

(月刊)

(2003年创刊)

第23卷第6期(总第275期)

2025年6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 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 李滕滕 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

黑龙江省冰雪装备制造业开发与空间优化研究

..... 李 娜, 姜丽丽 (3)

企业视角下黑龙江省冰雪经济发展时空特征研究

..... 张 潇, 姜丽丽 (11)

新质生产力驱动黑龙江省低空经济高质量发展

..... 郝 鹏 (21)

土地科学

国土变更调查在国土空间规划中的应用挑战与优化路径

..... 乔鑫建 (27)

基于高分辨率遥感和多源数据融合的耕地边界精准提取方法研究

..... 孙 杰, 茹 亮, 梁 帅, 等 (34)

基于高光谱数据的农作物分类

..... 王 雷, 耿哲森, 吴国雄, 等 (43)

地质矿产

槽波地震勘探技术在煤矿隐伏断层探测中的应用

——以钱营孜煤矿为例 ... 张小虎, 王宗涛, 兰鹏波, 等 (50)

基于地质灾害调查的城市道路拓展工程规划优化研究

——以芜湖市中江大道北延工程为例 刘 瑞 (59)

宁海县深甽镇地热流体富集规律、控热断裂特征及开发潜力研究

..... 陈书阁 (66)

青山洞矿区金矿地质特征及成矿规律

..... 刘晓辉, 李 宏, 陈 锋 (75)

教学改革

吉林省地域文化与高校美育课程教学融合路径研究

..... 郝佳音, 宿一宁 (85)

廉洁规划, 文化铸魂: 国际与本土城建类课程“廉洁文化进课

堂”教学方法研究 杨 灵, 段溶奇 (93)

(Monthly)

(Published Since 2003)

Vol.23 No.6 (Serial No.275)

Published on Jun 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
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 Wenyong 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 Development and Spatial Optimization of the Ice and
Snow Equipment Manufacturing Industry in Heilongjiang ProvinceLI
..... Na,JIANG Lili (10)

Study on Spatial–Temporal Dynamics of the Ice and Snow Economy
Development in Heilongjiang Province under Enterprise Perspective
..... ZHANG Xiao,JIANG Lili (20)

New Quality Productivity Drives High–Quality Development of Low
Altitude Economy in Heilongjiang Province XI Peng (26)

LAND SCIENCE

Application Challenge and Optimization Path of Land Change Survey
in Land Space Planning QIAO Xinjian(33)

Research on Precision Extraction Method of Cultivated Land
Boundary based on High–Resolution Remote Sensing and Multi–
Source Data Fusion··· SUN Jie ,RU Liang ,LIANG Shuai ,et al (42)

Crop Classification based on Hyperspectral Data
..... WANG Lei ,GENG Zhesen ,WU Guoxiong,et al (49)

GEOLOGY AND MINERALS

The Application of Channel Wave Seismic Exploration Technology in
the Detection of Concealed Faults in Coal Mines—Case Study of
Qianyingzi Coal Mine
..... ZHANG Xiaohu,WANG Zongtao,LAN Pengbo,et al (58)

Optimization Study on Urban Road Expansion Project based on
Geological Disaster Survey—Case Study of Zhongjiang Avenue North
Extension Project in Wuhu LIU Rui (65)

Study on the Enrichment Law of Geothermal Fluid, Characteristics of
Controlled Heat Faults and Development Potential in Shen Zhen
Town,Ninghai County CHEN Shuge (74)

Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Gold
Deposits in Qingshandong Mining Area
..... LIU Xiaohui,LI Hong,CHEN Feng (84)

EDUCATIONAL REFORM

Research on the Integration Path of Regional Culture of Jilin Province
and Aesthetic Education Courses in Colleges and Universities
..... HAO Jiayin,SU Yining (92)

Integrity Planning, Cultural Soul Building:: Research on Teaching
Methods of“Integrity Culture in the Classroom” for International and
Local Urban Construction Courses YANG Ling,DUAN Rongqi (99)

黑龙江省冰雪装备制造业开发与空间优化研究

李 娜,姜丽丽*

(哈尔滨师范大学地理科学学院,哈尔滨 150025)

摘 要:冰雪装备制造业在黑龙江省具有独特的地域优势,冰雪装备制造业的发展和空间优化对黑龙江省冰雪经济的发展有着极其重要的意义。本研究基于黑龙江省 39 家冰雪装备制造企业数据,分析黑龙江省的冰雪装备制造业结构特点、空间特征以及空间优化路径。研究发现:(1)黑龙江省冰雪装备制造业从 1997 年开始逐步发展,2015 年之后呈现大幅度增长态势;(2)在初级要素、需求条件、相关支持性产业以及机遇和政府等方面表现出行业竞争优势;(3)哈尔滨成为个人冰雪装备和冰雪配套装备的集聚地,齐齐哈尔和牡丹江在个人冰雪装备和冰雪场地装备领域展现较强实力;(4)基于制造业的结构和空间特征,提出产业集聚发展、区域协同发展、优化市场布局的优化策略。

关键词:冰雪经济;冰雪装备制造业;空间优化;黑龙江省

中图分类号:K902

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0003-8

0 引言

在冰雪经济高质量发展的进程中,冰雪装备制造业占据着核心地位^[1],囊括了个人冰雪装备、场地冰雪装备以及配套冰雪装备制造等项目。近年来,得益于 2022 年北京冬奥会以及 2025 年亚冬会在黑龙江省筹备举办,黑龙江省冰雪装备制造业正处于快速发展阶段,企业数量持续增加。然而,在制造业扩张的同时,黑龙江省的冰雪装备制造企业也面临着一系列困难挑战,逐步出现产业体系尚不完善、种类品种相对单一、自主创新能力不足、高端产品的专利与制造企业稀缺等问题,一直是黑龙江省冰雪制造业发展中的瓶颈^[2]。国家“科技冬奥”重点专项取得了高性能雪板等核心技术的突破,为打破黑龙江省冰雪装备制造企业的发展困局,提供了重要的技术保障^[2]。在体育赛事的助推,以及国家政策的鼎力支持下,黑龙江省冰雪装备制造企业实现了快速发展,与国际领先技术差距逐步缩

小^[3]、产业空间布局持续优化、创新能力显著增强^[4,5]、产业结构逐步升级,技术水平实现突破^[6]。然而,黑龙江省冰雪装备制造在企业间的合作,对外联动等方面仍存在诸多不足,这极大地制约了行业持续健康的发展,很多高端滑雪设备等仍大量依赖于进口,我国冰雪运动装备制造业在规模上表现出“大而不强”的态势^[7]。东北地区情况与之类似,多数企业生产仍停留在“低端”阶段,采用较为粗放的发展模式^[8]。此外冰雪运动对环境、气候等方面的要求较高,黑龙江省是我国主要的冰雪产业区域,该地交通完善,冰雪资源得天独厚,在地理位置上优势明显,是冰雪体育产业的重点发展区域^[9]。

基于此,运用核密度分析和最邻近指数分析等空间分析方法,剖析黑龙江省三类冰雪装备制造业的空间特征,总结不同类型的装备制造业的空间分布规律以及空间集聚特点,为黑龙江省冰雪装备制造业空间优化布局和质量的发展提供科学依据和支撑。

基金项目:哈尔滨师范大学高等教育教学改革研究一般项目“地理科学专业“一流课程”课程体系与教学内容研究与实践”(XJGYFW2022032);黑龙江省自然科学基金联合引导项目“黑龙江省农村地区贫困治理过程与长效机制研究”(LH2019D0009)。

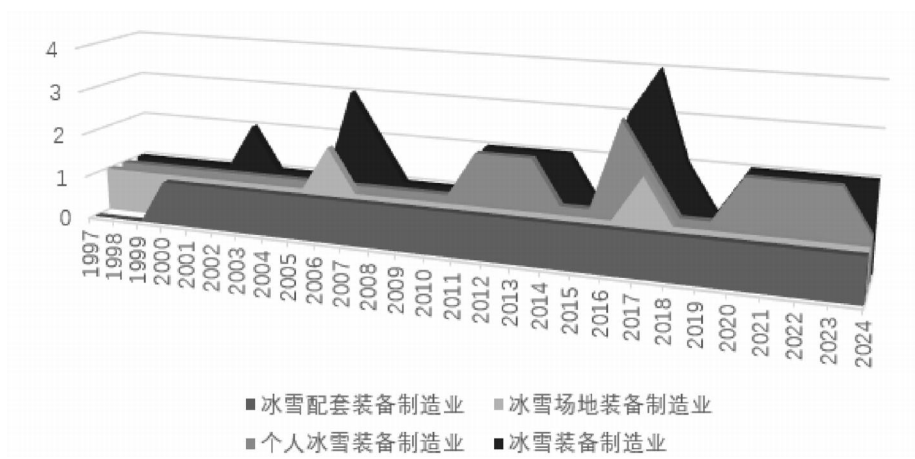


图 1 黑龙江省冰雪装备制造企业数量变化

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

(1)核密度分析。核密度分析作为一种有效的空间分析技术,被用来推测和演绎冰雪装备制造企业等空间要素的分布特征及集聚态势^[1]。通过这种方法,企业在地理空间中的分布规律、集聚程度能够直观呈现出来。

(2)最邻近距离指数。最邻近距离指数^[10]主要衡量点状要素(诸如企业)时空维度上的集聚性和随机性状态,通过对比最邻近距离与理论最邻近距离,可以判别黑龙江省冰雪制造企业的空间分布是呈现集聚趋势还是随机分布模式。

1.2 研究对象与数据来源

利用天眼查数据平台,通过精确检索关键词“黑龙江省”“冰雪装备”“个人冰雪装备”“冰雪场地装备”“冰雪配套装备”,获取了冰雪装备制造企业的相关数据信息,这些信息涵盖了企业的数量、名称、规模、经营范围、登记状态、注册资金、成立时间、所属省份城市以及公司类型和地址。在数据筛选过程中,删除企业名称相同,存续状态为非存续的企业以及经营范围明显不符合冰雪装备制造企业的企业,最终筛选出 39 条有效企业样本。借助高德地图平台,获得企业的地理纬度信息为后续的空间分布特征分析提供准确的空间数据支撑。地理坐标数据经转换后导

入 ArcGIS10.8 软件,与自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图平台提供的黑龙江省行政边界数据共同作为数据源。借助 ArcGIS 软件的核密度分析和最邻近指数分析工具对黑龙江省冰雪装备制造业的空间分布特征进行分析,探究其地理分布。

2 黑龙江省冰雪装备制造业开发潜力分析

2.1 冰雪装备制造业结构特点

参考了工业和信息化部等九部门联合印发的《冰雪装备器材产业发展行动计划(2019—2022 年)》,依据该计划确定大众冰雪装备器材重点发展内容^[11],分为个人冰雪装备、冰雪场地装备和冰雪配套装备。

研究发现,产业结构特点表现为黑龙江省的各种冰雪装备制造企业从 1997 年开始逐步发展,2015 年之后呈现大幅度增长态势(图 1)。首先,冰雪装备制造企业、冰雪场地装备制造企业、个人冰雪装备制造企业数量均从 1997 年开始逐步发展。其次,三种冰雪装备制造企业从 2015 年之后呈现大幅度的增长。《中国冰雪旅游消费大数据报告(2023)》显示,2015 年后,中国冰雪旅游人数的大幅增多。引发冰雪装备需求增加,从而促使黑龙江省冰雪装备制造企业的快速发展。最后冰雪配套装备制造企业从 2000 年起步至 2024 年间一直保持稳定的发展状态。

产业规模结构特点表现为主要聚焦于个人

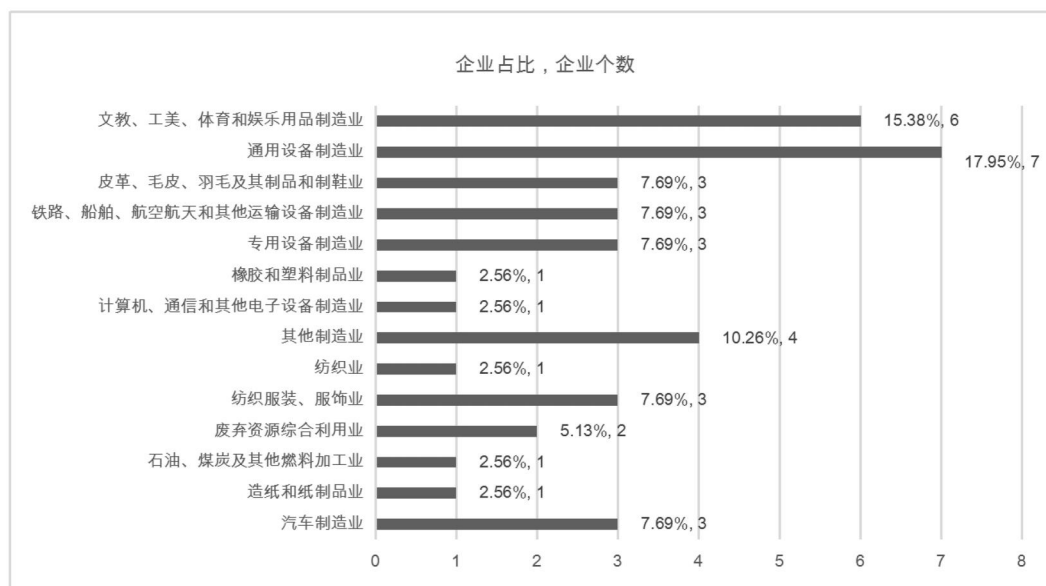


图2 黑龙江省冰雪装备制造企业行业构成

冰雪装备领域,且产品以中低端为主,微小型企业在该领域占据主导地位。根据黑龙江省冰雪装备制造制造业行业细分(图2),这些企业主要从事通用设备制造业(涵盖缆车等),占比17.95%;其次是文教、工美、体育、娱乐、用品制造业(包括冰刀等),占比15.38%;纺织服装、服饰业(如滑雪服)占比7.69%。由此可知,黑龙江省冰雪装备制造企业主要生产劳动密集型的基础产品,而在高端制造业产品领域缺乏足够的行业竞争力。同时,由于重大技术领域,企业间协同攻关机制缺失,导致纵向产业链条建设不完善^[12]。

2.2 冰雪装备制造制造业竞争力分析

依据波特钻石模型,从生产要素、需求条件、相关与支持性产业以及企业组织、战略与竞争、政府行为以及外部机遇六方面^[13],对黑龙江省冰雪装备制造企业竞争力进行定性分析。研究发现:

(1)生产要素方面,黑龙江省冰雪装备制造制造业在初级要素上极具优势,但在高级要素方面困难留高端人才,制约了冰雪装备制造制造业发展。初级要素层面,作为冰雪资源大省,黑龙江省冬季气候寒冷,持续时间长,且降雪量大,天然冰雪和超过60%的山地地貌^[14]在一定程度上可以降低发展冰雪体育旅游业的建设成本^[15],也有利于

冰雪场地制造业的发展。黑龙江省当下拥有超过122个雪场,这为黑龙江省发展冰雪旅游、冰雪体育筑牢根基^[16]。这些都为冰雪装备的研发、测试营造了天然的试验场,为冰雪制造业的开发研究提供了动力。高级要素层面,黑龙江省的优势并不明显,虽然在机械等专业领域储备了一定数量的人才,但是很难吸引和留住高端人才。高端人才的匮乏,影响了冰雪装备制造制造业的发展。

(2)需求条件方面,黑龙江省作为冰雪运动核心区对冰雪装备需求大,进而推动产业发展与竞争力形成。近些年来,伴随的相关大型体育赛事的举办,激发了我国的冰雪运动、冰雪旅游的热潮,冰雪装备需求的迅猛攀升,黑龙江省冰雪装备制造企业市场范围持续扩大。自2015年以来,中国冰雪产业规模实现了显著增长,从2700亿元增长到8900亿元。当下,中国冰雪产业发展势头迅猛,在这一过程中,消费者对冰雪产品和服务的需求呈现出个性化、多层次的特点。因此,市场需求既能推动冰雪装备制造制造业发展,也有助于提升其竞争力^[17]。

(3)相关与支持性产业方面,黑龙江省作为传统老工业基地,带动相关装备制造制造业发展,促使产业形成良性循环、提升竞争力。黑龙江省传

统的老工业基地,拥有汽车制造、机械加工等成熟的产业,为零部件加工以及原材料供应提供了有力的支持。黑龙江省冰雪旅游产业与冰雪体育赛事蓬勃发展,有力带动了相关冰雪装备制造业前行,拉动了冰雪装备的需求,是产业形成良性循环,也更有行业竞争力。

(4)企业组织、战略与竞争方面,黑龙江省冰雪制造业因缺乏技术创新,在企业战略上缺乏竞争优势。黑龙江省的冰雪制造业的数量较少,规模不大,集中于中低端产品以及劳动密集型产品,行业之间竞争力体现于价格上,缺少技术的创新,缺乏竞争优势。

(5)外部环境层面,提升行业的竞争力方面四个基础要素缺一不可,但两个辅助要素机遇和政府也是一个重要影响因素。在外部机遇方面,全球冰雪产业蓬勃发展的大环境下,冰雪装备市场需求快速增长。这为产业实现规模扩张、技术升级,在激烈的国际竞争中抢占先机,提供了绝佳的历史机遇。黑龙江省冰雪制造企业应借助自身产业基础、技术优势以及地理位置的优势,扩大生产规模,针对性弥补自身短板。政府行为方面,黑龙江省政府高度重视冰雪装备制造业发展,从实际省情出发,出台《黑龙江省支持冰雪经济发展若干政策措施》等一系列扶持政策,并制定相应奖励机制。

2.3 冰雪装备制造业发展潜力特点

(1)资源与研发的条件优越。黑龙江省拥有得天独厚的地理条件和丰富的冰雪资源,可以加速冰雪装备制造企业的研发与创新进程,降低了冰雪体育旅游业建设成本,有利于冰雪场地制造业发展,众多雪场和滑冰场为冰雪装备研发测试提供天然试验场。

(2)工业基础以及产业转型优势。黑龙江省在通用设备制造业基础坚实,在冰刀、拖牵等冰雪装备制造领域具有显著优势,机械零部件以及机床制造的技术和经验成熟,可以转型到生产冰雪装备制造业所需的核心零部件中,借助汽车制造业的成熟体系,企业可进一步拓展至雪地摩托车,全地形车的制造中。

(3)冰雪旅游与体育赛事带动需求优势。伴随旅游人数增加以及体育赛事的热潮,激发了公众对于冰雪运动的热情,带动了市场的需求,进而扩大了冰雪装备制造业的生产和创新。

3 黑龙江省冰雪装备制造业空间优化探讨

3.1 冰雪装备制造业空间特征

(1)空间分布显著集聚。黑龙江省冰雪装备制造业集中分布于哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江等市,并呈现显著集聚的现象。首先,冰雪装备制造企业呈现出明显的地域集中性(图 3-a),表现为“单核多点结构”,其中单核为哈尔滨,哈尔滨凭借优越的地理区位在冰雪装备制造领域显示出独特的优势。多点为齐齐哈尔和牡丹江,其中齐齐哈尔作为黑龙江省第二大的城市,是冰雪装备制造的重要节点;牡丹江凭借著名的景区“雪乡”,借助旅游业的蓬勃发展,有力的促进了冰雪装备制造业的成长。其次,个人冰雪装备制造业呈现齐齐哈尔和哈尔滨并驾齐驱(图 3-b),共同构筑了黑龙江省个人冰雪装备制造领域的“双核结构”,这两座城市凭借其雄厚的重工业基础,为个人冰雪装备制造提供了坚实的支撑。再次,冰雪场地装备制造业呈现出“双核结构”(图 3-c),哈尔滨和牡丹江集聚效应突出,此外大庆、齐齐哈尔和七台河等地也呈现出一定的集聚态势。最后,冰雪配套装备制造业呈现“单核结构”的空间特征(图 3-d),哈尔滨在此领域展现出显著的集聚现象,佳木斯也呈现出一定的集聚现象。

(2)不同类型企业呈现差异化的空间分布模式。黑龙江省的冰雪装备制造企业的规模小,大规模企业偏少。首先,从整体分布态势来看(表 1),置信水平小于 0.05,呈现显著性,最邻近指数(NNI)为 0.538,最终呈现显著集聚现象。其次,在 2007-2024 年这一阶段,企业呈现显著集聚,置信水平小于 0.05,NNI 分别为 0.323、0.726。1997-2006 年阶段,呈现随机现象。再次,企业类型主要以有限责任公司为主,置信水

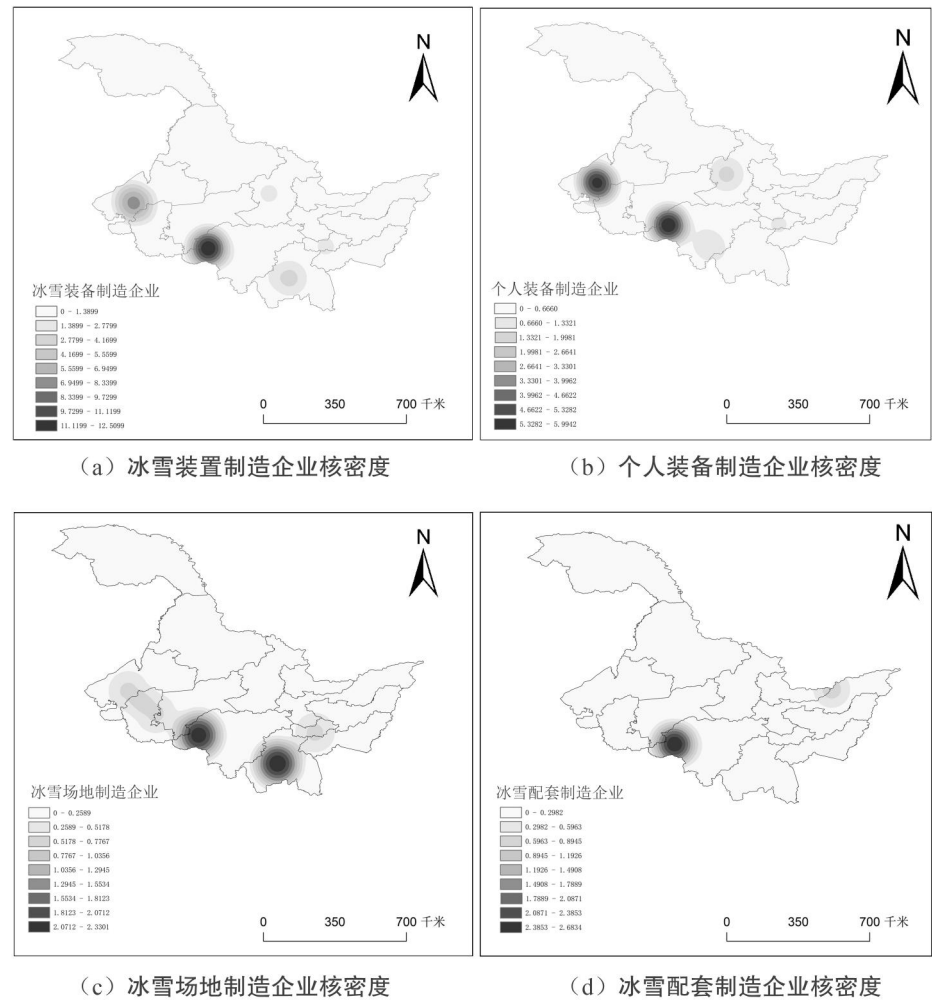


图3 冰雪装备制造企业分布核密度图
(审图号:GS(2022)77号)

表1 黑龙江省冰雪装备制造企业空间集聚模式

类型		平均观测 距离(m)	预期平均 距离(m)	NNI	Z-score	置信水平	空间集聚 模式
成立 年份	总体	23560.246	43779.316	0.538	-5.518	0.000000	显著集聚
	1997-2006 年	49547.370	44964.573	1.102	0.675	0.499401	随机
	2007-2015 年	10860.216	33601.126	0.323	-3.884	0.000103	显著集聚
	2016-2024 年	46619.985	64232.670	0.726	-2.226	0.026045	显著集聚
企业 类型	有限责任公司	33522.034	51032.331	0.657	-3.419	0.000648	显著集聚
	其他有限责任公司	7613.230	43.626	174.510	469.429	0.000000	显著分散
	个体工商户	37622.062	29953.402	1.256	1.469	0.141738	随机
企业 规模	少于 100 万	217289.882	106283.936	2.044	4.894	0.000001	显著分散
	100 万-1000 万	36422.019	53081.510	0.686	-2.325	0.020051	显著集聚
	1000 万-5000 万	37542.293	19085.037	1.967	4.137	0.000035	显著分散
	5000 万以上	8434.029	3600.600	2.342	5.136	0.000000	显著分散

平小于 0.05, NNI 为 0.657 呈现显著集聚现象。而其他有限责任公司和个体商户无任何集聚现象。最后, 企业规模小, 大规模企业偏少, 注册资本在 100 万至 1000 万区间的企业较多, 呈现显著集聚, 置信水平小于 0.05, NNI 为 0.686, 而注册资本少于 100 万、1000 万至 5000 万、5000 万以上的企业, 置信水平小于 0.05, 根据 NNI 的分析, 这些企业呈现出显著分散现象。

3.2 冰雪装备制造业空间优化策略

基于黑龙江省冰雪装备制造业空间特征及开发潜力, 对装备制造业空间布局及高质量发展提出以下优化策略。

(1) 产业集聚发展。打造冰雪装备制造产业园区或产业集群, 需要参考空间分布集聚的情况, 对园区进行科学规划。首先, 在哈尔滨、齐齐哈尔等地建设冰雪装备制造产业园区, 与哈尔滨市高校加强合作, 以科技创新驱动产业升级。实现资源共享, 形成产业集群, 使得冰雪装备制造业的规模扩大与行业整体实力提升。其次, 利用牡丹江的冰雪资源和场地优势, 在哈尔滨和牡丹江等地建设大型滑雪场, 形成产业集聚。通过完善园区的基础设施和配套服务, 吸引相关企业入驻。

(2) 区域协同发展。首先, 加强科研与生产合作。哈尔滨和齐齐哈尔两地协同发展, 哈尔滨应充分发挥哈尔滨工业大学等高校的科研优势, 重点聚焦于高端冰雪装备研发创新; 齐齐哈尔则应依托重型器械制造等坚实的基础, 结合城市空间广阔的特点, 可以转型生产冰雪场地装备, 造雪机等一些大型机械设备。其次, 共同拓展市场。根据制造业的优势特点, 七台河作为享有盛誉的奥运之城, 应充分利用其在冰雪体育赛事方面的影响力和奥运冠军的榜样效应, 借助名气扩大产业规模, 提升产业的整体竞争力和影响力。

(3) 优化市场布局。根据制造业竞争优势的需求方面, 制造业的规模扩大, 可以优化市场布局, 国内市场布局, 除了聚焦于东北、新疆等冰雪资源丰富的地区, 可以重点布局在京津冀、长三角等经济发达地区, 加强在这些地区的推广和

销售渠道。国际市场布局, 可以研究不同国家的运动水平、市场需求, 在国际市场占有一定竞争力, 例如俄罗斯、日本、韩国等。

4 结论

冰雪装备制造业的开发与空间优化对黑龙江省冰雪经济的高质量发展至关重要, 本文通过分析黑龙江省的冰雪装备制造业结构特点、空间特征以及空间优化路径, 为黑龙江省冰雪装备制造业空间优化布局和质量的发展提供科学依据和有力支撑。

黑龙江省的各类冰雪装备制造企业从 1997 年开始逐步发展, 2015 年之后呈现大幅度增长态势。黑龙江省在冰雪装备制造业的竞争优势主要体现初级要素、需求条件、相关与支持性产业以及机遇和政府等方面。其发展潜力体现在资源与研发、工业基础以及产业转型、冰雪旅游与体育赛事带动需求优势。制造业主要聚焦于个人冰雪装备领域, 产品以中低端为主, 微小型企业在该领域占据主导地位。冰雪装备制造业空间分布主要集中在哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江等市, 并呈现显著集聚的现象。基于此提出产业集聚发展、区域协同发展、优化市场布局的优化策略。

参考文献 (References):

- [1] Changyao Song, Tingting Yin, Xinjian Li, et al. Characteristics and determinants of China's ice-and-snow tourism industrial cluster [J]. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(04): 564-577.
- [2] 张敏, 李梅, 孙艳艳, 等. 冰雪装备器材产业科技创新的动力机制研究—基于扎根理论的分析[J]. 企业经济, 2022, 41(08): 122-131.
- [3] 董锁成, 李宇, 厉静文, 等. 中国大冰雪旅游发展模式研究[J]. 中国生态旅游, 2021, 11(06): 829-845.
- [4] 王秋玉, 曾刚, 吕国庆. 中国装备制造业产学研合作创新网络初探[J]. 地理学报, 2016, 71(02): 251-264.
- [5] 段德忠, 杜德斌, 张杨. 中美产业技术创新能力比较研究: 以装备制造业和信息通信产业为例[J].

- 世界地理研究, 2019, 28(04): 24-34.
- [6] 马延吉. 辽中南城市群产业集聚发展与格局[J]. 经济地理, 2010, 30(08): 1294-1298.
- [7] 周梓珂, 回军. 北京冬奥会对辽宁省冰雪产业的影响调查[J]. 当代体育科技, 2019, 9(17): 237-238.
- [8] 张贵海, 孙欣. 黑龙江省冰雪产业发展对策研究[J]. 商业经济, 2019, 37(09): 1-6+13.
- [9] 李瑛, 程茂滕, 张路. 北京冬奥会与中国冰雪经济发展—基于体育赛事产业的研究视角[J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(12): 122-130.
- [10] 王金伟, 郭嘉欣, 刘乙, 等. 中国滑雪场空间分布特征及其影响因素[J]. 地理研究, 2022, 41(02): 390-405.
- [11] 宋昌耀, 厉新建, 殷婷婷, 等. 中国冰雪装备制造企业的时空特征及其区位选择影响因素[J]. 地理研究, 2023, 42(04): 1070-1087.
- [12] 高寰宇, 曹连众, 高圆媛. 我国冰雪产业链内容要素与优化路径研究[J]. 沈阳体育学院学报, 2022, 41(04): 1-7.
- [13] 石宇飞. 以制造业发展促进中国国家竞争力提升—基于波特钻石模型的分析[J]. 税务与经济, 2020, 42(04): 20-26.
- [14] 孙迪. 冬奥契机下黑龙江省冰雪体育发展研究[J]. 北方经贸, 2022, 42(07): 5-7.
- [15] 吕金莹, 陈正康. 黑龙江省发展冰雪经济的价值、困境及对策[J]. 北方经贸, 2024, 44(01): 5-7.
- [16] 朱乾峰. 后冬奥时代黑龙江省冰雪旅游业发展趋势及优化路径[J]. 黑龙江工业学院学报: 综合版, 2022, 22(07): 114-120.
- [17] 李明浩, 张文月, 许有俊. 基于波特钻石模型的辽宁省特色小镇竞争力研究[J]. 科技促进发展, 2020, 16(05): 479-483.
-
- 作者简介:**
- 第一作者: 李娜, 2000年生, 女, 黑龙江绥化人, 硕士, 哈尔滨师范大学, 主要研究方向为城市与区域发展。
Email: 2909511751@qq.com;
- 通讯作者: 姜丽丽, 1981年生, 女, 辽宁丹东人, 博士, 哈尔滨师范大学, 副教授, 主要研究方向为经济地理学。
Email: jll0707@163.com
-

Research on the Development and Spatial Optimization of the Ice and Snow Equipment Manufacturing Industry in Heilongjiang Province

LI Na, JIANG Lili *

(College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: The ice and snow equipment manufacturing industry has unique regional advantages in Heilongjiang Province, and the development and spatial optimization of this industry are of great significance to the development of the ice and snow economy in Heilongjiang Province. Based on the data of 39 ice and snow equipment manufacturing enterprises in Heilongjiang Province, this paper analyzes the structural characteristics, spatial features, and spatial optimization paths of the ice and snow equipment manufacturing industry in Heilongjiang Province. The research findings are as follows: ①The ice and snow equipment manufacturing industry in Heilongjiang Province has gradually developed since 1997 and has shown a substantial growth trend after 2015; ②It demonstrates competitive advantages in the industry in terms of primary factors, demand conditions, related and supporting industries, as well as opportunities and the government; ③Harbin has become an agglomeration area for personal ice and snow equipment and ice and snow supporting equipment, while Qiqihar and Mudanjiang have shown strong strength in the fields of personal ice and snow equipment and ice and snow venue equipment; ④Based on the structural and spatial characteristics of the manufacturing industry, optimization strategies such as the development of industrial agglomeration, regional coordinated development, and the optimization of the market layout are proposed.

Key words: ice and snow economy; ice and snow equipment manufacturing Industry; spatial optimization; Heilongjiang province

企业视角下黑龙江省冰雪经济发展时空特征研究

张 潇,姜丽丽*

(哈尔滨师范大学地理科学学院,哈尔滨 150025)

摘 要:企业是区域经济发展的主体,冰雪企业的空间布局是发展冰雪经济的关键。利用天眼查平台,获取黑龙江省 2586 家冰雪企业空间数据,利用空间最邻近分析法和核密度分析法分析黑龙江省冰雪经济结构特征和发展时空特征,根据分析结果进一步探讨优化黑龙江省发展冰雪经济的对策。研究发现,黑龙江省冰雪企业规模以微小型为主,呈“金字塔”式结构;产业结构中冰雪服务业占主导,其他产业发展不均衡;企业空间集聚特征差异显著,集聚程度随规模增大而递减,分布存在地域差异;在时空特征上,1995-2025 年企业数量逐年增长,空间分布从离散向集聚转变,“中心-外围”结构初步形成。研究成果丰富了冰雪经济的量化研究,为黑龙江省冰雪经济的规模优化、结构升级和空间布局调整提供数据支撑与理论参考,助力黑龙江省将冰雪资源优势转化为经济发展优势。

关键词:冰雪企业;冰雪经济;时空特征;黑龙江省

中图分类号:K902

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0011-10

0 引言

近年来,国家高度重视黑龙江省冰雪经济的发展。习近平总书记在参加十二届全国人大四次会黑龙江代表团审议时首次提出“绿水青山是金山银山,黑龙江的冰天雪地也是金山银山”^[1]。黑龙江省为贯彻落实“冰天雪地也是金山银山”的政策方针,于 2022 年 3 月出台了《黑龙江省冰雪经济发展规划》,规划了未来十年黑龙江省冰雪经济可持续发展的战略重点和制度安排^[2]。对于黑龙江省的区域发展,习近平总书记指出,要大力发展特色文化旅游,把发展冰雪经济作为新增长点,推动冰雪运动、冰雪文化、冰雪装备、冰雪旅游全产业链发展^[3]。冰雪经济将作为黑龙江省新的经济增长点。

冰雪经济是指以冰雪资源为基础,以冰雪运动为引领,涵盖冰雪运动、冰雪旅游、冰雪装备等相关产业的综合经济体系^[4]。关于“冰雪经济”这一主题,国外对冰雪经济的的界定范围相对较

窄,绝大多数的研究集中于滑雪产业、滑雪旅游等方面^[5,6]。而国内文献成果相对丰富,多见报纸对有关冰雪经济的报道。整体来看,关于冰雪经济的理论研究存在滞后现象。从研究的时间线来看,我国最早的关于冰雪经济的研究始于武岫岚发表在《龙江社会科学》的文章^[7]。早期研究内容主要面向冰雪文化、冰雪经济、冰雪旅游和冰雪产业,随着冬奥会在北京的顺利开展,近五年来冰雪经济再次成为研究热点,2025 年黑龙江省成为主要的研究对象。其中对冰雪经济的区域发展研究更加深入,学术界针对冰雪经济发展的研究主要侧重于数字技术^[8-11]、高质量发展^[12-18]和产业结构几个方面,其中从产业结构视角研究冰雪经济的发展是近些年来研究的主要方向,主要以冰雪旅游产业和冰雪体育产业作为研究着力点^[19-24]。总体来说,现有研究侧重于理论层面的分析,而量化分析较少。据此,本文从企业视角研究黑龙江省冰雪经济,通过量化分析为黑龙江省冰雪经济的发展提供了实证

基金项目:哈尔滨师范大学高等教育教学改革研究一般项目“地理科学专业“一流课程”课程体系与教学内容研究与实践”(XJGYFW2022032);黑龙江省自然科学基金联合引导项目“黑龙江省农村地区贫困治理过程与长效机制研究”(LH2019D0009)。

支持,揭示了黑龙江省冰雪经济的结构特征和发展时空特征,为政府制定针对性的发展策略提供了科学依据,有助于推动黑龙江省冰雪经济的高质量发展。

1 研究方法和数据来源

1.1 研究方法

(1)最邻近分析法。是一种用于描述空间分布模式的方法,通过计算任意两点间的欧氏距离,比较得出最邻近距离,并与随机分布模式的距离进行比较,来判断观测模式是否趋向于均匀分布、聚集分布或趋向于某种方向分布。在地理学领域中多用于研究城市与人口分布以及地理要素关系的分析。

(2)核密度分析法。是一种用于空间分析的方法,通过统计和分析空间中的点分布,计算出每个点周围的密度值,进而揭示空间中的潜在趋势和模式。在经济学领域中,常用于企业与产业空间分布密度的研究,揭示产业集聚或扩散的趋势和特征,为区域经济发展政策的制定提供参考。其公式如下:

$$p_i = \frac{1}{n\pi R^2} \sum_{j=1}^n k_j \left(1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2}\right)^2 \quad (1)$$

式中: p_i 为空间中任意一点 i 的核密度; k_j 为研究对象 j 的权重; D_{ij} 为空间点 i 与研究对象 j 的距离 ($D_{ij} < 0$); R 为选定规则区域的带宽; n 为带宽 R 的范围内研究对象 j 的数量^[25]。

黑龙江省冰雪企业的区位指向上存在显著差异,导致其在空间分布上具有鲜明的分异特征,为此采用空间最邻近分析法分析黑龙江省冰雪经济发展时空特征,利用核密度分析法分析黑龙江省冰雪企业空间集聚特征。

1.2 数据来源

利用天眼查数据平台,通过高级检索关键词“冰雪”“滑雪”“雪场”的经营范围和企业名称,选择省份地区“黑龙江省”,登记状态选择存续状态,组织机构为各类型企业进行查询,以此获取 1995-2025 年黑龙江省冰雪企业的相关数据信息,这些信息涵盖企业名称、地址、规模、经营

范围、注册资本以及成立日期,筛选重复项,最终获得 2586 条有效企业信息样本。

根据国务院办公厅在 2024 年 11 月 6 日发布的《关于以冰雪运动高质量发展激发冰雪经济活力的若干意见》中提到的冰雪经济产业链条^[26],可将冰雪产业分为冰雪服务业、冰雪旅游业、冰雪运动产业、冰雪文化产业、冰雪装备制造业、冰雪建筑产业。

利用 Map Location 进行数据处理,将处理后的数据导入 ArcGIS 软件进行可视化。

2 黑龙江省冰雪经济结构特征

2.1 冰雪经济规模特征

将冰雪企业按规模分为微型、小型、中型和大型四种类型。研究发现,黑龙江省冰雪企业规模以微型和小型为主,呈现微小型企业为主导、大中型企业为辅的“金字塔”式结构。

由图 1 可知,黑龙江省微型冰雪企业占比最高,达到 56%,其次为小型冰雪企业,占比 27%。这表明,微小型冰雪企业是黑龙江省冰雪产业的主体,而中型企业和大型企业占比较低,分别为 11% 和 6%,整体呈现“金字塔”式结构。这种规模结构与冰雪企业的资源依赖性和市场特性密切相关。例如,微型和小型企业主要经营冰雪服务业和冰雪旅游业,依赖本地资源和消费市场,创立门槛低,而大中型企业主要经营冰雪装备制造业和冰雪建筑产业,需要更高的资本和技术门槛^[27]。

2.2 冰雪经济产业特征

研究发现,黑龙江省冰雪经济发展中,产业结构呈现出冰雪服务业占据主导地位,其他产业协同发展的特点。由图 2、图 3 可知,黑龙江省

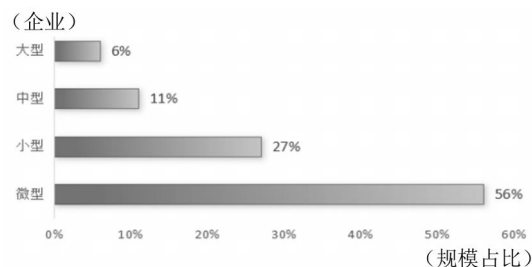


图 1 黑龙江省各类型冰雪企业规模占比图

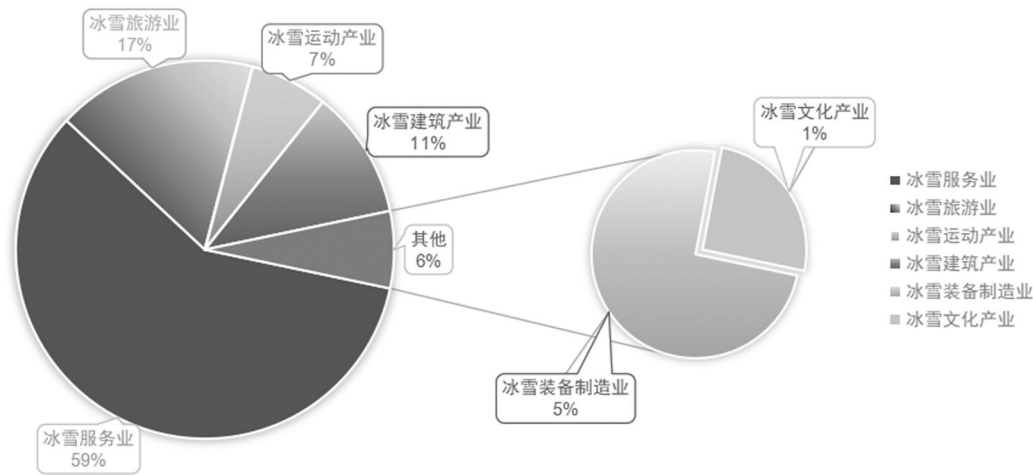


图2 黑龙江省各冰雪产业占比图

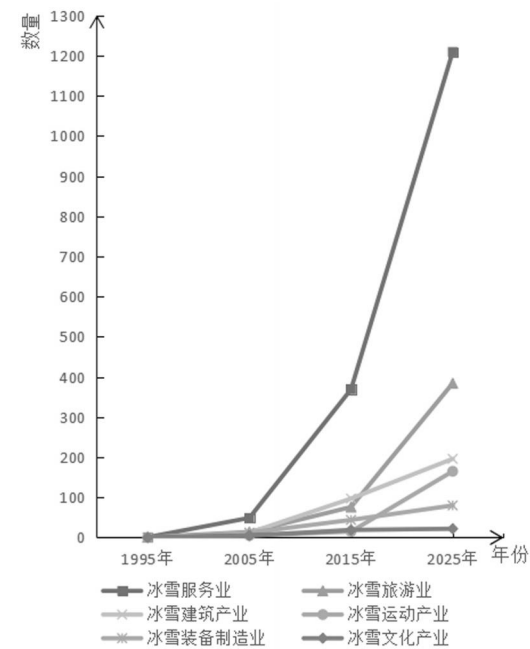


图3 1995-2025年黑龙江省各冰雪产业数量变化图

各类冰雪企业占比呈现显著梯度差异,其中冰雪服务业在冰雪产业中占据主导地位,占比59%,且企业数量多年来呈显著提升趋势,在黑龙江省

冰雪产业中的地位日益提升;冰雪旅游业位居第二,占比17%,且多年来企业数量也呈明显增长,反映出黑龙江省冰雪产业正在向服务型经济转型且产业重心主要集中在服务消费和旅游体验领域。其他冰雪产业如冰雪运动产业(7%)、冰雪建筑产业(11%)、冰雪装备制造业(5%)和冰雪文化产业(1%)的占比较低,反映出这些领域尚未形成产业优势,其中冰雪文化产业占比仅为1%,反映出黑龙江省冰雪经济发展的弱势。综上,黑龙江省冰雪产业呈现“服务业+旅游业双核驱动,其他产业协同发展”的结构特征,未来需在巩固优势产业的同时,推动装备制造、文化等短板领域的升级,以实现更均衡的产业结构。

2.3 冰雪经济空间集聚特征

2.3.1 不同类型冰雪企业空间集聚特征差异显著

由表1可知,黑龙江省冰雪企业普遍呈现显著的空间集聚现象,但不同类型的集聚强度

表1 黑龙江省冰雪企业各产业空间集聚模式

产业类型	平均观测距离(m)	预期平均距离(m)	NNI	Z-score	置信水平	空间集聚模式
冰雪服务业	2187.0885	15038.7013	0.1454	-65.5573	0.0000	显著集聚
冰雪旅游业	8369.1206	29126.5468	0.2873	-28.9858	0.0000	集聚
冰雪建筑产业	8289.5592	25962.4130	0.3193	-22.6306	0.0000	集聚
冰雪运动产业	14963.7838	40729.7817	0.3674	-16.2369	0.0000	集聚
冰雪装备制造业	14519.8674	29330.4313	0.4950	-11.1824	0.0000	集聚
冰雪文化产业	34221.4262	49127.3043	0.6966	-3.9368	0.0001	随机

