

雄安新区建设

对北京市人口疏解 与土地利用的影响

韩赧 ○ 著



Science Footprint Press
Science Footprint Press (US)

雄安新区建设对北京市人口 疏解与土地利用的影响

韩 赧 著

Science Footprint Press
Science Footprint Press (US)

书 名	雄安新区建设对北京市人口疏解与土地利用的影响		
作 者	韩 赧 著		
出 版 发 行	Science Footprint Press	Science Footprint Press (US) Inc	
	HO KING COMM CTR	1580 N Logan St Ste 660-30327 Denver, CO 80203	
	2-16 FAYUEN ST MONGKOK KLN		
	HONG KONG		
网 址	www.scifootprint.com		
邮 箱	book@scifootprint.com		
制 版 印 刷	香港商务印刷厂		
	HONG KONG COMMERCIAL PRINTING FACTORY		
版 次	2025 年 8 月香港第一版第一次印刷		
纸质版定价	人民币 140 元 港币 180 元		
电子版定价	开源免费		
国 际 书 号	ISBN 979-8-9992829-4-1		
DOI	https://dx.doi.org/10.48014/979-8-9992829-4-1		
规 格	16 开(185mm×260mm)162 面		
字 数	300 千字		
版 权 声 明	<p>本书由作者授权 Science Footprint Press(SFP)独家出版发行, 未经 SFP 书面许可, 不得以任何方式擅自复制、再造、出版、改编本书内容。电子版图书免费阅读。</p>		

前言

当前,大都市在发展过程中普遍遇到人口膨胀的问题,因此均将城市的人口疏解作为城市发展与规划的重要目标。2017年4月,国家提出了建设雄安新区的千年大计,这对于集中疏解北京非首都功能,调整京津冀城市布局 and 空间结构均具有重要影响。合理的预估雄安新区建设对北京市人口疏解的贡献,揭示雄安新区建设对于北京市城市发展格局的影响,将对北京市与雄安新区建设有重要意义。本研究基于“以业带人”的人口疏解思路,将雄安新区的建设视为促进北京市产业结构优化和人口疏解的政策冲击,基于北京市历史土地利用分布图、遥感影像、城市兴趣点(POI)、产业投入产出表和统计年鉴等资料和数据,利用轮廓线树法、系统动力学、多主体与元胞自动机等方法,测算和分析了雄安新区建设背景下产业疏解对北京市人口与土地利用的影响。主要研究结果如下:

通过对比1990—2000年、2000—2015年和2015—2018年北京市土地利用空间分布格局及其演变规律后发现北京市城市土地扩张呈现出由“圈层扩展”向“圈层扩展+分散扩展”过渡的态势。城市兴趣点(POI)数据,利用POI分布密度及空间衰减特征识别了包含居住、商服和工业等主要产业与功能的集聚中心,发现除工业以外,北京市首都功能核心区诸如居住、商业和公服等功能等主要集聚区,而远郊区的商服类产业发展规模仍偏小。

利用北京市在经济、就业和能源等方面的发展目标,构建了北京市产业结构的多目标优化模型,并根据不同发展权重设定了包括中性增长、就业偏向和能源控制三种产业疏解情景,利用遗传算法测算了不同情景下待疏解行业及其规模。从不同产业疏解情景的平均疏解规模来看,批发和零售、住宿和餐饮、房地产、农林牧渔业、电力、热力的生产和供应、租赁和商务服务变化、建筑和制造业是未来主要的疏解行业,而批发和零售业、住宿和餐饮的疏解幅度最大,分别下降到2012年产值比重的45.63%和38.56%。不同产业疏解情景之间,就业偏向情景下行业解规模基本与中性增长情景保持一致,但能源控制情景会增加制造业和建筑业的疏解规模,但减少租赁和商务服务业疏解。

雄安新区建设背景下,产业疏解带动劳动力迁出以及通过雄安新区自身经济发展吸引人口迁出是疏解北京市人口重要途径。基于系统动力学方法,引入劳动力感应系数,构建了包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区人口与土地需求模拟模型。应用该模型测算不同产业疏解情景下北京市劳动力、人口规模和土地需求等要素的变动趋势。结果表明:雄安新区的建设一定程度地可以抑制北京市人口持续增长的趋势。不同产业疏解情景下,能源控制情景的人口规模将基本维持2018年的现状规模,而在中性增长情景和就业偏向情景的人口规模相较于2018年略有下降。从影响人口规模的途径上看,北

京市人口规模的减少主要依赖于产业疏解,2018—2035 年劳动力的疏解总量可达到 309.05 万 ~ 368.42 万人。短期来看,直接从北京迁入至雄安新区的人口规模相对较小,约占产业迁出带动劳动力疏解规模的 8.3% ~ 9.2%,但北京市每年迁出至雄安的人口规模总体呈现快速增加的趋势。

构建了耦合多主体与元胞自动机的土地利用模拟模型并应用该模型模拟北京市 2018 年土地利用格局,并预测了 2035 年不同产业疏解情景下北京市土地利用格局。受产业疏解的影响,北京市工业用地、批发零售用地、住宿餐饮用地和公共服务用地将减少,其中,批发零售和住宿餐饮用地的下降幅度最大;但未来商务金融用地和其他商服用地将进一步扩大,其中商务金融用地增幅相较于常规情景增加近一倍。在地类的转出规模上,首都核心功能区、平谷、延庆和密云等区县的工业用地转出规模增加;批发零售用地在东城、西城、丰台和石景山转出规模增加;住宿餐饮用地在首都核心功能区转出规模较高。在地类转入规模上,远郊区城市居住用地的增幅较大;首都核心功能区的批发零售用地相对于常规情景略有增加;首都核心功能区内商务金融用地和其他商服用地转入量减少但远郊区县的转入规模在增加。

目 录

前言

第 1 章 引言	001
1.1 研究背景	001
1.2 研究意义与问题的提出	002
1.2.1 研究意义	002
1.2.2 研究问题的提出	003
1.3 研究目标与内容	003
1.4 技术路线与论文结构安排	004
1.4.1 技术路线	004
1.4.2 论文结构安排	004
第 2 章 理论回顾与研究进展	007
2.1 相关概念辨析	007
2.1.1 城市功能与首都功能	007
2.1.2 城市功能集聚与疏解	008
2.1.3 人口疏解与产业疏解	009
2.2 国内外城市功能疏解案例	011
2.3 产业疏解对人口和城市用地结构影响	013
2.3.1 相关理论基础	013
2.3.2 产业疏解对人口和土地利用的影响	015
2.3.3 首都产业与人口疏解现状及相关研究	016
2.4 土地利用变化模型进展	018
2.5 本章小结	021
第 3 章 北京市产业、人口与土地利用现状	023
3.1 研究区概况	023
3.1.1 自然地理概况	023

3.1.2 社会经济概况	024
3.2 研究方法与数据来源	024
3.2.1 数据源及预处理	024
3.2.2 研究方法	027
3.3 结果与分析	036
3.3.1 北京市土地利用解译精度评估	036
3.3.2 北京市土地利用时空分布特征及趋势	037
3.3.3 北京市产业与居住空间分布	043
3.3.4 北京市人口现状及趋势	053
3.4 本章小结	055
第 4 章 基于远程耦合的人口与土地需求模拟模型构建	057
4.1 建模目的与框架	057
4.1.1 建模目的	058
4.1.2 模型结构与时空边界	058
4.2 子系统的因果关系与变量核算	060
4.2.1 因果关系与关键路径	060
4.2.2 变量核算与赋值	066
4.3 模型检验	072
4.4 本章小结	075
第 5 章 基于 MAS-CA 土地利用变化模拟模型构建	076
5.1 模型概述	076
5.1.1 环境要素层	076
5.1.2 多主体及决策行为	077
5.1.3 元胞自动机层	082
5.1.4 综合决策规则	083
5.2 参数设定与模型实现	083
5.2.1 参数设定	083
5.2.2 模型实现	090
5.3 精度评估与误差分析	091
5.3.1 精度评估	091
5.3.2 误差分析	092
5.4 本章小结	094

第 6 章 雄安新区建设对北京市人口及土地利用的影响	095
6.1 北京市产业结构多目标优化与疏解情景设定	095
6.1.1 多目标优化模型	095
6.1.2 情景设定	099
6.1.3 产业疏解情景	099
6.2 不同产业疏解情景下雄安新区发展预估	101
6.3 不同产业疏解情景下北京市人口及社会经济指标的变化	104
6.3.1 北京市人口规模的变化	104
6.3.2 北京市主要宏观社会经济指标的变化	105
6.4 不同产业疏解情景下北京市土地利用模拟	107
6.4.1 土地利用需求变化	107
6.4.2 土地利用空间分布及转移	108
6.5 雄安新区建设对北京市人口与土地利用的影响分析	113
6.5.1 雄安新区对北京市人口的影响	113
6.5.2 雄安新区对北京市土地利用的影响	114
6.6 本章小结	118
第 7 章 对策与建议	119
7.1 精准施策,科学有序推进非首都功能产业疏解	119
7.2 优化公共服务资源配置,引导人口合理分布与有序流动	121
7.3 优化国土空间开发格局,实现土地集约高效与绿色发展	122
7.4 创新跨区域协同发展机制,构建京雄命运共同体	123
7.5 健全协同治理的保障体系,为区域一体化进程夯实基础	124
7.6 激发人才与创新驱动力,构筑区域协同创新共同体	127
7.7 构筑城市安全韧性屏障,确保区域转型的公平与稳定	128
第 8 章 结论与展望	130
8.1 研究结论	130
8.2 主要创新点	131
8.3 研究展望	131
参考文献	133
附录	142

图目录

图 1-1	雄安新区地理位置	002
图 1-2	研究技术路线图	005
图 3-1	北京市 Landsat 原始影像	023
图 3-2	北京市城市道路空间分布和地块划分	026
图 3-3	土地利用遥感解译流程	028
图 3-4	城市功能区临界边界判断示意图	031
图 3-5	城市 POI 密度分布的单一同心结构示例(以 2015 年北京市批发零售类 POI 为例) ...	031
图 3-6	城市 POI 密度分布的复合同心结构示例(以 2015 年北京市批发零售类 POI 为例) ...	032
图 3-7	局部轮廓线树的简化过程	032
图 3-8	城市产业分布中心提取流程	033
图 3-9	2015 年不同搜索半径下北京市城市四环内城市兴趣点密度分布	034
图 3-10	1990—2018 年北京市公里网格内土地利用转移及动态度空间分布	040
图 3-11	不同时期建设用地动态度的空间分布状况	041
图 3-12	2015 年和 2018 年北京市土地利用二级地类分布图	042
图 3-13	2015 年和 2018 年北京市区县建设用地内的功能结构	042
图 3-14	2015 年北京市居住用地轮廓线及轮廓线树	043
图 3-15	2015 年北京市居住空间分布中心	044
图 3-16	2015 年北京市商务金融业轮廓线及轮廓线树	047
图 3-17	2015 年北京市商务金融业空间分布中心	046
图 3-18	2015 年北京市住宿餐饮业轮廓线及轮廓线树	046
图 3-19	2015 年北京市住宿餐饮业空间分布中心	047
图 3-20	2015 年北京市批发零售轮廓线及轮廓线树	048
图 3-21	2015 年北京市批发零售空间分布中心	049
图 3-22	2015 年北京市其他商服轮廓线及轮廓线树	050
图 3-23	2015 年北京市其他商服空间分布中心	051
图 3-24	2015 年北京市公服用地轮廓线及轮廓线树	051
图 3-25	2015 年北京市公共服务空间分布中心	052
图 3-26	2015 年北京市工业用地轮廓线及轮廓线树	053
图 3-27	2015 年北京市工业空间分布中心	054
图 3-28	2010—2035 年北京市常住人口变化情况	055

图 3-29	2010—2035 年北京市人口抚养比及老龄化趋势	055
图 4-1	单一区域 SD 与跨区域 SD 系统中北京市人口变化	059
图 4-2	跨区产业-人口-土地关系的系统结构图	059
图 4-3	人口子系统因果关系	061
图 4-4	经济子系统因果关系	062
图 4-5	产业-劳动力子系统因果关系	063
图 4-6	土地需求子系统因果关系	064
图 4-7	雄安新区子系统因果关系	065
图 4-8	人均 GDP 与城镇化率拟合回归结果	066
图 4-9	净迁移率回归结果	067
图 4-10	2000—2018 年北京市实际固定资产形成额和资本存量	068
图 4-11	量纲一致性检验	073
图 4-12	系统动力学模型敏感性检验	075
图 5-1	企业主体决策行为示意	077
图 5-2	北京市引导发展因子(a)与限制发展因子(b)	088
图 5-3	模型训练与参数校准	090
图 5-4	基于 MAS-CA 土地利用变化模型流程图	091
图 5-5	北京市土地利用实际情况与模拟结果对比图	093
图 6-1	不同产业疏解情景下产业结构变动幅度	100
图 6-2	不同情景方案下产业结构变动幅度	101
图 6-3	不同产业疏解情景下雄安新区 GDP 变化趋势	103
图 6-4	不同产业疏解情景下雄安新区常住人口变化趋势	103
图 6-5	不同产业疏解情景下北京市常住人口变化趋势	104
图 6-6	不同产业疏解情景下北京市 GDP 变化趋势	106
图 6-7	北京市土地利用情景模拟结果	108
图 6-8	常规情景下 2018—2035 年土地利用空间转移	109
图 6-9	中性增长情景下 2018—2035 年土地利用空间转移	110
图 6-10	就业偏向情景下 2018—2035 年土地利用空间转移	111
图 6-11	能源控制情景下 2018—2035 年土地利用空间转移	112
图 6-12	不同产业疏解情景下北京市疏解劳动力及迁出至雄安的规模及趋势	114
图 6-13	不同产业疏解情景对土地利用需求的影响幅度	115
图 6-14	不同产业疏解对区县地类转出面积的影响	116
图 6-15	不同产业疏解情景对区县地类转入面积的影响	117
附图 1	POI 核密度分布	142
附图 2	系统动力学框架	143

表目录

表 3-1	Landsat 8 影像数据源及其获取日期与云覆盖率	025
表 3-2	北京市不同环线内街区单元信息统计	026
表 3-3	研究区 POI 信息统计	027
表 3-4	土地利用分类系统	028
表 3-5	2015 年和 2018 年土地利用一级地类的训练样本数	029
表 3-6	城市产业及所关联 POI 属性	033
表 3-7	土地利用一级地类分类混淆矩阵与精度	036
表 3-8	北京市建设用地二级地类分类的混淆矩阵与精度	037
表 3-9	北京市 1990—2018 年土地利用一级类型变化情况	038
表 3-10	北京市 1990—2000 年土地利用转移矩阵	038
表 3-11	北京市 2000—2015 年土地利用转移矩阵	039
表 3-12	北京市 2015—2018 年土地利用转移矩阵	039
表 3-13	2015—2018 年建设用地二级地类面积及其变化	041
表 4-1	不同时期北京市城市规划对首都功能的定位	057
表 4-2	全要素生产函数估算结果	067
表 4-3	投入产出表的基本结构	069
表 4-4	中国不同能源类型的二氧化碳排放系数	069
表 4-5	各行业劳动力感应系数及总产值下降 10% 对就业量影响	070
表 4-6	北京市耕地与城市功能用地经济密度	072
表 4-7	历史真实值与模型预测对比	072
表 4-8	人口总量的误差检验及预测曲线	073
表 5-1	不同行业感知能源消耗和劳动力疏解的压力大小	084
表 5-2	不同行业空间位置效用指标的权重系数	084
表 5-3	不同行业迁移压力测算指标的权重	084
表 5-4	不同行业迁移意愿指标的权重	085
表 5-5	居民主体类型及各居民主体类型所占比例	086
表 5-6	2015 年不同收入区间内居民主体的平均收入	086
表 5-7	不同居民主体位置选择偏好权重	087
表 5-8	空间变量的数据来源及其与处理	088

表 5-9	2018 年北京市土地利用变化模拟预测精度验证表	092
表 6-1	不同产业疏解情景下雄安新区主要社会经济指标	101
表 6-2	2018—2035 年北京市人口规模与增速	105
表 6-3	不同产业疏解情景下 2035 年北京市主要宏观经济指标	105
表 6-4	2018—2035 年土地利用变化数量	107
表 6-5	2018—2035 年北京与雄安耦合系统内人口流动方向及规模	113
表 6-6	2018—2035 年不同情景方案下行业劳动力疏解量	114
表 7-1	京津冀协同发展核心法规体系建设建议	126
表 7-2	京雄协同创新生态系统关键指标与行动计划	128
附表 1	北京市居住空间分布中心的统计信息	144
附表 2	北京市商务金融业分布中心的统计信息	144
附表 3	北京市批发零售业分布中心的统计信息	145
附表 4	北京市住宿餐饮业分布中心的统计信息	145
附表 5	北京市其他商服业分布中心的统计信息	146
附表 6	北京市公共服务业分布中心的统计信息	147
附表 7	常规情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵	148
附表 8	中性增长情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵	148
附表 9	就业偏向情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵	149
附表 10	能源控制情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵	149

第1章 引言

1.1 研究背景

人口是推动经济社会发展的核心力量(颜咏华 等,2015)。人口的有序流动和合理分布与否则不仅直接影响到城市群/城镇体系发展的质量,而且与社会经济和生态环境的可持续性密切相关(Fang et al.,2017)。京津冀城市群是继长三角和珠三角之后中国经济增长的第三极。但长期以来,京津两地依靠自身的强大的资源配置能力,吸纳和集聚了众多劳动力和产业。然而,囿于行政边界分割,京津两地城市扩散效应十分微弱,导致京津冀城市群内部社会经济水平极度不平衡,人口分布差距过于悬殊(Wang et al.,2014)。当前,北京市正面临着人口过度膨胀、土地资源紧缺、交通拥堵、生态矛盾和社会管理等“大城市病”问题(Liu et al.,2018),城市功能承载过多、缺乏与其他城市间必要的产业分工是导致北京“大城市病”的主要原因。

为了有效缓解北京“大城市病”,《北京城市总体规划(2016—2035年)》提出多项举措,要求疏解非首都功能并建立疏解腾退空间管理机制,促进城市功能的优化提升。2017年4月,中共中央、国务院决定设立河北雄安新区,并将该区定位为融合卫星城和大城市新区的双重属性的战略支撑点和增长极,具有承接北京非首都功能及相关产业,带动周边区域发展的重要作用。雄安新区规划范围涉及河北省雄县、容城、安新3县及周边部分区域,地处北京、天津、保定腹地(图1-1),与京津的距离在100km左右,并且与形成近似的正三角形,具有明显的区位优势 and 巨大的发展空间,且没有被深度开发,人口、生态方面优势明显。作为北京市非首都功能的集中承载地,雄安新区建设将对提升首都核心功能、优化产业结构和带动周边区域发展产生重要影响。

“以业带人”,即通过调整和优化产业结构带动劳动力的迁移(李超 等,2013),是当前疏解北京城市功能的重要手段。在经济新常态转型期内,经济发展模式在速度、结构和驱动模式方面的转化更给产业结构优化目标带了新的挑战(任保平等,2017)。产业结构优化已从单一追求经济发展向综合考虑经济、能源和环境的多目标产业结构优化转变。因此,实现产业结构多目标优化是经济新常态背景下城市疏解的重要目标。

从疏解路径上看,不同于一般“中心-外围”路径,雄安新区的设立是利用政策调控手段打破由于京冀行政分割所导致城市间生产要素扩散弱化的局面,将北京和雄安新区视作一个远程耦合的系统而进行的产业疏解方案,属于“蛙跳式”的疏解路径。在该疏解路径下,迁移产业是否具有带动作用不仅关系到雄安新区的发展,也会通过与关联产业间的要素流动,对北京市

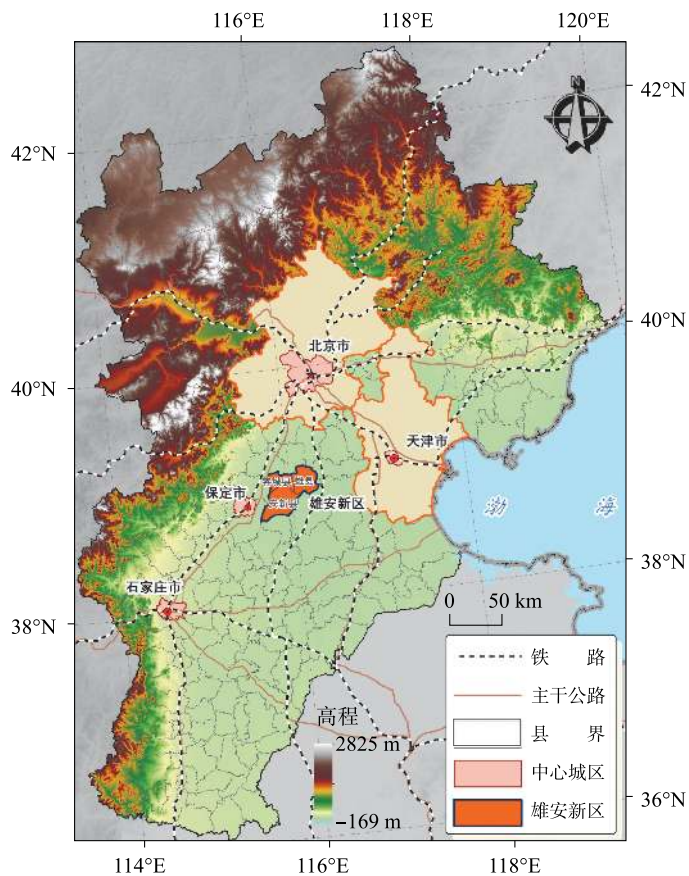


图 1-1 雄安新区地理位置

产业生产要素(劳动力、土地和资本)疏解产生影响。当前,产业转移对疏解人口的作用已初现成效,但在雄安新区的建设背景下,这种人口疏解力度是一个长期趋势吗?未来人口规模,尤其是外来人口的变动趋势是怎样?政策冲击对于优化和提升北京市产业功能是否有效?这些问题的回答依赖于对产业疏解与人口总量之间关系的准确预估。

产业和人口的疏解往往伴随着城市土地利用空间格局的转变。土地利用空间格局是城市功能组织在空间上的投影,也是城市物质环境、功能活动以及文化价值等组成要素之间关系的重要表现形式。“十三五”期间,北京市将加快建设国际一流的和谐宜居之都,因此,对于解决城市空间失衡发展的现象,寻求城市空间可持续发展模式的需求也就愈发强烈。揭示产业疏解背景下未来北京市土地利用演变规律为合理引导北京市人口和产业疏解提供必要的理论支持。

1.2 研究意义与问题的提出

1.2.1 研究意义

本研究将在总结原有城市功能疏解动力机制研究基础上,从产业疏解的角度分析雄安新

区建设对人口规模与用地需求的影响机制;并运用系统动力学,突破传统的线性回归分析,更为系统地对各因素间相互关系进行研究;其次,引入远程耦合的研究框架,将雄安新区建设对北京市的影响关系整合为区域内部相互关联的子系统,以探索区域间人口、产业与用地需求之间的相互作用关系;在此基础上,基于多主体视角剖析城市内企业、居民与政府主体在产业疏解政策引导下的土地利用决策行为,丰富了土地利用变化驱动机制。

雄安新区作为疏解北京市非首都功能的集中承载地,对北京市未来城市人口和产业功能布局产生深远影响。本研究以产业疏解为切入点,探究城市用地需求与人口和产业疏解之间的关联性,将在一定程度上呈现未来在雄安新区建设背景下北京市人口与城市土地利用空间格局的变化趋势,为北京市人口规模调控管理提供基础参考。

1.2.2 研究问题的提出

- (1)北京市产业和土地利用空间分布现状如何?常规情景下北京市人口规模的趋势如何?
- (2)产业疏解对区域内自身及关联产业的就业人口影响如何?如何间接影响城市人口规模和土地需求?
- (3)产业疏解政策引导下,城市内部企业、居民和政府主体在土地利用微观决策行为有哪些?如何影响城市土地利用的空间格局?
- (4)如何确定待疏解行业及其规模?不同的产业疏解情景下北京市未来人口规模和土地利用空间格局的趋势如何?

1.3 研究目标与内容

本研究基于产业疏解—劳动力—人口—土地利用的影响链,结合统计年鉴数据与产业关联信息,分析产业疏解对人口与土地利用的驱动机制,评估产业疏解对北京市人口疏解和土地利用需求的影响;基于多主体视角分析产业疏解对城市微观主体决策行为的影响,构建土地利用变化模拟模型;基于城市在经济增速、劳动力疏解和能源控制目标,设计产业疏解情景;结合情景参数,评估不同产业疏解情景下北京市人口疏解和土地利用的影响。根据研究目标,本文的主要研究内容可分为以下几个主要部分。

(1)北京市人口、产业与土地利用的过去与现状分析

基于城市兴趣点(POI)数据,利用POI分布密度及其轮廓线距离衰减特征,提取北京市产业集聚中心,分析现阶段产业空间分布特征;结合Landsat 8 OLI遥感影像,获取2015年和2018年北京市功能用地空间分布状况,通过测算土地利用动态度和土地利用转移矩阵分析北京市近30年间土地利用演变特征;基于人口与普查数据,利用队列要素模型测算常规情景下北京市人口规模的变动趋势,总结分布规律与趋势。

(2)基于远程耦合的人口与土地利用需求模拟模型构建

从产业影响力系数和感应度系数角度,分析北京市各产业关联状况,探讨不同产业的疏解

难易程度及对关联行业就业的影响,揭示区域产业疏解与就业人口之间的定量关系;分析在雄安新区建设背景下,产业疏解对北京市人口与土地需求影响的关键变量与路径;基于系统动力学模型,构建包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区人口与土地需求模拟模型。

(3)耦合 MAS 和 CA 的北京市土地利用模拟模型构建

以多主体理论为基础,分析雄安新区建设影响(产业疏解)下北京市城市内部企业、居民与政府主体的决策行为及规则,利用环境层提供的交通,土地价格等信息构建主体的决策规则,确定多主体行为参数;以历史土地利用数据为基础,利用随机森林模型结合空间变量因子评估用地适宜性分布概率;耦合多主体层与元胞自动机层的转换概率,确定地类转换的综合决策机制,构建土地利用变化模拟模型。

(4)雄安新区建设对北京市未来人口与土地利用的模拟与预测

构建基于投入产出表综合考虑经济增长、能源控制、劳动力疏解和充分就业的非线性多目标优化模型,设计产业疏解情景;结合情景参数,基于遗传算法识别不同产业疏解情景下的待疏解行业及其疏解规模;基于跨区 SD 模型和 MAS-CA 耦合的土地利用模拟模型,评估不同产业疏解情景下北京市人口疏解和土地利用的影响;通过常规情景与不同产业疏解情景的对比分析,评估雄安新区建设对北京市人口规模和土地利用空间格局的影响。

1.4 技术路线与论文结构安排

1.4.1 技术路线

本研究以评估雄安新区建设对北京市人口与土地利用影响为目标,首先收集包括遥感影像、城市兴趣点,投入产出表、统计年鉴等数据资料;其次,分析城市土地利用扩张趋势、解译城市功能用地,识别城市产业集聚中心,评估北京市人口、土地利用和产业分布的现状及趋势;然后,基于投入产出表与区域就业统计信息构建“劳动表”获取行业完全劳动消耗表,测算区域产业结构对就业人口之间的定量关系;在此基础上,构建包含北京市子系统与雄安新区子系统的跨区 SD 模型用以测算产业疏解对人口与土地需求影响,并将产业结构与区域就业人口的影响嵌入跨区 SD 模型中;与此同时,分析城市内部企业、居民与政府主体的决策行为及规则,构建耦合 MAS-CA 土地利用变化模拟模型;最后,基于多目标优化模型测算和识别不同产业疏解情景下的疏解行业与疏解规模,并进一步作为参数输入跨区 SD 模型和 MAS-CA 土地利用模拟模型中,以评估不同产业疏解情景对北京市人口规模与土地利用空间格局的影响。根据已介绍的研究内容,本研究的技术路线如图 1-2 所示。

1.4.2 论文结构安排

第 1 章:引言。本章主要介绍雄安新区建设对北京市人口和土地利用影响的研究背景以

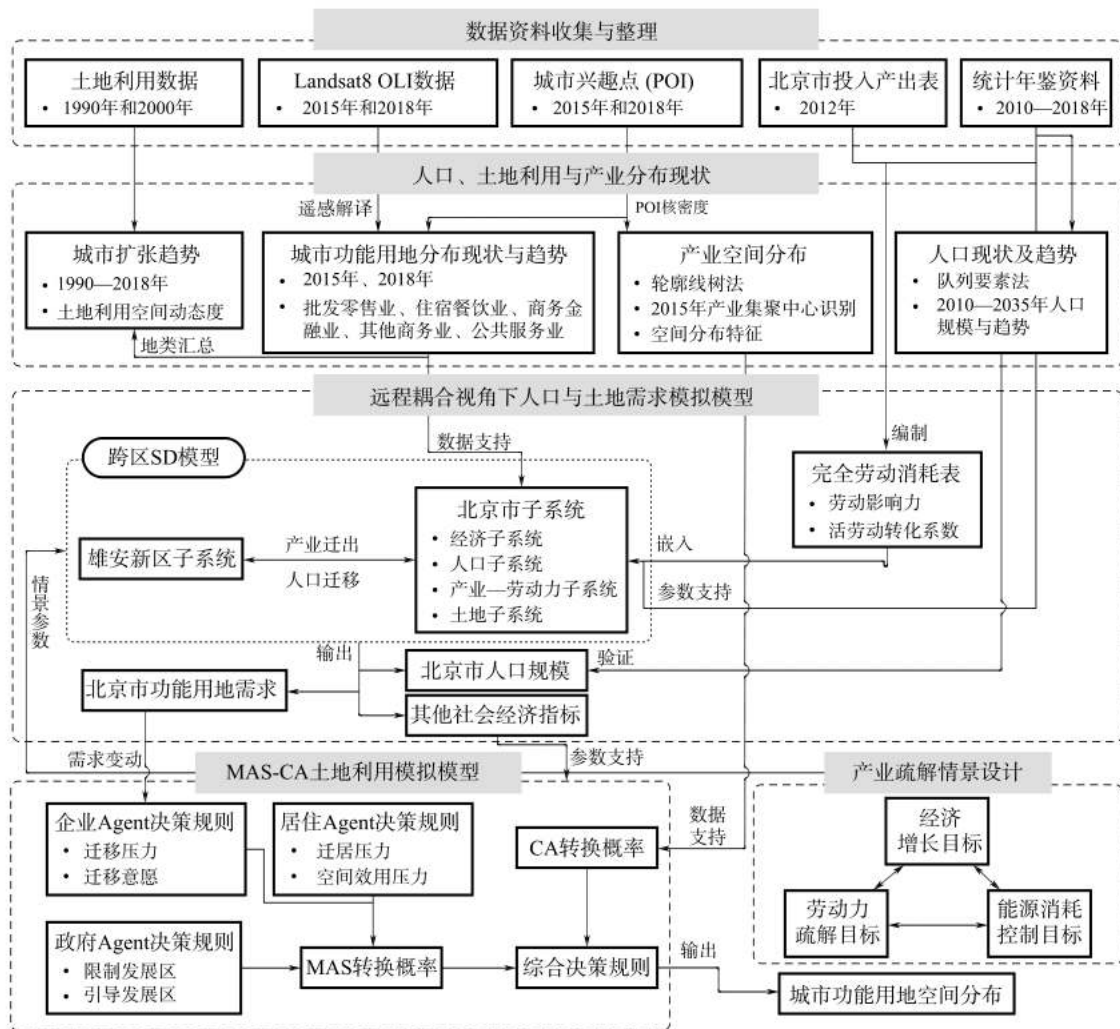


图 1-2 研究技术路线图

及必要性,同时阐述本研究的研究问题、研究目的、意义以及研究方法与内容,并在此基础上整理本研究的技术路线与框架。

第2章:理论回顾与研究进展。本章首先界定了与本研究相关的概念,并分别从国内外城市人口与产业疏解案例与理论基础、产业疏解对人口和城市用地结构的影响评估、土地利用变化模拟模型三个方面总结相关的研究进展。

第3章:北京市产业、人口与土地利用现状。本章基于北京市2015年和2018年遥感影像、城市POI数据和统计年鉴信息,提取北京市城市功能用地,识别城市主要产业空间分布中心,为评估产业疏解对土地利用变化的影响提供数据支撑;基于队列要素法评估在不考虑产业与人口疏解政策下北京市人口规模变动趋势,为北京市未来人口规模预测与疏解效果评价提供参数支撑。

第4章:基于远程耦合的人口与土地需求模拟模型构建。本章从远程耦合的视角出发,分

析雄安新区作为产业疏解的集中承载地对北京市城市人口规模和土地需求的影响机制,并遴选关键影响指标;基于投入产出表、统计年鉴信息以及第4章中的参数支撑,搭建包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区SD模型,为预测产业疏解北京市人口规模和土地需求影响提供技术支撑。

第5章:基于MAS-CA土地利用变化模拟模型构建。本章从影响城市土地利用变化的微观决策主体出发,梳理在产业疏解政策引导的背景下,城市内部企业、居住和政府主体影响土地利用空间格局的决策行为与过程。构建包含MAS-CA的土地利用模拟模型,基于现状土地利用分布数据,并评估模型的精度。

第6章:雄安新区建设对北京市人口及土地利用的影响。本章从产业特性与关联度出发,通过构建基于投入产出表综合考虑经济增长、能源控制和就业疏解减少的非线性多目标优化模型,识别潜在的疏解行业及规模,并基于不同的目标阈值设计产业疏解情景;基于跨区SD与MAS-CA模型量化不同产业疏解情景对北京市人口和土地利用空间格局的影响。

第7章:结论与展望。本章对全文的研究结论和政策建议进行归纳总结,阐述本研究的主要创新点与不足,并对相关改进方向进行展望。

第2章的研究进展与理论基础是第3章到第6章的研究依据,第3章基于遥感影像、城市POI和统计年鉴对城市产业空间布局、土地利用和人口趋势的分析不仅是本研究的目标之一,也是后续章节的数据与参数支撑;第4章和第5章分别构建的跨区系统动力学模型和土地利用模拟模型为第6章预估不同产业疏解情景下北京市人口规模和土地利用模拟提供技术支撑。

第2章 理论回顾与研究进展

2.1 相关概念辨析

2.1.1 城市功能与首都功能

(1) 城市功能

城市是人口集中、工商业比较发达的地区(Brenner,1998),城市发展过程中地区的产业结构重心向第二、三产业逐次转移并在空间上不断集聚的过程,是城市经济和空间两个维度互动的过程(冯云廷,2017)。城市功能则是城市在国家或区域内所发挥的功能,如政治、贸易、文化、运输、军事和文化等功能(刘继生 等,2000;许学强 等,2009)。相较城市职能,城市功能更加强调在如商贸、流通、行政和文化等某一特殊领域该城市所具备的能力(王建军 等,2004),并具有多元性、演化性、整体性、开放性等特点(杨伍栓,2011;陈萍,2009),也是城市的本质与内在发展的动力(Williams,2012;Branch,2018)。

城市是不同功能的复合体,且功能之间密切相关、相互影响。不同学者从城市功能性质、对城市社会经济发展、城市形态影响等方面对城市功能进行了类别划分。Briggs 和 Mumford (1963)将城市功能划分为两类:①基础功能,城市为人类提供重要的生活环境,该类功能主要用于维持城市居民生活必需功能,主要包括居住功能、娱乐功能和交通功能等,基础功能是何城市都可能存在的功能,并随着城市规模的扩大而不断地丰富和完善;②特殊功能,该类功能是基于城市自身特殊社会状况与复杂历史因素共同作用而形成的特殊功能,例如宗教、政治和军事等功能。此外,城市功能还可划分为主导和辅助功能,其中,主导功能是从社会政治和经济方面影响城市,并在历史演进中塑造城市空间形态。不同城市的主要功能各不相同,例如,伦敦以其金融中心功能而闻名,而纽卡斯尔现在正试图成为一个科学城市。城市的主导功能在不断变化,很大程度上取决于主导产业地是否发生变化,例如,许多资源型城市依赖资源开发而逐渐兴起,但是该类资源性城市的发展十分依赖资源的多寡,当资源减少或即将耗尽时,就会引起城市主导产业的衰退甚至改变该类城市的城市功能。例如,在纽卡斯尔,该城市的兴起主要依赖于煤矿的开采,而后又转变为重工业和制造业,其中造船和军备处于最前沿,目前高科技和教育行业发展迅速,并使得科技教育功能逐渐成为该城市的主导功能。

(2) 首都功能

首都是一个国家中央人民政府所在城市(Gottmann et al.,1990),它是政治活动、国家机

关集中驻扎和国家主权象征的城市(Hall,2000)。一般而言,首都最主要城市职能是政治中心,也是全国最大的城市并兼具地区的经济和文化中心。首都城市因历史时期许多剧院或其他艺术形式的繁荣发展,留存了大量文化古迹等,因此是区域文化发展中心。经济方面,首都城市发达的交通及与其他城市之间良好的交通连通性,都使得首都城市成为贸易与金融交易的集中地,如,如英国的伦敦、法国的巴黎等,使其迅速吸引大量金融和股票交易涌入城市,并进一步刺激城市经济的快速发展,但首都城市也并非绝对的经济中心,如美国首都华盛顿哥伦比亚特区、巴西的巴西利亚、土耳其的首都安卡拉等。

首都与非首都城市之间既有联系也有一定的区别。首先,特殊的政治职能也间接导致其在城市规模、劳动力就业比例、产业结构和土地利用模式等方面与其他城市存在差异(Campbell,2000)。在经济方面,首都是国家政府部门高度集中的地区,从就业结构上看,首都城市劳动力在政府部门的就业比重也远高于非首都城市。非首都功能指那些与首都功能发展不相符的城市功能(王飞等,2017),一般指相对低端、低附加值的经济管理功能和服务功能。

2.1.2 城市功能集聚与疏解

城市功能及其规模是城市对内外部需求的反映,而功能的集聚与疏解则是城市满足需求在数量及结构方面变动后结果。城市功能与内外需求之间的互动关系表明城市发展对城市功能演化的重要因素。城市的发展离不开集聚经济的驱动,但同时也改变了城市内部功能活动的空间分布格局。集聚经济是指同一行业中不同企业集聚带来的节约成本,包括获得更好的中间投入产品、专业化的劳动力以及更加专业与先进的生产管理经验(Marshall,2013),包含了相对互斥的作用力:向心力和离心力(Krugman,1997)。向心力主要是依赖集聚经济所带来的专业分工与规模经济等外部经济,代表了城市对资源、劳动力、产业和技术的吸引力。城市的发展和壮大也离不开自身的聚集效应,在以向心力驱动的城市经济增长阶段城市提供产品能力和服务需求不断提高,城市功能的类型与规模也会随之丰富(Cardoso,2017);与此同时,城市空间增长也会扩大城市功能服务和作用的范围(Almusaed et al.,2019)。

伴随着城市规模的扩大,人口、产业和各项功能向城市中心聚集成本逐渐增加,集聚经济所带来的收益逐渐消失,产生集聚不经济(Richardson,1995),并随之带来一系列诸如环境污染、交通拥堵、人口拥堵和住房紧张等大城市病(Dura-Guimera,2003;Zhang,2001)。Mohan等(2020)研究了德里进行1972—2014年城市化对地区气候的影响,并发现城市化使得地区热岛强度增加到 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$;整个城市近地表平均温度上升了 1.02°C ;对城市居民而言,城市化导致的极端不适时间也从平均每天10h增加至13h。除集聚不经济外,城市增长也会带动周边交通和基础设施的发展,扩大了产业活动的空间范围、加之技术革新和信息技术的发展。区域内人口、产业活动以及城市各项功能逐渐向城市边缘的郊区扩散和延伸并再次相对集聚,城市发展进入以离心力驱动的分散及向心力与离心力相对平衡的多中心发展阶段。

城市经济增长是功能空间演化的重要基础,而功能集聚与疏解也改变了城市人口和产业在空间上的布局。近年来我国城市化进程的加快,乡村人口向城市地区的快速集聚,使得超大

特大城市中心的人口规模居高不下,涌现了多种“大城市病”,增加了城市治理难度。为了推动城市核心功能的有效运行,许多城市政府实施了包括“以业控人、以房管人、以学控人、以证管人”、调整产业结构、建立卫星城、新区等政策措施,疏解中心城区核心的城市功能(李程伟等,2017)。以上海为例,上海通过淘汰了“四高两低”、批发市场和一般加工贸易等产业,优化中心城区的产业结构,并通过政策支持和引导科技创新、总部经济和文化创意等功能向城市郊区新城集聚以疏解中心城区的非核心功能。城市功能疏解是城市形态、人口和产业等方面在空间上的重构过程。如何准确量化城市功能疏解水平却相对复杂。目前,相关研究工作主要从人口和产业方面开展。因此,以下从人口疏解和产业疏解两个方面对功能疏解的测度进行梳理。

2.1.3 人口疏解与产业疏解

(1) 人口疏解

人口疏解是指城市功能疏解过程中中心城区人口向周边或其他地区扩散转移的现象(赵秀池,2011;杨成凤等,2016)。目前,人口疏解已被视为城市功能疏解的重要目标之一。人口疏解的一般思路是从“人口-空间”的匹配关系,通过对产业和基本公共服务的迁离疏解人口,降低人口集聚带来的经济负外部性。对于人口疏解的测度,学者通常使用区域间人口或住宅的规模及密度(平均密度、密度梯度及密度变化)、人口净迁入量、人口增长率、就业空间结构、胡佛指数等指标分析人口疏解的程度(杨成凤等,2016)。Falk(1978)利用人口及其比重的变化分析了1970—1975年瑞典城市人口的集中和分散状况。在人口规模分析的基础上,许多学者尝试从人口迁移的角度测度人口疏解的方向。Vining等(1978)分析了20世纪70年代前后欧洲和东亚11个国家和地区的大都市区迁移人口的变化,并发现,日本、瑞士、挪威、意大利、丹麦、新西兰和比利时等国家的城市在20世纪70年代初出现了人口从中心向外围迁出现象;Fuguitt(1985)则分都市区和非都市区,发现1970—1980年美国非都市区比都市区人口增长更快,更多的人口从都市区迁移疏解至非都市区。在人口密度的基础上,许多学者又引入了人口或就业人口的密度梯度来反映城市人口聚集或分散状况。Mills等(1972)最早使用人口和就业密度梯度作为测度指标,此后由Macauley(1985)进行更新和修正,修正后的人口密度梯度反映了人口或就业人员密度随距离市中心距离的增加而下降的百分比,该指数越小说明人口郊区化或人口疏解的状况越明显。Hudec等(2014)利用人口密度梯度测算了1991—2010年斯洛伐克最大的四个城市(布拉迪斯拉发、科希策、普雷绍夫和日利纳)的人口分散趋势。此外,为了描述现有人口分布的均质性,诸如集中指数(Index of Concentration)(Duncan,1957)、胡佛的人口集中指数(Vining and Kontuly,1978;Hoover,1941)以及人口分布的非均质指数也均被用于反映人口分布的均质性。Kahsai and Schaeffer(2010)利用胡佛指数分析了1980—2000年间瑞士的人口分布趋势。研究发现,瑞士中心城区和地级区域分别在20世纪70年代和80—90年代之间经历了人口从密集中心城区向人口稀少的中等大小的地区迁移的趋势过程。

(2) 产业疏解

一般而言,产业在空间上的演进可分为两种过程:一是,产业从边缘地区向中心地区的聚集过程;二是,产业由中心地区向边缘地区分散并进一步集聚形成新中心的过程(李春梅,2015)。产业疏解则是指分布在中心城区内部一些传统产业(如工业、制造业、流通服务业等)向郊区或邻近地区逐渐迁移过程。可以看出,产业疏解是产业空间演进过程中一种重要现象(盛广耀,2018),它既可通过自身受到离心力的影响而自发地在城市空间内部移动,也可通过政策引导实现(Friedland et al.,1990)。

运输成本和劳动力流动成本是影响产业集聚或分散的关键性因素。研究表明,区位之间的运输成本越高、劳动力流动成本越高,产业越不易分散(林理升等,2006;李春梅,2015)。林理升等(2006)认为,高运输成本和高劳动力流动成本是造成中国制造业不均衡发展的重要因素,并提出了宜“疏”而不宜“堵”的经济均衡发展的政策建议。此外,由于区位黏性和产业关联性的存在,当疏解和分散因素出现时,产业的位置移动并非即刻发生且在时间上多表现为非线性变化(李春梅,2015)。在行业疏解顺序上,产业关联度较弱的行业较易发生区位转移,但转移速度较慢;相较而言,产业关联性强的行业由于前后向产业的互动和联系会较晚地发生区位转移(李春梅,2015)。在疏解位置的选择上,产业优先选择与初始优势接近的地区(Martin and Ottaviano,1999;Venables,1996;Visser,1999)。基于产业结构对区域对城市内在功能及人口疏解的带动作用,通过产业转移带动城市功能疏解和劳动力迁出,即“以业带人”,成为疏解大城市人口的重要手段(姜鹏飞等,2017)。对于以疏解城市功能和人口为目标的产业转移则主要依赖“分散再聚集”的产业转移模式实现。

熵值法、分散模型法、工业集中度和企业数量变化是度量城市产业疏解和分散程度的重要方法。熵值法在确定指标权重中具有一定优势,它能够克服主观赋权的随机性和臆断性,同时解决多指标变量间信息的重叠问题,因此在社会经济领域研究中应用较广(王富喜等,2013)。Sagers等(1979)应用熵值法测算了1926—1974年间苏联工业分布的均衡状况和工业扩散状况。Clark(1993)考虑前期数据对后期发展的影响,建立分散模型,计算制造业增加值在GDP中的比例随时间的Logistic增长函数来估计经济发展中工业部门扩散的行业。Sjöberg等(2004)在利用印度尼西亚不同时段制造业从业人员和产值比重的变化分析不同省区以及省区内部制造业集中和分散情况的基础上,进一步选取赫芬达尔指数(Herfindahl index)和E-G指数(Ellison and Glaeser index)从国家、省级和工业行业尺度对制造业的工业集中度及其变化进行更严密的分析。然而,上述分析方法仅从单一的地理层面或行政区划层面分析空间结构的异质性,没有考虑距离因素的影响。因此,Marcon等(2003)将Besag's L function和Diggle and Chetwynd's D function两个距离函数引入到工业集聚或分散的评估之中,分析巴黎制造业14个部门的空间距离函数。

由于行业本身特征及集聚形式的差异,国内学者多从不同行业出发,对产业疏解进行研究。于伟等(2012)利用GIS技术,在分析社会消费品零售额、连锁超市门店和商业土地出让等数据的基础上,探讨了北京市商业郊区化进程和空间特征,并发现21世纪以来,北京市商业

