

(月刊)

(2003 年创刊)

第 23 卷 第 3 期(总第 272 期)

2025 年 3 月 28 日出版

中国学术期刊网络出版总库收录

中国核心期刊(遴选)数据库收录

中文科技期刊数据库收录

《黑龙江国土资源》编辑委员会

顾问: 张凤荣 吴克宁 郝国杰 王永德
陈 阵

主 编: 吴松涛

副 主 编: 杜国明 许大为 周传芳

执行主编: 王 月

编 委 (按姓氏笔画排序):

于 新 马 辉 王 冠 王 蕾
王成全 王作为 甘 露 冯 喆
朱 逊 刘小宁 许大明 杜兵盈
李向文 李同予 李全峰 李成禄
李城润 李惠芹 李蒙蒙 佟智强
宋静波 张 力 张 军 张文友
张昊哲 杨 灵 周小新 郑吉林
单景才 赵海山 赵景海 宫金辉
徐立明 高凤杰 高春义 黄朝明
黄善林 崔 禹 商宇航 宿一宁
梁旭方 彭 晓 潘 玮

本期执行编辑: 周传芳

编 辑: 李佳慧 朱超宇 田 薇

摄 影: 计世伟

主 管: 黑龙江省自然资源厅

主 办: 黑龙江省土地学会

黑龙江省地质学会

黑龙江省矿业协会

目 次

国土空间

乡村文化遗产保护中活态传承与景观叙事的耦合模式研究

——以锦江木屋村“三生空间”概念设计为例

..... 梁旭方, 连国庆 (3)

基于空间句法标准化系数对城市居民步行空间的设计评价

——以吉林市龙潭区南部为例

..... 马 辉, 张逸晨 (12)

AI 赋能的资源枯竭型城市全域旅游规划策略研究

——以鹤岗市为例

..... 周小新, 周玉源, 张 冲 (21)

土地科学

土地整治对区域生态系统服务功能的影响及优化策略

..... 郭家相, 郭家瀚 (30)

高标准农田建设对农业生产的影响及创新路径研究 石建华 (37)

地质矿产

地表基质遥感调查主要内容及方法探讨

..... 李东辉, 孙 肖, 霍润斌, 等 (44)

城市地下管道物探中的多物理场耦合反演技术研究

..... 刘光勇 (52)

教学改革

乡村振兴背景下 PBL 模式在农业资源与环境专业研究生

课程教学中的应用 金鑫鑫, 王 帅, 安 晶, 等 (60)

工程系统观下的绿色设计教学研究与实践

..... 许彧青, 王 欢, 商 振, 等 (66)

(Monthly)

(Published Since 2003)

Vol.23 No.3 (Serial No.272)

Published on Mar.28, 2025

China Academic Journal Network Publishing
Database

China Core Journal Alternative Database

China Science and Technology Journal Database

Editorial Board of Heilongjiang Land and Resources

Consultants: ZHANG Fengrong WU Kening
HAO Guojie WANG Yongde
CHEN Zhen

Chief Editor: WU Songtao

Associate Chief Editor: DU Guoming XU Dawei
ZHOU Chuanfang

Executive Chief Editor: WANG Yue

Editorial Board Members:

YU Xin MA Hui WANG Guan WANG Lei
WANG Chengquan WANG Zuowei GAN Lu
FENG Zhe ZHU Xun LIU Xiaoning XU Daming
DU Bingying LI Xiangwen LI Tongyu LI Quanfeng
LI Chenglu LI Chengrun LI Huiqin LI Mengmeng
TONG Zhiqiang SONG Jingbo ZHANG Li
ZHANG Jun ZHANG Wenyou ZHANG Haozhe
YANG Ling ZHOU Xiaoxin ZHENG Jilin
SHAN Jingcai ZHAO Haishan ZHAO Jinghai
GONG Jinhui XU Liming GAO Fengjie
GAO Chunyi HUANG Zhaoming HUANG Shanlin
CUI Yu SHANG Yuhang SU Yining
LIANG Xufang PENG Xiao PAN Wei

Executive Editor: ZHOU Chuanfang

Editor: LI Jiahui ZHU Chaoyu TIAN Wei

Photographer: JI Shiwei

Superintended by: Department of Natural Resources
of Heilongjiang Province

Sponsored by: Heilongjiang Land Science Society
Heilongjiang Geological Society
Heilongjiang Mining Federation

CONTENT

TERRITORIAL SPACE

- Research on the Coupling Model of Living Heritage Transmission
and Landscape Narrative in Rural Cultural Heritage Protection:Case
Study of the "Living,Production and Ecology Space"Concept Design
In Jinjiang Wooden House Village
..... LIANG Xufang, LIAN Guoqing (11)
- Design Evaluation of Urban Residents' Walking Space based on
Space Syntax Standardized Coefficients: Case Study of the Southern
Part of Longtan District, Jilin City
..... MA Hui, ZHANG Yichen (20)
- AI-Empowering Regional Tourism Planning Strategy for Resource-
Exhausted Cities:Case Study of Hegang City
..... ZHOU Xiaoxin, ZHOU Yuyuan, ZHANG Chong (29)

LAND SCIENSE

- The Impact of Land Consolidation on Regional Ecosystem Services
and its Optimization Strategies
..... GUO Jiaxiang, GUO Jiahua (36)
- Research on the Impact of Well-Facilitated Farmland Construction
on Agricultural Production and Innovative Paths
..... SHI Jianhua (43)

GEOLOG AND MINERAL

- Discussion on the Main Contents and Methods of Remote Sensing
Investigation of Ground Matrix
..... LI Donghui, SUN Xiao, HUO Runbin, et al (51)
- Research on Multi-Physics Field Coupling Inversion Technique
in the Geophysical Exploration of Urban Underground Pipeline
..... LIU Guangyong (59)

EDUCATIONAL REFORM

- The Application of PBL Mode in the Teaching of Postgraduate
Courses of Agricultural Resources and Environment under Rural
Revitalization
..... JIN Xinxin, WANG Shuai, AN Jing, et al (65)
- Research and Practices on the Green Design Teaching from
Engineering System
..... XU Yuqing, WANG Huan, SHANG Zhen, et al (71)

乡村文化遗产保护中活态传承与景观叙事的耦合模式研究

——以锦江木屋村“三生空间”概念设计为例

梁旭方*, 连国庆

(长春理工大学, 长春 130022)

摘要:乡村文化遗产保护中普遍存在静态保护政策与动态生活需求之间的矛盾,如何破解这一困境已成为理论和实践研究的关键问题。本研究以吉林省锦江木屋村为典型案例,探索“活态传承”与“景观叙事”协同作用下的遗产保护模式,以期推动传统村落可持续发展。研究运用田野调查、理论分析和概念设计等实验方法,系统分析锦江木屋村的文化遗产特征及其保护的现实困境;构建以“三生空间”(生活、生产、生态)为基础的“活态传承—景观叙事”耦合模式,通过概念设计实验验证了该模式的有效性。研究结果表明,该模式能够实现物质空间保护、文化记忆重构与社区认同再生的目标。研究结果表明,这一跨学科的耦合模式为乡村文化遗产保护提供了兼具理论创新和实践可行性的实施路径,对东北地区传统聚落保护具有重要的示范意义。

关键词:活态传承;景观叙事;三生空间;耦合机制;井干式建筑

中图分类号:TU984.114

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)03-0003-9

0 引言

在城乡融合发展与乡村振兴战略的双重驱动下,中国传统村落保护正从“标本式封存”转向“活态化再生”的新范式。2021年中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于在城乡建设中加强历史文化保护传承的意见》明确提出“以用促保”原则,强调通过功能激活实现文化遗产的可持续传承^[1]。这一政策转向标志着保护理念从单一物质空间的物理存续,拓展为文化生态系统的整体再生,具有重要的学术价值与现实意义。

当前学界关于传统村落保护的研究多集中于建筑本体修缮与旅游开发路径,但普遍存在“重形轻神”、忽视文化语境的现象,导致传统文化被符号化、展演化,原真性不断被弱化。尤其在东北寒地木构村落中,如入选第四批中国传统

村落名录的吉林省锦江木屋村,其“井干式”木构技艺、山林采参生计与萨满信仰构成的文化系统,正遭遇村落空心化、技艺断代与文化异化等多重挑战。既有保护措施多为静态封存,难以回应村落日常生活的动态需求,村民参与度低、认同感弱,传统文化的生命力逐渐丧失。针对这一现实困境,本研究以锦江木屋村作为典型案例,探讨以木屋为代表的满族山林文化复合体的文化遗产特征,提出研究核心问题:如何通过活态传承与景观叙事的协同,实现锦江木屋村传统文化的再生?在理论层面,结合文化遗产保护“活态性”原则、景观生态学“空间叙事”理论与传播学“符号再生产”逻辑,探索文化空间的再编码路径;在方法层面,采用“田野调查—理论建构—设计验证”的三阶段研究策略,通过驻村调研还原木构技艺生态,通过案例对比引入日本岐阜县白川乡与挪威卑尔根市布吕根的经验,构建

基金项目:2024年吉林省科学技术厅创新发展战略研究一般项目《吉林省特色民居特色村寨保护与发展策略研究》(20240701141FG)。

本土化保护机制^[2]。

本文的研究目标在于:构建“生产—生活—生态”三生空间耦合的文化遗产保护模式,破解传统村落文化遗产动态延续与文化记忆重构难题。通过符号转译、功能再生与场景重构,形成文化解码到空间转译的闭环路径,为东北地区寒地传统村落的保护与再生提供理论支撑与实践范式。

1 锦江木屋村文化遗产特征与保护困境

1.1 锦江木屋村文化遗产特征分析

锦江木屋村坐落于吉林省长白山地区,作为东北地区典型的满族传统村落,完整保存了以“井干式”建筑为核心、融合满族山林生产生活方式和生态智慧的整体文化体系。文化遗产特征主要体现在建筑技艺、聚落空间格局和生态智慧三个维度,这三个维度彼此关联,共同构成了丰富的文化遗产表达体系。

从建筑技艺维度看,锦江木屋村以“井干式”木结构体系为主要特征,这种技艺体现了满族人民对本地材料的智慧化利用与加工。其构造工艺巧妙,强调木材之间的横向交错垒叠与黄泥填缝工艺,形成既稳固又保温的建筑结构。这种技艺不仅具有实用功能,更体现了东北地区特有的技术审美和材料逻辑,形成了独特的视觉与空间文化表达。

从聚落空间格局维度看,锦江木屋村具有独特的“鱼骨形”村落布局特征^[3]。主干道贯穿村落中心,各支路依山势自然延伸,形成“人居—

生产—生态”三维一体的聚落肌理。这种空间组织模式不仅体现了满族传统社会的集体协作与资源共享精神,更暗含了该区域长期形成的山林生产生活方式与文化信仰,使空间布局成为文化记忆与地方认同的载体(图 1)。

生态智慧维度则体现在村落建筑和生产生活方式与生态环境的高度协调上。锦江木屋村的建筑设计充分考虑当地的气候特点,如屋顶陡峭的倾角有效解决积雪问题,而木材选择与采伐方式体现出满族生态伦理与自然观念。此外,村落还形成了一整套生态循环利用机制,比如利用森林资源的采伐剩余物作为建筑或生活的燃料,体现了人与自然和谐共生的生态文化智慧。

综上所述,锦江木屋村的文化遗产特征并非单纯的建筑技术表达,而是技艺、空间、生态相融合形成的完整文化系统。该系统不仅体现了满族特有的地方文化特质,还体现了传统社会对自然资源的深刻理解与文化智慧。明确这些特征有助于更清晰地认识传统文化遗产的整体性和系统性,为本研究后续探讨活态传承与景观叙事的耦合模式提供了坚实基础。

1.2 锦江木屋村文化遗产保护的现实困境

尽管锦江木屋村具有独特且系统的文化遗产特征,但其保护却面临诸多现实困境,严重影响了文化遗产的可持续发展^[4]。这些困境主要体现在非物质文化技艺传承危机、村落空心化现象突出、静态保护政策与动态生活需求之间的矛盾三个方面。



图 1 锦江木屋村民居

首先,非物质文化遗产的传承正面临严重断裂危机。随着现代经济转型与村落旅游化进程加快,年轻一代逐渐远离传统技艺,掌握关键传统工艺与技艺的匠人群体逐渐老龄化。传统技艺的习得需要长期实践与沉淀,年轻村民出于经济效益考虑,大量流入城市或投身旅游服务业,这直接导致技艺传承的主体与机制出现断裂,威胁了非物质遗产的持续活态传承能力。

其次,村落空心化现象日益加剧,威胁着传统村落的整体社会生态。近年来,由于当地生产方式与经济结构发生转型,大批村民特别是年轻劳动力外出务工,村落内部居民数量显著减少,导致社区活力下降。空心化使得传统社区功能弱化,文化活动难以持续开展,村落作为活态文化场域的基础逐渐流逝。人口流失和社区功能退化进一步弱化了居民对传统文化的认同感和归属感,形成了文化保护与社会发展脱节的现实问题。

最后,静态保护政策与动态生活需求之间的矛盾日益凸显。当前官方推行的保护政策多强调文物一级保护标准,限制传统建筑进行功能性与舒适性改造,导致村民生活条件难以改善。村民为满足现代生活基本需求,不得不采用违规加建或新建现代化材料与设施的方法,严重影响了村落整体风貌与文化原真性。这种政策与需求的矛盾使文化遗产保护陷入尴尬境地,即保护政策看似严格,实际效果却适得其反,导致保护与发展难以同步推进。

因此,锦江木屋村面临的文化遗产保护困境并非单一技术或政策问题,而是一个涉及文化传承、人居环境与社会发展协同复杂的系统问题。这些现实困境提示本研究有必要从文化遗产动态保护的视角,探讨如何有效推动活态传承与景观叙事之间的协同机制,构建既能保护文化遗产,又能满足现代社会需求的创新保护路径。

2 文化遗产保护的理论与案例启示

2.1 活态传承与景观叙事耦合的理论框架构建

活态传承与景观叙事耦合的理论框架构建

主要基于“活态传承”与“景观叙事”两个核心维度,旨在破解当前乡村文化遗产保护中静态保护与动态生活需求之间的矛盾,提出跨学科协同的理论模式,以实现文化遗产的动态保护与持续传承^[5]。

活态传承维度强调遗产保护的动态性和持续性,强调遗产不应仅作为静态展品被保存,而应通过积极的功能更新、社区的日常参与以及治理机制的创新实现生命力延续。社区参与是活态传承的基础,强调保护工作必须融入社区居民日常生活与文化实践中,以此增强居民对自身文化的认同感和责任感;功能更新则强调通过空间的适应性改造与功能置换,使遗产建筑能够更好地适应当代生活需要,从而获得持续使用与维护;主体共治强调在保护过程中应建立多元主体协作治理的机制,推动社区居民、设计师、匠人以及游客之间的积极互动,使保护工作具备更广泛的社会支持和参与基础。

景观叙事维度聚焦于文化记忆的空间表达与传递,通过空间符号的转译和多感官交互设计构建丰富的空间叙事体验。符号转译关注文化空间的叙事表达层次,即从具象物质空间向抽象文化符号再向深层文化隐喻的逐级转译,使空间能够超越简单的物理形式,呈现地方独特的历史记忆与文化内涵;多感官交互则运用视觉、听觉、触觉等感官刺激,通过现代数字技术和沉浸式体验强化空间的叙事能力,使空间叙事不仅具有文化的丰富性,也具备强烈的情感感染力与互动体验性,进一步增强文化遗产保护与传播的实效。

在此基础上,本研究明确了理论构建的路径,即以跨学科的理论融合为基础,将文化遗产活态性保护理论、景观空间叙事理论与传播学的符号再生产理论进行整合,并提出以“三生空间”(生活、生产、生态)为理论模型的综合架构^[6]。这一理论模型强调,文化遗产保护并非单纯的物质或非物质保护,而应将生产生活与生态环境协调融合,实现遗产保护的整体性、系统性和可持续性。这种综合理论框架不仅为锦江木屋村的文化遗产保护提供清晰、跨学科的理论指

导,更为乡村遗产保护的理论研究和实践探索提供了系统化的范式支撑。

2.2 文化遗产保护的案例分析及启示

选取日本白川乡、挪威布吕根码头、贵州板万古寨与云南哈尼梯田四个典型文化遗产保护案例进行分析,并探讨其对锦江木屋村保护的启示。

日本白川乡的核心经验在于制度与仪式化活动,以长期持续的社区参与保障文化技艺的活态传承。其启示是活态传承需要建立制度化与仪式化的文化活动,以将传统技艺与社区日常实践融合,使遗产保护获得社区的集体认同和持续动力(图2)。挪威布吕根码头的保护经验突出于数字技术与空间符号的叙事表达路径。其启示是景观叙事需借助现代数字技术,强化空间文化记忆的呈现效果与情感连接,推动文化遗产从

物质空间向文化记忆空间转化。

贵州板万古寨的经验集中于空间适应性改造和功能更新,以非侵入式技术策略平衡传统空间原真性与现代使用需求。启示是文化遗产保护必须主动适应当代生活需求,通过适应性功能改造使传统建筑空间持续发挥社会价值(图3)。云南哈尼梯田的经验则强调生态协同与整体保护,通过文化与生态环境的融合实现遗产保护的可持续性。其启示是遗产保护实践需树立整体性生态视角,实现人与自然环境协调发展,推动遗产保护与生态修复的协同共进(图4)。

以上案例经验启示了遗产保护的复合路径,即需建立制度仪式、采用数字叙事、实施适应性功能更新与生态整体协同的综合策略,以促进乡村文化遗产保护模式的全面优化和实践有效性提升。



图2 日本白川乡历史村落及民居

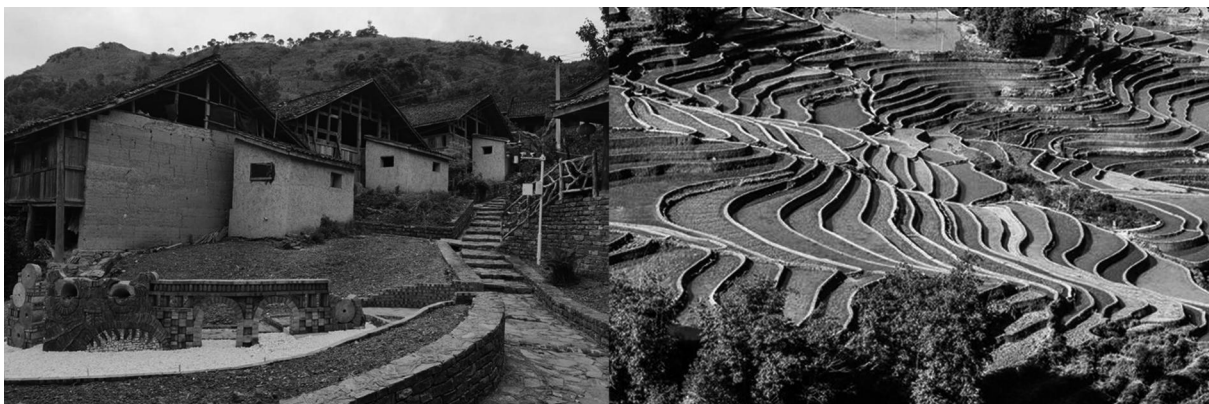


图3 贵州板万古寨

图4 云南哈尼梯田

3 活态传承与景观叙事耦合模式的构建

3.1 耦合模式的运行机制构建

“活态传承与景观叙事”耦合模式运行机制包含两个相互作用的子系统,即功能活化驱动系统与叙事转译协同系统^[7]。两个系统通过各自清晰明确的内在逻辑推动遗产保护目标实现,并在运行过程中相互促进、彼此支持,形成动态循环的耦合机制。其中,功能活化驱动系统通过非侵入式技术策略、空间功能置换和传统材料创新,解决遗产空间使用需求与保护之间的矛盾,延续文化技艺的生命力;叙事转译协同系统则通过空间符号的三级转译逻辑和AR多感官交互设计,将抽象的文化记忆转化为可体验的空间叙事,以增强文化认同感与遗产活态性。这两个子系统在运行中共同作用,既实现了空间物质遗产的保护与更新,也确保了文化记忆与地方认同的持续传承,形成了完整的动态保护与文化传播生态系统。

3.1.1 构建功能活化驱动系统

功能活化驱动系统旨在解决传统遗产空间原真性保护与现代功能需求之间的矛盾,通过构建明确的空间功能适应性置换与材料创新策略,实现遗产空间的持续利用与保护目标。首先,建立非侵入式技术路径,以模块化设计和可逆改造的技术方法,在不损害建筑结构与外观的前提下实现空间功能适应性更新;其次,确定空间功能置换逻辑,将闲置的传统建筑空间重新赋予文化生产、技艺展示与社区互动等新功能,提升空间的实际使用价值;最后,以材料创新策略探索传统材料的可替代性应用,如利用新材料或对旧材料进行改进处理,满足保护的真实性原则,同时提高空间的舒适度与耐久性^[8]。通过上述三个策略协同作用,形成完整的功能活化驱动系统,为遗产活态传承提供持续推动力。

3.1.2 构建叙事转译协同系统

叙事转译协同系统聚焦于空间符号表达与多感官交互体验,致力于强化文化记忆的空间传播效果^[9]。首先明确了符号三级转译逻辑,即

从空间物质实体的具象表达,向更易感知和识别的空间符号系统抽象转化,最终升维为具有地方文化隐喻意义的空间叙事表达。这一过程使文化空间表达更具普遍传播性与深刻的文化感染力。其次,通过AR增强现实、多感官互动技术等数字化手段,将空间符号转译为沉浸式体验系统,强化公众与遗产空间之间的情感连接,提升文化遗产的活态传播与体验效果。以上空间叙事与互动体验的协同作用,构成了遗产文化记忆再生产与认同感生成的重要机制,确保遗产空间文化叙事的动态性与持续性。

3.2 耦合模式的支撑体系构建

耦合模式支撑体系为上述运行机制提供基础性保障,包括时序整合机制、空间梯度管控机制与主体共治网络体系三个关键组成部分。三个体系相互协同,各有明确的功能与作用,共同保障遗产保护工作的系统性、持续性和可操作性^[10]。时序整合机制强调遗产保护与地方自然与人文节律协调;空间梯度管控机制以明确的空间差异化保护管理措施,确保文化遗产空间的合理利用与保护;主体共治网络体系则强调多方主体参与协作,形成长效治理与共同管理的机制。这三个支撑体系共同作用,提供了确保耦合模式稳定运行的治理基础和管理框架,最终实现文化遗产保护的动态协调与持续发展。

3.2.1 构建时序整合机制

时序整合机制以遗产保护与地方自然、生产与文化节律之间的协调为核心,强调将文化遗产保护活动与当地生态环境、社会生产与社区生活周期有机结合,形成统一的节律化保护实践模式^[11]。具体而言,通过系统规划全年文化活动与生产实践的时序布局,建立遗产保护活动的周期性与节奏性安排,如季节性的文化节庆活动与农事生产周期安排,使遗产保护融入地方居民的日常生活节奏中。此外,通过合理的时间管理使游客与社区居民更深入地感知遗产文化空间的意义,增强文化认同与保护意识。这种时序整合有利于增强遗产保护的主动性与地方社区的参与度,形成持续的文化保护与生产互动。

3.2.2 构建空间梯度管控机制

空间梯度管控机制明确提出对遗产空间实施差异化保护管理措施,通过明确划分核心保护区、功能更新区和生态缓冲区等多层次管控体系,分别制定相应的保护标准和管理要求,确保保护策略精准有效^[12]。在核心保护区,实行最严格的保护措施,仅允许对传统建筑结构的原貌进行保护性修复,严禁进行影响建筑原真性的改动。在功能更新区,通过非侵入式技术和适应性改造措施实现空间功能的动态更新,保证文化遗产的使用价值与保护价值的平衡。在生态缓冲区,强调恢复与维护生态系统完整性,通过生态保护措施形成保护区与周边生态环境的良性互动。这种梯度管控策略保证了文化遗产空间保护的全面性和层次性,使保护更具有科学性和有效性。

3.2.3 构建主体共治网络体系

主体共治网络体系强调遗产保护的多元主体参与协作治理,形成村民、设计师、传统技艺匠人与游客多方共治的合作治理结构^[13]。首先明确社区居民作为遗产保护主体,赋予其保护决策的参与权和监督权,充分激发社区的积极性与责任感。其次,通过引入专业设计师与传统技艺匠人共同合作,提升保护措施的科学性与实践可操作性。最后,游客作为外部主体通过互动体验的方式参与保护实践,有助于拓展遗产保护的传播效应与经济支持来源。主体共治机制通过建立沟通与合作平台,形成多元主体之间的常态化互动,使保护治理具备民主性和有效性,确保文化遗产保护长效运行与可持续发展。

4 耦合模式的概念设计实验验证

4.1 建筑空间功能再生实验设计

部分闲置木屋非侵入式改造与空间功能置换,使其在保留历史风貌的基础上,具备适应当代使用需求的能力。在改造过程中,技术团队采用模块化可逆构建方式,对木屋内部空间进行轻质隔断、隐蔽设施布设及舒适性提升处理,同时通过空间再规划,将原本封闭、低效的传统空间

转化为可用于技艺展示、文化交流与村民社交的复合型共享空间。实验结果显示,经过改造的建筑既具备现代功能,又保有原貌特征,提升了木屋的使用率与文化识别度,为传统空间赋予了持续生命力。

4.1.1 建筑适应性改造实验路径

在锦江木屋村的建筑适应性改造实验中,选取三处具有典型结构的传统木屋作为样本,实施非侵入式技术更新路径。首先,在木屋内墙与吊顶之间嵌入轻质复合保温板,提升居住舒适度且不破坏木构本体;其次,利用现有木构缝隙和地面通道,铺设电气与水暖设施,最大程度保持空间完整性;最后,卫浴及厨房功能通过可逆模块单元整合到木屋内侧附加空间中,不影响原有结构,同时满足村民与游客的基本生活需求。改造过程严格遵循最小干预原则,确保所有新设施可在不破坏建筑的情况下拆除或替换。通过该路径,传统木屋在保持原真性的前提下获得了适应性功能提升,实现文化遗产的活化再生与可持续使用。

4.1.2 建筑空间功能置换实验策略

在锦江木屋村的建筑功能置换实验中,选择村内两栋年久失修但结构完好的木屋,分别改造为“木艺非遗体验馆”与“文化创客工坊”。前者结合村内现有木作传统,由村中老匠人主导改造方案,将空间分区用于技艺展示、互动体验和教学场所;后者则邀请高校设计团队参与,将传统空间引入现代工作坊功能,设立多媒体展示区与创意产品孵化区。通过空间使用方式的重构,实现村民、游客与文创团队的多元互动,使木屋从静态展示走向动态生产,推动遗产空间的再利用。实验结果显示,新功能的导入不仅提升了空间活力,也增强了村落经济循环与文化传播力,为传统建筑的社会价值再塑提供了实践样本。

4.2 生态文化景观叙事重构实验设计

锦江木屋村的生态文化景观叙事重构实验,围绕其丰富的山水格局与历史农耕文化展开,结合“叙事转译协同系统”构建文化表达与生态修复并重的景观系统^[14]。在村落南侧溪水沿岸,

通过生态修复方式恢复废弃梯田系统,辅以原生植物种植与传统灌溉沟渠清理,使景观重新具备生产性与生态价值;在村中主路径设置叙事节点,以空间导视系统、传统故事铭牌与AR导览设备串联重要文化场所,形成文化记忆路径。景观设计注重视觉、听觉、触觉的多感官体验,将文化叙事嵌入日常通行路线中。实验结果显示,景观空间生态功能明显恢复,村民与游客对叙事系统表现出积极参与意愿,文化认知度与景观互动性显著增强,验证了生态与文化叙事融合路径的有效性。

