中欧城市地区矿山生态修复对比分析

——以中国淮北市和德国盖尔森基兴市为例

孙振凯[1,2,3] 王 成[1,2,3] 金佳莉[1,2,3]

1 中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091
2 国家林业和草原局城市森林研究中心 北京 100091
3 广东珠江口城市群森林生态系统国家定位观测研究站 广东东莞 523106

摘要：中国坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，矿山生态修复是重要的治理内容。欧美国家矿山生态修复开始较早，在理论、技术和实践方面都可以提供很好的参考，但是目前我国研究大多是单方面介绍，缺乏对比分析。文章选取矿山生态修复类型相似的中国淮北市和德国盖尔森基兴市（位于鲁尔区）为研究对象，在梳理两个城市采煤塌陷地发展概况，以及各自国家、省、城市等不同尺度在生态修复方面采取的措施和进展基础上，从多方面进行实践与经验对比分析。结果表明：中国和德国建立法律法规、政策机制等方面的生态修复治理体系在时间上较为同步，但是中国实践进度落后；淮北市和鲁尔区均注重通过矿山生态修复恢复完整的生态系统，为居民提供生态休闲空间；淮北市资金投入来源少，管理效率和工程效益有待提升；鲁尔区的近自然生态修复和管护技术值得借鉴；两个城市的生态修复质量均有待提升，需要加强理论和技术研究、工程监督和长期监测。

关键词：中德城市对比；矿山废弃地；棕地；受损弃置地；生态修复
DOI：10.12169/zgcsly.2024.08.04.0001

A Comparative Study of Mine Ecological Restoration in Urban Areas Between China and the EU: Case Studies of Huaibei City in China and Gelsenkirchen in Germany

Sun Zhenkai[1,2,3] Wang Cheng[1,2,3] Jin Jiali[1,2,3]

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Urban Forest Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China; 3. Guangdong Pearl River Estuary City Cluster Ecosystem National Observation and Research Station, Dongguan 523106, Guangdong, China)

Abstract: China stresses the importance of the integrated protection and governance of ecosystems, including mountains, waters, forests, farmlands, lakes, grasslands, and deserts, while the ecological restoration of mining sites is a significant component. European and American countries began the ecological restoration of mining sites earlier, offering valuable references in theory, technology, and practices. However, the current studies in the field are centered on the introduction of these countries' experience, lacking in comparative analyses. This paper selects two cities which adopt the similar model

收稿日期：2024-08-04
* 基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFE0193200）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金（CAFYBB2020ZB008）
第一作者：孙振凯（1987-），男，博士，助理研究员，研究方向为城市生物多样性和生态系统功能。E-mail：zksun_ caf@caf. ac. cn
通信作者：王成（1967-），男，研究员，博士生导师，研究方向为城市森林与城市生态。E-mail：wch8361@163. com

of ecological restoration for mine sites: Huaibei in China and Gelsenkirchen in Germany (located in the Ruhr area), reviews the conditions of coal mining subsidence areas in the two cities as well as the measures for and the progress at the national, provincial, and local levels in ecological restoration, and conducts a comparative analysis of their practices and experiences from multiple perspectives. The results indicate that while China and Germany have kept abreast with each other in the formulation of laws, regulations, and policy mechanism of ecological restoration governance. China lags behind Germany in its restoration practices. Both Huaibei and the Ruhr area emphasize the complete restoration of ecosystems to provide leisure spaces for residents through mine sites' ecological restoration. However, Huaibei has limited sources of funding, and there is a space for the management efficiency and project benefits to be improved. The near-natural techniques of ecological restoration and maintenance in the Ruhr area are worth learning from. The quality of ecological restoration in both cities still needs to be further improved, necessitating the strengthening of theoretical and technical research, robust project supervision, and long-term monitoring.

