

测绘地理信息在城市声环境治理中的应用探讨

康昕怡^{1,2,3}, 邱琳^{1,2,3*}, 孙端^{1,2,3}, 肖红⁴, 李伊黎^{1,2,3}

¹广东省国土资源测绘院, 广东 广州

²自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广东 广州

³广东省自然资源科技协同创新中心, 广东 广州

⁴广东省测绘工程有限公司, 广东 广州

收稿日期: 2022年9月18日; 录用日期: 2022年10月18日; 发布日期: 2022年10月27日

摘要

测绘地理信息是国家新型基础设施建设的重要基础, 其应用涉及与信息有关的民生保障及社会经济发展的各个领域。近年来, 随着城市化进程的推进, 城市人居环境问题日益凸显, 声环境作为城市人居环境的重要组成部分, 因其具有直观性和持续性的特点, 成为人们重点关注的环境要素之一。本文从测绘服务的视角, 基于测绘地理信息技术在城市声环境治理中的应用需求, 阐述了应用于声源信息获取、声环境分析与评价、声环境制图、声环境模拟预测、管理与决策支持等研究中的发展现状, 并对测绘地理信息支撑声环境监测的内容和方法进行分析, 为测绘地理信息服务支撑城市可持续发展与民生应用需求提供参考。

关键词

测绘地理信息, GIS, 监测与分析评价, 应用服务, 人居环境, 声环境

Application of Surveying, Mapping and Geoinformation in Urban Sound Environment Governance

Xinyi Kang^{1,2,3}, Lin Qiu^{1,2,3*}, Duan Sun^{1,2,3}, Hong Xiao⁴, Yili Li^{1,2,3}

¹Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department, Guangzhou Guangdong

²Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangzhou Guangdong

³Guangdong Science and Technology Collaborative Innovation Center for Natural Resources, Guangzhou Guangdong

⁴Guangdong Surveying and Mapping Engineering Co. Ltd., Guangzhou Guangdong

Abstract

Surveying, mapping and geoinformation are important basis for the construction of new national infrastructure, and their application involves various fields of information-related livelihood security and social and economic development. In recent years, with the advancement of urbanization, the problem of urban living environment has become increasingly prominent. As an important part of urban living environment, sound environment has become one of the environmental elements that people focus on because of its intuitive and sustainable characteristics. From the perspective of surveying and mapping services, based on the application requirements of surveying, mapping and geographic information technology in urban sound environment governance, this paper expounds the application of sound information acquisition, sound environment analysis and evaluation, sound environment mapping, sound environment simulation prediction, sound management and decision support. It also analyzes the content and methods of surveying, mapping and geographic information to support sound environment monitoring, and provides a reference for surveying, mapping and geographic information services to support urban sustainable development and people's livelihood application needs.

Keywords

Surveying, Mapping and Geoinformation, GIS, Monitoring and Analysis, Application Services, Human Settlement, Sound Environment

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当前, 测绘地理信息作为国民经济和社会发展重要的基础性工作, 支撑服务领域日益拓宽, 但如何更精准满足人民对测绘地理信息服务的多样化需求, 仍需进行探索与实践。近年来, 随着城市规模的不断扩大, 城市可持续发展逐渐对城市管理者在保障城市和周边地区的健康环境提出了更高要求[1], 人们也日益关注高质量的声学环境对于居民生活质量、健康环境等方面的作用与影响, 对于城市声环境重视程度不断提高[2], 持续监测声环境对环境的影响对于评估城市环境至关重要[3]。2022年, 《中华人民共和国噪声污染防治法》正式施行, 明确规定了声环境保护的责任与义务, 指出公众享有获取声环境信息、参与和监督噪声污染防治的权利[4]。如今, 声环境已经成为城市人居环境优化的重要一环, 如何促进其监测的实时化、常态化, 推进其治理的综合化、法制化, 是城市民生环境改善的关键内容, 也是测绘地理信息精准服务民生的重要需求点。

测绘地理信息技术为城市声环境治理提供了声源监测数据可视化、集成化与智能化的思路。在全球数字化转型的背景下, 测绘地理信息技术作为国家新型基础设施建设的重要支撑, 逐渐应用于包括声环境、城市人居环境监测等各个领域与行业, 但由于声环境监测涉及海量多源数据与复杂场景, 测绘地理信息技术在声环境监测工作中的具体实践距离公众与社会经济活动所需的信息化、智能化治理需求仍有

*通讯作者。

一定差距,需进一步深化与探索。本文基于城市声环境治理中的应用需求,梳理了测绘地理信息技术在城市声环境监测、分析、预测评估与信息化管理过程中的应用研究现状,总结了测绘地理信息服务的理论框架体系,并探讨了该技术及其成果在城市声环境治理研究中的发展趋势,为今后测绘地理信息服务支撑城市可持续发展与民生应用需求提供参考。

