

放账本，较普通风电认证减排量精确度提升 32%^[4]。

4.2 产业融合的生态增益

农光互补模式兼具发电与生态修复功能。宁夏农垦光伏项目中，板下种植紫花苜蓿有效抑制表层土壤蒸发 40%，干草产量达 300 公斤/亩，反哺畜牧业饲料缺口；德国北海“风机牧场”在风机基础海域人工培育贝藻类生物礁群，使海洋固氮固碳能力提升近两倍。工业耦合则挖掘资源内循环潜能：隆基绿能在陕西的组件工厂实施工业废水回用系统——利用 MVR 机械再压缩技术将清洗废水浓缩倍率提至 30 倍，纯水回收率超 85%，硅粉废料制成建筑保温材料实现全流程固废零外排。

4.3 国际经验的制度镜鉴

德国能源转型（Energiewende）通过《可再生能源法》确立固定上网电价（FIT）机制，但为避免补贴负担过重而创新设计“自耗模式激励”（对自发自用光伏发电免收输配电费），撬动屋顶光伏渗透率激增至 23%；丹麦风电发展依赖独特的合作社模式——地方居民可直接参股风电场并获得稳定分红，规避邻避效应阻力，风机密度达每平方公里 1.12 台；加州储能革命则始于政策强制：公共事业委员会要求三大电力公司 2024 年前采购 11GW 储能容量，倒逼企业通过用户侧虚拟电厂聚合实现分散资源价值重构。

4.4 企业责任的微观实践

金风科技发布“全生命周期环境责任指南”，要求供应商风机叶片使用可溶解热塑性树脂（报废后化学降解率 95%），2025 年新机型叶片可回收率需超 75%；宁德时代在四川宜宾基地应用“零碳工厂”模式——厂房屋顶光伏提供 32% 用能，余热回收系统降低蒸汽需求 40%，锂渣煅烧成水泥掺合料消纳固废 1.2 万吨/年，实现单吉瓦时电池产能碳排放 0.33gCO₂/Joule 的全球最优水平。责任边界正从生产延伸至回收网络：远景构建覆盖 14 省的风电叶片回收中心网络，化学法降解树脂提取玻璃纤维再利用率达 83%^[5]。

4.5 碳金融工具创新实践

上海数据资源中心开发“碳链通”区块链平台，实现光伏电站全生命周期数据上链。内蒙古库布其沙漠光伏项目凭借可追溯的碳减排数据，发行首单 ABCP（资产支持商业票据）：以未来 10 年碳收益为底层资产募资 3.6 亿元，发行利率较同等等级信用债低 110bp。关键创新在于风险控制：设置发电量波动阈值，当实测值偏离预测值 8% 时自动触发火

电碳配额置换条款，保障投资者本金安全。

4.6 政策协同的制度创新

财政工具需要深化结构性改革。中国人民银行推出“碳减排支持工具”，对符合标准的清洁能源项目提供 60% 本金低息贷款，但需配套绿色绩效追踪系统——若项目实测碳排放强度偏离设计值 15% 以上则触发利率上浮 30% 的惩罚条款；生态补偿从财政拨款转向市场化运作：“青海三江源绿色电力交易”将光伏电站所发清洁电力以溢价 0.05 元/kWh 出售给北京企业，所得收益的 40% 强制投入高寒草原生态治理基金，2023 年促成牧草恢复面积 7.8 万亩。土地利用政策应有突破：国家能源局计划修订《光伏用地管理办法》，允许在 III 类盐碱地建设项目配套实施土壤复垦，其生态修复达标后光伏阵列占地计入耕地保护指标。

5 结语

实证研究昭示：新能源发展亟需穿越“装机容量崇拜”的初级阶段，转向技术与环境韧性深度协同的高级形态。光—储系统成本曲线下行重构电力网络奠定物理基础，但必须同步构建适配生态承载力的刚性约束机制——例如将地下水补给恢复率、土壤有机质含量作为项目审批的法定硬指标。制度突破聚焦三大方向：在微观运营层导入全生命周期环境责任认证，要求装备制造企业承担末端回收义务；在产业布局层实施多能互补的生态增益模式（如农光系统需配套节水灌溉与土壤固碳监测）；在政策体系层整合绿色金融工具与动态生态补偿基金，将环境外部成本显性化转化为项目估值核心参数。唯此方能在碳中和征程中实现能源安全与生态安全的双轨统一。

参考文献

- [1] 叶博洋. 新能源发展对生态环境保护的协同效应分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (08): 112-114.
- [2] 娄会荣. 新能源技术在生态环境保护中的应用实践探究[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6 (08): 54-56.
- [3] 张波, 文密, 宋超, 王恺. 绿色能源与可再生资源利用对环境保护的影响与前景分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (20): 106-108.
- [4] 陈虹. 节约能源与生态环境保护信息化体系建设[J]. 中国战略新兴产业, 2024, (17): 48-50.
- [5] 郝晓燕, 阳自航. 内蒙古新能源开发与生态环境保护融合发展路径研究[J]. 北方经济, 2024, (05): 63-65.