4.2.1 生产性景观修复实验设计

锦江木屋村的生产性景观修复实验,以恢复村落废弃农耕景观为核心,重建“人—地—景”关系。实验团队选取村西南梯田遗址区域,依据原有农田肌理和灌溉系统,采用生态工法恢复部分水稻种植区,并辅以乡土植物带和生态池塘构建微型循环系统。村民被邀请参与耕作体验,同时布设文化说明牌记录农耕工具、节气活动和劳作习俗,使生产性景观成为文化记忆的重要载体。此外,将修复区域融入村落慢行系统中,形成生态教育与乡村旅游结合的开放景观带。通过该实验,原本荒废空间重新焕发生态与文化双重功能,增强了村民对土地的情感连接,并提升了游客的文化体验深度,实现景观空间的生态再生与文化活化的同步提升。

4.2.2 光影叙事系统实验设计

在锦江木屋村的光影叙事系统实验中,实验团队选取村中核心广场与四处传统民居立面为载体,利用夜间投影与增强现实技术构建互动式文化叙事空间。设计以“光随人动,影述村史”为主题,设定四个文化节点:木屋建构技艺、村民集体劳动、节庆庙会与代际传承。每晚定时播放文化场景影像,配以同步音效与实时语音讲解,使游客在步行中沉浸于虚实结合的叙事场景中。为增强体验感,部分场景加入AR互动模块,游客可通过手机捕捉建筑图像,触发历史影像与工艺视频叠加展示。实验结果显示,该系统极大提升了游客的停留时间与参与热情,村民亦积极配

合讲解与维护,光影叙事作为文化传播的可视化手段展现出较强感染力与传播效果。

4.3 非遗传播的参与式路径实验设计

锦江木屋村非遗传播参与式路径实验,聚焦于村落传统木作与民俗技艺的数字化转译与公众体验。实验在村落东侧“木工坊”与中央广场设置声音地图设备,结合空间定位系统,游客在不同点位可触发“木头雕刻声”“村民打糍粑声”等真实录音,重现劳动与节俗场景。同步开发AR交互平台,游客通过扫描特定标志或器具模型,即可观看木艺制作过程的三维动画与手工艺人讲述视频,形成知识普及与情境再现的双重路径。此外,设有互动答题和“技艺收集卡”系统,鼓励游客在探索中深入了解非遗技艺。实验结果显示,数字技术显著提升了游客参与度与记忆黏性,村民在传播中角色从“被展示”转向“讲述者”,形成公众—村民共创的文化传播机制,增强了非遗技艺的活态传承能力^[15]。

5 结语

本研究提出了以“三生空间”为基础的“活态传承—景观叙事”耦合模式,明确了乡村文化遗产保护中动态保护与静态保护之间矛盾的解决路径。研究构建了以社区参与、功能更新、主体共治为核心的活态传承理论框架,以及符号转译、多感官交互为核心的景观叙事理论框架,并通过空间适应性改造、功能置换、生态景观修复与数字叙事技术的概念设计实验,验证了该模式的有效性。研究表明,该耦合模式能够有效实现文化遗产空间的保护与更新,文化记忆的重构与传播,形成遗产保护的新范式。这与传统保护模式强调的静态保护形成明显差异,研究进一步丰富和发展了活态保护的理论体系。然而,本研究在具体技术实施的经济成本、长期社区参与机制构建、数字技术应用的伦理边界等方面仍存在不足,未来研究有待进一步深化和完善。

参考文献(References):

- [1] 王纯信. 长白山区民居艺术的研究与开发[R]. 通

- 化: 通化师范学院, 1990.
- [2] 曹保明. 东北木屋村落的民俗文化价值[J]. 中国民间文艺研究, 2012, (04): 45 - 52.
- [3] Nora P. Between Memory and History: Les Lieux de Mémoire[J]. Representations, 1989, 26(10): 7 - 24.
- [4] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Heritage list: Historic Villages of Shirakawa - go and Gokayama[R]. Paris: UNESCO, 1995.
- [5] 西村幸夫. 再造魅力故乡——日本传统街区重生故事[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [6] 朱小地. 在地设计: 板万村改造中的传统建筑再生策略[J]. 建筑学报, 2018, 64(05): 34 - 39.
- [7] 诺伯格 舒尔茨. 场所精神——迈向建筑现象学[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [8] 张松. «历史城市保护学导论: 文化遗产和历史环境保护的一种整体性方法»(第三版)[J]. 同济大学学报(社会科学版), 2021, 32(06): 2.
- [9] 尹绍亭. 云南山地民族文化生态的变迁[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2000.
- [10] 朱竞翔, 王红军. 贵州板万村改造: 一个布依族村寨的再生实验[J]. 建筑学报, 2017, 63(05): 26 - 31.
- [11] 肖冰. 东北地区井干式传统民居建构解析[J]. 陕西建筑, 2010, 35(02): 5 - 7.
- [12] 徐强, 钟雯, 熊芮加. 长白山传统村落——锦江木屋村的保护与传承[J]. 建筑与文化, 2020, 16(03): 230 - 231.
- [13] 赵宏宇, 姜雄天. 寒冷地区传统村落生态智慧挖掘——以锦江木屋村为例[J]. 吉林建筑大学学报, 2020, 37(01): 58 - 64.
- [14] 满族建筑装饰图典编委会. 满族传统纹样谱系[M]. 长春: 吉林文史出版社, 2015.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 梁旭方, 1983 年生, 男, 辽宁丹东人, 硕士, 长春理工大学, 副教授, 主要研究方向为室内外环境设计、传统民居保护。Email: 174921426@ qq. com

Research on the Coupling Model of Living Heritage Transmission and Landscape Narrative in Rural Cultural Heritage Protection: Case Study of the "Living, Production and Ecology Space" Concept Design in Jinjiang Wooden House Village

LIANG Xufang^{*}, LIAN Guoqing

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: In rural cultural heritage conservation, a pervasive conflict exists between static conservation policies and dynamic community needs. How to solve this contradiction has become a critical theoretical and practical challenge. Taking Jinjiang Wooden House Village in Jilin Province as a representative case, this study explores an integrated heritage protection model driven by the synergy of "living heritage transmission" and "landscape narrative," aiming to promote sustainable development of traditional villages. The research employs field investigation, theoretical analysis, and conceptual design experiments to systematically examine the cultural heritage characteristics of Jinjiang Wooden House Village and identify practical dilemmas in its current preservation. Consequently, this study constructs a coupled conservation model termed "living heritage transmission—landscape narrative," rooted in the conceptual framework of "living, production, and ecology space". Conceptual design experiments validate the effectiveness of this model, demonstrating its capacity to achieve the simultaneous objectives of material space conservation, cultural memory reconstruction, and community identity regeneration. The study concludes that this interdisciplinary coupled model provides both theoretical innovation and practical applicability for rural cultural heritage conservation, serving as a valuable reference for protecting traditional settlements in Northeast China.

Key words: living heritage transmission; landscape narrative; living, production, and ecology space; coupling mechanism; log – cabin architecture

基于空间句法标准化系数对城市居民步行空间的设计评价

——以吉林市龙潭区南部为例

马 辉,张逸晨*

(吉林建筑大学艺术设计学院,长春 130118)

摘 要:城市空间功能的分布与城市空间结构存在显著的依赖关系。优化城市空间功能分布,可从优化城市空间结构入手,这不仅能够有效提升城市经济与社会的发展水平,还能促进环境的可持续发展。文章旨在探讨基于空间句法标准化系数对城市空间结构路网的优化方法,并以吉林市龙潭区南部为例进行实证分析。本次研究首先对空间句法理论和标准化系数的计算方法进行了梳理,然后应用高德地图的矢量路网数据,最后结合 AutoCAD 和 Depthmap 软件,对吉林市龙潭区东南部空间结构进行了分析。结果表明,吉林市龙潭区南部的步行空间存在明显的连通性不足,部分区域可达性较低的问题。此外,研究区域内的主要街道在全局尺度和局部尺度上有较高的可达性。但大同路以北区域空间仍存在问题,如空间碎片化,道路连通性不足等问题,可以对该区域进行道路层级上的整合优化,以提升该区域的空间活力。

关键词:空间句法;标准化系数;城市设计;吉林市

中图分类号:TU984

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)03-0012-9

0 引言

随着中国城市化进程从增量扩张向存量更新转型,优化居民生活空间品质已成为城市规划的核心议题。在城市化更新背景下,传统规划设计方法主要依赖定性经验和静态指标,难以精准量化居民行为与空间拓扑关系之间的内在联系,导致城市空间结构与资源配置错位的问题日益凸显^[1]。以老旧工业区为例,其历史遗留的空间割裂与设施老化等问题,亟需科学的诊断工具来揭示深层次矛盾^[2]。空间句法理论为解决这一问题提供了量化分析框架,该理论通过标准化系数(如整合度、深度值)构建空间拓扑模型,能够系统解析复杂城市空间系统^[3]。现大部分空间句法研究聚焦于单一情况下的空间类型(如公园、街道),缺乏对居民生活空间多维度、系统性的综合评价。因此,需要进一步探索新的理论方法和技术手段,以更深入地理解城市空间层次,优化空间布局,从而提升城市功能^[4]。作为一种基于描述、抽象认知和解析空间的分析方

法,空间句法注重研究局部空间、整体空间及社会属性之间的相互关系^[5]。尽管其标准化系数已在城市规划领域得到广泛应用,但普适性仍需在差异化区域场景中进行更深入的验证。国内外学者的相关研究为该理论提供了重要支撑,为城市空间优化设计提供了有益指导^[6]。吉林市龙潭区南部作为东北老工业基地转型的典型区域,空间结构受制于厂区封闭式布局,导致公共服务设施配置失衡,居民活动范围受限等问题。本研究运用空间句法理论,通过整合标准化系数构建量化评价体系,旨在客观评估该区域城市空间结构特征,弥补传统规划设计方法在定量分析方面的不足。同时,研究成果可为东北老工业区存量更新提供数据依据,以便未来提高居民生活空间结构的持续提升。

1 空间句法标准化系数概述

空间句法(Space Syntax)是描述空间与社会之间几何、拓扑和距离的理论体系。自 20 世纪 70 年代比尔·希列尔(Bill Hillier)提出空间

句法理论体系以来,该理论体系在空间网络结构、人类活动关系和城市形态分析等具体使用中得到广泛应用^[5]。空间句法的核心理念认为,单一的空间元素并不足以影响社会经济活动的演变,反而是整体空间元素之间复杂的相互作用决定了社会经济活动的开展^[7]。在空间句法研究中,空间句法标准化系数起到了至关重要的作用。这些系数可以帮助人们对比不同城市或街道的空间属性,从而洞察差异化场景之间的异同。

空间句法标准化系数是量化空间的主要计算方法,通过这种方法使得不同尺度的城市空间的复杂空间形态具有了可比性,更大程度上减小了城市空间尺度和研究范围所带来的误差,同时提升了空间分析的准确性,为研究城市空间结构的人们带来了更深入的理解,并为设计师提供了坚实的理论基础。空间句法标准化系数主要分为:标准化角度可达性(Normalized Angular Choice, NACH)和标准化角度集成度(Normalized Angular Integration, NAIN)这两个标准化系数。通过标准化角度可达性,可以观察到社区的步行道路规划和该区域的可达性水平,并进行道路的优化,确保功能性空间与重要设施易于到达^[10]。标准化角度集成度则显示出了步行道与车行道、主干道与次干道之间的连通关系,保证了各个道路及功能区的连接程度。通过这两组数据可以分别得到研究范围的可达性与集成度两个数据,并以此优化城市空间网络,能够提升交通通行的流畅性及各层级路线的使用效率^[8]。这将会为城市空间结构和街道空间的衡量对比提供更为科学和准确的方法与手段。

2 研究方法

空间句法标准化系数在现在的都市规划与设计实践中所代表的意义至关重要。本篇论文采取视角分析的方法,运用 Depthmap 软件解析区域街道可达性与集成度的数值,分析都市街道的可改善问题以及都市功能区划分的运用效能,将计算结果数据以可视化形式展现。本次研究

实践中使用了高德地图 2024 年的矢量道路网络数据。结合吉林市龙潭区南部居民集中区域的实地调研验证其精确性,确定了居民区的界限。考虑到研究的范围,将模型范围拓展至 1500m 以外的边界。运用 AutoCAD 和 Photoshop 软件绘制初步分析图后,将图像导入 Depthmap 进行规范化指数计算,通过对计算结果的分析 and 阐释,最终得出研究结论。

3 标准化系数在步行空间中的应用思路

在步行空间设计中,空间句法的分析结果可以充分的展现出城市步行空间对于居民出行交通和生活体验的重要关系,以及功能性空间与人之间的互动关系。空间句法标准化系数对于步行空间的应用是多维度多层次且深入的^[9]。分析得出的系数在不同空间情况下可以进行对比,并发现其中的异同点。在步行空间分析中,可以使用标准化角度可达性和标准化角度集成度进行空间的优化。通过对空间句法标准化系数的分析,能够有效的从多个角度,深层次的探讨城市社区空间的结构优化和改良方法^[11]。空间句法标准化系数在城市空间结构中具有广泛且深远的应用意义。以下将具体探讨如何应用标准化系数对龙潭区南部居民聚集区起到更好的改良空间设计。

3.1 步行空间的布局

在步行空间方面,可以根据标准化系数的分析结果优化步行空间布局。通过对龙潭区龙山路以北、承德街以东的区域进行空间句法应用分析可以明确的观察出,一些区域仍旧存在着公共空间整合度较低,道路交通琐碎的问题。因此,在未来的公共空间设计上,应该考虑到适当增加这些区域的通行度,提高整合度,且在优化的同时,应该着重考虑空间设计上的层次区分,让主干道和次干道,以及车行道与步行道,步行道与步行道之间更好的整合衔接。以提高该区域居民的出行效率。

在 15 分钟生活圈政策的提出下,可以利用空间句法标准化系数的结果进行多维度的

空间分析。社区生活圈范围的划分研究在不同尺度有不同应用价值,在市域或都市圈的宏观尺度上,对生活圈建设评价及分类建设提供指导。在单个社区生活圈尺度上,基于微观行为调查有助于深化对生活圈的活动空间与物质空间结构的调整^[11]。通过分析龙山路以北,承德街以东区域的空间句法可以得出,在标准化系数选择度方面显示,武汉路、营口路、承德街等主干道,选择度较高,证明其主干道的连通性优秀,但下一层级的次干道和支路选择度明显降低。主干道选择度高,其余选择度低的分析结果,说明该区域的空间过度分割和单一化。底层级步行道的连通性有待优化,分布不均匀。因此,为了提高城市步行空间的实用性和穿行度,在未来的城市空间设计中可以着重增加步行街道的连贯性和通行性,为城市社区居民提供更加适宜的生活条件,改善居民的生活水平。

3.2 步行空间对功能性空间的影响

在功能性空间方面,空间句法标准化系数的数据分析结果也可作为城市空间设计的参考标准,并以此进行调整。运用空间句法分析后发现,空间句法可以主观的改善某些区域的功能性空间的使用情况。因此,增加居民在功能性空间的停留时长,可以有效地提高主体与环境空间之间的互动可能性^[12]。

通过空间句法的标准化系数分析结果,可以优化社区功能性空间的设计,从而提高其使用率。例如,在公共空间设施分布规律上,运用标

准化系数的分析结果可以优化设施与城市空间与居民三者之间的空间关系。功能性空间往往是社区空间内必不可少的空间结构。经过空间句法的计算显示,可以发现该研究区域的功能性空间的分布不均匀,可能会导致居民不易到达目标的功能性空间、距离远、路线绕等问题。同时,也需要着重考虑支持和投入多种出行方式,包括轮椅,自行车和公共交通等方式,以提高居民生活空间的舒适度^[13]。

4 吉林市龙潭区南部空间设计分析

本研究采用高德地图 2024 年矢量路网数据,以龙潭区龙山路以北、承德街以东的居民生活区为研究范围,该区域包含 11 个住宅小区和 10 所学校。为降低空间句法分析中的边界效应影响,确保模型计算数据的准确性,研究将建模范围扩展至研究区域外围 1.5km 处。

4.1 线段模型整合度选择度分析

运用地图截获器在高德地图中获取的道路路网,并在 AutoCAD 软件中进行检查和修改,完成了龙潭区南部的地图(图 1)。导入到 Depthmap 软件中对预设好的线段模型包含角度选择度进行分析。研究通过全局尺度来进行整合度和选择度的研究分析(图 2 - 图 4)。整合度表现了空间系统中某空间与其他空间的离散聚合程度,通常用来衡量某空间吸引流量到达的潜力,因此,空间的整合度越高则该空间的可达性越高^[14]。而选择度是指空间结构中的某一空间到



图 1 吉林市龙潭区南部研究范围

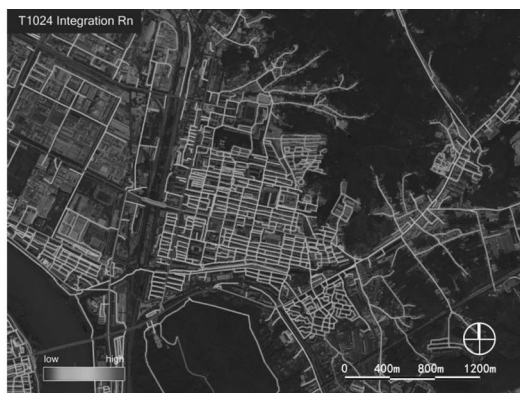


图 2 吉林市龙潭区南部的半径为 n 的整合度

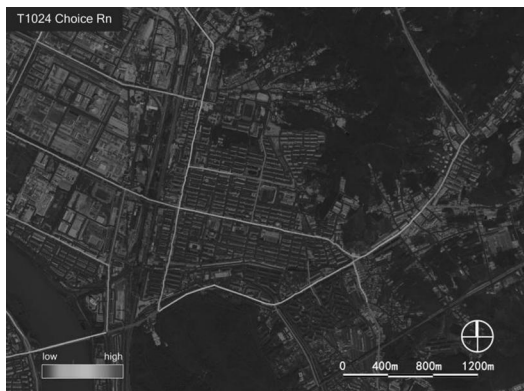


图3 吉林市龙潭区南部的半径为 n 的选择度

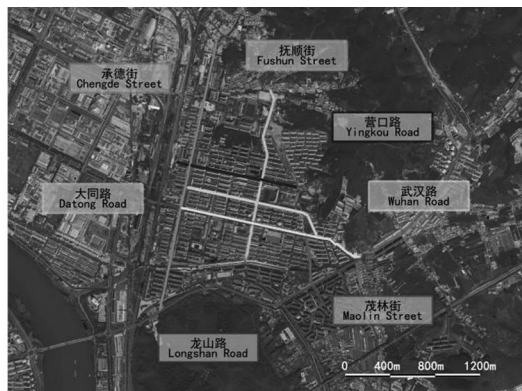


图4 吉林市龙潭区南部主要道路空间

其他空间的最短路径的次数,这是衡量某空间吸引流量穿越的潜力,因此,选择度越高的道路在空间路网中位置越重要,流量经过的可能性越大^[14]。龙潭区南部道路中,龙山路、武汉路与承德街在全局整合度和全局选择度两项指标上均呈现较高数值。

4.2 线段模型标准化系数整合度分析

研究基于15分钟生活圈理论提到的半径1200m以及正常人实际步行10分钟可达距离800m和全局尺度三个空间尺度,进行了多维度分析。通过在Depthmap软件中的标准化系数的公式运算,得出了龙潭区南部的标准化系数模型和对应的数据(图5-图8,表1)。可见在全局尺度下,龙潭区南部的标准化系数整合度多集中在0.6到1.0之间,呈现出了东西走向由武汉路和龙山路为主,南北走向由承德街为主的路网分布特征。其中主干道与次干道层次分明,并依次

递减形成了相对规整的路网。近龙山路一侧的路网标准化系数整合度普遍较高,大同路以北方路网杂乱,标准化系数整合度逐步降低。这说明,龙潭区南部路网空间分布呈现出了南整北杂的特征,得出靠近龙山路交通可达性相对较优秀,车行空间也满足了居民生活行车的日常需求,在龙山路以北,中石油D5小区为数值较高的中心区域,向北面均匀扩散。在局部整合度下,龙潭区南部被几条主干道均匀的分割成数个空间网络,形成了相对平衡的结构分布。证明在人行尺度下该片区域的空间可达性较为优越。值得注意的是,不同尺度下NAIN值的空间耦合特征(高值区与低值区的空间重合度)可能对城市功能布局具有重要指示意义。

4.3 线段模型标准化系数选择度分析

进一步对龙潭区南部进行空间句法标准化系数分析研究,计算标准化系数选择度,并与对

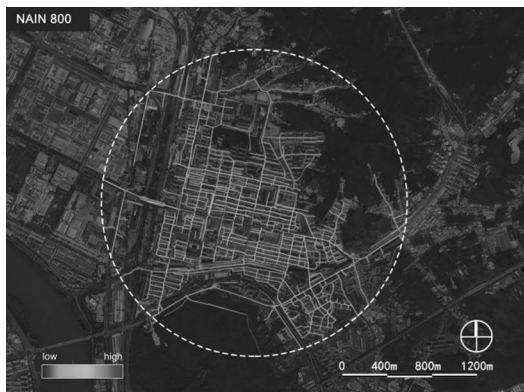


图5 NAIN R800 线段模型图

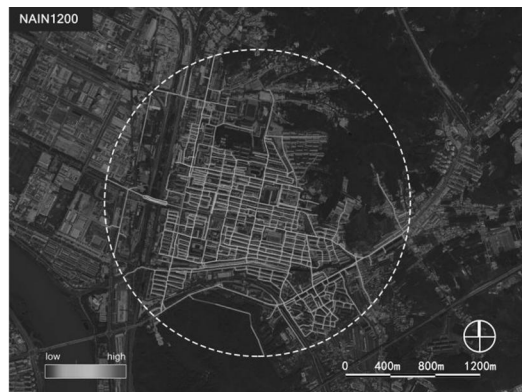


图6 NAIN R1200 线段模型图



图 7 NAIN Rn 线段模型图

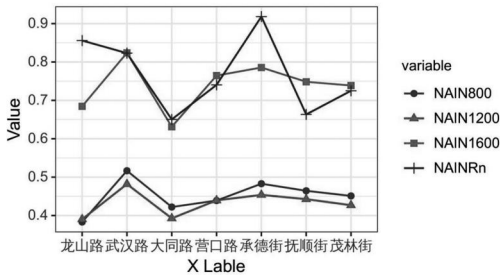


图 8 线段模型标准化系数整合度线图

表 1 标准化系数整合度数值图表

名称	NAIN800	NAIN1200	NAIN1600	NAINRn
龙山路	0.382987	0.390198	0.684491	0.855860
武汉路	0.516614	0.481811	0.823832	0.823019
大同路	0.422106	0.392573	0.631216	0.650317
营口路	0.438986	0.439416	0.764564	0.740438
承德街	0.482848	0.453751	0.785661	0.918254
抚顺街	0.464336	0.442536	0.748427	0.663382
茂林街	0.450973	0.426823	0.738726	0.725016

应数据结果进行对比。从宏观视角审视龙潭区南部路网空间,主干道与步行道的数值差异显著(图 9 – 图 12,表 2)。主干道的标准化系数选择度数值主要分布在 0.9 至 1.0 区间内,揭示了以龙山路、武汉路、承德街为主导的空间布局。其中,武汉路与龙山路在东西向形成并行后相交的布局,与营口路共同划分该区域,展现出规整的空间结构(图 4)。南北向道路以承德街为主,其标准化系数选择度数值为 0.94,而其他南北向道路的数值介于 0.8 至 1.0 之间。由此可见,南北向道路的标准化系数选择度普遍较弱,表明其在空间路网中的重要性相对较低,流量通过的可能性小于东西向道路。由此可以发现龙潭区南部东西方向选择度较高,南北方向选择度较低,宏观的路网空间结构呈现出了东西强南北弱的空间特征。在局部尺度下,标准化系数选择度较高的道路主要集中在居民区及学校周边,这表明居民日常出行及学生上下学等活动对路网的选

择具有明显倾向性,这些道路在空间路网中扮演着重要角色,流量较大。因此,远离居民区和学校的道路标准化系数选择度较低,流量较小,空间重要性相对较低。这种空间结构特点影响了该区域居民的出行条件,为区域交通规划设计提出了优化导向。即优化东西向主干道的通行效率,提升南北向道路的连通性。在步行空间的尺度上,应注重步行道的优化与改善,确保其与主干道的衔接流畅,提升居民步行体验。在功能性空间的设置上,强化功能区与居民区的互动性,确保各类功能空间的便捷可达,以提升该区域空间的整体活力。

4.4 标准化系数下的复合可达性分析

由空间句法得到了该区域及其生活圈空间的相应数据结果并加以分析,通过复合可达性指数计算得出以下结论:

针对龙潭市南部步行空间,通过空间句法的数值分析方法进行宏观层面的评估。在全球尺

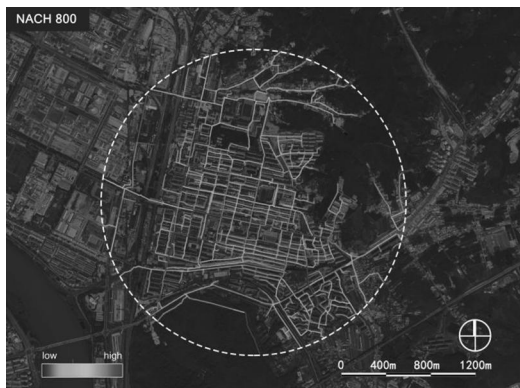


图9 NACH R800 线段模型图



图10 NACH R1200 线段模型图

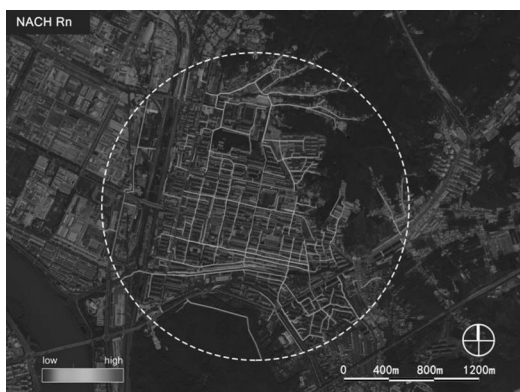


图11 NACH Rn 线段模型

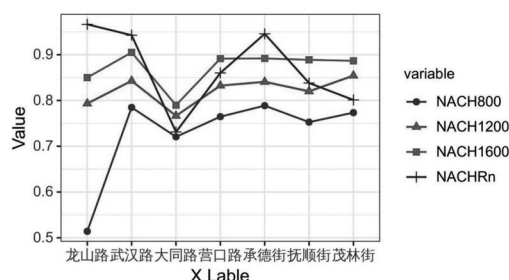


图12 线段模型标准化系数选择度线图

度下,标准化角度整合度的数值分布表现出显著的不均衡性。例如龙山路、武汉路、承德街等主要干道与多数次干道的连接性较好,这为居民的日常生活提供了便捷的交通条件。

在微观尺度上,研究范围被限定于15分钟生活圈。分析结果显示居民社区内的空间整合度与空间选择度的标准化值均处于较低水平,特别是社区内部的空间网络结构暴露出显著的缺陷。这些现象与社区内部以及社区间在空间设计、设施布局、步行路径规划等方面的不足密切相关。该片区南部数值相对较高,是该空间区域对同一小区,进行了整体的规划,其标准化角度整合度与选择度均较为均衡,居民步行体验良好。而北部数值较低,反映了空间规划的碎片化,社区多且杂乱导致,步行连贯性差。为提高居民步行空间的连贯性和居民生活体验,建议北部社区进行整体规划和空间优化,整合社区间的

