

# 目 次

2024年3月 第22卷 第3期

总第260期

## 龙江行业动态

- 保护中华大粮仓农业空间——《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》之“农业空间”解读 ..... (2)  
建设寒地宜居宜业城镇空间——《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》之“城镇空间”解读 ..... (4)

## 观点争鸣

- 关于推进黑龙江省脱贫攻坚与乡村振兴衔接的对策研究 ..... 刘小宁,王成全(6)

## 国土空间与城乡规划

- 人口收缩地区城镇建设用地规模与结构配置研究——以东北三省为例 ..... 石骋,衣霄翔,张远景(10)  
边疆景观研究:概念、维度与价值 ..... 吴松涛,何明毅,彭晓,等(24)

## 土地科学与乡村振兴

- 基于Tapio模型的长兴县经济增长与碳排放关系研究 ..... 郭嵘,吴晓晨(32)  
寒地村庄合并对生物质热电厂投资成本与能源利用率的影响 ..... 张一飞(42)

## 国土资源与绿色发展

- 基于GEE的森林动态变化研究——以中央站国家级自然保护区为例 ..... 赵晨曦,姚允龙,王文姬,等(51)  
基于动态响应模型的干旱驱动及传播方向研究综述 ..... 邢贞相,刘明阳,刘云涛,等(62)

## CONTENTS

Mar.,2024 Vol.22,No.3

Serial No.260

## TERRITORIAL SPACE AND URBAN AND RURAL PLANNING

- Research on the Scale and Structure Allocation of Urban Construction Land in Shrinking

- Population Area--a Case Study of the Three Provinces in Northeast China ..... SHI Cheng, YI Xiaoxiang, ZHANG YuanJing(23)

- Frontier Landscape Research: Concepts, Dimensions, and Values

- ..... WU Songtao, HE Mingyi, PENG Xiao, et al(31)

## LAND SCIENCE AND RURAL REVITALIZATION

- Research on the Relationship between Economic Growth and Carbon Emissions in Changxing

- County based on Tapio Model ..... GUO Rong, WU Xiaochchen(41)

- The Impact of a Cold Village Merger Plan on the Investment Cost and Energy Utilization

- Ratio of Biomass CHP Plants ..... ZHANG Yifei(50)

## LAND RESOURCES AND GREEN DEVELOPMENT

- Research on Forest Dynamic Changes Based on GEE--Taking the Central Station National Nature

- Reserve as an Example ..... ZHAO Chenxi, YAO Yunlong, WANG Wenji, et al(61)

- A Review of Drought-Driven and Propagation Directions based on Dynamic Response Models

- ..... XING Zhenxiang, LIU Mingyang, LIU Yuntao, et al(69)

# 保护中华大粮仓农业空间

## ——《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》之“农业空间”解读

### “农业空间”划定背景

国土空间规划语境下的“农业空间”,是与“生态空间”“城镇空间”并列的空间类型。“农业空间”内涵是指以农业生产、农民生活为主的功能空间,包括农用地、农业生产基础设施、产业平台建设用地等农业生产空间,以及村庄、集镇等农村生活空间。

“农业空间”是国家粮食安全、乡村振兴等重大战略的承载空间,其科学的规划布局为黑龙江省农业农村的现代化发展提供有力的空间保障。

### “粮食安全”是“国之大者”

耕地是“农业空间”的重要组成部分。党的十八大以来,习近平总书记高度重视国家粮食安全,始终坚持把解决好十几亿人口的吃饭问题作为治国理政的头等大事,围绕国家粮食安全多次作出重要指示批示,发表一系列重要论述。“粮食安全是‘国之大者’,耕地是粮食生产的命根子”“要像保护大熊猫那样保护耕地”“采取‘长牙齿’的硬措施,落实最严格的耕地保护制度”“要全面落实粮食安全党政同责”等重要论述深刻阐释了有关粮食安全的一系列重大理论和实践问题,为新时代牢牢端稳中国饭碗指明了战略方向,提供了根本遵循。

黑龙江省拥有松嫩、三江两大平原,黑土沃野千里,水土资源优越,农业机械化、规模化和现代化的发展基础坚实,是我国重要的商品粮生产基地。黑龙江省耕地面积、黑土地面积居全国之首,人均耕地面积为全国平均水平的 5 至 6 倍,粮食产量、商品量、调出量多年来稳居全国第一,是国家粮食安全的“压舱石”。习近平总书记说“中国粮食、中国饭碗”,这不仅是对我省维护国家“粮食安全”重要地位的肯定,更承载着国家对这片黑土地的殷殷嘱托和殷切期盼。

### “乡村振兴”是实现共同富裕的必然选择

党的十九大提出实施乡村振兴战略的重大历史任务。党的二十大报告指出,要“全面推进乡村振兴”,强调“坚持农业农村优先发展”“加快建设农业强国”“建设宜居宜业和美乡村”。实施乡村振兴战略是解决新时代我国社会主要矛盾的必然要求,是实现全体人民共同富裕的必然选择。

“农业空间”中的乡村空间兼具生产、生活、生态、文化等多重功能,与城镇互促互进、共生共存,共同构成人类活动的主要空间。我省幅员辽阔,乡村聚落密度较低,乡村产业类型相对单一,乡村人居环境有待提升。《黑龙江省国土空间总体规划(2021—2035年)》(以下简称《规划》)在村庄布局、产业结构、公共服务配置等方面予以指引,科学布局“农业空间”。

### “农业空间”主要内容

《规划》落实国家粮食安全和乡村振兴战略,建设“藏粮于地、藏粮于技”国家战略示范区,大力发展战略农业、绿色农业、质量农业、品牌农业,严守耕地保护红线,提升黑土耕地综合生产能力,拓展农

产品生产空间,建成国家粮食安全产业带核心区,县域统筹优化乡村空间布局,塑造美丽富饶农业空间,全力助推乡村振兴。

### 构建“三区两带”的农业空间发展格局

《规划》依托黑龙江省自然地理条件与农业比较优势,推动形成松嫩平原农牧综合发展区、三江平原现代农业发展区、中部林农生态农业发展区三大功能片区和绥满粮食安全产业带、哈同粮食安全产业带构成的“三区两带”的农业空间发展格局,打造国家粮食安全产业带核心区,保护中华大粮仓农业空间。

### 统筹实施黑土耕地“三位一体”保护

《规划》统筹实施耕地数量、质量、生态“三位一体”保护。严格落实全省 24993 万亩(1666.20 万公顷)的耕地保有量和 20327 万亩(1355.13 万公顷)的永久基本农田保护目标,并分解下达至全省 13 个市(地)。坚持生态优先、用养结合,对黑土耕地实行战略性保护,多措并举保护黑土耕地。同时,严格耕地用途管制,为端牢“中国饭碗”,种好“中国粮食”,当好维护国家粮食安全“压舱石”提供空间保障。

### 拓展农产品生产空间

《规划》树立大食物观,以保障国家粮食安全为基础,拓展农产品生产空间。在保护好耕地和生态环境的前提下,支持农产品生产空间从耕地向草原、森林、湿地等国土空间拓展,形成同市场需求相适应、同资源环境承载能力相匹配的农业空间结构和布局,形成农产品多样化的食物生产空间。《规划》对现代农业产业、都市农业、森林立体生产、畜牧业生产、渔业生产、现代设施农业等空间布局及用地保障给予指引。

### 县域统筹优化乡村空间布局

《规划》因地制宜优化乡村空间。统筹城镇和乡村发展,强化县域统筹,推动形成县城、中心镇(乡)、中心村层级分明、功能有效衔接的结构布局,促进县乡联动、产镇融合、产村一体。在县域层面合理优化村庄布局,按照集聚提升、城郊融合、特色保护、边境巩固和搬迁撤并五种类型,分类指导村庄发展。通盘谋划村庄发展定位、主导产业选择、用地布局、人居环境整治、生态保护和建设项目安排,统筹考虑农村村民生产、生活需求,制定“多规合一”实用性村庄规划,科学划定宅基地范围,保障基础设施和基本公共服务设施空间需求,优化产业用地布局,推进农村居民点宅基地集中布局。

### 推进农村土地综合整治

《规划》以乡镇为基本单元实施土地综合整治。田、水、路、林、村整体谋划、全域整治,优化农村生产、生活、生态空间布局,支持农业适度规模经营和现代农业发展,促进节约集约用地,保护和修复乡村生态环境。

## “农业空间”管控要求

农业生产空间内,黑龙江省落实最严格的耕地保护制度,实行耕地保护党政同责。严控非农建设  
(下转第 5 页)

# 建设寒地宜居宜业城镇空间

## ——《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》之“城镇空间”解读

### “城镇空间”划定背景

国土空间规划语境下的“城镇空间”,是与“农业空间”“生态空间”并列的空间类型。“城镇空间”内涵是指以城镇开发边界为主体,以承载城镇经济、社会、政治、文化、生态等要素为主的功能空间。其中,城镇开发边界是指在国土空间规划中划定的,在一定时期内因城镇发展需要,可以集中进行城镇开发建设、完善城镇功能、提升空间品质的区域边界,涉及城市、镇和各类开发区等。

“城镇空间”是国家“五大安全”、“区域协调发展”、“新型城镇化”、“沿边开放开发”、“东北振兴”等重大战略的承载空间,其科学的规划布局将使黑龙江省城镇化水平和质量稳步提升、城镇化格局更加优化、区域协调一体发展、城市发展模式科学合理、城市生活和谐宜人、城镇化体制机制不断完善。划定城镇开发边界,严控新增建设用地,可推动城镇紧凑发展和节约集约用地,对落实生态文明建设要求、防止城镇无序蔓延、促进城镇空间高质量发展具有重要意义。

《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》(以下简称《规划》)贯彻落实“精明增长”“紧凑城市”理念,按照党中央、国务院关于建立国土空间规划体系、深化“多规合一”改革决策部署,开展“三区三线”划定工作,各县(市、区)按照自上而下、自下而上相结合的工作方式,统筹划定了城市、镇以及各类开发区的城镇开发边界,并以城镇开发边界为基础,统筹优化城镇空间布局。

### “城镇空间”主要内容

#### 科学划定城镇开发边界

在优先划定耕地和永久基本农田、生态保护红线的基础上,避让自然灾害高风险区域,结合人口变化趋势和存量建设用地状况,科学合理划定城镇开发边界。《规划》确定全省城镇开发边界按不超过2020年现状城镇建设用地的1.3倍控制。

#### 构建“一圈一团七轴带”的城镇空间开发格局

《规划》落实国家“两横三纵”城镇化战略格局,统筹省域城镇发展,构建以哈尔滨为中心的城市群和都市圈,以佳木斯为枢纽的东部城市组团,以交通基础设施为纽带,连接多城市、多中心,打造“一圈一团七轴带”的网络化城镇空间开发格局,推动大中小城市和小城镇协调发展。

#### 优化城镇体系统结构

《规划》提出形成哈尔滨1个省域中心城市,齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯、大庆4个区域性中心城市,绥化、伊春、黑河、鸡西、双鸭山、鹤岗、七台河、北安、加格达奇9个地区性中心城市以及20个县级市和46个县城共66个地方性中心城镇。构建全面开放的省域空间体系,为黑龙江省整体竞争力的提升夯实基础,促进全省城乡一体协调发展。

## 优化产业空间布局

《规划》提出围绕构建“4567”现代产业体系,形成以哈尔滨四大经济发展核心区、哈大齐国家自主创新示范区、哈亚牡国际冰雪旅游区、煤炭资源型城市转型发展区、藏粮于地藏粮于技战略核心区、沿边开发开放合作区、大小兴安岭生态功能区为主体的“一核六区”产业空间格局。《规划》提出优先保障省级重大产业发展战略实施空间,保障创新平台载体建设空间,支持园区优化整合与提档升级,推进产城融合发展。

## 完善公共服务设施

《规划》提出建立健全公共服务资源配置机制,统筹区域性公共服务设施布局,保障城乡一体的公共服务设施合理配置。

## 推进城镇空间品质提升

《规划》提出促进蓝绿空间与生产、生活空间相融合,打造高品质、多层次的城乡生活圈,健全多层次住房保障空间供应体系,引导城市发挥特色优势。

## 提升城镇空间安全韧性

《规划》提出加强城镇空间结构安全韧性,保障城市防洪排涝排水功能空间,统筹应急应战储备保障空间。

## “城镇空间”管控要求

为做好城镇开发边界管理从“划”到“管”,《规划》从加强城镇建设用地的规模控制、完善城镇节约集约用地标准、统筹地下与地上空间资源开发利用、推进开发区集约高效利用土地和健全存量土地利用政策机制五个方面实现对全省城镇空间的管控和管理。

本次《规划》基于土地资源高效利用和城市紧凑发展、精明增长的新理念,推进城镇建设用地节约集约利用,控制城市无序扩张、保护生态环境、提升城镇空间安全韧性和品质、提高居民生活质量,实现高效、集约、绿色和可持续发展,不断实现人民对美好生活的向往,不断提升人民的获得感、幸福感、安全感。(张忠 徐恩宇 王语檬)

(来源:黑龙江省自然资源厅)

-----  
(上接第3页)

占用耕地,严控耕地转为其他农用地。严格落实耕地利用优先序,永久基本农田重点用于粮食生产。通过守住保障国家粮食安全底线,保障粮食和重要农产品有效供给。农村生活空间以实用性村庄规划为引领,实行“详细规划+规划许可”和“约束指标+分区准入”用途管制方式,严格空间准入。《规划》坚决落实国家粮食安全和乡村振兴战略,通过科学布局农业生产、农村生活空间,严格相关管控要求,当好国家粮食安全“压舱石”,塑造美丽富饶农业空间,全力助推乡村振兴。(张忠 徐恩宇 王语檬)

(来源:黑龙江省自然资源厅)

# 关于推进黑龙江省脱贫攻坚与乡村振兴衔接的对策研究



■ 刘小宁

黑龙江省东方学院经济贸易学院院长、教授；  
黑龙江省社会科学院应用经济研究所（原）副所长、研究员；  
黑龙江省区域经济学领军人才梯队学术带头人；  
黑龙江省科技与经济顾问委员会专家；  
黑龙江省区域经济学会副会长；  
黑龙江省哲学社会科学同行评议专家；  
黑龙江省高级职称评审委员会专家；  
黑龙江省中国特色社会主义理论体系研究中心特聘研究员。



■ 王成全

黑龙江省东方学院信息工程学院高级工程师；  
黑龙江省科顾委专家；  
黑龙江省区域经济学会常务理事；  
黑龙江省财政厅、发改委、政府采购中心项目评审及评标专家；  
主要从事人工智能相关领域研究。

打赢脱贫攻坚战，是促进全体人民共享改革成果、实现共同富裕的重大举措，是体现中国特色社会主义制度优越性的重要标志，也是新形势下促进经济高质量发展的重要途径。作为经济欠发达省份，黑龙江省脱贫攻坚的任务十分繁重。国家提出脱贫攻坚目标之初，我省有 28 个贫困县，其中，国家级贫困县 20 个，全部贫困县占全省现有 63 个县（市）的 44.4%。此外，还有泰来县等贫困县被列入大兴安岭南麓集中连片特困地区的 11 个贫困县。近些年，黑龙江省将脱贫攻坚与乡村振兴紧密结合起来，通过省、市、县、乡、村五级联动，戮力同心、综合施策，打赢了脱贫攻坚战，为脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接奠定了坚实基础。本文从阐述黑龙江省脱贫攻坚的实践探索与重要成果切入，在分析脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接面临挑战的基础上，从由产业扶贫向乡村产业振兴、由人才扶贫向乡村人才振兴、由文化扶贫向乡村文化振兴、由生态扶贫向乡村生态振兴、由组织扶贫向乡村组织振兴等五个方向拓展延伸，提出了推进全省脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接的对策措施。

## 1 我省脱贫攻坚的实践探索与重要成果

我省 13 个省辖市下辖 63 个县（市）。其中，哈尔滨市所辖尚志市、五常市 2 个县级市，依兰县、方正县、宾县、巴彦县、木兰县、通河县、延寿县 7 个县；齐齐哈尔市所辖讷河市 1 个县级市，龙江县、依安县、泰来县、甘南县、富裕县、克山县、克东县、拜泉县 8 个县；牡丹江市所辖东宁市、绥芬河市、海林市、宁安市、穆棱市 5 个县级市，林口县 1 个县；佳木斯市所辖同江市、富锦市 2 个县级市，桦南县、桦川县、汤原县、抚远县 4 个县；大庆市所辖肇州县、肇源县、林甸县、杜尔伯特蒙古族自治县 4 个县；鸡西市所辖虎林市、密山市 2 个县级市，鸡东县 1 个县；双鸭山市所辖集贤县、友谊县、宝清县、饶河县 4 个县；伊春市所辖铁力市 1 个县级市，嘉荫县 1 个县；七台河市所辖勃利县 1 个县；鹤岗市所辖萝北县、绥滨县 2 个县；黑河市所辖北安市、五大连池市 2 个县级市，嫩江县、逊克县、孙吴县 3 个县；绥化市所辖安达市、肇东市、海伦市 3 个县级市，望奎县、兰西县、青冈县、庆安县、明水县、绥棱县 6

个县;大兴安岭地区所辖漠河市1个县级市,呼玛县、塔河县2个县。

截至2020年末,随着我省延寿县、拜泉县、林甸县、青冈县、海伦市5个国家级贫困县最后一批退出贫困序列,全省62万建档立卡农村贫困人口脱贫,20个国家级贫困县和8个省级贫困县摘帽、全部贫困村出列,实现了农村贫困人口显著减少、农村贫困发生率明显下降。

#### 我省脱贫攻坚的具体做法与主要成果包括:

一是加强脱贫项目建设。脱贫攻坚期间,全省累计入库脱贫项目8489个,资金规模达到286.6亿元。我省根据各贫困县、贫困村的区位条件、资源优势和产业基础,发展适合当地的特色产业,把项目扶贫与产业发展结合起来,把贫困户吸纳进扶贫产业,使近期扶贫与长远致富一脉相承。

二是促进脱贫产业发展。脱贫攻坚期间,我省各级涉农部门坚持把产业扶贫作为贫困人口稳定脱贫的根本之策,聚焦农业产业发展,因地制宜发展新产业新业态,建设了一批贫困群众参与度高、带动作用明显的特色产业基地,使全省脱贫人口人均纯收入达到13,346元,增长14.2%。

三是完善脱贫政策体系。脱贫攻坚期间,全省充分发挥政府投入的主体和主导作用,吸引全社会广泛参与,形成多层次、多主体、多方合力推动的脱贫攻坚成效,强化资金投入,坚持“因需而整”“应整尽整”,全省扶贫开发投入专项资金达54亿元。

四是找准扶贫脱贫对象。全省各贫困村通过逐家逐户的对贫困户建档立卡,将贫困人口数落实到具体家庭和人口,更准确掌握贫困人口的详细状况,以此保证对贫困户认定的透明公开和相对公平。

五是强化脱贫组织保障。脱贫攻坚期间,全省从省市县党政机关、国有企事业单位及中直驻省单位中选派后备干部、中长期培养对象和优秀青年干部5471名,组建1778个驻村工作队,实现贫困村全覆盖。各级组织部门专门负责驻村

帮扶工作,省市县三级分别成立驻村工作办公室,负责工作指导、督促、检查、考核及日常管理。

## 2 我省脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接面临的挑战

脱贫攻坚和乡村振兴虽然都聚焦乡村发展,但两者存在明显差异,这就导致脱贫攻坚与乡村振兴在衔接过程中存在诸多不容忽视的现实挑战。

一是产业基础薄弱,扶贫项目支撑能力不强。尽管这些年我省在促进三产融合发展上取得了一定的效果,但至今全省农村二、三产业发展短板问题依然突出,龙头企业引领带动能力不强,尤其是我省农产品加工业产值和农业总产值比不足1:1,而全国平均已经达到2.3:1,我省这一比值不到全国的一半。此外,我省农产品精深加工比重不高,玉米深加工、大豆食品加工、肉类熟食品加工及副产品深度利用不够,产业链条短。产业扶贫项目市场化、规模化不足,缺乏可持续性。

二是集体经济薄弱,基本公共服务水平偏低。目前我省村集体债务包袱沉重,村均负债155.4万元,村均收益仅为15万元。村集体自身“造血”能力差,经营能力、再生能力较弱,发展动力不足,全省经营性收入6亿元,仅占总收入的10%,占比较低。而山东省、河南省经营性收入占总收入比例分别达到31%、22%。村集体提供公共服务水平偏低、能力有限,村庄道路全部硬化的村4418个、有农村社区综合服务站的村3474个,分别占总村数的49%、38%。而山东省分别占总村数的67%、45%,河南省分别占总村数的76%、69%。

三是农村人才匮乏,乡村人口流出形势严峻。目前我省农村人才匮乏,常住劳动力文化程度初中和小学占比较高,村干部多以高中和初中为主,大专以上文化程度较少,村干部年龄主要集中在46到60岁这个年龄段,45岁以下年轻人较少。外来劳动力人数远远少于外出劳动力人数,大量青壮年外出务工,村里大部分都是儿童、老年人,农村对人才的吸引力低、集聚能力

弱,向农村基层流动的人才较少。

四是空心村率较高,导致乡村资源浪费严重。目前全省乡村人口空心化率为 35.64%,乡村人口空心化率高于全省平均水平的城市和地区有 5 个,分别为齐齐哈尔市、佳木斯市、双鸭山市、鹤岗市和大兴安岭地区。其中,齐齐哈尔市乡村人口空心化率最高,为 48.76%;其次是佳木斯市,乡村人口空心化率为 43.72%;双鸭山市位于第三位,乡村人口空心化率为 41.60%;哈尔滨市乡村人口空心化率最低,为 22.07%。

五是精神文化欠缺,导致内生脱贫动力不足。随着脱贫攻坚成果的体现,虽然农村农民的生产生活条件改善了,但农村精神文明建设还没有跟上。农村发展,组织形式、利益主体、就业方式的日益多样化导致农民的思想观念、道德意识、价值取向、文化认同趋于多样化,滋生了享乐、拜金、重利思想,表现在“有新房没新村、有新村没新貌、有新貌没新风”。这些现象归根结底是农村传统文化的缺失。

六是收入结构不优,存在返贫致贫风险。我省虽然已有一定的贫困人口脱贫,但脱贫人口返贫风险仍然存在。脱贫人口收入构成中,政策性收入占比较高,面临着边缘人口收入低于贫困人口成为新致贫因素的可能。

### 3 推进我省脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接的对策措施

我省推进脱贫攻坚同乡村振兴有效衔接,需要明确工作重点,多策并举。具体从推动全省乡村“五大振兴”的角度来看:

一是从产业扶贫向乡村产业振兴拓展。农业是乡村的基础性产业,推动乡村产业振兴,需要充分挖掘农业的多种功能和价值,整合乡村资源要素,培育乡村经济发展新动能。为此,在脱贫产业发展的基础上,各脱贫县需要从宏观上统筹本地区乡村产业发展,在项目选择上应将扶贫产业和乡村振兴产业发展融为一个产业体系,建立产业发展的长效机制,制定特色产业发展规划、统筹使用涉农资金、加大政策扶持力度,吸引企业到农村从事资源开发、产业项目建设。

二是从人才扶贫向乡村人才振兴拓展。尽管我省脱贫攻坚取得了成功,但目前农村刚刚摆脱贫困,“造血”能力依然很弱。振兴乡村的关键在于人才的振兴,为此,我省有必要通过乡村人才振兴全面改善农村生产生活的面貌,统筹用好乡村公益岗位,健全按需设岗、以岗聘任、在岗领补、有序退岗的管理机制。劳务输出形成外阜就业需求清单,在对外输出集中地区设立劳务工作站,同步加强省内外劳务协作。劳动力输入形成当地岗位供给清单,吸纳更多农村低收入人群到本地就业。

三是从文化扶贫向乡村文化振兴拓展。从文化扶贫向乡村文化振兴拓展是一个重要的转变过程,它涉及到多个方面的衔接和推动。为此,我省亟需通过文化、知识、资金和人才下乡,激发乡村文化发展的内生活力,建立起政府、农民和社会共同参与的乡村文化治理体系。比如,文化和旅游部门可以从创意设计、演出产业、音乐产业、美术产业、手工艺、数字文化等 6 个领域赋能乡村振兴,提升乡村经济附加值,推动人居环境整治提升。

四是生态扶贫向乡村生态振兴拓展。绿色发展,既是当前的治贫之举,又是长远的固本之策。扶贫开发不能以牺牲生态为代价,应把生态保护放在优先位置。为此,我省可以通过在贫困县、贫困村设置生态公益性岗位、发展生态产业、实行生态保护补偿政策等方式增加贫困人口收入。组织动员贫困人口参与重大生态工程建设,提高贫困人口受益程度。

五是从组织扶贫向乡村组织振兴拓展。发挥基层组织的“领头羊”作用;自治机制,发挥农民主体作用;注重创新发展农村经济组织,发挥强村富民作用;突出规范培育社会组织,发挥多元服务作用。我省可以公开招聘 35 岁以下的优秀青年,以村“两委”负责人身份充实到脱贫村工作,试用期满合格者落实乡镇事业编,特别优秀者接任村书记,真正打造一批具有较强能力的乡村组织。与此同时,需要通过进一步深化农村集体产权制度改革,积极培育农村产权交易市场

体系,规范交易服务流程,丰富交易品种,探索农村集体经济各项权能实现的有效形式,夯实乡村治理基础,利用我省农村产权制度改革后呈现出的集体收入、集体资产“双增加”的机遇,积极探索集体经济发展路径。采取股份合作即“村集

体+龙头企业”方式增收,通过产业经营创收等多种渠道,增加集体经济收入,筑牢提升治理能力的经济基础,强化扶贫项目资产管理,为乡村治理提供持续发展动力保障,不断增强农民内生动力和自身发展能力。

# 人口收缩地区城镇建设用地规模与结构配置研究

——以东北三省为例

石 骞<sup>1,2</sup>,衣霄翔<sup>1,2\*</sup>,张远景<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院,哈尔滨 150001;  
2. 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室,哈尔滨 150001;  
3. 浙江大学建筑工程学院,杭州 310058)

**摘要:**人口收缩为城市发展建设带来了全新挑战,区别于增长时期,人口流失、需求下降成为城市用地配置过程中需重点考虑的现实背景。本文以非收缩城市为对照,分析东北三省人口收缩地区城镇建设用地规模和结构配置的现状及演变特征,在此基础上讨论建设用地配置的合理性,并延伸探讨用地配置优化的思路和关键议题,为人口收缩地区建设用地高质量发展提供理论基础。结果表明,收缩城市建设用地配置大多存在规模或结构上的“不合理”现象,主要表现为用地规模相对过剩、居住用地占比相对较高、工业用地占比相对较低等特点,特别是个别收缩城市配置失衡问题较为严峻,亟需转变用地配置发展思路、摆脱外延式扩张的路径依赖、聚焦用地内涵式发展、因地制宜结构性优化、充分发挥以土地促进社会经济发展的作用。

**关键词:**收缩城市;建设用地;用地规模;用地结构;内涵式发展;结构性优化

中图分类号:TU984

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)-0010-14

## 0 引言

时至今日,我国收缩城市研究已在国际经验、现象识别及伴生问题等多个角度积累了丰硕的成果。放眼全球,学者们对美国、英国、德国、日本等诸多发达国家收缩城市的治理经验进行了深入研究,梳理了国际应对收缩的普遍共识<sup>[1-4]</sup>。回归本土现实,学者们从不同尺度、不同指标、不同方法测度与识别了收缩现象<sup>[5-7]</sup>,并探讨了与其伴生的社会经济衰退<sup>[8]</sup>、房屋空置冗余<sup>[9]</sup>、地方债务风险<sup>[10]</sup>等一系列问题,建构了我国收缩城市的基本认知。近年,我国收缩城市研究从“认识”走向“应对”,诸多学者围绕“人口与空间”探讨收缩城市空间治理的出路<sup>[11,12]</sup>。作为空间规划的重要操作对象,建设用地在收缩城市发展中的作用也受到广泛探讨,如衣霄翔等

人分别从用地规模投入、用地结构配置、建设用地效率等多个角度出发,探讨收缩城市建设用地配置与社会经济发展的关系,并提出了用地配置优化的政策建议<sup>[13,14]</sup>。服务于用地优化,仍需建构对收缩城市建设用地配置的全面认知,因此本文从建设用地“规模配置”和“结构配置”两个角度出发,以东北三省地级市为对象,借助土地利用动态度、土地利用结构信息熵等模型方法,分析我国收缩城市建设用地配置“现状”及“演变”特征,结合合理区间和变化趋势探讨各地用地配置发展的“合理性”,并基于以上结果延伸讨论收缩城市用地配置的转变思路与关键议题。

## 1 数据来源、研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

东北三省是辽宁省、吉林省和黑龙江省的统

项目基金:国家社会科学基金一般项目(项目编号:22BRK020);黑龙江省自然科学基金优秀青年项目(项目编号:YQ2021E027);黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(项目编号:23RKB135)

称,是我国连接东北亚合作的重要边境区域,近些年成为了我国城镇人口收缩城市分布最为密集的地区。据第六次和第七次人口普查(简称“六普”和“七普”)数据显示,2010–2020年间全国发生城镇人口收缩的地级行政单元共计27个,其中20个位于东北三省,超过东北三省全部地级行政单元的半数。此外,东北三省的人口收缩伴随着较为严峻的经济衰退,由于发展观念落后、市场分割、技术滞后、创新不足等问题,东北三省经济增速长期落后于东南沿海地区,增速缓慢<sup>[15]</sup>。然而,在人口收缩与经济衰退的持续冲击下,东北三省城镇建设用地却在不断扩张,根据全国第二次、第三次国土调查(简称“二调”和“三调”)数据,2010–2020年间,东北三省城镇人口增长了5.64%,城镇建设用地却扩大了10.66%,这为人为关系失调埋下了隐患。面对人口收缩、经济衰退的复杂情景,东北三省亟需转变发展路径、优化要素配置,以提升城市社会效益。作为主要生产要素之一的土地资源要素也需要实现科学配置,以消除人地关系失调隐患、发挥其支撑城市社会经济发展的价值。鉴于此,以东北三省为研究区域开展此研究具有重要的实践意义。

