

文章编号:1671-251X(2024)S2-0211-04

矿井噪声源自动识别与控制技术研究

赵桂英¹, 王磊², 张佑铭³, 何睿蓉⁴, 李丽珍⁵

- (1. 云南省生态环境科学研究院, 云南 昆明 650034;
2. 华能新能源股份有限公司云南分公司, 云南 昆明 650000;
3. 华能广西清洁能源有限公司, 广西 南宁 530000;
4. 昆明渝润水务有限公司昆明市第十三水质净化厂, 云南 昆明 650103;
5. 昆明市生态环境科学研究院, 云南 昆明 650032)

摘要:聚焦矿井复杂环境中的噪声问题,深入探讨了噪声源自动识别与控制技术。通过分析矿井声学环境特点和主要噪声源频谱特征,研究了基于传感器的监测系统和先进的识别算法,阐述了多种噪声控制技术原理,旨在为改善矿井工作环境、保障工人健康提供有效的技术支持。

关键词:矿井噪声源; 噪声源识别; 噪声源控制

中图分类号:TD76

文献标志码:A

Research on automatic identification and control technology of mine noisy sources

ZHAO Guiying, WANG Lei, ZHANG Youming, HE Ruirong, LI Lizhen

- (1. Yunnan Research Academy of Eco-environmental Sciences, Kunming 650034, China;
2. Yunnan Branch of China Huaneng Group Co., Ltd., Kunming 650000, China;
3. Huaneng Guangxi Cleaning Energy Co., Ltd., Nanjing 530000, China;
4. Kunming No.13 Water Purification Plant of Kunming Yurun Water Affairs Co., Ltd., Kunming 650103, China;
5. Kunming Research Academy of Eco-environmental Sciences, Kunming 650032, China)

0 引言

煤炭是我国的主要能源,广泛用于发电、化工、冶炼等领域。我国煤矿 92% 为地下煤矿,露天煤矿仅占 8% 左右。云南省是我国的煤炭出产大省,已探明的煤炭储量有 263 亿 t,位居全国第 8 位,在南方仅次于贵州省,居第 2 位。但云南省煤炭分布不均,主要分布在曲靖、昭通、红河东部地区,以中小型煤矿为主,小煤窑数量众多。

随着煤炭工业的发展和机械化程度的提高,地下煤矿开采、运输、通风、排水等设备产生的高噪声无处不在,且噪声级越来越高。矿井噪声对矿工的身心危害是煤矿企业安全生产不容忽视的问题。噪声对人体的危害主要表现在:① 损害听力。长时间、高强度的噪声可导致耳内结构的物理损伤,特别是耳蜗中的毛细胞和听觉神经纤维。长期暴露在噪

声环境中,耳朵可能会逐渐适应较高水平的声音,导致听力阈值升高,即听觉适应。② 损害神经系统。噪声反复长时间的刺激,超过生理承受能力,会对中枢神经系统造成损害,产生神经衰弱综合征,如头痛、头昏、耳鸣、易疲倦、睡眠不良等表现,还会引起记忆力、思考力、学习能力、阅读能力降低等神经行为效应。③ 影响睡眠、休息。强烈的噪声甚至使人无法入睡,心烦意乱或使人多梦、惊醒。④ 对心理产生影响。噪声使人烦躁、激动、易怒,甚至失去理智。

高强度噪声不仅损坏井下工人的身体和心理,还会影响矿井生产效率,严重时可能引发生产事故和人身伤亡事故。目前矿井噪声识别和控制技术存在诸多不足,难以实现精准的噪声源识别和有效控制。因此,开展矿井噪声源自动识别与噪声控制技术具有重要的现实意义。

收稿日期:2024-10-25;责任编辑:李明。

作者简介:赵桂英(1977—),女,贵州威宁人,高级工程师,硕士研究生,研究方向为环境规划、大气、噪声污染防治,E-mail:zh454658271@163.com。通信作者:李丽珍(1979—),女,云南昆明人,高级工程师,研究方向为生态环境保护规划、环境健康、声环境管理与噪声污染防治,E-mail:zzhhww2016@163.com。

1 云南省矿井噪声治理现状

与其他地区相比,云南省煤矿因小煤窑多,资金实力不足,矿井噪声治理仍存在很多问题。

在噪声源识别方面:井下设备多,噪声源多,加上矿井环境复杂,空间狭窄、封闭,岩石等介质会反射和吸收声音,多个噪声源同时作用,声波相互叠加和反射,增加了区分和定位各声源的难度。基于数值模拟方法的噪声预测模型预测结果与实际情况可能存在一定偏差,影响噪声源识别的准确性。