步行网络。

在步行空间对功能性空间影响的方面来看,该片区标准化角度可达性 R1200 值大于 0.8 的道路主要集中在整个龙潭区南部空间路网的主干道上,例如承德街、武汉路、抚顺路、茂林街等呈网格均匀分布,纵横交错的格局,这有利于该区域的功能性空间高效利用。从空间句法标准化系数可达性的结果分析来看该片区域的活力体现在主干道周边,尤其是商业区和公共服务设施的集中区域。因此,在社区功能性空间的设计中,根据标准化系数的结果来优化提升功能性空间与功能性空间之间的连接性,提高社区内的功能配置和装置的互动性。重点提升问题区域的空间质量,进一步提高居民的幸福感^[15]。需要注意的是在社区内部需要加强功能性空间的可达性,例如设计高整合度的人行步道,方便社区内的居民到达各功能性空间。

表 2 标准化系数选择度数值图表

名称	NACH800	NACH1200	NACH1600	NACHRn
龙山路	0.514074	0.793319	0.850008	0.966384
武汉路	0.784866	0.842896	0.905092	0.942609
大同路	0.720599	0.766416	0.789771	0.73121
营口路	0.764615	0.832489	0.891479	0.860208
承德街	0.788691	0.840733	0.891915	0.945588
抚顺街	0.752689	0.819982	0.888858	0.838142
茂林街	0.773487	0.854303	0.886619	0.801192

5 结论

本研究基于空间句法标准化系数对吉林市龙潭区南部的空间结构特征进行量化解析。研究呈现出工业区转型背景下城市空间拓扑关系的异质性及其优化路径。研究通过研究区域路网呈现显著的东西向空间主导特征,主干道构成的交通轴线在全局尺度下标准化角度整合度(NAIN)和选择度(NACH)分别达到0.9和1.0,形成高强度通勤走廊。南北向道路标准化系数较东西向主干道降低,表明社区封闭式布局导致路网的连通性仍被制约。在15分钟生活圈尺度下,大同路以北区域的整合度较南部有明显下降,揭示出社区内部步行网络层级断裂、空间碎片化特征,这与居住区分散布局及次级道路连通不足密切相关。

研究结果对东北老工业区更新具有双重实践价值:一是在物质空间优化方面,通过加密南北向支路网、增设斜向步行道,改善拓扑结构;二是在功能组织方面,社区内部路网离散度偏高,建立差异化优化更新时,整合度较低的区域NAIN1200数值小于0.6的街道空间,可以通过整治街道界面,增加小型公共空间等方式,提高空间活力。需要说明的是,本研究未对不同空间尺度下NAIN值与NACH值的分级阈值体系及其空间叠加效应进行深入探讨,这一方向或可作为后续研究的重点。本研究证实了空间句法理论在寒地工业城市社区更新中的适用性,其技术可为同类型城市的空间评价与更新优化决策提供有益的参考。

参考文献(References):

- [1] 张大玉,凡来,刘洋.基于空间句法的北京市展览路街道公共空间使用评价及提升对策研究[J].城市发展研究,2021,28(11):38-44+173.
- [2] 马辉,梁思涵,董一蓂.空间句法标准化系数在城市设计中的应用——以长春市南部新城为例[J].工业设计,2023,18(05):30-32.
- [3] 刘玥,马辉.空间句法在生活性街道适老化设计中的应用——以宜宾市滨江路为例[J].美与时代(城市版),2024,12(02):46-48.
- [4] 苑思楠.城市街道网络空间形态定量分析[D].天津:天津大学,2012.
- [5] 周凌波.基于空间句法的临清中洲历史街区空间形态解析及更新策略研究[D].济南:山东建筑大学,2024.
- [6] Hillier B, Penn A, Hanson J, et al. Natural Movement: Or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1993, 20(01): 29-66.
- [7] 屈可申.基于空间句法的公共服务设施空间布局优化设计研究[D].抚州:东华理工大学,2022.
- [8] Pont M B, Stavroulaki G, Marcus L. Development of Urban Types Based on Network Centrality, Built Density and Their Impact on Pedestrian Movement[J]. Environment and Planning, 2019, 46(08): 1549-1564.
- [9] 李凤,黄永萍.基于慢行交通的长沙市老城区道路交通网络优化[J].中外建筑,2019,24(04):128-130.
- [10] 马辉,王炜欣.空间句法标准化系数在长春市南湖公园设计中的应用研究[J].工业设计,2025,20(01):86-89.

- [11] 刘伟中,张艳.空间句法结合时空行为分析的城市社区生活圈空间评价研究——以北京市当代一怡美社区生活圈为例[J].地理科学进展,2024,43(11):2157-2170.
- [12] 马静.交往需要契机——从“功能性空间引导”探索激发城市住区的居民互动[D].昆明:昆明理工大学,2004.
- [13] 瞿蕊,朱亚丹.新时代城市公共空间景观设计探讨[J].工业设计,2021,16(02):79-80.
- [14] 解旭东,薛颖,栾学臻,等.基于空间句法的青岛滨海地铁站域步行空间研究[J].城市建筑,2023,20(03):168-171.
- [15] Adi A F, Marlina A, Rahayu P. The Study of Con-

nectivity at Jalan Slamet Riyadi, Surakarta Using the Space Syntax Analysis [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 447: 012006.

作者简介:

第一作者:马辉,1974年生,女,吉林农安人,硕士,吉林建筑大学,教授,主要研究方向为环境设计。Email: 807889316@qq.com;

通讯作者:张逸晨,2000年生,男,长春人,硕士,吉林建筑大学,主要研究方向为机械。Email: 897716827@qq.com

Design Evaluation of Urban Residents' Walking Space based on Space Syntax Standardized Coefficients: Case Study of the Southern Part of Longtan District, Jilin City

MA Hui, ZHANG Yichen *

(Jilin Jianzhu University, College of Art and Design, Changchun 130118, China)

Abstract: The distribution of urban spatial functions is significantly dependent on urban spatial structure. The distribution optimization of urban spatial functions can start with optimizing the urban spatial structure, which can not only effectively enhance the level of urban economic and social development, but also promote sustainable environmental development. The article aims to explore the optimization method of urban spatial structure road network based on spatial syntax standardization coefficient, and conduct empirical analysis, using the southeastern part of Longtan District, Jilin City as an example. This study firstly sorts out the spatial syntax theory and the calculation methods of standardization coefficients, then apply the vector road network data of Gaode Map, and finally combines AutoCAD and Depthmap software to analyze the spatial structure of the southeastern part of Longtan District, Jilin City. The results indicate that there is a significant lack of connectivity in the pedestrian space in the southern part of Longtan District, and some areas have low accessibility. In addition, the main streets within the study area have high accessibility globally and locally. However, there are still problems in the northern space of Datong Road, such as spatial fragmentation and insufficient road connectivity. The integration and optimization of this area can be carried out from the road level to enhance the spatial vitality of the area.

Key words: space syntax; standardization coefficient; urban design; Jilin City

AI赋能的资源枯竭型城市全域旅游规划策略研究

——以鹤岗市为例

周小新*, 周玉源, 张冲

(黑龙江工程学院, 哈尔滨 150050)

摘要:资源枯竭型城市普遍面临产业结构单一、经济下行、人口外流与空间功能退化等多重困境,传统转型路径难以有效支撑其可持续发展需求。本文以黑龙江省鹤岗市为典型案例,从“AI+全域旅游”视角切入,探讨人工智能技术对资源枯竭型城市旅游空间重构与产业再造的赋能路径。研究构建了“资源挖掘—系统规划—智能管理—沉浸体验”的全流程策略体系,涵盖旅游资源数字化识别、游客分析与线路规划、智慧设施布局以及沉浸式营销体验,提出以AI技术推动资源型城市实现空间治理创新与产业协同升级的规划逻辑,为我国资源枯竭型城市实现高质量转型发展提供借鉴与参考。

关键词:资源枯竭型城市;全域旅游;人工智能(AI)

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)03-0021-9

0 引言

黑龙江省是我国重要的资源基地,维护国家国防安全、粮食安全、生态安全、能源安全、产业安全的战略地位十分重要,关乎国家发展大局^[1]。黑龙江省资源型城市众多,但因资源型城市存在产业结构单一、过分依赖资源,造成资源枯竭、产业衰退以及资源产业替代不强等问题,使得黑龙江大部分资源型城市面临着前所未有的困难与挑战,其中困难最突出的是煤城^[2,3]。鹤岗作为资源枯竭型城市的代表,曾因房价问题成为全国广泛关注的热点城市。为破解资源枯竭型城市的“资源诅咒”,全域旅游作为一种强调资源整合与空间重构的发展模式,为城市的转型提供了创新发展的有效路径^[4]。人工智能的飞速发展对国土空间规划和旅游规划提供了技术支撑,有助于智慧旅游与智慧城市的深度融合^[5,6],AI赋能的资源枯竭型城市全域旅游规划不仅能够丰富全域旅游与城市转型发展的理论,

也可以为同类型的资源枯竭型城市的转型发展提供实践借鉴。

1 相关理论研究基础

1.1 资源枯竭型城市的特征及转型理论

资源型城市,作为全球经济版图中的重要组成部分,其发展与转型一直是学术界和实践领域关注的热点。一是资源型城市的理论研究,学者们普遍关注其在经济转型中的作用与潜力,经济学家奥蒂(Auty)提出了“资源诅咒”的概念,鲁卡斯(R. A. Lucas)、马什(B. Mmarsh)、沃伦(B. Warren)等学者对资源型城市展开了一系列的理论研究^[7,8]。二是关于资源型城市产业周期的研究,赫瓦特(Hewardt)提出了矿区城镇阶段发展理论^[9]。三是资源枯竭型城市转型模式的研究,包括以美国和加拿大为代表的市场主导型模式、以日本为代表的政府主导型模式,以及以前苏联和委内瑞拉为代表的自由放任型模式^[10,11]。

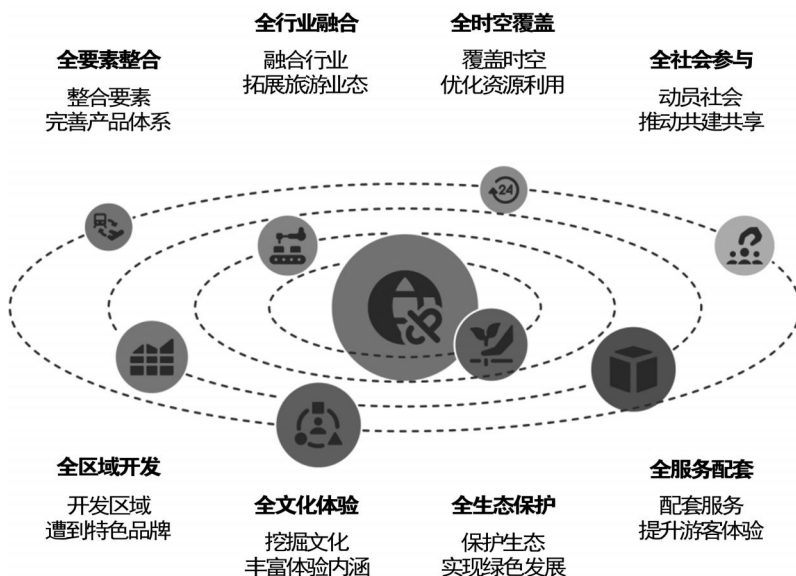


图 1 全域旅游的多维度

1.2 全域旅游的发展模式

全域旅游涵盖全要素整合、全行业融合、全时空覆盖、全社会参与、全区域开发、全文化体验、全生态保护、全服务配套等多个方面(图 1),通过信息化统筹区域内吃、住、行、游、购、娱等旅游要素,实现旅游业与城乡建设、生态环境、文化产业的融合发展^[13,14]。资源枯竭型城市的全域旅游发展模式需要打破传统的景区开发模式,统筹城市整体资源,构建可持续发展的旅游体系。

1.2.1 自然生态旅游模式

资源枯竭型城市生态旅游模式以系统性生态修复为基础,通过环境保护和可持续发展的方式,将自然景观、人文景观和工业遗产遗迹等资源转化为旅游产品,实现经济转型和社会发展

(图 2)。通过采煤沉陷区治理、荒山绿化、水系生态修复等手段,实现“绿水青山”与“金山银山”的互动。江苏省徐州市贾汪区生态旅游成功转型证实生态旅游模式不仅能实现生态价值向经济价值的转化,还可以推动产业结构向低碳化、高附加值转化^[15,16]。

1.2.2 工业遗产旅游模式

以工业遗产的保护和再利用为基础,通过创新性转化和可持续性开发将工业遗产遗迹、工业文化景观等资源转化为满足现代旅游需求的旅游产品(图 3)。深入挖掘工业文化遗产的文化内涵,举办工业遗产文化节、工业创新创意大赛,提升城市知名度和吸引力,将废弃的矿井、开采设备等工业遗产转化为具有旅游价值的工业遗

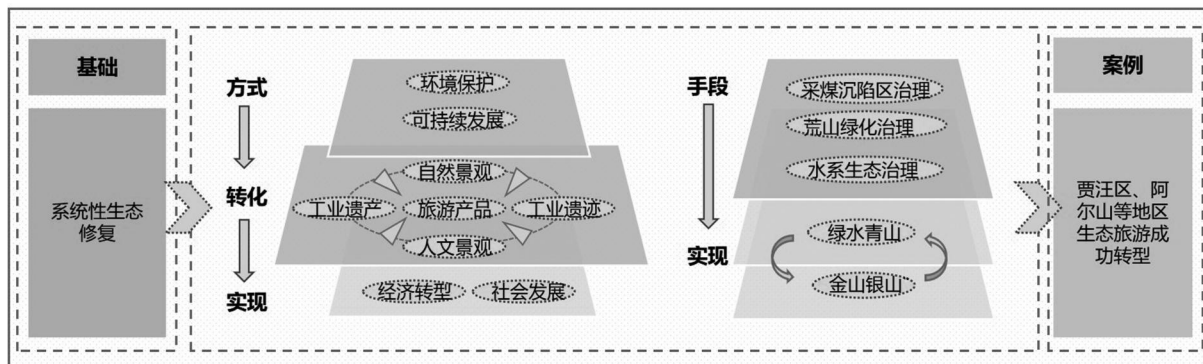


图 2 生态旅游模式

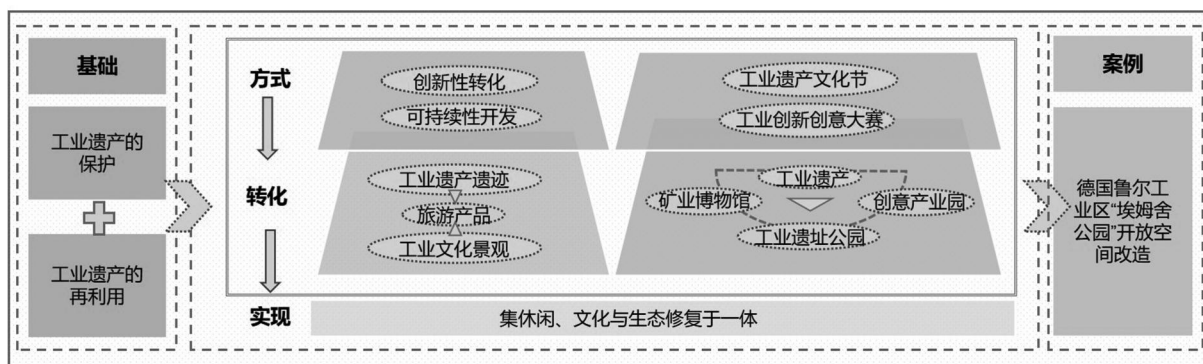


图3 工业遗产旅游模式

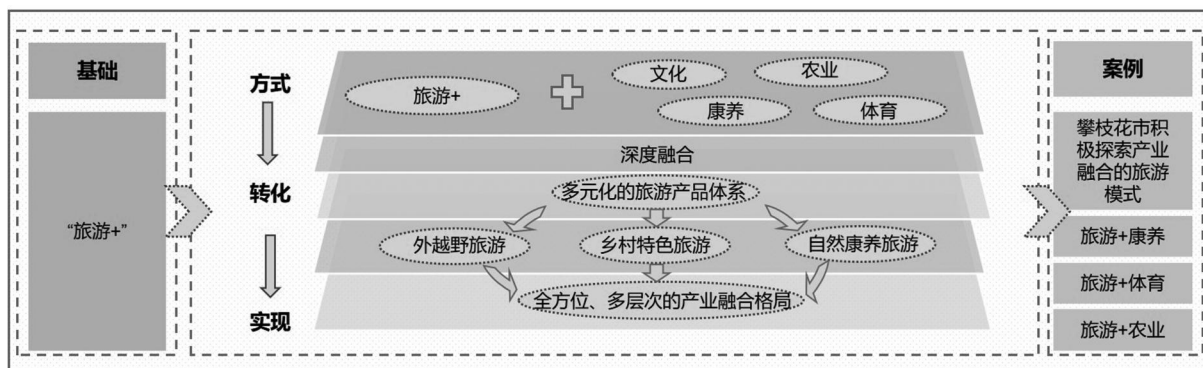


图4 产业融合旅游模式

址公园、矿业博物馆、创意产业园等。如德国鲁尔工业区通过“埃姆舍公园”等开放空间的改造,将废弃矿区转变为集休闲、文化与生态修复于一体的旅游目的地^[17]。

1.2.3 产业融合旅游模式

以“旅游+”多产业融合为基础,通过旅游业与文化、农业、体育、康养等产业深度融合,形成多元化的旅游产品体系,开发户外越野旅游、乡村特色旅游、自然康养旅游等旅游产品满足不同游客群体的需求(图4)。加强旅游产业与其他产业的协同合作,形成全方位、多层次的产业融合格局。如四川省攀枝花市积极探索产业融合的旅游模式,大力发展“旅游+康养”“旅游+体育”“旅游+农业”,均取得了显著的成效^[18]。

1.3 人工智能在旅游规划中的应用

人工智能技术广泛应用于国土空间规划和旅游规划的各个环节,为科学决策提供精准的数据支持。AI结合地理信息系统和遥感数据,自

动识别土地利用模式、监测城市扩张和收缩趋势,优化城市功能布局,识别产业发展用地,对适宜开展旅游发展的用地精准定位,提出城市生态修复优先区域。在游客行为分析、智能推荐、VR/AR技术、智能监测等方面应用广泛(图5)。

1.3.1 游客行为分析与精准规划

通过大数据挖掘、多维度数据整合与智能算法优化,实现需求洞察到资源调控的全链条管理(图6)。通过游客的客流轨迹、消费记录、社交媒体评价、环境感知数据等,实时掌握游客的兴趣偏好和流动规律,为景区的功能分区、空间布局、线路优化提供数据支撑,推动旅游业从经验驱动向数据驱动转型。通过AI识别高访问区域,优化线路,提出预警,防止拥堵,提高游览体验的舒适度。如北京欢乐谷景区利用腾讯位置大数据,构建了节假日客流预警模型,结合核密度分析实现空间的分流。

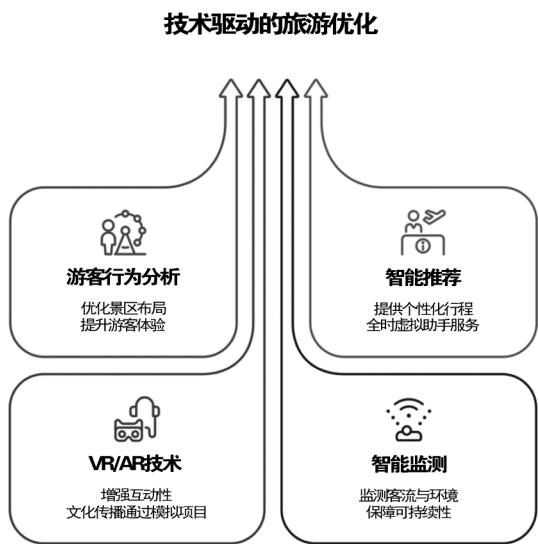


图 5 AI 在旅游规划中的应用

1.3.2 智能推荐与个性化服务

结合机器学习利用智能推荐系统的游客兴趣、历史轨迹、社交信息、媒体互动等大数据,为游客精准提供个性化旅游行程和特色服务。人工智能根据游客的消费偏好,出行习惯制定专属旅游线路,利用虚拟助手与智能机器人提供 24 小时全时咨询以及智能导览与语音交互服务。游客可以向智能助手咨询景点推荐、交通路线、天气预报等服务,使旅游服务更加智能人性。

1.3.3 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)

AI 结合 VR/AR 技术,旅游业将从单向展示向双向交互进化,创造可玩、可学、可分享的新型体验范式(图 7)。AI 可通过 VR 模拟旅游项目的实施效果,使投资者提前感知项目的可行性,提高规划的落地率和科学性。通过 AR 技术将虚拟信息融入现实场景中,提供沉浸式导览和解说,再现历史文化场景,增强游客的互动体验和文化传播效果。

1.3.4 智能监测与安全预警

通过数据融合与算法优化,构建感知-分析-决策-响应的智能监测系统,通过对景区客流量、环境数据、社交媒体动态等信息的分析,预测客流高峰期以避免超越景区游客承载量。另外 AI 还能监测生态环境,实时监测景区环境承载力,确保景区的可持续运营,AI 还可以用于识别潜在的火灾、极端天气等风险,提供应急预案。

2 鹤岗市全域旅游的发展基础

2.1 背景及现状分析

2.1.1 城市背景

鹤岗市位于黑龙江省东北部,因煤而兴、因

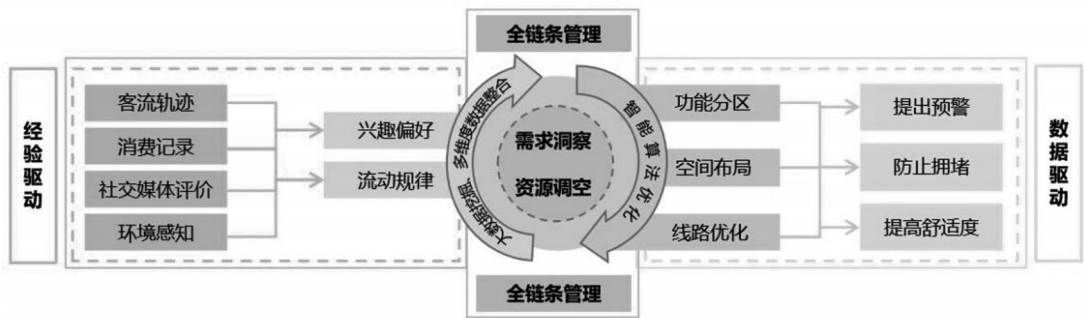


图 6 大数据的全链条管理

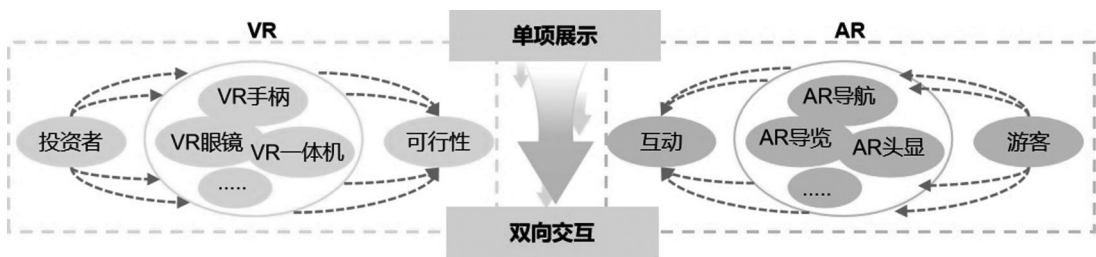


图 7 AR/VR 的双向交互

表 1 重要旅游资源类型模式

旅游模式	景点名称	资源类型
自然生态旅游	龙江三峡(龙门峡、金龙峡等)	森林峡谷生态景观
	金顶山、小白山、望云峰等	山地森林生态系统
	十里河湿地、水莲湿地等	湿地生态系统
	桶子沟原始红松林、太平沟林场	原生森林保护地
	北山瑞鹿泉、北山天池	高原地貌与水体结合的生态旅游资源
工业遗产旅游	鹤岗国家矿山公园	国家级工业遗产公园
	鹤岗煤矿矿史馆、城市记忆博物馆	工业文化展览场所
	新一竖井(新中国首个竖井)	红色工业遗址
	飞机房俄式建筑群、俄式遗址等	工业移民与工业建筑文化遗迹
	共青农场	农业文化与红色文化融合地
产业融合旅游	绥滨农场现代农业观光区	农业观光资源
	太平沟黄金古镇	淘金文化与乡村文化融合区
	望云峰国际滑雪狩猎场	生态农业示范区
	宝泉岭现代农业生态园	区域文化与旅游融合载体
	中俄犹国际戏水狂欢节/森林漂流节等节庆活动	

煤而建,是我国典型的资源型城市。由于长期的大规模煤炭开采,矿产资源逐渐枯竭,经济增长陷入停滞。早在 2011 年,鹤岗被国家列入第三批资源枯竭型城市,享受转型发展的专项政策支持。此后城市经济一度出现下滑,财政收入减少,失业问题凸显,人口流失,城市收缩严重。

2.1.2 城市困境

由于资源枯竭,以煤炭为主的产业收缩,城市发展陷入困境,由于新兴产业发展不足,城市收缩人口锐减,城市就业和税收来源受限。矿山地质环境破坏严重、资源利用总体粗放、闲置低效用地和违法用地较多、煤炭资源枯竭等系列问题,鹤岗市面临经济转型、产业转型、经济结构转型。

2.1.3 转型契机

鹤岗市积极调整经济结构,依托煤但不唯煤,着力培养煤化工、新材料等接续产业。鹤岗市以生态文明建设为统领,紧密结合城市人居环境、生态安全建设和资源节约需求,实现“生态立市、产业兴市、融合强市、开放富市”的宏伟目标,将单一的煤炭资源优势逐步转化为社会、经

济、生态等多方位的优势。

2.2 鹤岗市全域旅游的发展潜力评估

2.2.1 旅游资源禀赋

鹤岗市拥有发展全域旅游的多样化资源基础。鹤岗市依托“山—水—林—矿—城”复合型资源格局,形成了自然生态型、工业遗产型与产业融合型三类旅游开发模式相互支撑、协同演进的全域旅游资源禀赋体系,为资源枯竭型城市实现生态重构、文化遗产与产业转型提供了坚实的资源基础与空间支撑(表 1)。

2.2.2 资源潜力评估

鹤岗市凭借其多元的旅游资源、一定的客源腹地、政策支持窗口期以及 AI 技术的融合,具备从资源枯竭型城市向全域旅游目的地转型的发展潜力,虽然鹤岗市的旅游业尚处于起步发展阶段,但随着全域旅游的发展,未来重点突破基础设施短板、旅游产品差异化发展、全年客流平衡等发展瓶颈,并借鉴国内外成功的生态修复与产业融合发展的经验,通过科学规划、AI 赋能、市场创新等组合策略,实现全域旅游的高质量跃升。