## 1.2 数据来源与处理

本文采用“六普”和“七普”中的城镇人口数据作为判别人口收缩城市的数据基础,将2010–2020年间城镇人口减少的地级市视为“收缩城市”,反之即为“非收缩城市”。其中“六普”人口将城镇人口以城市人口和建制镇人口分别统计,而“七普”数据中直接以城镇人口统计,因此本文“六普”人口以城市人口和建制镇人口之和作为城镇人口数。城镇建设用地规模数据来自于全国“二调”和“三调”数据,建设用地结构数据来自于《中国城市建设统计年鉴》和《中国县域建设统计年鉴》,由于镇级建设用地没有明确分类,各地级市单类用地面积以地级市城区及其所辖县级市、县城城区单类用地面积之和计算,人均各类用地规模中的人口数据以上述建设统计年鉴中的地级市城区及其所辖的县级市、县城城

区人口数据之和计算,以保证统计口径统一。

## 1.3 研究方法

### 1.3.1 动态度模型

土地利用动态度是土地利用演变相关研究中常用的一个指标<sup>[16]</sup>,动态度是指某一研究单元某类土地面积变化的强弱程度,其实质为研究期内单位时长该类用地面积变化的平均水平。动态度为正代表该类用地规模变大,且值越大规模变化越快;动态度为负则代表该类用地规模减小,且值越小规模变化越快。在本文中,动态度用于探讨某时段内总建设用地规模或某类建设用地规模的变化速度,其公式为:

$$K = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中,K代表用地动态度;  $S_a$  是研究单元初期某类用地的面积;  $S_b$  是研究单元末期某类用地的面积;  $T$  为研究期时长,以年为单位。

### 1.3.2 信息熵模型

信息熵是美国数学家香农于1948年提出的用于测度系统信息量与不确定性程度的指标,如今已被广泛应用于土地结构的研究中,用于反映土地结构这一信息的均衡度和复杂程度<sup>[17,18]</sup>。本研究通过信息熵模型挖掘收缩城市用地结构均衡度与优势度特征,假设区域总城镇建设用地面积为  $S$ ,共分为  $m$  种建设用地结构类型,那么第  $i$  类用地类型的面积为  $S_i$ ,则用地结构信息熵计算过程如下:

首先,计算各建设用地结构类型占总建设用地的比例:

$$P_i = \frac{S_i}{S}, \sum_i P_i = 1 \quad (2)$$

然后参考信息熵指数定义城市建设用地结构信息熵公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中,H为信息熵,单位为比特(Nat),其大小可以用于衡量城市各类建设用地分布的均匀程度,而根据熵值最大和最小原理,对于  $m$  种用地类型,当各类用地面积相等时信息熵最大,而  $H_{max} = \ln m$ 。基于此可以得到均衡度(J)和优势

度(I)公式:

$$J = H/H_{max} = \frac{\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i}{\ln m} \quad (4)$$

$$I = 1 - J \quad (5)$$

式中,均衡度 J 为各城市建设用地结构信息熵与最大值的比值,取值范围为 [0,1],用于描述城市各类建设用地面积分配的均衡程度,均衡度越大则代表各类建设用地面积相差越小;而优势度 I 则是与均衡度意义相反的指标,用于描述建设用地结构被某类建设用地支配的程度,优势度越大则代表该城市建设用地结构更受某类用地的优势支配。

## 2 东北三省收缩城市城镇建设用地规模配置

### 2.1 收缩城市建设用地规模配置现状

“规模配置”即相对于“人口规模”的“建设用地规模”配置情况,根据“三调”和“七普”数据,计算东北三省各地级市 2020 年人均建设用地规模,判断收缩城市与非收缩城市差异(表 1)。可以看出,收缩城市人均建设用地规模平均值 (146.63m<sup>2</sup>/人) 大于非收缩城市 (134.25m<sup>2</sup>/人),且均高于《城市用地分类与规划建设用地标准 (GB 50137—2011)》(简称《标准》)中的上限值 115m<sup>2</sup>/人,可见东北三省城镇建设用地规模总体存在过剩情况,同时建设用地规模位于 115m<sup>2</sup>/人的规模约束以内的收缩城市有 2 个,而非收缩城市有 6 个,可见收缩城市建设用地规模过剩情况比非收缩城市更为严重。

表 1 东北三省 2020 年人均建设用地规模与 2010—2020 年间城镇人口变化率

地级市	收缩城市		非收缩城市	
	城镇人口变化率 (%)	人均建设用地 (m <sup>2</sup> /人)	地级市	城镇人口变化率 (%)
四平市	-33.49	<b>191.280</b>	鞍山市	1.25
伊春市	-22.85	<b>189.516</b>	丹东市	2.19
白山市	-20.45	<b>142.569</b>	辽阳市	3.14
本溪市	-17.13	100.624	佳木斯市	3.68
七台河市	-14.63	<b>146.582</b>	阜新市	6.38
白城市	-14.12	<b>188.248</b>	锦州市	7.81
通化市	-12.34	<b>140.966</b>	哈尔滨市	8.7
鸡西市	-10.75	<b>127.325</b>	大庆市	9.16
鹤岗市	-9.18	<b>162.951</b>	营口市	9.45
绥化市	-8.89	<b>157.940</b>	铁岭市	15.03
齐齐哈尔市	-7.81	<b>149.887</b>	盘锦市	17.12
吉林市	-7.43	<b>123.836</b>	葫芦岛市	22.31
双鸭山市	-7.2	<b>174.186</b>	沈阳市	22.7
牡丹江市	-6.41	<b>140.004</b>	大连市	23.23
松原市	-4.99	<b>135.370</b>	朝阳市	23.68
抚顺市	-4.86	100.870	长春市	30.09
黑河市	-4.68	<b>145.425</b>	平均值	12.87
辽源市	-3.49	<b>121.687</b>		134.251
平均值	-11.71	146.626		

注:加粗的数值代表人均建设用地规模高于 115 m<sup>2</sup>/人的约束。

表 2 三时段收缩城市建设用地规模动态度及其变化情况

地级市	建设用地规模动态度			动态度变化	
	2010 年 – 2013 年	2013 年 – 2016 年	2019 年 – 2022 年	前两时段 <sup>*</sup>	后两时段 <sup>*</sup>
白城市	1.442	1.215	0.682	-0.226	-0.533
白山市	1.822	0.189	0.384	-1.633	<b>0.195</b>
本溪市	<b>4.098</b>	1.113	0.412	-2.984	-0.702
抚顺市	<b>4.823</b>	0.774	0.375	-4.049	-0.399
鹤岗市	1.610	0.745	-0.097	-0.865	-0.843
黑河市	3.271	<b>2.344</b>	<b>0.797</b>	-0.927	-1.548
鸡西市	1.445	0.668	0.241	-0.778	-0.427
吉林市	2.485	1.226	<b>1.986</b>	-1.258	<b>0.759</b>
辽源市	<b>3.894</b>	0.475	0.455	-3.418	-0.020
牡丹江市	2.527	<b>1.527</b>	0.385	-1.000	-1.142
七台河市	<b>4.073</b>	1.035	0.078	-3.038	-0.956
齐齐哈尔市	2.566	1.265	0.448	-1.300	-0.818
双鸭山市	2.730	<b>1.528</b>	-0.039	-1.203	-1.567
四平市 *	0.674	1.015	-8.626	0.342	-9.642
松原市	0.754	0.563	0.395	-0.192	-0.167
绥化市	<b>5.296</b>	<b>2.805</b>	<b>0.898</b>	-2.492	-1.907
通化市	<b>5.752</b>	<b>1.611</b>	<b>1.638</b>	-4.140	<b>0.027</b>
伊春市	1.889	0.329	0.038	-1.560	-0.292
收缩城市平均	2.969	1.142	0.534	-1.827	-0.608
非收缩城市平均	4.004	1.813	0.960	-2.191	-0.853
东北三省平均	3.454	1.456	0.734	-1.998	-0.723

注:由于四平市和长春市行政区划变化,在平均值计算中未列入;建设用地规模动态度中加粗的数值代表超过东北三省平均值;动态度变化中加粗的数值代表正值;“前两时段”代表从“2010 年 – 2013 年”到“2013 年 – 2016 年”建设用地规模动态度的变化情况,“后两时段”代表从“2013 年 – 2016 年”到“2019 年 – 2022 年”建设用地规模动态度的变化情况。

## 2.2 收缩城市建设用地规模配置演变

根据“二调”“三调”与“六普”“七普”数据,计算东北三省各地级市建设用地规模动态度及其变化情况,并判断收缩城市与非收缩城市差异(表 2)。由于“二调”“三调”之间的 2017 年、2018 年的数据缺失,将剩余年份以 3 年为一段分为 2010 年 – 2013 年、2013 年 – 2016 年、2019 年 – 2022 年三段。总体上,相比于非收缩城市,三个时段收缩城市建设用地规模动态度均更小,说明总体上收缩城市建设用地投入规模相对于非收缩城市更少。按时序演变来看,三个时段收缩城市建设用地规模动态度逐渐下降,说明总体

上收缩城市已逐步减少建设用地投入的规模。具体来看,大部分收缩城市建设用地动态度已小于东北三省平均值,且 2019 年 – 2022 年间鹤岗市、双鸭山市动态度已为负值,说明已有个别城市认识到人口流失的现实情况而削减建设用地规模,但每个阶段仍有个别城市建设用地投入相对过多,例如绥化市和通化市三个时段建设用地规模动态度均高于东北三省平均值,说明两地已长期处于建设用地过度投入的状态,与人口收缩趋势不相协调。从动态度变化来看,多数城市三时段动态度在不断减小,个别城市动态度有所上升,建设用地扩张速度加快,例如吉林市在 2019 年 – 2022 年间建设用地扩张速度更快于 2013

年 - 2016 年,而通化市则是在用地持续较快扩张的基础上,2019 年 - 2022 年用地扩张速度更快于 2013 年 - 2016 年,与人口流失的发展趋势不匹配。

由此可见,收缩城市建设用地增速已相对较为缓和。随着人口不断流失,收缩城市已普遍减缓建设用地增速,一方面可能与政府认识到人口不断流失的现实相关,另一方面非收缩城市建设用地规模增速其实也在持续下降,可能与总体上遏制无序扩张、聚焦存量规划的倡导有关,但仍需注意个别城市仍然采取积极扩张、甚至加速扩张的用地配置策略,形成人口流失与城市扩张的悖论,不利于人地关系协调发展,并可能加剧用地低效发展、空间空置的风险,制约城市的社会经济发展。正如衣霄翔等实证研究发现,收缩城市需警惕用地低效风险,建设用地的扩张会抑制社会经济增长,还可能引发空间空置冗余等问题<sup>[13,14]</sup>。

### 2.3 收缩城市建设用地规模配置演变合理性

对于建设用地规模配置演变合理性的判断,除了要从人口增速与用地增速的协调性来探讨,还要结合人口与用地实际的匹配情况来分析,因此进一步结合 2019 年 - 2022 年动态度与人均建设用地规模现状来探讨用地规模配置演变的相对合理性,兼顾特殊的区域背景:以《标准》中人均建设用地要求区间  $65 - 115\text{m}^2/\text{人}$  和东北三

省平均值  $140.019\text{m}^2/\text{人}$  作为阈值划分三段区间,分别代表集约、相对集约、不集约;以 0 和东北三省动态度平均值为阈值划分三段动态度区间,分别代表减量、缓慢增量、快速增量,最终结合两者综合判定用地发展合理性(表 3)。

总体来看(图 1),多数收缩城市建设用地规模发展存在风险或不合理情况,鹤岗市等 4 个城市发展较为合理,松原市等 3 个城市存在一定的风险,吉林市等 10 个城市较为不合理。风险或不合理的城市主要分为以下几类:①建设用地相对集约但缓慢增长,包括松原市等三地,这些城市均为人均建设用地面积相较于《标准》过大,而相比于东北三省较小的城市,虽然这些城市用地增长速度相对于东北三省也相对缓慢,但随着人口的进一步流失,人地关系失调的风险将会加剧,因此需要更为谨慎地考虑用地规模投入。②建设用地相对集约但快速增长,仅吉林市一地属于此类,其人均建设用地规模相对东北三省而言相对集约,但其用地增速为收缩城市中最快,具有用地粗放发展风险。③建设用地不集约且有所增长,多数不合理的城市属于此类,这些城市人均建设用地规模超过了东北三省平均值,特别是通化、绥化、黑河三市用地增速较快,进一步加剧人地关系失调的风险,亟需转变用地发展的思维,聚焦存量用地,集约高效发展。

表 3 收缩城市建设用地规模配置合理性的判定标准及其内涵

人均建设用地( $U, \text{m}^2/\text{人}$ )	建设用地动态度( $K$ )	合理性	内涵
$65 < U \leq 115$	$K < 0$	合理	建设用地集约且更加集约化发展
$65 < U \leq 115$	$0 < K \leq 0.734$	合理	建设用地集约且相对缓慢增长
$115 < U \leq 140.019$	$K < 0$	合理	建设用地相对集约且更加集约化发展
$U > 140.019$	$K < 0$	合理	建设用地不集约但规模削减
$65 < U \leq 115$	$K > 0.734$	风险	建设用地集约但相对增长较快
$115 < U \leq 140.019$	$0 < K \leq 0.734$	风险	建设用地相对集约且相对缓慢增长
$115 < U \leq 140.019$	$K > 0.734$	不合理	建设用地相对集约但相对增长较快
$U > 140.019$	$0 < K \leq 0.734$	不合理	建设用地不集约且相对缓慢增长
$U > 140.019$	$K > 0.734$	不合理	建设用地不集约且相对增长较快

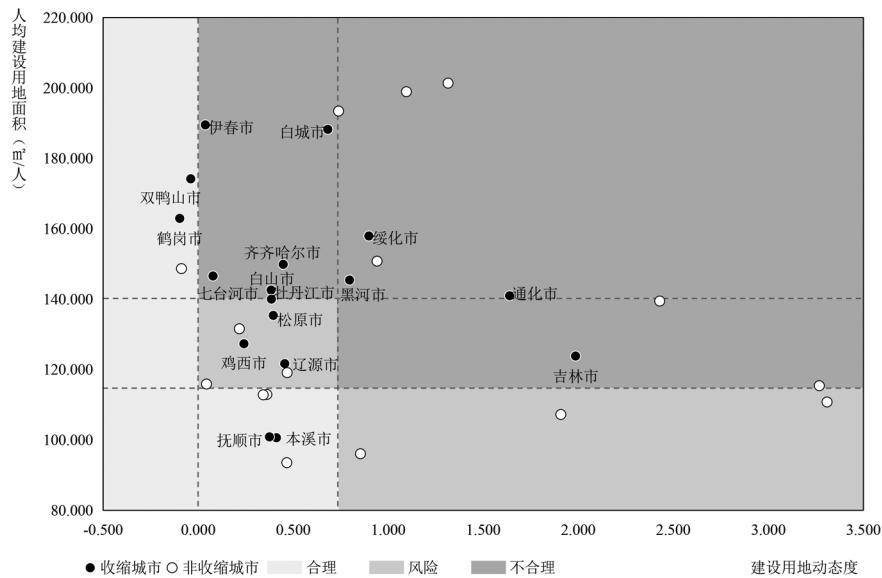


图1 东北三省收缩城镇建设用地规模配置合理性

表4 各收缩城市2020年建设用地结构配置情况

地级市	居住用地	公管服用地	商服用地	工业用地	物流仓储用地	道交用地	公用设施用地	绿地与广场用地	信息熵
白城市	34.70%	7.50%	7.10%	16.90%	7.40%	15.00%	1.60%	<b>9.70%</b>	<b>1.821</b>
白山市	<b>40.40%</b>	6.10%	3.10%	11.00%	2.20%	13.90%	3.50%	19.80%	<b>1.683</b>
本溪市	32.80%	7.50%	11.70%	21.30%	1.10%	13.50%	2.40%	<b>9.70%</b>	1.777
抚顺市	26.80%	7.70%	5.60%	30.50%	3.30%	<b>8.00%</b>	4.10%	13.90%	1.794
鹤岗市	38.50%	6.20%	4.20%	18.90%	2.70%	13.90%	2.50%	13.20%	1.718
黑河市	28.20%	<b>8.80%</b>	8.50%	15.80%	7.60%	14.00%	2.90%	14.10%	1.924
鸡西市	<b>56.10%</b>	<b>4.40%</b>	2.40%	<b>12.30%</b>	3.90%	10.50%	1.80%	<b>8.60%</b>	<b>1.456</b>
吉林市	33.90%	6.10%	7.60%	23.90%	2.50%	13.10%	2.40%	10.50%	1.761
辽源市	35.90%	5.90%	4.20%	23.40%	1.90%	14.70%	3.20%	10.80%	1.715
牡丹江市	34.90%	6.50%	6.00%	21.40%	3.30%	14.80%	4.10%	<b>8.90%</b>	1.786
七台河市	<b>56.30%</b>	<b>2.90%</b>	2.00%	17.90%	1.90%	14.10%	1.10%	<b>3.60%</b>	<b>1.337</b>
齐齐哈尔市	33.90%	<b>8.10%</b>	6.60%	22.30%	4.20%	13.90%	2.00%	<b>8.90%</b>	1.787
双鸭山市	33.20%	6.70%	6.60%	15.10%	4.90%	14.80%	3.10%	<b>15.60%</b>	<b>1.841</b>
四平市	37.70%	7.70%	4.80%	23.50%	4.00%	14.00%	3.70%	<b>4.70%</b>	1.719
松原市	35.30%	7.90%	3.90%	11.30%	3.30%	17.10%	3.20%	<b>18.10%</b>	1.774
绥化市	<b>41.90%</b>	6.60%	5.40%	16.70%	4.70%	11.70%	2.80%	10.20%	1.728
通化市	39.10%	7.10%	12.00%	11.70%	3.00%	13.70%	2.90%	10.50%	1.778
伊春市	44.30%	8.60%	4.90%	12.60%	3.40%	11.00%	4.10%	11.20%	1.713
收缩城市	38.00%	6.80%	5.90%	18.10%	3.60%	13.40%	2.90%	11.20%	1.728
非收缩城市	34.50%	7.20%	6.30%	22.40%	3.30%	14.70%	3.00%	8.50%	1.753
总体平均	36.36%	6.99%	6.11%	20.15%	3.49%	14.04%	2.93%	9.94%	—
标准区间	25-40%	5%-8%	—	15-30%	—	10-25%	—	10-15%	—

注:标准区间为《标准》中约束的各类用地合理占比区间;各类用地中加粗的数值为不在标准区间的数值;信息熵中加粗的数值为不在主要分布区间1.7-1.8之间的数值。

表 5 各收缩城市 2015 – 2020 年间信息熵变化情况及收缩与非收缩城市平均值

城市	信息熵	均衡度	优势度	城市	信息熵	均衡度	优势度
白城市	-0.0201	-0.0097	0.0097	牡丹江市	0.0285	0.0137	-0.0137
白山市	0.0776	0.0373	-0.0373	七台河市	0.0101	0.0049	-0.0049
本溪市	0.0095	0.0046	-0.0046	齐齐哈尔市	-0.0845	-0.0407	0.0407
抚顺市	0.0331	0.0159	-0.0159	双鸭山市	0.015	0.0072	-0.0072
鹤岗市	0.0191	0.0092	-0.0092	四平市	0.0225	0.0108	-0.0108
黑河市	0.0433	0.0208	-0.0208	松原市	-0.0501	-0.0241	0.0241
鸡西市	0.0388	0.0187	-0.0187	绥化市	0.0227	0.0109	-0.0109
吉林市	0.0487	0.0234	-0.0234	通化市	0.0525	0.0253	-0.0253
辽源市	0.1982	0.0953	-0.0953	伊春市	0.0101	0.0048	-0.0048
收缩城市	0.0264	0.0127	-0.0127	非收缩城市	-0.0007	-0.0003	0.0003

### 3 东北三省收缩城市城镇建设用地结构配置

#### 3.1 收缩城市建设用地结构配置现状

根据建设统计年鉴数据,按照《标准》中的居住用地、公共管理与公共服务用地(后简称“公管服用地”)、商业服务业设施用地(简称“商服用地”)、工业用地、物流仓储用地、道路交通设施用地(简称“道交用地”)、公用设施用地、绿地与广场用地 8 种用地分类,计算东北三省各地级市 2020 年各类建设用地规模占比及信息熵,并判断收缩城市与非收缩城市差异(表 4)。总体来看,收缩城市(1.728)和非收缩城市(1.753)结构信息熵均值相近,说明总体来讲,收缩城市与非收缩城市用地均衡性相近,其中收缩城市在用地结构配置上具有居住用地占比相对较高、工

业用地占比相对较低的特点,其余类型用地差别不大。具体来看,大部分收缩城市用地结构信息熵在 1.7 – 1.8 之间,说明大部分收缩城市用地结构均衡程度相近,但相比于《标准》中的要求,个别收缩城市仍存在较为严重的用地结构失衡特征,具体可分为以下 3 类:①居住用地供给过多,如鸡西市、七台河市结构信息熵均低于 1.5,其居住用地占比(分别为 56.10% 和 56.30%)超过总建设用地规模的一半,而公管服用地(分别为 4.40% 和 2.90%)占比不及《标准》中的下限值(5.00%)。②工业用地供给不足,如白山市(11.00%)、松原市(11.30%)等 5 个收缩城市工业用地占比不及《标准》中的下限值(15.00%)。③绿地与广场用地供给不足,如七台河市(3.60%)、四平市(4.70%)绿地与广场用地占比远不及《标准》中的下限值(10.00%)。

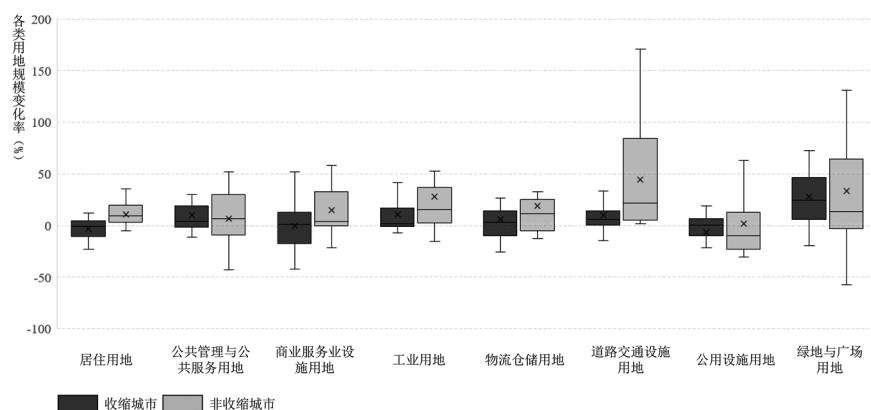


图 2 2015 – 2020 年间收缩城市与非收缩城市各类用地规模变化率分布箱形图

### 3.2 收缩城市建设用地结构配置演变

根据建设统计年鉴数据,计算东北三省各地级市 2020 年建设用地结构信息熵与 2015–2020 年间信息熵变化情况,并判断收缩城市与非收缩城市差异(表 5)。总体来看,18 个收缩城市中有 15 个信息熵增大,而 16 个非收缩城市中信息熵增大和减少的城市各占一半,说明在 2015–2020 年间收缩城市建设用地结构配置普遍均衡化,即不按照原有建设用地的结构配置比例,趋向于减少既有占据主导地位的用地类型供给与增加占比较少用地的供给。

具体来看(图 2),收缩城市结构配置演变呈现几个比较显著的特征:①居住用地“普遍减量化”,收缩城市居住用地规模变化的中位数和平均数均小于 0,且相比于非收缩城市其变化率分布区间也明显偏低,说明收缩城市普遍顺应人口流失趋势采取了减缓增长或减少居住用地的举措。②公用设施用地“减量化”,公共设施用地变化率分布区间与居住用地相似,其平均值是除居住用地外唯一一个小于 0 的用地类型,但中位数大于 0,说明公用设施用地减量的城市不到半数,但平均减少率更大。③公管服用地、绿地与广场用地“扩张化”与工业用地、道交用地的“缓慢扩张”,这四类用地多数收缩城市规模变化方向趋同,即保持规模扩张,但其中后两类用地从分布区间、平均值和中位数来看都比非收缩城市增长速度更缓慢,而前两类用地与非收缩城市相近。④商服用地、物流仓储用地“分异化”,从中位数来看,这两类用地增长的收缩城市数量与减少的收缩城市数量相当,但从平均值和中位数来看,非收缩城市两类用地增长更为快速。

### 3.3 收缩城市建设用地结构配置演变合理性

地方政府长期“以地谋发展”过程中,形成了倾向性供给工业、居住与公共用地的用地结构配置模式,这一模式曾在快速城镇化时期推动了城市的快速发展<sup>[19–21]</sup>,但既有研究表明,由于城市用地投入过剩、地区间地价竞争加剧等一系列问题的产生,传统的结构配置策略可能存在诸多

风险<sup>[14,21]</sup>,因此,本文针对“以地谋发展”模式中工业、居住和公管服用地这三类主要的用地,结合各类用地配置现状与其演变情况,讨论其演变的合理性。

对于各类建设用地配置合理性的判断,除了要从各类用地增减趋势和增减规模的角度考量,还需要结合各类用地是否位于相对合理区间来判断(表 6):

①居住用地:以人均居住用地面积划分配置合理区间,鉴于东北三省居住用地占比普遍较高,以《标准》中的上限要求  $38.00\text{m}^2/\text{人}$  和东北三省平均值  $49.68\text{m}^2/\text{人}$  作为阈值划分为三段,分别代表集约、相对集约和不集约;变化率以 0.00% 和东北三省平均增速 3.65% 为阈值划分为三段,分别代表减量、缓慢增量、快速增量。

②公管服用地:以人均公管服用地面积划分配置合理区间,鉴于东北三省公管服用地占比普遍低于《标准》中上限,以《标准》中的下限要求  $5.50\text{m}^2/\text{人}$  和上限要求  $9.20\text{m}^2/\text{人}$  作为阈值划分为三段,分别代表过度集约、集约、不集约;变化率以 0.00 和东北三省平均增速 8.60% 为阈值划分为三段,分别代表减量、缓慢增量、快速增量。

③工业用地:以地均工业用地产值划分配置合理区间,鉴于非收缩城市工业用地效率普遍高于收缩城市,以收缩城市平均值 793.80 万元/公顷和东北三省总体平均值 1106.41 万元/公顷作为阈值划分为三段,分别代表不高效、相对高效、高效;变化率以 0.00% 和东北三省平均增速 18.76% 为阈值划分为三段,分别代表减量、缓慢增量、快速增量。

此外,由于收缩城市工业用地普遍配比较低,且工业用地并非直接与人口收缩挂钩,而是与经济挂钩,对于工业用地合理的判断有两个价值取向,一个是保证增量,即保证对于社会经济发展有充足的产业用地供给;另一个是避免低效,即保证供应不过量而避免存量工业用地低效空置的问题。综合上述目标确定各类用地合理性。

表 6 居住、公管服、工业用地配置合理性的判断标准

居住用地变化率(XR,%)				
		XR≤0.00	0.00<XR≤3.65	XR>3.65
人均居住用地 (UR, m <sup>2</sup> /人)	0.00<UR≤38.00	合理	不合理	不合理
	38.00<UR≤49.68	合理	风险	不合理
	UR>49.68	合理	合理	风险
公管服用地变化率(XP,%)				
人均公管服用地 (UP, m <sup>2</sup> /人)	XP≤0.00	0.00<XP≤18.76	XP>18.76	
	0.00<UP≤5.50	合理	不合理	不合理
	5.50<UP≤9.20	合理	风险	不合理
地均工业用地产值 (UI,万元/公顷)	UP>9.20	合理	合理	合理
工业用地变化率(XI,%)				
XI≤0.00	0.00<XI≤8.60	XI>8.60		
地均工业用地产值 (UI,万元/公顷)	0.00<UI≤793.78	不合理	合理	风险
	793.78<UI≤1106.41	不合理	合理	风险
	UI>1106.41	合理	风险	不合理

对于居住用地,总体来看(图 3):多数收缩城市建设用地发展合理,鸡西市等 10 个城市居住用地发展较为合理,本溪市等 2 个城市存在一定的风险,白城市等 6 个城市发展较为不合理。具有风险或不合理的城市主要分为 3 类:①居住用地相对集约但缓慢增加,包括双鸭山、本溪两地,虽然两地居住用地尚较集约,但其规模仍有所增加,随着人口流失,其居住用地冗余的风险

仍在缓慢加剧。②居住用地相对集约但增速过快,包含绥化市等 4 个城市,其人均居住用地面积虽相对集约且增速相对过快,随着人口流失,居住用地将会更加冗余。③居住用地不集约且有所增长,包含白城市等 2 个城市,其人均居住用地面积本就不集约且有所增长,随着人口流失,其居住用地将会更加不集约。

