的加持。利用主被动(有源和无源)结合的方式,发挥其各自的优点,相互补充,相得益彰,可以在噪声控制方面取得很好的效果。

噪声问题既是社会发展衍生的“痛点”,也是推动社会进步,建设现代文明的“支点”。噪声治理的刚需对噪声机理研究和关键技术攻关起到促进作用,同时也反向塑造社会发展模式,倒逼治理体系升级、驱动绿色转型、促进社会共治机制形成。通过各方面的努力,新时代新形势下的噪声污染问题将有望得到根本解决,使中国的噪声控制水平能够适应经济社会发展和人民生活水平不断提高的大趋势。

参考文献(References)

- [1] 田静, 蒋伟康, 邵斌, 等. “宁静中国”与噪声治理关键技术的若干重大问题[J]. 科学通报, 2023, 68(20): 2589–2593.
- [2] 中华人民共和国噪声污染防治法[M]. 北京: 中国民主法制出版社, 2022.
- [3] Hahad O, Kuntic M, Al-Kindi S, et al. Noise and mental health: Evidence, mechanisms, and consequences[J]. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 2025, 35(1): 16–23.
- [4] Yang L, Gutierrez D E, Guthrie O W. Systemic health effects of noise exposure[J]. Journal of Toxicology and Environmental Health Part B, Critical Reviews, 2024, 27(1): 21–54.
- [5] 马大猷. 噪声控制四十年[J]. 噪声与振动控制, 1991, 11(增刊1): 3–7.
- [6] 方丹群, 吕玉恒, 张斌, 等. 中国噪声控制四十年的回顾与展望[J]. 噪声与振动控制, 2013(增刊1): 5–11.
- [7] Blauert J, Xiang N. Acoustics for engineers[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009.
- [8] Barron R F. Industrial noise control and acoustics[M]. New York: Marcel Dekker, 2003.
- [9] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [10] D A 比斯, C H 汉森. 工程噪声控制—理论和实践(第4版)[M]. 邱晓军, 于森, 刘嘉俊, 译校. 北京: 科学出版社, 2013.
- [11] 李晓东, 徐希海, 高军辉, 等. 喷流噪声研究进展与展望[J]. 空气动力学学报, 2018, 36(3): 398–409.
- [12] Vér I L, Beranek L L. Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications[M]. State of New Jersey: Wiley, 2005.
- [13] 梅中建, 吕亚东, 李晓东, 等. 微穿孔板与管束穿孔板吸声性能研究进展综述[J]. 声学学报, 2025, 50(2): 216–232.
- [14] 李贤徽. 微穿孔板吸声结构——理论与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2022.
- [15] Mei Z J, Li X D, Lyu Y D, et al. Broadband sound absorption based on impedance decoupling and modulation mechanisms[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2023, 154(5): 3479–3486.
- [16] Zhou L M, Zhou Z L, Feng H L, et al. Sound absorption performance of thin hierarchical honeycomb panel with embedded porous-layer[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2025, 157(4): 2921–2931.
- [17] Liu C R, Wu J H, Yang Z R, et al. Ultra-broadband acoustic absorption of a thin microperforated panel metamaterial with multi-order resonance[J]. Composite Structures, 2020, 246: 112366.
- [18] Pavan G, Singh S. In-depth investigations into symmetrical labyrinthine acoustic metamaterial with two micro-slit entries for low-frequency sound absorption[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 155(1): 496–510.
- [19] 周志凌, 王能银, 陆彤玮, 等. 吸声材料新进展[J]. 科学通报, 2025, 70(12): 1736–1749.
- [20] Jones M G, Simon F, Roncen R. Broadband and low-frequency acoustic liner investigations at NASA and ONERA[J]. AIAA Journal, 2022, 60(4): 2481–2500.
- [21] Zhang L, Xin F X. Perfect low-frequency sound absorption of rough neck embedded Helmholtz resonators[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2022, 151(2): 1191.
- [22] 马冠聪, 张柏乐, 刘正猷. 声学超材料的发展及展望[J]. 科学通报, 2025, 70(12): 1697–1698.
- [23] 李伟, 宋志伟, 何之源, 等. 基于吸隔声超材料的舰船声隐身技术研究进展[J]. 中国舰船研究, 2025, 20(5): 30–45.
- [24] Ma X Y, Chen K A, Wang L, et al. Active control of low

