

DOI: 10.12401/j.nwg.2023095

# 佳芦河流域山水林田湖草沙生态保护修复实践研究

王尧<sup>1,2</sup>, 张茂省<sup>3,\*</sup>, 陈华军<sup>4</sup>, 魏欣<sup>4</sup>, 郭迟辉<sup>3</sup>

(1. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035; 2. 自然资源部土地工程技术创新中心, 北京 100035; 3. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 陕西 西安 712000; 4. 陕西自然资源勘测规划设计院, 陕西 西安 710076)

**摘要:** 流域生态系统是以地表水和地下水为主要纽带, 具有明确边界的国土空间地理单元, 是国土空间生态修复的最佳实施单元。基于流域生态恢复理论, 以黄土高原地区佳芦河流域为研究对象, 在全面客观了解流域生态环境现状与生态问题的基础上, 按照“保持水土资源, 恢复自然生态”的理念, 突出水资源涵养和科学利用措施, 以保水为主线的基于自然的解决方案, 将流域划分为 8 个修复单元, 实施 13 类工程措施, 部署 4 个子项目, 形成小流域山水林田湖草沙一体化保护和修复体系, 对流域山水林田湖草沙生命共同体进行系统保护和修复。研究表明, 开展流域山水林田湖草沙生态保护修复, 有助于控制佳芦河流域及沿岸生态系统脆弱、水土流失严重、工矿与城镇水污染凸显、历史遗留矿山、农用地质量较低、生态保护和修复能力较弱等问题, 有效缓解水土流失状况和减少入黄泥沙, 持续提升流域生态环境质量, 增强山水林田湖草沙生命共同体的稳定性, 提高生态系统服务功能, 筑牢中国北方生态安全屏障, 对黄土高原地区流域生态保护修复具有启示意义。

**关键词:** 流域生态修复; 黄土高原; 山水林田湖草沙; 基于自然的解决方案; 佳芦河流域

中图分类号: P69

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)03-0121-08

## Ecological Protection–Restoration Practice of Mountains Rivers Forests Farmlands Lakes Grasslands Sands in the Jialu River Basin

WANG Yao<sup>1,2</sup>, ZHANG Maosheng<sup>3,\*</sup>, CHEN Huajun<sup>4</sup>, WEI Xin<sup>4</sup>, GUO Chihui<sup>3</sup>

(1. Land Consolidation and Rehabilitation Center, MNR, Beijing 100035, China; 2. Land Engineering Technology Innovation Center, MNR, Beijing 100035, China; 3. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 712000, Shaanxi, China; 4. Shaanxi Natural Resources Survey, Planning and Design Institute, Xi'an 710076, Shaanxi, China)

**Abstract:** Watershed ecosystem is a territorial spatial geographic unit with clear boundary, which is mainly linked by surface water and groundwater, and is the best implementation unit of territorial spatial ecological restoration. Based on the theory of watershed ecological restoration, taking the Jialu River basin in the Loess Plateau as the research object, on the basis of a comprehensive and objective understanding of the current situa-

收稿日期: 2023-03-02; 修回日期: 2023-05-17; 责任编辑: 贾晓丹

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于风险的地质环境承载力理论与评价方法研究”(41641011), 中国地质调查局项目“资源环境重大问题综合区划与开发保护策略研究”(DD20190463)和“生态保护和自然资源利用综合评价”(DD20211413)联合资助。

作者简介: 王尧(1979-), 女, 研究员, 主要研究方向为生态修复。E-mail: wangyao@lcr.org.cn。

\* 通讯作者: 张茂省(1962-), 男, 研究员, 博士生导师, 长期从事水工环地质调查、生态保护修复研究。E-mail: xazms@126.com。

tion and ecological problems of the watershed ecological environment, and in accordance with the concept of "conserving water and soil resources and restoring natural ecology", the watershed is divided into 8 restoration units, and 13 types of engineering measures are implemented, 4 subprojects will be deployed to form an integrated protection and restoration system for small watershed landscapes, forests, fields, lakes, grass and sand, and systematically protect and restore the life community of watershed landscapes, forests, fields, lakes, grass and sand. The research results show that the ecological protection and restoration of mountains, rivers, forests, fields, lakes, grass and sand in the basin will help to control the fragile ecosystem, serious water and soil loss, prominent water pollution in industrial and mining areas and cities, mines left over from history, low quality of agricultural land, weak ecological protection and restoration capacity in the Jialu River basin and its coastal areas, effectively alleviate the situation of water and soil loss, reduce sediment inflow into the Yellow River, and continuously improve the quality of the ecological environment in the basin, To enhance the stability of the life community of mountains, rivers, forests, fields, lakes, grass and sand, improve the ecosystem service function, and build the ecological security barrier in the north of China are of great significance for the ecological protection and restoration of the watershed in the Loess Plateau.