表 2 黑龙江省冰雪企业空间集聚模式

企业类型	平均观测距离(m)	预期平均距离(m)	NNI	Z-score	置信水平	空间集聚模式
微型	4014.6458	16920.9638	0.2373	-51.9803	0.0000	显著集聚
小型	4068.2660	23837.3594	0.1707	-42.2457	0.0000	显著集聚
中型	10899.3643	30839.2461	0.3534	-21.3887	0.0000	集聚
大型	16561.1780	41373.4363	0.4003	-14.7373	0.0000	集聚

存在明显差异。冰雪服务业的 NNI 指数最低 (0.1454), Z-SCORE 绝对值最大 (-65.5573), 表明其空间集聚程度最高, 产业高度集中于核心区域, 如哈尔滨、亚布力等旅游城市。由图 4-a 可知, 冰雪服务业分布跨度大 (0-79570), 高密度区集中在少数节点, 印证了“点状集聚”的特征, 冰雪旅游业 (NNI=0.2873) 和冰雪建筑产业 (NNI=0.3193) 集聚程度次之。由图 4-b 和 4-e 可知冰雪旅游业在区间 6.1871-1,848.4633 分布广泛, 冰雪建筑产业核密度峰值高达 13,559.1348, 表明该产业在空间上虽集聚, 但覆盖范围更广, 且其分布与大型基础设施的分布存在较强关联性。冰雪装备制造业 (NNI=0.4950) 和冰雪文化产业 (NNI=0.6966) 集聚程度最低, 尤其是文化产业接近随机分布 (NNI≈0.7), 表明其发展仍处于初期阶段, 尚未形成规模化集群。综上, 黑龙江省冰雪服务业和冰雪旅游业空间分布高度集聚, 冰雪装备制造业和冰雪文化产业分散性较强, 反映出冰雪产业成熟度与资源依赖性的差异。

2.3.2 空间集聚程度随冰雪企业规模增大而递减

由表 2 可知, 黑龙江省微小型冰雪企业表现为显著的空间集聚模式。微型冰雪企业的 NNI 指数最低 (0.2373), Z-score 绝对值最大 (-51.9803), 表明其空间集聚程度最高, 主要集中于城市中心和旅游节点。小型冰雪企业次之 (NNI=0.1707), 集聚强度略低于微型冰雪企业, 但显著高于中型和大型冰雪企业。这种集聚现象表明微小型冰雪企业在特定区域内形成了较为密集的产业分布, 有利于资源共享和协同发展。中型冰雪企业 (NNI=0.3534) 和大型冰雪

企业 (NNI=0.4003) 集聚程度较低, 尤其是大型冰雪企业接近随机分布 (NNI≈0.4), 空间分布更分散。微小型冰雪企业高度依赖城市消费市场和旅游资源, 因此分布在核心区域, 如哈尔滨市区和亚布力滑雪场景区。大中型冰雪企业需要更广泛的市场和资源配置, 导致其分布相对分散^[27]。例如, 冰雪建筑产业核密度峰值高达 13,559.1348, 但其平均观测距离较长, 为 8289 米 (图 4-e), 体现出大型企业的分散特征。

2.3.3 不同规模冰雪企业空间分布呈现地域差异

研究发现, 大中型冰雪企业多聚集在经济发达地区, 而微小型冰雪企业广泛分布在中小城市和旅游景区。在经济发达地区, 大中型冰雪企业依托城市经济资源和政策支持, 实现规模化发展; 在中小城市和景区, 微小型冰雪企业依赖本地资源和旅游消费, 发展空间有限^[27]。黑龙江省微小型冰雪企业主要经营冰雪服务业和冰雪旅游业, 大中型冰雪企业主要经营冰雪装备制造业和冰雪建筑产业。其中, 大中型企业集中分布在省会及重点旅游城市 (图 4-d、图 4-e), 而微小型企业则分散分布在各中小城市和景区 (图 4-a、图 4-b), 印证了企业规模与区域经济水平的正相关关系。例如, 哈尔滨市作为黑龙江省的经济中心, 集中了大量大中型冰雪企业, 而亚布力等景区则以微小型冰雪企业分布为主。

3 黑龙江省冰雪经济发展时空特征

3.1 冰雪企业数量逐年增长, 冰雪经济持续发展

由图 5 可知, 1995 年至 2025 年的 30 年间, 黑龙江省冰雪企业数量由 5 家增加到 2586 家,

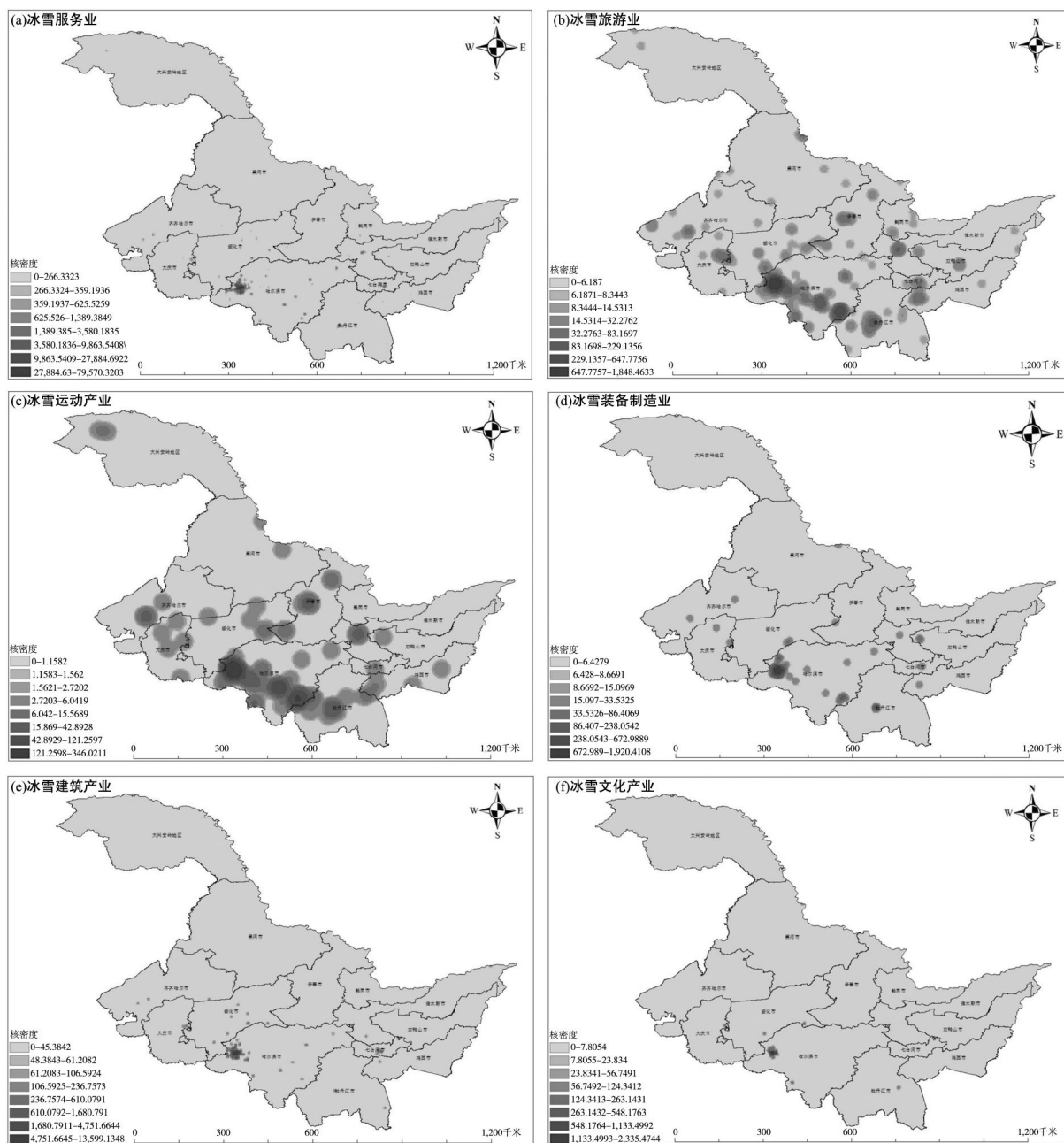


图4 黑龙江省冰雪企业各产业核密度图

(审图号:GS(2022)77号)

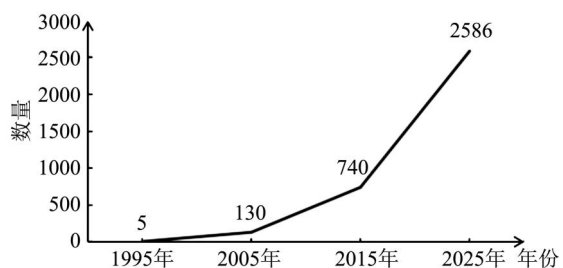


图5 1995-2025年黑龙江省企业数量变化图

2015年后发展迅速。从2016年3月习近平总书

记首次提出“绿水青山是金山银山,黑龙江的冰天雪地也是金山银山”的理论,再到黑龙江省人民政府高度重视冰雪产业的发展,颁布了一系列有关冰雪经济发展的政策后,这些政策为企业提供了良好的发展环境和市场机遇,一定程度上促进了黑龙江省冰雪企业数量的增长,这表明在这十年的发展中,黑龙江省高度重视将“冰雪”作为新的经济增长点,落实了将“冰天雪地”变为“金山银山”这一举措。

表 3 黑龙江省冰雪企业空间集聚模式

年份	平均观测距离(m)	预期平均距离(m)	NNI	Z-score	置信水平	空间集聚模式
1995 年	63889.9970	8146.0743	7.8430	22.6747	0.0000	离散
2005 年	16290.0140	32252.3370	0.5051	-8.9823	0.0000	集聚-随机
2015 年	5250.6363	23470.7530	0.2237	-35.5494	0.0000	集聚
2025 年	2411.7793	14609.2976	0.1651	-70.2064	0.0000	显著集聚

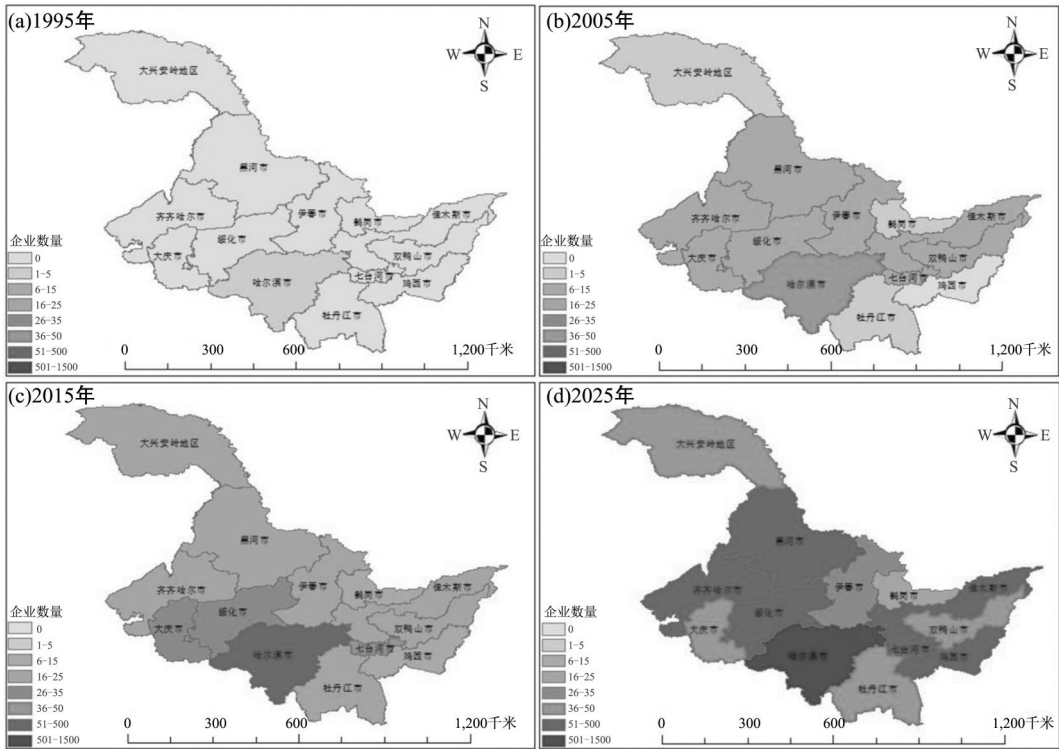


图 6 黑龙江省冰雪企业时空分布图
(审图号:GS(2022)77 号)

3.2 冰雪企业空间分布从离散向集聚转变,集聚程度逐年增强

由表 3 可知,从 1995-2025 年,冰雪企业的集聚效应显著增强,黑龙江省冰雪企业的空间分布经历了从离散到集聚的显著转变。1995 年冰雪产业处于起步阶段,NNI 指数高达 7.8430,Z-score 为 22.6747,表明冰雪企业分布高度离散,主要集中在少数城市,如哈尔滨和齐齐哈尔。2005 年后,随着市场需求增长,冰雪企业开始向核心城市和景区集聚,NNI 指数降至 0.5051,Z-score 为-8.9823,表明冰雪企业分布从离散向集聚过渡,但仍接近随机分布。2015 年后,冰雪产业进入快速发展期,集聚效应显著增强,NNI

指数进一步降至 0.2237,Z-score 为-35.5494,表明冰雪企业分布呈现显著集聚特征。2025 年冰雪企业分布高度集聚,NNI 指数降至 0.1651,Z-score 为-70.2064,表明冰雪企业分布进入高度集聚阶段。

3.3 冰雪经济“中心-外围”结构初步形成

由图 6 可知,黑龙江省冰雪企业的集聚核心从单中心向多极发展。1995 年,黑龙江省冰雪企业均分布于哈尔滨市;2005 年,除鸡西市外,黑龙江各市均一定程度发展了冰雪经济,其中哈尔滨市的中心地位尤为突出;2015 年,初步形成以哈尔滨为中心,以七台河、绥化和大庆为次外围,覆盖全省的冰雪经济空间格局;至 2025 年,

哈尔滨中心地位日益突出,外围冰雪经济发展呈现不同程度空间分异,其中,大庆市地位下降,以哈尔滨为中心的“两翼”次外围格局呈现(西翼:齐齐哈尔、绥化、黑河;东翼:七台河、佳木斯、鸡西),北部的伊春市和鹤岗市冰雪经济发展相对滞后。

4 黑龙江省冰雪经济优化对策探讨

尽管多年来黑龙江省冰雪经济取得了长足的发展,但仍存在许多问题,据此探讨优化对策:

(1) 黑龙江省冰雪企业规模优化对策

应积极应对黑龙江省微小型企业占比过高,大中型企业发展不足的局面。可将黑龙江省冰雪企业规模结构从当前的“金字塔型”逐步调整为更健康的“纺锤型”结构。对于微小型企业,可通过技术创新、管理提升和产品升级等方式,促进微小型企业向“专精特新”方向转型。对于大中型企业,未来应重点扶持和培育一批具有核心竞争力的冰雪龙头企业,可通过政策引导、资金支持等方式,鼓励企业市场拓展和品牌塑造,鼓励企业通过并购、重组等方式实现规模扩张^[28]。除此之外,政府可出台一系列专项扶持政策,设立冰雪企业发展专项资金,对处于发展初期但具有潜力的冰雪企业给予资金补贴、税收减免等支持,降低企业运营成本,助力其快速成长,扩大其规模。同时,制定针对冰雪企业的土地优惠政策,优先保障重点冰雪项目的用地需求,降低企业的用地成本,鼓励企业扩大生产和经营规模^[29]。

(2) 黑龙江省冰雪企业空间优化对策

强化冰雪经济中心,推进冰雪经济发展扩散效应。哈尔滨市作为黑龙江的冰雪经济中心,拥有完善的交通、住宿、餐饮等基础设施,以及丰富的旅游客源市场,吸引了大量冰雪企业在此集聚,其中亚布力凭借其优质的滑雪资源,集聚了众多滑雪度假村、滑雪培训企业、滑雪装备销售企业等,成为黑龙江省冰雪体育产业的重要集聚地^[30]。因此,哈尔滨市要充分发挥发展黑龙江冰雪经济的带动作用,形成增长极,通过冰雪企

业间分工与协作,带动外围地区冰雪经济共同发展,从而有利于企业共享资源、降低成本、提高创新能力,同时增强黑龙江省冰雪经济的整体竞争力^[31]。

提升黑龙江省区域交通可达性,扩大冰雪企业市场。未来可将冰雪企业建立在主要交通干线上,如哈牡高速、哈大高铁等。交通便利性对于冰雪企业的发展至关重要,一方面方便游客的出行,缩短游客的旅行时间,提高游客的出行意愿,另一方面有利于企业的物资运输、人员流动以及信息交流^[32]。例如,位于哈牡高速沿线的帽儿山滑雪场,依托交通优势,吸引了大量哈尔滨及周边地区的滑雪爱好者,同时也促进了周边餐饮、住宿等企业的发展,形成了以滑雪场为核心,沿交通线分布的小型冰雪经济产业带。

(3) 黑龙江省冰雪产业结构优化对策

巩固冰雪服务业和冰雪旅游业在黑龙江省冰雪经济中的主导地位,推动两者深度融合发展,同时加大对冰雪运动产业、冰雪建筑产业、冰雪装备制造业和冰雪文化产业的支持力度,通过政策引导、资金扶持等方式,促进产业的快速发展,形成多元且均衡化的产业结构。发展冰雪经济,要在创新发展上下足功夫,推动冰雪产业深度融合^[33,34],将地方民俗与冰雪元素有机融合,提升冰雪旅游的服务品质和产品多样化。同时,根据交通路线和地方特色设计出文化鲜明的冰雪旅游路线,生产带有地方特色且文化底蕴深厚的冰雪产品,避免同质化,打造专属黑龙江省的IP品牌,最大限度挖掘冰雪旅游的价值,激发冰雪经济发展的动力^[35]。此外,运用科技手段和互联网思维,培育新业态,打造新模式,打造冰雪产业全链条,为冰雪经济长期可持续发展提供新动能。

参考文献(References):

- [1] 人民网. 习近平参加黑龙江代表团审议: 冰天雪地也是金山银山[EB/OL]. 2016-03-07. <http://www.people.com.cn/>
- [2] 刘训聪,董宇,邹青海,徐长洲. 黑龙江省冰雪经济

- 发展的现实困囿与靶向路径[J]. 商业观察, 2024, 10(14): 108-111.
- [3] 中共黑龙江省文化和旅游厅党组. 发展特色文化旅游, 打造冰雪经济高地[EB/OL]. 2024-06-21. <http://www.ctnews.com.cn/>
- [4] 刘雪松. 高质量发展视域下寒地冰雪经济体系建设研究[J]. 税务与经济, 2022, 44(02): 55-62.
- [5] Purdie, Heather. Glacier retreat and tourism: insights from New Zealand[J]. Mountain Research and Development, 2013, 33(04): 463-472.
- [6] Halim, Kazana, et al. Economic Development of the Ski Industry in Experimental Innovation: Examples of Palandöken, Turkey and the Swiss Alps[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2015, 195(07): 487-492.
- [7] 武岫岚. 建立一门新学科——冰雪经济学[J]. 龙江社会科学, 1994, 5(06): 49-51.
- [8] 郭文尧, 刘维刚. 数字技术赋能冰雪产业链高质量发展研究[J]. 企业经济, 2024, 44(06): 49-57.
- [9] 蒋抒博, 林文静, 吴一晓. 黑龙江省冰雪旅游产业数字化转型研究[J]. 黑龙江社会科学, 2023, 34(01): 49-56.
- [10] 赵琳, 王飞. “十四五”时期冰雪体育旅游数字化转型的价值导向与实施路径[J]. 体育文化导刊, 2021, 22(09): 1-6+47.
- [11] 王超, 杜唯, 杜春华. 数字技术赋能冰雪产业高质量发展的理论内涵、现实困境与实践路径[J]. 沈阳体育学院学报, 2022, 41(05): 21-27+95.
- [12] 周文静, 张瑞林. 东北地区冰雪运动产业高质量发展目标与路径[J]. 体育文化导刊, 2021, 22(08): 14-19.
- [13] 王飞, 张莹, 孙大海, 等. 以冰雪运动高质量发展推进体育强国建设: 现实基础、困境与战略路径[J]. 沈阳体育学院学报, 2023, 42(03): 24-30.
- [14] “吉林省冰雪经济高质量发展调查研究”课题组, 王昱淇, 赵卓群等. 冰雪经济发展与城镇化水平动态关系研究[J]. 经济纵横, 2022, 38(06): 121-128.
- [15] 冯烽. 北京冬奥会背景下中国冰雪经济高质量发展的推进策略[J]. 当代经济管理, 2022, 44(03): 41-47.
- [16] 杨建平, 哈琳, 康韵婕, 等. “美丽冰冻圈”融入区域发展的途径与模式[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2379-2390.
- [17] 贾明会, 张思雨, 王美红. 我国冰雪产业高质量发展策略研究[J]. 当代体育科技, 2024, 14(22): 86-89.
- [18] 李宇, 巩蓉蓉, 董锁成, 等. 中国冰雪经济新质生产力的理论体系与发展方向[J]. 地理学报, 2025, 80(02): 545-562.
- [19] 宋昌耀, 厉新建, 殷婷婷, 等. 中国冰雪装备制造企业的时空特征及其区位选择影响因素[J]. 地理研究, 2023, 42(04): 1070-1087.
- [20] 唐承财, 方琰, 成新建等. 新时代中国冰雪旅游高质量发展模式构建与路径创新[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(12): 140-150.
- [21] Tang C, Xu S. Sustainable Development of Ice and Snow Tourism—Theory & Empirical Studies: Preface[J]. Journal of Resources and Ecology, 2022, (04): 547-551.
- [22] 李瑛, 程茂滕, 张路. 北京冬奥会与中国冰雪经济发展——基于体育赛事产业的研究视角[J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(12): 122-130.
- [23] 骆秉全, 冯国有, 骆同. 北京市冰雪体育产业发展的现状、困境与路径[J]. 首都体育学院学报, 2022, 34(06): 641-648.
- [24] 李凌. 体育消费链破解冰雪经济体多元困局的策略研究[J]. 北京体育大学学报, 2021, 44(11): 51-60.
- [25] 余澳, 张羽丰, 刘勇. “专精特新”中小企业数字化转型关键影响因素识别研究——基于 1625 家“专精特新”中小企业的调查[J]. 经济纵横, 2023, 39(04): 79-89.
- [26] 国务院办公厅. 《关于以冰雪运动高质量发展激发冰雪经济活力的若干意见》[EB/OL]. 2024-11-06. <http://www.gov.cn/>
- [27] 未央财经. 小微企业的群体特征有哪些? 及其对经济发展有什么作用? [EB/OL]. 2023-04-08. <https://www.mbd.baidu.com.cn/>
- [28] 王旭磊, 刘惠英, 罗丽萍等. 基于核密度分析的江西省水库时空分布研究[J]. 南昌工程学院学报, 2023, 42(04): 35-40.
- [29] 李桐. 浅议完善企业所得税政策与促进中小企业成长[J]. 经济研究导刊, 2008, 4(03): 14-15.

- [30] 孙迪. 黑龙江省冰雪经济发展现状与建议[J]. 北方经贸, 2023, 43(08): 13-15.
- [31] 王维东, 仲叔伯. 冰雪经济推动东北全面振兴的实现路径[J]. 全国流通经济, 2024, 38(21): 150-153.
- [32] 刘晨月. 中国冰雪运动企业空间格局演化特征及影响因素研究[J]. 武汉体育学院学报, 2022, 56(02): 65-71.
- [33] 邹怡琪. 黑龙江省冰雪经济发展路径研究[J]. 企业改革与管理, 2021, 29(13): 223-224.
- [34] 李安娜. 北京 2022 年冬奥会背景下我国冰雪产业链现代化: 机遇、挑战与路径[J]. 沈阳体育学院学报, 2022, 41(01): 25-32.

- [35] 张若冰, 高妍, 孙铁柱. 以打造冰雪文旅 IP 产品赋能吉林省冰雪经济发展问题研究[J]. 税务与经济, 2021, 43(06): 102-106.

作者简介:

第一作者: 张潇, 2001 年生, 女, 哈尔滨人, 硕士, 哈尔滨师范大学, 主要研究方向为城市与区域发展。Email: 1498384600@qq.com;

通讯作者: 姜丽丽, 1981 年生, 女, 辽宁丹东人, 博士, 哈尔滨师范大学, 副教授, 主要研究方向为经济地理。Email: jll0707@163.com

Study on Spatial–Temporal Dynamics of the Ice and Snow Economy Development in Heilongjiang Province under Enterprise Perspective

ZHANG Xiao, JIANG Lili *

(College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: Enterprises serve as the primary engine for regional economic development, and the spatial layout of ice and snow enterprises is crucial to the growth of the ice and snow economy. This paper acquires spatial data on 2, 586 ice and snow enterprises in Heilongjiang Province on Tianyancha platform. Through the application of nearest neighbor analysis and kernel density analysis, I delve into the structural and spatio-temporal traits of Heilongjiang’s ice and snow economy. Using the spatial nearest neighbor analysis method and kernel density analysis method, the structural and spatiotemporal characteristics of the ice and snow economy in Heilongjiang Province are analyzed, and based on the analysis results, strategies to optimize the development of the ice and snow economy in Heilongjiang Province are further explored. As indicated from the research, it’s found that the scale of ice and snow enterprises in Heilongjiang Province is mainly small-scale, forming a “pyramid” structure; the ice and snow service industry dominates the industrial structure, while the development of other industries is uneven; there are significant differences in the spatial agglomeration characteristics of enterprises, and the degree of agglomeration decreases as the scale increases with regional differences in distribution; in terms of temporal and spatial characteristics, the number of enterprises has been increasing year by year from 1995 to 2025, and the spatial distribution has shifted from dispersion to agglomeration, forming a preliminary “center periphery” structure. This article enriches the quantitative research on the ice and snow economy, providing data support and theoretical references for the scale optimization, structural upgrading, and spatial layout adjustment of the ice and snow economy in Heilongjiang Province, which is conducive to transforming its advantages in ice and snow resources into economic development advantages in Heilongjiang Province.

Key words: ice and snow enterprises; ice and snow economy; temporal and spatial characteristics; Heilongjiang Province

新质生产力驱动黑龙江省低空经济高质量发展

郝 鹏

(黑龙江省发展规划研究所, 哈尔滨 150036)

摘 要:在全球新一轮科技革命与产业变革加速演进的背景下,新质生产力作为重塑经济发展格局的核心动力,正推动低空经济成为战略性新兴产业的重要增长极。2025 年政府工作报告明确提出“建设全国寒地低空经济示范区”的战略目标,为黑龙江省低空经济发展赋予了国家战略使命。基于新质生产力理论框架,系统剖析黑龙江省低空经济发展的现实基础与突出矛盾,发现其依托航空制造底蕴、寒地资源禀赋和跨境区位优势,已在智慧农业、冰雪文旅、跨境物流等领域形成特色应用场景,但同时面临低空基础设施布局失衡、核心技术自主创新不足、复合型人才供给短缺等结构性挑战,从而提出以技术创新为核心驱动力、以产业链协同为发展路径、以场景融合为价值载体、以人才培养为支撑保障的高质量发展体系,为寒地资源型地区构建新质生产力驱动的低空经济发展范式提供理论参考与实践指导。

关键词:新质生产力;低空经济;寒地技术;高质量发展

中图分类号:F562

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0021-5

1 新质生产力驱动黑龙江低空经济发展的战略价值

1.1 新质生产力内涵与特征

新质生产力作为马克思主义生产力理论的当代发展形态,是以科技创新为核心驱动力、以数字技术为关键支撑、以要素重构为实现路径的高级生产力形态。其本质特征体现为“三个突破”:一是技术范式突破,通过原创性技术创新开辟全新产业赛道,如无人机、电动垂直起降飞行器(eVTOL)等颠覆性技术催生低空经济新业态;二是要素配置突破,打破土地、资本、劳动力等传统要素组合方式,实现数据、算力、算法等新型要素与物理要素的深度融合;三是产业形态突破,推动三次产业跨界渗透,形成“制造+服务+应用”的复合型产业生态。从实践角度看,低空经济对新质生产力的典型性体现在:其智能化水平较传统航空产业提升 300%以上,单位能耗降低 40%,研发周期缩短 50%,展现出显著的技术

迭代特征与要素重构优势。

1.2 黑龙江低空经济发展的战略定位

在国家区域发展战略格局中,黑龙江省肩负着打造“全国寒地低空经济示范区”和“东北亚低空经济枢纽”的双重使命。其核心竞争力源于三维度独特优势:

(1)产业基础优势:作为新中国航空工业的重要摇篮,拥有全国最大的民用直升机制造基地,中航工业哈飞生产的 AC352 直升机填补国内 7 吨级民用直升机空白,Y12F 飞机成为首个获得欧盟航空安全局(EASA)型号认证的国产飞机,年均直升机产量占全国份额超 50%。无人机产业依托深圳联合飞机等龙头企业,已形成从整机制造到关键部件的完整产业链。

(2)寒地技术优势:依托哈尔滨空气动力研究所、哈工大低温技术研究所等国家级科研平台,构建了从低温材料研发、寒地适航测试到极端环境运维的完整技术体系。漠河-40℃无人机检测中心作为全球唯一商用化寒地测试平台,

基金项目:国家社会科学基金项目“东北地区人口收缩对东北振兴战略的联动影响机制及应对研究”(20BRK002)。

已为大疆、极飞等行业领军企业提供专业测试服务。

(3) 区位优势: 全省建成 90 个通用机场, 形成密度达 0.53 个/万 km^2 的低空飞行网络, 远超全国 0.21 个/万 km^2 的平均水平; 黑河-布拉戈维申斯克无人机货运航道作为中俄首条固定跨境低空物流通道, 已实现生鲜货物运输成本降低 62%, 成为东北亚跨境低空经济合作的标志性工程。

这种“制造基础+寒地技术+跨境网络”的组合优势, 使黑龙江省具备构建“寒地技术标准输出地-跨境物流枢纽-全域场景应用示范区”的独特条件, 能够在东北亚低空经济竞争中形成差异化的“寒地发展范式”。

2 黑龙江省低空经济发展的现状

2.1 低空经济已拥有一定产业规模与技术实力, 产业链构建较为完整

以中航工业哈飞为产业龙头, 深圳联合飞机、中航动研院、广联航空等 120 余家企业在哈尔滨形成产业集群, 构建了包含直升机、固定翼飞机、无人机等 1.2 万余种产品的完整产业链体系。其中, 直升机领域: AC352 直升机采用全数字化设计与电传飞控系统, 旋翼系统结冰防护技术达到国际领先水平, 可在 -30°C 环境下持续作业 12 小时以上; Y12F 飞机获得美国 FAA、欧盟 EASA 双认证, 成为国产通用飞机国际化的标杆产品, 已出口至 20 余个国家和地区。无人机领域: 深圳联合飞机研发的 T333 大型物流无人机组载重达 300kg, 续航里程超 1000km, 在黑河跨境物流中实现常态化运营; 漠河寒地测试中心已建立 -40°C 至 -50°C 全环境模拟系统, 可完成无人机动力系统、飞控系统、材料性能的全维度寒地测试。寒地适航技术体系取得三项关键性突破: 在低温材料领域, 研发出钛合金低温韧性增强技术, 使结构件在 -50°C 环境下的断裂强度提升 28%; 在飞控系统领域, 哈工大团队开发的抗寒型飞控算法, 将无人机在 6 级风环境下的定位误

差控制在 0.5m 以内; 在动力系统领域, 中航动研院研制的低温航空煤油, 使发动机启动温度下限降低至 -45°C , 填补了国内寒地航空燃料的技术空白。

2.2 充分利用自身丰富资源和独特地理环境优势, 低空经济应用场景不断拓展

智慧农业的规模化应用实践。依托 2.2 亿亩耕地资源禀赋, 农业无人机作业覆盖面积突破 3200 万亩, 创新形成“双季种植+无人机变量管理”的北大荒模式。该模式通过搭载高光谱成像仪的无人机获取土壤氮磷钾含量、作物叶绿素指数等 12 项关键指标, 实现每亩化肥使用量减少 15%、农药使用量减少 20%, 亩均收益提升至 320 元, 较传统种植模式提高 35%。在建三江现代化大农业示范区, 无人机群实现水稻侧深施肥作业效率达每小时 150 亩, 相当于 100 名人工的作业量, 大幅提升了农业生产的智能化水平。

跨境物流的枢纽化布局成效。黑河-布拉戈维申斯克无人机货运航线构建了“三点一线”运营网络(黑河起飞场、中俄边境中转仓、布拉戈维申斯克降落场), 采用 T333 无人机执行每日 6 班次常态化货运任务, 单程耗时 45 分钟, 较传统公路运输时间缩短 80%, 生鲜货物损耗率从 25% 降至 8%。2024 年该航线货运量突破 1.2 万吨, 带动对俄农产品出口额增长 40%, 成为“一带一路”倡议下跨境低空物流的创新典范。

冰雪文旅的沉浸式体验创新。依托我省 110 个 4A 级以上景区资源, 开发出三大低空文旅产品体系: 在冰雪观光领域, 哈尔滨冰雪大世界直升机观光项目每日接待游客超 2000 人次, 成为冬季旅游的网红打卡项目; 在民俗体验领域, 鄂伦春族聚居区推出“低空俯瞰+地面民俗”深度体验套餐, 游客乘坐轻型飞机观赏兴安岭雪景后, 可参与传统狩猎文化体验, 实现文化传承与经济发展的有机融合; 在运动竞技领域, 亚布力滑雪场开设动力伞、热气球等低空运动项目, 冬季赛事期间吸引国内外选手 500 余人次, 带动周边旅游消费超 1 亿元。

2.3 高度重视低空经济发展,陆续出台一系列支持政策

黑龙江省出台《黑龙江省加快推动低空经济发展实施方案(2024—2027年)》,明确提出,力求在低空空域改革上取得突破,让场景应用形成龙江特色,推动低空经济产业规模快速扩张。计划到2027年,产业规模力争达到800亿元以上,同时培育3-4家百亿级低空制造企业。为达成这一目标,黑龙江省将设立黑龙江省低空经济产业投资基金,加大招商引资力度,支持低空经济领域企业入驻发展,为低空经济发展营造出优良的政策环境,为低空经济发展提供坚实保障。

3 黑龙江省低空经济发展面临的挑战

3.1 低空航路网和起降点布局欠佳

从低空航路网来看,其线路规划不够完善,很多区域之间未能形成高效、便捷的连接网络,这极大地限制了低空飞行的便利性和覆盖范围。目前,黑龙江省的通用机场数量在全国范围内虽处于相对较多的水平,但在省内的分布却不够合理。部分经济较为发达、低空飞行需求旺盛的地区、通用机场数量稀缺,导致这些地区的低空飞行需求无法得到有效满足;而部分经济相对落后、实际飞行需求较少的区域,却存在通用机场资源闲置的情况。

3.2 空域管理智能化水平不高

当前,空域管理系统在数据采集、分析以及决策支持等方面存在诸多短板,无法快速、精准地处理低空飞行相关信息。低空飞行的审批流程繁琐复杂,涉及多个部门和层级的层层审批,每个环节都需要耗费大量的时间和精力,效率极其低下,这无疑难以适应低空经济快速发展的需求。部分偏远地区,由于缺乏必要的低空航路网和起降点,无人机的作业范围受到很大限制。无人机在执行农业植保、地理测绘等任务时,常常因为没有合适的起降场地,不得不频繁更换作业地点,甚至无法到达一些预定区域,从而无法充

分发挥其优势,降低了作业效率和经济效益。

3.3 自主创新能力有待提升

自主研发能力弱,核心零部件严重依赖进口,成为制约龙江产业发展的关键瓶颈。以无人机为例,高性能电池和先进传感器这类关键零部件,黑龙江省的企业大多需要从国外进口,这不仅加大了成本,还面临供应不稳定的风险。产学研协同机制尚未完善,高校、科研机构与企业之间的合作不够紧密。部分高校研发出了新型的无人机导航算法,但由于没有与相关企业进行深度合作,该算法未能应用到实际生产的无人机产品中,不仅浪费了科研资源,也影响了产品商业化进程,科研成果不能及时转化为实际生产力。

3.4 高层次应用型人才匮乏

随着低空经济的迅猛发展,其涵盖的领域日益广泛,涉及航空、电子、通信、计算机等多个关键领域,大量具备跨学科知识和丰富实践经验的复合型人才需求增加。然而,当下黑龙江省相关专业的人才培养体系尚存在诸多不足。高校在课程设置上,过于注重理论知识的传授,对实践教学环节的重视程度不够,导致学生虽然掌握了一定的理论知识,但缺乏将知识应用于实际工作的能力。这种脱节现象直接导致培养出来的人才无法契合企业的实际需求。以无人机领域为例,部分企业在招聘无人机研发、操控和维护人才时,难以找到符合岗位要求的合适人选,使得黑龙江省低空经济在发展过程中面临人才瓶颈的困境。

4 新质生产力推动黑龙江省低空经济高质量发展建议

4.1 加大技术创新驱动低空制造升级

技术创新是推动低空经济高质量发展的核心动力,应积极布局未来赛道,持续推动关键技术攻关。一是在电动垂直起降(eVTOL)技术方面,应积极布局eVTOL技术研发,鼓励企业与高校、科研机构合作,开展关键技术攻关,如分布式推进系统、气动构型优化、高效电池技术等。通

过研发新型 eVTOL 飞行器,提高其载重能力、续航里程和飞行安全性,满足不同应用场景的需求。二是在飞控系统方面,应加强飞控系统的研发创新,依托哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学等高校在控制理论、人工智能等领域的科研优势,开展智能飞控算法研究,提高飞控系统的自主决策能力和适应性。研发基于人工智能的飞控系统,使其能够实时感知飞行环境,自动调整飞行姿态和航线,有效避免障碍物和恶劣天气对飞行的影响。三是在低温材料方面,研发新型低温合金材料,用于制造飞行器的结构部件,提高飞行器在寒地环境下的结构强度和可靠性;研究低温性能优异的复合材料,用于制造无人机的机翼、机身等部件,减轻飞行器重量,提高飞行效率。

4.2 建设低空经济产业园区推动产业链协同发展

产业链协同发展是提升低空经济产业竞争力的重要途径,应大力推动低空经济产业园区建设。一是建设哈尔滨低空制造产业园,集聚复合材料、传感器等配套企业,打造“整机制造+零部件供应+维修服务”全链条。加大政府对园区土地、水电、交通等基础设施的投入,建设标准化厂房、研发中心、物流中心等设施。同时,出台税收优惠、财政补贴、金融支持等政策,吸引企业入驻园区。二是鼓励中航工业哈飞、深圳联合飞机等龙头企业发挥引领作用,加强与配套企业的合作,形成紧密的产业协作关系。龙头企业可以将部分零部件的生产任务外包给配套企业,通过建立严格的质量控制体系和供应链管理体系,确保零部件的质量和供应稳定性。同时,龙头企业和配套企业可以共同开展技术研发和创新,提高整个产业链的技术水平和创新能力。三是建设哈尔滨低空制造产业园,集聚产业要素,实现产业链上下游企业的协同发展。提高产业集聚度和竞争力,推动黑龙江省低空经济产业向高端化、智能化、绿色化方向发展。

4.3 推动场景融合拓展产业生态

黑龙江省应充分发挥自身的资源优势和产

业基础,积极推动“低空+”多领域应用,拓展低空经济的产业生态。一是在农业领域,进一步推广北大荒“双季种植+无人机变量管理”模式。利用无人机搭载高光谱成像仪、多光谱相机等先进设备,对农田进行高精度的监测和分析,实时获取土壤肥力、作物生长状况、病虫害发生情况等信息。根据这些信息,通过无人机变量管理系统,实现精准施肥、精准施药,提高农业生产的精细化水平,减少农业资源的浪费和环境污染。二是构建“一核多节点”跨境低空物流网络。核心枢纽建设方面,扩建黑河无人机货运枢纽,建设 5 万 m² 智能仓储中心、30 个无人机起降位,2027 年货运能力达 10 万 t/年,成为中俄跨境低空物流的核心节点;节点网络拓展方面,在绥芬河、同江等口岸城市建设 6 个边境中转仓,开通至符拉迪沃斯托克、哈巴罗夫斯克等 5 条国际航线,形成覆盖东北亚的跨境低空物流网络;标准体系输出方面,主导制定《寒地无人机跨境物流操作规范》,争取成为中俄跨境低空物流行业标准,实现货物的快速装卸、存储和运输信息的实时跟踪,提升在东北亚低空经济合作中的话语权。三是在文化旅游方面,实现文旅与低空经济发展深入融合。发展冰雪季低空观光游,推出以哈尔滨冰雪大世界、亚布力滑雪场等著名景点为核心的低空观光线路,让游客乘坐直升机或小型飞机,俯瞰美丽的冰雪景观。发展鄂伦春民俗低空游,开发低空游览线路,让游客在空中领略鄂伦春族的传统村落、自然风光。

4.4 加大低空经济人才培养与引进

人才是推动低空经济发展的关键要素,黑龙江省应加强人才培育与引进,为低空经济发展提供智力支持。一是鼓励高校增设无人机技术专业,优化课程设置,加强实践教学环节。鼓励哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学等高校在航空航天、自动化等相关专业的基础上,增设无人机技术方向,开设无人机设计与制造、无人机飞行控制、无人机应用技术等课程。同时,与企业合作建立实习实训基地,让学生在实践中掌握无人机的操作技能和应用方法,提高学生的实践能力。

二是建立“企业导师+院校教师”双师制。邀请企业的技术骨干和行业专家到高校授课,分享实际工作中的经验和案例,使学生更好地了解行业发展动态和实际需求。同时,高校教师也可以到企业挂职锻炼,提升自身的实践能力和科研水平。通过双师制的实施,促进高校教育与产业需求的紧密结合,培养出更多符合企业需求的应用型人才。三是设立人才专项基金,吸引高端人才投身黑龙江省低空经济发展。用基金资助优秀人才的科研项目、创业项目,提供人才补贴和住房、子女教育等方面的优惠政策,吸引国内外低空经济领域的高端人才、创新团队到黑龙江省创新创业,为黑龙江省低空经济发展注入新的活力。

4.5 提升低空空域使用效率

推进低空空域管理,是驱动我省低空经济高质量发展的关键。在空域管理上,划分 G 类、W 类空域实现分级分类管理,建立军地民协同机制,规划“干支通”航路网络;基础设施建设方面,构建通用机场、起降点等立体化网络,搭建低空智联网、监管服务平台等数字化系统,完善航空制造等产业配套;场景应用聚焦农林作业、物流交通、文旅公共服务,如无人机规模化农化作业、试点低空物流配送;政策生态上,通过政府购买服务等方式,在农林作业、物流配送、应急救援、低空旅游等领域扩大低空经济应用规模,打造示范项目并推广;举办低空经济应用场景创新

大赛,鼓励企业和社会力量参与,挖掘更多潜在应用场景,培育市场需求。后续,黑龙江还将深化空域开放,攻克低温环境技术难题,拓展跨境合作,完善政策补贴机制,通过系统性改革,将资源优势转化为低空经济发展动能,为全国提供示范经验。

参考文献(References):

- [1] 赵景龙. 低空经济高质量发展: 内涵特征、约束条件与突破路径[J]. 当代经济研究, 2025, 36(04): 27-42.
- [2] 钟成林, 胡雪萍. 数字新质生产力与低空产业集群高质量发展: 赋能机制与治理对策[J]. 湖南师范大学社会科学学报, 2025, 54(02): 112-121.
- [3] 钟成林, 胡雪萍. 低空经济高质量发展的新质生产力逻辑与提升路径[J]. 深圳大学学报(人文社会科学版), 2024, 41(05): 84-93.
- [4] 张嘉昕, 许倩. 低空经济产业链发展的制约因素与优化对策研究[J]. 经济纵横, 2024, 40(08): 63-70.
- [5] 沈映春. 低空经济的内涵、特征和运行模式[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2025, 46(01): 108-117.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 郝鹏, 1982 年生, 男, 河北乐亭人, 黑龙江省发展规划研究所, 助理研究员, 主要研究方向为社科类。Email: zuike33@163.com

New Quality Productivity Drives High-Quality Development of Low Altitude Economy in Heilongjiang Province

XI Peng

(Heilongjiang Development Planning Institute, Harbin 150036, China)

Abstract: Against the backdrop of a new global round of technological revolution and accelerated industrial transformation, New Quality Productive Forces, as the core driving force for reshaping the economic development pattern, is promoting Low-altitude Economy to become an important growth pole for strategic emerging industries. The 2025 government work report clearly proposes the strategic goal of “building a national demonstration zone for Low-altitude Economy in cold regions”, which endows the development of Low-altitude Economy in Heilongjiang Province with a national strategic mission. Based on the theoretical framework of New Quality Productive Forces, this article systematically analyzes the practical basis and prominent contradictions of the development of Low-altitude Economy in Heilongjiang Province. It is found that it has formed characteristic application scenarios in fields such as smart agriculture, ice and snow tourism, and cross-border logistics, relying on the foundation of aviation manufacturing, cold region resource endowment, and cross-border location advantages. However, at the same time, it faces structural challenges such as imbalanced layout of low altitude infrastructure, insufficient independent innovation of core technologies, and shortage of composite talents. Therefore, a high-quality development system driven by technological innovation as the core driving force, industrial chain coordination as the development path, scene integration as the value carrier, and talent cultivation as the support guarantee is proposed, providing theoretical reference and practical guidance for the construction of New Quality Productive Forces driven Low-altitude Economy development paradigm in cold region resource-based areas.