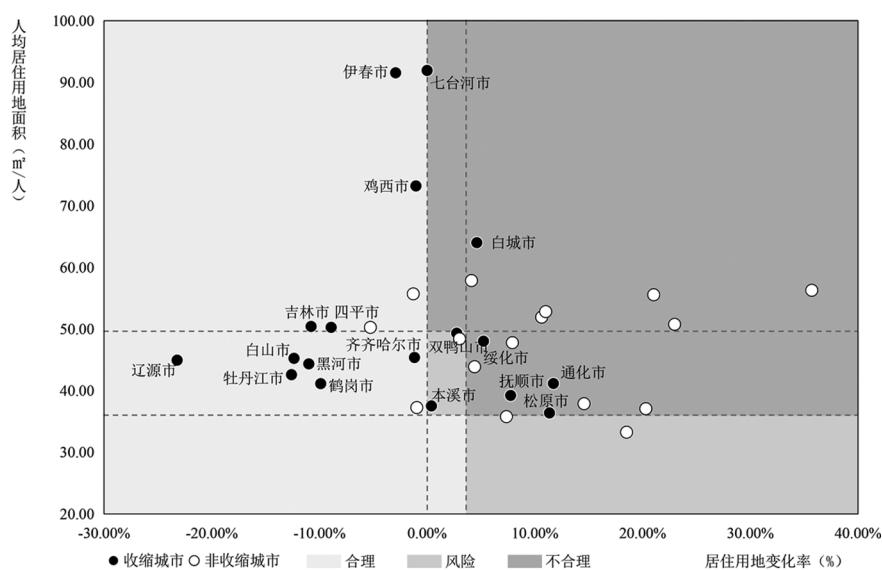


图 3 2015—2020 年间收缩城市居住用地配置合理性

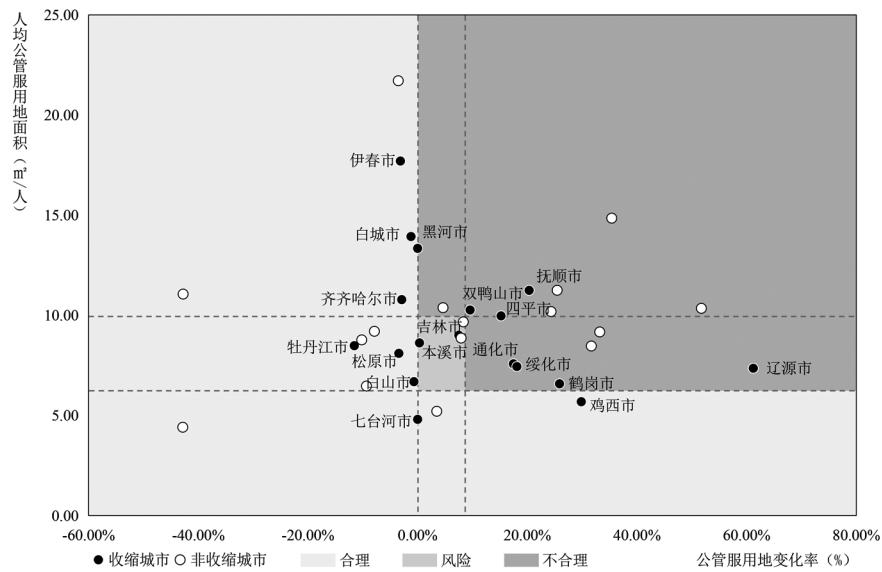


图 4 2015–2020 年间收缩城市公管服用地配置合理性

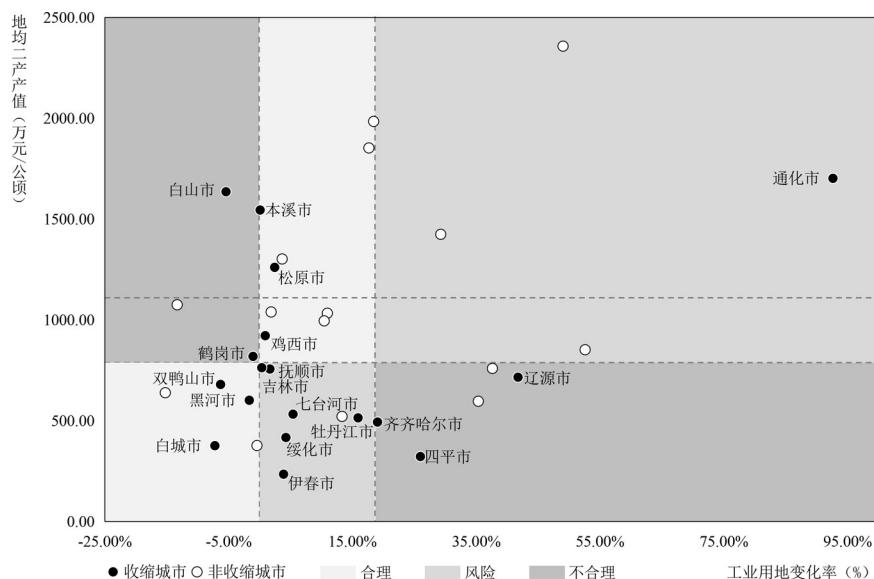


图 5 2015–2020 年间收缩城市工业用地配置合理性

对于公管服用地,总体来看(图4),多数收缩城市发展具有风险或不合理情况,白城市等8个城市公管服用地发展较为合理,本溪市等2个城市存在一定的风险,四平市等8个城市发展较为不合理。具有风险或不合理的城市主要分为3类:①公管服用地集约但缓慢增长,包含本溪市和吉林市,虽然其公管服用地集约且增速较缓慢,但随着人口流失,仍然具有致使用地冗余的风险。②公管服用地集约但增速较快,包括通化市等4个城市,其人均规模位于合理区间但增速

较快,不符合人口流失趋势。③公管服用地不集约且有所增加,包括双鸭山市等4市,这些城市在公管服用地本就不集约的基础上进一步快速扩张,其发展相对最不合理。

对于工业用地,总体来看(图 5),多数收缩城市发展不合理或存在风险,鸡西市等 6 个城市工业用地发展较为合理,通化市等 7 个城市存在一定的风险,鹤岗市等 5 个城市发展较为不合理。具有风险或不合理的城市主要分为 4 类:① 工业用地不高效且缓慢增长,除通化市外的 6 个

风险城市都属于此类,这些城市虽工业用地增速缓慢,但由于本地均产值就不高,仍有进一步低效发展的风险。②工业用地相对高效但增速过快,只有通化市一地,虽然其既有用地效率相对较高,但快速新增的这些工业用地存在低效发展的风险。③工业用地不高效且增速过快,包括齐齐哈尔市等 4 市,这些城市在存量用地效率不高的情况下快速扩张工业用地的情况,可能会增加“投资沉淀”,且不利于存量工业用地充分利用,进一步引发工业用地低效的风险。④工业用地高效但规模缩减,包含鹤岗市和白山市,其用地效率较高但规模有所减少,不利于支撑工业经济规模的扩大,可能不利于总体效益的提升。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

土地作为与劳动力、资本、技术、数据并列的五大基础性生产要素之一<sup>[22]</sup>,在驱动社会经济发展过程中起到重要的作用。对于收缩城市而言,劳动力的流失、资本力量的下降、技术的落后等一系列发展困境更加凸显了土地要素配置的重要性。本文以东北三省为例,从“规模配置”和“结构配置”两个角度分析了人口收缩地区建设用地配置的现状、演变特征及合理性,主要结论如下:

(1) 从规模配置来看,相比非收缩城市,收缩城市建设用地规模过剩的情况更为严重,虽然大部分城市投入规模已相对较少且仍在逐步减少,但仍有个别城市仍保持快速扩张甚至加速扩张的举措。

(2) 从规模配置合理性来看,多数收缩城市规模配置存在风险或不合理情况:一类是人均用地规模较多且用地仍在扩张的城市,例如绥化市、通化市等;另一类是人均建设用地集约但用地增速过快的城市,如吉林市等。

(3) 从结构配置现状来看,收缩城市在用地结构配置上具有居住用地占比相对较高、工业用地占比相对较低的特点,个别收缩城市存在居住用地供给过多与工业用地、绿地与广场用地供给

不足等结构配置失衡问题。从演变来看,收缩城市居住用地已普遍减量,公管服用地、绿地与广场用地普遍扩张,工业用地、道交用地普遍缓慢扩张,其余三类用地“扩张”与“减量”发展模式分异。

(4) 从结构配置合理性来看,居住用地发展较为合理的收缩城市占多数,而公管服用地、工业用地发展存在风险或不合理情况的收缩城市占多数。

### 4.2 讨论

根据上述结论,东北三省部分收缩城市建设用地配置存在诸多不合理的情况:

(1) 规模配置的“不合理”。研究发现,虽然收缩城市在建设用地规模投入上已趋于减缓,甚至部分城市开始负增长,但长期以来的人口流失与超前土地城镇化依然埋下了较大的人地关系失调风险,多数城市人均建设用地规模远超《标准》上限,规模配置已“积久成疾”,部分收缩城市已出现用地低效、空间空置等问题<sup>[9,23]</sup>。特别是部分城市仍然逆人口流失之势采取扩张的用地发展模式,存在较多隐患:一方面需求下降导致新增建设用地开发建设缓慢,难以实现扩张用地的理想成效;另一方面新增用地降低了存量用地的“比较优势”,导致旧城更新更为困难,最终“旧病未愈又添新伤”。因此,对于收缩城市,规模配置的发展取向更应当慎之又慎:一方面,规模过剩并不意味着必然减量。立足城市空间布局与结构全局,在适当区域新增建设用地仍然有价值,但需要谨慎考虑“在哪里寻求增量”,严格论证增量的得失,同时需要考虑为了新增量的合理发展,是否需要“在适当区域减量”,以引导资源向新增量区域倾斜,如果需要减量,还需要进一步探索减量的“价值出口”,解决复杂的产权问题,减轻减量的成本负担,使得减量“能行”且“行之有效”;另一方面,聚焦存量更需要把握“利益塑造”。相比于新增用地,存量用地其改造的成本更高、限制更多、谋利更难,难以成为资本逐利的首选项,因此需要“政府引导”以吸引资本参与,这就需要“规划和管理工具的创新”,

更充分地发挥政府土地资源管理的作用,以撬动更大的市场价值。此外在存量用地更新利用的方式上,还需要兼顾公众与市场的利益,一端是稳定人口、留住人心的“公共利益”,另一端是刺激市场、发展经济的“市场利益”,如何以有限的土地资源、灵活的政策工具把握好利益的“天秤”,也是值得探讨的议题之一。

(2)结构配置的“不合理”。研究发现,虽然多数城市用地结构趋向于合理发展,但个别城市、个别类型用地仍然存在配置不合理的状况。对于收缩城市而言,一方面需要对用地结构进行优化,因为“用地外延式发展”已然价值失效,而结构性优化是“内涵式发展”的重要手段。另一方面用地结构配置又存在诸多的“不确定性”问题,人口变化的不确定性带来了需求变化的不确定性,从而导致某类用地的供需关系难以准确预测,产生“转变为哪类用地”的难题,而城市中产生收缩的空间区域又存在一定的不确定性,从而导致用地结构优化的空间区域难以确定,产生“在哪里转变用地”的难题。因此,结构优化需要转变思维,变不确定为确定:首先,通过调查把握收缩城市用地发展状况的现实,因地制宜构建城市用地运行效率的评价标准,精细化评价城市中片区、用地的运行状态,把握基本的用地效率底数;然后,变被动适应的“不确定性”为主动引导的“确定性”,在掌握基本底数的基础上,确立重点发展的空间区域,通过用地结构优化、布局优化等完善重点发展区域的功能与空间形态,形成“收缩蓝图”;最后,完善空间规划实施的制度保障,通过设施引导、优惠政策等一系列手段引导人口向重点区域集中,保障“收缩蓝图”能够实施,最终化解“转变为哪类用地”与“在哪里转变用地”两大难题。

## 5 结语

本文针对东北三省收缩城市这一研究对象,对建设用地规模和结构配置的现状、演变以及合理性展开了分析,梳理了一些共性问题与个别城市的特殊问题,并就问题和应对思路进行了延伸

的讨论,提出了人口收缩地区用地配置的转变思路和一些仍需探讨的议题。收缩是“危机”亦是“契机”,人口减少虽然带来了发展动力下降等一系列问题,但是也为解决快速城镇化时期遗留的各种城市病提供了空间,因此如何转变发展思维和发展模式决定了收缩城市未来的命运,决定了能否向“小而美”“可持续”的目标顺利发展。本文对于用地配置合理性的判断基于宏观尺度和统一标准,具有一定的局限性,实际上对于各地用地配置合理性的评判仍需因地制宜,依据地方发展需要来出谋划策,从而应对不同地区差异化的收缩情景,实现差异化的发展目标。

## 参考文献(References):

- [1] 衣霄翔,赵天宇,吴彦锋,等.“危机”抑或“契机”?——应对收缩城市空置问题的国际经验研究[J].城市规划学刊,2020,(02):95–101.
- [2] 栾志理.收缩城市的紧凑型国土空间优化策略——日本选址优化规划的经验与借鉴[J].国际城市规划,2023,38(05):105–111.
- [3] 杨东峰,殷成志.如何拯救收缩的城市:英国老工业城市转型经验及启示[J].国际城市规划,2013,28(06):50–56.
- [4] 李翔,陈可石,郭新.增长主义价值观转变背景下的收缩城市复兴策略比较——以美国与德国为例[J].国际城市规划,2015,30(02):81–86.
- [5] 陈蕊.中国收缩型城市的综合测度与影响因素分析[J].统计与决策,2021,37(23):68–71.
- [6] 孙平军,王柯文.中国东北三省城市收缩的识别及其类型划分[J].地理学报,2021,76(06):1366–1379.
- [7] 张帅,王成新,王敬,等.中国城市收缩的综合测度及其时空分异特征研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(08):72–82.
- [8] 张明斗,曲峻熙.城市收缩对经济发展的影响研究[J].城市发展研究,2020,27(05):50–57.
- [9] 刘艳军,张艺宁,孙宏日,等.收缩城市住房空置时空分异及影响机制——基于居民用电量视角[J].地理科学,2021,41(12):2087–2095.
- [10] 郭靖,倪鹏飞,彭旭辉.城市收缩与地方政府债务风险[J].中国行政管理,2022,(01):98–104.

- [11] 周恺, 张旭阳, 夏依宁, 等. 人口 – 土地协调视角下的湖南省主体功能区优化探索 [J]. 资源科学, 2024, 46(02): 421 – 433.
- [12] 李宛聪, 李红, 王士君, 等. 东北地区收缩城市识别及其建设用地扩张时空演变 [J]. 资源科学, 2024, 46(02): 368 – 385.
- [13] 衣霄翔, 王淑钰, 张郝萍, 等. 人口收缩背景下城镇建设用地的挑战与出路——以我国东北三省为例 [J]. 城市规划学刊, 2023, (06): 68 – 78.
- [14] 衣霄翔, 石骋, 李宗泽, 等. 人口收缩背景下城镇建设用地配置对社会经济发展的影响——以东北三省为例 [J]. 资源科学, 2024, 46(02): 279 – 293.
- [15] 李诚固, 李振泉. “东北现象”特征及形成因素 [J]. 经济地理, 1996(01): 34 – 38.
- [16] 严长安, 杨汝兰, 付潇华, 等. 土地利用变化对滇池流域生态系统服务价值的影响 [J]. 生态学报, 2023, 43(15): 6194 – 6202.
- [17] 宋洋, 朱道林, YEUNG Godfrey, 等. 收缩情境下城市用地结构时空格局演变及动力机制——以中国东北地区为例 [J]. 地理研究, 2021, 40(05): 1387 – 1403.
- [18] 崔继昌, 郭贯成. 省际交界地区城市用地结构时空演变及影响因素——基于信息熵视角的分析 [J]. 城市问题, 2022(03): 33 – 42 + 65.
- [19] 郑思齐, 孙伟增, 吴璟, 等. “以地生财, 以财养地”——中国特色城市建设投融资模式研究 [J]. 经济研究, 2014, 49(08): 14 – 27.
- [20] 刘守英, 王志锋, 张维凡, 等. “以地谋发展”模式的衰竭——基于门槛回归模型的实证研究 [J]. 管理世界, 2020, 36(06): 80 – 92 + 119 + 246.
- [21] 王玉波. 人口收缩背景下东北三省土地财政持续性及转型路径 [J]. 吉林大学社会科学学报, 2023, 63(02): 101 – 119 + 236 – 237.
- [22] 中共中央, 国务院. 关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见 [Z]. 2020 – 04 – 09.
- [23] 刘羿伯, 张郝萍, 吴梓溶, 等. 基于绿色基础设施绩效提升的收缩城市低效工业用地优化利用——以牡丹江为例 [J]. 资源科学, 2024, 46(02): 386 – 406.

#### 作者简介:

第一作者:石骋,1999 年生,男,山东临沂人,硕士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,主要研究方向为城乡规划学。Email:254690038@qq.com;

通讯作者:衣霄翔,1983 年生,男,辽宁东港人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,副教授,博士生导师,主要研究方向为城乡规划学。Email:timeslink@sina.com

## **Research on the Scale and Structure Allocation of Urban Construction Land in Shrinking Population Area——a Case Study of the Three Provinces in Northeast China**

SHI Cheng<sup>1,2</sup>, YI Xiaoxiang<sup>1,2\*</sup>, ZHANG YuanJing<sup>3</sup>

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Land Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration,  
Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China;

3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Population shrinking has brought new challenges to urban development and construction. Different from the growth period, population loss and demand decline have become the realistic background that needs to be considered in the process of urban construction land allocation. Based on the comparison of non-shrinking cities, this paper analyzes the current situation and evolution characteristics of urban construction land scale and structure allocation in the shrinking areas within the three provinces in Northeast China. On this basis, the rationality of construction land allocation is discussed, and the ideas and key issues of land allocation optimization are extended to provide a theoretical basis for the high-quality development of construction land in the population shrinking areas. The results show that most of the allocations of shrinking urban construction land are unreasonable in scale or structure, which is mainly manifested in the characteristics of relatively excessive land use scale, relatively high proportion of residential land, and relatively low proportion of industrial land. In particular, the problem of unbalanced allocation in individual shrinking cities is more serious. It is urgent to change the development path of land allocation, get rid of the path dependence on the extensional expansion, focus on the connotative development of land use, adjust measures to local conditions, and give full play to the role of construction land in promoting social and economic development.

**Key words:** shrinking cities; construction land; scale of land use; structure of land use; connotative development; structural optimization

# 边疆景观研究:概念、维度与价值

吴松涛<sup>1,2</sup>,何明毅<sup>1,2</sup>,彭晓<sup>1,2\*</sup>,王月<sup>3</sup>

(1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院,哈尔滨 150001;  
2. 自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室,哈尔滨 150001;  
3. 黑龙江省土地学会,哈尔滨 150040)

**摘要:**中国漫长的边境线和广袤的边疆地区在自然、文化和地缘方面具有异质性。现有边疆研究多关注边疆治理历史和制度变迁,对作为边疆人文历史活动发生舞台的环境及与其互动后形成的景观缺乏系统研究。本文提出边疆景观这一学术概念以呼吁相关方面的研究尝试,并基于边疆的政治、地理和文化内涵对边疆景观进行界定,进而从文化景观理论出发,认为边疆环境是一种独特的地理媒介,国家安全、边疆治理、身份认同等政治因素与人文交流、民族融合等文化因素是驱动景观形成演变的动因,二者作用的结果塑造了丰富的边疆景观。在原有边疆研究基础上加入国土空间规划相关学科视角形成的边疆景观概念有助于加强学科交叉研究,推动边疆地区社会经济和生态环境的统筹协调,促进边疆地区在新时期国家治理体系下的可持续发展,对美丽中国建设具有独特的实践价值。

**关键词:**边疆;文化景观;边疆景观;概念内涵;当代价值

中图分类号:TU856

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)-0024-8

## 0 引言

边疆饱含着国家和公众的集体想象,这种想象集中在社会和环境两个层面<sup>[1]</sup>。例如,边疆社会通常被认为充满民族风情,同时处在一种应对外来军事或者文化的张力状态之中<sup>[2]</sup>。边疆的环境或者景观也被认为有别于内地,无论是东北的大河、内蒙的草原、新疆的自然风光和人文风情,还是青藏高原的雪山、湖泊与寺庙以及西南的各种秘境,种种自然和文化的丰富而异质的景观每每引起公众的向往。

同时,虽然中国历史上王朝国家的边疆概念与今日主权国家的边疆概念大相径庭,前者是以王朝为中心向外辐射的政权控制和文化影响区域,后者是以明确边界线标识的国家领土边缘区域<sup>[3]</sup>,但边疆从古至今都在国家治理体系中占据重要地位。例如,早在西汉时期便在西域实行屯垦<sup>[4]</sup>,元明清时期在西南边疆地区实行独具特色的土司制这一治边策略<sup>[5]</sup>,清末边疆危机

深重背景下开放东北给内地移民耕种<sup>[6]</sup>,民国时期提出将边疆屯垦和移民实边作为重要方针,及至建国后采取的民族区域自治制度等<sup>[3]</sup>,都体现出稳固与整合边疆地区的政策取向。而在当今中国深化对外开放、持续推进“一带一路”和构建人类命运共同体的背景下,边疆地区在国家安全、稳定与发展中的战略地位愈发重要<sup>[7]</sup>,更需加强对边疆地区的社会和环境研究,促进新时期边疆问题的解决、推动边境地区的发展以及保障国家主权和领土安全。

目前对边疆社会的研究取得了丰硕成果,大量研究从历史学、政治学、经济学、文化学、社会学等角度展开,涉及边疆的历史和制度变迁等内容<sup>[8]</sup>。然而,对作为边疆地区人类活动舞台的边疆环境及其相互作用形成的景观的研究相对缺乏。少量研究涉及边境城镇风貌<sup>[9]</sup>、“八景”营建<sup>[10]</sup>、语言景观<sup>[11]</sup>等内容,而对于类型丰富、极具特色的界碑、口岸、屯垦、民族聚落、自然山水等景观缺乏系统性研究。为此,本文从文化景观

角度出发提出边疆景观的概念,结合边疆具有的政治、地理和文化内涵分析边疆景观的维度和形成机制,从而弥补以往对边疆地区物质空间和资源环境、国土空间规划及景观设计等关注较少的不足,为后续深入开展边疆景观研究提供概念基础,促进未来边疆地区的治理建设与可持续发展。

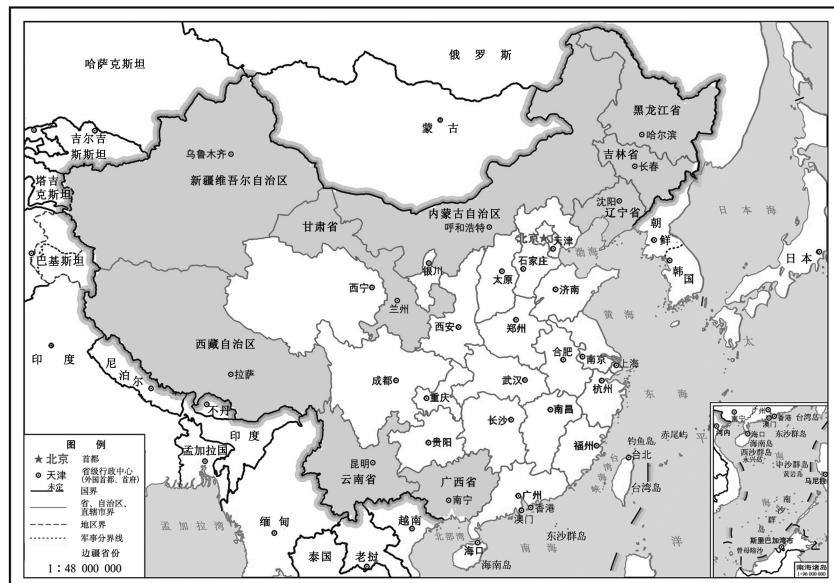
## 1 相关研究回顾

### 1.1 边疆的概念内涵

边疆这一概念具有多个维度,与之相近的还有边界、边境等概念。边界通常指国家主权领土边界,即国与国之间的交界;边境则指边界线内侧一定范围的地区,通常在30—50公里<sup>[12]</sup>,由之延伸出的边境地区概念,通常包括行政区划体系中的市和县两级,例如中国边境地区便包括了45个地级市(区/自治州/盟)<sup>[13]</sup>;而边疆通常来说涵盖了边界、边境范围,同时还涉及至省域等更广范围<sup>[14]</sup>。例如,我国陆地边疆涉及9个省份,与朝鲜、俄罗斯、蒙古、哈萨克斯坦、印度、越南等14个国家接壤,边境线长度共计2.2万公里(图1)。

从内涵来看,不同学科对边疆这一复杂、模

糊概念有着各自的探讨。边疆学研究认为边疆是一个相对内地而言的概念,可从地域范围和历史文化两个维度进行界定<sup>[15]</sup>,例如面积小的国家可能难以划出边疆地区,而对美国、加拿大等面积较大国家在文化上也难以划出边疆<sup>[16]</sup>;社会学家、民族学家吴文藻认为政治上的边疆也是地理上的边疆,主要指国界或边界,而文化上的边疆主要指民族<sup>[17]</sup>;同时有学者认为边疆不应局限在物理空间上,而是靠近边界的边缘区域,是多维要素相互作用的社会空间,包括陆疆、海疆、空疆、领土边疆、利益边疆、战略边疆等<sup>[18]</sup>。在政治学的视野中,边疆是一个国家疆域或政治空间的边缘性区域,蕴含着诸多对立统一关系<sup>[19]</sup>,边疆的第一要素是政治属性,从历史来看是动态变化的疆域前沿,同时也是军事防御的前沿<sup>[20]</sup>;而从地理学来看,约翰斯顿在主编的《人文地理学词典》中将边疆定义为围绕国际边界的地理区域<sup>[21]</sup>。我国历史地理学家钮仲勋在《中国边疆地理》一书中指出边疆是直接毗邻国界的,具有一定历史、人文、经济和自然特点,在行政上具有完整性的连续地域<sup>[22]</sup>。总结而言,边疆是一个国家与边界相连的区域,具有政治、地理和文化等方面内涵<sup>[3]</sup>。



审图号: GS(2019)1824号

自然资源部 监制

图1 中国陆地边疆省份与接壤国

表 1 边疆学的研究维度

名称	主要内容	代表成果
中国边疆学学科构建	边疆学学科体系、学术体系、话语体系建设等	出版专著《中国边疆学》 <sup>[26]</sup> 、《中国边疆学研究的理论与实践》 <sup>[27]</sup> 等
边疆基础理论研究	西方边疆理论、边疆概念内涵、边疆理论解析等	代表性论文《中国边疆学及其研究的若干问题》 <sup>[25]</sup>
中国边疆历史地理研究	历代中央集权对边疆地区的管辖治理及边疆民族发展史等	出版专著《中国边疆史地论集》 <sup>[23]</sup> 等
边疆政治与边疆治理	边疆文化、边疆安全、边疆经济、边疆发展等	出版专著《中国的边疆治理:挑战与创新》 <sup>[24]</sup> 等

## 1.2 边疆研究维度

既有边疆研究大量关注边疆历史发展与治理进程,例如在《中国边疆史地论集》等专著中系统阐述了历代中央集权对边疆地区的管辖治理及边疆民族发展史<sup>[23]</sup>,《中国的边疆治理:挑战与创新》一书讨论了边疆的文化、安全、经济、发展等议题<sup>[24]</sup>,《中国边疆学及其研究的若干问题》中对边疆概念内涵、西方边疆理论等进行了解析等<sup>[25]</sup>。目前,逐步探索形成了边疆学的初步体系,集中在学科框架构建、基础理论探讨、边疆史地研究、边疆政治与治理等维度(表1)。

具体而言,根据边疆具有的政治、地理和文化内涵可将现有研究归纳为以下三个维度:

(1) 政治维度。政治(主权)边疆的概念是指各朝代相对于其“中心”地区而言实际统治或控制的边缘地带<sup>[28]</sup>。边政概念相对于“内政”提出,通过特定的政治权威推动对“异质性”较强的边疆地区的整合,从而形成基本的国家认同<sup>[29]</sup>。相关研究围绕政治势力的延伸范围<sup>[30]</sup>、统治体制和各项统治措施的实施与有效性<sup>[31]</sup>、职官制度<sup>[32]</sup>、边防等<sup>[8]</sup>展开,涉及国际国内政治、民族、宗教以及区域社会等诸多方面。

(2) 地理维度。地理边疆是指毗邻国界的连续地域<sup>[33]</sup>,是国家领土的重要组成部分。相较于对边疆社会经济的广泛研究,对边疆地理环境及景观的研究较为缺乏。例如,国外对美墨边境墙修筑的文化阻隔效应<sup>[34]</sup>、柏林墙拆除的文化融合意涵<sup>[16]</sup>等进行了一定研究,国内对西南地区<sup>[36]</sup>和广西地区<sup>[37]</sup>的“八景”文化、新疆特克

斯的八卦城风貌规划<sup>[38]</sup>体现的文化交流和治理内涵等进行了分析。事实上,例如边境墙、边疆“八景”营建等研究已经超出了地理环境范畴,进入了文化景观领域,相关成果总体上数量较少,难以边疆生态与文化安全、边地发展与治理提供现实指导。

(3) 文化维度。文化边疆是一个主权国家在历史发展过程中的文化性质、功能、特色和利益得以保持和彰显的界限<sup>[39]</sup>,其范围在历史上不断变动,而今超越了沿边省份概念而深入到内地。相关研究主要围绕历史上的中原与边疆文化交流<sup>[40]</sup>、边疆民族文化<sup>[41]</sup>、边疆文化保护与利用<sup>[42]</sup>、边疆地区意识形态安全<sup>[43]</sup>等展开。

## 2 边疆景观概念与形成机制

### 2.1 边疆景观概念

景观是真实存在的,是在主体面前坚实的、有形的、可触摸的客体<sup>[44]</sup>。文化景观作为自然与文化的交融,不仅是物质的、有形的存在,也是一种文化、社会价值观和人类活动的反映<sup>[45]</sup>。对于边疆这一特殊的国土空间单元而言,国家政治进程和多民族文化交融的推动塑造了丰富的文化景观,本文采用边疆景观这一概念以涵盖这些文化景观类型。同边疆的内涵一致,边疆景观也具有政治、地理和文化方面的内容:

(1) 政治维度。指体现国家主权和领土完整的象征物或标志,包括国界线、界碑、边防设施等,相关的军事和政治部署关系到两国的领土主权和边境安全。

(2) 地理维度。指靠近国界线的领土空间内的自然景观,往往具有独特的生态环境和地貌特征,不仅自然美学价值突出,还是生态保护重要区域,并受到不同历史时期政治和文化的深刻影响。

(3) 文化维度。主要体现在边疆地区独特的民族文化、城镇风貌和历史遗迹等,其不再是具体的事物,而是一个容纳实践活动的物质空间,参与到了边疆地区政治、经济活动和社会进程当中。