**Keywords:** watershed ecological restoration; loess plateau; mountains rivers forests farmlands lakes grasslands sands; nature based solutions; Jialu river basin

流域作为一个相对独立的自然、社会、经济复合系统,是大气圈、岩石圈、陆地水圈、生物圈相互作用的联结点,是各种人类活动和自然过程对环境影响的汇集地和综合表征体,是生态系统的最佳自然分割单元(赵斌, 2014),国土空间生态修复的最佳实施单元。众多学者以流域作为山水林田湖草生命共同体的研究尺度和载体(王震洪等, 2021),围绕流域国土空间生态修复的修复本质是协调流域人水关系(李耀懿, 2004; 左其亭等, 2022);修复对象涉及社会-经济-生态耦合系统,既包括森林、河流、湖泊、农田、城市等自然生态系统集合,又涵盖社会-经济-人文生态系统;修复类型包括高地、滨岸带、水体 3 大类(吴刚等, 1998);修复尺度包括微生境、河区、河段、上下游、全流域等 5 个尺度(孙东亚等, 2005; 王龙飞等, 2022);修复方法以再野化、基于自然的解决方案(张剑等, 2021)为主等理论和方法体系开展了大量的研究工作(王根绪等, 2005; 孔令桥等, 2019),揭示流域系统与人类活动和环境变化间的相互影响机理,提出面向流域系统整体健康的保护修复措施(杨志峰等, 2018)。但在实践中发现,还存在理论认识、参照生态系统选择、修复程度确定等不足(罗跃初等, 2003)。

黄河流域是中国人地矛盾最为突出和复杂的区域之一(傅伯杰等, 2021),黄河流域生态保护和高质量发展是重大国家战略(宋梦林等, 2022)。国家领导人十分重视,多次考察黄河强调坚持山水林田湖草沙

综合治理、系统治理、源头治理,提出中游要突出抓好水土保持和污染治理(张建云, 2019)。黄河榆林段占陕西省黄河段的近一半,具有多条重要黄河一级支流,是黄河中游泥沙主要源区。榆林市先后实施“三北”防护林建设工程、退耕还林还草工程、小流域综合治理工程、水污染系统防治工程、天然林保护工程等,实现了区域性荒漠化逆转,生态环境进入到稳定相持的崭新阶段,使得近十多年来黄河输沙量降低至历史低值水平,域内植被覆盖度显著增加(侯鹏等, 2022),但还存在整体生态环境脆弱,水土流失风险很大;生态系统结构比较单一,整体质量有待提高;生态和生活用水矛盾突出,水资源保障面临挑战;生态保护修复系统性和综合性不足等问题急需解决。

笔者选取黄土高原榆林地区佳芦河流域作为研究区,按照“保持水土资源,恢复自然生态”的理念,突出水资源涵养和科学利用措施,以保水为主线的基于自然的解决方案,构建小流域山水林田湖草沙一体化保护和修复体系,丰富和发展流域国土空间生态修复理论和方法体系,对黄土高原地区流域生态保护修复工作开展具有借鉴意义。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然地理概况

佳芦河是黄河的分支河流,河流全长为 93 km,平

均比降为 6.28%，流经佳县、榆阳区、米脂县(图 1)。流域总面积为 1 194.85 km<sup>2</sup>，水系结构简单，两岸支流短小，地理坐标为 E 109°57'33.67"~110°31'20.96"，N 37°56'37.12"~38°29'08.13"。流域北部为风沙滩地区、南部为黄土丘陵沟壑区、东部为黄土沿岸土石山区。属大陆性季风半干旱气候，多年平均气温为

10.2℃，多年平均降水量为 397.4 mm，多年平均径流量为 0.83 亿 m<sup>3</sup>。土壤类型主要有风沙土、黄绵土等。土地类型以草地为主，占流域总土地面积的 34.02%，并以天然草地为主；耕地占 22.21%，旱地在耕地中的占比达 90% 以上；林地占 19.43%，以灌木林地与其他林地为主；园地占 18.94%。



