

2019—2024 年珠江流域人为扰动地类 分布及其水土流失特征

史燕东^{1,2}, 刘晓林^{1,2}, 金平伟^{1,2}, 王娟^{1,2}, 李浩^{1,2}, 周瑞鹏^{1,2}, 吴镇宇^{1,2}

(1. 珠江水利委员会珠江流域水土保持监测中心站,

广东广州 510611; 2. 珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东广州 510611)

摘要: [目的] 系统分析 2019—2024 年珠江流域人为扰动地类的空间分布格局、动态变化及其引发的水土流失特征, 评估水土保持监管成效, 为流域生态治理与高质量发展提供科学依据。[方法] 基于 2019—2024 年 2 m 分辨率国产高分卫星影像、野外调查, 结合 GIS 空间分析、坡度提取、景观格局指数计算和半定量规则, 系统解译人为扰动地块的活动迹象、覆盖状态、水保措施及项目类型, 定量评估侵蚀强度与空间格局。[结果] ① 2024 年珠江流域人为扰用地面积 5 554.16 km², 其中水土流失面积为 3 388.75 km², 占人为扰用地面积的 61.01%; ② 人为扰动土地空间分布呈“上游—下游双核集聚”, 粤桂两省区所占比例 75.03%; ③ 景观破碎化程度持续加剧, 下游地块密度 (PD) 达 82.75 个/km², 地块平均面积 (MPS) 为 0.012 1 km²; ④ 水土保持监管成效显著, 人为扰动面积持续 6 a 递增, 但流失面积比例从 2019 年 91.05% 降至 61.01%, 强烈以上侵蚀所占比例下降 9.45%。[结论] 珠江流域人为扰动监管在控制土壤侵蚀方面取得明显成效, 但扰动地块数量持续增长, 破碎化程度加剧, 加大治理与监管的难度。为此, 提出实施分类精准管控, 强化高频次遥感监测与技术手段, 推动多部门协同共治等对策, 以提升流域水土流失防控能力, 支撑区域生态安全与高质量发展目标的实现。

关键词: 人为扰用地; 水土流失; 动态监测; 破碎化程度; 对策措施; 珠江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2026)01-0122-08

中图分类号: S157.1

文献参数: 史燕东, 刘晓林, 金平伟, 等. 2019—2024 年珠江流域人为扰动地类分布及其水土流失特征[J]. 水土保持通报, 2026, 46(1): 122-129. Shi Yandong, Liu Xiaolin, Jin Pingwei, et al. Distribution of human-disturbed lands and its soil erosion characteristics in Pearl River basin from 2019 to 2024 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(1): 122-129.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2026.01.031

CSTR: 32312.14.stbctb.2026.01.031

Distribution of human-disturbed lands and its soil erosion characteristics in Pearl River basin from 2019 to 2024

Shi Yandong^{1,2}, Liu Xiaolin^{1,2}, Jin Pingwei^{1,2}, Wang Juan^{1,2}, Li Hao^{1,2}, Zhou Ruipeng^{1,2}, Wu Zhenyu^{1,2}

(1. Soil and Water Conservation Monitoring Center of Pearl River Basin, Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, Guangzhou, Guangdong 510611, China; 2. Pearl River Water Resources Research Institute, Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, Guangzhou, Guangdong 510611, China)

Abstract: [Objective] The spatial distribution patterns, dynamic changes, and soil erosion characteristics of human-disturbed land in the Pearl River basin from 2019 to 2024 were systematically analyzed, and the effectiveness of soil and water conservation regulation was evaluated, in order to provide a scientific basis for the ecological management and high-quality development of the basin. [Methods] Based on domestic high-resolution satellite images with 2-meter resolution from 2019 to 2024 and field surveys, combined with GIS spatial analysis, slope extraction, landscape pattern index calculation, and semi-quantitative rules, this study systematically

收稿日期: 2025-08-21

修回日期: 2025-10-20

采用日期: 2025-10-20

资助项目: 国家重点研发计划项目“西南高山峡谷区土壤侵蚀预报优化与智慧监测体系”(2022YFF1302902); 长江水利委员会长江科学院开放研究基金项目(CKWV2016389/KY)

第一作者: 史燕东(1994—), 男(汉族), 河北省邯郸市人, 硕士, 工程师, 主要从事水土保持遥感应用研究等工作。Email: 1138151551@qq.com。

