

# 目 次

2024年5月 第22卷 第5期

总第262期

## 龙江行业动态

深入基层见实效 全省自然资源系统黑土地保护周开展多种形式宣传活动 ..... ( 2 )

## 国土空间

城市脆弱性评价与动态演进分析——以黑龙江省为例 ..... 袁静远, 陆 明 ( 6 )

基于文献计量分析的国土空间生态安全格局的研究进展 ..... 孟德惠, 李朦朦, 吴远翔 ( 15 )

矿山生态修复植物碳汇效益研究及种植优化策略——以东明绿色矿山综合体为例  
..... 钟晓勇, 汪姜超, 陈俊彬, 等 ( 23 )

## 土地科学

黑龙江省粮食生产及影响因素分析 ..... 姜 涛, 王峭然, 宋英赫, 等 ( 31 )

基于局部气候分区的城市土地覆盖分类制图 ..... 王 雷, 王延亮, 梅晓丹, 等 ( 43 )

## 历史保护

深圳市传统历史风貌区价值评价体系构建及保护策略研究 ..... 吴松涛, 王凤娥, 荆万里 ( 51 )

## 技术探索

广东省城市轨道交通地铁车站用地标准研究 ..... 郭 强, 刘 玮, 陈炫楷 ( 62 )

## CONTENT

May.,2024 Vol.22,No.5

Serial No.262

## TERRITORIAL SPACE

Urban Vulnerability Assessment and Dynamic Evolution——Case of Heilongjiang Province  
..... YUAN Jingyuan,LU Ming(14)

Research Progress on Territorial Space Ecological Security Pattern based on Bibliometric Analysis  
..... MENG Dehai,LI Mengmeng,WU Yuanxiang(22)

Research and Planting Optimization Strategy on the Benefit of Plant Carbon Sequestration in Mine  
Eco-Restoration: A Case Study of Dongming Green Mine Complex  
..... ZHONG Xiaoyong,WANG Jiangchao,CHEN Junbin,et al(30)

## LAND SCIENCE

Analysis of Grain Production and Influencing Factors in Heilongjiang Province  
..... JIANG Tao,WANG Qiaoran,SONG Yinghe,et al(42)

Urban Land Cover Classification Mapping based on Local Climate Zones  
..... WANG Lei,WANG Yanliang,MEI Xiaodan,et al(50)

## HISTORICAL CONSERVATION

Research on the Construction of the Value Evaluation System and Protection Strategies for Shenzhen's  
Traditional Historic Feature Districts ..... WU Songtao,WANG Feng'e,JING Wanli(61)

## TECHNICAL EXPLORATION

Study on Land Use Criteria for Standard Metro Stations of Urban Rail Transit in Guangdong Province  
..... GUO Qiang,LIU Wei,CHEN Xuankai(70)

## 深入基层见实效 全省自然资源系统黑土地保护周开展多种形式宣传活动

根据《黑龙江省黑土地保护利用条例》规定,每年的 5 月 25 日所在周为我省“黑土地保护周”,今年是我省第 3 个“黑土地保护周”。为进一步提高社会公众保护黑土地的意识,全省自然资源系统深入基层,开展多种形式的黑土地保护宣传活动。

5 月 22 日,黑龙江省黑土地保护利用工作联席会议发起“保护黑土地,当好压舱石”的倡议,全方位宣传黑土地保护国情国策,提高全社会对《黑龙江省黑土地保护利用条例》的知晓率,营造“保护黑土地,维护国家粮食安全”的良好氛围。省自然资源厅通过省内主流媒体、厅微信公众号、厅门户网站持续播放黑土地保护科普动画,采取微宣传、发送公益短信、设置集中宣传点和倡议书等形式开展集中宣传。



省自然资源厅联合绥化市开展主题宣传活动



北林分局到田间地头宣传

22日上午,省自然资源厅联合绥化市开展以“保护黑土地,维护国家粮食安全”为主题的宣传活动。在绥化市城乡街头,省自然资源厅、绥化市自然资源局及市黑土地保护利用工作联席会议成员单位的党员干部和志愿者走上街头,通过发放宣传资料等,向市民宣讲黑土地保护利用相关知识和《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国黑土地保护法》《黑龙江省黑土地保护利用条例》等法律法规,开展咨询问答,极大激发了广大群众参与热情。绥化市自然资源局北林分局深入北林区东富镇利农村和太阳升村,在田间地头向群众传播黑土地保护的重要意义,引导社会大众牢固树立保护黑土地,维护国家粮食安全理念,营造保护好、利用好黑土地的良好氛围。



省自然资源厅驻村工作队开展宣传

22日,海伦市自然资源局开展黑土地保护政策科普下基层活动,深入到海北镇南华村,为正在耕种的农民传授保护黑土地政策知识,解决生产、耕作中遇到的难题。由长发镇政府、向荣自然资源管理所和省自然资源厅驻村工作队组成三支宣传队伍,分别走进田间地头,向群众重点宣传保护黑土地的重要性、农村乱占耕地建房“八不准”和制止耕地非农化“六严禁”等内容,引导农民朋友主动参与、自觉学习黑土地保护法律知识,提高保护黑土地意识,形成科学合理利用土地的正确舆论导向和社会氛围,使黑土保护周的活动更加贴近群众,取得了良好效果。



佳木斯市自然资源和规划局“送法进乡村”

23 日,五常市自然资源局来到田间地头,实地查看了黑土地的情况,向农民朋友宣讲了黑土地作为农业生产的重要基础和生态系统的关键组成部分,对于维护粮食安全和生态平衡具有不可替代的作用。农民朋友纷纷表示,将从自身做起,关注黑土地的保护,支持可持续的农业发展。一些农民还分享了自己通过减少化肥农药的使用、推广绿色种植等方式保护黑土地的经验。

活动周期间,佳木斯市自然资源和规划局开展“送法进乡村”活动,到西格木村、草帽村开展普法宣传,重点讲解了《中华人民共和国民法典》中绿色原则和《中华人民共和国黑土地保护法》中乡镇和农业生产经营者的保护责任,就村民在黑土地保护过程中遇到的困难逐一解答,倡导各级田长和村民要积极按照要求落实黑土耕地保护利用措施,及早发现遏制耕地“非农化”,防止耕地“非粮化”行为。



大庆市街头进行黑土地保护宣传

24 日,大庆市自然资源局牵头,市黑土地联席会议 13 家成员单位走上街头,发放黑土地保护倡议书以及各类宣传单 3000 余份,向广大群众科普黑土耕地保护的重要性以及相关法律法规,引导广大群众自觉参与到黑土地保护行动中,确保黑土耕地保护“最后一公里”全覆盖。各县(区)的黑土地联席会议成员单位也同步开展了系列宣传活动。



黑河市黑土地保护宣传受到群众欢迎

24日，黑河市黑土地保护利用工作联席会议成员单位开展了联合宣传活动，市自然资源局等单位通过发放宣传材料、摆放宣传展板、提供法律法规政策咨询讲解等方式，重点宣传了黑土地保护法律法规，加大了黑土地违法典型案例警示教育宣传力度，讲好黑土地保护利用故事，使保护好“耕地中的大熊猫”这一理念更加深入人心。

（来源：黑龙江省自然资源厅）

# 城市脆弱性评价与动态演进分析

——以黑龙江省为例

袁静远, 陆 明 \*

(哈尔滨工业大学建筑与设计学院,  
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)

**摘要:**东北地区作为中国最大的老工业基地,在计划经济体制下走上了一条以重工业为主的发展道路。该地区产业结构不可持续,需要长期依赖自然资源,生态环境遭到破坏。研究东北老工业基地的城市脆弱性,对于东北地区的振兴以及高质量发展具有重要意义。本文以黑龙江省的 12 个地级市作为研究对象,从生态、资源、社会、经济四个子系统构建了城市脆弱性综合评价指标体系。采用空间自相关分析和灰色关联度分析,探究 2010 年到 2019 年黑龙江省城市脆弱性的演变过程与驱动力。研究结果表明:(1)空间上,2015 年黑龙江省城市脆弱性格局呈现出高脆弱性区域聚集的格局,随后整体脆弱性逐渐降低,并趋于均匀分布。(2)时间上,2010 至 2013 年黑龙江省城市脆弱性呈上升趋势,2013 至 2019 年呈逐渐下降趋势。资源、生态和社会子系统的脆弱性稳步下降,经济子系统的脆弱性先升高后下降。(3)2010 年黑龙江省城市综合脆弱性与生态子系统的相关性最高,2013—2015 年城市综合脆弱性与经济子系统的相关性最高,随后向社会子系统转移。这表明在新的发展时期,社会基础设施建设和完善应成为新的重点。今后,黑龙江省在振兴发展的过程中,应继续优化产业结构,保护生态环境,强化生态文明建设。

**关键词:**城市脆弱性;时空动态演进;空间自相关分析;灰色关联分析

中图分类号:X37 文献标志码:A 文章编号:1672-2736(2024)05-0006-9

## 0 引言

20 世纪 70 年代,“脆弱性”的概念被引入自然灾害领域,并逐渐扩展到社会科学领域<sup>[1]</sup>。城市脆弱性是传统脆弱性研究在城市规划领域的延伸<sup>[2,3]</sup>。然而,城市脆弱性不同,抵抗干扰的能力也不同。城市脆弱性是一个由生态、资源、社会、经济等子系统耦合而成的复杂系统,任何一个子系统的脆弱性变化都会导致城市脆弱性的变化<sup>[4]</sup>。因此,需要从综合的角度将城市脆弱性细分为生态脆弱性、资源脆弱性、社会脆弱性和经济脆弱性。分析城市子系统脆弱性,研究城市发展现状,将研究结果转化为决策信息,并反馈给城市发展的决策者和规划者,具有重要的理论和现实意义。这对城市未来的发展模式和人民的生活质量至关重要。

国内外对脆弱性的研究主要集中在脆弱性内涵的探索<sup>[5,6]</sup>、概念脆弱性模型的构建<sup>[7-9]</sup>和脆弱性定量评价<sup>[10-13]</sup>等方面。现有研究成果为拓展城市脆弱性研究提供了科学的理论支持。近年来,许多学者从不同角度展开研究,城市脆弱性逐渐成为学术界研究的热点。许多学者以资源型城市、沿海城市等为研究对象<sup>[11,14-16]</sup>,在城市脆弱性时空演化<sup>[17,18]</sup>、影响机制<sup>[19]</sup>、规避措施<sup>[20]</sup>等方向展开了大量研究。但是,有关于依赖重工业发展的老工业基地城市脆弱性研究较为欠缺,研究视角有待进一步完善。

因此,本文基于耦合视角,对 2010 年、2013 年、2015 年、2017 年和 2019 年黑龙江省城市脆弱性进行综合评价。基于生态、资源、社会和经济四个子系统构建城市脆弱性评价体系,并且从时间、空间、整体和子系统四个角度对城市脆弱

性进行分析。在此基础上,采用灰色关联度对黑龙江省城市脆弱性的驱动因素进行分析。了解黑龙江省城市脆弱性动态特征并揭示其主要驱动因子,为黑龙江省城市可持续发展和全方位振兴提供思路和依据。

## 1 数据来源

本研究的数据包括 2010 年、2013 年、2015 年、2017 年和 2019 年黑龙江省城市的社会、经济、资源和环境基础数据。基础数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《黑龙江省统计年鉴》《黑龙江省城市社会经济统计年鉴》。黑龙江大兴安岭和大兴安岭地区由于时间长,统计不完全,数据缺失。因此,本研究不包括对这些领域的评价和分析。本文使用的黑龙江省城市空间数据来源于国家基础地理数据库。

## 2 研究方法

### 2.1 综合评价指标体系

目前,对以重工业为主要产业的工业城市脆弱性的研究尚不充分,工业城市脆弱性评价指标体系尚不完善。因此,在借鉴已有研究成果的基础上<sup>[4,17,21]</sup>,基于科学性、系统性和可得性原则,完善城市脆弱性评价指标体系,增加了反映老工业基地城市特色的相关指标。以黑龙江省 5 个时期地级市为研究对象,从资源、生态、社会、经济 4 个子系统中选取 35 个评价指标,构建重工业城市脆弱性评价指标体系,如表 1。

### 2.2 评价模型

#### 2.2.1 数据标准化

为了消除指标的量纲差异,需要对基础数据进行标准化处理。当评价指标数值越大代表城市脆弱性越高时,指数为正,如工业企业综合能耗、二次生产占国内生产总值(GDP)的比重。负指标则相反,负面指标数值越大,城市脆弱程度越低,如污水处理率和天然气渗透率。正、负指标标准化公式如下:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (2)$$

式中: $x_{ij}$  为各评价指标的标准化值; $x_{ij}$  为评价指标的原始数据。

#### 2.2.2 指标权重确定

为避免权重赋值的主观性,保证权重赋值的科学性,本文选择能够表征指标信息无序程度的熵值法来确定评价指标的权重。熵值法是一种客观的加权方法,它根据指标信息的无序程度来判别权重系数。一个指标包含的有用信息越少,信息熵越大,权重越低。反之,信息熵越小,指标的权重也越高。其计算公式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}} \quad (0 < y_{ij} \leq 1) \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}}{\ln m} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m (1 - e_j)} \quad (5)$$

通过以上公式计算得到黑龙江省城市脆弱性评价体系中各指标的权重,如表 1。

#### 2.2.3 城市脆弱性指数计算

本文采用综合指数法计算城市综合脆弱性。将标准化处理后的指标数据与熵值法确定的权重相乘,将所有结果求和,得到该城市的脆弱性指数(UVI)<sup>[22]</sup>,计算公式如下:

$$UVI = \sum_{j=1}^m (w_i \times x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中: $w_i$  为第 I 项的权重系数; $x_{ij}$  为第 I 项的标准化值。

#### 2.2.4 城市脆弱性分类

在现有研究成果的基础上,采用自然断点法将黑龙江省城市脆弱性划分为 5 个等级,对应城市脆弱性指数为:轻微脆弱 0~0.20,低度脆弱 0.20~0.40,中度脆弱 0.40~0.60,高度脆弱 0.60~0.80,极高脆弱 0.80~1.00,如表 2。

#### 2.2.5 空间自相关分析

空间自相关分析揭示了空间中某一属性中相邻地理单元之间相互依存、相互关联的关系。本文采用莫兰指数(Moran's I)来表征研究区域

表 1 黑龙江省城市脆弱性评价指标体系

目标层	系统层	指标层	单位	指标类型	权重
资源敏感性	资源敏感性	单位国内生产总值用电量	千瓦时/万元	+	0.0356
		单位 GDP 用水量	立方米/万元	+	0.0487
		单位国内生产总值能耗	T 标准煤/万元	+	0.0264
资源脆弱性		工业企业综合能耗	标准煤/吨	+	0.0681
资源适应性	资源适应性	人均每日生活用水量	升	+	0.0234
		天然气普及率	%	-	0.0223
		自来水普及率	%	-	0.0312
资源恢复力	资源恢复力	工业废水排放	10 <sup>4</sup> 吨	+	0.0501
		工业烟尘排放	10 <sup>4</sup> 吨	+	0.0577
		工业二氧化硫排放	10 <sup>4</sup> 吨	+	0.0528
生态敏感性	生态敏感性	污水处理率	%	-	0.0552
		垃圾无害化处理率	%	-	0.0026
		工业固体废物综合利用率	%	-	0.0775
生态脆弱性	生态适应性	建成区绿化覆盖率	%	-	0.0433
		人均公园绿地面积	平方米	-	0.007
		政府在环保和节能方面的支出	万元	-	0.0048
社会敏感性	社会恢复力	城镇登记失业率	%	+	0.0173
		城市人口密度	人/平方千米	+	0.0173
		人均建设用地	平方米/人	+	0.041
社会脆弱性	社会适应性	第二产业从业人员比例	%	+	0.0326
		每万人中大学生人数	人	-	0.0123
		每万人拥有的公共汽车数量	量	-	0.0036
经济敏感性	经济恢复力	每万人拥有医院床位数	张	-	0.0166
		每千人拥有医生人数	人	-	0.017
		财政科技支出	万元	-	0.0054
经济脆弱性	经济适应性	财政教育支出	万元	-	0.0118
		财政医疗保健支出	万元	-	0.0081
		财政社会保障支出	万元	-	0.0051
经济脆弱性	经济恢复力	一产占国内生产总值的比重	%	+	0.0266
		重工业占工业总产值的比例	%	+	0.1271
		人均地区生产总值	万元	-	0.0033
经济脆弱性	经济适应性	二产占国内生产总值的比重	%	-	0.0098
		三产占国内生产总值的比重	%	-	0.0108
		城镇居民人均可支配收入	元	-	0.0127
经济脆弱性		农村居民人均可支配收入	元	-	0.0151

市脆弱性是否存在空间自相关,其取值范围是 -1 到 1。当指数值大于 0 时,表示空间正相关,越接近 1,空间相关性越强。当数值小于 0 时,表

示空间相关性为负,Moran's I 越接近 -1,则代表空间负相关性的强度越大。

表2 黑龙江省城市脆弱性评价等级标准

脆弱性综合指数	[0.209,0.265)	[0.265,0.313)	[0.313,0.387)	[0.387,0.449)	[0.449,0.515)
脆弱性程度	微度脆弱	低度脆弱	中度脆弱	高度脆弱	极高脆弱

### 2.2.6 灰色关联分析

灰色关联分析是一种根据不同系统发展趋势的相似度或不相似度来衡量不同系统之间关联程度的方法。本研究以城市脆弱性指数为参考序列,以生态、资源、社会、经济子系统脆弱性指数为比较序列,进行灰色关联度分析。

## 3 城市脆弱性时空演化结果

表3显示黑龙江省12个地级市在5年时间尺度上的城市脆弱性指数计算结果。根据城市脆弱性分类,采用空间分析法和灰色关联分析法对黑龙江省10年城市脆弱性的时空动态演变进行分析。根据黑龙江省城市脆弱性评价分级标准,对表3中地级市城市脆弱性综合指数进行分级,并使用ArcGIS进行可视化处理,结果如图1。

### 3.1 城市整体脆弱性分析

图1中,2010年的鸡西、大庆市城市脆弱性综合指数较高,处于极高脆弱性水平,伊春、七台

河和鸡西市处于较高脆弱性等级。这5个城市的生态资源处于枯竭状态,产业结构单一且不可持续,产业发展主要依靠能源开发,导致资源子系统的脆弱性增加。其余城市的脆弱性指数均低于0.387,脆弱性等级相对较低,城市发展依赖重工业发展的程度相对较低。主要依靠资源开采为主的经济发展模式持续到2013年,黑龙江省城市的综合脆弱性指数均达到了较高以上水平,表明此时的城市发展处于一种不可持续的状态。黑龙江省整体城市脆弱性上升主要是由于二、三产业占GDP的比重下降,重工业比重显著增加,城市发展对重工业的依赖程度增加,产业结构不均衡发展导致经济子系统脆弱性显著增加。其中,以鸡西、伊春、七台河、鹤岗和大庆这5个城市为例,对于重工业的高度依赖使得城市综合脆弱性达到了极高水平。在2015年,城市发展依赖重工业的程度有所改善,因此整体的城市脆弱性下降。

表3 2010—2019年黑龙江省城市脆弱性指数

城市 \ 年份	2010	2013	2015	2017	2019
哈尔滨	0.364	0.442	0.374	0.234	0.209
齐齐哈尔	0.385	0.428	0.473	0.303	0.280
鸡西	0.412	0.515	0.527	0.361	0.310
鹤岗	0.370	0.476	0.430	0.356	0.277
双鸭山	0.459	0.440	0.462	0.334	0.337
大庆	0.459	0.486	0.409	0.374	0.310
伊春	0.390	0.449	0.424	0.387	0.357
佳木斯	0.370	0.397	0.423	0.265	0.237
七台河	0.417	0.493	0.455	0.330	0.297
牡丹江	0.384	0.439	0.405	0.305	0.262
黑河	0.305	0.420	0.317	0.277	0.230
绥化	0.369	0.401	0.395	0.313	0.286

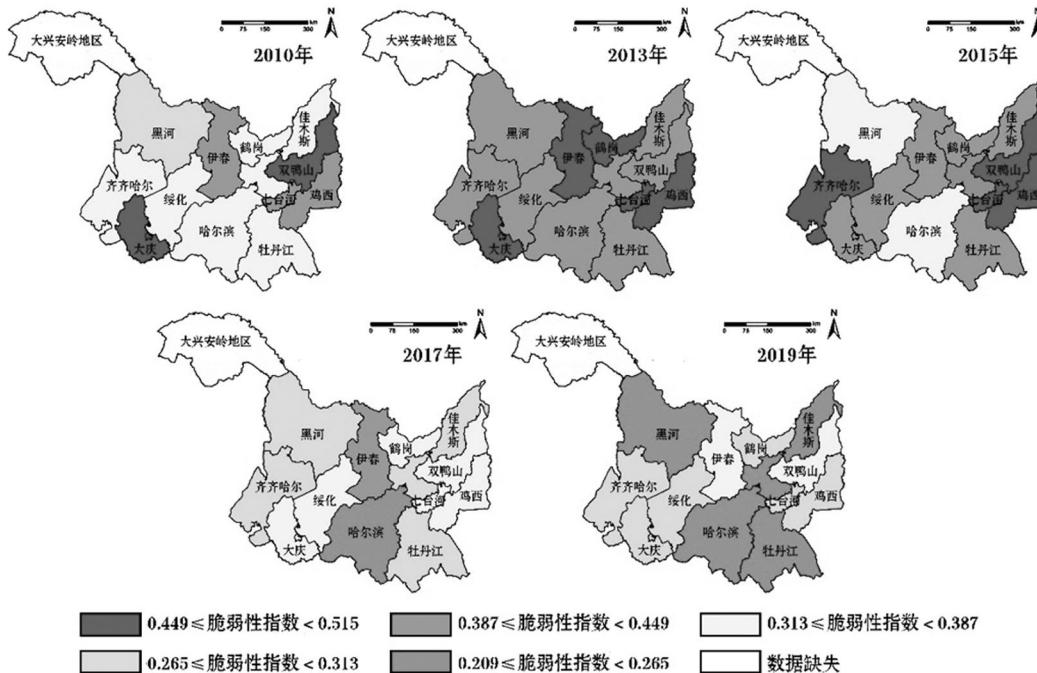


图 1 2010—2019 年黑龙江省城市脆弱性等级(审图号:GS(2024)0650 号)

由图 2 可以看出,2017 到 2019 年,随着老工业基地的产业转型和可持续建设,城市综合脆弱性指数均呈下降趋势,且大部分城市都达到了低度脆弱的水平。双鸭山和伊春的综合脆弱性指数和资源脆弱性指数相对高于其他城市,但生态、社会和经济子系统的脆弱性指数与其他城市的差异并不显著。这表明在这一阶段,黑龙江省的产业振兴政策已初见成效,且各子系统的脆弱程度均降低。由于黑龙江省的发展重心从能源开发逐步转向重工业、制造业、农业和服务业综合发展的模式,在保障重工业发展的同时,提高第三产业比重,丰富产业结构,改善城市子系

统的脆弱程度。

综上所述,黑龙江省城市的发展存在差异,城市脆弱性等级在 2013 年呈现显著不同。随着东北地区经济转型、老工业基地振兴等政策的实施,城市整体脆弱性得到有效缓解,城市承载能力提升,城市资源配置趋于均衡,发展差距逐步缩小,至 2019 年已呈现均衡的低脆弱度水平。

### 3.2 城市脆弱性动态演化分析

依据各城市脆弱性指数的变化情况,随着时间的推移,总体脆弱性由中向低转变,呈现出“小幅上升—稳步下降”的趋势。2010 至 2013

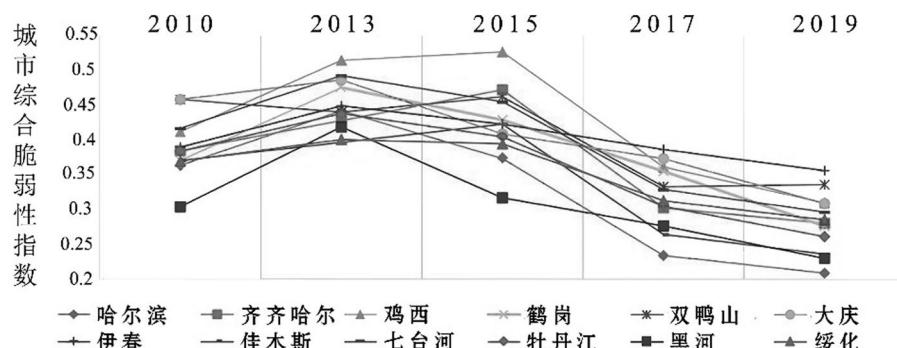


图 2 2010—2019 年城市脆弱性指数变化趋势

年,双鸭山市的城市综合脆弱性指数降低,其余城市的综合脆弱性均显著增加。2013至2015时间段内,城市脆弱性指数存在小幅度波动性的变化,致使这一阶段的城市脆弱性等级普遍偏高。2013至2019年,各城市综合脆弱性指数主要呈下降趋势,其中城市脆弱性下降最快的城市为哈尔滨市。其作为黑龙江省省会城市,经济发展优势较强,三产发展及社会子系统的建设都优于其他地级城市,因此哈尔滨市的城市脆弱性等级更低。2015年,双鸭山、鸡西、齐齐哈尔等城市综合脆弱性指数略有上升,但城市脆弱性等级未发生变化。这是由于城市的发展虽然对于资源、生态的依赖程度有所下降,但是经济社会发展相对较慢,社会基础设施建设尚未完善。2015到2019年,研究区内的所有城市脆弱性等级均出现较大幅度的下降,且脆弱性指数均保持在0.387以下,表明近年来城市脆弱性有明显改善。研究区内城市资源子系统脆弱性呈波动下降趋势。从图3可以看出,城市资源子系统的脆弱性与国家调控、单位GDP的水、电、能源等资源需求有关。由于国家实施了绿色发展和生态优先的政策,地方政府积极开展了保护生态环境和减少废物排放等多项工程,生态子系统的脆弱性不断降低。以生态环境保护为城市发展的前提,在很大程度上缓解了重工业过度发展造成的生态环境污染问题,加大环境保护投入力度,修复和保护了现有生态环境。

在国家制定的绿色发展战略下,以重工业为主要产业的黑龙江省经济受到了一定程度的影响。虽然生态脆弱性有所降低,但其经济子系统

的脆弱性却显著增加。这一时期的的城市经济转型并不成功,主要依靠能源工业和重工业制造业带动城市发展。但2017年以后,黑龙江省城市经济脆弱性明显下降,第一、第二产业稳步增长,第三产业发展也明显改善。2010—2013年社会子系统脆弱性呈先小幅上升后稳步下降的趋势,与政府加大基础设施建设投入和社会保障体系进一步完善密切相关。

利用GeoDa软件对研究区2010—2019年城市综合脆弱性进行空间自相关分析,如表4。基于Z得分,2010年和2015年具有统计学意义( $P < 0.01$ ),置信水平大于99%。然而,其余年份没有统计学意义,因此本文仅对2010年和2015年的空间相关性进行分析。2010及2015年Moran's I均高于0.2,城市脆弱性呈现出正的空间相关性,表明高脆弱性的城市连片分布呈现聚集的空间格局。这是由于在2015年之前,黑龙江省内的大部分城市依旧处于一种不可持续、产业结构单一,依赖资源开采的发展模式。2015年以后,黑龙江省为解决资源依赖和重工业衰退等问题,响应国家振兴东北、产业转型的发展目标,优化产业结构,保护生态环境。因此城市脆弱性等级降低,且城市间脆弱性差距逐渐缩小,空间格局呈现出离散和均衡趋势。这表明,优化产业结构的发展战略对于黑龙江省的城市振兴与老工业基地改造发展是相当有效的,并且绿色发展的目标也一定程度上改善了城市的生态脆弱性。