## 2.2 边疆景观的形成机制

美国地理学家卡尔·索尔在1925年阐释了文化景观(Cultural Landscape)的概念与形成机制<sup>[46]</sup>,即“自然景观在文化群体的作用下转变为文化景观:文化是动因,自然区域是媒介,文化景观是结果”<sup>[47]</sup>。由此出发,从属于文化景观的边疆景观可理解为政治和文化动因在边疆地理环境这一媒介上的作用结果,从而逐步衍生出丰富多彩的文化景观类型(图2)。

具体而言,塑造边疆景观的政治动因主要包括各个时期国家政权、国家安全和国家认同等有关国家领土和主权完整的因素,形成了国界标识、边防口岸、地理标志、屯垦等景观类型。文化动因则主要体现在边疆地区的多民族交流和融合过程当中,并在独特的地理环境中孕育了独具风貌的边疆城镇、具有民族风情的村落景观、历

史悠久的古迹遗址等。此外,如壮美自然风光、生物多样性保护重要区域等地理环境本身也是边疆景观的重要组成内容。同文化景观的动态性、变化性一致<sup>[48]</sup>,边疆景观也是一种连接过去与现在、自然与文化、物质与非物质的桥梁,在社会和自然系统的演化过程中不断发展,反映出边疆地区独特的人与景观相互作用的关系与演变历程。

## 3 边疆景观研究的当代价值

### 3.1 边疆景观研究是边疆治理的重要环节

近代以前,中国主要采用“消极防御为主、积极经营为辅”的边疆治理模式<sup>[49]</sup>,以“华夷有别”和“守中治边”的边疆治理观处理民族关系<sup>[32]</sup>;新中国成立后,陆疆治理围绕平等、互助、团结、和谐民族关系构建目标予以实施<sup>[50]</sup>;改革开放以来,边疆逐渐占据国家整体发展大局中的优先位置,陆续实施了西新工程<sup>[51]</sup>、兴边富民工程以及西部大开发等<sup>[52]</sup>系列战略工程。总体上看,当代的边疆治理紧紧围绕边疆安全、边疆稳定和边疆发展这三个核心问题展开<sup>[3]</sup>。

其中,边疆景观研究可为边疆的安全、稳定和发展提供重要支撑。例如,边疆的自然景观往往承载着重要生态价值<sup>[53]</sup>,通过研究其生态特征、分析胁迫因素、提出保护和修复策略,可以有

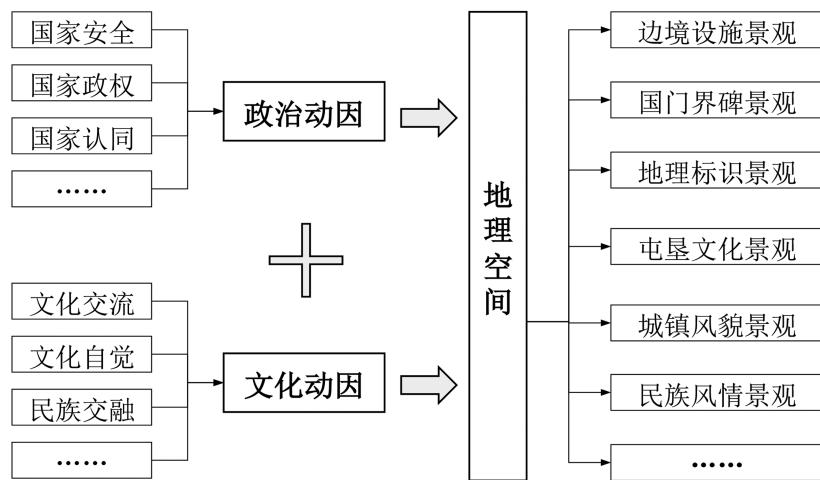


图2 边疆景观的形成机制

效维持边疆景观的独特性和多样性<sup>[54]</sup>。边疆多民族地区往往面临内部文化认同张力和外部异质文化渗透的双重挑战<sup>[39]</sup>,亟需加强边疆文化安全相关议题研究,使边疆地区成为拱卫国家文化安全的屏障<sup>[43]</sup>。此外,随着“一带一路”战略的推进,边疆地区将成为国家未来对外发展的新载体<sup>[55]</sup>,边疆景观研究也将在其中发挥愈发重要的作用。

### 3.2 边疆景观研究是边疆人地关系研究的重要内容

边疆景观研究有助于深入理解边疆地区的人地关系。例如,边疆景观史研究能够揭示边疆历史人文风貌和人地互动过程,在理解边疆景观演变的基础上为未来的保护和利用提供参考;屯垦文化景观作为边疆开发历史的独特印记<sup>[56]</sup>,背后蕴藏着丰富的历史生态和文化信息,相关研究可支撑当代的创新性应用和屯垦精神的传承。未来的边疆研究需要在解析人地互动和环境变迁关系的基础上<sup>[57]</sup>,挖掘丰富的地方文化基因,同时传达中华民族文化的整体性<sup>[58]</sup>,在新时代边疆人地关系的塑造进程中彰显研究的理论与现实意义。

### 3.3 边疆景观研究是新时代文化繁荣的重要支撑

边疆地区自然景观多样,文化多元交融,是对外交流展示的重要窗口<sup>[59]</sup>。深入研究边疆景观有助于挖掘和保护边疆区域的自然与文化遗产<sup>[60]</sup>,促进新时期边疆文化繁荣。同时能够将边疆壮丽风光与深厚文化更好地传递给公众,通过提升边疆旅游带动兴边富民等战略实施。在此基础上,进一步传承边疆历史文脉、重拾山水肌理、保护乡土特质<sup>[61]</sup>,推动大美边疆和美丽中国建设,实现边疆地区人与自然的和谐共生与可持续发展。

## 4 结语

边疆具有政治、地理和文化等内涵,丰富多彩的边疆景观不仅是历史上政治和文化动因在

大地上的投影,也是边疆地区面向未来发展的“操作界面”。深入而系统地研究边疆景观,一方面可为传统的人文社会科学提供景观的研究维度,为国土空间规划和景观设计等人居环境学科提供广阔的研究舞台;另一方面,也可以加深对边疆历史、生态、文化等方面的理解,推动边疆地区经济、文化、社会的可持续发展。未来可积极探索边疆生态保护与修复、文化遗产与边疆旅游、边疆国土空间规划与建设等应用方向,整合更多研究与实践力量发展边疆景观这一研究领域,通过建立学科研究体系和推动实践活动,为边疆地区的安全稳定与美丽繁荣作出贡献。

### 参考文献(References):

- [1] 曹亚斌. 全球治理视域下的当代中国边疆治理研究:一项研究框架[J]. 世界经济与政治论坛, 2015(3): 1–13.
- [2] 于沛. 从地理边疆到“利益边疆”——冷战结束以来西方边疆理论的演变[J]. 中国边疆史地研究, 2005(2): 31–38.
- [3] 周平. 我国的边疆与边疆治理[J]. 政治学研究, 2008(2): 67–72.
- [4] 董向芸, 蒋晓涵, 王秋俊. 历代边疆屯垦治策对边缘空间的突破与演进[J]. 民族学刊, 2022, 13(3): 112–121.
- [5] 罗群. 民国时期云南边地垦殖与边疆开发研究[J]. 学术月刊, 2018, 50(10): 159–174.
- [6] 战继发, 王耘. 黑龙江屯垦史: 卷 1[M]. 社会科学文献出版社, 2017.
- [7] 张国玉, 刘晓红. 边疆地区的城镇化与边疆安全[J]. 城市问题, 2009(6): 5–8.
- [8] 吴楚克, 赵环宇. 中国边疆学的新时代特征和知识原理[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 52(1): 5–9.
- [9] 张学亮, 韩英. 边疆小城镇风貌规划的探索——以新疆特克斯八卦城风貌规划设计为例[J]. 小城镇建设, 2007(12): 63–66.
- [10] 周琼.“八景”文化的起源及其在边疆民族地区的发展——以云南“八景”文化为中心[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2009, 24(1): 106–115.

- [11] 李银河,李瑶瑶.中朝俄边境地区高校人文地理野外实习建设探索——以珲春为例[J].国际公关,2019(11): 1-2.
- [12] 马大正.中国边疆学构筑是当代中国学人的历史担当[J].云南师范大学学报(哲学社会科学版),2019, 51(1): 1-8.
- [13] 徐黎丽,那仁满都呼.现代国家“边境”的界定[J].中国边疆史地研究,2018, 28(3): 79-88.
- [14] 孟彦军.中国陆地边境地区经济发展影响因素研究[D].四川大学,2024.
- [15] 马大正.略论中国边疆学的构筑[J].新疆师范大学学报(哲学社会科学版),2013, 34(5): 1-12.
- [16] 袁剑.全球化语境下西方国家边疆治理的理论资源及其实践[J].云南师范大学学报(哲学社会科学版),2021, 53(02): 18-27.
- [17] 娄贵品.近代中国“边疆学”概念提出与传播的历史考察[J].学术探索,2012(8): 85-90.
- [18] 罗中枢.边疆的个性与共性及边疆研究的理论创新[J].理论与改革,2019(2): 107-118.
- [19] 周伟洲.关于构建中国边疆学的几点思考[J].中国边疆史地研究,2014, 24(1): 1-9.
- [20] 李大龙.“中国边疆”的内涵及其特征[J].中国边疆史地研究,2018, 28(3): 12-21+212.
- [21] [美]约翰斯顿(JOHNSTON R. J.).人文地理学词典[M].柴彦威.北京:商务印书馆,2004.
- [22] 王恩涌.《中国边疆地理》评介[J].地理学报,1992(1): 95-96.
- [23] 马大正.中国边疆史地论集[M].黑龙江教育出版社,1991.
- [24] 周平,李大龙.《中国的边疆治理:挑战与创新》[M].中央编译出版社,2014.
- [25] 邢玉林.中国边疆学及其研究的若干问题[J].中国边疆史地研究,1992(1): 4-16.
- [26] 邢广程.中国边疆学[M].社会科学文献出版社,2013.
- [27] 罗群,潘先林.中国边疆学研究的理论与实践[M].云南大学出版社,2021.
- [28] 青觉,朱亚峰.地缘政治视角中的西北边疆治理[J].兰州学刊,2019(1): 33-43.
- [29] 刘昌威,杨翠柏.国家构建视域下的边疆地区政治整合[J].民族学刊,2022, 13(3): 122-129.
- [30] 周平.我国的边疆与边疆治理[J].政治学研究,2008(2): 67-72.
- [31] 马大正.中国古代的边疆政策与边疆治理[J].西域研究,2002(4): 1-15.
- [32] 方铁,张维.论中国古代治边思想的特点、演变和影响[J].中国边疆史地研究,2003(1): 13-20.
- [33] 王烨.中国北部边疆边境城市发展研究[D].陕西师范大学,2014.
- [34] 刘一.九一一事件以来美国边境政策的调整——基于“再边境化”视角的分析[J].美国研究,2019, 33(2): 53-73.
- [35] Su X, Miao Y. Border Control: The Territorial Politics of Policy Experimentation in Chinese Border Cities[J]. international journal of urban and regional research, 2022, 46(4): 522-541.
- [36] 李凌霞.“风景”的建构与“边疆”的国家认同——从“灵溪十景”“颗砂八景”到“永顺八景”[J].湖北民族大学学报(哲学社会科学版),2023, 41(5): 106-119.
- [37] 毛明霞,杜树海.隋唐时期的边疆经略与桂卅山水景观营建[J].广西民族研究,2023(2): 152-162.
- [38] 张学亮,韩英.边疆小城镇风貌规划的探索——以新疆特克斯八卦城风貌规划设计为例[J].小城镇建设,2007(12): 63-66.
- [39] 刘小康,杨震.“文化边疆”视域下边疆地区文化安全研究[J].学术与实践,2022(1): 42-51.
- [40] 李森.论云南少数民族题材电影中的边疆想象、民族认同与文化建构[D].上海大学,2014.
- [41] 李正元,马晓庆.边疆文化与中华民族国家建设的学术实践——李安宅宗教论述再探[J].青海民族研究,2022, 33(4): 145-150.
- [42] 张才圣,杨柳.我国边疆民族地区文化产业安全问题研究[J].广西社会科学,2020(4): 138-143.
- [43] 熊英.“一带一路”倡议下边疆文化安全治理的表征、挑战与路径[J].中国应急管理科学,2024(4): 46-54.
- [44] 陆小璇.初论段义孚人本主义地理学思想的形成[J].人文地理,2014, 29(4): 13-18+2.
- [45] 汤茂林.文化景观的内涵及其研究进展[J].地

- 理科学进展, 2000(1): 70–79.
- [46] Anderson K, Pile S. Handbook of Cultural Geography [M]. Commercial Press, 2009.
- [47] Sauer C O, Leighly J. Land and Life: A Selection from the Writings of Carl Ortwin Sauer [M]. Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1983: 315–351.
- [48] 贺云翱. 文化遗产学初论[J]. 南京大学学报(哲学·人文科学·社会科学版), 2007(3): 127–139.
- [49] 吕朝辉. 当代中国陆地边疆治理模式创新研究[D]. 云南大学, 2015.
- [50] 万秀丽, 牛媛媛. 国家安全视野下西部边疆治理研究[J]. 实事求是, 2018(1): 41–45.
- [51] 方盛举. 我国陆地边疆的文化型治理[J]. 思想战线, 2017, 43(6): 77–85.
- [52] 方盛举, 吕朝辉. 中国陆地边疆的软治理与硬治理[J]. 晋阳学刊, 2013(5): 13–21.
- [53] 姜宇峰. 边疆生态保护与绿色发展的实践探索[J]. 奋斗, 2024(1): 69–71.
- [54] 贺亮亮. 习近平生态文明思想视阈下西北边疆生态安全治理研究[D]. 西北师范大学, 2023.
- [55] 何修良. 新时代中国边疆治理: 从“区域主义”走向“域际主义”[J]. 青海社会科学, 2022(1): 106–113.
- [56] 董向芸, 蒋晓涵, 王秋俊. 历代边疆屯垦治策对边缘空间的突破与演进[J]. 民族学刊, 2022, 13(3): 112–121.
- [57] 张健. 西北边疆人地互动与环境变迁图景重建——《天山北麓土地开发与环境变迁研究(1757—1949)》评介[J]. 西域研究, 2024(2): 165–169.
- [58] 袁剑, 王坤焱. 边疆人类学: 源流、对象与中国语境[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2024, 56(2): 126–136.
- [59] 陈明星, 梁龙武, 王振波, 等. 美丽中国与国土空间规划关系的地理学思考[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2467–2481.
- [60] 赵建军, 胡春立. 美丽中国视野下的乡村文化重塑[J]. 中国特色社会主义研究, 2016(6): 49–53.
- [61] 时红斌, 刘兆文, 张燕, 等. 基于地域文脉肌理延续的小城镇环境整治路径研究[J]. 浙江建筑, 2021, 38(1): 5–9.

#### 作者简介:

第一作者:吴松涛,1968年生,男,黑龙江齐齐哈尔人,博士,教授,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,景观系主任,主要研究方向为国土空间规划。Email: wusongtao@126.com;

通讯作者:彭晓,1994年生,男,重庆铜梁人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,助理教授,主要研究方向为设计生态学、国土空间规划。Email: pengxiao@hit.edu.cn

## Frontier Landscape Research: Concepts, Dimensions, and Values

WU Songtao<sup>1,2</sup>, HE Mingyi<sup>1,2</sup>, PENG Xiao<sup>1,2\*</sup>, WANG Yue<sup>3</sup>

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Land Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration,  
Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China;  
3. Heilongjiang Land Science Society, Harbin 150040, China)

**Abstract:** China's long frontier lines and vast frontier areas exhibit natural, cultural and geographic heterogeneity. Existing frontier research mainly focuses on the history and institutional changes of frontier governance, and there is a lack of systematic study on the environment and the landscape formed after the interaction between the frontier cultural and historical activities and the environment. This article proposes the academic concept of frontier landscape to call for research attempts in related fields and defines it based on its political, geographical, and cultural connotations. Starting from the theory of cultural landscape, it is believed that the frontier environment is a unique geographical medium, and the political factors, such as national security, frontier governance, identity recognition, and cultural factors, such as cultural exchange and ethnic integration are the driving forces for the formation and evolution of the landscape. The interaction process of the two creates a rich frontier landscape that constantly evolves with historical development and technological progress. The concept of frontier landscape, which is formed by incorporating the perspective of national spatial planning disciplines based on existing frontier research, can help strengthen interdisciplinary research, promote the overall coordination of social, economic, and ecological environment in frontier areas, and the sustainable development of frontier areas under the new era of national governance system, which have practical values for the construction of Beautiful China.

**Key words:** frontier; cultural landscape; frontier landscape; conceptual connotation; contemporary values

# 基于 Tapio 模型的长兴县经济增长与碳排放关系研究

郭 嵘<sup>1,2\*</sup>, 吴晓晨<sup>1,2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院, 哈尔滨 150001;  
2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 我国提出“碳达峰、碳中和”的发展目标, 在控碳减排的同时也要兼顾经济发展, 识别经济增长与碳排放关系所处的阶段是实现经济与环境协调发展的关键。本研究以长兴县为例, 通过碳排放系数法计算 2002–2017 年能源消耗碳排放量。利用 Tapio 模型对长兴县的经济增长与碳排放的脱钩关系进行分析; 利用对数平均迪式指数分解模型对脱钩弹性指数进行分解, 分析经济增长与碳排放脱钩关系的影响因素。研究表明, 长兴县碳排放量逐年增加, 并呈现增长率逐年降低的趋势; 经济增长与碳排放脱钩关系呈现“负脱钩—弱脱钩—连接阶段—弱脱钩”的变化。经济增长速度大于碳排放增长速度, 在国家政策的引导下, 长兴县碳减排工作取得了初步成效。结合长兴县脱钩关系的影响因素, 提出低碳经济发展的建议, 为小城镇低碳发展提供借鉴。

**关键词:** 碳排放; 经济增长; 小城镇; 脱钩关系; Tapio 模型

中图分类号:F301.21

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)-0032-10

## 0 引言

我国的小城镇是依靠国家城镇化政策发展起来, 同许多大城市一样走的都是先污染后治理的道路<sup>[1]</sup>。小城镇环境的破坏对于居民生活质量以及小城镇可持续发展都存在较大的影响。大多数小城镇以工业为主导产业, 有些小城镇的工业发展水平对其经济和环境产生了影响<sup>[2]</sup>。为了满足居民对生活环境日益提高的要求, 小城镇急需通过低碳发展改善居民生活环境。

经济合作与发展组织首先提出脱钩理论, 旨在研究经济发展与环境污染的关系。随后, 脱钩理论应用于环境领域, 成为测度经济发展与物质消耗或生态环境之间的压力状况、衡量经济发展模式可持续性的工具<sup>[3]</sup>。根据哥本哈根会议精神, 实现碳减排目标意味着经济增长率要超过碳排放增长率, 即经济增长与碳排放的脱钩。因此, 小城镇经济增长与碳排放脱钩关系的研究则尤为重要。只有了解小城镇经济增长与碳排放的脱钩关系, 才能为其制定最适合的减排措施。

近年来, 国外学者对经济增长与碳排放关系的研究成果颇丰, 包括经济增长与碳排放脱钩模型的建立与完善<sup>[4-6]</sup>、经济增长与碳排放关系所处阶段的研究<sup>[7-8]</sup>等。国内对经济增长与碳排放关系的研究包括三个方面: 一是从宏观经济角度, 构建模型探讨经济增长与碳排放的关系<sup>[9]</sup>; 二是按照不同行业和领域, 分析特定部门的经济产出与碳排放之间的关系<sup>[10-11]</sup>; 三是对研究对象的横向或纵向比较, 分析经济增长与碳排放关系的时空分异特征<sup>[12-13]</sup>。研究方法上, 常用库兹涅茨曲线<sup>[14]</sup>和脱钩模型<sup>[15]</sup>来判断经济增长与碳排放的关系, 其中常用的脱钩模型包括 OECD 脱钩指标和 Tapio 脱钩模型。在探究经济增长与碳排放关系的影响因素时, 大多数学者利用对数平均迪式指数分解模型、STIRPAT 模型等从碳排放影响因素的角度进行分析<sup>[16-17]</sup>, 也有学者利用 KAYA 恒等式将碳排放影响因素分解为能源结构、产业结构、人口规模等<sup>[18]</sup>, 进一步分析二者关系的影响因素。整体上, 国内外学者对经济增长与碳排放的研究集中在通过构建模

型,确定二者的脱钩关系以及空间分异特征、利用定性与定量结合的方法分析影响因素。研究尺度上,以宏观层面的国家及城市群、各省份为主,也有学者对中观层面的大城市进行研究,对县级及更小的行政单元研究较少。

本研究利用碳排放系数法计算长兴县 2002–2017 年能源消耗碳排放,利用 Tapio 模型对长兴县经济增长与碳排放的脱钩关系进行研究。在 LMDI 模型的基础上对长兴县经济增长与碳排放脱钩弹性指数进行分解,分析影响长兴县经济增长与碳排放脱钩关系的因素。本研究以长兴县为研究对象,旨在为小城镇低碳发展研究进行量化探索,为小城镇低碳研究提供借鉴。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

长兴县位于浙江省湖州市,地处浙江省北部。2022 年,长兴县全年地区生产总值达 853.37 亿元,常住人口 67.98 万人,三次产业结构为 5.2:51.1:43.7。作为浙江省典型的工业主导型城镇,连续多年入选中国工业百强县(市)<sup>[19]</sup>。因此,分析长兴县碳排放与经济发展的关系,能够为其低碳发展提供新思路,同时也为其他工业主导型城镇的发展提供参考。

### 1.2 数据来源

本研究使用的化石燃料折标准煤系数来源于《中国能源统计年鉴》,化石燃料碳排放系数来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》。长兴县社会经济发展指标如国内生产总值、年末总人口、能源消耗数据等来源于 2002–2017 年《湖州市统计年鉴》《长兴县统计年鉴》。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 碳排放计算方法

能源消费碳排放量主要根据联合国政府间气候变化专门委员会提出的碳排放量计算方法来计算。此方法是将各种化石能源终端消费量折算成标准煤消费量,然后利用换算后得到的标准煤消费量乘以碳排放系数,最后相加得出碳排放量<sup>[16]</sup>,其计算公式如下所示:

$$CE = \sum_{j=1}^{16} EN_j \times EF_j \quad (1)$$

式中:CE 为各种能源消费的碳排放总量(t);EN<sub>j</sub>为第 j 类能源经过折算后的标准煤消费量(t);EF<sub>j</sub>为第 j 类能源的碳排放系数;j 表示能源种类数目。各种化石能源的折标准煤系数与碳排放系数如表 1 所示。其中,热力的折算标准煤系数为 0.03412kgce/百万焦,电力的折算标煤系数为 0.1229kgce/千瓦时,煤炭的碳排放系数取之 0.7330tC/t。

表 1 不同能源的碳排放系数表

能源名称	折标准煤系数 (Kgce/kg)	碳排放系数 (tC/t)	能源名称	折标准煤系数 (Kgce/kg)	碳排放系数 (tC/t)
原煤	0.7143	0.7559	原油	1.4286	0.5857
洗精煤	0.9000	0.7559	汽油	1.4714	0.5538
其他洗煤	0.2857	0.7559	煤油	1.4714	0.5714
焦炭	0.9714	0.8550	柴油	1.4571	0.5921
焦炉煤气	0.5714	0.3548	燃料油	1.4286	0.6185
高炉煤气	0.1286	0.4602	液化石油气	1.1743	0.5042
其他煤气	0.1786	0.3548	炼厂干气	1.5714	0.4602
天然气	1.2143	0.4483	其他石油制品	1.4286	0.5860

资料来源:《中国能源统计年鉴》《IPCC 国家温室气体清单指南》

表 2 脱钩关系判定标准

脱钩关系		$\Delta CE$	$\Delta G$	脱钩弹性指数(T)
脱钩	强脱钩	<0	>0	$T < 0$ 或 $0.8 \leq T \leq 1.2$
	弱脱钩	>0	>0	$0 \leq T < 0.8$
	衰退性脱钩	<0	<0	$T > 1.2$
负脱钩	弱负脱钩	<0	<0	$0 \leq T < 0.8$
	强负脱钩	>0	<0	$T < 0$
	扩张性负脱钩	>0	>0	$T > 1.2$
连接	衰退性连接	<0	<0	$0.8 \leq T \leq 1.2$
	扩张性连接	>0	>0	$0.8 \leq T \leq 1.2$

### 1.3.2 脱钩关系分析模型

当前在脱钩研究中应用较为广泛的是由 OECD 提出的脱钩指数模型及 Tapio 提出的脱钩模型。与 OECD 模型相比, Tapio 模型不需要过长的时间序列及复杂的基础数据,能够定量描述脱钩关系,明确地反映要素在不同阶段的脱钩状态<sup>[20]</sup>。鉴于 Tapio 脱钩模型更为精准、客观、操作简便的优势,本研究利用 Tapio 模型对长兴县 2002–2017 年经济增长和碳排放的关系进行研究,具体模型如下<sup>[6]</sup>:

$$T_t = \frac{\Delta CE_t}{\Delta G_t} = \frac{[CE_{t+1} - CE_t] / CE_t}{[G_{t+1} - G_t] / G_t} \quad (2)$$

式中:  $T_t$  为脱钩弹性系数,代表  $t$  时期碳排放对经济发展的脱钩程度;  $\Delta CE_t$ 、 $\Delta G_t$  分别表示碳排放和经济增长的变化率;  $CE_{t+1}$ 、 $CE_t$  分别表示  $t+1$ 、 $t$  时期的碳排放量;  $G_{t+1}$ 、 $G_t$  分别表示  $t+1$ 、 $t$  时期的经济发展水平。

根据 Tapio 模型等的相关研究,将 0.8 和 1.2 作为临界值进行标准划分,结合碳排放变化、经济变化以及脱钩弹性指数,建立经济增长和碳排放 8 种关系的判定标准(表 2)。

### 1.3.3 脱钩影响因素分析方法

结合既有研究,利用 LMDI 模型将脱钩弹性指数进行分解,分析各因素对脱钩弹性指数的影响。碳排放变化可以分解为产业结构效应、能源强度效应、能源结构效应、经济发展效应和人口规模效应<sup>[21]</sup>,在此基础上对脱钩弹性指数进行分解,即将碳排放与经济增长脱钩弹性指数分解为产业结构脱钩弹性指数( $T_{IS}$ )、能源强度脱钩

弹性指数( $T_{EI}$ )、能源结构脱钩弹性指数( $T_{ES}$ )、碳排放系数脱钩弹性指数( $T_{CI}$ )、经济发展脱钩弹性指数( $T_{ED}$ )、人口规模脱钩弹性指数( $T_P$ ),表达式如下:

$$\begin{aligned} CE &= \sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{E_{ij}} \cdot \frac{E_i}{GD P_i} \cdot \frac{GD P_i}{GD P} \cdot \frac{GD P}{P} \cdot P \\ &= \sum_i \sum_j IS_{it} \times EI_{it} \times ES_{ijt} \times CI_{ijt} \times ED_{it} \times P_t \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $i$  为产业(一、二、三次产业); $j$  为能源消费种类; $CE_t$  为  $t$  时期碳排放总量; $CE_{ijt}$  为  $t$  时期,第  $i$  种产业消耗  $j$  种能源的碳排放量; $GD P_i$ 、 $GD P$  分别表示  $t$  时期第  $i$  产业的 GDP 和第  $t$  年的 GDP; $E_i$ 、 $E_{ijt}$  分别表示第  $t$  年第  $i$  产业的能源消耗量和第  $t$  年第  $i$  产业第  $j$  种能源的消耗量; $P_t$  为  $t$  时期的人口规模,代表人口规模效应;为  $t$  时期  $i$  种产业 GDP 占总 GDP 份额,代表产业结构效应; $EI_{it}$  为  $t$  时期  $i$  产业的能源消费强度,代表能源强度效应; $ES_{ijt}$  为  $t$  时期  $j$  种能源在  $i$  产业中所占的比重,代表能源结构效应; $CI_{ijt}$  为  $t$  时期,第  $i$  产业消费  $j$  种能源的碳排放系数,即碳排放系数效应; $ED_{it}$  为  $t$  时期的人均 GDP,代表经济发展效应。可以得到  $t$  时期到  $t+1$  时期的碳排放量的总效应,如下:

$$\Delta CE = CE_{t+1} - CE_t = \Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{CI_{ijt}} + \Delta CE_{ED_{it}} + \Delta CE_{P_t} \quad (4)$$

式中:  $\Delta CE_{IS_{it}}$  表示产业结构效应引起的碳排放变化;  $\Delta CE_{EI_{it}}$  表示能源强度效应引起的碳排放变化;  $\Delta CE_{ES_{ijt}}$  表示能源结构效应引起的碳

排放变化;  $\Delta CE_{Cl_{ijt}}$  表示碳排放系数效应引起的碳排放变化;  $\Delta CE_{ED_t}$  表示能源强度效应引起的碳排放变化;  $\Delta CE_{P_t}$  表示人口规模效应引起的碳排放变化。由于每年碳排放系数的变化并不显著,因此在计算中,假设碳排放系数不变,一般取常量,在进行因素分解时,  $\Delta CE_{Cl_{ijt}}$  为 0,故不将碳排放系数效应作为考虑因素<sup>[22]</sup>,式(4)可变成:

$$\begin{aligned} \Delta CE &= CE^t - CE^0 = \Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \\ &\Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{ED_t} + \Delta CE_{P_t} \end{aligned} \quad (5)$$

结合公式(2)可以得到 t 时期的碳排放与经济发展的脱钩弹性指数<sup>[23]</sup>,见公式(6),各效应的计算方式见公式(7) – (11):

$$\begin{aligned} T_t &= \frac{\Delta CE_t}{\Delta G_t} \\ &= \frac{\Delta CE_{IS_{it}} + \Delta CE_{EI_{it}} + \Delta CE_{ES_{ijt}} + \Delta CE_{ED_t} + \Delta CE_{P_t}}{\Delta G_t} \\ &= T_{IS} + T_{EI} + T_{ES} + T_{ED} + T_p \end{aligned} \quad (6)$$