图 1 流域范围图

Fig. 1 Location of the study area

## 1.2 主要生态问题

佳芦河流域是黄河中游黄土丘陵沟壑区生态环境脆弱的地区之一，主要的生态问题涉及水土流失、植被破坏和水环境污染等。水土流失是该流域最为严重的生态问题，也是土地肥力逐渐下降、水资源匮乏的主要原因(蔡玖镗等, 2020)。同时，植被覆盖率较低和水环境污染也进一步加剧了该流域的生态问题，过去的研究对该流域的生态问题进行广泛的探讨，认识到这些问题的严重性和影响。研究结果显示，水土流失的主要原因包括降雨条件变化、土地利用方式不合理和水资源管理不当等(杨波等, 2017; 胡彩虹等, 2020)。此外，植被破坏是该流域生态问题的重要方

面之一，其成因涉及人类活动和自然灾害等多个因素(张鑫等, 2010)。在水环境污染方面，该流域受农业生产、工业排放和人类活动等多重因素的影响，导致水质恶化，生态系统遭受严重威胁(张金良, 2022)。

尽管如此，前人关于该流域生态问题研究的不足也十分明显，主要体现在：缺乏对多因素交互作用的系统性研究，对生态系统的整体运行机制了解不足；研究方法和手段相对单一，对于解决该流域生态问题的有效途径还需要更深入的探索；治理效果评价方法有待进一步完善，需要更加科学的评估手段。综上所述，虽然前人已经对佳芦河流域的生态问题有了一定的认识和探索，但仍需要进一步深入研究和探索，形

成完善的生态保护修复方案,为该流域生态环境的保护和治理提供更加全面、科学的理论和技术支持。

## 2 数据来源与处理

文中所使用的高精度遥感影像来自于榆林市全域高精度航拍成果。该成果是通过载人飞机搭载高精度航摄仪进行拍摄,经过相控、加密以及影像纠正等处理步骤后获得。为确保图像细节的准确性和可靠性,研究所采用的影像具有1m的地面分辨率。这些数据可通过榆林市国土基础信息平台在线访问和使用。同时,行政边界、河流水系和交通道路等基础地理数据均来源于榆林市自然资源局,这些基础地理数据是通过激光雷达扫描、GPS测量以及其他遥感技术手段获得的,并利用GIS软件进行处理与整理。此外,土地利用数据则来源于榆林市土地利用现状调查数据集。为确保数据的准确性和可靠性,依据国家《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017)对这些数据进行了整理与分类。在数据整理和分类过程中,笔者采用了多种方法,包括实地考察、遥感技术以及GIS技术。综上,本研究采用了多种方法和数据源进行数据处理与分析,以确保研究结果的准确性和可靠性得到保障。

## 3 研究方法

本研究旨在全面掌握流域的自然地理条件、生态系统状况、土地利用现状和社会经济状况等基本概况,并识别和诊断生态问题,最终制定并实施有效的生态保护修复方案和技术路线(图2)。

### 3.1 数据收集与生态系统现状评估

收集有关流域的基本数据,如遥感影像、地形图、地质图、土壤类型图、气候数据和植被覆盖数据等。采用无人机航测技术获取高分辨率遥感影像,结合现场调查和梯度分析方法,对生态系统结构、功能和过程现状进行了详细的调查和评估,全面了解流域的生态状况。

### 3.2 问题识别、修复目标与保护单元划分

基于生态系统现状调查与评估结果,重点识别和诊断生态胁迫、生态系统质量、生态服务和景观格局等方面存在的生态问题。根据诊断结果制定切实可行的修复目标,并根据流域生态特征和现状划分若干