### 3.3 子系统脆弱性关联度分析

2010至2019年各城市子系统脆弱性与城

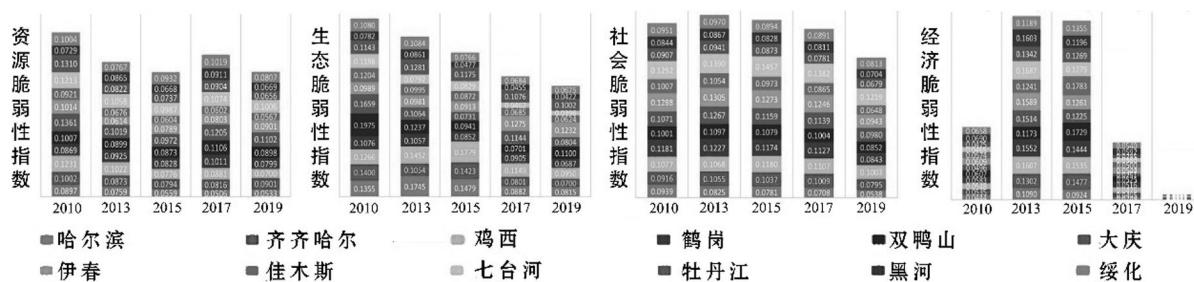


图3 2010—2019年子系统脆弱性指标变化趋势

表 4 2010 – 2019 年城市脆弱性莫兰指数

年份	2010	2013	2015	2017	2019
P 值	0.0030	0.0650	0.0070	0.1200	0.1480
Z 值	2.9424	1.5648	3.0301	1.2436	-1.0550
Moran's I	0.2253	0.0464	0.2577	0.0649	-0.2675

市综合脆弱性指数的灰色关联度分析结果如图 4 所示。2010 年,各子系统脆弱性指数的关联程度相差不大,其中城市脆弱性与生态子系统的关联度最高,与经济子系统相关程度最低。这表明,在此阶段城市经济发展高度依赖重工业、制造业,而忽略了生态环境的保护,没有形成绿色可持续的发展模式。2013 年和 2015 年,经济子系统与城市综合脆弱性的关联度逐渐升高且高于其他子系统,这表明,高度依赖重工业的发展模式导致了城市脆弱性显著上升。2017 年和 2019 年,城市脆弱性指数与经济子系统的关联度迅速下降,与生态、资源与社会子系统的关联程度显著上升。这表明,经济的绿色发展和产业结构的优化降低了城市的脆弱性,但在此基础上的社会基础设施建设和生态资源保护工作应继续有序展开。

#### 4 结论

通过对资源、生态、经济、社会四个子系统的综合脆弱性、时空动态演化的脆弱性分析,得出以下结论:

(1) 从空间上看,2015 年黑龙江省城市脆弱性格局呈现高脆弱性区域集聚格局。城市脆弱

性总体下降,分布趋于均匀。这说明振兴东北老工业基地的战略是有效的,黑龙江省城市发展潜力有所提升。未来老工业基地的改革政策应继续遵循当前的城市发展模式,如保护城市生态环境、加强城市经济转型等。

(2) 从时间上看,2010 – 2013 年黑龙江省城市脆弱性呈上升趋势,2013 – 2019 年呈逐渐下降趋势,其中资源、生态和社会子系统的脆弱性均呈稳步下降趋势。经济脆弱性呈现先上升后下降的趋势。经济脆弱性的波动趋势表明,黑龙江省的经济绿色发展与产业结构转型对于降低城市脆弱性产生了积极的影响。

(3) 2010 年黑龙江省城市脆弱性与生态脆弱性关联度最高。2013 – 2015 年,城市脆弱性与经济脆弱性的相关性最高,之后相关性最高的是社会脆弱性。城镇社会保障和基础设施建设稳步推进,但不平衡不充分的状况依然存在。

(4) 黑龙江作为老工业基地,城市经济的调结构攻坚战是振兴发展的重中之重。在未来的发展中,应进一步持续调整产业结构,加大科技投入,发展高技术产业,降低经济脆弱性。随着城市的发展,接下来应该加强社会保障制度和资源配置的政策倾斜,增加教育和医疗的投资份

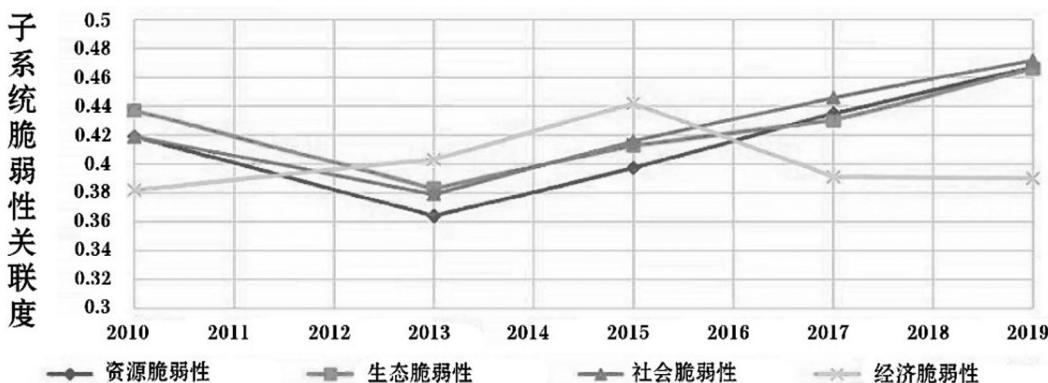


图 4 2010 – 2019 年子系统脆弱性相关程度变化

额,完善社会基础设施的建设,降低城市社会的脆弱性。在当下生态优先绿色发展的环境下,应促使生态保护与经济发展相协调,注重绿色可持续发展,减少环境污染与不可持续的资源开采。

## 参考文献(References):

- [1] Turner B, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003, 100(14): 8074–8079.
- [2] 李鹤,张平宇.全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望[J].地理科学进展,2011,30(07): 920–929.
- [3] 方创琳,王岩,方嘉雯.中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征(英文)[J].Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(02): 153–170.
- [4] 王佳宁,薛东前,马蓓蓓,等.黄土高原地区矿产资源型城市脆弱性及其人口响应[J].干旱区地理,2020,43(06): 1679–1690.
- [5] Vogel C. Vulnerability and global environmental change[J]. AVISO (Ottawa, Ont.), 2004, 13: 1–8.
- [6] Adger, Huq S, Brown K, et al. Adger, W. N., (2006), Vulnerability, Global Environmental Change 16 (03), 268–281[J].[2024-12-10].
- [7] Lee Y J. Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2014, 44(01): 31–42.
- [8] 王岩,方创琳,张蔷.城市脆弱性研究评述与展望[J].地理科学进展,2013,32(05): 14.
- [9] Villa F, Mcleod H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision Making: Guidelines and Applications [J]. Environmental Management, 2002, 29, 335–348.
- [10] Li B, Yang Z, Su F. Measurement of vulnerability in human-sea economic system based on set pair analysis: A case study of Dalian city[J]. Geographical Research, 2015, 34(05): 967–976.
- [11] 张梅,罗怀良,陈林.资源型城市脆弱性评价——以攀枝花市为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(05): 1170–1178.
- [12] 刘艳中,宋改凤,陈勇,等.矿产资源型城市脆弱性综合测度与评价[J].矿产综合利用,2021(04): 10–16.
- [13] Zhao L, Wang W, Zhang Y S, et al. The Spatio-Temporal Evolution about Urban Vulnerability on the Northeast Region since Northeast Revitalization[J]. Economic Geography, 2014, 34(12): 69–77.
- [14] Gao Y C. Vulnerability Assessment of Resources-based Cities Based on Pse-C Model[J]. Resources & Industries, 2014.
- [15] 徐君,李贵芳.资源型城市脆弱性的AHV模型及演化耦合作用分析[J].资源开发与市场,2017,33(08): 899–904.
- [16] 王士君,王永超,冯章献.石油城市经济系统脆弱性发生过程、机理及程度研究——以大庆市为例[J].经济地理,2010,30(03): 6.
- [17] 伊尔凡江·艾合买提江,阿里木江·卡斯木,安瓦尔·买买提明.城市脆弱性的动态演变与模拟预测——以乌鲁木齐市为例[J].冰川冻土,2021,43(06): 1861–1868.
- [18] 陈伟珂,闫超华,董静,等.城市脆弱性时空动态演变及关键致脆因子分析——以河南省为例[J].城市问题,2020(03): 9.
- [19] 毕云龙,牛方曲,李伟,等.资源型城市脆弱性评价和预警机制研究:以山西省为例[J].中国矿业,2021,30(06): 65–73.
- [20] 赵学青.内蒙古城市气候脆弱性评价及其适应性研究[D].内蒙古大学,2020.
- [21] 苏飞,张平宇.石油城市经济系统脆弱性评价——以大庆市为例[J].自然资源学报,2009,024(07): 1267–1274.
- [22] 梁保平,梁诗婷.桂林市脆弱性综合评价与动态演变研究[J].国土资源科技管理,2020,37(04): 1–11.

## 作者简介:

第一作者:袁静远,1998年生,女,浙江湖州人,博士,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。Email:2894532067@qq.com;

通讯作者:陆明,1969年生,女,黑龙江哈尔滨人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,教授,主要研究方向为城乡规划。Email:hitlm@126.com

## Urban Vulnerability Assessment and Dynamic Evolution ——Case of Heilongjiang Province

YUAN Jingyuan, LU Ming\*

(School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology,

Key Laboratory of Cold Land Region Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration,

Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China)

**Abstract:** As the largest old industrial base in China, Northeast China has embarked on a development road dominated by heavy industry under the planned economic system. The region's industrial structure is not sustainable, it needs to rely on natural resources for a long time, and the ecological environment is destroyed. It is of great significance to study the urban vulnerability of the old industrial base in Northeast China for the revitalization and high – quality development of Northeast China. Taking 12 prefecture – level cities in Heilongjiang Province as the research object, this paper constructs a comprehensive assessment index system of urban vulnerability from four subsystem: ecology, resources, society and economy. This paper analyzes the spatial distribution pattern and dynamic evolution process of urban vulnerability in Heilongjiang Province from 2010 to 2019. The research results are as follows: (1) Spatially, the vulnerability pattern of cities in Heilongjiang Province in 2015 showed a cluster pattern of high – vulnerability regions, and then the overall vulnerability gradually decreased and tended to be evenly distributed. (2) In terms of time, urban vulnerability in Heilongjiang Province showed an upward trend from 2010 to 2013, and a gradual downward trend from 2013 to 2019. Resource, ecological and social vulnerability declined steadily, while economic vulnerability rose first and then declined. (3) The correlation between urban comprehensive vulnerability and ecological vulnerability was the highest in 2010, and the correlation between urban comprehensive vulnerability and economic vulnerability was the highest from 2013 to 2015, and then it transferred to social vulnerability. In the future, in the process of revitalization and development, Heilongjiang Province should continue to optimize the industrial structure, protect the ecological environment, and strengthen the construction of ecological civilization.

**Key words:** urban vulnerability; spatio – temporal dynamic evolution; spatial autocorrelation analysis; grey correlation analysis

# 基于文献计量分析的国土空间生态安全格局的研究进展

孟德惠, 李朦朦, 吴远翔\*

(哈尔滨工业大学建筑与设计学院,  
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)

**摘要:** 国土空间规划与生态安全格局是生态文明建设的重要组成部分, 二者的紧密融合更是推动生态文明建设的关键因素。黑龙江省是我国东北地区重要的生态安全屏障, 在《黑龙江省国土空间规划(2021—2035年)》、《黑龙江省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》等文件中均凸显了该省在维护国家生态安全中的战略地位, 并提出了构建国土空间开发保护总体格局的迫切要求。为了全面深入了解生态安全格局在国土空间中的研究现状与进展, 并为黑龙江省在该领域的相关研究提供参考和方向指引, 本研究基于文献计量分析法, 使用 CiteSpace 和 VOSviewer 对 CNKI 数据库中的相关文献进行梳理与分析。研究结果表明国内相关研究呈现显著增长态势; 相关研究涉及多个学科, 并且受到政府、高校等多方的高度重视和关注; 研究主题聚焦于国土空间规划与生态安全保护、生态安全评估与空间规划、国土空间生态修复与廊道建设和关键区域生态修复与网络构建。最后, 针对黑龙江省的生态条件与发展需求, 提出了未来研究的展望与建议。

**关键词:** 国土空间; 生态安全格局; 文献计量分析; 黑龙江省

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2024)05-0015-8

## 0 引言

在全球气候变化的背景下, 和快速工业化以及城市化的进程中, 生态环境问题日益凸显, 面临着前所未有的压力与挑战。生态安全逐渐成为一个国家、一个民族生存与发展的基本条件, 同时也是支撑经济社会长久健康发展的重要保障<sup>[1]</sup>。在 2014 年中央国家安全委员会中, 生态安全被正式纳入我国国家安全体系。回溯生态安全的研究历程, 自 20 世纪 90 年代起, 该领域首先经历了概念探讨与基础理论研究, 随后生态安全评估、预测预警成为热点, 当前研究重心已逐步转向生态安全格局这一前沿领域<sup>[2-4]</sup>。

构建“两屏三带”为主体的生态安全格局是我国三大战略格局之一<sup>[5]</sup>。这一战略把国家生态安全作为国土空间开发的重要战略任务和发

展内涵, 彰显了尊重自然、顺应自然的开发理念。目前国内外学者围绕生态安全格局的形成、构建、演变、机制、优化等方面开展了广泛而深入的研究<sup>[6]</sup>。这些研究不仅致力于通过构建科学合理的生态安全格局有效调控自然生态过程, 更力求实现区域内自然资源与绿色基础设施的协同增效与优化配置<sup>[7]</sup>, 通过优化空间布局, 强化生态系统服务功能, 确保国家生态安全的稳固与可持续发展。

自 2019 年中共中央、国务院发布《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》以来, 国土空间规划已成为国家空间发展的指南、可持续发展的空间蓝图, 是各类开发保护建设活动的基本依据<sup>[8]</sup>。这一规划也为生态安全格局的研究提供了新的框架与指导。在这一宏大的规划体系内, 生态安全格局的深入应用及其与国

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“城市绿色基础设施的生态系统服务供需影响机制与空间优化途径研究——以东北地区为例”(52078160)。

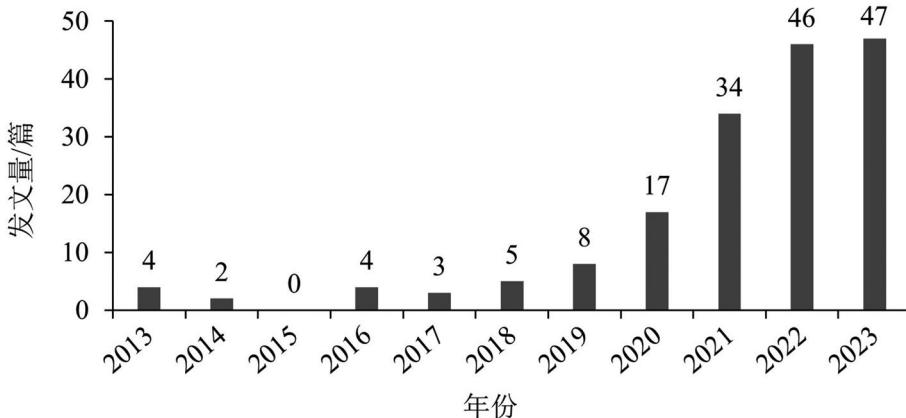


图 1 发文量分析

土空间规划的紧密衔接显得尤为迫切与重要。它不仅承载着保障生态安全的重任,更应与新建立的国土空间规划体系深度融合,形成更加协同高效的生态治理网络。

黑龙江省作为我国东北地区的生态屏障,其生态安全的重要性不言而喻。在 2021 年黑龙江省人民政府发布的《黑龙江省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》中指出“要立足资源环境承载能力,推动形成主体功能约束有效、国土空间开发有序的空间发展格局,提高生态安全功能”。2022 年黑龙江省人民政府发布《黑龙江省“十四五”生态环境保护规划》,文中也明确提到“十四五时期,黑龙江省将持续改善生态环境质量,筑牢国家生态安全屏障”。因此,黑龙江省开展国土空间与生态安全格局的相关研究,不仅是区域自身可持续发展的内在要求,更是对国家生态安全战略的有力响应。

基于此,本文旨在通过文献计量分析法,系统梳理生态安全格局在国土空间中的研究进展,揭示该领域的研究热点、前沿动态,并为黑龙江省的未来国土空间生态安全研究提供方向性指导。

## 1 研究方法

本文以中国知网(CNKI)为数据源,以“国土空间和生态安全格局”为主题,对全部的中文文献进行检索,检索日期截至 2023 年 12 月 31 日,

时间间隔为一年,共获取 278 篇相关文献,去除学位论文、报纸、图书以及重复的文献,最终选定 154 篇期刊论文(包括北大核心、CSSCI 等全部类型的期刊)和 16 篇会议论文作为本文的研究对象。利用 CiteSpace 6.2.6 和 VOSviewer 对文献的发文量、发文机构、资助机构和关键词进行提取和分析,直观清晰地展现出生态安全格局在国土空间中的研究现状与发展趋势,为后续研究提供重要支撑和参考。

## 2 研究结果

### 2.1 发文量

从发文量的结果来看(图 1),国内关于国土空间与生态安全格局的研究整体呈现指数上升的趋势。根据发文量的变化趋势,结合中共中央、国务院 2019 年颁布的《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》,本文将相关研究划分为以下两个阶段:

(1) 2013–2019 年初期探索:生态安全格局在我国国土空间的战略布局中占据着举足轻重的地位,与经济发展格局和社会治理格局并列为三大核心战略格局<sup>[9]</sup>,所以生态安全格局的研究一直受到国内学术界的广泛关注。这一时期我国尚未建立起完整的国土空间规划体系,但有一些前瞻性的研究开始探索这一领域,学者俞孔坚在 2016 年发表了《生态安全格局与国土空间开发格局优化》一文<sup>[10]</sup>。

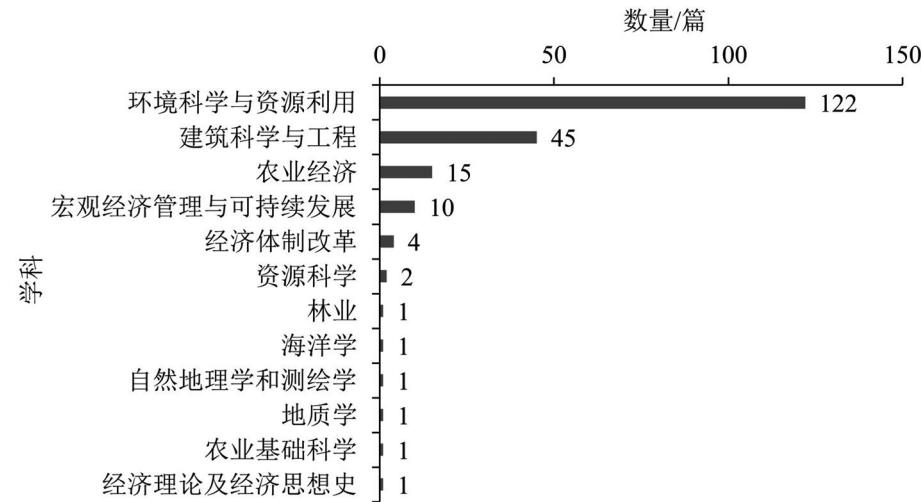


图 2 学科领域分析

(2) 2020 – 2023 年迅速发展：2019 年 5 月 23 日，中共中央、国务院发布《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》之后，标志着国土空间规划体系顶层设计和“四梁八柱”基本形成<sup>[11]</sup>。国土空间总体规划明确涵盖了生态安全格局在内的整体布局，使得国土空间下的生态安全格局越来越受到重视，围绕识别、构建、优化等开展了一系列研究，文章数量明显增加，预计未来还会继续呈现增长态势。

## 2.2 研究学科领域

从学科分布来看(图2),相关研究涉及多个学科。其中环境科学与资源利用占59.8%,侧重于生态环境质量的监测与评估,以及资源的

高效利用与保护,关注污染控制、生态修复、生物多样性保护等问题。其次是建筑科学与工程占22.06%,关注城市规划、景观设计等方面,侧重于在建设过程中减少对生态环境的影响。农业经济占7.4%,主要研究农业生产活动中的生态安全问题,如土壤退化、水资源短缺等。此外在经济管理与可持续发展、林业、海洋学、地质学等学科也有些许分布,这也体现了这一问题的多学科交叉特性。

### 2.3 研究机构

检索发现,国内共有 204 个机构参与相关研究。根据图 3 显示的研究机构信息(字体的大小表示发文量的多少),北京师范大学在该领域发



图 3 研究机构分析

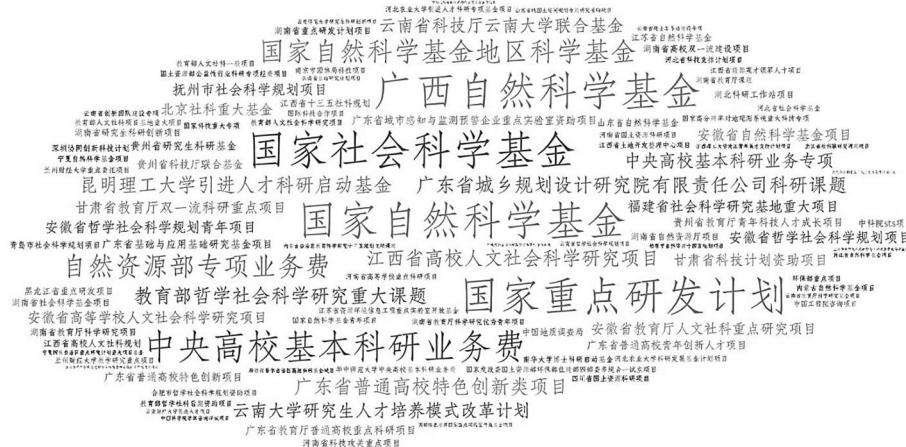


图 4 资助机构分析

表的论文最多,共计11篇;其次是南京大学和新疆大学,各发表了7篇;北京大学和广西大学各发表了6篇;此外还有武汉大学、天津大学、广东省城乡规划设计研究院等多个高校、研究院和企业参与了这一领域的研究工作,共同推动生态安全格局在国土空间中的深入发展。

## 2.4 项目资助来源

在所研究的 170 篇文献中,包含资助信息的出版物有 102 篇,占总数的 60%。这些出版物共涵盖来自 103 个资助机构的 186 个项目(图 4)。其中国家自然科学基金(NSFC)提供的资助最多,达到 53 项,占总数的 28.5%;国家重点研发计划资助了 10 个项目;国家社会科学基金资助了 5 个项目;广西自然科学基金和中央高校基本科研业务费各资助了 4 个项目,此外还有教育部重大课题、省重点项目、高校重点科研项目等多个项目的支持,充分表明了生态安全格局在国土空间中的研究不仅受到中国政府和国家科研资助机构的高度重视,还受到各地方单位的支持。

### 3 研究热点分析

### 3.1 关键词共现聚类

关键词作为研究内容的精炼概括,能够有效体现研究的核心。通过对关键词的分析,可以全

面掌握该领域发展的动态演变及规律。深入研究高频关键词可以清晰揭示出该研究领域的核心关注点以及未来可能的发展方向。在本研究中,出现次数排名前 5 的关键词分别是:生态安全格局(114 次)、电路理论(26 次)、国土空间规划(20 次)、生态修复(17 次)和生态廊道(15 次),涵盖了从理论方法到实际应用的多方面内容。

为了更清晰地展现关键词的共现关系,使用VOSviewer进行可视化分析,将关键词阈值设为2,共被划分为4个聚类(图5)。在共现关系图中,节点的大小表示关键词的出现频次,相同颜色的节点代表同一聚类,不同聚类可以代表不同的研究热点。

聚类1：国土空间规划与生态安全保护。这个聚类主要围绕国土空间规划、生态安全格局构建以及生态保护修复展开。其中关键词“生态保护”是构建生态安全格局的重要目标之一，国家出台了生态保护和修复领域综合型规划，在2020年国家发改委、自然资源部印发的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》中，提出了以“三区四带”为核心的全国重要生态系统保护和修复重大工程总体布局<sup>[12]</sup>。而“双评价”和“PLUS模型”是研究生态安全时使用到的主要评估方法和模型<sup>[13,14]</sup>。

聚类2:生态安全评估与空间规划。生态安

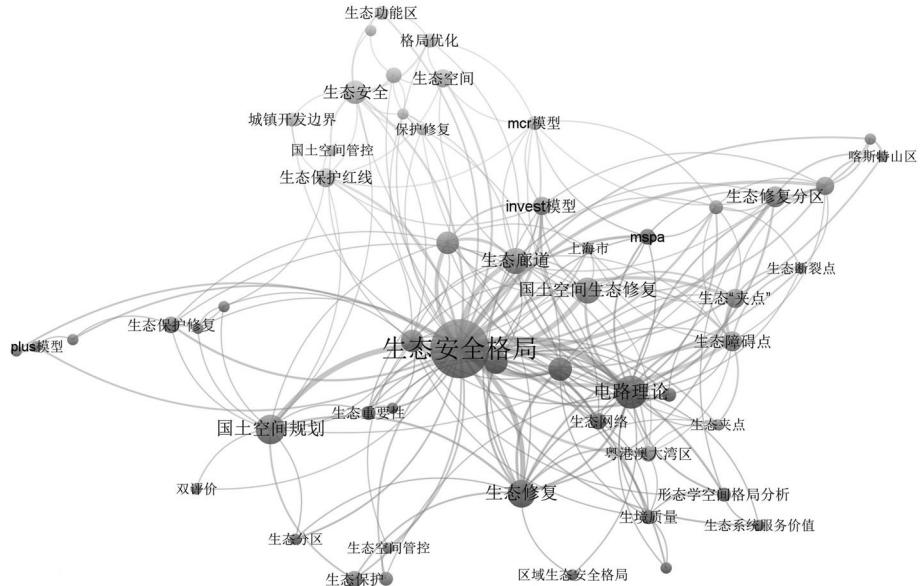


图 5 关键词聚类分析

全的核心在于对自然生态系统的重视与保护,同时确保生态系统服务的供需达到平衡状态。为了实现这一目标,构建生态安全格局成为了至关重要的措施<sup>[15]</sup>,生态安全评估也是其中必不可少的环节。而“生态保护红线”则表示在空间规划中对生态安全的严格要求和具体措施。“生态功能分区”是生态安全格局在国土空间规划中的具体应用。“MCR 模型”(最小累计阻力模型, minimal cumulative resistance)是当前用于生态安全格局构建的一个主流方法<sup>[16]</sup>。

**聚类 3: 国土空间生态修复与廊道建设。**这个聚类主要关注国土空间的生态修复与生态廊道的建设。“生态廊道”在生物保护和生物多样性评估中扮演着至关重要的地理角色<sup>[17]</sup>。通过修复受损的生态系统并建设生态廊道来恢复和提高生态系统的连通性和稳定性。“InVEST 模型”被用于计算生态系统服务,常被用来识别重要的生态源地;而“生态障碍点”和“生态修复分区”也是生态安全格局在国土空间中的重要研究内容。