2. 测绘地理信息技术在城市声环境治理中的应用需求

城市声环境的变化与生产生活、城市群发展、城镇化、自然环境保护等人类活动息息相关。在声环境治理方面,以联合国环境规划署、欧洲环境署、世界卫生组织为代表的权威机构和以英、美等为代表的发达国家,已基于声环境实际情况,结合测绘地理信息技术及相关成果,发布了多类对策建议、服务与产品,形成了相对完善的监测治理流程与标准规范。联合国环境规划署在 2022 年《前沿》报告中指出,要重点关注并监测噪音污染及其对身心健康的长期影响,在城市地区创造积极且可恢复的声景[5]。世卫组织欧洲区域办事处根据声环境对人体健康的影响,制定了欧洲地区环境噪声指南[6]。欧洲环境署同样制定了环境噪声指令(END),结合土地利用现状和时空信息,根据超过 30 个成员国提供的战略噪声地图[7],整合数据并维护欧洲噪声观测和信息服务。针对不同声环境类型,美国国家公园管理局针对全美各地公园、城市及农村地区开展了长时序声音监测,结合气候、地形地貌、人类活动等变量,构建了地理时空声音模型[8],美国交通部交通统计局针对交通噪声,结合空间分析和可视化办公室发布了在线噪声地图[9]。英国环境食品与乡村事务部重点针对城市群、大型城市、道路与铁路,持续更新环境噪声地图数据,治并制定了针对城市聚集区的噪声行动计划[10]。

我国声环境监测工作起步并不晚,主要从城市道路交通噪声监测、城市区域环境噪声监测、和功能分区噪声监测等方面开展[11][12]。生态环境部发布的《2021 年中国环境噪声污染防治报告》指出,优化调整声环境功能区、持续推进环境噪声监测。多个省市已推进声环境功能区划的编制与实时监测工作,重点考虑声环境质量现状、用地类型及敏感建筑分布,结合用地规划、土地利用现状分布等相关地理信息数据成果,确定各区域所属声环境功能区类别[13],划定了声环境功能区及明确执行的标准,并推动声环境常规监测工作流程的开展[14],已有多个省市发布了声环境区划图,有较多机构及科研团队发布了重点区域噪声环境地图,但目前政府部门公开发布的声环境监测电子地图或平台成果较少,有待进一步开展相关研究。

3. 测绘地理信息在声环境监测中的应用研究综述

3.1. 声源信息获取

3.1.1. 声环境监测点布局优化

传统声环境监测布点工作中,道路监测多以间隔布点或基于监测结果的加权平均布点法为主,区域声环境监测常采用等面积网格法均匀布点,功能区监测则多以功能特征明显的点位为主[15]。但声源扩散受地形地貌、建筑物等影响较大,空间分布不连续,存在着点位数量与声环境监测需求不匹配的问题[16],尤其大区域普查时只能采用较低的布点密度和时间长度监测数据[17],难以客观、准确地反映城市声环境质量[18]。

测绘地理信息技术为声环境监测点位布置提供了优化方案。目前国内外多采用地理信息主流的软件及算法,采用 ArcGIS 进行可视化、叠加分析、聚类算法等,辅助实现声环境监测点布局优化。Gage 等人以土地利用数据为底图,结合 GIS 的数据融合、空间分析以及可视化能力,采用 ERDAS 进行随机分层采样,设计了高效的声环境监测传感器布点模式,并在密歇根州选定研究区域开展应用[19]。黄宝香提出了基于免疫粒子群的动态聚类算法 IEPSO-KM,并将该算法成功应用于青岛市市南区噪声监测布点优

化工作中[20]。赵利民等在噪声监测点位加法优化确定最少支撑点位的基础上,提出了最小失真点位的概念,并给出了确定最小失真点位的基本算法[21]。余芳芹等采用噪声地图与 GIS 技术对规范中人工监测点位的布设方法进行了细化与补充,提出了详细的噪声自动联网监测的布点方法[22]。总体来看,测绘地理信息的基础数据和空间分析能力已被广泛应用于声环境监测点布局优化的研究工作中,并形成了具有代表性的城市声环境监测布点方案,辅助加强城市声环境监测数据的采集。

3.1.2. 基于 GPS 模块的声环境数据采集

由于城市声环境的影响因子较多,具有复杂的空间分布特征,固定监测点位虽可以实时监测并保证数据质量,但灵活度较差且布设成本较高,近年来,移动式、手持式声环境检测设备,因其具备监测过程中能够实时上传声源监测数据、地理位置信息、现场实况等优势,逐渐开展应用。

移动测量技术为实时监测声源信息提供了技术支持与解决方案,目前国内外多采用基于 GPS 模块与声级计结合的方式,开展声环境信息的快速采集与监测。Eiman Kanjo 开发了 NoiseSPY 应用程序,能够将声级数据与 GPS 数据相结合,利用智能手机监测声环境信息[23]。Dan 等人开发了以具有 GPS 功能的智能手机为声源监测器的声环境监测系统,提供实时公共声环境信息[24]。杜晓辉设计开发了一套便携式多参数综合环境信息测量系统,实现了声环境及地理信息等数据的实时采集与动态显示[25]。王立群辅以物联网技术,将 GPS 定位模块集成到 RFID 中,实现数据的快速采集与空间定位[26]。左进波提出了一种低成本、易于操作的基于移动感知的噪声监测方法,使用基于接收信号强度(RSSI)的几何定位与行人航迹推算(PDR)相结合的方法进行室内定位,从手机校准、方便携带以及噪声地图绘制三个方面进行了研究[27]。除了人类活动产生的复杂声环境,也有学者采用开展生物声环境监测,Frommolt 等人开发了一种 GPS 支持的声学测绘方法,以实现在人口稠密地区进行生物声环境监测[28]。

目前已有案例将测绘地理信息的移动测量技术用于声环境实时监测工作中,并形成了具有代表性的方式方法,但由于监测能力的限制,相关技术还暂未在国内广泛应用,且目前国内相关监管部门对声环境监测仪器的精度具有较高要求,如何在实现移动式实时监测的情况下保障声环境监测数据质量这一问题仍待解决。