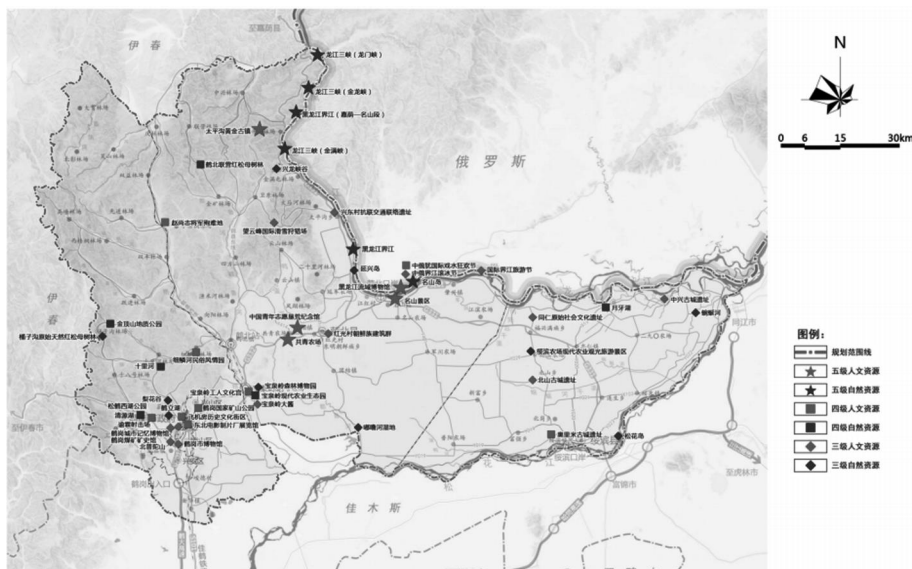


图 8 鹤岗市重要旅游资源分布图

图片来源:《黑龙江省鹤岗市全城旅游规划(2020—2025)》

3 AI 赋能的鹤岗市全域旅游规划策略

3.3.1 旅游资源数字化挖掘

利用 AI 技术对鹤岗的自然景观和历史文化资源进行数字化建档和价值评估,运用遥感影像识别和机器学习扫描鹤岗市的山水林田湖草等自然资源,系统判别景观资源的优美度和可介入性,挖掘隐藏的旅游资源点(图 8),对历史资料、社交媒体内容进行文本挖掘,发掘鹤岗市的矿业史料和中俄交流史料中的故事线索,为旅游文化创意提供素材,进而整合零散旅游资源,为全域旅游规划提供详实依据。

3.3.2 游客分析与线路规划

利用 AI 技术整合移动信令、旅游 APP、大数据平台等多渠道游客行为数据,深入挖掘潜在游客群体的行为偏好与特征,为鹤岗市的全域旅游量身定制旅游组合产品与市场营销策略。通过对现有游客的停留时间、游览线路偏好、消费水平等数据的分析,评估当前旅游产品的不足以及指导未来旅游发展方向。通过构建数字模型来模拟不同规划方案下客流移动和经济效益,评估景区承载力和交通压力等关键指标,模拟多节点旅游线路(图 9),预测节点客流峰值,优化线路

设计与节点容量,协助规划方案的定量论证和方案的持续优化迭代,提高规划的精准度和实施效果,促进旅游业的持续发展。

3.3.3 智慧基础设施布局

通过遗传算法、强化学习模型以及动态数据分析优化旅游巴士线路和站点设置,提升景点与交通出行衔接效率。结合历史客流量,精准推测公共卫生间、公共停车场、游客服务中心、救援点等设施的选址与规模,实现资源合理配置。尤其对于经济形势明显下滑和资金不足的鹤岗市,通过 AI 的需求预测和资源优先级评估,辅助决策者以最小成本实现最大化投资效益,以数据驱动和智能化手段推动基础设施布局的科学性、灵活性和可持续发展。

3.3.4 沉浸式营销体验

通过建设虚拟鹤岗应用,将 AI 与 VR/AR 技术深度融合,构建沉浸式体验与数字营销新生态,游客可在来访前通过 VR 全景体验龙江三峡风光或地下矿井探险,景区现场运用 AR 导览,游客用手机扫描矿山遗址,实时触发历史场景复原影像,实现虚实交互的深度导览。AI 分析评价与行为数据,智能生成短视频图文攻略等个性化内容,精准投放目标客群,形成“线上虚拟体验

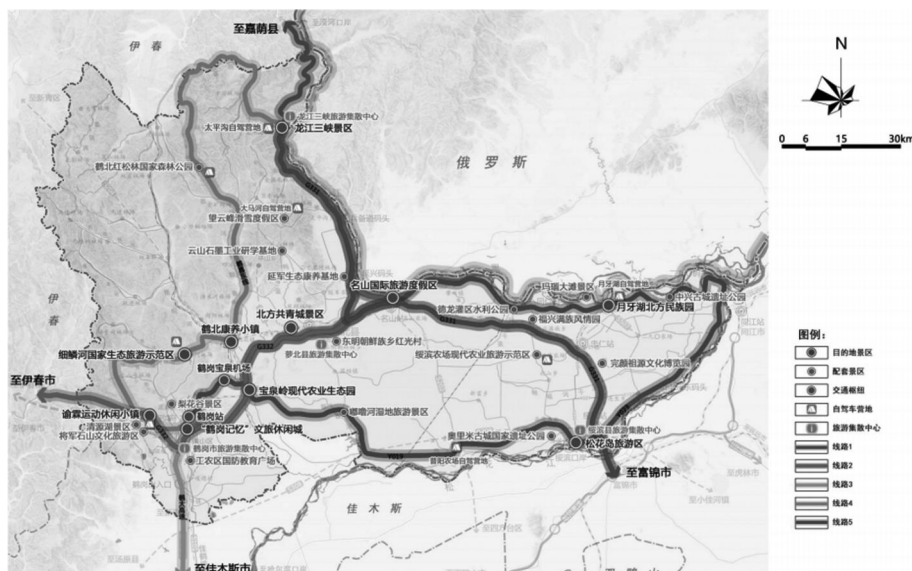


图9 鹤岗市全域旅游精品线路规划图

图片来源:《黑龙江省鹤岗市全域旅游规划(2021—2025)》

种草—线下沉浸式打开—社交平台二次传播”的链条,以数字营销扩大品牌渗透性,实现全域旅游的科技化升级与可持续推广。

4 结论与展望

本文立足于资源枯竭型城市面临的发展困境,以黑龙江省鹤岗市为典型案例,回应其因资源枯竭、人口流失与财政紧张所引发的结构性难题。在转型发展亟待新路径的背景下,文章以“AI 赋能全域旅游”为切入点,探讨人工智能技术在城市空间重构与旅游系统优化中的创新作用。围绕“如何以 AI 技术系统提升资源枯竭型城市的全域旅游规划效能”这一核心问题,提出了从旅游资源数字化挖掘、游客行为精准分析、线路与设施智能优化,到沉浸式体验营造与智慧平台建设等多维度的实施路径,构建起资源整合—系统规划—智慧管理—体验引导的闭环机制。研究表明,AI 赋能不仅是提升旅游系统效率的技术手段,更是资源枯竭型城市实现产业重塑与空间重构的重要引擎。未来应加强“AI + 旅游 + 城市”的协同机制建设,推动技术集成、政策保障与多元主体协同共治,探索资源型城市高质量转型的实践样本与理论路径。

参考文献 (References):

- [1] 安兆祯. 黑龙江省深度融入共建“一带一路”面临的新形势及应对措施[J]. 奋斗, 2019, 67(05): 59 - 62.
- [2] 李婉红, 宋佳. 黑龙江省资源型城市产业结构转型探讨[J]. 世界经济探索, 2019, 8(03): 41 - 49.
- [3] 李欣. 黑龙江省资源型城市高质量发展的影响因素与调控对策[J]. 统计与决策, 2021, 40(06): 77 - 83.
- [4] 王大业. 黑龙江省煤炭资源型城市经济转型发展研究[J]. 商业经济, 2019, 43(09): 9 - 10 + 149.
- [5] R. Goel, T. Singh, S. K. Baral, S. L. Sahdev and S. Gupta, "The Era of Artificial Intelligence Reforming Tourism Industry in Society 5.0," 2022 10th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO), Noida, India, 2022: 1 - 4.
- [6] Stroumpoulis A, Kopanaki E, Varelas S. Role of Artificial Intelligence and Big Data Analytics in Smart Tourism: A Resource - Based View Approach[J]. Sustainable Tourism, 2022, 29(10): 120 - 135.
- [7] 吴康, 张文忠, 张平宇, 等. 中国资源型城市的高质量发展: 困境与突破[J]. 自然资源学报, 2023, 38(01): 1 - 21.
- [8] 熊志建, 赵红, 刘秀丽. 我国资源型城市转型研究

- 与思考——以山西省大同市为例[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(12): 2120 – 2130.
- [9] 李建华. 资源型城市可持续发展研究[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2007.
- [10] Zhuang X, Li X, Xu Y. How Can Resource – Exhausted Cities Get Out of “The Valley of Death”? An Evaluation Index System and Obstacle Degree Analysis of Green Sustainable Development[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(24): 16976.
- [11] 高青松, 王志成, 王月, 等. 精明收缩视角下的收缩型城市设计方法——以鹤岗市为例[J]. 黑龙江国土资源, 2024, 22(07): 43 – 50.
- [12] 龚强. 黑龙江冰雪丝绸之路与依兰国土空间规划——深入挖掘旅游文化资源助推依兰经济建设[J]. 黑龙江国土资源, 2022, 23(09): 26 – 28.
- [13] 许文仪, 王冰冰, 金平斌. 信息化对旅游全要素生产率的影响研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2024, 51(02): 220 – 233.
- [14] 史亚奇. 全域旅游的可持续发展: 耦合协调度评估与未来趋势预测[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(07): 84 – 93.
- [15] 于淼. EOD 模式下资源枯竭型地区城市更新策略——以徐州市贾汪区为例[J]. 规划师, 2022, 38(04): 134 – 138.
- [16] 郑文含. 绿色发展: 资源枯竭型城市转型路径探索——基于徐州市贾汪区的实证[J]. 现代城市研究, 2019, 33(04): 100 – 105.
- [17] Karst B, Peter G, Arie S. Industrial heritage in tourism marketing: legitimizing post – industrial development strategies of the Ruhr Region, Germany[J]. Journal of Heritage Tourism, 2022, 17 (03): 327 – 341.
- [18] 康婷. 基于具身理论下康养旅游高质量发展研究[J]. 攀枝花学院学报, 2024, 41(06): 19 – 29.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 周小新, 1983 年生, 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 黑龙江工程学院, 副教授、硕士研究生导师, 主要研究方向为城乡规划。Email: 13936628448@163.com

AI – Empowering Regional Tourism Planning Strategy for Resource – Exhausted Cities: Case Study of Hegang City

ZHOU Xiaoxin *, ZHOU Yuyuan, ZHANG Chong

(Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: Resource-exhausted cities are generally faced with multiple difficulties, such as single industrial structure, economic downturn, population outflow and spatial function degradation, and therefore the traditional transformation path is difficult to effectively support their sustainable development needs. Taking Hegang City in Heilongjiang Province as a typical case, this paper starts from the perspective of “AI + all-region tourism” and discusses the empowering path to the tourism space reconstruction and industrial reconstruction of resource-exhausted cities through artificial intelligence technology. This research builds a whole process strategy system from the “resource mining, system planning, intelligent management to immersive experience”, which covers tourism resources digital identification, tourist analysis and route planning, wisdom facilities layout and immersive marketing experience. And it puts forward to promote resource city through AI technology to further achieve space governance innovation and industrial synergy upgrade planning logic, which provides references for the resource-exhausted city to achieve high quality transformation development provide reference and reference.

Key words: resource-exhausted city; all-region tourism; artificial intelligence (AI)

土地整治对区域生态系统服务功能的影响及优化策略

郭家相^{1*}, 郭家瀚²

(1. 上犹县自然资源局, 江西 赣州 341299;

2. 赣州市国土空间调查规划研究中心, 江西 赣州 341400)

摘要:本研究以鄱阳湖生态经济区为案例,系统探讨了土地整治对区域生态系统服务功能(ESV)的影响机制及优化策略。基于多源遥感数据、实地采样与模型模拟,揭示了退田还湖、高标准农田建设等整治工程对水源涵养、土壤固碳及生物多样性的差异化效应。结果显示,退田还湖显著提升水源涵养能力和生物多样性,但高强度农田整治导致土壤有机碳密度下降及面源污染加剧。建设用地扩张引发热岛效应和碳汇衰减(降至自然植被的28%)。研究提出分区调控、智能监测、生态补偿等优化策略,成果为协调土地整治与生态保护提供科学依据。

关键词:土地整治;生态系统服务价值;空间异质性;生态补偿;鄱阳湖生态经济区

中图分类号:F301.24

文献标志码:A

文章标号:1672-2736(2025)03-0030-7

0 引言

随着城镇化与农业集约化的快速发展,土地整治已成为优化国土空间布局的重要手段,但其对生态系统服务功能的复杂影响尚未明晰^[1]。鄱阳湖生态经济区作为长江中游重要生态屏障,兼具洪水调蓄、候鸟栖息与粮食生产功能,面临土地整治引发的生态服务权衡问题^[2]。

当前学界对土地整治与生态系统服务关系的研究逐渐深入。如靳乐山等聚焦鄱阳湖湿地生态补偿,剖析试点成效与问题;唐秀美等则量化国土综合整治对区域生态系统服务价值的影响,为实践提供理论指引。然而,多数研究存在局限性,多集中于单一工程或特定生态服务的分析,缺乏多尺度、多要素耦合的系统研究^[3]。在新发展理念下,如何构建科学合理的土地整治模式,实现生态、经济与社会效益的有机统一,仍是未来研究亟待解决的关键问题^[4]。本研究整合2000-2023年多源数据,采用InVEST模型、空间计量等方法,揭示土地整治对ESV的驱动机制与空间异质性规律,并构建“分区-补偿-监测”一体化优化框架,研究旨在为协调区域生态

安全与可持续发展提供理论支撑与实践路径。

1 土地整治对生态系统服务功能的影响机制

1.1 核心驱动因素与传导路径

鄱阳湖生态经济区土地整治通过土地利用格局重构和生态过程干预形成差异化影响机制^[5]。遥感监测显示,2000-2023年间退田还湖工程累计恢复湿地23.6 km²(NDWI指数提升0.18),高标准农田建设使田块平均面积扩大至1.2 hm²(规整度提升300%),而建设用地整治导致地表硬化率从12%增至34%。这些变化引发级联效应:湿地恢复显著提升水源涵养能力(InVEST模型测算+37%)和候鸟栖息地质量(HSI指数+0.32),但土地平整导致耕层土壤有机碳密度下降1.2 g/kg,且机械扰动频次每增加1次/年,土壤固碳衰减幅度扩大0.63个单位。化肥施用强度(412 kg/hm²)超生态阈值37%,加剧下游水体硝酸盐浓度超标2.3倍,凸显“生产-调节”服务权衡特征。

表 1 鄱阳湖生态经济区土地整治的生态系统服务价值(ESV)响应

整治类型	水源涵养 ESV 变化率(%)	土壤固碳 ESV 变化率(%)	生物多样性 ESV 变化率(%)	主导机制
退田还湖	+37	+9	+28	湿地植被恢复与水文调节
高标准农田	+12	-15	-8	土壤扰动与面源污染
建设用地整治	-24	-32	-19	地表硬化与热岛效应
湿地生态修复	+22	+6	+34	植物群落多样性提升

1.2 空间异质性响应规律

不同整治类型对生态系统服务价值(ESV)的影响呈现显著空间分异(表1)。退田还湖在湖盆核心区(NDVI > 0.6)的水源涵养增益效应比边缘区高2.3倍,其生物多样性提升滞后3年显现(Mann-Kendall 检验 $Z = 2.56$);高标准农田导致的土壤碳损失在平原区(坡度 < 3°)比丘陵区高63%,且当田块破碎度指数(FN) > 0.35时景观连通性改善效应消失。建设用地扩张引发热岛强度(ΔLST)增加2.3℃,碳汇密度降至自然植被的28%,且硬化率超过25%后生态退化呈非线性加速。

1.3 复合系统级联效应

土地整治通过“水文-土壤-生物”多要素耦合产生协同与权衡效应^[6]。退田还湖工程使蒸散发量增加18%,碳汇提升1500kg/hm²,同时扩大候鸟高适宜栖息地(HSI > 0.7)面积42%,体现碳-水-生物多样性协同增益^[7]。但高标准农田建设引发氮磷淋溶,导致下游水体总磷浓度超标3-13倍,形成“粮食增产-水质恶化”的典型权衡(权衡度TD = 0.67)。空间计量模型显示,土地整治强度每增加10%,景观破碎化指数上升0.15,需通过500m宽生态廊道建设方可抵消56%的负面效应^[8]。

1.4 关键限制因素与优化启示

研究揭示三大制约瓶颈:①生态补偿标准仅覆盖退田还湖实际损失的53%,导致年均3.2%复耕反弹^[9];②遥感技术对非法矮围识别精度达92%,但面源污染扩散模拟误差 > 25%;③23%整治项目与生物多样性热点区重叠,政策协

同度不足31%。量化研究表明,湿地恢复面积每增加1km²可同步提升碳汇800kg/hm²和水源涵养能力 $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,而25%建设用地硬化率为生态安全临界阈值。这些发现为构建“分区-补偿-监测”一体化调控体系提供理论支撑^[10]。

2 鄱阳湖生态经济区土地整治案例与生态响应分析

2.1 研究区概况与数据整合

鄱阳湖生态经济区(115°49' ~ 117°46'E, 28°24' ~ 29°46'N)作为长江中游最大通江湖泊,承载着“洪水调蓄-候鸟栖息-粮食生产”复合功能(图1)。研究整合2000-2023年多源数据(表2),包括Landsat系列遥感影像(分辨率30m)、102个土壤采样点数据、水文监测站记录及社会经济统计数据^[11]。采用面向对象分类法(精度Kappa = 0.87)提取土地利用变化信息,发现建设用地扩张速率达3.2km²/年,湿地面积减少18.7%,而整治工程使水域面积净增23.6km²。空间分析显示,土地整治强度与人类活动足迹指数(HAI)呈显著正相关($R^2 = 0.76$),但生态敏感区(NDVI > 0.6)整治项目占比不足21%。

2.2 典型土地整治项目特征解析

选取四类代表性工程(表3),揭示其空间布局与生态效应差异:

其中,退田还湖工程在双港镇等湖盆核心区拆除23处非法矮围,恢复湿地23.6km²。遥感反演显示,工程实施后NDWI指数提升0.18,越



图 1 鄱阳湖生态经济区区域图

表 2 研究数据来源与处理框架

数据类型	来源/分辨率	关键参数	处理方法
遥感影像	Landsat 5/8/9	NDVI、NDWI、LST	辐射定标 + 大气校正
土壤属性	实地采样(45 个点位)	SOC、TN、TP、容重	克里金空间插值
水文数据	鄱阳湖水文局	水位、径流量、水质指标	时间序列分析
社会经济数据	统计年鉴	化肥施用量、GDP 密度	空间化处理

表 3 典型土地整治项目特征对比(2020 – 2023)

项目类型	实施面积 (km ²)	投资强度 (万元/km ²)	核心工程技术	生态敏感区 占比(%)
退田还湖	56.8	320	矮围拆除 + 挺水植物恢复 + 水位调控	89
高标准农田	248.3	150	田块规整化 + 智能灌溉 + 土壤改良	12
建设用地整治	92.4	580	增减挂钩 + 容积率提升 + 绿地配建	5
湿地生态修复	37.6	420	基底重塑 + 沉水植物种植 + 生态补水	100

冬候鸟种群增加 19%,但其生态增益呈现显著空间异质性——核心区(高程 <16m)水源涵养能力提升 37%,而边缘区(高程 16 – 20m)仅提升 12%。土壤采样数据表明,恢复区 0 – 20cm 土层有机碳含量达 14.3g/kg,较整治前增长 21%,但 24% 区域因补偿标准不足(仅覆盖损失

的 53%) 出现复耕反弹^[12]。
高标准农田建设在余干县示范区通过田块归并(平均面积从 0.3hm² 增至 1.2hm²)和生态沟渠建设(总长 126km),使灌溉水利用系数从 0.45 提升至 0.62,粮食单产增长 18%。然而,土地平整导致表层土壤扰动深度 >30cm,土壤有机

表 4 鄱阳湖生态经济区生态系统服务价值变化(2000–2023)

服务类型	2000 年 ESV(亿元)	2023 年 ESV(亿元)	变化率(%)	主导驱动因子
水源涵养	86.3	102.7	+19.0	湿地恢复+沟渠建设
土壤固碳	54.2	42.8	-21.0	土地平整+建设用地扩张
生物多样性	37.6	43.9	+16.8	候鸟栖息地修复
气候调节	28.4	22.1	-22.2	热岛效应+植被减少

碳密度下降 1.2g/kg,且化肥施用强度(412kg/ha)超过生态阈值 37%,导致下游水体总磷浓度超标 3–13 倍。空间计量模型显示,田块规整度每提升 10%,面源污染输出负荷增加 8.3%。

2.3 典型土地整治项目特征解析

基于修正当量因子法构建评估模型,量化 2000–2023 年 ESV 变化:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i)$$

其中, A_i 为第类土地利用面积, VC_i 为价值系数(依据粮食单产调整)。

结果显示(表 4),土地整治使水源涵养价值累计增长 19.0%,但土壤固碳价值下降 21.0%,呈现显著服务权衡特征。

空间异质性分析表明:

(1)增益热点区:退田还湖工程区(如吴城镇)水源涵养价值增幅达 37%,生物多样性价值提升 28%;

(2)衰减热点区:南昌县等建设用地密集区土壤固碳价值下降 32%,气候调节价值衰减 24%;

(3)时空滞后性:湿地修复区的生物多样性价值在整治后第 3 年才显著提升(M–K 检验 $Z=2.56$),而土壤功能恢复需 5 年周期。

2.4 生态响应机制的多尺度解析

在微观尺度上,土壤微生物量碳(MBC)在高标准农田整治后下降 29%,而退田还湖区 MBC 增长 18%(PLFA 法测定),其变化与有机质含量呈指数关系($R^2=0.81$)。

在中观尺度上,景观格局分析显示,土地整治使耕地斑块平均面积从 1.3hm² 增至 4.7hm²,但景观连接度指数(CONNECT)下降 0.15,导致

传粉昆虫丰度减少 23%。

在宏观尺度上,流域系统动力学模型表明,土地整治强度每增加 10%,湿地洪水调蓄能力提升 8.3%,但氮磷入湖负荷增加 12.7%,凸显多目标协同的复杂性^[13]。

2.5 关键制约因素识别

在生态补偿缺陷方面,退田还湖补偿标准仅为实际经济损失的 53%,导致 24% 恢复区域出现复耕反弹(年均 3.2%);在技术应用瓶颈方面,遥感监测对非法矮围识别精度达 92%,但对农业面源污染扩散路径模拟误差>25%;在政策协同不足方面,23% 整治项目与生物多样性热点区重叠,生态保护红线管控效力仅发挥 31%^[14]。

3 生态导向的土地整治优化策略

3.1 生态安全格局构建与分区调控

基于生态敏感性差异,将鄱阳湖生态经济区划分为三级管控分区:核心生态区(占全域 23%)严格禁止开发性整治,重点实施退田还湖与湿地修复工程,恢复自然水文节律并保护候鸟栖息地;缓冲协调区(41%)推行有机农田与生态沟渠建设,限制田块扰动深度($\leq 20\text{cm}$),降低土壤扰动与面源污染风险;集约发展区(36%)通过建设用地立体开发(容积率 ≥ 2.5)和绿廊连通(宽度 $\geq 100\text{m}$),减少地表硬化与热岛效应,缓解生态空间挤压。

3.2 智能监测与动态评估技术集成

构建“空–天–地”一体化智能监测网络,集成高光谱遥感(波段数=224)反演土壤有机质含量、深度学习算法(U–Net 模型)自动识别非法矮围以及物联网传感器实时监测农田退水

表 5 不同整治类型优化策略实施效果

策略类型	实施区域	核心措施	生态增益率	经济成本(万元/km ²)
湿地韧性修复	湖盆核心区	基底抬升 + 水位调控 + 沉水植物种植	+ 34%	480
低碳农田建设	平原农业区	秸秆深翻 + 有机肥替代 + 生态沟渠	+ 18%	210
立体开发整治	城乡过渡区	容积率提升 + 屋顶绿化 + 垂直农场	+ 9%	620

氮磷浓度等技术,提升监测精度与时效性。通过数据融合驱动 SWAT 模型优化面源污染扩散模拟,将误差率从 25% 降至 12%,实现生态风险的动态预警与精准评估。

3.3 生态补偿与利益协同机制创新

针对补偿标准不足与复耕反弹问题,建立多层次生态补偿机制。将退田还湖补偿比例从 53% 提高至 89%,覆盖农户实际经济损失,并通过“湿地银行”跨区域交易机制(1km² 湿地修复 = 120 万元信用额)促成南昌市与都昌县完成首笔 860 万元横向补偿。设立省级生态整治专项基金(首期规模 ≥ 5.6 亿元),优先支持碳汇增益型项目(如每吨 CO₂ 当量补贴 120 元),激励地方政府实施基底重塑与沉水植物种植(碳汇提升 0.8t/ha/km²)。同时,推广“年度评估 - 动态调整”机制,对补偿后复耕反弹率 > 3% 的区域启动强制退出程序,不同整治类型优化策略实施效果如表 5 所示。

3.4 多目标协同的技术创新

研发“土壤 - 水文 - 生物”协同技术包,破解粮食增产与生态退化的权衡矛盾。在退田还湖区采用蒙脱石 - 生物炭复合体改良剂,减少高标准农田土壤有机碳损失 42%,同时通过水位智能调控系统延长湿地淹水周期,使底栖生物量提升 56%。构建“田 - 塘 - 沟”三级净化系统,利用挺水植物(如芦苇)与滤食性鱼类(鲢鳙)的协同作用,将氮磷去除率提升至 78%,下游水体总磷浓度从超标 13 倍降至阈值内。城乡过渡区推广立体开发模式,通过容积率提升(≥ 2.5)与屋顶绿化减少地表硬化面积 23%,并结合垂直农场技术维持粮食产量增幅 18%。永修县示范项目表明,该技术包可使碳汇密度恢复至自然植

被的 85%,同时面源污染负荷降低 37%,实现多目标协同优化^[16]。

3.5 政策协同与长效治理机制

推动土地整治与生态保护红线“多规合一”^[17],通过 GIS 叠加分析将项目选址重叠度从 31% 提升至 79%。建立“年度评估 - 动态调整”机制,利用 InVEST 模型量化各分区 ESV 变化,对整治后 3 年内生态增益未达预期(ΔESV < 15%)的区域启动工程优化。在省级层面设立生态整治专项基金(首期规模 = 5.6 亿元),优先支持碳汇增益型项目(每吨 CO₂ 当量补贴 120 元)。

4 结语

本研究揭示了土地整治对生态系统服务功能的双刃剑效应:退田还湖与湿地修复显著提升水源涵养和生物多样性,但高强度农田整治及建设用地扩张加剧土壤退化与生态失衡。通过分区调控、智能监测技术集成及生态补偿机制创新,可有效缓解“生产 - 生态”权衡矛盾。然而,研究仍存在局限性,如面源污染模拟精度不足、政策协同效应有待深化。未来需强化多学科交叉技术研发,探索碳汇增益型整治模式,并推动“多规合一”长效治理机制。研究成果为长江流域乃至全国生态敏感区土地整治优化提供了重要参考,助力实现“山水林田湖草”系统治理目标。

参考文献(References):

[1] 袁明,唐丽芙,肖琴琳,等. 鄱阳湖湿地生态补偿试点成效、问题及建议[J]. 现代园艺, 2022, 45(17): 192 - 194.

