

环境质量预测方法研究

刘 燕 包希贵 包一凡

内蒙古自治区环境监测总站包头分站 内蒙古 包头 014060

摘 要：随着工业化、城市化进程加速，大气、水、土壤等环境要素面临复合型污染挑战，精准预判环境质量演变趋势成为污染防治、风险预警的核心需求。本文聚焦环境质量预测方法研究，系统梳理其理论基础与实践应用。首先阐述环境质量预测的理论支撑，包括环境系统的复杂性特征及持续性、时空性准则；进而分类探讨常用预测方法，涵盖调研判断、平衡判断等逻辑判断方法，以及回归分析、灰色模型、人工神经网络、机器学习等模型预测方法；结合大气、水、固体废物、噪声等典型场景，分析各类方法的应用路径；最后展望多方法融合、大数据与人工智能技术应用及不确定性因素考量等发展趋势，为环境质量精准预测及管理决策提供理论与方法参考。

关键词：环境；质量；预测；方法；研究

引言：环境质量是生态保护与人类可持续发展的核心议题，随着工业化与城市化进程加速，大气污染、水体恶化等问题日益复杂，精准的环境质量预测成为制定防控策略的关键前提。环境质量预测需兼顾系统复杂性、时空动态性及长期持续性，现有方法从逻辑判断到模型推演呈现多元特征，但缺乏系统整合与趋势研判。立足理论基础，梳理逻辑判断与模型预测等主流方法，结合多领域应用场景剖析实践路径，并探讨未来发展方向，旨在为提升环境质量预测的科学性与实效性提供框架支持，助力生态环境治理现代化。

1 环境质量预测的理论基础

1.1 环境系统的复杂性

环境系统是由大气、水、土壤、生物等多要素构成的复杂巨系统，各要素间存在非线性相互作用。例如，大气中的污染物扩散受气象条件、地形地貌等多重因素影响，水体富营养化与农业面源污染、水文循环形成动态反馈。这种复杂性体现为系统行为的不确定性——微小扰动可能引发显著连锁反应，如城市热岛效应加剧与区域气候异常的关联。同时，人类活动（如工业排放、土地利用变化）的介入进一步增加了系统的动态性，使其呈现出非平衡态特征，需用复杂系统理论解析其内在规律。

1.2 环境质量预测的持续性准则

持续性准则强调环境质量变化的时间关联性，即未来状态与历史及当前状态存在内在延续性。该准则基于环境系统的动态平衡特性，认为污染物累积、生态修复等过程具有时间滞后效应，如土壤重金属污染的降解需数十年尺度的持续观测。预测中需通过长期数据序列捕捉趋势性成分，排除短期随机波动干扰，例如基于近20

年PM_{2.5}浓度数据建立的预测模型，需纳入产业结构调整、能源政策等长期驱动因素，以保证对未来5-10年变化趋势的推断合理性。

1.3 环境质量预测的时空性准则

时空性准则体现环境质量变化的多维尺度特征。时间上，需区分短期（如小时级大气污染预警）、中期（月尺度水质变化）与长期（年际生态系统演变）预测，不同尺度对应不同驱动机制（如短期受气象扰动影响，长期受气候变化主导）。空间上，环境质量具有显著异质性，如城市中心与郊区的噪声分贝值、流域上下游的污染物浓度存在梯度差异。预测需整合GIS空间分析与时间序列模型，例如在流域水质预测中，既要考虑不同监测断面的空间关联性，又要纳入季节性径流变化的时间特征^[1]。

2 环境质量预测的常用方法

2.1 逻辑判断预测方法

2.1.1 调研判断预测

调研判断预测通过系统性实地考察与信息收集，结合专业经验推断环境质量演变方向。其核心流程包括：首先明确预测目标，设计涵盖污染源特征、生态基底、人为活动等维度的调研提纲；随后通过实地走访、stakeholder访谈、现场勘查等方式采集信息，重点捕捉难以量化的细节，如企业生产工艺改进意愿、居民环保意识变化等；最后由跨领域专家团队对信息进行归纳分析，识别关键影响因素及其关联强度，进而推演环境质量变化趋势。例如，在某区域土壤污染预测中，调研团队需排查潜在污染源的扩散路径、周边生态系统的缓冲能力，结合历史污染治理经验，判断未来污染范围的扩张或收缩趋势。