在噪声控制方面:由于矿井空间大、巷道长、通风要求高等特点,难以做到全面有效的隔音降噪。矿工噪声防护用品佩戴的舒适度差,加上部分矿工缺乏足够的防护意识,不能正确佩戴或坚持佩戴,导致个体防护效果不佳。

云南煤矿小而散,先进的噪声测量与控制技术和设备往往成本较高,如相控阵麦克风技术、主动噪声控制技术、智能降噪系统等。对于一些经济效益不佳的煤矿企业来说,资金压力较大,影响了技术应用和噪声治理工作的推进。同时很多小煤矿企业主对噪声污染的危害认识不够深刻,缺乏治理噪声的主动性和积极性,存在侥幸心理,认为噪声问题不会对企业生产和发展造成重大影响,导致噪声治理措施落实不到位。一些老煤矿由于建设时间较早,在规划和设计时未充分考虑噪声防治问题,存在噪声源布局不合理、设备老化等历史遗留问题,噪声治理难度较大,需要投入更多的人力、物力和财力进行改造。

2 矿井噪声特性分析

要做好矿井噪声源识别与控制,必须全面了解矿井噪声的特性,具体如下。

1) 强度高。井下有许多大型机械设备在运行,如采煤机、掘进机、通风机、输送机等。这些设备产生的噪声强度往往很高,通常可达 80~120 dB,如采煤机在工作时产生的噪声高达 100~110 dB。高噪声强度会对矿工的听力造成严重损害。

2) 频谱宽。井下的噪声有低频、中频、高频等多种频率成分,不同设备产生的噪声频率不同。通风机等设备可能产生低频噪声,其频率范围一般在 20~200 Hz。低频噪声传播距离远,容易让人产生烦闷、恶心等不适。而采煤机切割煤岩时会产生高频噪声,频率可达 1 000~8 000 Hz。高频噪声听起来尖锐刺耳,会对人的听觉神经产生强烈刺激。

3) 持续性。矿井生产是一个连续的过程,许多设备需要长时间运行,如为了保证井下空气质量和

通风安全,通风机通常是 24 h 不间断运行。这使得井下工人长期处于持续的噪声环境中,使人体听觉器官和神经系统长期处于紧张状态,增加听力损失和其他生理、心理问题的风险。

4) 反射和混响严重。矿井巷道空间相对封闭,四周是坚硬的岩石或煤层壁。噪声在这样的封闭空间中传播时很容易发生反射,形成多次反射和混响。这使得井下噪声更加复杂和强烈,增加了噪声的危害程度

5) 干扰通信和安全信号。在矿井下,矿工之间通过通信设备进行交流,如对讲机等。还有各种安全报警信号,如瓦斯超限报警、顶板冒落预警等。噪声可能导致矿工无法清晰地听到这些信号,影响工作效率和安全。

3 矿井噪声源自动识别技术

要对矿井噪声进行精准合理的控制,必须对噪声源进行精确识别与评估,为后续噪声控制提供决策依据。矿井噪声源多、声波相互叠加和反射,光靠井下人员的主观识别和评价不能对噪声源进行准确定位和精确评估,必须采取更加专业的自动化测量、识别和评估技术。

噪声源自动识别步骤如下。

1) 噪声数据测量和采集。需在矿井不同区域,如采掘工作面、运输巷道、通风机房等关键位置部署噪声传感器,实时采集噪声数据,包括噪声强度、频率等。传感器采集数据通过有线或无线方式传输到噪声测量中心计算机。无线传输方式具有灵活性高、易部署等优点,适合在复杂的矿井环境中使用;有线传输具有数据传输稳定、抗干扰能力强等特点,可根据具体情况选择合适的传输方式。

2) 对采集到的噪声数据进行处理。矿井环境复杂,采集到的声音信号可能包含大量的干扰成分,如电磁干扰、机械振动干扰等。因此,采用数字滤波器对信号进行滤波处理,去除干扰,提高信号的信噪比。对滤波后的信号进行适当放大,以增强信号强度,便于后续处理。同时,对信号进行归一化处理,使不同传感器采集的信号具有相同的幅值范围,便于进行比较和分析。

3) 噪声分析和特征提取。特征提取有 3 种:① 时域特征。提取声音信号的时域特征,如均值、方差、峰值、过零率等。对于某些具有明显时域特征的噪声源(如冲击性噪声)具有较好的识别效果。② 频域特征。通过快速傅里叶变换将声音信号从时域转换到频域,提取频域特征,如频谱幅值、频谱重心、频谱带宽等。不同的噪声源通常具有不同的