**聚类 4: 关键区域生态修复与网络构建。**这个聚类关注关键区域的生态修复和生态网络的构建,通过模拟电路的方式优化生态网络的布局和连接。关键词“关键区域”和“生态修复”强调

对特定重要区域的生态保护和修复。“电路理论”是确定生态廊道的关键方法,它模拟了物种在自然环境中的迁移和扩散行为。通过这一方法,可以评估生物种群在迁移过程中的成功几率和潜在风险,并且可以衡量生态源地与廊道之间的相对重要性<sup>[18,19]</sup>,以确保生态网络的构建和生态修复工作能够真正提升区域生态系统的服务功能和安全格局。

### 3.2 关键词突现

突变词是指在短期内出现频率较高的词语,通过分析这些词的词频变化,可以精准把握学界的关注点和研究动向。结果显示(图 6),关键词突变主要集中在 2018 年至 2024 年之间。其中“生态源地”是强度最高的突现关键词,生态源地的精准识别是构建生态安全格局的基石,精确识别并合理选取生态源地,对于生态安全格局的精准构建至关重要<sup>[20,21]</sup>。此外“生态安全”和“多规合一”亦是强度相对较高的突现关键词,不仅反映了当前社会对生态安全的深切关注,也揭示了政策与规划在促进可持续发展中的重要作用。最近出现的突变词是“生态分区”和“生态夹点”,其中生态分区为生态安全格局的构建提供了重要基础支撑,有助于平衡生态安全与经济社会发展间的关系<sup>[22]</sup>。而生态夹点是由

## Top 9 Keywords with the Strongest Citation Bursts

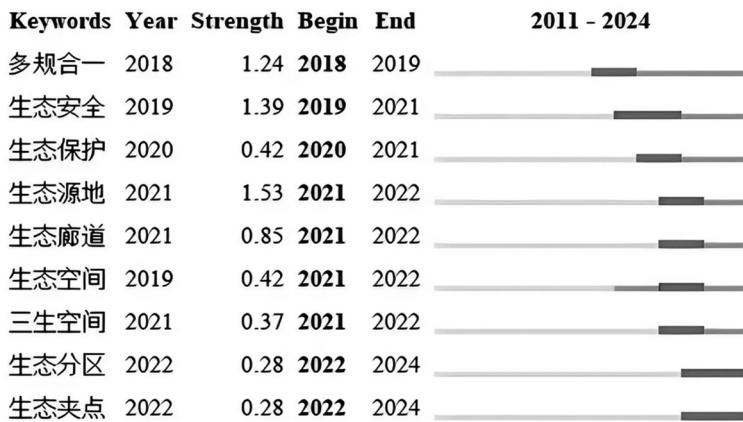


图 6 关键词的突现

McRae 等提出的概念,是指区域生态安全格局中体现景观连通性的重要节点<sup>[23]</sup>,这两个概念的出现,为应对生态安全问题提供了新的视角和方法。

### 4 黑龙江省生态安全格局的研究展望

目前针对黑龙江省的国土空间生态安全格局的相关研究数量有限,研究深度和广度仍有待加强。结合生态安全格局在国土空间中的研究进展,针对黑龙江省的地域特殊性与发展需求,以及当前研究现状,提出以下几点展望,以期推动黑龙江省生态安全格局研究的深入与发展:

(1) 加强区域针对性研究:黑龙江省地貌特征为“五山一水一草三分田”,地势复杂多样,包括大兴安岭、小兴安岭、三江平原、松嫩平原等重要生态功能区。因此,应加强对这些特定区域的生态安全格局研究,分析其生态脆弱性、关键生态要素及空间分布特征,深入研究这些关键生态要素的保护机制,为制定更为细致的区域生态保护与修复策略提供科学依据。

(2) 强化生态安全格局的动态监测与评估:建立黑龙江省生态安全格局的动态监测与评估体系,利用遥感、GIS 等现代信息技术手段,对生态安全格局的变化趋势进行实时监测和定期评估。通过数据分析与模型预测,及时发现生态安全问题,为制定和调整生态保护政策提供科学

依据。

(3) 结合人工智能技术,深化生态安全格局演变、机制等研究:当前黑龙江省的研究局限于生态安全格局的构建,还需全面、深入理解其动态演进过程及内在机制,并尝试借助人工智能这一前沿技术,发现更多隐藏在数据背后的规律和趋势,为生态安全格局的相关研究带来新的突破。

#### 参考文献:(References):

- [1] 左伟,王桥,王文杰,等.区域生态安全评价指标与标准研究[J].地理学与国土研究,2002,(01): 67 - 71.
- [2] 叶鑫,邹长新,刘国华,等.生态安全格局研究的主要内容与进展[J].生态学报,2018,38(10): 3382 - 3392.
- [3] 秦晓楠,卢小丽,武春友.国内生态安全研究知识图谱——基于 Citespace 的计量分析[J].生态学报,2014,34(13): 3693 - 3703.
- [4] Liu C, Li W, Xu J, et al. Global trends and characteristics of ecological security research in the early 21st century: A literature review and bibliometric analysis [J]. Ecological Indicators, 2022, 137: 108734.
- [5] 樊杰.主体功能区战略与优化国土空间开发格局 [J].中国科学院院刊,2013,28(02): 193 - 206.
- [6] 彭建,赵会娟,刘焱序,等.区域生态安全格局构建研究进展与展望[J].地理研究,2017,36(03): 407 - 419.

- [7] 易浪, 孙颖, 尹少华, 等. 生态安全格局构建: 概念、框架与展望[J]. 生态环境学报, 2022, 31(04): 845 – 856.
- [8] 林坚, 吴宇翔, 吴佳雨, 等. 论空间规划体系的构建——兼析空间规划、国土空间用途管制与自然资源监管的关系[J]. 城市规划, 2018, 42(05): 9 – 17.
- [9] 于婧, 汤昇, 陈艳红, 等. 山水资源型城市景观生态风险评价及生态安全格局构建——以张家界市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(04): 1290 – 1299.
- [10] 俞孔坚. 生态安全格局与国土空间开发格局优化[J]. 景观设计学, 2016, 4(05): 6 – 9.
- [11] 雷洲, 谢来荣, 黄亚平. 当前我国国土空间规划研究评述与展望[J]. 规划师, 2020, 36(08): 5 – 11.
- [12] 白中科. 国土空间生态修复若干重大问题研究[J]. 地学前缘, 2021, 28(04): 1 – 13.
- [13] 贾克敬, 何鸿飞, 张辉, 等. 基于“双评价”的国土空间格局优化[J]. 中国土地科学, 2020, 34(05): 43 – 51.
- [14] 张考, 黄春华, 王志远, 等. 基于 DTTD – MCR – PLUS 模型的三生空间格局优化——以长沙市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(24): 9957 – 9970.
- [15] 陈利顶, 孙然好, 孙涛, 等. 城市群生态安全格局构建: 概念辨析与理论思考[J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4251 – 4258.
- [16] 杨凯, 曹银贵, 冯喆, 等. 基于最小累积阻力模型的生态安全格局构建研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(05): 555 – 565.
- [17] Tong H, Shi P. Using ecosystem service supply and ecosystem sensitivity to identify landscape ecology security patterns in the Lanzhou – Xining urban agglomeration, China[J]. Journal of Mountain Science, 2020, 17(11): 2758 – 2773
- [18] 宋利利, 秦明周. 整合电路理论的生态廊道及其重要性识别[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3344 – 3352.
- [19] McRae B H, Dickson B G, Keitt T H, et al. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation[J]. Ecology, 2008, 89(10): 2712 – 2724.
- [20] 吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4125 – 4133.
- [21] 崔雯婧, 魏源, 苏海磊, 等. 环武夷山国家公园保护发展带生态安全格局构建研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(04): 874 – 886.
- [22] 王子尧, 黄楚梨, 李倞, 等. 耦合 InVEST – HFI – PLUS 模型的生态分区规划与动态评估——以博尔塔拉蒙古自治州为例[J]. 生态学报, 2022, 42(14): 5789 – 5798.
- [23] 彭洁, 蔡海生, 张学玲, 等. 基于主导生态功能的抚河流域国土空间生态安全格局分析[J]. 生态学报, 2022, 42(18): 7430 – 7444.

#### 作者简介:

第一作者:孟德惠,1997年生,女,辽宁盖州人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,主要研究方向为风景园林学。Email:[dhmeng\\_97928@163.com](mailto:dhmeng_97928@163.com);

通讯作者:吴远翔,1971年生,男,江苏通州人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,副教授,主要研究方向为风景园林学。Email:[745417816@qq.com](mailto:745417816@qq.com)

## Research Progress on Territorial Space Ecological Security Pattern based on Bibliometric Analysis

MENG Dehui, LI Mengmeng, WU Yuanxiang\*

(School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology,

Key Laboratory of National Territory Spatial Planning and Ecological Restoration in Cold Regions,

Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China)

**Abstract:** Territorial spatial planning and ecological security patterns are vital components of ecological civilization construction. The close integration of the two is a key factor in promoting ecological civilization. Heilongjiang Province, an important ecological security barrier in Northeastern China, has its strategic role in maintaining national ecological security emphasized in documents. These documents also propose the need to establish an overall framework for the development and protection of territorial space. To gain an in-depth understanding of the current research status and progress of ecological security patterns in territorial space, providing references and guidance for related studies in Heilongjiang Province. Based on the bibliometric analysis, this study used CiteSpace and VOSviewer to review and analyze literature from the CNKI database. The results show that there is a significant increase in domestic research on this topic. The studies span multiple disciplines and attract considerable attention from the government, universities, and other stakeholders. The main research themes focus on territorial spatial planning and ecological security protection, ecological security assessment and spatial planning, ecological restoration of territorial space and corridor construction, and the restoration and network construction of key ecological areas. Finally, specific recommendations and future research prospects are proposed for Heilongjiang Province.

**Key words:** territorial space; ecological security pattern; bibliometric analysis; Heilongjiang Province

# 矿山生态修复植物碳汇效益研究及种植优化策略

——以东明绿色矿山综合体为例

钟晓勇<sup>1,2</sup>, 汪姜超<sup>3</sup>, 陈俊彬<sup>1</sup>, 赵荣华<sup>1</sup>, 鄢 喆<sup>1</sup>, 赵 巍<sup>3\*</sup>

(1. 呼伦贝尔东明矿业有限责任公司, 呼伦贝尔 021506;  
2. 云南中寮矿业开发利用有限公司, 昆明 650228;  
3. 哈尔滨工业大学建筑与设计学院, 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:**本文运用平均生物量法和动态箱式法对东明绿色矿山综合体生态修复项目中植物碳储量与碳通量进行测算。结果表明,绿化观赏类乔木单棵碳储量远大于生态修复类乔木,生态修复类灌木的单棵碳储量和累计碳储量均远大于景观观赏类灌木,杂草的种植面积和累计碳储量均高于芍药。灌木碳汇总和远大于乔木和草本,单棵吸收量最多的植物类型是灌木,其中碳吸收量最大的植物为沙棘。依据测算结果以及 2025 年矿山碳汇区域规划,对矿山综合体进行碳汇分区。针对不同分区的特点及功能,选取不同的碳增汇策略,提出具体的植物种植选择及建议。

**关键词:**植物碳汇;植物碳储量;碳汇效益;矿山生态修复;东明煤矿;呼伦贝尔

中图分类号:X173

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)05-0023-8

## 0 引言

矿山生态修复作为煤炭企业的未来发展方向,是生态文明建设的一项重要内容<sup>[1]</sup>。针对矿山生态修复问题,党的二十大提出“发展绿色低碳产业,健全资源环境要素市场化配置体系,加快节能降碳先进技术的研发和推广应用”<sup>[2]</sup>;自然资源部在《关于探索利用市场化方式推进矿山生态修复的意见》中明确“为加快推进矿山生态修复工作,以政策鼓励和措施促进矿山生态修复工作,通过多种渠道吸引资金投入”<sup>[3]</sup>。

目前,我国煤炭企业矿山修复进程取得了历史性成就,实施了 49 个历史遗留矿山修复示范工程,累计完成历史遗留废弃矿山治理面积 480 万亩。然而,相较于对废弃矿山的生态修复,生产矿山存在生态修复与资源开发之间的矛盾以及达到碳中和目标的挑战<sup>[4]</sup>。针对生产矿山的生态修复问题,国务院办公厅发布《关于鼓励和支持社会资本参与生态保护修复的意见》,提出

实施地质灾害隐患治理、矿山破坏土地植被修复、破坏生态单元修复、修复后生态系统重建、合理开展生态利用、参与绿色矿山建设等,提高节约集约利用矿产资源水平<sup>[5]</sup>。此外,国家发展改革委、国家能源局在《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》中提出,完善煤矸石、矿井水、煤矿井下抽采瓦斯等资源综合利用及矿区生态治理与修复支持政策,加大力度支持煤矿充填开采技术推广应用,鼓励利用废弃矿区开展新能源及储能项目开发建设<sup>[6]</sup>。作为矿山生态修复的重要目标,碳中和在促进矿山生产、优化矿山生产模式以及实现矿山环境可持续发展等方面具有引领作用<sup>[7]</sup>,所以研究碳汇效益在矿山生态修复中的作用是实现矿山可持续发展的重要内容<sup>[8]</sup>。

草原生态系统具有涵养水源、净化环境、防风固沙以及防治水土流失等重要的生态功能,同时,草原植物吸收大气中的二氧化碳( $\text{CO}_2$ )等温室气体,并将其固定在植被或土壤中,降低大气

中  $\text{CO}_2$  浓度<sup>[9]</sup>。我国西北地区,由于气候条件和土壤条件的影响,森林面积较小,草原植被对气候和土壤条件的适应能力较强,草原生态系统的功能更有利于区域自然环境的自我调节<sup>[9]</sup>。呼伦贝尔市东明矿山采用种植乔灌木和草本植物的方式开展了矿山生态修复工作,植物碳汇是其重要的碳汇核算对象,本文将对矿山植物碳储量与碳通量进行测算,并总结不同的植物碳汇效益,提出种植优化策略。

## 1 植物碳汇核算方法

### 1.1 项目区概况

呼伦贝尔东明矿山于 2013 年开展绿色矿山建设,确定了“以绿色矿山建设带动矿业转型发展,推动矿产开发与环境保护相协调”的绿色矿业发展思路,攻克了寒区露天矿山生态修复难点工作,进行了寒区本土植被遴选、寒区植被引种驯化、土壤改良等多方面的基础研究,驯化并遴选出了乔木 19 种、灌木 15 种、观赏宿根花卉 12 种,形成了良好的生态修复效果。截止到 2021 年,完成生态修复的场地达 210 万平方米,到界排土场复垦率达到 100%。矿区种植樟子松、云杉、紫叶稠李、白桦、杨树、榆树 6 种乔木植物,沙棘、蒿柳、金叶榆、黄槐、榆叶梅、小叶丁香、四季玫瑰、天目琼花、金银忍冬、连翘、毛樱桃、刺榆 12 种灌木植物,芍药 1 种草本植物以及原有场地内的杂草。

植物碳储量是现有矿山中植物的碳元素的储备量,植物碳通量是一定时间内矿山植物碳储量的变化量,两者都可以用来描述植物碳汇的性质。因此本研究将分别测算矿山植物的碳储量和碳通量,并分析矿山植物碳汇效益。

### 1.2 植物碳储量实验方法

植物碳储量实验方法采用平均生物量法。对东明矿山生态修复林使用样方法进行群落因子调查<sup>[10]</sup>,并使用二元回归模型计算生态修复林的生物量。碳储量按生物量乘以转换系数 0.5 进行换算<sup>[11,12]</sup>,以此估算样地尺度和地区尺度植物碳储量。

样地采用随机设置“米”字形布局的 5 个正方形样方,每个样方大小为 5m × 5m,共布设样地 740 个。调查因子包括基本因子(地理坐标、海拔、坡度、坡向、坡位、土壤类型、土层厚度、盖度等)及生物因子(优势树种、平均年龄、株数或分枝数、地径、高度、冠幅等)<sup>[13]</sup>。按照生物量估算的“保守性”原则,调查在 7~8 月份开展。样地内分别选取乔木、灌木以及草本植物,测量高度、冠幅、平均地径,进行破坏性采样,分别称取根、干、枝、叶的鲜重及烘干后恒重,计算各部位含水率,并结合鲜质量测定值换算成干质量。

使用植冠面积或植冠投影体作为生物模型量计算基础<sup>[14]</sup>,植冠投影体积的计算公式为:

$$V_c = A_c \times h \quad (1)$$

其中,  $V_c$ ——植冠投影体积,  $\text{m}^3$ ;  $A_c$ ——植冠面积,  $\text{m}^2$ ;  $h$ ——植物高度,  $\text{m}$ 。

植冠面积的计算公式为:

$$A_c = 1/4\pi C_1 C_2 \quad (2)$$

其中,  $C_1, C_2$ ——南北和东西方向的冠幅长度,  $\text{m}$ 。

最终得到以植冠投影体积作为自变量因子建立的“生物量—植冠投影体积”的二元方程:

$$y = aV_c^2 + bV_c + C \quad (3)$$

其中,  $y$ ——单位植株生物量,  $\text{g}$ 。

### 1.3 植物碳通量实验方法

选用动态箱式法对研究区域内植物进行碳通量的测算<sup>[15]</sup>。实验地点选址主要为矿山外排土场与 666 平台,其中外排土场主要种植沙棘、芍药、黄槐等植被,666 平台主要种植云杉、沙棘、毛樱桃等植被。整体实验流程包括箱体搭建、仪器放置、浓度测量、能力推算、比较分析。箱体搭建主要依靠木方作为骨架以支撑整体结构,顶部为 1m × 1m 透明亚克力板,便于阳光直接照射到植物体上,以免植物的光合作用受到干扰;并且顶部留有一定坡度,避免在降雨时造成顶部积水的现象;箱体的四周运用大棚膜进行包裹,底部进行覆土隔绝空气,保证箱体整体的气

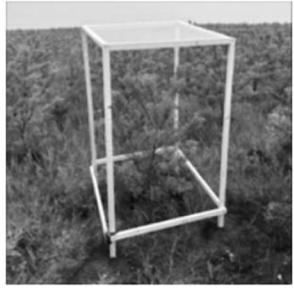
不同植物	修复时间	种植地点	基础对照
16种不同种类植物 沙棘、蒿柳、樟子松、云杉、四季玫瑰、榆叶梅、连翘、忍冬、小叶丁香、毛樱桃、天目琼花、紫叶稠李、黄槐、666平台草本、杂草、刺榆	4年沙棘与9年沙棘	沙棘种植地点：排土场平台与边坡；组合种植类型	设置以土壤与杂草为主的对照组
			

图 1 实验分组

密性。实验采用仪器对于箱体内部碳浓度、温度以及湿度进行实时监测。如图 1 所示,整体实验分为 4 组。首先对 16 种不同品种的植物进行碳通测算,其中一组包含以土壤与杂草为主的对照组;根据场地沙棘的修复时间分类,对于 4 年和 9 年沙棘分别进行测算;针对沙棘本身种植地点的不同,对于排土场平台以及边坡两地的沙棘进行分别测算。单位植株每日碳通量计算公式为<sup>[16]</sup>：

$$F = V\Delta C/\Delta t \quad (4)$$

其中, $F$ ——碳通量,g; $V$ ——箱体体积, $m^3$ ; $\Delta C$ ——二氧化碳浓度差, $\mu L^{-1}$ ; $\Delta t$ ——采样时间间隔,min。

## 2 植物碳汇测算结果

### 2.1 植物碳储量测算结果

矿山综合体 21966 棵乔木共提供了 293.83t 的碳储存量,生态修复类乔木共提供了 73.6t 的碳储量,绿化观赏类乔木共提供了 220.17t 碳储量。如表 1 所示,生态修复类乔木的数量远大于绿化观赏类乔木,但碳储量相对较少。就生态修复类乔木而言,云杉提供了远高于樟子松与紫叶稠李的单棵碳储量,具有较好的单位重量碳储存能力。绿化观赏类乔木因树高与胸径均较大,因而在碳储量的计算中提供了更高的碳储量,其中杨树的单棵碳储量和累计碳储量最高。

表 1 矿区乔木植物碳储量

植物功能类型	植物种类	数量(棵)	单棵碳储量(g)	累计碳储量(t)
生态修复类	樟子松	8006	3708	5.67
	云杉	6794	8323	56.54
	紫叶稠李	4442	2574	11.43
	杨树	2483	84500	209.81
绿化观赏类	白桦	175	51000	8.92
	榆树	66	21880	1.44
合计		21966		293.83

表 2 矿区灌木植物碳储量

植物功能类型	植物种类	数量(棵)	单棵碳储量(g)	累计碳储量(t)
生态修复类	沙棘	302536	4542	778.72
	蒿柳	50000	2574	227.13
	黄槐	10398	3520	36.60
	小叶丁香	82078	526	43.19
	榆叶梅	23745	686	16.30
	四季玫瑰	9848	1176	11.59
景观观赏类	连翘	8176	1228	10.04
	刺榆	13600	522	7.11
	金银忍冬	2126	1370	2.91
	毛樱桃	4436	375	1.67
	天目琼花	2200	687	1.51
	金叶榆	1062	522	0.55
合计		510205		1137.33

矿山综合体 510205 棵灌木提供了 1137.33t 碳储量, 生态修复类 386679 棵植物共提供 1058.76t 碳储量, 景观观赏类 123526 棵灌木共提供 58.57t 碳储量。如表 2 所示, 生态修复类灌木的单棵碳储量和累计碳储量都远大于景观观赏类灌木。其中, 沙棘种植数量最多, 提供了 778.72t 累计碳储量, 超过了累计碳储量总和的 50%。此外, 蒿柳、黄槐、四季玫瑰、金银忍冬与连翘均具有较高的单棵碳储量。

矿山综合体草本共具有 984.76t 碳储存。基底类的杂草共累计碳储量 841.18t, 荷药累计 143.58t。如表 3 所示, 荷药的单位面积碳储量

高于杂草, 为 754g, 但是种植面积远低于杂草, 其碳存储的作用较低。

## 2.2 植物碳通量测算结果

如表 4 所示, 矿山整体植物碳汇总和为 1791.86t, 灌木碳汇总和远大于乔木和草本, 为 1202.69t。单棵吸收量最多的植物类型是灌木, 其中碳吸收量最大的植物是沙棘, 其次是黄槐。乔木中紫叶稠李单棵碳吸收量最大, 为 4.88g。灌木中的丛生金叶榆以及草本的荷药的单棵碳吸收量最小。

比较不同种植年份、不同种植地点的沙棘碳

表 3 矿区草本植物碳储量

植物种类	数量( $m^2$ )	单位面积碳储量(g)	累计碳储量(t)
荷药	190100	754	143.58
杂草	2100000	400	841.18
合计	2290100		984.76

表4 矿山植物碳通量

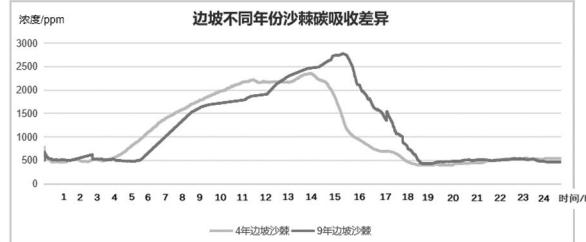
植物种类	数量(棵) (草本单位 为m <sup>2</sup> )	单棵吸 收的碳 (g)	总吸收碳 (kg)	一年吸收 碳(t)	乔灌草单 株碳汇(g)	乔灌草碳汇 总和(t)	总计(t)
乔木	樟子松	8006	2.76	22.11	8.07		
	云杉	6794	3.26	22.16	8.09	10.90	24.07
	紫叶稠李	4442	4.88	21.67	7.91		
	沙棘	302536	9.03	2731.90	997.14		
	蒿柳	50000	3.40	170.20	62.12		
	金叶榆	1062	0.74	0.79	0.29		
	黄槐	10398	7.59	78.89	28.80		
	榆叶梅	23745	3.36	79.78	29.12		
	小叶丁香	82078	2.52	207.00	75.56	32.44	1202.69
	四季玫瑰	9848	1.61	15.81	5.77		
灌木	天目琼花	2200	1.63	3.58	1.31		
	金银忍冬	2126	1.84	3.91	1.43		
	毛樱桃	4436	0.72	3.17	1.16		
	芍药	190100	0.53	101.32	36.98	1.22	565.10
	杂草	2100000	0.69	1446.90	528.12		

吸收量,如图2(a,b)所示,不同种植地点的9年沙棘碳吸收量比4年沙棘碳吸收量高,说明沙棘的碳吸收量可能与其自身生长年份有正向关系。比较两个不同种植地点的沙棘,在边坡种植的沙棘碳储量大幅度高于在平台种植的沙棘,说明边坡的生长环境更加有利于植物的碳吸收,这可能与其土壤成分、日照时间以及地形坡度等因素有关。综上,沙棘既是最适应场地环境的植物,也是碳吸收能力最强的植物,因此,在后期种植或者传播过程中,可注重沙棘的应用。

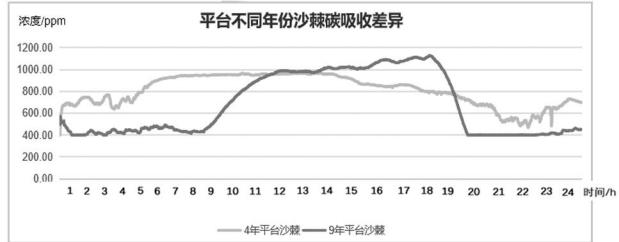
### 3 结论与建议

矿山碳储量测算中,绿化观赏类乔木数量不及生态修复类乔木,但单棵碳储量远大于生态修复类乔木。生态修复类灌木的单棵碳储量和累计碳储量都远大于景观观赏类灌木。杂草的种植面积和累计碳储量都高于芍药。碳通量测算中,灌木碳汇总和远大于乔木和草本,单棵吸收量最多的植物类型是灌木,其中碳吸收量最大的植物是沙棘。

结合碳储量和碳通量的测算,分区种植策略



(a) 边坡不同年份沙棘碳吸收差异



(b) 平台不同年份沙棘碳吸收差异

图2 沙棘碳吸收量比较

和建议可以从二方面入手:(1)东明矿山建设以灌木为主的生态修复林具有更高的碳汇潜力,通过人工抚育和管理,使其碳汇效益得到提升,同时在地理条件上,灌木作为地域优势树种更适宜生长,碳汇潜力高;(2)选用高碳汇植物替代低碳汇植物,提升整体碳汇水平,适应未来演替,对矿山规划起指导作用。

如图 3 所示,结合 2025 年矿山碳汇区域规划,将矿山综合体的碳汇分区分为了碳汇林休闲体验区、水生态治理示范区、可持续建设拓展区、产学研转化试验区、边坡碳汇林保护区、平台苗圃种植区 6 个分区。针对不同地区的特点及功能,选取不同的碳增汇策略,提出具体的植物种植选择及建议。

(1) 碳汇林休闲体验区功能主要以休闲、景观、生态为主,宜着重于人工林的保护及退化人工林的修复工作。可采取抚育间伐措施,并增加有发达根系、生长 2 年、有着合理高径比的沙棘等灌木植物以保持水土。推荐采用高中低的群落层次,种植以灌木为主的“乔-灌-草”植物搭配,具体可选植物有樟子松、云杉、沙棘、小叶丁香、毛樱桃、榆叶梅、四季玫瑰、天目琼花、金娃萱草、苜蓿。