有向远郊扩散的趋势但未进入商业郊区化阶段,并认为人口和住宅的郊区化是商业郊区化的主导力量。此外,也有诸多学者研究了商业及批发零售业、医疗卫生行业等产业的疏解过程和驱动机制(杨成凤等,2016)。在产业疏解与劳动力之间关系上,很多学者利用投入产出模型作为测算的基本数据。王继源等(2015)基于北京市投入产出表数据,利用劳动感应力、活劳动转化系数测算了产业疏解过程中可能影响的就业量。杨成凤等(2016)利用投入产出数据,引入完全消耗系数、影响力系数、感应度系数等测度了利用北京市分行业门类的产业关联度状况。并发现不同行业疏解难易程度和对未疏解行业的影响大小不同。

2.2 国内外城市功能疏解案例

在世界范围内,关于如何适度疏解特大城市人口和功能的议题逐渐成为政策决策者关注的焦点,东京、首尔和香港等都市圈均建立了相对完备的疏解政策,主要包括以下几个方面。

(1) 产业疏解促进人口流动

该种模式主要从引导“产业-空间”合理匹配入手,通过产业的分散布局疏解中心城区的人口压力。许多城市政府都在发展过程中采取了利益导向引导制造业、零售业向郊区大规模转移的计划。在东京,面对人口快速发展,东京都政府制定和实施了《工业控制法》,控制一定规模以上的工业、大学等设施的新增项目(杨舸,2013),将劳动力密集型企业 and 重化工业迁出东京都市圈,同时大量引入以研发型工业、都市型工业为主的现代城市型工业(Okata and Murayama,2011)。通过产业的空间重构实现了劳动力密集型产业向资本密集型产业的过渡,并进而疏解城市人口压力。

首尔政府为了缓解由于首都城市圈与周边地区发展不平衡所带来的住房短缺、交通拥堵和环境污染,分别从法律和政策两个方面解决问题。一方面,政府利用财政激励重工业企业迁出首尔都市圈、并引进高科技产业从而实现劳动力和人口在空间上的重新分配(Yeung, 2013);而在法律制度方面,韩国在1972年制定了《大城市人口分散措施》,要求搬迁京畿道、明知和汉阳等大学;在1963—1992年间又相继颁布了《国家综合土地规划法》(Comprehensive National Land Planning Law, CNLPL),明确要求疏解韩国首都聚集的产业减小区域差异(第一版和第二版),控制大城市的人口和产业的分布(第三版和第四版);在1983年颁布了《首都圈整备规划法》(Capital Region Rearrangement Plan law, CRRPL),该法利用严格的五层分区系统控制工业的选址和建设(Kim and Gallent, 1998)。

相对于西方丰富的土地资源,香港的城市发展一直以来面临着人多地少的挑战,为了缓解港九市区人口快速增长带来的大量社会问题,香港政府在20世纪80年代中期大力发展新市镇建设(殷子渊,2016)。在新市镇规划之初,为了疏导人口,政府在新市镇预留了大量的土地(包括办公楼、零售、酒店、仓库和工厂等)用于发展与产业和创造就业岗位,逐步打破新市镇居民居住与就业空间分布不平衡的状态(凌嘉勤,2017),减少跨区通勤对交通的压力(杨舸, 2013)。

(2) 重视交通基础设施建设

交通网络是联通区域内、外部社会、人口和经济活动的基础,发达的交通网络及其配套的基础设施更是疏解人口压力、支撑城市可持续发展的关键(王德等,2008)。对人口密集的东京首都都市圈而言,纵横交错的高速公路、铁路交通网络是城市人口日常通勤的必要选择。而在政府的干预下,日本的通勤成本也相对低廉,这促使城市人口也更有意愿向外迁移(Hatta and Ohkawara,1994)。从人口密度和土地价格的空间分布上看,便捷的交通网络打破了东京CBD与周边区域发展的不平衡(Yamasaki,2013)。

首尔都市圈也通过改善交通体系缓解了过大的城市压力,提高了城市人口的容纳能力。首都圈广域交通设施体系的构建扩充了铁路网络的覆盖面,提高了城市运输中铁路的分担率(张可云等,2015)。此外,2004年首尔城市管理机构启动实施了公共交通运营改革,包括运营模式和改革、公交线路网络改革、中央公交专用车道建设和公交管理系统改革等6个方面(Allen,2013),提高了大众对公交和轨道出行的主动选择率,降低小轿车的使用率,有效改善了城市拥堵。

香港在新市镇的发展过程中同样离不开公共交通设施的完善。香港于20世纪80年代制定了《全港发展策略》,明确以公共交通,特别是铁路为骨干,协调土地利用及空间布局的战略(凌嘉勤,2017)。研究发现,轨道占对城市空间的聚集具有很大的影响,具体表现为:①相对于外围区域,轨道站的周边土地开发密度更高;②轨道站点对社会服务和生活设施具有一定的集聚效应(殷子渊,2016)。

(3) 建立卫星城、次中心城区

“郊区化”和“卫星城”模式是当前解决人口过密的重要途径(杨舸,2013)。“城市郊区化”的形成主要有两方面的驱动因素:一方面是经济和交通设施的发展和完善,当生产力和交通发展到一定水平时,生活在城市人们出于对郊区生活方式的向往而主动选择的居住方式;另一方面是城市的扩散效应。城市郊区化最早出现于20世纪初欧洲的“田园城市运动”后(Stanilov and Šýkora,2014),在Howard的倡导下,欧洲多地建立了田园城市,如位于伦敦周边的Letchworth和Welwyn两个城郊居住区(Orlans,2013)。伴随着城市化进程的加快,郊区化现象增加的态势显著,在20世纪50年代,城市郊区化现象逐渐达到高峰。“郊区化”模式的发展在一定程度上可以缓解城市中心人口过密、交通拥堵等问题,但也存在一定的负面效应,如由于通勤距离的增加而带来的环境污染,以及郊区地区土地的侵占等。

相比于居住与就业在空间上分离的“郊区化”模式,许多特大城市也会通过设立若干“卫星城”来疏解城市中心城区内部人口。卫星城通常是指分布于大城市周边并与中心城区存在着密切联系的新兴城镇(Brade,2014)。例如,20世纪50年代末到60年代,东京市政府在中心城区20~30km处建设了几个新城,以解决城市住宅需求并缓解中心城区过度拥挤的人口压力;在20世纪50年代中期到70年代中期,人口大量迁入距离的新城内,并逐步形成泛都市圈内的居住新城促进东京都市圈的人口分布趋近合理(Sorensen,2001)。同样,第二次世界大战后,莫斯科的居住用地和产业用地扩张迅速,人口密度在1959年达到1.72万人/km²。为了

控制莫斯科城市用地扩张缓解人口压力,在莫斯科通过建立“卫星城”,结合政策监管疏散城市中心人口。到1990年,人口密度降至了 1.00 万人/ km^2 (Stanilov and Šýkora, 2014)。香港在新市镇建设的背景下,于1953年建设了首个卫星城镇观塘,用于弥补香港中心城区工业用地的短缺。由于观塘与九龙相距不远,并没有设计为功能相对独立的社区,同时相对的交通设施配套并不完善,导致在1970s初期出现了物流为主导交通问题。

2.3 产业疏散对人口和城市用地结构影响

2.3.1 相关理论基础

(1) 田园城市理论

田园城市理论最早是面对英国快速城镇化所带来的人口拥挤以及工业污染等城市问题时,Howard(2013)在于19世纪末提出的,该理论倡导城市规划中人类社会与自然美景的有机结合。Howard认为田园城市应集聚城市和乡村优势并认为“田园城市”是为健康、生活以及产业而设计的城市。田园城市周边也有永久行农业环绕,而城市内部能够提供足量且丰富地社会生活。Howard的“田园城市”强调在城市建设中讲求规模适中,城乡交融且协同共生,更新家注重人的利益,提倡取代特大城市。

(2) 有机疏散理论

20世纪初期,受田园城市理论的启发,芬兰学者Saarinen等(1943)提出了疏导大城市另一种城市分散理念——有机疏散理论。该理论中,城市被假设为不断成长和变化的有机体,它由许多“细胞”构成,各细胞间存在一定间隙,通过内部细胞不断繁殖和成长从而带动城市发展。大城市在向周边迅速扩张的过程中,其内部也会出现诸如交通拥挤、贫民窟、无序扩张等的“瘤”,并随着扩张大城市的弊病也在不断蔓延。Saarinen认为有机疏散就是把大城市的拥挤区域划分成几个集中的单元,然后把它们组织成“相关活动的功能集中区”(Shao, 2015; 郝晓斌等, 2014)。这样,原本人口密集的城市地区分裂成各个城镇之间用绿化带。相较于Howard的田园城市理论,有机疏散理论更加强调将传统特大城市在合适的区域范围分解为若干个卫星城,彼此用绿化地带隔离开;而各卫星城市功能相对完善、居住区域分布相对集中,是一种带有相对“集中”的城市分散理论。

(3) 空间理论

在疏散大城市人口、资源和环境矛盾、推动区域城市群协同发展的进程中,由于地理空间上不平衡发展派生的不同的城市发展模式,常涉及到空间理论。代表性的空间理论包含诸如:空间相互作用理论、增长极理论、循环累计因果理论和不平衡发展理论等。空间相互作用理论认为在地域空间上彼此分离的城市或区域中的要素(如人流、物流和资金流等),由于城市或区域吸引力或作用力的差异,在空间上不断地交换、联系和互动,并最终形成具有一定结构和功能的城镇体系(闫卫阳等, 2009)。引力模型和流量分配模型是空间相互作用模型等两类重要

的理论模型。前者将城市与地区之间的产业、人口等相互吸引过程类比于物理学上的引力模型,而后者则基于 Wilson 的最大熵假设(陈彦光,2009),认为要素的流动本质上是特定限制条件下最优选择的概率分布结果。空间相互作用模型在模拟分析城市或区域之间人流、物流和资金流等各种流的运动方面有很好的实用效果。20 世纪中期,法国经济学家 Perroux 等(1970)基于城市的非均衡发展提出了增长极理论,认为“增长会以不同的强度首先出现在一些点或增长极上,然后通过不同的渠道向外扩散,并对整个经济产生不同的终极影响”。一般而言,聚集和区域中心(也称为增长极)通常是具备创新能力的行业部门优先带动形成的。这些增长极可以对周边区域产生“磁极”作用,通过过极化和扩散作用,带动周边区域形成新的增长极。受到 Perroux 增长极理论的影响,法国经济学家 Boudeville(1966)进一步扩展了增长极理论,他认为增长极是“位于城市内部并促使其影响范围内的其他经济活动进一步发展的一组扩张性的企业”。他更加强调区域的空间特征,并认为增长极包含两种:一个是经济空间内某种具备创新能力的推动型产业(propulsive industry),二是能够产生集聚或成为增长中心的地区。可以看出,增长极在带动区域发展的过程中具有一定的引导和支配地位,而自身产业的发展上也具有一定创新和竞争能力。此外,由于推动型产业与其他各产业之间存在相互依存的投入—产出关系,当其生产规模扩大时,能够带动其他产业的发展,Boudeville 称之为“里昂惕夫乘数效应”。一旦区域空间内的优势地区具备了推动型产业,该地区将逐渐成为区域的“增长极”,并优先吸引周边其他生产要素向该增长极聚集,但当区域发展到一定阶段后,受到集聚不经济地影响,区域内各项生产要素又会逐渐周边地区扩散。Myrdal 等(1957)将这一过程称为极化效应(polarization effects)和扩散效应(spread effects)。

“增长极”在吸引和带动区域社会经济发展的同时,也会产生诸如资源持续分配不均、空间差异增加等负面影响(陈自芳,2011),正效果即涓滴效应(trickling-down effects),由扩散作用所致;负效果又称回波效应,由极化作用所致。Myrdal 等(1957)提出的循环累积因果理论,认为城市发展过程中各社会经济要素之间存在互为因果、相互作用并累积循环的作用关系。当“增长极”的极化效应大于扩散效应时,产业等社会经济要素受到高收益的吸引而促使落后地区的生产要素不断向其聚集与倾斜。极化效应也阻碍落后地区经济发展,扩大了地区间经济发展差异,Myrdal 将之称为回波效应(backwash effects)。极化效应、扩展效应和回波效应共同影响着地区生产要素流动。此外,Veselovsky 等(2015)从资源的稀缺性的角度提出了“不平衡发展”理论,认为国家和区域之间发展的不平衡性不可避免的结果。

(4) 区位理论

区位理论是从微观决策主体的视角分析城市经济活动与其空间分布之间的相互关系,社会经济活动主体的决策行为是影响城市空间分布结构与形态的重要因素。区位理论分析了市场内行为主体(包括企业、家庭、个人等)在受到一定约束条件下考虑的决策依据与偏好。例如,韦伯的工业区位理论,认为工业的选择主要考虑运输成本、劳动力和集聚等区位影响因素,来决定适宜的工业发展区位和布局。Losch 等(1954)从市场角度提出了市场区位论,认为利润、消费市场、供给者等影响企业主体区位选择的关键因素。Christaller(1966)建立了中心区

位论,提出土地与人口对城市发展的支撑作用。中心区位论中认为各个城镇是一定区域内社会经济活动的中心地,向周边区域提供商品与服务,这种中心地等级序列空间分布受市场、交通和行政影响。此外,还有 Alonso、Mills 等人研究提出的城市土地利用和居住区位理论,这些理论认为企业和家庭的空间分布格局是通勤(或运输成本)与土地、住房价格均衡的结果,解释了城市空间结构形成和发展的机制(Alonso,1964;Mills et al.,1972)。

2.3.2 产业疏解对人口和土地利用的影响

(1) 产业疏解对人口的影响

人口是城市经济增长的动力引擎(尉闻等,2020),对于人口高度集聚的城市中心地区,以离心力为驱动的疏解人口主要依赖产业在空间上的合理配置。产业的发展离不开劳动力的供给(即就业人口规模),因此,产业与就业之间的互动关系是产业疏解影响人口规模的主要路径。一般来说,地区就业人口主要是来自于人口自然增长和机械增长两个部分,并主要受到地区人口总量、性别与人口比例、生育率和人口迁移率等多个方面的因素等影响(牟宇峰,2016;谭静,2011)。城市产业疏解是不断调整其核心产业比重和专业化程度的过程,该过程中城市核心产业会进一步集聚而原有需要疏解的产业则向周边地区分散。

从宏观经济的角度上看,产业疏解对人口的影响主要表现在就业人口的需求总量以及就业结构两个方面。在对就业人口需求总量的影响上看,在产业疏解过程中,城市保有的核心产业和专业化程度仍然存在不断集聚和提高的趋势,受到集聚经济、竞争效应和产业集群等因素等影响,技术水平和劳动生产率会不断提升;以往研究表明,技术进步与就业水平存在替代效应和补偿效应:即短期来看,技术进步降低了劳动力需求,但长期而言,技术进步会扩大产品需求并增加就业(Vivarelli,1995;Vergeer and Kleinknecht,2010;王君,2017)。潜在 GDP 增长率与自然失业率之间存在的某种经验关系:Okun(1963)认为地区 GDP 增长率在 3%的水平上,增速每提高 2 个百分点,失业率下降 1%,说明宏观经济发展对地区人口就业增长十分关键。从就业结构上看,产业结构调整会引起劳动力人口在不同产业之间转移,即带来就业结构的转变。配第-克拉克定律揭示了产业结构与就业结构基本规律,即随着经济增长劳动力就业结构由第一产业向第二、三产业逐次转移。近年来,中国以服务业为主的第三产业产值比重不断增加,从 1978 年的 24.6%增加至 53.9%,增加了 29.3 个百分点;第二产业增加值比重由 1978 年的 47.7%下降至 39%,降低了 8.7 个百分点。伴随着中国经济的快速发展和产业结构的调整,第三产业已成为吸纳就业的最大蓄水池。Baker 等(2003)认为美国部分制造业向亚洲转移是导致相应行业的就业量下降的重要因素。Egger 等(2003)对澳大利亚部分产业转移对劳动力的影响,并发现由于产业之间的关联性,产业转移对劳动力市场的影响超过转移企业的就业数量。

在空间分布与演进关系上,城市就业密度的空间分布普遍存在随城市中心距离增加而下降的趋势(Jones,1990),而其中经济活动空间演化是影响就业密度变化的重要因素。在 Hall(1984)提出的城市演化模型中,当城市增长进入扩散期后,产业空间分布逐渐向郊区迁移,人

口迁入城市的峰值区域呈现向外呈“离心”移动,并逐渐靠近城市边缘的次级中心和卫星城等地区。以上海为例,近年来上海在产业结构和市域空间方面实施了一系列优化和调整措施,将包含低端批发市场、一般加工贸易等产业逐步疏解到城市边缘和郊区;诸多文献发现,上海在产业疏解后人口郊区化现象日益明显(刘乃全,2015;尉闻,2020)。

(2) 产业疏解对土地利用的影响

城市土地利用空间的演变是城市不断适应社会经济变化的过程(官莹,2006),而土地是城市发展的空间载体,也可以说城市功能用地是城市功能的空间表达(冯云廷,2017)。城市内部不同功能用地在数量结构和空间形态上的相互影响和作用是城市产业结构演进的空间投影(Fragkias and Geoghegan,2010)。产业发展的规模决定了土地利用规模。在数量结构上,产业疏解通过改变不同产业产值比重影响城市用地结构,且用地结构改变相对产值结构的变化具有一定的滞后性(鲁春阳,2011)。产业结构的升级和调整也会影响城市土地利用的空间结构,而不同产业的空间增长模式和区位选择的差异是影响城市空间结构的重要因素,例如,传统制造业的区位选择主要考虑交通通达性、集聚经济和土地价格等方面的因素;而对于新兴服务业而言,区位选择更加关注人口分布、交通便捷和集聚经济等因素。Krugman(1997)认为城市内部存在“中心-外围”的空间结构,以日本东京都的核心地区内为例,东京都的核心区主要是政治、经济、金融、教育等行业;而在东京都的外围,如市町区,则主要分布有生产、科研和生活性服务类等行业。通过合理的产业结构调整,中心地区的优势产业会进一步集聚,土地利用空间会更加集约,而外围地区由于产业的分散再集聚而改变原有的土地利用模式。从产业与城市空间功能的分布关系上看,产业疏解后城市土地利用空间结构可以分为以下三类(Fragkias and Geoghegan,2010):一是在城市郊区形成多种经济活动的多中心模式;二是在城市核心区周边无序分散和蔓延;三是同时兼具上述两种模式的土地利用空间扩展模式,其中政策的引导对与城市功能和产业用地空间分布十分关键。

2.3.3 首都产业与人口疏解现状及相关研究

作为特大城市的代表,北京 2005 年提出主体功能区划,率先实行区县的功能定位,并通过重构城市空间结构,疏解中心城人口和功能、集聚新的产业带动区域发展,着力解决“大城市病”。2005 年批复的《北京市城市总体规划》中北京市产业也更加强调和突出了首都特点。2000—2010 年间,北京市现代服务业和高新技术产业发展迅速;伴随着首钢搬迁和制造业外迁,该阶段内北京市“去工业化”态势明显(于涛方等,2008)。从常住人口的数量变动上看,2000—2015 年间北京市常住人口逐渐递增;其中,2010—2015 年间,北京市常住人口虽仍在增加,但是增幅和增速出现了下降。

近年来,北京市对人口调控与疏解的政策力度持续增加。2014 年 7 月,北京市出台《新增产业的禁止和限制目录》,对一般制造业、区域性物流基地和区域性专业市场等产业进行了严格地限制和禁止;并明确了在东城和西城严格禁止新建和扩建大型公共建筑物。在城市规划和建设方面,对强调了提升首都功能的要求,突出了北京市在政治、文化、国际交往和科技创新

四个方面功能。与此同时,针对区域性商品交易市场、大型医疗机构和传统商业区等非首都核心功能也强调了疏解和腾退的需求。在腾退空间的利用上也更加强调首都核心功能的发挥与保障。目前,对北京市人口与产业疏解研究现状如下:

(1) 人口疏解

目前有关北京市人口疏解的相关研究主要包含居留意愿、人口疏解规模等方面。在流动人口的居留意愿上,侯慧丽(2018)对比了北京市在产业疏解政策实施前后外来劳动力定居意愿的变化,并发现北京市外来人口定居意愿与疏解行业类别密切相关;低端服务业(批发零售、住宿餐饮等)以及需要进行产业升级(一般制造业等高能耗产业)的行业疏解政策可降低教育水平偏低的外来人口定居意愿并提升城市人力资本的积累。刘媛媛(2019)基于2015年的全国流动人口动态监测数据,分析了流动人口的社区选择及居留意愿,并发现目前北京市居住于城中村人口留京意愿较低且主要的从业类型是零售业和制造业,因此针对城中村的空间整治措施可较为精准的定位人口疏解的目标群体。胡腾云(2018)认为从事批发零售业行业的人员流动性较强,原有产业疏解后较大可能离开原有工作区域但离开北京的可能性不大。谭日辉(2019)基于对北京市流动人口的调查,发现北京市当前流动人口的居留意愿较高,社会情绪相对稳定和积极;但是由于疏解非首都功能过程中可能影响流动人口的利益,因此也存在一定悲观、不满和浮躁等情绪。

在人口疏解规模的预测上,童玉芬(2020)认为人口是城市维持发展活力的前提,并基于不同行业或产业之间比例关系,测算了产业疏解背景下北京市必须保留的人口规模,并认为1800万人是北京市非首都功能疏解后人口规模的下限,其中就业人口规模需达940万人。王继源(2015)定量测算了北京市产业疏解对就业人口的影响程度,并发现当北京市批发零售业的总产值转移10%,将总计减少23.9万人,其中直接就业和关联就业人口将分别减少19.8万和4.1万人;对于制造业而言,转移10%的产值可减少22.2万的制造业就业人口,其中,直接就业和关联就业人口分别为14万和8.2万人。胡曾曾等(2018)利用CA-Markov模拟对比了北京市中心城区疏解15%的人口前后人口空间分布形态,并发现未进行产业疏解的情景下,到2030年低密度人口区域将减少而中高密度区域数量呈现增加态势;而在人口疏解政策的影响下,到2020年中心城市将从人口高密度区转为中低密度,且人口高密度区域数量也将呈现下降趋势。

(2) 产业疏解

童玉芬(2020)将北京市产业部门划分为基础和非基础部分,其中,基础活动部门主要包含以外部市场为导向的生产活动的部门,主要包括生产性服务业、公共管理、社会保障和社会组织等行业,而非基础部门主要是以零售业和餐饮业等为代表的行业,主要是为本地居民提供服务产业的部门。考虑到城市内部产业前后向之间的关联性,部分学者在分析产业疏解的过程中引入了北京市投入产出表(王继源等,2015;孙威等,2016)。王继源等(2015)基于北京市2012年的投入产出表,提出了直接转移、转移上游、限制需求和转移环节四条产业疏解措施,并认为批发零售业和制造业是北京市产业转移的重点。孙威等(2016)基于投入产出表、经济

敏感度系数、就业敏感度系数和综合敏感度系数,认为北京市应依次疏解批发和零售、化学产品、食品和烟草、金属冶炼和压延加工品、煤炭采选产品等 19 个行业。北京市集中了大量的教育、医疗、科研和高端生产性服务业等产业资源,赵秀池(2011)认为,北京优质的公共资源吸引人口的重要因素,疏解一定规模的优质公共资源是调控人口规模的重要抓手。肖周燕等(2016)基于北京市城市功能结构及其演变规律,分析了北京市城市功能布局对人口疏解的影响;并认为政府投入与城市发展方向和重心之间存在一定偏差,导致城市发展新区没有形成优势产业,不利于中心人口的疏解。

2.4 土地利用变化模型进展

自 20 世纪 90 年代 IHGP 和 IBDP 联合提出 LUCC 的研究计划以来,国内外不用研究者,针对土地利用不同尺度 LUCC 过程、驱动机制以及资源、生态和环境效应影响的研究等多方面开展了广泛的研究(Veldkamp and Lambin,2001)。作为土地利用系统的一种抽象和模拟,土地利用模拟模型通过是分析土地利用的变化过程和驱动因子,预测未来土地利用趋势。目前,国内外已有大量的 LUCC 模型,不同学者根据土地利用变化过程、土地利用的时空尺度对模型进行了类型划分和总结(Agarwal,2002;Parker et al.,2003;唐华俊等,2010)。当前主流的土地利用模拟模型主要包含基于方程的模型(Equation-Based Model)、系统动力学模型(System Dynamics Model,SD)、元胞自动机模型(Cellular Automata Model)、基于主体模型(Agent-Based Model/ Multi-agent Model)及综合模型。从不同模型对土地利用变化预测的时空维度上,可以大致划分为:土地利用需求预测模型、土地利用空间预测模型和时空耦合的综合模型三类。

(1) 土地利用需求预测模型

该类模型主要用于预测自然环境和社会经济等因素变化对土地利用需求的影响,包括基于方程模型基于复杂理论的系统动力学模型。

① 基于方程的统计模型(Equation-Based Model)

该类模型采用数学方程来模拟土地利用状态或时空均衡问题。Sklar 等(1991)采用人口增长和扩散理论建立线性规划方程研究人口变化对 LUCC 在时间尺度上累计的影响。稍复杂些的模型则是基于经济理论上构建联立方程模型。该类模型分析基础是数学方程,优点体现在较容易实现定量分析,缺点是往往会限制对研究对象复杂性的模拟,不能很真实的表达土地利用系统的特征(Parker et al.,2003)。

② 系统动力学模型(System Dynamics Model,SD)

系统动力学可以反映系统(或子系统)的信息、物质、能量的流动结构与反馈关系。SD 模型始于 20 世纪 50 年代,由 Forrester(1997)基于工业企业管理过程中关于系统库存控制、生产调节、劳动力雇佣等复杂关系提出。在构建流程上,SD 模型需要将复杂系统的变量进行抽象和符号化,在分析变量之间的信息反馈关系的基础上搭建变量之间的因果关系方程,以此研

究和分析复杂系统中要素的行为变化。相对于基于方程的统计模型,SD模型擅长处理具有长期性和周期性的问题,并且可以充分考虑变量之间可能存在的包括高阶、非线性和时变性等反馈机制。因此,在分析社会经济变化对土地利用需求的影响以及政策情景预测方面具有一定的优势。

目前,SD模型中已经广泛应用到土地利用需求的预测中。例如,Haghani(2003)运用SD模型设计了包含人口、人口迁移、家庭、工作需求、就业、土地供给、居住用地开发和交通拥堵程度等多个社会经济和政策因素在内的土地利用变化预测系统,并对马里兰州蒙哥马利县的土地利用进行了仿真模拟。李秀霞等(2013)将影响土地利用需求规模的因素划分为经济因素(如GDP增长率和产业投资额比)、人口因素(人口变化量和人口变化旅)和生态因素(各类用地的绿地当量),并运用SD模型模拟了不同效益目标下吉林省西部的土地利用需求的变化量。赵俊三等(2015)将土地利用需求及其变化视作为多尺度驱动的结果,并将若干相互关联的要素划分为地类要素、驱动因子要素和尺度要素,最后运用SD模型对云南省昆明市宜良县土地利用需求进行仿真和预测。诸多研究证明,SD模型在处理社会经济系统与生态系统相互关系上具有优势,然而,SD模型属于自上而下的数量模型,但对空间的处理也显得不足(裴彬,2010)。

(2) 土地利用空间变化模型

① 元胞自动机模型(Cellular Automata,CA)

CA模型在地理模拟中的应用始于20世纪60—70年代,主要应用于城市空间扩散模型的研究(Batty,2007),80年代逐渐形成了CA模型在LUCC模拟的理论框架,90年代至今CA模型逐渐广泛应用LUCC模拟,取得丰硕的研究成果(赵莉等,2016)。CA模型框架相对简单和开放,加之具备强大的复杂计算能力可以模拟复杂的系统行为,因此,被广泛应用至土地利用变化模拟的相关研究中(何春阳等,2002)。

CA模型是一个由四个部分组成:元胞(Cells)、状态(States)、邻域(Neighbors)和规则(Rules)。CA的基本运行法则是:判断元胞自身与邻域的状态,并依据所制定局部规则确定下一时刻状态。CA模型中的转换规则是影响土地利用模拟精度的重要部分。目前,诸多学者采用不同的方法挖掘土地利用转换规则,主要包括:a. 从驱动土地利用类型转移的影响因素出发,通过引入如人工神经网络、支持向量机和随机森林等算法提高规则制定的准确性(杨青生等,2006;陈凯等,2015);b. 从土地利用变化类型及其空间关系出发,在挖掘地类之间相互作用关系的基础上,增加局部土地利用竞争关系,以提高模型预测的精度(杨俊等,2015)。

CA模型在模拟土地利用变化时具有一定的优势:a. 作为一种空间动力学模型,基于“自下而上”的建模思路,能够从微观尺度上构建决策规则并模拟空间复杂的时空动态变化过程;b. 具备复杂且强大的计算能力,可以模拟土地利用变化中的复杂行为;c. CA模型的离散性、同步性和局部性等特征,在处理大尺度的地理空间数据时具备并行计算的能力。综上所述,土地利用变化作为一种复杂的时空动态变化过程,CA模型与GIS技术的结合增强了模型对土地利用在空间上的模拟和分析能力。然而,CA模型也存在一定局限性。人-地关系是土地利

用变化的重要驱动因素,仅考虑元胞自身及其邻域的状态和规则的建模思路未考虑人、政府作为决策者对土地利用变化等影响。

② 基于多主体模型(Multi-Agent System,MAS)

Agent 理论与技术研究最早源于分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence, DAI),但从 80 年代末开始,Agent 理论、技术研究从 DAI 中拓展开,并逐渐向其他领域借鉴和融合,得到了广泛的应用。不同于元胞模型基于空间网格单元,主体模型则更加关注于人-地关系。其中,主体(Agent)是该模型的关键要素,主体模型基本思想是利用软件模拟主体的社会行为和认知,包括主体自身的思维和决策方式、主体所处环境、主体间的通讯、相互作用等能力具有自治性、社交能力、反应性以及预动性等特点(刘大有 等,2000)。

在 MAS 模型中,Agent 是影响土地利用方式的基本单元(Irwin,2010;Crooks and Heppenstall,2012)。Agent 可分为宏观决策 Agent 和微观决策 Agent、并同时包括外部环境(包括土地利用、地价等信息)和 Agents 决策行为框架。其中,不同 Agent 具有不同的偏好、期望、位置效用等属性;外部环境为 Agents 提供必要的决策信息,并依据决策行为框架确定决策行为;与此同时,Agents 之间的决策行为将影响其与环境层的交互方式,并最终反馈给土地利用信息层(张鸿辉 等,2012)。张鸿辉等(2012)将影响城市扩张的主体划分为包含城市居民 Agent、农民 Agent、工业企业 Agent、环保主义 Agent 等多个微观 Agent 和一个宏观 Agent,并根据微观 Agents 期望和城市空间布局综合确定 Agents 的行为规则。王贞超(2012)基于城市演化的微动力过程,将个体学习模型和个体学习过程引入个体学习的空间决策中,并构建了城市地区的扩展模拟模型。在 MAS 模型中,Agent 属性及其决策规则的提取与参数化是对真实世界主体行为的抽象和概括,也是构建土地利用模拟模型的关键(李少英 等,2013,2017)。

MAS 模型在土地利用变化模拟中更加关注变化过程的微观动力,并且可以综合考虑城市社会经济要素的宏观布局,是一种耦合“自上而下”和“自下而上”的建模思路。相对于 CA 模型,在人-地关系的表达上 ABM 模型具有一定的优势。

③ 时空耦合的综合模型(Integrated Model)

综合模型是主要整合上述几类模型而发展起来以弥补单一模型在模拟土地利用变化过程的不足之处,例如,将 CA 与 SD 模型相结合形成的土地利用/覆被转换模型、整合统计模型、CA 和 SD 形成的 GEOMOD2 模型、CLUE(Conversion of Land Use and its Effects)模型以及改进的 CLUE-S 模型(Conversion of Land Use and its Effects Model at Small Region Extent)等。CLUE 模型主要应用于国家和大陆尺度的土地利用研究中(Veldkamp and Fresco,1996)。在土地利用空间分布利用地类发生的概率、地类分布的约束条件以及转换规则综合确定。CLUE-S 模型是在 CLUE 模型基础上,对 CLUE 模型的驱动因子计算、空间分配等多个环节进行了改进(吴健生 等,2012),更适应较小尺度模拟土地利用变化及其环境效应分析。CLUE 和 CLUE-S 模型采用自上而下的建模的方式,从宏观把握了区域土地利用变化的总需求并逐级向下分配土地利用需求。但模型也存在数据需求高,参数反应灵敏等局限性。

目前,诸多学者将 CA 模型与 MAS 模型进行结合。CA 模型与 MAS 模型均具有各自的优缺点:CA 模型更多侧重自然环境对土地利用变化的影响,但无法考虑人作为土地利用重要的决策主体对土地利用变化的影响与反馈。CA 模型与 MAS 模型的结合,将影响土地利用空间决策行为赋予 Agent,使得耦合 CA 与 MAS 的模型能够考虑驱动土地利用变化的人文因素(周嵩山等,2012)。在不同 Agent 根据环境信息和决策规则采取决策行为也会反馈至 MAS 层和 CA 层,与此同时,Agents 会根据变化的环境信息采取相应的决策行为已达到平衡。在此基础上,部分学者将 SD-CA-ABM-GIS 进行集成融合以 CA 模型为突破点,实现宏观尺度与微观尺度之间、空间维度与时间维度之间、人类活动与自然环境之间的有效互动(刘东亚,2019)。

从最初的统计模型、系统动力学侧重从时间上分析土地利用变化的速度和结构,不具备动态特征,而当人们对人类—自然耦合系统的复杂性问题充分认识后,元胞模型、多智能体模型、综合模型等基于复杂适应系统的土地利用模型逐渐成为研究和应用的热点。

2.5 本章小结

从国内外城市功能疏解及对土地利用变化方面的文献可以看出,国际大都市圈对于城市功能疏解研究方向众多,拥有丰富的研究成果。而雄安新区作为北京非首都功能疏解集中承载地,其重要的任务就是疏解北京过重的人口压力,面临着机遇和挑战。当前研究者提供了相当数量的人口/产业疏解方案的经典理论,如有机疏散理论、空间经济理论和推拉因理论等,为城市功能疏解研究的开展奠定了坚实的理论基础。不同理论下,人口疏解主要通过合理规划、理性引导的模式实现城市经济活动、产业和人口等要素的分散配置实现。在研究时段上,国外关于城市功能疏解方面的丰富研究成果主要针对 20 世纪 80 年代阶段城市人口和产业的大量郊区化;而在动力机制上,国外城市功能疏解比较多的集中于产业、经济、交通、政策制度和生态环境等方面驱动机制分析。

总体来看,国外学者善于运用经济学、人口学等学科的相关理论,偏向于以大量数据为基础进行量化的实证研究。在国内,受到中国国情的影响,有关城市疏解的动力机制研究也比较关注于政策制度和生态环境等因素的作用。相较于动力机制的解析,考虑人口或产业政策实施对跨区域的土地利用影响的研究相对较少。总结国内外关于城市功能疏解对土地利用变化影响的相关研究可知,虽然国外学者率先从多个角度开展了相关研究,为国内开展相关研究的开展积累了丰富的理论和方法基础。但城市功能疏解政策与区域及周边地区土地利用变化之间关联性的认识仍处于不断发展和完善的过程中。

城市是一个复杂系统,人口调控政策和产业疏解的影响因素往往存在多重的交互作用,而已有研究多数针对单一影响因素进行分析及模拟,忽略不同政策措施实施与城市系统之间的反馈作用;其次,从国外已有的政策经验上看,中心城市产业疏解往往针对劳动密集型产业进行,如何结合中国自身的特点做到产业的有序疏解、并且预测疏解后对劳动力和产业产值有何

影响,都是未来的研究趋势。此外,在未来土地利用模拟上,前期研究往往忽视城市之间的关联和互动性,所得结论往往具有片面性;在方法上,当前国内外针对复杂的区域发展政策问题的理论与方法的探讨,为解决政策实施对城市系统影响评估提供了有效的分析工具,未来将从远程耦合的角度,将城市(或区域之间)作为一个内部耦合的系统,综合考虑产业疏解的敏感度和人口政策的反馈机制,模拟未来城市人口产业政策的实施对区域土地利用的影响,一定程度上,可以提高区域决策的科学性和系统性。

第3章 北京市产业、人口与土地利用现状

3.1 研究区概况

北京市,是中国的首都和直辖市(图 3-1),地处华北平原的西北边缘,地理背靠燕山,坐标位于东经 $114.3^{\circ}\sim 118.8^{\circ}$,北纬 $38^{\circ}\sim 42.8^{\circ}$ 。北京市面积 16400km^2 ,现辖 16 个行政区(东城区、西城区、朝阳区、丰台区、石景山、海淀区、门头沟区、房山区、通州区、顺义区、昌平区、大兴区、怀柔区、平谷区、密云区和延庆区)。市内有永定河流经老城西南,毗邻天津市、河北省,自然条件优越,气候宜人,平原覆盖面积广阔,也是京津冀城市群的重要组成部分。北京市也是世界人口第三多的城市 and 人口最多的首都,拥有三千年的文化历史、先进的科学医疗技术、良好的教育资源、充分的社会保障,在政治、经贸、文化、教育和科技领域拥有显著影响力。

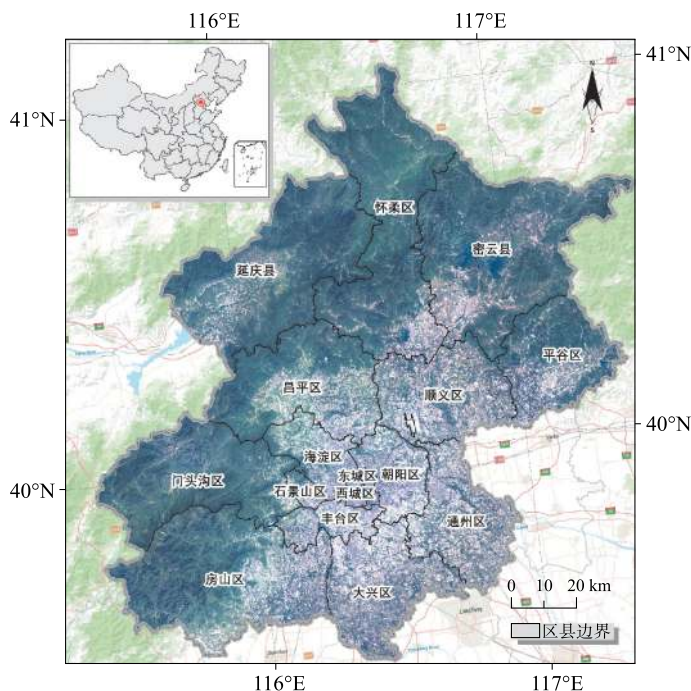


图 3-1 北京市 Landsat 原始影像

3.1.1 自然地理概况

北京市海拔高度总体呈现由东南低、西北高的分布态势,包含西北山地和东南平原两大

貌单元。北京市平原面积约为 $0.63 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海拔高度在 20~60m, 占全市面积的 38.6%; 山区海拔在 1000~1500m, 面积约为 10100 km^2 。在气候方面, 北京市属典型的温带季风型气候, 年降水量约 542.7mm, 年平均气温 18.4℃; 北京市夏季(6月至8月)高温多雨, 平均气温约为 30.8℃, 降雨总量约为 365.7mm, 相对湿度 67%; 而冬季(12月至次年2月)寒冷干燥, 平均气温约为 3.9℃, 降雨量约为 7.7mm, 相对湿度 44.67%。

3.1.2 社会经济概况

2019年北京市地区生产总值(GDP)为 35371.3 亿元, 其中, 第一产业 GDP 为 113.7 亿元; 第二产业 GDP 为 5715.1 亿元(其中, 工业 GDP 4241.1 亿元); 第三产业 GDP 达 29542.5 亿元。从产业结构的构成上看, 三次产业比例为 0.3:16.2:83.5, 北京市人均 GDP 为 16.4 万元(按常住人口计)。2019年, 北京市常住人口 2153.6 万人, 相较于 2018 年减少约 6000 人。其中, 城镇人口 1865 万人, 占常住人口的比重为 86.6%; 常住外来人口 745.6 万人, 占常住人口的比重为 34.6%。常住人口密度为 1312 人/ km^2 。

近年来, 北京市也在不断进行产业升级和产业结构调整, 从近 10 年北京市分行业产业结构的变动趋势上看, 北京市在信息传输、软件和信息服务业、科学研究和技术服务业、金融业等行业的产值比重提高了 2.31~3.92 百分点, 行业增长速度远超前于其他行业; 相较而言, 部分行业的产值比重也在不断下降, 如工业 GDP 占比由 2009 年的 18.46% 下降至 2019 年的 11.99%, 批发零售业的产值比重也由 2009 年的 13.23% 下降至 2019 年的 8.4%。

3.2 研究方法数据来源

3.2.1 数据源及预处理

本章使用的主要数据包括 Landsat 8 OLI/TIRS 地表反射率数据, 辅助数据包含数字高程模型和社会媒体数据(包括道路数据和城市兴趣点信息等), 不同数据的获取来源及预处理如下。

(1) Landsat 8 OLI 影像

Landsat 8 OLI 影像数据提供自美国地质勘探局(United States Geological Survey, USGS)的数据中心(<https://earthexplorer.usgs.gov>), 该数据除全色波段外, 空间分辨率 30m(OLI)和 100m(TIRS), 时间分辨率为 16 天。完全覆盖本研究区或用于消除云、雾等影响时 Landsat 8 OLI 影像需 7 景/年, 具体包含的轨道号为(Path/Row)122/032、122/033、123/031、123/032、123/033、124/031、124/032 和 124/033。

为了提高影像解译运算与处理效率, 影像的预处理工作借助谷歌地球引擎(Google Earth Engine, GEE)云平台(Gorelick et al. 2017), 通过 GEE API 编程完成, 具体如下: 首先, 在 GEE 平台上筛选覆盖研究区范围内 2015 年和 2018 年全年影像, 分别获得 159 景和 144 景; 进一步

筛选相应年份成像时间在生长季(5—10月)且云覆盖小于5%的高质量遥感影像数据,共得到包括2015年的14景和2018年的11景(表3-1);在此基础上,采用通过中值滤波来消除云、雾等异常像素和异常值;最后,通过掩膜和拼接得到2015年和2018年北京市城市土地利用解释的基础数据。

表 3-1 Landsat 8 影像数据源及其获取日期与云覆盖率

Path/Row	2015 年			2018 年		
	获取日期	DOY	云量 (%)	获取日期	DOY	云量 (%)
122/032	2015-08-15	226	0.07	2018-06-04	154	0.20
	2015-09-16	258	1.10	2018-06-20	170	1.89
	2015-09-16	274	0.02	2018-08-23	234	2.26
	—	—	—	2018-09-08	250	1.98
	—	—	—	2018-09-24	266	0.08
123/031	—	—	—	2018-06-11	161	4.69
123/032	2015-05-18	137	3.91	2018-10-01	273	2.74
123/033	2015-05-18	137	0.41	2018-10-01	273	0.19
	2015-10-09	281	2.50	—	—	—
124/031	2015-07-12	192	0.51	—	—	—
	2015-09-14	256	0.08	—	—	—
124/032	2015-05-25	144	0.07	2018-08-21	232	0.62
	2015-07-12	192	1.52	2018-09-22	264	1.05
	2015-08-13	224	2.01	—	—	—
124/033	2015-05-25	144	0.10	2018-09-22	264	0.02
	2015-07-12	192	1.43	—	—	—
	2015-08-13	224	0.09	—	—	—

(2) 城市道路数据

研究中城市功能区的识别主要针对建成区的建设用地进行划分,相对于耕地、林地、草地和水体等自然地表,建设用地内部功能的判别单元应考虑城市空间形态结构,并保证基本单元内部用地功能相对均质且单元之间的功能相对独立。目前,城市功能区判别的基本空间单元可分为两类:基于固定大小的格网单元和基于路网界定的街区单位。其中,基于格网单元的城市功能区识别其结果易受到单元大小的影响,相对而言,街道与建筑是城市的基本架构,借助路网划分的街区单元则更能反映城市空间形态结构,被认为是认识城市功能的基本单元(肖亮,2006)。因此,本研究选择以道路划分的街区作为识别城市功能区基本单位。

研究中道路数据获取自 OpenStreetMap(2017),主要包括城市快速路、高速公路、国道和行人道路等11个道路等级(图3-2a,b)。考虑到该道路数据不包含路面宽度且存在尽端路、断头路等不必要细节,不宜直接进行街区单元划分。因此,道路数据的预处理,主要包括剔除断头路和道路长度小于100m的道路等;在此基础上,根据道路等级设定道路缓冲区宽度,并将

不同等级道路进行合并和融合得到最终的街区单元(图 3-2c)。

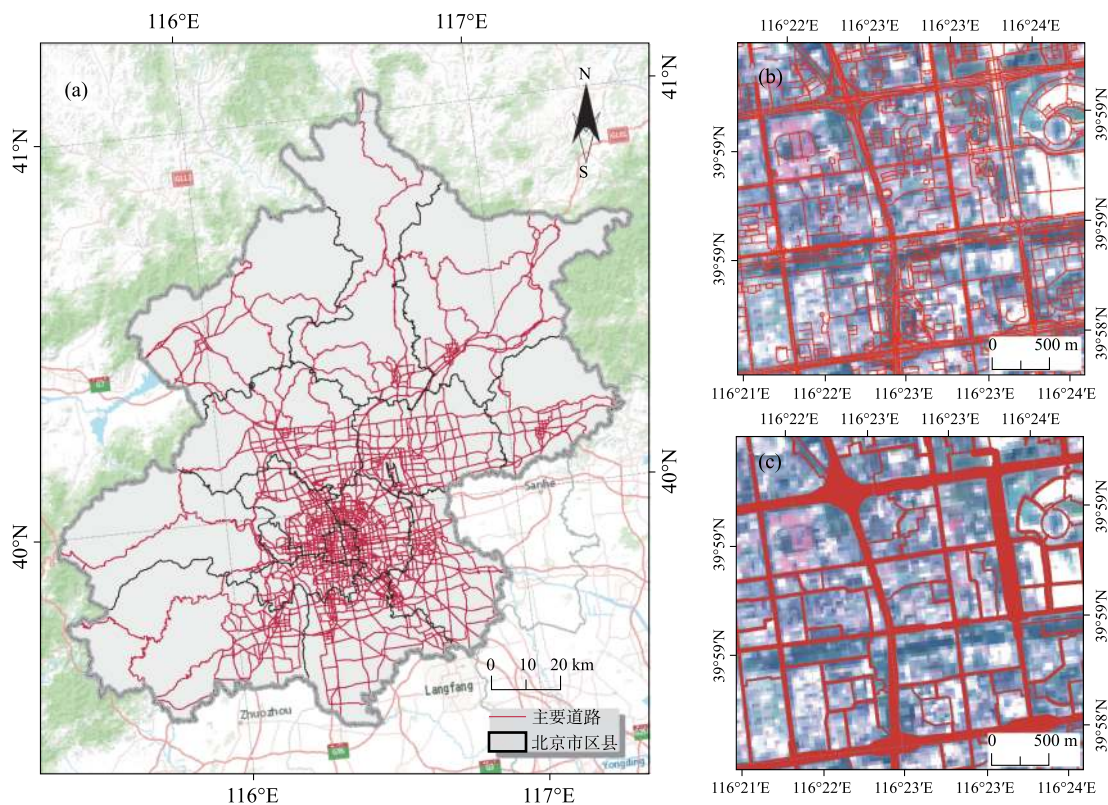


图 3-2 北京市城市道路空间分布和地块划分

(a)北京市城市道路空间分布;(b)道路局部细节;(c)地块划分的局部细节

依据现有道路北京市共划分个街区单元,平均街区单元大小为 0.61km^2 。通过统计不同环线内的街区面积与道路占比可知,距离市中心越远的环线内其道路面积占比越小,与此同时内部街区单元的平均面积越大(表 3-2)。