3.2. 声环境分析与评价

3.2.1. 声环境空间分布与特征识别

传统的监测和分析方法,多根据声音的物理指标来进行分析[29],但声源分布具有复杂的时空特征,传统方法无法准确、形象地来表示与空间位置有关的声源信息监测分析结果。基于时空分析的声环境空间分布与特征识别在解决与时间、空间信息相关联的声环境数据分析方面展现了巨大的优势。

在与测绘地理信息技术相关的分析方法上,目前已形成了较为完善的分析流程,主要基于测绘地理信息成果数据,利用地理信息系统(GIS)空间分析功能研究噪声数据的空间分布,研究数据中潜在的模式和特征,再利用各类空间统计的方法描述数据的性质,最后将分析结果与分布特征进行归纳总结,多采用聚类分析、网格分析、灰关联分析、指数平滑法等方法[30][31][32][33],见表 1。廉婕基于卫星影像数据,叠加区域声环境质量基础实测数据以及社会发展状况数据等,对不同区域、不同时间段的声环境质量水平进行特征对比与声环境主控机制研究,并开展区域声环境规律研究[30]。周昱将测绘地理信息时空数据分析方法应用于分析城市环境噪声分布,利用空间分析软件 Geoda 对噪声分布作数据分析,得到噪声热点分布情况并分析声环境分布格局[31]。Bilaço 等人综合分析了声源数据、建筑物、DEM、土地利用数据、风向、风速等影响声传播的数据,提出一种基于地理信息空间分析模型的识别易受噪声污染区域的方法[32]。李莉等利用浮动车 GPS 数据和道路 RFID 扫描数据反演道路实时车速和车流数据,综合分析了重庆市主城区内主要道路沿线噪声的空间分布[33]。康健等利用哈尔滨市道路数据与噪声点源数

据, 通过建立道路以及点源噪声缓冲区, 分别计算噪声场, 再将噪声场进行叠加, 用以确定交通噪声的情况以及变化从而进行评估[34]。总体来看, 结合测绘地理信息技术, 能够使得声环境监测数据与地理环境相对应, 其规律和空间分布特征得以直观呈现[35]。

Table 1. Comparison of commonly used spatial analysis methods for sound environment

表 1. 常用声环境空间分析方法比较

方法 Method	优势 Advantage	不足 Disadvantage
聚类分析	能够实现定性定量相结合, 声环境质量及其影响因素的聚集分布情况等空间特征。	未考虑声波的距离发散、传播衰减、反射修正等因素。
网格分析	弥补了传统数理统计方法在空间信息和精细化监测方面存在的不足, 实现抽象坐标与实际地理区域的对应。	存在区域分割工作量大, 声波接收区域几何衰减计算困难等问题。
地理加权回归分析	便于量化环境要素对不同类型声源的影响所存在的空间异质性, 为探寻有效改善区域声学环境的方法提供参考。	该方法从地学视角出发, 部分影响声传播的要素, 如建筑物、人工隔音等难以采用该方法进行量化分析。
灰关联分析	基于几何接近性原理分析因素并建立与声源相关影响因素的灰色模型。	按照几何形状可构建不同关联度公式, 其计算结果可能存在差异。

3.2.2. 声环境质量评价

城市管理相关部门在监测工作中积累了大量的实测声源数据, 如何充分利用数据成为了首要问题, 测绘地理信息相关技术与成果能够为声环境质量评价提供基础支撑。现阶段, 声环境质量评价程序主要依据《声环境评价技术导则》, 包括现状评价以及环境影响评价, 传统评价方法包括等效声级法、裘氏噪声分类法和评分模式法等[36], 但传统定量分析方法难以直观的认识声环境时间与空间分布特征, 评价结果不够简明易读。

结合测绘地理信息技术开展质量评价, 有利于提取隐含信息, 更便捷地进行专题制图。较普遍的评价方式是将声源点的反馈结果通过叠加基础测绘成果进行空间分析并可视化表达, 结合更有针对性的方式, 例如灰色预测模型以及噪声衰减模型等, 对声环境现状进行理论性的质量评价。李连声等结合 GIS 技术, 分析了声环境质量现状及空间分布特征[37]。洪昕晨等通过灰色统计理论方法对其进行统计分析, 构建综合有正面声环境评价与负面声环境评价两方面的城郊型森林公园声环境评价指标体系[38]。学者们根据评价区域特征及标准规范, 采用了多种空间插值方法, 通过集成高分辨率卫星影像与声环境分析结果, 开展了医院、交通、住宅区等典型区域的声环境质量评价[39] [40] [41]欧洲工作组提出了将地形数据、土地利用数据、交通路网及社会经济人口数据等, 与声环境数据进行叠加, 对声源信息进行综合评价, 再将结果向公众发布[42], 服务民生需要, 充分说明了测绘地理信息对于声源数据的管理和分析的重要地位, 见图 1。

测绘地理信息领域常用的多种分析评价方法, 均能够对声环境信息进行描述、管理、评价与结果可视化, 从而使得声环境评价标准化、直观化、层次化。GIS 技术在声环境评价当中有着很好的应用前景, 能够弥补传统评价方法的不足, 且评价结果准确直观, 能够为相关管理部门提供深层次的评价结果[29], 但现有评价方法仍无法考虑部分影响声源扩散传播与分布的因素, 未来应更多地结合专业声学模型与地理信息系统二次开发技术, 从而改善声环境评价方法与结果。