(2) 水生态治理示范区功能主要以示范、科研、生态为主,宜着重于人工林的保护及退化人工林的修复工作。可通过控制天然植被与人工植被比例并采取相关措施促进中幼林复壮,以提升人工林的碳汇能力。可选用兼具景观和碳汇双重效益的适合在水边生长的植物,发展以灌木丛为主的种植模式,植物可选择紫叶稠李、小叶丁香、金银忍冬、榆叶梅、蒿柳、芦苇。

(3) 产学研转化试验区功能主要以示范及科研为主,宜着重于人工林的保护及退化人工林的修复工作。可采取抚育间伐措施,对中幼龄林进行相关复壮工作。可采用高中低的群落层次,选用景观效益较高的植物美化环境,实施以乔木为主体的“乔-草”或者“乔-灌-草”种植模式,提升整体景观效益的同时增强场地的碳汇能力,植物可选择樟子松、紫叶稠李、黄槐、金叶榆、沙棘、金银忍冬、连翘、四季玫瑰、萱草。

(4) 平台苗圃种植区功能主要以景观、生态、休闲为主,考虑到苗圃成熟后移栽至规划区,为后续植物种植选择提供参考,宜着重于林分结构的优化及退化人工林的修复工作。可通过种植蒿柳、樟子松、云杉等多种树种形成混交林,混交度在 0.75 左右,树种间实现合理竞争并对中

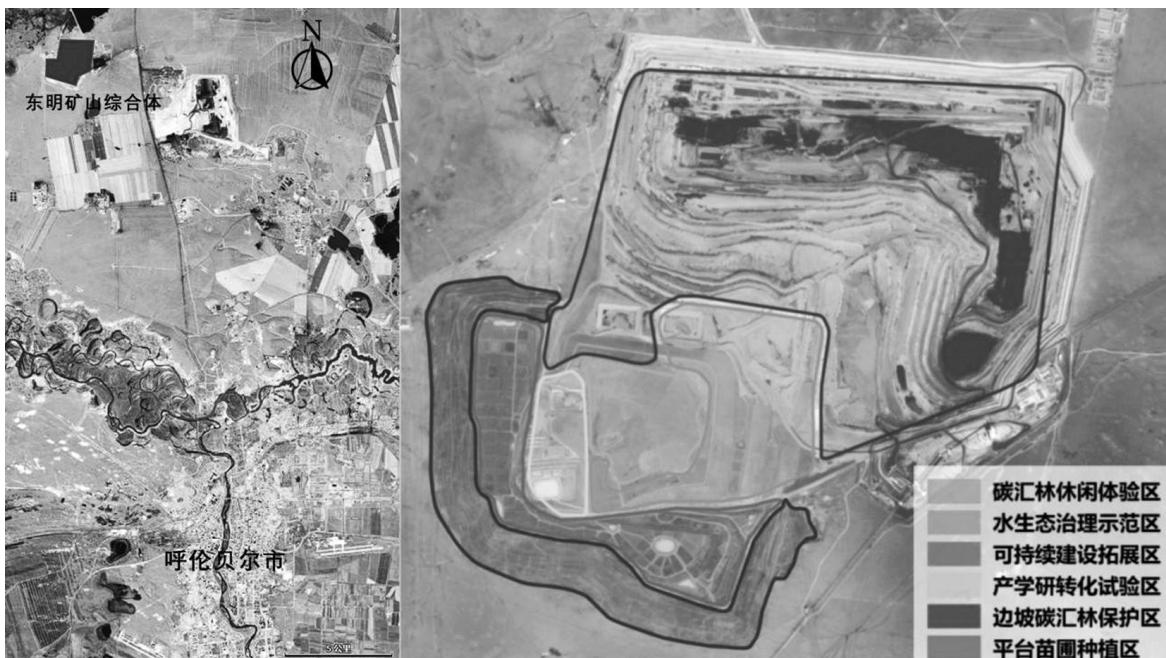


图 3 东明矿山综合体 2025 年碳汇分区

幼林进行复壮以提升碳汇潜力。可采用高中低的群落层次,在良好碳汇能力前提下充分优化观赏效果,考虑到苗圃成熟后移栽到规划区域,该片区可选取碳汇能力较强的植物以提供后备资源,植物可选择樟子松、云杉、黄槐、沙棘、小叶丁香、金银忍冬、四季玫瑰、虞美人、金娃娃萱草、芍药。

(5)边坡碳汇林保护区功能主要以可持续发展、生态、示范为主,采取植物轮作模式,宜着重于林分结构的优化并加强当地树种选育。可通过种植混交林使树种间形成合理竞争,并通过种植苜蓿、沙棘等作物改良土壤,保持水土。可种植具有景观和碳汇双层效益的植物,实现边坡美化,以“灌-草”种植模式为主,在地势较为平坦的地区可种植樟子松等乔木预防水土流失,植物可选择樟子松、沙棘、黄槐、小叶丁香、苜蓿。

(6)可持续建设拓展区功能主要以可持续发展、生态、示范、科学为主,宜着重于林分结构的优化和人工林的生态保护。可通过改善砍伐方式、种植混交林使植物间形成良性竞争,以此提高碳汇水平。推荐优先种植苜蓿等修复类植物,土壤修复后选用高碳汇灌木或乔木,具体可选植物有樟子松、云杉、紫叶稠李、沙棘、苜蓿。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘向敏.生态产品价值实现视域下矿山废弃地生态修复与重建[J].中国矿业,2020,29(11):72-75+81.
- [2] 习近平.高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[J].中国人大,2022,(21):6-21.
- [3] 自然资源部.关于探索利用市场化方式推进矿山生态修复的意见[J].有色冶金节能,2019,35(06):3+7.
- [4] 孟文文,李鹏,李颂.我国绿色矿山建设制度规范体系及发展趋势研究[J].中国矿业,2023,32:1-9.
- [5] 国务院办公厅.关于鼓励和支持社会资本参与生态保护修复的意见[J].中华人民共和国国务院公报,2021,(33):17-21.
- [6] 国家发展改革委,国家能源局.关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见(发改能源〔2022〕206号)[A/OL].(2022-02-11).[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/11/content\\_5673015.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/11/content_5673015.htm)
- [7] 韩丹丹.碳中和目标背景下矿山生态修复的路径选择[J].世界有色金属,2024,(06):156-158.
- [8] 顾清华,李学现,卢才武,等.“双碳”背景下露天矿智能化建设新模式的技术路径[J].金属矿山,2023,(05):1-13.
- [9] 尉迟文思,郝伟罡,刘春林.我国草原生态系统碳储量现状浅析[J].内蒙古水利,2021,(12):12-14.
- [10] 付达夫.西藏自治区灌木林碳储量估算[J].中南林业调查规划,2014,33(04):4-7.
- [11] 邹佳勇.森林生态系统碳储量和固碳能力研究进展[J].中国林业经济,2017,(04):74-75.
- [12] 徐天蜀.基于遥感信息的森林生物量、碳储量估测技术研究[J].林业调查规划,2008,(03):11-13.
- [13] 彭泰来,刘金山,汪瑾,等.西藏人工灌木林碳储量研究[J].中南林业调查规划,2019,38(03):48-51.
- [14] Ma R, Zhang Y, Ciais P, et al. Stepwise calibration of age-dependent biomass in the integrated biosphere simulator (IBIS) model[J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2024, 16.
- [15] Chendev Y G, Sauer T J, Ramirez G H, et al. History of East European Chernozem Soil Degradation; Protection and Restoration by Tree Windbreaks in the Russian Steppe [J]. Sustainability, 2015, 7: 705-724.
- [16] 郭明朋,陈爱军,李东升,等.一种林木微观碳汇计量同化箱装置的设计[J].湖北农业科学,2016,55(05):1291-1294.

作者简介：

第一作者：钟晓勇，1985 年生，男，甘肃陇南人，硕士，云南中寮矿业开发利用有限公司，主要研究方向为地球化学。Email: zxyxz618@163.com；

通讯作者：赵巍，1985 年生，女，吉林人，博士，哈尔滨工业大学建筑与设计学院，副研究员，主要研究方向为建筑技术科学。Email: zhaoweila@hit.edu.cn

## Research and Planting Optimization Strategy on the Benefit of Plant Carbon Sequestration in Mine Eco – Restoration: A Case Study of Dongming Green Mine Complex

ZHONG Xiaoyong<sup>1,2</sup>, WANG Jiangchao<sup>3</sup>, CHEN Junbin<sup>1</sup>, ZHAO Ronghua<sup>1</sup>, YAN Xi<sup>1</sup>, ZHAO Wei<sup>3\*</sup>

(1, Hulunbuir Dongming Mining Co., Ltd, Hulunbuir 021506, China;

2, Yunnan Zhongliao Mining Development and Investment Co., LTD, Kunming 650228, China;

3, School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology,

Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology,

Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The average biomass method and dynamic box method were used to calculate the carbon storage and carbon flux of plants in the ecological restoration project of Dongming green mine complex. The results showed that the carbon storage per tree of greening ornamental trees was much larger than that of ecological restoration trees, the carbon storage per tree and cumulative carbon storage of ecological restoration shrubs were much larger than that of landscape ornamental shrubs, and the planting area and cumulative carbon storage of weeds were higher than that of *Paeonia lactiflora*. The total amount of carbon in shrub is much larger than that in arbor and herb. The plant type with the largest amount of carbon absorption per tree is shrub, and the plant with the largest amount of carbon absorption is sea – buckthorn. According to the calculation results and the 2025 mine carbon sink regional plan, the mine complex will be zoned for carbon sink. According to the characteristics and functions of different zones, different carbon sequestration strategies are selected, and specific plant planting options and suggestions are proposed.

**Key words:** plant carbon sequestration; plant carbon storage; benefits of carbon sequestration; ecological restoration of mines; Dongming Coal Mine; Hulunbuir

# 黑龙江省粮食生产及影响因素分析

姜 涛<sup>1</sup>, 王峭然<sup>1</sup>, 宋英赫<sup>1\*</sup>, 韩 琳<sup>2</sup>, 梁 晨<sup>1</sup>, 姜造宇<sup>3</sup>, 郑秀翠<sup>4</sup>

(1. 黑龙江省国土空间规划研究院, 哈尔滨 150090;  
2. 黑龙江省本原国土资源勘测规划技术服务中心有限公司, 哈尔滨 150090;  
3. 铁力市国土空间规划服务中心, 黑龙江 铁力 152599;  
4. 铁力市水利技术综合服务中心, 黑龙江 铁力 152599)

**摘要:**为探讨黑龙江省 1990–2022 年期间粮食生产能力及影响因素, 本研究基于统计年鉴数据, 分析黑龙江省粮食生产能力及变化情况, 探明粮食生产发展阶段; 结合新质生产力, 从劳动者、劳动资料、劳动对象等角度构建指标体系, 采用主成分分析法探讨粮食生产影响因素, 并提出发展建议。主要结论如下: (1) 粮食总产量呈现先增长后稳定趋势; 粮食播种面积呈现先稳定后增长再稳定趋势; 粮食单产呈现先增长后稳定再增长再稳定趋势; (2) 粮食总产量的增加主要是由于高产作物产量增加以及高产作物播种面积扩大; 黑龙江省高产作物种类较少, 粮食单产与南方省份差距较大; 粮食结构发生变化, 由 1990 年七大作物变为 2022 年玉米、水稻和大豆三大作物, 粮食作物种类减少、种植结构多样性降低; (3) 在 1990 年至 2015 年粮食产量增长受生产资料与生产对象的影响较大; 从 2016 年至 2022 年粮食产量趋于稳定时受劳动者和生产资料的影响较大, 逐渐摆脱生产对象的影响。并从加快发展新质生产力角度提出对策建议。

**关键词:**黑龙江省; 粮食生产; 影响因素; 主成分分析; 新质生产力

中图分类号:F326. 11

文献标志码:A

文章编号:1627-2736(2024)05-0031-12

## 0 引言

2023 年 9 月, 习近平总书记考察黑龙江省时强调, “黑龙江要当好国家粮食安全‘压舱石’”, 并首次提出“加快形成新质生产力”。然而, 受气候变化影响, 极端天气频率增加, 各类自然灾害频发, 近年来的多项研究证实, 中国粮食产量增速逐年放缓、增长乏力<sup>[1-3]</sup>。因此, 如何在多种不确定因素影响下, 提高粮食生产全要素生产率, 以保障国家粮食安全, 是现今亟需解决的问题。

黑龙江省 2022 年粮食产量 7763.1 万 t, 占全国粮食产量的九分之一, 实现了粮食生产“19 连丰”, 农业科技进步贡献率达 69.8%, 农作物耕种收综合机械化率在 98% 以上, 是国家重要的商品粮生产基地, 也是“中华大粮仓”。但在取得巨大成绩的同时也应该看到一些问题, 据统

计年鉴数据显示, 自 2015 年以后, 粮食产量、播种面积和粮食单产增速均放缓, 粮食产量、播种面积和粮食单产在 2016 年等个别年份甚至出现下降的现象; 种植结构方面, 玉米等高产作物产量、播种面积大幅下降, 黑龙江粮食增产速度遇到瓶颈。

1990 年 5 月, 农业部推出了以无污染、安全、优质、营养为基本特征的绿色食品, 推进绿色食品工程建设, 并率先在黑龙江、新疆、云南、广东、海南等全国五大垦区试点开发绿色食品。自 1990 年以来, 黑龙江省农业产业结构逐年调整, 粮食种植结构逐渐发生改变。为此, 本文基于统计年鉴数据, 分析 1990 年至 2022 年共 33 年间黑龙江省粮食产量、播种面积、粮食单产、种植结构等内容, 并结合新质生产力<sup>[4]</sup>, 从劳动者、劳动资料、劳动对象三个角度探讨粮食生产影响因素, 以期为破解粮食生产的瓶颈问题提供数据参考和研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

黑龙江省地貌特征为“五山一水一草三分田”，夏季温热多雨，冬季干燥寒冷，全省年平均气温多在 1 - 6℃ 之间，多年平均降水量介于 300 - 700mm 之间，年日照时数多在 2300 - 2600h 之间，境内水资源丰富，年平均水资源量 810 亿 m<sup>3</sup>。黑龙江省 2022 年耕地面积 1713 万 hm<sup>2</sup>，典型黑土区耕地占全国 56.1%。2022 年粮食播种面积 1468.32 万 hm<sup>2</sup>，粮食产量 7763.1 万 t，均居全国第一。

### 1.2 数据来源与处理

数据来源于 1991 年至 2023 年的历年《黑龙江统计年鉴》《黑龙江省国民经济和社会发展统计公报》，以及《中国统计年鉴》和国家统计局官网 (<https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm>)。通过 Excel 软件等进行汇总统计和分析处理，利用 Origin 2017 软件进行制图表达。

### 1.3 研究方法

主成分分析法也称为主分量分析，是由 Pearson 首先引入，后经 Hotelling 发展而来，是为了消除因子间的多重共线性，基于降维处理的数学方法，选取少数在变量中信息量较大、相互独立且代表性较好、贡献作用较大的主成分组合成新的变量，用以分析事物变化<sup>[5,6]</sup>。利用 SPSS22.0 软件中分析工具—降维分析—因子分析模块中的主成分方法开展主成分分析。将 13 个二级指标作为变量，通过相关性矩阵分析，抽取基于特征值大于 1 的因子。并通过相关性矩阵中 KMO 和 Bartlett 的球形度检验开展模型适应性检验，KMO 度量值越接近于 1，表明数据越适用于因子分析。参考软件手册和相关文献，一般认为对于 KMO 度量值大于 0.50 且 Bartlett 球形度检验结果小于 0.05 的即可认为适用因子分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粮食生产分析

#### 2.1.1 粮食总产量分析

根据有关统计数据(图 1)，黑龙江省粮食总产量从 1990 年 2312.5 万 t 逐步增长到 2022 年 7763.1 万 t，年均增长 170.33 万 t；粮食产量占全国比重从 1990 年 5.18% 逐步增长到 2022 年 11.31%，超过九分之一，这意味着“中国人每 9 碗饭中就有 1 碗来自黑龙江”。黑龙江省粮食产量变化趋势总体呈现先增长后稳定态势，可分为三个阶段，第一个阶段在 1990 年至 2003 年为波动增长期，期间增加了 199.8 万 t，年均增长 14.3 万 t，在 1997 年达到本阶段顶峰 3104.5 万 t，粮食总产量虽有增长，但增长趋势较慢，且期间还出现波动期；第二个阶段在 2004 年至 2015 年为快速增长期，期间增加了 4480.8 万 t，年均增长 373.4 万 t，特别是 2010 年增速迅猛，最高年增长达 844 万 t；第三个阶段在 2016 年至 2022 年为稳定期，期间增加了 347 万 t，粮食总产量出现波动，总体稳定在 7500 万 t 以上。

黑龙江省主要种植水稻、小麦、玉米、大豆、谷子、高粱、薯类以及杂粮等粮食作物。从各作物产量来看，谷子、高粱、薯类和杂粮由于历年来产量占比均不高，占全省粮食产量比重均不超过 5%，因此本文主要分析水稻、小麦、玉米、大豆四类作物的产量变化情况。水稻产量从 1990 年 314.4 万 t 逐步增长到 2022 年 2718 万 t，年均增长 170.33 万 t，在 2021 年产量达到最高 2913.7 万 t，产量变化趋势与粮食总产量趋势基本一致；近年来产量总体稳定在 2700 万 t 左右，占全省粮食产量比重总体稳定在 35% 以上，占全国水稻产量比重总体稳定在 13% 左右。小麦产量从 1990 年 474.8 万 t 逐步减少到 2022 年最低 8.4 万 t，年均减少 14.1 万 t，33 年来小麦产量变化总体呈下降趋势；近年来小麦产量占全省粮食产量和全国小麦产量比重不超过 1%。玉米产量从 1990 年 1008.3 万 t 逐步增长到 2022 年 4038.4 万 t，年均增长 91.8 万 t，在 2015 年产量

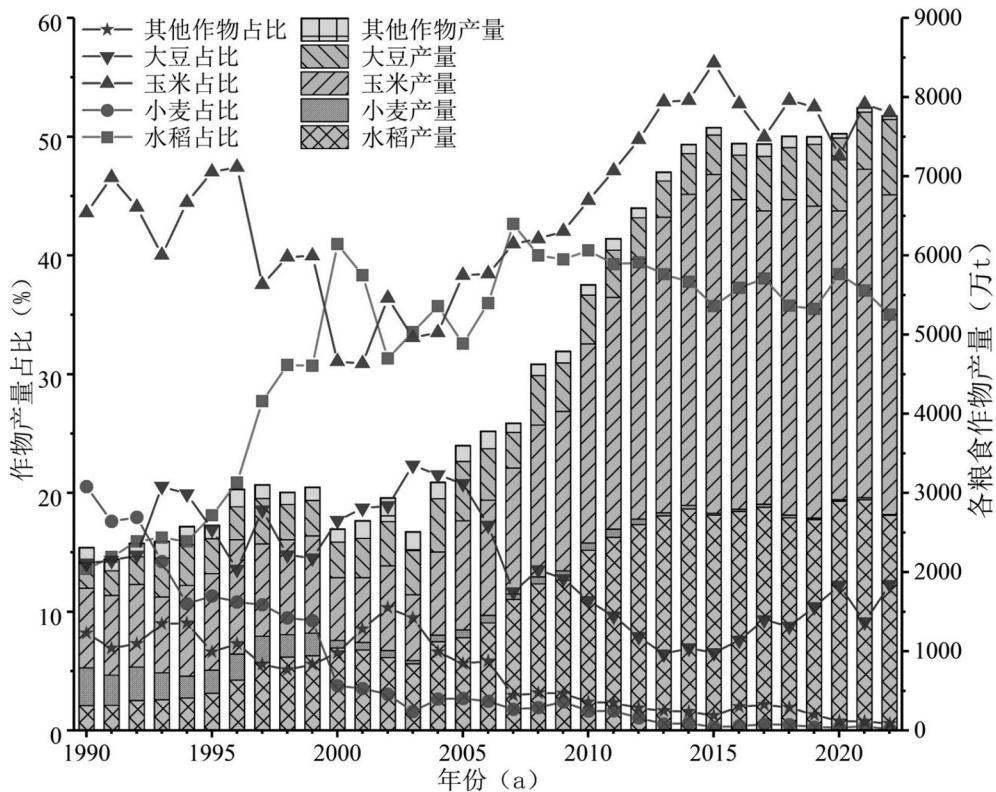


图 1 黑龙江省 1990 年—2022 年各粮食作物产量变化趋势图

达到最高 4280.2 万 t, 产量变化呈现先稳定后增加再稳定的态势; 近年来产量总体稳定在 3900 万 t 左右, 占粮食产量比重稳定在 50% 左右, 占全国玉米产量比重总体稳定在 15% 左右。大豆产量从 1990 年 325.8 万 t 逐步增长到 2022 年 953.4 万 t, 年均增长 19.1 万 t, 在 2022 年产量达到最高, 产量总体呈现波动增长的态势; 近年来产量总体稳定在 700 万 t 左右, 占全省粮食产量比重总体稳定在 10% 左右, 占全国大豆产量比重总体稳定在 45% 左右。

### 2.1.2 粮食播种面积分析

33 年来, 黑龙江省粮食播种面积从 1990 年 742 万  $\text{hm}^2$  逐步增长到 2022 年 1468.32 万  $\text{hm}^2$ , 年均增长 22 万  $\text{hm}^2$  (图 2)。粮食播种面积占全省农作物播种面积比重从 1990 年 86.69% 逐步增长到 2022 年 96.54%, 其中在 2019 年达到最高 97.07%; 占全国粮食播种面积比重从 1990 年 6.54% 逐步增长到 2022 年最高 12.41%。黑龙江省粮食播种面积变化趋势总体呈现先稳定

后增长再稳定的态势, 与粮食产量趋势一致, 可分为三个阶段, 第一个阶段在 1990 年至 2003 年为稳定期, 粮食总播种面积出现波动, 总体稳定在 750 万  $\text{hm}^2$  以上。第二个阶段在 2004 年至 2015 年为快速增长期, 期间增加了 606.7 万  $\text{hm}^2$ , 年均增长 55.2 万  $\text{hm}^2$ , 特别是 2004 年增速迅猛, 最高年增长达 167.3 万  $\text{hm}^2$ ; 第三个阶段在 2016 年至 2022 年为稳定期, 期间粮食总播种面积出现波动, 总体稳定在 1430 万  $\text{hm}^2$  左右。

从各粮食作物播种面积来看, 水稻播种面积从 1990 年 67.4 万  $\text{hm}^2$  逐步增长到 2022 年 360.14 万  $\text{hm}^2$ , 年均增长 8.9 万  $\text{hm}^2$ , 在 2014 年播种面积达到最高 396.8 万  $\text{hm}^2$ , 播种面积变化总体呈现先快速增长后缓慢降低的趋势; 近年来播种面积总体稳定在 380 万  $\text{hm}^2$  左右, 占全省粮食播种面积比重总体稳定在 25% 以上, 占全国水稻播种面积比重总体稳定在 12% 以上。小麦播种面积从 1990 年 178.1 万  $\text{hm}^2$  逐步减少到 2022 年最低 2.1 万  $\text{hm}^2$ , 年均减少 5.3 万  $\text{hm}^2$ ,

33年来小麦播种面积变化总体呈下降趋势;近年来小麦播种面积占全省粮食播种面积和全国小麦播种面积比重不超过1%。玉米播种面积从1990年216.9万hm<sup>2</sup>逐步增长到2022年597万hm<sup>2</sup>,年均增长11.5万hm<sup>2</sup>,在2015年播种面积达到最高736.1万hm<sup>2</sup>,播种面积变化呈现先稳定后快速增加再缓慢降低的态势;近年来播种面积总体稳定在550万hm<sup>2</sup>左右,占粮食播种面积比重稳定在40%左右,占全国玉米播种面积比重总体稳定在14%以上。大豆播种面积从1990年207.9万hm<sup>2</sup>逐步增长到2022年最高493.20万hm<sup>2</sup>,年均增长8.6万hm<sup>2</sup>,播种面积总体呈现先缓慢增长后快速降低再快速增长的态势;近年来播种面积总体稳定在400万hm<sup>2</sup>左右,占全省粮食播种面积比重总体稳定在30%左右,占全国大豆播种面积比重总体稳定在45%以上。

### 2.1.3 粮食单位面积产量分析

33年来,黑龙江省粮食单产从1990年1998kg/hm<sup>2</sup>逐步增长到2022年5287kg/hm<sup>2</sup>,年

均增长99.7kg/hm<sup>2</sup>,其中在2021年达到最高5407kg/hm<sup>2</sup>(图3)。黑龙江省粮食单产变化趋势总体呈现先增长后稳定再增长再稳定的态势,可分为四个阶段,第一个阶段在1990年至1996年为增长期,期间增加了791kg/hm<sup>2</sup>,年均增长131.8kg/hm<sup>2</sup>。第二个阶段在1997年至2006年为稳定期,期间粮食总单产出现波动,总体稳定在3600kg/hm<sup>2</sup>左右。第三个阶段在2007年至2014年为快速增长期,期间增加了1829kg/hm<sup>2</sup>,年均增长261.3kg/hm<sup>2</sup>。第四个阶段在2015年至2022年为稳定期,期间粮食总单产出现波动,总体稳定在5200kg/hm<sup>2</sup>以上。

从各粮食作物单产来看,水稻单产从1990年4658kg/hm<sup>2</sup>逐步增长到2022年最高7547kg/hm<sup>2</sup>,年均增长87.5kg/hm<sup>2</sup>,单产变化总体呈现先快速增长后稳定的趋势,近年来单产总体稳定在7000kg/hm<sup>2</sup>以上,近3年在7500kg/hm<sup>2</sup>左右。玉米单产从1990年4658kg/hm<sup>2</sup>逐步增长到2022年最高6764kg/hm<sup>2</sup>,年均增长63.8kg/hm<sup>2</sup>,单产变化呈现先快速增长后缓慢