Keywords: comparison between Chinese and German cities; abandoned mining site; brownfield; wasteland; ecological restoration

废弃矿山在国外研究中是棕地（Brownfiled）类型的一种，而在国内是废弃地类型的一种，有矿业废弃地、矿山废弃地、受损弃置地等多个名称[1-4]。《矿山废弃地植被恢复技术规范（LY/T 2356-2014）》指出该类型废弃地是指采矿活动所破坏的、非经治理而无法使用的土地，包括塌陷地、挖损地和占压地 3 种类型[2]。矿山废弃地的生态修复措施在国内不同治理发展阶段有土地复垦、环境恢复治理、土地复垦与生态重建、土地复垦与生态修复、矿山生态修复等概念名词，而在国外常用复垦（Reclamation）、重建（Rehabilitation）、复原（Restoration）等词语表达，但内涵基本相同，即通过恢复治理达到或超过扰动前的生态环境状况[5]。

中国矿山生态修复工作比西方发达国家开展较晚[6]，尽管近年来重视程度不断加强，但是任务还很重。据不完全统计，中国“十三五”期间，完成矿山生态修复约 26.6 万 hm^2[7-8]。除了历史遗留矿山生态修复之外，中国每年还会有新增的损毁土地，如 2020 年以来的“煤炭行业发展年度报告”指出其每年的矿区土地复垦率只在 57%左右。欧美国家系统开展矿山生态修复工作较早，已经积累了较多的理论、技术和实践经验，能够为中国提供一定的参考[8]。目前国内关于欧美国家矿山生态修复的研究多以单方面介绍为主[9-11]，缺乏和国内的对比分析，不利于揭示国内矿山生态修复的经验与不足。本文选取矿山生态修复类型相似的中国淮北市和德国盖尔森基兴市（Gelsenkirchen），即采煤塌陷区的生态修复治理，结合各自国家、省级等不同尺度治理背景，对比分析在矿山生态修复体系和实践等方面的进展，总结经验与不足，以期提升国内矿山生态修复水平和成效。

1 研究区概况

1.1 城市概况

中国淮北市是安徽省地级市（表 1），是中国知名煤炭资源型城市，国土面积为 2 741.4 km^2[12]；2022 年城镇常住人口比例为 64.9%，城市建成区绿地资源丰富；属暖温带半湿润季风气候区[13]，四季分明；近 10 年年均气温为 16.0 ℃，年均降水量为 894.5 mm，6—8 月降水占全年总量的 60.4%。根据《淮北市生态环境保护“十四五”规划》，全市森林覆盖率在 2020 年为 22.0%。

德国的行政区主要划分为州-县-市镇等一级到三级。盖尔森基兴是位于德国西部的北莱茵-威斯特法伦州（North Rhine-Westphalia）的 31 个县之一，从行政级别上与淮北市相似，同时也是鲁尔区的中心城市之一，其城市的产业和生态发展历程与鲁尔区紧密相关。盖尔森基兴曾因煤炭和钢铁产业被称为“千火之城”。盖尔森基兴面积是淮北的 1/26，人口约是淮北的 1/6，但人口密度是淮北的 3.48 倍，人均 GDP

是淮北的 3.93 倍（表 1）。根据“Time and Date AS”网站数据，1992—2021 年年均气温为 11 ℃；各月份降水较为均衡，6—8 月降水占全年总量的 29.6%。根据全球森林观测平台（Global Forest Watch），盖尔森基兴 2023 年的森林覆盖率为 27.86%。

表 1　中国淮北市和德国盖尔森基兴城市信息对比情况

序号	指标	淮北市	盖尔森基兴
1	行政级别	地级市（安徽省辖）	县（北莱茵-威斯特法伦州辖）
2	城市群（都市区）	长三角城市群	鲁尔区
3	气候区域	暖温带半湿润季风气候	温带海洋性气候
4	植被	暖温带落叶阔叶林带	欧洲大西洋混交林
5	年降水量/mm	894.5	674.5
6	年均气温/℃	16.0	11.0
7	国土面积/km^2	2 741.40	104.94
8	常住人口总数/万人	195.0（2022 年）	26.01（2021 年）
9	人口密度/（人·km^{-2}）	711.32	2 479.81
10	社会生产总值（GDP）/（亿元 CNY）	1302.8（2022 年）	682.36（2023 年）
11	人均 GDP/（万元 CNY）	6.68	26.23
12	森林覆盖率/%	22.00（2020 年）	27.86（2023 年）
13	人均森林面积/m^2	281.17	112.41
14	城市绿地率/%	43.25（建成区，2022 年）	63.81（全市域）
15	人均绿地面积/m^2	54.51（建成区，2022 年）	257.57（全市域）