频谱特征,如通风机噪声在低频段具有较高的能量,而采掘设备噪声则在中高频段较为突出。③ 时频域特征。采用时频分析方法,如短时傅里叶变换、小波变换等,提取声音信号的时频域特征。这些特征能够同时反映声音信号在时间和频率上的变化情况,对于非平稳噪声信号的识别具有重要意义。

4) 模式识别与分类。收集矿井中各种已知噪声源在不同工况下的声音信号样本,提取其特征向量,并建立训练样本集。每个样本对应一个特定的噪声源类别标签。选择合适的模式识别算法,如人工神经网络、支持向量机、决策树等,利用训练样本集对分类模型进行训练。训练过程中,通过调整模型的参数和结构,使模型能够准确学习到不同噪声源特征向量与类别标签之间的映射关系。将待识别的声音信号特征向量输入训练好的分类模型中,模型根据学习到的映射关系,输出该声音信号所属的噪声源类别,如模型输出结果为“采煤机”,则表明当前采集到的噪声源很可能是采煤机。

5) 噪声源定位。模式识别只能定位到某个设备,还需通过噪声源定位找出更准确的位置,使噪声控制更精准。噪声源定位算法有 2 种:① 基于时间差定位。声音信号传播到不同位置的传感器,由于距离的差异会产生一定的时间差。通过测量多个传感器接收到声音信号的时间差,结合声音在矿井环境中的传播速度,可以计算出噪声源相对于传感器阵列的位置。② 基于信号强度的定位。声音信号在传播过程中会随着距离的增加而衰减。根据不同传感器接收到的声音信号强度,结合声音传播的衰减模型,可以估算出噪声源与各传感器之间的距离,进而确定噪声源的位置。

6) 结果输出与反馈。通过开发专门的可视化软件,将噪声源识别结果、位置信息及相关的声音信号特征数据以直观的图表、地图等形式展示在监控中心显示屏上。操作人员可以通过可视化界面实时了解矿井内各个区域的噪声源分布情况和噪声水平。将噪声源识别结果反馈给矿井的通风、设备管理等系统,以便采取相应的控制措施,如调整通风机的运行参数、优化采掘设备的工作状态等,实现对矿井噪声的有效控制。

4 矿井噪声控制技术

经过噪声源自动识别,得到整个矿井的噪声源位置分布、强度分布与传播路径等,即可对矿井噪声制定科学、合理的控制方案。噪声控制就是从噪声源、噪声传播途径和噪声受害者入手,对噪声的产生、传播和损害进行处理,降低噪声强度、控制传播

途径,达到降低损害的目的。

1) 噪声源控制。从噪声产生的根源入手,通过改进设备的设计、制造工艺等来降低噪声源的发声强度。在矿井建设和设备更新时,选择低噪声的设备,如新型的矿用局部通风机在同等通风量的情况下,噪声水平可能比旧型号降低 5~10 dB。选择合适的材料和制造精度也很重要。使用具有良好阻尼性能的材料制作通风机外壳,可以吸收和减少振动产生的噪声。对于采掘设备,如采煤机等,可以通过改进刀具的切割方式和结构来降低噪声,采用更锋利、更合理的刀具几何形状,能够减少切割过程中的摩擦和冲击,优化采煤机的截割速度和深度,从而降低噪声。同时,改进运输工艺,采用更平稳的带式输送机运输方式,并对输送带的托辊进行升级,采用高精度、低阻力的轴承和橡胶包裹的托辊外壳,减少矿石和煤炭运输过程中碰撞和摩擦产生的噪声。对于轨道运输,要确保轨道的平整度和连接紧密性,在轨道与枕木之间安装橡胶减震垫,必要时可对轨道进行无缝改造,有效减少轨道振动噪声。另外,对设备进行良好的润滑和维护,紧固螺丝、更换磨损的刀具和轴承等,保证设备各部件正常运转,也能减少因部件磨损、松动等原因产生的异常噪声。

2) 噪声传播途径控制。当噪声源无法从根本上降低噪声强度时,控制噪声在传播过程中的能量也是一种重要方法,具体包括:① 吸声处理。在矿井巷道、硐室等空间的壁面安装吸声材料,有效吸收反射声。在噪声较大的机电硐室,可在顶部和墙壁四周铺设吸声材料,降低室内的混响噪声。② 隔声处理。建造隔声屏障和隔声间。在矿井中,对于一些无法通过改造降低噪声的设备,可以在其周围设置隔声屏障。隔声屏障一般采用金属框架和吸声、隔声材料组合而成,能够阻挡和反射噪声。对于需要人员操作的高噪声设备区域,可以设置隔声间,操作人员在隔声间内通过观察窗和遥控装置对设备进行操作,减少操作人员在噪声中的暴露时间。隔声间的墙体和门窗经过特殊的隔声设计,能够有效降低外部噪声的传入。③ 消声处理。在通风系统和排水系统等管道中安装消声器。对于通风管道,采用抗性消声器和阻性消声器相结合的方式。抗性消声器主要是利用管道内的声学结构(如扩张室、共振腔等)来反射和抵消声波,阻性消声器则是利用吸声材料来吸收声能。在排水管道中,安装消声弯头和消声衬里,减少水流噪声在管道中的传播。