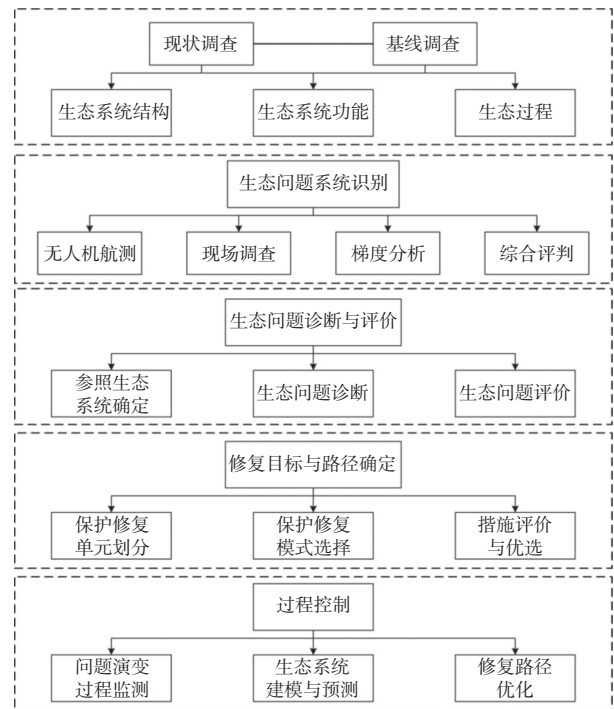


图2 生态修复技术路线图

Fig. 2 Technical Route of Ecological Restoration

保护单元,为有针对性的生态保护和修复奠定基础。

### 3.3 工程建设、布局与监测优化

在制定详细的工程建设内容和布局方案时,综合考虑技术可行性、经济效益和社会接受度等因素,确保修复目标的实现。建立健全监测体系,定期收集环境变化数据,依据监测结果,对修复策略和途径进行持续调整和优化,以保证修复工作的有效性和可持续性。

## 4 结果与分析

### 4.1 流域生态问题识别、诊断与评价

通过综合分析研究区原生生态系统历史状态以及与周边自然状况相似的生态系统状态,结合研究区水土保持与生态修复的定位和主要任务,确定了对本区生态系统影响最重要的4个一级指标,分别为土壤侵蚀、水源涵养、植被盖度和植被类型,以及相应的二级、三级指标,并参考《土壤侵蚀分类分级标准》《国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程》等标准规范,结合实地调研情况,综合评价得出流域上游主要生态问题包括沿黄林草质量较低、坡面裸露,灾害风险较大、农田质量不高、水源地保护待加强、人居环境较差、湿地萎缩,生物多样性降低、



防风固沙与水源涵养功能呈低等格局等;中下游主要面临支沟水土流失风险大、林草质量不高、河道水环境较差、交通绿带灾害风险大、城区景观格局低等问题。

#### 4.2 流域生态修复目标

生态保护和修复区面积 546.6471 km<sup>2</sup>,水土流失生态治理面积 501.66 km<sup>2</sup>,造林绿化面积 40.4913 km<sup>2</sup>,新增防护林面积 18.46 km<sup>2</sup>,碳汇增加量 5000 t,有主矿山生态保护修复面积 4.2635 km<sup>2</sup>(矿权责任主体实施),湿地保护面积 0.1 km<sup>2</sup>,农田提质改造面积 3.78 km<sup>2</sup>,历史遗留矿山生态修复面积 0.0888 km<sup>2</sup>。在确定各类生态修复目标面积时,参照国家和地方相关政策法规,充分考虑当地生态环境特

点和资源禀赋,通过多学科综合分析和专家论证来确保修复目标的合理性和科学性。

修复目标旨在增强流域水土保持能力和水源涵养能力,提升麻黄梁黄土地质公园生态系统韧性;提升黄河沿岸佳县城区景观格局,打造绿色的佳县沿黄红色革命教育基地。实施生态修复工程,有助于优化区域生态系统结构,促进生态平衡,提高生态环境质量。为了确保生态修复工程的合理性和科学性,后期将开展定期监测和评估,以便及时调整方案,以期达到预期的生态修复效果。