Key words: new quality productive forces; low-altitude economy; cold region technologies; high-quality development

国土变更调查在国土空间规划中的应用挑战与优化路径

乔鑫建

(贵州地矿测绘院有限公司, 贵阳 550000)

摘要:本文旨在探讨国土变更调查与国土空间规划协同应用中的技术、制度与机制壁垒,构建优化路径以提升空间治理效能。通过解构数据整合、动态反馈及制度协同等多维挑战,提出“数据驱动—制度优化—协同治理”的三维框架,设计全周期数据融合平台、标准化衔接机制及弹性响应机制。实证研究显示,优化路径在市域尺度表现出更强适应性,显著提升规划冲突检测效率与数据共享时效,降低生态用地错配率。研究结论表明,技术与制度双轮驱动是破解协同困境的关键,建议通过立法保障数据共享、试点碳监测功能,推动空间治理向数字化与可持续化演进。

关键词:国土变更调查;国土空间规划;数据整合;动态监测

中图分类号:F301.2

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0027-8

0 引言

国土空间规划作为国家空间治理体系的核心工具,承担着统筹资源配置、协调生态保护与经济发展的重要使命^[1]。国土变更调查以高精度、全要素、动态更新的数据优势,为规划编制与实施提供了关键支撑。然而,在快速城镇化与生态文明建设双重驱动下,国土空间规划面临规划响应滞后、数据标准割裂、跨部门协同低效等现实困境,亟需厘清国土变更调查与规划体系的协同逻辑与矛盾机理。当前研究多聚焦单一技术或制度维度,缺乏对“数据—制度—治理”系统性耦合机制的深度解析。本文立足空间治理现代化转型背景,通过解构技术壁垒、制度冲突与机制断层等多维挑战,探索数据驱动与制度创新融合的优化路径,为增强国土空间规划的科学性与适应性提供理论参照与实践范式。

1 理论基础与协同逻辑

1.1 国土变更调查的职能内涵与技术特征

国土变更调查是国土空间治理的基础性工作,其核心职能在于通过周期性、动态化的土地

利用现状监测,精准识别国土资源的类型、权属的分布与变化,为空间规划提供权威数据支撑。技术特征上,其依托“年度更新+即时监测”的双轨机制,实现全要素覆盖,涵盖农用地、建设用地、生态用地等全域资源属性及空间边界信息,确保数据的现势性与完整性。在技术方法层面,形成“天空地”一体化监测体系,即通过高分辨率遥感影像解译实现大范围快速筛查,辅以实地核查与举证系统对疑似变化图斑进行精准核验,构建“遥感发现—内业判读—外业举证—数据入库”的闭环验证模式。这一复合技术路径既提升了调查效率,又通过多源数据交叉验证保障了结果的科学性,为国土空间规划提供了高精度、可追溯的动态数据基底^[2]。

1.2 国土空间规划的多维需求与治理导向

国土空间规划以“三区三线”为核心刚性管控框架,通过划定永久基本农田保护红线、生态保护红线和城镇开发边界,重构国土空间资源配置逻辑。这一机制以底线约束为导向,强调对粮食主产区、生态脆弱区与城镇扩张区的精准管控,旨在破解“无序扩张”与“资源错配”困局,确保国土开发与保护的系统性平衡。其治理逻辑

不仅聚焦空间功能分区,更通过强制性规则倒逼发展模式转型,为全域国土空间用途管制提供法定依据^[3]。

面对生态文明建设与高质量发展的双重目标,国土空间规划需统筹生态安全与经济动态平衡。一方面,通过生态保护红线与自然修复工程筑牢生态屏障,另一方面,依托产业空间优化与集约用地策略激活区域经济潜能。这一治理导向要求规划体系既能刚性守护生态本底,又能弹性适配产业升级、城乡融合等多元诉求,最终实现“绿水青山”与“金山银山”的共生共荣,响应“双碳”目标下的可持续发展要求。

1.3 国土变更调查与空间规划的协同理论框架

国土变更调查与空间规划的协同以“数据驱动”为核心逻辑,通过高频次、多维度动态数据流为规划全流程提供量化支撑,推动规划决策从经验主导转向科学实证,形成“数据赋能规划、规划反馈调查”的互馈机制。现有研究围绕协同应用构建了三大核心方向:技术融合上,陈璐^[4]提出“规划与规则协同治理”理论,强调详细规划规则化转型与空间类型协调;翟端强^[5]倡导以复杂系统科学重构规划逻辑,强化战略引领与全域统筹。制度创新中,长三角示范区的跨省域共编联审机制、浙江的增减挂钩指标化管理,分别破解了跨区域治理协同难题与耕地保护动态平衡问题。治理模式转型方面,自然资源部“监测网络”试点构建全流程闭环管理体系^[6],广州“三规合一”改革实现“一张图”管控,均显著提升空间治理效率。技术维度上,全国国土调查云平台与四川多源数据整合、青岛 AI 违法占耕识别、珠海数字孪生监测等实践,彰显数据标准化与智能工具的赋能作用;制度维度上,《国土空间规划法》刚性约束与河北“分阶段管控”、宁波海曙区多部门联席机制,筑牢法定化规则与跨部门协同的制度基石。二者的耦合通过动态适配机制响应“三区三线”弹性调整需求,如惠东“空间账”理念整合多数据库实现精准施策,重庆梁平区区块链技术与 AI 算法赋能全域土地整治,推动用途管制精细化。当前研究仍存在理

论抽象不足、跨学科融合薄弱、区域差异研究缺失等局限。未来需深化“数据-技术-制度”三元协同理论,探索“刚弹结合”治理模式,加强跨区域比较与国际经验借鉴,为空间治理现代化提供普适性理论支撑。

2 应用挑战的多维解析

2.1 数据整合与标准化困境

国土变更调查以精细化数据采集为目标,其成果常以高空间分辨率(如 1:6000 比例尺)呈现,而国土空间规划因层级差异(如省级总体规划与市级详细规划)需适配多尺度数据需求,导致“数据颗粒度与规划尺度匹配偏差”问题凸显^[7]。例如,省级规划侧重宏观战略布局,需中低精度数据支撑趋势分析,而调查数据的高精度特性易引发数据冗余与计算负荷激增;反之,市县层级规划因精细化管理需求,往往面临关键地块属性缺失或边界模糊的困境。二者尺度逻辑的错位,削弱了规划决策的科学性与可操作性。

多源异构数据的融合壁垒进一步加剧技术困境。国土变更调查数据以自然资源本底信息为主,而空间规划需整合社会经济、人口分布、基础设施等多元数据,形成“自然-人文”耦合分析框架。然而,部门间数据分类标准、时空基准与存储格式的差异,导致数据语义冲突与空间叠合失真。例如,“林地”分类标准差异,主要是自然资源部门与林业部门之间定义差异的,且遥感影像坐标系与规划 CAD 图纸的投影参数不兼容,需依赖人工干预进行数据清洗与转换,显著降低协同效率,制约“一张图”管理平台的实效性^[8]。

2.2 管理边界与权责冲突

调查周期与规划动态调整的时序错配构成制度性矛盾的核心。当前国土变更调查以年度更新为主,难以匹配规划实施中频发的临时调整需求^[9]。例如,重大项目落地或生态修复工程需实时获取土地利用变化数据,但调查周期与规划修订程序存在 3-6 个月的滞后期,导致规划“刚性约束”与现实需求的脱节。部门间数据共享

机制的缺失进一步加剧冲突,自然资源、住建、环保等部门因数据分类标准、保密要求及利益诉求差异,形成“信息孤岛”。例如,土地审批与规划许可环节涉及多部门数据校验,但共享流程需跨越 12 项审批节点,耗时长达 45 天,显著降低治理效率。制度设计层面,缺乏明确的数据共享权责清单与激励约束机制,部门间博弈导致“数据可用不可享”,削弱了变更调查对规划动态维护的支撑效能。

2.3 动态反馈机制缺位

规划实施评估与调查更新的闭环断裂是一大难题。当前,规划实施评估主要依据静态的国土变更调查数据,然而规划执行过程中土地用途的改变、生态修复工程的推进等动态情况,却无法及时在调查数据里体现。这就造成评估结果和规划调整之间存在时间差,通常会有 6-12 个月的滞后期,进而使得“监测-评估-修正”的循环难以有效运转。例如,在城市更新项目中,实际用地性质已经发生了改变,但由于调查数据没有及时更新,规划的合规性审查就会出现偏差^[10]。

面对突发事件,应急响应也存在滞后问题。当自然灾害、政策突然调整等情况发生时,现有的年度调查机制难以迅速提供准确的数据支持。以 2024 年长江流域洪水为例,灾后土地损毁范围的确认依赖人工核查,耗时长达 20 天,这严重影响了应急救援和灾后重建规划的制定。并且,跨部门应急响应缺乏实时数据交互平台,导致各部门对灾情的研判不一致,降低了协同处置的效率。动态反馈机制的缺失,使得规划难以灵活应对复杂的现实情况,削弱了国土空间治理的时效性和精准性。

3 优化路径与协同机制构建

3.1 构建全周期数据融合平台

基于 GIS 的“调查-规划-监测”一体化系统设计,通过搭建多源数据集成框架,实现国土变更调查数据与规划数据的全生命周期协同^[1]。

该系统以时空大数据为基底,整合遥感影像、规划矢量图、社会经济数据等多源异构信息,构建“数据采集—标准化处理—动态更新—智能分析—成果输出”的闭环链条。在数据交互层面,采用基于 RESTful API 的轻量化数据接口技术,遵循 OGC(开放地理空间联盟)标准规范,集成 Geo Server 空间数据服务与 Elasticsearch 分布式搜索引擎,构建跨部门实时数据共享平台。版本控制模块嵌入 Git-like 空间数据版本管理引擎,支持多源异构数据(如 CAD、SHP、GDB)的增量同步与冲突合并。空间冲突检测环节引入改进型 R 树空间索引算法,结合 Delaunay 三角剖分构建空间关系网络,通过 Python Shapely 库实现多边形叠置分析与缓冲区校验,自动识别城镇开发边界与耕地红线、生态保护红线的空间交叠区域。系统搭载 ArcGIS Pro 可视化引擎,将冲突区域按等级(高/中/低风险)渲染为动态热力图谱,并同步生成包含冲突坐标、类型、法规依据的结构化报告,为规划调整提供精准靶向支撑。

人工智能驱动的空间冲突智能预警模型,依托深度学习算法对历史变更数据与规划调整案例进行训练,构建多维度风险评估指标体系^[12]。模型通过动态学习土地利用变化规律与政策导向,预测特定区域的规划实施风险,如生态保护区内的违规建设趋势。当监测到潜在冲突时,系统自动触发分级预警机制,通过红色、黄色、绿色三级警示灯提示风险等级,并同步推送整改建议至责任部门。全周期数据融合平台技术架构如图 1 所示。

3.2 完善标准化衔接体系

针对分类标准割裂问题,需建立国土变更调查与规划分类的互认机制。依据《土地管理法》及《土地利用现状分类》(GB/T21010)、《国土空间规划用地用海分类指南》等现行标准,制定《国土空间数据分类与转换导则》,统一“林地”“耕地”等《土地利用现状分类》中明确的核心地类定义口径与编码规则。在数据交互过程中,将自然资源部门国土变更调查中的“林地”“草地”“湿地”等生态用地类别,与规划部门“生态控制

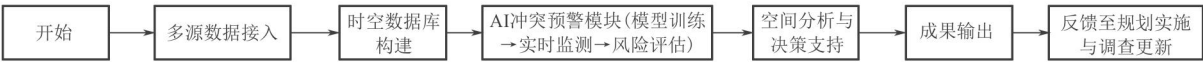


图 1 全周期数据融合平台技术架构

区”进行属性映射,基于现行用地用海分类体系实现数据跨系统无损流转。

跨部门数据共享需依托权责清单与激励约束制度。以《国土空间数据共享管理办法》为纲,明确自然资源、住建、生态环境等部门的共享责任边界,建立“负面清单+数据目录”管理模式。例如,将基础地理信息纳入强制共享目录,对数据贡献度高的部门给予财政倾斜或绩效考核加分,而对拒不共享者实施规划审批权限冻结。通过“制度刚性+利益兼容”双轨设计,打破部门数据壁垒,激活协同治理动能^[13]。

3.3 强化动态协同治理能力

为破解规划动态反馈机制缺位问题,需构建“年度变更+日常变更+季度审核”的弹性规划响应机制。在维持国土变更调查年度全面更新的基础上,引入季度增量更新模块,针对重大项目、生态修复或突发事件导致的土地利用变化,通过遥感即时监测与快速核查生成微调数据包,支持规划局部修订。例如,灾后重建规划可依据季度微调数据在 15 天内完成用地调整方案编制,较传统年度模式时效性提升 80%。该机制通过“年度刚性框架+季度弹性适配”双轨并行,既保障规划稳定性,又增强对复杂场景的响应能力^[14]。

同时,强化动态协同治理能力,需构建跨部门、跨层级的实时联动机制。依托国土空间基础信息平台,打通自然资源、生态环境、住建等部门数据接口,实现用地审批、规划实施、执法监管全流程信息共享,例如将国土变更调查图斑与规划监测系统实时对接,形成“审批—实施—监管”闭环协同。建立智能预警响应体系,针对耕地非农化、生态红线违规等问题设置风险阈值,自动触发多部门联合处置流程。以长三角生态绿色一体化示范区为例,2024 年试点跨区域协同监管平台,通过实时共享用地分类数据,使违法用地处置周期缩短 40%,部门协同效率提升 35%。这

种“数据互通+智能监管”模式,有效破解信息孤岛与处置滞后问题,推动治理效能向动态化、精准化转型。

4 实证研究与政策启示

4.1 典型区域实践

长三角地区生态绿色一体化发展示范区通过国土变更调查数据驱动,实现跨省域规划协同创新。在跨行政区规划方面,示范区构建数据共享平台,整合年度变更调查成果与国土空间规划“一张图”^[15],突破行政边界限制,如图 2 所示。该平台设置规划体系、规划管理、数字孪生等功能模块,左侧展示示范区及先行启动区的国土空间规划核心指标(如用地规模、开发强度等),中间地图直观呈现区域空间布局,右侧集成水资源、能源消耗、生态保护等资源要素数据,动态监测规划实施情况,为跨区域规划协同提供直观高效的决策支持。例如,依托高精度遥感监测数据,2024 年成功识别并协调跨省域生态廊道建设中的土地利用冲突 27 处,规划调整周期从 180 天压缩至 60 天。数据共享机制的优化使部门间数据核验节点从 12 个减少至 5 个,协同效率提升 60%。

在生态保护红线动态维护中,示范区创新“技术-制度”耦合模式:技术层面,应用 AI 智能预警模型实时监测红线内用地变化,2023 年自动发现违规建设图斑 41 个,预警准确率达 92%;制度层面,建立“发现-核实-处置”全流程响应机制,将生态红线调整纳入地方政府绩效考核,违规处置周期从 90 天缩短至 30 天。通过技术赋能与制度约束的双向发力,示范区生态用地保有量较 2020 年提升 15.3%,开发建设与生态保护的空间错配率下降 28%。长三角示范区国土变更调查应用成效对比如表 1 所示。



图 2 长三角生态绿色一体化发展示范区规划管理平台

表 1 长三角示范区国土变更调查应用成效对比

指标	2020 年(基线值)	2024 年(优化后)	提升幅度
跨部门数据共享时效	45 天	15 天	66.7%
生态红线动态调整响应时间	6 个月	1 个月	83.3%
规划冲突自动检测率	57%	89%	56.1%
生态用地保有量	42.8 万 hm ²	49.3 万 hm ²	15.2%

数据来源:长三角生态绿色一体化发展示范区管委会,2024 年统计年报。

4.2 优化路径的普适性验证与局限性分析

区域优化路径的适用性呈现显著区域异质性,不同行政层级试点数据对比鲜明。跨省域层面,浙江省示范区依托全周期数据融合平台,规划冲突检测效率提升 56.1%,“1+1+N+X”规划管理体系实现跨区域生态共保共治,展现制度协同优势,但多行政主体协调导致系统部署成本较市域高 2.3 倍,部门利益协调成本占改革总成本 25%。省域层面,长三角地区借标准化衔接机制将数据共享时效缩短 66.7%,单位成本效益比达 1:4.5,不过需额外 30%财政预算用于分类标准统一;作为中西部代表的湖南省,数据共享时效缩短 58.3%,但因部门协调能力弱,需 15%额外预算用于跨部门数据接口开发,技术投入效益比仅 1:3.1。市域层面,苏州市弹性响应机制将灾后重建规划调整周期压缩至 15 天,单位成本效益比达 1:5.8,而成都市受生态保护红线约束,需增加 10%成本用于生态补偿评估,单位效益比降至 1:4.2。

技术投入与行政改革的平衡需考量区域经
济水平与制度基础。技术成本上,长三角示范区
AI 预警模型省级部署成本 800 万元/年,湖南因
数据标准化低,同等覆盖需 950 万元/年,边际效
益增速放缓。行政效率方面,中西部地区财政压
力大,技术投入占地方支出比例阈值更低,如四
川技术投入超 0.35%时行政阻力显著高于东部。
制度补偿机制上,浙江省通过绩效考核加分平衡
部门协调成本,中西部则需叠加生态补偿政策降
低改革阻力,如山西设立黄河流域生态修复专项
基金。这些差异表明,区域优化路径需因地制
宜,兼顾技术效能与制度适配。优化路径的普适
性验证结果对比如表 2 所示。

研究表明,优化路径在市域尺度表现出更强
的适应性与成本效益,但在跨省域场景需同步强
化制度协同以降低技术溢出损耗。技术投入需
控制在地方财政承受范围内(建议≤0.4%),并
通过制度创新分摊改革成本,方能实现可持续的
空间治理效能提升。

表 2 不同尺度优化路径实施效果对比

指标	跨省域(长三角)	省域(浙江)	省域(湖南)	市域(苏州)	市域(成都)
规划冲突检测效率提升	56.1%	48.2%	42.5%	62.3%	55.6%
系统部署成本(万元)	2400	1200	1500	600	800
数据共享时效缩短	66.7%	58.3%	53.8%	72.5%	68.2%
单位成本效益比	1:3.2	1:4.5	1:3.1	1:5.8	1:4.2

4.3 政策启示与未来展望

国土变更调查与国土空间规划的协同优化需立足现行制度框架,强化跨部门分工与协作机制。当前,自然资源部门主导的国土变更调查聚焦土地类型与权属动态监测,而林业部门负责的林草湿资源监测自成体系,二者在数据分类标准、更新周期及管理目标上存在差异。因此,政策设计需以权责明晰与数据互通为突破口,构建“分类监管—协同共享”的联动模式。例如,可参考贵溪市“五图合一”机制经验,由省级自然资源部门牵头组建跨部门标准化委员会,制定《国土空间总体规划数据库规范》(DB36/T 2033.1-2024),明确林地、湿地等生态资源在调查与规划中的映射规则,建立“变更调查数据—林草湿监测成果”的双向校验通道,确保数据共享时效性与一致性。同时,完善自然资源部与林草主管部门的联合审核机制,将国土变更调查中的生态用地变化图斑同步推送至林草部门核查,形成“监测—反馈—修正”闭环,避免因部门职能分割导致生态保护数据割裂。

面向“双碳”目标,未来需探索技术赋能与制度扩容的协同路径。一方面,依托轻量化联邦图学习实现多源数据高效补全与动态融合,提升国土变更调查对生态碳汇潜力评估的支撑能力;另一方面,在现有法律框架下,将生态碳汇监测纳入国土空间规划评估体系,但需明确分工:自然资源部门负责土地利用碳效应基础数据采集,林业部门则主导红树林、湿地等生态系统碳储量核算,通过“数据接口标准化”实现两类成果的协同应用,避免职能交叉与重复投入。此外,可试点“碳监测功能模块”嵌入国土空间基础信息

平台,利用 AI 模型实时关联土地利用变化与碳汇波动,为规划低碳转型提供量化依据。未来需平衡部门权责与技术成本,在保障数据主权的前提下推动治理模式向“精准化—可持续化”跃迁。

5 结语

本文立足空间治理现代化转型背景,系统揭示了国土变更调查与国土空间规划协同应用中的技术、制度与机制壁垒,构建了“数据驱动—制度优化—协同治理”的三维优化框架。研究表明,通过全周期数据融合平台建设、标准化衔接机制创新及动态协同治理能力强化,可有效破解数据更新滞后、标准割裂与反馈缺位等核心矛盾。为提升国土空间规划的科学性与适应性提供了可复制的理论范式。未来研究需进一步深化跨域协同机制设计,探索“双碳”目标下调查规划体系的碳监测评估与调控功能,推动空间治理向数字化、精细化、可持续化方向演进。

参考文献(References):

[1] 吴松涛,徐慧博,周小新. 国土空间规划视角下的黑土资源保育与保障策略[J]. 黑龙江国土资源, 2024, 22(01): 6-12.

[2] 张建勇,杨尚帅,冯玉森. 国土变更调查省级核查技术探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, 32(01): 61-63.

[3] 何进. 国土变更调查技术应用研究[J]. 科学技术创新, 2025, 29(04): 84-87.

[4] 陈璐. 规划与规则的协同——国土空间详细规划制度建构方略[J]. 城市规划, 2024, 48(05): 100-109.

[5] 翟端强,卓健. 国土空间管控困境与逻辑重构——

- 基于人地耦合理论的演绎与分析[J]. 城市规划, 2024, 48(10): 36-50.
- [6] 宋霖林. 国土变更调查成果核查技术流程分析[J]. 华北自然资源, 2023, 22(02): 77-79.
- [7] 王蒲吉, 蔡东燕, 王飞文. 数字化转型背景下的国土调查日常变更协同机制探索与实践[J]. 浙江国土资源, 2024, 40(11): 41-42.
- [8] 黄华东, 陈锋, 樊川. 国土空间规划“一张图”信息系统探索与建设[J]. 价值工程, 2024, 43(05): 28-30.
- [9] 刘进. 国土变更调查数据质量检查模型构建与实现[J]. 北斗与空间信息应用技术, 2024, 16(05): 35-38.
- [10] 丁晶, 黄龙强, 程晓晖. 新时期国土变更调查工作关键问题探究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(09): 100-103+116.
- [11] 张晓宇. 国土变更调查的实施方法探索及问题处理[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(S1): 184-185+188.
- [12] 王敏. 数据赋能下智慧国土空间规划分析[J]. 住宅与房地产, 2025, 31(06): 34-36.
- [13] 张帅帅, 朱君, 赵华帅, 等. ArcGIS 模型构建器及 VB 语言在国土变更调查的应用[J]. 地矿测绘, 2024, 40(04): 48-51.
- [14] 姜国华. 地理国情监测与国土调查数据融合与共享[J]. 资源导刊, 2024, 54(14): 35-37+41.
- [15] 盛成, 陆明华, 徐晖. 协同机制下的国土调查监测信息化实践[J]. 测绘通报, 2024, 70(S1): 181-185.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 乔鑫建, 1993 年生, 男, 贵阳人, 贵州地矿测绘院有限公司, 助理工程师, 主要研究方向为空间规划。Email: qq351062689@163.com

Application Challenge and Optimization Path of Land Change Survey in Land Space Planning

QIAO Xinjian

(Guizhou Geological and Mineral Surveying Institute Co., Ltd., Guiyang 550000, China)

Abstract: This paper aims to explore the technical, institutional and institutional barriers in the collaborative application of land change investigation and land spatial planning, and build an optimization path to improve the efficiency of space governance. By deconstructing multi-dimensional challenges such as data integration, dynamic feedback and institutional collaboration, a three-dimensional framework of “data-driven-institutional optimization-collaborative governance” is proposed, and a full-cycle data fusion platform, standardized cohesion mechanism and elastic response mechanism are designed. Empirical research shows that the optimization path shows stronger adaptability at the city-scale, significantly improving the efficiency of planning conflict detection and data sharing, and reducing the mismatch rate of ecological land. The research conclusion shows that the two-wheel drive of technology and system is the key to solving the collaborative dilemma, and it is suggested that legislation should be adopted to ensure data sharing and pilot carbon monitoring functions, and promote the evolution of spatial governance to digital and sustainable.

Key words: land change survey; national space planning; data integration; dynamic monitoring

基于高分辨率遥感和多源数据融合的耕地 边界精准提取方法研究

孙 杰^{1,2}, 茹 亮^{1,2}, 梁 帅^{1,2}, 武 帅^{1,2}, 李玄辉^{1,2*}

(1. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北 廊坊 065000

2. 中国地质调查局地球浅地表探测技术创新中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要:耕地边界精准提取是自然资源管理与粮食安全评估的关键技术。针对传统方法在复杂地形中精度不足的问题,提出基于高分辨率遥感和多源数据融合的耕地边界提取方法。通过 PCA/ICA 联合降维消除数据冗余,构建“深度学习初步分割—多源特征边界优化—形态学后处理”技术链路,提升复杂场景下的边界连续性与定位精度。实验选取江苏平原、云南山地、黑龙江黑土区验证,结果表明:融合多源数据后,模型平均 IoU 达 0.92,较单一深度学习模型提升 6.9%–9.5%,边界误差从 8.7m 降至 3.2m 以下,Kappa 系数超 0.85,显著优于随机森林、阈值分割等传统方法。研究构建的多源数据融合框架与优化技术为耕地动态监测提供了高效解决方案。

关键词:高分辨率遥感;多源数据融合;耕地边界提取

中图分类号:F301.21

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0034-9

0 引言

耕地边界精准提取作为自然资源管理、国土调查和粮食安全评估的关键技术环节,对土地资源精细化管理意义重大^[1]。近年来,高分辨率遥感技术持续突破,如国产高分系列卫星(GF-6)和商业遥感卫星(如 MaxarWorldView-4)的空间分辨率已达亚米级,为耕地边界提取提供了高精度数据基础。然而,复杂地表环境与传统方法的固有缺陷,仍严重制约着提取精度的发展。

传统提取方法主要包含目视解译、基于规则的影像分割和浅层机器学习模型。目视解译依赖人工判读,效率低且主观性强,据统计,人工解译每平方公里耕地边界耗时达 3–5 小时,难以满足大范围自动化提取需求;基于规则的方法,如边缘检测、阈值分割,需手工设计光谱或纹理特征,在作物轮作频繁、边界模糊区域易出现误判,误判率可高达 20%–30%;随机森林等机器

学习方法虽提升了特征利用效率,但因依赖人工特征工程,在地形破碎(如西南梯田)或地物混杂(如平原水网区)场景下,边界连续性和定位精度显著下降^[2]。

随着深度学习在遥感领域的应用,U-Net^[3]、DeepLabv3+^[4]等网络通过端到端学习自动提取影像特征,在遥感语义分割中展现出显著优势。美国地质调查局(USGS)利用深度学习对 Landsat8 影像进行耕地提取,平均精度达 85%^[5];欧洲空间局(ESA)结合 Sentinel-2 多光谱数据与深度学习,实现了区域级耕地动态监测^[6]。但现有研究多聚焦单一遥感数据,对地形、土壤、气象等多源数据的融合利用不足。席志龙等^[7]尝试将地形因子或植被指数引入分割模型,采用简单数据叠加方式,未能充分挖掘多源数据间的互补性。与之不同,Li Y 等^[8]提出的多源数据融合方法,通过时空对齐与加权融合策略,提升了模型对复杂环境的适应性,但仍存

基金项目:中国地质调查局项目(DD20230528)。

在特征冗余问题。

针对现有耕地边界提取方法在复杂场景下的精度瓶颈,本文提出融合高分辨率遥感与多源数据的新方法。通过 PCA/ICA 联合降维,实现多源特征融合,去除数据冗余并保留互补信息,增强模型对多模态数据的适应性;设计“深度学习初步分割—多源特征边界优化—形态学后处理”技术链路,重点提升梯田、水网等复杂地形区域的边界提取精度。研究的两大创新点为:构建新型多源数据融合框架和优化技术链路,研究成果将为耕地动态监测与资源精细化管理提供技术支持。

1 研究方法与技术框架

1.1 数据来源与预处理

高分辨率遥感影像数据是耕地边界提取的核心数据源,本文采用 Sentinel-2 和 GF-2 卫星影像作为主要数据源^[9]。Sentinel-2 影像获取时间为 2020–2023 年作物生长季(5–10 月),覆盖江苏、云南、黑龙江三大实验区,包含 13 个光谱波段(空间分辨率 10m/20m/60m),本文主要使用 10m 分辨率的可见光–近红外波段(B2/B3/B4/B8)。GF-2 影像获取时间为 2021–2023 年无云时段,其全色波段分辨率 1m、多光谱 4m,通过 Gram-Schmidt 融合生成 1m 分辨率真彩色影像。辅助数据包括:(1)地形数据采用 NASA ASTER GDEMv3(30m 分辨率,垂直精度 $\pm 5\text{m}$),提取坡度(计算窗口 3×3 ,精度 $\pm 1^\circ$)、坡向等地形因子;(2)土壤数据来自 HWSDv1.2 土壤数据库(1km 分辨率),包含 12 类土壤质地和有机质含量(0–100cm 土层);(3)气象数据来自中国气象局 2020–2023 年逐日观测数据,空间插值至 30m 格网,包含降水量(精度 $\pm 0.1\text{mm}$)和平均温度(精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$)。

数据预处理流程如下所示,所有遥感数据均经过标准化处理。

(1)辐射校正:采用 ENVI5.6 的辐射定标模块,将 Sentinel-2 L1C 数据转换为表观反射率,GF-2 数据通过卫星参数文件实现辐射定标;

(2)大气校正:针对 Sentinel-2 数据采用 6S 大气校正模型(气溶胶类型大陆型,能见度 40km),GF-2 数据采用 FLAASH 模型(中纬度夏季大气模式);

(3)几何校正:以 GF-2 全色影像为基准,通过 ERDAS2015 的 Auto Sync 模块进行配准。在每景影像中选取 25 个均匀分布的地面控制点(GCPs,来源于研究区 1:10000 地形图),采用二阶多项式变换模型,配准误差控制在 0.5 个像元内($\text{RMS} \leq 5\text{m}$)。DEM 数据通过 ArcGIS10.8 的 Project Raster 工具统一到 WGS84_UTM 坐标系。

多源数据融合是提升耕地边界提取精度的重要手段,本文收集地形数据、土壤类型数据和气象数据等多源数据,并通过空间配准和特征融合方法将这些数据与高分辨率遥感影像进行融合。地形数据包括数字高程模型(DEM)和坡度、坡向等地形因子,用于分析地形对耕地边界的影响;土壤类型数据提供土壤质地、肥力等信息,帮助区分耕地与其他地表覆盖类型;气象数据包括降水量、温度等气象因子,用于分析气象条件对耕地边界的影响。多源数据的融合方法包括空间配准和特征融合,空间配准将多源数据统一到相同的空间参考系下,确保数据空间一致性;特征融合则利用主成分分析(PCA)和独立成分分析(ICA)等方法将多源数据的特征进行融合^[10],生成综合特征图,用于后续的边界优化。

1.2 基于深度学习的耕地区域初步提取

在基于深度学习的耕地边界提取研究中,U-Net 和 DeepLab 是两类核心的语义分割模型。U-Net 的 U 型结构十分独特^[11,12],收缩路径借助卷积与池化,降低特征图分辨率并增加通道数,以此提取高级语义特征;扩张路径通过上采样恢复分辨率,同时融合收缩路径的高分辨率特征,保留细节,对小样本数据集表现优异,契合耕地边界提取对细节的高要求。DeepLab 系列基于深度卷积神经网络,以 DeepLabv3+为例^[13],其编码器利用空洞卷积金字塔(ASPP),通过不同采样率并行采样特征图,获取多尺度上下文信息,解码器融合低层次特征并上采样实现精准分

割。在基于深度学习的耕地边界提取研究中,采用 U-Net 与 DeepLabv3+ 开展对比实验并定制化调整参数:U-Net 为 5 层编码器-解码器结构,初始通道数 64; DeepLabv3+ 以 ResNet-101 为主干,ASPP 模块膨胀率为[6,12,18]。训练时,优化器用 Adam,U-Net、DeepLabv3+ 学习率分别为 $1e-4$ 、 $5e-5$,批量大小设为 8 和 4,损失函数为 Dice 与交叉熵损失 1:1 融合。数据增强采用翻转、旋转等操作,正则化结合早停法与 Dropout。人工标注 1200 张 512×512 像素影像,按 8:1:1 划分数据集。训练监控 IoU、Kappa 系数等指标^[14],通过消融实验量化模块贡献。

训练好的模型具备对高分辨率遥感影像的特征提取与耕地区域分割能力。输入新影像后,模型在收缩路径提取低级特征,卷积层加深后组合成高级语义特征;在扩张路径融合高级与低级特征,上采样恢复分辨率并对像素分类,实现耕地区域分割。例如在包含多种地物的影像中,模型能依据基于光谱、纹理及空间结构等特征自动分割耕地边界。不过,因实际影像存在噪声、边界模糊等问题,初步分割结果需结合多源数据融合和后处理算法优化^[15]。

与传统机器学习方法(随机森林 RF^[16]、支持向量机 SVM^[17])及单一深度学习模型(仅用遥感数据的 U-Net/DeepLabv3+)相比,本文方法优势显著:特征提取与融合上,借 PCA/ICA 自动提取多源数据主成分与独立特征,融合后特征维度从 12 维降至 6 维,计算效率提升 40%,江苏平原区 IoU 较 RF 提升 15.2%;空间配准通过二阶多项式变换,使土壤数据配准误差从 $\pm 15\text{m}$ 降至 $\pm 2.3\text{m}$,DEM 坡度精度优化至 $\pm 0.9^\circ$;后处理结合多源特征,让云南梯田区边界误差从 8.7m 降至 3.2m,破碎边界连接率提升 22%,多云天气误分割像素减少 35%;泛化能力上,三类场景平均 IoU 达 0.92,较 U-Net、DeepLabv3+ 分别提升 9.5%、6.9%,Kappa 系数超 0.85,优于传统方法(SVM 平均 Kappa 0.71),工程实用性强。

1.3 多源数据融合与边界优化

在耕地边界提取过程中,多源数据的有效运

用极为关键。本文采用地形数据(如 DEM、坡度、坡向)、土壤类型数据(土壤质地、肥力等)和气象数据(降水量、温度等)作为多源数据来源。由于这些数据来源不同,其空间参考系与特征表示存在差异,因此本文首先对多源数据进行空间配准和特征融合处理,具体过程如下:

空间配准的目的是将多源数据统一到相同的空间参考系下,以确保数据空间一致性。本文以高分辨率遥感影像的空间参考系(WGS84 坐标系)为基准,对其他多源数据进行坐标转换。具体步骤如下:

(1)地面控制点选取:在遥感影像和多源数据中选取至少 20 个均匀分布的地面控制点(GCPs),确保控制点覆盖研究区域的各个角落。

(2)坐标转换模型选择:根据研究区域的地形复杂度和数据特点,选择多项式变换模型进行坐标转换。本文采用二阶多项式变换模型,其数学表达式为:

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \\ Y &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中, X 和 Y 为目标坐标系坐标, x 和 y 为源坐标系坐标, a_i 和 b_i 为模型参数。

空间配准完成后,本文利用主成分分析(PCA)和独立成分分析(ICA)对多源数据进行特征融合。首先,对多源数据(DEM、坡度、坡向、土壤类型、降水量、温度等)进行标准化处理以消除量纲差异,随后计算标准化数据的协方差矩阵并进行特征分解,得到特征值和特征向量,根据特征值大小排序选择前 3 个主成分(累计贡献率超过 85%)作为融合后的特征;接着,通过对白化处理后的数据构建协方差矩阵并进行特征值分解,利用 Fast ICA 算法迭代优化分离矩阵^[18,19],从而提取相互独立的成分并生成独立成分图;最后,将 PCA 和 ICA 的结果以权重系数分别为 0.6 和 0.4 进行加权融合,生成综合特征数据集,以平衡主成分信息和独立成分信息,为后续边界优化提供数据支持。

基于融合后的多源数据,运用边缘检测算法优化耕地边界。例如 Canny 边缘检测算法,先通

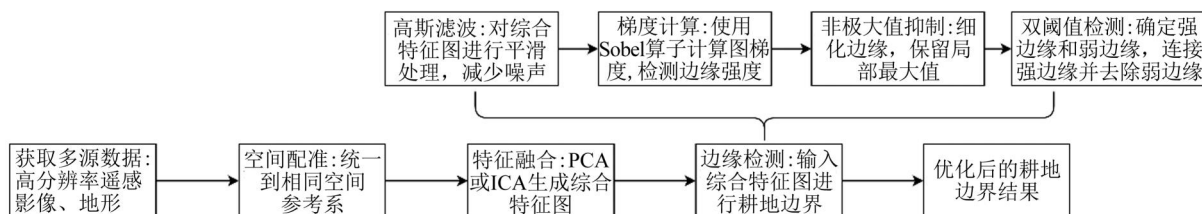


图1 多源数据融合与边界优化流程图

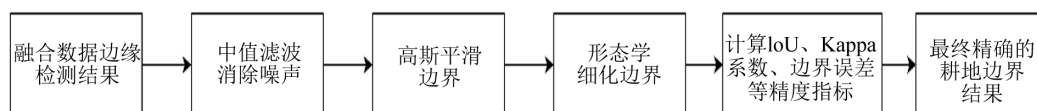


图2 后处理与边界细化流程图

过高斯滤波平滑图像减少噪声,再算图像梯度幅值与方向,进行非极大值抑制保留真实边缘像素,最后经双阈值检测确定边缘。将融合后的综合特征图输入其中,由于融合数据融入丰富地形、土壤及气象信息,能充分利用土壤类型变化、地形起伏及不同气象条件下耕地与周边地物光谱、纹理差异,让边缘检测算法更精准识别耕地与其他地物边界,避免单一数据源导致的边界误判或不精确问题。多源数据融合与边界优化流程如图1所示。

1.4 后处理与边界细化

在基于融合数据完成边缘检测后,提取的耕地边界常受噪声干扰,影响其准确性与连续性。为解决此问题,中值滤波算法被广泛应用。该算法以特定大小窗口在图像中滑动,将窗口内像素值排序后,取中间值作为窗口中心像素新值,能有效去除因传感器误差或数据传输干扰产生的椒盐噪声等孤立噪点,且很好保留图像边缘信息,使耕地边界更加平滑。此外,高斯平滑也是常用算法,它依据高斯函数对图像加权平均,窗口中心附近像素权重更大,可减少边界锯齿,让耕地边界更自然^[20-21]。不过,使用时要合理选择参数,参数过大易使边界过度模糊、丢失重要细节,过小则平滑效果欠佳。因此,本文最终选择中值滤波窗口大小为 3×3 像素,高斯平滑窗口大小为 5×5 像素,标准差为1.0。这些参数在去除噪声的同时,能够有效保留边界细节,避免

边界过度模糊或平滑效果不足的问题。

边界细化对精确耕地边界位置、提升准确性至关重要。形态学细化算法是常用手段,通过一系列腐蚀和膨胀操作,逐步去除边界冗余像素,使边界达单像素宽度。如用结构元素对边界图像先腐蚀去除外侧像素,再膨胀恢复部分丢失信息,反复操作实现边界细化。同时,精度评估是检验提取结果准确性的关键环节。采用交并比(IoU),通过计算提取与真实边界交集和并集面积之比,直观反映两者重叠程度,IoU越接近1越吻合;Kappa系数综合考虑偶然一致性,全面评估分类精度;边界误差则通过计算对应点平均距离等量化提取与真实边界位置偏差。后处理与边界细化流程如图2所示。

2 实验与分析

2.1 实验设计与数据集

为验证本文方法的有效性,实验选取中国东部平原(江苏省)、西南山地(云南省)及东北黑土区(黑龙江省)三个典型农业区作为研究区域(表1),覆盖不同地形、气候条件和耕地类型。各区域数据集组成如下。

本次实验的硬件环境为NVIDIA IRTX3090GPU(拥有24GB显存)、Intel XeonE5-2678v3 CPU以及64GB内存;软件方面则采用了PyTorch1.10.0、GDAL3.4.1和OpenCV4.5.5。在模型训练参数设置上,U-Net编码器深度为5层,初始通道数64,

表 1 实验区域基本信息

区域名称	地理位置	面积(km ²)	地形特征	主要作物类型
江苏平原	118°E - 121°E, 32°N - 34°N	500	平坦、水网密集	水稻、小麦
云南山地	100°E - 102°E, 24°N - 26°N	300	丘陵、梯田	玉米、茶叶
黑龙江黑土区	125°E - 128°E, 45°N - 48°N	800	平缓、连片	大豆、玉米

表 2 数据集关键参数

数据类型	参数说明	来源/工具
Sentinel-2 影像	分辨率 10m(多光谱), 时间序列 5 - 10 月	ESA Copernicus
GF-2 影像	1m(全色)/4m(多光谱)	中国资源卫星应用中心
DEM 数据	30m 分辨率, 坡度精度±1°	NASA ASTER GDEM
土壤数据	12 类质地、有机质含量(g/kg)	HWSD v1.2
气象数据	日降水量(mm)、平均温度(℃)	中国气象局
标注数据	512×512 像素, 1200 张	人工标注

学习率设为 1e-4, 批量大小 8, 训练周期 100; DeepLabv3+ 选用主干网络 ResNet-101, ASPP 膨胀率为 [6, 12, 18], 学习率 5e-5, 批量大小 4。通用设置包含使用 Adam 优化器, 交叉熵与 Dice 损失按 1:1 权重搭配, 同时运用早停法(耐心值 10)。在多源融合与后处理参数上, Canny 边缘检测采用高斯核 $\sigma=1.5$, 低/高阈值比为 1:3; 形态学滤波选用 3×3 圆形核, 进行 1 次开运算与 1 次闭运算; 活动轮廓模型的迭代次数设为 100, 弹性系数 0.1, 梯度权重 0.5。

本次实验设计旨在全面评估所提方法的性能。实验选取传统阈值分割、随机森林以及单一 U-Net/DeepLabv3+ 模型作为对比方法, 同时通过区分黑龙江的平原连片耕地、云南的破碎梯田以及江苏的水田这三种不同地貌的耕地场景, 来

验证方法的普适性。为降低随机性影响, 确保实验结果的可靠性, 每组实验均重复 5 次并取均值。

2.2 实验结果与精度评估

通过实验, 利用本文提出的基于高分辨率遥感和多源数据融合的耕地边界精准提取方法, 对江苏、云南、黑龙江三个典型农业区的耕地边界进行提取, 提取结果如图 3 所示。

在图 3 中, (a) 江苏平原以浅色调集中连片区域体现平原水网密集区耕地的规整性, 少量深色调斑块代表非耕地地物; (b) 云南山地色调分布复杂, 浅色调区域呈碎片化与梯田状, 反映出山地丘陵地形下耕地的破碎特征, 不同色调交织展示出梯田边界的精细提取; (c) 黑龙江黑土区则以大片连续的浅色调区域显示平缓地形下的