- frequency sound absorption of large sized micro-perforated panel absorber by using point source[J]. Applied Acoustics, 2022, 185: 108424.
- [25] Jin Y, Wang Y Z, Li X Y, et al. Sound transmission across locally resonant honeycomb sandwich meta-structures with large spatial periodicity[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2023, 154(4): 2609–2624.
- [26] Guo J W, Fang Y, Jiang Z Y, et al. An investigation on noise attenuation by acoustic liner constructed by Helmholtz resonators with extended necks[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2021, 149(1): 70.
- [27] Kim D, Kim J, Jeon W. Ventilated acoustic metamaterial for noise insulation in a duct with non-uniform cross sections[J]. Journal of Sound and Vibration, 2025, 615: 119086.
- [28] 赵亚林, 蒋浩杰, 马建刚, 等. 阵列式阻性消声器传递损失计算模型[J]. 应用声学, 2023, 42(6): 1264–1270.
- [29] 胡自林, 方庆川. 阵列式消声器性能曲线在地铁环控系统设计的应用[J]. 铁道科学与工程学报, 2022, 19(6): 1794–1800.
- [30] Bravo T, Maury C. Broadband sound attenuation and absorption by duct silencers based on the acoustic black hole effect: Simulations and experiments[J]. Journal of Sound and Vibration, 2023, 561: 117825.
- [31] Pan X G, Ma H Y, Li Q C, et al. Frequency adaptivity and low-frequency characteristics of tumbler-inspired dynamic vibration absorbers[J]. Journal of Sound and Vibration, 2025, 611: 119160.
- [32] 张文明, 卢佳佳, 颜格. 准零刚度隔振设计方法研究进展[J]. 振动、测试与诊断, 2025, 45(5): 855–868.
- [33] 马文硕, 朱昊宽, 杨毅青, 等. 动力吸振技术及其创新设计研究进展[J]. 机械工程学报, 2025(21): 2–17.
- [34] Li J Q, Xue Y, Li F M. Active band gap control of magnetorheological meta-plate using frequency feedback control law[J]. Journal of Sound and Vibration, 2023, 567: 118076.
- [35] Gautier F, Pelat A. Broadband vibration mitigation using a two-dimensional acoustic black hole phononic crystal[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 155(5): 3051–3059.
- [36] 来昊, 陈克安, 王磊. 面向声品质优化的有源噪声控制算法研究[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(4): 48–53, 136.
- [37] Li T Y, Zhao S P, Rao L, et al. Experimental study of a distributed active noise control system with multi-device nodes based on augmented diffusion strategy[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 156(5): 3246–3259.
- [38] Wang S P, Zhang P J, Yang Z Y, et al. A robust error sensing strategy for global active noise control in car cabins[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 156(6): 3809–3820.
- [39] Mylonas D, Erspamer A, Yiakopoulos C, et al. Global control of propeller-induced aircraft cabin noise using active sound absorbers[J]. Journal of Sound and Vibration, 2024, 573: 118213.
- [40] 汪赞, 魏新渝, 吴晓燕, 等. 机场周围区域航空器噪声控制国际比较及经验借鉴[J]. 科技导报, 2024, 42(20): 103–109.
- [41] 刘兰华, 李志强, 周铁军, 等. 中国高速铁路噪声控制研究进展[J]. 科技导报, 2024, 42(20): 60–69.

Overall situation of noise prevention and control technologies in China

SUI Fusheng^{1,2}, LÜ Yadong¹, CHENG Xiaobin¹, TIAN Jing¹

1. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. School of Physical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China

Abstract Against the backdrop of rapid social development, people's demand for a quiet and harmonious environment is increasingly pressing. Noise pollution has become a significant environmental issue affecting people's quality of life and health, making noise control an indispensable technological requirement for safeguarding the people's "right to tranquility" as a basic livelihood need. This paper comprehensively elaborates on noise prevention and control technologies, covering a diverse array of techniques including sound absorption, sound insulation, noise attenuation, vibration isolation, damping, and active noise control. It presents the research frontiers of these technologies and their applicability at the technical application level, analyzes noise control strategies for different scenarios such as urban environments, transportation, and construction, and looks forward to the future development trends of noise control technologies. Furthermore, it emphasizes the crucial role of noise source mechanism research, source control, and new acoustic structural materials in the field of noise mitigation and control.

Keywords Quiet China; noise control technologies; prevention strategies ●



(责任编辑 徐丽娇)