1.2　采煤塌陷地概况

淮北市因煤而建，2009 年被认定为国家第二批资源枯竭型城市。截至 2022 年底，淮北市累计生产原煤约 11.5 亿 t，年产原煤下降至约 3 000 万 t[14]。淮北煤田为全隐蔽煤田，均为地下开采方式，随着煤炭资源的开采，形成大面积土地塌陷区[15]，截至 2022 年，全市累计塌陷土地 2.82 万 hm^2[14]。淮北市采煤塌陷地内耕地面积占 50%[15]，林地约 0.5%[16]，塌陷坑的深度一般为 0.50~15.00 m[17]。

德国的煤炭主要分硬煤和褐煤两大类，硬煤煤层薄、开采深度大，以井工开采为主，鲁尔矿区是 4 个主要硬煤煤田之一[18]。鲁尔区煤矿开采导致地表塌陷、土壤污染及大量工业和生活废水[19]。据鲁尔区历史高程资料，2010 年与 1982 年相比，研究区域平均降低约 2 m，最大变化高差达 25 m，其中盖尔森基兴下沉幅度较大，平均为 5.16 m[20]。从 1990 年开始，在气候保护、能源转型、退出燃煤发电等战略政策下，德国的煤炭在能源系统中的重要性逐步降低，褐煤和硬煤生产都呈现下降趋势，2018 年鲁尔区关闭了最后一个硬煤矿[21]，宣告硬煤生产结束，褐煤还在继续生产[18]。据当地研究，采煤停止 3 年后塌陷状况会基本稳定[21]。

2　淮北市矿山生态修复

2.1　生态修复治理体系

中国已从法律法规、政策文件、技术支撑、规划方案等方面形成了完善的矿山生态修复治理体系，如 1987 年生效的《中华人民共和国土地管理法》明确了单位和个人在采矿、取土后复垦的责任；1989 年的《土地复垦规定》确定了土地复垦的规划、责权利关系、资金来源等方面的要求[22]。随着《矿山地质环境保护规定》《土地复垦条例实施办法》等法规的发布和修正，以及《关于探索利用市场化方式推进矿山生态修复的意见》等政策文件的印发，中国矿山生态修复的系统性进一步加强[23]。另外，中国自 2004 年启动国家森林城市创建以来，已建设 219 个国家森林城市[24]，特别是《国家森林城市评价指标（GB/T 37342—2019）》将受损弃置地生态修复作为核心指标，并要求生态修复率达到 80%以上[4]，有力推动了矿山生态修复。安徽省在土地复垦工作方面紧跟国家步伐，1987 年制定“安徽省实施《中华人民共和国土地管理法》办法”，

在 2007 年施行了全国第一部矿山地质环境保护方面的地方性法规《安徽省矿山地质环境保护条例》。在国家和省级部门的指导下，淮北市通过落实责任主体、分阶段制定采煤塌陷区综合治理规划方案、依托土地利用和国土空间规划等上位规划共同推动采煤塌陷区的生态修复。

2.2 生态修复进展

中国早在 20 世纪 60 年代就零星开展了矿山废弃地复垦工作[25]，从 20 世纪 80 年代起开始进行“采煤塌陷地综合治理”[5]。到 2020 年，中国废弃矿山修复率为 30%[23]，淮北市截至 2022 年采煤塌陷区治理率为 50.6%[15]。淮北市贴合实际情况创新塌陷区生态修复技术，已形成“深改湖、浅造田、不深不浅种藕莲”“稳造地，非粗放，鱼鸭混养荷田田”等综合治理模式[16]。其中，“深改湖”即利用塌陷深水面建设湿地公园和平原水库，如绿金湖和南湖治理后成为中国地级市中面积最大的人工内湖，配套种植园林树木约 10 万株[17]；“浅造田”则通过推高平整土地增加田地和林网；“稳造地”则从长远考虑，按照“宜耕则耕、宜渔则渔、宜水则水、宜林则林、宜建则建”治理可利用土地，如相城煤矿塌陷区通过回填粉煤灰、覆土、人工造林建设成的任圩林场[17]。塌陷区生态修复塑造了淮北市新的绿色名片和生态格局，淮北市已从“煤城”转向“绿城”，拥有“国家森林城市”“全国绿化模范城市”等绿色荣誉称号，南湖、乾隆湖、绿金湖、碳谷湖、古乐湖、朔西湖 6 大采煤塌陷湖泊已经形成了淮北市中央湖带[16]。由于缺乏资金和重大项目支持，淮北市塌陷区未来治理任务还十分繁重，据预测，淮北市每年新增土地塌陷约 400 hm^2[15]。