[2] 姚龙杰. 国土空间生态修复规划优先区域评估框

- 架整合优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.
- [3] 宋梅. 优化国土空间布局服务乡村全面振兴[N]. 中国自然资源报, 2024-08-15(006).
- [4] 马珂. 国土空间规划背景下永久基本农田保护和布局优化浅析[J]. 华北自然资源, 2024, 22(02): 152-154.
- [5] 唐秀美, 刘敏, 吴悠, 等. 国土综合整治与生态修复对区域生态系统服务价值的影响评估[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 5974-5984.
- [6] 程建明, 姜媛, 刘汉军. 绿色矿山视野下地质矿产生态修复方法研究[J]. 冶金管理, 2023, 35(13): 29-31.
- [7] 姜鑫, 王鹏飞. 北京市乡村重构特征及其驱动机制探析[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(14): 191-193.
- [8] 李晓春, 董波. 对国土空间综合整治与生态修复的思考——以常州市金坛区为例[J]. 农村经济与科技, 2020, 3(13): 10-12.
- [9] 钱龙, 余可. 土地整治影响城乡收入差距吗?——以高标准农田建设为例[J]. 粮食经济研究, 2023, 31(01): 129-143.
- [10] 冷智花, 谭乐梅. 土地流转区域模式创新比较研究[J]. 粮食经济研究, 2020, 06(01): 105-114.
- [11] 唐秀美, 刘敏, 吴悠, 等. 国土综合整治与生态修复对区域生态系统服务价值的影响评估[J]. 生态学报, 2024, 44(14): 5974-5984.
- [12] 李文龙, 林海英, 匡文慧. 北方农牧交错区乡村农牧户适应性演化机制——以内蒙古达茂旗农牧户为例[J]. 经济地理, 2020, 40(01): 150-163.
- [13] 胡晓玲, 何志刚, 温季. 土地整治建设项目规划设计要点[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(05): 58-60.
- [14] 张晨, 王娟, 刘莹, 等. 基于山水林田湖草系统治理观的生态保护与修复: 以河南省黄河故道—豫北平原为例[J]. 环境工程, 2023, 41(06): 54-61.
- [15] 明思雨, 赵锐锋, 贾志斌. 黄河流域城市虚拟土流动量核算及其空间网络分布分析[J]. 环境保护, 2023, 51(04): 68-74.
- [16] 轩欢欢, 乔家君, 张佳莹, 等. 河南省县域经济与乡村转型的空间特征及耦合关系[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2020, 50(02): 167-175+200.
- [17] 姜瑞, 朱逊, 马力. 基于生态空间格局优化的农田生态修复路径[J]. 黑龙江国土资源, 2024, 22(02): 23-31.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 郭家相, 1992年生, 男, 江西赣州人, 硕士, 上犹县自然资源局, 中级工程师, 主要研究方向为环境工程。Email: 1471166271@qq.com

The Impact of Land Consolidation on Regional Ecosystem Services and its Optimization Strategies

GUO Jiayang^{1*}, GUO Jiahua²

(1. Natural Resources Bureau of Shangyou County, Ganzhou City, Jiangxi Province; Ganzhou 341299, China;

2. Ganzhou City Land and Space and Planning Research Center, Ganzhou 341400, China)

Abstract: Taking Poyang Lake Ecological Economic Zone as a case study, this study systematically discussed the influence mechanism and optimization strategy of land consolidation on regional ecosystem service function (ESV). Based on multi-source remote sensing data, field sampling and model simulation, the differentiated effects of reclamation projects on water conservation, soil carbon sequestration and biodiversity were revealed. The results showed that returning farmland to lake significantly can improve water conservation capacity and biodiversity, but the high intensity farmland remediation will result in the decrease of soil organic carbon density and the intensification of non-point source pollution. The expansion of construction land can cause heat island effect and carbon sink attenuation (down to 28% of natural vegetation). Optimization strategies, such as zoning regulation, intelligent monitoring and ecological compensation, are proposed, and the results provide a scientific basis for coordinating land consolidation and ecological protection.

Key words: land consolidation; ecosystem service value; spatial heterogeneity; ecological compensation; poyang lake ecological economic zone

高标准农田建设对农业生产的影响及创新路径研究

石建华*

(辽宁省农业科学院农业规划设计研究院, 沈阳 110161)

摘 要:高标准农田建设有利于提高耕地质量,有助于提升粮食综合生产能力,保障国家粮食安全,呈现出建设理念转变、建设标准提升、建设路径创新、突出综合效益、建设主体多元、设计规模化等六个方面特征。近年来,各地区认真贯彻落实党中央、国务院决策部署,高位推进高标准农田建设,取得了较好的成效,但不同程度上存在资金保障存在差距、多因素制约新建和改造提升工程协调推进、管护机制存在缺陷等问题。高标准农田建设要以《高标准农田建设通则》《高标准农田建设评价规范》等相关政策规范指导,以问题为导向,挖掘加强高标准农田建设成效的关键措施,创新高标准农田建设对农业生产影响路径,提升高标准农田建设成效。

关键词:高标准农田;农业生产;影响;创新路径

中图分类号:F323.2

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)03-0037-7

0 引言

21 世纪以来,耕地数量不足和质量下降是导致我国粮食增产动力不足的原因之一。《全国高标准农田建设规划(2021-2030)》明确指出,全力建设高标准农田是当前和未来十年的重要任务,旨在巩固和提高粮食综合生产能力,确保国家粮食安全。截至 2023 年,我国已建成高标准农田超过 10 亿亩,助力农作物增产 10% - 20%,为粮食安全提供了重要支撑^[1]。高标准农田建设通过开展田块整治、灌溉排水、田间道路、农田输配电、农田生态防护等工程技术措施,解决耕地田块细碎、质量下降和基础设施配套不完善等一系列问题,助力实现农业现代化、规模化和专业化,促进了农村基础设施、生态环境和产业融合发展,改变了农民生产、生活条件,增加了农民收入。

1 新时期高标准农田建设内涵

高标准农田建设是巩固和提高粮食生产能力、保障国家粮食安全的关键举措。在过去十年

间,中央一号文件持续强调了建设高标准农田的重要性,不断提出新的要求和目标,持续丰富和完善高标准农田建设内涵。新时期高标准农田建设内涵更加注重土地资源的节约集约利用,通过优化土地布局、提高土地利用效率,实现农田的规模化、集约化和现代化;更加强调生态环境的保护与改善,通过实施农田防护、水土保持等工程措施,增强农田的生态功能和抵御自然灾害的能力;更加注重农业科技的应用与推广,通过引入先进的农业技术和装备,提高农田的生产能力和产品质量,推动农业产业的转型升级。

高标准农田具备建设理念转变、建设标准提升、建设路径创新、突出综合效益、建设主体多元、设计规模化等六个方面特征。一是建设理念转变,高标准农田建设不再单独追求耕地数量的增加,而更加注重耕地质量提升、生态环境的改善以及与现代农业生产和经营方式的适应性。二是建设标准提升,高标准农田建设按照国家相关建设规范的要求,各地根据本区域农业发展制约因素,在统筹水利、土地、电力、气象等影响因素的基础上构建科学统一的建设标准,并因地制宜。

宜形成契合区域发展特色的标准体系^[2]。三是建设路径创新,从技术集成、管理机制、生态融合、数字赋能、政策支持和区域统筹方面实现建设路径创新,这些创新路径正在重构现代农业基础设施的底层逻辑,推动农田建设从“工程导向”向“价值创造型”转变,实现耕地质量、生态效益与产业价值的协同提升。四是突出综合效益,高标准农田建设从单一追求产量提升向经济、生态、社会效益协同发展转型,其综合效益体现在经济-生态效益联动、生产-生活功能融合、传统-现代要素耦合、政府-市场-社会协同。五是建设主体的多元化,高标准农田建设主体不仅包括政府职能部门,还包括农业企业、农场主、农业生产大户、合作社等众多农业生产经营主体,这些主体共同推动高标准农田建设的现代化和高效化^[3]。六是设计规模化,高标准农田建设从促进区域农业生产整体水平有效提升的角度出发,立项选址优先考虑集中连片的“两区”和永久基本农田集中分布区域,有利于发挥高标准农田建设的规模效益,通过规模化设计,可以实现耕地资源的集约化管理,减少农田的碎片化,优化土地利用结构,便于农业机械化作业和现代化管理技术的推广,从而进一步提升农业生产的整体效益。

2 高标准农田建设对农业生产的影响

2.1 提升农业生产能力

农业基础设施建设是实现农业农村可持续发展的重要举措。高标准农田建设通过配备完善的灌溉系统,能够精准满足农作物水分需求,有效抵御干旱对农业生产的影响,有助于稳定和提高粮食产量;通过构建良好的田间道路体系,大型农业机械方便开展进田作业,实现耕作、播种、施肥、收割等环节的机械化、规模化和精细化,提高了农业生产效率和精准管理,有助于提高农作物的产量和质量,增加粮食供给;通过建设防洪堤坝、疏浚沟渠、护坡护岸等水利工程措

施,有效保护农作物免受洪涝灾害影响,增强农田生态系统的稳定性,确保粮食安全。

2.2 提高农业生产效率

农业生产机械化是农业现代化的必由之路^[3]。家庭联产承包责任制的实施,促进了农业生产积极性,但也导致农业种植呈现碎片化,在一定程度上制约了农业生产的规模化进程,农业生产机械化程度相对不高。高标准农田建设通过实施土地平整工程措施,消除田间高低起伏不平问题;通过工程措施将不规则形状和零散地块归并成大地块,有效增加耕地面积,改变传统的耕地格局;通过坡改梯、田块治理和客土改良等工程设施减小耕地坡度,增加农田耕层厚度,提高耕地土壤有机质含量,为机械化操作提供便利,有效降低农业生产成本,促进农业生产升级迭代。

2.3 实现农业生产规模化

农业生产规模化是提高农业生产能力的重要路径。高标准农田建设通过土地流转机制,有效整合了零散地块,将其流转至种粮大户、合作社等新型农业经营主体,实现了农田的集中连片,优化种植结构,促进规模化生产,对粮食综合生产能力提高具有积极作用^[4]。农田基础设施配套能够增强耕地灌溉保障和土壤肥力,提升耕地质量,减少生产要素投入,降低生产成本,显著提升耕地生产效率和收益,能够激发企业参与农业生产的积极性。同时,耕地通过高标准农田建设后,能够提升土地流转概率,土地流转价格普遍提高,提高了农户的流转意愿^[5]。

2.4 促进农业可持续发展

高标准农田建设是推进我国农业可持续发展的重要战略,其核心在于通过科学规划、技术创新和资源优化配置,推动农业向高效、绿色、可持续方向发展,关乎粮食安全和农业增效,更是实现乡村振兴的关键路径。主要表现在助力农田基础设施建设,有效提高了农田的产出能力和抗灾能力,为农业可持续发展奠定了坚实基础;

通过高标准农田建设,强化农业科技创新和智能化农机设备的推广应用,推动农业向智能化、精准化方向发展,农田正从“劳动密集型生产单元”进化为“数据密集型的农业创新载体”,为农业现代化提供核心基础设施支撑;注重农田生态环境的保护,合理利用水资源,加强对农田生态系统的保护,提高农田生物多样性,促进了农田生态平衡和可持续发展;推动农业产业升级和优化农业产业结构促进农业与二三产业的融合发展,为农业农村经济持续健康发展提供有力支撑。

3 高标准农田建设存在的问题

3.1 资金保障存在差距

根据《全国高标准农田建设规划(2021—2030)》,综合考虑建设成本、物价波动、政府投入能力和多元筹资渠道等因素,全国高标准农田建设亩均投资一般应逐步达到3000元左右。当前,根据项目开展情况,多数省份的高标准农田建设亩均投资标准在1500元到2500元之间,距离国家提出的亩均投资3000元的标准还存在一定差距。为实现“到2035年要把永久基本农田全部建成高标准农田”的任务目标,各地年度高标准农田建设任务大幅增加,按照以往“先易后难”选择建设区域的原则,地势平缓、集中连片的农田地块将越来越少,后期项目立项选址难度将逐步加大,工程建设成本将逐步提高,一定程度上加重了地方财政压力。

3.2 多因素制约工程协调推进

2018年以前高标准农田建设项目由发改、财政、农发、自然资源、水利等部门分头管理实施,因为各部门对高标准农田建设管理方式和建设重点不同,存在缺乏统一规划、建设区域交叉重叠、建设规模不清等问题,导致高标准农田“上图入库”工作基础数据间存在矛盾,增加理清已建高标准农田底数和分解年度建设任务难度。另外,各地热衷于开展新建高标准农田建设,并没有认真按照“缺什么补什么”原则,对已

建成高标准农田工程建设内容梳理、工程量统计、运行状态核查、建设成效分析的积极性不高,制约了高标准农田建设新建和改造提升工程的协调推进。

3.3 管护机制不健全

虽然高标准农田建设已实施多年,但是各地高标准农田建设一直存在重建设轻管护现象,其建设后管护机制依然存在不足之处,影响了高标准农田建设后长期、高效运行。一是高标准农田建设项目竣工验收后,高标准农田工程产权和设施设备均移交给项目所在镇村负责管护,但由于家庭联产承包责任制,部分工程设施分配在农户身上,导致管护职责和范围不明晰,管护主体不明确;二是高标准农田建设管护资金投入和使用效率不高,设施设备无法及时维护,难以发挥长久作用;三是工程管护机制不完善,监督机制缺乏问题一直未能得到有效解决。

3.4 农民参与度不足

农民参与度不足是当前高标准农田建设领域所面临的关键难题。首先,农民对高标准农田建设的理解尚浅,缺乏积极参与的意愿和动力,这在一定程度上限制了他们在建设过程中主体作用的发挥。其次,政府部门、村集体与农民之间的沟通协调机制尚需进一步完善,政府部门在项目规划和决策过程中未能充分听取农民的意见和建议,导致农民在项目规划、建设及管护等关键环节的参与度较低,项目方案与农民实际需求存在偏差。再次,农民参与高标准农田建设的方式较为单一,主要以临时雇佣的形式参与体力劳动,缺少在技术、管理、监督等领域的深入参与。最后,高标准农田建设涉及多方利益调整时,农民的利益保障不足,这严重影响了他们的参与积极性。

4 高标准农田建设的创新路径

4.1 增强高标准农田建设的科技创新

首先,高标准农田建设要依托科技创新和成

果应用推广,强化现代农业科技支撑。一是土壤改良与肥力提升创新。根据不同区域生态环境及耕地质量现状,因地制宜的利用土壤调理剂,有机肥和无机肥合理搭配等科学配方肥等科技措施提升土壤肥力。二是节水灌溉技术创新,推广高效节水灌溉方式,减少水分蒸发和深层渗漏,创新应用智能灌溉控制系统,根据作物需水规律和土壤湿度自动控制灌溉设备,实现智能化灌溉。三是精准农业技术创新,将卫星定位、地理信息系统以及遥感技术应用于高标准农田建设,精确确定农田区域的位置,分析土壤类型、肥力、地形等要素,获取农田的多光谱影像,对高标准农田的生产过程进行实时监测和精准调整,做到知天而作,科学种田^[6]。其次,强化技术人才培养,鼓励外出务工人员回乡参与高标准农田建设,强化内部人才和区域内职业农民的培训,建立科学的农田管理制度,为高标准农田的建设、运营、管护等提供优质人才和技术保障,激发高标准农田的生产力。

4.2 高标准农田建设与农业产业化深度耦合

农业产业化发展已成为提升农业竞争力、促进农业增收、实现乡村振兴的关键路径,将农业产业与多要素紧密相连,使其相互促进、协调发展至关重要。一是在申请高标准农田建设专项资金的基础上,吸引多元化农业经营主体参与高标准农田建设、土地流转、经营权互换以及规模化生产^[7]。二是将高标准农田建设项目区优先纳入地区农业产业强镇、现代农业产业园规划,提高支撑特色农业产业化发展能力。三是根据不同地区的资源特色,围绕特色农作物种植建设高标准农田,并发挥特色产业带动农旅发展,形成农文旅融合发展产业链条,打造农业产业发展新格局。通过高标准农田建设与农业产业化的深度耦合,最终实现“建一片高标准农田、兴一个农业产业、富一方群众百姓”的乡村振兴图景。

4.3 高标准农田建设注重农田生态化设计

高标准农田建设在保障粮食产能的基础上,将生态保护与农田基础设施深度融合,构建“生产-生态-景观”协同体系。例如,保留原有地形地貌 10% 以上的自然沟塘、林带,作为生物栖息地;硬化沟渠改用生态混凝土(孔隙率 $\geq 25\%$),搭配挺水植物(芦苇、香蒲)形成生态护坡,替代传统水泥衬砌,实现有机融合;加强高标准农田周边水资源的保护和生态廊道的建设,推广绿色种植技术,以保护高标准农田的生物多样性,引导农业生产者树立环境保护意识,并积极参与到高标准农田生态化建设^[9]。通过生态化高标准农田设计,提高农田生产力和生态服务功能,实现农业生产与生态保护的良性互动。

5 加强高标准农田建设成效的关键措施

5.1 加大资金保障力度,制定区域性投资标准

高标准农田建设是一项长效且复杂的系统工程,需要从规划设计、建设施工、后期运行管护等多个环节进行考量,需要大量的专项资金注入和先进的农业、水利、道路、输配电、农田防护等各类专项技术整合。随着高标准农田建设的不断深入,项目立项选址难度和项目建设材料和人工成本越来越高。为解决高标准农田建设地方财政压力,建议根据各地区种植结构、地貌类型、区域农田建设限制因素等实际情况,因地制宜地制定区域性投资标准,整合中央专项资金、省级补助资金和地方自筹资金以及社会多元化融资,加大高标准农田建设资金的保障力度。同时,优化各项工程建设投资比例,细化各项管理费用构成,充分发挥高标准农田建设资金的长效作用。

5.2 做好顶层规划引领,分类推进高标准农田建设

组织开展永久基本农田全部建成高标准农田的方案编制工作,以高标准农田“上图入库”基础数据、自然资源变更调查数据、永久基本农

田数据为基础,套合水源保护地和生态红线,摸清各地高标准农田建设潜力,分析已建高标准农田建设成效和主要问题,明确下一步高标准农田新建和改造提升建设内容和重点任务。同时,充分衔接高标准农田建设规划和国土空间规划等相关规划,优化高标准农田建设新建和改造提升项目时间和空间布局,分类制定高标准农田建设项目库,科学有序推进高标准农田建设,促进乡村振兴^[10]。

5.3 落实管护主体,强化管护资金保障,创新管护机制

一是要按照“谁受益、谁管护,谁使用、谁管护”的原则,明确管护责任和标准,细化管护责任清单,发挥村委会和经营者在高标准农田管护工作中的主体作用。二是建立管护资金保障机制,在高标准农田建设项目其他工作及措施费中明确管护资金比例,不足部分可通过高标准农田项目结余资金和新增受益部分补充。同时,完善社会资本参与管护的政策措施,鼓励开展高标准农田工程设施灾毁保险。三是探索实行项目建设管护一体化,建立管护绩效评价体系和监督机制,加强管护主体的定期技术指导和监管,创新管护机制,提高管护成效。

5.4 优化投资结构,统筹推动高标准农田建设

各级政府要调动农业生产者的创新积极性,逐步增加田块治理、地力提升工程以及科技措施投资比例,依托创新理论,统筹推进高标准农田建设,发挥高标准农田收益的长效性。一是依托农业生态学理论,科学实施田块治理工程,优化农田生态系统结构,进行科学的轮作和间作,引入更多作物类型和品种,形成丰富的农田生态系统。二是依托农业科技理论,科学实施地力提升工程,科技赋能高标准农田建设,通过增施有机肥、秸秆还田、种植绿肥等方式实施土壤改良与培肥,采用生物防治、物理防治和绿色防控技术,减少化肥、农药使用量,保护农田生态环境。三是依托精准农业理论,优化各类生产要素评估,

通过精准投入,降低农业生产成本,根据市场需求变化,逐步调整农业种植结构和产业布局,助力实现高标准农田综合效益的长久提升。

5.5 加强政策宣传,强化全过程监督,完善农民参与机制

首先,强化政策的宣传和解读,通过多样化渠道与方式向农民群体普及高标准农田建设的深远意义、相关政策及其预期效益,以提升农民对于参与高标准农田建设的认知水平。其次,构建完善的组织协调机制,确保政府部门、村集体与农民之间建立有效的沟通与协调平台,激励农民积极参与项目规划、建设及管理维护等环节,赋予其在项目全程管理中更多的发言与监督权利,进而提升其参与项目的积极性与主动性。再次,创新农民参与模式,鼓励农民以多种途径参与高标准农田建设,除提供劳务与资金投入外,亦可引导农民通过土地入股、技术入股、参与项目管理等手段,充分发挥其主体作用。最后,需充分顾及农民的利益诉求,建立公正合理的利益分配机制,确保农民的土地承包权、经营权及收益权得到保障,使农民能够实质性地参与到高标准农田建设后的农业产业发展全链条中,共享产业发展成果,实现农民的增收与致富。

参考文献(References):

- [1] 滕京涛. 高标准农田建设探讨[J]. 江西农业, 2024, 16(05): 125 - 127.
- [2] 刘丽雅. 西安市长安区高标准农田建设规划与实施[J]. 现代农业科技, 2025, 53(04): 149 - 152.
- [3] 于法稳, 孙韩小雪, 刘月清. 高标准农田建设: 内涵特征、问题诊断及推进路径[J]. 经济纵横, 2024, 39(01): 61 - 68.
- [4] 曾智, 何蒲明. 高标准农田建设何以影响粮食生产效率[J]. 干旱区资源与环境, 2025, 39(01): 94 - 104.
- [5] 李春艳. 高标准农田建设成效、存在问题与建议[J]. 中国农业综合开发, 2024, 21(03): 45 - 46.
- [6] 张益, 丛林. 山亭区高标准农田建设调研与思考

- [J]. 中国农业综合开发, 2024, 21(05): 33 – 35.
- [7] 王术坤, 林文声, 杨国蕾. 高标准农田建设的种植结构调整效应[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(03): 125 – 136.
- [8] 陈厚宇. 罗甸县高标准农田建设存在的问题及建议[J]. 农业技术与装备, 2024, 39(05): 34 – 36.
- [9] 杨天国. 玉门市高标准农田建设现状及对策研究[J]. 农业科技与信息, 2024, 40(02): 136 – 139.
- [10] 周雪, 王殿尧, 徐毅铭, 等. 北大荒集团黑土耕地资源保护: 经验、挑战与对策[J]. 黑龙江国土资

源, 2024, 22(06): 54 – 60.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 石建华, 1981 年生, 男, 沈阳, 辽宁省农业科学院农业规划设计研究院, 高级工程师, 主要研究方向为农业水利工程、高标准农田建设。Email: 29003614@qq.com

Research on the Impact of Well – Facilitated Farmland Construction on Agricultural Production and Innovative Paths

SHI Jianhua *

(Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: The construction of well-facilitated farmland is conducive to improving the quality of arable land, helping to enhance the comprehensive production capacity of grain and guaranteeing national food security, presenting the characteristics of transformation of construction concepts, improvement of construction standards, innovation of construction paths, highlighting of comprehensive benefits, diversification of construction entities, and large-scale design. In recent years, all regions conscientiously implement the Party Central Committee and the State Council decision-making and deployment, and promote the construction of Well-facilitated farmland at a high level, and achieved good results, but to varying degrees, there are disparity in terms of capital guarantee, multiple constraints on the coordinated promotion of new construction and renovation and upgrading of the project, deficiencies in the mechanism of management and maintenance. Well-facilitated farmland construction should be guided by the General Principles of well-facilitated farmland Construction, the Evaluation Norms for well-facilitated farmland Construction and other relevant policies and norms, and should be problem-oriented, so as to dig out the key measures to strengthen the effectiveness of well-facilitated farmland construction, innovate the path of influence of well-facilitated farmland construction on agricultural production, and enhance the effectiveness of well-facilitated farmland construction.