2.1.2 平衡判断预测

平衡判断预测基于环境系统的动态平衡原理,通过分析要素间的收支关系与制衡机制预测质量变化。其核心逻辑是:环境系统在自然状态下存在相对稳定的平衡状态,各要素间通过物质循环、能量流动形成相互制约的关系。当某一要素发生显著变动时,系统会通过自我调节趋向新的平衡,而这种转变过程可通过逻辑推理预判。该方法的实施需先识别系统核心平衡要素,如污染物的产生与消解、生态破坏与修复的互动关系;再分析各要素的当前状态与阈值区间,判断是否存在打破平衡的驱动因素;最终根据失衡方向推断环境质量的演变路径。

2.1.3 集合判断预测

集合判断预测通过整合多源主体的判断意见,形成综合预测结论以降低个体认知局限。其实施流程包括:确定预测主题后,选取涵盖生态学、环境工程、社会学等领域的专家群体,以及相关利益方代表,确保视角的多元性;采用德尔菲法等结构化方式收集初始判断,强调匿名表达以避免权威干扰;通过多轮意见反馈与辩论,逐步收敛分歧,聚焦关键影响因素;最终通过共识梳理或加权整合,形成兼顾各方视角的预测结果。例如,在城市大气质量预测中,需融合气象专家对扩散条件的判断、工业领域对排放管控的评估、社区代表对生活污染源的观察,通过交叉验证剔除极端观点,提炼出具有共识性的变化趋势。

2.2 模型预测方法

2.2.1 回归分析预测模型

回归分析预测模型通过建立环境质量指标与影响因素间的统计关联方程实现预测,核心是识别变量间的线性或非线性的依存关系。其实施流程包括:筛选关键影响因素(如污染源强度、气象条件),通过显著性检验确定纳入模型的变量,构建回归方程(如多元线性回归、多项式回归),再利用方程外推未来变化趋势。例如,在城市PM2.5浓度预测中,可将工业排放量、机动车保有量、风速等作为自变量,通过回归系数量化各因素的贡献度。该方法的优势在于原理清晰、结果可解释,适用于影响因素明确且关系相对简单的场景。但受限于线性假设或预设函数形式,难以处理高度非线性的复杂环境系统,对异常值敏感。

2.2.2 灰色预测模型

灰色预测模型针对数据稀缺、信息不完全的“贫信息”系统设计,通过对原始数据序列的累加生成处理,弱化随机波动并提取趋势性成分。其核心逻辑是:即使数据有限,环境质量变化仍隐含某种确定性规律,可通

过灰微分方程建模捕捉。例如,在缺乏长期监测数据的小流域水质预测中,可基于有限的季度监测值构建GM(1,1)模型,通过累加生成序列消除短期波动,进而预测未来1-3年的水质等级变化。该方法的优势在于对数据量要求低,适用于局部区域的短期预测。

2.2.3 人工神经网络预测方法

人工神经网络预测方法模拟生物神经网络结构,通过多层神经元的非线性映射处理环境要素间的复杂关联。其核心是通过训练样本调整网络权重,实现输入(如污染源、气象参数)到输出(环境质量指标)的非线性拟合。例如,在大气复合污染预测中,可构建BP神经网络,将SO₂、NO_x排放量及温度、湿度等作为输入层,PM2.5浓度作为输出层,通过反向传播算法优化网络参数。该方法的优势在于无需预设函数关系,能自适应捕捉多因素耦合的非线性特征,适用于机理复杂的环境系统。

2.2.4 机器学习预测方法

机器学习预测方法通过算法自主挖掘数据中的隐藏规律,涵盖决策树、随机森林、支持向量机等多种模型,强调对高维、非结构化数据的处理能力。其核心流程包括数据预处理(特征工程)、模型训练与参数优化、预测验证,通过交叉验证提升泛化能力。例如,在流域水质综合预测中,可利用随机森林算法整合水质监测数据、土地利用类型、水文特征等多源信息,通过多棵决策树的集成预测溶解氧、COD等指标的变化。该方法的优势在于能处理非线性、高维度数据,对局部异常值的鲁棒性较强,适用于大数据场景^[2]。

3 环境质量预测方法的应用场景

3.1 大气环境质量预测

大气环境质量预测聚焦污染物浓度时空分布与扩散趋势,需兼顾气象条件、污染源排放等动态因素。逻辑判断中的集合判断常用于整合气象专家与环保部门的多源意见,模型预测则以人工神经网络、机器学习为主,通过处理PM2.5、SO₂等污染物与风速、温度等气象参数的关联数据,实现短期(24-72小时)污染预警与中长期(月-年)趋势研判。该场景广泛应用于城市空气质量日报、重污染天气应急响应,为工业限产、机动车限行等管控措施提供决策依据。