#### 4.3 流域生态修复单元

根据生态问题的识别和诊断结果,将该流域划分为 8 个生态修复单元(图 3),包括沿黄绿色廊道修复、

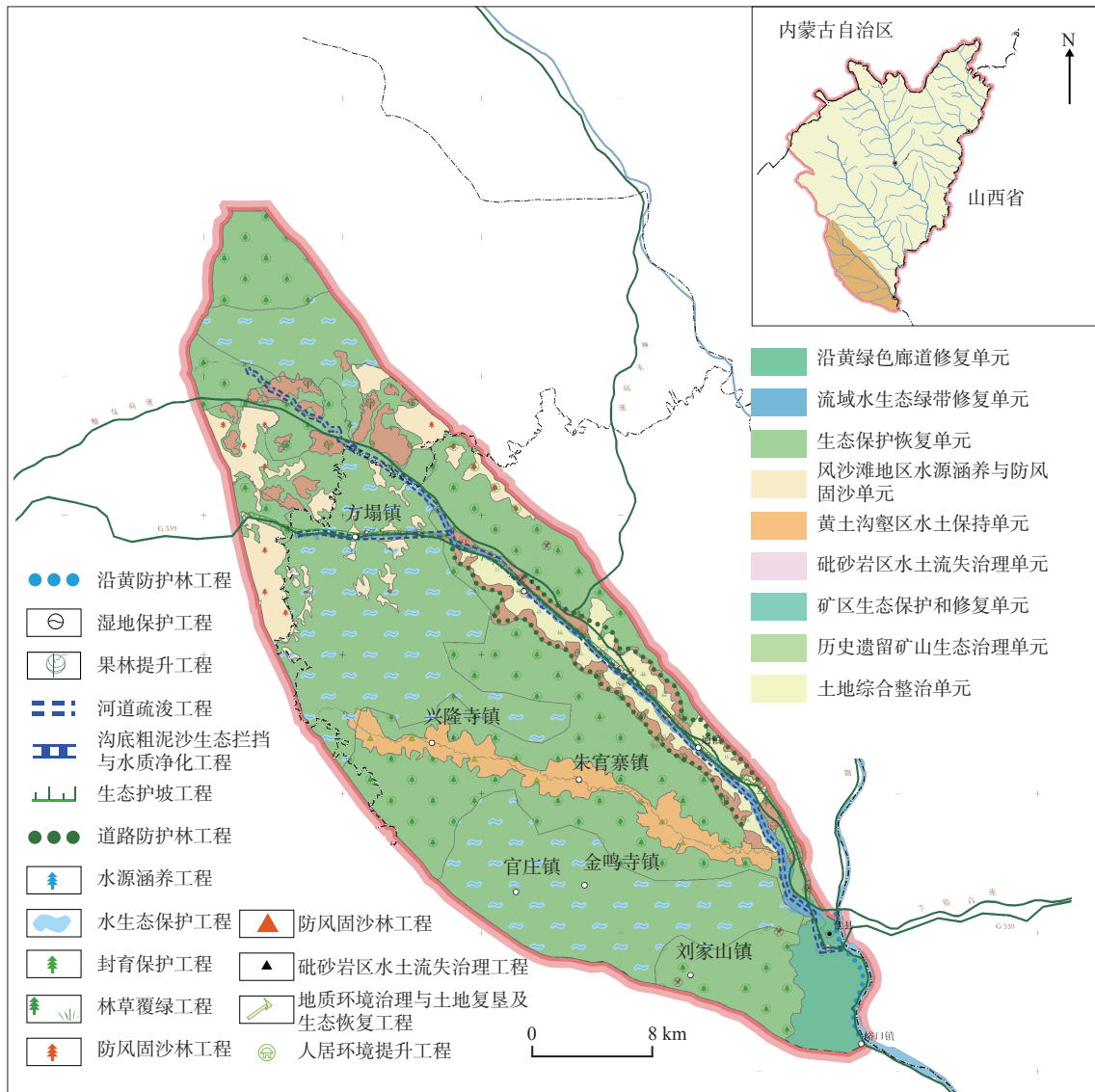


图 3 流域生态保护修复单元和工程分布图

Fig. 3 Diagram of Ecological Protection and Restoration Units and Projects in the Study Area

流域水生生态绿带修复、生态保护修复、风沙滩地区水源涵养与防风固沙、黄土沟壑区水土保持、砒砂岩区水土流失治理、矿区生态保护修复、历史遗留矿山生态治理和土地综合整治单元。

每个生态修复单元都针对该流域中存在的不同生态问题制定相应的保护和修复措施,以恢复和改善当地的生态环境。通过对这些生态修复单元的科学管理和有效实施,可以最大程度地保护和改善该流域的生态环境,提升当地居民的生活质量。这些生态修复单元的划分将有助于在未来的实践中对不同的生态问题进行更有针对性的解决,为保护和改善该流域的生态环境提供科学依据。

#### 4.4 流域生态修复工程

针对流域的核心生态问题,本研究制定了13类工程措施,包括封育保护工程、水生态保护工程、沿黄防护林工程、湿地保护工程、河道疏浚工程、生态护坡工程、道路防护林工程、防风固沙林工程、坡面粗泥沙水土保持工程、沟底粗泥沙拦挡与水质净化工

程、历史遗留矿山生态治理工程、农田提质改造工程以及人居环境提升工程。在设计这些工程措施时,笔者充分权衡了流域生态问题的多样性、紧迫性和治理优先级,同时也考虑了各类措施的技术成熟度、成本效益及生态影响。