Study on identification characteristics of soil and groundwater pollution in plots with composite historical land use types

Zhicheng Cai

Guangdong Kefei Ecological Environment Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510080, China

Abstract

Driven by urbanization, the urgent need for safe reuse of mixed historical land use has made pollution characteristic studies a hot topic in environmental protection. This study focuses on mixed historical land use in South China, analyzing soil and groundwater contamination through data collection, field investigations, and stratified sampling. Results show that agricultural-stage characteristic pollutants were organochlorine/phosphorus pesticides and heavy metals, industrial-stage pollutants included petroleum hydrocarbons and heavy metals, while construction-stage pollutants mainly consisted of petroleum hydrocarbons. Soil contaminants exhibited localized accumulation, with no continuous pollution plumes observed in groundwater, and pollution hotspots coinciding with historical activity zones. Pollutant levels in the plots meet current standards, indicating acceptable health risks. The research identifies historical activities as the primary pollution "source," hydrogeological conditions controlling pollutant "accumulation" and "transport pathways." Acknowledging survey uncertainties, it provides environmental management recommendations, offering scientific basis for safe reuse of similar plots.

Keywords

composite historical land use; groundwater pollution; soil pollution; pollution identification

复合历史用地类型地块的土壤与地下水污染识别特征研究

蔡志城

广东科飞生态环境科技有限公司, 中国·广东广州 510080

摘要

城市化进程推动下, 复合历史用地安全再利用需求迫切, 其污染特征研究成为环保热点。本研究以华南地区复合历史用地为对象, 通过资料收集、现场调查及分层采样分析其土壤及地下水污染状况。结果显示: 农业阶段特征污染物为有机氯/磷农药与重金属, 工业阶段为石油烃、重金属, 施工阶段为石油烃; 土壤污染物呈局部聚集, 地下水无连续污染羽, 污染热点区与历史活动区重合。地块污染物含量满足现行标准, 健康风险可接受。研究明确历史活动是污染“源头”, 水文地质条件控制污染物“汇集”与“迁移路径”, 指出调查不确定性并提出环境管理建议, 为同类地块安全再利用提供科学依据。

关键词

复合历史用地; 地下水污染; 土壤污染; 污染识别

1 引言

我国正处在快速城市化和产业结构调整的关键时期, 城市更新进程中释放出大量具有复杂历史背景的工业或农业用地, 这些地块的再开发利用是推动城市可持续发展的重要环节。这类地块因经历多阶段人为活动, 可能存在污染叠加问题, 其土壤与地下水污染直接影响后续开发安全及人体健康, 准确识别污染特征已成为环境领域的核心议题。当前单一用地污染研究较为成熟, 但复合用地的污染来源更复杂、迁移规律特殊, 现有研究难以充分揭示其污染特征及

形成机制, 且调查中常面临资料碎片化、采样针对性不足等问题, 制约科学评估。华南地区此类地块数量较多, 加之亚热带季风气候、浅地下水位等条件, 进一步增加了污染识别难度。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区选择与代表性分析

本研究选定华南地区一处典型的复合历史用地地块作为研究样本, 该地块的代表性源于其用地历史的多样性与复杂性。其历史上依次经历农业种植、轻工业生产及近期开发建设等阶段, 形成“农业-轻工业-建设”的复合用地序列, 这种时序叠加特征使其成为研究多重人为活动潜在污染叠加与交互效应的理想案例。地理位置上, 该地块位于冲积平原区, 属亚热带季风气候, 降水充沛, 地下水位较浅。区

【作者简介】蔡志城(1995-), 男, 中国广东揭阳人, 助理工程师, 从事土壤污染状况调查、环境影响评价、生态环境管理与咨询研究。

域水文地质勘察结果显示,浅部地层主要由素填土、粘土、砂质粘土及中砂构成,透水性存在差异,地下水类型以孔隙水为主,整体流向大致为西北至东南,此类水文地质背景对污染物的垂向入渗与侧向迁移具有重要控制作用,直接影响污染物的空间分布特征及识别难度^[1]。