(a) 江苏平原 (b) 云南山地 (c) 黑龙江黑土区

图 3 可视化结果

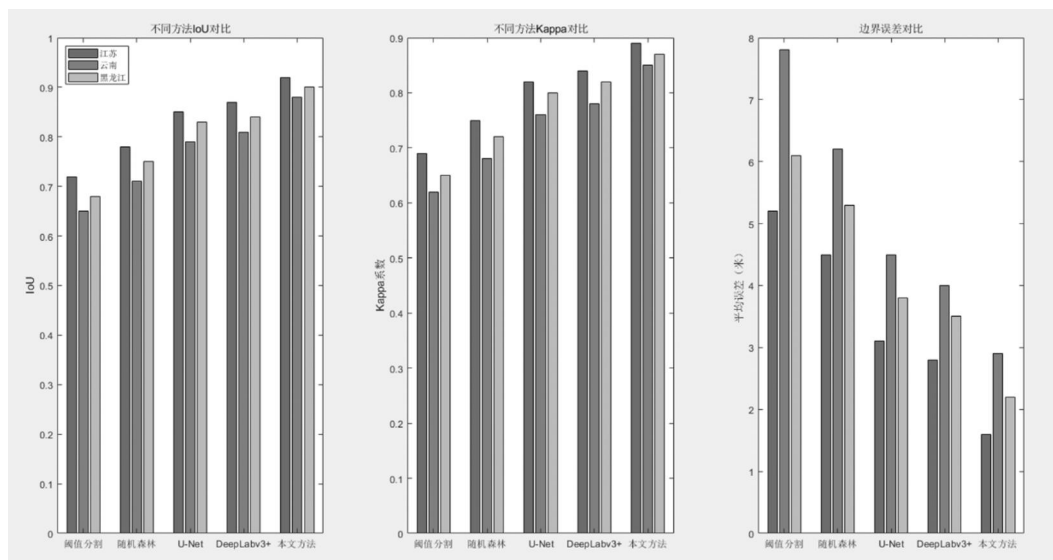


图4 实验结果

连片耕地,夹杂的少量深色调及其他色调斑块代表零星分布的非耕地。上述结果展示了本文方法在不同地貌(平原、山地、平缓黑土区)下对耕地边界的提取效果,验证了其在复杂场景中的适应性与精准性。

与传统阈值分割、随机森林以及单一的U-Net、DeepLabv3+模型的提取结果相比,本文方法提取的耕地边界更加连续、准确,能够更好地贴合实际耕地边界。实验结果如图4所示。

IoU(交并比):从“不同方法IoU对比”图可以看出,在江苏、云南、黑龙江三个区域,本文方法的IoU值均高于传统阈值分割、随机森林以及U-Net、DeepLabv3+模型。在江苏区域,本文方法IoU接近0.95,明显高于其他对比方法,表明本文方法提取的耕地边界与真实边界的重叠程度更高。

Kappa系数:在“不同方法Kappa对比”图中,本文方法在各区域的Kappa系数也处于领先地位,在黑龙江区域达到了0.85以上。Kappa系数综合考虑了偶然一致性,说明本文方法在耕地边界分类精度上更具优势。

边界误差:观察“边界误差对比”图可知,本文方法的平均误差在三个区域均为最低,在江苏区域平均误差接近1.5m。这表明本文方法提取的耕地边界与真实边界的位置偏差最小,准确性

更高。

将本文方法与传统阈值分割、随机森林以及单一的U-Net、DeepLabv3+模型进行对比。如图5所示,在IoU、Kappa系数等精度指标上,本文方法均显著优于传统方法。在边界误差方面,传统方法的误差普遍较高,如阈值分割方法在云南区域的边界平均误差超过8m,而本文方法能够有效降低误差,提升耕地边界提取的精度和可靠性。同时,对于不同地貌的耕地场景(如黑龙江的平原连片耕地、云南的破碎梯田以及江苏的水田),本文方法都展现出较好的适应性,而传统方法的性能波动较大,说明本文方法具有更好的普适性。

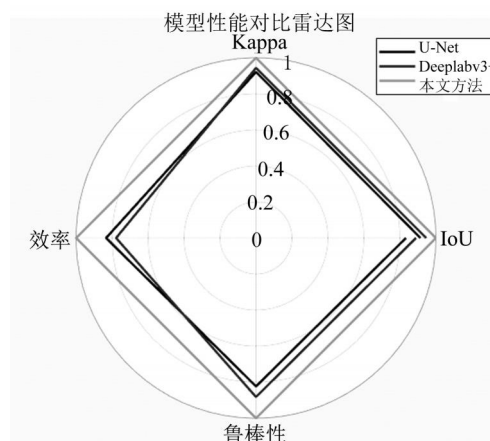


图5 模型性能对比结果

2.3 讨论与优化

2.3.1 方法在不同场景下的适用性分析

本文方法在不同地貌的耕地场景中展现出较好的适用性。在黑龙江的平原连片耕地场景下,由于地形相对平缓、耕地分布集中,本文方法借助多源数据融合与深度学习模型,能快速且准确地提取出大面积连续的耕地边界。对于云南的破碎梯田场景,尽管地形复杂、耕地分布零碎,但该方法仍能有效利用多源数据中地形、土壤等信息,结合深度学习对细节的捕捉能力,较为精准地提取出梯田的边界,相比传统方法优势明显。在江苏的水田场景中,水网密集的特点增加了边界提取的难度,而本文方法通过融合气象、土壤等多源数据,综合分析水田与周边地物的差异,同样实现了较为准确的边界提取。不过,在一些极端复杂的环境,如存在大量遮挡物或土地利用类型极其复杂的区域,该方法的精度可能会受到一定影响,仍有待进一步优化。

2.3.2 多源数据融合对边界提取精度的影响

多源数据融合显著提升了耕地边界提取的精度。地形数据中的数字高程模型(DEM)、坡度和坡向等信息,能帮助分析地形对耕地边界的限制和影响,尤其在山地、丘陵地区,可有效区分不同高程上的耕地与其他地物。土壤类型数据提供的土壤质地、肥力等信息,有助于从土壤特性角度区分耕地与非耕地,例如不同肥力的土壤在作物生长表现上的差异,可作为边界提取的参考依据。气象数据中的降水量、温度等气象因子,能够反映不同季节、气候条件下耕地的利用状态,辅助更准确地界定耕地边界。通过空间配准和特征融合将这些多源数据与高分辨率遥感影像相结合,使得边缘检测算法能够更充分地利用多方面信息,减少边界误判,提高提取精度。

2.3.3 深度学习模型与后处理算法的优化方向

深度学习模型方面,可进一步优化 U-Net 和 DeepLabv3+ 等模型的结构和参数。例如,尝试调整 U-Net 的网络深度和通道数,以更好地适应不同复杂度的影像数据;对于 DeepLabv3+,

探索更优的空洞卷积采样率组合,提升模型对多尺度特征的提取能力。同时,可以考虑引入更先进的注意力机制,增强模型对关键特征的关注,从而提高耕地区域分割的准确性。

后处理算法方面,在噪声去除和边界细化上仍有优化空间。中值滤波和高斯平滑算法在参数选择上较为依赖经验,未来可研究自适应的参数调整策略,根据影像的噪声水平和边界特征自动选择最优参数,以达到更好的平滑效果且不丢失重要细节。形态学细化算法可以结合更复杂的结构元素或改进腐蚀膨胀操作的顺序和次数,进一步提高边界细化的精度,使提取的耕地边界更加精准和清晰。

3 结论

本文提出基于高分辨率遥感和多源数据融合的耕地边界精准提取方法。通过在江苏、云南、黑龙江典型区域进行实验,结果表明,该方法在 IoU、Kappa 系数等指标上优于传统阈值分割、随机森林等方法,边界误差更小,对不同地貌耕地场景普适性好。同时,多源数据融合显著提升精度。但在极端复杂环境精度有待提高。该方法为耕地资源管理提供可靠支持,未来可从优化模型和算法方面进一步完善。

参考文献(References):

- [1] 李东辉, 孙肖, 霍润斌, 等. 地表基质遥感调查主要内容及方法探讨[J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(03): 44-51.
- [2] 韩俊. 不同的遥感解译方法在地表覆盖分类信息提取中的应用研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [3] 周林, 武黎黎, 李响. 基于改进 U-Net 的遥感影像农作物提取[J]. 计算机系统应用, 2025, 34(06): 89-96.
- [4] 乔志勇. 基于改进 DeepLabV3+ 的高分辨率遥感影像建筑物提取[J]. 地理空间信息, 2024, 22(12): 69-73.
- [5] Saralioglu E, Vatandaslar C. Land use/land cover classification with Landsat-8 and Landsat-9 satellite images: A comparative analysis between forest - and

- agriculture – dominated landscapes using different machine learning methods [J]. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 2022, 57(04): 695–716.
- [6] Papadopoulou E, Mallinis G, Siachalou S, et al. Agricultural land cover mapping through two deep learning models in the framework of EU's CAP activities using sentinel-2 multitemporal imagery [J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(19): 4657.
- [7] 席志龙. 主被动遥感协同的森林蓄积量反演及时空变化研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2023.
- [8] Li Y, Chang C, Wang Z, et al. Identification of cultivated land quality grade using fused multi-source data and multi-temporal crop remote sensing information [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(09): 2109.
- [9] 朱曼, 方剑, 朱兆明, 等. 结合时序 Sentinel-2 和 GF-2 影像的耕地撂荒识别[J]. *测绘技术装备*, 2025, 27(01): 140–147.
- [10] 王飞文, 孙五斌, 郑明丹. 融合主成分分析与曲率特征的点云去噪方法研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2024, 47(11): 182–185.
- [11] 刘秀慧, 李勇, 葛莹, 等. 一种改进 U-Net 的干旱区地表水资源遥感提取研究[J]. *时空信息学报*, 2025, 32(02): 158–167.
- [12] 赵阳, 倪化勇, 伍剑波, 等. 基于 AHP-CF 模型的地质灾害易发性评价——以泰顺县仕阳镇为例[J]. *华东地质*, 2021, 42(01): 66–75.
- [13] 张俊, 陈雨艳, 秦震宇, 等. 改进 DeepLab v3+ 模型下的梯田遥感提取研究[J]. *智慧农业(中英文)*, 2024, 6(03): 46–57.
- [14] 郑茜, 邱春霞, 李存军, 等. 面向对象的无人机遥感影像亚田块边界提取[J]. *科技与创新*, 2022, 9(03): 1–3.
- [15] 王一帆, 徐涵秋. 基于客观阈值与随机森林 Gini 指标的水体遥感指数对比[J]. *遥感技术与应用*, 2020, 35(05): 1089–1098.
- [16] 宋梦龙, 颜涛, 张鹏, 等. 基于随机森林模型的不同空间分辨率遥感影像草地提取研究[J]. *草原与草业*, 2025, 37(01): 12–17.
- [17] 李雨阳, 刘舫, 胡文君, 等. 基于多源遥感数据的植被精细分类方法对比[J]. *世界地质*, 2025, 44(02): 311–321.
- [18] 戴佳乐. 高光谱遥感混合光谱特征分析与解混模型研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2023.
- [19] 张定源, 张景, 牛晓楠, 等. 空间冲突理论分析与实证研究[J]. *华东地质*, 2022, 43(01): 17–29.
- [20] 张定源, 张景, 牛晓楠, 等. 双评价理论探索与福建实践[J]. *华东地质*, 2021, 42(04): 419–428.
- [21] 单治彬, 孔金玲, 张永庭, 等. 面向对象的特色农作物种植遥感调查方法研究[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(10): 1509–1519.

作者简介:

第一作者: 孙杰, 1994 年生, 男, 郑州人, 中国地质调查局地球物理调查中心, 助理工程师, 主要研究方向为自然资源调查监测。Email: 513764364@qq.com;
通讯作者: 李玄辉, 1981 年生, 男, 河南周口人, 硕士, 中国地质调查局地球物理调查中心, 高级工程师, 主要研究方向为自然资源调查监测。Email: 565783799@qq.com

Research on Precision Extraction Method of Cultivated Land Boundary based on High-Resolution Remote Sensing and Multi-Source Data Fusion

SUN Jie^{1,2}, RU Liang^{1,2}, LIANG Shuai^{1,2}, WU Shuai^{1,2}, LI Xuanhui^{1,2*}

(1. Center for Geophysical Survey, China Geological Survey, Langfang 065000, China

2. Technology Innovation Center for Earth Near Surface Detection, China Geological Survey, Langfang 065000, China)

Abstract: Precise extraction of cultivated land boundaries is a key technology in natural resource management and food security assessment. Considering the problem of insufficient accuracy of traditional methods in complex terrains, this study proposes a method for extracting cultivated land boundaries based on high-resolution remote sensing and multi-source data fusion. Data redundancy is eliminated through the joint dimension reduction of PCA/ICA, and the technical link of “deep learning preliminary segmentation–multi-source feature boundary optimization–morphological post-processing” is constructed to improve the boundary continuity and positioning accuracy in complex scenarios. The experiment selects the plain of Jiangsu, the mountainous area of Yunnan, and the black soil area of Heilongjiang for verification. The results show that after integrating multi-source data, the average IoU of the model reaches 0.92, which is 6.9%–9.5% higher than that of a single deep learning model. The boundary error decreases from 8.7 meters to less than 3.2 meters, and the Kappa coefficient exceeds 0.85, significantly superior to traditional methods, such as random forest and threshold segmentation. The multi-source data fusion framework and optimization technology constructed in the research provide an efficient solution for the dynamic monitoring of cultivated land.

Key words: high resolution remote sensing; multi-source data fusion; cultivated land boundary extraction

基于高光谱数据的农作物分类

王 雷,耿哲森,吴国雄,卢廷玉*

(黑龙江工程学院测绘工程学院,哈尔滨 150050)

摘 要:利用高光谱数据进行农作物种植结构信息提取有利于农业的精细化管理。然而高光谱数据存在波段相关性强以及分类计算量大等问题,因此以雄安新区高光谱影像为数据源使用数据降维来解决此类问题,同时比较了主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、最小噪声分离(Minimum Noise Fraction, MNF)和独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)这三种降维方法的分类精度,结果显示采用最小噪声分离总体精度最高,达到 81.56%。在分类方法上使用最大似然分类(Maximum Likelihood Classification, MLC)、支持向量机(Support Vector Machine, SVM)和随机森林(Random Forest, RF)三种分类方法,结果显示在高光谱农作物分类方法中,RF 的总体精度和 Kappa 系数最高,分别为 81.56% 和 0.80。RF 分类图经过平滑去噪处理后,总体精度达到 90.53%,Kappa 系数为 0.90。最终得出基于 MNF 和 RF 结合的高光谱农作物分类方法的精度最优,使用平滑去噪可进一步提高精度。

关键词:高光谱;数据降维;机器学习;农作物分类;最小噪声分离

中图分类号:P237

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0043-8

0 引言

高光谱数据因其波段数量多可以捕获不同地物之间的光谱细微差别,因此使用高光谱数据进行地物分类吸引学者关注。由于各类农作物在生物学属性以及形态结构上具有相似性,使得它们在遥感图像中展现的光谱特性和纹理特征区分度不高,使用可见光或多光谱数据无法进行精确分类。高光谱数据因其光谱分辨率高可以更好地对相似地物进行区分。

早期传统的高光谱分类方法,如基于统计分析的方法,由于计算复杂度较高且分类精度有限,难以有效应用于高光谱农作物分类任务。机器学习方法在面对小样本数据时表现出较强的适应性和稳健性。相较于传统方法,基于机器学习的高光谱农作物分类方法对计算机硬件的要求较低,同时在算法效率和分类精度方面表现优异。但是,高光谱数据波段多且计算量大会产生休斯现象(Hughes phenomenon),需要对其进行降维处理。胡会强^[1]等使用主成分分析(Prin-

cipal Component Analysis, PCA)对高光谱数据进行降维;郑奕^[2]等利用最小噪声分离(Minimum Noise Fraction, MNF)对高光谱数据进行降维;而梁亮^[3]等则使用独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)对高光谱数据进行降维。然而,目前研究多聚焦于单一降维技术的运用,尚未对各类降维技术与机器学习算法的匹配性进行深入的分析。

考虑到算法选择对降维效果的重要影响,本研究运用控制变量法,对 PCA、MNF 及 ICA 三种常见降维技术,在机器学习算法中进行交叉验证,以量化分析它们性能上的优劣,最终得出降维方法与机器学习方法的最优组合。

本文以机载高光谱数据为数据源,以雄安新区马蹄湾村农田为研究区,该区域农作物种类繁多,为探讨各类作物光谱特性及分类研究提供了丰富的案例资源。首先,评估了 PCA、MNF 和 ICA 三种特征提取算法对高维数据的降维效果,并采用 RF(Random Forest, RF)、SVM(Support Vector Machine, SVM)和 MLC(Maximum Likeli-

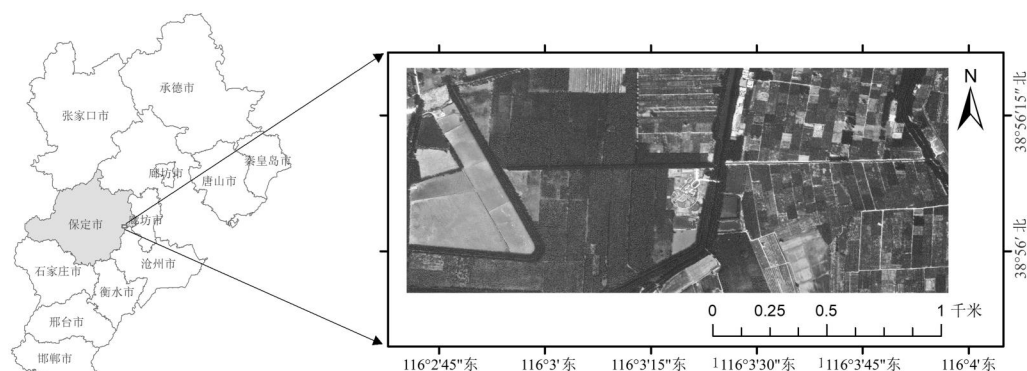


图 1 研究区

hood Classification, MLC) 三种分类器的识别精度作为评价标准,以确定最优降维方案。在此基础上,针对最优降维方法,通过构建混淆矩阵,定量分析各分类器在总体精度和 Kappa 系数上的表现,筛选出适用于区域作物类型多样的高光谱分类方法。最后,对分类结果图进行平滑去噪处理可进一步提升分类精度。本文通过比较多种算法,为高光谱数据降维及分类提供科学策略与实验支持,实现农作物精确识别,助力区域农业管理及规划决策制定。

1 研究区及数据

1.1 研究区概况

本文选取雄安新区(北纬 $38^{\circ}43' \sim 39^{\circ}10'$, 东经 $115^{\circ}38' \sim 116^{\circ}20'$) 马蹄湾村为研究区(图 1)。马蹄湾村,位于雄县西南的雄州镇内,是雄安新区其中一个以农业为主要产业的村庄,该区域靠近白洋淀,梨树的种植面积较大,呈现一片“梨”花香里说丰年的景象。该地农作物种类繁多,以经济作物为主,主要作物有梨树、水稻、大豆、玉米、复叶槭、白蜡、刺槐、杨树、柳树和栎树等。

1.2 数据收集与处理

本研究选取雄安新区高光谱影像数据集作为数据源,数据集在中国科学院遥感与数字地球研究所官网(<http://www.hrs-cas.com/>)获取,由我国自主研发的高分航空光谱仪采集,具有较高的空间分辨率和光谱分辨率,能够全面反映研

究区内地物的光谱特征。该数据集涵盖了丰富的农作物种类,其中梨树的分布尤为显著,同时还包括房屋、水域等其他地物类型。具体而言,数据集中共包含 19 类地物,其中农作物类别多达 15 种,主要包括梨树、国槐、白蜡、水稻茬等典型作物^[4]。本研究所采用的数据经过严格的辐射定标与几何校正处理,并结合大气校正模型进行精确调整,所有影像均实现空间配准。

2 研究方法

本文分别采用 PCA、MNF 和 ICA 对数据进行降维处理,并对比分析其有效性。选取最优的降维方法,进一步利用 MLC、SVM 和 RF 等多种机器学习方法进行分类实验,通过对比分析得出分类精度最优的分类方法,并对分类结果图进行平滑去噪后处理。研究流程如图 2 所示。

2.1 降维方法

特征提取是将高维数据通过数学理论,借助线性或非线形手段,映射至低维空间的转换过程。同时尽可能保留原始数据的关键信息与结构特征^[5-7]。本文使用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、最小噪声分离(Minimum Noise Fraction, MNF)以及独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)等特征提取方法。

大多数时候噪声分布是不均匀的,即 PCA 在某些方面对噪声的考虑不足^[8]。而 MNF 是在 PCA 的基础上按照信噪比而非基于方差的特征

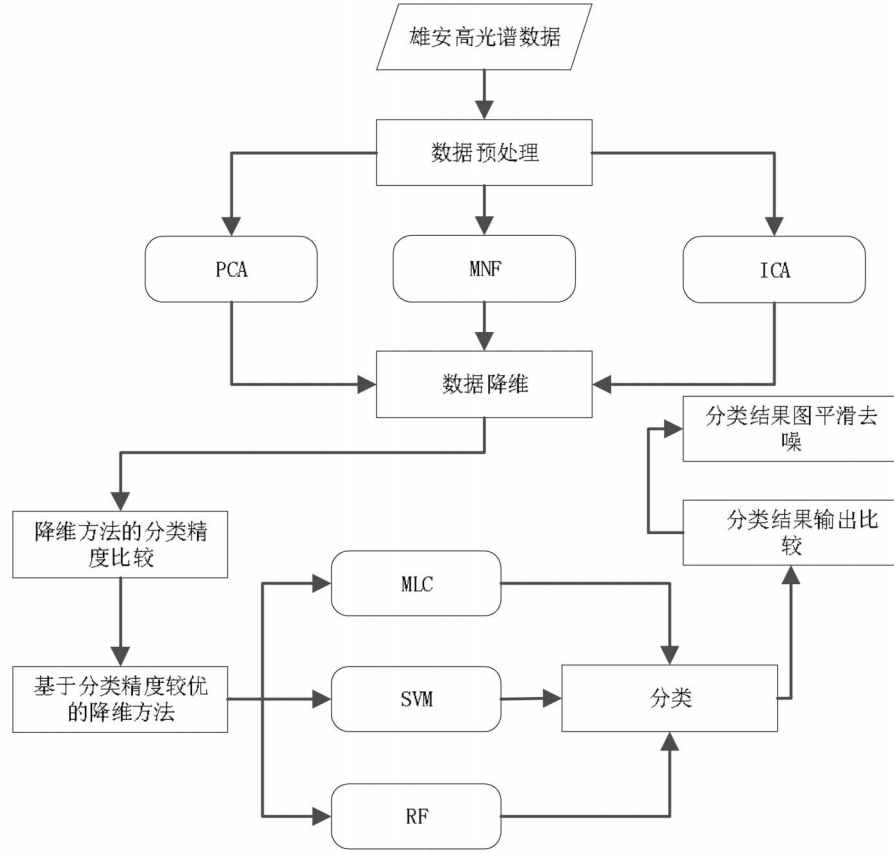


图2 研究流程

值大小进行排列,所以 MNF 在噪声分布不均匀的时候,更能分离数据的噪声^[9]。ICA 则是一种具有改进 PCA 降噪不足的同时比 MNF 去相关能力更强的高阶去相关算法^[10]。

2.2 基于机器学习的分类算法

由于机器学习算法具有较好的分类效果,因此本文采用最大似然分类(Maximum Likelihood Classification, MLC)、支持向量机(Support Vector Machine, SVM)以及随机森林^[11](Random Forest, RF)等算法。

MLC 运用贝叶斯概率理论进行影像分类,该算法首先预设各像元在各类别中呈正态分布特征。基于训练样本数据,系统计算先验概率与条件概率分布参数,继而通过贝叶斯公式推导后验概率值。最终,算法将最大后验概率对应的类别判定为像元的归属类别。后验概率与 MLC 决策函数分别为:

$$P(w_i | x) = \frac{P(x | w_i)P(w_i)}{P(x)} \quad (1)$$

$$g_i(x) = -\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T Q_i^{-1}(x - \mu_i) - \frac{1}{2} \ln |Q_i| + \ln P(w_i) \quad (2)$$

其中: x 为样本的特征向量; w_i 为第 i 个类别标签; μ_i 为类别 w_i 的均值向量; Q_i 为类别 w_i 的协方差矩阵; $P(w_i)$ 则表示 w_i 的先验概率。

SVM 最早由 Vapnik 和 Chervonenkis 等人研究并提出的,是一个解决二分类问题的算法,具有精度高、运算速度快、泛化能力强的优点^[12]。该方法采用核函数映射、惩罚机制及松弛变量等核心参数,有效解决了数据规模与维度差异带来的分类难题。对于非线性可分情况下的 SVM 公式如下:

$$\text{最优化目标: } \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \xi_i \quad (3)$$

$$\text{约束条件: } y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0 \quad (4)$$

其中: w 表示超平面法向量; C 表示惩罚参

数; ξ_i 是松弛变量; n 是样本数; y_i 表示第 i 个样本类别标签; x_i 指第 i 个样本的特征向量; b 表示偏置项。

RF 是一种基于多决策树组合的集成学习策略,旨在通过融合众多树的预测结果以增强其预测的精确度。在决策树的构建环节,信息熵是核心。对于一个包含 n 个类别的数据集 $D = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$,其信息熵公式为:

$$H(D) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (5)$$

其中: p_i 是类别 c_i 在数据集 D 中出现的概率。

2.3 数据后处理方法

针对作物分类图像中出现的杂点及细碎地块问题,本研究对图像进行了后期优化,运用了平滑去噪技术以增强分类的连贯性与一致性。平滑去噪方法多样,本研究主要应用了主次要分析(Majority Analysis)、聚类(Clump)和过滤(Sieve)三大策略。

2.4 分类精度评价指标

2.4.1 总体精度

通过建立混淆矩阵,可以求出总体精度(Overall Accuracy, OA)。其公式如下:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ii}}{n} \times 100\% \quad (6)$$

其中: C_{ii} 为混淆矩阵对角线元素,代表第 i 个类别正确预测的数量。

2.4.2 Kappa 系数

Kappa 系数同样也是基于混淆矩阵计算的一个衡量监督分类精度的指标^[13],其公式如下:

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^n C_{ii} - \sum_{i=1}^n G_i C_i}{N^2 - \sum_{i=1}^n G_i C_i} \quad (7)$$

其中: C_{ii} 为混淆矩阵对角线元素; N 为混淆矩阵所有元素之和; C_i 为被预测为第 i 类的数量值, G_i 为实际属于第 i 类的总数。

3 实验

本研究聚焦于 19 类地表物体,涵盖经济作物如国槐、栾树等,及主要农作物大豆、玉米、水稻等,并构建了充足的样本集合。为保障实验的严谨性与准确度,该样本集随机分为训练与测试两部分,比例设定为 9:1。

3.1 不同降维方法的分类精度对比

为深入探究降维方法在分类精度提升方面的有效性,并进一步甄别不同降维方法的性能差异,本研究采用 RF、SVM 以及 MLC 三种主流分类算法构建实验框架。在此基础上,分别对原始影像数据以及分别经过 PCA、MNF 以及 ICA 三种降维技术处理后的影像数据进行分类实验。通过对比分析不同降维策略下的分类结果,旨在筛选出总体精度和 Kappa 系数表现最优的降维方法,从而确定最为有效的特征提取策略。

通过表 1 可以看出,使用降维方法比未降维的总体精度和 Kappa 系数高,说明了降维方法在分类实验中的有效性。三种降维方法在所有分类器的分类结果中,总体精度最高的是基于 MNF 的降维方法,达 81.56%;总体精度最低的是 ICA 降维方法,为 70.10%。综合考虑 RF、SVM 与 MLC 这三个分类算法的分类结果,降维方法 MNF 的表现更优,其在这三种算法中都有较高的精度。因此优选 MNF 作为本次研究高光谱农作物分类的降维方法。

3.2 分类结果

由于上一部分已经说明 MNF 降维效果最佳,因此选择基于 MNF 降维后的数据,用 SVM、RF 和 MLC 三种分类方法来进行分类,通过混淆矩阵得出各分类算法的总体精度与 Kappa 系数,从而得出各分类方法精度对比,见表 2。

由表 2 中数据可以得出,三种分类算法的总体精度均高于 70%。其中分类精度最高的是 RF 算法^[14],总体精度为 81.56%,Kappa 系

表 1 不同降维方法的分类精度评价

	RF		SVM		MLC	
	OA(%)	Kappa	OA(%)	Kappa	OA(%)	Kappa
未降维	63.22	0.60	59.80	0.55	44.95	0.42
PCA 降维	79.92	0.78	70.31	0.67	73.99	0.72
MNF 降维	81.56	0.80	70.91	0.68	74.50	0.73
ICA 降维	77.29	0.75	70.10	0.67	74.52	0.73

表 2 不同分类方法的分类精度对比

	SVM	RF	MLC
OA(%)	70.91	81.56	74.50
Kappa	0.68	0.80	0.73

数为 0.80;其次是 MLC,总体精度为 74.50%, Kappa 系数为 0.73;而 SVM 的分类精度最低,总体精度与 Kappa 系数分别为 70.91%和 0.68。

3.3 分类结果的可视化

如图 3 所示,RF 分类图(b)和 MLC 分类图(c)整体的分类效果较好,其中非农作物方面房屋与水域分类效果较好,作物方面水稻、水稻茬、荷叶和榆树等分类情况也基本较好。观察图中的白色矩形区域,SVM 分类图(a)分类结果破碎现象较严重,且出现了较严重的噪声现象,而 RF 分类图(b)和 MLC 分类图(c)的程度较轻。观察图中的蓝色矩形区域,SVM 方法将玉米错判

为梨树,而 MLC 和 RF 则是存在不同程度的欠分类的情况,其中 RF 表现较好,MLC 表现较差,MLC 在该区域的梨树几乎都被漏分。经过以上分析可以得出,RF 的分类效果最好。

3.4 高光谱农作物分类图后处理

选取 RF 分类结果图,通过 ENVI 进行平滑去噪,按照以下过程进行。首先进行 Majority Analysis 去除大部分的噪声像素,主要有两个参数需要设置,将 Kernel Size(核半径)设置为 3×3,中心像元的权重设置为 1;其次进行 Sieve Class 过滤“孤岛”像元,将 Sieve Class 的参数 Pixel Connectivity 设置为 8-Connected(八邻接)的模式,8-Connected 模式对过滤条件较为宽松,会保留更多细节区域;最后进行 Clump^[15]处理,聚类相邻的同类像素为单独区域,从而平滑边界。重复以上步骤,直到过滤了大部分的噪声点,

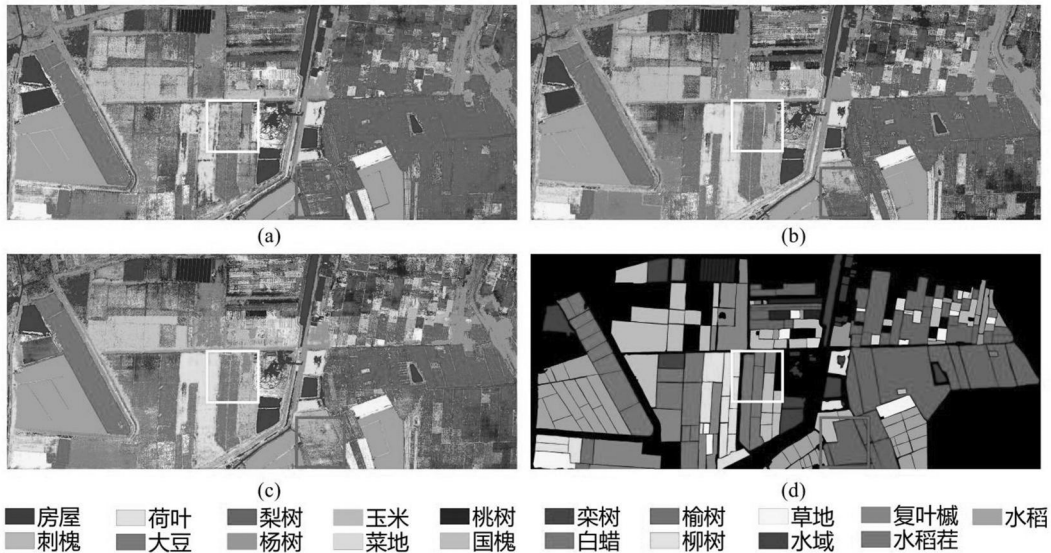


图 3 分类结果与地面真实样本对照图

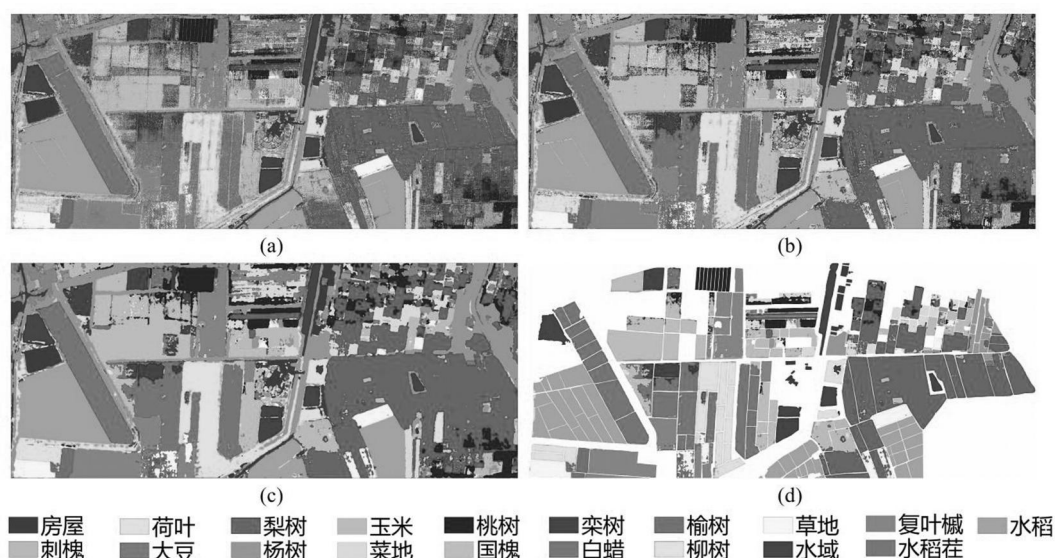


图 4 RF 分类图后处理结果

且达到预期。最后将平滑去噪完毕的图像进行裁剪,最终的分类图如图 4 所示。

图 4 中(a)到(c)为分类图逐渐平滑的过程,最终剪裁得到结果(d)。从以上过程看出,特别是对比(a)和(c),分类图经过后处理后,图像的噪声得以减少,连续性和完整性得以提高。最后将平滑去噪后的图像与原始图像的分类精度进行了比较,发现分类图经过后处理总体精度为 90.53%,Kappa 系数为 0.90,而平滑去噪处理前的 RF 分类图总体精度和 Kappa 系数分别为 81.56%和 0.80。说明了进行分类图后处理有助于提高分类精度,总体至少提高了 8.97%的精度。

4 结语

本文首先采用 PCA、MNF 和 ICA 三种降维方法对高光谱影像进行预处理,并基于降维后的数据开展农作物分类实验。实验结果表明,三种降维方法均显著提升了农作物的分类精度,其中 MNF 方法在分类精度提升方面表现最为突出,展现了其在特征提取中的高效性。以 MNF 降维后的高光谱影像为数据源,分别利用 MLC、RF 和 SVM 三种分类算法进行分类实验。通过对比分析,RF 算法在总体精度和 Kappa 系数方面均优于 MLC 和 SVM,表现出更高的分类性能。对

RF 分类图平滑去噪后处理后,精度得到提高。本研究得出基于 MNF 降维与 RF 分类相结合的高光谱农作物分类方法的精度最优,平滑去噪可以提升分类精度,为高光谱影像的农作物分类提供了有效的技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 胡会强,位云朋,徐华兴,等. 基于高光谱成像技术和主成分分析对粉葛年限的鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(06): 1953-1960.
- [2] 郑奕,王瑶,刘艳. 基于高光谱数据季相特征的山地草甸植被分类识别[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(06): 1939-1947.
- [3] 梁亮,杨敏华,李英芳. 基于 ICA 与 SVM 算法的高光谱遥感影像分类[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(10): 2724-2728.
- [4] 岑奕,张立福,张霞,等. 雄安新区马蹄湾村航空高光谱遥感影像分类数据集[J]. 遥感学报, 2020, 24(11): 1299-1306.
- [5] 王婷. 高光谱遥感图像数据降维和分类算法研究[D]. 银川:北方民族大学, 2017.
- [6] 李静. 高光谱遥感影像降维及分类方法研究[D]. 长沙:中南大学, 2012.
- [7] 魏峰. 高光谱遥感数据特征提取与特征选择方法研究[D]. 西安:西北工业大学, 2015.
- [8] Green A A, Berman M, Switzer P, et al. A transformat-

- ion for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26(01): 65–74.
- [9] 葛山运. 基于 MNF、PCA 与 ICA 结合的高光谱数据特征提取方法[J]. 城市勘测, 2013, 27(02): 103–106.
- [10] 赵慧洁, 李娜, 贾国瑞, 等. 改进独立成分分析在高光谱图像分类中的应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 51(11): 1333–1336.
- [11] 吴瑞姣. 结合面向对象卷积神经网络和随机森林的马尾松识别[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(10): 50–53+58.
- [12] 高晓健. 基于支持向量机的高光谱遥感图像分类方法研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2013.
- [13] 唐万, 胡俊, 张晖, 等. Kappa 系数: 一种衡量评估者间一致性的常用方法(英文)[J]. 上海精神医学, 2015, 27(01): 62–67.
- [14] 杨珺雯, 张锦水, 朱秀芳, 等. 随机森林在高光谱遥感数据中降维与分类的应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(S1): 82–88.
- [15] 徐卫霄. 高光谱影像集成学习分类及后处理技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2011.
-
- 作者简介:**
第一作者: 王雷, 1983 年生, 男, 黑龙江双鸭山人, 硕士, 黑龙江工程学院, 副教授, 主要研究方向为遥感语义分析。Email: wanglei@hljit.edu.cn;
通讯作者: 卢廷玉, 1979 年生, 男, 黑龙江拜泉人, 博士, 黑龙江工程学院, 副教授, 主要研究方向为地理信息系统应用与开发、资源与环境遥感。Email: hrblutingyu@163.com
-

Crop Classification based on Hyperspectral Data

WANG Lei, GENG Zhesen, WU Guoxiong, LU Tingyu*

(College of Surveying and Mapping Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: The utilization of hyperspectral data for extracting crop planting structure information is conducive to the fine management of agriculture. Hyperspectral data faces challenges, such as strong band correlation and high computational complexity in classification task. Therefore, this paper uses hyperspectral images of Xiong'an New Area as the data source and applies data dimensionality reduction to solve such problems. Meanwhile the classification accuracies of three dimensionality reduction methods, namely Principal Component Analysis (PCA), Minimum Noise Fraction (MNF), and Independent Component Analysis (ICA), are compared. The results show that the overall accuracy of using the Minimum Noise Fraction is the highest, reaching 81.56%. In terms of classification methods, three classification methods, namely Maximum Likelihood Classification (MLC), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF), are used. The results show that in the hyperspectral crop classification methods, the RF has the highest overall accuracy and Kappa coefficient, which are 81.56% and 0.80 respectively. After the map is smoothed and denoised based on RF classification, the overall accuracy reaches 90.53%, and the Kappa coefficient is 0.90. It is finally concluded that the hyperspectral crop classification method has the optimal accuracy based on the combination of MNF and RF and the use of smoothing and noise reduction can further improve the accuracy.