通信作者: 王娟(1992—), 女(汉族), 河南省周口市人, 博士, 高级工程师, 主要从事遥感和地理信息系统在水土流失遥感监测方面的应用等工作。Email: wangjuan6231@163.com。

interpreted the activity signs, coverage status, soil and water conservation measures, and project types of human-disturbed patches, and quantitatively evaluated erosion intensity and spatial patterns. [Results] ① In 2024, the area of human-disturbed land in the Pearl River basin was 5 554.16 km², with the soil erosion area being 3 388.75 km², accounting for 61.01% of the total area of human-disturbed land. ② The spatial distribution showed an ‘upstream-downstream dual-core agglomeration’ pattern, with Guangdong and Guangxi provinces accounting for 75.03%. ③ The fragmentation degree increased continuously. In the downstream areas, the patch density (PD) reached 82.75 patches/km², and the mean patch size (MPS) was 0.012 1 km². ④ The regulatory effectiveness was remarkable. Although the area of human-disturbed land increased over six years, the proportion of land with soil erosion decreased from 91.05% in 2019 to 61.01%, and the proportion of land with strong and higher-intensity erosion decreased by 9.45%. [Conclusion] The regulation of human disturbance in the Pearl River Basin achieves remarkable results in controlling soil erosion. However, the number of disturbed patches continues to grow and the degree of fragmentation increases, which increases the difficulty of governance and regulation. Therefore, this study proposes countermeasures such as implementing classified and precise control, strengthening high-frequency remote sensing monitoring and technical means, and promoting multi-sectoral coordinated governance, so as to improve the basin’s capacity for soil erosion prevention and control and support the realization of regional ecological security and high-quality development goals.

Keywords: human-disturbed land; soil erosion; dynamic monitoring; fragmentation degree; countermeasures; Pearl River basin

珠江流域作为中国南方最大的水系,是中国重要的生态安全屏障和经济活跃区^[1],其水土保持工作对于维护区域生态安全和促进可持续发展具有重要意义。然而,伴随经济社会的快速发展,城市化、工业化进程加速和基础设施建设(交通、能源、水利、城镇开发)的不断推进,资源开采(矿产、砂石),基建等人为活动已成为加剧区域水土流失的关键驱动力,导致水土流失问题日益突出。水土流失不仅造成土地资源破坏和生态环境恶化,还严重威胁到珠江流域的水质安全和社会经济的可持续发展^[2]。珠江流域地处热带亚热带季风区,降水丰沛且集中,地形地貌复杂多样,地表物质疏松,流域内高强度的经济活动(珠三角世界级城市群、西南能源基地、两广矿产资源开发),使得人为扰动活动对水土流失的影响更为显著。近年来,尽管珠江流域水土保持工作取得成效,但人为扰动用地数量与面积的整体上呈现增长趋势,由此引发的水土流失风险,制约流域生态保护和高质量发展。因此,系统、精准地监测和分析珠江流域人为扰动用地水土流失状况及其动态变化特征,不仅是评估现行政策效果的基础,也对于制定科学合理的水土保持措施,提出针对性的治理对策,优化未来监管策略,促进珠江流域生态环境改善和高质量发展具有重要意义^[3]。

国内外学者对水土流失问题已进行广泛研究,主要集中在水土流失的过程、影响因素、调查与监测方法、预测模型及治理措施等^[4-6]方面。然而,现有研究多聚焦自然因素驱动的水土流失,对人为扰动用

地空间特征、动态变化及其监管效能的系统性分析不足,针对人为扰动研究多集中于单一项目类型(如矿山、公路)的侵蚀特征或治理技术^[7-11]。近年来,随着遥感技术的发展,区域尺度的水土流失动态监测研究增多,但对区域尺度、融合多源遥感数据、长时序、系统性地分析多种类型人为扰动用地的综合动态监测、空间格局演变(特别是破碎化与流失风险的关联)及其驱动机制的系统分析相对薄弱。为此,本研究基于2019—2024年多期高分辨率遥感数据与野外调查,结合遥感技术和地理信息系统方法,拟解决以下问题:①定量解析珠江流域人为扰动用地空间分布格局及演变规律;②揭示珠江流域人为扰动用地水土流失现状及其空间分异特征;③重点探讨重点区域人为扰动分布及其水土流失特性;④评估水土保持监管成效,并提出针对性对策建议。通过综合分析2019—2024年珠江流域人为扰动用地的时空变化与水土流失特征,以期为流域水土保持精准监管与科学治理提供理论依据与决策支持。

1 研究区概况

珠江流域由西江、北江、东江和珠江三角洲诸河组成,涉及云南、贵州、广西、广东、江西、湖南6省(自治区)及香港、澳门特别行政区以及越南东北部,总面积 4.54×10^5 km²,其中我国境内面积 4.42×10^5 km²。该流域北靠南岭,南临南海,西部为云贵高原,中部丘陵、盆地相间,东南部为三角洲冲积平原,地势西北高,东南低。地处亚热带,北回归线横贯流域的中