Key words: well-facilitated farmland; agricultural production; impacts; innovative pathways

地表基质遥感调查主要内容及方法探讨

李东辉, 孙肖*, 霍润斌, 何威荣, 王雁亮

(中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000)

摘要:地表基质调查的核心问题聚焦于其调查内容的确定与技术方法的探索,而遥感技术凭借其卓越的空间、时间、波谱及辐射分辨率特性,在地表基质调查中扮演着至关重要的角色,成为一项关键的支撑技术。本文从地表基质要素、自然资源要素、环境要素和人为要素4个方面总结了地表基质调查中遥感工作的主要内容和方法。将遥感技术应用于保定地区地表基质调查,基本查明了该地区的地表基质要素信息,掌握了主要的自然资源要素和环境要素情况,梳理总结了地表基质遥感调查的基本工作流程。通过实际应用发现,遥感技术不仅可以准确地获取地表基质基本信息,而且可以更好地为综合调查提供基础资料、辅助支撑、拓展研究,对于加快建立自然资源统一调查、监测、评价制度,健全自然资源监管体制具有重大意义。

关键词:地表基质;自然资源;遥感解译;人为因素;保定地区

中图分类号: P962

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)03-0044-8

0 引言

2020年,自然资源部发布了《自然资源调查监测体系构建总体方案》(以下简称《总体方案》),首次提出“地表基质”一词^[1]。葛良胜等学者对地表基质的基本概念、分类等内容进行了研究^[2,3]。侯红星等则对地表基质调查的要素指标、内容、方法等问题进行了探索^[4]。由于地表基质及其孕育支撑的各类自然资源种类繁多、结构复杂、分布范围广且不均衡,全面开展地面综合调查需要耗费大量的人力、物力和财力,探索更为便捷准确的调查方法是目前综合调查工作所面临的主要问题之一。

遥感是人类认识事物的重要手段。随着我国卫星遥感技术的飞速发展,国产卫星遥感影像的分辨率不断提高,遥感技术已显现出高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率、高辐射分辨率的新特征^[5,6]。遥感技术能够大范围、多尺度、全天候、高精度、多频率、动态、高效地获取地面信息,在更多的应用新领域中得到了很好地应用^[7]。利用遥感技术对地球表面实施感应遥测

和资源管理的监视(如草地、土壤、林地等)结合起来的一种新技术,且成本较低,是支撑地表基质调查工作的有效手段。

目前,已有众多学者对遥感技术在自然资源调查中的应用进行了探索,总结了许多有借鉴意义的工作方法和经验^[8-11]。然而,目前遥感技术在地表基质调查领域的运用及其相关研究尚显不足。鉴于此,迫切需要深化遥感技术在地表基质调查中的探索与应用研究。本文依托高分一号、高分二号及 Landsat-8 等卫星的遥感影像资料作为信息来源,通过保定地区地表基质调查的试点项目实践,归纳了地表基质遥感调查的核心内容与通用技术手段,并成功获取了保定地区地表基质的基础性信息。同时,本文还分析了当前地表基质遥感调查面临的挑战,并指明了未来研究的重点方向,为全面铺开地表基质相关工作奠定了坚实的基础。

1 解译主要内容

1.1 地表基质要素

按照地表基质发育全过程,综合地质学等学

科中的概念,从形态学上进行整体性区分,将地表基质划分为“4类3级”,明确了一级类、二级类的名称,给出了三级类的分类原则和基本要求。侯红星等根据实际工作详细划分了三级类的调查要素-属性指标体系。

岩石地表基质遥感解译内容主要包括,划定岩石一级类界线,区分岩浆岩、沉积岩、变质岩3个二级类。通过对遥感影像进行波段组合、图像融合、增强,运用光谱分析、纹理特征分析、地貌特征分析等方法建立解译标志,开展人机交互解译,对地表基质岩石单元进行划分^[12]。

砾质是岩石发育的产物。遥感解译内容主要包括,划定砾质一级类界线,区分巨砾、粗砾、中砾、细砾4个二级类。砾质主要分布在山前冲洪积平原及大型盆地周边等处^[13]。砾质结构在平原区为砂、砾石夹砂层透镜体;在细土平原区为亚砂土或亚黏土与砂或含砾、砂互层。

土质是砾质物质的进一步发育。遥感解译内容主要包括,划定土质一级类界线,区分粗骨土、砂土、壤土、黏土4个二级类。在实地采集样品的基础上,高光谱遥感技术可以快速、宏观地反演土质地表基质的重金属、有机质、pH等信息^[14-16]。

泥质是指长期处在静水或缓慢的流水水体

底部的特殊壤土、黏土。遥感解译内容主要包括,划定泥质一级类界线,区分淤泥、软泥和深海黏土3个二级类。陆地部分泥质一般分布于季节性河流两侧、湿地沼泽和水库水面附近。

1.2 自然资源要素

自然资源调查涵盖多个要素,本文遵循以地表基质要素为核心,其他要素为补充的原则,对与地表基质相关联的自然资源要素的核心内容进行了整理(图1),主要包括土地的类型、数量、质量、分布等基础的属性信息以及动态监测、矿产资源要素、林草资源、水体等信息。

1.3 环境要素

环境要素主要包括地质灾害和地形地貌。地质灾害中滑坡、泥石流的发生会导致局部地表基质类型的改变。地形地貌对于地表基质要素、自然资源要素等的解译具有支撑作用,地形地貌的改变也直接导致地表基质类型及范围发生变化^[17]。

1.4 人为要素

人类重大工程会导致地表基质类型改变。例如,三峡水库消落带对库岸稳定性、入库泥沙和水质有重要的影响^[18]。入库泥沙及早期建库使用土地经过三峡水库水体长期作用会变成泥

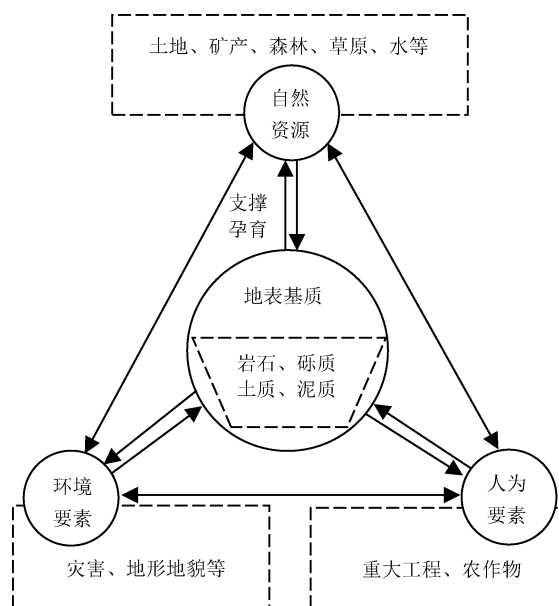


图1 地表基质遥感解译内容及其关系

质;填海造陆工程会将原有泥质地表基质改变成为土质。农作物的生长对于地表基质理化性质的改变影响比较大。由于自然原因及不合理的人类活动使得东北黑土功能严重退化,水土流失日趋剧烈,土壤层遭到破坏甚至消失^[19]。

2 主要技术方法

2.1 工作流程

本次工作中地表基质遥感工作流程如下:一是收集工作区的基础地质、灾害、地形地貌、水文、遥感、自然资源等相关成果资料,综合分析工作区的基本情况,开展地表基质初步改化工作;二是结合数字高程模型及地形图对收集的高分一号、高分二号、Landsat-8 等遥感数据进行预处理;三是结合前人资料初步建立的典型地表基质、自然资源、环境和人为要素遥感解译标志;四是采用人机交互的方式进行详细解译;五是对解译结果通过点和路线的方式开展野外验证;最后根据野外验证结果修正完善解译结果,编制地表基质遥感解译图件和成果报告。

2.2 主要技术方法

(1) 地表基质要素

通过对遥感影像进行波段组合、图像融合、增强,运用光谱分析、纹理特征分析、地貌特征分析等方法建立解译标志,开展人机交互解译,对地表基质岩石单元进行划分。在实地采集样品的基础上,高光谱遥感技术可以快速、宏观地反演土质地表基质的重金属、有机质、pH 等信息。

(2) 自然资源要素

利用高空间分辨率遥感影像开展土地的类型、数量、分布等基础的属性信息解译;利用高光谱遥感影像开展土地质量的解译^[20];利用高时间分辨率遥感影像开展土地资源动态监测等^[21]。

应用高空间分辨率与高时间分辨率遥感影像可以获取矿山活动引起的土地资源破坏和地形地貌景观破坏情况^[22]。该信息直接影响地表基质属性和范围的改变,是引起地表基质变化的

重要因素。

林草资源是联结水体、土壤、大气的自然枢纽,制约着生态系统的平衡^[23]。遥感获取指标的方法主要有:比值植被指数、归一化植被指数、监督分类等。森林蓄积量和林草种类有助于确定山地地区地表基质要素的类型。

利用图像融合技术、监督分类法、非监督分类法、NDWI 水体指数法等均可以有效的对水体信息进行提取^[24]。水体信息对于自然资源砾质、泥质及其他地表基质的动态变化具有指示作用。

(3) 环境要素

根据滑坡、泥石流灾害点与周围地区在纹理、形状、色调、植被覆盖情况上的差异,运用高空间分辨率、高光谱分辨率遥感影像以及 InSAR 等遥感技术,通过目视解译、自动识别等方式,可以短时间内快速了解地质灾害类型,并准确的判断出该地区的空间分布特点,对于地质灾害前后地表基质的变化范围、影响的研究极其重要^[25-27]。

遥感影像数据包含丰富的地理信息,能真实反应地物形态。利用遥感影像结合 DEM,可以很容易的实现地形的划分和地貌单元中大量地形数据的提取。

(4) 人为要素

通过不同时间高分辨率遥感影像的对比,目视解译即可获取人类重大工程的范围信息,对于判断地表基质变化具有指示作用。利用高空间分辨率遥感数据可以对农作物种植情况进行监测^[28-32]。

3 地表基质调查应用

为了深入研究地表基质的分类体系、调查指标、涵盖内容及实施方法^[33],2020 年,中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心率先在保定区域启动了地表基质层的试点调查项目^[34]。此项目的目的在于为后续的地表基质层调查工作提供实践指导和组织框架,并为构建地表基质层调查的技术标准、方法流程及质量控制规范等奠定重要基础^[35]。

3.1 研究区域概况

保定地区位于河北省中西部,西依太行山,东抱白洋淀。整体呈现出西北高东南低的趋势,地貌基本分为山区和平原两大类。西部属太行山脉,由中山区、低山区和丘陵区三部分组成,东部属华北平原,按其成因可分为山前洪积平原、冲积平原及洼淀区三部分。

3.2 数据来源

本项目成功采集了工作区域内空间分辨率为 15m 的 Landsat 系列卫星数据,确保了工作区影像数据的全面覆盖,且数据质量整体上表现较好,地表特征的可识别度高。在精心筛选符合要求的遥感原始影像后,随即对这些影像实施了一系列预处理工作,包括辐射校正、几何纠正、图像融合以及图像增强等关键步骤。这些预处理措施旨在进一步提升影像的质量,为后续的分析和应用奠定坚实的基础。

3.3 结果分析

本次工作遥感解译内容主要包括地表基质基本要素、土地利用类型、地形地貌、植被覆盖、

矿山分布情况。

保定地区地表基质分布情况见图 2,面积统计结果见表 1。该地区地表基质类型主要为土质和岩石,土质地表基质面积占全区总面积的 52.68%,以壤土为主,覆盖整个平原区域;岩石地表基质面积占全区的 45.31%,以沉积岩为主。岩石地表基质主要分布于保定地区的西部及西北部;砾质和泥质地表基质分布比较少,仅占全区 2.01%。砾质地表基质分布于主要河流水系及两侧;淤泥地表基质仅分布于东部白洋淀及其周边。

保定地区土地利用类型主要为耕地,占全区总面积的 40%。耕地中以水浇地为主,大部分分布于保定地区的东部和南部平原地带。其他土地中裸岩石砾地比较多,占全区总面积的 16%。全区水资源占比较少,仅占总面积的 3%,主要分布于水库及东部白洋淀地区。总体来看,土质地表基质的分布与耕地的空间分布基本一致。岩石地表基质分布区域林地、草地、裸岩石砾地交错分布、相互关联,可以结合岩石地表基质实地综合调查结果进行分析。

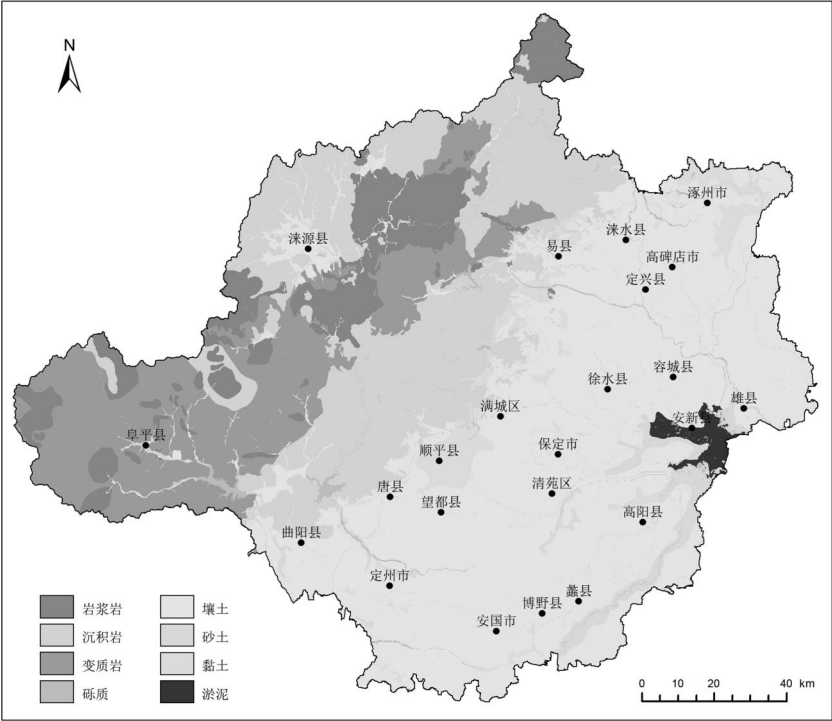


图 2 保定地区地表基质分布简图

表 1 保定地区地表基质类型及占比

一级类	二级类	面积(km ²)	百分比(%)
岩石	岩浆岩	1874.50	8.44
	沉积岩	4740.56	21.35
	变质岩	3447.11	15.52
砾质		382.19	1.72
土质	砂土	593.70	2.67
	壤土	10343.55	46.58
	黏土	761.52	3.43
泥质	淤泥	63.31	0.29

保定地区植被覆盖度大于 80% 的区域面积约占 12%, 主要分布于涞源县、阜平县及雄安新区。植被覆盖度小于 20% 的地区多为保定东部及南部冲积平原地区作物农田、居民区建筑物以及山谷平原区。草地主要分布于西北部沉积岩山区, 占全区总面积的 15%; 林地主要分布于保定地区西北、西部山区, 占全区总面积的 12%。

保定地区地形地貌类型共划分为 32 种类型。平坦低海拔冲积河流低阶地占比最大, 占全区总面积的 46%; 低海拔侵蚀剥蚀低丘陵地貌占比其次, 占全区总面积的 19%; 两种类型都是流水地貌, 位于低海拔地区。总体来看, 壤土多分布于平坦低海拔冲积河流低阶地, 而岩石地表基质多分布于各类火山熔岩地貌区。

工作中对保定地区石矿区、铁矿区、石棉矿区、砂石采场、沙采场、土采场、选矿厂这 7 类矿业相关区域的分布进行了遥感解译。其中, 作为采矿用地的区域中, 石矿区数量最多, 共有 600

余处。矿山分布的解译主要是分析矿山开采对地表基质类型的改变, 野外调查中发现部分矿山已经开展了封闭及修复工作。

根据遥感解译结果, 为了更直观地呈现相关信息, 绘制了涞源县至白洋淀的地表基质与土地利用类型关系见图 3。地面高程线下方示意地表基质类型分布, 上方示意土地利用类型分布。从图中可以看出, 沉积岩区草地分布较多, 而林地主要分布于变质岩区, 耕地主要分布于壤土区。河流分布和砾质地表基质的分布直接相关。

4 结论

(1) 保定地区地表基质遥感解译结果显示: 该地区地表基质主要以土质和岩石为主; 土地利用类型主要为耕地; 草地主要分布于西北部沉积岩山区; 林地主要分布于保定地区西北、西部山区; 划分了 32 种地形地貌类型; 解译矿山 600 余处。

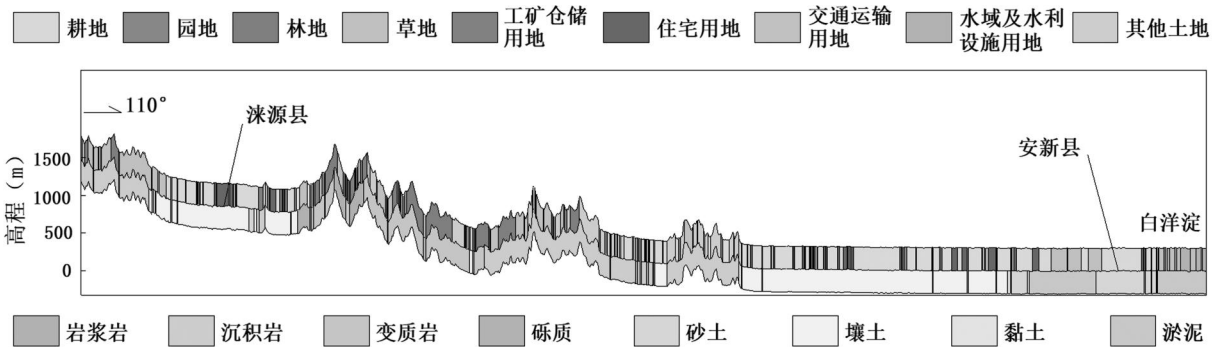


图 3 涞源县 - 白洋淀地表基质与土地利用类型示意图

(2)解译结果及实践表明,全面获取地表基质要素、地表基质孕育和支撑的自然资源要素、影响地表基质的环境要素及人为要素等方面的信息,为研究多种要素之间的互相影响关系提供了重要的数据支撑。

(3)从实践结果来看,将遥感技术运用在地表基质调查中,可以更加全面地对研究区内地表基质相关的基本信息进行解译分析,减少野外地质工作者的负担,提高成果的全面性、宏观性、综合性,更好支撑综合调查,为进一步科研提供基础数据。

参考文献(References):

- [1] 自然资源部.自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知 自然资发[2020]15号[J].自然资源通讯,2020,0(02):13-22.
- [2] 葛良胜,杨贵才.自然资源调查监测工作新领域:地表基质调查[J].中国国土资源经济,2020,9(04):4-11.
- [3] 殷志强,秦小光,张蜀冀,等.地表基质分类及调查初步研究[J].水文地质工程地质,2020,47(06):8-14.
- [4] 侯红星,张蜀冀,鲁敏,等.自然资源地表基基层调查技术方法新经验—以保定地区地表基基层调查为例[J].西北地质,2021,54(03):277-288
- [5] 张兵.当代遥感科技发展的现状与未来展望[J].中国科学院院刊,2017,32(07):774-784.
- [6] 陈玲,贾佳,王海庆.高分遥感在自然资源调查中的应用综述[J].国土资源遥感,2019,31(01):1-7.
- [7] 童庆禧,孟庆岩,杨杭.遥感技术发展历程与未来展望[J].城市与减灾,2018,20(06):6-15.
- [8] 方臣,胡飞,陈曦,等.自然资源遥感应用研究进展[J].资源环境与工程,2019,33(04):563-569.
- [9] 江舒静,邹镰钊.遥感技术在自然资源调查监测中的应用探究[J].科技资讯,2024,21(24):208-210.
- [10] 梁顺林,白瑞,陈晓娜,等.2019年中国陆表定量遥感发展综述[J].遥感学报,2020,24(06):618-671.
- [11] 尤淑撑,何芸.自然资源遥感监测体系建设现状与发展展望[J].无线电工程,2020,50(05):343-348.
- [12] 张焜,马世斌,李宗仁,等.高分一号卫星数据遥感地质解译[J].遥感信息,2016,31(01):115-123.
- [13] 霍东,陈占生,艾晓军,等.遥感解译在辽阳-丹东地区黑土地地表基质调查中的应用——以宽甸满族自治县为例[J].农业与技术,2023,43(15):115-119.
- [14] 余涛,蒋天宇,刘旭,等.土壤重金属污染现状及检测分析技术研究进展[J].中国地质,2021,48(02):460-476.
- [15] 郭学飞,曹颖,焦润成,等.土壤重金属污染高光谱遥感监测方法综述[J].城市地质,2020,15(03):320-326.
- [16] 李富,欧阳渊,刘洪,等.高密度电阻率法与地质雷达法在土壤厚度调查中应用效果——以西昌市土壤厚度调查为例[J].华北地质,2021,44(01):27-32.
- [17] 杨朋,田立柱,文明征,等.船载海陆一体化三维地形测量技术在海岸带侵蚀淤积监测中的应用[J].地质调查与研究,2020,43(04):348-352.
- [18] 贺秀斌,鲍玉海.三峡水库消落带土壤侵蚀与生态重建研究进展[J].中国水土保持科学,2019,17(04):160-168.
- [19] 于佩鑫,周询,刘素红,等.东北黑土区侵蚀沟遥感影像特征提取与识别[J].遥感学报,2018,22(04):611-620.
- [20] 陈功伟,赵思颖,倪才英.高光谱监测技术在重金属污染土壤上的应用[J].中国科学院大学学报,2019,36(04):560-566.
- [21] 张景华,欧阳渊,张建龙,等.雪峰山西侧地区线性和环状构造特点及其与油气关系探讨[J].华北地质,2021,44(01):33-38.
- [22] 黄露,王爱华,陈君,等.国产卫星遥感技术在自然资源调查监测中的应用[J].地理空间信息,2020,18(05):73-75.
- [23] 唐亚蕾,王腾,田伟召.高分辨率遥感影像植被信息提取方法研究[J].测绘与空间地理信息,2024,47(S01):99-101.
- [24] 李丹,吴保生,陈博伟,等.基于卫星遥感的水体信息提取研究进展与展望[J].清华大学学报(自

- 然科学版), 2020, 60(02): 147 - 161.
- [25] 杨佳旺, 钱建平, 龙思远, 赵鹏伟. 遥感技术在中国地质灾害中的应用[J]. 防灾减灾学报, 2022, 38(04): 17 - 25.
- [26] 葛大庆, 戴可人, 郭兆成, 等. 重大地质灾害隐患早期识别中综合遥感应用的思考与建议[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(07): 4 - 11.
- [27] 王琳, 陈楚, 吴正鹏, 等. 无人机遥感在山体创面三维模型制作中的应用研究[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(04): 361 - 366.
- [28] 孟祥添, 鲍依临, 刘焕军, 等. 基于高分 5 号影像的东北典型黑土区土壤分类[J]. 农业工程学报, 2020, 36(16): 231 - 238.
- [29] 陈刚, 周权平, 吴涵宇, 等. 长江经济带地质资源环境综合信息管理与服务系统的开发与应用[J]. 华东地质, 2024, 45(03): 357 - 367.
- [30] 袁晶, 陈艳, 唐春花, 等. 遥感地热 GIS 预测方法研究——以江西宁都地区为例[J]. 华东地质, 2023, 44(04): 424 - 438.
- [31] 倪斌, 黄照强, 郭健, 等. 基于机载和星载高光谱遥感的武夷山成矿带蚀变矿物信息识别研究[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 67 - 81.
- [32] 白宇, 郑志忠, 修连存, 等. 无人机高光谱遥感技术在自然资源调查中的应用进展[J]. 华东地质, 2022, 43(04): 527 - 538.
- [33] 侯红星, 张蜀冀, 孙肖, 等. 自然资源地表基质调查工程 2020 - 2022 年实施方案[R]. 廊坊: 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 2020.
- [34] 鲁敏, 侯红星, 王献, 等. 河北省保定地区自然资源地表基质层试点调查 2020 年实施方案[R]. 廊坊: 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 2020.
- [35] 李泽钰, 黎立, 刘娜, 等. 基于多源数据和图像分割的地表基质遥感解译方法——以垫江北部地区为例[J]. 测绘通报, 2024, 69(S1): 166 - 171.

作者简介:

第一作者: 李东辉, 1995 年生, 男, 山西翼城人, 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 助理工程师, 主要研究方向为自然资源遥感。Email: lidonghui@mail.cgs.gov.cn;

通讯作者: 孙肖, 1988 年生, 男, 陕西富平人, 硕士, 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 工程师, 主要研究方向为高光谱遥感理论与应用。E-mail: sunxiao@cugb.edu.cn

Discussion on the Main Contents and Methods of Remote Sensing Investigation of Ground Matrix

LI Donghui, SUN Xiao^{*}, HUO Runbin, HE Weirong, WANG Yanliang

(Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, China)

Abstract: The core issues of surface matrix investigation focus on the determination of its investigation content and the exploration of technical methodologies. Remote sensing technology, with its exceptional spatial, temporal, spectral, and radiometric resolution capabilities, plays a vital role in surface matrix investigations and has emerged as a crucial supporting technology. This paper summarizes the main content and methods of remote sensing work in surface matrix investigations from four aspects: surface matrix elements, natural resource elements, environmental elements, and anthropogenic elements. By applying remote sensing technology to the surface matrix investigation in Baoding area, the basic information on surface matrix elements in this area has been largely identified, and the conditions of major natural resources and environmental elements have been grasped. The basic workflow of remote sensing investigation for surface matrix has been sorted out and summarized. Through practical applications, it's found that the remote sensing technology can not only accurately obtain basic information on the surface matrix but also better provide basic data, auxiliary support, and expanded research for comprehensive investigations, which is of great significance for accelerating the establishment of a unified investigation, monitoring, and evaluation system for natural resources and improving the supervision system of natural resource.

Key words: ground matrix; natural resources; human factor; Baoding area

城市地下管道物探中的多物理场耦合反演技术研究

刘光勇*

(福建泉州勘测设计院有限公司,福建 泉州 362012)

摘 要:城市地下管道探测精度不足制约着市政设施安全运维与地下空间开发。本文针对复杂城市环境下的多源干扰问题,提出融合电磁场、重力场及地震波场等多源物理场数据的耦合反演技术,通过建立多物理场联合约束模型与自适应正则化反演算法,突破传统单一物理场探测的局限性。工程验证表明,该方法可实现埋深识别精度 $\pm 0.1\text{m}$ 、水平定位误差 $\pm 0.2\text{m}$ 的技术指标,较传统单一物理场探测方法水平定位精度提升40%,在管径 $\leq 300\text{mm}$ 的非金属管道识别中表现出显著优势,且对5m范围内电力线缆干扰具有良好抑制效果。研究成果为高精度城市地下管线普查、老旧管网修复提供了新的技术路径,其多源数据融合框架对城市地下空间数字化治理具有推广价值。

关键词:城市地下管道物探;多物理场耦合;反演技术;探测精度

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)03-0052-8

0 引言

随着城市化进程的快速推进,城市地下管道系统愈发庞大复杂。地下管道作为城市的“生命线”,其准确探测对于城市规划、建设与维护至关重要^[1]。然而,当前城市地下管道探测面临诸多挑战,如复杂地质条件干扰、管道材质多样等,传统探测方法难以满足高精度探测需求。多物理场耦合反演技术整合多种物理场信息,有望突破这些局限^[2]。本文将深入研究该技术的原理,通过实际案例分析其在城市地下管道探测中的应用效果,以为城市地下管道探测提供更可靠的技术支持。

1 多物理场耦合反演技术原理

1.1 多物理场基础理论

1.1.1 电磁类探测方法基本原理

频率域电磁感应法基于电磁感应现象,利用发射线圈向地下输1Hz-10kHz的交变电流产生一次磁场,地下金属管道等导体在交变磁场中产生涡流并形成二次磁场,接收线圈通过解析二次磁场的幅值和相位变化来确定地下导体的位置、

走向和埋深等空间分布参数。该方法在探测金属管道时灵敏度高,可通过选择特征频率(如V8系统的多频同步扫频技术)抑制干扰,但探测非金属管道时需依赖管道内部的金属构件或主动示踪标记,如内置电磁标识器。此外,还可依据偶极子理论推导出的水平管道感应磁场强度随距离衰减的规律进行埋深反演,即感应磁场强度与发射电流、真空磁导率、角频率、等效截面积等相关,且随管道到接收点距离的增加呈立方衰减,同时伴有相位变化^[3]。

1.1.2 重力勘探原理

重力勘探是基于地球及其附近物体的引力作用产生的一种物理场。在城市地下管道探测中,重力勘探的原理是利用不同物质密度的差异。地下管道与周围岩土体的密度不同,这种密度差异会导致局部重力异常。当土体结构中存在密度较大的管道(如金属管道)时,该区域的重力值会相对增大;而密度较小的管道(如塑料管道)则会使重力值相对减小。通过高精度的重力测量仪器,可以检测到这些微小的重力异常变化。对采集到的重力数据进行分析处理和反演计算,能够推断出地下管道的分布、埋深等信

息,为城市地下管道的探测提供依据^[4]。

1.1.3 地震勘探原理

地震波场原理基于地震波在不同介质中传播特性的差异。当人工激发地震波(如使用震源锤敲击地面)后,地震波会在地下介质中传播。地下管道与周围岩土体的弹性性质(如弹性模量、密度等)不同,会导致地震波传播速度、振幅和相位等发生变化。例如,地震波遇到管道时,会发生反射、折射和散射等现象。通过布置在地面的地震检波器接收这些变化后的地震波信号,对信号进行分析处理,可获取地下管道的位置、形状、埋深等信息。利用地震波场原理进行地下管道探测,能够有效探测较深位置的管道,为城市地下管道的全面探测提供重要手段^[5]。

1.2 多物理场耦合机制

1.2.1 物理场之间的相互作用

城市地下管道探测涉及的电磁、重力和地震波场之间存在复杂的物理关联性^[6]。金属管道因其高导电性和高密度特性,在不同场域中表现出显著响应:在电磁感应场中,交变磁场激发管道产生涡流并形成二次磁场;在重力场中,高密度金属管道与周围介质的密度差异会引发局部重力异常;在地震波场中,管道与土体的波阻抗差异导致地震波发生反射和散射。这种跨场域响应特性为多物理场联合反演提供了物性基础。