3) 噪声接收者防护。当无法有效降低声源噪声强度和控制传播途径时,对接收者进行防护是最后一道防线。主要是利用个人防护装备来减少噪声

对人体的伤害,如为矿工配备耳塞和耳罩。耳塞是插入外耳道的小型防护装置,其材料一般具有良好的弹性和吸音性能,如硅胶耳塞。耳塞通过堵塞外耳道,减少进入耳朵的声能。耳罩则是覆盖整个外耳的防护装备,内部有吸音材料和密封结构,通过形成一个相对安静的空间来降低传入耳朵的噪声强度。另外,合理安排矿工在高噪声环境中的工作时间,实行轮岗制度,减少矿工连续暴露在高噪声环境中的时间,降低噪声对人体的累积伤害。

5 结论

1) 围绕矿井噪声源对人体的损害及云南省煤矿噪声治理的现状,深入探讨了自动识别与噪声控制技术,旨在应对矿井复杂环境下日益突出的噪声问题,改善井下工作环境,保障矿工健康,提升矿井生产的安全性与效率。

2) 阐述了矿井噪声源自动识别技术,从井下关键区域部署传感器采集数据、数据处理、特征提取、模式识别分类、定位算法确定位置及结果输出反馈等环节,形成完整的自动识别流程,为精准定位噪声源提供手段。同时,针对矿井噪声控制技术,从声源控制、传播途径控制、接收者防护 3 个层面入手,探

(上接第 200 页)

模糊 PID 控制策略结合 S 曲线加减速方法对钻杆推进速度进行控制,能够达到理想的控制效果和精度。

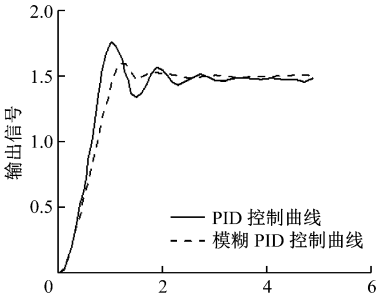


图 7 仿真输出曲线

4 结语

为自动完成井下锚杆支护任务,设计了矿用支护锚杆推进机器人的滑轨、油缸和旋转电动机等关

键结构,分析了钻杆推进的运动方式,建立了模糊 PID 钻杆推进速度控制模型,分析了其输出性能,证明了推进运动控制方法的可行性。

3) 矿井噪声源自动识别与控制技术的综合应用,有望克服现有噪声治理中的困难,为云南省矿山企业提供切实可行的噪声治理思路 and 方案,提高井下噪声治理水平,改善井下工作环境,保护矿工身心健康,保障矿井安全生产。未来仍需进一步关注噪声识别和控制相关技术的成本优化、技术完善及推广普及,不断提升矿井噪声治理的整体水平。

参考文献:

[1] 郑倩. 煤矿设备噪音对矿工的危害及防治[J]. 现代商贸工业, 2014, 26(7): 180-181.
[2] 王浩, 蒋承林, 史莉莉. 煤矿井下噪音危害分析及对策[J]. 中国安全生产科学技术, 2011(12): 183-187.
[3] 张小正, 徐廷廷. 任意形状管道内噪声源识别的等效源法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(12): 1604-1610.
[4] 姜增辉. 基于 LabVIEW 的噪声源识别方法研究及系统开发[D]. 合肥: 安徽大学, 2020.
[5] 黄鹏程, 马吉恩, 郑国丽, 等. 自通风型牵引电机气动噪声特征分析与控制研究[J]. 电机与控制应用, 2024, 51(10): 1-8.

参考文献:

[1] 任有为. 煤矿支护锚杆推进机器人关键结构设计[J]. 装备制造技术, 2023(11): 212-214.
[2] 吴志强. 巷道支护用小型锚杆推进机器人的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2020.
[3] 张大欢, 胡阳, 刘震宇, 等. TBM 掘进煤矿深井巷道锚杆支护设计[J]. 江苏建筑, 2023(5): 87-89.
[4] 马泽源. 应力区巷道“注浆锚杆+大应力锚索”协同支护技术应用[J]. 机械管理开发, 2023, 38(10): 291-293.
[5] 臧欢欢. 窄型液压锚杆钻车推进及钻孔机构研发与应用[J]. 同煤科技, 2017(2): 13-15.