部,气候温和多雨,多年平均温度在 14~22℃,多年平均降雨量 1 200~2 200 mm^[12],降雨量分布明显呈由东向西逐步减少,降雨年内分配不均,地区分布差异和年际变化大。岩石类型主要为碳酸盐岩、砂页岩和花岗岩等,土壤类型以砖红壤、赤红壤、红壤等为主。珠江流域是中国人口最密集、经济最发达的区域之一。下游珠江三角洲地区是全球重要的制造业基地和城市连绵区。上游云贵高原地区是我国重要的能源(水电、煤炭)和矿产资源(磷、铝土、锰等)基地。中游地区则兼具农业、林业和一定的工业基础。这种经济地理格局决定人为活动类型多样。本文涉及珠江流域的所有数据及成果均不含香港和澳门特别行政区以及越南东北部。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究收集到的基础数据主要有:珠江流域 2019—2024 年度水土流失动态监测成果数据;用于土地利用类型解译及人为扰动用地措施判读的 2019—2024 年 2 m 分辨率的国产高分卫星遥感影像;用于计算坡度的 1:5 万比例尺数字高程模型(DEM)。此外,还收集相关区域的水文气象数据、部分重点生产建设项目的水土保持方案及验收资料(用于结果校核)、历史外业调查照片和记录等。

2.2 研究方法

2.2.1 人为扰动地类基本情况获取

人为扰动地类是指监测当期正在发生的因建设、生产等人为活动扰动,可能引起水土流失的地类。包括采矿、采石、施工场地、堆土区等^[13]。本研

究根据珠江流域 2024 年度水土流失动态监测成果中的土壤侵蚀地块矢量图层,获取人为扰动用地矢量图斑初步成果,并结合解译标志、野外调查资料和遥感影像,使用 ArcGIS 专业软件进行人机交互式目视解译,解译关键要素包含活动迹象、地表覆盖状态、水土保持措施及项目类型,并结合多期影像判断措施的持续有效性。再通过空间叠加 DEM,获取每个矢量图斑的地面平均坡度、生产建设项目类型、所处地貌类型及区域。并于当年采用分层抽样策略,选取不少于人为扰动地块总数 2% 的样本进行外业调查复核,确保覆盖不同地貌区、项目类型及侵蚀强度等级,重点核查地表覆盖、林草植物措施、工程措施实施情况,进一步修正完善解译成果。

2.2.2 人为扰动用地侵蚀强度判定

USLE, RUSLE, CSLE 等模型,基本不适用于人为扰动用地的土壤侵蚀评价,为更为科学、准确地判定珠江流域人为扰动用地的土壤侵蚀强度,采用《2024 年度水土流失动态监测技术指南》^[13]中的半定量规则法,该方法的核心是基于关键地表特征指标(综合考虑坡度、地表覆盖与措施状况)和实地调查信息进行综合判定,是一种半定量、规则驱动的方法,更适应于大范围、高频次、标准化的业务化监测需求。

首先根据地块原地面平均坡度和解译的措施或覆盖状况,判定初始侵蚀强度。再基于野外调查成果结合地貌类型、区域及水土流失治理度等指标,采用综合评判方法,具体判定指标详见表 1。最后利用典型地块调查或项目资料进行类比分析,进一步提高侵蚀强度的准确性。

表 1 人为扰动用地土壤侵蚀强度判定指标

Table 1 Indicators for assessing soil erosion intensity on human-disturbed lands

所处地貌类型区	所在区域	对应的项目部位	水土流失治理度/%			
			<30	30~50	50~70	≥70
平原区	—	—	中度	轻度	微度	微度
山丘区	城镇区域及周边	非采矿类项目取土(石、料)场、弃土(石、渣)场之外的地块	中度	轻度	微度	微度
		采矿类项目的所有部位,非采矿类项目的取土(石、料)场、弃土(石、渣)场	强烈	中度	轻度	微度
	城镇以外区域	非采矿类项目取土(石、料)场、弃土(石、渣)场之外的地块	极强烈	强烈	轻度	微度
		采矿类项目的所有部位,非采矿类项目的取土(石、料)场、弃土(石、渣)场	剧烈	强烈	中度	微度

注:水土流失治理度定义及处理规则详见文献[13]。

2.2.3 景观格局分析

本研究采用地块平均面积(MPS)和地块密度(PD)作为景观格局分析的主要指标,以评估珠江流域 2019—2024 年人为扰动用地的破碎化程度。地块平均面积(MPS)是指区域人为扰动用地总面积除以地块数量[公式(1)]。地块密度(PD)是指区域人为

扰动用地地块数量除以区域总面积[公式(2)]。破碎化程度与地块分布紧密相关,地块分布越分散,被分割程度越高,地块平均面积越小,则破碎化水平越高^[14-15]。高破碎化意味着扰动更分散、边界更长、与周边自然/半自然生态系统的接触界面更大,增加侵蚀外溢风险和管理难度。

$$MPS = \frac{A}{N} \quad (1)$$

$$PD = \frac{N}{A} \quad (2)$$

式中:A为区域的人为扰动用地总面积;N为区域的人为扰动用地地块数。

2.2.4 动态变化分析

计算 2019—2024 年人为扰动用地的面积、水土流失面积、侵蚀强度等级、景观指数等指标的年度变化量与变化幅度,分析其变化趋势。

2.3 数据处理

(1) 数据预处理。对遥感影像进行辐射定标、大气校正、正射校正、影像融合和镶嵌裁剪,确保几何精度和辐射一致性。对 DEM 数据进行洼地填充、坡度计算等处理。

(2) GIS 空间分析。运用 ArcGIS 进行空间叠加(图斑与 DEM、行政区划)、缓冲区分析(评估扰动对周边影响)、景观格局分析(计算破碎化指数 MPS、PD)、统计汇总(按区域、类型统计面积)。