表 3-2 北京市不同环线内街区单元信息统计

序号	环线等级	地块个数 (个)	地块面积				道路占比
			平均值	最大值	最小值	总面积	(%)
1	二环	716	6.71	127.44	0.18	4806.54	23.6
2	三环	961	7.76	97.13	0.21	7452.66	22.6
3	四环	1203	9.36	109.57	0.17	11254.56	21.7
4	五环	2382	12.83	737.45	0.11	30552.4	16.4
5	六环	6306	22.57	9875.06	0.08	142319.4	11.2
6	六环以外	13899	98.52	82008.28	0	1369298	3.1
	合计	25467	61.47	82008.28	0	1565683	4.6

(3) 兴趣点及核密度

兴趣点(POI, point of interest)指与人类生活密切相关的地理实体集,它包含城市内功能结构、行业分布等丰富信息,是分析城市功能用地空间分布的基本数据源。结合历史时期城市兴趣点的空间分布信息可以较为准确地获取城市的发展、行业兴衰与布局迁移等趋势与特征(曹芳洁等,2019;李江苏,2018)。

本研究中 POI 获取自高德地图服务(<https://lbs.amap.com/>),通过高德地图 API 编程得到。研究使用的 2015 年和 2018 年的 POI 点分别为 25.9 万个和 34.2 万个(表 3-3),涉及行业类型包括餐饮、公共设施、公司企业、交通运输、仓储、农林牧渔业等 15 个一级类和 47 个二级类。对区域内不同行业类型的 POI 数量进行统计可知,不同行业之间 POI 数量差异较大,其中,一级类中批发零售、餐饮、居民服务及公司企业的 POI 点数量较多,而汽车销售及服务、卫生、社保和金融保险行业的 POI 数量较少。在此基础上,进一步提取 POI 点的空间分布密度用于分析,而空间分布密度则通过核密度函数的方法估计,并进行归一化处理(附图 1)。

(4) 其他辅助数据

考虑到自然植被在光谱特征上存在的垂直分异性(赵佩,2020),因此,本研究增加数字高程模型(DEM)和坡度作为自然地表的解译特征之一。研究所使用的 DEM 数据为美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)发布的全球数字高程模型:SRTMGL1(NASA, 2013),该数据空间分辨率约为 30 m,下载于 LP DAAC 平台(<https://lpdaac.usgs.gov/tools/data-pool/>)。坡度数据基于 DEM 数据并利用 ArcGIS 的表面分析模块计算得到。

表 3-3 研究区 POI 信息统计

(单位:10⁴个)

行业类别	2015 年	2018 年	行业类别	2015 年	2018 年
餐饮	3.48	4.21	农林牧渔业	0.04	0.06
公共设施	1.08	1.4	批发、零售	5.35	7.47
公司企业	3.28	3.74	汽车销售及服务	0.56	0.61
交通运输、仓储	1.6	2.67	商业设施、商务服务	0.77	1.15
教育、文化	1.35	1.93	卫生、社保	0.63	1.12
金融、保险	1.15	1.11	运动、休闲	1.31	1.77
居民服务	3.40	4.28	住、宿	1.67	2.42
科研及技术服务	0.2	0.26			
			合计	25.87	34.22

3.2.2 研究方法

3.2.2.1 城市功能用地识别

本研究以北京市为研究对象,主要目标是探究城市功能演化对土地利用时空格局影响,重点关注建设用地特别是不同城市功能用地空间分布状况。因此,获取历史时期包含不同城市

功能用地类别的土地利用分类数据是本研究的重要数据基础。研究中将借助遥感影像同时辅助社交媒体数据,基于机器学习的监督分类方法获取北京市土地利用分类及地块的功能,主要框架如图 3-3。

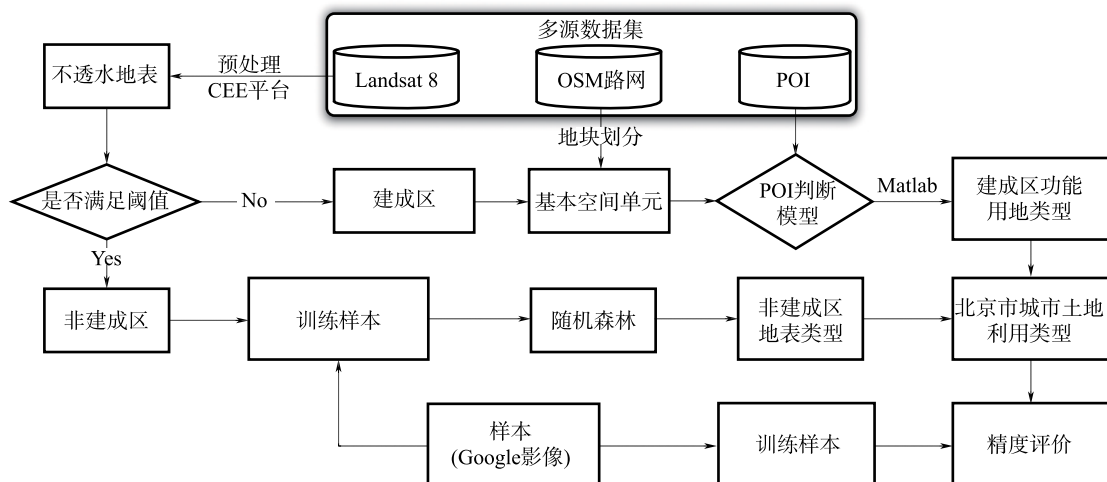


图 3-3 土地利用遥感解译流程

首先,收集和整合包含遥感影像、路网、城市兴趣点和数字高程模型的多源数据集;其次,在传统土地利用分类系统基础上,构建包含城市用地功能的土地利用分类系统,并建立解译标志;再者,划分研究区内的建成区与非建成区,并在建成区范围内识别城市用地功能识别的基本空间单元;然后,结合地类解译标志,基于 Google 影像进行样本选择和特征提取;然后,利用地物光谱特征、纹理特征、社交媒体数据及其他空间变量,解译建成区和非建成区范围内土地利用类型,并进行参数调整;最后,将分类后的建成区和非建成区合并得到研究区土地利用分类图,并进行精度评价。具体如下。

(1) 分类系统及解译特征

土地利用分类系统的划分与研究目标及研究对象密切相关,因此,明确土地分类系统十分关键。基于科学性、综合性、适用性以及可识别性原则,本次研究中,首先将北京市土地利用系统分为建成区和非建成区,其中非建成区类别参考中国土地利用遥感监测数据分类体系(中国科学院资源环境数据中心,2015),设定包括耕地、林地、草地、水域和未利用土地,共 5 种类别;建成区参考曲畅等(2017)等学者对城市功能系统的划分,细分为工业用地、交通运输用地、批发零售用地、住宿餐饮用地、商务金融用地和公共服务用地,共 7 种功能用地类别(表 3-4)。

表 3-4 土地利用分类系统

序号	土地利用类别	说明
1	耕地	种植农作物的土地,包括熟耕地、新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作物地;以种植农作物为主的农果、农桑、农林用地;耕种三年以上的滩地和海涂。
2	林地	生长乔木、灌木、竹类以及沿海红树林地等林业用地。

续表

序号	土地利用类别	说明
3	草地	以生长草本植物为主,覆盖度在5%以上的各类草地,包括以牧为主的灌丛草地和郁闭度在10%以下的疏林草地。
4	水域	天然陆地水域和水利设施用地。
5	工业用地	独立设置的工厂、车间、手工业作坊、建筑安装的生产场地、排渣(灰)场地等用地。
6	城市居住用地	城市现代住宅小区、胡同和住宅楼等用地。
7	农村建设用地	农村各项非农业建设所使用的土地,该用地所附属的工业、商服类属性较弱。
8	交通用地	用于运输通行的地面线路、场站等用地,包括民用机场、港口、码头、地面运输管道和居民点道路及其相应附属设施用地。
8	批发零售用地	商品批发、零售用地。包括商场、商店、超市、各类批发(零售)市场,加油站等及其附属的小型仓库、车间、工场等。
10	住宿餐饮用地	提供住宿、餐饮服务的用地。包括宾馆、酒店、饭店、旅馆、招待所、度假村、餐厅、酒吧等。
11	商务金融用地	企业、服务业等办公区域,以及经营性的办公场所区。包括写字楼、商业性办公场所、金融活动场所以及企业厂区外独立的办公场所等。
12	其他商服用地	上述区以外的其他商业、服务业用地。包括洗车场、洗染店、废旧物资回收站、维修网点、照相馆、理发美容店、洗浴场所等。
13	公共服务用地	机关团体用地、新闻出版用地、科教用地、医卫慈善用地、文体娱乐用地、公共设施用地、公园与绿地、风景名胜设施用地等。

资料来源:结合中国土地利用现状遥感监测数据库和曲畅等(2017)文献整理得到。

(2) 训练样本选择策略

样本质量是影响土地利用解译精度的重要因素。基于已设定的分类系统和解译特征,对一级地类(栅格单元)二级地类(街区单元)分别布设训练样本和验证样本点。在地物属性的确定主要参考空间分辨率为1.07m的谷歌地球(Google Earth, GE)影像。考虑到GE的空间分辨率远高于Landsat 8 OLI影像,在获取样本地物属性时,首先,需根据Landsat 8 OLI影像的空间分辨率(30m)生成格网文件,并将其覆盖到GE图像上,在此基础上,并格网内包含覆盖面积最大且比例超过50%的土地利用类型确定为该样本点地物属性。2015年和2018年训练样本数量分别为 7.81×10^4 和 8.87×10^4 个(表3-5)。

表 3-5 2015 年和 2018 年土地利用一级地类的训练样本数

(单位:万个)

一级地类	2015 年	2018 年
耕地	1.89	1.71
林地	3.40	3.83
草地	0.60	0.84
水域	0.78	0.92
建设用地	0.97	1.33
未利用土地	0.17	0.24
合计	7.81	8.87

(3) 特征提取

在栅格单元尺度上,特征集由光谱特征和纹理特征组成。光谱特征选择 OLI 第一波段至第七波段,纹理特征通过灰度共生矩阵对 OLI 影像主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)后的前四个分量提取,取前四个主成分是由于其累计方差贡献率达到了 99.95% 以上,几乎集中了所有波段的信息。纹理特征取均值、方差、协同性、对比度、非相似性、熵值、二阶矩、相关性 8 个常用的纹理测度。因此,研究中一级地类的解译共选择 39 个特征(7 个光谱特征和 32 个纹理特征)形成分类特征集。

(4) 分类算法

随机森林(Random Forest, RF)算法是 2001 年由 Breiman 提出的一种分类模型(Breiman 2001)。它由若干决策树集成,利用多棵树对样本进行训练并预测,最终分类结果由多棵树分类器投票决定。在随机森林构建过程中设置以下 2 个参数:决策树的个数 N ,当 $N \geq 100$ 时,各分类情况的 OOB 误差趋于稳定,随机森林未出现过拟合的现象,因此设置决策树 $N=100$;随机特征变量个数 m ,本文根据 Breiman 建议设定 m (随机特征变量的个数)等于 M (特征变量的总数)的平方根进行分类。

(5) 精度评估

验证样本采用分层抽样和目视判别的方式获取样本(Ramezan et al., 2019; 张景华 等, 2011),根据训练样本最小数量数量主要依据下式:

$$n = \frac{u_1^2 - \frac{\alpha}{2}}{d^2} \times p \times (1-p) \quad (3-1)$$

式中, n 为最少抽样点的个数, p 为分类正确的百分比, u 是对应置信水平从正态分布的概率表所对应的值, d 为误差允许范围。

3.2.2.2 城市产业分布中心识别

城市不同功能的空间分布反映了城市内部的空间结构。从城市功能用地演化的影响因素上看,土地所承载产业的聚集效应,特别是形成一定规模的城市功能中心(如商业中心、教育中心、医疗中心等),会通过自身完善基础设施和廉价的交易成本而吸引相同或关联产业用地的聚集,从而影响城市空间结构的变化(魏守华 等, 2016)。因此,识别城市内部不同功能用地的分布中心以及中心内部土地利用结构是分析城市内部空间结构以及未来城市功能演化的重要数据基础。

夜间灯光影像、城市兴趣点数据是被广泛用于识别城市内部人类活动分布中心的重要数据基础。然而,夜间灯光影像数据未能标识城市人类活动类型,因此,所提取的城市中心无法进一步区分中心的功能类型;而 POI 数据因其丰富的行业属性及位置信息为不同产业分布中心的识别提供了必要的参考信息。因而,本研究将基于 POI 数据提取城市不同功地的分布中心。

(6) 识别框架

POI 与人类活动以及土地利用强度之间存在着极强正向相关关系,其在空间上的分布趋势一定程度上反映了区域或地块承担某一城市功能(如商业金融、居住等)的相对强度(Bar-

lacchi et al., 2020)。研究中提取城市产业分布中心的主要思想是将城市 POI 密度的空间分布类比成高低起伏的地形表面,其中,相对隆起的区域代表了较密集的人类活动,也即相应城市功能用地的分布中心。因此,本研究借助 POI 密度数据,在划定城市功能用地分布边界的基础上,利用等值线(即轮廓线)之间的拓扑和层级关系识别城市功能用地的分布中心。

在空间上,POI 分布通常表现为一定距离内的空间集聚,而当超出特定距离后空间聚集效应逐渐减弱且单位距离内分布密度下降的速度显著增加(图 3-4a)(Deng et al., 2019)。该现象反映在叶节点与其对应父节点之间距离的变化趋势中则表现为存在着一个斜率快速增加的拐点(图 3-4b)。研究中将该拐点对应距离视为城市功能分布中心的临界值,当轮廓线与其对应叶节点之间的距离超过该临界值则不属于该城市功能分布的范围内。

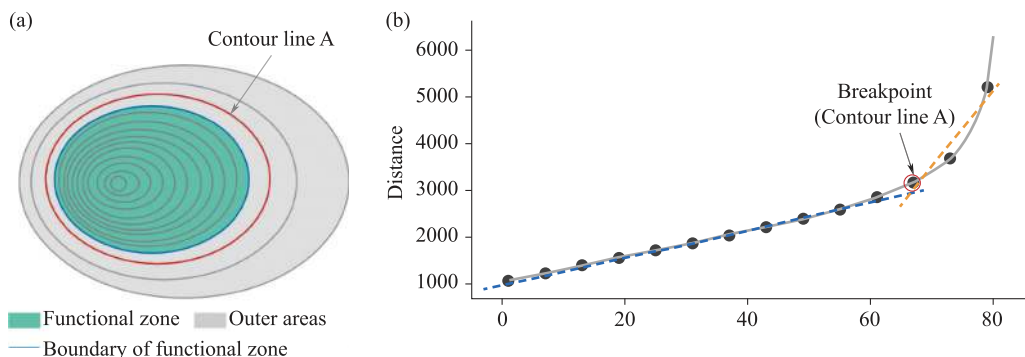


图 3-4 城市功能区临界边界判断示意图

(a)城市功能区轮廓线示意图;(b)叶节点与其关联父节点之间距离的变化趋势

在城市功能分布范围内,单一同心结构是最基本的构成单元,可由一个局部最大值以及包含它的一组闭合轮廓线来表征(图 3-5),这些同心的闭合轮廓线在空间上相邻且属性值从外轮廓向内轮廓逐渐增加(图 3-5b,c)。将单一同心结构的转换为具有嵌套关系的轮廓线树后可以看出,每棵轮廓线树所包含的区域均代表了一个 POI 分布的相对集中区。以图 3-5 为例,其中,轮廓线 g 为该轮廓线树的根节点,代表了该区域的最大边界,而 a 为局部最大值也被称为该轮廓线树中的叶子节点。

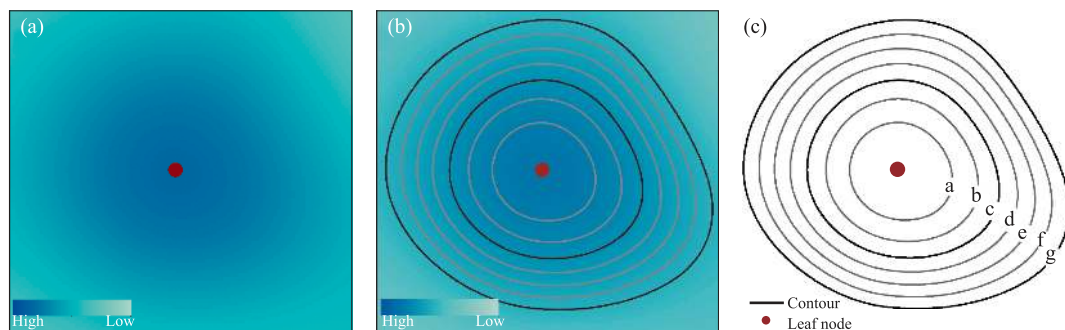


图 3-5 城市 POI 密度分布的单一同心结构示例(以 2015 年北京市批发零售类 POI 为例)

(a)POI 核密度分布;(b)POI 核密度等值线;(c)单一同心闭合轮廓

然而,城市内部 POI 可能存在多中心结构(Deng et al., 2019; Gong et al., 2020),具体表现为多个单一同心的闭合轮廓线一次或多次嵌套后形成的复合同心结构(图 3-6)。在空间邻接关系上,轮廓线可能存在着包括嵌套(/包含)、并列以及孤立这三种邻接关系(Qiao et al., 2005)且每棵轮廓线可同时包含一种或多种邻接关系。以图 3-6 为例,轮廓 i 为该轮廓线根节点且 POI 密度最低,它直接或间接包含其他全部轮廓线;轮廓 i 有两个 POI 密度相同的子节点 h 和 k ,分别为该复合轮廓线树的两个分支;轮廓 k, h, g, f, e, d, c 和 b 有且仅有一个子节点;轮廓 j 和 a 则没有子节点。在空间关系上,轮廓 h 和 k 具有并列关系,同时它们各自又嵌套于 i 的轮廓内。

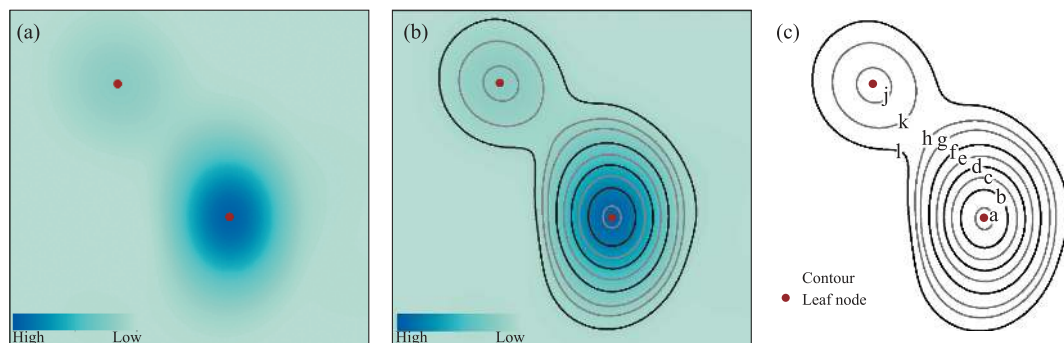


图 3-6 城市 POI 密度分布的复合同心结构示例(以 2015 年北京市批发零售类 POI 为例)

(a) POI 核密度分布; (b) POI 核密度等值线; (c) 复合同心闭合轮廓

利用 POI 分布数据提取不同产业分布中心主要利用相邻轮廓线间的拓扑关系,在此基础上,基于图论构建轮廓线树,并将同心结构(单个或复合)的轮廓线识别为一个局部轮廓树。根据前面分析可以看出,每棵局部轮廓线树的根节点将被视为一个基本中心或者复合中心,据此将原始轮廓线树进行简化,而简化后的轮廓线树仅保留基本功能中心和复合功能中心的节点。以图 3-7 为例,初始的轮廓线由 $a \sim p$ 共 18 条轮廓线组成(图 3-7a),转化为树结构后可以看出,节点 d, e, l 和 m 分别各简单同心结构的根节点(即基本功能中心),而 a, b, c 则为复合功能中心,包含了以 d, e, l 和 m 为根节点的各简单同心结构(图 3-7b)。在简化后轮廓线树中,仅 a, b, c, d, e, l 和 m 共 7 条轮廓线被保留以表征城市功能区分布的中心以及相应的层级关系(图 3-7c, d)。

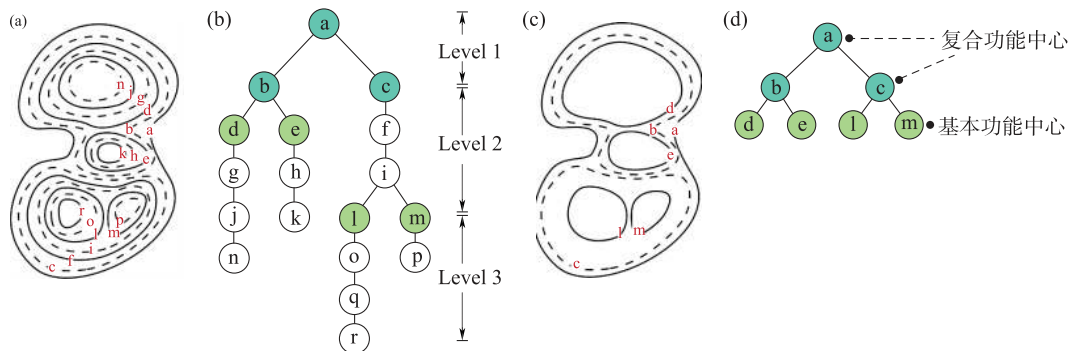


图 3-7 局部轮廓线树的简化过程

(a) 原始轮廓线; (b) 原始轮廓线树; (c) 简化后轮廓线; (d) 简化后轮廓线树

(1) 识别流程

上面我们阐述提取城市产业分布中心的基本框架,接下来介绍提取城市产业分布中心的具体步骤(图 3-8)。

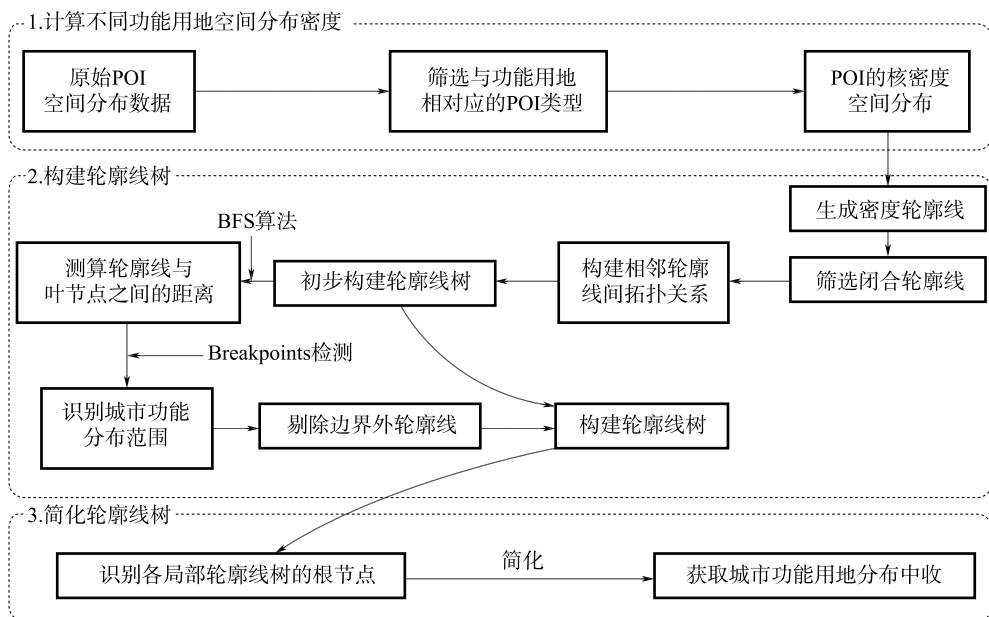


图 3-8 城市产业分布中心提取流程

(2) 计算不同产业 POI 空间分布密度

研究中首先根据产业与所附带的 POI 属性之间的隶属关系,对 2015 年城市内部 POI 进行分类划分,主要识别包含工业、居住、批发零售、商务金融、其他商服和公共服务 6 类产业的分布中心(表 3-6)。

表 3-6 城市产业及所关联 POI 属性

序号	产业类型	关联 POI 属性
1	工业	厂矿企业、工业园区
2	城市居住空间	小区、住宅楼等
3	批发零售业	批发、零售等
4	住宿餐饮业	餐饮、住宿等
5	商务金融业	金融、保险、商业设施、商务服务和公司企业等
6	其他商服业	休闲娱乐服务、居民服务和租赁服务等
7	公共服务业	运动/休闲、教育/文化、公共设施、卫生/社保和科研及技术服务等

根据所划分的产业与其所关联的 POI 属性之间的对应关系,估算不同产业 POI 点的分布密度。研究中 POI 密度采用核密度函数方法进行估计,核密度是一种非参数的密度估计方法,它以要素点为中心,计算搜索半径内 POI 点的总数量。不同于其他密度计算方法,核密度估计增加了周围点的计算权重,该权重随着各自到中心点的距离增加逐渐衰减,即中心点权

重最高,而当距离达到搜索半径 r 时权重为 0,并且所有权重总和为 1。计算公式如下:

$$P_i = \frac{1}{n\pi R^2} \times \sum_{j=1}^n \left[1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2} \right]^2 \quad (3-2)$$

式中, P_i 代表空间位置 i 处的核密度大小; D_{ij} 为在搜索半径范围内空间位置 j 处与位置 i 之间的距离; k_j 为位置 j 所赋予的计算权重; n 为落在搜索半径 (R) 内点的数量。

可以看出,当搜索半径值越大时,生成 POI 密度分布栅格则越平滑且概化程度越高;当搜索半径值越小,POI 密度分布所包含的细节越多,搜索半径 (R) 的设定是影响 POI 分布密度计算的关键参数。在搜索半径的选择上,研究分别测试了 4 个不同搜索半径 (1000m、2000m、3000m 和 5000m) 下北京市 POI 点分布密度 (图 3-9)。当搜索半径为 1000m 和 2000m 时,提取得到的 POI 分布包含更多细节,但可以识别的功能用地中心则相对细碎。随着搜索半径的增加至 5000m 时,诸多功能中心:如北四环的中关村等则被忽略。综合考虑,研究中选择 3000m 作为 POI 核密度函数估计的搜索半径。

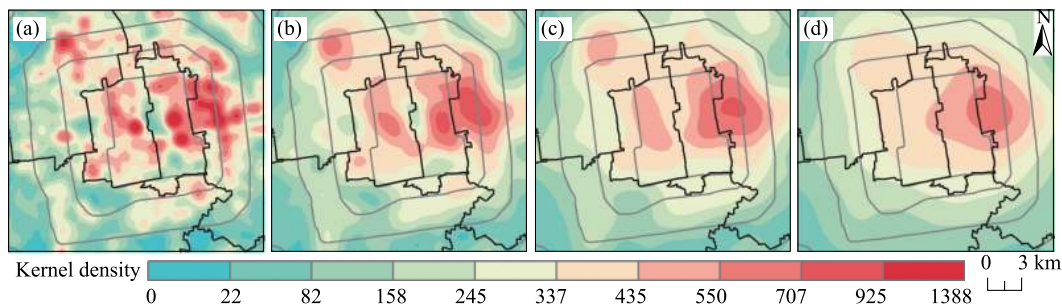


图 3-9 2015 年不同搜索半径下北京市城市四环内城市兴趣点密度分布

(a)1000m;(b)2000m;(c)3000m;(d)5000m

(3) 构建初始轮廓线树

轮廓线树的构建包含两个关键过程:生成能够表征 POI 密度空间分布的矢量轮廓线以及识别相邻轮廓线树间的拓扑关系。在生成 POI 密度分布轮廓线中,等值线的起始值和间隔值是两个关键参数。研究中分别测试了 4 个不同密度间隔值 (25、35、45 和 55 个) 对刻画 POI 空间分布密度的影响。结果显示,轮廓线的间隔值大小与刻画 POI 密度分布的详细程度呈反比,较小间隔有利于识别城市内部 POI 分布变化的更多细节。由于不同功能用地 POI 分布密度的差异,研究中使用 POI 密度分布的 1/4 标准差设定为轮廓线的间隔值,而等值线起始值则统一设定为零。在此基础上,利用 ArcGIS 中的 Spatial join 工具获取各轮廓线树的邻接关系,提取包括嵌套 (/ 包含)、并列以及孤立三种邻接关系,并基于图论构建初始轮廓线树。

(4) 识别城市功能区分布边界

对于分布边界值的确定,Deng 等 (2019) 利用不同 POI 密度大小与其空间分布理论半径之间的比例关系提取 POI 密度临界值。该方法中将 POI 分布密度与理论半径之间关系设定为常数,即未考虑空间集聚效应随距离衰减的空间异质性,可能导致存在“过度提取”或“提取不足”等。本研究利用所构建初始轮廓线树,首先,基于图论及轮廓线间邻接关系构建初始轮

廓树,其次,利用广度优先搜索算法(Breadth First Search,BFS)识别每个轮廓线树所对应的局部最大值(叶节点);然后,针对每棵局部轮廓线树,利用断点回归方法识别各轮廓线与对应叶节点在平均距离,识别轮廓线对应距离中的断点,并将断点对应的轮廓线树作为该叶节点对应分布边界;最后,剔除密度小于对应临界值得到城市功能区的分布范围内的轮廓线树。

(5) 简化轮廓线树

轮廓树的简化过程仅保留关键节点,即每棵局部轮廓线树中的根节点(如图 3-7 中的轮廓线 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 l 和 m)。这些关键节点包含两类:不包含任何父节点或其父节点包含至少两个子节点。在简化后的轮廓线树中,叶节点(不包含任何子节点)对应的轮廓线则为城市中基本功能中心;而其余轮廓线则为复合功能中心。

3.2.2.3 土地利用动态度

土地利用动态度通常被用类量化区域内土地利用的变化状况,并反映土地利用变化速率的区域差异(刘纪远等,2014),计算公式如下:

$$S = \frac{\sum_{ij}^n \left(\frac{\Delta S_{i-j}}{S_i} \right)}{t} \times 100 \% \quad (3-3)$$

式中, S_i 为起始时间第 i 类土地利用的面积, ΔS_{i-j} 为时间段(t)内第 i 类土地利用换为其他利用类型的面积之和。

3.2.2.4 队列要素人口预测模型

队列要素人口预测模型是基于区域人口起始性别与年龄结构,在考虑死亡、生育及迁移等人口变动因素的基础上模拟和推演未来人口总量和年龄结构的最经典方法,属于结构功能模型(翟振武等,2017)。本研究借助 PADIS-INT 模型,通过设定死亡率、出生率、性别比以及人口迁移等多个参数,对 2010—2035 年北京市人口规模和结构进行预测。

模型中需要设定的参数包括初始人口、生育水平、生育模式、死亡水平、出生性别比、迁移水平等,相关指标的数据和参数均获取自《北京市人口普查资料》。①初始人口采用分性别的单岁组数据。②死亡水平是根据“人均期望寿命”和“死亡模式”参数共同确定。模型中死亡模式选择一般模式。人均期望寿命则根据《北京市人口普查资料》(2010 年)和《北京城市总体规划(2016—2035 年)》的资料共同确定;其中人口普查数据显示,2010 年北京市常住人口人均期望寿命为 80.18 岁(其中,男性 78.28 岁,女性 82.21 岁);北京市城市规划中对北京市人口人均期望寿命的目标设定为到 2035 年达到 83.5 岁;综合来看,模型中分性别按照人均期望寿命的变化趋势进行线性内插得到。③生育水平采用“妇女总和生育率”表征,该数据根据 2010 年北京市人口普查数据线性插值得到。④出生性别比,根据 2010 年北京市人口普查数据显示北京市出生人口性别比为 111.4,根据 2010 年和 2015 年北京市人口普查及抽样调查信息中关于该数值的变化情况,将 107 作为 2035 年出生性别比目标值,并据此内插得到研究时段内的其他年份数据。⑤在不考虑产业疏解方案等人口疏解政策的情况下,模型中迁移水平的参数设定则依据北京市 2010—2015 年净迁移人口的平均值按照区域男女的性别比例进行分配得到;男性净迁移人数为 25.71 万人,女性净迁移人数为 24.19 万人。

3.3 结果与分析

3.3.1 北京市土地利用解译精度评估

为了评估 2015 年和 2018 年北京市土地利用遥感解译结果的精度,研究中首先分别针对 6 个一级土地利用类别和 8 个建设用地二级类别随机布设约 570 个和 310 个验证点,并基于在 2015 年和 2018 年 Google Earth 影像确定验证点的地表真实属性。在此基础上,基于土地利用分类结果和 Google Earth 影像的验证点信息建立混淆矩阵,并计算土地利用一级地类和建设用地二级地类的总体精度和 Kappa 系数(表 3-7 和表 3-8)。结果显示,2015 年土地利用一级地类分类的总体精度为 91.71%,Kappa 系数分别为 0.886 和 0.882(表 3-7);2018 年的分类精度水平略低于 2015 年,但差别不大,总体精度和 Kappa 系数仍然分别高达 91.52%和 0.882;对于 6 个一级地类中,建设用地和水体的解译精度最高,相对而言,草地和耕地的解译精度最低;总的来说,2015 年和 2018 年北京市土地利用一级地类的遥感解译精度水平较高。

表 3-7 土地利用一级地类分类混淆矩阵与精度

年份	地类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	总计	用户精度
2015 年	耕地	121	10	17	0	3	1	152	79.6%
	林地	3	219	0	0	1	0	223	98.2%
	草地	6	3	54	0	0	0	63	85.7%
	水域	0	0	0	17	0	0	17	100.0%
	建设用地	0	0	0	0	101	3	104	97.1%
	未利用地	0	0	0	0	0	8	8	100.0%
	总计	130	232	71	17	105	12	567	
	生产精度	93.1%	94.4%	76.1%	100.0%	96.2%	66.7%		
	总体精度	91.71%							
	Kappa 系数	0.886							
2018 年	耕地	101	5	2	0	2	1	111	91.0%
	林地	4	229	3	1	1	0	238	96.2%
	草地	5	16	43	1	2	1	68	63.2%
	水域	0	0	0	32	0	0	32	100.0%
	建设用地	0	2	0	0	109	0	111	98.2%
	未利用地	0	0	1	0	1	4	6	66.7%
	总计	110	252	49	34	115	6	566	
	生产精度	91.8%	90.9%	87.8%	94.1%	94.8%	66.7%		
	总体精度	91.52%							
	Kappa 系数	0.882							

相较而言,建设用地的二级地类的分类精度低于土地利用一级地类(表 3-8)。2015 年建设用地二级地类分类的总体精度为 77.8%,Kappa 系数为 0.689;2018 年总体精度水平略有提升,总体精度和 Kappa 系数分别为 78.9%和 0.710;综合生产精度和用户精度,建设用地二级地类的解译精度从大到小依次是:农村建设用地 \approx 工业 $>$ 公共服务用地 $>$ 城市居住用地 $>$ 住宿餐饮用地 $>$ 批发零售用地 $>$ 商务金融用地 $>$ 其他商服用地。

表 3-8 北京市建设用地二级地类分类的混淆矩阵与精度

年份	二级地类	住宿餐饮用地	商务金融用地	工业	其他商服用地	公共服务用地	农村建设用地	城市居住用地	批发零售用地	合计	用户精度
2015 年	住宿餐饮用地	16	0	0	0	3	0	3	1	23	69.57%
	商务金融用地	0	14	0	2	3	0	3	0	22	63.64%
	工业	0	0	4	0	1	0	0	0	5	80.00%
	其他商服用地	0	0	0	2	3	0	6	0	11	18.18%
	公共服务用地	1	2	0	1	99	0	11	0	114	86.84%
	农村建设用地	0	0	0	0	0	8	0	0	8	100.00%
	城市居住用地	2	0	0	1	15	0	80	0	98	81.63%
	批发零售用地	1	1	0	0	3	0	4	12	21	57.14%
	合计	20	17	4	6	127	8	107	13	302	
	生产精度	80.0%	82.4%	100.0%	33.3%	78.0%	100.0%	74.8%	92.3%		
	总体精度	77.8%			Kappa 系数			0.689			
2018 年	住宿餐饮用地	18	0	0	0	3	0	3	0	24	75.00%
	商务金融用地	0	16	0	0	3	0	3	0	22	72.73%
	工业	0	0	4	0	0	0	0	1	5	80.00%
	其他商服用地	0	0	0	4	1	0	4	1	10	40.00%
	公共服务用地	0	3	0	0	96	2	13	2	116	82.76%
	农村建设用地	0	0	0	0	1	7	0	0	8	87.50%
	城市居住用地	1	2	0	1	9	0	82	2	97	84.54%
	批发零售用地	2	1	0	0	3	0	4	16	26	61.54%
	合计	21	22	4	5	116	9	109	22	308	
	生产精度	85.7%	72.7%	100.0%	80.0%	82.8%	77.8%	75.2%	72.7%		
	总体精度	78.9%			Kappa 系数			0.710			

3.3.2 北京市土地利用时空分布特征及趋势

(1)1990—2018 年土地利用数量结构变化

近 30 年,伴随着城市化进程,北京市的经济和人口规模迅速扩大。作为表征城市扩张速度的重要指标,我们对 1990—2018 年北京市土地利用一级地类的数量及结构特征及进行了分析和对比。首先,从结构比例上看,耕地、林地和建设用地是北京市土地利用的主要方式。以 1990 年的土地利用数据为例,上述地类的面积占比分别为 35.5%、44.6%和 9.1%。从结构

变动上看,耕地、林地和建设用地的面积比重在 2018 年分别变化至 19.6%、43.9%和 23.6%,可以看出,1990—2018 年间北京市的土地利用方式主要表现为建设用地的迅速扩张(+14.58 个百分点),以及耕地范围的大幅缩减(-15.95 个百分点);相较而言,林地和草地等自然植被等占比相对平稳,变化幅度^①在±3 个百分点。

表 3-9 北京市 1990—2018 年土地利用一级类型变化情况

(单位:km²)

土地利用类型	1990 年	2000 年	2015 年	2018 年
耕地	5831.75	4905.75	3897.88	3216.01
林地	7319.32	7439.33	7192.52	7199.25
草地	1366.11	1298.19	1638.63	1745.26
水域	398.46	510.22	233.74	331.29
建设用地	1485.90	2248.06	3372.37	3877.69
未利用土地	1.15	1.15	67.56	33.20

资料来源:1990 年和 2000 年土地利用数据来源于中国土地利用现状遥感监测数据库(获取自 <http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=95>),2015 年和 2018 年的数据是基于 Landsat 数据遥感解译得到。

分时段看,在 1990—2000 年间,有 18.72%(约 1092km²)的耕地发生转移(表 3-10);其中,约 71%g 被占用为建设用地;有 15.7%和 9.7%分别转入至林地和水域;而草地和未利用土地的转入面积占比则相对较少。该时段内林地面积也有所增加,由 7321.4km² 增加至 7441.4km²,增幅达 1.6%;林地面积的转入主要来源于耕地和草地,比重分别为 59.7%和 33.4%。期间由于草地向林地和耕地的转移(分别占草地转出面积的 52.7%和 21.3%),草地缩减了约 5%。此外,水域范围扩大了近 28%,新增水域主要由耕地和林地转入。从转移幅度上看,耕地→建设用地、未利用土地→林地、草地→林地是该阶段最主要的转移方式。

表 3-10 北京市 1990—2000 年土地利用转移矩阵

单位:km²

	地类	2000 年						转出面积
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
1990 年	耕地	4740.91	171.41	40.23	106.62	773.73	0.00	5832.90
	林地	62.57	7153.57	70.46	8.24	26.38	0.14	7321.37
	草地	39.41	96.53	1183.33	30.50	16.60	0.02	1366.40
	水域	17.88	10.31	2.28	362.46	5.78		398.70
	建设用地	46.06	9.41	2.18	2.68	1425.61	0.00	1485.94
	本利用地	0.02	0.14	0.01			0.98	1.15
	转入面积	4906.85	7441.37	1298.51	510.48	2248.10	1.15	16406.46

在 2000—2015 年间,耕地由 2000 年的 4905.8km² 减少至 2015 年的 3897.9km²,缩减幅度达 20.5%,其中,有 435.9%被建设用地占用(表 3-11)。该时段内草地面积有所增加,由

① 发生转移的地类面积占初始地类面积的比例。

1298.2km² 增加至 1638.63km²,增幅达 20.8%;草地面积的转入主要来源于耕地和林地,比重分别为 52.7%和 33.8%。由于林地向草地和耕地之间的大幅转移,林地缩减了 3.4%。此外,水域范围也大幅减少了近 54%,其中主要转出至耕地(59.2%)和建设用地(31.0%)。从转移幅度上看,草地↔林地、耕地→建设用地、未利用地→林地是该阶段最主要的转移方式。

表 3-11 北京市 2000—2015 年土地利用转移矩阵

单位:km²

	地类	2015 年						转出面积
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2000 年	耕地	2651.57	632.15	192.88	43.40	1361.22	24.53	4905.75
	林地	509.24	5670.45	1006.67	14.36	215.60	23.00	7439.33
	草地	205.30	690.81	320.18	7.33	66.14	8.43	1298.19
	水域	163.75	68.89	44.03	140.40	85.83	7.32	510.22
	建设用地	367.84	129.79	74.67	28.21	1643.29	4.26	2248.06
	本利用地	0.17	0.42	0.21	0.03	0.29	0.03	1.15
	转入面积	3897.88	7192.52	1638.63	233.74	3372.37	67.56	16402.70

在 2015—2018 年间,有 29.3%(约 1092km²)的耕地发生转移(表 3-12);其中,约 38.2%被占用为建设用地;有 34.4%和 21.6%分别转入至林地和草地。该时段内林地面积基本维持不变,仅有少量耕地和草地转入。该时段内草地面积也有所增加,由 1638.63km² 增加至 1745.3km²,增幅达 6.5%;草地面积的转入主要来源于林地和耕地,比重分别为 65.5%和 31.8%。此外,水域范围增加约 97.57km²,新增水域主要来源于耕地。从转移幅度上看,耕地→建设用地、草地↔林地、未利用土地→建设用地是该阶段最主要的转移方式。

表 3-12 北京市 2015—2018 年土地利用转移矩阵

单位:km²

	地类	2018 年						转出面积
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	
2015 年	耕地	2756.23	392.41	247.38	64.22	435.96	1.68	3897.88
	林地	252.69	6338.87	509.13	17.09	74.73		7192.52
	草地	153.73	449.98	968.65	14.52	51.75		1638.63
	水域				230.86	2.88		233.74
	建设用地	38.74	16.36	12.20	1.97	3293.04	10.06	3372.37
	本利用地	14.63	1.63	7.89	2.63	19.33	21.46	67.56
	转入面积	3216.01	7199.25	1745.26	331.29	3877.69	33.20	16402.70

通过对比不同时段土地利用在数量结构上的变化特征后可以发现,北京市土地利用活动不断增强,建设用地占用耕地扩张成为近 30 年间北京市土地利用数量结构发生变化的重要原因,特别是 2000 年以后,随着城市化进程的加快,土地利用数量结构变动更为剧烈。

(2) 1990—2018 年土地利用空间变化趋势

为了获取北京市土地利用转移方向以及变化速率在空间上的分布特征及趋势,研究中统

计了不同时期 1km 格网单元内的土地利用动态度并识别对应区域主要的土地利用转移方向。首先,1990—2018 年间,城市土地利用动态度最大的区域主要以建设用地扩张为主(图 3-10),2018 年北京市建设用地扩张已蔓延至六环附近,并在平谷、顺义和延庆等区域都可观察到明显的扩张趋势。

