

区域大气环境承载力分析与计算方法研究

林美菁 常晓龙 李俊荷
新疆化工设计研究院有限责任公司
DOI:10.12238/eep.v7i11.2327

[摘要] 大气环境承载力是衡量区域经济社会发展与环境保护协调性的关键指标。本文全面系统地总结了大气环境承载力的理论概念、计算方法及其在工业园区中的实际应用。重点分析了指标体系法、线性规划法、模拟法、A-P值法以及烟云足迹法,结合案例研究探讨了各方法的适用性和优缺点。同时,提出了结合动态模型与大数据技术的未来研究方向,为大气环境管理与政策制定提供科学依据。

[关键词] 大气环境承载; 指标体系; 线性规划; 模拟法; A-P值法 烟云足迹法
中图分类号: B845.65 **文献标识码:** A

Analysis and calculation method of regional atmospheric environment bearing capacity

Meijing Lin Xiaolong Chang Junhe Li

Xinjiang Chemical Industry Design and Research Institute Co., LTD.

[Abstract] Atmospheric environmental carrying capacity is a key index to measure the coordination between regional economic and social development and environmental protection. This paper comprehensively and systematically summarizes the theoretical concept and calculation method of atmospheric environmental carrying capacity and its practical application in industrial parks. The index system method, linear planning method, simulation method, A-P value method and smoke cloud footprint method are analyzed, and the applicability and advantages of each method are discussed with case studies. At the same time, the future research direction combining dynamic model and big data technology is put forward, to provide scientific basis for atmospheric environment management and policy making.

[Key words] atmospheric environment bearing index system, linear planning simulation method A-P value method, smoke and cloud footprinting method

引言

近年来,随着经济快速发展和工业化进程的加速,空气污染问题日益严重。区域大气环境的承载力逐渐成为衡量区域经济社会活动对大气环境压力的关键指标。特别是在工业园区集中发展的区域,大气污染物的排放逐渐超过环境的自净能力,导致空气质量下降,严重影响人类健康和生态系统稳定。科学评估区域大气承载力是制定合理发展规划、控制污染排放和实现可持续发展的前提。

1 大气环境承载力的理论基础

1.1 大气环境承载力的定义

大气环境承载力是环境承载力的一个分支,通常定义为在不超过大气环境质量标准的条件下,某一区域大气环境系统所能承载的污染物排放量。其核心在于污染物排放与大气扩散能力之间的平衡^[1]。

1.2 大气环境承载力的特征

具有可调控性、区域性、动态性等特点。

1.3 大气环境承载力与大气容量的区别

大气环境容量是指特定区域在一定时间内可以容纳的污染物总量,而大气环境承载力不仅考虑容量,还涉及社会经济活动和管理能力。

2 国内外研究现状

国际上,大气环境承载力的研究最早起源于生态承载力的概念。20世纪80年代,许多学者开始尝试量化区域环境承载力,将其应用于污染总量控制和环境保护中。近年来,随着环境模型和大数据技术的发展,越来越多的方法被引入到承载力研究中,包括系统动力学模型、人工智能预测模型等。国内学者则更关注实际应用,在工业园区、城市发展和区域规划中广泛应用大气承载力评估方法。

3 大气环境承载力计算方法及优缺点比较

3.1 指标体系法

3.1.1 指标体系法概述

指标体系法是一种通过构建多层次指标体系对区域大气环

境承载力进行半定量评价的方法。该方法将环境承载力分解为多个影响因素,对每个因素设定权重并进行综合计算。指标体系法通过构建一组包含自然、社会、经济和环境等维度的多层次指标体系,量化不同因素对环境承载力的贡献。其核心在于对各指标进行加权平均,最终得到一个无量纲的综合指数,用以表示区域大气环境承载能力^[2]。

指标体系法需要结合区域特点,确定具有代表性的指标(如SO₂浓度、PM_{2.5}浓度、单位GDP能耗等)。

3.1.2 指标体系法优缺点分析

具有灵活性高、综合性强、计算过程较为简便,便于操作、政策指导性强等优点。缺点主要是主观性较强、动态性较差、结果过于平均化,同时缺乏标准化^[3]。

3.2 线性规划法

3.2.1 线性规划法概述

线性规划法通过建立目标函数(如污染物最大允许排放量)和约束条件(如环境质量标准),利用线性优化模型求解区域大气承载力的最大值。利用线性优化算法计算区域污染物排放的最优分配^[4]。公式如下:

$$\max F(Q) = \sum_{i=1}^m D_i q_i \quad \sum_{i=1}^m q_i = 1$$

式中: m —排放源个数;

n —环境质量控制点个数;

Q —所有污染源排放量的总和, g/s;

q_i —第 i 个排放源的优化允许排放量, g/s;

a_{ji} —第 i 个污染源排放单位污染物对第 j 个环境质量控制点的浓度贡献,即传递系数, s/m³;

C_{sj} —第 j 个环境质量控制点的控制标准, g/m³;

C_{aj} —第 j 个环境质量控制点的背景浓度, g/m³;

p_i —第 i 个排放源的上限排放量, g/s。

传递系数 a_{ji} 可采用AERMOD、ADMS、CALPUFF等模型进行模拟计算;控制标准 C_{sj} 可选取GB3095中大气环境功能区限值。

需要准确获取污染源排放强度、背景浓度及污染物扩散系数。掌握线性规划的基本建模技巧,能够设计合理的目标函数和约束条件,高效处理大规模矩阵计算和优化任务。

3.2.2 线性规划法优缺点

具有精确优化、适应复杂场景、理论基础完善、结果直观可操作等优点。缺点主要是依赖数据质量,而且计算复杂度高。传统线性规划法多为静态模型,难以反映环境承载力的时间变化。