产业结构效应  $\Delta CE_{IS_{it}}$ :

$$\Delta CE_{IS_{it}} = \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{ln CE_{ij}^t - ln CE_{ij}^0} ln(\frac{IS_i^t}{IS_i^0}) \quad (7)$$

能源强度效应  $\Delta CE_{EI_{it}}$ :

$$\Delta CE_{EI_{it}} = \sum_j \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{ln CE_{ij}^t - ln CE_{ij}^0} ln(\frac{EI_i^t}{EI_i^0}) \quad (8)$$

能源结构效应  $\Delta CE_{ES_{ijt}}$ :

$$\Delta CE_{ES_{ijt}} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{ln CE_{ij}^t - ln CE_{ij}^0} ln(\frac{IS_{ij}^t}{IS_{ij}^0}) \quad (9)$$

经济发展效应  $\Delta CE_{ED_t}$ :

$$\Delta CE_{ED_t} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{ln CE_{ij}^t - ln CE_{ij}^0} ln(\frac{ED^t}{ED^0}) \quad (10)$$

人口规模效应  $\Delta CE_{P_t}$ :

$$\Delta CE_{P_t} = \sum_{ij} \frac{CE_{ij}^t - CE_{ij}^0}{ln CE_{ij}^t - ln CE_{ij}^0} ln(\frac{P^t}{P^0}) \quad (11)$$

## 2 经济增长与碳排放脱钩关系变化分析

### 2.1 长兴县碳排放变化

根据长兴县 2002 – 2017 年各类能源消耗量以及 IPCC 提供的碳排放计算方法,计算出长兴县 2002 – 2017 年能源消耗碳排放量(图 1)。整体来看,长兴县的碳排放量逐年增加,变化趋势可以大致分为三个阶段,分别是 2002 – 2009 年的碳排放快速增加阶段、2009 – 2010 年下降阶段和 2010 – 2017 年缓慢增加阶段。在 2002 – 2006 年碳排放量增长率处于较高水平,在 2007 – 2017 年,碳排放增长率在 10% 以内波动,其中 2010 年碳排放增长率出现最低值,对应 2010 年的碳排放量出现下降趋势,在 2017 年之后碳排放增长率出现下降趋势,未来的碳排放量可能会出现逐渐缓慢增加的趋势。

### 2.2 碳排放强度变化

碳排放强度是指每单位国内生产总值的增

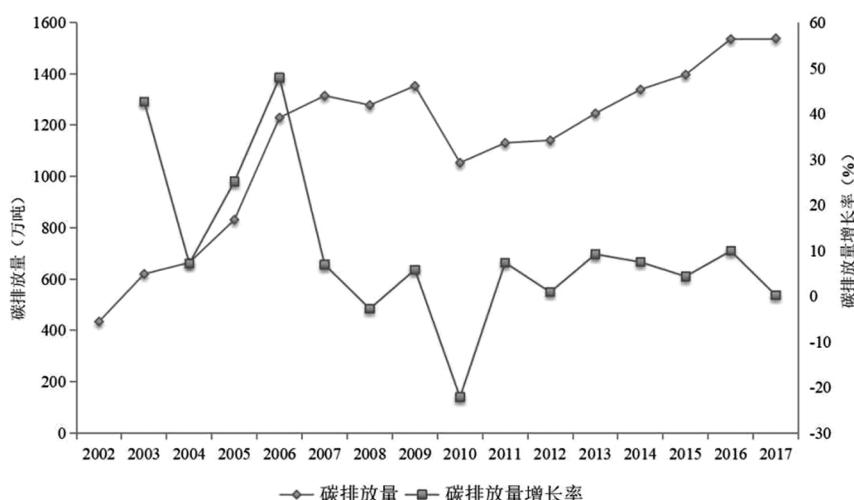


图 1 2002 – 2017 年长兴县能源消耗碳排放量变化图

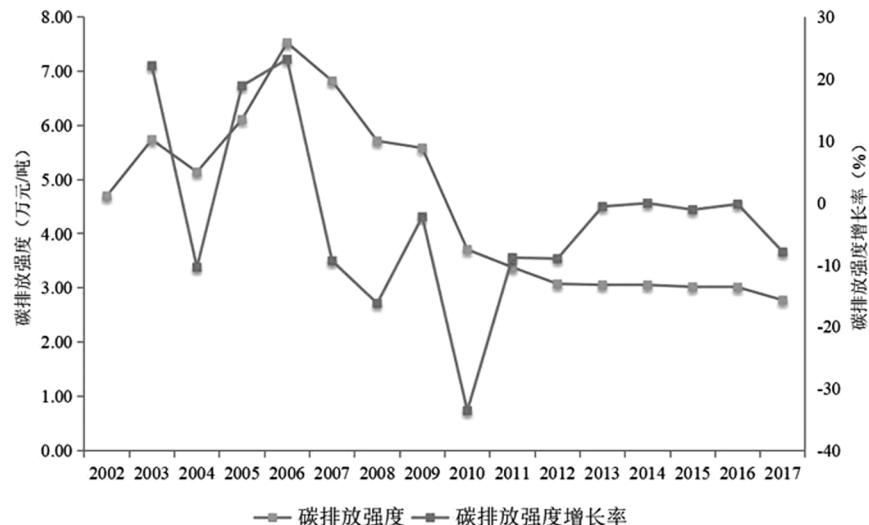


图 2 2002–2017 年长兴县碳排放强度变化图

长所产生的二氧化碳排放量,用来衡量经济增长的碳排放效率。长兴县碳排放强度整体上呈下降趋势,按照变化趋势可以分为两个阶段(图 2),分别是 2002–2006 年的碳排放强度增加阶段和 2007–2017 年的碳排放强度降低阶段。自 2002 年起,长兴县的碳排放强度开始上涨,在 2003–2004 年出现下降波动,之后开始逐年增加,并在 2006 年达到最高值;2006 年之后,碳排放强度从峰值开始下降,2006–2012 年飞速下降,2012–2017 年呈现缓慢下降的趋势。总体而言,长兴县 GDP 不断增长,碳排放量整体上呈现增长趋势,但是增长速度却在不断减缓,由此可见长兴县获得单位 GDP 而产生的碳排放逐渐减少。

### 2.3 经济增长与碳排放脱钩关系变化特征

在 2002–2017 年间,长兴县经济增长与碳排放脱钩关系正在从扩张负脱钩逐渐向弱脱钩过渡。根据脱钩弹性指数的变化(表 3),可以将长兴县的脱钩变化过程划分为三个阶段:

(1) 2002–2006 年的负脱钩阶段,弹性指数在 0.4362 到 2.7847,其中 2003–2004 年是弱脱钩状态。经济和碳排放共同增长,但是碳排放增长的速度大于经济增长的速度,这个阶段是最不理想的脱钩阶段。

(2) 2006–2012 年的弱脱钩阶段,弹性指数

在 -1.2099 到 0.5633 之间,经济和碳排放均处于增长阶段,且经济增长的速度大于碳排放增长的速度,判定为脱钩状态。其中,2006–2007 年、2008–2009 年、2010–2011 年、2011–2012 年脱钩弹性指数为正,这几年长兴县的经济增长与碳排放的脱钩状态为弱脱钩。2007–2008 年、2009–2010 年均出现了碳排放增长率为负的情况,判定为强脱钩状态,是经济增长与碳排放之间的最佳状态。

(3) 2012–2017 年的连接向弱脱钩过渡阶段,弹性指数在 0.0690 到 1.0579 之间,经济增长与碳排放同时增长,且增长速度相对接近,判定为扩张连接状态。2016–2017 年呈现弱脱钩状态,长兴县呈现出经济增长与碳排放向脱钩关系转变的发展趋势。

## 3 基于 LMDI-Tapi 模型的碳排放及脱钩关系影响因素分析

### 3.1 脱钩弹性指数分解

根据 2.2.3 中构建的基于 LMDI 的 Tapi 分解模型,计算出各影响因素的脱钩弹性指数(表 4)。从各脱钩弹性分解指数的变化来看(图 3),经济发展脱钩弹性指数和能源结构脱钩弹性值所占的比重较大,说明这两个分解指标的变化很大程度上影响了脱钩状态的整体走向。经济发

表 3 2002–2017 年各时期长兴县经济增长与碳排放的脱钩关系一览表

年份	$\Delta CE$	$\Delta G$	T	脱钩关系
2002–2003	0.4448	0.1597	2.7847	扩张负脱钩
2003–2004	0.0827	0.1896	0.4362	弱脱钩
2004–2005	0.2627	0.1534	1.7125	扩张负脱钩
2005–2006	0.5040	0.1964	2.5667	扩张负脱钩
2006–2007	0.0776	0.1862	0.4170	弱脱钩
2007–2008	-0.0243	0.1585	-0.1535	强脱钩
2008–2009	0.0559	0.0992	0.5633	弱脱钩
2009–2010	-0.2195	0.1815	-1.2099	强脱钩
2010–2011	0.0782	0.1772	0.4416	弱脱钩
2011–2012	0.0132	0.1077	0.1225	弱脱钩
2012–2013	0.1003	0.0949	1.0579	扩张连接
2013–2014	0.0782	0.0793	0.9869	扩张连接
2014–2015	0.0467	0.0551	0.8462	扩张连接
2015–2016	0.1039	0.1016	1.0230	扩张连接
2016–2017	0.0061	0.0882	0.0690	弱脱钩

展脱钩弹性值从 2002 年的 1.0423 下降到 2017 年的 0.9800, 整体上呈现出下降的趋势, 在 2004–2005 年出现最低值, 在 2013–2014 年出现最高值。能源结构脱钩弹性指数从 2002 年的 1.3819 下降到 2017 年的 -0.8822, 在 2009 年–2010 年出现最低值, 2002–2003 年出现最高值。

人口规模脱钩弹性指标变化较小, 能源强度脱钩弹性和产业结构对于脱钩状态的指标变化较小, 对碳排放影响还不明显, 能源结构和产业结构的调整是未来长兴县完成脱钩状态转变的主导方向。

表 4 2002–2017 年长兴县经济增长与碳排放的分解脱钩弹性指数

年份	$T_{IS}$	$T_{EI}$	$T_{ES}$	$T_{ED}$	$T_P$
2002–2003	0.1356	0.0631	1.3819	1.0423	-0.0050
2003–2004	0.0395	-0.0105	-0.5479	1.0329	0.0032
2004–2005	0.3640	-0.0133	1.2580	0.3583	-0.0193
2005–2006	0.1525	-0.0130	1.1575	1.0241	-0.0185
2006–2007	0.0779	-0.0921	-0.4932	0.9600	-0.0032
2007–2008	0.0794	0.0069	0.0000	0.9963	0.0194
2008–2009	-0.3900	-0.0300	-0.2270	0.7888	0.0420
2009–2010	-0.1389	-0.1000	-1.8633	0.9273	0.0233
2010–2011	-0.2033	-0.0228	0.4917	0.9585	0.0267
2011–2012	-0.0536	-0.0373	-0.8200	0.9656	-0.0018
2012–2013	-0.1178	-0.3422	-0.0667	0.5431	0.0389
2013–2014	0.0625	-0.3150	-0.0075	1.5065	0.0463
2014–2015	-4.4333	0.8417	-0.1867	0.9017	-0.0300
2015–2016	0.1470	0.0880	-0.0220	0.5608	0.0470
2016–2017	-0.0978	-0.2789	-0.8822	0.9800	0.0367

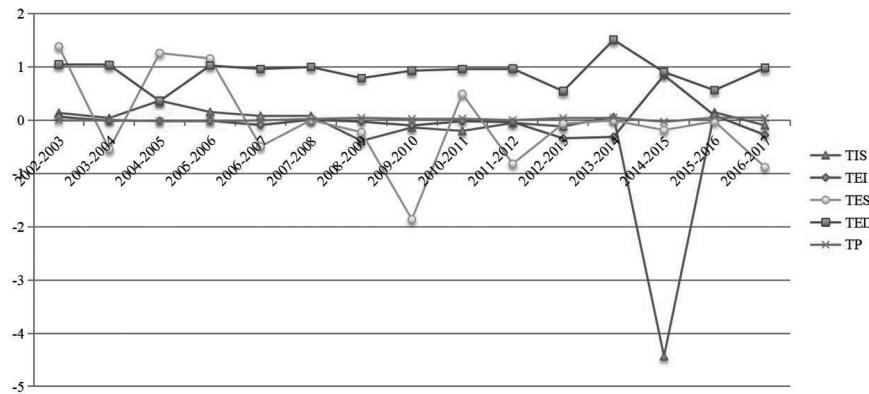


图 3 2002–2017 年长兴县经济增长与碳排放的分解脱钩弹性指数

### 3.2 经济增长与碳排放脱钩关系影响因素分析

产业结构对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系有一定影响,但是影响程度较小。当第二产业比重增加时,碳排放量也随之增加,产业结构对经济发展与碳排放脱钩关系产生负向作用。长兴县的第二产业比重降低时,产业结构推动经济发展与碳排放的脱钩关系朝着强脱钩方向发展。因此,降低第二产业比重可以促进脱钩关系的转变。能源强度对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系的影响较小:当能源强度增加时,对脱钩关系产生负向影响;当能源强度降低时,脱钩关系朝着强脱钩关系发展。本研究将能源强度定义为获得单位 GDP 消耗的标准煤量,可以将能源强度对脱钩关系影响解释为获得单位 GDP 消耗的标准煤越少,脱钩关系越倾向于强脱钩;获得单位 GDP 消耗的标准煤越多,脱钩关系越远离强脱钩状态。能源结构对长兴县经济发展与碳排放脱钩关系的影响较大,当能源结构增加时,对脱钩关系产生负向影响;当能源强度降低时,脱钩关系朝着强脱钩关系发展。说明煤炭消耗量占总能源消耗量的比重越大,脱钩关系越偏离强脱钩状态。在长兴县能源结构调整的策略下,煤炭逐渐被其他能源替代,碳排放与经济发展的关系逐渐向强脱钩转变。经济发展对脱钩关系影响较大,随着经济不断加快发展,GDP 增长速度大于碳排放量的增长速度,说明由经济发展带来的碳排放增长速度逐渐降低,脱钩关系逐渐向弱脱钩甚至是强脱钩状态转变,长兴县的低

碳发展取得一定成效。长兴县的人口变化对脱钩状态的转变的影响作用较小,目前人口规模还不是影响长兴县脱钩状态变化的主要因素。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本研究计算了长兴县 2002–2017 年能源消耗碳排放,基于 Tapio 模型分析长兴县经济增长与碳排放之间的脱钩关系,通过 LMDI 模型对脱钩弹性指数进行分解,分析经济增长与碳排放脱钩关系的影响因素。本研究得到的研究结论如下:

长兴县碳排放量逐年增加,但增幅逐渐降低。随着地方经济发展与相关减排技术引进,碳排放强度逐年降低,表明长兴县获得单位 GDP 而排放的二氧化碳量在逐渐减少,符合国家降低碳排放强度的发展要求。长兴县经济增长与碳排放整体上呈现弱脱钩关系,2002–2006 年长兴县的经济增长与碳排放呈现扩张负脱钩关系,2006 年之后进入弱脱钩状态。说明长兴县在 2002–2017 年间实施的环境管制政策和节能减排措施取得了较好的成效,经济发展对于能源的依赖程度逐渐降低。经济增长与碳排放之间的脱钩关系正处于逐步削弱的阶段,符合“低碳经济”的发展模式,是积极转型中经济发展与环境污染比较理想的同步模式。能源结构是抑制碳排放的主要因素,且其抑制作用逐年增强。产业结构和能源强度也在抑制碳排放过程中起到较

为重要的作用。长兴县经济增长与碳排放脱钩关系转变的原因是能源结构、产业结构的优化,以及能源强度的提升。此外,经济发展和人口规模是促进碳排放增长的主要因素。

#### 4.2 建议

为了促进长兴县低碳经济发展,在保持经济增长与碳排放弱脱钩状态的基础上,早日进入到强脱钩状态,本研究提出如下建议:(1)优化产业结构,降低第二产业碳排放。长兴县的主要碳源是第二产业,第二产业的比重增加会促进产业结构效应增加。应采取积极措施推进第二产业低碳、绿色发展,引进先进技术替代传统技术,减少第二产业的碳排放,同时降低第二产业的比重,大力发展第三产业,合理优化产业结构。(2)调整能源结构,以清洁能源替代传统能源。长兴县在发展中对于煤炭的依赖性较强,可在未来发展中引入新能源,替代传统能源,优化能源结构。(3)提高能源强度,提升能源利用效率。长兴县能源使用效率方面已经取得较大进步,但仍有机提升空间,各企业应在政府指导下引进新技术与新设备,进一步提高能源使用效率。(4)合理控制人口规模,普及低碳意识。长兴县人口变动幅度较小,对碳排放的影响相对较弱。随着长兴县人才引进政策的推进,人口将逐年增加。长兴县应根据自身情况合理控制人口规模,并向居民普及低碳知识、宣传低碳生活、倡导绿色出行。(5)发展低碳经济,引入绿色产业。长兴县的新能源产业及高新技术产业已经走入正轨,逐步替代传统高能耗产业,带动长兴县经济发展。未来应该继续引入新技术,将不能替代的产业低碳化、绿色化,早日实现经济增长与碳排放的脱钩发展。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘嗣明,周飞. 关于小城镇发展绿色低碳经济若干思考[J]. 小城镇建设, 2012(12): 73–75.
- [2] 于立,彭建东. 中国小城镇发展和管理中的现存问题及对策探讨[J]. 国际城市规划, 2014, 29(01): 62–67.
- [3] 孙耀华,李忠民. 中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(05): 87–92.
- [4] OECD. Decoupling: a conceptual overview[R]. Paris: OECD, 2000, (5).
- [5] Grand M C. Carbon emission targets and decoupling indicators[J]. Ecological Indicators, 2016(67): 649–656.
- [6] Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005, 12(2): 137–151.
- [7] Gao C C, Ge H Q, Lu Y Y, et al. Decoupling of provincial energy – related CO<sub>2</sub> emissions from economic growth in China and its convergence from 1995 to 2017 [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 297: 126627.
- [8] Zhao X R, Zhang X, Li N, et al. Decoupling economic growth from carbon dioxide emissions in China: A sectoral factor decomposition analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 3500–3516.
- [9] 罗芳,郭艺,魏文栋. 长江经济带碳排放与经济增长的脱钩关系: 基于生产侧和消费侧视角[J]. 中国环境科学, 2020, 40(03): 1364–1373.
- [10] 黄元,刘佳. 低碳试点城市工业碳排放脱钩状态及驱动因素研究[J]. 生态经济, 2024, 40(04): 13–19 + 54.
- [11] 冯博,王雪青. 中国各省建筑业碳排放脱钩及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(04): 28–34.
- [12] 武娜,沈镭,钟帅,等. 晋陕蒙地区经济增长与碳排放时空耦合关系[J]. 经济地理, 2019, 39(09): 17–23.
- [13] 张赫,黄雅哲,王睿,等. 中国县域碳排放脱钩关系及其时空特征演变[J]. 资源科学, 2022, 44(04): 744–755.
- [14] 李忠民,宋凯,孙耀华. 碳排放与经济增长脱钩指标的实证测度[J]. 统计与决策, 2011(14): 86–88.
- [15] 王凤婷,方恺,于畅. 京津冀产业能源碳排放与经济增长脱钩弹性及驱动因素: 基于 Tapio 脱钩和 LMDI 模型的实证[J]. 工业技术经济, 2019, 38

- (08): 32–40.
- [16] 杨迪, 杨旭, 吴相利, 等. 东北地区能源消费碳排放时空演变特征及其驱动机制[J]. 环境科学学报, 2018, 38(11): 4554–4565.
- [17] 盖美, 曹桂艳, 田成诗, 等. 辽宁沿海经济带能源消费碳排放与区域经济增长脱钩分析[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1267–1277.
- [18] 查建平, 唐方方, 傅浩. 中国能源消费、碳排放与工业经济增长: 一个脱钩理论视角的实证分析[J]. 当代经济科学, 2011, 33(6): 81–89, 125.
- [19] 郭蝶, 吴晓晨, 瑞芳. 城镇空间紧凑度对碳排放的影响研究: 以长兴县为例[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(06): 122–128.
- [20] 邢红. 长江经济带能源消费碳排放与经济增长实证分析: 基于弹性脱钩模型[J]. 资源开发与市场, 2019, 35(10): 1244–1251.
- [21] 胡怀敏, 左薇, 徐士元. 长江经济带交通能源碳排  
放脱钩效应及驱动因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(04): 862–877.
- [22] 张爱宁, 李滋婷, 李宗省. 基于 LMDI 和 Tapio 脱钩模型的甘肃省碳排放研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2024, 60(03): 55–63.
- [23] 王奕淇, 黄涵祝. 中国碳排放脱钩效应、时空特征与驱动因素[J]. 生态学报, 2024, 44(06): 2228–2243.

---

**作者简介:**

第一作者/通讯作者:郭蝶,1969年生,女,北京人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院。教授,博士生导师,主要研究方向为区域发展与规划、城乡规划理论与方法。Email:hitgr@sina.com

---

## Research on the Relationship between Economic Growth and Carbon Emissions in Changxing County based on Tapio Model

GUO Rong<sup>1,2\*</sup>, WU Xiaochen<sup>1,2</sup>

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and  
Technology, Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** China has put forward the development goal of “carbon peak, carbon neutrality”, which should take into account economic development while controlling carbon emissions. Identifying the stage of the relationship between economic growth and carbon emissions is the key to achieve coordinated development of economic and environment. Taking Changxing County as an example, this paper calculates the carbon emissions of energy consumption from 2002 to 2017 using carbon emission coefficient method. The Tapio model is used to analyze the decoupling relationship between economic growth and carbon emissions in Changxing County. The Log Mean Divisia Index (LMDI) model is used to decompose the decoupling elasticity index, and analyze the influencing factors of the decoupling relationship. The results show that the carbon emissions of Changxing County are increasing, and the growth rate is decreasing year by year. The decoupling relationship between economic growth and carbon emissions shows a change of “negative decoupling – weak decoupling – connection stage – weak decoupling”. The economic growth rate is greater than that of carbon emissions. Under the guidance of national policies, the program of carbon emission reduction in Changxing County has achieved initial results. Combined with the influencing factors of the decoupling relationship in Changxing County, this paper puts forward suggestions for the development of low – carbon economy, and provides references for the low – carbon development of small towns.

**Key words:** carbon emissions, economic growth, small towns, decoupling relationship, Tapio model

# 寒地村庄合并对生物质热电厂投资成本 与能源利用率的影响

张一飞<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院, 哈尔滨 150001;  
2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室, 哈尔滨, 150001;  
3. 安徽省城镇化建设协同创新中心, 合肥, 230000)

**摘要:**中国的城市化进程正处于高速发展期,部分区域为了解决村庄人口外流造成的农业衰落问题而执行了村庄合并规划。在村庄合并规划环节中重新审视生物质热电厂的规模与数量问题,有利于展开对生物质热电厂投资成本与能源利用效率的研究,进而优化能源消费结构,推进可持续发展进程。通过预测城市化比例确定撤销村庄,将撤销村庄人口重新分配至保留村庄内,同时在人口稀少的区域新建镇分流部分人口。通过对比村庄合并规划前分散建设 15 座生物质热电厂与村庄合并规划后集中建设 1 座生物质热电厂两种情况下的分析数据得出结论:生物质热电厂采用集中建设模式比分散建设模式的投资成本低 6.29 亿元,且每年可节约秸秆 87930.31 吨,折价为 2198.26 万元。

**关键词:**寒地村庄;合并规划;生物质热电厂;投资成本;能源利用率

中图分类号:S24

文献标识码:A

文章编号:1672-2736(2024)-0042-9

## 0 引言

农业生物质能源具有产量相对稳定的特点,生物质载体的收集、运输、能源转化及其衍生燃料都与其所处区域的农业用地、村庄的区位分布关系密切<sup>[1]</sup>。对于正处于城市化进程快速推进时期的发展中国家来说,伴随着人口向城市集中、村庄的房屋闲置与人口外流等现象,也产生了村庄合并与迁址重建的问题。在冬季热能需求巨大的寒冷地区,村庄合并规划不仅涉及到村庄撤销、人口再分配的问题,还涉及到生物质热电厂规模与数量之间的权衡与对比,选择不同模式会对整个区域生物质热电厂的投资成本与能源利用效率产生影响。

雷克斯<sup>[1]</sup>等人认为生物质收集点与仓库间距离、生物质产量、致密化效率等因素都会影响到生物质能源的运输与利用效率。康斯坦丁诺

斯<sup>[2]</sup>等人在对比分析秸秆与生物原油的运输成本以及加工成本后,认为从综合成本角度来看,生物原油并不具优势。麦德斯<sup>[3]</sup>等人致力于研究生物质固体燃料与液体燃料的铁路运输成本,认为液体燃料的运输成本更高,并且运输成本逐年上升。文献<sup>[1-3]</sup>在生物质能源供应与运输层面取得了研究成果,不过未涉及到与村庄相关的研究。莱斯<sup>[4,5]</sup>等人通过建立混合整数线性规划(MILP)模型来构建生物质能源与太阳能混合应用的生态村庄,并核算了能耗标准与运营造价,然而该项研究是基于单一村庄展开的,缺少系统性、网络化的区域性考量。卡米拉<sup>[6]</sup>等人通过建立生物质竞争力模型来分析用于分散式村镇供热的生物质潜能,不过该研究并未提出村镇合并优化的规划建议。胡开永<sup>[7]</sup>等人以河北迁安地区某农宅为基础,建立三维模型,采用 Trnsys 对农宅能耗进行预测,通过实测数据对模型

基金资助:国家自然科学基金(项目编号:51578175),安徽省城镇化建设协同创新中心开放课题(项目编号:XTCX2024KF04)

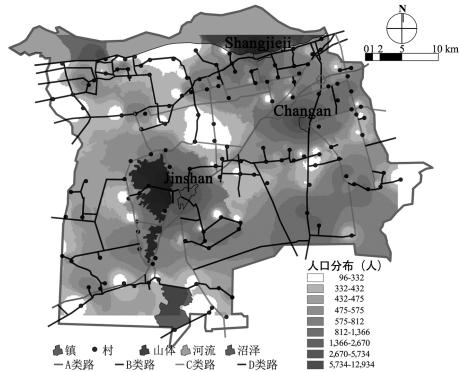


图1 区域内自然要素、村镇区位、人口分布与道路分布状态

进行验证,结果表明:合理利用天然气、生物质和太阳能成为减轻供暖经济负担、降低CO<sub>2</sub>排放的有效方法。黄思慧<sup>[8]</sup>等人提出一种以太阳能和生物质能作为热源的供暖系统,并通过两种模式对其进行性能分析:与传统的供暖系统相比,模式一的节能率高达96.19%,模式二的节能率达到59.09%;模式一的PMV为-0.5,模式二的PMV为-0.7;两种模式的热舒适性都良好。杨雨莹<sup>[9]</sup>等构建基于改进层次分析法(AHP)-逼近理想解排序法(TOPSIS)的村镇太阳能+生物质能联合供暖综合评价模型,结果表明:案例4个准则评级依次为优秀、良好、优秀、良好,综合评价等级为良好。

上述文献在生物质能源运输与利用效率、不同生物质燃料形式的效率差异、生态村庄、村庄合并社会问题、农民再就业等方面取得了各种研究成果,不过同时考虑生物质热电厂综合能源利用效率与村庄合并规划的研究成果较为欠缺,因此本文将综合考虑这两方面因素以展开后续的分析过程。

## 1 方法:依托村庄合并状态确定综合能源利用效率算法

为了使研究具有延续性与扩展性,我们选择了与以前关于村镇人口密度的研究成果<sup>[10]</sup>相同的研究对象(图1)。该区域位于我国黑龙江省东北部,总面积1586.16km<sup>2</sup>,包含3个镇与144个村庄。图1中A类路为高速公路,B类路为国

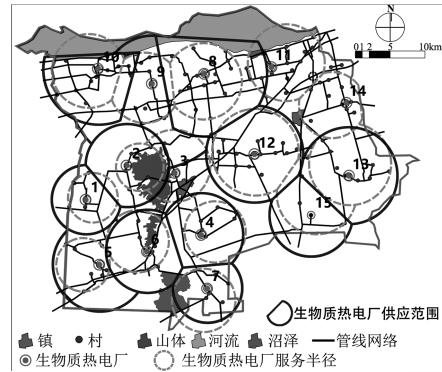


图2 “几个小的”建设模式下的生物质热电厂供应范围与服务半径

道、省道,C类路为县道,D类路为乡道。

在综合考虑村镇区位、人口分布、道路、山体、沼泽等因素的基础上,以生物质能源自给自足为前提的村庄合并规划涉及到的几个关键问题——缩减人口稀少村庄、扩建新村或新镇,将逐一展开进行讨论。

### 1.1 确定撤销村庄标准

撤销村庄的筛选标准需要结合生物质能源自给自足的目标来设置。从文献《Effects of population density of a village and town system on the transportation cost for a biomass combined heat and power plant》<sup>[10]</sup>关于此区域的研究结果可以得知,除3个人口集中的镇外的其他村庄均具备生物质能源自给自足的条件,也就是说区域内的生物质潜能可以支撑所有141个村庄每年的电能与热能消耗需求。以往关于生物质热电厂的研究<sup>[11-14]</sup>始终围绕斯洛斯模式(一个大的还是几个小的更优)来展开争论,本文也将针对这一议题展开量化对比分析。本文的前置研究<sup>[10,15]</sup>中遵循的是村庄合并前的“几个小的”建设模式,本文在后续内容中将增加村庄合并后的“一个大的”建设模式来作为对比,通过运输成本、总体能源效率的对比来评判哪种建设模式更加适合于目标区域。