Key words: hyperspectral; data dimensionality reduction; machine learning; crop classification; Minimum Noise Fraction

槽波地震勘探技术在煤矿隐伏断层探测中的应用

——以钱营孜煤矿为例

张小虎^{1*}, 王宗涛², 兰鹏波², 孙伟豪², 任 川²

(1. 安徽恒源煤电股份有限公司钱营孜煤矿, 安徽 宿州 234116;
2. 安徽惠洲地质安全研究院股份有限公司, 合肥 231200)

摘 要: 隐伏断层的存在对煤炭回采过程中的生产安全构成严重隐患, 查明煤矿隐伏断裂构造是保障工作面顺利回采及未来高效安全生产的重要举措。本文采用槽波物探方法对钱营孜煤矿 W₃₂32 工作面开展工作, 旨在查明研究区内断裂构造发育情况及隐伏地质体。通过对研究区槽波能量衰减和纵横波速度反演进行对比分析, 辅以反射偏移成像最低, 在研究区内解译异常区 33 个, 其中断层影响区 24 个, 煤层变薄区 7 个, 顶板“穿刺”构造影响区 2 个, 为研究区煤矿安全生产提供了重要支撑。

关键词: 槽波地震勘探; 隐伏构造; 断层; 煤层变薄区; 钱营孜煤矿

中图分类号: P631.4+1

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)06-0050-9

0 引言

随着煤矿开采深度的递增, 地质条件变得更加复杂, 特别是隐伏地质构造和地下水分布预测不清, 是煤矿瓦斯爆炸和突水安全事故的主要原因。有调查显示, 煤矿生产中瓦斯爆炸和突水事故伤亡率占比 60%~70%^[1]。传统的探测方法中, 地面三维地震适用于大型构造探测, 但对小构造精度不足; 无线电波透视则受井下设备干扰较大, 探测效果不佳。以上方法均难以满足现今煤矿安全生产需求^[2-5]。相比之下, 槽波地震技术因其精度高、抗干扰能力强、探测距离大等优势, 成为探测煤矿隐伏断裂构造的主要手段^[6]。

槽波地震勘探技术的发展历程始于 20 世纪中期。Evison^[7]首次在煤层中成功激发并记录了煤层波, 揭示了其独特的频散特性。T. C. Krey^[8]通过理论计算和实验研究, 进一步阐明了槽波的频散关系, 为后续研究奠定了基础。德国学者 Eson 和 Schott^[9]在多个煤矿区开展了反射槽波试验, 并在数据处理中引入了极化滤波与包络叠加技术, 进一步提高了数据的解析能力。我

国自 20 世纪 80 年代末开始进行槽波地震研究, 经过多年的理论探索和实践积累, 取得了显著成效^[10-13]。

近年来, 随着煤矿机械化程度和安全要求的提高, 工作面内部小断层、陷落柱等地质异常体引发的安全问题日益突出^[14-18]。槽波地震勘探技术能够精确识别小断层、煤层分叉、变薄带及采空区, 具有波形易识别、探测距离远等特点^[19-24], 其探测结果为开采设计提供了重要依据。

本文以钱营孜煤矿 W₃₂32 工作面回采前地质探查工程为研究背景, 采用槽波地震物探技术对断层进行发育情况及工作面内其他隐伏的地质异常体进行精细勘探, 为工作面回采前应用槽波地震勘探技术对煤矿隐伏断层进行探测和分析提供了一定的借鉴和指导依据。

1 槽波地震勘探技术

1.1 槽波地震原理

槽波地震勘探(ISS) 是利用在煤层中激发和传播的导波探查煤层不连续性的一种地球物理

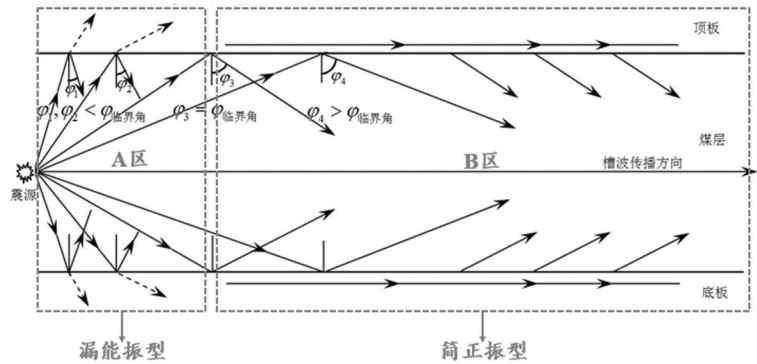


图1 煤层中地震槽波的传播形式和振型

方法。槽波在煤层中激发,通过同一煤层传播、衰减和反射,并在同一煤层中被接收。

槽波在不同入射角度下在煤层中的传播形式和振型存在差异。当煤层中激发的体波入射角小于临界角入射到煤-岩分界面时,会发生折射作用,以体波的形式向围岩辐射,导致地震波在煤层内来回反射过程中,迅速衰减而消失,形成所谓的“泄漏”振型;当体波入射角大于临界角入射到煤-岩分界面,会发生全反射,地震波的能量被限制在煤层及邻近岩石的薄层中,不向围岩辐射而产生损耗,形成了简正振型(图1)。通过对波形的分析可以区分泄漏振型与简正振型,进而反演煤层厚度、识别内部缺陷、评估围岩性质及应力状态,为煤层结构探测与工程安全提

供定量依据。

1.2 槽波地震勘探方法

槽波勘探的基本观测方法为透射法和反射法。透射法槽波测量,震源与检波器(排列)布置在不同的巷道内。在一条巷道内激发,另一条巷道中接收通过采区或盘区的透射槽波(图2)。目前,在厚约属薄煤层 1.3~3.5m 中厚煤层中,最大透射距离可达 1000m 以上。

反射槽波测量,震源与检波器排列布置在同一巷道内,在煤层中激发和接收槽波(图3)。测量过程中,当工作面存在断层等地质异常体或煤层出现横向不连续时,会形成很强的波阻抗分界面,从而产生反射或部分反射。

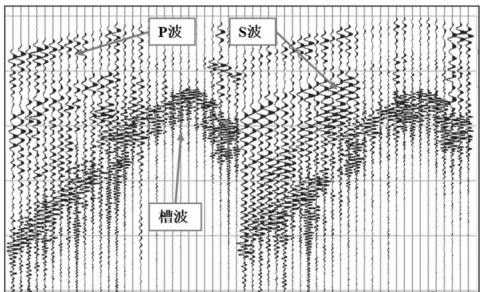
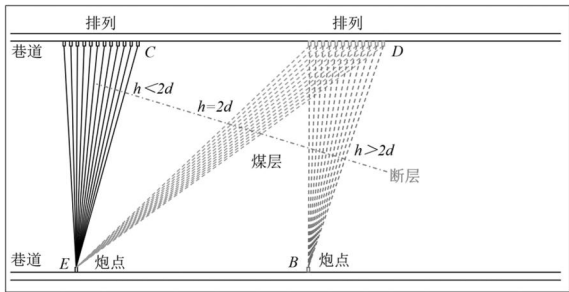


图2 煤层中透射槽波勘探方法及透射槽波特征

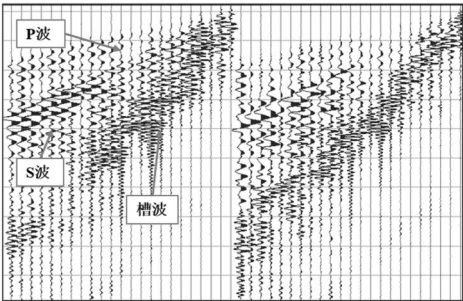
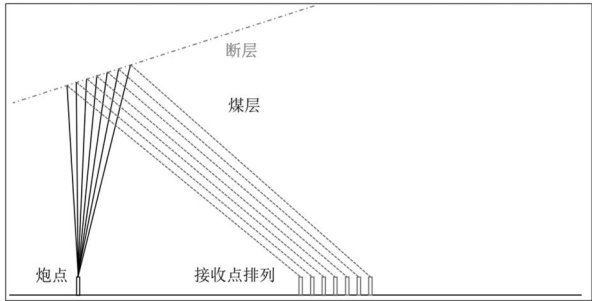


图3 煤层中反射槽波勘探方法及透射槽波特征

1.3 成像反演数据处理方法

槽波勘探后需按照一定的物理和数学关系反演工作面内部参数。槽波依据不同的物理构成及极化特征,分为 Love 型槽波和 Rayleigh 型槽波。对于简单的顶板-煤层-底板 3 层对称模型,煤层中激发的地震波在煤层中的传播速度明显低于沿顶底板的传播速度,会在煤层中多次反射而产生干涉现象形成槽波,Love 型槽波传播规律如下:

$$\frac{\omega d}{c} \sqrt{\frac{c^2}{v_{s2}^2} - 1} = \arctan \left[\frac{\mu_1 \sqrt{1 - \frac{c^2}{v_{s1}^2}}}{\mu_2 \sqrt{\frac{c^2}{v_{s2}^2} - 1}} \right] + n\pi, n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中: ω 为圆频率; d 为 1/2 煤层厚度; c 为 Love 型槽波相速度,有 $v_{s2} \leq c \leq v_{s1}$; v_{s1}, v_{s2} 为围岩与煤层横波速度; μ_1, μ_2 为围岩与煤层的剪切模量; n 为槽波振型阶数,当 $n=0$ 时频散为基阶模式,且 Love 型槽波以基阶模式频散为主。只考虑基阶模式,式(1)可简化为:

$$d = \frac{cv_{s2}}{\pi f \sqrt{c^2 - v_{s2}^2}} \arctan \left[\frac{\mu_1 \sqrt{1 - \frac{c^2}{v_{s1}^2}}}{\mu_2 \sqrt{\frac{c^2}{v_{s2}^2} - 1}} \right] \quad (2)$$

式(2)给出了相速度 c 与煤层厚度 d 之间的关系,但应用地震层析成像技术需要获取槽波群速度 u 进行求解,因此需要首先依据已知槽波的传播时间 T 的情况下求解地下介质的槽波群速度 u 。槽波的传播时间 T 是对地下介质慢度函数沿着波的传播射线路径的进行线性积分,可表示为:

$$T = \int_s s(x, z) dl \quad (3)$$

式中, $s(x, z)$ 为地下介质的慢度函数; dl 为波的射线路径的微分。

对式(3)进行离散化,并表示为如下的矩阵形式为:

$$T = AS \quad (4)$$

式中, T 为所有炮点到检波点的传播时间矩

阵; S 为地下介质的慢度矩阵; A 为与地震波传播射线路径有关的距离矩阵。

利用煤矿地震槽波探测软件(CSSWD)经反复迭代求解式(4)矩阵并求解波群速度 u 。为进一步确定工作面的煤层厚度分布,必须建立群速度 u 与煤层厚度 d 之间的数学关系。槽波可以看作是由频率不同的简谐波在煤层中传播时相互干涉形成的一种复杂的合成振动信号。由于频散作用,合成信号以一种独立的速度传播,振幅极大值沿着煤层传播的速度即为槽波传播的群速度,信号同一相位传播的速度为相速度。群速度和相速度可以相互转换,转换公式为:

$$u = \frac{d\omega}{d(\omega/c)} = \frac{d(ck)}{dk} = c + k \frac{dc}{dk} \quad (5)$$

式中: u 为群速度; k 为圆波数。

式(2),(5)定义了群速度-频率-厚度的数学关系。当频率 f 和厚度 d 给定时,根据式(2)可以求解相速度 c ,然后根据式(3)可以计算相应的群速度 u 。因此,当频率 f 固定时,有函数关系 $u = F(d)$;当煤层厚度固定时,有函数关系 $u = F(f)$ 。

2 研究区概况

W3₂32 工作面位于安徽省宿州市西南钱营孜煤矿西三采区中部。工作面及附近共发育断层 37 条,实际揭露 18 条断层。其中正断层 27 条,逆断层 10 条,褶曲和断层构造较发育,矿区地层岩性以泥岩和细砂岩为主。

3 槽波地震勘探实施

3.1 测点布置

根据钱营孜煤矿地质资料,将 W3₂32 工作面分里段、中段、外段共三站进行槽波地震探测。其中激发点炮间距 20m,接收点间距 10m,各站激发点、接收点、地震测线机巷、风巷、切眼,以及测线总长度布置情况详见表 1。

3.2 数据获取

地震数据的采集采用 1 台槽波地震仪在 W3₂32 工作面接收数据,形成单站一次可接收第

表 1 槽波地震测点布置

站名	激发点 个数	激发点编号 范围	接收点 个数	接收点编号 范围	测线机巷 长度/m	风巷长度 /m	切眼长度 /m	测线总长度 /m
里段	87	P1-1~1-P87	181	J1-1~J1-181	830	830	170	1830
中段	97	P2-1~P2-97	188	J2-1~J2-188	990	950	0	1940
外段	116	P3-1~P3-116	254	J3-1~J3-254	1370	1150	0	2520
总计	300		623		3190	2930	170	6290

一站 181 道、第二站 187 道和第三站 254 道的数据采集装置。研究区采用连续高效放炮,同组接收点固定接收的作业方式,并且射线覆盖勘探区域次数大于十次,保证了扇形的最大探测区域和勘探结果的可靠性。

4 槽波地震勘探数据处理及分析解释

4.1 槽波数据处理方法

为保证探测效果,需综合考虑研究区巷道分布、采掘设备位置、噪声干扰等因素明确炮点与接收点之间的几何位置,建立最佳的观测系统。本次槽波地震观测系统沿 W3₂32 风巷指向切眼方向为 X 轴正方向,垂直 W3₂32 风巷指向 W3₂32 机巷方向为 Y 轴正方向(图 4)。

应用煤矿地震槽波探测软件(CSSWD)对

P3-72 炮透射数据进行滤波处理(图 5)。未经滤波,横波与槽波区分不明显。经过滤波后,纵波和横波得到压制,槽波能量变强,特征明显。

4.2 槽波地震勘探结果及分析

4.2.1 横纵波波速反演结果及分析

煤层是波的低速介质,地震波在均匀煤层中传播时,表现为一较均匀分布的波速图。当煤层中出现断层或其他地质体时,表现为高速异常区。煤层破碎的区域也会表现为高速区域;煤层变薄或岩层变厚的区域则表现为低速异常区域。通过开展槽波地震勘探,发现研究区纵波速度平均值为 3.2m/ms(图 6),横波速度平均值为 1.9m/ms(图 7)。速度异常定义为平均值的 20%以上,则得出研究区纵波高速异常速度为 3.84m/ms,横波高速异常速度为 2.28m/ms。

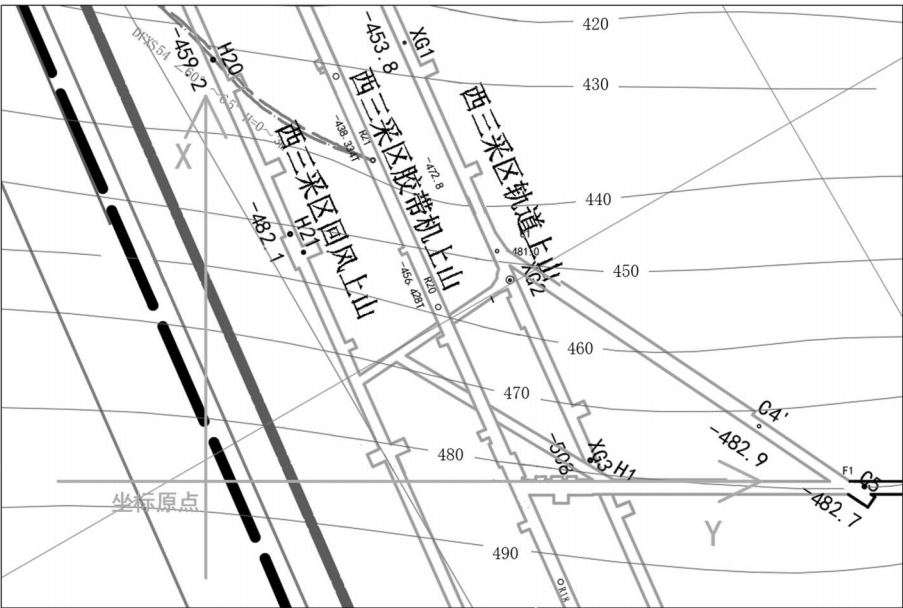
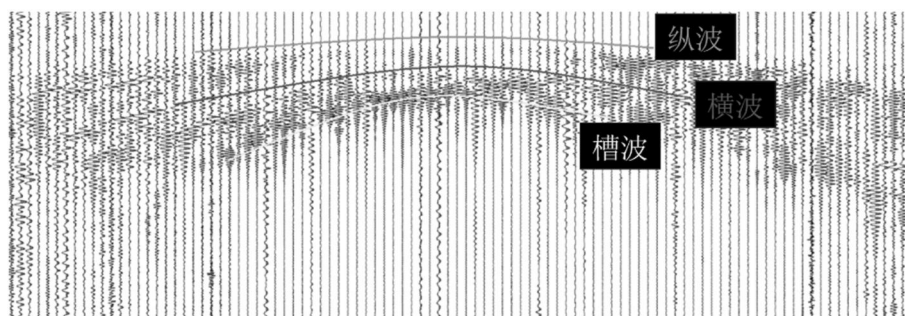
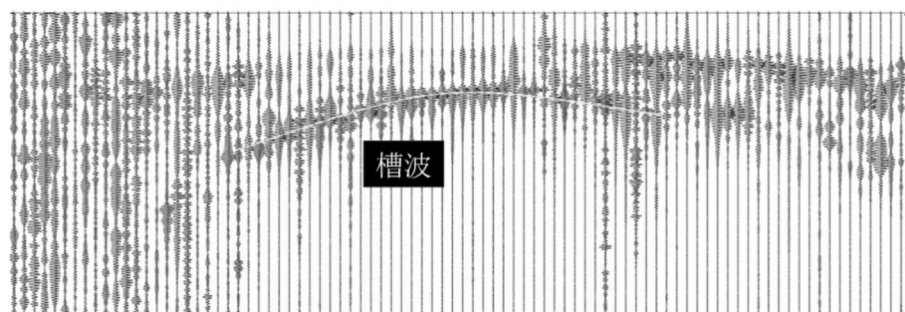


图 4 观测系统示意图



(a) 未经滤波处理



(b) 经滤波处理

图 5 P3-72 炮透射滤波处理前后地震波数据

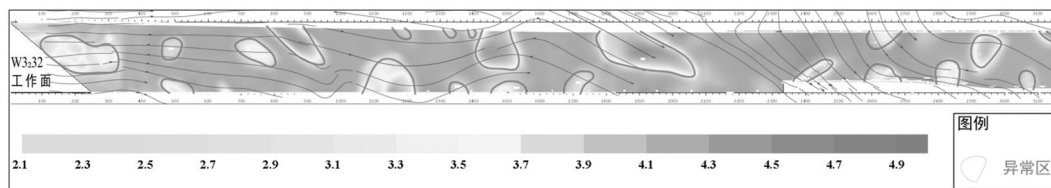


图 6 纵波速度成像图

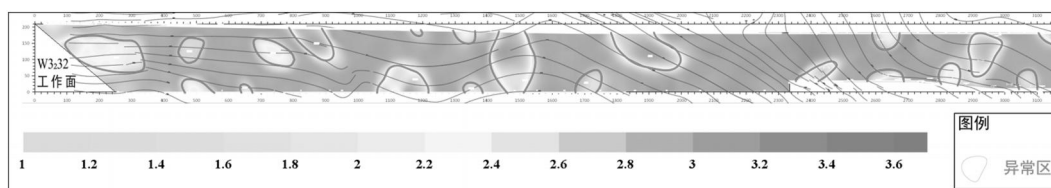


图 7 横波速度成像图

4.2.2 反射槽波的偏移成像结果及分析

在 KDZ2.8 软件平台对反探测数据进行包括预处理、数字滤波、修饰处理和偏移剖面形成与显示等时域处理。其中,探测区域内存在较大的走向断层,表现为高振幅(能量),代表有较强的能量被反射回来(图 8)。

4.2.3 槽波地震勘探综合结果及分析

在参考研究区煤层中的异常体资料的情况下,通过比较对照槽波能量衰减图、纵横波速度

反演图,并辅以反射偏移成像结果图,结合 W3₂32 工作面巷道地质编录剖面及三维地震解释资料对本次探测解释进行同步验证,共解译 33 个异常区(YC1-YC33)。以 F3 至 F7 段内 YC5-10 异常区为例,结合异常地质体对应的纵横波速度成像图、透射槽波能量衰减图和反射偏移成像图进行分析(图 9)。

YC5 异常区:位于面内,在透射槽波能量衰减图以及反射偏移成像图中反映明显,此区域为

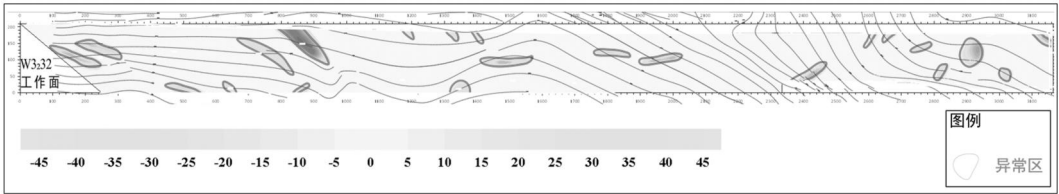
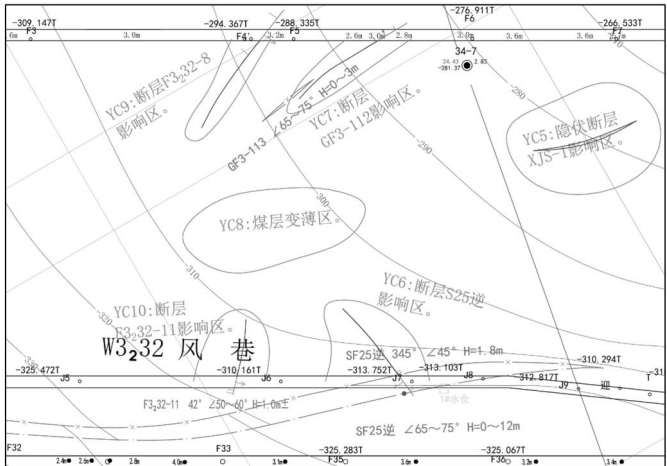
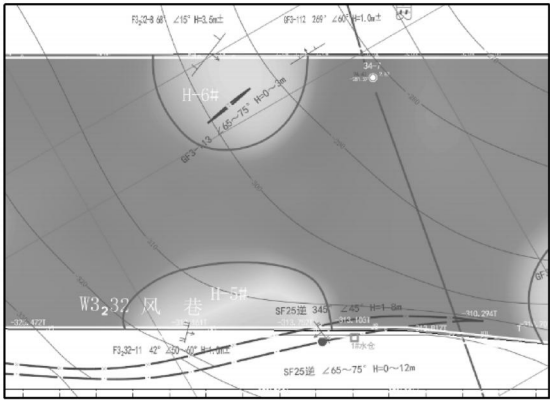


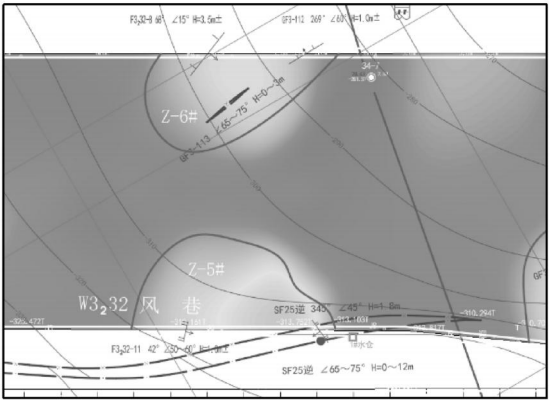
图 8 反射偏移成像图



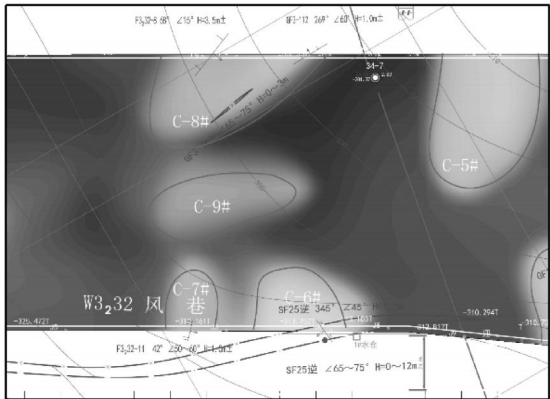
(a) 异常区分布



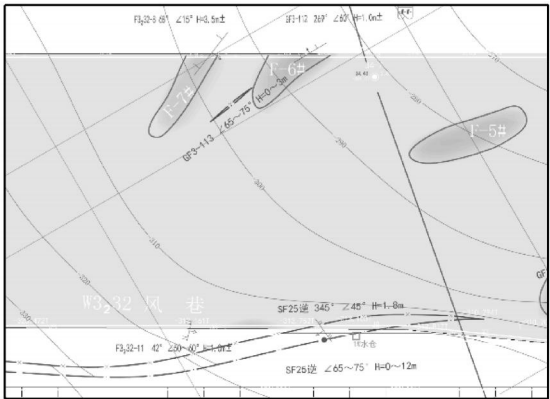
(b) 横波速度成像图



(c) 纵波速度成像图



(d) 透射槽波能量衰减图



(e) 反射偏移成像图

图 9 异常地质体综合分析

隐伏断层 XJS-1, 断层落差大于二分之一煤厚且小于煤厚。

YC6 异常区: 靠近风巷, 在纵横波速度成像图以及透射槽波能量衰减图中反映明显, 对应巷道揭露断层 SF25 逆。

YC7 异常区: 位于面内, 在透射槽波能量衰减图以及反射偏移成像图中反映明显, 此区域存在隐伏断层 XJS-1, 断层落差大于二分之一煤厚且小于煤厚。

YC6 异常区: 靠近风巷, 在纵横波速度成像图以及透射槽波能量衰减图中反映明显, 对应巷道揭露断层 SF25 逆。

YC7 异常区: 靠近机巷, 在纵横波速度成像图、透射槽波能量衰减图以及反射偏移成像图中反映明显, 对应巷道揭露断层 GF3-112。

YC8 异常区: 位于面内, 在透射槽波能量衰减图中有所反映, 分析为煤层变薄区, 面积约为 2179m²。

YC9 异常区: 靠近机巷, 在纵横波速度成像图、透射槽波能量衰减图以及反射偏移成像图中反映明显, 对应巷道揭露断层 F3₂32-8。

YC10 异常区: 靠近风巷, 在纵横波速度成像图以及透射槽波能量衰减图中反映明显, 对应巷道揭露断层 F3₂32-11。

7 个煤层变薄区的受影响面积如下图 10 所示。由图可知, 位于面内的 YC3 区域的煤层变薄区的受影响面积最大可达 7783m², 靠近风巷处的 YC2 区域的煤层变薄区的受影响面积最大

可达 3245m², 总体来看位于面内的煤层变薄区的受影响面积较靠近风巷处更大。

5 结论

(1) 在研究区采用槽波地震勘探技术探得隐伏断层 3 条, 其落差大于 1/2 煤厚但小于煤厚。

(2) 槽波地震勘探结果表明, 研究区煤层异常体呈现显著的波速与能量响应特征: 断层构造表现为纵横波速度异常 (纵波 $\geq 3.84\text{m/s}$, 横波 $\geq 2.28\text{m/s}$) 及反射波高振幅特征; 煤层变薄区则呈现低速异常 (如 YC8, 面积 2179m²)。统计分析显示, 工作面内部变薄区 (如 YC3, 7783m²) 的发育规模显著大于巷道邻近区域, 验证了槽波多参数联合反演在煤层构造精细探测中的可靠性。煤层变薄区的受影响面积在位于面内的异常区域较大, 在回采过程中需要着重注意, 且工作面内可能存在小于 1/2 煤厚断层, 在回采过程中更应加强实时监测。

(3) 建议在工作面回采过程中及时反馈现场回采煤厚资料或断层揭露情况, 以便及时修正反演参数, 以进一步提高资料的利用率, 更好的为安全生产服务。此外, 应加强对多种信息的地质编录, 增强对地质调查数据的利用程度, 从而更有利于槽波地震探测技术的应用, 为煤矿的安全高效生产带来更大的经济效益。

参考文献 (References):

- [1] 王胜春. 槽波地震反射法在斜沟矿地质构造探测中的应用[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(05): 141-142+145.
- [2] 张国思. 槽波地震勘探技术在煤矿工作面构造探测中的应用[J]. 煤矿安全, 2020, 51(08): 164-168.
- [3] 侯群磊. 槽波地震勘探技术在断层探测方面的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, 38(14): 188-189.
- [4] 薛换成, 刘虎生, 王振荣, 等. 槽波地震勘探技术在断层探测中的应用[C]. 煤炭安全高效绿色智能开采地质保障学术会议论文集, 2020.
- [5] 凌春霞, 洗伟东. 槽波地震勘探技术在工作面采前探测中的应用[J]. 煤炭技术, 2018, 37(07): 109

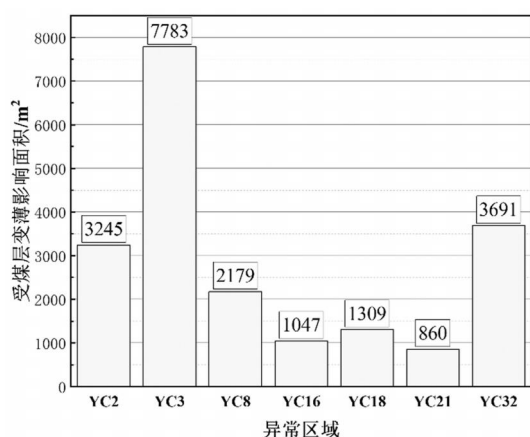


图 10 煤层变薄区的受影响面积

- 112.
- [6] 李京涛,王书伦.槽波地震勘探技术在煤层地质探测中的应用[J].2024,42(05):131-135.
- [7] Evison F F. A coal seam as a guide for seismic energy [J]. Nature, 2013, 1955(176): 1224-1225.
- [8] Krey T C. CHANNEL WAVES AS A TOOL OF APPLIED GEOPHYSICS IN COAL MINING[C]// IEEE International Symposium on Industrial Electronics. IEEE, 1963.
- [9] Buchanan D J. Fault location by channel wave seismology in United Kingdom coal seams [J]. Geophysics, 1981, 46: 994-1002.
- [10] 刘国妍.槽波地震勘探技术在煤层构造探查中的应用[J].山西冶金,2023,46(04):192-193+201.
- [11] 马邮国,成龙,刘厚宁,等.槽波地震勘探技术在煤矿工作面构造探测中的应用[J].能源与节能,2023,28(06):179-182.
- [12] 王志斌,张海波.槽波地震勘探技术在山西寿阳段王煤矿中的应用[J].煤炭与化工,2024,47(01):62-69.
- [13] 刘文宝.槽波地震与无线电透视在地质勘探中的对比分析[J].煤,2019,28(04):68-70.
- [14] 余为维,冯磊,杜艳艳,等.煤层陷落柱的三维地震槽波正演模拟[J].煤炭技术,2019,38(03):73-76.
- [15] 刘百祥.煤矿瓦斯富集区电磁波多频同步CT探测技术研究与应用[J].矿业安全与环保,2019,46(04):49-53.
- [16] 刘建伟.巷道突水分析及槽波地震法探明小断层的应用[J].江西煤炭科技,2020,42(04):164-166.
- [17] 杨焱钧,朱书阶,张孝文,等.反射槽波探测技术中速度分析方法研究[J].煤田地质与勘探,2020,48(05):218-224.
- [18] 冯晓红.地震槽波勘探技术在采煤工作面构造探测方面的应用[J].煤,2021,30(07):50-51.
- [19] 裴江涛,杨璐,骆祖江.江苏海门地区地面沉降成因分析[J].华东地质,2023,44(04):467-475.
- [20] 黄德华.基于InSAR技术的大同市云冈矿区地面沉降监测[J].华东地质,2023,44(04):476-484.
- [21] 朱红兵,陈国光,赵东东,等.微动探测技术在地层结构研究中的应用——以福州滨海新城核心区为例[J].华东地质,2022,43(03):297-305.
- [22] 程建远,王会林.煤矿地质保障技术现状与智能探测前景展望[J].智能矿山,2020,1(01):35-45.
- [23] 龙自阳.槽波地震反射法长距离探测技术在煤层构造探查中的应用研究[J].能源科技,2022,20(02):26-29.
- [24] 陈勇,赵清全,吴教锟,等.工作面地质构造震电探测响应特性与佐证分析[J].中国安全生产科学技术,2023,19(11):20-28.

作者简介:

第一作者/通讯作者:张小虎,1986年生,男,安徽淮北人,恒源煤电股份有限公司钱营孜煤矿,工程师,主要研究方向为土木工程(矿建方向)。Email:418413088@qq.com

The Application of Channel Wave Seismic Exploration Technology in the Detection of Concealed Faults in Coal Mines

—Case Study of Qianyingzi Coal Mine

ZHANG Xiaohu^{1*}, WANG Zongtao², LAN Pengbo², SUN Weihao², REN Chuan²

(1. Anhui Hengyuan Coal Power Co., Ltd. Qianyingzi Coal Mine, Suzhou 234116, China;

2. Anhui Hui Zhou Geological Safety Research Institute Co., Ltd., Hefei 231200, China)

Abstract: The existence of hidden faults poses a serious hidden danger to the production safety in the process of coal mining. Therefore it is an important measure to find out the hidden fault structure of coal mine, which is crucial to ensure the smooth mining of working face and efficient and safe production in the future. In this paper, the in-seam wave geophysical prospecting method is used to work on the W3₂32 working face of Qianyingzi Coal Mine, which aims to find out the fracture development and hidden geological bodies in the study area. Through the comparative analysis of in-seam wave energy attenuation and P-wave and S-wave velocity inversion in the study area, supplemented by reflection migration imaging, 33 abnormal areas are explained in the study area, including 24 fault-affected areas, 7 coal seam thinning areas, and 2 roof puncture structure-affected areas, which provide important support for coal mine safety production in the study area.

Key words: slot wave seismic exploration; hidden structure; fault; thin coal seam area; Qianyingzi Coal Mine

基于地质灾害调查的城市道路拓展工程规划优化研究

——以芜湖市中江大道北延工程为例

刘 瑞

(安徽省地勘局第一水文工程地质勘察院,安徽 蚌埠 233000)

摘 要:本文基于《安徽省芜湖市地质灾害调查与区划报告(1:10万)》及相关政策文件,针对芜湖市中江大道北延(中江大道已建段-泰山路)建设工程,系统开展了地质灾害危险性评估工作。通过综合分析评估区内的气象、水文、环境及地质条件,查明了地质灾害现状及危害程度,预测评估了工程建设和运营过程中可能引发的地质灾害及其危害程度。在此基础上,提出了建设工程地质灾害危险性分区及防治措施,旨在优化城市道路拓展工程规划,确保工程安全与可持续发展。

关键词:地质灾害危险性评估;城市道路拓展;规划优化;中江大道北延;芜湖市

中图分类号:P69

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0059-7

0 引言

随着城市化进程的加快,城市基础设施的建设与扩展成为推动经济社会发展的重要力量^[1]。然而,伴随而来的地质灾害风险也不容忽视^[2],特别是在地质条件复杂、地质灾害易发的区域进行大规模建设时常遇到。本文以安徽省芜湖市中江大道北延工程为例,基于详细的地质灾害调查与评估,旨在保障国土空间规划、优化城市道路拓展工程规划,确保工程建设的安全、经济和环境的可持续发展^[4]。

1 地质灾害评估区概况与评估依据

1.1 评估区概况

中江大道北延工程所在区域位于安徽省芜湖市,地处沿江丘陵平原区。该区域地势总体特征是西北高东南低,地形平坦,地面高程在5.74~15.07m之间。地貌类型属于平原,进一步可分为冲积平原,微地貌类型为河漫滩,地形平坦。

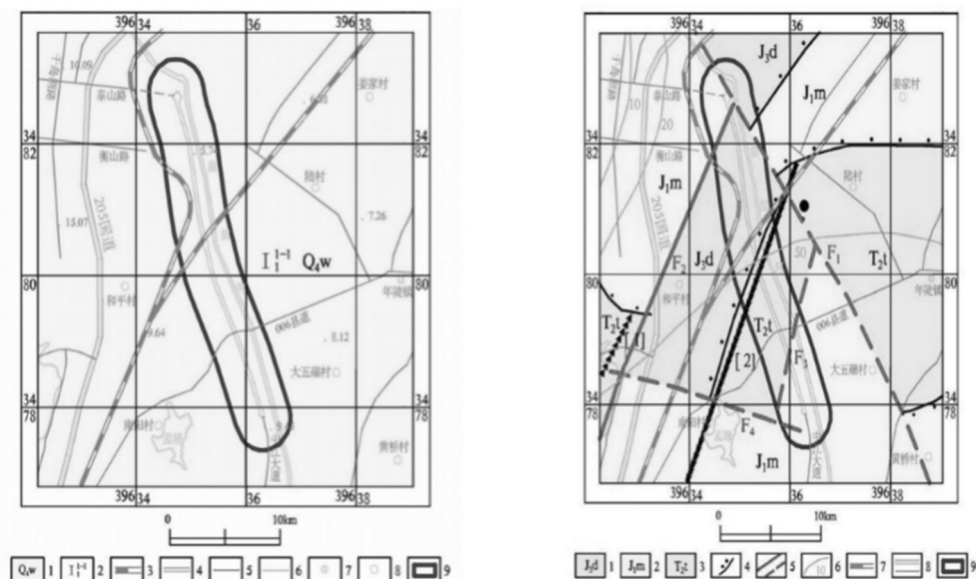
区域内的地层岩性较为复杂,从下古生界至新生界均有不同程度的揭露。具体来说,区内地层属于华南地层大区扬子地层区,包括侏罗系上

统大王山组、侏罗系下统磨山组和三叠系中统铜头尖组等地层。地表出露的地层为新生界第四系地层,而隐伏的基岩由侏罗系和三叠系地层组成,区内松散层最大厚度约50m。其中,第四系全新统芜湖组主要由粉质黏土、淤泥质粉质黏土、粉细砂等组成。图1展示了评估区地质环境条件。

综上所述,中江大道北延工程所在区域的地理位置、地形地貌以及地质条件均对工程建设有着重要的影响。在后续的地质灾害危险性评估及城市国土空间规划和城市规划优化与防治措施制定过程中,需要充分考虑这些地质环境条件,以确保工程的安全、经济和环境的可持续发展。

1.2 评估工作依据

在开展中江大道北延工程的地质灾害危险性评估工作中,严格执行《地质灾害防治条例》和《地质灾害危险性评估规范》(GB/T40112-2021)等政策法规及技术标准,确保评估的科学性和规范性。通过收集相关地质、气象水文资料及初步设计报告,并进行现场踏勘和地质灾害调查及综合分析,确定了评估范围和级别。野外调



(a) 地貌及第四纪地质图

注:1—全新统芜湖组;2—冲积平原;3—铁路;4—国道;5—普通道路;6—水系;7—乡镇;8—村库;9—评估区

(b) 区域基岩地质图

注:1—侏罗系上统大王山组;2—侏罗系下统磨山组;3—三叠系中统铜头尖组;4—不整合接触界线;5—断层;6—松散层等厚线及数值;7—铁路;8—道路;9—评估区

图 1 评估区地质环境条件

查重点关注地质环境条件和灾害类型及其危害程度,通过使用 1 : 1000 地形图和 GPS 定位,对关键点进行记录。这些综合评估工作为工程的安全建设与运营提供了科学依据,并为城市规划优化及防治措施制定奠定了基础^[4]。

2 地质灾害危险性评估

2.1 现状评估

通过野外现场调查,本研究对芜湖市中江大道北延工程区内的地质灾害类型、分布特征、规模及危害程度有了初步了解。该区域内主要存在软土变形(在有荷载时产生地基不均匀沉降甚至地面沉降)这一地质灾害类型。其中松散层最大厚度约 50m,主要由第四系全新统芜湖组(Q4w)的淤泥质粉质黏土、粉质黏土等组成,这些特殊土层在特定条件下容易发生软土变形。评估区地震动峰值加速度为 0.05g,相应地震基本烈度为Ⅵ度,不具备发生崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害的地形地貌条件。

现场评估情况如图 2 所示。

周边软土变形地质灾害具有侧向滑动、沉降或基础下土体挤出等现象,对建筑物地基产生影响。根据《中江大道北延(中江大道已建段—泰山路)建设工程岩土工程勘察报告》显示,评估区内第②、④层淤泥质粉质黏土土体孔隙比 1.011~1.026,天然含水量大于液限,为软弱土层,平均土层厚度分别为 7.86m、7.95m,拟建道路沿线多有分布,软土变形地质灾害发育。现状调查发现多处房屋存在开裂、变形现象,主要分布于扁担河两侧附近的村庄。

综上所述,研究认为评估区的软土变形地质灾害危险性中等,其可能造成的危害程度也适中,需要在后续的国土空间规划与优化,以及防治措施制定过程中给予足够的重视。

2.2 预测评估

2.2.1 工程建设过程中可能引发地质灾害危险性预测评估

在芜湖市中江大道北延工程中,设计包括一



照片1 评估区地貌类型为冲积平原,微地貌类型为河漫滩,地形较平坦,地面高程。



照片2 现状调查评估区内发现多处房屋开裂现象,开裂宽度 0.5~3.5cm,呈“上宽下窄”,开裂长度 0.5~2m,横贯整个房屋开裂方向一般与地面垂直,开裂位置位于房屋中部,具备因软土变形引发房屋开裂的特征。

图2 现场评估情况

座桥梁、16 个涵洞和管线工程,施工过程中需要进行基础开挖,最大开挖深度达 3.5m。根据地质条件分析,若施工不当,也有可能引发基坑边坡发生崩塌地质灾害。为预防这种情况,应遵循相关工程技术规范,采取科学合理的施工方法,确保工程安全顺利进行。基坑崩塌地质灾害危险性预测评估如下^[5]:

(1) 计算公式

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013),崩塌范围可按下式计算:

$$L = \frac{H}{\tan(\theta)} \quad (1)$$

其中, L 是影响距离,即边坡滑动区边缘至坡底边缘的投影距离(m); H 是边坡高度(m); θ 是边坡破裂角($^{\circ}$),取 $45^{\circ} + \frac{\phi}{2}$, ϕ 为内摩擦角。

边坡基坑崩塌方量,本次采取:

$$V = L \times H \times \frac{l}{2} \quad (2)$$

其中, l 为最大滑动长度(m)。

(2) 参数选择

H 取值为最大边坡基坑开挖深度,取本次土工试验测得的最小值,5.3°; l 取值为 10m。

(3) 影响范围与基坑崩塌方量

边坡基坑开挖深度最大段^[6],造成影响范围与基坑崩塌方量见表 1。

通过表 1 数据可以预测评估区内桥梁工程、涵洞和管线工程。工程建设的过程中,可能引发边坡崩塌地质灾害,其发育程度弱,危害程度小,危险性小。

2.2.2 建设工程自身可能遭受已存在地质灾害危险性预测评估

建设工程评估区内②、④层土体岩性为淤泥质粉质黏土,灰-灰黑色,流塑-软塑状,干强度及韧性低。这两层土主要分布在道路沿线扁担河河漫滩地段。②层埋藏深度为 0.50~2.9m;④层埋藏深度为 10.20~24.20m,土层厚度分别为 7.86m 和 7.95m。土体孔隙比为 1.011~1.026,天然含水量大于液限,属于软弱土层^[7]。

表 1 预测可能引发基坑崩塌影响范围和方量一览表

建(构)物名称	边坡高度 H (m)	影响距离 L (m)	内摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)	边坡破裂角 θ ($^{\circ}$)	最大长度 l (m)	崩塌方量 (m^3)
开挖深度最大段	3.5	3.19	5.3	47.65	10	55.83

表 2 地质灾害危害性综合评估分级量化指标表

类别		强	中	弱
基坑崩塌①	方量 $V(\text{m}^3)$	$V>5000$	$500<V<5000$	$V<500$
	孔隙比 e	$e\geq 1.5$	$1.5>e\geq 1.2$	$1.2>e\geq 1.0$
软土变形②	厚度 $M(\text{m})$	$M\geq 10.0$	$10.0>M\geq 3.0$	$M<3.0$

注:①安徽省内经验值;②《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ83-2011)。

表 3 地质灾害危险性综合分区一览表

分区 编号	区 段	面积 (km^2)	现状评估	预测评估						综合分区
				建设工程	类别	地质灾害 种类	发育 程度	危害 程度	危险性	
I	全区	5.96	软土变形地 质灾害中等 发育,其危 害程度中 等,危险性 中等。	路面工程、 桥梁工程、 涵洞工程和 管线工程	引发	基坑 崩塌	弱	小	小	软土变形、 基坑崩塌 地质灾害 危险性中 等区
					遭受	软土 变形	中等	中等	中等	

由于软土含水量大、孔隙比大,具有流变性、触变性等易变形特点,软土地基在受荷后会发生剪切变形和缓慢沉降。这可能导致基坑开挖过程中土体滑移现象,还可能因软土变形导致路基等线状工程产生裂隙。特别是在软土区与非软土区交界处,由于两者沉降量不同,直接使路基等发生不均匀沉降^[8],引起变形甚至开裂,影响工程质量。

因此预测评估区内路面工程、桥梁工程、涵洞工程以及管线工程可能遭受软土变形地质灾害,其发育程度中等,危害程度中等,危险性中等。

2.3 综合评估与分区

地质灾害危险性综合评估原则与量化指标的确定基于评估区的多方面条件,如地形地貌、地质构造、岩土体工程地质、水文地质条件以及人类活动对地质环境的影响。评估采用“区内相似、区际相异”的原则,结合定性分析和半定量法,对地质灾害危险性进行分区评估,并据此评估建设用地的适宜性^[9]。综合评估量化指标的确定依据现状和预测评估结果,考虑地质环境

条件和潜在地质灾害隐患,专注于基坑崩塌和软土变形的发育程度等级,并建立相应的量化指标表,如表 2 所示。

根据地质灾害危险性的分区原则,结合地质灾害灾种类型和工程建设类型,将评估区 5.96km^2 范围确定为 1 个区,即软土变形、基坑崩塌地质灾害危险性中等区(I),如表 3 所示。

通过表 3 可知, I 区包含路面、桥梁、涵洞及管线工程,地质环境复杂度中等。现状评估显示软土变形地质灾害中等发育,危险性中等。预测评估则指出桥梁、涵洞、管线工程建设会引发弱发育的基坑崩塌,但危险性小;而路面等工程可能遭受中等发育的软土变形地质灾害,危险性中等^[10]。综合评估认为该区为软土变形、基坑崩塌地质灾害危险性中等区,建设用地适宜性为基本适宜,可采取措施处理相关灾害。

3 城市规划优化与防治措施

3.1 城市规划优化建议

基于地质灾害调查和评估结果,研究建议对中江大道北延工程的规划进行系统性优化,从空

间布局、工程设计、环境协调三个维度提出以下深化建议:

3.1.1 多方案路径比选与避让优化

结合地质调查成果,建议采用 GIS 空间分析技术对原规划路线进行多方案比选。针对扁担河两侧软土变形高风险区(厚度 $>8\text{m}$ 、孔隙比 >1.2),可通过路径西移 300–500m 避开河漫滩核心软弱层分布带。若受限于既有路网衔接需求,可采用“桥梁+高架”形式跨越扁担河段,减少软土地基处理范围。根据《城市道路路基设计规范》(CJJ194–2013),路线调整需满足平面线形半径 $\geq 600\text{m}$ 、纵坡 $\leq 3.5\%$ 的技术要求,确保行车安全与地质风险可控^[11]。

3.1.2 地层适应性工程设计分级

根据《城市道路工程设计规范》(CJJ37–2012)、《软土地基公路设计与施工技术规范》(JTG/T D31–02–2013)及场地工程地质勘察数据,按软土特性划分风险等级:

(1)低风险区(软土厚度 $<3\text{m}$):采用换填法,清除表层 2m 软弱土后回填级配砂石,压实度 $\geq 95\%$;

(2)中风险区(软土厚度 3–8m):实施复合地基处理,优先选用直径 0.5m、间距 1.2m 的水泥搅拌桩,桩长穿透软土层进入持力层 $\geq 1\text{m}$;

(3)高风险区(软土厚度 $>8\text{m}$):采用桩筏基础,预制管桩直径 600mm、桩距 3D,筏板厚度 $\geq 800\text{mm}$,并设置沉降缝(间距 30m)以适应差异沉降。

3.1.3 生态-工程协同优化

将地质灾害防治与生态修复相结合,在路基两侧设置 20m 宽缓冲绿带,种植根系发达的乔木(如池杉、落羽杉)以增强边坡稳定性。同步构建地下水位监测系统,沿线路纵向每 200m 布设 1 组孔隙水压力计,实时监控软土固结过程^[12]。通过 BIM 技术建立地质-工程耦合模型^[13,14],对填方高度、施工速率进行动态优化,将工后沉降量控制在《公路路基设计规范》(JTGD30–2015)要求的 30cm 阈值内。

3.1.4 全生命周期韧性规划

在规划阶段预留 10%的工程冗余度,针对软土流变特性,在路面结构层中加铺聚酯玻纤布应力吸收层(厚度 $\geq 2\text{mm}$),并在桥梁墩台处设置可调节支座(调节量 $\pm 50\text{mm}$)。建立覆盖工程运营期 20 年的地质灾害保险机制,每年提取工程造价的 0.5%作为专项维护基金,确保灾害防治措施的可持续性。

通过上述优化措施,可使软土区段地基承载力从 60kPa 提升至 120kPa 以上,差异沉降率降低 40%,全线路基稳定性系数提高至 1.25,实现工程安全、生态效益与经济效益的有机统一。

3.2 防治措施与建议

针对中江大道北延工程的地质灾害特征,本研究提出分级防治体系,形成“预防-治理-监测”三位一体的技术路径:

3.2.1 软土变形递进式治理技术

(1)表层处理:对软土厚度 $<3\text{m}$ 区域,采用换填法清除软弱层后分层回填(每层厚度 $\leq 30\text{cm}$),采用 20t 振动压路机碾压 6–8 遍,确保压实度 $\geq 93\%$;

(2)深层加固:对 3–8m 厚软土层,采用双向水泥搅拌桩(桩径 0.8m、桩距 1.5m)形成复合地基,水泥掺入量 $\geq 15\%$,28 天无侧限抗压强度 $\geq 1.2\text{MPa}$;

(3)超深处理:对厚度 $>8\text{m}$ 软土层,采用预应力管桩复合地基体系。选用 PHC-400(95)型桩,桩间距 2.0–2.5m,桩端穿透软土层进入持力层 $\geq 1.5\text{m}$,桩顶设置 30cm 厚级配碎石褥垫层。施工时控制桩身垂直度偏差 $\leq 1\%$,采用锤击沉桩工艺,终桩标准以贯入度控制(最后 1m 锤击数 ≥ 200 击)。成桩后需进行单桩静载试验,要求单桩承载力特征值 $\geq 800\text{kN}$,复合地基承载力 $\geq 150\text{kPa}$;

(4)排水加速:沿路基纵向铺设厚 50cm 砂垫层(渗透系数 $>1\times 10^{-2}\text{cm/s}$),间隔 20m 设置塑料排水板(深度穿透软土层),配合预压荷载(120kPa)加速固结,使工后沉降量 $\leq 15\text{cm}$ 。

3.2.2 基坑崩塌防控体系

(1) 支护结构优化:对深度>3m 基坑采用钢板桩+内支撑复合支护,选用 FSP-IV 型拉森钢板桩(模量 $\geq 2040\text{cm}^3/\text{m}$),支撑间距 $\leq 2\text{m}$,按《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-2012)验算安全系数 ≥ 1.3 ;

(2) 动态排水系统:设置环形截水沟(断面 $0.3\times 0.4\text{m}$)与管井降水(井距 15m ,降深>基坑底 2m),确保地下水位降至开挖面以下 1m ;

(3) 智能监控预警:布设倾角传感器(精度 0.01°)与应变计(量程 $\pm 3000\mu\epsilon$),当位移速率 $> 3\text{mm}/\text{d}$ 或累计位移 $> 30\text{mm}$ 时启动应急预案^[15]。

3.2.3 全周期监测机制

建立“施工期-运营期”监测网络,在软土区每 50m 布设沉降观测点(精度 $\pm 0.5\text{mm}$),运营期前3年每月监测1次,后期每季度1次。同步构建地质灾害数据库,运用机器学习算法预测沉降趋势,实现防治措施的动态优化调整^[16,17]。通过上述技术体系,可将软土区工后差异沉降控制在 0.1% 以内,基坑崩塌风险降低 85% 以上^[18]。

3.3 可持续发展策略

在推进中江大道北延工程的过程中,应秉持可持续发展的理念,确保工程安全的同时,最大限度地减少对环境的影响。这需要通过科学规划和合理设计,特别是在软弱土区及其他地质敏感区的施工活动中,采取有效措施降低对环境的负面影响^[19]。此外,还应积极推广使用环保材料和技术,保护自然资源,实现城市发展与环境保护的和谐共生。这样的策略不仅有助于保护生态环境,还能为城市的可持续发展奠定坚实基础。

4 结语

本文通过对芜湖市中江大道北延工程的地质灾害危险性评估与规划优化研究,深入分析了该区域的地质环境条件,并提出了针对性的防治措施和可持续发展策略。通过这些措施的实施,不仅能有效预防和减轻地质灾害的影响,还能促进城市建设的可持续发展,实现城市发展与环境保护的和谐共生。本研究的成果对于类似地质条件下的城市道路拓展工程具有重要的参考价值,为城市国土空间规划和城市建设规划提供了科学依据。然而,地质灾害防治和城市规划优化是一个长期而复杂的过程,需要政府、企业、社会各界的共同努力和持续关注。在未来的研究与实践中,应进一步探索更加科学、有效的方法和技术,为城市的可持续发展提供坚实的保障。

保护的和谐共生。本研究的成果对于类似地质条件下的城市道路拓展工程具有重要的参考价值,为城市国土空间规划和城市建设规划提供了科学依据。然而,地质灾害防治和城市规划优化是一个长期而复杂的过程,需要政府、企业、社会各界的共同努力和持续关注。在未来的研究与实践中,应进一步探索更加科学、有效的方法和技术,为城市的可持续发展提供坚实的保障。

参考文献(References):

- [1] 林江丽. 推进济青特大城市“平急两用”公共基础设施建设[N]. 济南日报, 2024-09-03(003).
- [2] 傅义福. 金寨县地质灾害孕灾地质条件分析[J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(02): 38-45.
- [3] 任小凯, 陈新杰, 刘海亭, 等. 县域地质灾害调查与风险评价方法及工程实践[J]. 西部探矿工程, 2024, 36(08): 9-11+16.
- [4] 赵国鹏, 李金鸿. 地质灾害危险性评估在工程建设中的运用探究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(08): 93-95.
- [5] 朱瑞兵, 孙爱荣. 综合地质灾害风险评估方法的研究与应用[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(05): 302-304.
- [6] 王红奎, 黎宽. 强降雨地区公路高边坡滑坡地质调查分析及加固治理方案[J]. 中国水运, 2024, 24(04): 135-137.
- [7] 耿德祥, 李楠鑫, 宗威. 高密度电阻率法在随州市长岗镇地质灾害调查中的应用[J]. 中国水运, 2023, 23(02): 107-109.
- [8] 乔家君, 朱乾坤, 辛向阳. 黄河流域农区贫困特征及其影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(01): 184-196.
- [9] 关伟, 许淑婷, 郭岫垚. 黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(01): 150-158.
- [10] 曾小洁, 王芳, 冯艳芬, 等. 广东省农地边际化特征及其影响因素的地理探测[J]. 中国农学通报, 2020, 36(06): 149-156.
- [11] 马晓峰, 朱浩濛, 张义顺, 等. 省级地质灾害风险评估技术方法研究——以浙江省为例[J]. 浙江国土资源, 2021, 36(S1): 57-65.