3 结果与分析

3.1 珠江流域人为扰动用地分布特征

珠江流域人为扰动用地呈现点多面广,东西密中部疏,上游一下游集中,粤桂为主的特点。2024 年,珠江流域人为扰动地块 37.35 万个,土地面积为 5 554.16 km²,占珠江流域面积的 1.26%。从流域上中下游空间分布来看(图 1),上游人为扰动地块面积最大为 1 992.97 km²,占珠江流域人为扰动地块面积的 35.88%,地块数量达 14.07 万个。下游人为扰动地块面积次之为 1 851.44 km²,占珠江流域人为扰动地块面积的 33.34%,地块数量达 15.32 万个。中游人为扰动地块面积最小为 1 709.75 km²,占珠江流域

人为扰动地块面积的 30.78%,地块数量达 7.96 万个。从流域分省(自治区)空间分布来看(图 1),人为扰动地块在珠江流域各省(区)均有分布,主要分布在广西壮族自治区和广东省,地块面积分别为 2 251.87 和 1 915.54 km²,占珠江流域人为扰动地块数量的比例分别为 40.54%,34.49%;地块数量分别为 11.02 和 15.83 万个,占珠江流域人为扰动地块数量的比例分别为 29.50%,42.38%。

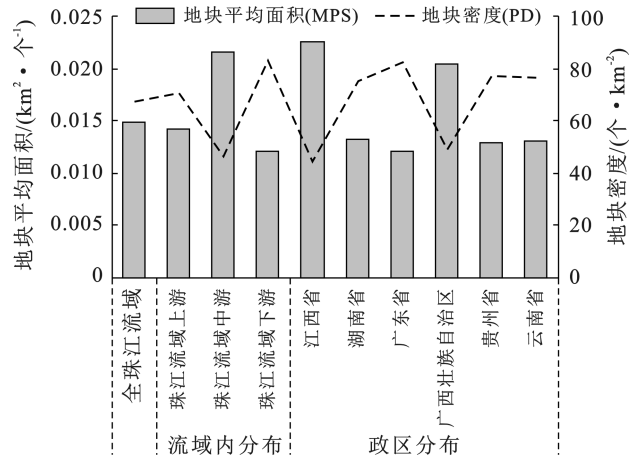


图 1 珠江流域人为扰动用地分布特征

Fig.1 Distribution characteristics of human-disturbed lands in Pearl River basin

统计珠江流域各监测区域 2024 年度人为扰动用地的地块数量和地块面积(图 2a),以及珠江流域 2019—2024 年人为扰动用地的地块平均面积(MPS)和地块密度(PD)变化情况(图 2b)。结果显示,流域上中下游的破碎化程度呈现:下游>上游>中游的特点;从流域分省来看,呈现:广东>贵州>云南>湖南>广西>江西的特点。总体上,珠江流域人为扰动用地的地块破碎化程度连续六年持续加剧。

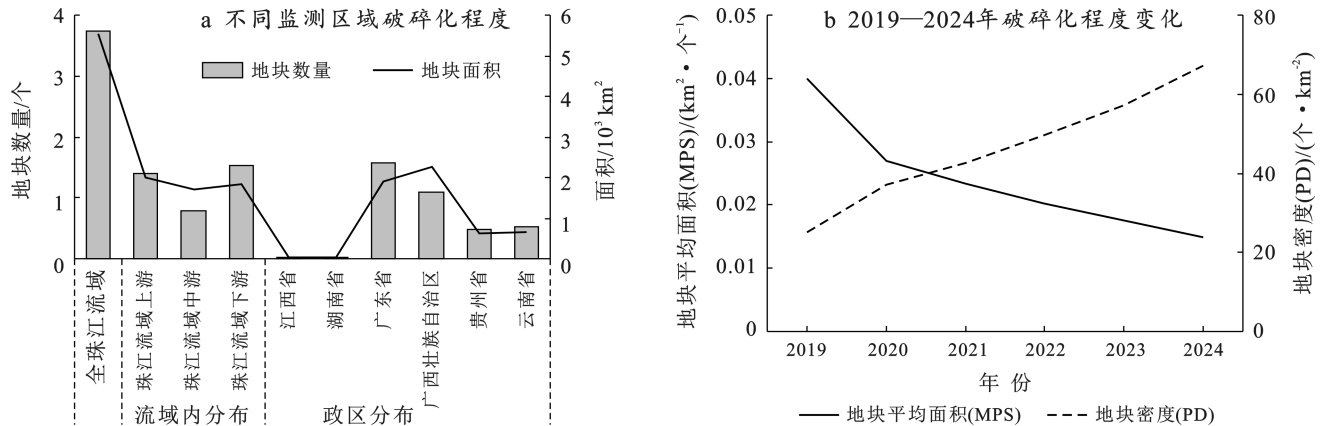


图 2 珠江流域人为扰动用地的地块破碎化演变

Fig.2 Evolution of patch fragmentation of human-disturbed lands in Pearl River basin