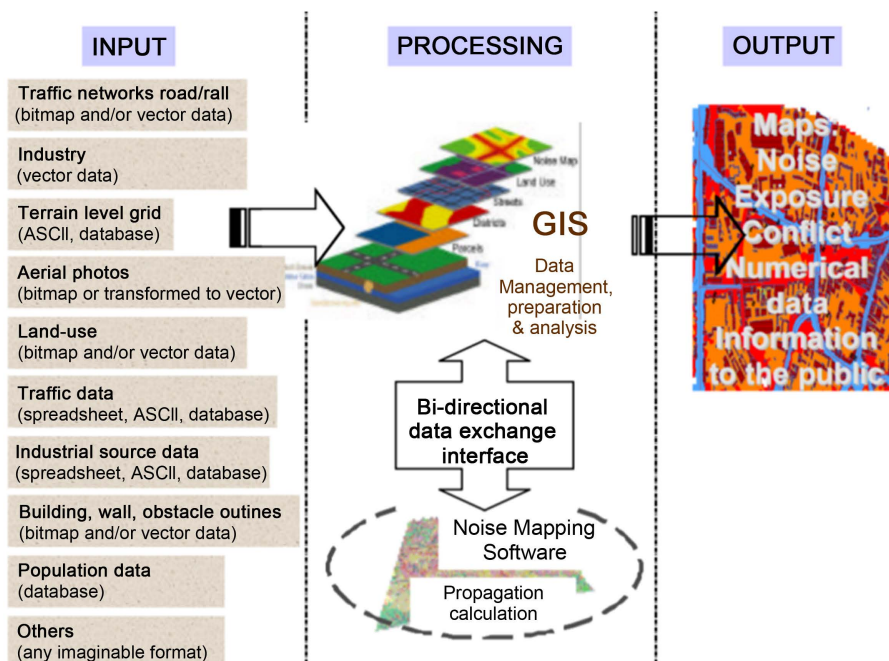


Figure 1. The process of establishing sound source map of coupled GIS system [42]
 图 1. 耦合 GIS 系统的声源地图建立流程[42]

3.3. 声环境制图

3.3.1. 基于 GIS 的声环境制图

基于 GIS 的声环境制图多结合客观声场数据、主观感知数据和其他所需的环境数据等，分析城市声环境的时空变化特征、噪声来源组成以及热点区域分布情况[43]，从声景时空特性角度考虑，归纳声环境变化规律，并借助 GIS 平台完成各类相关数据的图形化[44]。

为实现声环境可视化表达，李晏良等在 GIS 进行离散节点的声源数据计算，并通过空间插值绘制连续的噪声分布地图[45]。彭帆等采用空间相似度分析、支持向量机等建模方法，开展了城市声环境的建模与分类，构建了基于大数据建模的城市噪声地图[46]。为了更好将声环境信息进行网络发布与共享，有学者从地学角度对声源地图数据在互联网环境中的存储、分析和可视化进行了研究，开发了 WebGIS 噪声地图查询和发布系统[47]，分析点源噪声空间传播特性和比较多个噪声预测模型，建立了噪声的计算模型，开发了基于桌面应用的带地图支持的声源传播软件[48]。程阳采用组件式 GIS 开发方式，根据用户的选择模式计算环境噪声值，并将结果以专题图和分级图形式展现[49]。城市化现象以及相关的城市扩张和交通网络需要防止暴露于环境污染的人口增加。有法国学者在符合开放地理空间联盟标准的开源地理信息系统中实现了声环境制图，使声模型输入数据标准化、声源信息收集、制图渲染以及与人口等其他数据的融合等流程更为简便[50]。目前相关研究主要包括基于 GIS 的数字制图以及基于 WebGIS 的网络声环境地图两种主流形式。

3.3.2. 声环境三维地图

相较于二维地图，声环境三维地图能够直观地表达不同区域、不同高度的声音分布以及周围的地理要素，结合测绘成果与遥感地图，制作城市声环境 3D 数字地图制作方法，能够更好对城市空间形态数据和声源数据进行城市声环境的三维模拟[51]。

吴培宁提出自适应变层厚切片算法、基于道路及声屏障几何参数的各分层内声影区与声照区笛卡尔

网格生成算法, 并采用分层等值线方法实现了三维可视化显示[52], 有学者运用 Cesium 开源软件绘制三维地图[53], 以三维城市交通噪声预测模型为数据计算模型, 采用体绘制光线投射算法对城市高层建筑的交通噪声环境进行可视化表达, 完成城市高层建筑交通噪声环境的三维可视化功能开发, 进一步完善噪声预测分析系统可视化功能[54]。朱桐以 ArcGIS 为平台, 针对噪声信息数据管理与查询, 系统属性数据库的构建, 通过噪声图形再现系统设计与实现, 完成了三维噪声声场模型建立及色彩渲染[55]。蔡铭等将平面噪声计算模型扩展到 3D 场景, 建立了城市尺度的 3D 交通噪声计算模型; 加载 GIS 地图的道路、建筑物等噪声计算参数, 使用 Open GL 的 3D 建模和图形渲染功能, 实现了噪声模拟要素的可视化交互编辑和 3D 噪声分布结果的渲染。不同于平面噪声地图, 本研究建立了 3D 的交通噪声计算模型, 并有效地表现了 3D 的噪声分布结果[56]。尽管在声环境三维地图研究方面已取得一定进展, 但由于三维空间数据的数据量庞大且结构复杂, 声源分布与研究点、区域具有较复杂的空间关系, 多尺度的声环境三维可视化表达仍需进一步研究。