具体工程措施分布见工程部署图(图3)。在实施阶段,根据实际情况对措施进行动态调整和完善,确保各项工程能够取得预期成效,同时为了全面评价各工程措施的实际效果,定期进行监测与评估,发现问题并根据需要调整方案,从而保障生态修复工程的合理性与科学性。

#### 4.5 流域山水林田湖草沙一体化保护和修复体系

结合流域内生态环境现状,共部署了4个项目(表1、图4)。从多维度、多尺度、多层次角度,将修复工程串联成一个彼此联系、互为依托的整体,增强点、线、面修复的叠加效应,形成小流域山水林田湖草沙一体化保护和修复体系,改善了佳芦河流域和沿黄生态系统退化状况。

表1 佳芦河流域安排项目信息表

Tab. 1 Information of subprojects of Jialu River Basin Projects

项目名称	修复目标	修复措施
水土流失综合治理子项目	总面积为132.45 km <sup>2</sup> 。多沙粗沙区水土流失生态治理面积为131.4 km <sup>2</sup> ,有主矿山生态保护修复面积为4.26 km <sup>2</sup> (由矿权主体实施),新增林地面积为0.09 km <sup>2</sup> ,林草提质增效面积为0.43 km <sup>2</sup> ,碳汇增加量为1 095.00 t,水库保护面积为0.53 km <sup>2</sup>	封育保护工程、水生态保护工程、河道疏浚工程、生态护坡工程
水土保持与沿黄绿廊建设子项目	总面积为181.10 km <sup>2</sup> 。多沙粗沙区水土流失生态治理面积达163.37 km <sup>2</sup> ,新增林地面积为8.11 km <sup>2</sup> ,林草提质增效面积为9.53 km <sup>2</sup> ,碳汇增加量为1 735.80 t,湖泊湿地保护修复面积为0.1 km <sup>2</sup> 。	封育保护工程、沿黄防护林工程、湿地保护工程、坡面粗泥沙水土保持工程等
土地综合整治与人居环境提升子项目	总面积为82.67 km <sup>2</sup> 。多沙粗沙区水土流失生态治理面积为71.2 km <sup>2</sup> ,河流生态保护修复长度为40 km,新增林地面积为3.53 km <sup>2</sup> ,林草提质增效面积为4.15 km <sup>2</sup> ,碳汇增加量为1 840.66 t,农业空间生态保护修复面积为3.78 km <sup>2</sup>	封育保护工程、农田提质改造工程、道路防护林工程、生态护坡工程、河道疏浚工程、文化与旅游景观生态提升工程
风沙滩地区防风固沙子项目	总面积为150.43 km <sup>2</sup> 。多沙粗沙区水土流失生态治理面积为135.69 km <sup>2</sup> ,历史遗留矿山生态修复面积达0.09 km <sup>2</sup> ,有新增林地面积为6.73 km <sup>2</sup> ,林草提质增效面积为7.91 km <sup>2</sup> ,碳汇增加量为328.55 t	封育保护工程、水生态保护工程、防风固沙林工程、历史遗留矿山生态治理工程

## 5 结语

根据研究区自然地理条件空间分异特征和生态环境问题成因分析,针对佳芦河流域及沿岸生态系统脆弱、水土流失严重、工矿与城镇水污染凸显、历史

遗留矿山、农用地质量较低、生态保护和修复能力较弱等问题,遵循“保持水土资源,恢复自然生态”的主导思想,将流域划分为8个修复单元,采取4种修复模式,结合域内生态环境现状,共部署了4个子项目,从多维度、多尺度、多层次角度,将佳芦流域山水林田湖草沙生态保护修复工作串联形成小流域山