3.2 珠江流域人为扰动用地水土流失特征分析

2024年珠江流域人为扰动用地水土流失面积为3 388.75 km²,占人为扰动用地面积的61.01%;其中,轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈侵蚀面积分别占人为扰动用地水土流失面积的37.88%,39.01%,21.15%,1.29%,0.67%;人为扰动用地造成的水土流失面积占珠江流域水土流失总面积的4.51%。从空间分布来看(表2),上游人为扰动水土流失面积占人为扰动地块面积的66.05%,主要以中度侵蚀为主。中游人为扰动水土流失面积占人为扰动地块面积的

63.61%,同样以中度侵蚀为主。下游人为扰动水土流失面积占人为扰动地块面积的53.20%,主要以轻度侵蚀为主。总体上,上游呈现流失比例最高、侵蚀强度偏大等特点,这与上游以矿业、大型基建(水电、公路)为主,相关项目多位于山区陡坡地带,且监管难度相对较大有关;中游虽地块数量最少,但流失比例高、强度也以中度为主;下游呈现流失比例最低、强度以轻度为主,这与下游项目类型更趋城市化(小型地块多)、地形较平缓、监管力度强、临时防护措施相对到位有关。

表2 珠江流域人为扰动用地水土流失统计结果

Table 2 Statistics of soil erosion on human-disturbed lands in Pearl River basin

监测区域	水土流失面积/km ²						占人为扰动用地面积比例/%
	小计	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
珠江流域	3 388.75	1 283.74	1 321.82	716.70	43.86	22.63	61.01
珠江流域上游	1 316.28	401.73	559.74	311.48	27.35	15.98	66.05
珠江流域中游	1 087.59	379.73	448.81	244.21	12.60	2.24	63.61
珠江流域下游	984.88	502.28	313.27	161.01	3.91	4.41	53.20

从珠江流域人为扰动土地面积分省(自治区)空间分布来看(表3),广西人为扰动用地水土流失面积最大,水土流失面积所占比例高,强烈及以上侵蚀面积比例也相对较高,这与广西境内矿产资源(铝土、锰、建材)丰富、开采活动多,以及部分地区地形复杂、基建项目(如高速公路)施工难度大有关。广东人为扰动用地水土流失面积次之,流失比例最低,反映广东(尤其珠三角外围)城市化进程快、小型项目多、监管相对严格、临时防护措施应用更普遍,但其

流失总量依然巨大,且强烈以上侵蚀主要分布在采石场、山区风电、大型线性工程等点位。云贵地区人为扰动用地水土流失比例较高分别为72.19%和67.36%,且中度侵蚀强度所占比例高,这与上游能源基地(水电、煤矿)、山区公路建设活动相关,地形陡峭、降雨侵蚀力高是重要因素。湘赣地区人为扰动地块面积所占比例较小,但流失比例较高,可能与其境内涉及的流域面积相对较小,但部分区域扰动活动集中且强度大有关。

表3 珠江流域(分省)人为扰动用地水土流失统计结果

Table 3 Statistics of soil erosion on human-disturbed lands in Pearl River basin (by province)

监测区域	水土流失面积/km ²						占人为扰动用地面积比例/%
	小计	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	
江西省	32.27	5.57	21.00	4.97	0.38	0.35	67.27
湖南省	30.19	17.47	5.81	6.63	0.28	0.00	69.72
广东省	1 015.29	502.81	316.94	187.31	4.17	4.06	53.00
广西壮族自治区	1 405.87	516.25	564.47	295.78	23.79	5.58	62.43
贵州省	420.02	87.90	193.99	121.84	10.41	5.88	67.36
云南省	485.11	153.74	219.61	100.17	4.83	6.76	72.19

3.3 珠江流域重点区域人为扰动用地分布及水土流失特征

近年来,水利部持续加强人为水土保持监管力度,人为扰动用地水土流失占比和侵蚀强度持续呈下降趋势。粤港澳大湾区发展规划区作为珠江流域的经济核心区域,统计粤港澳大湾区发展规划区