3.4. 声环境模拟与预测

3.4.1. 声环境模拟预测

在声环境模拟预测中, 通常需要获得声源、预测点或者预测区域的空间位置信息以便对声波在环境中的发散过程进行准确判断, 不仅要考虑声波的距离发散、传播衰减、反射修正等因素, 也要考虑复杂的环境特征, 对于实时更新的声源数据也需及时进行处理与分析, 使用传统方法较难兼顾复杂多元数据的处理与分析。测绘地理信息技术能够将声波预测模型与地理环境进行较好的融合, 结合我国城市环境特点选定适合我国噪声分析与评价的预测模型和评价指标[57], 常见计算模型包括噪声衰减计算模型、贡献值计算模型、预测计算模型的噪声影响分析模型。

目前, 北京、广州等都进行了局部城区声环境分析评价与预测的尝试, 并通过 GIS 二次开发决策系统或声环境地图等, 满足用户的评价需求。在典型区域的模拟预测研究中, 对城市交通噪声研究相对较多, 例如机场噪声模拟、高速铁路噪声模拟、城市道路交通模拟等。周绿根据我国的道路交通状况, 选取了李本纲等人提出的交通噪声预测模型作为本研究的模型, 理论、适用条件及有关的修正因子进行研究分析后, 开发了一套功能较为完善的基于地理信息系统的噪声预测信息系统平台[58]。李洪强对 MapX 进行二次开发, 实现了高速铁路噪声的预测结果查询, 为铁路线路规划提供了科学依据[59]。薛涛在提出理论模型的基础上, 遵循模型驱动架构(MDA)理论进行需求分析与系统设计, 利用 MFC 与 Map X 组件实现了轻量级的基于 GIS 的机场噪声预测系统[60]。李本纲、陶树等使用 ArcView3.0 工具, 将空间数据和属性数据分别处理编辑以满足 CRTN88 预测模式, 按照反馈结果调整设计方案, 实现声环境预测[61]。王建华针对单模型进行噪声预测和评价的局限性, 提出了一种基于 GIS 的利用多模型进行道路噪声预测评价的方法, 实现了噪声预测与评价的平台化, 同时利用 ArcGIS Server 进行了网络共享[62]。冯驰分析了噪声地图的计算方法, 提出了两种基于 GIS 的噪声模拟优化算法, 提高了噪声计算过程中的路径模拟、区域分割精度[63]。李燕超提出了适合我国城市区域噪声预测的最优预测模型, 经预测模拟和实测实验优化了预测模型参数[64]。

现阶段, 国内对于工业声源、建筑施工声源以及社会活动声源模拟较少, 例如电厂、露天矿产开采、建筑拆除及施工、道路施工等, 可在考虑声衰减因素的基础上针对这类局部噪声源开发相应的声环境影响预测模型, 利用测绘地理信息支撑服务声源分布与声音模拟预测, 为声环境监测提供更细致的科学决策依据。

3.4.2. 三维模拟分析

传统的声环境模拟分析多基于 2D 地图, 对所选的显式-响应指标进行空间分布分析, 结合声环境预测模型进行模拟与评估。但 2D 方法往往难以充分考虑声源与主体之间的空间连接关系, 并量化分析不

同程度的声信号损失[19]。黄宝香基于几何声线理论和绕射计算理论,综合考虑城市噪声环境中地形、绿化、屏障等的反射、绕射衰减,基于 VRGIS 平台,将声环境空间实体引入城市三维模型中,采用限定 TIN 与 CSG 集成模型、B-Rep 与 CSG 混合构模模型快速构建虚拟城市噪声环境三维场景,基于实测数据,利用 BP 神经网络建立交通干线两侧高层建筑的噪声垂直特性分析模型[65]。Deng 等人将建筑信息模型(BIM)和 3D GIS 集成,实现了房间级别的声环境模拟与评估[66]。当前,基于测绘地理信息开展三维模拟分析,多基于测绘成果数据,结合 BIM、CIM 及 3D GIS,根据监测结果对区域噪声情况进行可视化显示,结合地理信息时空数据与现有模拟模型或软件、三维可视化技术开展声源扩散模拟与分析,将测绘地理信息的数据成果与前沿技术拓展至其他领域,以解决实际问题,但目前相关研究仍处于起步阶段,仍需更多关注城市级三维数据与 3D GIS 的数据融合,为真正实现声环境等面源数据的三维模拟提供准确的底图与模型基础。

3.5. 声环境管理与决策支持

3.5.1. 基于地理信息系统的声环境功能区划

声环境功能区划根据城市区划主导功能,来定性的划分声环境区域类型,便于进行后续的监测、评价以及管理工作。其工作开展需要结合城市区域用地现状统计资料、声环境质量现状统计资料、城市总体规划、分区规划等进行区划单元的确定,其中包含对各类声环境功能区进行缓冲分析,再与区划单元层进行叠加,工作流程中存在大量重复性内容与图件绘制工作[67],且传统方法难以确定技术规范中未能确定区划类型的声环境监测单元。