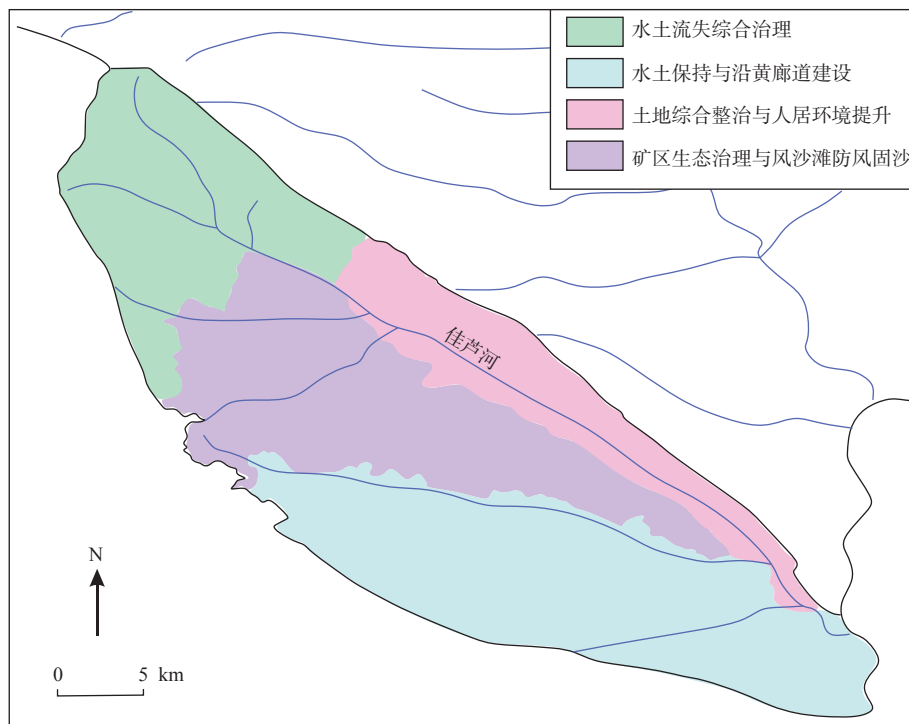


图4 佳芦河流域工程子项目布局图

Fig. 4 Layout of subprojects of Jialu River Basin Project

水林田湖草沙一体化保护和修复体系,进行综合治理,修复流域生态环境,将有效改善佳芦河流域和沿黄生态系统退化状况,可以实现巩固区域生态系统稳定,减少和控制区域内黄河入沙量,促进佳芦河流域及黄河流域高质量发展生态目标的实现。

## 参考文献(References):

- 蔡玖锚, 安乐平, 秦瑞杰. 佳芦河流域水土保持监测及土壤侵蚀评价[J]. *中国水土保持*, 2020, (02): 42-44+5.
- CAI Jiuying, AN Leping, QIN Ruijie. Monitoring of soil and water conservation and evaluation of soil erosion in Jialuhe River Basin[J]. *China Soil and Water Conservation*, 2020, (02): 42-44+5.
- 傅伯杰, 王帅, 沈彦俊, 等. 黄河流域人地系统耦合机理与优化调控[J]. *中国科学基金*, 2021, 35(04): 504-509.
- FU Bojie, WANG Shuai, SHEN Yanjun, et al. Coupling mechanism and optimal regulation of human-environment system in the Yellow River Basin[J]. *China Science Foundation*, 2021, 35(04): 504-509.
- 胡彩虹, 冉广, 荐圣淇. 佳芦河流域林草覆被变化对产流机制的影响[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(02): 36-42.
- HU Caihong, RAN Guang, JIAN Shengqi. The impact of vegetation changes on runoff generation mechanism in Jialuhe River Basin[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(02): 36-42.
- 侯鹏, 翟俊, 高海峰, 等. 黄河流域生态系统时空演变特征及保护修复策略研究[J]. *环境保护*, 2022, 50(14): 26-28.
- HOU Peng, ZHAI Jun, GAO Haifeng, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of the ecosystem in the Yellow River Basin and research on protection and restoration strategies[J]. *Environmental Protection*, 2022, 50(14): 26-28.
- 孔令桥, 王雅晴, 郑华, 等. 流域生态空间与生态保护红线规划方法——以长江流域为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(03): 835-843.
- KONG Lingqiao, WANG Yaqing, ZHENG Hua, et al. Watershed ecological space and ecological protection redline planning method: a case study of the Yangtze River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(03): 835-843.
- 李耀懿. 流域人水关系的系统分析[J]. *成都理工大学学报(社会科学版)*, 2004, 12(03): 31-34.
- LI Yaoyi. Systematic analysis of human-water relationship in river basins[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Social Sciences Edition)*, 2004, 12(03): 31-34.
- 罗跃初, 周忠轩, 孙轶, 等. 流域生态系统健康评价方法[J]. *生态学报*, 2003, 23(08): 1606-1614.
- LUO Yuechu, ZHOU Zhongxuan, SUN Yi, et al. Assessment method for watershed ecosystem health[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(08): 1606-1614.