3.2 水环境质量预测

水环境质量预测需关注流域、湖泊等水体的物理化学特性演变,核心指标包括COD、氨氮、溶解氧等。针对数据稀缺的小流域,灰色预测模型可通过有限监测数据推断水质等级变化;在复杂流域系统中,机器学习方

法能整合水文、土地利用、污染源等多维度信息,精准预测水质波动。此外,平衡判断常用于分析污染物输入(如工业废水)与水体自净能力的平衡关系,为突发污染事件(如原油泄漏)后的水质恢复路径提供预判,支撑流域生态治理与饮用水源保护。

3.3 固体废物环境质量预测

固体废物环境质量预测聚焦产生量、堆积风险及二次污染影响。平衡判断方法通过分析社会经济活动(如工业生产、居民消费)与固体废物产生量的收支关系,预测填埋场、堆存场的负荷压力;回归分析可量化人口增长、经济增速与固废产生量的关联,辅助中长期处理规划。该场景应用于垃圾填埋场选址、渗滤液污染范围预判,以及循环经济政策下的固废减量化目标制定,助力破解“垃圾围城”困境。

3.4 噪声环境质量预测

噪声环境质量预测需解析交通、工业、社会生活等多源噪声的叠加效应。调研判断通过实地监测不同时段噪声源强度,结合区域功能分区(如居民区、工业区)推断影响范围;机器学习模型可整合车流量、设备运行时长等动态数据,预测噪声分贝值的时空分布。该场景多用于城市道路规划(如高架桥梁降噪设计)、机场周边居民区防护距离划定,为噪声达标区创建与居民生活质量保障提供技术支持。

4 环境质量预测方法的发展趋势

4.1 多方法融合

单一方法难以覆盖环境系统的多元特征,多方法融合成为突破路径。逻辑判断中的调研判断可提供污染源分布等基础信息,为模型预测提供输入依据;灰色模型与机器学习的耦合,能在数据有限时兼顾趋势捕捉与非线性拟合。例如,将平衡判断的系统制衡分析嵌入神经网络模型,可强化对生态阈值的识别能力。融合方法通过跨维度优势互补,既保留定性分析的全局视角,又发挥定量模型的细节解析力,适用于多要素交织的复杂环境预测场景。

4.2 大数据与人工智能技术的应用

大数据技术拓展了数据来源,整合传感器监测、卫星遥感、移动监测等多渠道信息,构建更全面的环境数据库。人工智能技术深化数据处理能力,深度学习通过多层网络提取环境要素的隐性关联,如大气污染物与植被覆盖的潜在联系;强化学习可动态调整预测参数,适应环境条件的实时变化。该趋势推动预测从静态结果输出转向动态过程模拟,如结合交通流与能耗数据实时更新污染扩散模型,为环境质量调控提供更精准的技术支持。

4.3 考虑不确定性因素

环境系统受随机扰动与人为活动影响,不确定性分析成为必要环节。未来方法将更多引入概率模型与蒙特卡洛模拟,量化极端天气、工业排放波动等因素的影响幅度。同时,通过鲁棒性设计增强模型抗干扰能力,在预测结果中呈现置信区间与风险概率。例如,在水质预测中纳入水文随机波动的概率分布,可更客观反映溶解氧浓度的可能变化范围,为环境风险管理提供更全面的决策参考^[1]。

结束语

环境质量预测方法研究立足环境系统的复杂性与动态性,从理论构建到实践应用形成了多维度探索。通过解析环境系统的内在规律,梳理逻辑判断与模型预测的多元方法,结合大气、水、固体废物及噪声等场景的应用实践,揭示了不同方法的适配性与局限性。未来,随着多方法融合的深化、大数据与人工智能技术的渗透,以及对不确定性因素的精细化考量,环境质量预测将迈向更精准、动态、智能的新阶段。

参考文献

- [1]吴子仁,段雨薇,白彬.土壤污染环境监测的质量控制和评价方法[J].化工设计通讯,2023,49(05):183-186.
- [2]颜梅春,王元超.区域生态环境质量评价研究进展与展望[J].生态环境学报,2022,21(10):1781-1788
- [3]强虹,刘增文,彭少兵.生态环境质量评价研究[J].干旱环境监测,2023,17(4):200-202