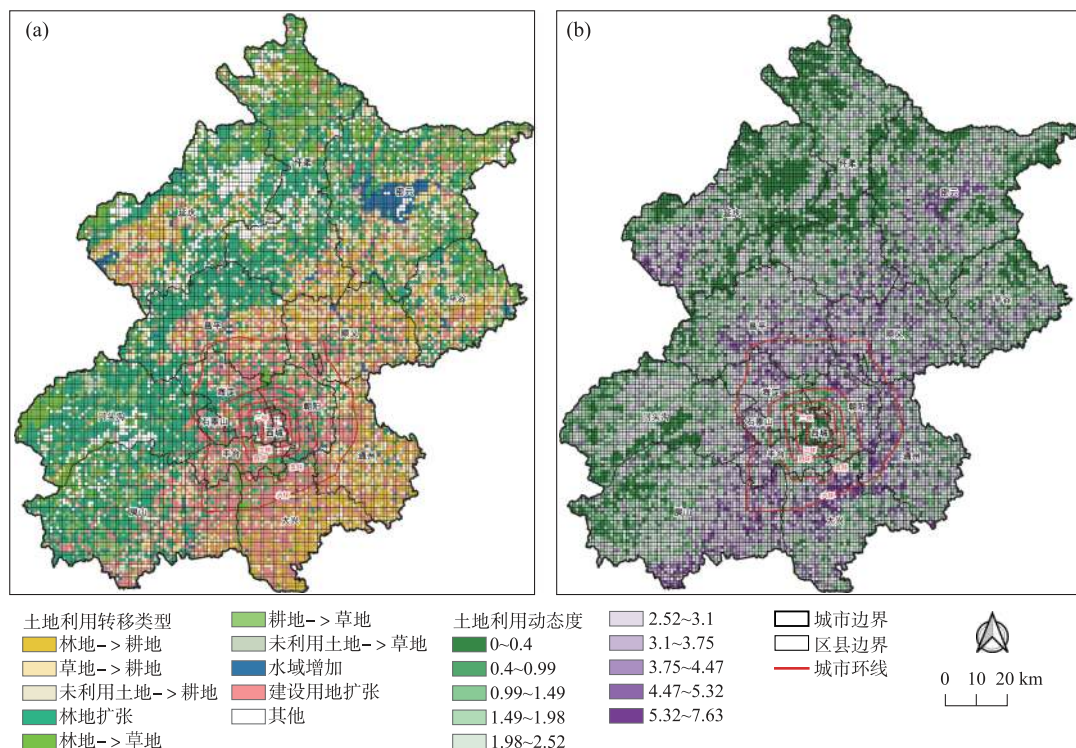


图 3-10 1990—2018 年北京市公里网格内土地利用转移及动态度空间分布

(a)土地利用转移的主要方向;(b)土地利用动态度

对比不同时期建设用地动态度(图 3-11)可以看出,北京市城市扩展在空间上的变化呈现逐渐由“圈层扩展”向“圈层扩展+分散组团扩展”的模式过渡。具体而言,90 年代的建设用地变化速率的峰值主要出现在距离城市中心 10~20km 范围内。至 2000 年,该动态度峰值移动至距离城市中心 20~30km 范围内;与此同时,在距离城市中心 65~95km 范围内建设用地变化速率明显快于邻近区域。在 2015—2018 年间,建设用地变化动态度峰值区域向城市外围移动约 5km,但峰值大小略有下降;与此同时,北京市的远郊区(距离城市中心大于 40km)范围内的动态度明显高于前期(2000—2015 年)。

(3)北京市城市功能用地结构及空间分布

本研究进一步在街区尺度对建设用地所承载的主要城市功能进行识别,考虑到 POI 数据的可获取性,研究中仅对 2015 年和 2018 年的建设用地内部进行细分。从不同功能用地的规模和数量结构上看,2015 年北京市交通运输用地和公共服务用地面积最大,分别为 1225.10km² 和 1122.70km²,约占城市建设用地的 34.80%和 32.66%(表 3-13);其次是城市

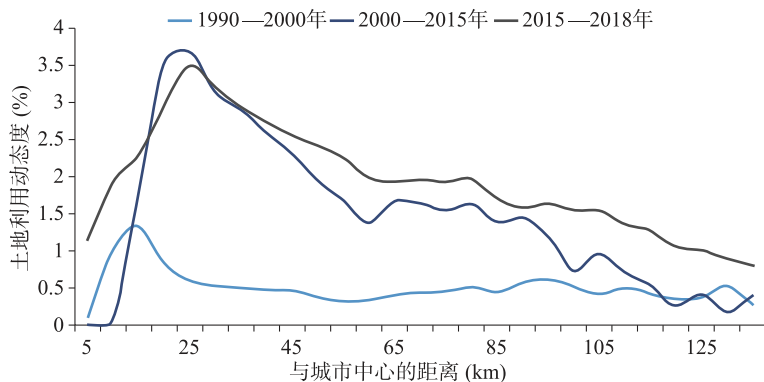


图 3-11 不同时期建设用地动态度的空间分布状况

居住用地和农村建设用地,面积分别为 296.03km^2 和 462.10km^2 ,约占建设用地的 22%;相较而言,各类批发零售、住宿餐饮和商务金融用地的比重较低,仅约占建设用地的 4%。

表 3-13 2015—2018 年建设用地二级地类面积及其变化

二级地类	2015 年/ km^2	2018 年/ km^2	变化幅度/%
工业用地	230.56	191.47	-39.03
城市居住用地	296.03	363.25	67.25
农村建设用地	462.10	555.29	93.199
交通用地	1255.10	1256.90	1.80
批发零售用地	45.20	31.52	-13.68
住宿餐饮用地	18.64	15.40	-3.21
商务金融用地	22.30	23.89	1.56
其他商服用地	37.90	43.25	5.35
公共服务用地	1122.70	1512.85	390.15

空间分布上,城市居住空间主要分布在城市五环以内(图 3-12),远郊区县如大兴区、怀柔区和平谷区等的城市居住空间主要分布在区县中心区域附近;公共服务用地覆盖范围较广,但主要集中在东城区、西城区、海淀区和朝阳区等城市中心附近;工业用地主要分布在距离城市中心区域附近 20~30km 区域附近;批发零售、住宿餐饮等商服用地主要集中城市核心区域和远郊区县的中心;商务金融则仅集中在北京市中心区域,远郊区县的商务金融用地分布较少。

本研究进一步统计北京市 16 个行政区建设用地内部功能的结构特征(图 3-13)。从空间分布的趋势上看,包括东城区、西城区、朝阳区和丰台等区县内的建设用地主要兼顾城市居住、公共服务、商务金融等商服功能,其中城市居住空间约占建设用地的 40%,远高于其他区县;随着与城市中心距离的增加,居住用地比重持续下降而公共服务功能用地比重不断增加,如门头沟和海淀区等,以居住空间为主导的街区比例已缩小至 10%左右;工业用地和农村建设用地在通州区、顺义区、大兴区、怀柔区和平谷区等远郊区县的建设用地中的所占比重较大,而城市居住、商务金融、住宿餐饮等产业功能等比重远低于其他区县。

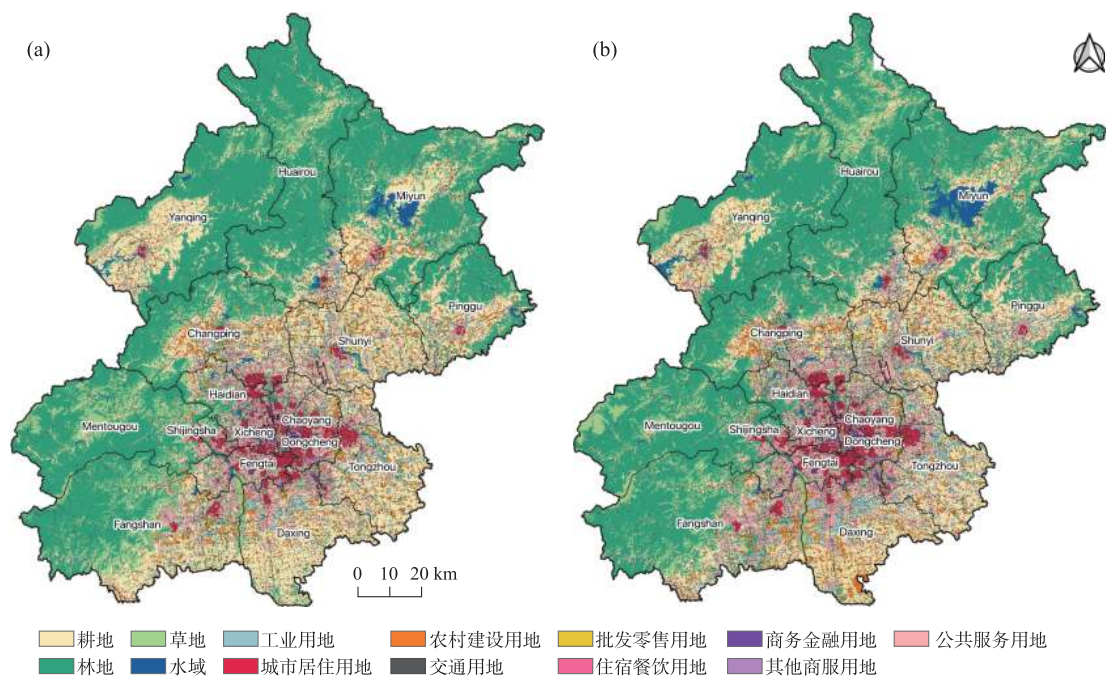


图 3-12 2015 年和 2018 年北京市土地利用二级地类分布图

(a)2015 年;(b)2018 年

2015—2018 年间,不同区县内部建设用地的主导功能类别未发生明显变动,但在远郊区县的建设用地中各城市功能所占的比重略有变化,主要表现在:工业和农村建设用地比重明显下降,而公共服务、商服和城市居住空间的比重略有上升。

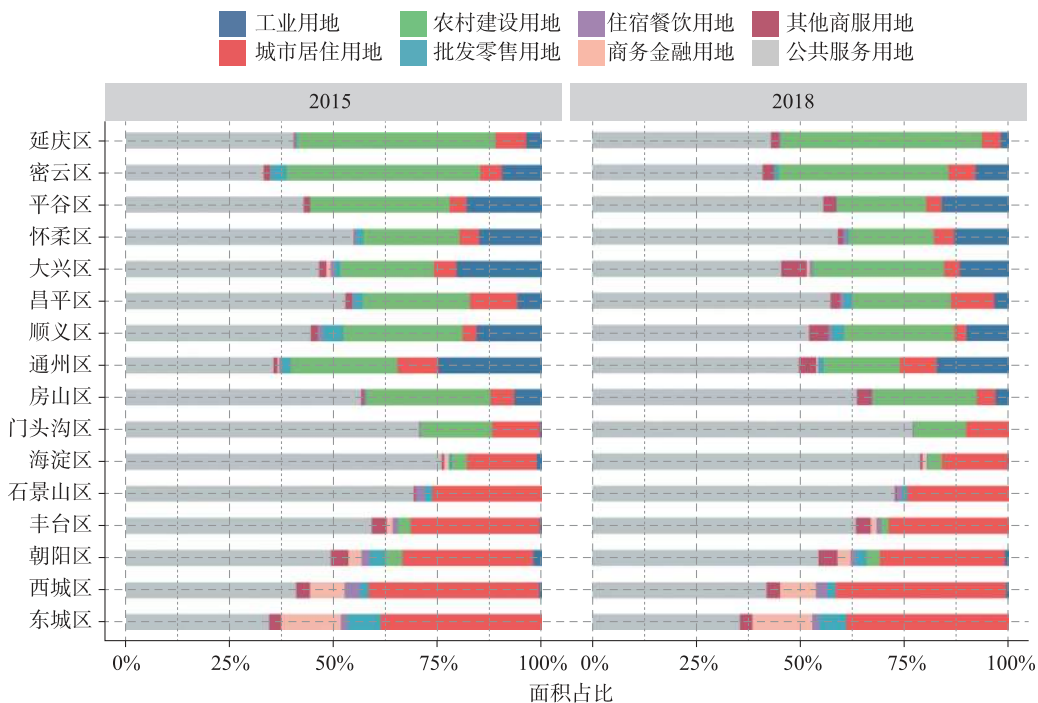


图 3-13 2015 年和 2018 年北京市区县建设用地内的功能结构

3.3.3 北京市产业与居住空间分布

(1) 居住空间

1) 空间分布结构

居住用地的分布以复合中心为主,且复合中心主要集中于五环以内(图 3-14a,c)。简化后的复合中心轮廓树结构共包含 14 棵局部树及 49 个叶节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 12 个单一中心以及 2 个复合中心(图 3-14c)。在空间范围上,居住用地的复合中心覆盖约 442.3km²,且复合中心主要集中于五环以内(图 3-14a,c),占全市居住用地分布中心面积的 85.1%。图 3-14b 是由 34 个节点构成的层级为 13 的局部轮廓线树,反映了最大复合中心内部的层级关系。在聚集强度上,随着该轮廓线树层级(即树的深度)的增加,对应轮廓线内住宿餐饮用地的聚集效应越强。空间上,该复合中心反映出北京市居住用地总体呈环状形态围绕分布于城市二环至五环之间。单一中心分布零星分布于五环以外及延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山、大兴等城市远郊区县(图 3-14c)。

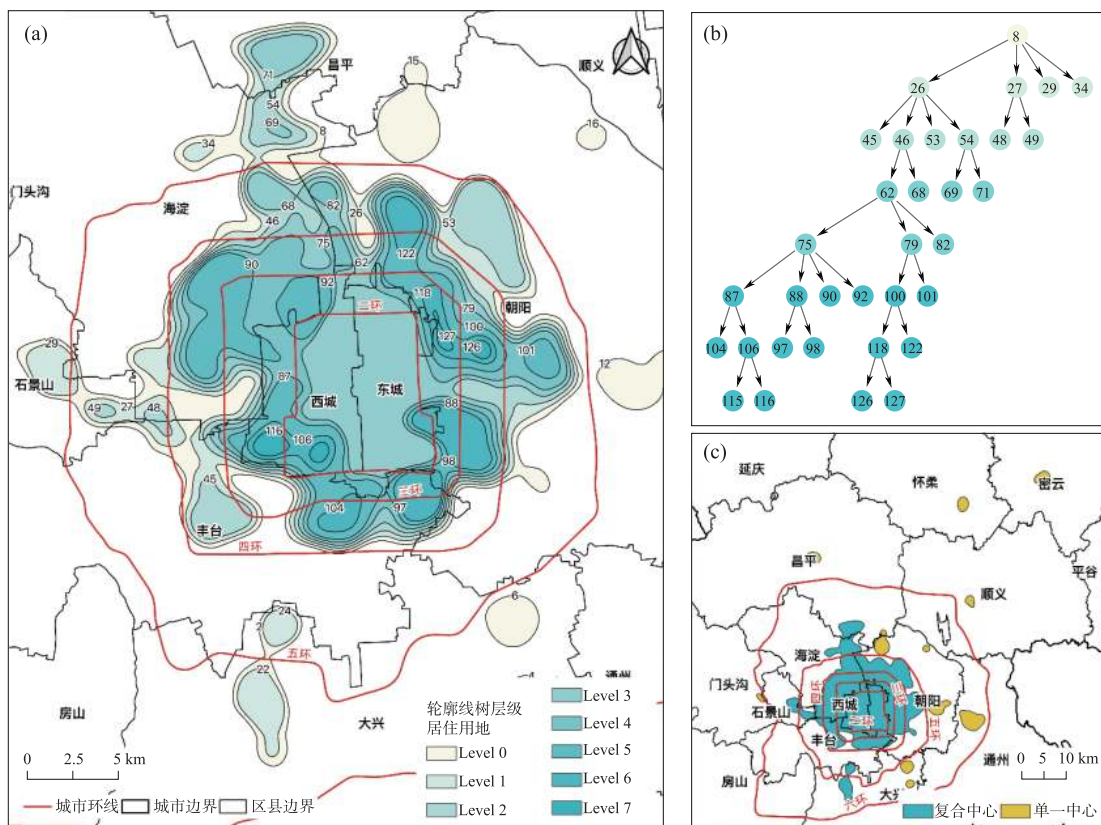


图 3-14 2015 年北京市居住用地轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

2) 功能中心分布

本研究共提取到 24 个住宅空间的分布中心(图 3-15,附表 1)。就覆盖范围而言,居住用

地分布中心的平均面积为 7.2km^2 ，其中，位于海淀区中关村周边的 #19 中心面积最大，达 19.19km^2 ，而位于门头沟大峪街道的 #2 中心面积最小，仅为 2.5km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看，位于朝阳、丰台区和海淀区的 #25、#22、#23、#24 中心是居住用地的高集聚区，平均密度均在 19.53 个，而位于石景山区与门头沟区交界处的 #2 号、顺义区光明与胜利街道北部交界处的 #5、大兴的亦庄新城 #9 中心则密度最低，平均分布仅为 8.09 个。从空间分布的总体趋势上看，北京市居住用地中心在空间上主要集中在朝阳、丰台和海淀三个行政区，空间分布数量的距离和所包含的 POI 密度存在一定的距离衰减（与城市中心之间的距离）特征。

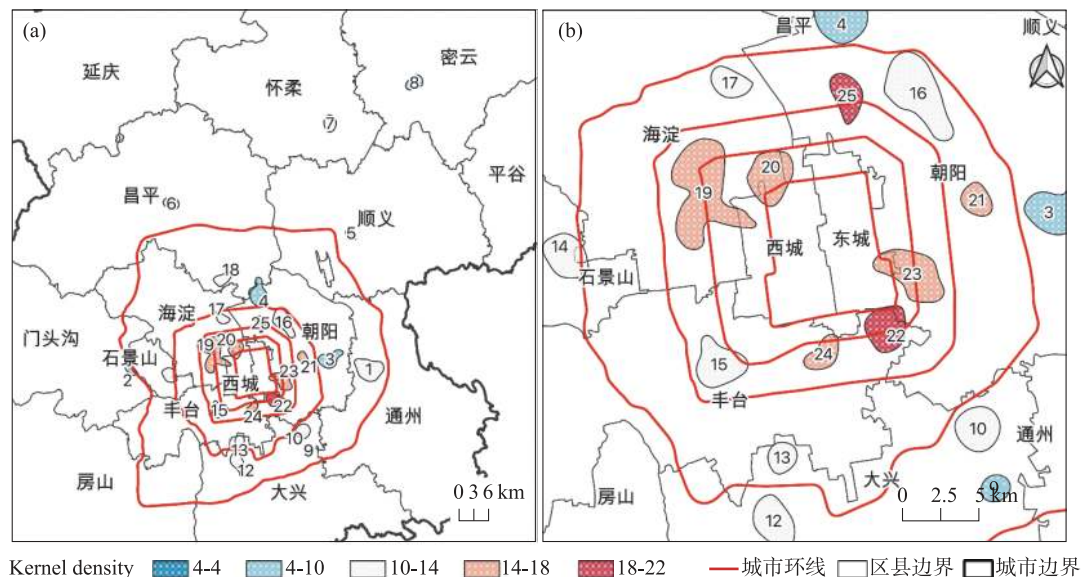


图 3-15 2015 年北京市居住空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

(2) 商务金融业

1) 空间分布结构

商务金融业分布以复合中心为主，且主要集中在北京市四环以内（图 3-16a, c）。从轮廓线树的嵌套关系上看，除少数集聚区外，商务金融业在北京市分布相对均质，这导致北京市商务金融用地的轮廓线相较于其他功能用地相对简单。在复合中心内部，商务金融用地的高集聚区主要分布在朝阳区的国贸 CBD（#166）、金融街-新街口街道（#143）、北三环附近（和平里与和平街街道附近）（#113 与 #114）等区域。单一中心则零星分布四环-五环内以及紧邻五环外的周边地区，而远郊区县分布相对较少。

2) 功能中心分布

本研究共提取到 18 个城市商务金融业的分布中心（图 3-17，附表 2）。就覆盖范围而言，商务金融用地分布中心的平均面积为 4.3km^2 ，其中，位于海淀区中关村街道及周边的 #13 中心覆盖面积最大，达 16.9km^2 ，而位于西城区金融街与新街口附近的 #18 中心面积最小，仅为 0.5km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看，位于朝阳区、西城区和海淀区的 #19 号、#18 和

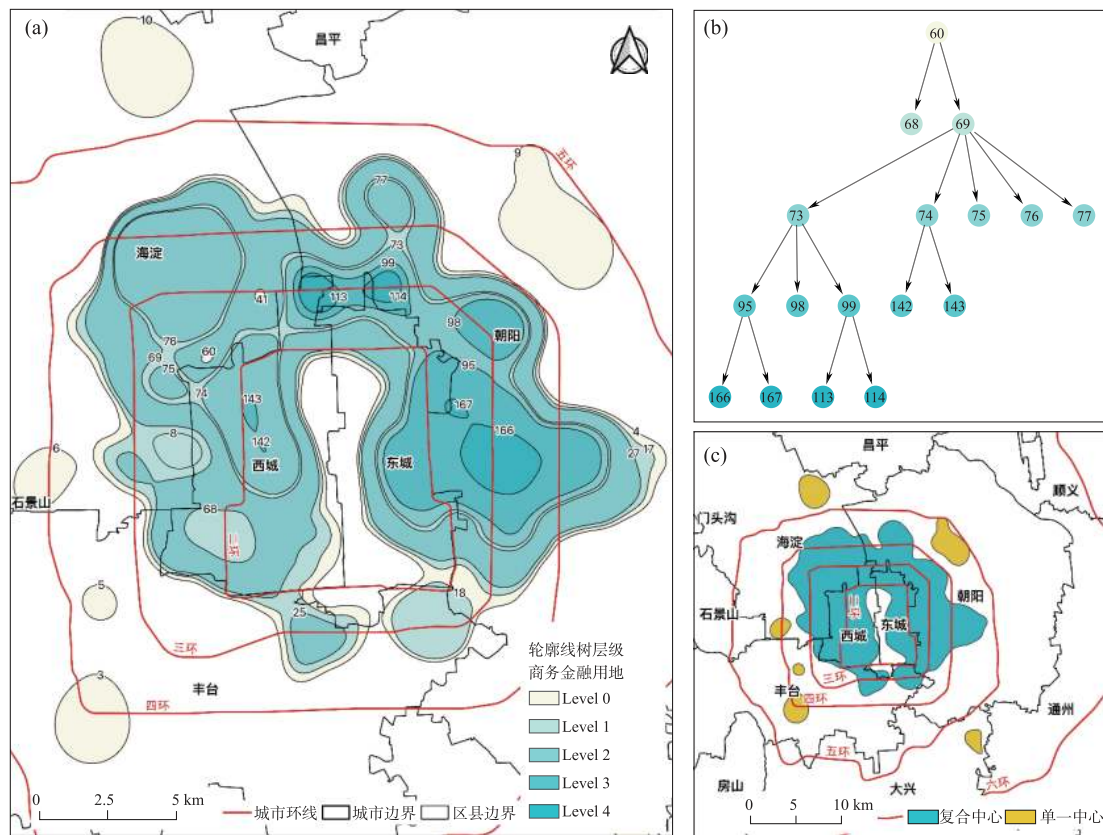


图 3-16 2015 年北京市商务金融业轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

#13中心是北京市商务金融用地的高集聚区,平均密度均在 140 个,而位于丰台区的七里庄、密云区的鼓楼东大街和亦庄新城的#5、#2、#3分布中心则密度最低,仅为 40 个。从空间分布的总体趋势上看,北京市商务金融业分布中心在空间上同样主要集中在朝阳、东城和西城等首都功能核心区,但相较于其他产业,空间分布数量的距离和所包含的 POI 密度的距离衰减(与城市中心之间的距离)特征更加明显。

(3) 住宿餐饮业

1) 空间分布结构

住宿餐饮业轮廓线的空间分布结构如(图 3-18)所示,简化后的轮廓线树共包含 21 棵局部树及 30 个叶节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 12 个单一中心以及 4 个复合中心(图 3-18c)。在空间范围上,住宿餐饮用地的复合中心覆盖约 478.64km²,主要分布在北京市五环内部及周边地区(图 3-18a,b),占全市住宿餐饮集中区的 83.34%。图 3-18b 是由 33 个节点构成的层级为 13 的局部轮廓线树,反映了全市住宿餐饮业最大的复合中心内部的嵌套关系。在该复合中心内,住宿餐饮的高集聚区主要分布在东城区的王府井-国贸 CBD(#182)、大栅栏-天桥(#172)、鼓楼-雍和宫(#178)、西单-西四(#159)、北京西站(#133)等区域。单一中心分布则主要分布在延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山、大兴等城市远郊区县(图 3-18c)。

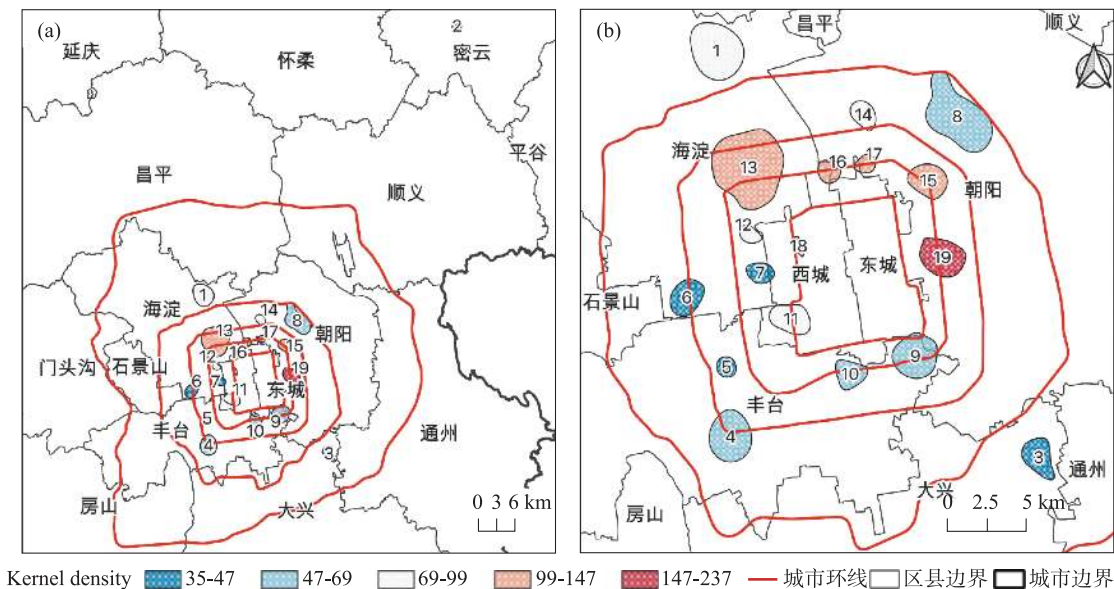


图 3-17 2015 年北京市商务金融业空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

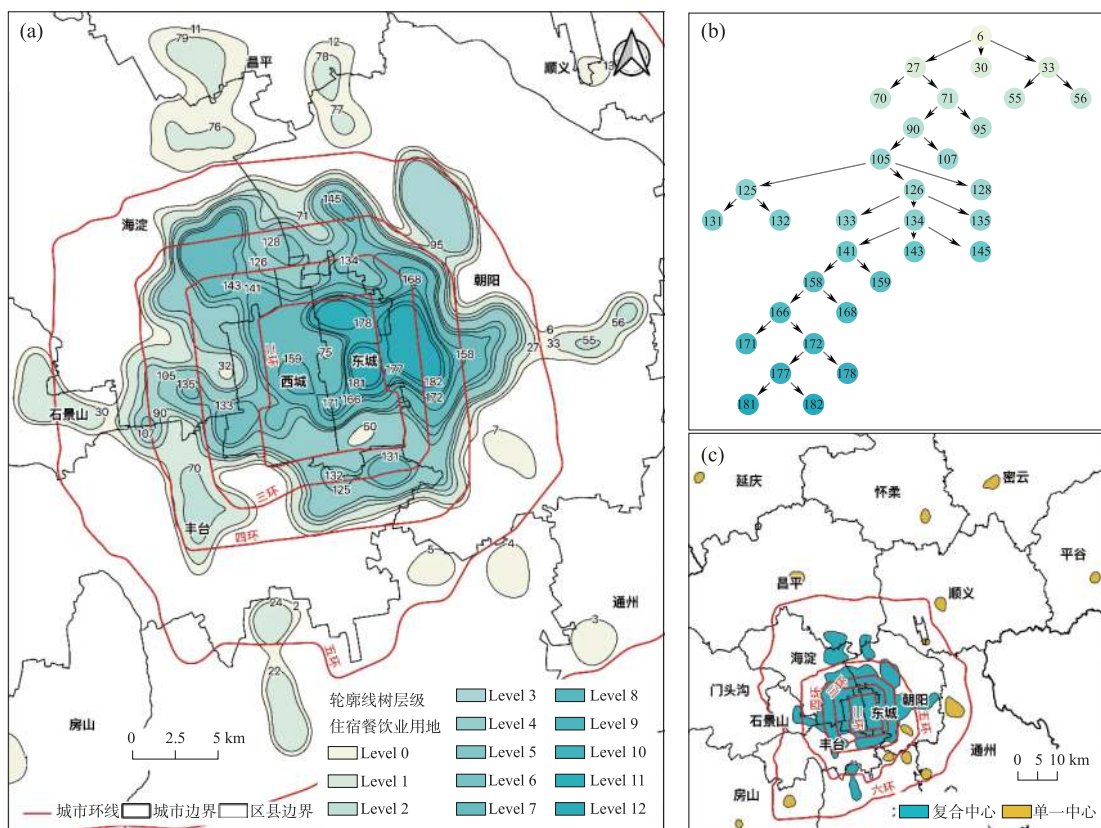


图 3-18 2015 年北京市住宿餐饮业轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

2) 功能分布中心

研究共提取了 30 个住宿餐饮业分布中心(图 3-19,附表 4)。就功能中心的分布数量和密度而言,朝阳区、东城区、海淀区和西城区是住宿餐饮业主要集聚区。从空间分布趋势上看,分布密集程度及功能中心内部的 POI 密度随着与城市中心距离的增大而逐渐降低。就分布位置而言,住宿餐饮用地的集聚中心的分布与以下地物的分布密切相关:①风景名胜、休闲度假(如动物园、度假村、疗养院、公园等),以#2、#23、#28、#13、#8和#29中心为代表;②教育设施(如高校、中学等),如覆盖东升园、中关村街道、海淀街道、北下关街道的#4分布中心,该中心内分布有大量高等院校;③交通枢纽中心(包括火车站、飞机场等),如位于火车西站的#20和首都机场的#30分布中心;④城市商圈(金融中心、休闲娱乐设施等),如位于广安门外与月坛街道的#26中心、覆盖望京和酒仙桥街道的#3中心,以及覆盖王府井-国贸 CBD 等#5中心。总体而言,住宿餐饮用地的空间分布于城市内部交通设施、娱乐休闲空间的分布关系密切。

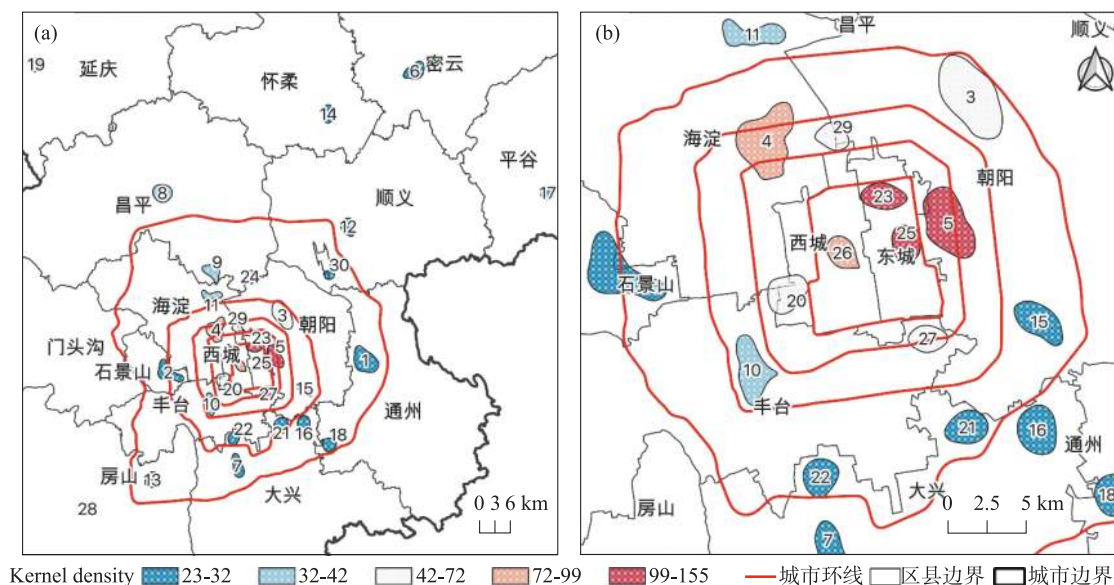


图 3-19 2015 年北京市住宿餐饮业空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

(4) 批发零售业

1) 空间分布结构

批发零售业轮廓线的空间分布结构如(图 3-20)所示,简化后的轮廓线树共包含 21 棵局部树及 30 个叶节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 19 个单一中心以及 1 个复合中心(图 3-20c)。在空间范围上,批发零售用地的复合中心覆盖约 249.1km²,主要分布在北京市四环以内地区(图 3-20a,b),占全市批发零售集中区的 72.12%。图 3-20b 是复合中心内部的树状层级关系图,由 25 个节点构成并包含 10 个层级。在该复合中心内,批发零售的高集聚区主要分布在东城区的建国门-朝阳门(#235)、朝阳区的朝外-三里屯(#236)、鼓楼-雍和宫

(#232)、西单(#246)等区域。单一中心分布则主要分布在延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山、大兴等城市远郊区县(图 3-20c)。

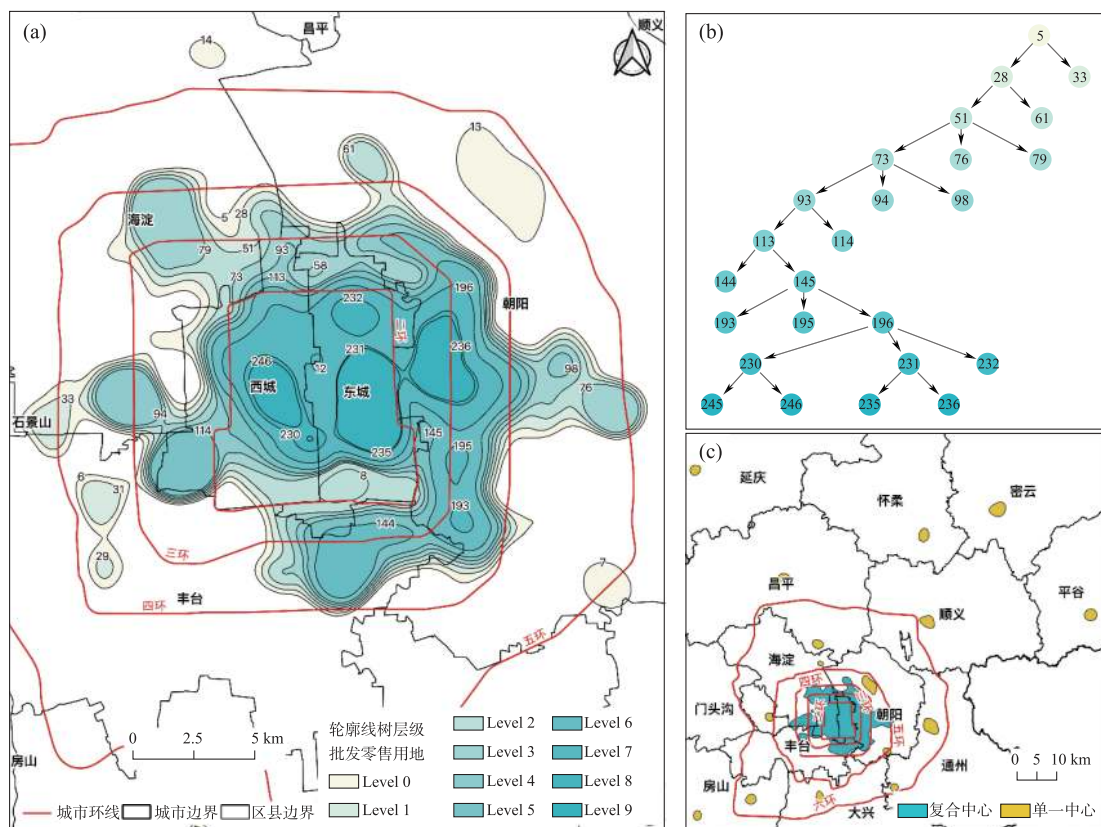


图 3-20 2015 年北京市批发零售轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

2) 功能中心分布

研究共提取了 24 个批发零售业分布中心(图 3-21,附表 3)。就功能中心的分布数量和密度而言,分布中心主要集中在东城区、西城区以及朝阳区,且分布与同样休闲娱乐、金融商圈密切相关,如 #22、#23、#24 分布中心,周边分布有王府井、西单、三里屯等风景名胜与休闲娱乐设施;中关村附近的 #18 中心、覆盖望京和酒仙桥街道的 #4 中心等,均位于商务金融中心附近。就覆盖范围而言,批发零售分布中心的平均面积约为 6km^2 ,其中,位于通州区的 #3 中心覆盖面积最大,达 11.05km^2 ,而位于海淀与丰台区交界处附近的 #16 号中心面积最小,仅为 2.54km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看,分别位于东城区、朝阳区和西城区的 #22、#24 和 #23 中心是批发零售业的高集聚区,平均密度均在 175 个,而海淀与丰台交界处附近的 #16 密度最低,仅为 53 个。

(5) 其他服务业

1) 空间分布结构

其他服务业主要提供除商务金融、批发零售、住宿餐饮外的其他商服功能,如照相馆、理发

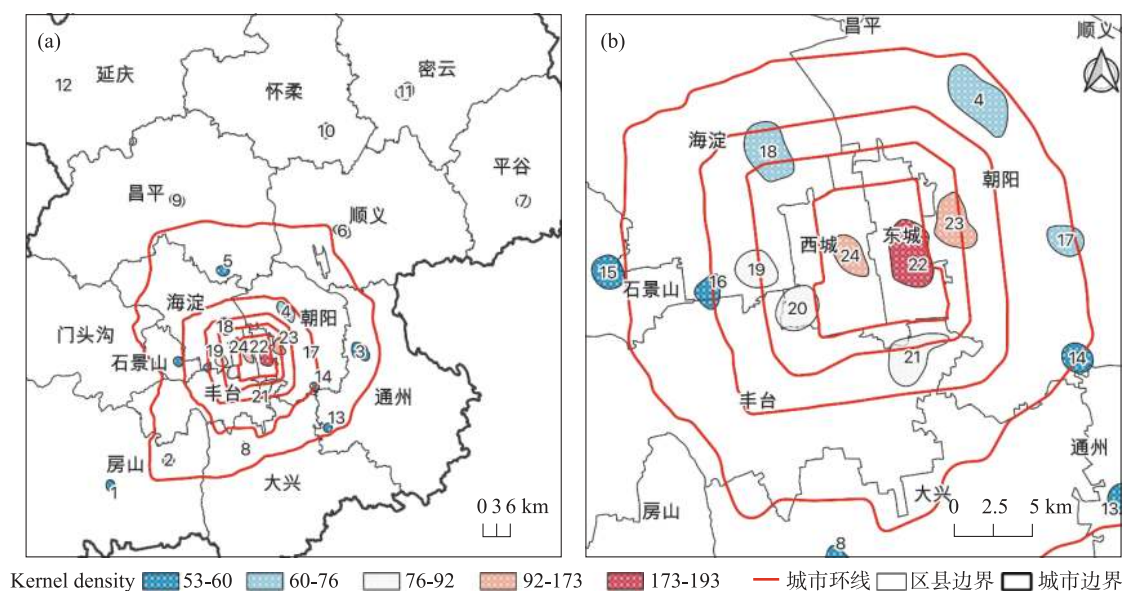


图 3-21 2015 年北京市批发零售空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

美容店、洗染店、洗车场、维修网点、洗浴场所等。从轮廓线的空间结构上看,简化后的其他商服的轮廓线的空间分布结构如(图 3-22)所示,简化后的轮廓线树共包含 20 棵局部树及 47 个叶节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 14 个单一中心以及 1 个复合中心(图 3-22c)。在空间范围上,其他商服用地中复合中心覆盖约 179.05km^2 ,主要分布在北京市五环内部及周边地区(图 3-22a,b),占全市其他商服集中区的 72.4%。图 3-22b 是复合中心内部轮廓线间的层级关系,它由 28 个节点构成的层级为 13 的局部轮廓线树。在该复合中心内,其他商服的高集聚区主要分布在朝阳区国贸 CBD(# 242)、大栅栏-天桥(# 198)和东花市一建国门外(# 223)等区域。单一中心分布则主要分布在延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山、大兴等城市远郊区县(图 3-22c)。

2) 功能中心分布

研究共提取了 21 个其他商服用地的分布中心(图 3-23,附表 5)。就功能中心的分布数量和密度而言,朝阳区、海淀区和丰台区是其他商服用地主要集聚区。其他商服用地的集聚中心在空间分布上与居住用地(如现代住宅等)密切相关,主要以 # 21、# 11、# 17、# 18 和 # 16 中心为代表。就覆盖范围而言,其他商服的分布中心的平均面积为 4.2km^2 ,其中,位于西城区大栅栏-牛街-天桥附近区域的 # 20 中心覆盖面积最大,达 12.6km^2 ,而位于平谷的滨河街道与渔阳镇交界处附近的 # 8 中心面积最小,仅为 5.5km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看,分别位于朝阳区、东城区和西城区的 # 22、# 21 和 # 20 中心是北京市其他商服用地的高集聚区,平均密度均在 100.3 个,而位于通州区北苑街道、玉桥街道与中仓街道交界附近区域 # 15,仅为 52.5 个。

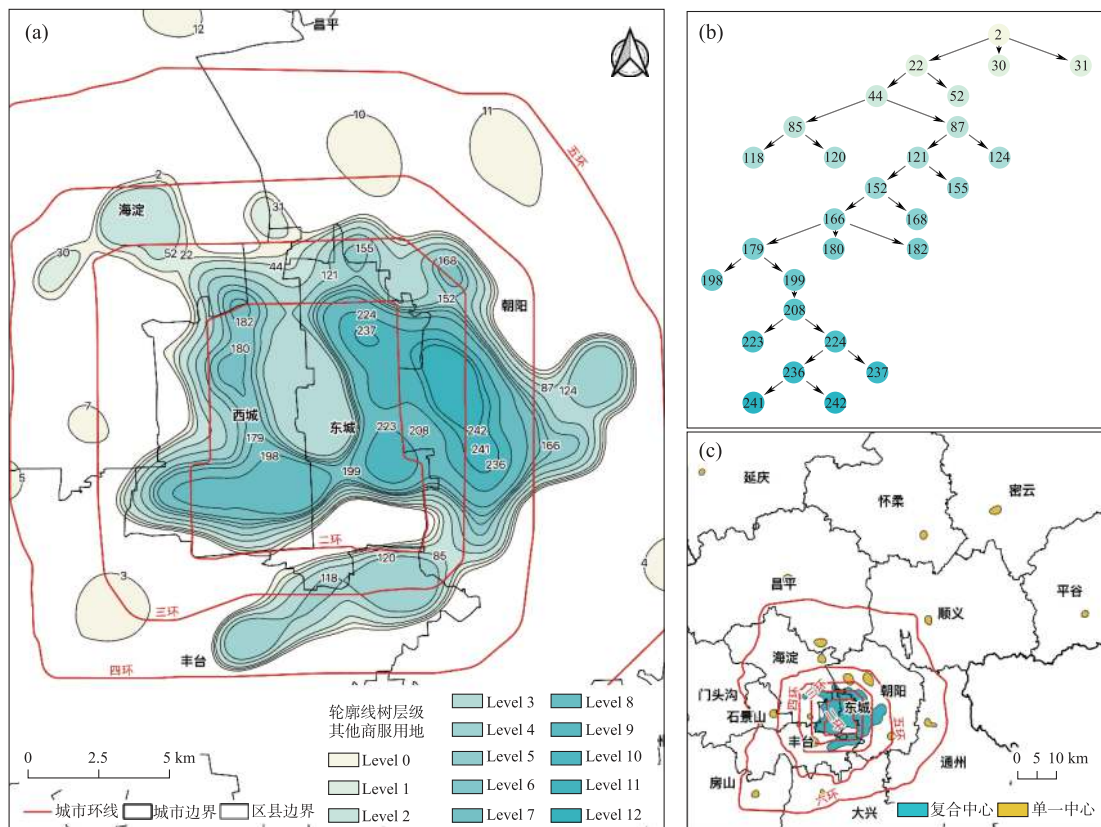


图 3-22 2015 年北京市其他商服轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

(6) 公共服务业

1) 空间分布结构

从轮廓线的空间结构看(图 3-24),简化后的轮廓线树共包含 18 棵局部树,包含 40 个节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 17 个单一中心以及 1 个复合中心(图 3-24c)。在空间范围上,公共服务用地复合中心覆盖约 312.48km^2 ,主要分布在北京市五环以内(图 3-24a, b),占全市公服区的 74.5%。图 3-24b 是复合中心内部轮廓线间的层级关系,它由 28 个节点构成的层级为 13 的局部轮廓线树。在该复合中心在空间位置上,相较于其他功能整体向北偏移,且高集聚区主要分布在东四-建国门-朝外街道(116)、中关村-学院路街道(131 和 132)区域。单一中心分布则主要分布在延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山、大兴等城市远郊区县(图 3-24c)。

2) 功能中心分布

研究共提取了 19 个公服用地的分布中心(图 3-25,附表 6)。就功能中心的分布数量和密度而言,朝阳区、东城区和海淀区是公共服务用地的主要集聚区。就覆盖范围而言,公共服务中心的平均面积为 6.8km^2 ,其中,位于望京—酒仙桥街道附近 13 中心及东四-建国门-朝外街道的 17 号中心面积相对较大,平均为,达 13.02km^2 ,而位于朝阳的南磨房—潘家园(15)