3 盖尔森基兴（鲁尔区）矿山生态修复

3.1 生态修复治理体系

德国政府重视矿区的生态保护和土地复垦，相继发布了《联邦矿业法》《环境影响评价法》等法规。《联邦矿业法》规定在矿山开采前、开采中和结束时，都要制定环境保护和治理规划，并报主管部门批准。《环境影响评价指南》是从 1975 年开始对相关计划、项目生效，但是因为缺乏法律约束等原因，一开始应用较为困难[19]。为实施欧盟环境控制指令（“85/337/EEC”），联邦德国在 1990 年制定了《环境影响评价法》，有力推动了环境影响评价（Environment Impact Assessment，EIA）的实施和提升研究，如后续研究提出的战略环境评价（Strategic Environmental Assessment，SEA），即随着技术使用和项目推进跟踪进行评价[19]。基于工程项目环境评价，可以开展调整或缓和措施，也有必要开展区域性的环境质量规划，如 1989 年实施的举世闻名的埃姆舍公园国际建筑展（IBA Emscher Park）[19]。

3.2 生态修复进展

1980 年左右，鲁尔区失业问题严重，城市发展动力不足，政府开始致力于鲁尔区的经济调整和转型。1985 年左右，政府开始施行“新产业化”政策，重点在园区老工业部门基础上发展新型产业和新工业景观建设以改善城市面貌，如由鲁尔公司承担硬煤开采工作结束后的地表设施拆除、矿区监控管理等工作[26]。鲁尔矿区的煤矸石大部分在规定的矸石场整治复垦，再用来种植植被[11, 27]。比如盖尔森基兴区域内的采矿矸石堆“Hoheward”，是鲁尔地区曾经最大煤矿“Ewald”的产物，已经整治为与周围环境相融合的景观，达到了生态和游憩需求[20]。对于已形成的塌陷地，遵循因地制宜的原则，采取复垦、放水形成湿地公园或整治为休闲观光区等方式进行综合治理，但是无论何种方法都不能对地下和地表水环境、动植物多样性及人居环境造成不利影响[10]。例如，鲁尔区多特蒙德市现在的自然保护区和休闲空间“Lanstrop”湖泊就是自 1985 年煤矿关闭后通过生态修复至今形成的。

1989 年的 IBA Emscher Park 项目是推动鲁尔区绿色转型发展的重要生态修复工程，该工程提出了 Emscher Park 建设、埃姆舍河流域的生态修复等 7 项总体原则[19; 28]，其中著名的北星公园，就是在盖尔森基兴的采矿废弃地基础上建立起来的[9]。基于该项目的实施经验和成效，后续还有 Konzept Ruhr 和 Masterplan Emscher Landschaftspark 2010[29]，以及 Green Infrastructure Charter Ruhr Metropolis[30]等规划项目重建鲁尔区生态系统。产业转型和城市更新政策带来了实际成效，早在

1999 年，美国华盛顿人口危机委员会的报告将鲁尔区列为特大城市及产业和人口密集区生活质量排名世界第二的地区。

4　两国生态修复对比

4.1　生态修复治理体系发展时间较为同步

从矿山生态修复（土地复垦）等相关法律法规、政策文件、规划方案等治理体系关键文件的制定时间看，中国和德国较为同步，如《中华人民共和国环境保护法》在 1979 年实施，而德国的《环境影响评价指南》在 1975 年实施，《环境影响评价法》在 1990 年实施；《中华人民共和国矿产资源法》在 1986 年实施，而德国的《联邦矿产法》在 1980 年实施。另外，相关的规划方案、监督监测、专项资金、责任主体、多元化的资金投入机制都能在双方关键文件中印证，这也说明了矿山生态修复的要点在世界范围内是一致的。但是淮北市乃至中国的矿山生态修复还任重道远，而全德国的硬煤生产已经于 2018 年停止[18]，采煤塌陷状况基本稳定[21]。