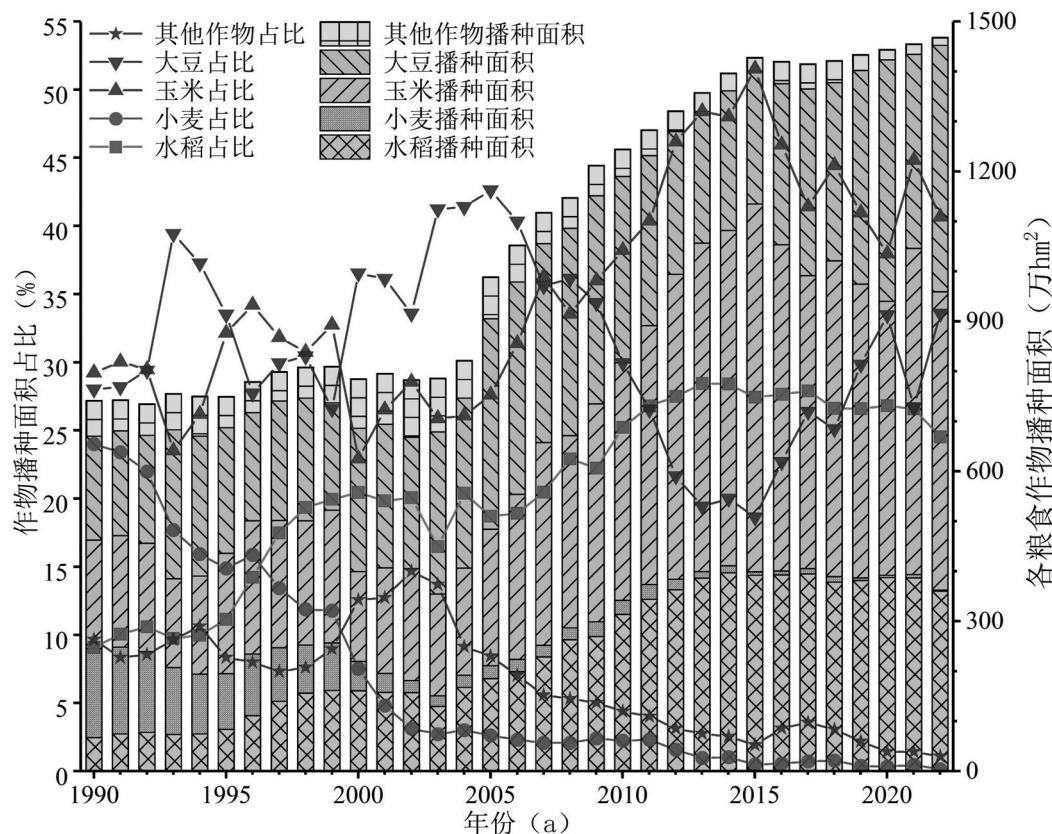


图2 黑龙江省1990—2022年各粮食作物播种面积变化趋势图

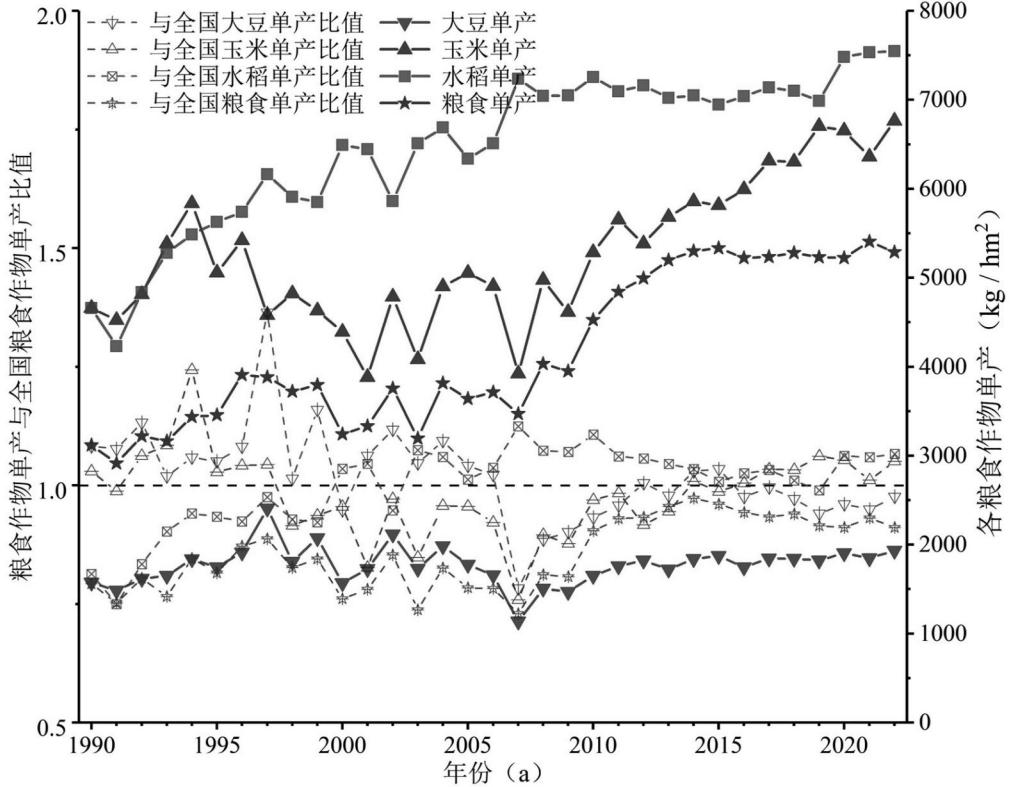


图3 黑龙江省1990年—2022年各主要粮食作物单产及与全国作物单产比值变化趋势图

降低再快速增长的态势,近年来单产总体稳定在 $6500\text{kg}/\text{hm}^2$ 左右。大豆单产从1990年 $1575\text{kg}/\text{hm}^2$ 逐步增长到2022年最高 $1933\text{kg}/\text{hm}^2$ ,年均增长 $10.8\text{kg}/\text{hm}^2$ ,单产总体呈现波动缓慢增长的态势,近年来单产总体稳定在 $1800\text{kg}/\text{hm}^2$ 以上。

从各粮食作物单产与全国各作物单产比值(省内各粮食作物单产与全国单产比值小于1即低于全国平均水平,反之比值大于1即高于全国平均水平)来看,粮食单产与小麦单产均低于全国平均水平;玉米单产略低于全国平均水平,33年间有15次超过全国平均水平;水稻、大豆、薯类略高于全国平均水平,33年间分别有21次、19次、17次超过全国平均水平,频率均超过了50%;谷子、高粱高于全国平均水平,33年间分别有24次、20次超过全国平均水平,频率均超过了60%。

#### 2.1.4 粮食生产分析

从各粮食作物产量来看,粮食总产量的增加主要是由于玉米、水稻两种作物产量的增加。从

1990年至2022年的33年间,粮食总产量增加了5450.6万t,玉米和水稻产量分别增加了3030.1万t、2403.6万t,二者合计增加5433.7万t,与粮食总产增加量基本一致。

从各粮食作物单产来看,高产作物种类较少。从1990年至2022年的33年间,虽然各作物单产涨幅均较大,除大豆外涨幅均为1990年单产的一倍以上,但是超过粮食平均单产的仅玉米和水稻两类,特别是水稻,超过了40%,玉米与水稻是黑龙江省的高产作物。从全国看,2022年黑龙江省玉米与水稻单产分别为 $6764\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $7547\text{kg}/\text{hm}^2$ ,虽略高于全国玉米与水稻单产的平均水平,但难以排在前列,南方部分地区(如安徽)晚稻单季亩产超过 $1000\text{kg}$ ( $15000\text{kg}/\text{hm}^2$ ),实现了“吨粮田”;在不考虑复种指数前提下,受自然条件影响,黑龙江省与南方省份差距仍较大。

从各粮食作物播种面积来看,高产作物面积增加是产量增加的原因之一。从1990年至2022年的33年间,粮食作物播种面积增长了736.52

万  $\text{hm}^2$ , 其中仅玉米、水稻和大豆 3 类作物实现了增长, 增加面积分别为 408.60 万  $\text{hm}^2$ 、339.14 万  $\text{hm}^2$  和 330.20 万  $\text{hm}^2$ , 其他作物播种面积均大幅减少。玉米和水稻是黑龙江省高产作物, 33 年间二者播种面积合计增加了 747.74 万  $\text{hm}^2$ , 与粮食播种面积增加量基本一致。这与粮食总产增加趋势也一致。

从各粮食作物种植结构来看, 粮食作物种类减少、种植结构多样性降低。1990 年玉米、大豆、小麦、水稻等作物播种面积占比分别为 29.23%、28.02%、24.0%、9.08%, 四类作物占总播种面积的 90.34%, 其他作物中谷子、高粱、薯类、杂粮等作物占比均在 2% 以上, 作物种类多、种植结构多样。到 2022 年玉米、大豆、水稻等作物播种面积占比分别为 40.66%、33.59%、24.53%, 三类作物占总播种面积的 98.78%, 其他作物中, 小麦、谷子、高粱、薯类、杂粮占比总和仅 1.22%, 作物种植结构多样性降低。

从上述粮食产量、播种面积、单产有关分析来看, 黑龙江省粮食产量和粮食播种面积均居全国第一, 但全省粮食平均单产反而低于全国平均水平; 从全国角度来看, “中华大粮仓”的地位主要依赖于粮食播种面积的扩大。黑龙江省现有三大粮食作物中, 玉米产量和播种面积均居省内第一, 但近年来呈下降趋势; 玉米单产虽总体较

国内平均水平略低, 但近年来有超过全国玉米单产的趋势。大豆产量和播种面积均居全国第一, 虽然总体呈下降趋势, 但近年来有增长趋势; 大豆单产较上世纪有所降低, 近年来总体维持全国平均水平; 另外玉米与大豆均为旱地作物, 二者出现“抢地”的现象, 由于国家扩种大豆的政策, 使得玉米播种面积出现下降现象。水稻是水田作物, 也是黑龙江省高产作物, 近年来水稻单产均超过国家平均水平, 水稻产量和播种面积均处于缓慢下降趋势, 黑龙江省内也开始出现“水改旱”现象。

## 2.2 粮食产量影响因素分析

### 2.2.1 指标选取

在传统粮食生产领域, 以农民个人或合作社以及单位为劳动者; 以农业机械、化肥、农药等资本和科技投入为劳动资料, 即生产资料; 以耕地以及各作物为劳动对象, 即生产对象。参照有关文献, 结合劳动者、劳动资料和劳动对象这生产力“三要素”, 从人口及劳动力素质、资本与科技投入、种植条件与结构等三方面选取 13 个指标建立黑龙江省粮食生产影响因素指标体系<sup>[7-10]</sup> (表 1)。13 个指标的数据均来源于统计年鉴, 采用归一化方法进行无量纲化处理。

表 1 黑龙江省粮食生产影响因素指标体系

序号	一级指标层	二级指标层	指标单位
X1		每万人在线大学生数	人
X2	人口及劳动力素质	乡村人口比重	%
X3		乡村从业人员	万人
X4		地方国有企事业单位中农业技术人员占比	%
X5		农业生产资料价格指数(1990 年 = 100)	—
X6		农业机械总动力	万千瓦
X7	资本与科技投入	化肥施用折纯量	万 t
X8		塑料薄膜使用量	万 t
X9		农药使用量	万 t
X10		水稻播种面积	万 $\text{hm}^2$
X11	种植条件与结构	玉米播种面积	万 $\text{hm}^2$
X12		大豆播种面积	万 $\text{hm}^2$
X13		受灾面积	万 $\text{hm}^2$

## 2.2.2 主成分分析结果

按照粮食产量和播种面积变化的三个阶段,利用 SPSS 软件运用主成分分析法分析 1990 年至 2003 年 14 年期间(第一阶段波动增长期)、2004 年至 2015 年 12 年期间(第二阶段快速增长期)以及 2016 年至 2022 年 7 年期间(第三阶段稳定期)共三个阶段的粮食生产影响因素。从总方差解释表(表 2)可以看出,第一阶段前 3 个主因子累积描述了原始指标信息量的 87.776%,第二阶段前 2 个主因子累积描述了总方差信息的 95.715%,第三阶段前 3 个因子累积描述了总方差信息的 92.424%。三个阶段均提取初始特征值大于 1 的主因子指标,提取的结果可用于分析。因此第一阶段、第二阶段和第三阶段可分别提取 3 个、2 个和 3 个主成分因子。

根据主成分载荷矩阵表(表 3),在 1990 年至 2003 年第一阶段波动增长期中,化肥施用折纯量、农药使用量、水稻播种面积在第一主因子中有较高的载荷,为正向系数;玉米播种面积在第二主因子中有较高的载荷,为负向系数;地方国有企事业单位中农业技术人员占比在第三主因子中有较高的载荷,为正向系数。因此化肥施用折纯量、农药使用量、水稻播种面积、地方国有企事业单位中农业技术人员占比与粮食生产呈正相关,表明化肥、农药的使用、水稻播种面积的扩大以及农业技术人员比重提升是这一时期粮食生产的重要影响因素;玉米播种面积呈负相关,表明玉米播种面积是粮食生产呈现波动变化的重要影响因素。

在 2004 年至 2015 年第二阶段快速增长期中,农业机械总动力、玉米播种面积、水稻播种面积、化肥施用折纯量在主因子一中有较高的载荷,为正系数,主因子一累积贡献率已超过 87%,已满足主因子提取标准。因此农业机械总动力、玉米播种面积、水稻播种面积、化肥施用折纯量与粮食生产呈正相关,表明农业机械化、化肥使用以及玉米、水稻播种面积的扩大是这一时期粮食生产快速增长的重要影响因素。

在 2016 年至 2022 年第三阶段稳定期中,乡村从业人员、农药使用量、乡村人口比重在主因子一中有较高的载荷,为正系数;农业机械总动力在主因子二中有较高的载荷,为负系数;水稻播种面积在主因子三中有较高的载荷,为正系数。因此乡村从业人员、农药使用量、乡村人口比重、水稻播种面积与粮食生产呈正相关,表明乡村从业人员、乡村人口比重、农药的使用以及水稻播种面积是这一时期粮食生产的重要影响因素;农业机械总动力呈负相关,表明农业机械化是粮食生产呈现波动变化的重要影响因素。

## 2.2.3 粮食生产影响因素分析

从上面三个阶段主成分分析结果可以看到,在 1990 年至 2003 年第一阶段粮食生产波动增长期,主要体现为农业技术人员比重等劳动者素质,化肥、农药等生产资料以及水稻、玉米播种面积等生产对象对粮食生产的影响;在 2004 年至 2015 年第二阶段粮食生产快速增长期,主要体现为农业机械化、化肥使用等生产资料的发展以及水稻、玉米播种面积等生产对象对粮食生产的影响;在 2016 年至 2022 年第三阶段稳定期,主要体现为乡村从业人员、乡村人口比重等人口及劳动力素质以及农药使用、农业机械化等生产资料对粮食生产的影响。从上述三个阶段主要影响因素来看,每个阶段生产力“三要素”对粮食生产有不同的影响。

以往粮食产量增长主要依赖于化肥、农业、农业机械化等资本投入以及科技水平的发展,以及水稻、玉米等高产作物播种面积的扩大,受生产资料与生产对象的影响较大<sup>[11]</sup>;在科技发展到一定水平、作物播种面积逐渐达到上限时,粮食产量趋于稳定,此时则主要依赖于乡村从业人员及人口比重等劳动力素质的提高,以及农药和农业机械化等生产资料的发展,受劳动者和生产资料的影响较大,逐渐摆脱生产对象的影响。

这与黑龙江省粮食生产实际情况相符,近年来,黑龙江省耕地面积达到峰值,特别是 2020 年耕地面积达到最顶峰,近年来甚至出现耕地减少的现象,粮食作物播种面积出现瓶颈。同时由于

表 2 总方差解释表

阶段	因子	初始特征值			提取载荷平方和		
		总计	方差百分比	累积 %	总计	方差百分比	累积 %
第一阶段	1	7.665	58.962	58.962	7.665	58.962	58.962
	2	2.596	19.970	78.932	2.596	19.970	78.932
	3	1.150	8.844	87.776	1.150	8.844	87.776
	4	0.717	5.517	93.293			
	5	0.452	3.480	96.772			
	6	0.297	2.286	99.058			
	7	0.068	0.525	99.583			
	8	0.034	0.259	99.843			
	9	0.009	0.070	99.913			
	10	0.007	0.058	99.970			
	11	0.003	0.026	99.996			
	12	0.000	0.004	100.000			
	13	0	0.000	100.000			
第二阶段	1	11.399	87.683	87.683	11.399	87.683	87.683
	2	1.044	8.031	95.715	1.044	8.031	95.715
	3	0.302	2.322	98.037			
	4	0.125	0.965	99.002			
	5	0.062	0.478	99.480			
	6	0.042	0.320	99.800			
	7	0.013	0.099	99.900			
	8	0.007	0.051	99.950			
	9	0.004	0.031	99.981			
	10	0.002	0.015	99.996			
	11	0.000	0.004	100.000			
	12	0	0	100.000			
	13	0	0	100.000			
第三阶段	1	8.570	65.920	65.920	8.570	65.920	65.920
	2	2.421	18.625	84.545	2.421	18.625	84.545
	3	1.024	7.879	92.424	1.024	7.879	92.424
	4	0.740	5.689	98.113			
	5	0.175	1.344	99.457			
	6	0.071	0.543	100.000			
	7	0	0	100.000			
	8	0	0	100.000			
	9	0	0	100.000			
	10	0	0	100.000			
	11	0	0	100.000			
	12	0	0	100.000			
	13	0	0	100.000			

表 3 主成分载荷矩阵表

指标		第一阶段			第二阶段			第三阶段		
		1	2	3	1	2	1	2	3	
每万人在线大学生数	X1	0.772	0.473	0.199	0.863	0.467	-0.878	0.351	0.215	
乡村人口比重	X2	-0.736	0.513	0.391	-0.975	0.048	0.968	0.151	-0.028	
乡村从业人员	X3	0.906	0.161	0.267	-0.867	0.451	0.987	0.061	-0.077	
地方国有企事业单位 中农业技术人员占比	X4	-0.554	0.036	0.689	0.979	0.042	0.241	0.777	-0.561	
农业生产资料价格指 数(1990 年 = 100)	X5	0.881	-0.360	-0.172	0.980	0.125	-0.905	0.409	0.004	
农业机械总动力	X6	0.885	0.313	0.282	0.997	0.038	-0.990	-0.031	0.107	
化肥施用折纯量	X7	0.964	-0.154	-0.142	0.986	0.130	0.616	0.696	0.141	
塑料薄膜使用量	X8	0.765	-0.482	0.154	0.976	0.093	0.961	-0.225	-0.118	
农药使用量	X9	0.959	0.088	0.163	0.970	0.194	0.969	0.085	-0.076	
水稻播种面积	X10	0.911	-0.135	0.231	0.988	0.118	0.696	-0.378	0.568	
玉米播种面积	X11	0.151	-0.925	0.195	0.989	0.065	0.322	0.716	0.391	
大豆播种面积	X12	0.514	0.681	-0.375	-0.847	0.376	-0.862	-0.333	-0.296	
受灾面积	X13	0.541	0.503	-0.014	-0.707	0.616	0.676	-0.436	-0.205	

黑龙江省自 2015 年实施减化肥、减农药、减除草剂的农业“三减”政策以来,化肥、农药对粮食产量的贡献率也逐渐降低<sup>[12]</sup>,逐步被农业机械等科技因素和劳动力素质所代替。

### 3 结论

本文基于历年《统计年鉴》和《统计公报》,分析黑龙江省 1990 年至 2022 年 33 年来粮食产量、播种面积、粮食单产、种植结构等粮食生产能力及变化情况,运用主成分分析法,结合新质生产力,从劳动者、劳动资料、劳动对象三个角度探讨粮食生产影响因素。主要结论如下:

(1) 粮食总产量近年来总体稳定在 7500 万 t 以上。变化趋势总体呈现先增长后稳定态势,可分为波动增长期(1990 年至 2003 年)、快速增长期(2004 年至 2015 年)和稳定期(2016 年至 2022 年)三个阶段。粮食播种面积近年来总体稳定在 1430 万 hm<sup>2</sup> 左右。变化趋势总体呈现先稳定后增长再稳定的态势,可分为稳定期(1990 年至 2003 年)、快速增长期(2004 年至 2015 年)和稳定期(2016 年至 2022 年)三个阶段。粮食单产近年来总体稳定在 5200 kg/hm<sup>2</sup> 以上。变

化趋势总体呈现先增长后稳定再增长再稳定的态势,可分为增长期(1990 年至 1996 年)、稳定期(1997 年至 2006 年)、快速增长期(2007 年至 2014 年)和稳定期(2015 年至 2022 年)四个阶段。

(2) 粮食总产量的增加主要是由于玉米、水稻等高产作物产量的增加;高产作物播种面积扩大是产量增加的原因之一;高产作物种类较少,仅玉米和水稻超过粮食单产平均水平,从全国角度看,粮食单产与南方省份差距较大;粮食结构来看,由 1990 年七大作物变为 2022 年玉米、水稻和大豆三大作物,粮食作物种类减少、种植结构多样性降低。

(3) 在 1990 年至 2015 年粮食产量增长受生产资料与生产对象的影响较大;2016 年至 2022 年粮食产量趋于稳定时受劳动者和生产资料的影响较大,逐渐摆脱了生产对象的影响。

### 4 建议与展望

新质生产力在粮食生产领域主要体现在拥有科技文化素质更高、粮食生产积极性更强的劳动者,以科技创新为驱动力的机械化、精准化、现

代化、智能化水平更高的劳动资料,以及更加集约化、标准化、规模化的劳动对象,以及三要素配置协同优化的新模式,通过提高粮食生产要素的质量,实现粮食单产水平的提升、生产成本的降低以及粮食综合生产能力的提高。在新时代,为适应新质生产力要求,粮食生产应当以科技创新为第一动力,以培育新技术人才为第一资源,以构建新型生产要素优化配置为重要抓手。

一是加快新型人才培育。更高素质的劳动者是新质生产力的第一要素,加大农业类科研院所的支持力度,从学习、科研、专业技能培养和新型人才管理等方面,建立新型农业人才的培养体系<sup>[13,14]</sup>。加强对农民以及合作社新型农艺技术、农业机械操作等农业技能以及无人机、数字化、人工智能等农业智能化手段的指导,促进农民素质素养全面提升。

二是加大科技研发力度。种子是农业的“芯片”,农业机械是农业发展的“动力”,要抓住种子和农机这两个科技要害,加大科技研发力量,联合高校与科研院所,通过产学研结合,培育高产稳产的种质资源,打破国外“卡脖子”技术垄断,整合物联网、大数据分析、卫星遥感和人工智能,加快新型农业机械及配套设备的研发,加大种业、农机等科技创新和创新成果应用,强化数字技术和生物技术赋能<sup>[15,16]</sup>。

三是加强要素配置协同。通过科技手段,加强种、水、土、肥、光、热、技、管等要素协同,做到精准化、标准化、智能化。建设国家农业高新技术产业示范区、高端智能农机装备研发推广应用先导区,推动数据要素与劳动力、资本等要素协同,以数据流引领技术流、资金流、人才流、物流流,促进生产工具创新升级,优化创新要素配置质量、模式和结构,实现更高级别生产要素形态组合,推动新质生产力加快发展,大幅提升资源配置效率和全要素生产率。

综上所述,本文分析了黑龙江省 1990 年至 2022 年间粮食生产变化情况及发展阶段,并分析了各阶段粮食生产影响因素,可为黑龙江省未

来粮食生产提供一定的借鉴。但对于空间变化情况、各区域情况以及各市县情况尚未加以深入的分析,在之后的研究中将逐步完善。

#### 参考文献(References) :

- [1] 孔祥斌.当前耕地保护面临的问题分析及对策研究 [J].中国土地,2020,38(12): 4 – 7.
- [2] 王晓君,何龙娟,王国刚.全球粮食不安全形势下保障中国粮食安全的逻辑思维与战略取向 [J].改革,2022,34(12): 66 – 77.
- [3] 张宁宁,李雪,吕新业,等.百年变局、世纪疫情背景下世界及中国粮食安全面临的风险挑战及应对策略 [J].农业经济问题,2022,42(12): 136 – 141.
- [4] 习近平经济思想研究中心.新质生产力的内涵特征和发展重点 [N].人民日报,2024 – 03 – 01 (009).
- [5] 刘浩然,吴克宁,宋文,等.黑龙江粮食产能及其影响因素研究 [J].中国农业资源与区划,2019,40(07): 164 – 170.
- [6] 李正,李锐峰.基于主成分分析法的黑龙江垦区粮食生产影响因素研究 [J].广东蚕业,2022,56(07): 111 – 113.
- [7] 刘阁.黑龙江省粮食生产的时空格局及增产因素分析[D].东北农业大学,2014.
- [8] 胡彩霞.我国粮食综合生产能力影响因素及提升路径研究[D].四川大学,2022.
- [9] 叶妍君,齐清文,姜莉莉,等.基于地理探测器的黑龙江垦区农场粮食产量影响因素分析 [J].地理研究,2018,37 (01): 171 – 182.
- [10] 付晶莹,郜强,江东,等.黑土保护与粮食安全背景下齐齐哈尔市国土空间优化调控路径 [J].地理学报,2022,77 (07): 1662 – 1680.
- [11] 李静.黑龙江省粮食生产影响因素研究[D].东北农业大学,2014.
- [12] 陈凯.黑龙江省粮食生产时空格局变化及影响因素研究[D].东北农业大学,2023.
- [13] 周洁.以新质生产力保障粮食安全:内在逻辑、机遇挑战与对策建议 [J].经济纵横,2024,39(03): 31 – 40.
- [14] 朱晶,李天祥.中国式现代化下的粮食安全:目标

- 任务、转型挑战与实现路径 [J]. 学海, 2024, 34(02): 85 – 97.
- [15] 李盛竹, 薛枫, 姜金贵. 农业数字化对中国粮食新质生产力的影响效应研究 [J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(04): 435 – 445.
- [16] 王箫轲, 陈杰. 新质生产力赋能国家粮食安全: 理论逻辑、现实挑战与践行路径 [J]. 当代经济管理, 2024, 46(07): 52 – 62.

---

作者简介:

第一作者: 姜涛, 1993 年生, 男, 湖南澧县人, 硕士, 黑龙江省国土空间规划研究院, 工程师, 主要研究方向为耕地保护与生态修复。Email: 732442062@qq.com;

通讯作者: 宋英赫, 1983 年生, 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 黑龙江省国土空间规划研究院, 高级工程师, 主要研究方向为耕地保护和自然资源大数据管理等。Email: 359826202@qq.com

---

## Analysis of Grain Production and Influencing Factors in Heilongjiang Province

JIANG Tao<sup>1</sup>, WANG Qiaoran<sup>1</sup>, SONG Yinghe<sup>1\*</sup>, HAN Lin<sup>2</sup>,  
LIANG Chen<sup>1</sup>, JIANG Zaoyu<sup>3</sup>, ZHENG Xiucui<sup>4</sup>

(1. Heilongjiang Provincial Research Institute of Spatial Planning, Harbin 150090, China;  
2. Heilongjiang Provincial Benyuan Land and Resources Survey and Planning Technical Service Center Co.,  
Ltd, Harbin 150090, China;  
3. Tieli Municipal Service Centre of Spatial Planning, Tieli 152599, China;  
4. Tieli Municipal Integrated Service Center of Water Conservancy Technology, Tieli 152599, China)

**Abstract:** To explore the grain production capacity and influencing factors in Heilongjiang Province from 1990 to 2022, this study analyzed the grain production capacity and changes in Heilongjiang Province based on statistical yearbook data, and explored the development stages of grain production; Based on the new quality productivity, an indicator system is constructed from the perspectives of laborers, labor materials, and labor objects. Principal component analysis is used to explore the influencing factors of grain production, and development suggestions are proposed. The results were summarized as follows: (1) The total grain output shows a trend of first increasing and then stabilizing; The planting area of grain shows a trend of first stabilizing, then increasing, and then stabilizing again; The yield of grain shows a trend of first increasing and then stabilizing, then increasing and then stabilizing again; (2) The increase in total grain production is mainly due to the increase in high - yield crop yields and the expansion of high - yield crop sowing areas; There are relatively few high - yield crop species in Heilongjiang Province, and there is a significant gap in grain yield compared to southern provinces; The grain structure has changed from the seven major crops in 1990 to the three major crops of corn, rice, and soybeans in 2022, with a reduction in the variety of grain crops and a decrease in the diversity of planting structures; (3) The growth of grain production from 1990 to 2015 was greatly influenced by the means of production and the objects of production; From 2016 to 2022, when grain production tends to stabilize, it is greatly influenced by laborers and means of production, gradually getting rid of the influence of production objects. And propose countermeasures and suggestions from the perspective of accelerating the development of new quality productivity.