- 宋梦林, 王园欣, 史玉仙. 黄河流域不同区段水资源与水环境特征及生态保护路径[J]. 水资源开发与管理, 2022, 8(06): 17-25.
- SONG Menglin, WANG Yuanxin, SHI Yuxian. Characteristics of water resources, water environment and ecological protection in different sections of the Yellow River Basin[J]. Water Resources Development and Management, 2022, 8(06): 17-25.
- 孙东亚, 赵进勇, 董哲仁. 流域尺度的河流生态修复[J]. 水利水电技术, 2005, (05): 11-14.
- SUN Dongya, ZHAO Jinyong, DONG Zheren. River ecological restoration at the watershed scale[J]. Water Resources and Hydro-power Technology, 2005, (05): 11-14.
- 王根绪, 刘桂民, 常娟. 流域尺度生态水文研究评述[J]. 生态学报, 2005, (04): 892-903.
- WANG Genxu, LIU Guimin, CHANG Juan. Review on watershed-scale eco-hydrological research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, (04): 892-903.
- 王龙飞, 王子怡, 李轶. 基于连通性恢复的潜流带生态修复研究进展[J]. 水科学进展, 2022: 1-11.
- WANG Longfei, WANG Ziyi, LI Yi. Research progress on hyporheic zone ecological restoration based on connectivity restoration[J]. Advances in Water Science, 2022: 1-11.
- 王震洪, 蔡庆华, 赵斌, 等. 流域生态系统空间结构量化及其指标体系[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(01): 135-149.
- WANG Zhenhong, CAI Qinghua, ZHAO Bin, et al. Quantification of watershed ecosystem spatial structure and its indicator system[J]. Journal of Earth Sciences and Environmental Studies, 2021, 43(01): 135-149.
- 吴刚, 蔡庆华. 流域生态学研究内容的整体表述[J]. 生态学报, 1998, (06): 13-19.
- WU Gang, CAI Qinghua. The overall description of the research content of watershed ecology[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, (06): 13-19.
- 杨波, 王全九, 郝姗姗. 佳芦河流域 1988—2013 年土壤侵蚀时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2017, 31(05): 87-92.
- YANG Bo, WANG Quanjiu, HAO Shanshan. Spatiotemporal variation characteristics of soil erosion in Jialuhe River Basin from 1988 to 2013[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2017, 31(05): 87-92.
- 张金良. 黄河流域河湖生态环境复苏研究[J]. 水资源保护, 2022, 38(01): 141-146.
- ZHANG Jinliang. Research on the recovery of river and lake ecological environment in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(01): 141-146.
- 杨志峰. 流域生态学及其应用[J]. Engineering, 2018, 4(05): 9-12.
- YANG Zhifeng. Watershed ecology and its application[J]. Engineering, 2018, 4(05): 9-12.
- 张建云. 流域生态修复实践与认识[J]. 中国水利, 2019, (22): 11-13.
- ZHANG Jianyun. Practice and understanding of watershed ecological restoration[J]. China Water Resources, 2019, (22): 11-13.
- 张剑, 赵进勇, 彭文启, 等. 基于自然解决方案的流域生态修复成效评估研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(12): 69-72.
- ZHANG Jian, ZHAO Jinyong, PENG Wenqi, et al. Effectiveness assessment of watershed ecological restoration based on nature-based solutions[J]. Journal of Hydroelectric Energy Science, 2021, 39(12): 69-72.
- 张鑫, 杜朝阳, 蔡焕杰. 黄河中游区佳芦河流域生态脆弱性评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(S1): 155-158.
- ZHANG Xin, DU Chaoyang, CAI Huanjie. Ecological vulnerability assessment of Jialuhe River Basin in the middle reaches of the Yellow River[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(S1): 155-158.
- 赵斌. 流域是生态学研究的最佳自然分割单元[J]. 科技导报, 2014, 32(01): 12.
- ZHAO Bin. Watershed is the best natural partition unit for ecological research[J]. Science and Technology Review, 2014, 32(01): 12.
- 左其亭, 李佳伟, 于磊. 黄河流域人水关系作用机理及和谐调控[J]. 水力发电学报, 2022, 41(02): 1-8.
- ZUO Qiting, LI Jiawei, YU Lei. Mechanism and harmonious regulation of human-water relationship in the Yellow River Basin[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2022, 41(02): 1-8.