4.2　均通过规划行动实施矿区生态修复，恢复完整的生态系统

淮北市采煤塌陷区治理已经与城市发展及民生融为一体，是全市重要的生态、工业及建设用地的载体工程[15]。淮北市城市总体规划、土地利用总体规划、国土空间生态修复规划均一脉相承，推进采煤塌陷区综合治理，而淮北市国家森林城市建设总体规划、新型城镇化发展规划、国土空间总体规划均将采煤塌陷区纳入市域生态空间格局，提高其生态修复的战略地位。德国鲁尔区矿山生态修复注重打造生境丰富、动植物多样的完整生态系统，继而成为自然风景区或保护区，并通过公路、渠道、铁路两边的近自然生境提高自然风景区或保护区之间的连通性，构建完整的生态网络。IBA Emscher Park 的建设发展则是以 7 个区域廊道为主干，从南到北串联起鲁尔区[30]；Green infrastructure charter Ruhr metropolis 则是将鲁尔都市区内外的绿色基础设施视为一个相互关联的系统，在规划时考虑其功能和空间的联系[29]。

4.3　均通过矿区生态修复营造大量生态休闲空间

德国矿山生态修复考虑整体生态变化和群众对环境的需要[3]，对采煤塌陷区的治理实行分类指导、综合整治和利用[10]的修复模式；中国淮北同样通过塌陷区生态修复恢复了大量耕地和建设用地[16]，使塌陷坑水面就近转化为城市生态休闲空间，打造了南湖、乾隆湖等城市中心湖带。德国鲁尔区通过生态修复以及对工业遗产的保护利用，打造了自然景观公园、工业景观公园、博物馆、展览厅、文化中心、音乐厅、工业保护遗址等休闲场所，以及商业空间及服务设施。相比之下，尽管淮北市也可以利用修复的生态空间开展长跑、赛龙舟等文体活动，但是鲁尔区生态修复形成的多元化场所及服务设施，更能提高生态产品利用效率和当地的经济收入。

4.4　社会和公众参与度均较低

中、德矿山生态修复均是以政府部门为主导推进，资金投入较大，社会团体和个人参与度较低。例如，IBA Emscher Park 项目作为一个自上而下的再生计划，公众参与的程度是有限的，而且在一些项目中，地方政府为了争取项目形成了竞争而非合作的关系。根据环境保护法，公民都有监督和举报的权利，所以需要推动公众参与生态修复项目实施和监督的落实，比如澳大利亚的当地居民对环保项目有否决权，美国有民间团体对土地复垦进行监督[22]。

4.5　资金的投入来源和力度不同

中国 1989 年的《土地复垦规定》明确了单位和个人对土地复垦资金的责任，2011 年的《土地复垦条例》明确了大量历史遗留损毁土地的复垦责任主体，即由县级以上人民政府负责组织复垦，也提出“建立以政府资金为引导的‘谁投资、谁受益’的多元化融资渠道，并通过经济补贴、指标奖励等多种手段调动社会投资的积极性”。2020 年，淮北市绿金湖矿山地质环境治理 PPP 项目被自然资源部列为社会资本参与生态修复十大典型案例。相比之下，鲁尔区的资金来源有欧盟、德国、州政府、基金会等且较为持续[26]。如 2007 年成立的 RAG 基金会为鲁尔公司在采煤区进行的矿井水抽排及净化、塌陷区恢复等永久性工作提供资金，相关投入每年约 2.2 亿欧元[18]；IBA Emscher Park 项目经费来自北威斯特法伦州、德国联邦政府以及欧盟的 40 多个补助