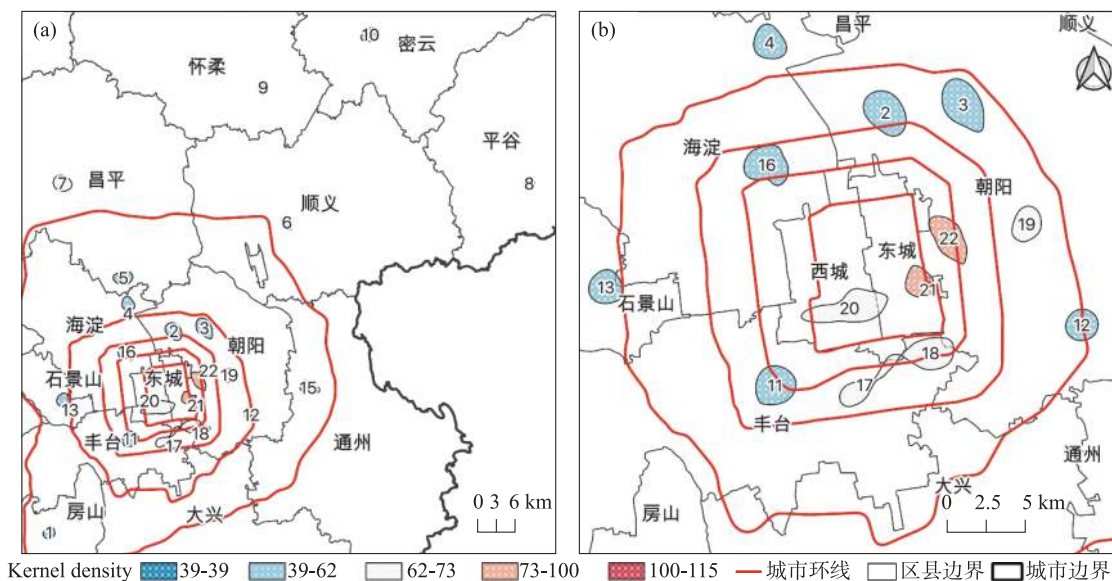


图 3-23 2015 年北京市其他商服空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

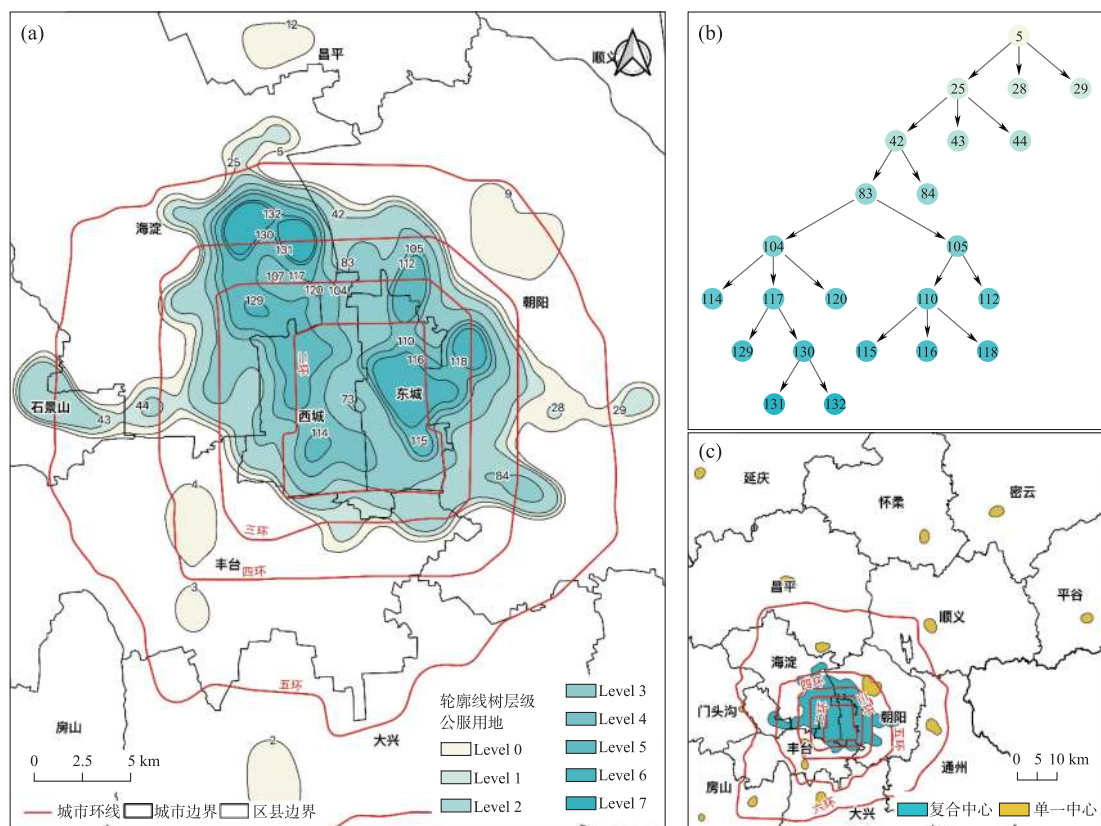


图 3-24 2015 年北京市公服用地轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

以及三里屯—团结湖(#18)附近的分布中心面积较小,平均仅为 2.58km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看,分别位于海淀区与东城区的 #20、#19 和 #17 中心是北京市公共服务用地的高集聚区,平均密度均在 97.48 个,而位于丰台、昌平等远郊区域的分布中心,如 #12、#1、#10 和 #2,密度相对较低,平均仅为 31.2 个。

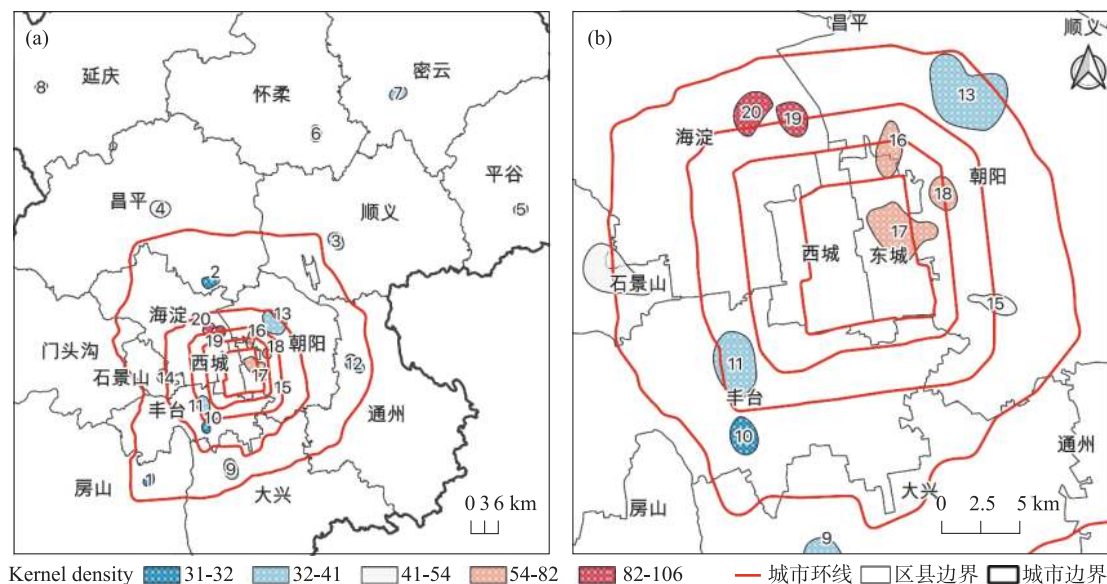


图 3-25 2015 年北京市公共服务空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

(7) 工业

1) 空间分布结构

从轮廓线的空间结构(图 3-26)看,简化后的轮廓线树共包含 18 棵局部树,包含 40 个节点,依据是否嵌套其他轮廓线进一步分为 17 个单一中心以及 1 个复合中心(图 3-26c)。在空间范围上,公共服务用地复合中心覆盖约 312.48km^2 ,主要分布在北京市五环以内(图 3-26a, b),占全市公服区 74.5%。图 3-26b 是复合中心内部轮廓线间的层级关系,它由 28 个节点构成的层级为 13 的局部轮廓线树。在该复合中心在空间位置上,相较于其他功能整体向北偏移,且高集聚区主要分布在东四-建国门-朝外街道(#116)、中关村-学院路街道(#131 和 #132)区域。单一中心分布则主要分布在延庆、怀柔、密云、平谷、昌平、顺义、房山和大兴等城市远郊区县(图 3-26c)。

2) 功能中心分布

研究中共提取了 40 个工业用地中心(图 3-27),平均面积为 6.5km^2 ,其中,位于顺义旺泉街道附近 #21 中心,海淀上地-清河街道附近的 #17 中心和昌平城南-城北街到附近的 #25 中心面积相对较大,平均为 12.36km^2 ,而分别位于顺义的后沙峪镇(#24)和南彩镇(#36)附近的分布中心面积较小,平均仅为 3.08km^2 。从所承载的 POI 分布密度上看,分别位于大兴区的亦庄镇、亦庄新城以及西红门附近的 #40、#38 和 #39 中心的 POI 密度最高,平均密度均

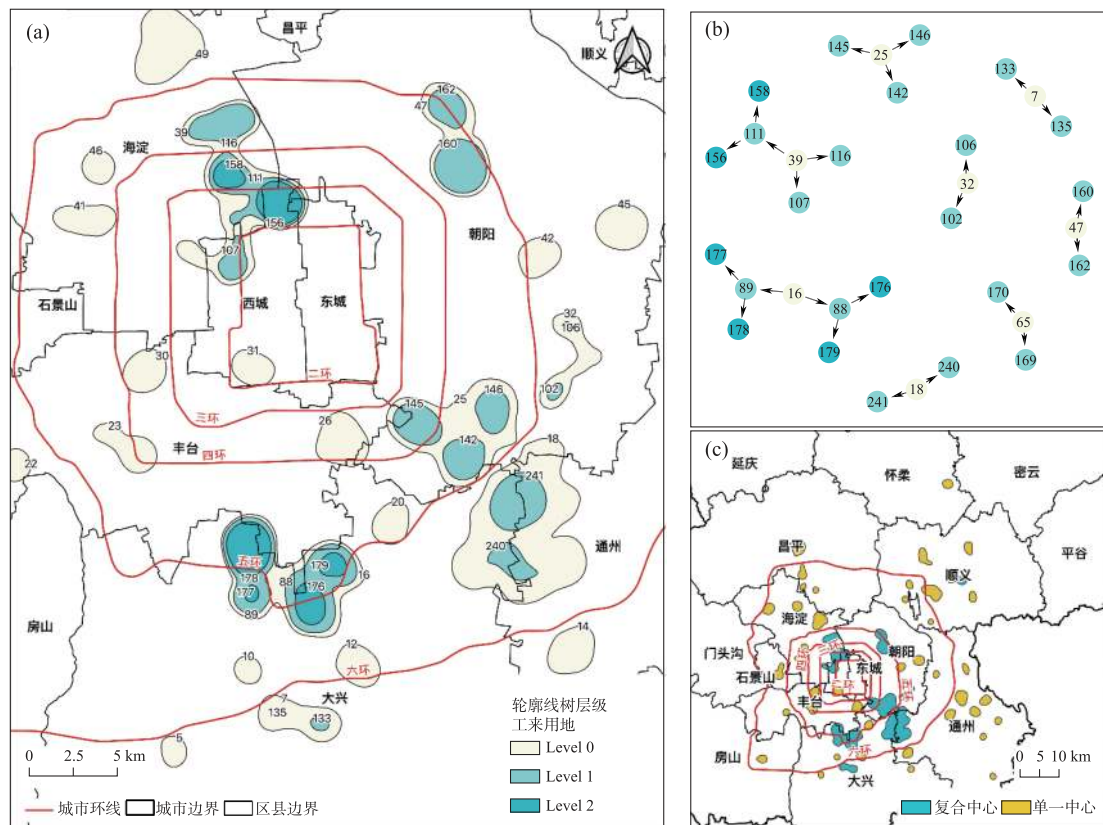


图 3-26 2015 年北京市工业用地轮廓线及轮廓线树

(a)复合中心的轮廓线;(b)主要复合中心的轮廓线树;(c)复合中心与单一中心

在 3.16 个,而位于通州宋庄镇的 #15、顺义后沙峪镇的 #24 及四环以内的部分中心,如 #4、#5、#9 和 #8,其密度相对较低,仅为 1.14~1.32 个。就功能中心的分布数量和密度而言,工业用地分布中心相对零散且主要集中在五环以外。

3.3.4 北京市人口现状及趋势

(1)北京市人口现状

北京优越的自然与社会条件吸引了众多的外来人口迁往北京。北京市人口地区分布不均衡,人口最多的地方多为城市功能拓展区,朝阳区人口数量最多。根据北京市统计局公布的数据显示,北京市的增量与增速下降,到 2018 年年末为止,北京市常住人口为 2154.2 万人,人口密度为 1313 人/ km^2 ,男女比例相对均衡。其中,外来常住人口占比 35.5%,15~59 岁人口在所有人口中占比 72.6%,可见,外来常住人口占据了相当大的比重,且青壮年人口居多,即劳动力充足。通勤人口在早晚峰集中,存在“白日涌进城内,夜晚返回睡城——通州、天通苑、回龙观、望京等”的现象。北京城市化水平高,城镇人口占比 86.5%,农村人口占比 13.5%。自 2008 年以来的十年间,常住人口自然增长率逐年下降,出生率高于死亡率,但人口老龄化的进程依然在前进。

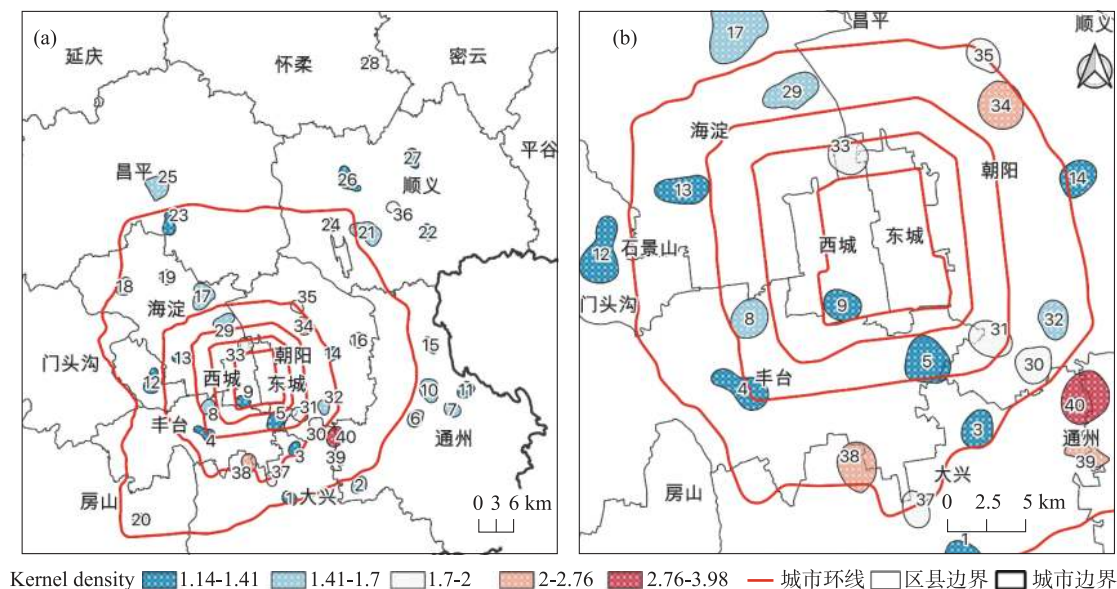


图 3-27 2015 年北京市工业空间分布中心

(a)北京市分布状况;(b)五环内分布状况

(2) 人口趋势预测

研究中常规情景下人口规模的趋势预测采用 PADIS-INT 模型,并基于历史时期人口总量结合参数变动情况采用队列要素方法预测得到。PADIS-INT 模型(翟振武等,2017)是基于人口预测需获取(或设定)的主要参数包括:基期人分性别年龄别人口数、2010—2035 年平均期望寿命、死亡模式、总和生育率、生育模式、出生性别比、迁移水平以及分年龄别迁移模式等。预测结果如下。

1) 人口总量的增长趋势

从绝对数量上看,北京市常住人口数量呈逐年递增态势,在不进行任何产业或人口疏解政策的情景下,预计于 2028 年提前到达 2300 万人^①,而至 2035 年将超出上限近 120 万人(图 3-28)。

2) 人口年龄和性别结构变化

在年龄结构上看,65 岁以上老年人口数量均呈现出逐年递增的态势(图 3-29a)。从根据不同老龄化社会阶段的划分标准^②,从 2010 年开始,65 岁以上人口占比已经达到 7%~14%,属老龄化社会,且该占比持续增加;预计到 2022 年进入深度老龄社会阶段,而到 2033 年则进入超老龄社会阶段。图 3-29 可以明显看出,2010—2035 年老龄化社会阶段的发展时间与深度老龄化社会阶段的发展时间基本一致,若延伸至 2010 年以前,可以明显看出前一个阶段要进行发展的时间段更长一些。进一步分析可以看到,两个老龄化社会在发展过程中有所区别,老龄社会中占比上升周期较短,而深度老龄化社会中占比上升周期较长。

① 该值为北京城市总体规划中对 2035 年常住人口规模设定的上限。

② 65 岁以上老年人口比重达到 7%、14% 和 20%,分别对应着进入老龄化社会、深度老龄化和超老龄化的临界值。

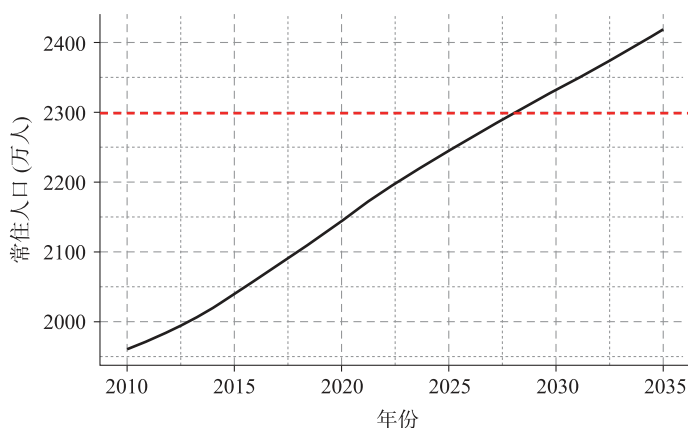


图 3-28 2010—2035 年北京市常住人口变化情况

进一步分析人口抚养比的变化可以看出,2010—2035 年社会抚养比整体呈现为上升趋势(图 3-29),在 2017 年后,社会抚养比加速增长,预计在 2033 年到达人口机会窗口期^①。可见随着人口老龄化现象越来越明显,北京地区未来出现劳动力比重下降、劳动负担上升、少年儿童比重上升将是持续的。

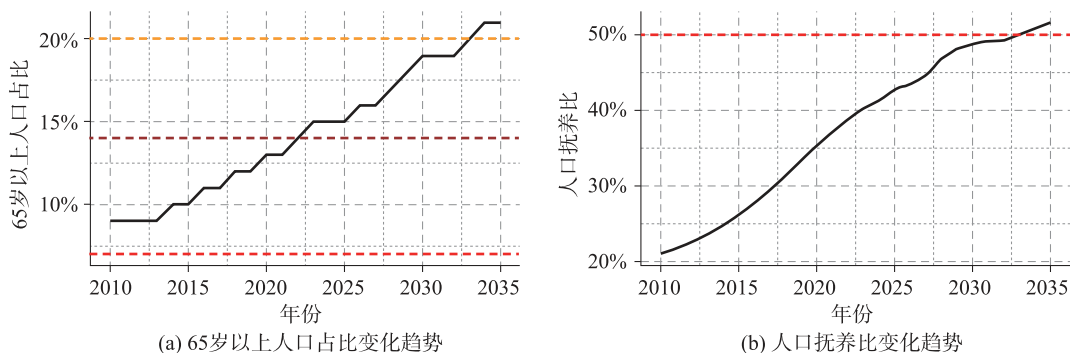


图 3-29 2010—2035 年北京市人口抚养比及老龄化趋势

3.4 本章小结

引导和控制未来人口集聚与土地扩张规模和趋势对北京城市发展的可持续性意义重大,但北京市现阶段人口的集聚趋势十分明显,且城市扩张呈现出“圈层扩展”→“圈层扩展+分散扩展”过渡的态势。分散式的扩展一定程度上能够缓解首都核心圈层的扩展态势,但是从产业

^① 人口机会窗口是指在社会转变过程中,人口再生产类型会发生变化,导致出生率下降速度快于人口老龄化速度,从而形成一段少儿与老年抚养负担均较轻、劳动力资源比较丰富、经济发展的人口环境相对宽松的时期。理论界将人口负担系数小于或等于 50% 称为人口机会窗口期,窗口期内劳动力供给充足,社会负担相对较轻,有利于经济的快速发展。

中心的分布以及人口基本趋势(依据现状指标预测)上看,现阶段除工业以外,北京市首都功能核心区仍然是诸如居住、商业和公服等功能等主要集聚区;相较而言,这些产业在近、远郊区的发展规模仍然偏小且近年来北京市人口迁移的总体规模居高不下,一定程度反映了仅依靠引导城市空间布局的手段调控人口和土地扩张规模的作用相对有限。

第4章 基于远程耦合的人口与土地需求模拟模型构建

从城市产业活动及其变动是影响人口规模与结构的重要因素:一方面,产业活动是城市功能的重要载体并随着城市功能定位的变动而随之做出适应与调整;另一方面,产业活动也是影响就业人口规模与结构的重要因素,伴随着产业结构的演进进一步影响劳动力的结构和规模。城市产业-人口-土地关系内生于城市发展的复杂系统中,实现对人口规模和城市扩张规模的调控实际上是区域内部土地、产业和人口之间相互共同作用的结果。“以业带人”已经成为疏解非首都功能的重要途径,作为北京市产业疏解的集中承接地,雄安新区的建设将对北京市人口规模和土地需求也将产生深远影响。为回答雄安新区建设如何影响北京市人口规模及土地利用需求,本章接下来将基于系统动力学方法,构建一个跨区域的人口与土地需求模拟模型。

4.1 建模目的与框架

根据前期文献的调研结果看,首都功能和非首都功能作为一种或多种城市功能的组合,在实际量化的指标上会因研究视角的差异而有所不同:当城市视为区域活动的参与方,即向城市内部和外部提供各种生产和服务时,城市功能通常着眼于其在区域活动中所承担的职责和分工以及区域间的联系,因此,指标通常选择城市在某一职能或行业的“专一化指数”“多样性指数”“行业集中度”等(范剑勇,2004);然而,当着眼于城市自身时则更多从经济和产业结构的视角衡量城市功能。以北京市不同时期北京城市规划对自身的发展定位为例,1963—1957年的经济中心、2001—2020年的文化中心以及2016—2035年的科技创新中心,都反映出该视角下城市功能更多关注城市产业活动的规模及内部结构的调整。考虑到非首都功能的疏解属北京市未来的一种发展定位(表4-1),本研究在首都与非首都功能的量化上暂不考虑在更大尺度和范围内的城市的区际联系与职能。

表 4-1 不同时期北京市城市规划对首都功能的定位

规划时间	首都城市功能定位
1953—1957 年	政治中心、经济中心、文化中心、工业基地和科技中心
1991—2010 年	政治中心、文化中心、世界著名古都和现代国际城市
2004—2020 年	政治中心、文化中心、世界著名古都、现代国际城市和宜居城市
2016—2035 年	全国政治中心、文化中心、国际交往中心和科技创新中心

4.1.1 建模目的

本章建模目的包含两个方面:①从系统角度出发,通过分析经济规模、产业结构、劳动力与土地利用需求、人口规模之间的反馈机制,阐释城市内部产业-人口-土地之间的复杂关系。通过对各要素之间相互关系的分析,以明晰系统整体的运行机制,从而了解人口规模和土地需求变化的影响因素。②通过构建系统动力学模型,实现在产业疏解的政策引导下,模拟和量化北京市人口规模与土地利用的变化趋势。

4.1.2 模型结构与时空边界

为了满足建模目的和需求,模型的总体结构以及变量的选择需要尽量贴合现实社会,以提高模拟精度并契合现实趋势。但考虑到城市内部产业、人口与土地需求之间涉及到多个因素,无法完全重现现实社会系统中变量之间的反馈关系。因此,建模过程需要实现对系统关键变量的反馈机制、影响路径、因果关系等进行高度概括和抽象。接下来,我们具体分析北京市与雄安新区、产业疏解与人口规模等之间的关系进行具体分析以确定模型的总体结构。

(1)北京市与雄安新区的关系

从产业和人口角度上看,雄安新区的建设对于北京市的影响是双向互馈的(图 4-1)。在不考虑雄安新区建设的影响下,北京市作为一个单一区域的系统,净迁移率^①(图 4-1a,净迁移率 A)的引入可以直接反映该区域人口重新分配的规模(Xiang, 2016)。然而,净迁移率与区域经济发展水平密切相关(Fan and Cindy, 2005),雄安新区作为北京市产业疏解的重要承接地,迁入企业对于区域经济水平带动和影响将进一步改变北京市的净迁移规模(图 4-1b,净迁移率 B)。因此,本研究将雄安新区视为影响北京人口规模的内生变量,即将北京市与雄安新区两个跨区域的独立空间作为远程耦合的系统,通过对比单一系统与跨区系统中北京市人口净迁移率的变化可以进一步估算雄安新区在承接北京市产业转移的过程是对北京市人口规模的影响。考虑到系统的复杂程度,雄安新区人口规模和经济发展水平仅受到自身和北京市的影响,暂不考虑外部系统对雄安新区的影响。

(2)产业疏解与人口规模关系

产业疏解对迁入地人口规模的影响是多方面。产业疏解将直接影响迁出地劳动力结构和规模,并间接影响区域劳动力供需关系;对迁入地而言,产业的迁入首先是改变其经济与人口规模,经济与人口规模的扩大亦会影响迁出地的就业吸引力,即人口流向可能从“单向集中”逐渐向“多向流动”过渡(俞路, 2006)。因此,产业疏解对迁出地人口规模的影响并非单向因果关系。在跨区 SD 模型中,产业疏解对人口规模的影响是重要的考察对象,也具有因果反馈关系。本研究主要考虑三个方面:一是产业迁出对迁出地劳动力的直接疏解,二是迁出地劳动力需求变化对其就业、净迁移率的间接影响,三是产业迁入地的经济发展对迁出地净迁移率的间接影响。

① 指某个地区在一段时间内每一千个居民(时间中段的人数)中迁入的人数和迁出人数的差值。

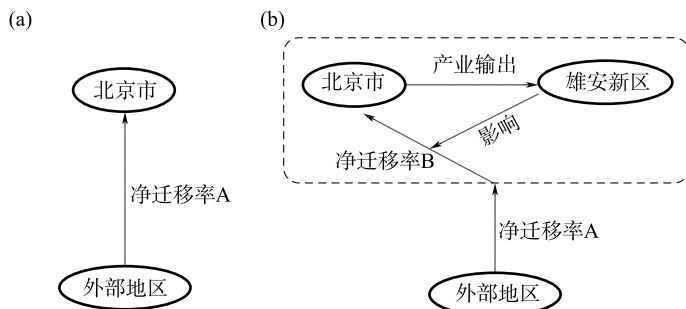


图 4-1 单一区域 SD 与跨区域 SD 系统中北京市人口变化

(a)单一区域 SD;(b)跨区域 SD

(3) 产业疏解对迁入地土地利用需求的影响

城市经济学派认为城市土地利用的需求规模与趋势方向是城市规划、内部功能用地比例及其综合作用的结果,其中,城市的经济发展规模与产业结构演进被认为是城市土地利用数量结构变化的外在动力因素(鲁春阳等,2010)。对于产业迁出地而言,产业疏解本质上改变了城市内部的产业结构。由于不同产业的土地利用强度^①差异较大(Koomen et al., 2014),产业迁出对于缓解迁出地内部用地扩张压力影响不同。

综合上述分析,本文以产业疏解对迁出地人口规模与土地利用需求的影响为主要研究对象,在模型结构上,该系统包含两层的嵌套结构(图 4-2),上层结构为北京市与雄安新区子系统,在北京市子系统内部,包含人口、经济、产业-劳动力、土地利用 4 个子系统。各个子系统之间通过如图 4-2 所示的关系连接在一起,形成具有反馈性的闭合系统。具体来说:人口子系统为经济子系统提供劳动力;经济子系统在产业疏解(或产业结构调整)的影响下改变区域总体劳动力需求;产业劳动力供给和劳动力需求之间的差异影响着产业迁出地的就业吸引力及净迁移水平;净迁移水平将进一步影响人口子系统;经济子系统与产业-劳动力子系统通过产业结构相互联系,并通过占地影响土地子系统。这些子系统通过上述路径相互作用影响,并最终通过产业结构调整方式影响着迁出地人口规模与土地利用的数量需求。

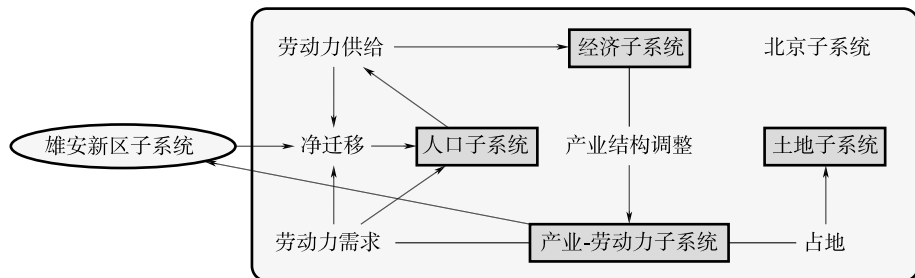


图 4-2 跨区产业-人口-土地关系的系统结构图

^① 指单位土地利用面积内的经济总产出量。

模型的空间边界设定为雄安新区和北京市,时间边界是 2008—2035 年,模拟基期年为 2008 年,历史数据为 2008—2017 年,预测时间为 2018—2035 年,时间步长为 1 年。

4.2 子系统的因果关系与变量核算

4.2.1 因果关系与关键路径

(1) 人口子系统

人口总量的变化与城市劳动力供给、城乡之间劳动力流动、土地需求以及经济增速度之间密切相关(Eichengreen et al., 2012)。模型中人口子系统输出变量主要包括人口总量、适龄劳动力供给总量及对土地的人均需求量(如居住用地等)。人口总量的估算思路参考人口的形成过程,即基期人口数在受到人口变动因素影响后在时间上的积分(谭静, 2011)。一般而言,影响地区人口变动的因素包括年出生人口、死亡人口和净迁移人口,其与人口总量之间的关系如下:

$$P_{t+1} = P_t + P_{t+1, birth} - P_{t+1, death} + P_{t+1, img} \quad (4-1)$$

式中, P_{t+1} 和 P_t 分别表示 $t+1$ 和 t 时刻地区总人口。 $P_{t+1, birth}$ 、 $P_{t+1, death}$ 和 $P_{t+1, img}$ 分别表示 $t+1$ 时刻地区出生人口、死亡人口和净迁移人口。

人口出生率是影响出生人口总量的关键指标(图 4-3)。考虑到研究时段内中国人口生育政策的变化^①,模型中在人口出生率的变动中加入生育政策因子;地区人口死亡率与人口的平均预期寿命、预期寿命变化率密切相关。劳动力人口主要是指总人口中具有劳动力能力的人口总量,是表征地区的劳动力资源的重要指标,一般使用处于劳动年龄(16~59 岁)的人口数进行估计,因此,研究中使用社会抚养人口比重与人口总量进行估计。

模型中引入净迁移量作为表征由于人口迁出和迁入造成的人口数量变动。诸多研究表明,影响地区人口净迁移量的因素是多方面的,如自然因素(气温、降水、海拔等)、经济发展(GDP 增速、城镇化率、人均收入等)、社会及政策因素(就业机会、社会福利、人口迁移政策)等(曾翔, 2018)。本研究仅考虑社会经济因素对净迁移率的影响,并选择城市劳动力需求、城市适龄劳动力资源(城市劳动力人口)、城镇化率等变量。其中,城市劳动力需求是表征了城市不同产业对劳动力吸纳能力,该变量主要受到由地区不同行业经济总产出及其对劳动力的直接消耗系数的影响。城镇化率是衡量城市发展水平的重要指标,被定义地区城镇人口占常住人口总量中的比重。从宏观角度来看,经济发展是推动人口城镇化的根本动因,并通过影响居民、政府收入和城市产业规模效应,进一步提高地区产业竞争力和人口吸引力(Ota, 2017)。因此,研究中城镇化演变主要受到人口总量和 GDP 的影响。

^① 2015 年,十八届五中全会决定提出“促进人口均衡发展,坚持计划生育的基本国策,完善人口发展战略,全面实施一对夫妇可生育两个孩子政策,积极开展应对人口老龄化行动。”

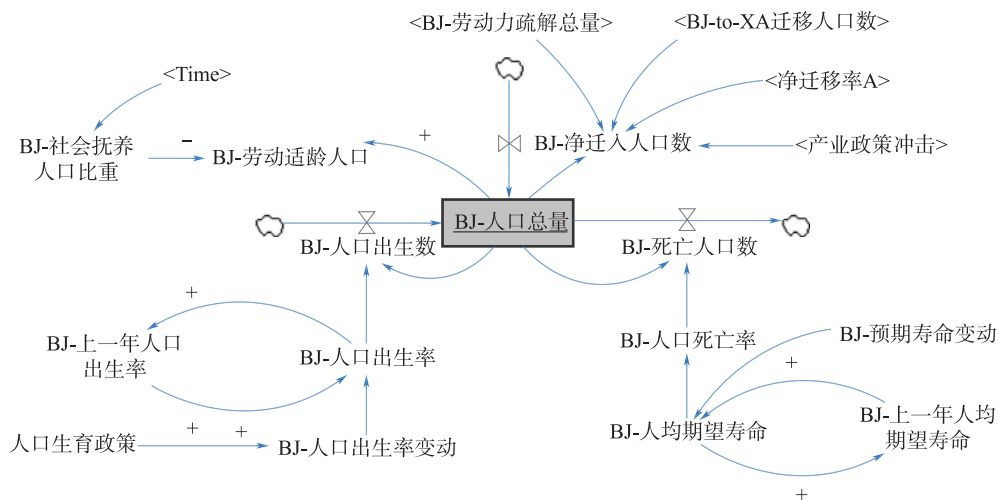


图 4-3 人口子系统因果关系

(2) 经济子系统

该子系统是人类社会通过物质再生产的方式(如技术开发、产品生产、商品流通等)为自身谋求生存和发展而形成经济活动系统,也是地区可持续发展的前提和基础(Basiago, 1998)。GDP 是衡量地区经济状况和发展水平(如规模、速度、效益和结构等)的代表性指标。从最终使用的角度看,GDP 是一定时期内消费者对最终产品和服务的需求量(C)、政府采购量(G)、固定资产和物质储备的投资量(I)、货物和服务的净出口总额(X-M,产品和服务出口与进口之间的差额)(赵振全等,2009)的综合体现;其中,消费和投资通过影响地区生产能力从而带动经济发展,成为最终需求的重要组成部分(Kim, 2017; Raza et al., 2016)。经济子系统是影响劳动力疏解的最直接系统,主要体现在其影响的路径上:经济子系统通过影响经济的总体及分行业规模进而对地区劳动力需求产生影响,也进一步通过与人口子系统劳动力供给之间的平衡关系对地区就业吸引和净迁移人口产生影响。因此,经济子系统是连接产业-劳动力系统与人口子系统的必要环节。

$$GDP = C + G + I + (X - M) \quad (4-2)$$

经济生产活动的过程是投入与产出的过程,研究中将地区劳动力投入、资本存量及要素生产技术效率作为经济增长的投入要素(图 4-4),而地区经济总体规模和分行业规模是输出要素。下面将对该子系统中关键的总量生产函数和资本存量进行介绍。

1) 总量生产函数

总量生产函数是用于刻画现有生产技术条件下要素投入和产出之间的数量关系。研究中引入 Cobb-Douglas(C-D)生产函数,函数形式如下:

$$\ln GDP = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K \quad (4-3)$$

式中, A 为全要素生产率, L 为劳动力投入, α 和 β 分别为劳动力产出弹性和资本产出弹性;当 $\alpha + \beta = 1$ 代表恒定的规模报酬,当 $\alpha + \beta < 1$ 意味着规模报酬递减,反之则表示递增的规模报酬。



2) 资本存量

资本折旧是资本折旧率与资本存量的乘积,而固定资本形成额受到资本形成比和企业生产性积累的影响。资本形成比是企业生产积累中除去存货,直接用于固定资本形成的比重。研究引入生产性积累和企业研发积累两个变量,其中,生产性积累等于企业积累减去用于研发的积累,企业积累等于经济总量减去净出口、居民生活消费和政府消费部分。企业研发积累部分等于研发经费中企业研发所占部分,而该部分由政府研发经费支出和企业研发经费在研发经费中占比(企业研发占比)决定。政府研发经费支出等于政府消费乘以政府消费中研发经费支出占比政府研发比变量。此外,对于产业迁出地而言,迁出企业其对应的资本存量和投资额

将会相应减少。研究中引入资本产出率^①用以估算行业迁出后对区域资本存量的影响。

(3) 产业-劳动力子系统

产业-劳动力子系统是产业调整和劳动力疏解的核心。该子系统主要包括三个部分:劳动力疏解模块、劳动力供需模块以及由于劳动力供需差异所关联的人口迁移模块(图 4-5)。

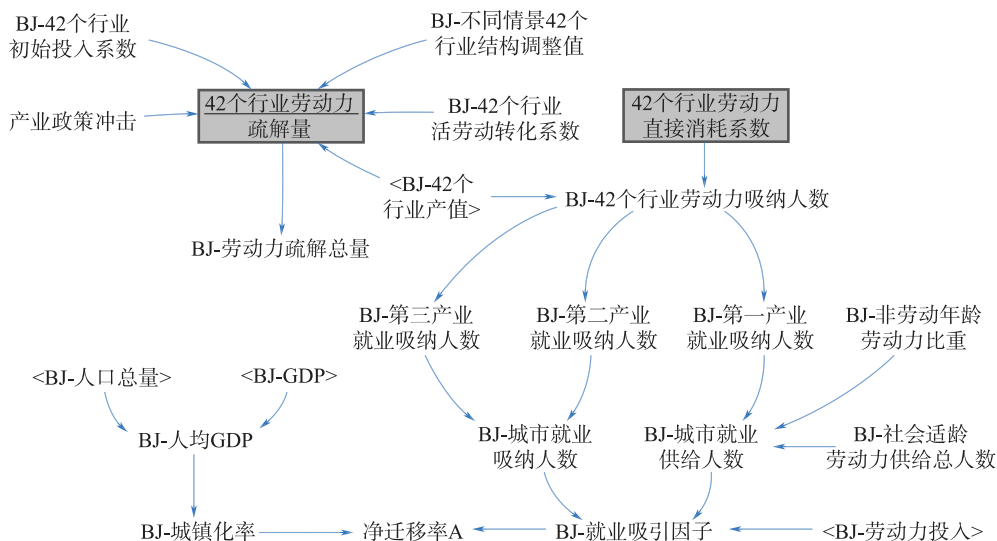


图 4-5 产业-劳动力子系统因果关系

在劳动力疏解模块中,首先,利用产业结构和 GDP 之间的相互关系,将产业结构调整转化为行业总产出的变化;其次,引入北京市 42 个产业的劳动投入产出表,通过测算行业的活劳动转换系数和单位产出关联就业量,将产值结构的变动与劳动力需求进行关联;最后,删选由于产业结构调整带来的产值下降的行业,并测算行业劳动力疏解量。在劳动力需求模块中,首先,利用行业劳动力的直接消耗系数(即单位产值所需的劳动力人数)估算得到各行业所需劳动力的总人数。在根据行业与产业之间的关系,测算地区三次产业所需的总量。在人口迁移模块中,由于外部系统的人口迁入去向一般为第二、三产业,因此,在该模块中仅考虑在第二、三产业劳动力需求与城市适龄劳动力供给总人数之间的差异对净迁移率的影响。

(4) 土地需求子系统

城市化进程加快和城市扩张最主要的特征是城市建成区和建设用地面积的增加,其中建设用地包括产业用地与城市居住用地等。产业用地的扩张主要受到以下要素的影响:产业经济产出及其比重、产业单位土地的经济密度(地均产值)、建设用地开发强度。首先,产业经济产出及其比重,由于各个产业(行业)在土地利用效率(或地均产值)上的差异,城市内部产业结构的调整将会引起城市土地资源重新分配,并引起城市土地利用结构的变化。一般而言,城市产业结构的调整使得土地利用方式逐渐向二、第三产业转移,并且城市土地资源的集约利用程度也在不断提高。其次,是产业单位土地的经济密度,该指标是产业 GDP 与其对应面积之间

^① 行业固定资本存量与地区 GDP 之比

城市居住用地的扩张与城市人均居住面积密切相关,模型中首先使用人口总量与区域城市化率测算毕竟是城市人口总量,再利用人均居住面积推算城市居住空间需求。对于耕地、草地、水域和林地等增长需求,模型中结合《北京城市总体规划(2016—2035年)》、《北京市土地利用总体规划(2006—2020年)》中对市域范围内生态保护红线、耕地保有量、现状生态用地和法定保护空间的划定。引入生态控制区范围、北京市森林覆盖率、耕地保有量以确保城市生态空间不会受到建设用地的侵占。

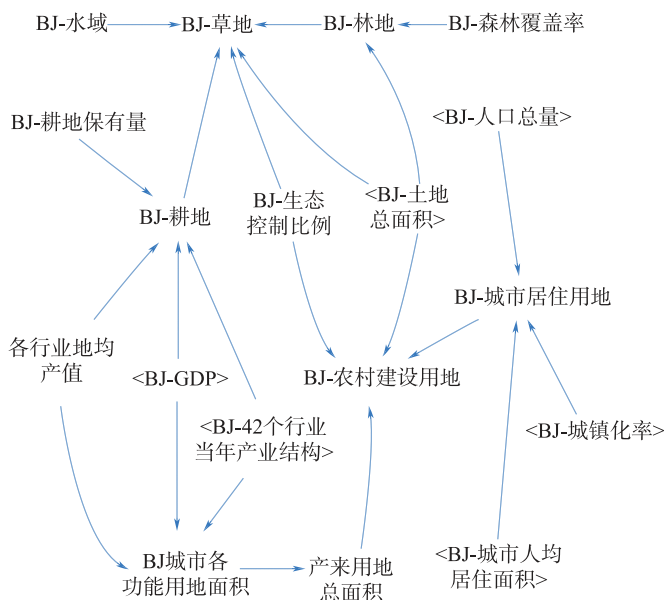


图 4-6 土地需求子系统因果关系

(5) 雄安新区子系统

根据前文分析,雄安新区子系统主要通过影响市净迁移人口对北京市人口规模产生影响。从影响因素上,迁入地与迁出地之间在社会及经济因素上的差异是影响区域间人口迁移的规模和强度的重要因素。目前,用于解释和模拟人口迁移规模和强度的经典理论模型包括了距离模型、引力模型、经济引力模型、空间相互作用模型等(李扬等,2010)。不同理论模型考虑了不同的影响因素,例如,在距离模型中,迁入地与迁出地之间的距离(交通距离、心理距离、经济距离等)被视作为影响迁移规模的唯一因素,而人口迁移的规模随着该距离的增加而衰减;

而相较于与距离模型,引力模型则增加了迁入地与迁出地之间在人口规模上的差异作为迁移规模的正向影响因素;经济引力模型则在距离模型和引力模型的基础上通过引入迁入地与迁出地之间在失业率、工资福利以及非农劳动力等来综合评估两地之间的就业机会差异,并借此估算两地之间人口迁移的规模,该方法相较于距离模型和引力模型在影响因素的选择上更为全面和灵活;空间相互作用模型则借助统计学思想,人口流动的社会经济系统视为封闭的物理环境,但该模型更加适用于存在可能多个人口流动方向的封闭系统。综合而言,研究中最终选择经济引力模型作为量化雄安新区对北京市人口迁移影响的基础模型。

考虑到数据的可获取性,本研究选择经济引力模型并使用失业率、劳动力投入和 GDP 指标作为评估人口迁出地 i 与迁入地 j 之间的人口迁移规模,公式如下:

$$M_{i \rightarrow j} = K \left[\frac{U_i}{U_j} \cdot \frac{G_j}{G_i} \cdot \frac{L_i L_j}{D_{ij}} \right] \quad (4-4)$$

式中, $M_{i \rightarrow j}$ 为从地区 i 向地区 j 迁移的人口规模; L_i 、 L_j 表示地区 i 向地区 j 的劳动力投入数; U_i 、 U_j 分别表示地区 i 与 j 的失业率; E_i 、 E_j 分别表示地区 i 与 j 的地区生产总值; D_{ij} 表示地区 i 与地区 j 之间的距离; K 为模型系数。

除了雄安新区自身发展所吸引的净迁移人口以外,未来雄安新区人口的规模主要还包括人口自然增长和承接产业迁入的劳动力两个部分(图 4-7)。雄安新区人口的自然增长参考人口的形成过程。对于产业迁入所疏解的劳动力规模,研究中假定北京市产业迁出的劳动力全部迁至雄安新区,因此,雄安新区承接产业迁入所带来的劳动力与北京市子系统内的劳动力疏解量吸纳相等。

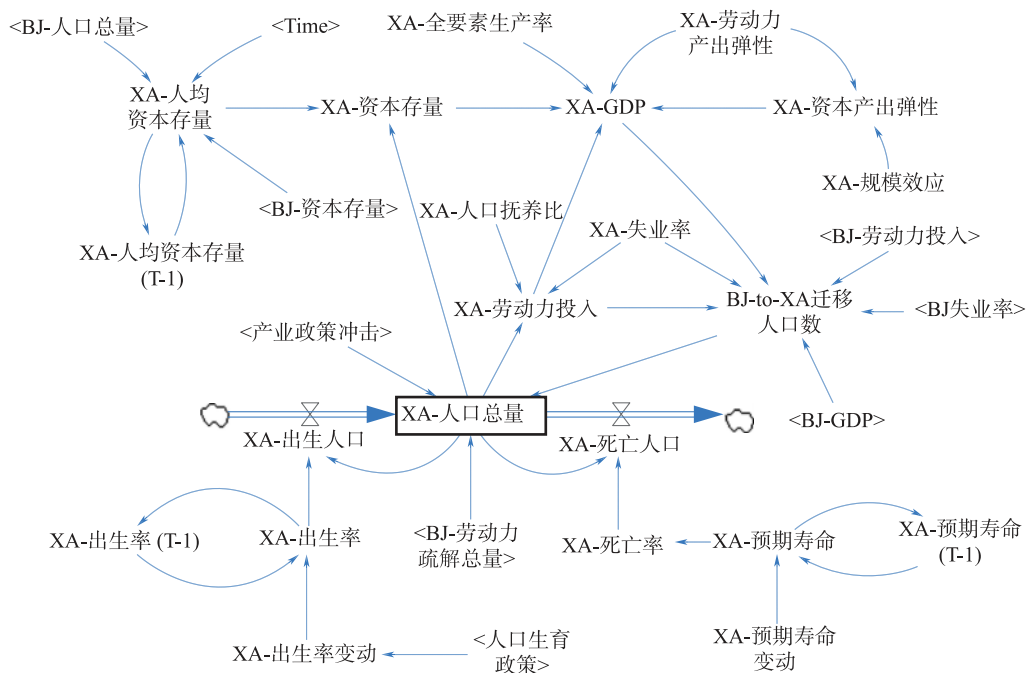


图 4-7 雄安新区子系统因果关系

雄安新区 GDP 的变化趋势同样采用总量生产函数进行估计。考虑到目前雄安新区发展现状仍处于初级阶段,用于基础设施或房地产等领域的资本投入(或固定资产投资)与未来的规模之间存在很大差距。因此,模型中引入人均资本存量,将产业迁出地的可比的人均水平作为雄安新区为了有效承接产业和劳动力的迁入而所需投入的资本目标。

4.2.2 变量核算与赋值

(1)人口子系统

1)PADIS-INT 人口预测模型

北京市人口子系统所需参数包括 2008—2035 年常住人口、人口出生率、总和生育率、人口死亡率、预期寿命、社会抚养比以及常规情景下人口净迁移率、人均 GDP 等指标。历史时期人口总量及逐年的变动的参数主要获取自《北京统计年鉴(2009—2019)》和《北京市人口普查资料(2010)》。2019—2035 年间人口子系统变量参数的设定,如人口出生率、人口死亡率、净迁移人口数量、生育率等则利用人口预测软件 PADIS-INT 根据历史时期人口总量结合参数变动情况采用队列要素方法预测得到。