**Keywords:** Heilongjiang Province; grain production; influencing factors; principal component analysis; new quality productive forces

# 基于局部气候分区的城市土地覆盖分类制图

王雷<sup>1</sup>, 王延亮<sup>1\*</sup>, 梅晓丹<sup>1</sup>, 李德堡<sup>2</sup>

(1. 黑龙江工程学院测绘工程学院, 哈尔滨 150050;  
2. 黑龙江省本原国土资源勘测规划技术服务中心有限公司, 哈尔滨 150090)

**摘要:**研究目的:局部气候分区(Local Climate Zone, LCZ)最初被提出,其目的在于为城市热岛研究贡献一种跨学科的分类方法。对不同的 LCZ 类别进行划分与制图,能够深化对城市结构和土地利用状况的理解,进而为城市规划与管理提供科学依据。此项研究旨在准确识别并区分不同的局部气候区域,以验证该分类方法的可用性。研究方法:以我国东北地区黑龙江省哈尔滨市作为研究区域,对 Landsat 8 数据进行融合和重采样等预处理,基于 LCZ 类别使用机器学习的方法进行像元分类制图。研究结果:对哈尔滨全市域进行分类制图,分类图的总体精度达到 81.11%,其中 LCZ - 3、LCZ - 4、LCZ - 5、LCZ - 6 和 LCZ - 8 等类别的精度分别为 80.00%、80.00%、61.54%、66.67% 和 78.26%。研究结论:使用 Landsat 8 低分辨率遥感数据利用随机森林的方法对城市进行 LCZ 制图分类精度较高,可用于城市土地覆盖的动态监测。

**关键词:**城市形态;土地利用;局部气候分区;随机森林

中图分类号:P237

文献标志码: A

文章编号:1672-2736(2024)05-0043-8

## 0 引言

土地利用与土地覆盖变化情况是人类社会、经济社会发展的直接表现,也是人类对自然资源开发利用和生态环境保护的重要依据<sup>[1]</sup>。随着人口数量增加,人类对土地的使用范围不断扩大,资源开发利用更广泛<sup>[2]</sup>。农业生产和工业建设占用大量土地,使耕地保护面临更高要求,而人口和社会经济活动又需更多土地,导致出现资源过度开发、环境污染、土地退化、物种濒临灭绝、物资匮乏等问题<sup>[3]</sup>。在目前缓解人地矛盾的过程中,通过对土地覆盖信息的分析,研究不同类型土地变化的时空特征,探究土地变化的原因并预测其未来发展趋势是实现土地合理化利用的重要方式和途径。土地利用与土地覆盖制图研究引起政府和学者的高度重视,为了节省时间和人力成本提升遥感图像分类准确度与效率,出现了基于遥感的地表覆盖分类方法<sup>[4,5]</sup>。

Stewart 和 Oke (2012) 提出了局部气候带(LCZ)分类方案,是一种针对城市形态和功能特征提供标准化框架的分类体系,为城市热岛研究提供了研究框架<sup>[6]</sup>。LCZ 方案不仅能对城市热岛进行研究,还可以用来描述城市区域的内部结构,为基础设施规划和人口评估等各种应用提供重要信息。LCZ 是由地表覆盖、城市结构、物质和人类活动共同定义的,可视为具有多种地表覆盖类型和多种地物的复杂场景。谢璇等人结合 Landsat 和 Sentinel 多光谱光学影像,依据局地气候分区土地分类体系,运用随机森林分类法对长三角地区 2008 年和 2020 年的土地覆盖类型进行了分类<sup>[7]</sup>。樊新成等人以局地气候分类体系作为分类标准,运用高分二号光学影像(GF-2)与合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)影像,构建土地利用类型样本库,使用随机森林和神经网络分类器获取了 2020 年兰州市城区的精细化土地利用类型图<sup>[8]</sup>。LCZ 提供了一种新

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目“基于通量-遥感-模型耦合的东北森林碳汇估算与干旱响应研究”(LH2022C076)。

颖的分类方案来进行城市土地利用研究,根据城市结构、土地覆盖和建筑材料将城市景观划分为不同的类别。LCZ 分类体系标准客观适用于全球不同的城市,使不同城市的研究结果之间具有了可比性,有助于理解不同时刻尺度的物理特性。现有发展中一个重要分支是使用公开可用的 Landsat 数据和软件基于社区的全球 LCZ 制图<sup>[9,10]</sup>。本文基于 Landsat 8 数据以局部气候分区体系为理论基础,通过构建土地利用类型样本库,借助随机森林分类器进行了 2022 年哈尔滨市的精细化土地利用分类制图。研究成果可为复杂下垫面城市土地利用精细化分类提供方法支持和为城市热岛效应研究提供基础数据。

## 1 研究区及数据处理

### 1.1 研究区

哈尔滨市位于中国东北部、黑龙江省西南部,北纬 44°04' 至 46°40'、东经 125°42' 至 130°10' 之间。西北地区平坦,东南地区多山地丘陵,一条松花江贯穿其中,属于中温带大陆性季风气候,季节性分明,是我国东北部地区经济、政治、文化中心。全市面积 5.31 万平方千米,管辖 9 个市辖区、7 个县,代管 2 个县级市,是国家重要的制造业基地。

### 1.2 数据处理

本文使用的图像投影坐标系统是 UTM – ZONE – 50N, 大地基准为 WGS – 1984。卫星数据为 2022 年的 Landsat 8 影像。Landsat 8 影像包含 11 个多光谱波段, 对应 15 – 100m 的空间分辨率。数据来源于国家地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn/>), 为了降低云层遮挡带来的影响, 选择含云量为 5% 的遥感影像, 若 5% 的含云量的影像数量不足, 不能达到一年中的六景数据全覆盖, 对于缺失的影像做含云量提高到 10% 进行选择处理。下载的遥感影像使用 Envi5.3 软件进行辐射定标、大气校正、图像镶嵌和重采样等操作。

### 1.3 样本数据选择

LCZ 分类方案共有 17 个 LCZ 类如表 1 所示:10 个建筑类型类 (LCZ – 1 ~ LCZ – 10) 和 7 个土地覆盖类 (LCZ – A ~ LCZ – G)。样本是 LCZ 分类的主要依据, 利用随机森林方法进行分类时, 依据样本的特征构成决策树。样本的准确度决定了 LCZ 分类的效果, 高质量的样本可以提供准确的样本特征。本研究使用 91 卫星助手在 Google 地图上选定研究区位置范围, 根据地表类别特征分别在地图上寻找相应区域, 建立 LCZ1 – 10、LCZA – G 类别的样本数据。每一个样本的范围最低保证 100m × 100m 的区域, 样本范围最合适的大小是 300m × 300m 左右, 每一个类别的数量大约 20 – 25 个。为保证在样本空间分布上的独立性, 选择的样本在影像上分布均匀。本文研究区的 LCZ – 1(密集高层建筑区) 和 LCZ – 7(轻质低层建筑) 分布基本没有, 舍弃这两个类别的样本。表 2 为在 Google 地图上选择的样本示例。

## 2 方法

本研究首先下载包含研究区的 Landsat 8 遥感影像, 并对遥感影像进行预处理。通过目视解译使用 Google Earth 中选取研究的区域边界制作分类样本。通过 SAGA GIS 软件的随机森林分类法对训练样本进行训练分类, 得到所选择研究区的局部气候分区分类图并进行精度验证。

### 2.1 随机森林方法

随机森林 (Random forest, RF) 是一种基于决策树的集成方法, 主要通过构建众多小型回归树进行预测。因其分类准确性高, 在遥感领域广泛应用<sup>[11,12]</sup>。其训练集从独立同分布的随机向量  $(x, y)$  中抽取,  $x$  为输入向量,  $y$  为输出向量。随机森林回归的预测输出是对  $k$  棵决策树的结果取平均所得。该模型通过随机选择样本和特征构建多个不相关的决策树, 以并行方式得出预测结果。随机森林算法建立的多个决策树模型相互独立, 每个模型在数据集的不同子集上构建,

表 1 局部气候分区中的建成环境和自然环境基本类型

LCZ 类型	简图	LCZ 类型	简图
LCZ - 1: 紧凑高层建筑区建筑高度在 10 层以上, 建筑材料为混凝土、钢或玻璃		LCZ - 10: 重工业区 低层或中低层厂房, 少树木, 地表覆盖多为硬土, 建筑材料为钢或混凝土	
LCZ - 2: 紧凑中层建筑区建筑高度在 3 - 9 层, 建筑材料为砖石或混凝土		LCZ - A: 稠密树木区高密度林地, 如自然森林、苗圃或城市公园	
LCZ - 3: 紧凑低层建筑区建筑高度在 1 - 3 层, 建筑材料为砖石或混凝土		LCZ - B: 稀疏树木区低密度林地, 如自然森林、苗圃或城市公园	
LCZ - 4: 开敞高层建筑区建筑高度在 10 层以上, 建筑材料为混凝土、钢或玻璃		LCZ - C: 灌木丛区地表覆盖为裸地或沙土的低密度灌木丛或农田	
LCZ - 5: 开敞中层建筑区建筑高度在 3 - 9 层, 建筑材料为混凝土、钢或砖石		LCZ - D: 低矮植被区少树木, 如草地、农田或城市公园	
LCZ - 6: 开敞低层建筑区建筑高度在 1 - 3 层, 建筑材料为木、混凝土或砖石		LCZ - E: 硬化地面区少树木, 如自然的裸石地区或城市硬化地面	
LCZ - 7: 简易低层建筑区建筑密度高, 少树木, 地表覆盖多为硬土, 建筑材料为简易材料		LCZ - F: 裸地沙土区少树木, 如沙漠或裸地	
LCZ - 8: 大型低层建筑区建筑密度低, 底层面积较大, 高度在 1 - 3 层, 地表覆盖多为硬化地面, 建筑材料为钢、混凝土或砖石		LCZ - G: 水域区大型开敞的水域, 如河流湖泊、蓄水池等	
LCZ - 9: 非常开敞低层建筑区建筑密度很低, 底层面积不大, 地表覆盖多为可渗透地面或树木			

表 2 哈尔滨市局部气候分区类别样本示例

LCZ - 2(25)	LCZ - 3(28)	LCZ - 4(32)	LCZ - 5(24)	LCZ - 6(29)
LCZ - 8(23)	LCZ - 9(24)	LCZ - A(41)	LCZ - B(23)	LCZ - C(24)
LCZ - D(41)	LCZ - E(17)	LCZ - F(25)	LCZ - G(25)	

而非整个数据集,这使得随机森林算法具备更好的鲁棒性和准确性。此外,随机森林在处理高维度数据时也表现出了强大的优势。它能够自动筛选出重要的特征,减少了数据预处理的工作量,同时也提高了模型的可解释性。

## 2.2 WUDAPT 方法

2015 年,来自美国、加拿大、德国拥有气象学、地理学、环境学背景的学者发起了 WUDAPT 计划,开发了免费的数据源和相关的 SAGA GIS、Google Earth 等软件进行局部气候分区分类的研究<sup>[13,14]</sup>。一个获取城市空间形态和功能的平台 – 世界城市数据库及门户工具,该工具不仅可以获取 LCZ 数据,还可以保存研究学者的最新成果。随着时间的推移 WUDAPT 平台已经包含了数百个城市的 LCZ 数据,并且免费开放给有需要的人使用,数据可以应用于城市的气候、环境等方面<sup>[15]</sup>。基于 WUDAPT 对于市县等小面积区域进行土地分类方便快捷,但是 WUDAPT 存在一个普遍性的问题,即人工对地物特征的选择。分类精度与地物样本选择的准确度高度相关,某些类别在地表上会呈现出“同物异谱或同谱异物”的现象,需要对地物有精准的判

断<sup>[16,17]</sup>。研究区域过大这种现象更为严重,因此需要增加样本的数量和保证样本精度,使分类结果可以满足应用。

## 3 实验结果

### 3.1 精度验证

将样本划分为训练集和验证集,样本的 70% 作为训练集,剩余的 30% 样本为验证集。使用训练集用于随机森林模型的拟合,利用影像数据生成 LCZ 图,使用混淆矩阵的方法验证分类精度。根据混淆矩阵各行各列数据,可以初步得到分类正确的类别数量,以及错分类的类别及数量情况,并在此基础上可以计算精度的评价指标:精确率(precision)、召回率(recall)和准确率(accuracy)。表 3 为 2022 年哈尔滨市 LCZ 分类的混淆矩阵。从精度数据来看,不同的 LCZ 类型表现出较大的差异。其中 LCZ - G 类的精度达 99%,表明在分类为 LCZ - G 类的样本中,正确分类的比例非常高,主要是因为水系在遥感影像上特征明显。部分 LCZ 类型的精度较为接近,如 LCZ - 3、LCZ - 4、LCZ - 5、LCZ - 6 和 LCZ - 8 等类别的精度分别为 80.00%、80.00%、

表3 哈尔滨市局部气候分区图的分类精度

LCZ	2	3	4	5	6	8	9	A	B	C	D	E	F	G	精度
2	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62.50%
3	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80.00%
4	2	0	28	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	80.00%
5	1	1	2	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61.54%
6	1	2	1	1	12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	66.67%
8	1	1	0	0	0	18	0	1	0	0	1	0	0	0	78.26%
9	0	0	2	0	3	1	4	0	0	0	3	0	0	0	30.77%
A	0	0	2	0	0	0	0	80	1	0	0	0	0	0	96.39%
B	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1	2	0	0	0	44.44%
C	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	80.00%
D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	57	0	0	0	98.28%
E	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	5	0	0	55.56%
F	0	1	4	0	0	1	0	0	0	1	3	0	3	0	21.43%
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	99	99.00%
召回率	41.67	61.54	62.22	80.00	50.00	78.26	57.14	94.12	66.67	66.67	82.61	71.43	100	99.00	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	

61.54%、66.67%、78.26%，说明这些类别的分类结果较为稳定，对城市的建筑形态和材质分类相对准确。召回率反映了实际属于某一类别而被正确分类的样本比例。在表格中，不同 LCZ 类型的召回率也各不相同。LCZ - D 类的召回率高达 82.61%，说明对于 LCZ - D 类样本的识别能力非常强。对于后续的研究和应用，还可以进一步分析不同 LCZ 类别之间的关系，以及影响分类准确性的因素，如数据质量、分类算法、特征选择等，以提高分类的效果和可靠性。

### 3.2 局部气候区分类图

本研究主要借助功能强大的 SAGA GIS7.6.2 软件来进行哈尔滨市 LCZ 图的制作。从图 1 进行直观地观察可以发现，哈尔滨市有着独特的地理区位和地表分类的分布情况。如图 1 所示，可以观察到蓝色的松花江至东向西贯穿整个区域，哈尔滨市建成区主要分布在图中红色集中分布区域。全图西部区域地形平坦开阔，处松嫩平原东缘。北部位于小兴安岭南麓的中、低山丘陵区域。图中地类整体分布结构与真实基本一致，直观反映了哈尔滨市的土地利用情况。

### 4 结语

本研究在 LCZ 制图中展现出了可行性和分类准确性。能够有效地处理大量的遥感数据，并将其转化为直观的地图形式，为研究人员提供了重要的参考依据。哈尔滨 LCZ 图的制作有助于更好地了解哈尔滨市的城市结构和土地利用情况。根据实验结果分析可知哈尔滨市东部多为山地，出现自然植被覆盖的稠密树木区 LCZ - A，西部地形较为平坦是主要的农业种植区域，分类结果中多为 LCZ - D 类型，松花江冲积形成较平缓两岸也是主要的农业种植区域。与国内其它城市相比<sup>[9,13]</sup>，哈尔滨市行政区划面积较大而建成区面积较小，因此自然植被覆盖类型占分类结果数量较多，建成类型多集中在东部中心区域。本研究通过对不同 LCZ 类别的分析，可以研究不同分类的区域差异，为城市规划、环境保护和气候适应等方面提供科学依据，为后续的 LCZ 制图工作提供经验。通过实验结果数据可以深入了解哈尔滨市的城市结构，同时也为相关领域的研究和实践提供了有益的参考。

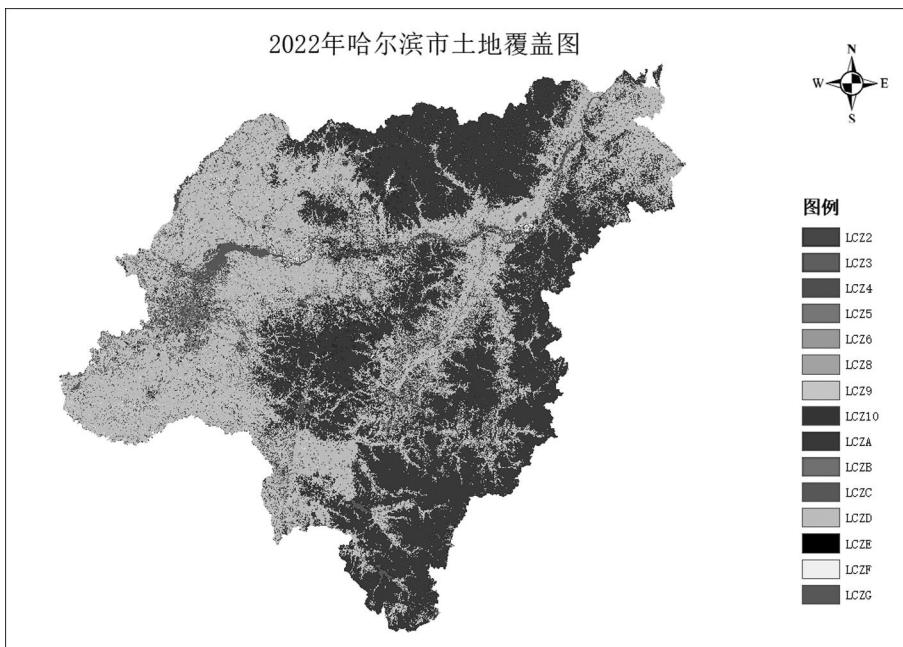


图 1 哈尔滨市局部气候分区分类结果图

## 参考文献(References):

- [1] 刘伟,徐尚昭.土地利用变化遥感制图与时空变化分析——以韶关市武江区龙归镇为例[J].绿色科技,2024,26(08):250 – 254.
- [2] 于成,张娴.基于高分卫星影像的湖南某地土地利用分类研究[J].科技资讯,2024,22(10):34 – 36.
- [3] 周桃勇,丘泉.基于 Sentinel – 1A 数据的土地利用变化监测[J].北京测绘,2024,38 (09): 1352 – 1357.
- [4] 徐永红,刘正超,邱倩.基于时序遥感数据的城市国土空间动态监测方法研究[J].测绘通报,2024,69(S2): 251 – 254.
- [5] 颜萍.基于遥感数据的成都市土地利用类别与热岛效应关联性研究[D].西南交通大学,2022.
- [6] Stewart I D, Oke T R . Local Climate Zones for Urban Temperature Studies [ J ]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(12): 1879 – 1900.
- [7] 谢璇,陈超民,杜云,等.基于局部气候分区的土地覆被变化时空分析[J].红外,2021,42 (06): 34 – 44.
- [8] 樊新成,张喜来,林庆润,等.融合合成孔径雷达和光学影像的土地覆被分类方法研究[J].测绘通报,2024,69(S2): 167 – 174.
- [9] 巫燕.基于 WUDAPT 的昆明市地表形态变化特征研究[D].昆明理工大学,2022.
- [10] 马倩.面向高分辨城市气候模拟的中国大城市 LCZ 数据集的建立 [ D ]. 南京信息工程大学,2021.
- [11] 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.
- [12] 史洁宁,吴田军,黄启厅,等.耦合 NDVI 与纹理时序特征的地块作物遥感分类[J].南方农业学报,2024, 1 – 15.
- [13] 胡婧婷,陈亮.基于 WUDAPT 的城市分区研究——以上海为案例[C].中国气象学会第 35 届中国气象学会年会 S11 城市气象与环境——第七届城市气象论坛.华东师范大学,2018: 3.
- [14] 陈方丽,黄媛.基于 WUDAPT 方法的成都市局地气候分区地图构建及其规划应用研究[J].城市建筑,2018, (20): 29 – 32.
- [15] JinLing Q . Enhanced geographic information system – based mapping of local climate zones in Beijing, China[ J ]. Science China( Technological Sciences ), 2019, 62(12): 2243 – 2260.

- [16] 王克奇,彭熙雯,张怡卓,等.基于改进 U - Net 的高光谱农林植被分类方法[J].森林工程,2022,38(01):58 - 66.
- [17] 何顺兵,牟凤云.基于面向对象的多尺度山地城市土地覆盖信息提取——以重庆市大学城城区为例[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2016,33(01):83 - 88.

---

作者简介:

第一作者:王雷,1983 年生,男,黑龙江人,硕士,黑龙江工程学院测绘工程学院,副教授,主要研究方向为深度学习和高光谱分类。Email:wanglei@ hljut. edu. cn;

通讯作者:王延亮,1954 年生,男,上海人,硕士,黑龙江工程学院测绘工程学院,教授,主要研究方向为地图学与地理信息系统。Email:giswl@ 126. com

---

## Urban Land Cover Classification Mapping based on Local Climate Zones

WANG Lei<sup>1</sup>, WANG Yanliang<sup>1\*</sup>, MEI Xiaodan<sup>1</sup>, LI Debao<sup>2</sup>

(1. College of Surveying and Mapping Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China; 2. Heilongjiang Benyuan Land Resources Surveying and Planning Technical Service Co., Ltd., Harbin 150009, China)

**Abstract:** Purpose of the study: The Local Climate Zone (LCZ) was initially proposed to provide an interdisciplinary classification method for urban heat island research. The delineation and mapping of different LCZ categories can enhance the understanding of urban structure and land use conditions, thereby offering a scientific basis for urban planning and management. This study aims to accurately identify and distinguish different local climate zones and verify the usability of the classification method. Methods: Harbin City, Heilongjiang Province, in Northeast China was selected as the study area. Landsat 8 data were preprocessed through fusion and resampling, and then mapped using machine learning methods for image metric classification based on LCZ categories. Research results: The entire city of Harbin was classified and mapped. The overall accuracy of the classification map reached 81.11%. Specifically, the accuracies of the LCZ categories LCZ - 3, LCZ - 4, LCZ - 5, LCZ - 6, and LCZ - 8 were 80.00%, 80.00%, 61.54%, 66.67%, and 78.26%, respectively. Conclusion of the study: Mapping LCZs of cities using Landsat 8 low-resolution remote sensing data through the random forest approach with high classification accuracy can be utilized for dynamic monitoring of urban land cover.

**Key words:** urban morphology; land use; local climate zone; random forests

# 深圳市传统历史风貌区价值评价体系构建及保护策略研究

吴松涛<sup>1</sup>, 王凤娥<sup>1,2</sup>, 荆万里<sup>3\*</sup>

(1. 哈尔滨工业大学建筑学院, 哈尔滨 150006;  
2. 深圳市培富房地产开发有限公司, 广东 深圳 518100;  
3. 深圳市城市规划设计研究院股份有限公司, 广东 深圳 518055)

**摘要:**近年来,深圳逐步构建了“不可移动文物 – 历史建筑 – 历史风貌区”组成的历史文化保护体系,由于深圳现有的法定保护体系没有全覆盖所有的风貌区域,而使得传统风貌区域面临挑战。为了有效地保护深圳市传统历史风貌特色,本文综合运用因子分析法、层次分析法、专家问卷调查等方法,建立了价值评价的指标框架和层次结构模型,确定了价值评估中各指标因子的权重及评分标准,进而构建了深圳市传统历史风貌区价值评价体系。该评价体系包含历史价值、艺术价值、科学价值、文化价值、社会价值、使用价值六大价值共 41 项指标因子,可以有效地识别出深圳传统风貌区域。为确保深圳传统风貌区的活化与保育工作落实到位,本文对这些非法定保护的传统风貌区从政府立法、价值平台、规划管控、有机更新等方面提出了有针对性的保护策略建议,可以为深圳市的历史文化保护工作提供一定的借鉴意义。

**关键词:**深圳市;传统历史风貌区;价值评价;保护策略

中图分类号:TU984.11

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)05-0051-11

## 0 引言

目前,深圳市历史文化保护多侧重于法定范围内的历史风貌区,对非法定范围内的传统风貌区保护还不够重视,导致这些边缘化的风貌区域受到破坏。然而这些区域在历史、文化、社会、经济方面都具备一定的价值,亟需因地制宜地制定符合深圳特色的价值评估体系及保护策略,保留城市风貌特色记忆。因此,本文结合国家、省、市相关政策,初步预设了深圳市传统历史风貌区评价指标框架,共分四层总计 47 项评价指标因子。为了检验这些指标因子的一致性和准确度,综合运用因子分析法、专家问卷调查等方法,删除 6 项没有通过内部一致性检验的因子,进而确定了四层共计 41 项评价指标因子。为了权衡这些因子的重要程度,采用层次分析法、专家问卷调查等方法确定指标的权重及评分标准,最终构建了深圳市传统历史风貌区评价体系,基于该评价体

系可以识别出深圳市传统历史风貌区。为更好地保护和利用传统风貌区域,本文遵循整体性和原真性的保育原则,进一步提出符合深圳市传统历史风貌区的保护策略建议。

## 1 研究背景

### 1.1 文献综述

关于价值构成方面,Mazzanti 重点从多维度、多属性、多价值的角度展开经济价值评估<sup>[1]</sup>。邵甬提出遗产保护不仅包括纳入保护清单的地区,还要包括未纳入保护清单但有文化遗产保护特征的地区<sup>[2]</sup>。于红霞、栾晓辉提出了历史、美学、文化、社会、环境、建筑、经济、文脉等价值构成组合<sup>[3]</sup>。孙华提出遗产价值两大核心价值,分别是内在存在价值(年代价值)及外在使用价值(历史、艺术、科学价值),两大核心价值的关联度需要建立精神情感<sup>[4]</sup>。杨华刚、王绍森提出现代建筑遗产价值包括历史、科学、艺术、经济、社

会和生态六个维度<sup>[5]</sup>。综上,国内外在价值构成方面主要侧重在历史、艺术、科学、文化、环境、经济等方面,为本文价值指标遴选提供清晰的借鉴思路。

关于价值评价方法方面,Naciye Doratil 等学者提出对历史街区的策略研究要建立在评价的基础之上,并提出了基于 SWOT 分析法对自然、人工、社会经济环境展开分析评价<sup>[6]</sup>。Virtudes、Almeida 介绍了用于创建 ICT(信息和通信技术)的详细方法,特别用于评估历史建筑保护状况<sup>[7]</sup>。赵勇、张捷、李娜、梁莉遴选了 15 项指标构建评价指标体系,并借助因子分析法对其进行评价<sup>[8]</sup>。林诗羽以福州烟台山历史文化风貌区为研究对象,构建了评价体系框架,并确定了评分标准完成了评价的应用<sup>[9]</sup>。综上,国内外价值评价的方法都对本文具有指导借鉴意义,尤其是国内构建评价体系的方法和步骤,可以为本文建立指标框架和确定权重分值等提供参考借鉴思路。

## 1.2 研究对象

本研究是以非法定保护的传统历史风貌区作为研究对象,是对深圳历史风貌区的补充和延展,需要以动态历史观为视角,关注深圳作为改革开放的代表性,而不仅仅以年代久远度来判断其保护价值,如深圳的广府传统村落和客家围屋、独具特色的产业园区、城市低成本生活空间和城市机能价值的城中村等,都是本文的研究对象。基于此,本研究对深圳市传统历史风貌区概念定义为:尚未达到深圳市历史风貌区的标准或尚未公布为深圳市历史风貌区的区域,具有一定历史和文化艺术价值,能够较完整、真实地体现深圳市某一历史时期的文化印记和社会形态的区域。

## 1.3 深圳市传统历史风貌区特征总结

深圳的城市历史文化主要源于客家文化和广府文化的发展和交融,从空间分布上来看,广府文化主要集中在深圳西部区域,如宝安、南山、龙华;客家文化主要集中在深圳东部区域,如龙