资金。

4.6 参与的管理部门不同

中国土地复垦规定、条例及后续的矿山生态保护治理政策机制文件都清晰指出，矿山生态修复要求县级以上人民政府自然资源主管部门负责方案评审备案验收及后续监督管理，生态环境、水、林业等部门也分别做好有关内容监督工作，各部门的级别一致，需要注重沟通协调的效率。德国矿山生态修复管理相对高效，比如 1920 德国政府颁布法律，成立以煤为核心的鲁尔煤管区规划协会为鲁尔区最高规划机构[10]，即高于当地州和城市，有利于统筹规划和实施；而 IBA Emscher Park 项目的实施是通过成立规划公司，公司本身没有经费投入，而是扮演着协调者的角色。

4.7 治理模式和技术手段不同

中国的矿山生态修复面积大、速度快，一些案例表明理论与实践存在一定的脱钩现象，需要加强基础理论和修复技术原理的深入研究[5]，避免重土地修复工程技术轻生态修复技术[8]。淮北市是全国最早的土地复垦示范区之一，在塌陷区治理方面形成了深改湖、浅造田、稳造地等“淮北模式”，技术手段主要为全面人工修复。鲁尔区的生态修复实行分类指导、注重工业遗产保护和生态保护并重，技术手段包括人工干预和自然演替 2 种方式，如鲁尔区的矸石山生态修复在需要快速营造生态系统的地方采取人工干预措施，在区位价值弱、成本高的地方则采取自然演替的办法[27]。

4.8 治理后的景观效果及管护方式不同

中国的矿山生态修复在监管、修复工程质量上也需要进一步提升，如存在修复的生态系统稳定性差、人工修复痕迹重、难以融入周边自然景观等问题[5]。在淮北市采煤塌陷区综合治理绩效评价研究中，尽管其在经济、社会、生态和可持续等方面的效益较为均衡，但是整体性得分并不高，提升空间还很大[16]。由于淮北市南湖、东湖、绿金湖等城市生态空间的植被主要为疏林草地、草坪，后期管护人力物力投入较高。德国鲁尔区矿山生态修复按规定与周围环境和谐统一[14]，在满足生态环境需求的基础上增加游憩服务功能，并且多为近自然低干扰管护方式。另外，矿山生态修复初始人工种植的树种生长表现并不一定好，需要对生态环境以及植被进行监测，以优化树种、促进植被的生长演替[31]。

5 结语

淮北市是中国资源枯竭型城市转型发展的代表，而鲁尔区是德国乃至欧洲矿山生态修复治理的典范。本文不仅梳理了两个城市的矿区生态修复举措经验，也梳理了两个国家尺度及其省级、区域尺度上的生态修复实践与经验。完善的矿山生态修复体系包括制定科学合理的法律、法规和制度，建立严格的土地复垦标准，设立专门的行政管理机构；全民参与和监督；采取土地复垦保证金等制度，保证资金的来源等方面[22]。相较于国外，中国的矿山生态修复体系较为同步和完善，并取得了良好的治理成效，这反映出中国政府对矿山生态修复的重视程度。中国淮北的转型发展时间较晚、经济实力较弱，煤矿生产还在继续；而德国鲁尔区的硬煤生产已停，转型发展较为成功[21]。因此，淮北市的采煤塌陷地生态修复在治理模式和管理机制上可以更多地向鲁尔区学习，在理论和技术上双方可以互相借鉴，以共同促进矿区生态修复水平的提升；同时也要考虑到淮北市和鲁尔区的自然社会经济条件差异带来的影响，避免急功近利、生搬硬套。

参考文献

[1]张丽芳,濮励杰,涂小松.废弃地的内涵、分类及成因探析[J].长江流域资源与环境,2010,19(2):180-185.

[2]全国营造林标准化技术委员会.矿山废弃地植被恢复技术规范:LY/T 2356—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.

[3]周连碧,王琼,代宏文,等.矿山废弃地生态修复研究与实践[M].北京:中国环境科学出版社,2010.

[4]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.国家森林城市评价指标:GB/T 37342—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.

[5]胡振琪,赵艳玲.矿山生态修复面临的主要问题及解决策略[J].中国煤炭,2021,47(9):2-7.

[6]樊翔,白中科,朱楚馨,等.参照区对比法在美国矿区土地复垦评价体系中的应用及对中国的启示[J].中国矿业,2021,30(3):92-100.