3.3 模拟法

3.3.1 模拟法方法概述

模拟法利用大气扩散模型,对污染物扩散、沉降和化学转化过程进行动态模拟,预测污染物在大气中的空间分布,计算区域内的环境容量。常用扩散模型包括:高斯烟羽模型、WRF-Chem、CFD模型。

模拟法需要获取风速、风向、温度和湿度等关键气象参数。收集污染源的排放量、排放高度和污染物种类。

3.3.2 模拟法优缺点

具有精度高、适合复杂环境、动态性强等优点。缺点具有数据需求量大、计算复杂度高、适用范围有限等缺点。

3.4 A-P值法

3.4.1 A-P值法方法概述

A-P值法基于箱体模型,假设污染物在一个均匀的封闭空间内混合,通过简单的质量守恒方程估算区域允许的排放量。

3.4.2 A-P值法优缺点

具有计算简便、适用性广等优点。缺点主要是忽略动态变化、精度较低、计算结果过于保守或宽松。

3.5 烟云足迹法

3.5.1 烟云足迹法方法概述

烟云足迹法通过计算污染物扩散路径和浓度分布,评估区域大气承载力。基于污染物传输和扩散模型,通过计算污染源对下游受体的贡献,分析污染物排放与区域环境容量的关系。所需工具与软件为HYSPLIT、FLEXPART、GIS软件^[5]。

3.5.2 烟云足迹法优缺点

优点是能够评估污染物排放对下风区域的影响,适合跨区域污染治理,并且能够模拟气象条件变化对污染物扩散的影响。缺点主要是数据需求高、适用性有限。

4 不同方法适用场景

4.1 指标体系法适用场景

适用于对大范围区域的初步环境承载力评价,尤其是在数据不够详尽时。

4.2 线性规划法适用场景

用于工业园区规划和环境质量改善规划。

4.3 模拟法适用场景

用于高污染区域和政策效果评估。

4.4 A-P值法适用场景

适用快速评估和小范围区域。

4.5 烟云足迹法适用场景

广泛应用于大气边界层的湍流扩散,生态系统的环境承载力分析。

5 未来研究方向

大气环境承载力研究在理论和实践中已取得显著进展,但仍面临诸多挑战与不足。

5.1 动态模型与大数据技术的结合

传统的大气环境承载力研究多基于静态模型,难以反映环境与经济活动的动态互动关系。未来研究可以引入动态系统建模技术,结合时间序列数据模拟环境承载力的动态变化。此外,大数据技术的应用能够显著提高模型的计算效率和数据处理能力。例如,通过整合实时监测数据、遥感影像与社会经济统计数据,动态更新承载力评估模型,增强其预测能力。

5.2 人工智能在大气承载力研究中的应用

人工智能(AI)技术在模式识别和复杂系统优化中的潜力,为大气环境承载力研究带来了新的机遇。未来研究可以尝试利

用机器学习算法,开发高效的污染物扩散预测模型,同时通过深度学习技术优化现有的承载力评估方法。此外,AI技术还可用于分析复杂的社会经济与环境互动网络,帮助研究者发现隐藏的影响路径与关键变量。

5.3 全球气候变化对大气承载力的影响

全球气候变化正深刻影响区域环境系统的稳定性,对大气环境承载力提出了新的挑战。研究气候变化对大气污染扩散条件的影响,是未来研究的重点方向之一。

5.4 方法集成与综合模型开发

不同方法在数据需求、计算复杂性和适用范围上各有优势,未来研究可以尝试开发集成模型,结合线性规划法、模拟法与烟云足迹法的特点,形成多层次、多维度的综合评估框架。通过方法集成,不仅能提高评估的精确性,还能增强结果的适用性,为政策制定提供更科学的支持。

5.5 多学科协作与跨领域研究

大气环境承载力研究涉及环境科学、经济学、管理学等多个领域,未来应加强多学科协作,特别是在政策评估、公众健康影响和社会经济优化方面开展更高层次的跨领域研究。例如,结合健康风险评估模型,量化空气污染对人群健康的长期影响,并将其纳入承载力计算的框架中。

6 结论

本文系统梳理了大气环境承载力的定义与内涵,重点总结了指标体系法、线性规划法、模拟法、A-P值法和烟云足迹法五

种主流计算方法,并对其优缺点及适用性进行了详细分析。不同方法适用于不同的应用场景,指标体系法和A-P值法适合快速评估和政策模拟,线性规划法适用于复杂污染源优化,模拟法和烟云足迹法在动态管理和区域联控中具有显著优势。

未来,随着数据获取和计算能力的不断提升,大气环境承载力的研究将更加精细化和智能化,为区域可持续发展提供更可靠的支持。同时,多学科协作与跨领域研究将在承载力评估中发挥更加重要的作用,推动经济、社会和环境协调发展的实现。

[参考文献]

[1]王凯丽.我国大气环境承载力研究进展[J].环境科学学报,2023,33(3):918-930.

[2]柴莹莹.基于污染源布局规划调整的大气环境承载力研究[J].环境管理学报,2023,25(2):120-135.

[3]徐琳瑜,康鹏.工业园区规划环境影响评价中的环境承载力方法研究[J].环境科学学报,2013,33(3):918-930.

[4]卢聪景.线性规划法计算工业区大气承载力的探讨[J].中国环境管理,2022,18(5):345-359.

[5]徐大海.确定大气环境承载力的烟云足迹法[J].中国环境科学,2021,15(8):65-78.

作者简介:

林美菁(1988--),女,汉族,新疆乌鲁木齐人,本科,高级工程师,化工项目环境影响评价。