测绘地理信息相关技术为解决声环境功能区划工作中图件工作量及相互衔接的问题提供了解决思路与全面、系统的区划方法。张丽君等人从基础资料空间数据库的建立、要素类的制作及空间要素获取、专题图制作等方面,详细探讨了 ArcGIS 在整个区划过程中的应用[68]。张永振在声环境质量聚类分析和空间分布特征分析的基础上,对安化县城区声环境功能区划分进行了优化,共划出 4 类声功能区[53]。林云萍等以 ArcGIS 为空间地理数据处理平台,以 GPS 为数据精度验证标尺和实地调查工具,综合利用 3S 技术完成了厦门市声环境功能区划专题图的制作,并建立了厦门市声环境功能区划空间数据库[69]。吴玉婷等采用 GIS 模型构建器,构建了四类声环境功能区划分自动化处理模型,并通过实例验证了该模型在实际工作中的适用性[70]。赵腊梅重点对技术规范中未能确定区划类型的噪声单元进行研究,提出了运用灰色聚类模型确定其噪声单元类型的划分方法[71]。

基于测绘成果与地理信息系统相关技术建立声源信息数据库,实现声环境数据在时空分布方面的一体化管理,并绘制声环境功能区划图,能够有效提升声环境功能区划的精确度并提高工作效率,为提高声环境功能区划精确度和简化声环境功能区划过程提供了基础支撑。

3.5.2. 声环境智能管理

声环境智能管理主要是应用现代计算机技术和地理信息系统(GIS)技术,将声源的实测数据、基础地理信息、声源主体分布状况、道路、公路、铁路、机场、工业企业以及相关信息进行计算、分析与综合评估后,形成反映城市声环境水平状况的智能管理平台。

相关平台成果多以数据及其可视化内容的呈现方式,反应城市区域范围内的声环境情况,为环境噪声管理和控制、城市总体规划提供了科学的决策依据。有学者利用 JSP 技术结合实地采集检测数据基于 Supermap Is Java 进行二次开发,实现 B/S 结构的 WebGIS 系统,使环境信息查询、统计分析、污染源管理、环境评价和模拟预测等隐藏在复杂关系下的众多因素[72]。有学者利用 MapGIS 地理信息系统平台对北京市地图进行了数字化,选购了噪声监测终端,对其进行有效的改造,使其能够实现监测点噪声数据的采集、处理、存储以及无线传输,为更好开展智能化数据管理,建立了声环境监测数据库,同时开发

城市区域声环境在线监测系统服务器, 实现监测数据的 24 小时不间断传输、存储与管理, 并结合 MapObjects GIS 二次开发组件构建了城市区域环境噪声在线监测系统监测数据分析与管理信息系统[73]。

当前声环境智能管理平台建设内容中, 值得注意的是, 由于声环境数据具有来源复杂、结构相异等特点, 且其应用包括了实时应用和历史数据统计, 所以在数据的存储上较少采用传统的关系型数据, 处理框架的选择上要满足实际应用的需求[74], 普遍认为采用地理信息系统实现声源数据的模块化管理, 并结合分析评价内容, 形成综合型声环境管理平台, 能够为开展城市环境提供辅助决策支持。

4. 未来研究趋势的展望

声源分布具有时间与空间特性, 而测绘地理信息服务拥有多源多尺度基础地理数据, 具备强大的时空数据处理、分析、可视化以及共享的功能, 在解决与空间位置有关的环境问题方面有着巨大的优势, 应用测绘地理信息技术支撑声环境监测是未来趋势。结合已有应用实践与现行服务框架体系梳理情况, 未来该领域的发展趋势包括以下几个方面:

1) 声环境立体化监测与评估。未来还可与实景三维、BIM 及 CIM 领域前沿技术相结合, 融合宏观与微观尺度数据, 结合建筑物、廊道、道路交通等地理实体, 基于不同地理场景, 建立声环境实景三维模型, 将可感知但不可见的声环境可视化与量化分析, 加入视觉要素, 借助于地理信息系统强大的空间数据管理、空间数据分析等功能, 提高环境模型空间分析、模拟以及三维显示能力, 在三维角度开展声环境管理与评价等将成为声环境监测发展的方向之一。

2) 基于 WebGIS 的声环境信息共享。目前国内声环境监测相关研究成果虽然较为丰富, 但公开发布且公众可直接使用的声环境监测、分析与评估成果极少, 未来可与官方地理信息平台相结合, 实现声环境监测数据及其成果实时发布与共享, 为政府部门、企业以及居民提供多样化的声环境信息服务。

基金项目

广东省省级科技计划项目(2021B1212100003)。

参考文献

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019) World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.
- [2] Francis, C.D., Newman, P., Taff, B.D., *et al.* (2017) Acoustic Environments Matter: Synergistic Benefits to Humans and Ecological Communities. *Journal of Environmental Management*, **203**, 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.041>
- [3] Pita, A., Rodriguez, F.J. and Navarro, J.M. (2021) Cluster Analysis of Urban Acoustic Environments on Barcelona Sensor Network Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article No. 8271. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168271>
- [4] 中华人民共和国噪声污染防治法[J]. 中华人民共和国全国人民代表大会常务委员会公报, 2022(1): 58-68.
- [5] Aletta, F., Dowdy, A., Purcell, L., *et al.* (2022) Frontiers 2022: Noise, Blazes and Mismatches-Emerging Issues of Environmental Concern. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>
- [6] Basner, M. and McGuire, S. (2018) WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15**, Article No. 519. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>
- [7] EEA (2018) Noise Observation and Information Service for Europe. European Environment Agency, Copenhagen. <https://noise.eea.europa.eu/>
- [8] U.S. National Park Service (2020) Mapping Sound. Natural Sounds. <https://www.nps.gov/subjects/sound/soundmap.htm>
- [9] Ahearn, M., Baker, G., Hastings, A., *et al.* (2017) National Transportation Noise Map.
- [10] UK Department of Environment, Food and Rural Affairs (2019) Noise Action Plans Large Urban Areas Roads and