2019—2024年人为扰动用地的地块平均面积(MPS)和地块密度(PD)变化情况(图3)。结果显示,粤港澳大湾区发展规划区人为扰动用地的地块破碎化程度也连续6 a的持续加剧。2019—2024年人为扰动用地增长显著,主要集中在深圳、东莞、佛山等城市边缘地带,项目类型以工业园区、轨道交通、房地产开发为

主。监测数据显示,相较于2023年,粤港澳大湾区发展规划区人为扰动用地图斑数量增加3.30万个,地块面积增加166.49 km²,但水土流失面积却减少37.22 km²。在扰动规模(数量+面积)持续扩大的背景下,实现人为水土流失面积的净减少,直接体现监管和防治措施产生的实际减蚀效益。从水土流失面积占人为扰动用地面积比例来看,从2019年的93.35%降低为2024年的48.72%,侵蚀强度也大幅降低,强烈及以上等级侵蚀占人为扰动用地面积比例也从2019年的27.87%下降至13.41%,充分反映城市化地区监管措施逐步完善。

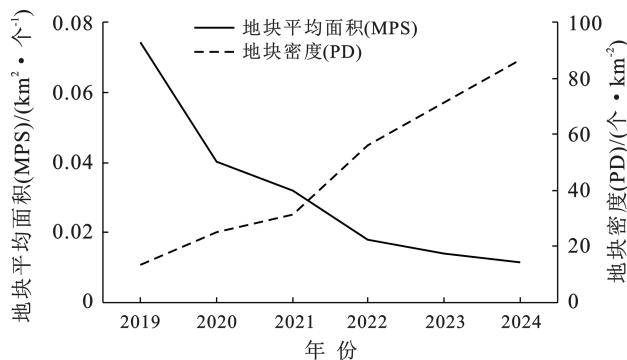


图3 2019—2024年粤港澳大湾区发展规划人为扰动用地地块破碎化程度变化

Fig.3 Changes in patch fragmentation degree of human-disturbed lands in development plan for Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area from 2019 to 2024

4 讨论

4.1 人为扰动地块分布及水土流失特征变化原因分析

珠江流域作为国家发展战略核心区,在基础设施建设(如“交通强国”试点、粤港澳大湾区城际铁路网)、能源资源开发(如广西铝工业基地、云南水电开发)以及城镇化推进(如城市新区建设)的带动下,土地需求持续攀升,直接引发人为扰动用地数量与面积的刚性增长。空间上,上游地区以资源型大型项目为主,而下游珠三角地区在产业转型与城市扩张过程中,项目类型趋于多元,房地产、工业园区、道路管网等中小型项目占比提高,导致扰动斑块数量显著增加、景观破碎化加剧。此外,区域发展战略如“西部陆海新通道”(广西)和“北部湾城市群”建设也进一步推动特定区域扰动范围的扩展。

尽管人为扰动规模在近六年来持续扩大,珠江流域水土流失强度却得到有效遏制。这一成效主要归因于自2019年以来水利部对生产建设项目水土保持事中事后监管的持续强化,特别是全覆盖、高频次

的遥感监管措施的推进。监测数据表明,尽管珠江流域人为扰动规模(数量与面积)仍在增长,但水土流失面积占扰动面积的比例从2019年的91.05%显著下降至2024年的61.01%,同时侵蚀强度也明显减弱,强烈及以上侵蚀等级占比由23.55%降至14.10%,充分体现强化监管对水土流失控制的关键作用。

4.2 人为扰动地块分布及水土流失特征评价合理性分析

本研究采用“半定量规则与景观指数相结合”的分析框架,对珠江流域人为扰动地块分布及其水土流失特征进行系统评估。该方法弥补单一使用土壤流失方程或单一景观指数的局限性,能够相对全面地识别人为扰动引发的水土流失状况与空间风险,具有一定的合理性与综合优势。研究结果表明,流域尺度的人为水土流失态势总体得到有效遏制,该结论与沈雪建等^[16]提出的“人为水土流失防治进程加快推进”相一致,也从侧面验证本评估方法的可靠性。

在分析过程中也发现,人为扰动地块的破碎化程度受到多重因素综合影响,包括地形地貌、用地权属、项目类型等。为进一步提升评价的客观性与全面性,后续研究可考虑引入更多景观指数,并结合DEM、生产建设项目范围、土地权属等多源数据,系统评估人为扰动地块的破碎化特征及其驱动机制。

4.3 人为扰动地块监管路径与对策

当前,水土保持监管模式面临结构性挑战,传统监管资源多聚焦于大型项目,难以有效应对日益增长且分布零散的中小型扰动活动。为提升监管效能,亟须创新监管模式,对此提出以下对策建议:①实施分类精准管控,依据区域特征与行业属性制定差异化措施;②强化全过程,高频次的遥感监测^[16],以应对中小项目“短、平、快”的特点;③推动多部门协同监管^[17],打破审批、管理环节的分割状态,形成监管合力;④探索信用惩戒与闭环管理机制^[18],增强政策约束与执行力。未来研究可进一步探索利用人工智能技术实现扰动地块的自动识别和变化检测,以提升对人为扰动地块高破碎化的监管效率,强化制度执行与事中事后监管,加强对人为水土流失风险的实时跟踪预警,不断提升监管的精准性和有效性^[19]。