岗、盐田、坪山和大鹏等;深圳中部区域则体现了两种文化的混合。深圳市传统历史风貌区具有空间形态多样性、主导价值多元化、风貌类型较为分散等特征。这些风貌区的类型主要以传统村落居多,按照民系属性可以将其划分为广府传统村落、客家围村及客家围屋、广府和客家混合式传统村落、军事要塞式古城,主要建筑形式为排屋、客家围村和客家围屋等。

## 1.4 构建评价体系需考虑的因素

深圳市传统历史风貌区主要以传统村落居多,这些传统村落承载着丰富的历史文化,在建筑布局上多采用排屋的形式,通常有半月形的水塘,内部的街巷空间很有特色,一般采用“三堂四横”或“四街九巷”,在布局及周边环境、街巷空间、整体规模、场所氛围上具有一定的特殊性。因此,在构建评价体系时需重点予以考虑。

## 2 价值评价指标框架的建立

### 2.1 预设评价指标框架

参考国家、省、市政策等,结合深圳市传统历史风貌区主体特征,进行指标框架的初步构建。目前,国家和深圳市的指标框架都是针对已经纳入法定保护体系的风貌区,评估标准较高,不适用本研究中非法定的传统风貌区。因此,本次预设的评估指标需要以动态历史观为视角,关注深圳作为改革开放的代表性,而不仅仅以年代久远度来判断其保护价值。基于此,在深圳已有的指标框架基础之上,初步预设评价指标框架,包含历史价值、艺术价值、科学价值、文化价值、社会价值、使用价值及细分总计共 47 项指标因子。

### 2.2 专家问卷调查

为检验预设的评价指标框架准确性,采用专家问卷调查的方法对 47 项评价指标因子重要性进行评分。考虑到历史文化保护涉及到城市规划、建筑设计、人文地理等专业内容,且在实操中需要政府部门、规划设计院、相关行业专家、房地产等多方协同,因此,本研究邀请了 15 位不同职业、不同年龄、不同专业的专家学者进行问卷调查。

表1 构建评价体系需考虑的因素

考虑因素	具体内容	平面图示意
村落布局及周边环境	构建评价体系需要重点考虑村落布局的完整性和真实性,包括能体现深圳传统村落核心要素的城墙、牌坊、古树等。同时,还要考虑风貌区及其相互依存的自然景观和人文环境,重点考虑风貌区周边的山水环境、植被保存情况和建成环境等。	
街巷空间	深圳市传统历史风貌区的空间组织脉络是其典型特色之一,建立评价体系要重点考虑如街廊、街巷等能体现传统风貌区空间组合的要素,这些要素是整个风貌区的核心架构,具有骨架的作用。	
整体规模	综合分析深圳市客家围屋和广府排屋基本形制,可知稍具一定规模的客家围屋(三堂四横)用地规模约为5000平方米;而广府排屋常见的“四街九巷”用地规模约为8000平方米。因此,评价体系的建立要着重考虑深圳传统历史风貌区的实际规模。	
场所氛围	深圳市传统村落至今还有很多人居住,建筑功能完善的房屋,普遍生活和居住的氛围较好。因此,场所氛围对评价体系的建立是至关重要的,这不仅仅是深圳城市发展的见证,更是这座城市发展中重要的历史文化资源特色。	

表2 专家情况说明

专家类别	年龄	性别	专业
规划院高级工程师	52	女	城市规划
	50	女	城市规划
	41	男	土木工程
	36	男	城市规划
政府部门	36	女	人文地理
	34	男	工商管理
	33	女	城市规划
	46	男	土木工程系工民建
房地产行业	37	男	建筑学
	31	男	建筑学
	30	男	中国古建筑工程技术
	40	男	资源环境与城乡规划管理
博士研究生	39	男	政治经济学
	38	男	政治经济学
	31	女	土地资源管理

表 3 KMO 和 Bartlett 球形检验

取样足够度的 Kaiser - Meyer - Olkin 度量		0.711
近似卡方		86.993
Bartlett 球形检验	df	36
	Sig.	0

表 4 解释方差表

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)	合计	方差(%)	累积(%)
1	4.769	52.989	52.989	4.769	52.989	52.989	3.488	38.755	38.755
2	1.834	20.383	73.372	1.834	20.383	73.372	3.116	34.617	73.372
3	0.966	10.735	84.107						
4	0.644	7.151	91.257						
5	0.311	3.455	94.713						
6	0.215	2.393	97.106						
7	0.133	1.480	98.586						
8	0.073	0.812	99.398						
9	0.054	0.602	100.000						

### 2.3 数据处理分析

运用 SPSS 22.0 软件对整理后的专家问卷调查数据进行处理。首先将初始数据进行标准化来消除量纲的影响。标准化公示如下：

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

在进行因子分析之前, 对变量进行 Bartlett 球形度检验,KMO 值一般在 0 - 1 之间,且越接近 1 表示数据集越适合进行因子分析,通常若 KMO 大于临界值 0.6, 则表示可以进行因子分析;且 Bartlett 球形度检验 P 值显著性水平通常设定为 0.05,P 值小于 0.05 表示数据不呈现球形分布,适宜因子分析,反之不适宜。

在做好以上准备工作之后,接下来以历史价值为例展开分析。

#### 2.3.1 适应性分析

经分析,KMO 值为 0.711,大于 0.6;Bartlett 球形度检验 P 值为 0,小于 0.05,说明选取的指标适合进行因子分析。

#### 2.3.2 提取主成分

利用 SPSS 22.0 软件对历史价值进行因子分析。经过分析,可以得出前 2 个主成分解释了全部方差的 73.372%,提取的 2 个主成分的特征根分别为 4.769 和 1.834,方差贡献率分别为 52.989% 和 20.383%,说明提取的 2 个主成分能够代表原来 9 个衡量历史价值指标的 73.372%,则可以说明整体方差解释变量的能力较好。

#### 2.3.3 成分矩阵和旋转后成分矩阵分析

成分矩阵和旋转后的成分矩阵分别为旋转前、后的因子载荷矩阵,因子载荷反映的是因子与变量之间的相关程度,可以看出,旋转后的公共因子与原始变量之间的关系更加清晰了。

从表 5 可知,各主成分与各个指标均有一定的关系。其中,指标 D121、D114 与主成分 1 相关性最大,指标 D113、D131 与主成分 2 相关性最大;指标 D112、D113、D115 与主成分 1 相关性最小,指标 D115、D116、D114 与主成分 2 相关性最小。因此,D115 与两个主成分相关性均最小,删除 D115 这项指标,保留其余指标。

表 5 成分矩阵表

指标	成分	
	1	2
D121	0.877	-0.190
D114	0.804	-0.351
D111	0.798	0.284
D116	0.766	-0.494
D132	0.736	0.346
D131	0.715	0.611
D115	0.681	-0.560
D112	0.496	-0.260
D113	0.607	0.690

从表 6 可知,运用方差最大旋转对因子载荷矩阵进行旋转,将相似的因子载荷的各变量安排在 1 个公因子之下。因子 1 对 D116、D115、D114、D121、D112 五个变量的因子载荷较大,其中 D115 由于与两个因子相关性均较小而删除;因子 2 对 D131、D113、D132、D111 四个变量的因子载荷较大。因此,可以分别将两个因子定义为历史关联度和历史真实性,将原来三个要素层减少到两个,较好地区分了原来 9 个评价指标的信息。

同理,分别对其余指标进行数据处理,通过

因子分析来检验指标的准确性,并根据检验结果进一步完善价值评价指标框架。

#### 2.4 确定评价指标框架结果

经过分析,有 6 项指标没有通过内部一致性检验,需要将其删除。因此,评价指标框架由 47 项减少到 41 项。并根据旋转后的因子负荷矩阵,将原有要素层进行调整来更好的确定和分配评价指标因子,最终确定深圳市传统历史风貌区价值评价体系的评价指标框架。

表 6 旋转成分矩阵表

指标	成分	
	1	2
D116	0.901	0.135
D115	0.881	0.029
D114	0.835	0.267
D121	0.784	0.437
D112	0.544	0.133
D131	0.133	0.931
D113	0.000	0.919
D132	0.324	0.746
D111	0.411	0.741



图 1 深圳市传统历史风貌区价值评价体系的评价指标框架图

### 3 价值评价指标权重的确定

(1) 评价指标权重的确定方法。本次邀请 15 位专家对评价指标框架的重要程度进行两两比较判断, 再结合各专家判断结果利用层次分析

法来确定权重。

相关公式介绍:

当  $C. R. < 0.1$ , 判断矩阵是可接受的, 否则需重新构造判断矩阵。

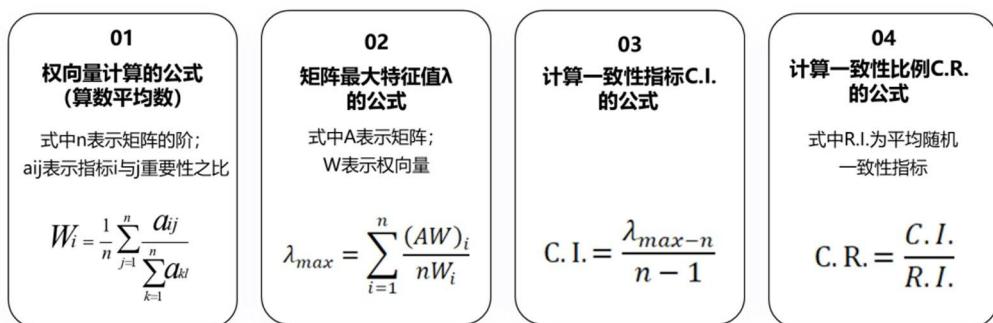


表 7 平均随机一致性指标 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.20	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(2) 建立层次结构模型。根据深圳市传统历史风貌区价值评价指标框架,借助 yaahp 12.4 软件建立层次结构模型,包括四个层次,分别为 A 目标层、B 准则层、C 要素层和 D 指标层。

(3) 专家问卷调查。以深圳市传统历史风貌区价值评价体系层次结构模型为依据,制作调查问卷,并继续邀请 15 位专家进行问卷调查,为

接下来的层次分析做准备,确保最终评价指标权重的准确性。

(4) 构造判断矩阵并计算权重。借助 yaahp 12.4 软件,通过问卷数据导入、构造判断矩阵、一致性检验等步骤,计算指标因子的权重。本次结果是 C. R. 小于 0.1,表明计算的结果合理。

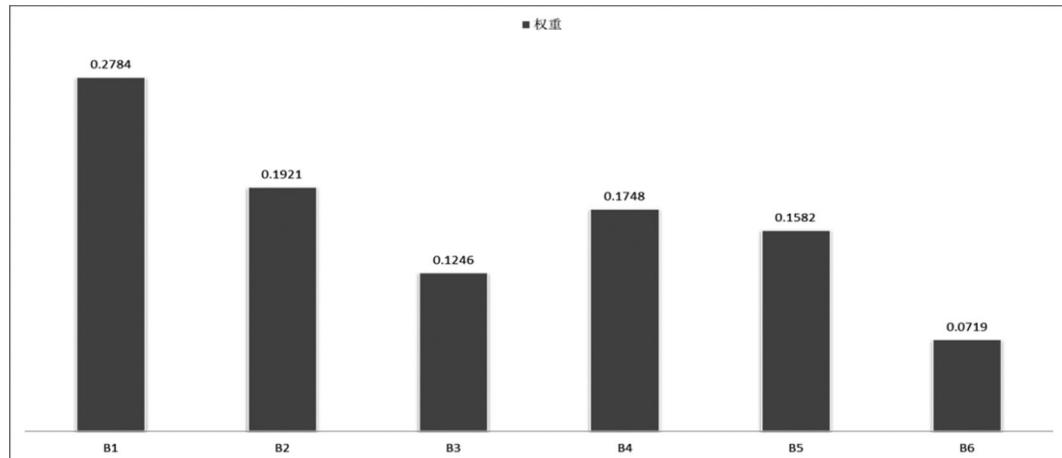


图 2 准则层的指标权重图

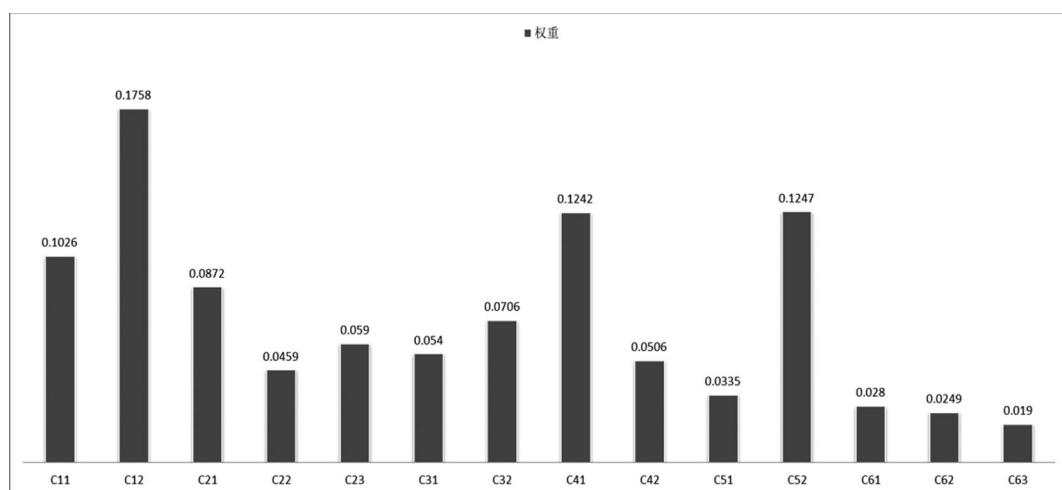


图 3 要素层的指标权重图

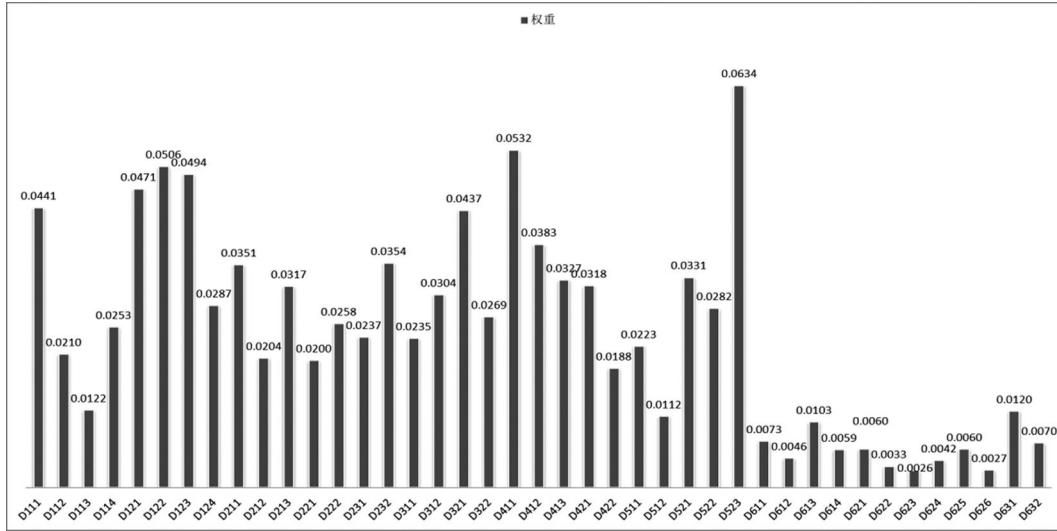


图 4 指标层的指标权重图

#### 4 价值评价评分标准的制定

(1) 评价指标分值确定。在深圳市传统历史风貌区价值评价指标因子权重分值确定基础上,本着尊重评价模型结果的原则,将上述层次分析法权重分值均乘以 100,并统一保留一位小数,得出深圳市传统历史风貌区价值评价指标的

分值。

(2) 评价指标评分标准。为便于操作和实际评价,对评价分值保留到个位数。采用国家和深圳的评价标准、现状调研、专家问卷调查等方法,最终确定价值评价的评分标准。基于该评分标准可以形成深圳市传统历史风貌区价值评价体系,运用该评价体系可以更好的识别和筛选出



图 5 深圳市传统历史风貌区评价评分标准图

具有保留价值的传统风貌区，并对这些风貌区进行价值评估和保护。

## 5 保护策略建议

本文在构建了深圳市传统历史风貌区评价体系基础之上，遵循整体性和原真性的保育原则，考虑到传统历史风貌区的保护工作较为复杂，涉及领域较多，因此，本文从“政府主导，加强立法保护”“价值评价，搭建专业平台”“规划管控，引导整体设计”“有机更新，坚持活态保育”等方面提出符合深圳市传统历史风貌区的保护策略建议。

(1) 政府主导，加强立法保护。为确保传统历史风貌区的保护到位，需要深圳市规划、文物等相关部门积极推进立法工作，起到带头示范作用，将传统历史风貌区纳入到法定保护对象范围，不断巩固传统历史风貌区的法定地位，确保这些具有保留价值的风貌区能够得到更加充分的保护。如将传统历史风貌区纳入到历史文化保护体系中，建立“不可移动文物—历史建筑—历史风貌区—传统历史风貌区”的历史文化保护体系，向公众公布承认其法定地位。并制定传统历史风貌区的保护政策和规范，从认定标准、名录管理、保护规划编制和活化利用、与城市更新结合等方面建立深圳特色的法律法规。

(2) 价值评价，搭建专业平台。依托政府部门及专业机构的管理职能，定期对传统风貌区的现状进行摸查，结合本文研究的价值评价体系进行识别和评估，并建立常态化更新的信息化平台。如在深圳市范围内对传统历史风貌区进行全面大规模的普查，将普查数据结果录入到信息化平台，按照评估标准进行筛选，形成分级分类的保护名录，并建立可以常态化更新的信息平台。同时，在对传统历史风貌区的活化利用中，要最大化的鼓励公众参与，搭建多团队合作的沟通平台。如搭建由文物专家、设计团队、社区管理人员及其他志愿社团等群体组建的具有公信力的第三方专业平台，该平台将作为与政府、民众和市场之间沟通和协调的桥梁，确保传统风貌

区的活化利用可以得到较好的推进和实施。

(3) 规划管控，引导整体设计。为进一步做好深圳土地二次开发与传统历史风貌区保护之间的平衡，需要加强规划编制的管控力度，确保传统历史风貌区活化方案的合理性和落地性。如在城市更新规划审查过程中，不仅审查城市更新单元规划方案，还需前置性的审查风貌区保护与利用方案，在《深圳市城市更新办法》《深圳市紫线规划》《深圳市拆除重建类城市更新单元规划编制技术规定》政策审查的基础之上，进一步增强城市设计的整体性引导，如在风貌区的功能定位、空间格局、建筑高度、建筑色彩、设计导则等方面，通过整体城市设计管控，传导在具体的城市更新单元规划中，引导该区域的空间管控具备可操作性。

(4) 有机更新，坚持活态保育。对深圳传统历史风貌区的保护，需要倡导有机更新的政策方针，立足现状资源，以保护为目的、以识别为手段，对这些风貌区进行活化和利用。如对传统风貌区的保护要结合有机更新理念，依据传统风貌区保护政策，制定“保护为主、发展为辅”的活化利用方案，保留原有的建筑结构和生活氛围，不断地引入新的业态和创意元素，将深圳这些不可再生的传统历史风貌区的保护与活化真正的融入到城市的发展中。

## 6 结论

本文针对深圳市城市文化特色与历史文化遗产概况，以传统历史风貌区为研究对象，突破传统价值评价和保护方法的局限，对历史文化遗产的评价强调开放性态度，突破以往以历史、艺术、科学价值为主导的评估束缚，强调只要能完整真实地反映深圳市某一历史时期的文化印记和社会形态的区域，都可以作为深圳市传统历史风貌区得到专业的保护。同时，本文综合运用层次分析法、因子分析法、专家问卷调查等方法，通过确定深圳传统历史风貌区价值评价体系的指标框架、指标权重、评分标准等步骤构建了符合深圳特色的传统历史风貌区价值评价体系。通

通过对深圳传统历史风貌区的分析,提出了符合深圳历史文化特色的保护策略建议。在深圳未来的历史文化保护中,可以以此为基础,进一步建立动态更新的信息化平台并进行常态化跟踪,确保深圳传统历史风貌区得到更加专业的保护。

#### 参考文献(References):

- [1] Massimiliano M. Cultural heritage as multi-dimensional, multi-value and multi-attribute economic good: toward a new framework for economic analysis and valuation [J]. Journal of Socio – economics, 2002, 31: 529 – 558.
- [2] 邵甬.从“历史风貌保护”到“城市遗产保护”——论上海历史文化名城保护[J].上海城市规划, 2016, 33(05): 1 – 8.
- [3] 于红霞, 李晓辉.青岛历史文化街区价值评价与可持续发展对策研究[J].城市规划, 2014, 38(03): 65 – 69.
- [4] 孙华.遗产价值的若干问题——遗产价值的本质、属性、结构、类型和评价[J].中国文化遗产, 2019, 20(01): 4 – 16.
- [5] 杨华刚, 王绍森.现代建筑遗产价值体系的厘定、冲突及其调适——以福建土楼为样本的建筑遗产价值回溯与再认识[J].中国文化遗产, 2020, 20(06): 15 – 25.
- [6] Naciye D, Sebnem O H, Mukaddes Fasli. An analytical methodology for revitalization strategies in historic urban quarters: a case study of the Walled City of Nicosia, North Cyprus [J]. Cities, 2004, 21: 329 – 348.
- [7] Ana V, Filipa A. ICT Method for Evaluation of Heritage Buildings Conservation [J]. Procedia Engineering, 2016, 161: 1910 – 1914.
- [8] 赵勇, 张捷, 李娜, 等.历史文化村镇保护评价体系及方法研究——以中国首批历史文化名镇(村)为例[J].地理科学, 2006, 43(04): 4497 – 4505.
- [9] 林诗羽, 陈祖建, 萧满红, 等.基于 GIS 的历史风貌区建筑价值评价研究——以福州烟台山为例[J].闽江学院学报, 2019, 40(05): 76 – 83.

#### 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,哈尔滨工业大学建筑学院,教授,主要研究方向为城市规划与设计。Email:wusongtao@ hit. edu. cn;  
通讯作者:荆万里,1979 年生,男,黑龙江黑河人,硕士,深圳市城市规划设计研究院股份有限公司,主要研究方向为城市规划与设计。Email:jingwl@ upr. cn

## **Research on the Construction of the Value Evaluation System and Protection Strategies for Shenzhen's Traditional Historic Feature Districts**

WU Songtao<sup>1</sup>, WANG Feng'e<sup>1,2</sup>, JING Wanli<sup>3\*</sup>

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China;

(2. Shenzhen Peifu Real Estate Development Co., Ltd, Shenzhen 518100, China;

(3. Shenzhen Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** In recent years, Shenzhen has gradually established a historical and cultural protection system consisting of “immovable cultural relics historical buildings historical style areas”. However, due to the fact that the existing legal protection system in Shenzhen does not fully cover all style areas, traditional style areas are facing challenges. In order to effectively protect the traditional historical features of Shenzhen, this article comprehensively uses methods such as factor analysis, analytic hierarchy process, and expert questionnaire survey to establish an indicator framework and hierarchical structure model for value evaluation. The weights and evaluation standards of each indicator factor in value evaluation are determined, and a value evaluation system for traditional historical features in Shenzhen is constructed. The evaluation system includes six major values of historical value, artistic value, scientific value, cultural value, social value, and use value, totaling 41 indicator factors, which can effectively identify the traditional features of Shenzhen. To ensure the revitalization and conservation of traditional cultural areas in Shenzhen, this article proposes targeted protection strategy suggestions for these non legally protected traditional cultural areas from the aspects of government legislation, value platforms, planning and control, and organic updates. This can provide certain reference significance for the historical and cultural protection work in Shenzhen.