- Railways (2019).
<https://www.gov.uk/government/publications/noise-action-plans-large-urban-areas-roads-and-railways-2019>
- [11] 张邦俊, 翟国庆. 环境噪声学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.
- [12] 汪贇, 魏峻山, 李宪同, 白煜, 温香彩. 国内外环境噪声监测方法比较及启示[J]. 中国环境监测, 2018, 34(4): 150-154. <https://doi.org/10.19316/j.issn.1002-6002.2018.04.19>
- [13] 田娟. 广州市声环境功能区划及其实施管理的对策建议研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(2): 70-73.
- [14] 刘砚华, 曹勤, 高小晋. 我国城市声环境质量状况与分析[J]. 中国环境监测, 2005, 21(3): 71-72.
<https://doi.org/10.19316/j.issn.1002-6002.2005.03.020>
- [15] 国家环境保护部. HJ 640-2012. 环境噪声监测技术规范. 城市声环境常规监测[S]. 北京: 国家环境保护部, 2012.
- [16] 李华. 环境信息化及其在环境噪声监测管理上的应用[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
- [17] 张雷, 贾刚, 施巍, 杨威. 关于道路交通声环境质量评价方式的探究与思考[J]. 环境保护与循环经济, 2022, 42(5): 83-87.
- [18] 连纲, 俞洁, 傅智慧, 李华明. 浙江省“十二五”城市声环境监测点位优化调整研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(12): 129-132.
- [19] Gage, S., Ummadi, P., Shortridge, A., et al. (2004) Using GIS to Develop a Network of Acoustic Environmental Sensors. *ESRI International User Conference*, San Diego, 7-13 August 2004, 9-13.
- [20] 黄宝香. 基于 VRGIS 的城市噪声三维分析模型及可视化评价研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [21] 赵利民, 李雅丹, 苗玉英, 王双维. 最小失真点位在噪声监测布点中的应用研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2011, 34(4): 106-109.
- [22] 余芳芹, 万伟, 蔡铭. 城市噪声自动联网监测的布点方法研究[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41(10): 215-216.
<https://doi.org/10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2018.10.111>
- [23] Kanjo, E. (2010) Noiseply: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping. *Mobile Networks and Applications*, 15, 562-574. <https://doi.org/10.1007/s11036-009-0217-y>
- [24] Radu, D., Avram, C., Aștilean, A., et al. (2012) Acoustic Noise Pollution Monitoring in an Urban Environment Using a VANET Network. *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, Cluj-Napoca, 24-27 May 2012, 244-248. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2012.6237711>
- [25] 杜晓辉. 多参数综合环境信息测量系统研发与应用[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2017.
- [26] 王立群, 贾继薇. 基于物联网与 GIS 的环境质量管理信息系统设计[J]. 环境科学导刊, 2012, 31(3): 1-2.
<https://doi.org/10.13623/j.cnki.hkdk.2012.03.002>
- [27] 左进波. 面向城市环境的移动感知研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所), 2018.
- [28] Frommolt, K.H., Tauchert, K.H. and Koch, M. (2008) Advantages and Disadvantages of Acoustic Monitoring of Birds-Realistic Scenarios for Automated Bioacoustic Monitoring in a Densely Populated Region. *International Expert Meeting on IT-Based Detection of Bioacoustical Pattern*, Vol. 234, 83-92.
- [29] 周绿, 邹峥嵘, 罗云飞, 张剑. GIS 技术在区域环境噪声评价中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(3): 140-142+146.
- [30] 廉婕. 典型城市区域声环境特征、变化规律及预测研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- [31] 周旻, 孙海涛. 基于 GIS 的城市区域噪声空间分析[J]. 生态科学, 2010, 29(4): 380-384.
- [32] Bilașco, Ș., Govor, C., Roșca, S., et al. (2017) GIS Model for Identifying Urban Areas Vulnerable to Noise Pollution: Case Study. *Frontiers of Earth Science*, 11, 214-228. <https://doi.org/10.1007/s11707-017-0615-6>
- [33] 李莉, 程宇翔. 重庆市主城区道路交通噪声计算与分析[J]. 地理空间信息, 2016, 14(8): 76-78+5-6.
- [34] 康健, 赵琳, 陈曦. 基于 GIS 的哈尔滨市交通噪声评估[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(S1): 166-168+173.
- [35] de Kluijver, H. and Stoter, J. (2003) Noise Mapping and GIS: Optimising Quality and Efficiency of Noise Effect Studies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27, 85-102. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00038-2)
- [36] 姚琨. 城市居住社区声环境评价研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 首都经济贸易大学, 2006.
- [37] 李连声, 张元渊, 周静, 龙朝波, 郑胡飞, 黄志刚. 基于 GIS 技术的遵义市主城区声环境质量现状及空间分布特征分析[J]. 遵义师范学院学报, 2021, 23(2): 93-97.
- [38] 洪昕晨, 林洲瑜, 朱里莹, 兰思仁. 城郊型森林公园声环境评价指标筛选研究[J]. 林业资源管理, 2016(2):