值得注意的是,各场域间存在间接耦合关系:地震波传播过程中产生的机械振动会改变介质孔隙结构,导致电导率和磁导率的动态变化,从而影响电磁感应信号的幅值与相位^[7];重力场差异引发的土体应力状态变化会改变地震波的传播路径和衰减特性^[8]。这些耦合效应虽未直接改变介质密度分布,但通过影响介质的弹性模量和泊松比,间接影响地震波场参数。

1.2.2 耦合模型的建立

为了描述多物理场(如电磁、重力和地震波)之间的相互作用及其与地下管道的响应关系,需要建立一个综合的耦合模型。该模型将各个物理场之间的相互作用和地下管道分布等因素纳入到一个统一的数学框架中,使得多物理场

数据能够通过反演过程准确地恢复地下管道的位置、形状和其他参数。

假设在研究区域,地下介质的特性可以用弹性模量、密度等宏观参数来描述。同时,在电磁场中,地下管道的存在会引起物体的磁场变化,这主要由材料的导电率、孔隙率等因素决定。重力场的变化则与管道的密度和分布有关,而地震波场的传播特性又与管道的弹性模量、密度以及介质的位移敏感性有关。因此,多物理场耦合模型可以分为以下几个部分:

(1)电磁场-重力场耦合:在电磁场中,地下管道的存在会导致地面的磁场发生变化。这种变化与地下介质的导电率和孔隙率有关。同时,重力场的测量结果也可以用来反映地下管道密度的分布。磁感应强度可以表示为:

$$B = \mu_0 \cdot (J + Z_1) \quad (1)$$

式中, B 为磁感应强度, J 为电流密度, Z_1 为磁感应强度, μ_0 为真空磁导率。

(2)地震波场-其他场耦合:地震波场传播速度与接触面之间的弹性模量和密度有关,公式为:

$$v = \sqrt{\frac{M_2}{\rho}} \quad (2)$$

式中, v 为地震波场传播速度, M_2 为剪切模量, ρ 为密度。

同时,地震波的衰减幅度也受到地下管道对介质位移引起的地震波屏蔽效应的影响,公式为:

$$D = \alpha \cdot d \quad (3)$$

式中, D 为地震波屏蔽值, α 为地震波的吸收系数, d 为地下管道的直径。耦合模型可以通过以上公式关联地震波场与地下管道分布。

(3)多场耦合方程组:为了综合考虑各个物理场之间的互动关系,可以构建以下方程组:

$$\begin{cases} \Delta B = k_1 \cdot \sigma + M_p \\ \Delta g = g_0 - (\rho_p/V) \\ v = v_0 \cdot (M/\rho)^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (4)$$

式中, ΔB 为磁场变化量, Δg 为重力场变化, v_0 为初始地震波传播速度, k_1 为比例系数, σ 为

电导率, M_p 为极化磁矩, g_0 为初始重力值, ρ_p 为目标体密度, V 为体积, M 为模型定义量。

(4) 反演关系表达: 通过上述耦合方程组, 可以将多物理场数据与地下结构参数建立联系。例如, 利用电磁场变化率、重力场变化率和地震波传播速度之间的关系, 可以表达为:

$$M = f_1(\Delta g, v) \quad (5)$$

式中, f_1 表示为变量间的映射关系。

M 与式(4)定义中相同, 用于构建多物理场数据与地下结构参数的反演关系。从而得到一个综合的反演公式, 即通过测量的多物理场数据来估算地下管道的分布特性。

此外, 可借助有限元法(FEM)或边值正确定积分法(BIE)等高级建模方法, 改进模型数学表达形式, 更精准描述物理场相互作用及地下管道分布对参数的影响。

耦合模型是研究多物理场与地下结构关系、获取地下结构空间信息的关键和基础, 合理建模能将多维度数据转化为有意义的地下管道分布特性, 为城市地质灾害评估等提供科学依据。

1.3 反演算法

1.3.1 反演的基本概念

反演是指通过观察到的测量数据, 推断出潜在在未知的模型参数或结构特性的一种技术。反演过程通常涉及将实验观测值与理论模型之间建立数学关系, 并对该关系进行逆向求解。反演问题在科学实验、工程分析等领域具有广泛应用价值, 尤其是在处理不确定性和非线性系统时。

在城市地下管道探测中, 反演技术需要解决以下关键问题: 如何从有限、噪声污染的测量数据中提取信息; 如何建立多物理场之间的耦合关系; 以及如何有效地求解复杂的非线性方程组。这些问题使得传统的直接计算方法难以应对, 从而促发了基于反演算法的研究。

1.3.2 基于优化算法的反演方法

遗传算法是一种基于自然选择和遗传机制的优化算法, 广泛应用于参数估计、模式识别等领域。其核心思想是模拟生物进化过程: 通过选择、交叉和变异操作, 不断优化候选方案以适应

目标函数(如最小误差或最大信息量)要求, 具体目标函数如下所示:

$$\text{Objective Function} = \sum (w_i^{-2} (x_i - x_{\text{true}, i})^2) \quad (6)$$

式中, w_i 为权重因素, x_i 表示某一位置的预测值, $x_{\text{true}, i}$ 表示该位置的实际或真实值通过迭代优化过程, 逐步逼近最优参数估计, 最终得到地下管道分布的空间特性。这种基于遗传算法的反演方法具有全局搜索能力, 可有效处理复杂非线性系统。

1.3.3 多物理场耦合反演算法的实现

在城市地下管道探测中, 多物理场耦合反演算法的实现主要包含以下步骤: 首先, 对多物理场测量数据(如磁感应、重力变化和地震波速度)进行预处理^[9], 以去噪和滤波以提高信噪比。接着, 将处理后的数据编码为染色体, 作为反演优化的初始种群。然后, 利用遗传算法进行优化迭代: 选择适应度最高的个体; 执行交叉变异操作, 生成多样化的后代组合; 通过适应度函数评估候选方案, 最终逼近最佳参数配置。在实现过程中, 有限元法或边值正确定积分法等数学建模方法可用于描述各物理场间耦合作用及地下结构对参数的影响。该算法能够有效处理复杂非线性系统, 并通过多维度测量数据定位地下管道分布, 为城市地质评估和工程规划提供科学依据, 其优势在于提高识别精度和应对复杂的地质条件。

2 多物理场耦合反演技术在城市地下管道探测中的应用案例

2.1 案例区域概况

该研究区域位于我国东部二线城市的一个老城区, 面积约为 5km^2 , 地表主要覆盖厚度约 $1-2\text{m}$ 的第四纪松散堆积物, 以粉质黏土和粉土为主, 其压缩性中等, 承载力特征值约为 $100-120\text{kPa}$ 。地下共有砂质黏土层(厚度 $5-8\text{m}$)和粉细砂层(厚度 $10-15\text{m}$), 此外还存在一些小型断裂构造对地下管道探测造成干扰, 同时地下水位较高, 一般地面以下 $1-2\text{m}$ 左右^[10]。

该区域地下管道分布复杂且密集,包括给水管道(铸铁管和塑料管,总长度 30km)以及燃气管道(钢管,总长度 20km)。其中部分管道因年代久远存在破损和堵塞问题,增加了探测难度。

2.2 数据采集与处理

2.2.1 多物理场数据采集设备及方法

在多物理场数据采集过程中,为获取全面且准确的地下管道信息,选用了不同类型的设备,分别对电磁、重力和地震波场数据进行采集,具体如下:

(1)电磁数据采集:采用加拿大凤凰公司生产的 V8 多功能电法仪,该仪器基于电磁感应原理,具备高分辨率和高灵敏度的特点,可精确测量地下电磁场变化。本次数据采集采用瞬变电磁法,其工作原理是通过发射机向地下发射不同频率(10Hz、100Hz、1000Hz 等)的交变电流,地下管道在交变电流产生的交变磁场中产生感应电流,进而产生二次磁场,接收机负责记录这些二次磁场的信号。在采集过程中,为确保数据的准确性和可靠性,按 5m 间距布置电极,以均匀覆盖探测区域。选择多个不同频率是为了获取不同深度和不同特性的地下信息。同时,对每个测量点进行多次重复测量,最后取平均值作为该点的测量结果,以此减少测量误差,提高数据

质量。

(2)重力数据采集:使用美国 Scintrex 公司生产的 CG-5 重力仪,具有高精度和高稳定性,基于弹簧弹性形变测量重力变化。采集前对仪器校准调试,按 10m 间距布置测量点,同时测量高程数据以消除地形影响,并定期重复测量以确保数据一致性^[11]。

(3)地震波数据采集:选用美国 Geometrics 公司生产的 StrataView-3D 地震仪,具备高采样率和高分辨率。采用共偏移距反射法,按 3m 间距布置检波器,震源锤激发地震波,记录反射、折射和散射波信号。每个震源点多次激发并叠加处理数据,同时设置速度检波器测量地震波传播速度。

通过以上设备和方法的综合运用,全面、准确地采集了研究区域内的多物理场数据,为后续数据处理和反演分析提供了可靠基础。

2.2.2 数据预处理

在获取多物理场原始数据后,由于测量环境等因素影响,数据中存在噪声干扰,需进行预处理以提高数据质量^[12],数据预处理流程如图 1 所示。

对于电磁数据,采用带通滤波器去除高频和低频噪声,保留有效频段内的信号,同时利用滑动平均滤波法平滑数据曲线,减少随机噪声影响。

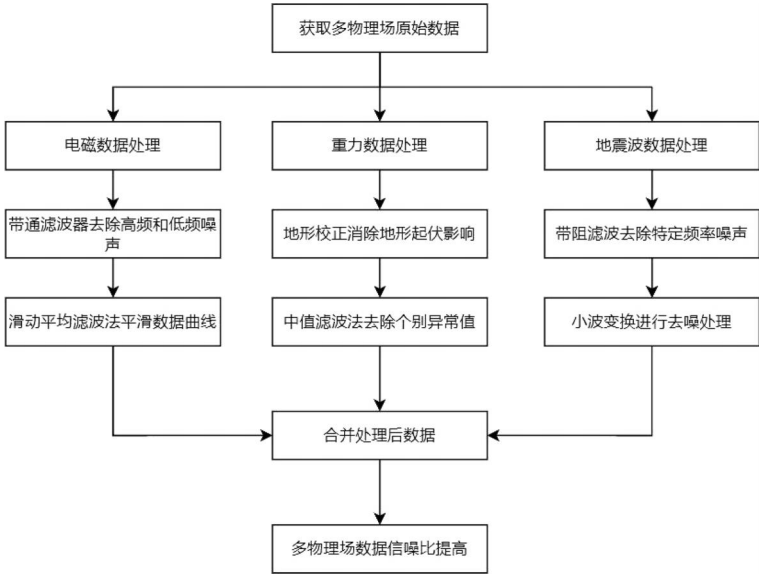


图 1 数据预处理流程

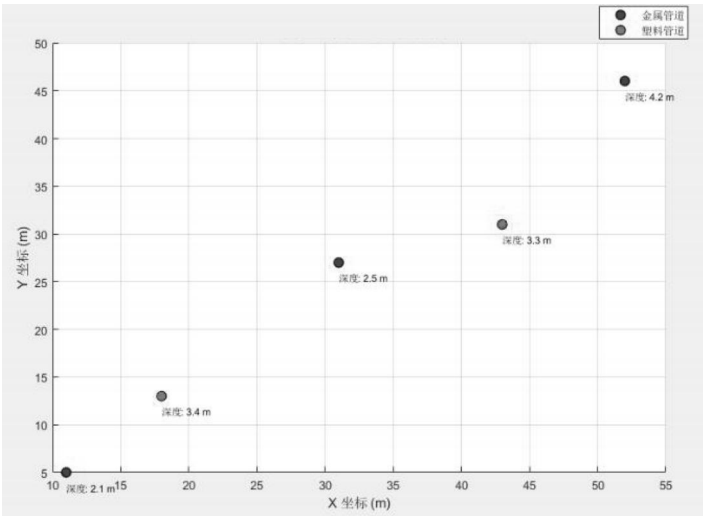


图 2 地下管道的多物理耦合反演结果可视化展示

重力数据处理时,首先通过地形校正消除地形起伏对重力测量的影响,再采用中值滤波法去除个别异常值,保证重力数据的准确性^[13]。

地震波数据则先进行带阻滤波,去除环境振动等产生的特定频率噪声,然后使用小波变换进行去噪处理,分解信号到不同尺度,去除噪声所在的高频分量,保留有效地震波信号。

经过上述去噪、滤波等预处理操作,多物理场数据的信噪比得到显著提高,为后续多物理场耦合反演分析奠定良好基础。

2.3 多物理场耦合反演结果分析

2.3.1 反演结果的可视化展示

在多物理场耦合反演技术的应用中,反演结果的可视化是理解地下管道分布和验证技术有效性的重要环节。在该案例中,多物理场耦合反演结果的可视化展示是通过 MATLAB 编程实现的,旨在直观呈现地下管道的位置、走向和埋深信息,如图 2 所示。

通过绘制管道的位置、类型和埋深信息,帮助研究人员和工程技术人员快速评估地下管道的实际分布情况,从而为城市地下空间的规划、建设和维护提供科学依据。

2.3.2 与传统探测方法结果对比

为了验证多物理场耦合反演技术在城市地下管道探测中的优势,本文将多物理场耦合反演

技术的结果与传统探测方法的结果进行了对比分析^[14]。

在对比分析中,多物理场耦合反演技术通过整合电磁、重力、地震波等多种物理场信息,并利用耦合模型与反演算法来获取地下管道的综合信息,从而实现更全面和精准的探测效果。而传统探测方法则以电磁感应法为主,主要依赖单一的电磁信号进行探测。在对比指标方面,重点关注探测精度、分辨率、对复杂管道结构的识别能力以及抗干扰能力^[15],数据对比如表 1、图 3 所示。

为验证多物理场耦合反演技术的有效性,选取同一试验区分别采用多物理场耦合技术与传统单一物理场方法(电磁感应法、重力法、地震波法)进行对比,并通过开挖验证(验证管道占比 80%)与第三方检测数据(激光扫描)确认真值。对比指标涵盖探测精度、分辨率、复杂结构识别能力及抗干扰性^[15],结果如表 1、图 3 所示。

由表 1 可知,多物理场耦合反演技术通过综合分析多种物理场信息,在探测精度、分辨率、复杂管道结构识别能力和抗干扰能力方面均优于传统探测方法。它能显著降低管道埋深和水平位置的测量误差,识别更小直径的管道,准确区分交叉或重叠的复杂管道结构,并对金属和非金属管道均表现出良好的探测效果^[16],克服了传

表 1 多物理场耦合技术与传统方法性能对比

评价指标	多物理场耦合技术	传统电磁感应法	重力法	地震波法
埋深误差(金属)	$\pm 0.1\text{m}$ (开挖验证)	$\pm 0.3\text{m}$ (开挖验证)	$\pm 1.2\text{m}$	$\pm 0.8\text{m}$
水平位置误差	$\pm 0.2\text{m}$ (激光扫描)	$\pm 0.5\text{m}$ (激光扫描)	$\pm 2.5\text{m}$	$\pm 1.0\text{m}$
分辨率	可识别直径 $\geq 0.1\text{m}$ 管道(图 3a)	可识别直径 $\geq 0.3\text{m}$ 管道	仅适用于直径 $\geq 2\text{m}$ 目标体	可识别直径 $\geq 0.5\text{m}$ 管道
复杂结构识别能力	可区分交叉/重叠管道(图 3b)	交叉管道 误判率 $>60\%$	不适用	需多角度震源叠加
抗干扰能力	金属/非金属管道均适用	易受地下金属杂物干扰	受地形噪声影响显著	受环境振动噪声限制
典型应用场景	综合密度、电导率、波速差异	高导电金属管道探测	大型地下空洞探测	深层地质构造成像

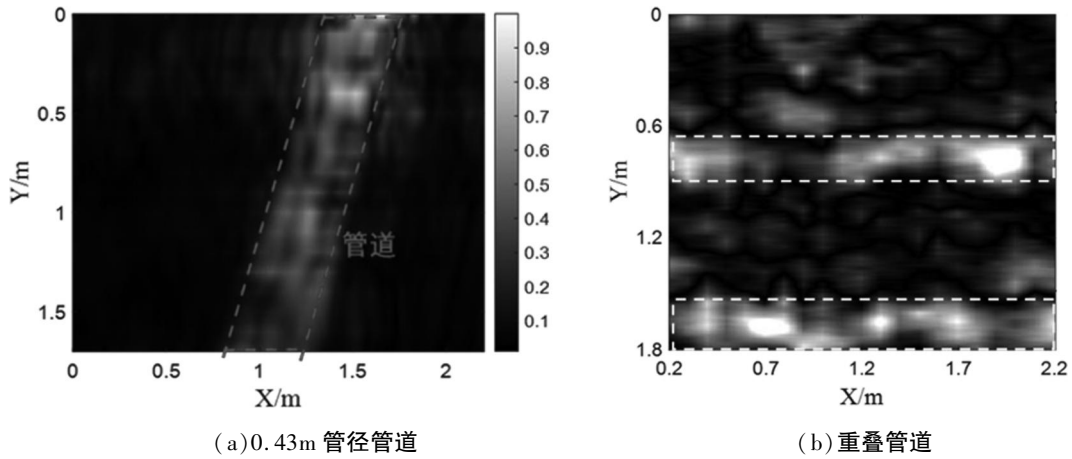


图 3 案例采集结果图

统方法在非金属管道探测中的不足。

通过对比分析可以看出,多物理场耦合反演技术在探测精度、分辨率、复杂管道结构识别能力和抗干扰能力等方面均优于传统探测方法。该技术能够为城市地下管道探测提供更可靠、准确的信息,尤其适用于复杂地质条件和多种材质管道的探测。

3 结语

本文通过对多物理场耦合反演技术的深入研究,验证了其在城市地下管道探测中的显著优势。该技术通过整合电磁、重力和地震波等多种物理场信息,显著提高了探测精度和分辨率,能够准确识别复杂管道结构,并有效应对不同材质

管道的探测需求。与传统探测方法相比,多物理场耦合反演技术在探测精度、抗干扰能力和适用范围等方面表现出色,尤其在复杂地质条件下更具优势。研究表明,该技术为城市地下管道的精准探测提供了可靠的技术支持,为城市规划、建设和维护提供了重要的科学依据,具有广阔的应用前景。未来,随着技术的进一步发展和优化,多物理场耦合反演技术有望在更多领域发挥重要作用。

参考文献(References):

[1] 李骄阳. 地下管线物探原理及探测方法分析[J]. 江西建材, 2022, 42(11): 43-44+48.
[2] 刘岩. 地下管线探测中疑难管线探测研究[J]. 西

- 部资源, 2020, 17(06): 158 – 160.
- [3] 翁敏. 近岸海底管线探测方法与应用分析[J]. 珠江水运, 2024, 32(22): 115 – 117.
- [4] 路海滨. 物探技术在煤矿地质探测中的应用研究[J]. 能源与节能, 2024, 29(04): 261 – 264.
- [5] 张伊飞. 龙岗岩溶场区地震波数值模拟及层析成像研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2022.
- [6] Gallardo L A, Meju M A. Structure – coupled multiphysics imaging in geophysical sciences. *Reviews of Geophysics*, 2021, 49(01): 100 – 120.
- [7] 程丰浩, 孙春耕, 刘靖, 等. 伺服阀控气动系统的反演自适应控制研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2024, 38(12): 232 – 239.
- [8] 谢一凡, 吴吉春, 王益, 叶逾, 谢春红, 鲁春辉. 一种模拟节点达西流速的多尺度有限元 – 有限元模型[J]. 岩土工程学报, 2022, 44(01): 107 – 114.
- [9] 谢一凡, 吴吉春, 薛禹群, 谢春红. 一种模拟节点达西渗透流速的三次样条多尺度有限单元法[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(09): 1727 – 1732.
- [10] 李守巨, 上官子昌, 刘迎曦, 于贺. 地下水渗流模型参数识别的模拟退火算法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(A01): 5031 – 5036.
- [11] 周凌峰, 王媛, 冯迪. 求解非均质渗流场的改进数值流形方法[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(07): 1288 – 1296.
- [12] 赵文凤, 谢一凡, 吴吉春. 一种模拟节点达西渗透流速的双重网格多尺度有限单元法[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(08): 1474 – 1481.
- [13] 姚磊华. 遗传算法和高斯牛顿法联合反演地下水渗流模型参数[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(08): 885 – 890.
- [14] 唐明健, 唐和生. 基于物理信息的深度学习求解矩形薄板力学正反问题[J]. 计算力学学报, 2022, 39(01): 120 – 128.
- [15] 兰鹏, 李海潮, 叶新宇, 张升, 盛岱超. PINNs 算法及其在岩土工程中的应用研究[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(03): 586 – 592.
- [16] 陆至彬, 瞿景辉, 刘桦, 何畅, 张冰剑, 陈清林. 基于物理信息神经网络的传热过程物理场代理模型的构建[J]. 化工学报, 2021, 72(03): 1496 – 1503.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 刘光勇, 1989 年生, 男, 江西赣州人, 福建泉州勘测设计院有限公司, 工程师, 主要研究方向为工程测量。Email:chanchu1927@163.com

Research on Multi – Physics Field Coupling Inversion Technique in the Geophysical Exploration of Urban Underground Pipeline

LIU Guangyong *

(Fujian Quanzhou Survey and Design Institute Co. , Ltd, Quanzhou 362012)

Abstract: The lack of detection accuracy of urban underground pipelines restricts the safe operation and maintenance of municipal facilities and the development of underground space. Aiming at the problem of multi-source interference in complex urban environment, this paper proposes a coupled inversion technology that integrates the data of multiple physical fields, such as electromagnetic field, gravitational field and seismic wave field. By establishing a joint constraint model of multiple physical fields and an adaptive regularization inversion algorithm, the limitation of traditional single physical field detection is solved. Engineering verification shows that this method can achieve the technical indicators of buried depth identification accuracy of $\pm 0.1\text{m}$ and horizontal positioning error of $\pm 0.2\text{m}$, which improves the horizontal positioning accuracy by 40%, compared with the traditional single physical field detection method. It has significant advantages in the identification of non-metal pipes with diameter $\leq 300\text{mm}$, and has better suppression effect on power cable interference within 5m. The research results provide a new technical path for high-precision urban underground pipeline survey and old pipe network repair, and its multi-source data fusion framework could promote the digital governance of urban underground space.

Key words: urban underground pipeline geophysical exploration; multi-physical field coupling; inversion technology; detection accuracy

乡村振兴背景下 PBL 模式 在农业资源与环境专业研究生课程教学中的应用

金鑫鑫*, 王 帅, 安 晶, 韩艳玉, 李嘉琦, 虞 娜, 邹洪涛, 汪景宽

(沈阳农业大学土地与环境学院, 农业农村部东北耕地保育重点实验室/
土肥高效利用国家工程研究中心, 沈阳 110866)

摘 要:在乡村振兴战略背景下,针对农业资源与环境专业课程特点,需在课程教学中合理引入 PBL 模式。本文首先阐述了乡村振兴战略背景下,对农业资源与环境专业创新型人才在素质及能力层面所提出的具体要求。同时,细致剖析了当下该专业研究生课程教学中遭遇的一系列困境,详尽探讨了 PBL 模式所独具的特点与显著优势,以及其在农业资源与环境专业课程体系搭建、教学实践环节的具体实施以及考核评价体系构建等方面的应用方式。本文充分展示了 PBL 模式在提升学生问题解决能力、激发创新思维以及培育团队协作精神等方面所取得的突出成效。研究结果表明,PBL 模式能够突破传统教学模式的局限,助力培养出拥有扎实专业知识根基,兼具创新能力与实践能力的农业资源与环境专业研究生,由此为乡村振兴战略的实施提供人才保障。

关键词:PBL;乡村振兴;农业资源与环境;创新型;课程教学

中图分类号:G712

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)03-0060-6

0 引言

创新型研究生的培养至关重要,是推动社会进步与科技发展的动力。面对创新型研究生培养目标,农业资源与环境专业课程教学必须改变侧重于知识传授的传统教学模式,积极探寻一种契合当下经济发展与学科发展需求的教学模式。综合考量对学生创造力、批判性思维的培育,以及激励学生思索借助创新优化生活的途径,在农业资源与环境专业课程体系里,构建并运用 PBL 教学模式,具备显著成效。该模式能够大幅提升学生发现问题与解决问题的能力,促使学生突破传统标准答案的禁锢,从多元视角深入剖析问题。同时,在这一过程中,学生的创新精神与创新能力也能得到充分培育,进而为农业资源与环境专业课程的教学改革,开拓出全新思路,助力专业教学实现质的飞跃^[1]。

1 乡村振兴背景下农业资源与环境专业研究生课程教学现状及问题

在全面推进乡村振兴的时代浪潮中,农业资源与环境学科肩负着重要使命。近年来,研究生教育蓬勃发展,用人单位对农业资源与环境专业毕业生的能力要求也日益提高。乡村振兴背景下对农业资源与环境学科人才提出了“具有吃苦精神和动手能力强”的新要求,而农业资源与环境学科研究生普遍存在“吃苦耐劳精神不够、创新创业意识不强、实践创新能力不足”等问题,对农业和农村认知和热爱不足,不愿意扎根农业生产需要的地方,就业局限性增加等突出问题。这些问题来源于农业资源与环境学科硕士研究生培养过程中多个环节不合理:

首先,硕士研究生培养方案与培养目标存在脱节现象。当前,硕士研究生培养过度侧重学术

理论,在过往教学中,教学案例不够丰富,创新实验设计也较为匮乏,致使学生学习多停留在知识记忆层面,在此情况下,创新能力的培养也就难以实现。理论性的课程较多,与农业资源与环境领域的实际复杂案例结合甚少,不利于学科的长远发展。

其次,农业资源与环境学科硕士研究生评价方式存在不合理之处。高校对专业学位硕士研究生的评价方式基本照搬学术型研究生模式,主要依赖校内导师评价,而校内导师大多长期从事教学科研工作,在对学生进行评价时,往往侧重于理论性评价,而实践性评价则相对不足。教育主管部门和高校尚未构建完善的实践创新能力指标体系,致使难以无法准确评估专业学位研究生的实践创新能力。

第三,教学资源有限,教师仅要求学生完成课后作业,这种单一的教学方式难以充分发挥教学资源的价值,也不利于学生综合能力的培养。这使得学生难以产生自主学习兴趣,无法主动探索农业资源与环境领域的新知识。

2 运用 PBL 模式实施农业资源与环境专业研究生课程教学的优势与作用

PBL 模式,全称为基于问题式学习(Problem-Based Learning),在此模式下,学生能够围绕现实场景中具有挑战性的问题展开深度探究,深入研习问题背后所蕴藏的知识,他们通过自主钻研以及彼此间的合作交流,逐步搭建起完整的知识体系^[2]。虽然 PBL 模式早在多年前就已被引入我国,但是在新农科领域还处于初始探索阶段,尚未构建起一套成熟的教学模式^[3]。PBL 模式对研究生的培养优势与作用如下:

一是 PBL 模式以问题为驱动,学生为中心,教师为引导,与新农科的专业培养目标高度契合^[4]。

二是 PBL 模式强调“以学生为中心”,教师引导学生提出并解决问题。PBL 模式促使学生主动挖掘更多元的学习资源,不再局限于传统的教材与教师讲解;教学方式改革上,其以学生自

主学习和小组协作为主,颠覆了传统教师主导的讲授模式;教学评价实施中,更注重对学生学习过程和综合能力的考量,而非单纯的知识记忆。显而易见,PBL 模式比常规教学模式更科学^[5]。