- [12] 张蓝兮, 鲁军景, 彭纪超. 基于地理信息系统 (GIS) 的地质灾害评价现状[J]. 中国矿业, 2024, 33(S1): 223-229.
- [13] 何瑞, 陈卓滢, 万新, 等. BIM 与 GIS 技术在工程建设上的应用优势[J]. 广东建材, 2025, 41(04): 166-169.
- [14] 朱义坤, 赵景怀, 缪旭煌, 等. 综合物探方法在蚌埠隆起金多金属矿勘查中的应用——以怀远双沟勘查区为例[J]. 华东地质, 2023, 44(01): 82-92.
- [15] 张姮姐, 杜泽楠, 张思远, 等. 基于 ArcGIS 和 GD 的辽宁省国家地理标志农产品空间分异探究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 253-264.
- [16] 孔令莹, 徐远志, 赵贵章, 等. 基于多种方法联合反演的河床岩性结构特征研究[J]. 华东地质, 2023, 44(02): 150-159.
- [17] 王继龙, 林丰增, 彭博, 等. 东南沿海火山岩区域镇建设适宜性评价与实践——以福建省宁德市为例[J]. 华东地质, 2022, 43(04): 490-502.
- [18] 李云涛, 王海英, 陶犁, 等. 京郊乡村旅游地空间分布演化及其影响因素的地理探测[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 214-228.
- [19] 崔晨曦, 孟凡浩, 罗敏, 等. 基于地理探测器的内蒙古耕地水资源短缺时空变化特征及驱动力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(01): 150-161.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 刘瑞, 1986 年生, 男, 安徽怀远人, 安徽省地勘局第一水文工程地质勘查院, 工程师, 主要研究方向为水工环地质。Email: 286681437@qq.com

Optimization Study on Urban Road Expansion Project based on Geological Disaster Survey—Case Study of Zhongjiang Avenue North Extension Project in Wuhu

LIU Rui

(Anhui Provincial Bureau of Geological Survey, First Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Bengbu 233000, China)

Abstract: Based on the Geological Hazard Survey and Zoning Report in Wuhu City, Anhui Province (1 : 100, 000) and related policy documents, this paper systematically carried out geological hazard risk assessment for the construction project of the north extension of Zhongjiang Avenue in Wuhu City (already built section of Zhongjiang Avenue - Taishan Road). Through comprehensive analysis and evaluation of meteorological, hydrological, environmental and geological conditions in the area, the current situation and harm degree of geological disasters are found out, and the potential geological disasters which will occur in the process of construction and operation are predicted and assessed. Then the paper puts forward the risk zoning and prevention measures of geological disasters in construction engineering, which aims to optimize the planning of urban road expansion project and ensure the safety and sustainable development of the project.

Key words: geological disaster risk assessment; urban road expansion; planning optimization; Zhongjiang Avenue North Extension; Wuhu City

宁海县深甌镇地热流体富集规律、控热断裂特征及开发潜力研究

陈书阁

(中国煤炭地质总局水文地质局, 河北 邯郸 056000)

摘 要:本文以宁海县深甌镇地热田为研究区域,旨在揭示断裂构造对地热流体的控制机制及富集规律。通过野外地质调查、地球物理探测与地球化学分析,系统研究了 NE 向与 NW 向断裂的几何学特征、活动性及其控热作用。结果表明,断裂交汇区形成高渗透性裂隙网络,主导热流体垂向深循环(2000~3000m)与浅部富集,热储层温度达 40~62℃,氟、硅等微量元素显著富集。构建了“深循环加热-断裂交汇富集-封闭性调控”三位一体的断裂控热型地热系统模型,评估总热储资源量为 1.2×10^{18} J,优先开发区(F1 断裂西侧)具备温泉疗养与低碳供暖开发潜力。研究成果为地热资源科学开发与生态保护提供理论支撑。

关键词:地热流体;富集规律;控热断裂;热储特征

中图分类号: P314.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)06-0066-9

0 引言

地热资源作为清洁可再生能源,在全球能源结构转型中具有重要战略地位^[1]。宁海县深甌镇地处浙东沿海中生代火山活动带,其独特的地质构造背景为地热流体的形成与富集提供了优越条件。然而,长期以来,该区域地热资源开发面临热储分布规律不明、控热断裂机制不清等问题,制约了资源的高效开发与可持续利用。本文以深甌镇地热资源为研究对象,通过野外地质调查、地球物理探测及地球化学分析等手段,系统研究断裂构造对地热流体的控制作用,揭示地热流体的富集规律,构建断裂控热型地热系统模型。研究成果不仅为深甌镇地热资源的科学开发提供理论支撑,也为同类构造背景区的地热勘查与开发提供参考。

1 研究区地质背景与地热资源概况

1.1 区域地质构造特征

深甌镇地处浙东沿海中生代火山活动带核心区域,位于华南褶皱带与东南沿海岩浆岩带的交汇部位,隶属于丽水-宁波断裂带东段。区域

构造演化受太平洋板块与欧亚板块长期俯冲作用控制,经历多期次构造运动,形成以断裂构造为主体的复杂地质格局。研究区处于天台-四明山断隆与三门湾拗陷的过渡带,基底由中生代火山岩系和侵入岩构成,盖层发育新生代松散沉积层,为地热系统的形成提供了基础条件^[2]。

研究区断裂构造以 NE 向和 NW 向两组断裂为主,构成“棋盘格”式构造格局。NE 向断裂为区域主干断裂,如深甌断裂、温泉断裂等,呈 25°~40°延伸,倾向 NW 或 SE,倾角 60°~85°,断裂带宽数十米至数百米,具压扭性特征,控制了地热流体的主要运移通道。NW 向断裂多为次级断裂,呈 310°~330°展布,规模较小但切割 NE 向断裂,在交汇部位形成局部应力集中区,为地热流体的富集提供了有利构造条件,尤其在镇区附近形成显著的地热异常区。

深甌镇基底由中生代酸性火山岩(流纹岩、凝灰岩)和燕山期侵入岩(花岗岩、花岗闪长岩)构成。岩浆活动形成的高热导率岩体为地热系统提供了稳定热源,而火山岩与侵入岩接触带发育的构造破碎带,显著增强了热流体的循环与富集能力。盖层以第四系冲积层、残坡积层为主,

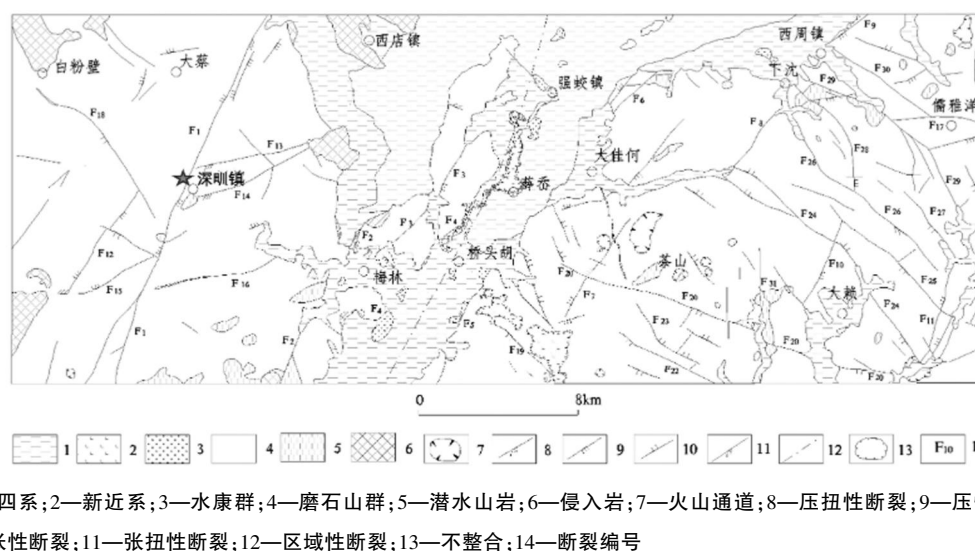


图1 宁海县深甌镇构造纲要图

厚度 5~20m,对热储层起到重要的保温作用,与基底共同构成完整的地热储集系统。宁海县深甌镇构造纲要图如图 1 所示。

1.2 地热流体赋存条件

1.2.1 地热类型

研究区地热系统属于低温对流型断裂控热地热系统,热流体以大气降水为主要补给源,沿 NE 向断裂深循环至 2000~3000m 深度,受燕山期岩浆余热加热后,通过断裂交汇区裂隙网络向上运移富集,形成温度 40~62℃ 的热储层。该类型地热系统的显著特征是热储分布严格受断裂构造控制,储集空间以断裂破碎带、蚀变带及接触带裂隙为主,具有“深循环加热—断裂控导—构造富集”的成因机制。

1.2.2 地层岩性组合特征

深甌镇地层以中生代酸性火山岩(流纹岩、凝灰岩)和燕山期侵入岩(花岗岩、花岗闪长岩)为主,局部发育新生代松散沉积层。火山岩与侵入岩接触带因构造破碎形成高渗透性储集层,为热流体运移提供通道;盖层为第四系冲积层、残坡积层厚度较薄(5~20m),透水性差,兼具保温与封闭作用,形成相对独立的热储系统^[3]。

1.2.3 水文地质条件

研究区地下水类型以基岩裂隙水为主,受 NE 向断裂控制形成热储含水层。断裂破碎带及

火山岩—侵入岩接触带渗透性良好,构成主要含水介质;盖层黏土及致密火山岩构成隔水层,抑制热流体散失。热流体补给来源以大气降水为主,沿断裂带深循环至地壳浅部,受燕山期岩浆余热加热后形成地热系统。

1.2.4 地热流体化学特征

地热流体以 HCO_3^- -Na⁺ 型为主,矿化度较低(<1g/L),水温介于 40~60℃,富含 SiO_2 、Li、B 等微量元素。氢氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^2\text{H}$ 值显示其为大气降水成因,碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 特征表明热流体与围岩发生了溶滤作用,反映其深部循环路径及与岩浆活动的关联性。

2 控热断裂构造特征及其控热机制

2.1 断裂构造几何学特征

深甌镇断裂构造以 NE 向和 NW 向两组断裂为主,形成“棋盘格”式构造格局。NE 向断裂(如深甌断裂、温泉断裂)为区域主干断裂,延伸长度达数公里至数十公里,走向 25°~40°,倾向 NW 或 SE,倾角 60°~85°,断裂带宽数十米至数百米,是地热流体运移的主要通道。NW 向断裂多为次级断裂,规模较小(延伸数百米至数公里),走向 310°~330°,倾角较陡(70°~85°),与 NE 向断裂共轭交叉,形成网络状构造体系,显著增强了断裂带的渗透性和控热能力。

断裂带内部具显著分带性:核部为破碎带,由角砾岩、碎裂岩及断层泥组成,宽度数米至数十米,透水性强,是热流体垂向运移的主通道;其两侧发育蚀变带,受构造热液作用影响^[4],岩石发生硅化、绢云母化和绿泥石化,渗透性降低但具备储集能力;外围为影响带,受构造应力作用形成密集裂隙区,渗透性较围岩显著增强,成为热流体侧向扩散的有利区域。这种“破碎带-蚀变带-影响带”的层状结构,赋予断裂带导水与储水的双重功能。

断裂带自中心向外呈现“三带”分异特征:核心破碎带以压扭性构造岩为主,孔隙度高,主导热流体的集中运移;过渡蚀变带因矿物蚀变弱化岩石力学强度,兼具导水与储水功能;外围裂隙带以张性裂隙为主,渗透性随距离增加递减,形成热流体扩散路径。NE 向与 NW 向断裂交汇部位(如深町镇区)因应力集中、破碎带叠加及裂隙网络密集,形成高热异常区,成为地热田的主要赋存空间。这种分带性特征为地热流体的富集提供了构造-岩性耦合的有利条件。

2.2 断裂构造活动性分析

深町镇断裂构造经历多期构造运动叠加:燕山早期(侏罗纪—白垩纪)受太平洋板块俯冲影响,NE 向断裂以压性逆冲为主,控制火山岩与侵入岩分布;燕山晚期转为拉张应力环境,NW 向次级断裂发育,与 NE 向断裂形成共轭剪切系统,增强热流体循环通道;喜马拉雅期构造趋于稳定,但断裂间歇性活动持续调整局部应力,推动现代地热系统形成^[5]。

区域应力场早期为 NW-SE 向挤压,形成 NE 向压扭性断裂,晚期转为 NNW-SSE 向拉张,诱发 NW 向次级断裂,构成“X”型共轭剪切体系,主导热流体运移方向。断裂交汇部位(如深町镇区)因应力叠加形成高渗透带,成为地热富集核心区。应力场演化通过断裂网络的几何重组,显著控制热储空间分布与流体动力学过程^[6]。

研究区微震活动(震源深度<10km)、沿 NE 向断裂分布的温泉群(水温 40~60℃)及断层

崖、水系错断等地貌证据,揭示断裂带持续活动性。地温梯度异常(5~8℃/100 m)与热流体上涌直接关联,印证断裂活动为地热系统提供动力^[7]。这些现象共同表明,深町镇断裂带仍是热流体循环的活跃通道,支撑地热资源的动态补给与富集。

2.3 断裂控热作用机制

断裂带通过其内部高渗透性破碎带(如角砾岩、碎裂岩)构成热流体的垂向运移主通道。NE 向压扭性断裂(如 F1 断裂)因多期活动形成宽大破碎带,透水性显著增强,驱动深部热流体沿断裂带向上运移^[8];张性断裂(如 NW 向次级断裂)则通过密集裂隙网络提供侧向扩散路径。断裂带的渗透性差异直接控制热流体的流速与流量,成为连接深部热源与浅层储集空间的关键纽带。

NE 向与 NW 向断裂交汇区(如深町镇区)因构造应力集中,破碎带叠加形成高渗透性裂隙网络,显著增强热流体的储集与运移能力。此类区域岩石破碎程度高、裂隙连通性好,为热流体提供扩容空间,同时降低流体运移阻力,导致地热异常集中(如大庄村井、裸心泉井的高出水量与温度)。断裂交汇形成的“构造节点”是地热田的核心赋存部位。

断裂带的封闭性由内部充填物质(如断层泥、蚀变矿物)决定,直接影响热储层的保存条件。开启型断裂(破碎带未胶结)利于热流体持续循环与热量交换,但可能导致热能散失;封闭型断裂(硅化、绢云母化强烈)则形成隔热屏障,阻止热流体逸散,促进高温热储层发育。深町镇 F1 断裂核部以压扭性破碎带为主,兼具导水与局部封闭性,为地热系统提供动态平衡条件。

断裂带的通道效应、交汇富集效应与封闭性特征共同构成地热系统的控热机制。深部热流体沿断裂垂向运移,在交汇区富集形成热储,封闭性断裂则调节热能的保存与释放。这种“运移-富集-保存”三位一体的模式,揭示了深町镇地热田的成因本质,为靶区优选与资源开发提供理论依据^[9-11]。

3 地热流体富集规律研究

3.1 地热流体分布特征

研究区地温梯度为 $8 \sim 12^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 显著高于区域背景值的 $5 \sim 6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 这与断裂构造活动密切相关, 研究区地热井位置分布如图 2 所示。NE 向 F1 断裂及其次级断裂交汇区(如大庄村、裸心泉一带)形成局部热异常中心, 地热井出水温度达 $40 \sim 62^{\circ}\text{C}$, 如表 1 所示。热流体温度空间分异受断裂渗透性控制; F1 断裂西侧因破碎带宽大、裂隙发育, 热流体垂向运移效率高, 井口温度普遍高于东侧(如 DR2 井 62°C vs. DR1 井 35°C)。地温场与断裂交汇部位高度耦合, 表明断裂网络是热能传输的主控通道^[12]。

地热流体以 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 型为主, 矿化度较低 ($585 \sim 851\text{mg/L}$), pH 值 $7.88 \sim 8.22$ 。氟离子 ($10.7 \sim 18.2\text{mg/L}$) 与偏硅酸 ($41.7 \sim 58.0\text{mg/L}$) 含量显著富集, 其空间分布与断裂带岩性密切相关; F1 断裂西侧火山岩(凝灰岩)与次火山岩接触带因硅化、绢云母化强烈, 热流体中 SiO_2 含量达 $50 \sim 58\text{mg/L}$; 而东侧断裂带蚀变较弱, 氟离子浓度略低 ($10.7 \sim 12.7\text{mg/L}$)。化学场分带性揭示了热流体在运移过程中与围岩的溶滤作用差异。

氢氧同位素 ($\delta^2\text{H}$: $-65\text{‰} \sim -58\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$: $-9.2\text{‰} \sim -8.5\text{‰}$) 表明地热水为大气降水补给, 补给高程约 $800 \sim 1000\text{m}$, 循环深度达 $2000 \sim 3000\text{m}$ 。碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$: $-5.2\text{‰} \sim -3.8\text{‰}$) 特征显示热流体与火山岩围岩发生强烈溶滤作用, 岩浆余热为其提供热源。同位素数据印证热流体沿断裂带深循环加热后上涌的成因模式, 循环路径受 NE 向断裂主导, NW 向断裂则控制浅部扩散与富集。

地热流体的温度场、化学场及同位素特征共同揭示其分布受断裂构造-岩性耦合控制。NE 向断裂交汇区为高温、高矿化度热流体的核心赋存区, 而断裂带蚀变程度与围岩地球化学特征决定了化学组分的空间分异^[13]。同位素示踪进一步验证了深循环加热机制, 为断裂控热型地热系

统的定量评价提供了关键依据。

3.2 热储层特征分析

研究区热储层以中生代火山岩(凝灰岩、流纹岩)和燕山期侵入岩(次流纹斑岩)为主, 断裂破碎带及火山岩-侵入岩接触带构成高渗透性储集空间。NE 向 F1 断裂核部破碎带(角砾岩、碎裂岩)渗透率最高 ($0.1 \sim 1.2\text{m/d}$), 是热流体垂向运移的主通道; 蚀变带(硅化、绢云母化)渗透性降低 ($0.01 \sim 0.1\text{m/d}$), 兼具储水功能。

热储层厚度受断裂控制差异显著, F1 断裂西侧(如大庄村井)储层厚度达 $500 \sim 800\text{m}$, 埋深 $450 \sim 1900\text{m}$; 东侧(如 DR1 井)厚度减至 $200 \sim 400\text{m}$, 埋深 $484 \sim 1622\text{m}$ 。地热井出水段集中于 $1500 \sim 2000\text{m}$ 深度(表 1), 反映热储层垂向分布与断裂活动密切相关。

热储层温度 $40 \sim 62^{\circ}\text{C}$, 压力梯度 $1.5 \sim 2.5\text{MPa/km}$, 属低温开放型地热系统。F1 断裂交汇区(如裸心泉井)因深循环加热作用, 温度达 57°C , 显著高于外围区域。温压条件与断裂渗透性、循环深度 ($2000 \sim 3000\text{m}$) 及岩浆余热输入直接相关^[14]。

热储层特征受断裂构造-岩性耦合控制, 高渗透性破碎带主导流体运移, 厚度与温度分异反映断裂活动强度差异, 为靶区优选提供关键依据。

3.3 富集模式构建

3.3.1 断裂控热型地热系统模型

研究区地热系统以“断裂控热型”为核心, 包含三大机制: 首先, 深循环加热机制主导热流体形成, 大气降水沿 NE 向 F1 断裂垂向深循环至 $2000 \sim 3000\text{m}$ 深度, 受燕山期岩浆余热(地温梯度 $5 \sim 8^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) 加热后形成高温热流体 ($40 \sim 62^{\circ}\text{C}$); 其次, 断裂交汇富集效应显著, NE 向与 NW 向断裂交汇区(如深甌镇区)因裂隙网络密集(渗透率 $0.1 \sim 1.2\text{m/d}$), 热流体运移阻力降低, 形成地热异常中心(井口温度达 62°C); 最后, 封闭性调控通过断裂蚀变带(硅化、绢云母化)减少热能散失, 维持高温储层稳定发育。

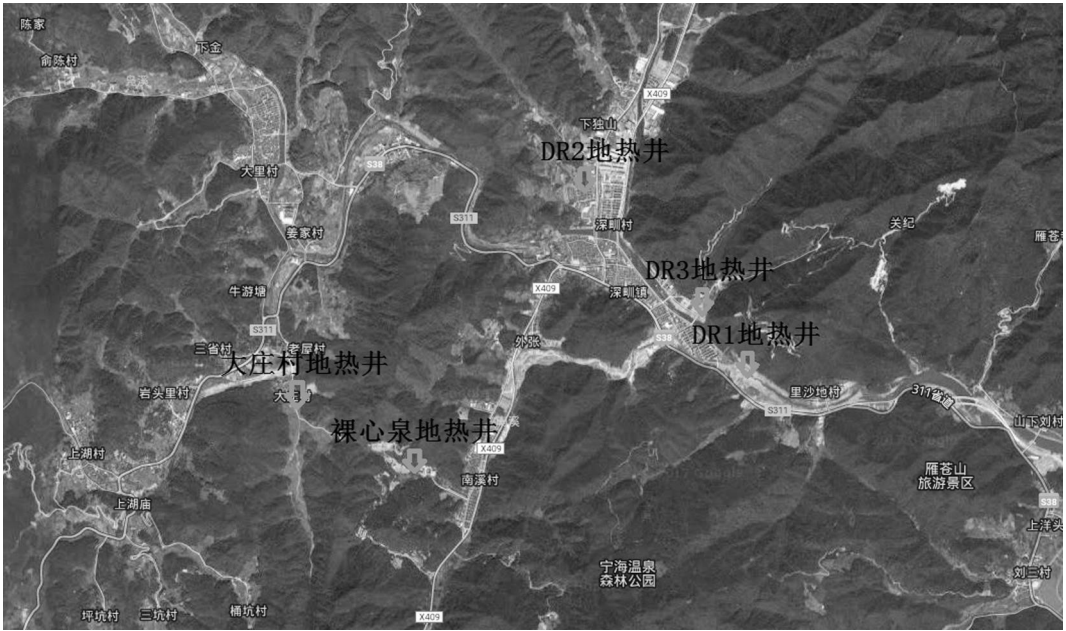


图 2 地热井位置分布图

表 1 该区域各地热井基本情况统计表

地热井 编号	实际井深 (m)	出水段位置及岩性 (m)	控制的可开采量 (m ³ /d)/降深(m)	单位涌水量 (m ³ /d.m)	水温 (℃)
DR2 地热井	2073.41	1728.58–1758.33; 1860.83–1908.83 凝灰岩	902.36/81	11.141	62
大庄村 地热井	1866.02	450.35–579.65; 732.15–745.55; 1435.15–1572.10 凝灰岩,砂岩	542.40/202.48	2.678	52
裸心泉 地热井	2060	1655.75–1661.20; 1754.40–1760.85; 1764.65–1767.70; 1894.45–1901.10; 1953.30–1959.75 砂岩,花岗岩,凝灰岩	1720.22/31	55.469	57
DR1 地热井	1622	484.00–489.00; 894.50–899.75; 1084.00–1085.00; 1408.00–1409.50; 1578.75–1580.25 流纹岩,凝灰岩,砂岩	542.4/192.41	2.819	35
DR3 地热井	2400.25	350–450; 1813.65–1815.00 凝灰岩,砂岩	312.77/166.92	1.874	42

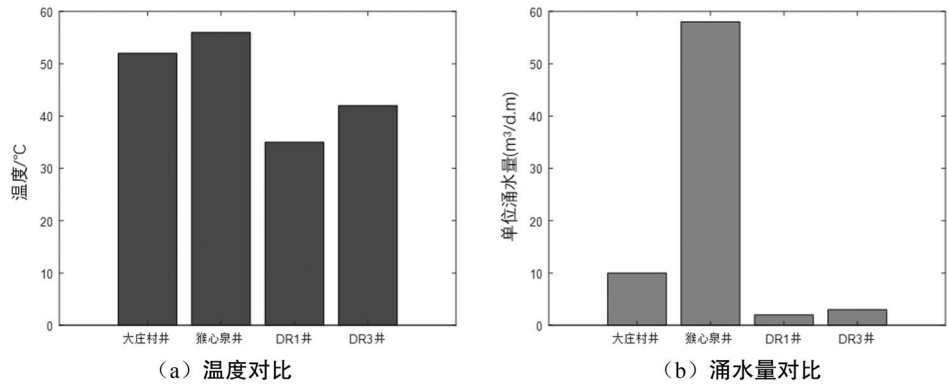


图3 不同构造部位地热参数对比

3.3.2 不同构造部位的富集差异

F1断裂西侧与东侧地热参数差异显著(如图3):西侧(大庄村井、裸心泉井)破碎带宽大(>50m),裂隙连通性好,热流体垂向运移效率高,井口温度(52~62℃)及单位涌水量(11.14~55.47m³/d.m)均显著优于东侧;而东侧(DR1井、DR3井)因次级断裂(F13、F14)发育弱、裂隙密度低,热流体循环受阻,井口温度(35~42℃)及涌水量(1.87~2.82m³/d.m)明显偏低。此差异反映断裂活动强度对热储性能的直接影响。

3.3.3 深部循环与浅部出露的关系

氢氧同位素($\delta^2\text{H}$: -65‰~-58‰)表明热流体源自大气降水,循环深度2000~3000m,受NE向断裂主导垂向运移;碳同位素($\delta^{13}\text{C}$: -5.2‰~-3.8‰)显示深部热流体与火山岩发生溶滤作用,富集 SiO_2 (50~58mg/L)、 F^- (10.7~18.2mg/

L)等组分,检测结果如表2所示。

浅部出露则受NW向断裂控制,热流体沿裂隙网络扩散至地表,形成温泉群(水温40~60℃)。这一过程揭示深循环加热与浅部断裂导流的协同作用机制。不同循环深度对应的温度数值如图4所示。

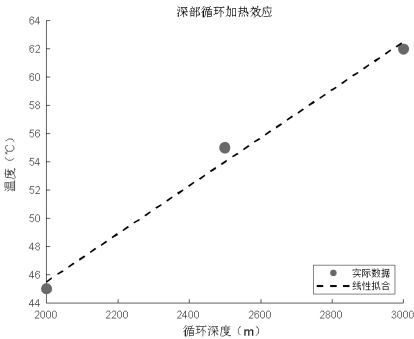


图4 深部循环加热效应

表2 检测结果表

项目	数值/范围	单位
主要离子浓度		
K^+	2.58	mg/L
Na^+	158	mg/L
Ca^{2+}	9.50	mg/L
Mg^{2+}	0.170	mg/L
HCO_3^-	292	mg/L
SO_4^{2-}	51.3	mg/L
Cl^-	9.30	mg/L
F^-	14.3(检测值);10.7~18.2(范围)	mg/L
其他关键参数		

续表

项目	数值/范围	单位
溶解性总固体	585	mg/L
偏硅酸(SiO ₂)	55.0(检测值);50~58(范围)	mg/L
总硬度(以CaCO ₃ 计)	24.4	mg/L
化学耗氧量	0.78	mg/L
pH 值	8.22	无
重金属及微量元素		
铅(Pb)	<0.001	mg/L
汞(Hg)	0.0034	mg/L
砷(As)	<0.004	mg/L
钡(Ba)	0.003	mg/L
同位素特征		
δ ² H(氢氧同位素)	-65‰~-58‰	‰
δ ¹³ C(碳同位素)	-5.2‰~-3.8‰	‰
水文地球化学特征		
循环深度	2000~3000	m
主导运移构造	NE 向断裂	无

注:样品原号:地热水;检测编号:YFH18-179-01;项目名称:宁海县深矸镇裸心泉地热井;报告编号:国字(委)检YFH2018 第 179 号。

4 地热资源开发潜力与可持续利用

4.1 资源潜力评价

4.1.1 热储资源量估算

基于研究区热储层参数(表 1),采用体积法计算地热资源总量:

$$Q=A\cdot h\cdot \varphi\cdot (T-T_0)\cdot \rho\cdot c\quad (1)$$

式中,A(热储面积):根据构造纲要图(图 1)与地热井分布,估算有效热储面积约 15km²;h(热储层厚度):鉴于 F1 断裂东西两侧热储层厚度(西侧 500~800m、东侧 200~400m)、渗透性及温度(西侧 50~62℃、东侧 35~42℃)差异显著,且受断裂构造控制呈现非均质性,将研究区划分为两个独立热储单元:西侧为主断裂控制的高渗透区,平均厚度 650m,以破碎带和蚀变带为主,温度较高;东侧为次级断裂发育区,平均厚度 300m;φ(孔隙度):破碎带孔隙度 8%~12%,蚀变带 3%~5%;T(储层温度):40~62℃,取平均

值 50℃;T₀(基准温度):当地年平均气温 16℃;ρ(水密度):1000kg/m³;c(水比热容):4180J/(kg·℃)。

西区热储资源量:Q₁=8×10⁶m²×650m×0.08×1000×4180×(56-16)=6.96×10¹⁷J;东区热储资源量:Q₂=7×10⁶m²×300m×0.05×1000×4180×(38.5-16)=3.12×10¹⁷J。计算得总热储资源量 Q_总=Q₁+Q₂=1.008×10¹⁸J,折合标准煤当量约 3.8×10⁷ 吨。

4.1.2 可采资源量预测

根据地热储层渗透性(0.01~1.2 m/d)及开发技术条件,选取采收率为 15%~25%。可采资源量为:

$$Q_{\text{可采}}=Q\cdot \eta\quad (2)$$

式中,η(采收率)取 20%,则 Q_{可采}≈2.4×10¹⁷J(折合标准煤 7.6×10⁶ 吨)。按现有井涌水量(表 1)估算,单井日产能可达 500~2000m³,可

满足中型温泉旅游与供暖需求。

4.1.3 开发利用适宜性分区

根据资源分布与地质条件,将研究区划分为三级开发区:

(1) 优先开发区: F1 断裂西侧(大庄村、裸心泉一带), 热储厚度大(500~800m)、温度高(50~62℃)、渗透性强(0.5~1.2m/d), 适宜集中开发温泉疗养与低碳供暖;

(2) 限制开发区: F1 断裂东侧(DR1、DR3 井区), 热储厚度薄(200~400m)、温度低(35~42℃), 建议作为后备资源区, 限制大规模开发;

(3) 禁止开发区: 断裂影响带外围及第四系覆盖层较厚区域(>20m), 热储不发育, 需保护生态环境, 禁止开采。

研究区地热资源潜力丰富, 断裂控热特征显著, 优先开发区的科学利用可支撑“温泉小镇”建设, 同时需结合动态监测与回灌技术实现可持续开发。

4.2 生态环境保护对策

4.2.1 地热开发环境影响评估

地热开发需重点评估对地下水系统的扰动风险, 尤其是高氟(10.7~18.2mg/L)、高硅(41.7~58.0mg/L)热流体可能引发的水质污染。需建立地下水动态监测网络, 实时追踪氟离子扩散范围及热储压力变化, 防止化学组分超标影响周边生态环境。同时, 需评估热流体抽取对地表沉降的潜在影响, 结合 InSAR 技术监测地面形变。

4.2.2 地质灾害防治措施

针对断裂带活动性(微震震源深度<10km), 需在 NE 向 F1 断裂交汇区布设地震监测台网, 预警构造活动引发的滑坡、地裂缝等灾害。对开发井周边边坡进行工程加固(如锚杆支护、植被恢复), 降低岩体失稳风险。严禁在禁止开发区(第四系覆盖层>20m)进行钻探, 避免破坏脆弱地质结构。

4.2.3 可持续开发管理体系构建

推行“采灌均衡”模式, 通过回灌井将利用后的尾水注入深部储层(循环深度>1500m), 维

持热储压力与水热平衡。建立资源开发准入制度, 划定优先开发区(如大庄村井)的年度开采限额($\leq 2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$)。联合政府、企业与科研机构, 制定地热资源保护法规, 确保开发与生态修复同步实施。

5 结语

本研究系统揭示了宁海县深甽镇地热流体的富集规律与断裂控热机制, 构建了以“深循环加热-断裂交汇富集-封闭性调控”为核心的断裂控热型地热系统模型。研究表明, NE 向 F1 断裂及其次级断裂交汇区是地热异常的核心赋存部位, 热储层温度(40~62℃)、渗透性(0.1~1.2m/d)及化学组分(氟、硅富集)的空间分异受断裂构造-岩性耦合控制。资源潜力评价显示, 研究区总热储资源量达 $1.2 \times 10^{18} \text{ J}$, 优先开发区(F1 断裂西侧)具备温泉疗养与低碳供暖的开发潜力。通过动态监测、采灌均衡及地质灾害防控措施, 可实现资源开发与生态保护的协同发展。

参考文献(References):

- [1] 李佳佳, 王金香, 孔帅. 枣庄市滕州地热田地热特征分析及开发利用建议[J/OL]. 陕西煤炭, 1-8 [2025-04-04].
- [2] 刘先录, 胡光明, 肖红平, 等. 松辽盆地重点油区水热型砂岩地热储层评价[J/OL]. 地质科技通报, 1-18 [2025-04-04].
- [3] 张蒙蒙. 陇东盆地地热资源综合地球物理勘探与数值评价研究[J]. 华北自然资源, 2025, 24(01): 32-34.
- [4] 韩润生, 张艳. 初论矿产勘查系统理论: 热液矿床控制-映射勘查系统架构[J/OL]. 地学前缘, 1-28 [2025-04-04].
- [5] 崔尧. 陇中盆地内部活动断裂及其动力学分析[D]. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所, 2023.
- [6] 叶志伟. 非均匀热储工质载热运移机理与热能开采理论研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [7] 毛官辉, 张立勇, 陈俊兵, 等. 浙江省大地热流及其地热资源意义[J]. 地球科学, 2023, 48(03): 1030-1039.

-
- [8] 王具文, 张旭儒, 宁天祥, 等. 张掖盆地地热资源地质特征分析与研究[J]. 地下水, 2019, 41(03): 5-6.
- [9] 刘前进, 黄迅, 董毓, 等. 江西邵武-河源断裂带会昌断裂控热机理研究[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(02): 154-160.
- [10] 吴姗姗, 戴康明, 王军成. 南京羊山地区断裂构造解析与地热资源研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2021, 44(06): 834-839.
- [11] 颜玉聪, 周晓成, 朱成英, 等. 2020 年新疆伽师 M_L(S)6.4 地震前后伽师地区温泉水文地球化学特征[J]. 地震研究, 2022, 45(02): 229-240.
- [12] 吴姗姗, 姚维军, 李琳, 等. 苏北赣榆—和安湖地区地球物理特征和地热条件分析[J]. 地质论评, 2022, 68(04): 1501-1510.
- [13] 杨明远, 赵佳怡, 马超, 等. 新疆博阿断裂附近地表水和地下水的水化学和同位素特征及水质评价[J]. 西北地质, 2023, 56(06): 186-197.
- [14] 杨明远, 张汉雄, 马超, 等. AMT 在新疆三屯河地区地下赋水性研究中的应用[J]. 物探与化探, 2023, 47(06): 1441-1449.
-
- 作者简介:**
第一作者/通讯作者: 陈书阁, 1990 年生, 男, 河南宝丰人, 中国煤炭地质总局水文地质局, 工程师, 主要研究方向为水文地质。Email: 3066825841@qq.com
-

Study on the Enrichment Law of Geothermal Fluid, Characteristics of Controlled Heat Faults and Development Potential in Shen Zhen Town, Ninghai County

CHEN Shuge

(China Coal Geological Bureau Hydrogeology Bureau Handan City, Handan 056000, China)

Abstract: This paper takes the geothermal field in Shen zhen Town, Ninghai County as the study area, which aims to reveal the control mechanism and enrichment law of fault structures on geothermal fluids. Through field geological survey, geophysical exploration and geochemical analysis, the geometrical characteristics, activity and heat control effects of Ne-direction and NW-direction faults are systematically studied. The results show that a highly permeable fracture network is formed in the fracture intersection area, dominant in the vertical deep circulation (2000-3000m) and shallow enrichment of thermal fluids. The temperature of the thermal reservoir reaches 40-62℃, and trace elements, such as fluorine and silicon, are significantly enriched. A three-in-one fault heat control type geothermal system model of “deep circulation heating-fault convergence enrichment-closure regulation” was constructed. The total heat reserve resource is evaluated to be 1.2×10^{18} J. The priority development zone (west side of F1 fault) has the potential for hot spring therapy and low-carbon heating development. The research results provide theoretical support for the scientific development and ecological protection of geothermal resources.