如图2所示,在“几个小的”建设模式下以8km作为热能传输阈值,目标区域需要建设15座生物质热电厂,其中11座直接为村庄服务的热电厂都能够实现生物质能源自给自足,而3座

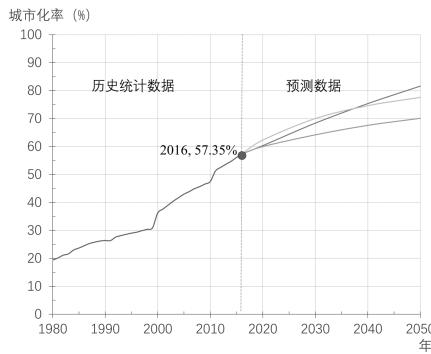


图 3 中国城市化率历史统计数据  
与预测数据

为镇服务的生物质热电厂则不得不补充常规能源才能实现供需平衡<sup>[10]</sup>。这种建设模式其实是把有限的生物质能源优先供应给村庄使用,而供热技术进步以及热网传输距离不断提升等条件则提供了其他的资源分配可能性——在目标区域建设更多的生物质热电厂来为所有人口服务。在这种建设模式下,区域内有限的生物质能源将优先供应给 3 个镇,这就形成了村庄合并后的“一个大的”建设模式。我们将制定一种新的规划方案来与分散式规划方案展开对比,那就是整个区域只建设 1 座热电厂的规划方案。制定这种规划方案的前提则是确定保留与撤销村庄的数量,我们在此环节采用城市化程度的指标进行控制。文献<sup>[16]</sup>数据表明 2016 年中国城市化程度为 57.35%,多篇文献<sup>[17-19]</sup>的成果根据多种预测方法得到了多种预测数据(图 3),预计 2050 年城市化率分别为 70.12%、77.56%、81.63%。由于不同预测结果差异性较大,将制定出不同的村庄筛选标准进行对比分析。依据文献<sup>[20]</sup>数据可以得到研究区域历年人口数量变化趋势(图 4),研究区域内的村镇受到城市化与人口增长双重因素的影响(村庄向城镇集中,区域人口分布态势产生变化,但总量保持稳定),人口在相当长一段时间内趋于稳定<sup>[17-19]</sup>,因此,计算过程中 2050 年人口数采用 2016 年人口数据。

基于文献<sup>[17-19]</sup>的城市化率预测结果与人口统计数据<sup>[20]</sup>,运用公式(1)来对确定目标区域内

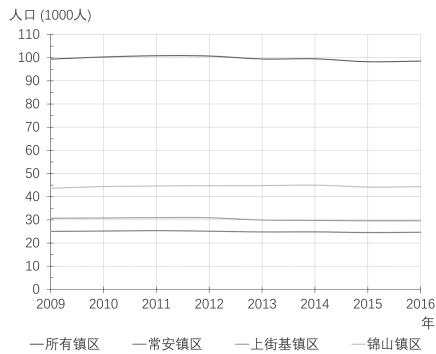


图 4 各镇区人口与区域总人口  
近年变化趋势

村庄人口所需的缩减比例。

$$A = \frac{V - (P' - P'U')}{V} \quad (1)$$

式中,  $A$  为村庄人口所需的缩减百分比,  $V$  为村庄当前人口,  $P'$  为研究区域 2050 年预测总人口,  $U'$  为研究区域 2050 年城市化率。将图 3 与图 4 中的数据输入公式(1)进行计算, 可以得到分别基于 2050 年城市化率预测的三种可能性 (70.12%、77.56%、81.63%) 的三种村庄人口缩减百分比 (38.93%、54.13%、62.45%)。将 141 个村庄的人口数进行升序排列可以得到分布图(图 5), 依据计算得出的缩减百分比 (38.93%、54.13%、62.45%) 三种数值下所对应的临界村庄人口数值分别为 446、513、546 人。也就是说, 当需要缩减 38.93% 的村庄人口时, 应当撤销人口在 446 人以下的村庄, 同理可以推导 54.13%、两种情况下的数值。在去除人口少于 446 人以下村庄后可以得到村镇分布状态(图 6)。

从图 6 中可以看出, 此次撤销行为对于东北部的村镇影响较小, 该区域村庄分布密度仍然较高, 人口也相对集中, 而其他区域的村庄分布密度得到较大幅度的降低。为了尽可能适应远期高度城市化趋势, 在后续分析过程中对人口 546 人以下的村庄全部加以撤销。基于较长时期内区域总人口保持不变的前提下, 被撤销村庄的人口需要安置到区域内其他村镇中去, 这就带来了另一个需要讨论的议题——扩建新村或新镇。

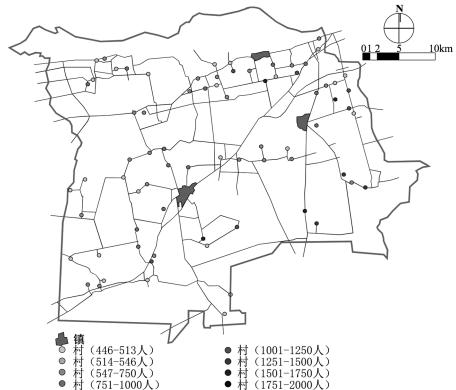


图5 村庄人口缩减百分比与  
对应临界村庄人口数

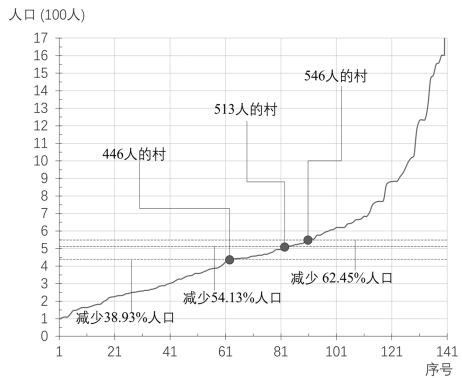


图6 撤销人口较少村庄后的  
村镇人口等级分布

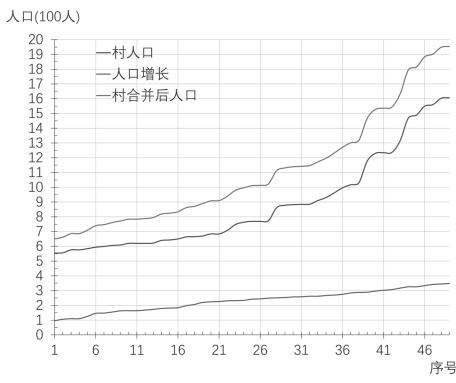


图7 村庄合并规划中各村庄对  
应增加人口数

## 1.2 扩建新村或新镇

依托于扩建新村或新镇的前置条件,由图6可以看出研究区域内西北部地区村庄与人口稀少,可以作为人口迁移区域。从区域规划角度来进行分析,西北部地区应当建设一个新镇来平衡整个地区的人口密度。结合专家投票与多方案对比等综合措施的运用,确定了撤销村庄人口的再分配机制。在已经被确定撤销的91个村庄中,49个人口较少的村庄人口被合并到被保留的49个村庄中(图7),32个人口较多的村庄人口被合并到现有的3个镇中,10个人口最多的村庄人口重新组成了西北部的新镇,村庄合并规划后共4个镇、49个村(图8)。

对比图1与图8可以发现,执行村庄合并后区域内人口分布的极化效应加强,这种人口集聚态势将对区域内生物质热电厂应用各层面产生

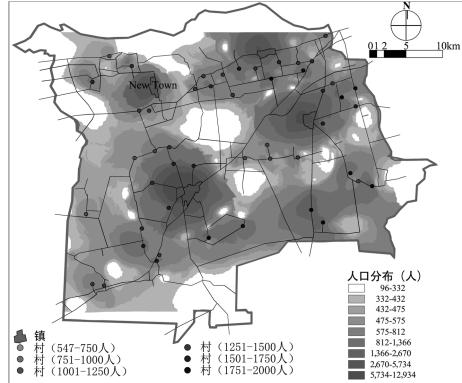


图8 村庄合并规划后的  
村镇人口分布状态

影响。

## 2 结果: 投资成本与综合能源利用效率分析

村庄合并规划以前采用的是“几个小的”建设模式,通过多个较小的生物质热电厂来满足区域需求,村庄合并规划之后人口分布趋于密集化,我们尝试采用“一个大的”建设模式,通过一个较大的生物质热电厂来满足区域需求。下面将通过投资成本与综合能源利用效率两方面的量化分析来验证这种尝试是否能够带来综合能源利用效率的提升。多个文献<sup>[21-22]</sup>的成果均表明,由生物质热电厂选址与距离造成的运输成本差异非常小,与投资成本以及能源利用率造成的资源浪费相比权重过低,因此后续分析内容不针对运输成本展开详细论述。

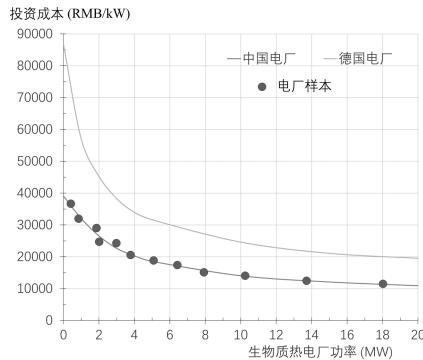


图 9 中德生物质热电厂规模与投资成本关系对比

## 2.1 建设规模与投资成本的关系

将中国各地 12 座已建成生物质热电厂建设规模与投资成本间的关系<sup>[23]</sup>与德国相关研究结果<sup>[24]</sup>进行对比,可以得出分析结果(图 9)。由于中国土地获取、施工、人力等成本较低的缘故,两国投资成本存在差异,但是生物质热电厂规模与单位发电量投资成本之间的关系均呈现为递减指数曲线形态。

按照图 9 中投资成本标准对图 2 中的 15 个生物质热电厂投资成本进行计算,将其结果与整个区域只建设一座生物质热电厂的情况进行对比,可以得到分析结果(图 10)。可以看出,在研究区域建设 1 座大型生物质热电厂的投资成本要比建设 15 座分散的中小型生物质热电厂的投资成本节约 6.49 亿元。

## 2.2 综合能源利用效率的计算方法

这里所说的综合能源利用效率是指最终居民可以使用的能源与原始生物质原料所蕴含的潜能的比值。在村庄合并规划以前,研究区域内拟建设 15 座生物质热电厂,每个生物质热电厂的能源利用率都有所不同,在综合文献<sup>[25-30]</sup>等几种算法后,区域综合能源利用效率可以参照公式(2)来进行计算。

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n M_i T_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (2)$$

式中,E 为整个生物质热电厂网络的整体能

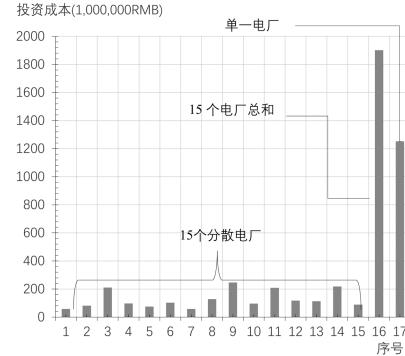


图 10 生物质热电厂分散与集中建设的成本差异

源利用效率,i 为某个生物质热电厂的编号,n 为生物质热电厂的数量,M<sub>i</sub> 为某个生物质热电厂消耗原料的理论潜能,T<sub>i</sub> 为某个生物质热电厂的能源利用率。而当执行村庄合并规划后,区域内只需建设一座生物质热电厂,此时公式(2)中的 E 就直接代表唯一的这座生物质热电厂的能源利用率。

M<sub>i</sub> 数值的确定依托于区域生物质潜能评估结果。在航拍图像与实地调研的基础上获取了当地水稻、小麦、玉米、高粱等多种农作物的种植区域,结合农业部门统计数据<sup>[20]</sup>计算出农作物的平均单产潜能,得到历年生物质潜能评估数据(表 1)。

村庄合并前存在 15 个生物质热电厂,因此公式(2)中的 n 取值为 15,而表 1 中的生物质潜能则被划分为如图 2 各个供应范围所示的 15 份,公式(2)中的 M<sub>i</sub> 数值也得以确定。

不同等级的生物质热电厂具有不同的 T 值,依据中国各地 12 座已建成生物质热电厂的数据,可以得到关系曲线(图 11),这些生物质热电厂的能源利用率集中在 45% - 80% 区间范围内。运用 Arcgis 对区域内村镇区位与道路体系进行分析,可以确定集中建设生物质热电厂的选址以及服务区域(图 12)。从图 12 可以看出,村庄合并规划使人口更加集中于几何中心区域,3.1 与 3.2 的论述表明这种集中可以更加高效地利用能源,节约投资资金。

表 1 历年生物质潜能评估

	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
单位面积秸秆理论潜能 (GJ/hm <sup>2</sup> )	82.43	82.37	81.86	81.97	82.15	82.02
作物种植面积 (hm <sup>2</sup> )	138340	138217	138604	138576	138543	138588
生物质理论潜能 (TJ)	11403.37	11384.93	11346.12	11359.07	11381.30	11367.01

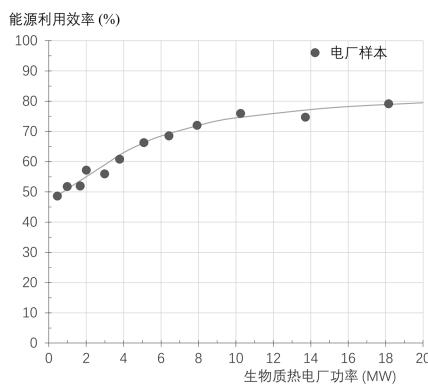


图 11 生物质热电厂总功率与能源利用率的关系

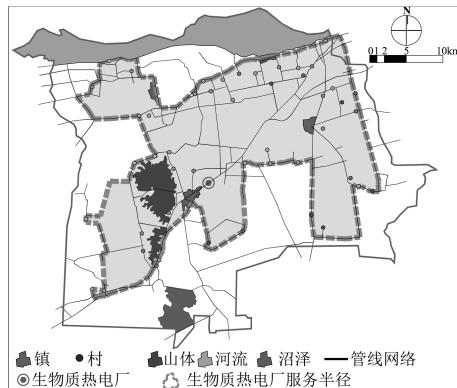


图 12 集中建设模式下生物质热电厂服务区域

将分散建设 15 个生物质热电厂以及只建设 1 座生物质热电厂所对应的生物质潜能与能源

利用率数据进行整理, 可以得到结果(表 2)。

表 2 运输成本测算数据

热电厂编号	供应范围 (hm <sup>2</sup> )	生物质潜能 (TJ)	服务人口	总功率 (MW)	能源利用率 (%)
分散建设 - 1	5967.62	489.46	1717	2.18	55.3
分散建设 - 2	9203.94	754.91	2835	3.60	61.4
分散建设 - 3	8645.62	709.11	16572	21.02	79.8
分散建设 - 4	8137.11	667.41	4109	5.21	66.2
分散建设 - 5	8091.67	663.68	2916	3.70	61.8
分散建设 - 6	8805.52	722.23	4735	6.01	68.5
分散建设 - 7	5992.96	491.54	1991	2.53	57.1
分散建设 - 8	15700.17	1287.73	7187	9.12	73.9
分散建设 - 9	9050.16	742.29	4967	6.30	68.7
分散建设 - 10	9607.61	788.02	4077	5.17	66.1
分散建设 - 11	7848.77	643.76	15045	19.08	79.3
分散建设 - 12	12628.99	1035.83	6150	7.80	71.9
分散建设 - 13	12058.44	989.03	5247	6.66	69.2
分散建设 - 14	8960.17	734.91	17175	21.79	79.9
分散建设 - 15	7889.84	647.12	3769	4.78	65.7
集中建设 - 1	138588.57	11367.03	98492	124.94	80.0

将表 2 中的数值代入公式(2)进行计算, 可以得出分散建设 15 个生物质热电厂的综合能源利用效率为 69.16%, 而集中建设 1 个生物质热电厂的综合能源利用效率为 80%。按此标准进行换算, 集中建设模式每年可以节约农业生物质 87930.31 吨, 折价为 2198.26 万元。依托于目前的供热传输技术, 供应半径在 15~20 公里以内均处于较为经济的范围, 而本文研究范围内建设单一热电厂可以满足这一需求。

### 3 结论

通过上述讨论以及推导分析过程可以得出以下结论:

(1) 中国的城市化进程导致村庄人口向外迁移, 催生了村庄合并规划编制工作。在城市化进程与人口增长的双重影响下, 2050 年以前研究区域内村镇人口总量保持稳定。

(2) 在研究区域内集中建设 1 座生物质热电厂的投资成本比分散建设 15 座生物质热电厂的投资成本低 6.49 亿元。

(3) 在研究区域内集中建设 1 座生物质热电厂的综合能源利用效率比分散建设 15 座生物质热电厂的综合能源利用效率高 10.84%, 每年可节约农业生物质 87930.31 吨, 折价为 2198.26 万元。

### 参考文献(References):

- [1] Rex T. L. Ng, Christos T. Maravelias. Economic and energetic analysis of biofuel supply chains [J]. Applied Energy, 2017, 205(8): 1571~1582.
- [2] Konstantinos B., Konstantinos A., Kyriakos D. P., et al. Economic Evaluation of Decentralized Pyrolysis for the Production of Bio-oil as an Energy Carrier for Improved Logistics towards a Large Centralized Gasification Plant [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 35(3): 57~72.
- [3] Md. S. R., Sandra D. E., Erin S., et al. Estimating the variable cost for high-volume and long-haul transportation of densified biomass and biofuel [J]. Transportation Research Part D, 2014, 19(4): 40~55.
- [4] Wai S. H., Haslenda H., Jeng S. L. Integrated biomass and solar town concept for a smart eco-village in Iskandar Malaysia (IM) [J]. Renewable Energy, 2014, 69(2): 190~201.
- [5] Haslenda H., Wai S. H., Jeng S. L., et al. Integrated biomass and solar town: Incorporation of load shifting and energy storage [J]. Energy, 2014, 75(4): 31~39.
- [6] Kamila V., Jaroslav K., Jan W., et al. Model for evaluation of locally available biomass competitiveness for decentralized space heating in villages and small towns [J]. Renewable Energy, 2018, 129(5): 853~865.
- [7] 胡开永, 刘峰, 吴秀杰, 胡芸清, 郑怡, 田绅. 基于 Trnsys 能耗预测的村镇建筑不同供能方式碳-经济分析[J]. 综合智慧能源. 2023, 45(08): 64~71.
- [8] 黄思慧, 李洁, 陆红梅, 蔡永斌. 太阳能联合生物质能供暖系统热性能和能源特性的分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版). 2023, 41(06): 704~710.
- [9] 杨雨莹, 任晓芬, 张景, 薛道荣, 韩成明, 杨胜东. 基于改进 AHP-TOPSIS 的村镇太阳能 + 生物质能联合供暖综合评价[J]. 太阳能学报. 2024, 45(02): 342~350.
- [10] Yifei Z., Chunpeng Q., Yi L. Effects of population density of a village and town system on the transportation cost for a biomass combined heat and power plant [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 223(6): 444~451.
- [11] Mirkouei A., Haapala K. R., Sessions J., et al. A mixed biomass-based energy supply chain for enhancing economic and environmental sustainability benefits: A multi-criteria decision making framework [J]. Applied Energy, 2017, 206(11): 1088~1101.
- [12] Daianova L., Dotzauer E., Thorin E., et al. Evaluation of a regional bioenergy system with local production of biofuel for transportation, integrated with a CHP plant [J]. Applied Energy, 2012, 92(4): 739~749.

- [13] Apfelbacher A., Conrad S., Schulzke T. Ablative Fast Pyrolysis – Potential for Cost Effective Conversion of Agricultural Residues [J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2014, 33(10): 669 –675.
- [14] Golecha R., Gan J. B. Biomass transportation cost from field to conversion facility when biomass yield density and road network vary with transport radius [J]. Applied Energy, 2015, 164(2): 321 –331.
- [15] Yifei Z., Jian K. Effects of the distribution density of a biomass combined heat and power plant network on heat utilisation efficiency in village – town systems [J]. Journal of Environmental Management, 2017, 202(8): 21 –28.
- [16] National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, China Statistical Yearbook (2017) [J]. China Statistics Press, 2017.
- [17] Shantong L., Sammang W., Chunliang G. Forecast and analysis of urbanization speed in China [J]. Development Research, 2017, 34(11): 19 –22.
- [18] Yan Z., Zhilong H. Review of the level and speed of urbanization in China [J]. Urban Studies, 2010, 17(11): 1 –6.
- [19] Luying L. Perplexity of Inflection Point at 50% Urbanization Level: A Comparative Study on Rapid Urbanization of Typical Countries [J]. Urban Planning Forum, 2013, 57(3): 43 –49.
- [20] Fujin bureau of statistics. Fujin statistical yearbook (2017) [R]. 2017: 13.
- [21] Zhan Z., Lisheng W., Peidong Z., et al. Collection path optimization and transportation cost analysis of regional stalk resource [J]. Renewable Energy Resource, 2009, 27(3): 102 –106.
- [22] Shuhua Y., Tingzhou L., Xiaofeng H., et al. Study on economical radius of collected straw in biomass fuel cold compression molding [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(10): 132 –134.
- [23] Qingyou Y., Jie T. Evaluation of China Biomass Power Generation Industry Efficiency [J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24 (2): 173 –179.
- [24] Rafal S., Dietrich S., Ursula E. Current status of bioenergy technologies in Germany [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 72(1): 801 –820.
- [25] Veronika D., André P. C. Efficiency and economy of wood – fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies [J]. Biomass and Bioenergy, 2001, 21(2): 91 –108.
- [26] Amit K., Jay B., Peter C. Biomass power cost and optimum plant size in western Canada[J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 24(6): 445 –464.
- [27] Dai J., Liu G., Xu T., et al. Research on heat – electricity ratio's affecting factors of heating unit[J]. Huadian Technology, 2013, 35(12): 7 –11.
- [28] Liu L., Han B., Zhang R. Heating's economic analysis for CHP units based on heat – electricity ratio [J]. District heating, 2010, 36(1): 64 –66.
- [29] Chuntian L., Lei X. Economic analysis of heating network's heating distance [J]. China science and technology information, 2011, 18(11): 223 –224.
- [30] Minghao W. Discuss about long distance transmission technology of large heating network [J]. District Heating, 2017, 36(3): 100 –103..

---

作者简介：

第一作者/通讯作者：张一飞，1979年生，男，黑龙江富锦人，博士，哈尔滨工业大学建筑与设计学院，副教授，主要研究方向为建筑设计及其理论。Email: 29598757@qq.com

---

## The Impact of a Cold Village Merger Plan on the Investment Cost and Energy Utilization Ratio of Biomass CHP Plants

ZHANG Yifei<sup>1,2,3 \*</sup>

(1. School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology, Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China;

3. Collaborative Innovation Center of Urbanization Construction in Anhui Province, Hefei 230000, China)

**Abstract:** China's urbanization process is rapidly developing. Thus, it is imperative to implement the village merger plan to address the decline in agriculture caused by the outflow of village populations. Re-evaluating the scale and quantity of biomass combined with heat and power (CHP) plants in the village merger planning process is beneficial for analyzing the investment costs and energy utilization ratios of biomass CHP plants and optimizing the energy consumption structure and promoting sustainable development processes. Predicting the extent of urbanization is useful in determining the abandonment of villages, where the populations are redistributed to other villages, while new towns are simultaneously built in sparsely populated north-western areas for relocated portions of the population. By comparing the analyzed data of the construction of 15 biomass CHP plants before the village merger plan and the centralized construction of a biomass CHP plant after the village merger plan, the investment cost of a biomass CHP plant that adopts a centralized construction mode is determined to save 629 million RMB Yuan, compared with a plant adopting a decentralized construction mode. Additionally, 87,930.31 tons of straw can be saved annually, which is equivalent to 21.92260 million Yuan.

**Key words:** cold village; merger plan; biomass CHP plant; investment cost; energy utilization ratio

# 基于 GEE 的森林动态变化研究

——以中央站国家级自然保护区为例

赵晨曦<sup>1,2</sup>, 姚允龙<sup>1,2\*</sup>, 王文姬<sup>1,2</sup>, 付怡<sup>1,2</sup>, 张鹏飞<sup>3</sup>, 张冰<sup>3</sup>, 潘明哲<sup>3</sup>

(1. 东北林业大学湿地生物多样性保护研究中心, 哈尔滨 150040;  
2. 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨 150040;  
3. 黑龙江省自然资源权益调查监测院, 哈尔滨 150080)

**摘要:**森林资源是我国极其珍贵的自然资源,森林内组分的精确信息对森林资源的保护和管理至关重要。然而,传统的实地森林清查费时费力,迫切需要一种快速准确的调查方法。本研究基于 Google Earth Engine(GEE)云计算平台及多时相 Sentinel - 2(S - 2)影像,综合地形以及气候等环境因素建立了随机森林模型,对黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区 2019 年及 2023 年的森林群落进行分类。结果显示,分类的总体精度为 0.90,kappa 系数为 0.87。其中,地形因素(海拔与坡度)对分类结果具有重要影响。此外,为了明确两个时期的森林群落变化,我们利用转移矩阵进行了空间分析,确定了白桦群落是变化最为剧烈的森林群落。本研究绘制了较高准确性的森林群落分布图,为黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区后续管理制度与政策的提出提供了科学依据。

**关键词:**大规模森林制图;森林群落变化;GEE;随机森林;Sentinel - 2

中图分类号:S76

文献标志码:A

文章编号:1672 - 2736(2024) - 0051 - 11

## 0 引言

森林是陆地三大生态系统之一,可以保护土壤免受侵蚀,协助水文循环,是生物多样性保护的热点地区<sup>[1,2]</sup>。但由于人为活动的干扰与环境变化的威胁,全球森林面积大幅减少。准确的大规模森林组成图对于自然资源的管理和保护至关重要<sup>[3]</sup>,如可持续森林管理和规划、森林火灾监测<sup>[4]</sup>、生物多样性监测<sup>[5]</sup>以及陆地碳储量和通量评估<sup>[3,6-8]</sup>。基于实地调查的森林清查是许多区域最准确的数据来源,然而传统的实地调查需要花费大量的人力、物力,对于大范围的采样往往需要昂贵的时间成本<sup>[9]</sup>,因此需要一种客观经济的调查方法,帮助我们快速地获得跨空间尺度的连续、一致的信息。

卫星遥感被认为是解决这一问题的有效方法,其具有覆盖面积大、数据采集可重复等特点,是森林组成变化监测和绘图的有效工具<sup>[10]</sup>。

Sentinel - 2(S - 2)获得的中等空间分辨率遥感数据已被广泛用于大规模森林参数估计和分类,例如,Grabska 等人使用 S - 2 对波兰喀尔巴阡山脉的 11 个树种进行分类,准确率达到了 85%<sup>[11]</sup>。然而,在大规模的分类任务中,获取和处理海量图像数据费时费力。近年来,Google Earth Engine(GEE)云平台已经被认为是用于大规模分类的良好工具,它具有大量数据访问和下载权限,并且可以使用高性能云计算平台来实现大规模地理空间数据处理<sup>[12]</sup>。GEE 平台提供了丰富的遥感数据集供用户进行研究,包括卫星影像、地表变化数据等,研究者在 GEE 上无需下载遥感影像,通过代码即可对感兴趣的影像进行在线调用和分析。

监督分类是大规模森林群落组成图绘制的常用方法<sup>[13]</sup>。其中,基于机器学习(ML)的监督分类模型可以对高维数据进行非线性分类,使其能够有效地进行大规模制图。目前有各种广泛

使用的基于 ML 的模型,包括随机森林(RF)<sup>[14]</sup>,支持向量机(SVM)<sup>[15]</sup>和决策树(DT)等<sup>[16]</sup>。在解决多类别分类问题时,树结构算法比 SVM 具有更大的优越性。作为多个 DT 的集合,RF 模型比 DT 模型更稳定。因此 RF 模型在自动分类方面的性能往往优于 DT 模型<sup>[17]</sup>。Parth Bhatt 等人使用 RF、SVM 和平均神经网络(avNNet)三种不同的机器学习算法对密歇根州的自然植被群落进行分类。结果表明 RF 提供了最好的准确性<sup>[18]</sup>。然而,哪些特征能够更好地帮助模型执行最精确的决策始终是各个研究的热点<sup>[19]</sup>。Ning 等人对新西兰一处地区的本土森林进行了树种分类,指出海拔等地形特征在随机森林分类模型中具有最高的重要性<sup>[10]</sup>。同时也有研究指出 S - 2 自身携带的信息能够完成高精度的分类工作<sup>[20]</sup>,光谱信息以及环境因素等各个特征如何影响以及影响了多少分类的决策还需要进一步探究。

黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区位于黑龙江省大、小兴安岭交接地区,具有丰富的森林资源。但随着时间推移,其森林结构发生了一系列变化。因此本研究旨在基于 GEE 平台及 S - 2 影像建立随机森林模型并对中央站区域的森林群落进行分类,探索保护区内优势群落的

分布与动态变化。具体研究目标包括以下三个部分:(1)基于 S - 2 影像建立高精度的随机森林分类模型并绘制两个时期的中央站保护区森林群落组成图;(2)探究不同输入特征的重要性,确定模型分类的关键变量;(3)对两个时期的群落分类图进行对比分析,了解各个群落的面积及空间变化趋势。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区位于黑龙江省黑河市嫩江县境内,地处大、小兴安岭山脉交接处的伊勒呼里山南部( $E125^{\circ}44'57'' \sim 126^{\circ}13'31'', N50^{\circ}38'23'' \sim 50^{\circ}48'10''$ )。属温带大陆性季风气候,兼有寒温带大陆季风气候特征。保护区最高海拔 620.1 m,最低海拔 330.0 m,坡度多在  $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$  之间。总面积为 46743 ha。其中,核心区面积 20271 ha,缓冲区 10194 ha,实验区 16278 ha,森林覆盖率高达 82.4%。保护区内优势群落包括白桦群落、落叶松群落、蒙古栎群落以及蒙古栎 - 黑桦群落等<sup>[21]</sup>(图 1)。