2)城镇化与人均 GDP 之间的关系

在人口子模型中,利用人均 GDP 和城镇化率建立联系:

$$U=\alpha+\beta\ln(GPC)$$
 (4-5)

式中,U 为城镇化率,GPC 为人均 GDP。

根据北京统计年鉴的数据,北京市城镇化率从 2000 年的 77.5%上升至 2018 年的 86.5%,总体上在增加。然而,在 2000—2018 年城镇化率变化的速率上(图 4-8),并非线性增加,呈现先快速增加而后增速减缓。利用断点检测方式可知,城镇化率的断点发生在 2007 年(P 值≤0.001),因此,分别建立了 2000—2018(全时段)、断点发生前的(时段 1,2000—2007 年)和断点发生后(时段 2,2008—2018)。从回归结果可以看出(图 4-8),人均 GDP 对城镇化率的解释度较高,但分时段来看,时段 2 与时段 1 在回归系数上具有现显著地差异。考虑到城镇率与人均 GDP 存在阶段特征的特点,根据模型模拟所处的时间,在人均 GDP 与城镇化率变化上使用分段函数进行模拟。

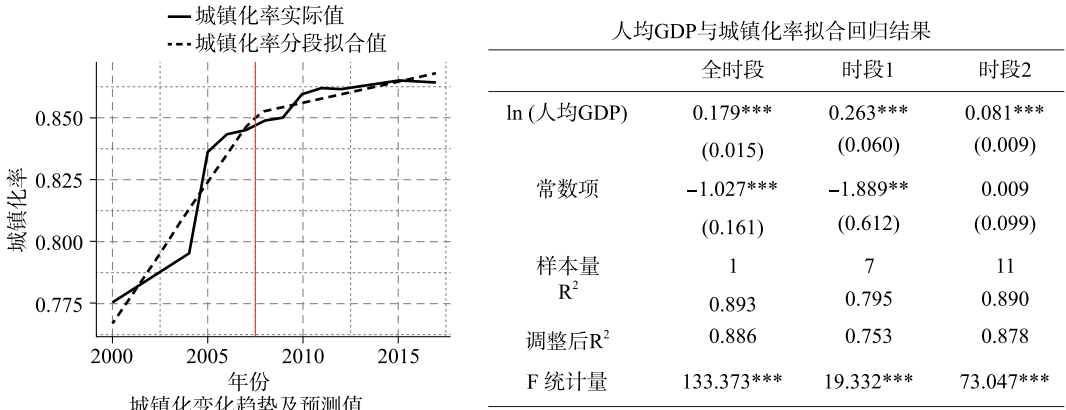


图 4-8 人均 GDP 与城镇化率拟合回归结果

3)净迁移率与非农占比关系

净迁移率的获取为人口自然增长和人口增长率的之差。2000—2018 年北京市净迁移率并非线性趋势,而是出现了先下降后上升的趋势,断点出现在 2011 年左右(图 4-9)。根据拟合结果发现,分段拟合的解释度是最大,且断点前后回归系数差异较大(图 4-9)。因此,采用分段拟合的回归结果,将参数输入人口子系统中

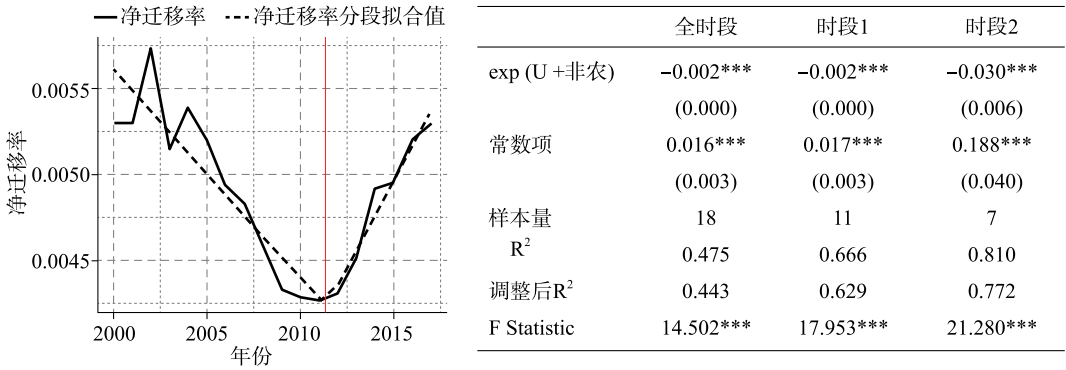


图 4-9 净迁移率回归结果

(2)经济子系统

1)资本存量与固定资本投资

研究中所用的资本存量为狭义的物质资本。资本存量的核算采用永续盘存法(单豪杰, 2008;古明明,2012),基本思想是将新增资本存量与资本存量折旧之差为逐年资本存量的变动:

$$K_t = I_t + (1 - \delta)K_{t-1} \tag{4-6}$$

式中, K_t 表示 t 时刻的地区资本存量, I_t 为 t 新增固定资本形成额, δ 为资本折旧率; i 从基期至 $t-1$ 时刻之间的时间跨度。根据永续盘存法的计算公式可以看出,地区资本存量的估算需要基期资本存量、固定资本形成总额以及折旧率。

研究中首先使用北京市固定资产投资价格指数对当年投资指标进行折算,折算成以 2000 年基期的为不变价格。基期的资本存量估算使用 2001 年的资本形成总额比上折旧率与 1953—1957 年固定资产投资形成平均增长率之和(通过投资公式和 PIM 公式方程组推导得到)。测算得到北京市资本存量在 2000—2018 年逐年增长,年均增长为 2492 亿元,固定资产投资形成额逐年上升,但是近年来增幅有所下降(图 4-10)。模型中,2019—2035 年固定资本形成额的趋势

2)总量生产函数

北京市 GDP 估算采用 C-D 生产函数拟合(表 4-2),并基于北京市劳动力人数和资本存量,并利用线性回归的方式获取劳动力产出弹性及资本产出弹性。根据生产函数拟合结果(表 4-2),历史时期北京市劳动力产出弹性为 0.304,资本产出弹性为 0.750,说明资本产出是带动北京市经济增长的主要驱动力,且远高于全国资本产出弹性 0.59(赵志耘,2006),规模效应为

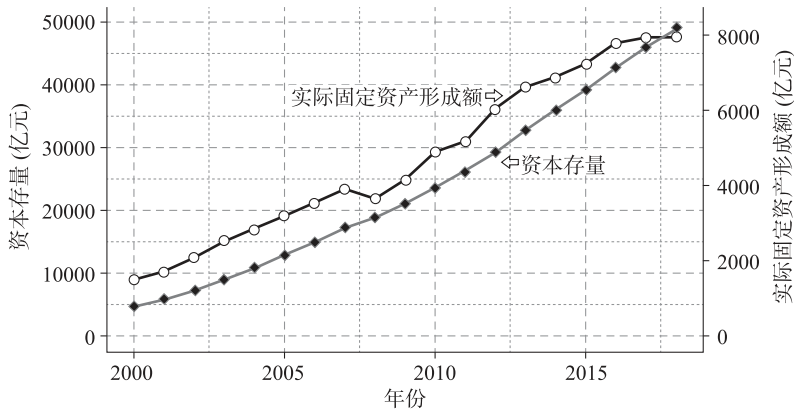


图 4-10 2000—2018 年北京市实际固定资产形成额和资本存量

1.054,说明规模报酬处于递增阶段,全要素生产率为 0.761。

表 4-2 全要素生产函数估算结果

变量	GDP
资本存量	0.750 ***
	(0.081)
劳动力	0.304
	(0.251)
常数项	-0.274
	(0.943)
样本数	19
R ²	0.997
调整后 R ²	0.997
残差标准误	0.035(df=16)
F 统计量	2,625.850 *** (df=2;16)

注：***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著水平下通过检验。

(3)产业-劳动力子系统

本研究第 3 章计算的主要数据基础是 2012 年北京市投入产出模型、2013 年中国及北京经济普查数据(《中国经济普查》和《北京经济普查》)、北京市的区域统计年鉴(《中国统计年鉴》、《北京统计年鉴》及《中国能源统计年鉴》)等。具体如下。

1)投入产出表

社会经济系统各地区各产业之间存在着广泛且密切的经济联系,任一部门的变化都会对其他行业产生直接或间接的影响。投入产出模型是一种定量分析社会经济系统各部门生产和分配的数量分析模型(石敏俊,2012)。

投入产出模型是基于一种棋盘式的平衡表(表 4-3),它从部门产品生产和分配使用两个角度揭示社会经济系统内部各部门之间相互依存的数量关系。从部门生产者角度看,生产产品

的投入主要包含最初投入(V_j ,即劳动者报酬、生产税净额、固定资产折旧和营业盈余等)和中间投入(X_j ,即产品生产过程中使用各部门生产的产品,如原材料和服务等)两个部分。从产品的使用和分配角度来看,生产的产品则最终用于中间使用(X_i ,即生产的中间产品用于部门产品生产的中间投入)、最终需求(F_i ,即城乡居民和政府的消费、资本形成总额和存货增加)、出口和误差项四个部分。

表 4-3 投入产出表的基本结构

项目		中间需求			最终需求			进口	误差项	总产出		
		部门 1	部门 42	消费支出	国内省外 流出 y_{in}				最终需求使用 合计 Y_i	
		x_{i1}		x_{i42}	y_{i1}							
中间 投入	部门 1 x_{1j}	$x_{ij}=a_{ij}X_j$			Y_{ik}			$Y_i = \sum_{k=1}^n Y_{ik}$		IM_i	err_i	Q_i
											
	部门 42 x_{42j}											
增加值		GDP_j										
总投入		X_j										

2)碳排放核算

碳足迹(Carbon footprint)是指人类日常生活中所排放的CO₂总量(王微 等,2010),既包含了产品生产过程中由于化石燃料燃烧产生直接碳排放,又包含了产品生产所消耗的其他中间投入中隐含的间接碳排放。研究中采用如下公式核算行业碳排放及碳排放系数(陈庆能,2018):

$$\begin{aligned} CE_i^e &= \sum_{k=1}^K E_{ik} \times NCV_k \times CC_k \times COF_k \times TC \\ &= \sum_{k=1}^K E_{ik} \times CEC_k \end{aligned} \tag{4-7}$$

式中, $k=1,2,\cdots,K$ 为化石能源类型; i 为行业类型; CE_i^e 为行业 i 中的化石能源碳排放; E_{ik} 为行业 i 中第 k 类化石能源的净消耗量; NCV_k 为第 k 类化石能源的低位发热值; CC_k 为第 k 类化石能源的碳含量; COF_k 为第 k 类化石能源的氧化碳因子; TC 为转换系数; CEC_k 为第 k 类化石能源的二氧化碳排放系数。

根据不同区域内各行业对不同化石能源的消耗量,利用上式以及不同能源类型的碳排放系数(表 4-4),可计算得到不同地区分行业的碳排放总量。

表 4-4 中国不同能源类型的二氧化碳排放系数

单位:百万吨

能源类型	二氧化碳排放系数	能源类型	二氧化碳排放系数
原煤	1.8267	煤油	1.8267
洗精煤	2.2998	柴油	3.0965
其他洗煤	0.7301	燃料油	3.1571
型煤	1.8253	液化石油气	3.0910
焦炭	2.7212	炼厂干气	2.2199

续表

能源类型	二氧化碳排放系数	能源类型	二氧化碳排放系数
焦炉及其他煤气	6.3730	其他石油制品	3.0191
其他焦化产品	2.7212	天然气	21.1395
原油	2.9731	热力	0.1247
汽油	2.9072	电力	7.2726

3)劳动力疏解系数

本研究就业人口疏解总量的测算采用王继源(2015)提出的方法:

$$\Delta L_i = \sum_{i=1}^n \Delta l_{ij} = \sum_{i=1}^n \Delta x_{ij} \times t_i \times Q_i \tag{4-8}$$

式中,Δ*L_j*为第*j*部门就业疏解总量,Δ*l_{ij}*为部门之间劳动流量的变化,∑_{*i*=1^{*n*}}Δ*x_{ij}*为产业结构调整产值的变化量,*t_j*为第*j*部门单位产品包含的活劳动量,即*j*部门产品的劳动消耗系数,*Q_j*为*j*部门的活劳动转换系数。该式各参数获取自劳动投入产出表。

劳动投入产出表的编制基于一般投入产出模型(刘起运等,2011;王继源等,2015),编制步骤如下:

① 获取人行业从业人数。根据2012年就业统计和调查资料,确定不同地区各部门年平均工作人员数(*L_j*);

② 计算活劳动转化系数(*t_i*)。根据各地区不同部门的产值(*X_j*)和年平均工作人员数,测算劳动消耗系数($t_i = \frac{L_i}{X_i}$),即*i*部门单位产品包含的活劳动量;

③ 编制劳动投入产出表。将区域间投入产出表中的第Ⅰ象限和第Ⅱ象限的各行元素分别乘以部门劳动消耗系数*t_{i=j}*,将投入产出表中的产值转为劳动量;对投入产出表的第Ⅲ象限以*L_j*填列。

基于北京劳动投入产出表,定量地测算了当不同行业减少10%的总产出,所带动的本行业及关联行业就业人数的变化情况(表4-5),并获取各行业劳动力感应系数,即劳动表中关联劳动力投入在完全劳动力使用中的比例^①。从行业劳动力感应系数上看,批发和零售、租赁和商务服务、制造业、科学研究与技术服务、信息传输、软件和信息技术服务等产业上下游关联性较强且直接劳动消耗系数较大,在不考虑经济增长、能源消耗等其他情况下是劳动力疏解的重要行业。

表 4-5 各行业劳动力感应系数及总产值下降 10%对就业量影响 (单位:万人)

排序	产业名称	直接下降	关联下降	合计下降	感应系数
1	批发和零售	14.777	0.986	15.764	0.247
2	租赁和商务服务	14.173	1.126	15.299	0.644

① 该值越大代表行业就业人数容易受到其他行业的影响

续表

排序	产业名称	直接下降	关联下降	合计下降	感应系数
3	制造业	13.855	0.447	14.302	0.178
4	科学研究和技术服务	9.524	0.692	10.215	0.098
5	信息传输、软件和信息技术服务	9.300	0.442	9.742	0.128
6	交通运输、仓储和邮政	6.857	0.387	7.244	0.253
7	建筑业	6.552	0.380	6.932	0.070
8	房地产	5.635	0.247	5.882	0.284
9	教育	5.307	0.305	5.612	0.086
10	公共管理、社会保障和社会组织	5.177	0.308	5.485	0.034
11	住宿和餐饮	5.059	0.277	5.337	0.371
12	金融	4.328	0.179	4.507	0.421
13	文化、体育和娱乐	2.760	0.116	2.876	0.183
14	卫生和社会工作	2.781	0.093	2.874	0.003
15	居民服务、修理和其他服务	2.147	0.166	2.313	0.691
16	水利、环境和公共设施管理	1.287	0.062	1.349	0.075
17	电力、热力的生产和供应	0.926	0.077	1.003	0.144
18	采矿业	0.687	0.017	0.704	0.118
19	农林牧渔业	0.310	0.004	0.314	0.267

(4)土地需求子系统

该子系统涉及的参数与数据主要获取自北京市统计年鉴、遥感解译得到的 2015 与 2018 年城市土地利用数据、《北京城市总体规划(2016—2035 年)》和《北京市土地利用总体规划》等资料。

1)行业地均产值及其年际变化率

各产业的经济密度(产业地均产值)及其年际变化率主要根据行业经济产值与对应年份行业产值相除计算得到表 4-6。

2)耕地保有量

根据《北京市土地利用总体规划》(调整方案)在 2016 年公布的耕地保护指标,北京需要在 2020 年保有 1106.67km² 的耕地,其中,基本农田面积为 1000km²。因此,模型中 2018—2035 年间的耕地面积下限设定为北京市耕地保有量数值。

3)林地、草地和水域比重

根据《北京城市总体规划(2016—2035 年)》的设定,北京市的生态控制区面积比重需占市域面积的 73%,而到 2035 年提高至 75%;其中,生态控制线范围主要涉及林地、草地、水域和基本农田的面积总和^①。因此,模型中 2019—2035 年间的林地、草地、水域面积比重之和采用

^① 指以生态保护红线、永久基本农田保护红线为基础,包括具有重要生态价值的山地、森林、河流湖泊等现状生态用地和水源保护区、自然保护区、风景名胜区等法定保护空间,生态控制线内的地区为生态控制区。

线性插值的方式获取;而水域和基本农田面积分别设定为固定值 329.40km^2 和 1000km^2 。

4) 森林覆盖率

根据《北京城市总体规划(2016—2035 年)》的设定,森林覆盖率在 2020 年达 44%,而到 2035 年提高至 45%。因此,模型中 2018—2035 年间的森林覆盖率的取值采用线性插值的方式获取。

5) 城市人均居住面积

城市人均居住面积使用遥感解译所得的 2015 年城市居住用地面积与当年城市人口总量计算得到。模型中该数值的面积为固定值,设定为 0.158。

表 4-6 北京市耕地与城市功能用地经济密度

单位:万元/ km^2

用地类型	2015	2018	变化率
耕地	0.05	0.08	0.01
工业用地	21.77	33.95	4.06
批发零售用地	61.04	95.94	11.63
住宿餐饮用地	24.82	32.88	2.69
商务金融用地	141.57	144.83	1.09
其他商服用地	135.19	140.74	1.85
公共服务用地	3.04	3.74	0.23

4.3 模型检验

根据上文关于系统动力学模型的构建和内容的阐释,本研究使用 Vensim 软件实现了上述系统的构建。为了确保模型构建的科学性与合理性,本研究需要对模型结构、量纲以及敏感性进行测试。

(1) 直观运行检验

即通过检验每个变量定义的正确性、因果关系的合理性以及量纲的一致性。本文在构建模型的过程中参阅了大量的文献和统计数据,明确各变量的量纲与数据来源。同时,Vensim 软件的 Units Check 功能可以实现对模型量纲一致性的检验(图 4-11)。

(2) 历史检验

历史检验是利用已知的历史真实数据与模拟的预测值进行对比,若模型模拟结果与实际数值相差较大则需要通过结构和参数调整对模型进行改进,以获取与历史真实数据及趋势一致的模拟结果。本研究选择北京市地区生产总值、北京市人口、居民消费和资本存量等变量作为主要检验变量,将模拟结果与 2008—2017 年的历史真实数据进行对比,并计算模拟误差,最终评估模型模拟的历史一致性。表 4-7 给出了 2008—2017 年系统动力学模型结果和历史真实数据之间的误差值,从结果来看,除了 2017 年资本存量外,其余指标的绝对误差都未超过 10%,这说明该模型模拟结果与历史趋势具良好的一致性。

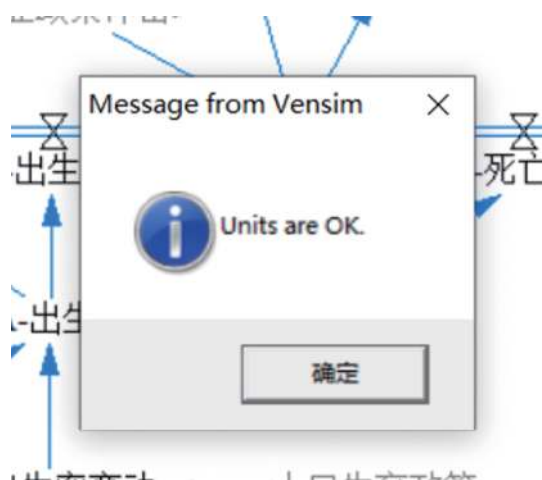


图 4-11 量纲一致性检验

表 4-7 历史真实值与模型预测对比

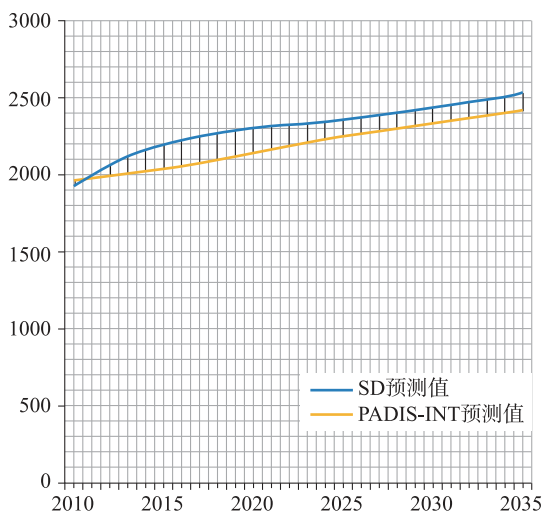
年份	人口			GDP			资本存量		
	真实值	预测值	误差	真实值	预测值	误差	真实值	预测值	误差
2008	1771	1771	0.00%	11115	11392	2.50%	19070	19070	0.00%
2009	1860	1863	0.20%	12153	11850	-2.50%	21120	21570	2.10%
2010	1962	1930	-1.60%	14114	13310	-5.70%	23702	24330	2.60%
2011	2019	2002	-0.80%	16252	14900	-8.30%	26289	27350	4.00%
2012	2069	2068	-0.10%	17879	16580	-7.30%	29439	30650	4.10%
2013	2115	2120	0.20%	19501	18390	-5.70%	32841	34240	4.30%
2014	2152	2163	0.50%	21331	20320	-4.70%	36105	38100	5.50%
2015	2171	2196	1.20%	23015	22350	-2.90%	39388	42250	7.30%
2016	2173	2222	2.30%	25669	24460	-4.70%	42846	46650	8.90%
2017	2171	2244	3.40%	28015	26650	-4.90%	46080	51280	11.30%

对于人口总量，研究进一步对比 PADIS-INT 与系统动力学模型在预测结果上差异。表 4-8反映了两个模型在不考虑产业疏解方案等人口疏解的措施下对北京市人口规模的预测差异。结果表明，系统动力学模型在 2018—2020 年间预测差异相对略大，相对误差在 6.5%~7.5%之间；其余年份的预测相对误差均在 4%左右，预测结果良好。根据系统动力学模型对人口规模的预测，在不考虑产业疏解方案等人口疏解的政策实施下，人口规模将持续增加，并在 2025 年左右提前达到 2300 万人口的规划上限。

表 4-8 人口总量的误差检验及预测曲线

单位:万人

年份	模型预测值		相对误差 (%)
	SD	PADIS-INT	
2010	1929	1961	1.67
2011	2001	1974	1.36
2012	2068	1988	3.89
2013	2121	2003	5.55
2014	2165	2021	6.66
2015	2199	2039	7.25
2016	2226	2059	7.48
2017	2248	2080	7.47
2018	2266	2102	7.26
2019	2284	2123	7.03
2020	2297	2145	6.60
2025	2356	2247	4.62
2030	2433	2332	4.13
2035	2529	2419	4.33



需要指出的是,系统动力学模型对人口规模预测主要考察的是其未来在规模和结构的变化趋势,并不能进行完全准确地预测人口总量。建立该系统动力学模型的主要目的恰是借助这种基本与现实趋势吻合的模拟结果,考察在改变某一政策变量下对系统变量的影响。因此,基于上述的误差分析结果,可以基本上认为模型通过了一致性检验。

(3) 敏感性检验

敏感性检验是评价系统动力学模型稳健性的重要步骤,其中敏感性则是通过评估模型状态或输出变化对某一参数变化的敏感程度来表征(乔文怡,2019),即:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{Q_i}; S_{Q_i} = \left| \frac{\Delta Q_i}{Q_i} \times \frac{\Delta X_i}{X_i} \right| \quad (4-9)$$

式中, t 为时间; Q_i 为选取的状态变量在 t 时刻的值; X_i 为 t 时刻参数 X 的输出值; S_{Q_i} 为状态变量 Q 对参数 X 的敏感度; ΔQ_i 和 ΔX_i 为状态变量 Q 和参数 X 在 t 时刻的增长量; n 为状态变量的数量; S_{Q_i} 为 Q_i 的灵敏度; S 为参数 X 的平均灵敏度。

研究中选择常数变量北京市全要素生产因子在 $[0.05, 0.1]$ 区间内随机分布、北京市固定资本形成比在 $[0.75, 0.95]$ 区间内随机分布、北京市非劳动年龄劳动力比重在 $[0.02, 0.2]$ 区间内随机分布、雄安新区社会抚养人口比重在 $[0.4, 0.7]$,并观测北京市人口、GDP、北京市净迁移率人口数和雄安新区人口变量的变化(图 4-12)。从敏感性测试的结果上看,北京市人口、GDP、北京市净迁移率人口数以及雄安新区人口可能取值区间是 $50\% \sim 100\%$ 。从时间趋势上看,变量的随机取值对北京市人口和 GDP 影响随时间递增但也呈现逐渐收敛的趋势。变量的取值对雄安新区总人口的影响不大。通过上述分析,可以看出变量在取值区间范围内的

随机变化并未对上述指标造成过大的影响,因此,可以认为上述指标的取值通过了敏感性检验。

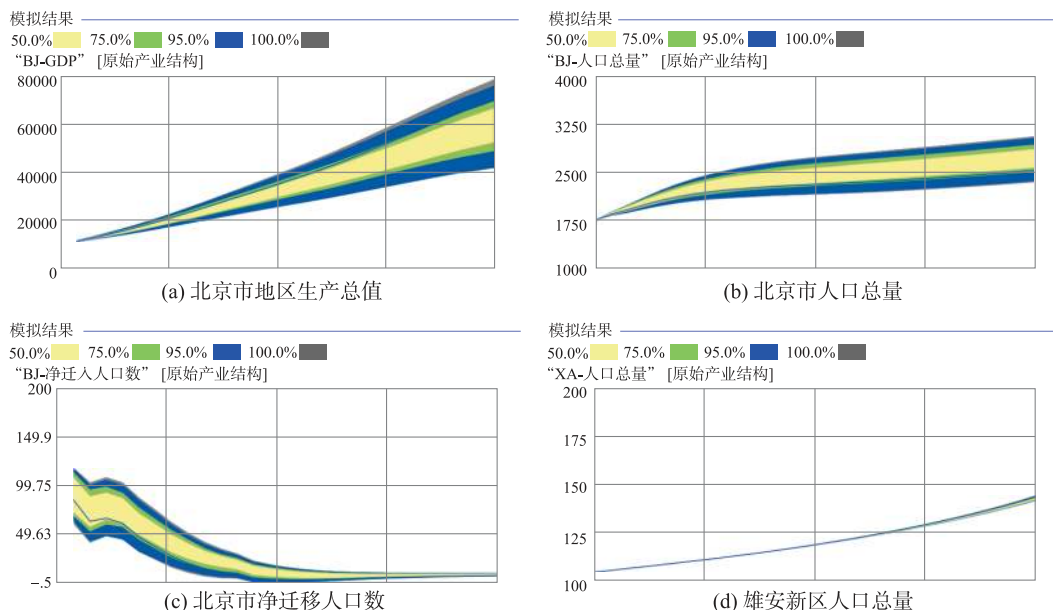


图 4-12 系统动力学模型敏感性检验

4.4 本章小结

本章的主要目标是回答雄安新区建设背景下对北京市未来人口规模及土地利用需求的影响路径,为后续章节开展产业疏解情景下的影响预测提供技术支撑。在模型构建上,梳理了雄安新区建设背景下产业疏解对北京市人口规模和土地需求的影响路径及关键变量,并将该产业疏解与人口调控关系划分为包含人口子系统、土地子系统、经济子系统和产业-劳动力子系统这四大子系统;在此基础上,从远程耦合的视角出发,考虑雄安新区与北京市在人口疏解上的互动关系,搭建了包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区 SD 模型。

模型中,产业-劳动力子系统是发送系统(北京—疏解子系统)的关键部分。本研究基于投入产出数据与统计年鉴资料,编制了劳动力投入产出表并引入了活劳动转换系数以揭示单位产出变动对自身及关联行业就业人口规模的定量关系。从行业劳动力感应系数上看,批发和零售、租赁和商务服务、制造业、科学研究与技术服务、信息传输、软件和信息技术服务等产业上下游关联性较强且直接劳动消耗系数较大,在不考虑经济增长、能源消耗等其他情况下是劳动力疏解的重要行业。为预测产业疏解北京市人口规模和土地需求影响提供技术支撑。

第5章 基于 MAS-CA 土地利用变化模拟模型构建

第4章所构建的跨区SD模型可测算产业疏解对土地需求的影响,但无法预测和估算产业疏解对土地利用空间格局的影响。本章将主要阐释土地利用变化模拟模型的框架及其构建过程,以预测跨区SD模型输出的土地需求如何在空间上分布和演化。土地利用变化是宏观社会经济、微观决策行为以及地理环境的多因素驱动的结果,属于动态的复杂变化过程。复杂性科学与模拟技术的发展为研究产业疏解对土地利用空间格局的影响提供了可能性。MAS和CA是复杂性科学与模拟技术的代表,从前期文献的梳理与回顾中看出,MAS模型能够考虑土地利用变化中的“人地关系”,而CA模型具备复杂而强大的计算能力且可兼顾地理环境的局部特征。本章将构建耦合MAS与CA模型兼顾地理环境局部特征与社会经济的宏观因素驱动下的土地利用变化模拟模型。

5.1 模型概述

5.1.1 环境要素层

环境要素层是指多智能体和元胞自动机所处的自然环境和社会环境,主要包括交通通达性、土地价格层、公共设施效用层、环境质量层、教育资源层等。

(1) 交通通达层

该层以栅格到道路及市中心的距离来表示该位置的交通通达性。研究中的道路被分为高速公路、国道、省道、地铁和其他道路,不同的道路类型对居民主体、工业主体和商业主体的影响权重是不同。对道路通达性($E_{traffic}$)的综合评价采用指数距离衰减函数表示(黎夏等,2007):

$$E_{traffic} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot A_i \cdot e^{B_i \cdot D_{road,i}} + c_{center} \cdot A_{center} \cdot e^{B_{center} \cdot D_{center}} \quad (5-1)$$

式中, i 和 $center$ 分别代表不同的道路类型(包括高速公路、国道、省道、地铁和其他道路)及城市中心, c 、 A 以及 B 分别代表不同道路和城市中心对交通通达性的影响权重(黎夏等,2007),各自空间影响强度系数以及其影响力在空间上的衰减系数。

(2) 土地价格层

土地价格反映了北京市企业和居民主体在空间位置效用评价时需要参考的土地价格。由于居民的收入水平,工业、商业的成本不同,使得居民在选择居住地、工业和商业选址等行为上存在差异(Qiu et al., 2018)。

(3) 公共设施层

公共设施效用评价因素包括到医院、学校和商业设施,均采用指数距离衰减函数表达其空间吸引力。

(4) 环境质量层

环境质量层用于评估绿地和水体对主体在居住和企业选址过程中的影响程度。该指标分别主体邻域范围林草比例及距离水源的最近距离等。

5.1.2 多主体及决策行为

5.1.2.1 企业主体及其决策行为

企业主体的空间决策行为主要包括两种类型,一是新增企业迁入本区域后的空间位置选择,二是区域内部现有企业的重新选址(本区域内部的空间位置的再选择或迁出本地区)(图 5-1)。从动因上分析可知,单个企业主体在空间分布上主要判断依据是:①是否可以获得必要的关键资源(如土地、生产必需的原材料,劳动力等)和②能否改善现有的盈利能力(孙启明等, 2012)。研究中假定企业在生产过程中仅受到土地资源的限制,而区域之间在其他如水资源、劳动力等生产性资源方面则假定它们是充足。因此,单个企业主体仅从是否能够获得土地资源和最大效用出发做出行为决策(Qiu et al., 2018)。

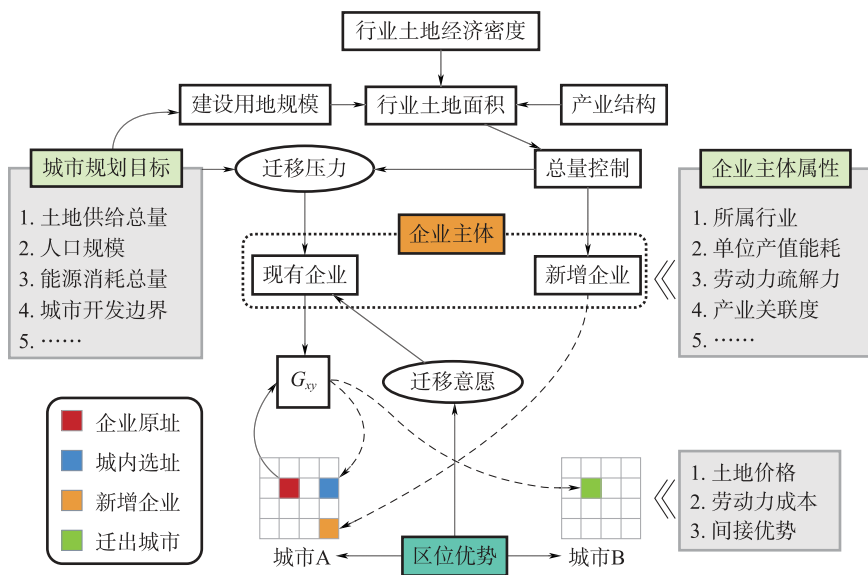


图 5-1 企业主体决策行为示意

从影响企业主体行为的决策因素上看,可简单分为迁移压力、迁移意愿和空间选址三个方面因素。具体来说:①迁移压力,首先企业主体会根据区域社会经济发展规划和目标(如能源控制和劳动力疏解等方面)综合判断当前时刻的企业所感知的迁移压力;②迁移意愿,当企业主体承受一定的迁移压力时会进一步考量是否有意愿进行迁移,这部分的主要判断包括两个部分:一是迁入目的地后是否在盈利能力上有所提高;二是迁移成本,即在满足当收益期望的

同时,企业主体根据现阶段企业经济能力判断能否支付位置迁移带来的如搬迁成本、重置成本等费用。③空间选址,在满足上述条件的基础上,待迁移的企业主体将进一步综合自然和社会因素对满足自身发展需求的地块向政府提出用地申请,而用地申请的审批与否则由政府根据土地供给总量和企业所选位置的适宜性进行综合判断得到。总的来说,迁移压力和迁移意愿是影响迁移概率的关键因素,而企业能否成功迁出则受到空间选址的制约。下面将从企业主体的迁移压力、迁移意愿、迁移概率及迁移选址四个方面进行描述。

(1) 被动迁移压力

迁移压力是企业实施搬迁的外部驱动力。研究中将该压力的来源简化为两个部分:一是政府对地区社会经济发展调控的感知,二是在与区域其他企业横向对比过程中对现有位置效用的满足感。具体来说,在社会经济目标方面,企业主体首先会自身发展与政府对未来建设用地供给量、单位产值能源消耗量和人口规模调控等规划目标进行比较,若 t 时刻企业所属行业的某些指标未达到政府的调控指标目标,则行业内部的企业会产生疏解压力(芮明杰等,1997)。其次,企业主体亦会进一步从运输成本等位置效用的角度出发对自身与区域内同行业进行横向比较,从而产生迁移压力(Liu et al., 2006)。模型中政府对产业结构发展的调控目标主要考虑土地的年度土地总供给量、行业单位产值的能源消耗和劳动力感应系数:

$$S'_{Ind, G_{xy}} = \theta_1 \cdot S'_{LS, Ind} \cdot (\theta_2 \cdot S'_{EC, Ind} + \theta_3 \cdot S'_{LE, Ind}) + \theta_4 \cdot S'_{U, Ind, G_{xy}} \quad (5-2)$$

式中, $S'_{Ind, G_{xy}}$ 则表示企业主体所感受迁移压力总和,其中 Ind, t 和 G_{xy} 分别标识企业主体的行业、时间及其空间位置; $S_{LS, Ind}$ 、 $S_{EC, Ind}$ 、 $S_{LE, Ind}$ 和 $S_{U, Ind}$ 则分别表示企业所感受到来自土地供给、能源控制、劳动力疏解以及位置效用上的各项压力; $\theta_1 \sim \theta_4$ 则为不同企业类型对各项压力的感知权重,且权重之和为1。

企业主体由于其所属行业性质的不同,在能源消耗强度、劳动力疏解能力等存在着较显著的差异(陈庆能, 2018; 刘玉, 2008; 孙玉环, 2016)。因此,自土地和城市发展规划方面的压力($S_{LS, Ind}$ 、 $S_{EC, Ind}$ 和 $S_{LE, Ind}$)则按其所属行业承受的平均压力计算,即在 t 时刻政府是否减少了行业 i 土地供给量($\Delta L_{Ind, t}$)、地区单位产值能耗(EC^t)是否高于对应时刻地区能耗目标阈值(TEC^t),以及区域人口数量(P^t)是否超过该时刻目标阈值(TP^t)等,若相关指标超过目标阈值,则产生迁移压力,否则该压力值为零(式5-3)。

$$\begin{cases} S'_{LS, Ind} = 1, & \text{if } \Delta L(Ind, t) < 0. \\ S'_{EC, Ind} = \frac{EC_{Ind} - \min EC_{Ind}}{\max EC_{Ind} - \min EC_{Ind}} \\ S'_{LE, Ind} = \frac{LE_{Ind} - \min LE_{Ind}}{\max LE_{Ind} - \min LE_{Ind}} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5-3)$$

从企业自身利益出发,各企业主体通常倾向于将企业建立在具备良好公共设施、土地价格低廉且交通便利的区域内,以便降低其生产、运输和销售的成本(Liu, 2016; Qiu et al., 2018; Qiu, 2015),即在空间上获得更大的位置效用水平。在此基础上,选择现有位置的效用值($U_{Ind, G_{xy}}$)与该行业平均水平的差距($\bar{U}_{Ind, G_{xy}}$)来表征该位置的压力(式5-4)。当企业主体

所处的位置效用值低于该行业平均值时,则认为该位置将承受一定的位置效用压力且压力大小和其与平均值之间差距成正相关(式 5-5)。

$$\Delta U_{Ind,G_{xy}} = U_{Ind,G_{xy}} - \bar{U}_{Ind,G_{xy}} \quad (5-4)$$

$$S_{U,Ind,G_{xy}} = \begin{cases} \frac{\Delta U_{Ind,G_{xy}} - \min \Delta U_{Ind,G_{xy}}}{\max \Delta U_{Ind,G_{xy}} - \min \Delta U_{Ind,G_{xy}}}, & \text{if } \Delta U_{Ind,G_{xy}} < 0. \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-5)$$

企业主体 Ind 对空间位置效用的评估主要考虑到高速公路的距离(E_{d2high})、到铁路的距离($E_{d2train}$)、土地价格($E_{landprice}$)、到商业中心的距离($E_{d2business}$)和道路密度($E_{roaddensity}$)等因素。考虑到不同行业对空间位置选择的偏好不同,模型中影响空间位置效用的各因子权重以行业类别进行区分(式 5-6):

$$U_{Ind,G_{xy}}^t = w_{d2high} \cdot E_{d2high} + w_{d2train} \cdot E_{d2train} + w_{landprice} \cdot E_{landprice} + w_{d2business} \cdot E_{d2business} + w_{rd} \cdot E_{roaddensity} + \epsilon \quad (5-6)$$

式中, w_{d2high} 、 $w_{d2train}$ 、 $w_{landprice}$ 、 w_{con} 和 w_{rd} 分别为各位置效用评估要素的权重,且各权重之和为 1; ϵ 为随机扰动项。

(2) 主动迁移意愿

主动迁移意愿是企业主体选择迁移的内在驱动力,主要从以下两个方面考虑:一是企业现有位置(a)和迁入地(b)之间的预期收益是否提高;二是企业主体选择在一个地区落户后的重置成本(新建厂房和购置设备等)是否高昂(式 5-7)。

$$W_{Ind,G_{xy}}^t = \omega_1 \cdot \Delta R_{Ind,G_{xy}}^t + \omega_2 \cdot \Delta C_{Ind,G_{xy}}^t \quad (5-7)$$

式中, $W_{Ind,G_{xy}}^t$ 表示在 t 时刻,企业主体从 a 地迁入 b 地的迁移意愿; $\Delta R_{Ind,G_{xy}}^t$ 和 $\Delta C_{Ind,G_{xy}}^t$ 为 a 、 b 两地之间不同行业在预期收益和重置成本之间的差异; ω_1 和 ω_2 分别为企业主体在进行对预期收益及成本变化的偏好权重,且权重之和为 1。

在迁移成本方面,主要考虑企业固定资产的迁移和重置成本,模型中以各行业的资本形成比来量化企业搬迁后的固定资本重置成本。在预期收益方面,研究假设企业迁入 b 地后在产量以及生产材料方面与迁出地之间保持一致,而企业进行跨区迁移的收益评估仅考虑迁入地是否具有一定的区位优势。该区位优势一般包括直接区位优势和间接区位优势,其中,直接区位优势表示迁入地在劳动力成本、土地价格等方面为迁入企业提供的优惠政策等有利条件,而间接区位优势则是指由于迁入地自身某些不利因素,如经济发展相对落后、欠缺必要商业配套设施等(杨吾扬等,1987)。因此,本模型中将直接区位优势简化为 t 时刻 a 、 b 两地之间在劳动力工资和土地价格两个方面的差异;考虑到数据的可获取性,间接区位优势则以地区间经济规模和人口密度的差距来表征(式 5-8)。

$$W_{Ind,G_{xy}}^t = \omega_{11} \cdot \Delta L C_{Ind,ab}^t + \omega_{12} \cdot \Delta L P_{Ind,ab}^t + \omega_{13} \cdot F A_{Ind}^t + \omega_{21} \cdot \Delta G D P_{Ind,ab}^t + \omega_{22} \cdot \Delta P o p_{Ind,ab}^t \quad (5-8)$$

式中, $W_{Ind,G_{xy}}^t$ 表示在 t 时刻,企业主体从 a 地迁入 b 地的迁移意愿; $\Delta L C_{Ind,ab}^t$ 和 $\Delta L P_{Ind,ab}^t$ 分别表示在 t 时刻 a 和 b 两地之间在土地价格和劳动力成本方面的差异。 $F A_{Ind}^t$ 为不同行业的资本

形成比; $GDP_{Ind,ab}^t$ 和 $Pop_{Ind,ab}^t$ 分别在 a 和 b 两地之间在地区生产总值和人口密度方面的差距。在迁移过程中,若迁出地 $GDP_{Ind,ab}^t$ 和 $Pop_{Ind,ab}^t$ 远高于迁入地,则意味迁移企业需承担间接区位优势导致的收益损失,反之则可能会有利于提高企业的预期收益。 $\omega_{11} \sim \omega_{22}$ 分别各影响因素的偏好权重,且其权重之间满足 $\omega_{11} + \omega_{12} + \omega_{13} = \omega_1, \omega_{21} + \omega_{22} = \omega_2$ 。

(3) 迁移概率及迁出地选择

企业主体在 t 时刻是否迁移以及迁入地的选择(城市内部重新选址还是迁出本地区)则取决于企业主体此刻的迁移压力和迁移意愿(式 5-9)。当产业用地新增供给量小于零时,城市内部产业用地按照迁移压力和意愿的相对大小依次迁出城市,反之则按照迁移概率在城市内部重新选址(式 5-10)。

$$P_{Ind,G_{xy}} = P_0 + (1 - P_0) \times (S'_{Ind,G_{xy}} + W'_{Ind,G_{xy}}) \quad (5-9)$$

$$L_{Ind,G_{xy}} = \begin{cases} \text{迁出城市, if}(S_{Ind,G_{xy}} < 0) \text{ and } (P_{Ind,G_{xy}} \geq 1) \\ \text{城市内部选址, otherwise} \end{cases} \quad (5-10)$$

(4) 空间选址

当企业主体确定进行企业迁移后开始寻找迁移的候选位置。受到企业空间选址及所属行业性质的影响,不同类型的企业主体由于其自身属性不同而表现出对位置选择的偏好差别,从而表现出不同的空间决策行为。研究中选择效用函数的系数反映不同行业属性的企业对环境要素的偏好程度并引入离散选择模型(Discrete Choice Model, DCM)决定企业主体的空间选址行为(康停军等, 2012)。

对于企业主体 q 来说,随机选择位置 R_{xy} 作为企业迁入地的概率等于当该空间位置的效用不小于任何候选位置的效用的概率(式 5-11),即:

$$P_{Ind,R_{xy}} = P_r(U_{Ind,R_{xy}} \geq U_{Ind,R_{x'y'}}) = \frac{\exp(U_{Ind,R_{x'y'}})}{\sum R_{x'y'} U_{Ind,R_{x'y'}}} \quad (5-11)$$

式中, $P_r(U_{Ind,R_{xy}} \geq U_{Ind,R_{x'y'}})$ 表示企业主体的候选位置 R_{xy} 的效用大于其他任何可以选址位置 $R_{x'y'}$ 的效用的概率; $\sum R_{xy} \exp(U_{Ind,R_{xy}})$ 为候选位置效用指数函数之和。

当企业主体 Ind 选择满意的候选位置 R_{xy} 后,将进一步判断该位置是否已经被其他类型主体占用。当候选位置 R_{xy} 为居住用地时,则企业主体返回 G_{xy} ;当候选位置 R_{xy} 为其他类型的企业主体 Ind' 时,将企业主体 Ind' 进行协商,而能否协商成功以及协商成功的概率取决于企业主体间的 Ind 和 Ind' 在 R_{xy} 处的迁移压力和迁移意愿的大小(式 5-22)。若 $(S'_{Ind,R_{xy}} + W'_{Ind,R_{xy}}) > (S'_{Ind',R_{xy}} + W'_{Ind',R_{xy}})$,则计算企业主体间协商成功的概率(式 5-22),协商成功后企业主体 q 将搬迁至候选位置 R_{xy} ,而迁出企业 s 则开始寻找候选位置;反之则认为企业主体间的协商失败并返回 G_{xy} 。若主体 q 的候选位置为自然植被或企业腾退后空地,则需要向政府申请,若得到批准则将迁入该位置,搬迁成功后,企业的迁出地 G_{xy} 将改为腾退空地,否则返回原址(G_{xy})。

$$P_{Ind,consult} = 1 - \exp[-(S'_{Ind,R_{xy}} + W'_{Ind,R_{xy}}) - (S'_{Ind',R_{xy}} + W'_{Ind',R_{xy}})] \quad (5-12)$$

5.1.2.2 居民主体及其决策行为规则

居住用地的演变是居民主体对居住地位置选择的空表现(刘小平等, 2010; 李少英等,

2013)。一般而言,居民主体在空间决策行为主要包括:迁出城市、迁入城市、驻留原地和城内迁居这4种行为类型。从影响居民主体行为决策以及居住空间开发的因素上,可以分为两个方面:①居民主体自身感知的社会和经济压力,例如城市房价与居民收入之间的差异性导致的迁居压力(刘小平等,2010);②居民主体对良好居住环境的追求(刘小平等,2010;李少英等,2015)等,下面将从上述两个方面描述模型中居民主体的行为规则以及对居住用地空间分布的影响。