**Key words:** Shenzhen; traditional historic feature districts; value evaluation; protection strategy

# 广东省城市轨道交通地铁车站用地标准研究

郭 强<sup>1</sup>, 刘 瑋<sup>2\*</sup>, 陈炫楷<sup>1</sup>

(1. 广东省土地调查规划院, 广州 510075;  
2. 广州市交通规划研究院有限公司, 广州 510030)

**摘要:**目的:为促进城市空间的节约集约利用,规范轨道交通地铁车站用地,充分发挥轨道交通对城市发展支撑作用,需要研究车站用地标准和管控要求。方法:案例研究法、文献归纳法。结论:在系统梳理及综合评估相关国家、地方性标准的基础上,分析广东省地铁车站现状用地规模与常见问题,提出用地标准制定的基本原则,明确从“功能分类更加全面、实用性更强”“指标区间弹性、兼容性更强”“赋值适应本土发展需求、适用性更强”三个方面的需求导向制定标准规则,并提出具体的标准条文制定建议。

**关键词:**城市轨道交通;用地标准;节约集约利用

中图分类号:F301.2

文献标志码:A

文章编号:1672-2736(2024)05-0062-9

## 0 引言

随着城市人口的迅速增长,传统道路交通已难以满足居民日益增长的出行需求。城市轨道交通凭借其大运量、高效性和环保性,在公共交通系统中扮演着愈发重要的角色,建设规模不断扩大<sup>[1]</sup>。城市轨道交通可以有效缓解地面交通的拥堵状况,提升公共交通的整体服务水平,已成为优化城市出行结构、提高居民生活质量的有力手段、城市交通高质量发展的有力支撑<sup>[2]</sup>。然而,城市轨道交通的快速扩展也面临挑战,在城市土地资源日益紧张、地铁车站周边区域发展需求多样的现实背景下,如何实现节约集约用地成为重点关注问题。其中地铁车站作为城市轨道交通系统的核心组成部分,承担着客流集散与交通衔接的关键功能,也是轨道交通用地的主要部分。当前城市土地资源日益紧张、建设成本持续攀升,同时地铁车站周边区域的多元化发展要求地铁车站实现功能复合化,然而地铁车站建设面临综合开发设计不足<sup>[3]</sup>,忽略平面功能与车站细节设计、创新设计不足及技术运用不到位<sup>[4-6]</sup>,城市轨道交通车站附属设施用地的规划控制仍不成熟,现有城市轨道交通控制线也未涵

盖车站附属设施用地<sup>[5]</sup>,以及轨道交通用地与城市开发建设用地间的矛盾,都影响着车站用地。建立健全适应轨道交通建设规模、发展模式要求的地铁车站用地标准,可为城市轨道交通规划与建设提供规范化指导。

通过对车站进行标准化设计,可以有效减少地铁车站设计方案的差异,使车站功能布局合理、车站规模得到有效控制<sup>[7-10]</sup>。学术界对城市轨道交通地铁车站的已有研究主要从地铁车站规划建设的现状问题和发展需求出发,提出通过优化完善地铁车站设计思路与技术要点、强化科学管控等策略,促进城市空间高效利用、推动交通高质量发展。但现有研究较少从标准体系建设的角度出发,深入探讨如何编制兼具适用性和科学性的城市轨道交通地铁车站用地标准。广东省作为我国经济发达的省份之一,其城市化水平和轨道交通发展规模均居全国前列,轨道交通发展较为成熟,截至至 2022 年底,广东省有广州、深圳、佛山、东莞等 4 个城市获批建设城市轨道交通项目,总里程 1865 千米,总投资 12016 亿元,广东省全省已开通运营地铁线路 34 条,合计里程 1279 千米。基于此,本文以广东省城市轨道交通地铁车站用地为研究对象,在对车站用地

既有标准进行评估的基础上,结合地铁车站现状用地规模及现状问题,探索构建城市轨道交通地铁车站用地标准,完善广东省城市轨道交通用地标准体系。

## 1 既有标准评估

2003 年起,我国住房和城乡建设部、原国家质量监督检验检疫总局联合发布国家标准《地铁设计规范》(GB 50157 - 2013),标志着地铁规范化建设的开始。随着城市发展演变,为进一步规范城市轨道交通的基本功能和技术要求,2009 年住房和城乡建设部发布《城市轨道交通技术规范》(GB 50490 - 2009),对城市轨道交通建设与运营中应该满足的安全、卫生、环境等要求进行了明确。随着轨道交通建设规模持续扩大,与周边地块规划相协调成为发展趋势,2015 年住建部颁布《城市轨道沿线地区规划设计导则》,体现了站城一体化、站城融合的新时代发展要求。同时在城市群一体化发展背景下,市域快速轨道交通成为引导城市空间布局优化、提供组团间快速联系的重要支撑,2022 年住建部发布《市域快速轨道交通设计标准》(CJJ/T314 - 2022),从车辆、限界、线路、轨道等方面对市域快速轨道交通设计进行规范。

目前山东、湖北、上海、江苏等地已将地铁项目车站主体及其附属设施用地相关建设标准纳

入地方性建设用地标准。其中上海、江苏分别制定部分车站主体及其附属设施用地指标及定值;山东、湖北两地将部分车站主体与附属设施视作整体,统一定值。在控制指标类型方面,山东、上海、江苏对地铁车站主体及其附属设施建设用地的用地面积进行控制,湖北省对地铁车站附属设施长度、宽度进行控制(表 1)。

从各地用地标准的指标数值来看,山东省与上海市的用地面积数值区间一致,无配线站车站主体用地面积不高于  $6000\text{m}^2$ ,配线站车站主体用地面积为  $8000 \sim 15000\text{m}^2$ ;湖北省对车站长度、宽度进行规定,折算后城市道路红线内车站用地面积为  $3000 \sim 6000\text{m}^2$ ,城市道路红线外车站用地面积为  $8000 \sim 15000\text{m}^2$ ;江苏省仅对无配线、无换乘的独立标准地下车站地面占地面积进行规定,地面占地面积不超过 4000 平方米(表 2)。

## 2 广东省地铁车站现状用地规模

地铁车站用地规模主要受车站站台及配线形式、车辆编组和车型等因素影响。根据调查显示,广东省轨道交通地下站用地规模为  $3300 \sim 15000\text{m}^2$ ,车站平均用地规模  $6847.62\text{m}^2$ (表 3)。从站台及配线形式来看,地下站以无配线岛式车站为主,用地规模为  $3300 \sim 12100\text{m}^2$ ,少数为有配线岛式车站,用地规模为  $5500 \sim 10100\text{m}^2$ ;从

表 1 各地地铁车站用地标准控制指标情况表

标准名称	指标种类	指标分级分区	指标控制要求
《山东省建设用地控制标准(2024 年版征求意见稿)》	车站主体及其附属设施 建设用地的用地面积	根据车站主体/附属设施 分级	控制性指标,定额控制 或区间控制
《湖北省产业用地目录和用地标准(2023 年本)》	城市轨道交通车站附属 设施长度	根据道路红线内外分级	控制性指标,区间控制
	城市轨道交通车站附属 设施宽度	根据道路红线内外分级	控制性指标,区间控制
(上海)《节约集约建设用地标准》	地铁车站主体及其附属 设施建设用地指标	根据车站主体/附属设施 分级	控制性指标,定额控制
《江苏省建设用地指标(2022 年版)》	地铁项目地下车站用地 指标	-	控制性指标,上限控制

表 2 各地地铁车站用地标准用地规模管控情况表

	敷设方式	用地面积( m <sup>2</sup> )	
		无配线站	配线站
《山东省建设用地控制标准 (2024 年版征求意见稿)》	车站主体用地	6000	8000 ~ 15000
	附属设施用地	4500	4500
《湖北省产业用地目录和 用地标准(2023 年本)》	地下车站控制区域	长度( m )	宽度( m )
	城市道路红线内	200 ~ 300	15 ~ 20
(上海)《节约集约建设用 地标准》	城市道路红线外	200 ~ 300	40 ~ 50
	敷设方式	用地面积( m <sup>2</sup> )	
《江苏省建设用地指标 (2022 年版)》	车站主体用地	6000	8000 ~ 15000
	附属设施用地	4500	4500
无配线、无换乘的独立标 准地下车站地面占地面积		用地面积( m <sup>2</sup> )	
		≤4000	

表 3 广东省轨道交通地下站用地规模情况表

站台形式	配线形式	线路	编组	车型	车站	用地面积( m <sup>2</sup> )
侧式	交叉渡线	8	6	A	万胜围	9000
岛式	无	3	6	B	梅花园	4500
岛式	无	3	6	B	五山	5400
岛式	无	4	4	L	车陂	4400
岛式	无	4	4	L	金隆	5200
岛式	无	5	6	L	大沙东	3300
岛式	无	5	6	L	潭村	4600
岛式	无	6	4	L	河沙	3500
岛式	无	6	4	L	天平架	3900
岛式	无	7	6	B	板桥	6600
岛式	无	8	6	A	宝岗大道	6000
岛式	无	8	6	A	中大	6800
岛式	无	13	8	A	裕丰围	12100
岛式	无	13	8	A	南海神庙	7600
岛式	出入段线	3	6	B	厦滘	5500
岛式	单渡线	8	6	A	晓港	6000
岛式	存车线	5	6	L	猎德	10100
岛式	存车线	8	6	A	赤岗	7200
一岛一侧	停车线	2	6	A	萧岗	10300
双岛式	出入段线	2	6	A	嘉禾望岗	15000
双岛式	支线分岔、中央站台渡线	3	6	B	体育西路	6800

注:数据来源于项目组摸查统计

编组和车型来看,以6A、6B和4L编组为主,少数采用6L、8A等编组,其中6A编组站台用地规模为 $6000\sim15000m^2$ ,6B编组为 $4500\sim6800m^2$ ,4L编组为 $3500\sim5200m^2$ 。广东省轨道交通高架站用地规模为 $1600\sim5100m^2$ ,车站平均用地规模 $3300m^2$ (表4)。从站台及配线形式来看,高架站以无配线侧式车站为主,用地规模为 $1600\sim3300m^2$ ,少数为有配线的岛式、一岛一侧或双岛式车站;从编组和车型来看,以4L编组为主,用地规模为 $1600\sim3200m^2$ ,部分采用6L、6B等编组。将广东省地铁车站用地规模情况与各地地铁车站用地标准进行对比,广东省车站主体及其附属设施建设用地的用地面积位于 $1600\sim15000m^2$ 区间,与山东、上海两地标准规定的用地总面积上限基本吻合。

### 3 广东省地铁车站用地现状问题分析

#### 3.1 现行标准难以满足地方实际建设需要

现有标准缺少具体的地铁车站用地指标,一些概念甚至会造成土地浪费。如《城市轨道交通线网规划标准》(GB/T 50546-2018)中提出轨道交通车站的用地控制原则和控制范围,没有对车站用地控制指标做出具体要求。《城市轨道交通工程项目建设标准》(建标104-2008)中提出“控制保护地界”的概念,而在实际规划建设管理中,参照该标准容易造成车站周边保护控制范围较大,有些地铁车站对周边地块“占而不

用”,增加与周边地块的规划衔接成本,制约城市建设用地管理水平提升。

#### 3.2 缺少省级用地标准规范

现阶段,地铁车站用地相关规定分散于多个标准规范,标准来源繁多、行业差异等问题严重影响各地标准的衔接和应用,且在用地需求上聚焦不足,难以对轨道交通建设用地提供参考,同时国家标准中对于地铁车站用地的相关规定多以全国性普适为原则,难以兼顾各地在用地资源、经济水平及城市发展阶段上的差异性。广东省作为我国经济发达地区之一,城市化水平和轨道交通发展程度较高,迫切需要制定相关用地标准来满足节约集约用地、交通需求增长及城市空间结构优化方面的本土化需求。

### 4 用地标准研究

制定具有前瞻性和适用性的地铁车站用地标准已成为推动城市轨道交通高质量、可持续发展的重要手段。本文总结提炼城市轨道交通相关标准规范涉及的相关原则,结合广东省地铁车站用地实际情况和发展,提出用地标准制定应当遵循“以人为本、布局合理、安全可靠、经济适用”四项基本原则,以“功能分类更加全面、实用性更强”“指标区间弹性、兼容性更强”“赋值适应本土发展需求、适用性更强”三个方面为需求导向制定标准规则。

表4 广东省轨道交通高架站用地规模情况表

站台形式	配线形式	线路	编组	车型	车站	用地面积( $m^2$ )
侧式	无	6	4	L	横沙	1600
侧式	无	4	4	L	蕉门	2300
侧式	无	6	4	L	沙贝	2500
侧式	无	14	6	B	神岗	3300
岛式	交叉渡线、停车线、单渡线	5	6	L	滘口	5100
一岛一侧	单渡线、折返线	6	4	L	浔峰岗	3500
一岛一侧	双存车线	4	4	L	黄阁	3200
双岛式	渡线、越行线	14	6	B	太平	4900

注:数据来源于项目组摸查统计

## 4.1 基本原则

### 4.1.1 以人为本

地铁车站用地标准应注重“以人为本”<sup>[11]</sup>，符合乘坐需求，确保乘降安全，疏散迅速有序，建筑布局紧密，方便快捷<sup>[12]</sup>。应结合环境条件，综合考虑施工工艺、建筑技术，运用先进设备保障内外协调，及时处理日常问题。要充分考虑乘客密度与流动速率，满足乘客进出对楼道、电梯等的宽度要求<sup>[13]</sup>，保障客流高峰时乘客能够有序进出站和便捷换乘其他线路。

### 4.1.2 布局合理

车站站位选址及总体布局应符合城市规划、城市综合交通规划等规划，考虑城市空间结构和公共交通需求的持续变化，促进城市空间结构优化，缓解交通拥堵，提高城市居民生活质量，并应符合环境保护、文物保护、卫生防疫以及客流吸引、乘降便捷、城市景观的要求。同时还应充分考虑与机场、铁路等交通枢纽和公交站场及其他交通方式的衔接，实现轨道交通在交通网络中的骨干作用。

### 4.1.3 安全可靠

在制定地铁车站用地标准时，必须考虑到地铁建造及运营过程中整个建筑工程在结构布局上的安全性<sup>[14]</sup>，同时确保周围建构筑物安全。地铁车站的规模除应满足控制期高峰小时预测客流疏散及运营需求外，还应满足突发火灾等事故时的应急要求<sup>[15]</sup>，符合国家现行标准规范。

### 4.1.4 经济适用

地铁车站属于高投入基础设施建设项目，因此在设计与建设过程中需要考虑其经济适用性，以避免因资金投入问题导致土地浪费。地铁车站的规划应综合考虑其对周边土地的辐射带动效应，通过科学合理的站点选址和用地布局、周边片区综合开发，充分利用土地资源，最大化地发挥地铁车站对周边区域的土地价值提升作用，实现轨道交通建设与城市发展的良性互动。

## 4.2 标准制定需求

城市轨道交通地铁车站用地本身是各项交

通服务功能组合或叠加的结果，用地标准的研究需要结合使用功能等构建多元控制指标，同时由于各地资源禀赋各异，城市轨道交通发展情况存在差异，发展定位也不同，指标要素的选择应具备本土适用性、实用性和兼容性。

### 4.2.1 功能分类更加全面、实用性更强

各省既有建设用地标准中，对城市轨道交通地铁车站的功能分类方式各有不同，上海市工程建设规范《节约集约建设用地标准》《山东省建设用地控制标准(2024年版)》将车站主体分为地下车站(包括无配线站和配线站)和高架车站(包括标准站和非标准站)两大类、四小类，上海市还将轨道交通车站附属设施细分为独立出入口、独立消防通道出入口、独立残疾人电梯、单座风井、冷却塔等，并分别提出用地指标要求。《湖北省产业用地目录和用地标准(2023年本)》沿用《城市轨道交通线网规划标准》规定，对地下车站、高架车站、地面车站三种车站分别提出控制区指标要求。《江苏省建设用地指标(2022年版)》在车站分类基础上进行A、B型车(6、4辆编组)分别控制。从上述标准来看，功能分类主要集中在三个方面：(1)按车站敷设方式划分；(2)按地铁车型划分；(3)按车站地面附属设施细分。

通过研究现有标准，并结合广东省轨道交通发展情况，对地铁车站主体及其地面附属设施的功能分类进行补充。一是面向相关主管部门和设计者双方，以“好管好用”为最终目标制订控制指标，对常用标准规范作充分衔接，细化功能分类，增补建设控制区取值范围等常用用地指标计算依据，使功能分类覆盖更加全面，提高建设用地标准的适用性。二是在车站敷设方式分类基础上，引入地铁车型划分。车站用地规模与车辆编组和轨道系统关系密切，需要考虑按照不同编组进行区分，或提出指标对应的标准车型，使建设用地标准更本土化。

### 4.2.2 指标区间弹性、兼容性更强

在用地减量化背景下，地铁车站用地存在差异。上海市、深圳市等地因用地极为紧缺，开发

高度集约,多考虑控制发展,而以引进产业为主导思想的地区则可能适当放宽控制,为发展留有余地。本标准指标需面向全省,应当注重当前需求与长远发展相结合,在节约集约的同时,适当面向未来,合理适度采用技术标准,合理分配、有效利用空间资源。综合考虑指标数值用于实施后的用地,作为规划用地还应适当留有余地,取上下区间值而非单一控制值,同时也为各个区域、各个城市自行制定相关标准留下衔接基础。

#### 4.2.3 赋值适应本土发展需求、适用性更强

城市轨道交通是缓解特大型城市交通矛盾、实现交通可持续发展的重要途径,也是公共交通网络的核心组成部分,在未来运营车辆车型通常根据实际情况进行确定,需要采用与本地主流车型保持一致的标准车型作为用地匡算基础。本文建议沿用广东省内常用标准车型A型6辆编组作为基础,同时尽量考虑兼容其他车型需求。在运营车辆车型明确的情况下,轨道交通车站用地规模应根据实际车辆尺寸匡算。根据广东省典型案例进行深入比对分析,地铁编组4L型一般占地约 $1600\sim 5200m^2$ ;编组6A型一般占地约 $6000\sim 11000m^2$ ;编组6B型一般占地约 $3300\sim 7200m^2$ ;编组6L型一般占地约 $3300\sim 5100m^2$ ;编组8A型一般占地约 $7600\sim 12100m^2$ 。

标准制订强调城市轨道交通规划建设在社会效益、环境效益与经济效益方面综合协调,且指标的设定既考虑满足功能、性能要求,还遵循节约集约的原则。在保障轨道交通功能需求和运营安全的前提下,应积极探索轨道交通场站的立体开发模式,加强功能复合,体现“功能混合、立体复合、生态宜居”的规划理念,进一步提高土地节约集约利用水平。

### 4.3 标准制定情况

车站主体根据建设条件可选择布置在道路红线内或外侧地块内,布置在道路红线内时能够

充分利用城市道路用地,布置在道路红线外侧地块内时需额外占用较多土地资源。因此,在城市建成区,车站主体一般随着线路布局优先布置在道路红线之内。地铁项目建设中,车站附属设施通常需要布置在道路红线外侧毗邻地块内,为了能够集约利用土地资源,有条件时可与邻近公共建筑相结合。原则上主体部分、附属部分应合并建设,减少用地规模,节约集约用地。为更好衔接审批过程中各类常见的、涉及建设用地使用的城市轨道交通功能分区,根据案例整合细化各类附属设施的单独用地指标。建议标准采用6节编组、A型车为用地匡算基础,对于有换乘的车站,则应根据实际情况而定。

#### 4.3.1 标准制定思路

结合广东省内城市调研案例具体情况总结分析,同时综合考虑现行标准、政策要求,确定沿用常用标准车型A型6辆编组作为基础,同时尽量考虑兼容其他车型需求。起终点车站、编组数大于6节或股道数大于2线的车站、采用铁路制式的车站,应根据具体情况确定用地控制范围进行计算确定。根据《地铁设计规范》《广东省城市轨道交通工程设计规范》内容计算得到6节A型车总长为140m。在运营车辆车型明确的情况下,应当按实际车辆尺寸匡算枢纽场站用地规模,如8节A型车车站用地可考虑上浮15%,8节D型车车站用地可考虑上浮20%。车站附属设施指标上限考虑防洪防灾设计需求,根据广东各地实际情况适当提高指标上限。

#### 4.3.2 车站用地规模

(1)地下车站。地下车站的用地面积是指“地下建、构筑物的平面投影面积”<sup>①</sup>,分为无配线站和配线站。无配线站指标仅适用于无配线、无换乘的独立标准车站。配线站指设单渡线、交叉渡线、折返线、存车线、出入线、联络线等配线的车站。

<sup>①</sup> 注:根据《上海市基础设施用地指标(试行)》《山东省建设用地控制标准(2024年版)》(征求意见稿)确定。各省份对地下车站的占地面积定义有不同的理解,定义将影响到地下车站建设对地上空间的使用问题以及控制指标设定的尺度问题。定义为“地下建、构筑物的平面投影面积”能更好控制车站范围内开发,对车站日后的改造升级,日常维护,能保证其用地需求。

表 5 地下地铁车站主体及其附属设施建设用地指标表

敷设方式	用地面积( m <sup>2</sup> )	
	无配线站	配线站
车站主体用地	6000	8000 – 15000
总面积	4500	
独立出入口	105 – 160	
出入口与消防通道合建的出入口	135 – 200	
独立残疾人电梯	40 – 50	
单座风井	20 – 40	
其他	120 – 170	
冷却塔		

表 6 地上地铁车站主体及其附属设施建设用地指标表

敷设方式	用地面积( m <sup>2</sup> )	
	地面车站	高架车站
车站主体用地	6000 – 8000	4500 – 6000
高架站(路中)( m <sup>2</sup> /组)		
附属设施用地	楼扶梯和电梯: 600 附属用房: 2500	

(2) 地上车站。地上车站包括高架车站和地面车站两种。高架车站主体部分指站台、站厅,用地指标指地上建、构筑物及雨棚的投影面积。高架车站附属部分指设备管理用房、出入口、站前广场、消防车道,用地指标指外挂面积,其中设备管理用房等指投影面积。地面车站建设用地指标主要包括站台、站厅、设备管理用房、出入口、站前广场、消防车道用地。

## 5 结语

城市轨道交通地铁车站是城市交通基础设施用地的重要组成部分。为加快城市轨道交通地铁车站的规范化、科学化建设,提高城市交通基础设施的整体水平,建议从建立定期评估机制、强化实施保障、优化规划布局及完善监管体系等方面出发,推动地铁车站用地标准的科学实施。一是建立城市轨道交通地铁标准车站用地标准动态更新机制,在用地标准颁布实施后,定期对地铁车站用地标准的执行情况进行综合评估,并根据城市空间结构、交通需求、出行结构及技术发展的变化趋势,适时修订标准,以确保用

地标准的科学性和实用性。二是强化实施保障,完善相关法律法规及管理制度,建立土地管理、城市规划、交通管理等部门间的长效协调机制,在规划审批、用地监管、建设监督等环节中,强化部门协作与信息共享,确保各部门在地铁车站用地标准的执行过程中形成合力。三是优化规划布局,在规划层面,综合考虑城市发展和交通需求,及时开展交通专项规划,充分研究城市轨道交通地铁车站选址布局和规模,加强与其他交通方式的衔接与协调,确保规划前瞻性与适应性。四是完善监管体系,严格按照用地标准规范地铁车站的规划、设计、建设,对地铁车站设计方案、施工方案进行严格审核,对项目实施过程中用地标准的执行情况进行全过程监督,明确建设各环节的责任主体,确保标准在各个阶段均得到有效落实。

### 参考文献(References):

- [1] 陈明昊,徐凌,朱胜利,等.城市轨道交通工程建设标准体系构建研究[J].都市快轨交通,2022,35(01):147 – 154.

- [2] 李瑞瑞. 地铁车站建筑设计思路及要点分析[J]. 工程建设与设计, 2024, (04): 13 - 18.
- [3] 梁韵琳. 现有地铁车站建筑设计的不足及创新初探[J]. 建材与装饰, 2019, (18): 254 - 255.
- [4] 闫福强, 武魁伟. 创新理念的城市轨道交通车站建筑设计研究[J]. 城市建设理论研究, 2023, (14): 134 - 136.
- [5] 李娟, 张馨, 郭飞, 等. 城市轨道交通车站附属设施规划用地控制探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2019, (04): 1 - 4.
- [6] 鄢婷. 地铁车站建筑设计理念与方法的实践研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (35): 53 - 55.
- [7] 管娜娜, 邓沈煦, 谭月, 等. 成都市轨道交通规划控制标准和管控要求[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(12): 195 - 199.
- [8] 王东坤. 地铁车站建筑标准化设计探讨——基于宁波地铁4号线金达站建筑设计实践分析[J]. 建设科技, 2022, (06): 65 - 68.
- [9] 魏薇. 地铁车站建筑规模减量化策略研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(12): 21 - 24.
- [10] 李文英, 鲁放. 城市轨道交通标准体系建设研究[J]. 都市快轨交通, 2021, 34 (06): 155 - 159 + 166.
- [11] 葛志伟, 刘智佳. 地铁车站地面建筑设计要点探析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(09): 185 - 187.
- [12] 李太民. 地铁车站建筑设计要点探析[J]. 北方交通, 2024, (04): 86 - 88.
- [13] 刘超亮. 地铁车站建筑设计理念与方法[J]. 城市建筑, 2013, (22): 18.
- [14] 王尊. 地铁建筑的设计思路与技术要点[J]. 自动化应用, 2023, 64(S1): 156 - 158.
- [15] 康磊. 地铁建筑设计的思路与技术要点分析[J]. 大众标准化, 2022, (19): 34 - 36.
- 

**作者简介:**

第一作者:郭强,1995 年生,男,山西运城人,硕士,广东省土地调查规划院,助理研究员,主要研究方向为土地集约节约利用评价和用地标准研究。Email:1206617842@qq.com;

通讯作者:刘玮,1985 年,男,湖南株洲人,广州市交通规划研究院有限公司,高级工程师,主要研究方向为城市规划。Email:250267575@qq.com

---

## Study on Land Use Criteria for Standard Metro Stations of Urban Rail Transit in Guangdong Province

GUO Qiang<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>2\*</sup>, CHEN Xuankai<sup>1</sup>

(1. Guangdong Land Survey and Planning Institute, Guangzhou, 510075, China;

2. Guangzhou Transportation Planning and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, 510030, China)

**Abstract:** The purposes of this study are to promote the economical and intensive use of urban space and regulate the land use of metro stations for rail transit, and play to the role of rail transit in supporting and promoting urban development, it is necessary to study the station land use standards and control requirements. The research methods include case study, literature review. The results show that analyze the current land scale and common problems of metro stations in Guangdong Province on the basis of systematically sorting out and comprehensively evaluating the relevant national and local standards, put forward the basic principles of land use standards, and make it clear that the functional classification is more comprehensive and practical, the index interval is flexible and compatible, the assignment of values to adapt to the needs of local development and applicability, and put forward specific recommendations for the formulation of standards. The assignment of value to adapt to the needs of local development, applicability is stronger aspects of the demand – oriented development of standard rules, and put forward specific standard provisions of the development of proposals.

**Keywords:** urban rail transit; land use standard; conservation and intensive utilization

# 黑龙江源泉国土资源勘查设计有限公司

黑龙江源泉国土资源勘查设计有限公司成立于2000年，是从事不动产调查、工程测绘、3S技术应用、规划、监测、评估、监理、软件开发等领域的软硬件开发和工程服务集成供应商。

公司已经建立全国市场服务体系，现已在四川、宁夏、新疆、天津、河南、穆棱、北安等地成立分公司，逐步在全国各省市建立区域服务体系。公司在2015年投资成立北京世纪九州软件有限公司，位于北京中关村科技园，是以空间信息技术（GIS、GPS、RS）和物联网技术为核心的专业软件研发高新技术企业，业务体系涵盖测绘地理信息、自然资源、智能农业、环境保护、智慧城市等信息化平台应用。

公司凝聚了一大批高素质人才，现有员工380人，按工作岗位划分，管理服务人员占15%，专业技术人员占85%；按学历划分，其中博士学历占总人数5%，硕士学历占18%，本科学历占55%；按职称划分，高级工程师38人，工程师50人，助理工程师64人，中高级职称员工占比近40%。

公司自成立以来，始终以“用信息和科技创造未来”为企业使命，以“行业领先的信息化方案提供者和运营商”为战略目标，以“专注、诚信、奋进、共享”为企业价值观，以“正直、善良、勤奋、乐达”为企业用人观。为客户提供解决方案是我们永恒的追求，我们将一如既往的为客户提供优质的技术服务。

公司是东北农业大学校企战略合作单位，是武汉大学北京技术转移中心、南方测绘集团、中地数码集团战略合作伙伴。

现持有国家通行资质12块：

1.测绘甲级资质；2.测绘乙级资质；3.工程咨询乙级资质；4.国家土地登记代理中介机构；5.国家土地评估中介机构；6.黑龙江省土地登记代理机构；7.农林行业乙级工程设计资质；8.土地规划乙级资质；9.地质灾害危险性评估乙级资质；10.地质灾害治理工程设计乙级资质；11.地质灾害治理工程乙级勘查资质；12.地质灾害治理工程丙级监理资质。

公司是黑龙江省土地整理项目可研、勘测、设计单位资质库入库单位。

公司软件产品包括：

1.不动产便民服务系统；2.第三次全国土地调查软件产品；3.多规合一软件产品；4.一张图数据及综合监管平台；5.两区划定综合管理系统；6.弱势群体安全管理系统；7.车辆管理系统；8.土地开发利用复垦；9.开发区管理系统；10.土地市场动态监测与监管系统；11.国土资源领导用图系统；12.国土资源执法监察系统；13.档案管理系统。

我公司一直秉承“诚信第一、质量至上、打造品牌、服务社会”的服务理念，项目成果也多次获得委托方和主管部门的一致好评。

公司是中国地理信息产业协会理事单位、黑龙江省土地学会副理事长单位、黑龙江省地理信息产业协会副会长单位、黑龙江省地理信息产业学会副会长单位、黑龙江省不动产调查与登记代理协会副会长单位；是中国地理信息产业最具活力中小企业，被黑龙江省地理信息产业协会评为黑龙江省地理信息产业20强企业。并先后获得诸多奖项：

- 2011年08月：荣获黑龙江省优秀测绘工程奖铜奖；
- 2012年06月：荣获规划优秀成果奖；
- 2012年09月：荣获黑龙江省优秀测绘地理信息工程奖铜奖；
- 2012年12月：荣获科学技术奖证书、成果登记证书；
- 2013年08月：荣获黑龙江省第二次土地调查优秀成果一等奖；
- 2013年12月：荣获优秀测绘地理信息工程奖铜奖；
- 2018年10月：荣获黑龙江省优秀测绘地理信息工程奖银奖；
- 2018年10月：荣获黑龙江省优秀测绘地理信息工程奖铜奖；
- 2019年11月：荣获黑龙江省优秀测绘地理信息工程奖评选中被授予铜奖；
- 2021年01月：荣获2020年度黑龙江省国土资源（非矿类）优秀工程奖金奖；
- 2021年01月：荣获2020年度黑龙江省国土资源（非矿类）优秀工程奖铜奖；
- 2021年01月：荣获2020年度黑龙江省国土资源（非矿类）优秀工程奖银奖。

## 以人为本 诚信立业

