

法是相对较多的。这些先进技术同样可以为运维及管理工作开展的提供辅助,通过现代化技术的应用有效降低运维管理成本,同时提高运维管理成效。例如可通过传感器技术的有效应用来实时收集河道地区 COD、的溶解氧等相应的关键指标,配合网络技术实时传输数据,保障监测数据的准确性和时效性。工作人员则可通过登录网络平台远程了解河道水环境的实际情况,为保护策略优化、管理策略调整及污染防治提供更多数据参考。在此基础之上,还可通过无人机巡查和视频监控系統获得更加完整且具象化的数据信息,辅助决策制定。

除此之外,还可通过人工智能技术、大数据技术等相应现代化技术的应用智能整合历史数据和实时数据分析数据趋势,明确接下来一段时间内可能会出现污染问题,分析相应的解决对策和处理方法。考量到河道水环境保护中水环境污染具有突发性强、蔓延速度快等相应特质,为此想要更好的提高应急响应能力和处理能力^[4]。相关单位还可通过大数据技术、人工智能技术、物联网技术的联合应用提高各类突发性事件的解决能力。相关单位可通过内部调查、历史数据调查、实时数据收集分析、数据预测分析等多种方式先完成风险摸排,明确在接下来一段时间内可能会出现污染事件。在此基础之上对各种污染事件风险问题进行分级分类处理,根据其构成原因和影响范围确定应急预案,当大数据技术及人工智能技术发现监测数据超过安全阈值范围时则会自动提取关键词,对接数据库启用相应的应急预案,并将风险问题及应急预案同步发送至工作人员手中。而工作人员也可借助物联网技术来做好资源调配和人力调配,为各类突发性事件的解决和处理提供更多的帮助。

3.4.2 部门协同执法

河道水环境保护关乎社会可持续发展和生态平衡,必须引起关注和重视,而在水环境保护的过程中想要提高保护成效就必须关注关键少数的重要作用,社会职能部门可以发挥其牵头引领作用提高保护成效。尤其是环保、水利、城管、属地政府等相关部门更需要引起关注和重视,通过协同执法的方式提高水环境保护力度和强度。可通过开展联合会议根据不同部门的主要工作职能、工作内容、人才结构特点以及部门内部的资源结构特点具体问题具体分析,确定污染排查、执法处罚、设施运维等相应工作的职责归属,确定责任边界,明确不同部门工作人员负责的主要工作内容。然后由对应部门可根据不同岗位的岗位特性和不同工作人员的人员特性对岗位责任进行深化、细化。在此基础之上,还需要

通过召开讨论大会分析如何实现部门间的有机衔接,提高部门协同能力和协同成效,例如可通过构建协同管理平台提高数据共享能力。也可以定期展开数据复盘和问题分析优化协同管理流程,通过不断实践、不断分析、不断优化形成更加完善且科学的协同合作机制^[5]。

3.4.3 公众参与监督

水环境保护与公众的身体健康密切相关,也关乎到了社会的可持续发展,在水环境保护的过程中必须关注到水环境保护与公众之间的密切联系,通过公众参与监督的方式来提高监督力度和管理强度,避免出现边治理边污染等相应问题,这即会影响治理成效,同时也会增加资本损耗。可以通过开设网络举报信箱、电话热线、反馈平台等多种方式收集更多公众的意见和看法,让公众可以更好地参与到水环境保护中。在此基础之上,还需要通过宣传机制的优化和调节明确公众在水环境保护中肩负的责任、需要遵循的准则规范以及在生活中需要注意的问题等等。配合宣传内容的适当优化和调节,让公众认识到水环境保护的重要性,自觉保护水环境^[6]。

4 结语

河道治理中水环境保护是十分重要的一项社会治理内容,但是因水环境保护中污染源复杂、水生态系统退化、治理工程与环保需求脱节等相应问题导致水环境保护成效受到了极大的影响,为了更好的解决这一问题,相关工作人员可以从污染源控制技术、水体生态修复技术、工程技术以及管理机制优化等多个维度来做出调整,提高水环境保护成效。

参考文献

- [1] 樊治佳. 河道治理改造中水环境保护措施探讨 [J]. 水上安全, 2023, (16): 94-96.
- [2] 刘勇. 浅谈河道治理改造中的水环境保护 [J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4 (21): 95-97
- [3] 李王芳. 分析河道治理改造中水环境保护现状及对策 [J]. 低碳世界, 2021, 11 (01): 15-16.
- [4] 朱兰侠. 河道治理改造中水环境保护解析 [J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49 (10): 8-9.
- [5] 张玉霞. 河道治理改造中水环境保护解析 [J]. 资源节约与环保, 2020, (06): 9.
- [6] 陈美杉. 河道治理改造中的水环境保护措施探讨 [J]. 中国资源综合利用, 2019, 37 (11): 143-145.