Key words: geothermal fluids; enrichment rule; thermal fracture control; heat storage characteristics

青山洞矿区金矿地质特征及成矿规律

刘晓辉*, 李 宏, 陈 锋

(湖南省自然资源调查所, 湖南 怀化 418000)

摘 要:青山洞矿区属湖南省洪江市雪峰镇管辖, 位于洪江市北东, 以交代石英岩型金矿石为主。本文以青山洞矿区金矿详查工程中的地质特征与矿体分布为研究对象, 揭示详查区内地层、岩性、构造特征, 主要矿体形态和矿石质量, 并估算分析矿体的资源量。结果表明, 青山洞金矿区严格受北西向构造破碎带控制, 属破碎蚀变岩型金矿床。矿床规模属小型金矿床, 共圈定 17 个工业矿体, 探获 $(332) + (332)_{\text{低}} + (333) + (333)_{\text{低}}$ 金矿石量 691803t, 推断金金属资源量 2326kg。本文对青山洞矿区金矿的地质特征与矿体分布规律研究为矿山建设提供地质技术依据和实践指导借鉴。

关键词:金矿; 地质特征; 矿体分布规律

中图分类号: P31

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2025)06-0075-10

0 引言

作为全球公认的贵金属资源, 黄金在金融体系、工业制造和高科技领域具有独特价值。其不可再生特性使得金矿资源的勘探与开发成为各国关注的战略重点。近年来, 随着浅表易采资源的逐渐枯竭, 深部找矿和复杂成矿环境下的资源预测成为地质勘查领域的关键课题^[1-4]。

现代成矿学研究揭示了金矿形成的关键控制因素。构造活动为成矿流体提供了运移通道和沉淀空间, 岩性特征决定了矿化的选择性富集, 而热液系统的演化则直接影响金的赋存状态^[5]。大型金矿带的形成通常需要多种有利地质条件的时空耦合, 这种多因素协同作用机制为成矿预测提供了重要依据^[6,7]。从成因类型来看, 金矿床主要呈现三种赋存状态: 原生型的岩金矿床、次生型的砂金矿床以及多金属伴生型矿床^[8-10]。岩金矿床的形成与地壳深部热液活动密切相关, 经历漫长的元素迁移和富集过程; 砂金矿床则是原生矿体经风化剥蚀和流水搬运后的次生富集产物; 伴生型金矿往往与铜、铅锌等有色金属矿床共生, 其成矿过程受控于特定的岩浆-热液系统^[11-13]。这些不同的成矿模式反映

了地质作用的多样性和复杂性。这一领域的研究具有重要的经济价值, 随着探测技术的进步和理论认识的深化, 金矿资源开发将迎来新的发展机遇^[14,15]。

研究区金矿研究始于 20 世纪 60 年代的基础地质调查, 逐步通过 1:20 万和 1:5 万区域地质调查、化探扫面及水系沉积物测量圈定了多处金异常, 并在 As1 号异常区发现了铲子坪、桐溪、大坪等金矿, 1995 年进一步探明青山洞金矿。科研工作表明, 雪峰山地区金矿受韧性剪切带控制, 成矿条件优越, 预测资源量达 148-211 吨, 矿床类型以破碎蚀变岩型为主。1995-2006 年的勘查工作证实青山洞矿区矿脉延伸稳定但连续性较差, 共圈定 15 个金矿体, 提交金资源量 2908kg, 显示较大找矿潜力, 但矿体形态复杂, 需进一步验证深部及外围资源。本文以青山洞矿区金矿详查工程中的地质特征与矿体分布为研究对象, 研究详查区内地层、岩性、构造特征以及主要矿体形态和矿石质量, 并估算分析矿体的资源量。

1 区域地质背景

研究区所处的区域在大地构造发展演化中、

表 1 各地层主要岩性及矿产特性

地层系统	地层代号	主要岩性	矿产特征
芙蓉溪群	Pt _f	深海砂泥质沉积	金矿主要赋存层位
-沈家溪组	Pt _{fs}	岩屑杂砂岩+板岩	-
-东冲组	Pt _{fd}	粉砂质钙质板岩+灰岩	-
-砖墙湾组	Pt _{fz}	炭质板岩+石英杂砂岩	主要金矿层
-架枳田组	Pt _{ff}	长石石英杂砂岩+凝灰岩	金矿层
-岩门寨组	Pt _{fy}	粉砂质板岩+凝灰岩	金矿围岩
震旦系	Z	冰碛砾岩+砂泥质沉积	多种矿产赋存
-长滩组	Z _c	冰碛砾岩+砂岩/板岩	主要金矿层
--第一段	Z _{c1}	杂砂岩+冰碛板岩	-
--第二段	Z _{c2}	绢云母板岩	石英脉型金矿
--第三段	Z _{c2}	冰碛砂岩	细脉浸染型金矿
-观音田组	Z _g	砂岩+硅质岩	铁矿层
-鹤岭组	Z _h	炭质页岩+锰矿	锰矿层
-金家洞组	Z _j	炭硅质板岩	铅锌矿层
寒武系	Є	炭质沉积	金属元素富集
-小烟溪组	Є _x	炭质板岩	高金背景值
-琅琳冲组	Є _l	含炭灰岩	-
奥陶系	O	-	-
-桥亭子组	O _q	炭质板岩+黄铁矿	-
志留系	S	浅变质砂泥岩	-
古近系	E	砾岩+粉砂岩	-
第四系	Q	冲洪积物	砂金矿

经历武陵、雪峰、加里东、印支、燕山和喜山等六次大的地壳运动。在强大的地壳运动下,地层、构造发育,岩浆活动强烈,为金等成矿物质富集成矿提供了十分有利的区域地质条件。

1.1 地层特征

研究区地层自老至新依次出露为元古界芙蓉溪群(Pt_f)、震旦系(Z),下古生界寒武系(Є)、奥陶系(O)、志留系(S),中生界、新生界(含古近系(E)、新近系(N)和第四系(Q))(表1)。其中震旦系(Z)是区内分布最广、厚度最大、发育最成熟的地层。

1.2 构造特征

区域处于扬子地台与华南褶皱系过渡地

带——雪峰弧形构造成矿带中段,矿田内构造、岩浆活动强烈。由于多次构造运动叠加,形成了以断裂为主导的伴生紧闭线性褶皱的构造形迹(图1)。褶皱、断裂多呈北东、北北东向展布,变质、变形强度由西向东逐渐减弱。以群峰-大畚坪-向家田韧性逆冲剪切断裂带为界,西部褶皱为宽缓-紧闭型,有多期褶皱叠加现象,断层以韧性为主;东部褶皱为宽缓型,断裂以脆性为主。

1.2.1 褶皱特征

区域褶皱岩层中劈理密集,层间小褶皱发育。褶皱翼部可见轴向北东 50°的早期小褶皱形迹,反映出多期褶皱叠加特征。在茶山坪、老

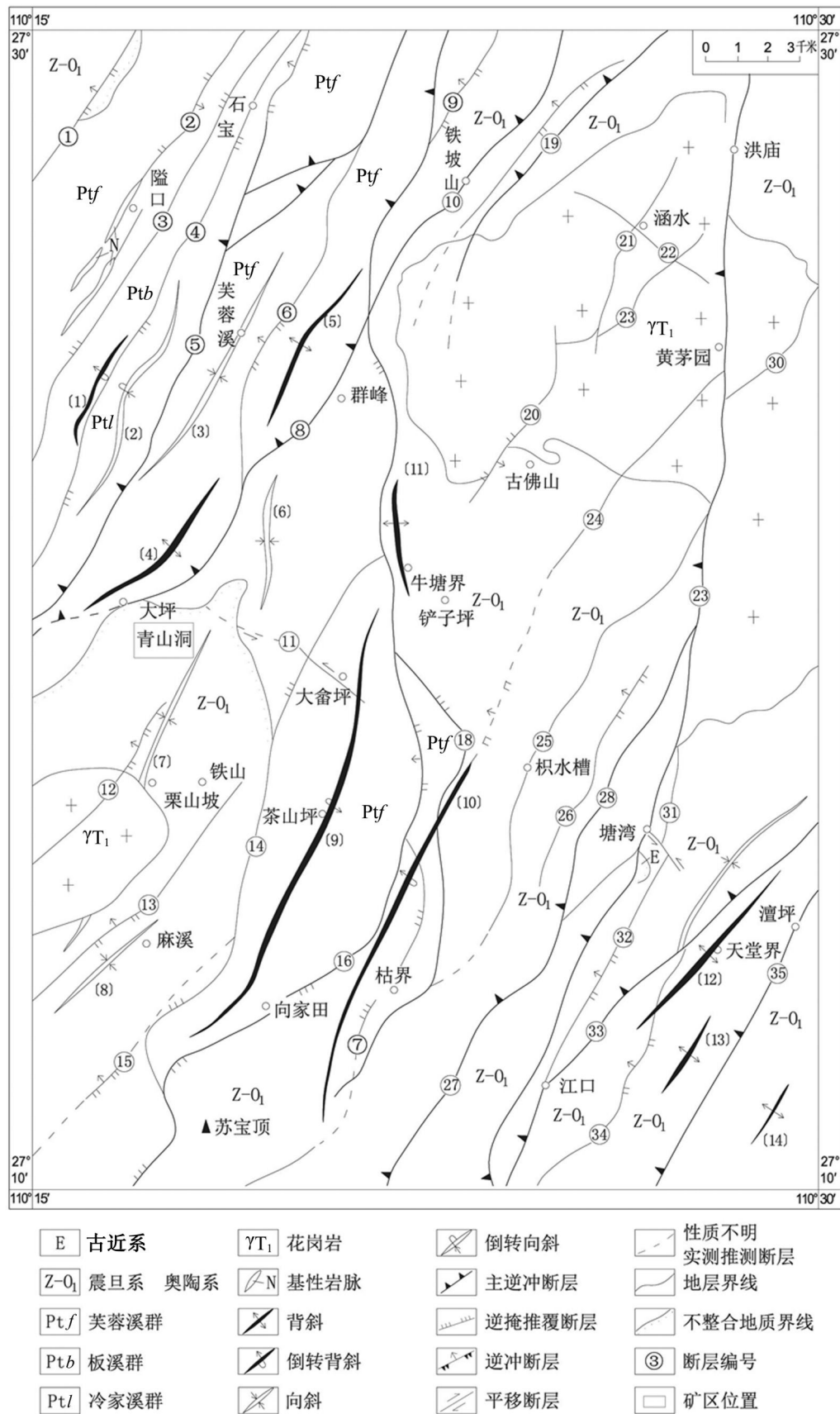


图 1 区域地质构造纲要图

栗山-木古界复式倒转背斜的北东倾伏端处,北北东轴向的次级褶皱及轴面劈理发育,且在北西-南东向剖面上疏密变化频繁,形成一系列北北东向的劈理密集带。

1.2.2 断裂特征

断裂主要走向北东-北北东,另有一组具平移断层性质的北西向断裂和硅化蚀变带与其配套。由西往东,断裂由韧性转化为脆性。

1.3 岩浆岩

本区岩浆活动频繁,广泛发育中酸性、基性-超基性岩浆岩。岩体中脉岩不发育,但种类较齐全,有花岗伟晶岩脉、细晶岩脉、花岗斑岩脉、石英斑岩脉、闪长岩脉、石英闪长岩脉、石英正长岩脉和石英脉等。岩体四周发现一系列金锑矿床点,说明岩体与周围金矿成矿关系密切,岩浆侵入时不仅提供成矿热源,而且将地层中的金融入溶液中,并在岩体周边适当构造部位富集成矿。

2 矿区地质特征

矿区区域地质图如下图 2 所示。矿区位于铲子坪金矿南西侧,处于黄茅园花岗岩体和中华山花岗岩体之间,青山洞向斜北西翼近轴部。矿

床总体受大坪-江坪韧性剪切带及青山洞向斜控制,属破碎蚀变岩型金矿床。

2.1 地层特征

矿区地层由老至新有上元古界芙蓉溪群岩门寨组(Pt_{fy}),震旦系下统长滩组(Zc^3),其中长滩组(Zc^3)是矿区的主要赋矿地层。

2.2 构造特征

2.2.1 褶皱特征

矿区位于青山洞向斜的北西翼偏轴部,矿区总体表现为单斜构造,发育次一级的小褶皱及揉皱。青山洞向斜,轴线北北东向,轴部出露长滩组第三段冰碛含砾砂质板岩夹粉砂质板岩和砂岩透镜体,两翼为长滩组第二段条带状板岩、第一段板岩。地层倾角一般 $50^{\circ}-75^{\circ}$,各地层内发育有轴向北东 $42^{\circ}-53^{\circ}$ 的次一级小型紧闭线型褶皱,主要矿脉 II_4 、 II_5 、 II_6 、 II_7 、 II_{10} 、 II_{13} 、 II_{19} 均产于近向斜核部。

2.2.2 断裂特征

矿区北西发育一条规模大,影响深与本区成矿作用关系密切的 F_8 区域性韧性剪切带,该带从大坪矿段和芭蕉湾矿段穿过,离矿区最近处 180 m。断层内部多期次活动痕迹明显,主要表现为后期的破坏性断裂和揉皱现象。

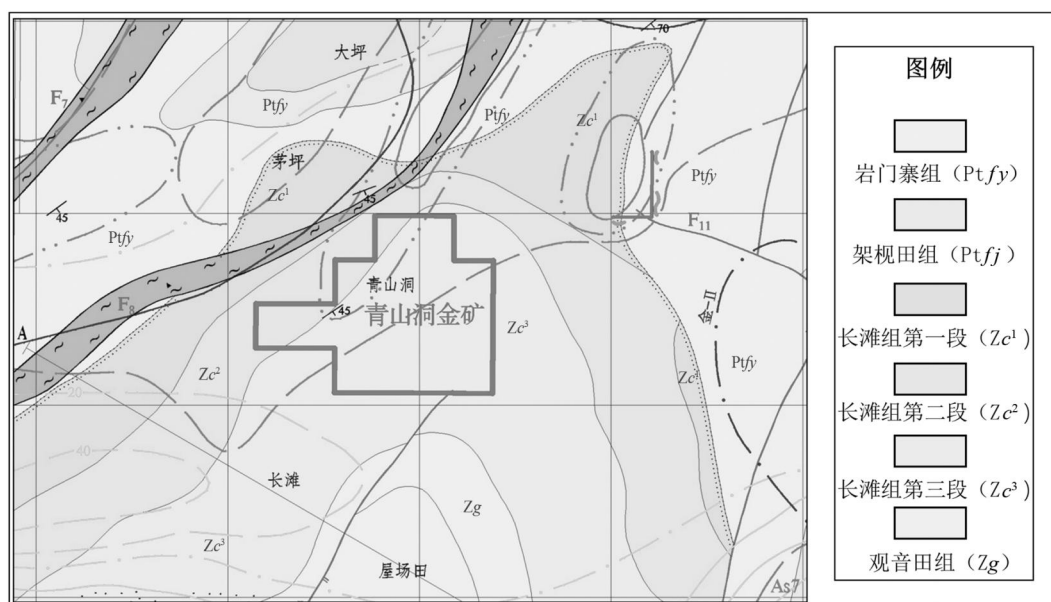


图 2 矿区区域地质图

2.3 岩浆岩

矿区范围内未见岩浆岩出露。但根据重磁异常推测,矿区深部有隐伏中酸性花岗岩存在。其北东部 8km 有黄茅园花岗岩出露,南西部不到 3km 有中华山花岗岩出露。推测该两岩体深部可能相连。

3 矿体分布

金是本区最重要的矿种,各金矿床点主要分布于芙蓉溪群和震旦系中。矿床类型主要为断裂破碎蚀变岩型和石英脉型,其次为砂岩层控网脉浸染型。它们均分布于剪切带中,与断裂构造关系密切。17 个工业矿体中,控制矿体走向、倾向长度都在 200m 以上的矿体 2 个,控制走向、倾向长度都在 100-200m 以内的小规模矿体有 2 个,控制矿体走向长或倾向长在 100m 左右的矿体有 4 个,其它矿体控制走向、倾向长度均在 60m 以内。矿体最大走向长 325m(Ⅱ₆-①号矿体),最大斜深 356m(Ⅱ₇-③号矿体)。矿体主

要呈分支复合脉状、细脉状、短轴脉状、扁豆状以及透镜状。矿体走向 290-347°,除局部扭转反倾外,皆向南西倾斜。区内的主要导矿构造为勘查区北西部的 F8,区内的容矿空间主要为北西向展布的 F8 的次级构造裂隙。

3.1 矿体地质特征

结合 2.2.2 矿区断裂特征分析,F₈ 韧脆性剪切带的次一级北东、北西向断裂或破碎带是矿区重要的容矿构造,尤其是后者是本区最重要的容矿构造。目前矿区已发现的 23 个大小金矿体都赋存于北西向断裂或破碎带中。如下图 3 所示,共 23 个矿体,其中工业矿体 17 个,低品位矿体 6 个。矿体均呈北西走向,整体倾向南西。矿体散乱的全矿区 7 条北西向矿化蚀变带的不同地段。根据详查区内矿体控制程度和矿体蚀变及矿化情况,区内共圈定 4 条主矿体和 14 条次要矿体主矿体分别为 Ⅱ₄-①、Ⅱ₅-②、Ⅱ₆-①以及 Ⅱ₇-③矿体,区内矿体特征见下表 2。

其中,Ⅱ₆-①是区内的主矿体之一,矿体走

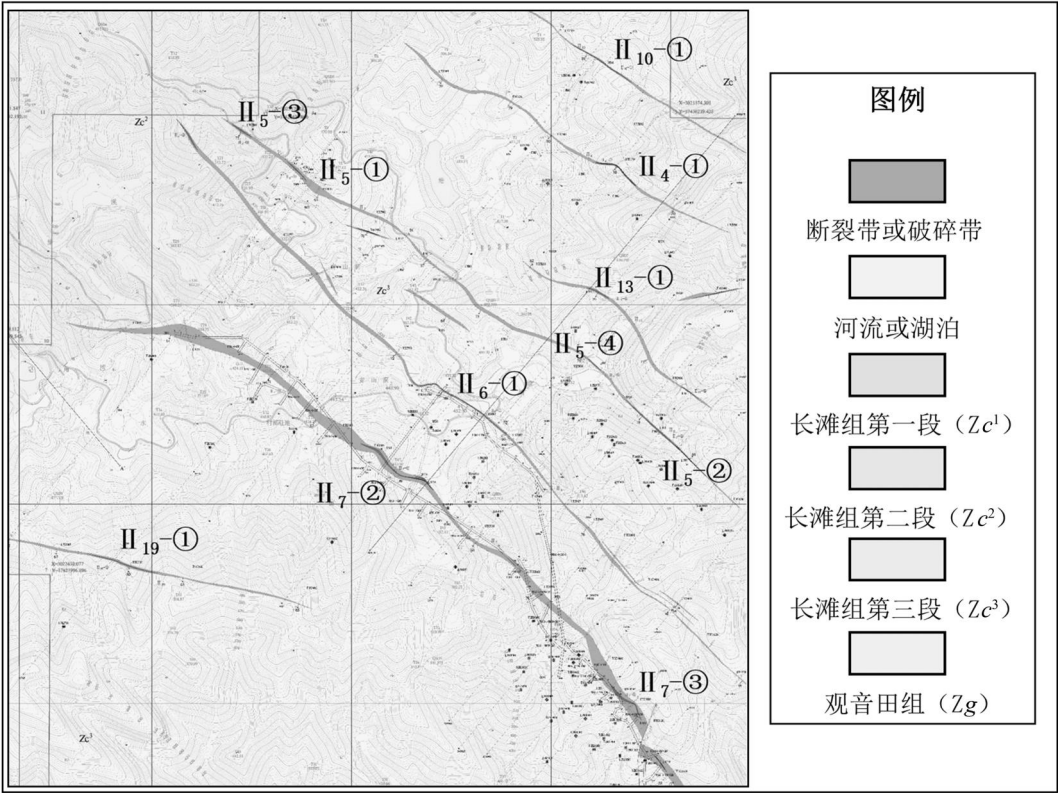


图 3 矿体分布地质图

表 2 矿体地质特征表

矿体编号	矿体形态	走向长度 /m	控制斜深 /m	厚度 /m	品位 /($\times 10^{-6}$)	厚度变化 系数/%	品位变化 系数/%
Ⅱ ₄ -①	细脉状	188	181	0.8-1.1	0.62-10.21	12.62	77.78
Ⅱ ₅ -①	短轴脉状	15	104	0.9-1.2	0.65-3.90	10.35	73.92
Ⅱ ₅ -②	脉状	135	112	1-3.3	0.80-12.49	62.81	121.40
Ⅱ ₅ -③	扁豆状		未探明	2.88	1.74		
Ⅱ ₅ -④	短轴脉状		105	0.48-1	1.23-4.70	50.56	82.75
Ⅱ ₆ -①	脉状	325	220	0.6-2.1	0.12-23.22	35.55	104.59
Ⅱ ₇ -①	盲矿体			0.95	18.93		
Ⅱ ₇ -②	脉状	105	35	0.85-3.9	0.68-1.67	72.93	37.98
Ⅱ ₇ -③	分支复合脉状	297	356	0.8-5.18	0.63-18.30	60.46	110.99
Ⅱ ₇ -④	盲矿体			0.82	1.18		
Ⅱ ₇ -⑤	短轴脉状			1.13-2.39	0.81-2.16	63.16	54.94
Ⅱ ₇ -⑥	透镜状			0.80	4.55		
Ⅱ ₁₀ -①	短脉状	54	95	0.25-0.87	0.62-116.2	52.73	123.21
Ⅱ ₁₃ -①	短脉状			1.00	1.23		
Ⅱ ₁₃ -②	透镜状	34	10	0.76-0.96	0.64-2.36	24.10	81.10
Ⅱ ₁₃ -③	盲矿体			1.50	1.34		
Ⅱ ₁₉ -①	短脉状	36	24	1.20-1.62	1.00-3.25	14.90	50.75

向延伸长约 325m, 矿厚 0.60-2.10m, 平均厚 1.16m, 厚度变化系数 35.55%, 矿体品位 Au 0.12-87.14 $\times 10^{-6}$, 平均品位 3.20 $\times 10^{-6}$, 品位变化系数 104.59%。PD361-1-YMW 和 YME 显示 Ⅱ₆-①矿体在 361m 中段延伸稳定。根据组合分析结果, 矿体含有伴生有益组分 Ag。Ⅱ₇-③是区内规模最大的主矿体, 呈稳定的脉状分布, 矿体走向延伸长约 325m, 矿厚 0.60-2.10m, 平均厚 1.16m, 厚度变化系数 35.55%, 矿体品位 Au 0.12-87.14 $\times 10^{-6}$, 平均品位 3.20 $\times 10^{-6}$, 品位变化系数 104.59%, 控制矿体斜深 220m, 控制矿体最高标高 456m。矿区内矿化蚀变带发育。目前, 已圈定的 8 条北西向矿脉中, 已有 7 条见工业金矿体, 说明矿区内成矿条件比较优越。此外, 区内还有部分矿体未经或经少量中深部钻孔验证, 向深部尚未圈闭。

图 4 给出了各矿体平均品位和估算资源量。

由图可知, Ⅱ₇-③矿体估算资源量最大, 为 1434.44kg, 结合图三矿体分布图中 Ⅱ₇-③紫色条带, 走向长度和控制斜深最大, 分布宽度大, 且位于北西向断裂带, 因此该矿体的资源量最大; Ⅱ₁₀-①矿体平均品位最大, 为 48.93 $\times 10^{-6}$, 但品位变化系数最大, 可达 123.21%, 表明 Au 在矿体中分布的均匀程度较小, 虽然平均品位大, 但分布不均匀导致开采效率降低。

3.2 矿体产出部位

金矿化与硫化物密切相关, 金矿体主要产在交代石英岩及两侧硫化物集中部位, 通常由交代黄铁石英岩、黄铁矿化、毒砂化、硅化碎裂岩、黄铁绢英岩化岩石构成。这些部位构造、热液活动强烈, 断裂破碎带、节理裂隙、片理及充填的石英脉、硫化物均异常发育。

3.3 研究区成矿规律分析

矿区金矿受区域构造-热液系统控制, 形成

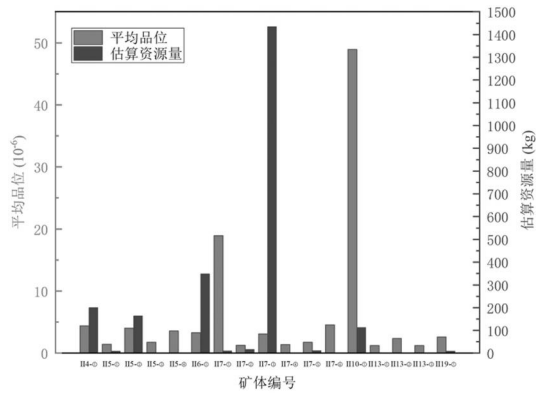


图4 矿体平均品位和估算资源量

于黄茅园与中华山花岗岩体间的青山洞向斜北西翼,受大坪-江坪韧性剪切带(F8)及向斜构造联合控制。F8 剪切带为导矿构造,其北西向次级断裂及破碎带为容矿空间,矿体严格受北西向裂隙控制(Ⅱ₆-①、Ⅱ₇-③等主矿体走向 290°-347°,倾向南西)。赋矿地层为震旦系长滩组(Zc³)板岩及含砾砂质板岩,其细粒结构与构造破碎为热液蚀变提供有利环境,金主要富集于硫化物晶格及裂隙胶结物中。

隐伏中酸性花岗岩体为成矿热液来源,岩浆期后热液沿 F8 剪切带多期贯入,形成分支复合脉状、透镜状破碎蚀变岩型矿体。矿体规模差异显著;主矿体Ⅱ₇-③走向长 325m、斜深 356m,资源量 1434.44kg;Ⅱ₁₀-①平均品位达 48.93×10⁻⁶,但厚度变化系数 123.21%反映矿化不均。矿体垂向分异明显,主矿体在 356m 斜深仍稳定延伸(如Ⅱ₆-①),表明多阶段热液叠加成矿。研究区成矿模式可概括为:隐伏岩浆热液沿向斜核部 F8 剪切带侵入,受构造-蚀变耦合控制,形成北西向分支复合脉状金矿床,深部隐伏岩体与浅部构造系统为找矿关键靶区。

4 矿石质量

区内矿石类型主要为交代石英岩矿石,包括

石英-自然金、石英-硫化物-自然金两种自然类型矿石,广泛分布于全矿区大多数矿体中,占区内矿石量的 95%以上。矿床结构稳定,开采安全性高,且矿物组合简单、选冶技术成熟。

全矿区共采集 1866 件基本分析样品,金品位分布情况见表 3,金品位小于 0.2 的样品占绝大多数,Au 5-10×10⁻⁶ 品位区间的样品仅占 0.91%,说明矿化蚀变带较厚,矿体很薄,品位低。矿石结构有晶粒结构、碎裂结构、交代残留结构及包含结构等。矿石构造主要为块状构造、角砾状构造、条带状构造、细脉网状构造、浸染状构造及缝合线状构造等。

矿石的物理特性主要研究了矿石的小样密度测试,根据矿石的主要工业类型,采集了一组共 47 件样品进行测试,测试结果显示矿石体重和品位没有直接的线性关系(图 5)。

测得矿石平均密度 2.68t/m³,矿石品位与体重分布明显成一组点群(图 6),密度与品位相关系数 r=0.044,二者不相关。

5 资源量估算结果

本次详查由于已圈定的金矿体严格受北西向破碎蚀变带控制,呈大小悬殊脉状、透镜状和薄饼状产出,陡倾斜且矿体厚度小,品位变化大,无明显变化规律性。矿体自然划分明显,后期构造对矿体的影响不大,采用在垂直纵投影图上按地质块段法进行资源量估算。根据目前矿体块段划分一般原则和要求,按勘查线、结合资源量类别和级别划分块段,分别计算出各块段资源量,各块段资源量之和即为整个矿体资源量。

仅对 17 个北西向工业金矿体进行了资源量估算,共探获(332)+(333)+(332)_低+(333)_低矿石量 725585t,金金属量 2445.87kg。其中(332)级别推断金金属资源量 743.61kg,占总资源量

表 3 矿段样品品位区间分布表

品位区间 Au(×10 ⁻⁶)	0-0.2	0.2-0.6	0.6-1.2	1.2-5	5-10	>10
样品个数(个)	1497	161	56	121	17	14
所占比例(%)	80.23	8.63	3	6.48	0.91	0.75

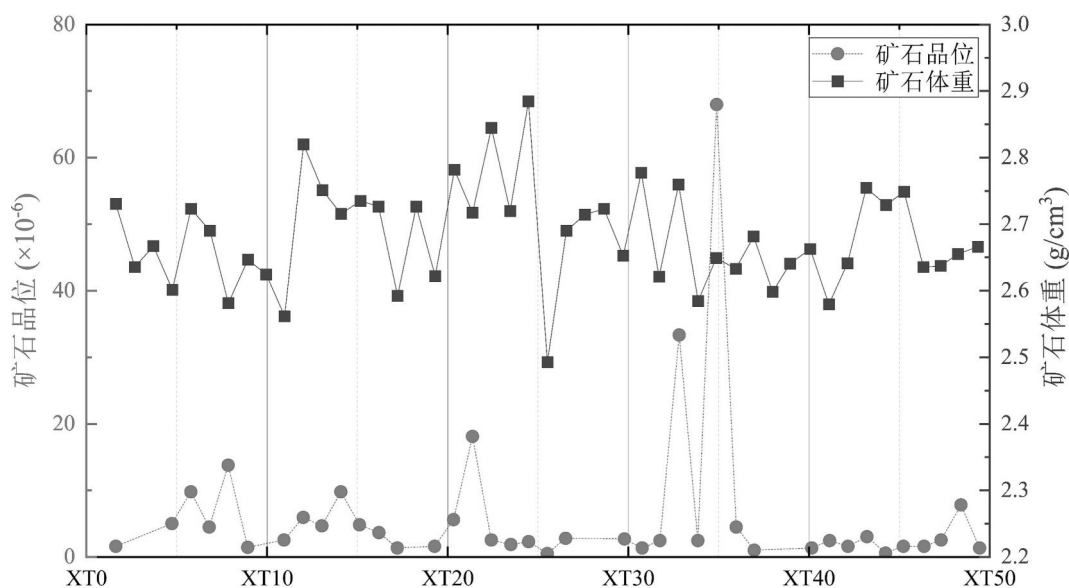


图 5 小体重样品品位及体重变化线性图

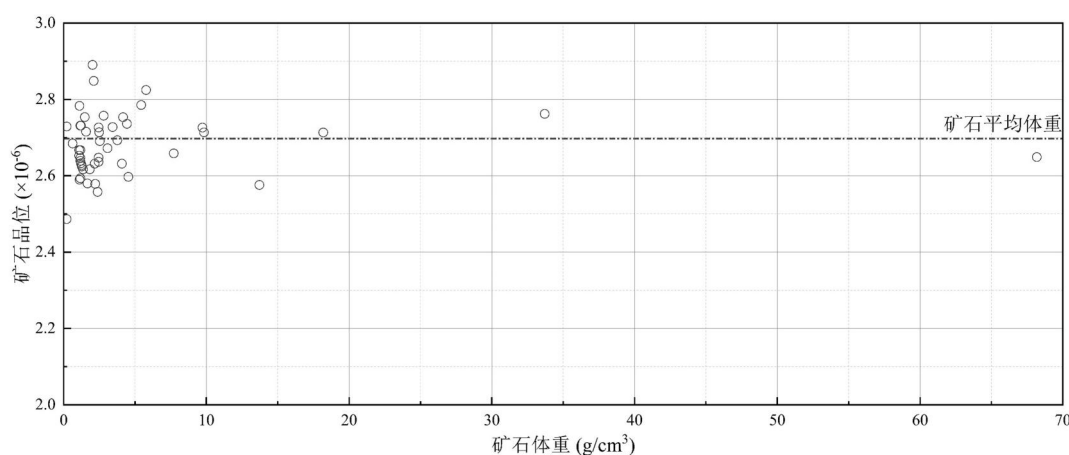


图 6 矿石品位与体重分布点群图

的 30.4%, (333) 级别推断金金属资源量 1702.26kg, 占总资源量的 69.6%。Ⅱ₄-①、Ⅱ₅-②、Ⅱ₆-①、Ⅱ₇-③等 4 个较大规模矿体估算的 (332)+(333)+(332)_低+(333)_低 推断金金属资源量 2265.43kg, 占矿床总资源量的 92.62%, 表明资源量分布集中。详见下表 4。

6 结语

本文从青山洞金矿区地质背景及矿区所取得的探矿成果资料分析, 查明了矿床地质特征, 成矿地质条件及矿床类型, 对矿体分布、地质条

件、类型进行研究以及对资源量进行了计算分析。

在区域成矿地质条件方面, 在系统收集了与本区有关的地、物、化及科研成果的基础上, 开展了区域成矿背景研究, 初步查明青山洞矿床位于雪峰弧形韧性剪切带相对变形较强部位, 具有韧性剪切带型金矿特点, 区域上的北东-北北东, 乃至南北向深大断裂有明显的导矿作用, 岩浆、构造和区域性分布的板溪群、芙蓉溪群和江口群矿源层, 构成了区域上地层、构造、岩浆岩三位一体的成矿条件, 表明该区具有较好的找矿前景。

青山洞金矿区共圈定 23 个金矿体, 其中工

表 4 资源量估算结果表

矿体编号	矿石量/t				推断金金属资源量/kg				平均品位 /10 ⁻⁶
	(332)	(332) _低	(332)	(332) _低	(332)	(332) _低	(332)	(332) _低	
Ⅱ ₄ -①			44016	1619			198.75	1.00	4.38
Ⅱ ₅ -①			5949				8.54		1.44
Ⅱ ₅ -②			36928	3814			160.22	3.05	4.01
Ⅱ ₅ -③			1388				2.42		1.74
Ⅱ ₅ -④			498				1.78		3.58
Ⅱ ₆ -①	57939		40877	7545	168.33		171.37	8.4	3.27
Ⅱ ₇ -①			509				9.64		18.93
Ⅱ ₇ -②			10251	1812			15.57	1.27	1.40
Ⅱ ₇ -③	161249	6815	267849	25880	569.15	6.13	830.71	28.45	3.11
Ⅱ ₇ -④			1246				1.72		1.38
Ⅱ ₇ -⑤			4521	1999			9.77	1.62	1.75
Ⅱ ₇ -⑥			402				1.83		4.55
Ⅱ ₁₀ -①			2318				113.42		48.93
Ⅱ ₁₃ -①			386				0.47		1.23
Ⅱ ₁₃ -②			515				1.22		2.36
Ⅱ ₁₃ -③			2200				2.68		1.22
Ⅱ ₁₉ -①			3278				8.49		2.59
小计	219188	6815	423131	42669	737.48	6.13	1538.6	43.79	
	226003		465800		743.61		1582.39		
合计	691803				2326				3.36

业矿体 17 个,低品位矿体 6 个,探获(332)+(332)_低+(333)+(333)_低金矿石量 725585t,推断金金属资源量 2445.87kg,矿区有较好的开发前景。应加强综合研究,开展深部地质工作及部分矿体的浅部工作,进一步查明矿体的资源状况。同时开展矿山地质灾害调查,预防开采可能引起围岩坍塌、临空岩块的冒落及未来选冶对地质环境的破坏和土石环境造成污染。

参考文献(References):

[1] 方维萱,芦继英.陕西银洞子-大西沟菱铁银多金属矿床热水沉积岩相特征及成因[J].沉积学报,2000,18(03):431-438.

[2] 杨瑞东,程玛莉,高军波,等.贵州二叠系茅口

组顶部锰矿沉积特征及矿床成因研究[J].地质学报,2018,92(04):804-816.

[3] 杨云杰.松桃大塘坡组地质特征揭示锰矿成矿因素研究[J].黑龙江国土资源,2024,22(11):61-67.

[4] 胡西顺,朱红周,汪超,等.陕西银洞子银铅多金属矿床成因新探[J].矿产勘查,2019,10(08):1801-1808.

[5] 刘凯,赵亮,任涛,等.南秦岭柞水—山阳矿集区成矿特征及找矿方向[J].矿产勘查,2020,11(05):849-857.

[6] 刘存,裴春霞,张步乾,等.镇安县铁铜沟铁矿体地质特征及找矿浅析[J].有色金属设计,2021,48(03):95-98.

[7] 陈海福,李小亮,严正平,等.青海东昆仑龙什

- 更铁钴矿成矿时代与成因类型[J]. 世界地质, 2021, 40(04): 830-846.
- [8] 葛战林, 顾雪祥, 章永梅, 等. 南秦岭柞水-山阳矿集区金盆梁金矿床载金硫化物矿物学特征及成矿指示[J]. 西北地质, 2023, 56(05): 278-293.
- [9] 葛战林, 顾雪祥, 章永梅, 等. 南秦岭柞水-山阳矿集区金盆梁金矿床成因——来自流体包裹体及 C-H-O-S-Pb 同位素的制约[J]. 矿床地质, 2024, 43(04): 877-898.
- [10] 端木合顺. 沉积喷流型矿床热水沉积旋回及其地球化学特征[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(02): 151-155.
- [11] 戚华文, 胡瑞忠, 苏文超, 等. 临沧锆矿床的稀土元素地球化学研究[J]. 矿物学报, 2001, 21(04): 689-694.
- [12] 夏长玲, 张望, 刘志明, 等. 陕西穆家庄铜矿床成因探讨及找矿意义[J]. 矿产勘查, 2014, 5(04): 547-553.
- [13] 刘凯, 任涛, 曹广杰, 等. 陕西穆家庄铜矿床地质特征及找矿前景分析[J]. 矿产勘查, 2015, 6(02): 122-131.
- [14] 张西社, 王瑞廷, 代军治, 等. 陕西山阳色河铺地区隐爆角砾岩特征及其铜矿找矿意义[J]. 地质学报, 2015, 89(04): 766-778.
- [15] 叶会寿, 王义天, 丁建华, 等. 秦岭 Au-Pb-Zn 成矿带成矿地质特征及潜力分析[J]. 地质学报, 2016, 90(07): 1423-1446.

作者简介:

第一作者/通讯作者: 刘晓辉, 1987 年生, 男, 湖南城步人, 湖南省自然资源调查所, 工程师, 主要研究方向为地质工程。Email: 522395620@qq.com

Geological Characteristics and Metallogenic Regularity of Gold Deposits in Qingshandong Mining Area

LIU Xiaohui^{*}, LI Hong, CHEN Feng

(Hunan Province Natural Resources Survey Institute, Huaihua 418000, China)

Abstract: Qingshan Cave is under the jurisdiction of Xuefeng Town, Hongjiang City, Hunan Province, which is located the northeast of Hongjiang City with mainly metasomatic quartzite type gold ore. This paper takes the geological characteristics and ore body distribution of the gold mine in Qhan Cave mining area as the research object in the detailed survey project to further reveals the geological layer, rock type, tectonic characteristics, the main ore body morphology and ore quality the survey area, and estimates and analyzes the resource amount of the ore body. The results show that the Qingshan Cave gold mine area is strictly controlled by the northwest- ductile-brittle shear zone, belonging to the fracture-altered rock type gold deposit. The scale of the deposit is a small gold deposit, and a total of 17 industrial ore bodies have been delineated, with the $(332)+(332)_{\text{low}}+(333)+(333)_{\text{low}}$ ore amount of 691803t, and inferred gold metal resources of 2326kg. This study provides geological technical support and practical guidance for mine construction by exploring the geological characteristics and ore body distribution law of the gold mine in the Qingshan Cave mining area.

Key words: gold mine; geological characteristics; ore body distribution law

吉林省地域文化与高校美育课程教学融合路径研究

郝佳音¹, 宿一宁^{2*}

(1. 吉林农业大学, 长春 130118;
2. 东北师范大学, 长春 130024)

摘 要:探索吉林省地域文化资源在高校美育课程教学中的融合路径,以提升课程的文化厚度和育人功能,回应新时代高等教育对美育育人质量的要求。通过系统梳理吉林省特有的地域文化资源,包括多民族艺术形态、红色文化与跨境文化基因、生态自然与冰雪艺术、非物质文化遗产与传统艺术、传统节庆与道德礼仪等,并分析其在高校美育课程中的转化价值。研究表明,吉林地域文化不仅为高校提供了丰富的课程资源,还在审美能力、人文精神、文化认同和思想政治教育等方面发挥着积极作用。在此基础上,提出了课程内容创新、多元教学方法、校地专家协同机制、数字化与多媒体资源利用等融合路径。构建基于地域文化的美育课程体系,不仅能够增强高校教学的地方特色与文化深度,也有助于实现以美育人、以文化人、以审美促德育的教育目标,对推动高校美育改革与地方文化传承具有重要实践意义和推广价值。

关键词:地域文化;美育课程;融合路径

中图分类号:G40-014

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0085-8

0 引言

在新时代美育发展的背景下,美育课程通过培养学生的审美能力与艺术感知力,促进其全面发展。教育部于 2020 年发布《关于全面加强和改进新时代学校美育工作的意见》,明确指出,美育要贯穿教育全过程,强化中华优秀传统文化、革命文化和社会主义先进文化的育人功能,促进学生德智体美劳全面发展^[1]。这一政策导向标志着高校美育进入了以“课程系统性提升”和“文化育人内化”为核心的新阶段。

“美育”一词最早由德国哲学家席勒提出,强调通过审美实现人的自由发展。在我国,美育不仅关乎学生艺术素养的培养,更承担着精神塑造与文化认同建构的重要任务^[2]。当前学界普遍认为,美育是一种融合情感教育、审美训练、艺术实践与价值观引导的综合性教育活动,其核心在于通过审美体验促使学生形成健全人格与审

美能力。在高校教育中,美育不仅是艺术类课程的职责,更是落实“三全育人”、提升学生综合素养的关键环节。国内已有部分研究关注传统文化与美育的融合,如“非遗技艺进课堂”“地方美术课程群建设”等案例显示出地域文化本土化教学的积极价值^[3]。国外如美国 STEAM 教育倡导跨学科融合、芬兰重视“生活化美育”、德国强调人格建构与艺术教育一体推进,均提供了有益的参考^[4]。但西方经验往往难以直接适配中华文化结构,尤其在文化认同与德育整合方面的研究相对薄弱。

作为多民族聚居的吉林省,拥有丰富独特的地域文化资源,涵盖满族、朝鲜族等民族文化形态,亦具冰雪文化、生态文化与边境文化的复合特征。这些文化资源既体现了中华文化的多样性,也具备极高的审美价值与教育转化潜力。将吉林地域文化系统性引入高校美育课程,有助于构建课程本土化特色,提升学生对中华文化的认

基金项目:吉林农业大学高等教育教学研究 2022 年度课题“吉林省地域文化与高校美育课程教学融合路径研究”(2022XJZD19)。

同感与参与感,推动高校美育从“知识传授”向“文化浸润”转型^[5]。然而,当前在美育课程与地域文化融合的实践中,仍面临以下突出问题:第一,课程内容结构亟需优化。目前美育课程多以“欣赏性知识”传授为主,缺乏对地方文化资源的系统挖掘,难以实现可持续性教学整合;第二,教学方法相对单一。尽管部分课程尝试引入非遗元素,但缺乏多元化、体验式、项目化等教学方法的系统嵌入,导致学生参与度与学习成效不足;第三,校地协同机制尚未成型。高校在与地方文旅机构、非遗传承人及文化单位的合作中,往往缺乏稳定的协作机制与共建模式,难以形成有效的资源互补与持续互动;第四,数字化媒介应用不足。吉林高校在美育教学中对新媒体技术的引入仍处于起步阶段,缺少可复制、可评价的融合路径。

基于上述背景,本文聚焦本土文化资源在高校美育课程中的系统转化路径,重点分析地域文化的类型结构、育人价值与教学融合模式,从文化资源梳理、美育价值分析、融合策略构建三方面展开研究,为推动吉林省高校美育课程体系本土化、特色化、数字化提供理论支持与实践模板,助力“三全育人”战略与高校文化育人使命的有效落地。

1 吉林省地域文化蕴含的高校美育课程资源

1.1 多民族艺术形态

吉林省作为我国多民族聚居的重要地区,丰富多元的艺术资源为高校美育课程提供了深厚而独特的内容基础。多民族艺术形态不仅体现出各民族独有的审美风格与精神气质,也承载着历史记忆、情感表达与文化价值。将吉林省地域文化融入美育课程,有助于打破传统美育对西方艺术的单一依赖,推动课程内容的本土化与多元化发展,实现美育“以美润心、以美育德”的核心理念^[6]。通过深入挖掘与利用吉林省的多民族艺术形态,可以使美育课程更具深度与广度。近年来,吉林师范大学、延边大学等高校的课程改

革实践也验证了地域文化融入美育的积极作用。

1.2 红色文化与跨境文化基因

吉林省作为中国近现代史的重要区域,既拥有深厚的红色文化资源,也处于东北亚地缘文化交汇之地,孕育出独特的跨境文化基因。红色文化中所蕴含的民族精神、革命气节和集体主义价值观,是中华优秀传统文化与社会主义核心价值观的融合体现,具有强烈的历史真实感与情感震撼力。跨境文化则反映出吉林长期处于中、俄、朝交界的地理与文化特征,展现了多民族、多语言、多风俗文化的共生状态,体现出文化包容、交流与融合的时代特征。高校美育课程可以通过影像艺术、行为艺术、文化设计、公共空间美化等方式,将红色文化中的理想信念、牺牲精神与跨境文化中的多元审美、跨文化理解结合,打造具有历史温度与国际视野的审美教育内容。这种融合红色精神与多元文化背景的美育资源,回应了美育在培养健全人格、深化价值认同和建构文化共同体中的核心功能。

1.3 生态自然与冰雪文化艺术

吉林省拥有独特的生态自然环境和浓厚的冰雪文化传统,长白山、查干湖、松花江等自然景观,以及与冰雪相关的节庆、艺术和民俗活动,构成了极具地域特色的文化生态系统。这些资源不仅体现出人与自然和谐共生的审美价值,也蕴含了寒地文化的生存智慧与艺术表达,为高校美育课程提供了鲜活而丰富的教学内容。冰雪艺术的理论根基源于生态美学,通过冰雪雕塑、冰灯设计等实践,揭示“限制性条件下艺术生成”的哲学命题——冰的透明性与脆弱性隐喻着美的瞬时与永恒,雪的覆盖与消融则暗示自然循环的不可逆性,这种材质特性为美育课程注入辩证思维训练^[7]。将生态自然与冰雪文化艺术转化为实践性与综合性强的课程模块,融合摄影、装置艺术、冰雕、生态绘画等教学形式,引导学生走进自然,感知四季变化,体验寒地艺术创造的魅力。这种融合,不仅拓展了美育课程的内容边界,也深化了教育的环境意识层面。