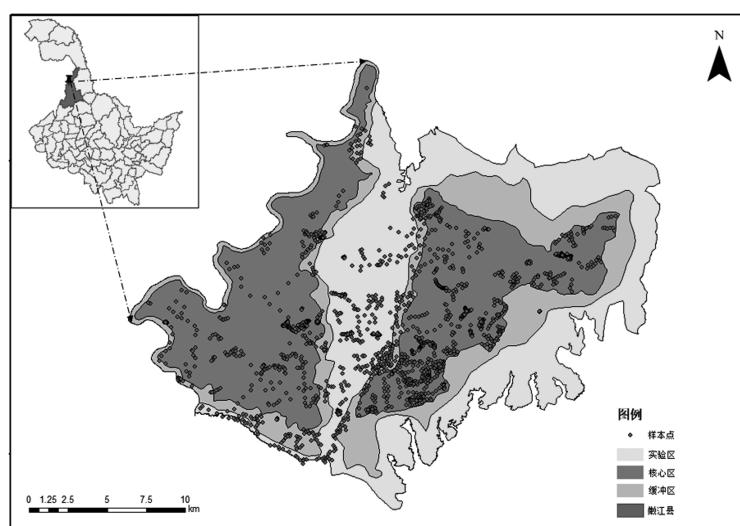


图 1 研究区域位置与样本点分布

(来源:中国科学院环境资源科学数据中心的《2022 年中国区县行政区划边界数据》)

## 1.2 数据获取与预处理

### 1.2.1 遥感数据

本研究基于 GEE 平台对黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区内的森林群落进行研究, S - 2 卫星以 10 – 20m 的空间分辨率每隔五天收集一次数据, 图像包括 13 个光谱波段, 从可见光、红边、近红外到短波红外。这些波段的空间分辨率如表 1 所示。本研究在 GEE 云平台上分别调用中央站区域 2019 年以及 2023 年的 Sentinel - 2 level - 2A 地表反射图像, 并选择植被生长旺盛的 6 – 9 月期间的影像, 经过云量筛选去除不合格的影像, 最终获取了 157 张 2019 年影像、144 张 2023 年影像, 采用中值合成的方法生成分类影像。

表 1 哨兵二号波段信息

波段名称	缩写	分辨率(m)
气溶胶	B1	60
蓝	B2	10
绿	B3	10
红	B4	10
红边 1	B5	20
红边 2	B6	20
红边 3	B7	20
近红外	B8	10
红边 4	B8A	20
水汽	B9	60
短波红外 1	B11	20
短波红外 2	B12	20

### 1.2.2 样本数据

为了满足样本点分布均衡, 尽可能广泛覆盖保护区的要求, 将保护区内四大优势群落作为主要分类对象。同时, 考虑到保护区内分布有大量湿地, 在分类时容易造成混淆。因此最终的分类方案包括白桦群落、落叶松群落、蒙古栎群落、蒙古栎 – 黑桦群落以及湿地五类。样本点数据主要由两部分构成, 第一部分通过野外调查实地采样, 在 20 × 20m 的样方中使用 Topcon Hiper II G RTK 设备获取每一棵树的精确坐标, 但获取的样本点数量有限, 且样方调查无法覆盖整个保护

区范围, 不能满足训练样本数量充足、分布均匀的要求。因此, 第二部分样本点的获取是基于中央站区域的高清无人机影像(5cm)进行目视解译选取。最终共获取样本点 1948 个, 各个类别的具体数量信息见表 2。

表 2 样本数量表

群落类型	样本点数量
白桦群落	336
落叶松群落	421
蒙古栎群落	440
蒙古栎 – 黑桦群落	362
湿地	479
合计	1948

## 1.3 输入特征

由于 S - 2 的气溶胶、水汽和卷云波段不用于土地覆盖分类, 因此在波段选择时排除了这三个波段。选取了从可见光到短波红外范围内的十个波段, 具体包括(B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8、B8A、B11、B12)。根据 S - 2 的相关波段计算了表 3 中报告的植被指数。这些植被指数已经被用于树种分类并被证明是有效的<sup>[22]</sup>。它们在色素含量、水分含量以及细胞结构的估测方面具有显著优势。以上基于 S - 2 影像共产生了 15 个特征(10 个波段 + 5 个指数)。

除了影像自身提取的特征, 气候、地形等环境变量也是分类的重要特征。这些环境变量是植物生长和树种组成的重要决定因素。为了描述气候特征, 在 GEE 平台上选择了由哥白尼气候变化服务公司提供的第五代全球气候再分析产品来描述研究区域的月平均温度。地形数据来自于 NASA 出品的 SRTM 数字高程模型(30m), 根据 DEM 影像计算了研究区域的海拔、坡度。环境因素共提供了 3 个特征(1 个气候因素 + 2 个地形因素)。

因此, 最终参与分类的特征共 18 个特征, 包括 S - 2 影像计算的 15 个特征以及环境变量 3 个特征。此外, 为了明确哪些特征在分类过程中具有最高的重要性, 使用随机森林重要性评估对 18 个特征的贡献进行了比较。

表 3 本研究所使用的变量特征

特征类型	缩写	波段名称	计算公式
波段特征	B2	蓝	
	B3	绿	
	B4	红	
	B5	红边 1	
	B6	红边 2	
	B7	红边 3	
	B8	近红外	
	B8A	红边 4	
	B11	短波红外 1	
	B12	短波红外 2	
植被指数	NDVI	归一化植被指数	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$
	NDMI	归一化水分指数	$(B8 - B11) / (B8 + B11)$
	GI	绿度指数	$(B3 - B2) / (B3 + B2)$
	EVI	增强植被指数	$2.5 * (B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1)$
环境特征	NDREI	归一化差异红边指数	$(B8 - B5) / (B8 + B5)$
	Elev	海拔高度	
	Slope	坡度	
	Temp	气温	

#### 1.4 分类模型及精度评价

本研究使用了随机森林算法进行森林群落分类。随机森林模型以处理高维和多重共线性数据而闻名。它是 DT 的集合。每棵树对分配给定样本的类进行投票,最常被选中的类赢得投票。RF 可以克服 DT 的局限性,如对过拟合不敏感<sup>[23]</sup>。同时为了减轻不平衡训练类的影响,RF 可以结合类权重来减少稀有类别的错误分类<sup>[24]</sup>。本研究选择 100 棵决策树建立随机森林,使用 75% 的样本点用于模型的训练,25% 的样本点用于验证模型的精度。基于 2023 年的输入特征构建随机森林模型,并通过构建的模型对 2019 年与 2023 年的中央站保护区森林群落进行监督分类。

使用混淆矩阵对模型进行准确性评估以确定模型和分类结果的质量。总体精度(OA)、生产者精度(PA)、用户精度(UA)以及 kappa 系数是使用最广泛的准确性评估指标。OA 指示在所有像素中被正确分类的可能性。PA 与遗漏误

差有关,反映了某一区域的某种土地覆盖被划为此类的可能性。UA 与错分误差有关,是指地图上某一类实际上在真实的观测值中出现的频率。kappa 系数统计评估定性项目的预测值一致性和观测值一致性。

#### 1.5 面积变化及时空分析

基于群落分类图的面积变化与时空分析在开源统计软件 R(R-4.3.1)中完成。在 GEE 平台计算各个群落在影像上的面积,随后使用 R 中的 ggplot2 包绘制了各个群落在四年内的面积分布柱状图。通过相交分析,并建立群落转移矩阵,转移矩阵是依据同一地区但不同时相的森林群落的变化关系,获得的一个二维矩阵。它描述了不同的群落类型在不同年份发生变化的群落类别以及发生变化的位置和变化面积。能够反映各个类别的面积转出以及转入情况,可了解群落类型变化的总体趋势和结构变化<sup>[25]</sup>。建立转移矩阵以反映群落变化的具体方向与程度,并绘制群落变化图使数据可视化。

## 2 结果

### 2.1 分类模型精度

精度评价结果显示模型分类结果具有较高的准确性(表 4)。它的 OA 为 0.90, kappa 系数为 0.87。其中,湿地类别在模型结果中的 PA 和 UA 都表现出了最好的准确性,PA 达到了 0.98, UA 为 0.95。优势森林群落(除白桦外)在的分类结果中都表现出了较高的准确性,其中最高的 是的落叶松群落,PA 达到了 0.93。

表 4 随机模型分类精度

群落类型	OA	Kappa	UA	PA
蒙古栎群落			0.91	0.83
蒙古栎 - 黑桦群落			0.85	0.90
白桦群落	0.90	0.87	0.89	0.78
落叶松群落			0.86	0.93
湿地			0.95	0.98

### 2.2 分类特征重要性评估

特征重要性结果显示:地形数据如 Elev 和 Slope 是具有最高重要性的特征,其次是原始波段对植被分类也具有重要意义,短波红外在分类中都表现出了较高的贡献度,但可见光、红边与近红外等波段的重要性表现并不稳定,红边波段是最重要的原始波段。对于植被指数,GI 和 EVI 是模型中最重要的特征。此外,NDREI 也表现出了较高的重要性。值得注意的是,气候条件并没有像预期一样占据较高的贡献度并明显提升模型精度,在模型中,气候条件的贡献度明显低于其他特征。各个特征详细的重要性见表 5。

表 5 分类特征重要性

特征名称	特征重要性
B11	0.061
B12	0.061
B2	0.053
B3	0.056
B4	0.058
B5	0.059
B6	0.048

B7	0.051
B8	0.052
B8A	0.056
Elev	0.071
EVI	0.054
GI	0.057
Temp	0.036
NDMI	0.052
NDREI	0.052
NDVI	0.053
Slope	0.065
合计	1

### 2.3 森林群落分类结果及面积变化

中央站国家级自然保护区 2019 年与 2023 年森林群落分布如图 2 所示。基于高分辨率谷歌地图与保护区范围内的无人机正射影像(5cm)对分类结果进行目视判别,湿地分布基本符合实际情况。树种方面参照中央站保护区林相图进行对比验证。白桦作为先锋树种,依靠湿地沿岸进行分布;落叶松则主要分布在保护区西侧的高海拔地区;蒙古栎、黑桦等阔叶林则在东部较为丰富。分类结果符合实际情况。

由分类结果计算的 2019 年与 2023 年黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区各个群落的面积与变化如图 3 所示。在 2019 年与 2023 年,保护区内森林群落和湿地的总体面积格局(除蒙古栎和白桦群落外)没有显著变化。落叶松群落始终是保护区内面积最大的森林群落,其次是湿地,蒙古栎群落在 2019 年的面积小于白桦群落,但 2023 年超过了白桦群落。面积变化方面,森林总面积呈上升趋势,而湿地面积则由 126.98km<sup>2</sup> 下降至 115.05km<sup>2</sup>,这一变化能够在图 2 的对比中得出。湿地退化并演变为森林群落,主要变化为白桦等先锋树种分布在湿地沿岸。对于具体的森林群落而言,随着时间的推移落叶松和蒙古栎群落面积应当增加,而白桦群落等先锋物种的面积会减少。我们的结果遵循这一预期,落叶松和蒙古栎群落的面积有较大增加,分别增加了 11.43km<sup>2</sup> 和 14.20km<sup>2</sup>,蒙古栎

- 黑桦群落与白桦群落的面积则呈下降趋势,其中蒙古栎 - 黑桦群落下降了  $8.11\text{km}^2$ , 白桦群落面积下降了  $9.56\text{km}^2$ 。

空间变化方面土地利用转移矩阵更详细的

量化了各个群落之间发生了演变动态。具体的变化信息则在表 6 中进行了报告,从表 6 中可以看出,湿地与白桦群落之间的转移较为明显,这与白桦作为先锋物种喜水的习性有关。湿地退

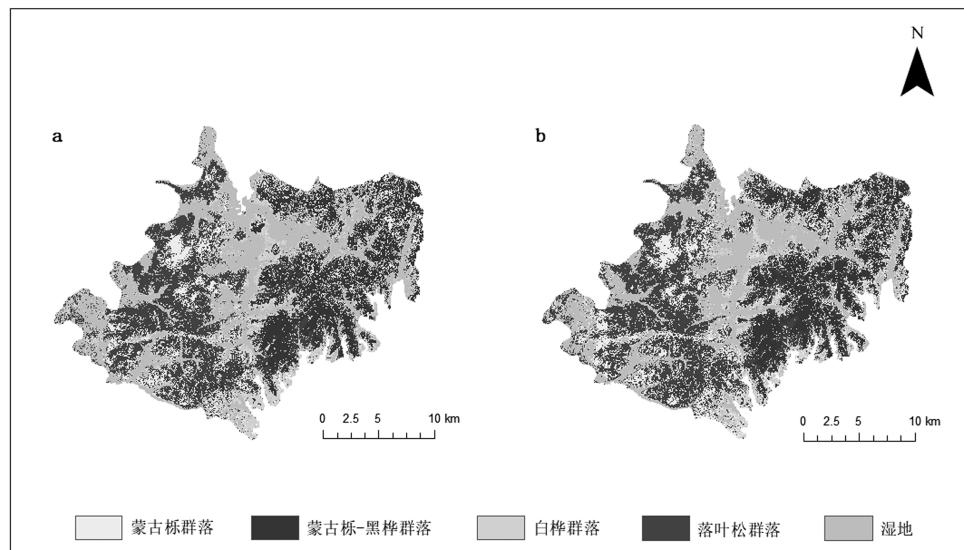


图 2 中央站森林群落分类图

a 为 2019 年中央站保护区森林群落分类图,b 为 2023 年中央站保护区森林群落分类图。

(来源:中国自然保护区标本资源共享平台地理信息库《黑龙江省中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区边界数据》)

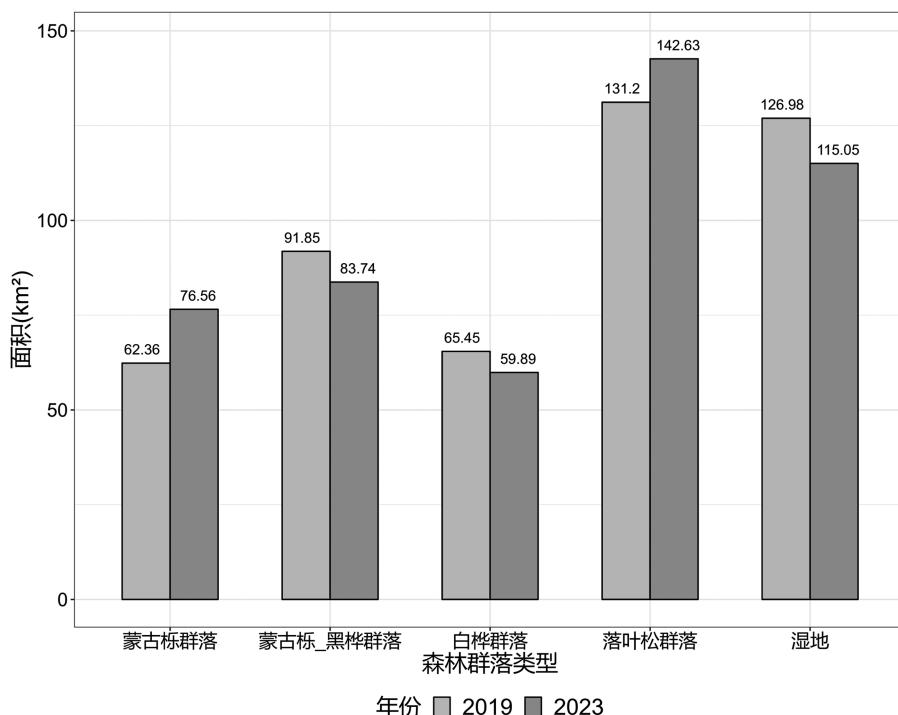


图 3 2019 年与 2023 年森林群落面积变化直方图

表 6 森林群落转移矩阵

2019 (km <sup>2</sup> )	2023 (km <sup>2</sup> )					
	白桦群落	落叶松群落	蒙古栎 - 黑桦群落	蒙古栎群落	湿地	总计
白桦群落	31.55	10.18	4.77	12.93	6.01	65.45
落叶松群落	7.57	106.18	5.03	10.93	1.49	131.22
蒙古栎 - 黑桦群落	4.54	11.21	57.78	17.61	0.69	91.85
蒙古栎群落	4.89	13.51	13.06	29.41	1.49	62.36
湿地	11.31	1.54	3.09	5.67	105.35	126.98
总计	59.89	142.63	83.74	76.56	115.05	477.88

化后白桦便开始在新生的土地上生长,2019 年与 2023 年有 11.31km<sup>2</sup> 的湿地转移为白桦群落,占据湿地空间转移的 50%。森林群落方面,白桦和预期一样是转移最多的树种,超过一半的白桦转移为蒙古栎、落叶松等优势物种;落叶松群落作为保护区内的优势物种,空间变化比较稳定,几乎不向其他群落进行转移;蒙古栎群落与蒙古栎 - 黑桦群落的光谱特征类似,在分类时可能发生较大幅度的混淆,导致两者之间的转移较为剧烈,有 17.61km<sup>2</sup> 的蒙古栎 - 黑桦转移为了蒙古栎群落,也有 13.06km<sup>2</sup> 的蒙古栎群落转移为了蒙古栎 - 黑桦群落。

### 3 讨论

#### 3.1 模型精度与错误混淆

与其他研究相比,本研究基于 S - 2 卫星影像建立的随机森林模型的总体准确性高于 85%,各个森林群落的 UA 和 PA 也满足分类精度的要求,说明了 RF 用于群落分类的有效性。Immitzer 等人在奥地利的一个小型生物圈保护区对 12 个树种进行分类时,准确率达到了 89%<sup>[22]</sup>;Persson 等人使用免费的十三波段 S - 2 数据对瑞典中部的五种树种进行分类,总体分类准确率为 88.2%<sup>[26]</sup>;Yang 等人利用 2019 年至 2021 年三年的 1 - 2 时间序列,通过随机森林模型,对林下群落进行分类,总体精度高达 93%,个别生产者精度达到了 99%<sup>[27]</sup>。此外,在本研究的分类过程中,混淆矩阵显示蒙古栎群落与蒙古栎 - 黑桦群落存在最严重的混淆,我们认为是由于二者的相似性导致了较大的误差,在选取样

本点时基于中央站区域第二次全国土地利用调查信息,黑桦等阔叶林群落常与蒙古栎群落混交杂生,在分类时部分的蒙古栎群落被错误的分类至蒙古栎 - 黑桦群落。白桦群落的 PA 相较于其他群落出现了明显差距,这可能是由于样本点不均衡导致的,白桦群落的样本点数量相较于其他群落较少,这会导致在分类发生混淆时,模型会更偏向于将其分类为数量更占优势的类别。

此外,我们基于保护区范围内的高分辨率无人机正射影像 (5cm) 与实地的样地 (500 × 500m) 调查数据对分类结果进行了验证。具体来说,我们结合实地调查的样本数据确定不同树种在该无人机高清影像上的冠层形状信息,对湿地与各个森林群落的分布进行了验证,分类结果基本符合实际情况。样地调查在 2022 年 6 月进行,在 500 \* 500m 的大样地中精确测量了每一棵树的坐标与结构参数。我们依据样地范围内的树种点信息检验分类像元,结果依旧符合实际调查结果。但中央站区域内森林资源丰富,各个群落混交杂生,仅仅按四大优势群落划分并不能完全代表保护区内的森林资源。在未来,我们希望随着样本点的增加能够考虑更多的群落加入分类方案,更准确地反应保护区的森林资源。

#### 3.2 指标对分类的重要性

Elev 在模型中都表现出了最高的特征重要性,表明不同植被类型的分布受海拔的影响较大。研究区域最高海拔与最低海拔差异比较明显,导致植被类型及分布发生明显变化。许多研究已经证实,不同海拔形成了不同的温度、湿度等环境变量,因此植被类型的分布会随着海拔的

变化形成特殊的格局<sup>[10,28,29]</sup>。对于 S - 2 影像的原始波段,各个波段的表现并不稳定,但短波红外波段反而表现出了较高的重要性,说明不同植被内的水分含量存在较为明显的差异,而近红外、红边等反映叶片结构信息的波段并没有展现良好的重要性。此外,气候特征的重要性不在预期之中,与其他特征相比产生了断崖性的减少,可能是由于我们仅选取了 6 - 9 月的月平均温度,产生的数据量较少且没有明显差异,没有充分考虑物候的影响,在未来的研究中期待更大时间尺度的气候信息在模型中被应用以提升准确性。

### 3.3 限制与未来方向

本研究的结果初步给出了黑龙江中央站国家级自然保护区内优势群落的地理分布及动态变化,但仍存在较多限制。尽管在抽样选择的过程中考虑了样本点均匀的问题,但最终的分类方案中,白桦的数量依旧明显少于其他的样本数量,这导致了对白桦群落的低估,因为优势类别和稀有类别的频率之间的不平衡可以使分类模型的预测概率分布偏向于优势类别<sup>[30]</sup>。若训练样本间存在严重的不平衡,则需要不同的方法来适应不平衡的训练数据:例如对次要类别进行上采样,对主导类别进行下采样<sup>[24]</sup>,调整先验概率,调整案例权重,抽样方法和成本敏感训练等。本研究训练样本并不存在严重的失衡现象,因此并未采用上述方法,但在未来的研究中仍要尽可能地平衡不同类别的样本点数量。

此外,本研究只选取了 6 - 9 月植物生长季的影像,并不能充分展现不同植被群落物候特征上的差异,然而物候特征也是不同的植被群落分类的重要依据,不同的植被对物候变化的响应程度等差异可以在光谱上造成明显的区别,例如落叶和常绿植物的 NDVI 在夏季可能很难区分,但两者在冬季差异是显而易见的。因此,来自不同物候阶段的图像组合很重要。时间序列等图像合成方法能够克服基于图像无法捕捉物候特征快速变化局限性,通过平滑与插值等方法保留了与物候和非生物因素相关的时间信号<sup>[31,32]</sup>。

Hemmerling 等人利用 2021 年的 S - 2 影像,通过时间序列合成的方法对德国温带森林内的 17 类树种进行了精确分类,指出了 S - 2 时间序列影像在树种分类方面的强大潜力<sup>[20]</sup>,因此,在未来的研究中应当充分考虑物候特征对树种分类的重要性,探究并选择最适合的方法。

## 4 结论

本研究基于 GEE 平台,通过使用 S - 2 影像建立了高精度的随机森林模型并对黑龙江省中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区的森林群落进行了两个时期的分类。结果表明模型的 OA 为 0.89,kappa 系数为 0.87。其中海拔是最重要的特征。空间变化分析显示了在 2019 年与 2023 年期间森林群落面积上升,湿地群落面积下降的总体趋势。综上所述,本研究利用 S - 2 图像确定了中央站保护区内各个优势森林群落的分布及空间变化,为未来更精细的森林组分研究提供了基础信息,有助于保护区管理和保护政策的制定与实施。同时,我们期望在未来的研究中充分考虑物候等其他因素,利用时间序列、深度学习等新兴技术建立更精确的分类模型,从而获得更精细准确的大规模森林群落分类图。

### 参考文献(References) :

- [1] Marden M, Lambie S, Phillips C. Biomass and root attributes of eight of New Zealand's most common indigenous evergreen conifer and broadleaved forest species during the first 5 years of establishment [J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 2018, 48.
- [2] Shile D. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle [J]. Forest Ecosystems, 2018, 5(3): 236 - 57.
- [3] Ghosh A, Joshi P K. A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 26: 298 - 311.
- [4] Calviño – Cancela M, Chas – Amil M L, García –

- Martínez E D, et al. Interacting effects of topography, vegetation, human activities and wildland – urban interfaces on wildfire ignition risk [J]. *Forest Ecology and Management*, 2017, 397: 10 – 7.
- [5] Wallis C I B, Brehm G, Donoso D A, et al. Remote sensing improves prediction of tropical montane species diversity but performance differs among taxa [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 83: 538 – 49.
- [6] Wang R, Gamon J A. Remote sensing of terrestrial plant biodiversity [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231.
- [7] Xiao J F, Chevallier F, Gomez C, et al. Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 233.
- [8] Chiarucci A, Piovesan G. Need for a global map of forest naturalness for a sustainable future [J]. *Conservation Biology*, 2020, 34(2): 368 – 72.
- [9] Ansari A A, Saggur S, Abbas Z K, et al. Aquatic Plant Biodiversity: A Biological Indicator for the Monitoring and Assessment of Water Quality [M]. *Plant Biodiversity: Monitoring, Assessment and Conservation*, 2017.
- [10] Ye N, Morgenroth J, Xu C, et al. Indigenous forest classification in New Zealand – A comparison of classifiers and sensors [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, 102.
- [11] Grabska E, Frantz D, Ostapowicz K. Evaluation of machine learning algorithms for forest stand species mapping using Sentinel – 2 imagery and environmental data in the Polish Carpathians [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 251.
- [12] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google Earth Engine: Planetary – scale geospatial analysis for everyone [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18 – 27.
- [13] Ma Y, Zhen Z, Li F R, et al. An innovative light-weight 1D – CNN model for efficient monitoring of large – scale forest composition: a case study of Heilongjiang Province, China [J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2023, 60(1).
- [14] Fedrigó M, Newnham G J, Coops N C, et al. Predicting temperate forest stand types using only structural profiles from discrete return airborne lidar [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 136: 106 – 19.
- [15] Pham L T H, Brabyn L. Monitoring mangrove biomass change in Vietnam using SPOT images and an object – based approach combined with machine learning algorithms [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 128: 86 – 97.
- [16] Sanchez – Hernandez C, Boyd D S, Foody G M. Mapping specific habitats from remotely sensed imagery: Support vector machine and support vector data description based classification of coastal salt-marsh habitats [J]. *Ecological Informatics*, 2007, 2 (2): 83 – 8.
- [17] Correll M D, Hantson W, Hodgman T P, et al. Fine – Scale Mapping of Coastal Plant Communities in the Northeastern USA [J]. *Wetlands*, 2019, 39 (1): 17 – 28.
- [18] Bhatt P, Maclean A L. Comparison of high – resolution NAIP and unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for natural vegetation communities classification using machine learning approaches [J]. *GI-Science & Remote Sensing*, 2023, 60(1).
- [19] Kattenborn T, Leitloff J, Schiefer F, et al. Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, 173: 24 – 49.
- [20] Hemmerling J, Pflugmacher D, Hostert P. Mapping temperate forest tree species using dense Sentinel – 2 time series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 267.
- [21] 李国富, 尹伟平, 邱国良, 等 基于红外相机技术的黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区兽类和鸟类初步监测 [J]. *野生动物学报*, 2018, 39 (03): 559 – 565.
- [22] Immitzer M, Neuwirth M, Böck S, et al. Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi – Temporal Sentinel

- 2 Data [J]. Remote Sensing, 2019, 11(22).
- [23] Belgiu M, Dragut L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2016, 114: 24 – 31.
- [24] Chen C, Breiman L. Using random forest to learn imbalanced data[J]. Machine Learning, 2004, 45, 5 – 32.
- [25] Zheng H, Li H. Spatial – temporal evolution characteristics of land use and habitat quality in Shandong Province, China[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 15422.
- [26] Persson M, Lindberg E, Reese H J R S. Tree Species Classification with Multi – Temporal Sentinel – 2 Data[J]. Remote Sensing, 2018, 10(11): 1794.
- [27] Yang X C, Qiu S, Zhu Z, et al. Mapping understory plant communities in deciduous forests from Sentinel – 2 time series[J]. Remote Sensing of Environment, 2023, 293.
- [28] Davis M B, Shaw R G. Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change[J]. Science (New York, NY), 2001, 292(5517): 673 – 9.
- [29] 周婉诗, 张楚婷, 周志平, 等. 植被分布的海拔与纬度相互关系模式的校正[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(3): 12.
- [30] Maxwell A E, Warner T A, Fang F. Implementation of machine – learning classification in remote sensing: an applied review[J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(9): 2784 – 817.
- [31] Bendini H D, Fonseca L M G, Schwieder M, et al. Detailed agricultural land classification in the Brazilian cerrado based on phenological information from dense satellite image time series[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 82.
- [32] Schwieder M, Leitao P J, Pinto J R R, et al. Landsat phenological metrics and their relation to aboveground carbon in the Brazilian Savanna [J]. Carbon Balance and Management, 2018, 13.

---

#### 作者简介:

第一作者:赵晨曦,2002 年生,男,河南三门峡人,本科,东北林业大学,学生,主要研究方向为生态遥感。Email: 15939883372@nefu.edu.cn

通讯作者:姚允龙,1982 年生,男,黑龙江哈尔滨人,博士,东北林业大学,副教授,主要研究方向为生态遥感。Email: yl.yao@163.com

---

## **Research on Forest Dynamic Changes Based on GEE ——Taking the Central Station National Nature Reserve as an Example**

ZHAO Chenxi<sup>1,2</sup>, YAO Yunlong<sup>1,2</sup>, WANG Wenji<sup>1,2</sup>, FU Yi<sup>1,2</sup>, ZHANG Pengfei<sup>3</sup>,  
ZHANG Bing<sup>3</sup>, PAN Mingzhe<sup>3</sup>

(1. Wetland Biodiversity Conservation and Research Center, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

3. Heilongjiang Provincial Natural Resources Rights and Interests Investigation

and Monitoring Institute, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Forest resources are extremely precious natural resources in our country, and the accurate information of forest components is very important to the protection and management of forest resources. However, the traditional field forest inventory is time – consuming and laborious, so a fast and accurate survey method is urgently needed. Based on Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform and multi – temporal Sentinel – 2 images, a stochastic forest model was established based on terrain, climate and other environmental factors, and the forest communities of Heilongjiang Central Station Black Grouse National Nature Reserve in 2019 and 2023 were classified. The results show that the overall accuracy of classification is 0.90, and the kappa coefficient is 0.87. Among them, topographic factors (elevation and slope) have important effects on classification results. In addition, in order to clarify the changes of forest communities in the two periods, we conducted a spatial analysis and identified the birch community as the forest community with the most drastic changes. This study has drawn a forest community distribution map with high accuracy, which provides a scientific basis for the subsequent management system and policy of Heilongjiang Central Station Black Grouse National Nature Reserve.