5 结论

(1) 空间分布与景观格局特征明显。人为扰动用地呈现“上游—下游双核集聚,粤桂为主”的空间格局,上游受资源开发驱动,下游受城市化驱动。

2019—2024年景观破碎化程度持续加剧,项目结构向“小型化,分散化”演变,极大地增加监管的复杂性和难度。

(2) 动态变化受多因素驱动。经济持续发展是扰动规模扩大的根本动力,严格的水土保持监管政策是有效控制侵蚀强度的关键。区域发展战略和项目结构转型则直接影响扰动的空间格局和景观破碎化程度,进而塑造水土流失的空间特征与演变模式。

(3) 水土流失得到有效遏制,但扰动规模持续增长,防治压力未减。2024年人为扰动用地水土流失面积占比(61.01%)较2019年(91.05%)显著下降30.04个百分点,强烈以上侵蚀强度比例下降9.45个百分点,表明水土保持强监管取得决定性成效。然而,人为扰动地块的数量和总面积持续6a的增长,表明人为水土流失防治的长期性与艰巨性,其引发的水土流失问题仍是当前治理及监管的重点和难点。

今后珠江流域的人为水土流失防治工作需在巩固现有成效的基础上,积极应对破碎化带来的新挑战。下一步应重点推进分类分级精准监管和高频次自动化遥感监测技术的应用,并强化水利、自然资源、生态环境等部门的协同监管与信息共享机制,以实现“存量”与“增量”水土流失风险的全方位、高效管控,最终支撑流域的高质量发展和生态安全。

参考文献(References)

- [1] 陈羽璇,杨勤科,刘宝元,等.基于CSLE模型的珠江流域土壤侵蚀强度评价[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(6):86-93.
Chen Yuxuan, Yang Qinke, Liu Baoyuan, et al. Assessment of soil erosion intensity in Pearl River basin based on CSLE model [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021,19(6):86-93.
- [2] 刘晓林,王娟,金平伟,等.珠江流域片水土流失空间分布及动态变化分析[C]//北京:中国水利学术大会论文集,2022.
Liu Xiaolin, Wang Juan, Jin Pingwei, et al. Spatial distribution and dynamic changes of soil erosion in the Pearl River basin [C]// Beijing: Proceedings of the Chinese Water Resources Academic Conference, 2022.
- [3] 王文龙,李建明,康宏亮,等.生产建设项目工程堆积体土壤侵蚀预测模型构建[J].水土保持学报,2023,37(3):27-34.
Wang Wenlong, Li Jianming, Kang Hongliang, et al. Soil erosion prediction model for spoil heaps in production and construction projects [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2023,37(3):27-34.
- [4] 王波,吴嘉琪.基于3S技术的小流域水土保持生态监测方法[J].山西水土保持科技,2024(3):48-51.
Wang Bo, Wu Jiaqi. Ecological monitoring method for soil and water conservation in small watersheds based on 3S technology [J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2024(3):48-51.
- [5] 李霏.水土保持监测方法与技术现状初探[J].科技创新导报,2018,15(6):139-140.
Li Fei. Preliminary study on monitoring methods and technology status of soil and water conservation [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(6): 139-140.
- [6] 李智广,姜学兵,刘二佳,等.我国水土保持监测技术和方法的现状与发展方向[J].中国水土保持科学,2015,13(4):144-148.
Li Zhiguang, Jiang Xuebing, Liu Erjia, et al. Present status and future development of technologies and methods for soil and water conservation monitoring in China [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, 13(4):144-148.
- [7] 张昺榴,张歆,林庆明,等.生产建设项目区域土壤侵蚀空间分布及驱动分析:以白鹤滩水电站为例[J].人民长江,2025,56(6):47-55.
Zhang Bingliu, Zhang Xin, Lin Qingming, et al. Spatial distribution characteristics and driving force analysis of soil erosion in production and construction project areas: Case study of Baihetan Hydropower Station [J]. Yangtze River, 2025,56(6):47-55.
- [8] 台辉,王苹,江宁,等.基于AHP-模糊综合评价法的生产建设项目水土保持效果研究[J].水土保持通报,2023,43(5):169-175.
Tai Hui, Wang Ping, Jiang Ning, et al. Research of soil and water conservation effects of production and construction projects based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(5):169-175.
- [9] 王诗雨,霍春平,张青峰,等.西安市生产建设项目水土流失评价[J].水土保持通报,2024,44(5):173-182.
Wang Shiyu, Huo Chunping, Zhang Qingfeng, et al. Evaluation of soil and water loss in urban production and construction projects in Xi'an City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024,44(5):173-182.
- [10] 贺俊斌,潘振宇,屈同,等.基于USLE的线性生产建设项目区土壤侵蚀特征分析[J].中国水土保持,2021(12):50-52.
He Junbin, Pan Zhenyu, Qu Tong, et al. Soil erosion characteristics in linear production construction project area based on USLE [J]. Soil and Water Conservation in China, 2021(12):50-52.
- [11] 唐元智.生产建设项目水土保持监测技术方法研究进展[J].中国水土保持,2021(12):53-57.
Tang Yuanzhi. Research progress of soil and water con-