[7]杜亚敏,鞠正山,冯金超.我国矿山生态修复现状及发展对策[J].中国土地,2024(4):51-53.

[8]翟文龙.国内外矿山生态修复现状与对策分析[J].有色金属(矿山部分),2022,74(4):115-118.
[9]王鹏,李楠,夏恩龙,等.德国棕地治理与景观再生策略比较[J].中国城市林业,2020,18(1):1-5.
[10]许祥左.德国鲁尔矿区产业转型的具体实践及其启示[J].煤炭经济研究,2013,33(5):74-77.
[11]伊欣.鲁尔矿区的复地与植被[J].煤炭科学技术,1988,16(8):56-57.
[12]淮北市统计局,国家统计局淮北调查队.淮北统计年鉴 2023[M].合肥:安徽省快马印务,2023.
[13]李世东,王成,孙振凯.我国城市生态系统定位观测研究站的空间布局[J].中国城市林业,2023,21(3):52-59.
[14]黄文山.淮北市采煤沉陷区综合治理调查[N].淮北日报,2023.
[15]李海滨,颜宇,王雪.淮北市采煤沉陷区基本情况调查与分析[J].西部资源,2021(3):89-91.
[16]朱思奇.淮北市采煤塌陷区综合治理绩效评价体系构建与应用研究[D].天津:天津理工大学,2023.
[17]丁尚昊,何君佳,程成,等.淮北采煤塌陷区生态修复路径:以南湖采煤塌陷区为例[J].安徽农学通报,2020,26(7):139-140,150.
[18]黄岚.德国煤炭工业发展趋势[J].中国煤炭,2021,47(4):94-101.
[19]KLEINSCHMIDT V.Environmental impact assessment in Germany with a special focus on environmental planning in the Ruhr area[M]//GOLOMBO A G.Environmental impact assessment,1992.
[20]HARNISCHMACHER S.Quantification of mining subsidence in the Ruhr District (Germany)[J]. Géomorphologie: Relief, Processus,Environnement,2010,16(3):261-274.
[21]STEMKE M,WIEBER G.Closure of German hard coal mines: effects and legal aspects of mine flooding[J].Mine Water and the Environment,2022,41(1):280-291.
[22]刘飞,陆林.采煤塌陷区的生态恢复研究进展[J].自然资源学报,2009,24(4):612-620.
[23]卢誉之,陈银萍,曹渤,等.矿山生态修复技术体系构建[J].环境保护科学,2023,49(5):41-50,54.
[24]王成.全域森林城市建设的基本内涵、必要性、可行性和实施路径[J].中国城市林业,2023,21(5):1-8.
[25]莫测辉,蔡全英,王江海,等.城市污泥在矿山废弃地复垦的应用探讨[J].生态学杂志,2001,20(2):44-47,51.
[26]OEI P Y,BRAUERS H,HERPICH P.Lessons from Germany's hard coal mining phase-out:policies and transition from 1950 to 2018[J].Climate Policy,2020,20(8):963-979.
[27]李鹏鋆,张乐,王瑞.德国鲁尔区煤矸石地形的景观转化做法与启示[J].中国城市林业,2023,21(2):166-170.
[28]GALGÓCZI B.The long and winding road from black to green: Decades of structural change in the Ruhr region[J].International Journal of Labour Research,2014,6(2):217-240.
[29]SCHEPELMANN P,KEMP R,SCHNEIDEWIND U,et al.The eco-restructuring of the Ruhr area as an example of a managed transition[M]//Brauch H G,Spring Ú O,John Grin.Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace.Switzerlan:Springer International Publishing,2013.
[30]RUHR REGIONALVERBAND.Green infrastructure charter Ruhr metropolis[EB/OL].(2022-11-22)[2024-08-04].https://www.rvr.ruhr/fileadmin/user_upload/01_RVR_Home/02_Themen/Umwelt_Oekologie/Offensive_GI/Dokumente/rvr_charta_bericht_2022_Web_en.pdf.
[31]HAEUPLER H.Long-term observations of secondary forests growing on hard-coal mining spoils in the industrial Ruhr Region of Germany[M]//CARREIRO M M,SONG Y C,WU J G.Ecology,planning,and management of urban forests.New York:Springer,2007.