Spatio-temporal Distribution Characteristics and Synergistic Effects of Carbon Emissions and PM_{2.5} in the Sichuan–Chongqing Region

Jun Cai

School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing, 401331, China

Abstract

Achieving the “Dual Carbon” goals requires a scientific understanding of the spatio-temporal characteristics and driving mechanisms of regional carbon emissions and PM_{2.5} concentrations. This study takes prefecture-level cities in the Sichuan–Chongqing region as research objects. Based on multiple datasets including total carbon emissions and PM_{2.5} concentrations from 2001 to 2022, a coupling coordination degree (CCD) model was constructed to systematically analyze the spatio-temporal patterns and synergistic effects between total carbon emissions and PM_{2.5} concentrations. The results indicate that: ① From 2001 to 2022, both total carbon emissions and PM_{2.5} concentrations in the Sichuan–Chongqing region continued to increase, exhibiting significant spatial heterogeneity. ② The synergistic effects between the two showed typical characteristics of “overall weakening, partial rebound, and significant differentiation” over time, with notable spatial heterogeneity, which can be categorized into high, medium-low, and low synergy zones. This study provides a scientific basis for formulating differentiated pollution and carbon reduction policies and promoting high-quality development in the Sichuan–Chongqing region.

Keywords

PM_{2.5}; carbon emission patterns; synergistic effect; Sichuan–Chongqing region; spatio-temporal distribution

川渝地区碳排放与 PM_{2.5} 的时空分布特征及协同效应研究

蔡骏

重庆师范大学地理与旅游学院, 中国·重庆 401331

摘要

为实现“双碳”目标,科学揭示区域碳排放总量与PM_{2.5}浓度时空特征与驱动机制至关重要。本文以川渝地区各地级市为研究对象,基于2001–2022年碳排放总量、PM_{2.5}浓度等多种数据,并构建耦合协调度模型(CCD),系统分析碳排放总量与PM_{2.5}浓度的时空格局及协同效应。结果表明:2001–2022年川渝地区碳排放总量与PM_{2.5}浓度均持续增长,空间上呈现显著异质性。二者的协同效应在时间序列上呈现出“总体趋弱、局部反弹、差异显著”的典型特征,在空间格局上存在显著的异质性,分为高协同区、中低协同区与低协同区三个部分。本研究为川渝地区制定差异化降污减排政策、推动高质量发展提供了一定的科学依据。

关键词

PM_{2.5}; 碳排放格局; 协同效应; 川渝地区; 时空分布

1 引言

全球变暖与大气污染协同治理已成为可持续发展的重要议题,中国作为全球最大的碳排放国,在“双碳”目标背景下,减污降碳协同治理已成为国家战略重点。川渝地区作为西部核心经济区,近年来工业化与城镇化进程加速,碳排放总量持续攀升(年均增速6.04%),PM_{2.5}污染问题突出。据研究表明,该区域碳排放与PM_{2.5}具有显著同源性,主要源于化石燃料燃烧、工业生产和交通运输等活动,两者在时空分布上呈现显著的协同效应^[1]。然而,当前政府出台的政

策多侧重于单一污染物的控制,忽视了碳污协同与降污减排协同机制的运用。因此,揭示川渝地区CO₂与PM_{2.5}的时空分布特征及耦合规律,不仅可为西南地区生态屏障建设提供科学依据,更对实现“双碳”目标与美丽中国建设具有重要的战略意义^[2]。

近年来国内外对于碳排放与PM_{2.5}污染的协同效应相关研究不断丰富,但在某些方面尚有进一步的研究空间,既有研究的基本特征如下:①在时空分布方面,多数研究采用空间自相关、时空地理加权回归(GTWR)等方法,分析区域尺度上的排放特征^[3]。②在协同效应方面,学者们逐渐关注碳排放与大气污染物的关联性,协同效应评估方法如耦合协调度模型、弹性脱钩模型等被应用于省域或城市群尺度,揭示了减污降碳的协同效应^[4]。然而,现有研究仍存在明显

【作者简介】蔡骏(2002–),男,中国上海人,硕士,从事山地人居环境、碳排放及生态研究。

不足：①区域研究不平衡。多数成果集中在东部沿海和京津冀地区，对川渝地区的研究相对较少。②研究对象单一。目前研究大都集中于单一要素的时空特征和影响因素分析，对多要素的协同效应机制研究较少。因此，本文以川渝地区地级市为研究单元，基于2000、2005、2010、2015、2020、2022六个年份的CEADS碳排放面板数据与Science Data Bank的PM_{2.5}面板数据（<https://www.scidb.cn/en/detail?dataSetId=84279e24dec04d4ba68c1fad70ff1ce&version=V2>）分析川渝地区碳排放总量与PM_{2.5}浓度的时空分布特征，并构建耦合协调度模型（CCD）用以揭示碳排放与PM_{2.5}二者的耦合协调关系，为川渝地区高速发展格局下实现降污减排协同治理，实现“双碳”目标和建设美丽中国提供一定的科学依据。