**Key words:** large – scale forest mapping; forest community change; GEE; random forest; Sentinel – 2

# 基于动态响应模型的 干旱驱动及传播方向研究综述

邢贞相<sup>1</sup>, 刘明阳<sup>1</sup>, 刘云涛<sup>2\*</sup>, 关 越<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学水利与土木工程学院, 哈尔滨 150030;  
2. 黑龙江省安澜工程技术咨询有限责任公司, 哈尔滨 150080)

**摘要:**中国独特的地理位置、气候特点和粮食生产需求对干旱监测和防治提出了迫切要求。本文介绍了干旱的成因、类型,归纳了干旱事件的识别、驱动因子分析的方法,并从干旱的水文气象因子间存在相互影响的研究视角,介绍了一种可以用于干旱驱动因子分析的动态响应关系模型。分析总结了时间序列相关分析的局限以及因果关系在干旱研究中应用的发展过程,进而介绍了时间序列因果关系分析方法并重点深度分析了格兰杰因果关系在水文气象领域的应用前景,可为干旱驱动及传播方向的研究提供新途径。

**关键词:**干旱驱动;动态响应模型;干旱传播;向量自回归模型;格兰杰因果

中图分类号:P343

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)-0062-8

## 0 引言

水资源是不可替代的基础自然资源,在生产生活中占据重要地位<sup>[1,2]</sup>,水也是战略性经济资源,是经济发展的基础。然而我国面临的水资源问题十分突出,洪旱灾害、水资源短缺已成为制约我国社会经济高速发展的主要因素<sup>[2]</sup>。

从洪旱灾害时空分布上看,干旱研究需要了解其时空上的分布特征。在全国自然灾害损失统计中,气象灾害占全部灾害损失的 61%,而干旱灾害损失占气象灾害损失的 55%,干旱是我国主要的自然灾害之一<sup>[3]</sup>。西北绝大部分地区受自然干旱的影响,属于干旱、半干旱区,是全国干旱最严重的地区,近 20 年中国西北地区产生了“暖湿化”现象<sup>[4]</sup>。东南沿海旱涝频次具有明显的地域分异,旱灾呈现为“南少北多”的格局、涝灾呈现“南重北轻”的格局,本世纪初,东南地区旱灾大幅增加<sup>[5]</sup>。张筱渲等<sup>[6]</sup>研究发现东北地区冬季干旱有所减轻,而春夏秋三季干旱有所加重,该地区中南部干旱有加重趋势,而北部则呈现湿润趋势。

从水资源短缺的问题来看,干旱研究需要了

解区域水资源总量和人水匹配程度。国家统计局给出水资源总量的定义为:区域内降水形成地表和地下产水量,即地表径流量与降水入渗补给量。降水量的减少会导致区域水资源总量的减少,当总量不能满足社会经济发展所需水资源量时,就会产生水资源短缺问题<sup>[7]</sup>。王红瑞等对干旱和水资源短缺问题进行了探讨,分析了干旱和水资源短缺之间的相互作用<sup>[8]</sup>,西北地区地形复杂,境内沙漠与绿洲共存、灌溉农业区、雨养农业区并存,不同土地利用类型和不同区域农业区、林业区、畜牧业区对水分的需求不同,使得该区域对水资源短缺评估困难<sup>[9]</sup>。东南诸河区水资源数量较丰沛、水质总体较好,但局部地区水污染严重,且该区域存在水资源利用效率低,水资源开发利用程度低等问题,制约了区域经济社会的可持续发展,水资源问题将更加突出<sup>[10]</sup>。东北地区则是存在农业水土资源匹配欠佳,耕地多,占有的水资源量却较少,匹配系数低于全国平均水平的问题<sup>[11]</sup>,对于干旱一半干旱区水资源相对缺乏的东北地区,在降水量不大、农业需水较高的制约下,水资源短缺现象和干旱现象的相互作用会使水资源短缺更加严重。干旱和水

资源短缺之间存在共同点,二者都属于涉水风险,关系密切,且存在共同的致险因子。干旱是导致水资源短缺的基础条件之一,而当干旱发生时,人类活动对其影响程度较低<sup>[12]</sup>,故应分析干旱的形成机制和响应机制,进而从干旱的形成机制入手提出针对不同干旱的应对措施,从干旱响应机制入手分析干旱传播的方向和时滞,这更有利于做出合理决策以减轻干旱和水资源短缺的相互促进作用,从而避免造成更大损失。因此,进行干旱传播和演化机制研究存在其必要性。

## 1 干旱驱动及传播研究进展

干旱是指长期无降水或降水不足,水分供求失衡导致的气象灾害,是最严重的气象灾害之一。由干旱导致的水利工程供水不足而引起的用水短缺,并对生活、生产和生态造成危害的事件就是干旱灾害。干旱灾害可能会导致农作物减产或欠收,进而引发粮食问题甚至饥荒。干旱通常可以归纳为四种情况,分别是气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱<sup>[13]</sup>,这四种情况可以分别表示气候、径流、作物和社会经济水分供需的不平衡<sup>[14]</sup>。气象干旱是由降水量和潜在蒸发量的长期水分收支失衡引发的,即蒸发量超过降水量,水分收入无法弥补支出的空缺而形成的一种干旱<sup>[15,16]</sup>,也可以用某时段低于平均值的降水来定义<sup>[13]</sup>。农业干旱是土壤水分供给无法满足农作物对水分的需求,进而导致作物水分亏缺,最终体现在作物生长受限、减产或绝收的一种干旱<sup>[17]</sup>。水文干旱通常指地表水量、地下水水量持续性偏少,无法满足用水需求的现象,常以径流量和地下水水量的亏损来衡量<sup>[15,18]</sup>。社会经济干旱指的是自然系统-人类社会系统水资源供需不平衡造成的水短缺现象<sup>[19]</sup>。

干旱事件具有发生缓慢、连续、灾前无明显征兆的特点,故而需要对干旱监测、识别和评价,并据此制定合理的应对措施。干旱事件的识别和评价需要构建相应的干旱指标(干旱指数),因此干旱指标也就成为研究干旱的基础<sup>[20]</sup>。由于不同干旱类型关注的侧重点不同,而出现了不

同的干旱指标用以量化不同类型的干旱:从关注方向来看,主要分为气象干旱指数、农业干旱指数、水文干旱指数和社会经济干旱指数四种方向<sup>[21]</sup>;从应用的技术及考虑的尺度角度,还有遥感干旱指数和综合干旱监测指数两类<sup>[22]</sup>。干旱指数的研究存在一个发展的过程,在所有干旱类型中,气象干旱表现得最直接,因此早期干旱指数通常是气象干旱指数<sup>[23]</sup>,其中包括降水距平百分率、基于降水量的标准差指标<sup>[24]</sup>、Z 指数、标准化降水指数(SPI)等等。随着干旱研究的深入,一些复杂的能够表征部分干旱机理的指标逐渐产生,如考虑了温度和降水共同影响的 Ped 干旱指数、德马顿(De. Martonne) 干旱指数<sup>[25]</sup>,考虑了降水和潜在蒸发共同影响的标准化降水蒸散指数(SPEI)等等。由于潜在蒸发对气象干旱产生了重要的影响,近 10 年基于 SPEI 的研究逐渐增多,Satish Kumar 等<sup>[26]</sup>分析了包括 SPEI 在内的多种干旱指标在印度南部的干旱特征识别工作,发现年统计尺度该指数和 GRACETWS 的相关度高于季尺度和 6 个月尺度。沈国强<sup>[27]</sup>分析了 SPEI 指数在东北地区的实用性,发现该指数不仅满足数理统计要求,而且与干旱灾情数据关联性极高,在东北地区干旱预测和研究中适用性较好。水文干旱指标通常以径流量大小为主要考虑因素<sup>[28]</sup>。李根运用 SRI、SPEI 和 SSI 分别表征水文、气象、农业干旱并构建了一种综合性指数分析挠力河流域灌区干旱特征。Shraddhanand Shukla<sup>[29]</sup>采用 SRI 指数和 SPI 指数在融雪区干旱事件的行为进行了对比,得到 SRI 可以用于描述水文干旱的结论。农业干旱一般通过灾害损失评价旱灾的严重程度,然而这种评价方法不利于在干旱发生前进行及时的监测和反应,由此基于其他农业相关变量构建的农业干旱指数得以发展,其中土壤水分是农业干旱指标中最经常考虑的变量,依此构建的标准化土壤湿度(水分)指数常被用来监测和分析农业干旱情况。冯凯等<sup>[30]</sup>利用标准化土壤湿度指数表征了农业干旱,并分析了西北地区气象干旱和农业干旱之间的关系,构建气象、农业干

旱变量间响应概率特征曲线。陈莉会等<sup>[31]</sup>同样运用标准化土壤湿度指数对农业干旱进行识别，并分析不同时间统计尺度农业干旱时空演变。

独立的干旱事件可以运用上述干旱指标和方法进行识别与分析，然而干旱的形成原因复杂，不同干旱类型之间也存在响应与传播关系，这种关系是通过相互关联的水文循环和陆气系统进行的<sup>[32]</sup>，是一种在不同的时间空间中干旱类型间传播或转化的特征。目前已有很多研究详细地介绍了干旱传播的定义、特征、统计方法、影响因素及研究的重难点。目前干旱传播研究的重难点在于干旱传播驱动的机理研究、多元数据多模型融合研究、旱灾链条延伸等方向<sup>[33,34]</sup>。在张强等<sup>[35]</sup>的文章中指出，干旱的传递会存在一个“气象干旱—农业干旱—水文干旱—生态干旱—社会经济干旱”的链式过程。Xuan Zhang<sup>[36]</sup>也明确了干旱从降水到土壤水分到径流量到地下水的传播过程。然而干旱传播的链条也存在争议，田丰等<sup>[37]</sup>总结该链条中水文干旱会导致农业干旱，农业干旱再反作用于水文干旱。田丰等<sup>[37]</sup>通过总结干旱传播领域研究成果，归纳出干旱传播研究的基本框架“特征—过程—机制”，并指明了干旱传播研究中存在的不足之处，如缺少空间维度传播分析、视角仅限于干旱传播的概率研究等。最后田丰指出了干旱响应与传播研究的意义即干旱传播是干旱研究的重要内容，是制定御旱、抗旱措施的前提。

## 2 向量自回归模型的应用

向量自回归模型(VAR)是2011年诺贝尔经济学奖得主之一的克里斯托夫·A·西蒙斯教授于20世纪80年代提出的一种计量经济学模型。上世纪70年代后期，由于传统大型联系方程模型在预测和政策分析方面的失效，该方法受到了计量经济学家的质疑与批评。Sims教授认为模型中内生变量、外生变量不应人为假定，因为这不一定符合经济运行的实际<sup>[38]</sup>。Sims以统计学相关理论为基础创立并发展了VAR模型<sup>[39]</sup>，这种模型具有不区分内、外生变量，不设

前提约束条件，易于估计，具有良好的实用性的特点，在宏观经济学领域大量应用<sup>[40]</sup>。随着模型的不断发展，VAR模型也被其他领域学者使用，用来研究的领域逐渐拓展，包括环境科学与资源利用领域、工农业经济领域、旅游、人口学等领域。由于VAR模型可以用来分析变量间的动态关系，因此该模型越来越多的应用在多变量时间序列分析中<sup>[40]</sup>：

(1) 在计量经济学领域，大量研究者运用 VAR 模型分析同变量存在关联的宏观经济数据带来的影响，并相应地给出结论和政策建议。付晓煜<sup>[41]</sup>注意到银行流动性问题备受重视，于是运用 VAR 模型分析了系统重要性银行流动风险的影响因素，得出了宏观外部因素比内部因素更能影响其自身流动性风险的结论。陈静<sup>[42]</sup>以微信理财通产品为例分析了货币市场、资本时长和外汇市场对基金收益率的影响，并给投资者提出了建议。李晶<sup>[43]</sup>选取了包括地区生产总值、土地供应面积等序列，分析北京房地产价格的影响因素，并使用这些序列构建 VAR 模型，通过脉冲响应分析房价 VAR 模型受冲击的动态变化和变量扰动方向，运用方差分解分析每个冲击对变量变化的贡献率，得出了商品房可售面积和贷款利率会对房价造成直接影响的结论。杨尚晨<sup>[44]</sup>则是分析了数字普惠金融对城乡居民消费的影响，通过脉冲响应得到了，数字普惠金融会给居民消费带来先上升后下降，最终趋于 0 的扰动，方差分解结果，得出了数字普惠金融对农村居民的消费促进作用强于城镇居民的结论。

(2) 在其他领域也有采用 VAR 模型进行影响因素分析的案例，这些领域多是从计量经济学领域发展而来的。在(1)部分提到的研究中可以发现，脉冲响应和方差分解可以分别提供影响因子带来冲击给模型扰动的方向和影响因子变化对变量的影响程度，比如在自然资源、农业政策及农业产值分析方向。许朗等<sup>[45]</sup>分析了农田水利投资与农业经济增长的动态关系，得到陕西水利建设投资变化整体表现为正向响应。曲立等<sup>[46]</sup>运用 VAR 模型分析了粮食产量的影响因

素,发现农用化肥施用量对粮食产量冲击最大,并给出了保证粮食增产的建议。刘国昊等<sup>[47]</sup>通过构建农业产业用水和经济增长序列构建的 VAR 模型分析农业产值和农业用水量之间的关系,通过脉冲响应分析了提高未来农业产值的政策和方法。在环境科学与资源利用领域,大量的研究对碳排放的影响因子进行了分析<sup>[48-51]</sup>,在旅游分析领域,研究多集中在旅游业对经济增长的影响<sup>[52,53]</sup>。

近年来,应用 VAR 模型解决问题的领域不断扩大,已远超经济学相关领域,尤其在自然资源和生态环境方面的研究势头强劲<sup>[40]</sup>。VAR 模型能够使用脉冲响应和方差分解给出因子对变量的扰动方向及影响程度,该功能可以用在干旱驱动因子对干旱的驱动分析中,可以明确给出各驱动因子对干旱的扰动方向和影响强弱。因此,在气候变化领域的研究中也可引入此方法,用以研究干旱的形成机制,并进一步分析干旱的驱动机制和动态响应机制。

### 3 时间序列因果发现研究进展

#### 3.1 因果关系研究的历史沿革

因果关系及因因果观是各派哲学家们长期以来争论的中心之一<sup>[54]</sup>,也是科学研究的重要使命<sup>[55]</sup>。David · Hume 是英国近代著名哲学家,他推翻了传统观念的因果关系,创建了基于经验论的因果观<sup>[56]</sup>。后来 Hart 等人主张“原因是导致结果发生变动的一种变动”,因果性的概念众说纷纭,哲学家和科学家对因果关系的探讨也从未停止<sup>[55]</sup>。上世纪 90 年代,禄存义对因果关系进行了分类,他总结出因果关系发现的五种方法(契合法、差异法、契合差异并用法、共变法、剩余法)具有半经验半理性的性质,依此方法得到的因果关系不能确保得到的就是真正的因果关系<sup>[57]</sup>。近几十年,随着科学技术的发展,大数据和人工智能研究的深入,利用数据评价变量之间的因果性,从而发现因果关系成为了研究的热点问题之一<sup>[58]</sup>。

#### 3.2 时间序列相关分析在干旱传播研究中局限性

时间序列分析同样也是当前应用干旱传播研究的热点问题,如何从时间序列中抓取有效信息在诸多领域都具有重要意义<sup>[59]</sup>。在研究多变量系统的运行机理时,人们常常分析系统内变量间的相关关系,这也是最简便实用的分析方法。以干旱传播为例,很多研究者通过分析不同干旱类型之间或者不同时间统计尺度下干旱指数的相关性,判断干旱传播最可能的时滞情况,使用如 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数等方法。然而相关性并不能说明不同干旱类型或不同统计尺度下,干旱指数是否存在因果关系。变量间存在相关性是变量间存在因果关系的必要非充分条件。随着模型复杂度的增加,相关性分析可能不再满足建模需求<sup>[59]</sup>,因此需对观测到的数据进行因果关系发现研究。

#### 3.3 基于时间序列因果关系及其不同领域的应用研究

基于观测数据的因果关系发现可以分为基于时间序列数据的因果关系发现方法和非时间序列的因果关系发现方法<sup>[60]</sup>。非时间序列因果发现可采用的方法有基于约束的方法、基于因果函数模型的方法和混合型方法<sup>[61]</sup>,时间序列的因果关系发现方法可以分为基于信息论的因果分析、基于状态空间的时序分析、格兰杰因果分析三类<sup>[59]</sup>。格兰杰因果关系检验是一种基于统计假设检验来进行因果关系判断的方法,它由 2003 年诺贝尔经济学奖得主克莱夫 · 格兰杰于 1969 年提出,后经 Sims 发展。目前格兰杰因果关系检验已经是经济学家们普遍接受的因果检验方法。这种方法的理念是通过比较“已知上一时刻所有信息,这一时刻 Y(因变量)的概率分布情况”和“已知上一时刻除 X(自变量)以外的所有信息,这一时刻 Y 的概率分布情况”来判断 X 对 Y 是否存在因果关系,这种因果检验模型利用观测数据可以从统计意义上检验变量之间的因果性<sup>[62,63]</sup>。这种模型简单实用,因此在经济

分析领域得到的广泛的应用。在其他学科,格兰杰因果检验也在逐步地推广,近年来该模型已从社会经济学科领域成功引入到自然科学领域<sup>[64]</sup>。

格兰杰因果检验从经济学向社会科学、自然科学和工程科学的引入花费了约 30 年时间。上世纪 80 年代该方法主要应用于经济学领域,至 90 年代发展到了社会科学其他领域和社会工程—自然科学交叉领域,到 21 世纪以后该方法已在自然科学与工程科学领域快速发展<sup>[64]</sup>。目前该模型的主要应用领域以社会科学—经济学相结合为主,社会科学—自然科学相结合次之,在医学、自然科学中的气象科学<sup>[65,66]</sup>、地理学的应用较少。干旱涉及众多自然和社会因素,因此该方法在水文学、气象学领域势必会有广阔的应用前景。

#### 4 结语

综上,由于水文气象因素间存在相互影响的特点,干旱指标的变量及驱动因子间也应存在动态响应关系,可以以此为基础构建动态响应模型,并判断干旱的驱动因子及其作用方向。采用短历时干旱指标构建向量自回归模型将有助于分析特定区域的干旱驱动机制,并依此识别干旱主要影响因子,以便针对特定区域的干旱防御和治理提出应对解决方案。借助格兰杰因果关系可以判断干旱传播链条是否存在与特定区域,并分析干旱传播短期滞时,可为旱灾防灾减灾救灾工作的“两个预防”、“三个转变”提供技术支持。

#### 参考文献(References) :

- [1] 王媛, 盛连喜, 李科, 等. 中国水资源现状分析与可持续发展对策研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008(3): 10–14.
- [2] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116–120.
- [3] 倪深海, 吕娟, 刘静楠, 等. 变化环境下我国干旱灾害演变趋势分析[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32 (10): 1–7.
- [4] 汤连盟, 吕伟才, 蒲涛, 等. 西北地区干旱时空动态分布及成因分析[J]. 遥感信息, 2023, 38(5): 66–72.
- [5] 王米雪, 延军平, 李双双. 1960–2013 年中国东南沿海地区旱涝时空变化特征及其趋势分析[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2307–2315.
- [6] 张筱渲, 王蕊, 单凤君, 等. 1961—2020 年东北三省干旱时空分布特征[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(1): 78–88.
- [7] 费卓越. 基于改进模糊评价方法的干旱区水资源短缺风险综合评估[J]. 水利技术监督, 2022(3): 148–152.
- [8] 王红瑞, 洪思扬, 秦道清. 干旱与水资源短缺相关问题探讨[J]. 水资源保护, 2017, 33(5): 1–4 + 24.
- [9] 赵梦凡, 周秉荣, 赵彤, 等. 青海省草地植被干旱评估及驱动力分析研究[J]. 草地学报, 2021, 29 (S1): 93–103.
- [10] 苏爱平. 东南诸河区水资源形势及管理对策浅议[J]. 水利科技, 2012(2): 6–8.
- [11] 刘彦随, 甘红, 张富刚. 中国东北地区农业水土资源匹配格局[J]. 地理学报, 2006(8): 847–854.
- [12] 张伟光, 王红瑞, 范琳琳, 等. 干旱风险与水资源短缺风险关系辨析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 418–422.
- [13] 孙荣强. 干旱定义及其指标评述[J]. 灾害学, 1994(1): 17–21.
- [14] Hao C, Zhang J, Yao F. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 35: 270–283.
- [15] 姚璐. 海河流域气象干旱与水文干旱演变特征及响应分析[D]. 中国矿业大学, 2023.
- [16] 朱光磊. 嫩江流域植被动态变化及其对气象干旱的响应研究[D]. 延边大学, 2022.
- [17] 刘宪锋, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 农业干旱监测研究进展与展望[J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1835–1848.
- [18] 王孟浩, 江善虎, 任立良, 等. 基于时变参数和阈值的非平稳水文干旱评估方法构建[J]. 水利

- 学报, 1 – 12.
- [19] 周佳伟, 陈晓宏. 气象、水文和社会经济干旱的特征与响应关系[J]. 水文, 2022, 42(4): 18 – 22.
- [20] 王劲松, 郭江勇, 周跃武, 等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007(1): 60 – 65.
- [21] 李伟光, 刘少军, 侯美亭, 等. 气象与农业干旱指数研究进展[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(3): 76 – 82.
- [22] 宋艳玲. 全球干旱指数研究进展[J]. 应用气象学报, 2022, 33(5): 513 – 526.
- [23] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004(6): 982 – 991.
- [24] Wang Z, Zhai P, Zhang H. Variation of drought over northern China during 1950 – 2000[J]. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(4): 480 – 487.
- [25] 李柏贞, 周广胜. 干旱指标研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(5): 1043 – 1052.
- [26] Satish Kumar K, Venkata Rathnam E, Sridhar V. Tracking seasonal and monthly drought with GRACE – based terrestrial water storage assessments over major river basins in South India[J]. Science of The Total Environment, 2021, 763: 142994.
- [27] 沈国强, 郑海峰, 雷振锋. SPEI 指数在中国东北地区干旱研究中的适用性分析[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3787 – 3795.
- [28] 李根. 基于区域水文循环的挠力河流域灌区干旱特征及成因研究[D]. 东北农业大学, 2023.
- [29] Funk C, Shukla S. Droughts, Governance, Disasters, and response systems [M]//Drought Early Warning and Forecasting. Elsevier, 2020: 1 – 21.
- [30] 冯凯, 李彦彬, 许桂平, 等. 西北地区农业干旱对气象干旱的时空多角度响应[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 59 – 69.
- [31] 陈莉会, 贺中华, 潘杉, 等. 基于不同时间尺度的喀斯特农业干旱时空演变特征及驱动探测——以贵州省为例[J]. 水土保持学报, 2023, 37(2): 136 – 148.
- [32] 张翔, 黄舒哲, 管宇航. 干旱传播的研究进展、挑战与展望[J]. 地球科学进展, 2023, 38(6): 563 – 579.
- [33] 智协飞, 田云涛, 陈昌春, 等. 干旱传播研究进展与展望 I——干旱传播含义、特征、类型与研究方法[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(4): 625 – 653.
- [34] 智协飞, 田云涛, 陈昌春, 等. 干旱传播研究进展与展望 II——影响因素与干旱传播研究展望[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(4): 654 – 668.
- [35] 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 中国干旱事件成因和变化规律的研究进展与展望[J]. 气象学报, 2020, 78(3): 500 – 521.
- [36] Zhang X, Hao Z, Singh V P, et, al. Drought propagation under global warming: Characteristics, approaches, processes, and controlling factors [J]. Science of The Total Environment, 2022, 838: 156021.
- [37] 田丰, 杨建华, 刘雷震, 等. 地理学视角的干旱传播概念、特征与影响因素研究进展[J]. 地理科学进展, 2022, 41(1): 173 – 184.
- [38] 张延群. 向量自回归(VAR)模型中的识别问题——分析框架和文献综述[J]. 数理统计与管理, 2012, 31(5): 805 – 812.
- [39] 刘海莺, 张华新. 向量自回归模型及其在宏观计量经济学的演进发展[J]. 统计与决策, 2013(16): 62 – 64.
- [40] 王红利. 建三江垦区灌溉用水量对降水和人类活动的动态响应研究[D]. 东北农业大学, 2023.
- [41] 付晓煜. 基于 VAR 模型的系统重要性银行流动性风险影响因素研究[D]. 辽宁大学, 2023.
- [42] 陈静. 基于 VAR 模型的收益率影响因素研究[D]. 东北财经大学, 2023.
- [43] 李晶. 基于 VAR 模型的北京市房地产价格影响因素分析[D]. 对外经济贸易大学, 2022.
- [44] 杨尚晨. 数字普惠金融对山西城乡居民消费支出的影响[D]. 山西财经大学, 2023.
- [45] 许朗, 凌玉, 耿献辉, 等. 农田水利投资与农业经济增长的动态关系——基于全国省级面板 VAR 模型[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 458 – 461.
- [46] 曲立, 朱慧雨, 高凯烨, 等. 基于 VAR 模型的粮食产量影响因素分析[J]. 数学的实践与认识, 2022, 52(4): 61 – 73.
- [47] 刘国昊, 王鹏程, 王海英, 等. 基于 VAR 模型的

- 新疆农业水资源配置研究[J]. 塔里木大学学报, 2020, 32(3): 113–120.
- [48] 陆文捷. 基于 VAR 模型的中国碳排放与经济增长的分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2021(12): 3–6 + 25.
- [49] 张余, 姜博, 赵映慧. 基于 VAR 模型的广东省土地利用碳排放影响因素研究[J]. 福建农业学报, 2022, 37(8): 1100–1108.
- [50] 漆雁斌, 韩绍葵. 四川省碳排放量影响因素的 VAR 模型分析[J]. 中国经贸导刊(中), 2019(10): 36–38.
- [51] 于晓玉. 我国金融发展对碳排放影响的实证研究[D]. 山西财经大学, 2023.
- [52] 孟利, 关志强. 山东省全域旅游与区域经济发展的动态关系研究——基于 VAR 模型[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(4): 442–448.
- [53] 蔡芳娜. 基于 VAR 模型的福建省旅游业对经济增长影响研究[J]. 三明学院学报, 2021, 38(5): 38–44.
- [54] 徐天兴. 浅谈休谟的因果观[J]. 文化创新比较研究, 2018, 2(32): 36 + 38.
- [55] 曹永福. 格兰杰因果性检验评述[J]. 数量经济技术研究, 2006(1): 155–160.
- [56] 王志刚. 简析黑格尔对休谟因果关系理论的批评[J]. 福建论坛(社科教育版), 2011(12): 11–12.
- [57] 禄存义. 因果律及其发现的方法[J]. 文史哲, 1990(1): 90–93.
- [58] 英乃文, 苗旺, 耿直. 因果作用评价与因果关系发现[J]. 军事运筹与评估, 2022, 37(3): 10–19.
- [59] 任伟杰, 韩敏. 多元时间序列因果关系分析研究综述[J]. 自动化学报, 2021, 47(1): 64–78.
- [60] 蔡瑞初, 伍运金, 陈薇, 等. 面向多元时间序列的群体因果关系发现算法[J]. 计算机工程, 2023, 49(2): 127–135.
- [61] 蔡瑞初, 陈薇, 张坤, 等. 基于非时序观察数据的因果关系发现综述[J]. 计算机学报, 2017, 40(6): 1470–1490.
- [62] 孔凡文, 才旭, 于森. 格兰杰因果关系检验模型分析与应用[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2010, 26(2): 405–408.
- [63] 张书云. Granger 因果检验用法探讨[J]. 数理统计与管理, 2009, 28(2): 244–251.
- [64] 郑秋红, 李婧华, 吴灿. “格兰杰因果检验”及其应用——基于文献计量的分析[J]. 气象科技进展, 2014, 4(3): 70–73.
- [65] Mosedale T J, Stephenson D B, Collins M, et, al. Granger Causality of Coupled Climate Processes: Ocean Feedback on the North Atlantic Oscillation[J]. Journal of Climate, 2006, 19(7): 1182–1194.
- [66] 曹鸿兴, 郑艳, 虞海燕, 等. 气候检测与归因的格兰杰检验法[J]. 气候变化研究进展, 2008(1): 37–41.

#### 作者简介:

第一作者:邢贞相,1976年生,男,山东胶南人,博士,东北农业大学,教授,主要研究方向为水文学及水资源。

Email:zxxing@neau.edu.cn;

通讯作者:刘云涛,1974年生,男,黑龙江密山人,本科,黑龙江省安澜工程技术咨询有限责任公司,高级工程师,主要研究方向为水利水电工程。Email:175492081@qq.com

## A Review of Drought – Driven and Propagation Directions based on Dynamic Response Models

XING Zhenxiang<sup>1</sup>, LIU Mingyang<sup>1</sup>, LIU Yuntao<sup>2\*</sup>, GUAN Yue<sup>1</sup>

(1. School of Water Conservancy and Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150006;  
2. Heilongjiang Anlan Engineering Technology Consulting Co., Ltd, Harbin 150080)

**Abstract:** Due to the unique geographical location, climatic characteristics and grain production requirements in China, drought prevention and control is greatly significant. This paper summarizes the methods of drought monitoring and identification of driving factors, and introduces a dynamic response relationship model that can be used in the analysis of drought drivers from the perspective of the interaction between hydrometeorological factors. By pointing out the limitations of time series correlation analysis and the diachronic evolution of causality using in research of drought, the method of time series causality analysis is introduced, and the application prospect of Granger causality in the field of hydrometeorology is emphatically suggested. It can provide a new idea for the study of drought propagation.

**Key words:** drought – driven; dynamic response; drought propagation; vector autoregressive model; granger cause and effect