三是 PBL 模式注重整个过程的评价。通过对学生如此丰富多样且动态变化的学习态度过程进行细致入微的观察与评价,得以全方位、深层次地洞察学生的综合素质。不仅能够发现学生在知识掌握、技能运用方面的水平,还能精准把握学生的意志力、抗挫折能力以及自我驱动力等非智力因素,从而为更全面、客观地评估学生提供了坚实依据。

四是 PBL 模式能够变革学生的学习过程。于传统课堂的情境而言,教师往往是舞台上的绝对主角,而学生们大多时候只能正襟危坐,机械地记录、被动地接受,参与课堂互动的机会屈指可数。然而,PBL 模式走进课堂,一切都发生了变化,学生们不再安于被动聆听知识,他们自发地组建小组,各抒己见,共同拟定详尽的研究计划,自主开展调研工作。

五是 PBL 模式通过将传统课堂教学模式转变为自主研究性学习模式,实现知识获取、能力培养与社会需求有机的融合,有力地促使传统课堂教学向自主研究性学习过程转型。

3 PBL 模式在农业资源与环境专业研究生课程教学中的应用

3.1 PBL 模式的应用思路

根据农业资源与环境专业建设的要求,研究该专业的课程体系。通过以下的教学资源构建,从课程设计的问题设置、实践平台搭建到实地考察等各个环节,全方位激发学生的学习热情与主动性。在这个充满探索的过程中,学生们的自主学习、研究能力得以提升,真正实现了从被动学习到主动学习(图 1)。

一是分析基于 PBL 模式的农业资源与环境专业课程的教学优势,在此基础上开展专业课程改革,以提高课堂教学效率和效果,方便学生将

理论设想付诸实践并进行验证与优化,极大激发学生的主动探索热情,促进农业资源与环境专业学生的创新能力,全方位提升综合素质,有力推动教学质量提升。

二是在 PBL 模式应用于农业资源与环境专业课程的进程中,丰富的学习资源是 PBL 教学模式得以高效开展的关键支撑。邀请行业专家开展讲座、参与讨论实践经验和专业知识,会为学生提供更多维度的专业指导。

三是影响 PBL 模式的顺利开展,主要受学生、教师和问题这三大关键因素的影响。PBL 模式强调以问题为驱动,以学生为中心,以教师为引导,这三者共同作用于 PBL 模式的实施效果。

3.2 PBL 模式的实施方式

PBL 模式的关键在于以巧妙之法引导学生主动学习。具体而言,教师需精心设计问题,所设计的问题要紧密围绕教学目标,同时要具备综合性、开放性和挑战性等特点,以激发学生的探索欲望;学生则要在教师引导下,明确问题及教学目标,并充分利用图书馆、网络数据库等资源

展开自我学习,从而培养自主学习能力,为后续的小组协作与问题解决奠定基础。笔者以“农业废弃物资源化利用”这一课程为例,实践了 PBL 模式的单元应用模式。教师提出问题,紧接着,将学生分为若干小组。学生小组首先在线上线下查阅大量文献资料,了解国内外农业废弃物资源化利用的前沿技术和成功案例。学生深入该乡镇的农田、养殖场以及周边企业,在与当地农民、企业负责人的交流中,掌握他们遭遇的难题。最后,为保障学生研究方向的准确性与方案的科学性,邀请农业废弃物处理领域的专家,对学生的研究进展进行定期指导。

在课程应用模式中,教师主要遵循“问题→方法与原理→具体技术实例”这一逻辑,开展循序渐进的教学。教学资源中的软硬件是 PBL 模式的关键,教师需确保资源契合学生特点与需求,营造利于 PBL 模式开展的课堂氛围,以教学环境引导学生积极思考。乡村振兴背景下 PBL 模式的研究生培养模式改进具体如下:

(1) 推行专业课程改革,提升内涵品质建设
分析基于 PBL 模式的农业资源与环境专业

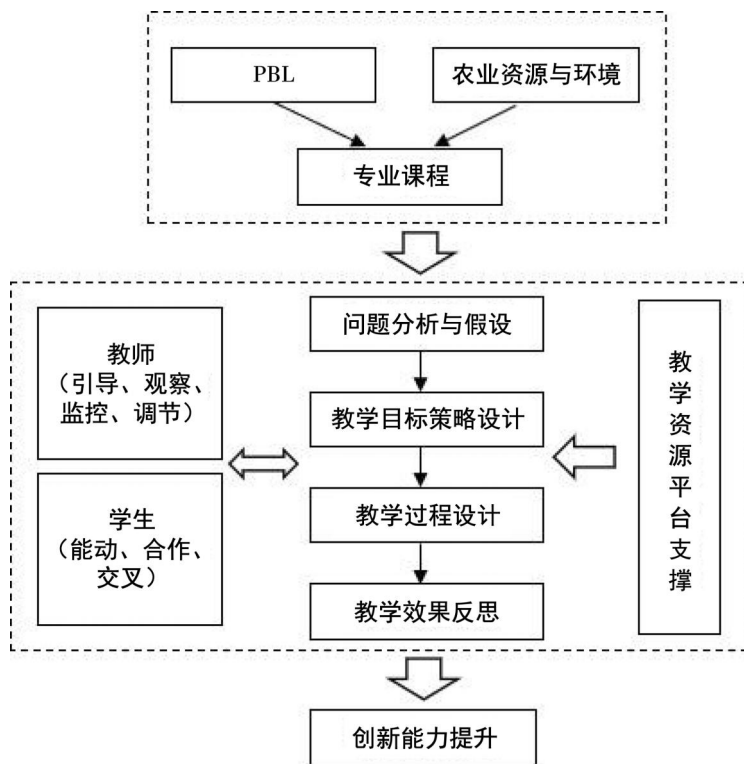


图1 农业资源与环境硕士研究生培养模式示意图

研究生课程的教学优势,明确提出 PBL 模式在课程中的教学模型,从而显著提高课堂教学效果。计划将农业资源与环境领域的关键理论和技术确立为研究生培养的核心要点,着重引导并教育学生构建起以土壤学、土壤肥力学以及土壤改良原理与技术理论为根基的理论体系。秉持以实际应用为导向,以职业需求为目标教学内容应着重强调理论性课程与应用性课程的有机融合,大力突出案例分析与实践教学环节,使学生能够更好地将所学知识应用于实际问题的解决,提高其在农业资源与环境领域的专业能力和综合素质,为乡村振兴培养更多实用型人才。通过这些举措,有效提高研究生认识问题以及解决问题的能力。在教学中,高度重视运用团队学习、模拟训练等多样化教学方法,全力塑造农业资源与环境专业研究生理实并重、刻苦钻研、积极探索的精神风貌与素养。

(2) 加强教学信息化建设,丰富教学资源

在全球范围内,一场由大数据、云计算、人工智能、虚拟现实等新一代信息技术驱动的产业革命正蓬勃兴起。PBL 模式的课堂教学,需依托丰富且优质的学习资源,高质量的学习资源,能显著提升学生在课堂上的学习效率。农业资源与环境专业具有很强的应用性,在研究生创新人才培养过程中,需紧密结合国家的实际需求,以更好地服务于现代化建设,为该领域输送更多高素质创新人才,推动农业资源与环境专业的发展与乡村振兴战略的实施。为此,我们计划着重收集多媒体音视频、图片、投影仪等教学资源,让教学形式与内容更趋形象化、生动化,使知识呈现更为直观。教师将借助信息技术,精心筛选优质教学资源,在课堂上创设多样化教学形式,展示新颖的教学内容,吸引学生的注意力,激发学生的学习积极性,为学生营造良好的学习体验。

(3) 不断完善教育过程,优化育人方式

PBL 模式以问题为驱动,以学生为中心,以教师为引导。处理好三者关系,能推动其有效实施。在研究生培养中,鼓励学生参与科技创新项目,以问题为导向培养创新意识、思维与能力,在

实践中锻炼其发现、归纳、分析和解决问题的能力,让创新能力培养贯穿全过程。

4 运用 PBL 模式实施农业资源与环境专业研究生课程教学的效果评价

PBL 模式以问题为出发点,鼓励学生主动发现问题,使学生在解决问题的过程中有敏锐的观察力和创新能力,对学生培养具有一定的促进作用。

一是 PBL 模式聚焦于学生能力的全方位提升,不仅助力学生扎实掌握知识,更极大地磨砺了学生的实践动手能力,更让他们在反复试错中培育出创新求解问题的核心能力。

二是采用 PBL 模式时,教师需对课程深度剖析,精心设计问题,并合理布置学习任务。学生则相互协作、踊跃参与,老师置身其中,能真切感受到学生的热情。

三是 PBL 模式巧妙突破时间与空间的束缚,极大地调动学生的主观能动性。学生所学知识不再禁锢于书本的字里行间,而是巧妙地迁移运用,切实解决生活中的各类实际问题。

四是 PBL 模式巧妙地将现实中的实际问题与课本知识有机结合起来。学生在学习过程中,通过运用分析、创新等一系列科学有效的学习方法,逐步深入理解知识,在解决问题时,知识不再抽象,得以精准运用,打破理论与实践的壁垒,实现两者有机融合。

五是 PBL 模式对传统教师主导的课堂教学模式进行了颠覆性变革,将学生自主探究的学习过程置于课堂教学的核心位置。在此过程中,学生的独立思考意识得到显著强化,创新思维得到拓展。

5 结语

PBL 模式秉持“以学生为中心”的理念,以问题为导向开展教学。在此模式下,教师需转变传统教学模式,把培养学生的创新能力置于核心位置。把 PBL 模式融入乡村振兴背景下农业资源与环境专业研究生课程教学,需要相关专业教

师、学科领域专家以及管理人员携手组成团队。该团队成员之间优势互补、协同合作,形成教学与研究的合力,以此推动创新型研究生的培养。随着新经济、新业态、新模式与新产业的蓬勃发展,对人才提出了全新需求。在此形势下,改革农业资源与环境硕士研究生的培养模式势在必行。尝试构建基于 PBL 模式的研究生课程教学模式,极有可能提升研究生的培养质量,推动专业实现可持续发展,助力乡村振兴战略切实落地并取得显著成效。

参考文献 (References):

- [1] 于新,梁金勇,宋美洁,等.“国之大者”重要论述下大学生国土安全观培育研究[J].黑龙江国土资源,2024,22(07):11-17.
- [2] 朱敬东,陈其梅,方琦.支撑 PBL 课堂教学的网络资源平台设计与研究[J].中国教育信息化,2012,

18(05):24-26.

- [3] 李立.基于问题的学习(PBL)在网络课程教学中的应用研究[D].成都:四川师范大学,2010.
- [4] 徐丽娟,王颖,元伟.工业分析检验专业实训课程双证融通式教学改革探索[J].广东化工,2014,41(22):187+191.
- [5] 原琳,明颖,程海军.PBL 教学模式在单片机教学中的探索与实践[J].高教学刊,2018,4(11):101-103.

作者简介:

第一作者/通讯作者:金鑫鑫,1987 年生,女,辽宁阜新人,硕士,沈阳农业大学,副教授,主要研究方向为土壤学。Email:jinxinxin0218@syau.edu.cn

The Application of PBL Mode in the Teaching of Postgraduate Courses of Agricultural Resources and Environment under Rural Revitalization

JIN Xinxin^{*}, WANG Shuai, AN Jing, HAN Yanyu, YU Na, ZOU Hongtao, WANG Jingkuan

(Northeast Key Laboratory of Cultivated Land Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University/National Engineering Research Center for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer, Shenyang 110866, China)

Abstract: Under rural revitalization, it is necessary to introduce the PBL model reasonably according to the characteristics of the curriculum of agricultural resources and environment. At the beginning of this paper, the specific requirements for the quality and ability of innovative talents of agricultural resources and environment are deeply expounded under rural revitalization strategy. Meanwhile, this paper provides a detailed analysis of the various challenges encountered in the teaching of postgraduate courses within this major. It also elaborates on the distinctive features and notable advantages of the PBL model, as well as its application in constructing the curriculum system for the agricultural resources and environment major. Furthermore, it examines the specific implementation of teaching practices and the development of an assessment and evaluation system. Through the analysis of practical cases, it fully demonstrates the outstanding results achieved by PBL mode in improving students' problem – solving ability, stimulating innovative thinking and cultivating team spirit. The research results clearly show that PBL model can effectively break the shackles of traditional teaching model, cultivate agricultural resources and environment graduate students with solid professional knowledge foundation, innovative ability and practical ability, thus providing talent guarantee for the development of rural revitalization.

Key words: PBL; rural revitalization; agricultural resources and environment; innovative; course teaching

工程系统观下的绿色设计教学研究与实践

许彧青*,王欢,商振,张文博,周春晖

(哈尔滨工程大学机电工程学院,哈尔滨 150001)

摘要:对工程系统价值的反思,增进了人类的生态和环境意识,促进了绿色设计的发展。本文旨在研究工程系统观下的绿色设计课程的项目式教学,首先,指出了工程系统价值与绿色设计发展的关系;然后,明确了工程系统观下的绿色设计课程的教学内容;最后,依据明确项目任务、制定项目计划、项目具体实施、项目成果呈现的项目式教学流程,对绿色设计的“产品和服务生命周期的循环经济方法”进行项目式教学研究与实践,以期有效提升学生的设计分析及设计实践能力。

关键词:工程系统观;绿色设计;全生命周期;项目式教学

中图分类号:G642.0

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)03-0066-6

0 引言

工程系统就是人造事物的系统。工程既是人类在不断进化过程中的思维活动,也是人类创造的生存环境,是人类创立出的自然界不存在的事物和概念。工程系统的价值随时代的发展而发生变化,自20世纪50年代起,在现代系统观念下,工程系统开始反思其负面价值,例如,反思工业发展对环境和生态造成的破坏,探索新的工程系统并体现其正面价值,尝试构建新的绿色文明和开展绿色设计。工程系统观就是对工程系统形成基本的观点,也是对工程系统的反思或再认识。工程系统反思的负面价值是促使绿色设计发生和发展的重要诱因之一。绿色设计发展至今,已成为人类社会可持续发展的必由之路。因此对工程系统观下的绿色设计进行教学研究与实践,有其重要的现实意义。

1 工程系统的价值与绿色设计

工程既包含人类创造的人造物和生存环境,也包含人类有思维的活动自身。工程是以价值取向,整合科学、技术与相关要素,有组织地实现

特定目标的实践。基于工程与生产、产业的紧密关系,将工程区分为农业时代工程、工业时代工程和知业时代工程^[1]。工程的最大价值在于满足人类生存的需要。工程的多种要素,组成了工程系统。工程系统种类繁多,且形成了自身价值。在农业时代,工程系统的价值是利用自然资源来满足衣、食、住、行等需求。在工业时代,工程系统的价值判断变得十分复杂。工程系统既有为人类带来快速发展和福利的正价值增长,也会产生对自然界过度索取的负价值。迈向知业时代,人们开始反思工程系统的负价值,特别是一些巨大工程系统潜伏着当下难以预料的危害。从20世纪下半叶开始,可持续发展理论被确立。沃德和杜博斯所著的《只有一个地球:对一个小行星的关怀和维护》、卡逊所著的《寂静的春天》等著作,为唤醒人类对工程系统的反思、增进生态和环境意识、进行绿色设计起到了重要作用。可见,绿色设计着眼于人与自然的生态和谐,并充分考虑环境效益,尽量减少对环境的破坏。

2 工程系统观下的绿色设计教学

工程系统观是对工程系统的观点汇总,工程

基金项目:2024年度黑龙江省高等教育教学改革研究一般项目(SJGYB2024113)。

系统观下的绿色设计,是工程观与系统观的融合,既强调绿色设计的系统观。绿色设计又称可持续设计,是将设计的视野扩大到环境与生态,并使产品的整个生命周期成为闭环的设计系统(图1)。在产品的整个生命周期内,优先考虑产品的环境属性(可拆卸性、可回收性、可维修性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标的同时,保证产品的功能、质量、寿命等^[2]。绿色设计课程的教学内容包括:工程系统观与绿色设计、绿色设计的含义、绿色设计的方法和技术、全生命周期环境影响评价、面向再循环的设计、绿色产品和绿色包装设计等。下面就工程系统观下的绿色设计的“产品和服务生命周期的循环经济方法”,依据明确项目任务、制定项目计划、项目具体实施、项目成果呈现的项目式教学步骤,进行教学研究与实践。

3 绿色设计的项目式教学

3.1 明确项目任务

教师需引导学生明确“CIRC4Life”的项目任务。“CIRC4Life”(产品和服务生命周期的循环经济方法)是欧盟2020年发起的项目,共有17个高校、科研机构及企业组成的团队参与研究,总协调机构是英国诺丁汉特伦特大学。我校与英国诺丁汉特伦特大学通过互派访问学者、项目交流、双方学生共同参与设计项目等多种方式进行了多年的设计交流。我校绿色设计课程也引入该项目进行项目式教学研究与教学实践。该

项目创立了生态账户方法,该方法由协作回收/再利用模式、共创产品/服务模式、可持续消费模式组成。该方法将生产者、研究者、终端用户和消费者、回收者、公民社会、公共机构、零售商等组成一个产品生产、销售、使用、废弃及回收再利用的闭环(图2)。因此,本次项目式教学需指导学生完成:①生态账户法的研究及应用;②针对LED照明产品、肉类供应链、平板电脑回收/再利用、蔬菜种植和食物四类产品/服务进行设计实践。

3.2 制定项目计划

依据“CIRC4Life”的项目式教学内容,制定项目计划。首先,通过教师课堂讲授及学生自主学习,掌握绿色设计和绿色产品的含义,掌握全生命周期环境影响评价的方法,掌握生态账户法的含义,掌握生态成本值、生态奖励值和生态账户的含义及计算方法。其次,选取LED照明产品、肉类供应链、平板电脑、蔬菜种植和食物等四类产品/服务,进行生态成本值、生态奖励值和生态账户的计算。最后,将生态账户法的具体应用,体现于这四类产品/服务的设计中。

3.3 项目具体实施

(1) 生态账户法的含义

在生态账户法中,产品供应链信息包括生态成本值、生态奖励值和生态账户三部分。生态成本值表示产品对环境的影响,通过可持续生产制造进行评估。生态奖励值是奖励回收报废产品

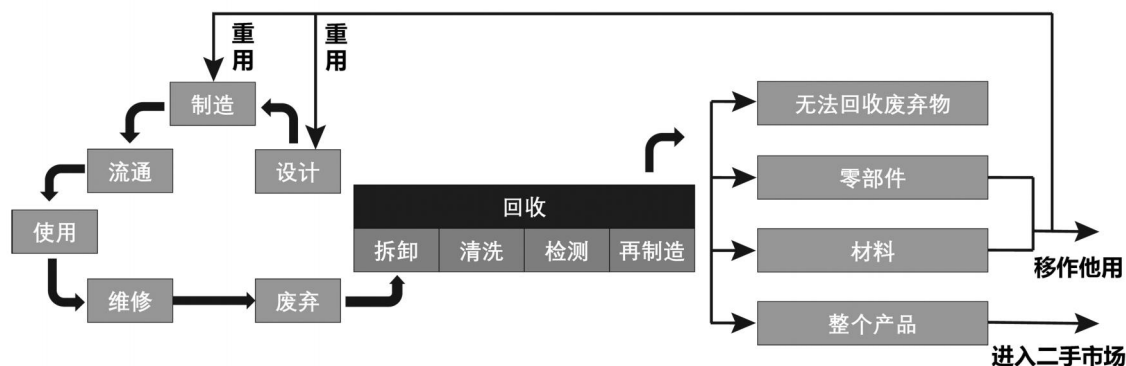


图1 闭环式的产品生命周期

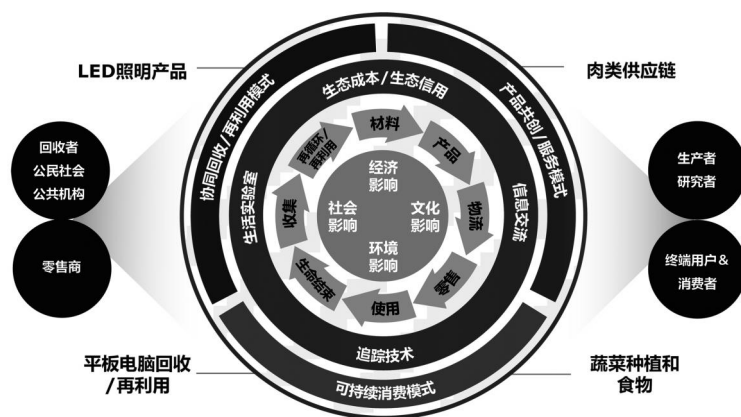


图2 产品和服务生命周期的循环经济方法

生物废料的用户,通过回收/再利用、顾客生态账户来实现。生态账户是通过生态奖励值、生态消费值和生态总计值记录消费者的足迹,通过生态友好购物和顾客生态账户来实现^[3]。

(2) 生态成本值的含义及计算

产品的生态成本值是通过计算产品在整个生命周期(设计、制造、流通、使用、维修、废弃和回收)中的生态影响得出的。在已有的全生命周期评估法中,目前采用 ReCiPe 方法来计算产品的生态成本值,该方法是将欧盟主导的产品环境影响足迹法的 17 个影响类别参数,转化为生态成本值的方法^[4]。

要求学生掌握采用 ReCiPe 法进行生态成本值计算的流程:① ReCiPe 法就是从材料使用、生产流程、包装、运输、生态成本、组装及拆卸、产品再利用及再循环、弃置、废弃物等角度进行分析,得出生命周期清单(LCI)输入数据,并划分出 17 个影响类别参数:微粒物质、降低辐射、平流层臭氧层耗损、人体毒性(癌症)、人体毒性(非癌症)、全球变暖、水的利用、淡水生态毒性及富营养化、对流层臭氧形成(人)、对流层臭氧形成(生态)、陆地生态毒性、陆地酸化、土地利用及改造、海洋生态毒性、海洋富营养化、矿产资源、化石资源。②对影响类别参数进行分析,归纳出对人类、生态系统及资源的损害:呼吸系统疾病的增加、各类癌症的增加、其他疾病的增加、营养不良人数的增加、对陆地物种的损害、对淡水物

种的损害、对海洋物种的损害、开采成本的增加、石油/天然气/煤炭成本的增加。这些损害都是生态成本。

食品生态标签中包含生态成本的信息。顾客在商店使用智能手机,通过扫描放置在商店货架上的产品中嵌入的条形码或 RFID 芯片形式的生态标签,可以查看产品的生态成本值和产品的可持续制造信息,以方便消费者选择更多绿色产品。例如:贴在香肠包装上的生态标签,数字 0.64 是基准生态成本(该产品类别的平均生态成本值)。中间的数字 0.47 是该产品(香肠)的生态成本,比基准生态成本好,即高出 30%。

(3) 生态奖励值的含义及计算

生态奖励值用于奖励消费者在产品生命周期结束时,长期使用、回收和再利用的积极行为。由于使用时间较长,生态奖励值价值可能高于生态成本价值。要求学生掌握生态奖励值的统计方法:①使用智能垃圾箱回收报废电子产品或生物废物,过程包括:识别用户 ID,打印带有条形码的贴纸,将回收的产品或生物废物放入垃圾桶,在回收中心处理回收物品。②消费者通过手机收到存储在其生态账户中的生态奖励值,并可以通过手机进行追踪。最后,引导学生进行废弃电子产品回收箱的设计。

(4) 生态账户的含义及应用

生态账户使消费者能够记录和跟踪他们对环境的日常“足迹”。生态账户包括生态奖励值、



图3 西式火腿的包装设计

生态消费值和生态总计值。生态奖励值是消费者通过回收和再利用产品获得的。生态消费值是通过购买产品产生的，生态消费值为生态成本值的负值。生态总计值是生态奖励值和生态消费值的总和，反映了消费者的整体影响足迹。

引导学生在项目产品的设计中引入生态账户并实现：①顾客购物时用手机扫描商品外包装上的生态信息，了解预购买的每件商品的生态消费值，然后进行购买。②顾客购买后会得到所购买商品的生态消费值及生态账户中的生态总计值。

(5) 生态账户法的应用

本项目主要研究生态账户法在LED照明产品、肉类供应链、平板电脑、蔬菜种植和食物等四类产品/服务中的应用，主要考虑：①识别并实施对环境影响较小的生产流程，减少制造过程对生态环境的负面影响。②进行生态采购，即在原材料/产品采购时考虑对生态环境的影响。③可持续产品开发方法的研究及应用，例如电子产品的回收和再利用设计等。④开发新服务以增强可持续生产，例如，向LED终端用户出租产品，以及食品的新包装及新零售方法^[5]。生态账户法的应用也是项目式教学实践的主要内容。

3.4 项目成果呈现

通过学生的项目式教学实践进行项目成果呈现，主要包括：①围绕项目理论教学内容进行分析，例如，进行产品生态成本值与生态奖励值的计算及分析等。②应用可持续设计制造方法进行设计实践，例如，完成项目中提及的LED灯具设计、废弃电子产品回收装置设计、西式火腿包装设计等项目设计实践。图3为带有生态标签码的西式火腿包装的设计实例。

4 结语

通过研究工程的含义和工程系统的价值，明确了工程系统观下的绿色设计是工程观与系统观的融合，绿色设计需全面系统地进行全生命周期设计。通过明确工程系统观下绿色设计的教学内容，解析“产品和服务生命周期的循环经济方法”项目，进行绿色设计的项目式教学研究与实践，使绿色设计课程更加契合专业培养目标并达到人才培养要求。通过项目式教学，提高了学生的自我学习能力，并取得了良好的教学效果。

参考文献 (References):

- [1] 李喜先. 工程系统论[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 8.

-
- [2] 朱世范, 商振, 王姝懿等. 产品可持续设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [3] Su D, Peng W. Eco – accounting infrastructure[J]. Sustainable Product Development: Tools, Methods and Examples, 2020: 73 – 84.
- [4] Huijbregts M A J, Steinmann Z J N, Elshout P M F, et al. Correction to: ReCiPe 2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment 2020: 1 – 1.
- [5] Su D, Wu Y, Chai Z. Advanced integrated manufacture by application of sustainable technology through product lifecycle: a circular economy approach[C]// Proceedings of the 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing. 2019: 1 – 4.
-
- 作者简介:**
第一作者/通讯作者: 许彧青, 1969 年生, 女, 沈阳人, 博士, 哈尔滨工程大学, 教授, 主要研究方向为工业设计。
Email: xuyuqing@hrbeu.edu.cn
-

Research and Practices on the Green Design Teaching from Engineering System

XU Yuqing^{*}, WANG Huan, SHANG Zhen, ZHANG Wenbo, ZHOU Chunhui

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Critical reflections on the value of engineering systems have significantly enhanced global ecological and environmental consciousness, thereby accelerating the advancement of green design. This study focuses on developing project – based teaching methodologies for green design curricula through an engineering systems perspective. The research unfolds in three phases: Firstly, it clarifies the interdependent relationship between engineering systems values and green design evolution. Secondly, it systematically defines the pedagogical framework for green design education grounded in engineering systems thinking. Finally, following the project – based learning cycle, comprising task clarification, planning development, practical implementation, and outcome demonstration, this paper conducts teaching experiments on the "circular economy approach for product – service life cycles" in green design. This pedagogical innovation demonstrates measurable improvements in students' competencies in systematic design analysis and sustainable design practice.

Key words: engineering systems perspective; green design; life cycle; project – based teaching

从
种
下
一
棵
树
开
始

保护森林

RHEIN HOME

世界森林日

保护森林环境 WORLD FOREST DAY

保护地球绿色未来