(1) 社会经济压力

社会、经济方面的压力是居民产生迁居意愿的重要驱动力(陶海燕等,2009;刘小平等,2010),关于迁居压力表征,模型中利用居民自身经济收入与所在位置房价的差距表示其感受的经济压力(陶海燕等,2009;刘小平等,2010);而将居民自身的经济状况与邻域范围内其他居民平均状况的差距作为其社会压力(式 5-13)。

$$\begin{aligned} S_h^t &= c_1 \cdot S_{E,h}^t + c_2 \cdot S_{S,h}^t \\ &= c_1 \cdot (EI_h^t - HP_h^t) + c_2 \cdot (EI_h^t - p_{h,nbr}^t) \end{aligned} \quad (5-13)$$

式中, S_h^t 为居民主体 h 在 t 时刻感受到的迁居压力; c_1 和 c_2 为 h 的迁居压力中经济压力和社会压力的权重; EI_h^t 为 h 的经济收入, HP_h^t 其所在位置的房价; $p_{h,nbr}^t$ 记录了 h 视域范围内主体(k)平均经济状况(式 5-14)。

$$p_{h,nbr}^t = \frac{\sum_{k \in \Omega(h)} EI_k^t + \sum_{l \in (\Omega - \Omega(h))} HP_l^t}{n} \quad (5-14)$$

式中, $\Omega(h)$ 为居民主体 h 邻域范围内的其他居民主体; $l \in (\Omega - \Omega(h))$ 表示邻域范围内未被占用的土地, n 为领域窗口大小。

(2) 居住环境与区位效用

居民主体在视域范围内对理想居住环境的追求是居住主体产生迁移意愿的另一个重要驱动力(刘小平等,2010)。一般而来,居住环境的评估主要考虑环境质量($E_{environment}$)、教育资源($E_{education}$)、交通通达性($E_{traffic}$)、住房价格(E_{price})和公共设施便利度($E_{convenience}$)等因素。由于居住主体属性的差异(如经济收入、有无小孩等),其对理想居住环境要素及其权重也因此不同,即式 5-15:

$$\begin{aligned} U_{G_{ij},h}^t &= w_{evi} \cdot E_{environment} + w_{edu} \cdot E_{education} + w_{tra} \cdot E_{traffic} + \\ &\quad w_{pri} \cdot E_{price} + w_{con} \cdot E_{convenience} + \epsilon \end{aligned} \quad (5-15)$$

式中, w_{evi} 、 w_{edu} 、 w_{tra} 、 w_{pri} 和 w_{con} 分别为各居住环境评估要素的权重,且各权重之和为1; ϵ 为随机扰动项。

居民主体是否迁居取决于对上述两个部分的综合判断,模型中使用式 5-16 测算居民主体的迁居意愿。

$$U_h^t = \alpha_1 \cdot U_{G_{ij},h}^t + \alpha_2 \cdot (1 - S_h^t) + \epsilon \quad (5-16)$$

式中, $U_{G_{ij},h}^t$ 为居民主体在所在位置的环境效用值; S_h^t 为居民主体所在位置的社会经济压力; ϵ 为服从韦伯分布的随机扰动项,取值区间为0~1; α_1 和 α_2 为指标权重。

5.1.2.3 政府主体及其决策行为

政府依据区域不同产业发展的土地需求、现有土地供给能力和生态环境保护需求等方面

制定阶段性的土地利用规划、并通过制定用途管制、审批用地等手段合理引导区域未来人口和土地利用的空间分布格局(喻锋 等,2014;康停军 等,2012)。因此,模型中政府主体的行为主要包括以下三个方面。

(1)城市空间发展管控

即根据城市自身资源承载力和生态控制的需求,结合《北京城市总体规划(2016—2035年)》对未来北京市发展的产业政策、空间管制规划要求,在模型中通过设定限制发展因子和引导发展因子来量化对区域土地利用空间格局的调控(式 5-17):

$$Gov_{G_{xy}}^t = Proh_{G_{xy}}^t \cdot Guide_{G_{xy}}^t \quad (5-17)$$

式中, $Gov_{G_{xy}}^t$ 为 t 时刻政府对 G_{xy} 位置的空间管控因子,该因子由限制发展因子($Proh_{G_{xy}}^t$)以及引导发展因子($Guide_{G_{xy}}^t$)组成,具体如下:

(2)限制发展因子

限制发展政策因子的设定主要针对自然保护区和水源地等禁止土地利用发生演化的区域。当用地申请发生在禁止演化区内,则政府拒绝此次用地申请,即该区域土地利用类型的转移概率设定为零;相反,在非禁止区则不作约束(式 5-18)。

$$Proh_{G_{xy}}^t = \begin{cases} 0, & \text{禁止演化区} \\ 1, & \text{非禁止演化区} \end{cases} \quad (5-18)$$

(3)引导发展因子

为了保证城市建设用地高效集约地利用和居民的宜居程度,政府通过划定集中建设区、限制建设区和生态控制区,引导城市土地的合理发展。

(4)用地审批

当城市内部的各企业和居民主体根据自身演化需求向政府提出用地申请时,政府将按照一定规则给予批准。在多主体模型中,用地的审批通常建立在城市空间管制的基础上,并综合考虑各主体用地申请次数以及历史时期内该位置邻域范围内的相同用地的审批情况(王贞超,2012)。当主体向政府提出用地申请的次数越多,该地类被接受的概率就越大;而邻域范围内某地类被接受的比例越高,政府也越易接受该地类的用地申请,即式 5-19:

$$P_{Accept_i, R_{xy}} = \frac{N_i^t}{N_i^{t-1}} \cdot Gov_{G_{xy}}^t + \sum_k \left(\frac{N_{Accept_k}}{n-1} \right) \{k \mid k \in \Omega(i) \text{ and } k \cap i \in I\} \quad (5-19)$$

式中, $P_{Accept_i, R_{xy}}$ 为政府接受主体 i 用地申请的概率; N_i^t 为 t 时刻主体 i 向政府提出用地申请的; n 为邻域窗口大小; k 为 $n \times n$ 邻域窗口内与主体 i 属于同一主体类别(I)的领域主体; N_{Accept_k} 为邻域范围内政府接受主体 k 用地申请的个数。

5.1.3 元胞自动机层

城市土地利用的变化不仅受到主体行为的驱动,地理因素(如高程、道路等)的空间分布也会影响城市土地利用的演化。因此,本研究借助元胞自动机模型将地理空间因素引入城市土地利用变化的模拟中。元胞的转换规则包含四个部分:地类分布适宜性($P_{CA, G_{xy}}$)、领域函数($\Omega_{G_{xy}}$)、随机因子(Rnd)和约束条件($con(S_{G_{xy}}^t)$),决定 $t+1$ 时刻 G_{xy} 位置元胞发生用地转换的概

率 P_{t+1} 则为上述因子共同作用的结果(式 5-20):

$$P_{\alpha, G_{xy}}^{t+1} = Rnd \times P_{\alpha, G_{xy}}^t \times \Omega_{G_{xy}}^t \quad (5-20)$$

(1) 地类分布适宜性

该部分主要用于测算地理空间变量对土地利用方式的影响,主要通过适宜性分布概率,即栅格用作特定利用方式的概率大小来表征(Yao et al., 2017; 陈凯 等, 2015)。

(2) 邻域函数

该部分主要用于评估相邻元胞 t 时刻状态对 $t+1$ 时刻的元胞状态的影响,该值主要通过邻域 $n \times n$ 窗口内于元胞地类为 L 的比重计算得到。

$$\Omega_{G_{xy}}^t = \frac{\sum_{n \times n} \text{con}(S_{G_{xy}}^t = L)}{n \times n - 1} \quad (5-21)$$

(3) 随机因子

该部分主要用于表征政策、经济和自然环境中的不确定因素(陈凯 等, 2015)。随机因子的计算如下:

$$Rnd = 1 + (-\ln \gamma)^\alpha \quad (5-22)$$

式中, Rnd 为随机因子, γ 为 $0 \sim 1$ 区间内的随机数, α 为控制随机因子大小的参数。

5.1.4 综合决策规则

综合多主体系统和元胞自动机模型,土地利用类型最终发生变化的概率 $P_{G_{xy}}^t$ 可以通过下式计算得到:

$$P_{G_{xy}}^t = A \times P_{i, G_{xy}} \times P_{Accept_i, G_{xy}} \times P_{\alpha, G_{xy}} \quad (5-23)$$

式中, A 为模型的调整参数; $P_{i, G_{xy}}$ 为 i 主体在效用最大化的随机选择理想位置 G_{xy} 的概率; $P_{Accept_i, G_{xy}}$ 为候选位置被政府接受的概率; $P_{\alpha, G_{xy}}$ 为该位置元胞的转换概率。

5.2 参数设定与模型实现

5.2.1 参数设定

本模型中参数的设定主要包括三种方式:一是通过已有数据进行客观赋值;二是采用层次分析法和熵值法组合赋值;三是可根据模型运行结果,调整后得到的最优参数。接下来将从 MAS 层和 CA 层两个部分分别介绍模型参数设定及其方法。

5.2.1.1 MAS 层的参数确定

(1) 企业主体的参数确定

1) 被动迁移压力

① 土地、劳动力和能耗压力

土地供给压力大小获取自 SD 模型中 $t+1$ 和 t 时刻对应行业的土地利用变化量;能源控

制和劳动力疏解压力,则利用北京市统计的分行业单位产值能源消耗量和劳动力感应系数,并经过极差标准标准化得到(表 5-1)。

表 5-1 不同行业感知能源消耗和劳动力疏解的压力大小

代码	行业名称	能源消耗	劳动力疏解
5	工业	0.591	0.035
9	批发零售业	0.103	0.313
10	住宿餐饮业	0.037	0.244
11	其他商服业	0.266	0.081
12	商务金融业	0.000	0.007
13	公共服务业	0.000	0.087

② 空间位置效用

研究采用 AHP 和熵值法组合权重法来确定不同行业的企业主体在空间位置效用评价上的权重。首先对不同行业的企业主体对影响空间选址的因素进行专家打分,然后分别采用 AHP 和熵值法计算影响因子的指标权重(W_j)。

$$W_j = \frac{\alpha_j \beta_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \beta_j} \quad (5-24)$$

式中, α_j 为 AHP 方法获取的指标权重, β_j 为熵值法所得权重。本研究利用上述方法计算得到了不同行业的企业主体在空间位置选择上的偏好权重(表 5-2)。

表 5-2 不同行业空间位置效用指标的权重系数

代码	行业名称	到高速距离	到铁路距离	到商业中心距离	土地价格	道路密度
5	工业	0.246	0.252	0.199	0.150	0.152
9	批发零售业	0.152	0.153	0.244	0.250	0.201
10	住宿餐饮业	0.153	0.148	0.250	0.153	0.296
11	其他商服业	0.054	0.057	0.247	0.345	0.298
12	商务金融业	0.050	0.049	0.198	0.352	0.350
13	公共服务业	0.055	0.057	0.200	0.295	0.393

③ 被动迁移压力指标权重

模型中被动迁移压力的评价指标是由政策疏解压力和空间位置效用两大部分构成,并包含土地供给压力、能源控制压力、能源控制压力和空间位置效用压力四个分项指标。在被动迁移压力的计算上,各分项指标权重最终计算得到表 5-3。

表 5-3 不同行业迁移压力测算指标的权重

代码	行业名称	土地供给	能源控制	能源控制	空间位置效用
5	工业	0.250	0.300	0.252	0.197
9	批发零售业	0.307	0.201	0.248	0.250
10	住宿餐饮业	0.299	0.205	0.248	0.248

续表

代码	行业名称	土地供给	能源控制	能源控制	空间位置效用
11	商务金融业	0.200	0.153	0.247	0.400
12	其他商服业	0.201	0.153	0.251	0.395
13	公共服务业	0.298	0.150	0.155	0.396

2) 主动迁移意愿

企业主体主动迁移意愿主要包含 5 个分项评价指标:地价差距、工资差距、行业资本形成比、迁入迁出地的 GDP 差距、迁入迁出两地的人口差距。在分项指标的计算上,迁入迁出两地之间在 GDP 和人口上的差距为时变量,获取自 SD 模型的仿真结果。迁入地与迁出地在劳动力成本上的差距属于时变量并采用行业平均工资代替;考虑到数据的可获取性,雄安新区的行业平均工资使用河北省的平均水平,两地未来行业平均工资使用历史数据进行线性插值得到。

考虑数据的可获取性,迁入地与迁出地在土地价格上差距不随时间发生变化;其中,北京市的土地价格利用 2014 年公布的《北京市基准地价更新表》结合道路密度等数据进行空间化后得到;雄安新区地价则基于保定市《基准地价表》,其中,批发零售用地、住宿餐饮用地、商务金融用地和其他商服用地的土地价格则基于商业用地平均地价及调整系数计算得到,公共服务用地的土地就价格按基准地价中的办公地价计算;汇总得到雄安新区工业用地、批发零售用地、住宿餐饮用地、商务金融用地、其他商服用地和公共服务用地的价格分别为 530、2654、2402、2484、2267 和 2067 元/m²。

此外,各项指标均采用极差标准化进行处理,指标权重的确定同样采用的方法(表 5-4)。

表 5-4 不同行业迁移意愿指标的权重

代码	行业名称	地价差距	工资差距	资本形成比	GDP 差距	人口差距
5	工业	0.304	0.295	0.396	0.002	0.003
9	批发零售业	0.106	0.202	0.199	0.195	0.298
10	住宿餐饮业	0.101	0.198	0.204	0.202	0.295
11	其他商服业	0.056	0.050	0.199	0.301	0.394
12	商务金融业	0.098	0.099	0.200	0.204	0.399
13	公共服务业	0.200	0.200	0.199	0.199	0.202

(2) 居民主体的参数确定

1) 居民主体类型的划分

考虑到数据都可获取性,模型中将居民主体的基本属性包含两个:经济能力和家庭结构。经济能力分为 5 个组别:低收入(年平均收入:54640.6 元)、中低收入(年平均收入:85059.0 元)、中收入(年平均收入:100110.6 元)、中高收入(年平均收入:125515 元)和高收入(年平均收入:187214.4 元);家庭结构分为有小孩和无小孩两个类别。因此,居住主体可分为 10 类:低收入无小孩、低收入有小孩、中低收入无小孩、中低收入有小孩、中收入无小孩、中收入有小孩、中高收入无小孩、中高收入有小孩、高收入无小孩、高收入有小孩。不同收入和家庭结构组

别内居民主体数量的大致比例获取自《北京统计年鉴(2016)》以及《2015 年全国 1% 人口抽样调查》,见表 5-5。

表 5-5 居民主体类型及各居民主体类型所占比例

经济能力		低收入	中低收入	中收入	中高收入	高收入
家庭结构	无小孩	9%	13%	14%	12%	9%
	有小孩	6%	12%	11%	9%	6%

2) 社会经济压力

经济压力主要取决于居民主体的收入与房价之间。居民主体以户为单位,户均收入获取自《北京统计年鉴(2016)》(表 5-6)并按照式(5-25)进行更新:

$$I_h^{t+1} = I_h^t + r \times I_h^t \left(1 - \frac{I_h^t}{K}\right) + \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (5-25)$$

式中, I_h^t 为居民主体 t 时刻收入; K 为收入容量,模型中取值为 2 倍的初始收入; R_1 和 R_2 分别为两个随机数(随机数的范围为 0~2000 元之间); r 为 0.065。社会压力的测算邻域窗口的设定为 3×3 窗口, α_1 和 α_2 为分别取值 0.5。

表 5-6 2015 年不同收入区间内居民主体的平均收入

收入区间	低收入	中低收入	中收入	中高收入	高收入
东城区	63845	99387	116978	146661	218753
西城区	69766	108606	127826	160261	239040
朝阳区	57319	89226	105019	131669	196392
丰台区	48713	75834	89254	111904	166913
石景山区	58199	90600	106637	133695	199416
海淀区	64424	100290	118039	147992	220740
房山区	37541	58440	68783	86237	128626
通州区	38874	60516	71226	89302	133200
顺义区	34519	53736	63245	79295	118274
昌平区	40102	62424	73472	92118	137400
大兴区	41965	65328	76891	96400	143789
门头沟区	43775	68148	80209	100563	149993
怀柔区	34367	53499	62967	78946	117754
平谷区	36301	56508	66509	83387	124375
密云区	35018	54516	64163	80444	119988
延庆区	36803	57291	67430	84542	126098
平均收入	54641	85059	100111	125515	187214

3)居住位置效用

模型中居住位置效用的评价指标包含土地价格、环境质量、道路密度和医疗资源和教育资源五个分项指标。其中环境质量为 5×5 邻域范围内林地和草地所占比重,该值根据土地利用图层数据统计得到;道路密度、医疗资源和教育资源读取自环境图层,其中医疗资源和教育资源为所在位置与医院和学校之间的衰减距离;上述分项指标均进行归一化处理。此外,各分项指标权重采用(式(5-23))的方法获取,最终计算得到表 5-7。

表 5-7 不同居民主体位置选择偏好权重

居民主体类型		土地价格	环境质量	道路密度	医疗资源	教育资源
低收入	无小孩	0.442	0.096	0.208	0.152	0.102
	有小孩	0.394	0.082	0.157	0.087	0.281
中低收入	无小孩	0.437	0.095	0.205	0.153	0.109
	无小孩	0.396	0.083	0.157	0.082	0.282
中收入	有小孩	0.174	0.374	0.169	0.191	0.093
	无小孩	0.218	0.273	0.144	0.144	0.221
中高收入	有小孩	0.048	0.522	0.199	0.142	0.090
	无小孩	0.085	0.428	0.173	0.076	0.237
高收入	有小孩	0.055	0.518	0.196	0.141	0.090
	无小孩	0.091	0.425	0.169	0.083	0.231

(3)政府主体的参数确定

引导发展因子数据提取自《北京城市规划规划(2016—2035 年)》,根据北京市城市规划的要求(中国共产党北京市委员会 等,2019),城市集中建设区是未来北京市城市建设项目的主要分布区域,而限制建设区则是根据未来用地的适宜性逐渐转为生态控制区和集中建设区(见图 5-2),不同区域的参数设置如式(5-26);限制发展因子数据提取自北京市 2015 年土地利用数据中水域和交通道路范围,并将其作为禁止演化区。

$$Guid e'_{Gry} = \begin{cases} 1, & \text{集中建设区} \\ 0.7, & \text{限制建设区} \\ 0, & \text{生态控制区} \end{cases} \tag{5-26}$$

5.2.1.2 CA 层的参数确定

(1)土地适宜性分布概率

本研究选择随机森林(Random forests, RF)模型来获取土地适宜性分布概率,相较于统计推断法(如 Logistics 回归等),随机森林模型用于获取用地适宜性分布概率存在以下优势:无须统计假设,允许自变量之间存在共线性;对于过拟合和异常值具有一定的稳健型;能够较好地处理随机特征和随机样本(Breiman,2001)。基于随机森林的适宜性概率的估计主要是由随

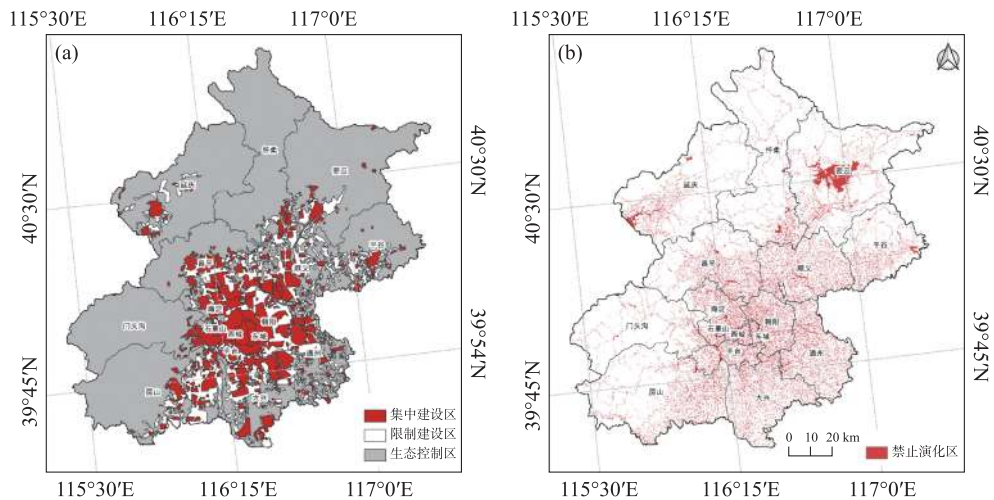


图 5-2 北京市引导发展因子(a)与限制发展因子(b)

数据来源:图(a)数据来源于《北京城市规划规划(2016—2035 年)》

机森林模型中将某一特定利用方式的决策树数量确定(陈凯 等,2015)(式 5-27):

$$P_{\alpha,G_{xy}} = \frac{N_L}{ntree} \tag{5-27}$$

式中, $P_{\alpha,G_{xy}}$ 为 G_{xy} 位置的栅格转换为地类 L 的概率; N_L 为随机森林模型中选择将元胞分类为地类 L 的决策树个数, $ntree$ 为随机森林模型中用于分类的决策树总数。

(2)空间变量

本文以 2015 年北京市城市土地利用分类图作为因变量,并从地形、气候、农业、土壤、交通和区位这五个方面选择了包括 DEM、坡度、农业生产潜力、到高速距离、到各产业分布中心距离等共 29 个空间变量作为自变量,以计算不同地类分布适宜性概率。模型中所使用的空间变量的数据源及预处理方法见表 5-8。

表 5-8 空间变量的数据来源及其与处理

ID	类别	变量	说明	数据来源及预处理
1	气候	Precip	多年平均降水总量	
2		Temp	多年平均气温	
3	地形	DEM	高程(海拔)	获取自 SRTMGL1(NASA 2013)。
4		Geomor	地貌	获取自中国 100 万地貌类型空间分布数据。
5		Slope	坡度	基于 DEM 数据并利用 ArcGIS 的表面分析模块计算得到。
6	农业	AEZ	农业生产潜力数据	获取自中国农田生产潜力数据集。
7	土壤	Sand	土壤中沙质的含量	
8		Clay	土壤中粘质含量	

续表

ID	类别	变量	说明	数据来源及预处理
9	交通	D2HWY	到高速的距离	与最近源之间的距离测算利用 ArcGIS 软件中的距离工具完成;变量中道路数据源获取自 OpenStreetMap。
10		D2NH	到国道的距离	
11		D2Road	到一般道路的距离	
12		D2RWY	到铁路的距离	
13		D2EWY	到快速路的距离	
14		D2PWY	到省道的距离	
15		D2SW	到人行道的距离	
16		D2OWY	到其他道路的距离	
17		D2PTS	到交通站点的距离	
18		D2CR	到县级公路的距离	
19	区位	D2Citycenter	到城市中心的距离	与最近源之间的距离测算利用 ArcGIS 软件中的距离工具完成;不同变量中的数据源主要基于 POI 数据;到产业分布中心的数据主要获取自本文第三章的测算结果。
20		D2Business	到商业设施的距离	
21		D2School	到学校的距离	
22		D2hospital	到医院的距离	
23		D2Accom	到住宿餐饮业分布中心的距离	
24		D2Business	到商务金融业分布中心的距离	
25		D2Ind	到工业分布中心的距离	
26		D2PubServ	到公共服务业分布中心的距离	
27		D2Resid	到城市居住中心的距离	
28		D2Retail	到批发零售业分布中心的距离	
29		D2OtherServ	到其他服务业分布中心的距离	

(3)训练样本集的构建

本研究基于 2015 年遥感解译得到的北京市土地利用数据历史数据对模型进行训练。模型训练样本的确定采用随机分层抽样法:首先,随机提取 8000 个空间样本点,并获取样本点的空间坐标;运用 ArcGIS10.1 的 Sample 工具读取这些样本点对应空间变量及其土地利用类型值,得到原始训练集。

(4)模型训练与参数校准

ntree 和 *mtry* 是影响随机森林模型精度的关键参数,其中,*ntree* 为随机森林中所包含的决策树数目,而 *mtry* 是决策树的节点值,即用于确定模型迭代过程中抽取的变量个数。为了确定参数设定的有效性,模型中首先选择默认的决策树个数(*ntree*=500),然后测试不同变量个数对模型精度的影响,然后使用精度最高时的决策树的节点数目,在此基础上,测试决策树数量对精度的影响。

测试结果显示,随着预测变量数的增加,分类精度总体快速上升后又逐渐下降的趋势(图 5-3A)。当 *mtry*=1 时分类精度仅为 74.09%,随着 *mtry* 的个数增加精度逐渐提高,当

$mtry=7$ 时,精度最高,为 75.65%。因此,本研究将参数 $mtry$ 设定为 7。接下来,研究将变量个数($mtry$)设置为 7 后,测试当决策树的数量($ntree$)以 50 为间隔,从 0 逐渐增加至 1000 后模型精度的变化。从结果上,随着决策树数量逐渐增加,模型精度会逐渐增加并在 $ntree=100$ 后趋近 75.65%,且保持稳定。考虑到模型运行效率,本研究将 $ntree$ 设定为 500。

从变量的重要性上看(图 5-3b),地形(坡度、高程和地貌)以及气温因素对北京市土地利用分布最为重要。在区位因素上,到商务金融业、零售批发业和公共服务业分布中心对预测精度的影响最大;在交通通达性因素上,到其他道路、一般道路、公共交通站点和人行道的距离等变量也具有较重要影响。

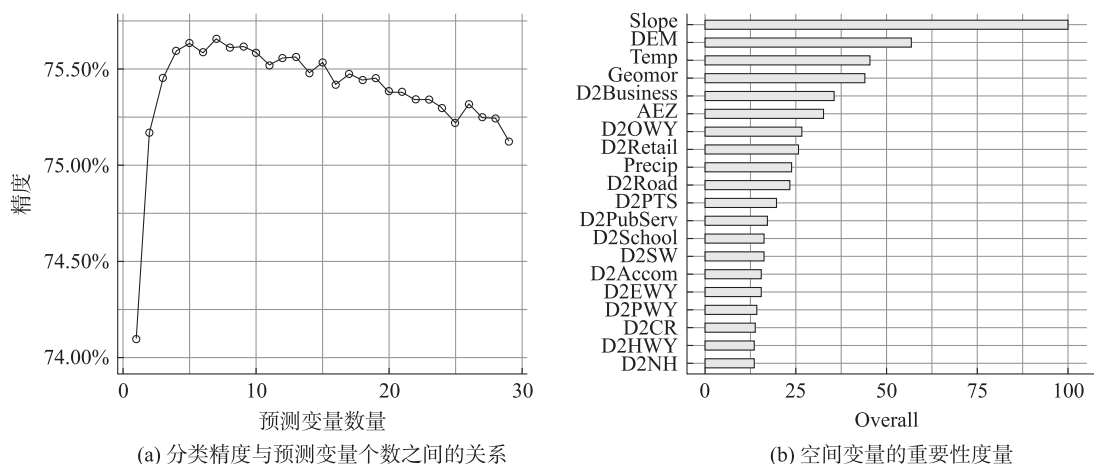


图 5-3 模型训练与参数校准

5.2.2 模型实现

假设企业用地一个企业主体,居住用地可以分配多个居民主体;模型中主体的数目主要依据是系统动力学模型测算的不同时期土地利用需求。为了提高模型运行效率,模型中模拟的土地利用变化分辨率为 100m,并将 2015 年的土地利用数据重采样为相同分辨率。模型使用 Python 语言,利用 pandas,random,scipy,spatial 和 numpy 包完成构建,实现具体可概括为以下几个步骤(图 5-4)。

(1)根据 SD 模型测算的土地利用需求量确定企业和居住主体的数量,然后运用蒙特卡罗方法按比例在空间上生成模型所需的主体。

(2)每次迭代过程中:

第一步,对新增居住主体分配居民属性(如有无小孩和经济收入等),在此基础上,更新居住主体的收入排名、收入组别等属性。

第二步,读取环境图层中的变量信息,计算居住主体与企业主体在空间上的位置效用。

第三步,对于企业主体,读取 t 时北京市与雄安新区两地在人口和 GDP,并测算企业主体的迁移压力和迁移意愿;对于居住主体计算其迁居压力。

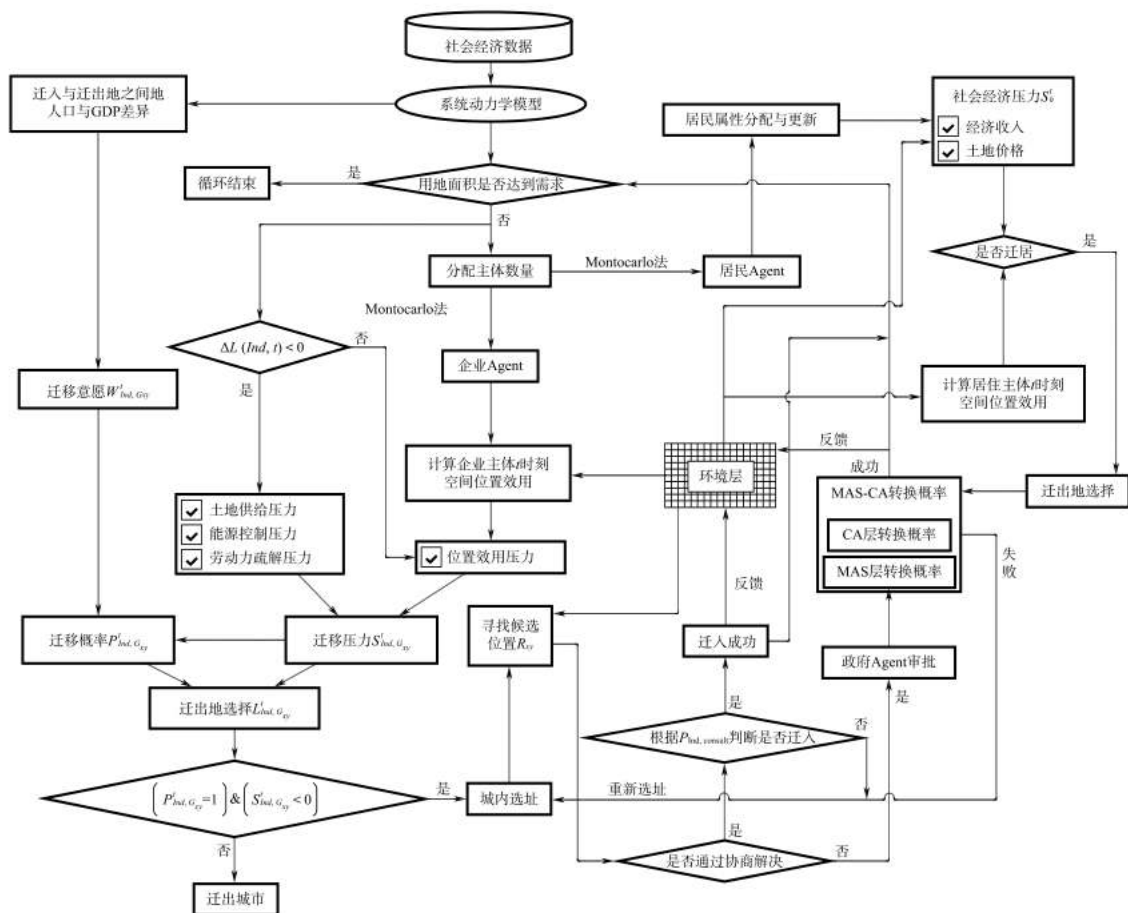


图 5-4 基于 MAS-CA 土地利用变化模型流程图

第四步,计算企业和居住主体的迁移概率;对于企业主体,依据 t 与 $t-1$ 时刻对应企业用地的需求确定是否迁出城市,并为需要在城市内部选址的企业主体寻找迁移的候选位置;同时根据居住主体的收入组别及其对应的视域范围,寻找迁居的候选位置。

第五步,读取候选位置的 $t-1$ 时地类属性,计算协商概率或向政府提交用地申请;统计空间位置上企业和居民主体提交用地申请的次数,并计算政府通过用地申请的概率;

第六步:根据 MAS-CA 图层的综合转换概率,完成本次迭代内的用地分配;

第七步:统计本次迭代内用地分配是否达到 SD 模型中的用地需求目标;若未达到需求,则返回第一步继续进行用地分配的迭代中;若达到用地需求,则退出本次循环。

5.3 精度评估与误差分析

5.3.1 精度评估

研究根据模型设定的运行参数模型模拟北京市土地利用变化,以 2015 年北京市土地利用

为基础模拟 2018 年的土地利用变化,并利用解译得到的 2008 年土地利用分布进行精度评估。本文采用逐点对比法(pixel-to-pixel comparison),该方法是将模拟结果与实际分布进行叠加后逐点对比计算其精度(表 5-9)。

表 5-9 2018 年北京市土地利用变化模拟预测精度验证表

		2018 年模拟土地利用分布													合计
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2018 年 实际 土地 利用 分布	1	228740	43878	31659	0	93	1185	2793	0	8	3	21	74	8398	316852
	2	32607	610818	43773	0	5	2535	5743	0	1	0	54	249	23243	719028
	3	20487	54660	90738	0	12	1403	1366	0	5	3	11	34	4005	172724
	4	0	0	0	33054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33054
	5	1776	592	264	0	15903	53	223	0	16	22	21	28	205	19103
	6	3898	997	542	0	0	29723	51	0	227	71	4	18	838	36369
	7	15159	3488	1982	0	0	12	33963	1	0	0	2	11	1073	55691
	8	0	0	0	0	0	0	0	125689	0	0	0	0	0	125689
	9	386	175	105	0	211	176	103	0	1639	86	27	42	193	3143
	10	190	70	51	0	0	127	4	0	51	947	7	28	90	1565
	11	6	17	65	0	20	29	1	0	5	17	2249	0	2	2411
	12	131	55	23	0	52	70	42	0	47	99	1	3806	8	4334
	13	13483	4390	3555	0	2807	1056	11365	0	1144	317	13	42	113103	151275
合计		316863	719140	172757	33054	19103	36369	55654	125690	3143	1565	2410	4332	151158	3024266

从总体精度评估结果上看,2018 年模拟总体精度为 78.62%,Kappa 系数为 0.712,这说明基于 MAS-CA 的土地利用变化模拟模型的精度是可以接受的。分地类的模拟精度上看,工业用地、城市居住用地、商务金融用地和其他商服用地的模拟精度较高,Kappa 系数分别为 0.831、0.813、0.933 和 0.878;而草地和批发零售用地的模拟精度偏低,Kappa 系数分别为 0.470 和 0.521。研究进一步对比了包括延庆区中心附近、城区北部主要居住区(回龙观和天通苑)、中心城区的四环范围内、首都国际机场及周边区域以及密云区中心附近共五个局部模拟结果(图 5-4)。结果显示,模型对城市居住用地的变化模拟表现较高;在中心城区内部和密云区中心附近看,模型能够模拟出批发零售用地和住宿餐饮用地在 2015—2018 年期间发生的用地腾退和外迁现象,但是对腾退和外迁的规模上预测表现较弱。

5.3.2 误差分析

从上述精度验证的结果上看,本文模拟的土地利用空间格局与土地利用的实际分布存在一定的误差。这可能来源于以下三个方面。

(1)模型的基本假设

本模型的构建主要基于产业疏解的背景下,城市内部企业、居民主体通过感知土地、能源、劳动力等疏解压力,作出如迁出城市、内部选址等决策行为,并通过政府主体以及综合决策规

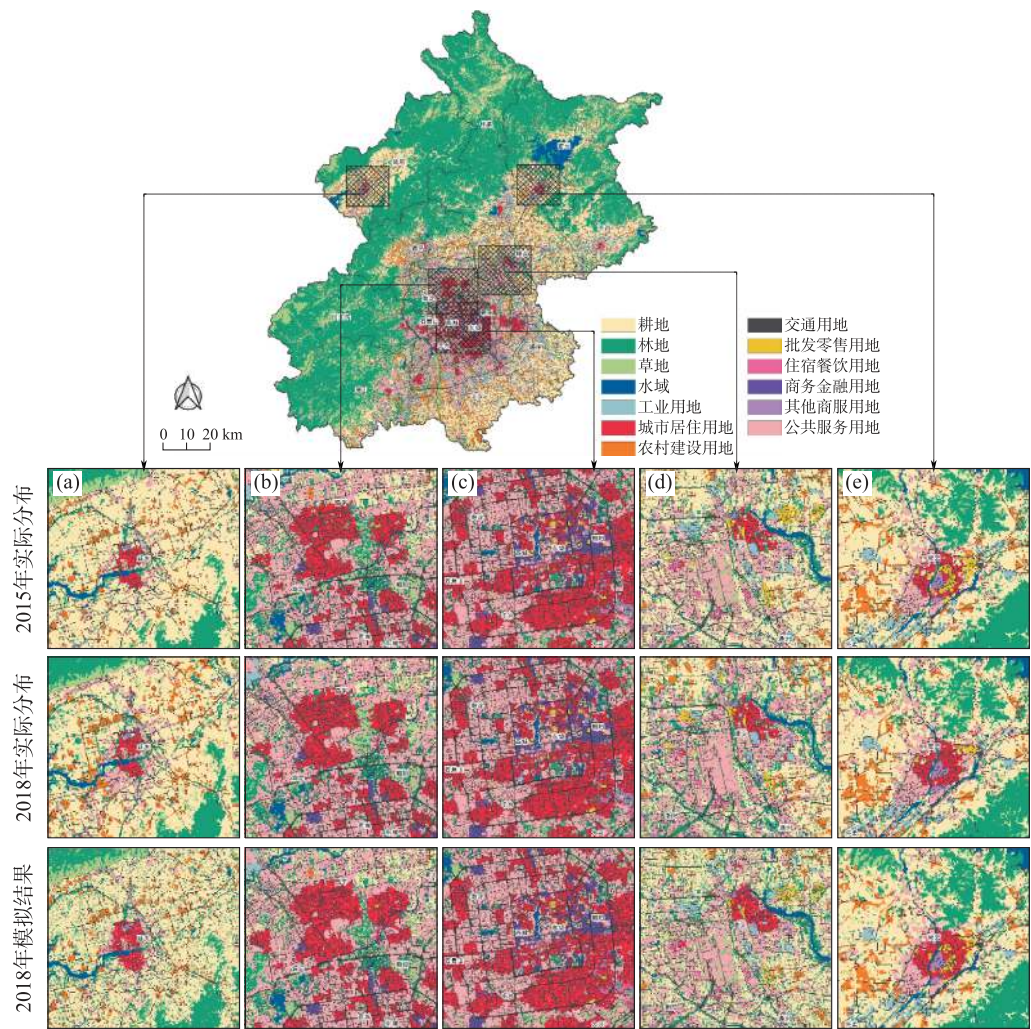


图 5-5 北京市土地利用实际情况与模拟结果对比图

(a)延庆区中心附近;(b)北部主要居住区(回龙观和天通苑);(c)中心城区的四环内;
(d)首都国际机场及周边区域;(e)密云区中心附近

则间接地影响城市土地利用空间格局。然而现实中,影响城市土地利用变化的主体类别多元的、且在决策规则上具有一定的复杂性和随机性。例如,不同规模、属性的企业主体受到的其市场、成本、技术、资源约束不同,导致其在进行位置决策时的所考虑和偏好的区位存一定的差异。

(2)驱动因素的选择

本模型中驱动因素的选择需要兼顾变量的代表性和数据的可获取性两个方面,但实际上,土地利用变化的驱动力包含社会经济、自然环境以及政策制度等多方面。例如,模型中企业主体选择地块时,不同的土地利用强度(容积率和建筑密度等)会影响企业主体支付土地价格的高低;不同家庭结构的居民主体在进行居住地的选择上兼顾考虑多个就业地点的通勤距离并

作出决策。目前,模型中对上述因素,如地块的土地利用强度限制、企业主体选择地块的容积率需求、居民主体的家庭结构与通勤距离等,都是土地利用变化的重要驱动因素。但是,考虑到数据的可获取性,模型的设计中未考虑上述因素。

(3) 决策行为的参数确定

模型中主体行为的决策参数主要基于 AHP 与熵值法结合的方法确定。该方法虽能综合主观赋权法和客观赋权法的优势,但仅能够反映不同主体在进行决策判断时对驱动因素的相对偏好大小,但是与真实世界中对决策参数的偏差同样会影响模拟精度。

5.4 本章小结

本章通过对城市主体进行适当地简化,选择与产业疏解政策相关的企业主体、居民主体和政府主体作为研究对象,建立其决策行为规则;其次,引入 CA 模型考虑地理环境因素对地类分布影响;最后,综合 MAS 层和 CA 层建立综合决策规则。所构建的模型模拟精度达到 78.1%。从空间形态看,模拟结果与城市土地利用的实际分布较接近,可以一定程度上反映产业疏解对土地利用空间格局的影响和规律,并为后续章节中预测不同产业疏解情景下的土地利用空间变化提供基础支撑。

第6章 雄安新区建设对北京市人口及土地利用的影响

“以业带人”作为疏解北京非首都功能、调控人口规模的核心思路,其有效性与具体影响路径是本研究旨在回答的关键科学问题。雄安新区的设立,不仅为这一思路的实践提供了国家级的战略承载地,更构成了一次深刻影响北京未来发展轨迹的“政策冲击”。为科学、定量地评估此次政策冲击的长期效应,本章将紧密衔接前序章节所构建的理论框架与模型工具。首先,基于第四章构建的包含经济、能源、就业等多重目标的产业结构优化模型,结合北京市的城市发展战略,设计和测算在不同政策偏好下的产业疏解情景,明确待疏解行业的类型与规模,这是后续所有模拟分析的“输入变量”和逻辑起点。其次,将这些情景参数分别代入第四章建立的跨区域系统动力学(SD)模型和第五章构建的多主体-元胞自动机(MAS-CA)耦合模型中。通过SD模型,本章将动态预测在不同产业疏解力度下,北京与雄安两个耦合系统内部的人口规模、劳动力流动和社会经济指标的演变趋势,重点揭示土地利用在“数量”层面的需求变化;通过MAS-CA模型,本章将进一步模拟这些土地利用需求在“空间”层面的具体落位与格局重构。最终,通过对多情景模拟结果的系统性对比与深度剖析,本章旨在揭示雄安新区建设对北京市人口调控和土地利用优化的综合影响、内在机制与空间效应,为首都的可持续发展与京津冀区域协同治理提供具有前瞻性的科学决策依据。

6.1 北京市产业结构多目标优化与疏解情景设定

6.1.1 多目标优化模型

经济增长、充分就业、能源和碳排放控制之间存在相互制约和依存的关系,假定该依存关系在研究时段内保持不变,本文将基于北京市2012年42个行业之间的投入产出模型,构建了考虑经济、能源、碳排放和就业的非线性多目标的产业结构优化模型。产业结构优化的目标函数和约束条件如下:

6.1.1.1 目标函数

(1) 经济增长目标

经济新常态背景下,保持经济平稳运行和发展是产业结构优化的重要目标之一。本研究将目标期的GDP与基期GDP之比最大确定为产业优化目标之一。考虑到投入产出模型中存在的行业初始投入、增加值与总投入之间、行业总投入与总产出之间的数学平衡关系(式6-1),因

此,研究中各行业地区生产总值(GDP_j)最大化的目标转为对规划期各行业总产出的最大化(式 6-2)。

$$X_j = GDP_j + \sum_{i=1}^n x_{ij} = X_i \quad (6-1)$$

$$Max f_1 = \frac{\sum_{j=1}^n GDP_j^t}{\sum_{j=1}^n GDP_j^s} = \frac{\alpha^T (I - A_c) X^t}{\alpha^T (I - A_c) X^s} \quad (6-2)$$

式中, GDP_j^t 和 GDP_j^s 分别为目标期(t)和基期(s)时产业 i 的增加值; X^t 和 X^s 分别为 n 个产业在目标期(t)和基期(s)时的总产出列向量; α^T 为元素为 1 的 $1 \times n$ 行向量,即列向量的求和算子; I 为 $n \times n$ 的单位矩阵; $I - A_c$ 是初始投入系数矩阵(式 6-3); A_c 是直接消耗系数矩阵 A 第 j 列元素的总和(式 6-4),代表着 j 部门单位产品对所有物质产品的总消耗量。

$$I - A_c = \begin{bmatrix} 1 - \sum_{i=1}^{42} a_{i1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 - \sum_{i=1}^{42} a_{i2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 - \sum_{i=1}^{42} a_{ij} \end{bmatrix} \quad (6-3)$$

$$A = \frac{x_{ij}}{X_j} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix} \quad (6-4)$$

(2) 充分就业目标

充分就业是民生安全的重要保障。考虑到不同产业在吸纳劳动力方面的差异,优化和升级现有产业结构,促进劳动力更充分地就业,从而降低失业率是产业政策调控的重要目标之一。研究假定行业 i 在目标期与基期内劳动生产率 LP_i 保持不变(式 6-5):

$$LP_i = \frac{GDP_i^t}{Labor_i^t} = \frac{GDP_i^s}{Labor_i^s} \quad (6-5)$$

式中, GDP_i^t 和 GDP_i^s 分别表示目标期(t)和基期(s)时产业 i 的增加值, $Labor_i^t$ 和 $Labor_i^s$ 为产业 i 的在不同时期的从业人数。结合 GDP 与总产出之间的平衡关系(式 6-6),目标期(t)时产业需吸纳劳动力总人数为:

$$\begin{aligned} Labor^t &= \sum_{i=1}^n Labor_i^t = \sum_{i=1}^n \frac{GDP_i^t}{LP_i} \\ &= \alpha^T \cdot LP^{-1} \cdot (I - A_c) X^t \end{aligned} \quad (6-6)$$

式中, LP^{-1} 各个部门劳动生产率倒数的对角矩阵,表征了各个产业单位增加值所需要的劳动力。结合 PADIS-INT 模型所预测目标年劳动力的供给总量(L_t),研究将目标年失业率最小化表征充分就业的目标函数(式 6-7)。

$$Min f_2 = 1 - \frac{Labor^t}{L_t} \quad (6-7)$$

(3) 劳动力疏解目标

产业结构调整是缓解北京市日益增长人口的重要手段。利用不同部门的劳动消耗量以及产业间的就业关联,构建劳动投入产出模型;各个行业单位产值变化对直接和关联就业影响测算规划期产业结构调整对劳动力疏解的影响(式 6-8):

$$LC_i = \begin{cases} (X_i^t - X_i^s) \times (t_i + T_i), & X_i^t \leq X_i^s \\ 0, & X_i^t \geq X_i^s \end{cases} \quad (6-8)$$

式中, LC_i 表示行业 i 劳动力疏解量, t_i 为行业 i 的活劳动转换系数, 表示单位总产出下降对该行业就业的影响量; T_i 为行业 i 的完全劳动转换系数, 表示单位总产出下降对关联产业就业人数的影响量;