2 方法与数据

2.1 研究区概况

川渝地区，即四川省与重庆市，位于中国西南部，地理坐标大致介于东经97° 21′至110° 11′、北纬26° 03′至34° 19′之间。该区域地形复杂多样，东部为四川盆地，西部则是青藏高原东缘的过渡地带，地势自西向东、由高原向丘陵逐步递降。盆地内部地势较为平坦，土地资源丰富，水网发达，大多数地区属于亚热带湿润气候，四季分明，年降水量丰富；由于川渝地区位于季风气候区，夏季的西南季风带来大量的水汽，造成了该地区较长的雨季。尤其是在夏季，梅雨季节尤为显著，降水量密集。冬季则由于东北季风的影响，气温较低，但通常不会降到极寒水平。

2.2 研究方法

2.2.1 基于耦合协调度模型的协同效应研究

为测算碳排放浓度与PM_{2.5}浓度两要素之间的协同发展程度，分析二者间的互动关系，本文引入耦合协调度模型，公式如下：

$$C = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i,j=1}^n \sqrt{(U_i - U_j)^2}}{\sum_{m=1}^{n-1} m}} \times \left(\prod_{i=1}^n \frac{U_i}{\max U_i} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$T = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times U_i, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

$$D = \sqrt{C \times T}$$

式中：C为耦合度，T为综合协调指数，D为耦合协调度， $U_i \in [0, 1]$ ， $C \in [0, 1]$ ，当各子系统越离散，C值越低；反之，C值越高。

2.2.2 基于ArcGIS的时空格局分析

该方法是指利用GIS（地理信息系统）技术，对地理空间数据进行处理、计算、分析和可视化，以揭示其中蕴含的空间模式、关系、趋势和过程的一系列技术方法的总称。本文引入GIS的空间分析方法，用于探究碳排放浓度与PM_{2.5}浓度两要素的时空分布特征。

3 结果与分析

3.1 碳排放浓度的时空格局演化

从碳排放总量的空间格局，川渝地区呈现“两边高、中间低”的格局，川渝地区碳排放最高的区域集中在以成都平原经济区和重庆市为核心的中部与东部地区。碳排放总量空间格局演变趋势“双极核+缓冲区”空间分异特征现象，主要由成渝两城的两核集中分布向成渝两地周边地级市分布。地级市的碳排放量存在显著的空间差异。核心城市和工业化程度较高的城市是碳排放的主要贡献者，其地级市主要集中在川渝地区的中部和东部，尤其是成都平原与重庆市。而经济欠发达、以农业为主的地级市碳排放量相对较低，其区域主要集中在四川西部的川渝高原、南部山区以及东北部的地级市，碳排放水平较低。

从碳排放总量的时空演变趋势看，川渝地区碳排放最高的区域依旧集中于以成都平原经济区和重庆市为核心的中部与东部地区，且逐渐呈现出明显的“双极核强化—外围蔓延”的动态过程。2000-2005年，“双极核”模式初步形成。重庆市与成都平原已形成明显的高浓度排放核心，但辐射范围较小，周边地级市的排放水平普遍偏低，空间梯度差异显著。2010-2015年，高排放区域显著扩张，两大核心区的排放强度持续增强，辐射范围开始覆盖更多周边城市，成都—重庆轴线地带的排放水平显著提升，形成“双核+带状缓冲区”的过渡带。四川盆地内的多个地级市如绵阳、德阳、宜宾等城市的排放量明显增长。2020-2022年，碳排放空间格局趋于稳定，但极化效应进一步加剧。成都与重庆两大核心区仍为最高极核，与外围低排放区域的边界愈发清晰。部分周边地级市因承接产业转移或资源开发，排放水平有所上升，但整体仍显著低于核心区域。四川西部高原、南部山区及东北部部分地级市因经济发展水平较低、以农业或生态功能为主，碳排放量始终处于低位，与中部高值区形成鲜明对比。

3.2 PM_{2.5}浓度的时空格局演化

从PM_{2.5}浓度的空间格局看，川渝地区呈现“中东部高、西部低”的格局，与碳排放格局不同，PM_{2.5}高浓度区与低浓度区的边界清晰，高浓度的区域绝大部分都集中在以成都平原经济区为核心的中部地区，其次则是重庆市及其周边地级市，空间差异显著。该要素的空间格局演变呈现“单极核+缓冲区”空间分异特征现象，主要由成都市的单核集中分布并逐步向周边地级市蔓延。各个地级市的PM_{2.5}浓度存在显著的空间差异，与碳排放总量的格局相似，核心城市和工业化程度较高的城市是PM_{2.5}浓度的主要贡献者，其地级市主要集中在川渝地区的中部和东部，尤其是成都平原与重庆市。而经济欠发达、以农业为主的地级市PM_{2.5}浓度相对较低，其区域主要集中在四川西部的川渝高原和南部山区。

从PM_{2.5}浓度的时空格局看，川渝地区PM_{2.5}高浓度区域与碳排放类似，集中于以成都平原经济区和重庆市为核心的中部与东部地区，与重庆市及其周边地级市构成了区域PM_{2.5}污染的主要承载地，且高、低浓度区之间的边界随时间推移愈发清晰。2000-2005年，PM_{2.5}污染空间格局初步形