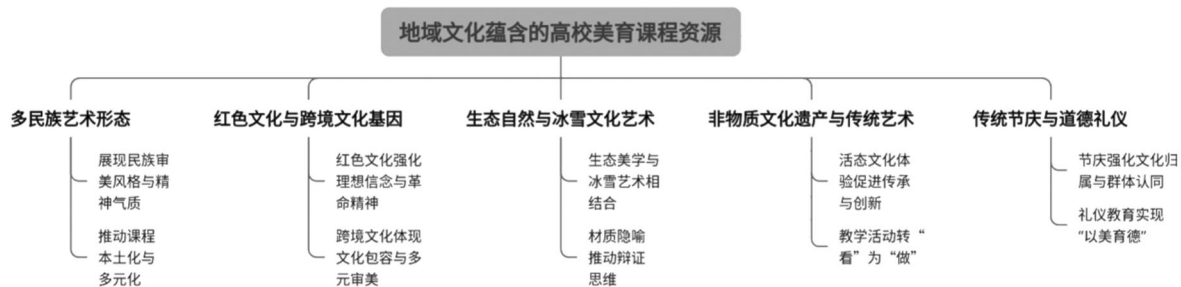


图1 吉林省地域文化蕴含的高校美育课程资源

1.4 非物质文化遗产与传统艺术

吉林省的非物质文化遗产与传统艺术资源涵盖了民间音乐、民族舞蹈、传统工艺、美术图案、仪式礼俗等多个方面,不仅是吉林地域文化的重要组成部分,也是中华优秀传统文化的重要载体,为高校美育课程提供了活态文化基因库与创造性思维训练的实践场域。非遗作为地域文化的精神密码,承载着族群的历史记忆,更凝结了适应自然环境的生存智慧。将非遗项目转化为可参与、可感知、可创造的教学资源。例如,围绕传统图案设计、手工技艺体验、民间舞蹈与音乐表演等内容,开展主题课程和工作坊,让学生在创作与参与中亲近非遗,从而由“看”转为“做”,由“了解”转为“认同”,理解其中的美学内涵和文化价值,增强对传统文化的兴趣与归属感^[8]。实现教育与文化共生、传承与创新统一的有力路径,有助于实现文化传承与审美教育的双重目标。

1.5 传统节庆与道德礼仪

吉林省丰富的传统节庆与道德礼仪文化,为高校美育课程提供了鲜活的文化场域与生动的道德教育资源。朝鲜族的流头节、满族的颁金节等,不仅是民俗活动,更承载着族群记忆、生态智慧与伦理秩序。节庆通过象征性行为如歌舞、共食强化集体认同,道德礼仪如敬祖、睦邻则体现了社会规范的身体表达。高校美育可通过角色扮演、仪式操演等方式将传统文化转化为“可参与”的教育情境,使学生在亲身体验中内化道德观念,提升文化认同与情感认知。将节庆中的生态理念(如春耕祈雨)与礼仪规范(如献礼次序)

融入教学,有助于深化学生对“天人合一”“和谐共生”等传统价值的理解。这种以美育德的方式,重构了道德教育的有效性,使学生在文化体验中汲取精神力量,形成对传统文化的认同与自觉传承(图1)。

2 吉林省地域文化在高校美育中的应用价值

吉林省高校普遍设立了艺术类课程、美学通识课程以及文化鉴赏课程,但整体上课程仍以西方美学原理与经典艺术作品欣赏为主,缺乏对本土文化的深度整合。将吉林省地域文化融入美育课程,有助于打破传统美育对西方艺术的单一依赖,推动课程内容的本土化与多元化发展,实现美育“以美润心、以美育德”的核心理念^[9]。近年来,吉林师范大学、延边大学等高校的课程改革实践也验证了地域文化融入美育的积极作用(图2)。

2.1 丰富美育课程内容,增强教学本土特色

吉林省地域文化涵盖多民族文化、非物质文化遗产、红色文化、冰雪文化、生态文化等多个方面,这些文化形态不仅具有较高的审美价值,也富含鲜明的地域特色,是吉林省高校区别于其他地区高校的重要教学优势。延边大学美术学院自2022年起开展《地域文化与视觉艺术表达》课程试点,鼓励学生从朝鲜族、满族等本地文化中提取元素,应用于文创设计项目。根据该校课后问卷反馈,超过83%的学生表示通过课程更深入了解本地文化资源,课程满意度提升至91%。学生作品如“延边符号明信片设计”“满

应用价值维度	具体实践案例	教育成效
丰富美育课程内容, 增强教学本土特色	延边大学《地域文化与视觉艺术表达》课程: 学生设计“延边符号明信片”“满族图腾桌布”等文创项目, 课程满意度提升至91%。	推动课程本土化与多元发展, 提升文化软实力与教学特色。
提升学生审美素养与人文情怀	吉林农业大学“非遗美育课堂”通过剪纸和纹样设计提升学生传统审美认知, 76%学生感知提升, 68%增强艺术兴趣。	增强学生文化感知力和艺术鉴赏力, 深化审美体验。
增强学生文化认同与民族自信	长春大学《非遗技艺与现代设计》课程, 82%学生文化认同提升, 71%希望将课程成果用于未来职业路径。	强化学生文化自觉与民族自信, 激发文化传承责任感。
推动多民族文化交流与融合	东北师范大学《少数民族文化艺术欣赏》课程, 学生跨文化理解评价提升22%, 课堂参与度显著增强。	培养学生跨文化理解能力, 构建多元包容校园生态。
促进美育与思想政治教育、生态文明教育融合发展	通化师范学院“红色文化与艺术表达”课程, 课程满意度93%, 学生课程价值认同度平均提高1.3分(满分5分)。	实现思政与生态文明教育的审美转化与融合, 提升课程综合价值。

图 2 吉林省地域文化在高校美育中的应用价值

族图腾桌布设计”等项目,成功入围省级大学生创新创业项目。基于地域文化的美育课程建设,有助于打破传统美育对西方艺术的单一依赖,推动课程内容的本土化与多元化发展,提升高校的文化软实力与教学独特性。这种从生活中发现美、从文化中创造美的过程,使学生在熟悉的文化语境中更易产生情感共鸣与学习热情。

2.2 提升学生审美素养与人文情怀

美育不仅是技术或技能的训练,更是一种情感的唤醒与人格的塑造。吉林省地域文化的本身就蕴含着多种独特的审美形态,如满族剪纸的对称美、朝鲜族舞蹈的节奏感、冰雪文化的空灵冷峻、生态文化的自然和谐等,这种独特性恰好提供了深度挖掘与体验的可能性。在 2023 年吉林农业大学的“非遗美育课堂”实践中,学生通过参与剪纸、民俗纹样设计等项目,艺术鉴赏能力和文化理解能力得到了显著提升。课后评估问卷显示,76%的学生表示提升了对中国传统美学的认知,68%的学生表示增强了对传统艺术的兴趣。此外,课程中设置如“文化体验日”“地方艺术创作坊”等实践活动,通过动手实践和团队协作,使学生在与自然、生活、历史的深度连接中,获得综合性的审美体验和人文感悟。

2.3 增强学生文化认同与民族自信

吉林省的地域文化集中体现了民族精神和地方记忆,尤其在多民族共居的背景下,其文化融合性与独特性更具教育意义。2022 年长春大学实施《非遗技艺与现代设计》选修课程,学生通过学习朝鲜族刺绣、满族服饰等传统技艺,亲

身参与文化传承实践。在期末调研中,82%的学生表示通过课程增强了对中华文化的认同感,71%的学生表示希望将学习成果应用于未来的职业规划或创意项目中。这类课程不仅推动了传统文化的再创造,也激发了青年学生参与文化保护、传播的积极性,使文化认同逐渐转化为文化自觉与民族自信。

2.4 推动多民族文化交流与融合

吉林省多民族共居、多文化交融的社会格局,为高校美育课程提供了天然的跨文化教育背景。例如,东北师范大学通过开展《少数民族文化艺术欣赏》课程,系统介绍蒙古族音乐、朝鲜族舞蹈、满族图腾等艺术形式,营造多元共融的课堂氛围。2023 年课程结业调查显示,学生对“跨文化理解”维度的评价提升了 22%,课堂参与度显著上升。这种融合型美育模式契合“立德树人”的育人目标,帮助学生在认知差异、尊重他者、理解多元,推动构建和谐的校园文化生态。

2.5 促进美育与思想政治教育、生态文明教育融合发展

吉林地域文化不仅富含艺术表现形式,更承载着丰富的价值观与伦理思想。红色文化中的抗联精神、生态文化中的绿色理念、传统文化中的礼仪美学,均可转化为思想政治教育与生态文明教育的重要资源。例如,通化师范学院将“红色文化与艺术表达”纳入美术课程模块,引导学生通过艺术形式重现东北抗联历史,在视觉创作中体会革命精神的内涵。课程改革后,学生对“课

融合路径维度	具体实施方式	预期教育成效
课程内容结构优化	构建“文化背景—艺术形式—美学内涵—当代表达”的教学模块,案例如满族剪纸四单元教学法、地域建筑美学课程四步法。	增强课程文化厚度与结构系统性,实现知识向价值的转化与当代表达。
多元教学方法应用	采用项目式学习、实地考察、非遗工坊、角色扮演等方法;以“非遗调研—技艺学习—创意输出”三阶段为例构建沉浸式教学闭环。	提升学生参与度、情感共鸣与文化认同,构建审美—情感—价值的教育路径。
校地合作机制建设	建立与非遗传承人、民间艺人等“文化合伙人”协作机制,开展工作坊、学徒制、现场教学等,如“朝鲜族舞蹈体验周”项目。	提高课程真实性与文化原貌还原度,激发学生文化敬畏感与认同感。
数字化媒介拓展应用	引入3D建模、AR/VR、虚拟展览等技术,如非遗木雕与数字交互设计课程,打造沉浸式文化场景体验,实现虚实融合教学。	打破时空限制,提升教学互动性与传播广度,增强学生的文化体验与创造力。

图3 吉林省地域文化与高校美育融合路径

程价值认同度”评分平均提高了1.3分(满分5分制),课程满意度达到了93%。艺术创作与思政教育相结合,使教学内容实现从“知识输入”到“价值内化”的转化,也推动了美育教育的深层次拓展和多维度融合。

3 吉林省地域文化与高校美育课程教学融合的路径

将吉林省地域文化系统性地融入高校美育课程,是实现文化传承与教育创新的双重驱动路径。基于长白山生态智慧、多民族艺术形式及边疆历史文化等独特资源,通过课程内容、教学方式、资源整合和技术手段的四位一体融合机制,推动高校美育课程从“知识讲授”走向“文化沉浸”和“审美创造”,实现美育与地域文化的深层互动^[10](图3)。

3.1 课程内容结构优化

课程内容的创新是实现美育与地域文化融合的根基,核心在于将地域文化资源系统化、教学化处理,形成结构清晰、主题突出、内涵丰富的教学模块。课程设计应以“文化背景—艺术形式—美学内涵—当代表达”为主线,形成可教学、可评估的知识链条。以“满族剪纸艺术”为例,教学不应停留于技法训练,而应设立“图腾意象识读、剪纸技艺实操、符号意义解析、创意设计转化”四个单元,讲解如鹿、鱼、鹤等常见图案在满族文化中的精神寓意,最后引导学生完成剪纸元素的当代设计延展作品。此外,对于地域建筑、服饰美学、节庆文化等内容,也应由“案例导

入—形式解析—文化语义—创新表达”四步构建教学逻辑。以“地域建筑美学”课程为例,学生可从朝鲜族传统民居的空间布局、装饰纹样、色彩搭配入手,通过模型搭建或空间改造方案,实践传统文化的现代转译,增强课程的文化厚度与操作性。将地域文化与美育融合进行课程内容的创新,能够使地域文化从抽象符号转化为具体的教学资源,其关键在于实现教育内容从知识传递向价值内化的转化,赋予美育更深层的文化价值与精神内涵^[11]。因此,课程内容的结构化创新不仅增强了美育课程的文化深度与教育厚度,也为地域文化的当代表达与可持续传承提供了有效路径,是实现美育育人功能的基础性支撑。

3.2 多元教学方法应用

传统单一的讲授模式常将文化简化为可复述的知识,难以展现地域文化的多维特性与精神内涵,导致学生成为被动的知识接收者,缺乏情感共鸣与创造动力。而多元教学方法通过构建多感官、多维度的认知界面,使文化从静态的知识转化为动态的体验,激发学生的参与意识和文化认同^[12]。在课程实施过程中,需打破传统以教师讲授为主的教学模式,转向以体验为核心的多元化教学方法。具体方法包括项目式学习(Project-based Learning)、实景考察教学、非遗工坊实践、角色扮演、情境模拟等^[13]。例如,在“吉林非遗文化实践”课程中,学生通过“非遗调研—技艺学习—创意输出”三阶段参与:先实地走访延边朝鲜族自治州,访问刺绣艺人;再在校园内参加手工艺实践工作坊,学习刺绣技法与图

案背后的文化故事;最后设计融合现代生活场景的创意作品,如手机壳、帆布包、饰品等。该类教学法强调“沉浸式体验+项目产出”,不仅提高学生参与度与创造力,也增强文化内化程度,是实现“情感共鸣—审美判断—文化认同”教学闭环的有效路径。

3.3 校地合作机制建设

建立高校与地方文化实践者的协同机制,是保障教学内容真实与文化原貌还原的重要保障。在美育课程中,特别是涉及非遗、传统技艺、民族艺术等内容时,仅依赖教材与教师讲授,往往难以呈现其文化原貌与精神实质,学生对其理解易流于表面,缺乏深度体验和价值认同。应主动引入非遗传承人、地方文化学者、民间艺人等作为“文化合伙人”,参与课程共建、教学实施与评估反馈。以吉林艺术学院开设的“地域艺术表现”课程为例,学院引入朝鲜族舞蹈非遗代表性传承人崔某作为长期驻校导师,设立“朝鲜族舞蹈体验周”“动作符号讲解课”,学生不仅学习舞步,也理解动作与民俗节庆、祭祀仪式的关系。此外,推行“学徒制教学”,将学生与艺人配对,完成为期 4-6 周的技艺学习和课程作品创作。此类实践过程不只是技艺模仿,更是人格精神的传递与价值观塑造,是提升学生文化敬畏感与历史责任感的关键路径。这种合作不仅提升课程深度和教学质量,也为学生打开了解本土文化的真实窗口,是打破“知识孤岛”与“文化失语”的有效途径,更是在培养文化认同、增强文化自信方面的重要抓手,助力高校美育目标的全面实现^[13]。

3.4 数字化媒介拓展应用

在数字媒介快速发展的背景下,利用多媒体与沉浸式技术拓展地域文化教学边界,已成为高校美育的重要发展方向。以数字建模、虚拟展演、全息技术、AR/VR、互动游戏等形式再现地域文化场景,不仅打破时空局限,也增强教学的参与感与真实感,使学生能够跨越时空障碍,沉

浸式地“进入”文化场景,获得更真实、生动的审美体验与文化认知^[14]。例如,吉林农业大学在“非遗木雕艺术与交互设计”课程中,利用 3D 建模软件重构传统木雕作品,让学生在数字环境中拆解雕刻工艺流程,并通过 AI 软件设计延展应用,如生成木雕风格的手机壳图样、家居装饰纹理等。课程结课作品通过虚拟展厅平台进行全校展示,平均浏览量达上万人次,显著提升学生的创作积极性与公众传播度。这类课程实践说明,数字技术并非对传统文化的替代,而是对其语境的延伸和文化内核的激活^[15]。学生不仅能通过 AR“亲临”朝鲜族节庆现场,或在 VR 中“走进”长白山神话传说,还能与数字传承人互动交流,使文化体验从“观看”走向“参与”。这一发展路径将打破传统文化传播的时空限制,使“看得见的技艺”与“看不见的文化精神”在当代表达中共同焕发新生,为高校美育提供更具深度与广度的教育空间。

4 结语

本文立足新时代高校美育发展需求,围绕“以美育人、以文化人”核心理念,聚焦吉林省地域文化资源,系统梳理了多民族文化、红色文化、冰雪文化、生态文化与非遗文化五类地方文化类型,构建了以课程内容、教学方法、校地合作、数字资源为核心的融合路径。与已有研究偏重非遗保护或教学个案不同,本文系统性的分析了地域文化在美育教育中的应用价值,强调“课程系统性提升”和“文化育人内化”为核心,在整合性、系统性与可操作性方面进行了拓展和深化,突破了碎片化教学设计的局限,补充了高校美育与本土文化融合在课程转化机制上的研究空缺。

未来进一步研究将从以下方向深化:构建“校地文化共同体”,开展学生文化认同与审美能力的量化跟踪评估;推动学生基于数字媒介参与文化再生产,形成具有当代表达力的地域文化课程;完善高校美育本土化、特色化、协同化发展的理论支持与实践机制。

参考文献(References):

- [1] 刘琴. 2022 中国美育研究述评[J]. 美育学刊, 2023, 14(03): 7-19.
- [2] Yu Jie. The Significance of Aesthetic Education Teaching Practice in Colleges and Universities Participating in Community Aesthetic Education [J]. International Journal of New Developments in Education. 2023, 26(05): 1-10.
- [3] 张笑瑜. “大美育”视域下高校教育专业美育现状管窥 [J]. 教育研讨, 2023, 4(05): 441-446.
- [4] Yuli Gong. Exploring the current situation and implementation methods of aesthetic education in vocational colleges [J] Adult and Higher Education. 2023, 7(05): 1-10.
- [5] 张占国. 试论高校美育课程体系建设及教学问题 [J]. 北方工业大学学报, 2002, 16(02): 43-50.
- [6] 郑惠坚. 推进高校美育教材建设的几点思考 [J]. 中国高等教育, 2002, 38(21): 23-24.
- [7] 栗高燕. 论学校美育体系的创新[J]. 教育探索, 2002, 19(10): 14-15.
- [8] 陈嘉, 刘旭光. 百年中国美育政策之演进[J]. 美育学刊, 2024, 15(04): 18-26
- [9] 赵伶俐. 论当代美育课程设置[J]. 西南师范大学学报(哲学社会科学版), 1993, 36(04): 54-59.
- [10] 刘慧琴, 李艳, 沈薇薇. 教师美育素养的结构要素及培育策略[J]. 贵州工程应用技术学院学报, 2025, 43(01): 117-123
- [11] 陈利敏. 农村中小学艺术教育师资建设现状及对策[J]. 内蒙古师范大学学报(教育科学版). 2008, 21(02): 66-68.
- [12] 王福阳. 综合型艺术教育师资的培养[J]. 教育评论, 2008, 23(03): 33-35.
- [13] 陈旭光, 卢玥. 新时代 新媒介 新思维——人工智能时代基础教育阶段的美育探讨[J]. 美育学刊, 2024, 15(06): 34-39.
- [14] 顾佐佐, 陈虹. 艺术+科技: AI 时代设计学课程的交叉与融合 [J]. 集宁师范学院学报, 2024, 46(06): 64-68+79.
- [15] 陈宁. 新课改背景下未来教师美育的理论与实践探索[J]. 西华师范大学学报(哲学社会科学版), 2012, 34(02): 1-5.

作者简介:

第一作者:郝佳音,1984 年生,女,黑龙江北安人,硕士,吉林农业大学,讲师,主要研究方向为乡村环境设计。Email:21167334@qq.com;

通讯作者:宿一宁,1983 年生,男,长春人,博士,东北师范大学,讲师,主要研究方向为环境设计。Email:392930932@qq.com

Research on the Integration Path of Regional Culture of Jilin Province and Aesthetic Education Courses in Colleges and Universities

HAO Jiayin, SU Yining*

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2. Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: This study aims to explore the integration pathways of regional cultural resources in Jilin Province into the teaching of aesthetic education courses in higher education, which aims to enhance the cultural depth and educational function of the curriculum, thereby responding to the contemporary demand for improved aesthetic education quality in Chinese universities. By systematically identifying Jilin's distinctive regional cultural resources, including multi-ethnic artistic forms, revolutionary and cross-border cultural heritage, ecological and ice-snow-related art, intangible cultural heritage and traditional arts, as well as traditional festivals and moral rituals, this research analyzes their transformative potential in university aesthetic education. The findings demonstrate that these cultural assets not only provide rich teaching content but also contribute significantly to students' aesthetic literacy, humanistic spirit, cultural identity, and ideological and political awareness. Based on this analysis, the study proposes integrated strategies, including curriculum content innovation, diversified teaching methods, school-local expert collaboration mechanisms, and the application of digital and multimedia tools. The research concludes that constructing an aesthetic education system grounded in regional culture can not only strengthen the local characteristics and cultural depth of university teaching, but also help achieve the educational goals of cultivating virtue through aesthetic education and promoting moral development through cultural and aesthetic means. This has significant practical implications and value for the reform of aesthetic education in higher education and the sustainable inheritance of local culture.

Key words: regional culture; aesthetic education courses; and integration paths

廉洁规划,文化铸魂: 国际与本土城建类课程“廉洁文化进课堂”教学方法研究

杨 灵*,段溶奇

(浙江科技大学土木与建筑工程学院,杭州 310000)

摘 要:基于坚定文化自信、推动中华优秀传统文化的时代要求,及全球教育领域正面临文化多样性融合与价值观塑造的双重挑战,将廉洁文化融入国际和本土城乡规划专业教育,既是落实立德树人根本任务的重要举措,也是培养具有社会责任感和职业道德的高素质规划人才的关键路径。以《中外城建史(国际班)》和《居住区详细规划(本土班)》课程为例,结合“廉洁文化进课堂”的教学改革目标,通过示例性课程设计探索廉洁文化与专业知识的深度融合路径,将社会主义先进文化中的廉洁元素“公正”、“法制”等价值观和革命文化中的廉洁精神作为核心内容。充分考虑廉洁文化在国际城建教育和国内城建教育中的不同侧重点,采用理论讲授、正反面规划案例分析、实践设计、反思总结等多元化教学方法,构建起“理论认知-案例研讨-实践转化-价值反思”的教学模式。引导学生将廉洁价值观内化为职业准则,外化为规划实践,为同类课程的建设提供一定的参考。

关键词:廉洁文化;城建课程;教学方法;中外结合

中图分类号:G642

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2025)06-0093-7

0 引言

当前,全球教育领域正面临文化多样性融合与价值观塑造的双重挑战。在城乡规划专业教育中,如何将传统文化中的廉洁文化融入国际和本土的课程体系,既是响应新时代“立德树人”根本任务的必然要求,也是应对全球化背景下专业人才伦理素养与文化自觉双重需求的战略选择^[1]。城乡规划专业强调“参与式规划”,与廉洁教育中倡导的“透明决策”“公众监督”机制高度契合,与“权力监督伦理”形成价值共振^[2]。学科既承载着城乡空间布局、提升人居环境质量的技术使命,又肩负着促进社会公平正义、保障公共利益的社会责任。廉洁教育中的“程序正义”“分配公平”是实现规划专业空间资源公平分配的理论工具,也是弥补“技术腐败”案件背后专业教育中存在的伦理缺位^[3]。因此,城乡

规划学科作为连接社会经济发展与空间资源配置的关键桥梁,其专业特性决定了廉洁文化教育在城乡规划人才培养中具有不可替代的价值^[4]。

当前国际学界普遍强调制度在预防规划腐败中的核心作用,不论是美国规划协会制定的《职业道德准则》还是日本土地的“权益分离”模式等,都为城乡规划廉洁教育提供了“防患于未然”的框架参考^[5]。在全球化语境下,国际班学生既需理解多元文化中的城市治理逻辑,又需在文明互鉴中坚守社会主义核心价值观;本土班学生亦需根植于中华文化土壤的专业伦理体系。廉洁文化作为人类共同追求的公共伦理准则,通过将廉洁文化教育融入国际与本土城建类课程课程,能够帮助学生树立“规划为民”的初心,让他们深刻认识到自己所肩负的社会责任,强化职业道德底线意识,从源头上预防规划领域可能出现的腐败问题^[6]。

基金项目:浙江科技大学2024年度国际教育研究专项课题(2024IERC004);2024年度浙江科技大学课程思政教学项目(2024-ks7)。

在此背景下,本研究以《中外城建史(国际班)》和《居住区详细规划(本土班)》课程为载体,通过廉洁文化在国内外学生课程中的融合教学,探索廉洁文化“一体两翼”的融入路径,这不仅体现了人类命运共同体的观念,也将中华传统价值观与现代治理理念结合,对提升城市建设领域的职业道德、规范行业行为也具有重要意义。

1 课程背景与教学目标

1.1 课程背景

《中外城建史(国际班)》以跨文明比较为核心,旨在通过全球视野解析城市发展规律;《居住区详细规划》作为统筹城乡空间资源配置的战略性实践,不仅涉及土地开发强度控制、空间功能布局优化等技术维度,更深度关联着公共利益分配、社会阶层利益协调、公共资源代际公平等伦理命题^[7]。当前专业教育的体系中,存在明显的“技术至上”倾向,规划教学体系往往侧重技术规范传授与制图技能训练,将人才培养窄化为“空间设计师”,忽视了规划师作为公共政策制定者的核心角色。这种教育偏差导致学生在方案构思时,习惯性地以技术指标达标为首要追求,将居住密度、建筑高度等量化参数作为设计成功的唯一标准^[8]。

通过开展《居住区详细规划(本土班)》和《中外城建史(国际班)》课程的廉洁文化国内外融合教育,实质是构建规划伦理认知的矫正机制。通过引入典型腐败案例解析,使学生在直面居民利益诉求的过程中,理解规划方案的社会影响;建立规划方案廉洁性评估指标体系,将职业道德要求转化为可量化的设计标准。这种教学方法的创新,不仅能帮助学生掌握识别廉洁风险的专业技能,更培育其将公共利益置于首位的专业自觉,为从根本上减少规划领域权力寻租事件的发生构筑起第一道思想防线^[9]。

1.2 教学目标

1.2.1 知识目标体系建构

确立“三位一体”廉洁文化与规划专业融合的认知框架,通过理论诠释、历史转化与现代应

用的三维建构,形成具有学科穿透力的价值传导路径。其核心构建要点包括:其一,价值具象化维度。需系统解构社会主义先进文化中的廉洁基因,重点阐释“公正”“法治”等核心价值观在空间资源配置中的实践形态。可透视公平分配原则在空间生产领域的操作化路径,揭示社会主义核心价值观对规划伦理的规范作用。其二,精神转化维度。应深度挖掘革命文化中的廉洁遗产,完成历史记忆向现代规划伦理的创造性转化。其三,传统创新维度。须对中华优秀传统文化中的空间智慧进行现代性转译。如《周礼·考工记》“惟王建国,辨方正位”的营城思想,其蕴含的“天人合一”秩序观与“中正平和”伦理观,可为当代空间正义理论提供历史参照。通过解析传统营城尺度与现代社区单元的同构性,可建构具有文化延续性的规划公正评价体系。这三个维度构成递进式认知结构中,价值维度确立规范基准,精神维度搭建转化桥梁,传统维度提供文化根基,共同形成“理论-历史-现实”的立体阐释框架。

在对国际班教学中,可结合“一带一路”倡议、国际工程合作等平台,倡导联合国《反腐败公约》和可持续发展目标,将廉洁文化与国际通行的合规管理、ESG(环境、社会、治理)框架结合,避免教学过程中导致的价值观冲突,找到共同点以便于文化的理解。

1.2.2 能力目标实现路径

建立规划实践中的廉洁风险防范“识别-评估-应对”的能力链条。在方案构思阶段,培养学生运用 SWOT 分析模型识别潜在利益冲突点的能力,如在学区划分规划中预判开发商可能的教育资源垄断行为;在技术深化阶段,引入廉洁性评估指标体系,指导学生从程序正义、利益均衡、可持续性维度开展方案自检;在成果表达阶段,强化公众参与沟通能力训练,通过模拟听证会等形式,提升学生协调多元利益诉求的专业技巧。最终形成涵盖方案设计、实施监管、后期评估的全周期廉洁规划能力。

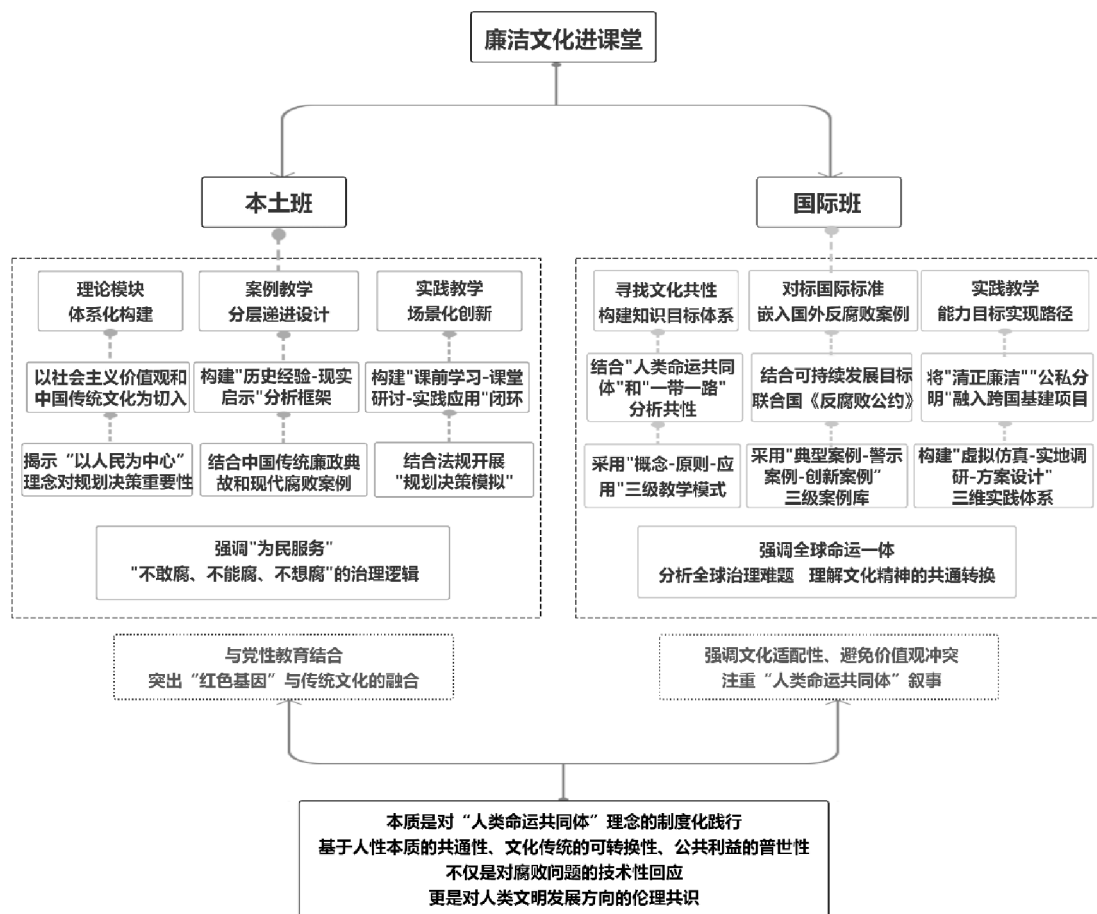


图1 “廉洁文化进课堂”国内外城建类课程教学思路框架图

1.2.3 价值目标培育机制

遵循职业价值观塑造的“认知-认同-践行”的递进规律。通过组织“规划伦理”主题辩论赛,使学生在思想碰撞中深化对“规划为民”理念的理解;开展“规划师的一天”职业体验活动,邀请行业模范讲述廉洁从业经历,增强价值认同;建立课程思政实践档案,要求学生记录每次设计决策中的价值考量,促进知行转化。特别设置“规划伦理困境”案例研讨环节,引导学生直面代际利益冲突、弱势群体安置等现实矛盾,在价值抉择中强化社会责任感,使廉洁意识真正内化为职业信仰。

2 教学内容、方法与实施路径

2.1 教学思路框架

建立廉洁文化在国内外城建类课程中的融合教学改革思路(图1),需特别关注本土班与国

际班在教学上的不同侧重点。其中,本土班侧重中国制度,需与我国党性教育结合,突出红色基因与传统文化的融合;国际班侧重国际标准,强调的是文化适配,避免价值观的冲突,从“人类命运共同体”的角度进行叙事。但两者均从人性本质共同性、文化传统可转换性和公共利益的普世性方面体现出了廉洁教育的普适特征。

2.2 示例课程内容设计

2.2.1 课时一:先进文化中的廉洁元素介绍

(1) 教学内容深化设计

在理论讲授模块,本土班授课方式可直接从中国特色社会主义核心价值观、中国传统文化作为切入点。首先系统阐释社会主义核心价值观中“公正”“法治”理念与居住区规划的内在契合。例如,以土地分配为例,通过建立多因子评价体系,演示如何综合考虑人口密度、交通可达性、公共服务覆盖度等维度,构建兼顾效率与公

平的分配模型;选取杭州市“人才住房”政策作为实证,分析其在保障新市民居住权益方面的制度创新;针对公共服务设施布局,引入“15 分钟社区生活圈”规划理论,结合杭州、上海、北京等地的实践案例,解析普惠性原则在养老设施、教育资源配置中的具体实现路径。

国际班由于文化差异,需寻找相似文化和名词作为衔接切入,解释“廉洁文化”的含义,且授课内容需与国际法律、国际发展形势接轨,不能一味偏向中国式的价值观。例如以古代中国《周礼·考工记》“匠人营国”与古希腊雅典卫城为例,进行对比分析。阐述中国的“宫城居中、左祖右社”概念与“神庙、露天剧场、市民广场结合”概念的文化逻辑相关性。由此作为概念和文化的切入点。

(2) 案例分析引导反思

案例分析环节构建“正反对比-伦理反思”的分析框架。《居住区详细规划(本土班)》课程的案例尽量以中国案例为主,让同学们更有亲近感,更好理解。例如正面案例选取北京“劲松模式”老旧小区改造,重点展示居民议事会制度在电梯加装、停车改造等矛盾焦点上的协调作用。设置“居民满意度”前后测数据对比,直观呈现廉洁规划带来的治理效能提升;反面案例聚焦某二线城市“学区房”规划舞弊事件,通过还原开发商与规划部门的不正当利益输送链条,引导学生运用 SWOT 模型分析腐败行为对规划公信力的摧毁效应。

《中外城建史(国际班)》国际班的案例以国外案例为主。例如工业革命后伦敦轨道交通网络与巴黎奥斯曼改造,对比同时期中国城墙拆除与近代马路建设(如上海法租界规划),体现技术驱动与殖民影响的差异。考虑到不同国家政策体系差异下进行廉洁规划步骤实施的异同点并进行授课。

(3) 教学方法创新实践

为了具象化廉洁规划背后的利害并结合法规凸显规划专业标准及底线,实行翻转课堂,构建“课前学习-课堂研讨-实践应用”的闭环。例

如《居住区详细规划(本土班)》课程课前发布包含《监察法》规划领域适用条款、《城市规划编制办法》公众参与章节等权威文献;《中外城建史(国际班)》课程课前发布《反腐败公约》,要求学生仔细阅读;课堂研讨环节将《城乡规划法》与《联合国反腐败公约》对接,重点解读“利益回避”“决策透明”条款在土地审批、容积率调整中的操作规范;实践阶段开展“规划决策模拟”,学生结合法规政策对虚拟规划项目进行廉洁性审查。引导学生转换视角,思考违背廉洁规划带来的损害。

2.2.2 课时二:廉洁精神与规划职业操守的结合

(1) 教学内容深化设计

基于“以人为本”的规划思想,以“精神传承-价值转化”为主线构建教学内容。《居住区详细规划(本土班)》课程选取焦裕禄同志在兰考工作期间“心中装着全体人民、唯独没有他自己”的感人事迹,与城乡规划学科中“规划为民”的核心思想相呼应。通过重点解析其“亲民爱民”精神与“无私奉献”品质,强调廉洁规划中的奉献和服务精神。将思想转换为行动,设置“规划师角色代入”讨论环节,引导学生思考在规划实践中如何践行“把群众当亲人”的服务理念,如在社区更新项目中建立“居民需求清单”制度。

《中外城建史(国际班)》课程从“人类命运共同体”概念进行国内外相关案例选取和讲解,分析全球城市治理难题。通过“一带一路”平台介绍,让同学们理解到文化精神的共通之处。角色扮演“规划师”,体验作为规划师时需注意的“反腐败”事项。

(2) 案例研讨总结历史经验

案例分析环节构建“历史经验-现实启示”的分析框架。《居住区详细规划(本土班)》课程,正面案例选取延安时期“自己动手、丰衣足食”的南泥湾大生产运动案例,解析其在资源匮乏条件下通过群众动员实现居住区建设的经验。重点讨论“窑洞建筑”的适应性设计智慧、“军民

共建”的社区营造模式对现代绿色社区、共建共治理念的启示。反面案例聚焦某省会新区“千城一面”现象,揭示其忽视地域文脉、过度追求开发强度的规划失误,批判“资本驱动型规划”带来的弊端及危害。引导学生树立正确、廉洁的规划观,并思考通过建立“公众参与+专家评审”的机制能否杜绝案例中出现的规划失误。

《中外城建史(国际班)》课程,注重学生理解廉洁精神在城乡规划领域的内涵,掌握规划职业操守的核心原则(如公平性、透明性、公共利益优先)。介绍新加坡“组屋计划”中的反腐机制,包括公开招标、全民监督等内容,引发学生思考如何在公共资源分配中保持公正、透明、拒绝利益输送的廉洁精神与职业操守结合。

(3) 教学方法创新实践

《居住区详细规划(本土班)》课程设计包含“价值观认知-职业行为对照-改进方向”的三维反思框架,引导学生从“规划为民”的价值理念出发,检视个人在规划实践中是否存在“重技术轻人文”“重指标轻体验”等行为偏差。《中外城建史(国际班)》课程引导学生将“反腐败”精神与城建史相结合,写下自己认为过去规划过程中存在的“腐败”案例以及今后规划中需注意的“反腐败”事项,通过定期举办“价值观分享会”进行分享。

2.3 教学方法与实施路径

2.3.1 理论模块的体系化构建

运用“廉洁文化谱系”理论框架,系统梳理从古代官箴文化到当代廉洁准则的演变脉络。使学生清晰地认识到廉洁文化在不同历史阶段的发展特点与时代价值,从而增强对廉洁文化的认同感与传承意识。重点解析《城乡规划法》《政府投资条例》《联合国反腐败公约》等法律法规中的廉洁条款,让学生更好地理解廉洁文化在专业领域的具体要求与规范,为将廉洁文化融入专业实践奠定坚实的法律基础。

在教学方法上,采用“概念—原则—应用”三级递进式教学,逐步引导学生深入理解并掌握廉洁文化在专业领域的应用。首先,借助“廉洁

基因图谱”概念,以直观、形象的方式解析廉洁文化在规划领域的核心要素,如公平性、透明性、责任性等,让学生能够更加直观地理解廉洁文化在规划领域的核心要素;其次结合规划项目全生命周期,构建“廉洁风险识别-防控-评估”的理论模型,通过识别各阶段可能出现的廉洁风险点,如利益输送、违规决策等,采取相应的防控措施并对防控效果进行评估,帮助学生掌握在规划项目中如何有效识别、防控和评估廉洁风险,提高廉洁风险防范能力;最后引入“廉洁型规划”评价标准体系,对规划项目的廉洁性进行量化评价,引导学生将廉洁原则转化为具体的技术规范,从而在规划实践中更好地遵循廉洁原则。对国际班进行授课时需特别注意,不同文化的异同点和价值观的冲突点,寻找相似文化和共通点作为切入点,因材施教。

2.3.2 案例教学的分层递进设计

采用“典型案例-警示案例-创新案例”三级案例库:典型案例库聚焦于《城市总体规划编制办法》中廉洁条款的成功执行案例,这些案例是廉洁文化在专业实践中的生动体现。通过详细解析此类典型案例,学生能够深入了解《城市总体规划编制办法》中廉洁条款的具体要求与执行方式,明确在专业实践中如何遵循廉洁原则,保障规划决策的公平性与公正性。典型案例库为学生学习廉洁条款提供了可借鉴的范本,有助于他们在未来的工作中正确遵守廉洁规范。

警示案例库着重收集规划领域职务犯罪案例,这些案例犹如一面镜子,深刻反映出腐败行为对个人、社会和专业领域造成的严重危害。逐步分析决策过程中的每一个关键节点,揭示腐败行为是如何在各个环节中滋生、蔓延的。警示案例库能培养学生在面对类似利益诱惑时的风险研判能力,使其学会从源头上防范腐败行为的发生。

创新案例库紧跟时代步伐,展现廉洁文化在专业领域的创新应用。创新案例库为学生提供了接触前沿实践的机会,拓宽了他们的视野,激发了创新思维,促使他们思考如何将廉洁文化与

专业实践相结合,探索更多创新性的解决方案。案例教学采用“问题链”引导法,设置“案例背景-利益冲突-决策困境-廉洁路径”四阶问题链,培养学生系统思维与风险研判能力。

2.3.3 实践教学的场景化创新

构建“虚拟仿真-实地调研-方案设计”三维实践体系:虚拟仿真环节开发“规划廉洁风险防控沙盘”,模拟土地出让、容积率调整等关键环节的廉洁风险点;实地调研阶段实施“廉洁观察员”制度,要求学生以第三方视角记录规划决策过程中的权力运行状况;方案设计阶段推行“廉洁性预评估”制度,运用“廉洁影响评价矩阵”对规划方案进行量化评分。特别设置“廉洁方案竞赛”环节,将廉洁要素纳入设计竞赛评分标准,推动廉洁理念与专业能力的深度融合。

3 结论与展望

廉洁文化在城建教育中的国内外实践,既是对“德治”传统的现代转化,也是对全球城市治理难题的回应。是推动中国文化软实力与全球城市可持续发展深度嵌合的关键步骤。将廉洁文化融入《居住区详细规划(本土班)》和《中外城建史(国际班)》课程,不仅丰富了课程的教学内容、提升了学生的专业素养,更重要的是筑牢了学生拒腐防变的思想防线。这一创新举措不仅契合了新时代高等教育对人才培养的全面要求,也回应了社会对城乡规划领域专业人才德才兼备的期待。同时,积极推动课程思政与专业认证标准的衔接,将廉洁文化教育的目标和要求融入专业认证体系,形成可复制、可推广的教学范式,也为城乡规划专业教育的发展提供了有益的

借鉴。

参考文献(References):

- [1] 中共中央办公厅印发《关于加强新时代廉洁文化建设的意见》[J]. 支部建设,2022,62(09):5.
- [2] 赵琦,姜涌,柳澎,等. 建筑师职业道德刍议——中国建筑学会《注册建筑师职业道德与行为准则》编后[J]. 建筑学报,2022,69(12):113-115.
- [3] 章海建. 多措并举,共建廉洁“一带一路”[J]. 国际工程与劳务,2018,31(12):40-42.
- [4] 陈瑶,孙泊,蒋露露. 加强新时代廉洁文化建设[J]. 党课参考,2025,27(07):11-23.
- [5] 曹清华. 美国高校学生工作队伍专业伦理培育研究[D]. 长春:东北师范大学,2022.
- [6] 陈名昭. 新时代廉洁文化融入陶瓷设计课程的探索与实践——以泉州工艺美术职业学院为例[J]. 江苏陶瓷,2025,58(01):81+83.
- [7] 吴海松. 课程思政视角下地域文化资源在高校思政教育中的应用[J]. 时代报告,2024,15(12):79-81.
- [8] 武珊珊. 新时代廉洁文化融入高校“大思政课”实践探索——以南方科技大学为例[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估),2025,80(04):63-66.
- [9] 杨灵,黄扬飞. 中国国情导入下的国际化城建课程“二合一”混合式教学方法研究[J]. 新城建科技,2024,33(08):86-88.

作者简介:

第一作者/通讯作者:杨灵,1984年生,女,杭州人,博士,浙江科技大学,高级工程师,硕士研究生导师,研究方向为城乡规划。Email:yangling121103@zust.edu.cn

Integrity Planning, Cultural Soul Building: Research on Teaching Methods of “Integrity Culture in the Classroom” for International and Local Urban Construction Courses

YANG Ling^{*}, DUAN Rongqi

(College of Civil and Architectural Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Based on the requirements of the era of firm cultural self-confidence and the promotion of Chinese excellent traditional culture, as well as the dual challenges of cultural diversity integration and value shaping in the global education field, integrating the culture of integrity into international and local education of urban and rural planning is not only an important measure for the implementation of the fundamental task of establishing moral character, but also a key path to cultivate high-quality planning talents with a sense of social responsibility and professional ethics. This paper takes the courses of “Chinese and Foreign Urban Construction History (International Class)” and “Detailed Planning of Residential Areas (Local Class)” as the carrier, combines the teaching reform goal of “Integrity Culture in Classroom”, and explores the in-depth integration path of Integrity Culture and professional knowledge through the example course design. The values of “justice” and “rule of law”, which are elements of cleanliness in advanced socialist culture, and the spirit of cleanliness in revolutionary culture are taken as the core contents. Taking into full consideration of the different focuses of the culture of integrity in international urban construction education and domestic urban construction education, Diversified teaching methods are adopted, such as theoretical lectures, case studies on positive aspects of planning, practical design, reflection and summarization, to further build up a teaching mode of “theoretical cognition – case study – practical transformation – value reflection”. It guides students to internalize the values of integrity into professional norms and externalize them into planning practice, which provides certain references for the construction of similar courses.

Key words: integrity culture; urban construction courses; teaching methodology; Chinese-foreign integration

6·25 第35个全国“土地日”
节约集约用地 严守耕地红线



我是丰收的沃野！