- 116-120. <https://doi.org/10.13466/j.cnki.lvzygl.2016.02.021>
- [39] Esmeray, E. and Eren, S. (2021) GIS-Based Mapping and Assessment of Noise Pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, **23**, 15413-15431. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01303-5>
- [40] Anoja, B.V., Mini, M., Anakhasree, J., et al. (2020) Evaluation of Noise Pollution at Major Hospitals Using GIS—A Case Study in Trivandrum City. *Journal of Environmental Engineering and Its Scope*, **3**, 1-23.
- [41] Apeh Abraham, I., Bamedele Sunday, I., Badrudden Saulawa, S., et al. (2022) Evaluation and Spatial Noise Mapping Using Geographical Information System (GIS): A Case Study in Zaria City, Kaduna State, Nigeria. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, **9**, 233-245. <https://doi.org/10.34172/EHEM.2022.15>
- [42] European Commission Working Group. Assessment of Exposure to Noise (2006) Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure.
- [43] 肖禾, 何小波, 金贤锋, 何志明, 曾攀, 王馨怡, 黄潇莹. 基于网络大数据的公众感知城市声环境研究[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(5): 18-22. <https://doi.org/10.19501/j.cnki.1006-2009.20200905.006>
- [44] 景远. 基于主客观数据的城市高铁廊道声景图制作及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2020. <https://doi.org/10.27414/d.cnki.gxnju.2020.001853>
- [45] 李晏良, 刘兰华, 李志强. 基于地理信息系统的高速铁路噪声地图绘制技术[J]. 中国铁道科学, 2022, 43(1): 182-188.
- [46] 彭帆. 基于大数据建模的城市噪声地图研制方法与案例研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2016.
- [47] 周旻. 基于 GIS 的噪声地图研究[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2009.
- [48] 张静静. 辽宁省噪声监测数据分析系统研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2009.
- [49] 程阳. 基于 GIS 的区域噪声预测评价系统模型研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [50] Bocher, E., Guillaume, G., Picaut, J., Petit, G. and Fortin, N. (2019) NoiseModelling: An Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **8**, 130. <https://doi.org/10.3390/ijgi8030130>
- [51] 杨俊宴, 缪岑岑, 史宜. 一种城市噪声 3D 数字地图制作方法[P]. 中国, CN105737971A. 2016.
- [52] 吴培宁. 基于 GIS 的三维交通噪声屏障路段环评可视化技术研究与实践[J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(5): 82-89+107.
- [53] 张永振. 安化县城区声环境质量评价及功能区划分[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南师范大学, 2019.
- [54] 徐言坤. 基于 VR-GIS 的城市交通噪声环境的三维可视化研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [55] 朱桐. 基于 GIS 的环境噪声数据分析及图形化处理技术研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2015.
- [56] 蔡铭, 陈韩杰, 马侠霖. 基于 GIS 与 OpenGL 的三维噪声地图研究[J]. 环境工程, 2015, 33(5): 111-113.
- [57] 周志永. 基于 VRGIS 仿真平台的城市噪声分析与评价系统的研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [58] 周绿. 基于 GIS 的城市道路交通噪声预测系统的研制[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [59] 李洪强. 基于 GIS 的高速铁路噪声预测与环境影响评价系统研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [60] 薛涛, 尚雪莉, 刘中一. 基于 GIS 的机场噪声预测技术研究[J]. 测绘通报, 2012(6): 71-73.
- [61] 李本纲, 陶澍, 曹军, 徐福留. 城市道路交通噪声预测理论-统计模型[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 1-5. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.2000.06.001>
- [62] 王建华, 赵江华, 秦其明, 陈超, 王俊, 叶昕, 白琰冰. 道路噪声预测的 GIS 评价方法[J]. 测绘科学, 2015, 40(2): 128-131. <https://doi.org/10.16251/j.cnki.1009-2307.2015.02.025>
- [63] 冯驰. 声线追踪法在噪声地图中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2019. <https://doi.org/10.27205/d.cnki.gltec.2019.000447>
- [64] 李燕超. 城市区域噪声地图预测模型及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.
- [65] Puyana-Romero, V., Cueto, J.L. and Gey, R. (2020) A 3D GIS Tool for the Detection of Noise Hot-Spots from Major Roads. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **84**, Article ID: 102376. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102376>
- [66] Deng, Y., Cheng, J.C.P. and Anumba, C. (2016) A Framework for 3D Traffic Noise Mapping Using Data from BIM and GIS Integration. *Structure and Infrastructure Engineering*, **12**, 1267-1280. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1110603>

- [67] 吴玉婷, 肖提荣, 何照攀. 声环境功能区快速划分模型研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(12): 130-132+135.
- [68] 张丽君, 白占雄, 王志琳. 基于 ArcGIS 的台州市环境功能区划研究——以声环境功能区划为例[J]. 华北农学报, 2005, 20(S1): 73-76.
- [69] 林云萍. 基于 3S 技术的厦门市声环境功能区划[J]. 海峡科学, 2011(6): 108-109.
- [70] 赵腊梅. 城市噪声环境功能区划研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2013.
- [71] 沙宇, 张诚, 丁珂, 龙昀光, 朱秀华. 基于 WebGIS 的城市轻轨噪声信息管理系统的设计与构建[J]. 噪声与振动控制, 2007, 27(6): 91-95.
- [72] 任杰. 城市区域环境噪声在线监测系统研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2006.
- [73] 胡明月. 基于混合架构云平台的环境噪声监测分析系统的设计及实现[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2019. <https://doi.org/10.27441/d.cnki.gyzdu.2019.000698>
- [74] 张广宇. 声景地图技术在城市开放空间声景优化中的应用[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.