- ervation monitoring technology and methods for production and construction projects [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2021(12):53-57.
- [12] 童娟. 珠江流域概况及水文特性分析[J]. *水利科技与经济*, 2007, 13(1):31-33.
Tong Juan. The generalizations and hydrological character analysis of Pearl River basin [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2007, 13(1): 31-33.
- [13] 水利部水土保持监测中心. 2024年度水土流失动态监测技术指南[S]. 北京:水利部水土保持监测中心, 2024.
Monitoring Center of Soil and Water Conservation. Technical Guide for Dynamic Monitoring of Soil and Water Loss in 2024 [S]. Beijing: Monitoring Center of Soil and Water Conservation, 2024.
- [14] 李鑫, 欧名豪, 马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究:以扬州市里下河区域为例[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(10):1758-1767.
Li Xin, Ou Minghao, Ma Xianlei. Analysis on impact of fragmentation based on landscape index to cultivated land use efficiency: A case on Lixiahe District in Yangzhou City [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(10):1758-1767.
- [15] 陈帷胜, 冯秀丽, 马仁锋, 等. 耕地破碎度评价方法与实证研究:以浙江省宁波市为例[J]. *中国土地科学*, 2016, 30(5):80-87.
Chen Weisheng, Feng Xiuli, Ma Renfeng, et al. Method of cultivated land fragmentation evaluation and empirical research: A case of Ningbo City in Zhejiang Province [J]. *China Land Sciences*, 2016, 30(5): 80-87.
- [16] 沈雪建, 李智广, 王海燕. 我国人为水土流失防治进程加快推进[J]. *中国水土保持*, 2021(4):9-11.
Shen Xuejian, Li Zhiguang, Wang Haiyan. Accelerating the process of man-made soil erosion control in China [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2021(4):9-11.
- [17] 陈琴. 依法严格人为水土流失监管 促进人与自然和谐共生[J]. *中国水利*, 2023(16):1-4.
Chen Qin. Strict control of human induced soil erosion according to law for harmonious coexistence between man and nature [J]. *China Water Resources*, 2023(16):1-4.
- [18] 陈茂山. 建立水土保持信用评价制度 提升人为水土流失监管效能[J]. *中国水利*, 2023(10):16-19.
Chen Maoshan. Establish a credit evaluation system for enhancing the effectiveness of human-induced soil erosion supervision [J]. *China Water Resources*, 2023(10):16-19.
- [19] 沈雪建, 刘宪春. 强手段, 提效能, 扎实做好人为水土流失监管[C]//武汉:“创新体制机制建设强化水利行业监管”研讨会论文集, 2019.
Shen Xuejian, Liu Xianchun. Strengthening measures, enhancing efficiency, and solidly advancing the supervision of human-induced soil and water loss [C]// Wuhan: “Innovation in Institutional Mechanisms to Strengthen Supervision in the Water Conservancy Industry” Symposium Proceedings, 2019.

(上接第86页)

- [25] Santín C, Otero X L, Doerr S H, et al. Impact of a moderate/high-severity prescribed eucalypt forest fire on soil phosphorous stocks and partitioning [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 621:1103-1114.
- [26] 曾昭霞, 王克林, 刘孝利, 等. 桂西北喀斯特区原生林与次生林鲜叶和凋落叶化学计量特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(7):1907-1914.
Zeng Zhaoxia, Wang Kelin, Liu Xiaoli, et al. Stoichiometric characteristics of live fresh leaves and leaf litter from typical plant communities in a Karst region of northwestern Guangxi, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(7):1907-1914.
- [27] Herbert D A, Williams M, Rastetter E B. A model analysis of N and P limitation on carbon accumulation in Amazonian secondary forest after alternate land-use abandonment [J]. *Biogeochemistry*, 2003, 65(1): 121-150.
- [28] Bünemann E K, Bongiorno G, Bai Zhanguo, et al. Soil quality: A critical review [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 120:105-125.
- [29] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441.
- [30] 李淑钰, 李传友. 植物根系可塑性发育的研究进展与展望[J]. *中国基础科学*, 2016, 18(2):14-21.
Li Shuyu, Li Chuanyou. Developmental plasticity of plant roots [J]. *China Basic Science*, 2016, 18(2): 14-21.
- [31] Dietze M C, Sala A, Carbone M S, et al. Nonstructural carbon in woody plants [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2014, 65:667-687.