2.2 资料收集与历史重建

本研究通过整合多源信息全面还原地块的历史活动轨迹,以此作为污染识别的重要依据。收集的资料主要包括历史高分辨率卫星影像、国土与规划部门的用地红线及规划文件、工商企业与排污许可信息,以及面向原住民、周边企业及管理部门的结构化访谈记录。依据各历史时期的卫星影像判读结果,该地块经历了农田—工业园—待建空地的演变过程;通过企业资料与访谈获取了各历史时期的具体生产情况、原辅材料使用、污染防治措施及可能遗留的构筑物信息。通过交叉比对并综合分析所有信息点,将零散孤立的信息整合为连贯的历史沿革,构建了完整的“农业种植、局部回填、工业园区建设与运营厂房拆除、临时施工营地、堆填土受纳”的潜在污染活动时间序列,并识别出不同时期可能存在污染的主要时段与空间位置等特征信息。如图1所示。



(图1: 复合历史用地污染活动时序演变可视化图谱)

2.3 现场调查与采样方案

现场踏勘聚焦于各类历史遗留污染痕迹的识别:包括工业厂房拆除后原场地水泥硬底化的破坏情况、废弃地下管道及电缆沟、大范围外来堆填土的位置、规模、组成,以及土壤是否存在颜色变化、异味或植被病害等现象。人员访谈采用半结构化问卷形式,从土地使用权人、历史企业职工、周边群众及政府管理人员处筛选有效信息,询问工艺设备、原辅材料、“三废”处理方式及历史环境污染事件等内容,通过对比所有资料核实结果,补充或修正资料分析中的遗漏与不确定之处。基于上述工作确定不同历史污染源的分布,在此基础上制定采样方案:工业历史分布区和大块堆土区采用高密度布点,采样深度贯穿填土层至地下水位波动带;农业历史分布区采用低密度布点,采样深度以表层为主;在地块周边设置土壤对照点。所有土壤、地下水样品根据历史活动可能产生的污染因子确定检测指标,确保方案的系统性与针对性,为精准判别污染特征提供有效样本。

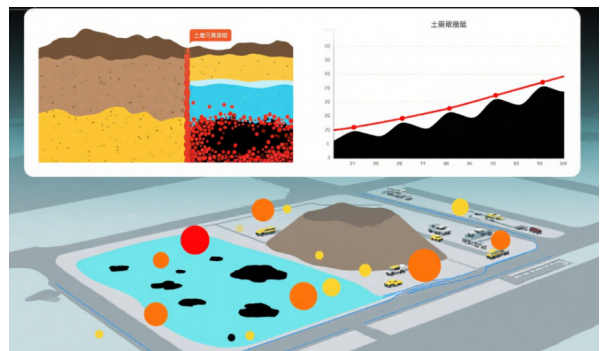
3 污染特征与空间分布

3.1 污染源解析与特征污染物识别

农业种植阶段,化肥与农药的施用构成主要潜在污染源,其特征污染物主要包括有机氯农药、有机磷农药及重金属;工业园运营阶段,传统轻工业生产活动为核心污染源,特征污染物谱系涵盖石油烃、重金属;施工建设阶段,潜在污染源则来自施工机械油品泄漏、车辆运输活动,特征污染物集中表现为石油烃;来源复杂、存在时间长、土方量大的堆填土未能确定是否受到污染,潜在污染源则考虑重金属、挥发性有机物及半挥发性有机物。总体而言,石油烃是贯穿工业与施工阶段的标志性特征污染物,而重金属在不同历史阶段均有潜在贡献,共同构成该地块复合污染的特征标识物^[2]。

3.2 污染物空间分布特征

土壤污染物的垂向分布特征显示,重金属等无机污染物在表层及填土层下界面存在一定富集,而石油烃等有机污染物更易在渗透性较弱的粘土层顶部滞留;水平方向上,污染物浓度表现出显著的空间异质性,工业历史遗留区域及大型堆土区周边土壤中石油烃及特定重金属含量相对较高,形成局部污染斑块。地下水检测结果表明,检出污染物种类与土壤具有一定相关性,石油烃均有检出,但其浓度分布未呈现明显的连续污染羽状特征,这可能与场地硬化隔离及含水层的稀释作用有关。通过空间叠加分析,识别出多个污染热点区域,这些热点在空间上与历史工业活动区、车辆集中活动区及外来堆土区高度吻合,清晰体现了工业生产的“点源”特征与施工运输的“线源/面源”特征对土壤污染空间格局的共同影响,如图2所示,证实了污染分布与历史用地活动间存在显著的空间关联性。



(图2: 污染物空间分布特征的示意图)

3.3 与对照点及标准值的对比分析

本研究通过对比地块内污染物检测结果与外部对照点背景值及相关标准限值,综合评估了该地块的环境质量状况。分析显示,与对照点相比,地块内土壤中检出的重金属、有机物及石油烃等各类污染物含量虽在局部区域略高,但总体处于背景值波动范围内,未出现显著富集;各项指标实测