根据人口疏解的需求, 将人口疏解的目标定为, 规划内由于总产出下降而引起的就业人口下降最大(式 6-9):

$$\text{Max } f_3 = \sum_{n=1}^n LC_i \quad (6-9)$$

(4) 能源消耗控制目标

城市发展离不开对资源能源利用, 然而资源能源利用与气候变化、生态环境和城市经济发展之间却存在互为因果和相互制约的内在联系。合理的城市产业结构应在推动经济增长、保障充分就业的同时控制能源消耗总量, 从而实现社会经济的绿色发展。研究假定目标期内行业 i 单位产值消耗不同能源品种的结构以及能源总量保持不变(式 6-10):

$$EC_i = \frac{Energy_i^t}{GDP_i^t} = \frac{Energy_i^s}{GDP_i^s} \quad (6-10)$$

式中, EC_i 表示行业 i 单位 GDP 所消耗的能源总量; $Energy_i^t$ 和 $Energy_i^s$ 表示目标期(t)和基期(s)时行业 i 所能源消耗总量; 目标年地区 n 个行业的能源消耗总量 $Energy^t$ 则为(式 6-11):

$$\begin{aligned} Energy^t &= \sum_{i=1}^n Energy_i^t = \sum_{i=1}^n EC_i \times GDP_i^t \\ &= \alpha^T \cdot EC \cdot (I - A_c) \cdot X^t \end{aligned} \quad (6-11)$$

式中, EC 是以各行业单位增加值能源消耗总量为元素构成的对角矩阵; $(I - A_c) \cdot X^t$ 是各个行业增加值的列向量。设, 在从基期到目标年的 n 年内, 目标年地区能源消耗总量($Energy^t$)相较于基期而言年均增速为 θ_e (式 6-12):

$$Energy^t = Energy^s (1 + \theta_e)^n \quad (6-12)$$

研究中将能源消耗控制的目标函数设为地区能源消耗总量的年平均增速(θ_e)最小(式 6-13):

$$\text{Min } f_4 = \sqrt[n]{\frac{Energy^t}{Energy^s}} - 1 \quad (6-13)$$

(5) 二氧化碳排放总量

研究假定目标期内行业 i 单位产值碳排放量保持不变(式 6-14):

$$CM_i = \frac{Carbon_i^t}{GDP_i^t} = \frac{Carbon_i^s}{GDP_i^s} \quad (6-14)$$

式中, CM_i 表示行业 i 单位 GDP 所排放的二氧化碳总量; $Carbon_i^t$ 和 $Carbon_i^s$ 表示目标期(t)和

基期(s)时行业 i 所碳排放总量;利用式(6-15),目标年地区 n 个行业的碳排放总量 $Carbon^t$ 则为:

$$\begin{aligned} Carbon^t &= \sum_{i=1}^n Carbon_i^t = \sum_{i=1}^n CM_i \times GDP_i^t \\ &= \alpha^T \cdot CM \cdot (I - A_c) \cdot X^t \end{aligned} \quad (6-15)$$

设,在从基期到目标年的 n 年内,目标年地区碳排放总量($Carbon^t$)相较于基期而言年均增速为 θ_c (式 6-16):

$$Carbon^t = Carbon^s (1 + \theta_c)^n \quad (6-16)$$

研究中将减排的目标函数设为地区碳排放总量的年平均增速(θ_c)最小化(式 6-17):

$$Min f_5 = \sqrt[n]{\frac{Carbon^t}{Carbon^s}} - 1 \quad (6-17)$$

6.1.1.2 约束条件

(1) 投入产出平衡约束

为了保证地区经济各部门之间的产品有市场需求,因此,目标年的最终需求与总产出之间需要满足如下关系(式 6-18):

$$(I - A)X^t \geq Y_H^t + Y_F^t + Y_C^t + Y_{EX}^t \quad (6-18)$$

式中, Y_H^t 、 Y_F^t 、 Y_C^t 和 Y_{EX}^t 分别由目标年各行业居民消费、政府消费、固定资本形成额和净出口为元素构成的列向量,而 $Y_H^t + Y_F^t + Y_C^t + Y_{EX}^t$ 代表了各行业最终使用合计的列向量。

(2) 资本产出约束

行业的资本产出比代表着单位产出所需投入的资本量,低的资本产出比意味着可以用相对少的资本获得相对多的产出,随着技术的进步和创新,等量的资本会带来更大的产出(式 6-19):

$$K^t \leq \beta X^t \quad (6-19)$$

式中, K^t 是以各行业在 t 时刻的资本存量为元素构成的列向量; β 是以基期各产业资本产出比的列向量。

(3) 消费需求约束

考虑到地区储蓄率(S')的存在,目标年最终消费总量应小于用于投资的总产出(式 6-20):

$$\alpha^T (Y_H^t + Y_F^t) \leq (1 - S') (\alpha^T (I - A) X^t) \quad (6-20)$$

式中, S' 是目标年地区的人均储蓄率, $Y_H^t + Y_F^t$ 是以各行业最终消费为元素的列向量。

(4) 资本形成约束

$$\alpha^T Y_C^t \leq (S' + S f^t) (\alpha^T (I - A) X^t) \quad (6-21)$$

式中, $S f^t$ 是目标年地区的外国直接投资净流入占 GDP 的百分比, Y_C^t 是以各行业目标年固定资本形成额为元素的列向量。

(5) 净出口约束

$$-(\alpha^T Y_{EX}^t) \leq S f^t (\alpha^T (I - A) X^t) \quad (6-22)$$

式中, $S f^t$ 是目标年地区的外国直接投资净流入占 GDP 的百分比, Y_{EX}^t 是以各行业目标年净出口为元素的列向量。

(6) 行业总产出非负约束

$$X_i^t \geq 0 \quad (6-23)$$

(7) 产业结构变动幅度约束

各行业目标期产业结构的变动不超过基期的 $\pm 50\%$ 。

$$\left| \frac{\frac{GDP_i^t - GDP_i^s}{GDP^t - GDP^s}}{\frac{GDP_i^s}{GDP^s}} \right| \leq 0.5 \quad (6-24)$$

(8) GDP 增速约束

地区 GDP 的年增速保持在 $4.5\% \sim 8.5\%$ 之间。

$$4.5\% \leq \sqrt[n]{\frac{\alpha^T(I-A_c)X^t}{\alpha^T(I-A_c)X^s}} - 1 \leq 10\% \quad (6-25)$$

(9) 二氧化碳排放和能源消耗强度约束

地区二氧化碳排放和能源消耗的强度低于现状(式 6-26)。

$$\frac{\frac{Carbon^t}{GDP^t}}{\frac{Carbon^s}{GDP^s}} \leq 1; \frac{\frac{Energy^t}{GDP^t}}{\frac{Energy^s}{GDP^s}} \leq 1 \quad (6-26)$$

6.1.2 情景设定

根据经济增长、充分就业、劳动力疏解和能源及碳排放控制之间的相对重要程度设定了三种模拟的情景方案,即中性增长情景、就业偏向情景和能源控制情景,并采用遗传算法对不同情景的产业结构进行求解。情景设计的具体方案如下。

(1) 中性增长情景,即认为未来北京市经济增长、就业(实现充分就业和劳动力疏解)、能源(控制能源消耗和碳减排)属同等重要程度。因此,将经济增长、就业和能源约束取相同的权重。

(2) 就业偏向情景,即满足充分就业和劳动力疏解最大化的同时实现经济增长,而对能源消耗及碳排放总量的控制减弱。因此,目标函数中将经济增长、就业取相同的权重值,而能源的权重值为 0。

(3) 能源控制情景,即未来在控制能源消耗和碳排放总量的同时下实现经济增长,而不对充分就业和劳动力疏解进行调控。因此,目标函数中将经济增长、能源控制取相同的权重值,而对就业的权重值设定为 0。

6.1.3 产业疏解情景

利用遗传算法分别对就业偏向方案、能源控制方案和中性增长方案三个不同情景下的产业结构进行计算。从不同行业产值结构的平均变化幅度来看(图 6-1),模型清晰地识别出了未来需要“疏解”和“提升”的两类行业。需要大力度疏解的行业主要集中在传统服务业、部分公

用事业和资源密集型产业,包括:批发和零售业、住宿和餐饮业、房地产业、农林牧渔业、电力热力的生产和供应业、租赁和商务服务业、建筑业和制造业等。其中,批发和零售业与住宿和餐饮业的疏解幅度最为显著,其产值比重相较于 2012 年基期,平均将下降至 45.63% 和 38.56%。这与这些行业单位产值吸纳劳动力极多、土地利用效率相对较低、且与首都核心功能关联度较弱的特征高度吻合。与之相对,需要大力提升和发展的行业则集中于知识密集型和技术密集型的高端服务业,主要包括:信息传输、软件和信息技术服务业、公共管理、社会保障和社会组织、居民服务、修理和其他服务业、卫生和社会工作、科学研究和技术服务业、金融业等。这些行业代表了首都“四个中心”功能定位的核心方向,其产值比重的平均增幅普遍在 25% 至 36% 之间,显示出强大的发展潜力。

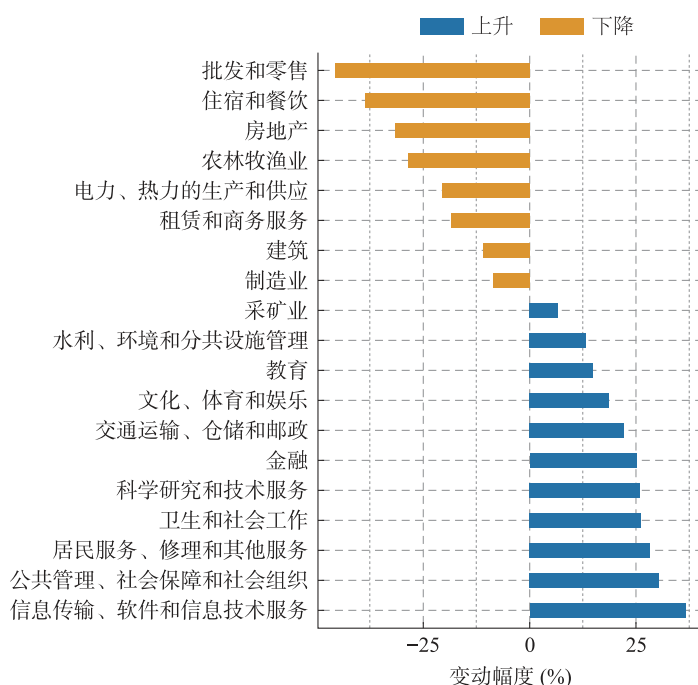


图 6-1 不同产业疏解情景下产业结构变动幅度

对比不同的优化结果可以看出,就业偏向情景与中性增长情景的结果大体相似(图 6-2),但在疏解租赁和商务服务业方面力度更大,同时对建筑业的疏解则相对缓和。这反映出租赁和商务服务业虽然看似“高端”,但其内部包含了大量劳动密集的环节,疏解它能有效带动劳动力迁出;而建筑业作为吸纳大量农民工就业的“蓄水池”,过度疏解可能引发就业冲击。能源控制情景则呈现出截然不同的特征:它对制造业和建筑业这两个典型的高能耗行业要求了最大幅度的疏解,而对租赁和商务服务业的疏解力度则明显减弱。这说明,从绿色发展的角度看,控制第二产业的规模是降低能耗和碳排放的关键路径。这些差异清晰地表明,不存在唯一的“最优”疏解路径,任何政策选择都必须在多元目标之间进行审慎的权衡与取舍。

从三次产业的宏观结构演变来看,三种情景均指向同一个趋势:相较于 2012 年,至 2035

年北京市的第一、二产业比重将持续下降,而第三产业比重将显著上升,进一步巩固其作为服务经济主导的城市地位。其中,能源控制情景对第二产业的压缩最为明显,而就业偏向情景则对第一产业的疏解力度最大,这再次印证了不同政策目标对产业结构调整路径的差异化影响。

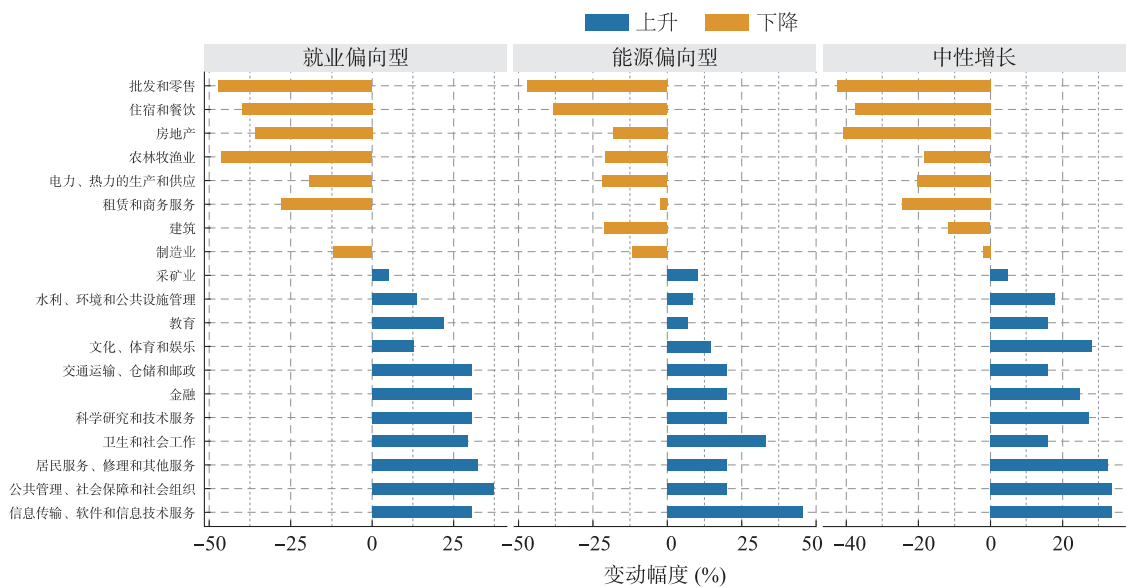


图 6-2 不同情景方案下产业结构变动幅度

从三次产业比重变化上看,在中性增长/就业偏向/能源控制情景模拟的结果中,相较于 2012 年三产的比重,2035 年北京市第一、二产业的比重将有所下降,而第三产业比重将上升,说明第三产业在带动北京经济增长、促进充分就业和控制能源消耗具有重要作用。不同方案之间,就业偏向和能源控制情景的主要差异在第一、二产业的比重变化上;在就业偏向情景中,第一产业比重比 2012 年下降了 0.39 个百分点,占 2012 年第一产业比重的 39%。在能源控制型方案中,第二产业比重大幅下降,结合对该方案能源方面的指标统计结果可以看出,控制第二产业(包括工业和一般性制造业等),对于改善城市发展与资源环境利用关系十分关键。

6.2 不同产业疏解情景下雄安新区发展预估

(1)地区生产总值

从模拟结果上看,雄安新区的建设对自身经济产出和人口规模的影响巨大。预计到 2035 年,不同产业疏解情景下新区的地区生产总值将达到 1.1 万~1.3 万亿,经济年化复合增长率约为 10.93%~11.52%,相较于常规情景 GDP 的年化复合增长率提高了约 4.42%。

表 6-1 不同产业疏解情景下雄安新区主要社会经济指标

主要宏观经济指标	单位	2018 年	2035 年 (常规情景)	2035 年 (中性增长)	2035 年 (就业偏向)	2035 年 (能源控制)
GDP 增长率 *	%	—	6.87	11.44	11.52	10.93
—基础建设期(2018—2022 年)	%	—	4.72	7.51	7.59	7.16
—高速发展期(2023—2029 年)	%	—	8.06	13.16	13.26	12.59
—持续增长期(2030—2035 年)	%	—	7.83	13.65	13.71	13.04
常住人口规模	万人	112.00	144.60	586.00	591.90	512.30
常住人口增速 *	%	—	1.01	5.60	5.68	5.10
—高速增长期(2018—2027 年)	%	—	0.95	4.97	5.05	4.49
—稳定增长期(2028—2035 年)	%	—	1.09	6.36	6.42	5.82
资本存量	万元	877.30	11,110.00	48,040.00	48,660.00	41,330.00
劳动力	万人	61.55	79.91	306.90	310.30	269.50

* 注:该增速为对应研究时段内的年复合增长率的平均值。

1) 基础建设期(2018—2022 年)

该阶段 GDP 增长主要依赖大规模的基础建设投资,预计到 2023 年雄安新区的 GDP 规模将达到 2000 亿元左右。期间 GDP 的年化复合增长率保持在 7.16%~7.59%,且该指标相较于常规情景增加幅度较小(不超过 3%),说明该时期雄安新区建设对带动经济发展的作用较弱。此外,对比不同产业疏解情景,该阶段的 GDP 在增速和规模方面均相差不大。

2) 高速发展期(2023—2029 年)

模拟结果显示,雄安新区的 GDP 将在该阶段经历一个经济高速发展期。该阶段具备两个特征:一是,GDP 增速从基础建设期的 5%增加至 13%左右,说明整体经济增速明显加快;二是,产业疏解情景下的 GDP 增速(12.59%~13.26%)明显快于常规情景(8.06%),说明雄安新区通过产业和劳动力的迁入带动区域经济发展的成效初步显现。经历该阶段后,雄安新区的 GDP 将在 2029 年达到 0.54 万~0.62 万亿元。

3) 持续增长期(2030—2035 年)

GDP 在该阶段仍然与上一阶段保持了相对一致的增长态势(年化复合增长率维持在 13%左右)。然而,不同产业疏解情景对 GDP 增速的影响逐渐显现,其中,中性增长型情景与就业偏向情景 GDP 增速保持在 13.65%~13.71%之间,并且预计 GDP 总量在 2035 年左右达到 1.3 万亿元左右,然而,能源控制情景的 GDP 增速则保持在 13.04%,且 2035 年的 GDP 规模仅为 1.1 万亿元,远低于其他产业疏解方案。

(2) 人口规模

雄安新区 2018 年的常住人口约为 112 万人。从不同产业疏解情景下的模拟结果上看,预计到 2035 年雄安新区的人口规模将达到 512 万~591 万人,远超于常规情景下的同期规模(144.60 万人)。从 2018—2035 年人口的变化趋势上,雄安新区的人口规模增长较快,常住人口的年化复合增长率保持在 5.10%~5.68%。从人口规模的增速上看,雄安新区人口大致可以划分为两个阶段:高速增长期和稳定增长期,具体特征如下。

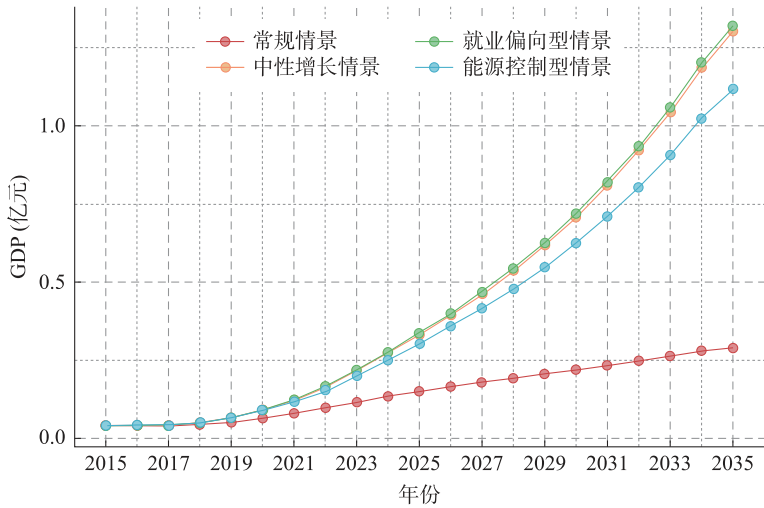


图 6-3 不同产业疏解情景下雄安新区 GDP 变化趋势

1)高速增长期(2018—2027 年)

该阶段人口年化复合增长率增加至 5.10%~5.68%。由此可得雄安 2027 年三县人口预计可达到 290 万~330 万人。

2)稳定增长期(2027—2035 年)

根据雄安新区规划,需在 2035 年基本建成绿色低碳、信息智能、宜居宜业、具有较强竞争力和影响力、人与自然和谐共生的高水平社会主义现代化城市。在高速增长期后,雄安新区的已经具备一定的发展,因此,可以依赖自身经济规模进一步大规模吸引人才和企业,并进一步促使人口的快速增长。该阶段不同产业疏解情景下的人口年化复合增长率相对于常规情景的 1.09%,增加至 5.82%~6.42%,且人口增速的年际波动较小。我们模拟结果可计算得到 2035 年雄安新区预计将达到 512 万~592 万人。

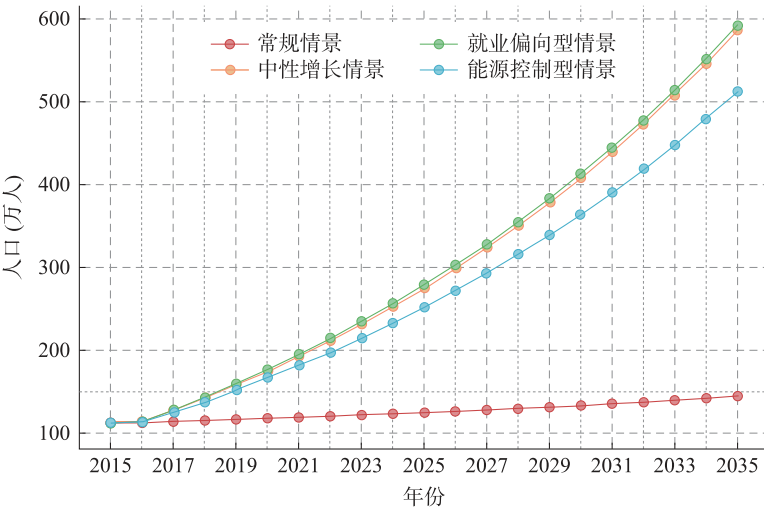


图 6-4 不同产业疏解情景下雄安新区常住人口变化趋势

6.3 不同产业疏解情景下北京市人口及社会经济指标的变化

6.3.1 北京市人口规模的变化

(1) 人口规模的总体趋势

北京市在 2018 年的人口规模为 2154 万人,结合 PADIS-INT 模型和系统动力学模型的模拟结果,在不进行产业疏解的常规情景下,北京市未来人口规模将持续增加并于 2023 年左右提前达到 2300 万的人口上限(图 6-5),平均年化复合增长率保持在 0.83%。相对于常规情景,3 个产业疏解情景均不同程度地抑制了人口持续增长的趋势。预计到 2035 年,能源控制情景下人口规模将基本维持 2018 年的现状规模,平均年化复合增长率为 0.13%;在中性增长情景和就业偏向情景下人口规模相较于 2018 年略有下降,平均年化复合增长率分别为 -0.02% 和 -0.04%。

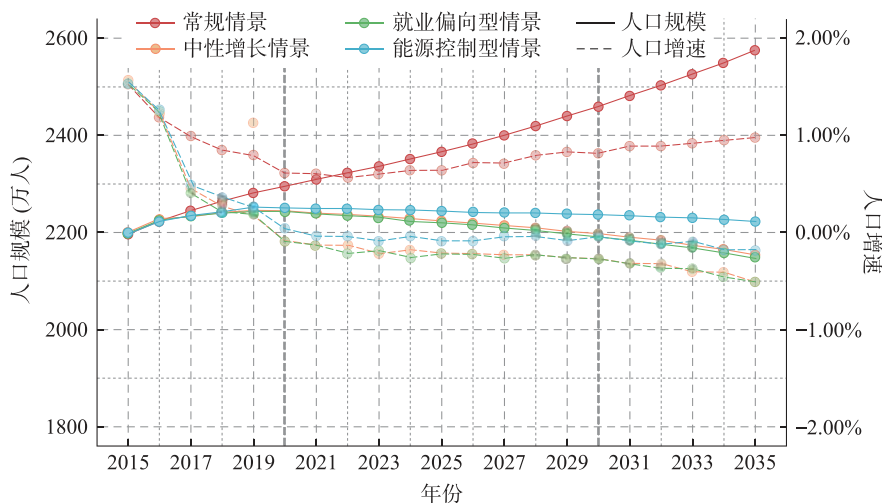


图 6-5 不同产业疏解情景下北京市常住人口变化趋势

从时间趋势上看,未来北京市人口规模与增速将具有一定的阶段性特征,具体可划分为:2018—2020 年的增速减缓期、2021—2030 年的微负增长期和 2031—2035 年的持续减少期(表 6-2)。不同时段内人口趋势的主要特征如下:

1) 增速减缓期(2018—2020 年)

该阶段处于雄安新区建设的起步阶段,“以业带人”的效果整体甚微。从模拟结果上看,该阶段内北京市人口规模从 2018 年的 2154 万人增加至 2020 年的 2250 万人左右,仍呈现微幅增长的趋势。对比不同产业疏解情景的模拟结果看,中性增长和就业偏向产业疏解情景对于减缓人口增长趋势的作用略优于能源控制情景,但不同情景之间的差异较小。

2) 微负增长期(2021—2030 年)

该阶段内人口规模呈现持续地负增长趋势,但下降幅度及其年际间波动较小。模拟结果显示,该阶段内中性增长和就业偏向情景下趋势相近,年增长率分别为 -0.21% ~ -0.23% ,预计到2030年上述两种产业疏解方案下的人口总量将减少至2191万~2197万人,接近2018年的人口总量;相较而言,能源控制情景的人口下降速率较小,年增长率仅为 -0.06% ,预计到2030年该情境下人口规模将减少至2237万人。

3) 持续减少期(2031—2035 年)

该阶段内北京市人口规模仍维持在负增长水平,但相较于前一阶段人口下降速率明显加快。模拟结果显示,中性增长和就业偏向的产业疏解情景下的人口将进一步回落至2018年水平,总量分别为2154万和2147万人,两种迁移方案的年均增长率保持在 -0.37% 左右;而在能源控制情景下,人口规模预计将降下至2222万人。总体来看,在雄安新区建设的背景下,北京市通过实施一定的产业结构优化和产业疏解方案等调控措施,人口规模均可以调控在2300万人以内,达到2035年的人口规划上限。

表 6-2 2018—2035 年北京市人口规模与增速

主要指标	常规情景	中性增长情景	就业偏向情景	能源控制情景
人口规模(万人):				
—2020 年	2,295	2,244	2,242	2,251
—2030 年	2,459	2,197	2,191	2,237
—2035 年	2,575	2,154	2,147	2,222
人口增速(%):				
—增速减缓期(2018—2020 年)	0.75	0.12	0.10	0.22
—微负增长期(2021—2030 年)	0.69	-0.21	-0.23	-0.06
—持续减少期(2031—2035 年)	0.93	-0.39	-0.40	-0.13
—研究时段(2018—2035 年)	0.83	-0.02	-0.04	0.13

6.3.2 北京市主要宏观社会经济指标的变化

(1) 地区生产总值

在中性增长情景/就业偏向情景/能源控制情景中,2035年北京市地区生产总值将达7.59亿元,其中,能源控制型方案中GDP的模拟结果相较于其他方案略低,说明控制能源消耗总量和减少二氧化碳排放的方案将限制经济产出的增长幅度(表6-3)。从增长速度看,2018—2035年北京市GDP年均增长率,均保持在 5.83% ~ 5.93% ,其中能源控制型最高,而在中性增长情景与就业偏向情景中GDP的年均增速略低。相较于常规情景下,雄安新区的建设一定程度上会减缓北京市地区生产总值的增速(图6-6),但对北京市GDP的影响幅度相对较小(约为 7.2% ~ 8.8%)。从时间趋势上看,雄安新区的建设对北京市GDP的这种减缓趋势主要出现在2023年以后,并且影响幅度随时间增加呈现递增的趋势。

表 6-3 不同产业疏解情景下 2035 年北京市主要宏观经济指标

主要宏观经济指标	单位	常规情景	中性增长情景	就业偏向情景	能源控制情景
GDP	万元	82,730	75,590	75,460	76,780
GDP 年均增长率 *	%	6.38	5.84	5.83	5.93
第一产业比重	%	0.84	0.69	0.45	0.67
第二产业比重	%	22.68	21.35	20.47	19.59
第三产业比重	%	76.48	77.97	79.08	79.74
能源消耗总量	万吨标准煤	31,437	27,516	27,673	26,877
能源消耗强度	吨标准煤/元	0.38	0.36	0.37	0.35
二氧化碳排放总量	百万吨	769.38	614.22	628.10	606.81
二氧化碳排放强度	吨/元	0.93	0.85	0.86	0.85

* 该指标为 2018—2035 年北京市 GDP 年增速的平均值。

(2) 能源与二氧化碳排放控制

对比不同情景下的能源消耗和二氧化碳减排,能源控制型方案的产业结构其在能源控制方面效果最好,但不同方案之间差异较小。平均而言,2035 年能源消耗总量和二氧化碳排放总量将分别达到 27355 万吨标准煤和 61700 万吨;而在不同的优化方案中,能源消耗强度和二氧化碳排放强度均有所下降(分别下降了约 0.005 和 0.08 个百分点),降幅分别为 1.24%和 8.6%。

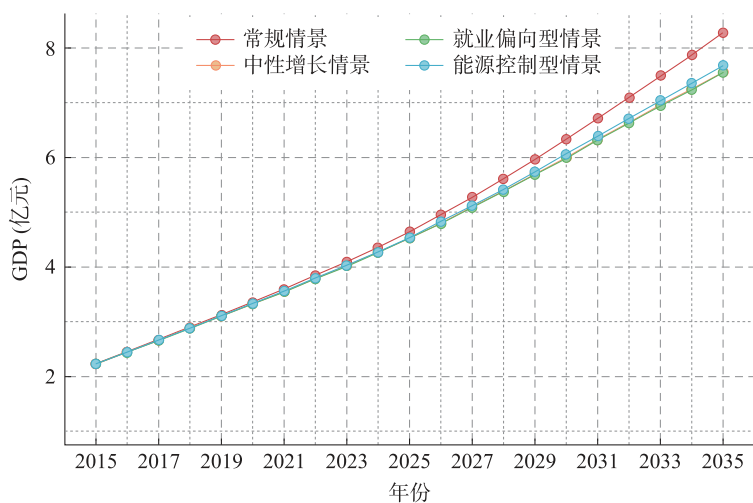


图 6-6 不同产业疏解情景下北京市 GDP 变化趋势

根据《北京城市总体规划(2016—2035 年)》中对未来北京市能源消耗强度以及二氧化碳排放强度的约束和规定,认为 2020 年北京市能源消耗强度和二氧化碳排放强度相较于常规情景分别下降 17%和 20.5%。从模拟结果来看,优化后的产业结构在单位地区生产总值的能源消耗总量以及二氧化碳排放总量上均未达到北京市的城市规划目标,说明未来北京市在调整产业结构的同时更应加强能源结构的优化,提高优质能源(如可再生能源和清洁能源)的使用比例,同时开发新能源,才能实现规划中的控制目标。

6.4 不同产业疏解情景下北京市土地利用模拟

6.4.1 土地利用需求变化

常规情景下,2018—2035年间北京市土地利用变化总量是1974.47km²(表6-4)。林地、草地、城市居住用地、批发零售用地、商务金融用地、其他商服用地和公共服务用地相对2018年有所增加;而耕地、工业用地、农村建设用地和住宿餐饮业用地面积则在减少。从不同地类的变化幅度上看,城市居住用地增加了262.64km²,增幅最大,达到72.30%;其次是其他商服用地和商务金融用地,分别增加了24.88km²和9.95km²,增幅分别为57.53%和41.63%。工业用地降幅最大,约占2018年的37.74%;而耕地面积减少最多,达到897.93km²。

中性增长情景下,商务金融用地增加了43.57km²,增幅最大(182.38%);其次是其他商服用地和城市居住用地分别增加了40.43km²和264.63km²,增幅分别为93.47%和72.85%。此外,该情景下工业用地将减少81.78km²,约占2018年的42.71%;耕地面积减少最多,达到965.21km²。相较于常规情景,中性增长情景下批发零售用地将由常规情景下基本维持不变转变为出现下降;北京市批发零售用地面积将减少3.5km²,约占2018年批发零售用地的6.98%;此外,商务金融服务用地面积及占比相对于常规情景下的增幅较明显。

就业偏向情景与中性增长情景下的土地利用在增减方向与变化幅度上基本一致,其中,批发零售和住宿餐饮用地的变化幅度分别高于中性增长情景1.32和1.86个百分点,而工业用地的变化幅度则低于中性增长情景1.64个百分点。

能源控制情景下,城市居住用地增加了660.86km²;而商务金融用地面积比重减少近8.2个百分点,占比仅为0.4%;而其他商服用地的比重有所增加,达到0.53%。在面积减少的地类中,工业用地比重下降至0.65%,该指远小于其他情景;批发零售和住宿餐饮用地下降幅度有所减少,分别低于中性增长和就业偏向情景约1.78和2.30个百分点。

表 6-4 2018—2035 年土地利用变化数量

单位:km²

土地利用类型	2018 年	2035 年			
		常规情景	中性增长	就业偏向型	能源控制
耕地	3162.05	2264.66	2196.84	2182.91	2212.70
林地	7039.10	7241.93	7320.47	7331.80	7300.29
草地	1706.47	1860.74	1860.12	1861.90	1839.12
工业用地	191.47	119.21	109.69	112.83	105.38
城市居住用地	363.25	625.89	627.88	627.75	660.86
农村建设用地	555.29	539.45	516.62	516.75	516.34
批发零售用地	31.52	31.64	29.32	28.90	29.88
住宿餐饮用地	15.39	13.65	11.89	11.60	12.24
商务金融用地	23.89	33.84	67.46	67.35	65.50

续表

土地利用类型	2018 年	2035 年			
		常规情景	中性增长	就业偏向型	能源控制
其他商服用地	43.25	68.13	83.68	83.52	85.94
公共服务用地	1512.85	1845.40	1820.56	1819.21	1816.26

6.4.2 土地利用空间分布及转移

本研究基于建立耦合 MAS-CA 土地利用模拟模型以及不同产业疏解下的土地需求模拟了 2035 年北京市土地利用空间分布格局(图 6-7)。

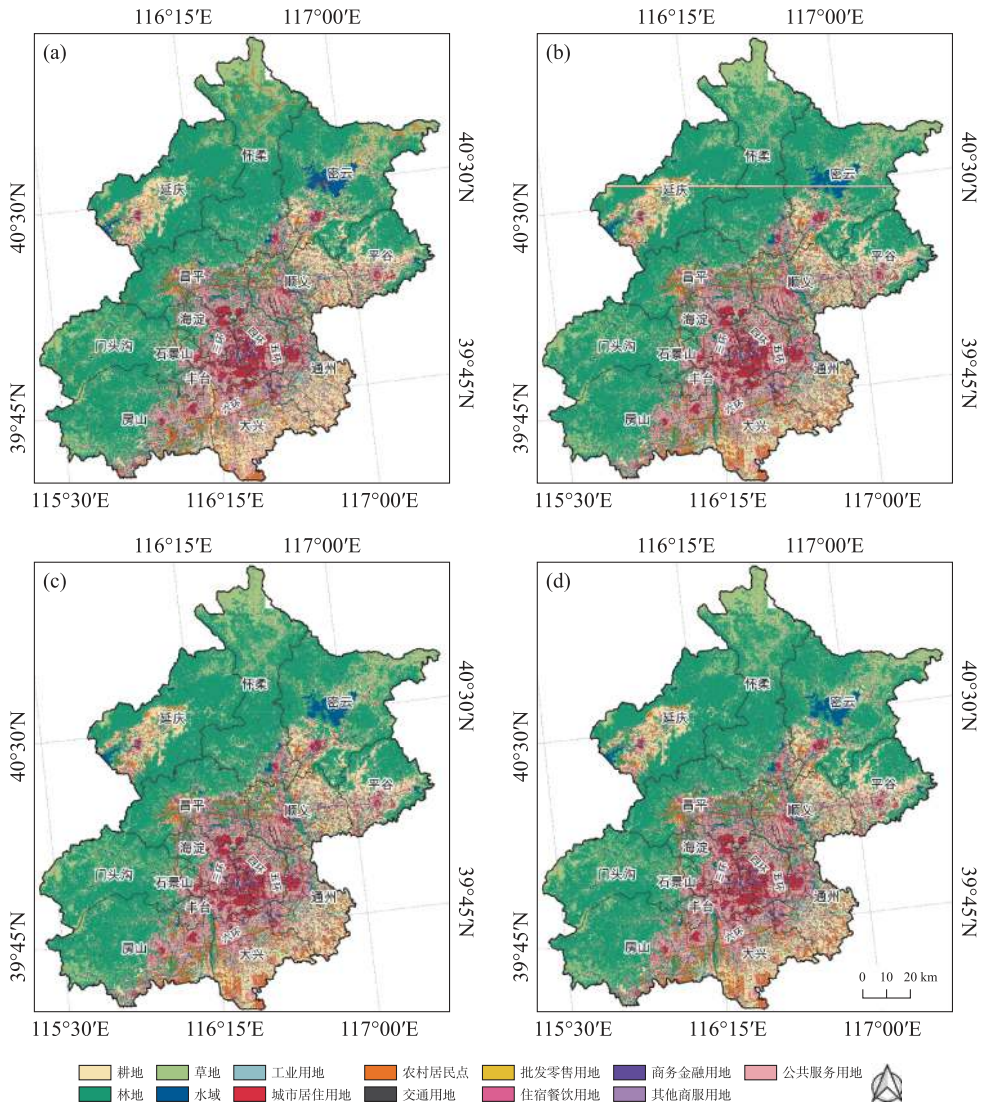


图 6-7 北京市土地利用情景模拟结果

(a)常规情景;(b)中性增长情景;(c)就业偏向情景;(d)能源控制情景

(1) 常规情景

在常规情景下的非建设用地中,耕地、林地和草地分别有 58.69%、80.62% 和 34.40% 未发生转移(附表 7),而发生转移的面积中,耕地、林地和草地的相互之间的转移比重比较大,主要发生在北京市西北部山区(图 6-8),另一方面,耕地以及少量的林地和草地向城市居住用地、农村建设用地等建设用地进行单向转移。

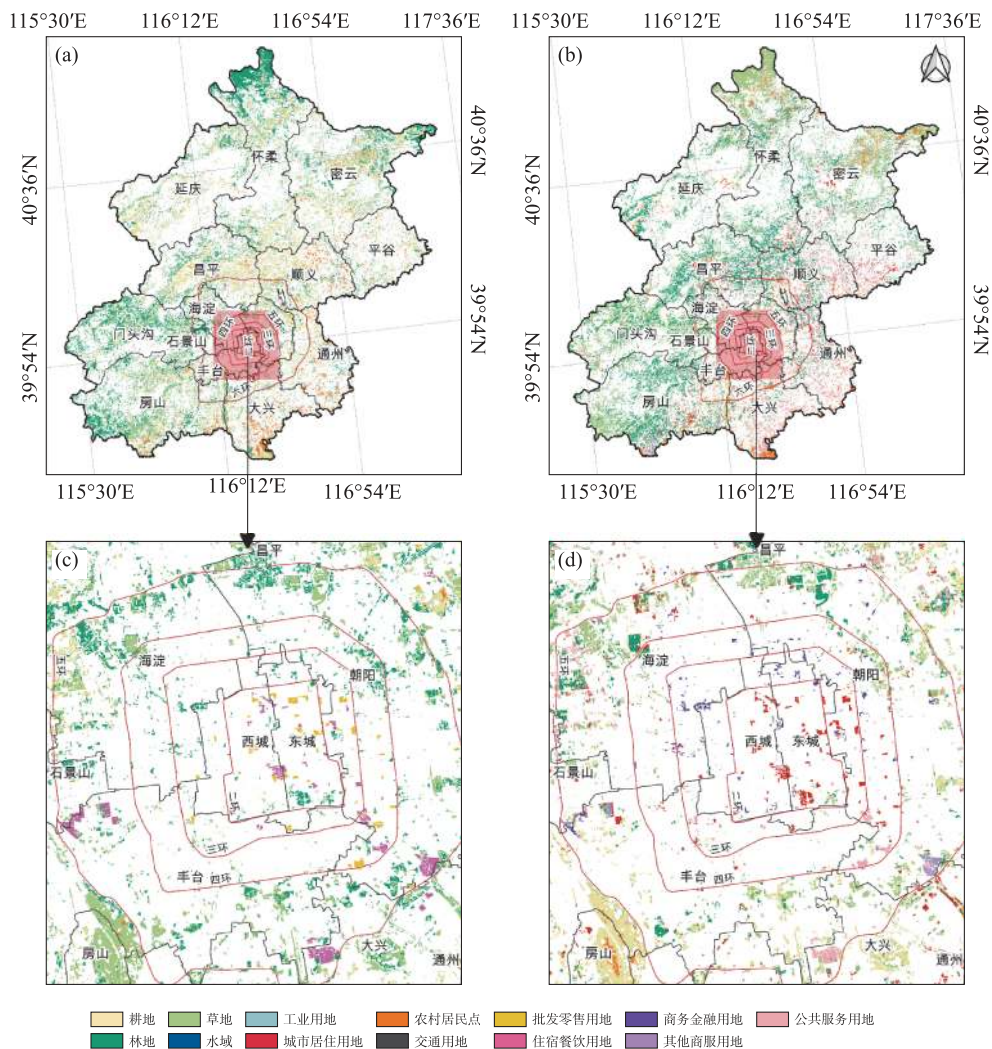


图 6-8 常规情景下 2018—2035 年土地利用空间转移

(a)转出地类;(b)转入地类;(c)五环内转出地类;(d)五环内转入地类

在建设用地上,在城市居住用地增加主要是占用耕地和林地,比重分别为 22% 和 14%。工业用地中有 62% 未发生转移,而发生转移的工业用地主要转出至城市居住用地和商服用地,其中 18% 转出至公共服务用地,占比最大。商务金融用地、其他商服用地和公共服务用地分别有 71%、63% 和 81% 的未发生转移且地类面积变化均以转入为主;其中,新增的商务金融用地中有 57% 转自工业用地和林地;而新增其他商务用地则以占用耕地、公共服务用地和农村建设用地

为主,比重分别为 27%、15%和 37%;新增公共服务用地中主要转自农村建设用地,比中达到 72%。

(2)中性增长情景

在非建设用地中,中性增长情景下耕地、林地和草地分别有 57.56%、80.67%和 34.67%未发生转移(附表 8),相较于常规情景,耕地和林地中未发生转移的面积比重有所下降,而草地的该比重在增加;而发生转移的面积中,耕地、林地和草地相互之间的转移比重有所下降(图 6-9)。该情景下耕地和草地向林地转移的面积分别增加了 34.49km²和 40.66km²,与此同时,转出至农村建设用地有所下降,分别减少了 9.05km²和 13.50km²;耕地转出至商务金融用地、其他商服用地和公共服务用地的面积分别增加了 6.20km²、6.11km²和 5.75km²。

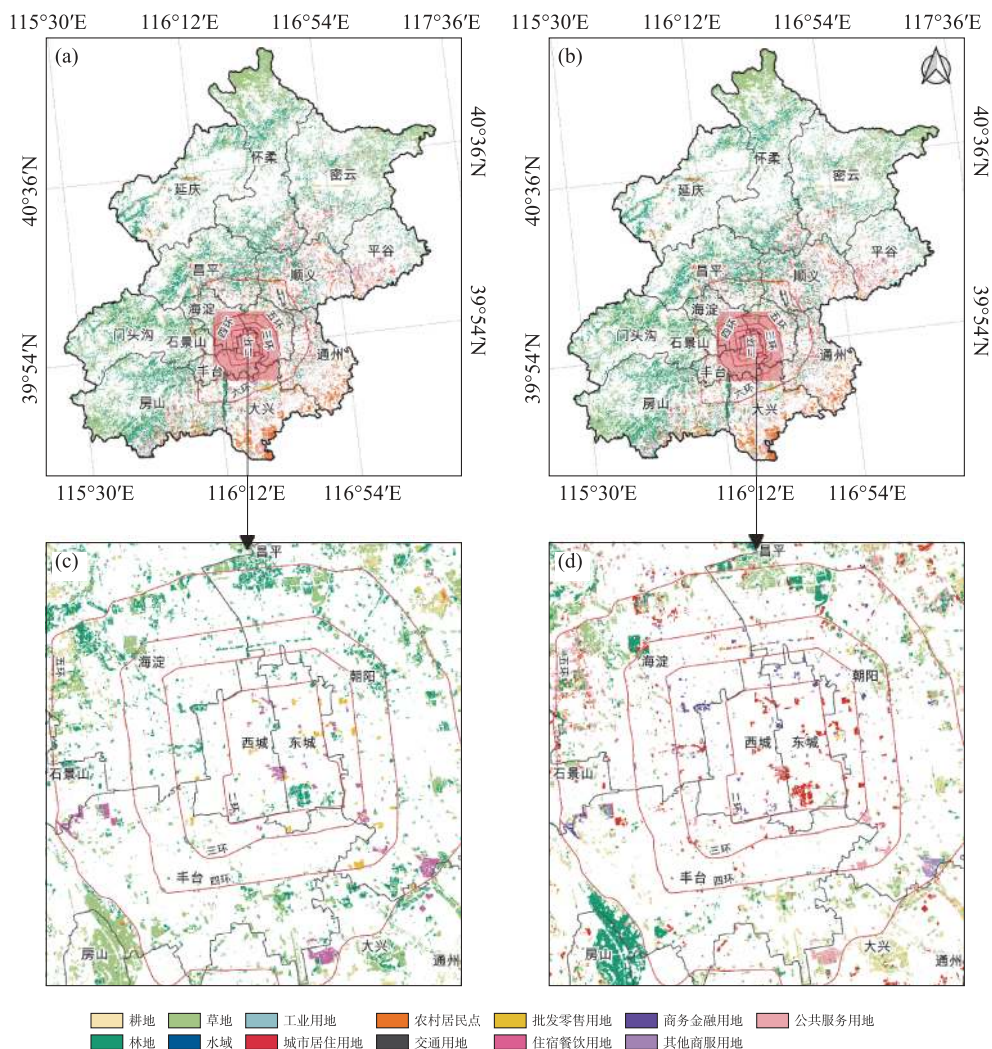


图 6-9 中性增长情景下 2018—2035 年土地利用空间转移
(a)转出地类;(b)转入地类;(c)五环内转出地类;(d)五环内转入地类图

在建设用地的变化上,该情景下工业用地仅有 57.28%未发生转移,相较于常规情景减少了近 5 个百分点;工业用地向城市居住用地、其他商服用地和公共服务用地的转移面积有所增

加。该情景下商服类用地向商务金融用地比重的增加是最为显著的特征,特别是公共服务用地转入面积增加最多,达到 22.35km^2 ;其他商服用地的增加主要来源于占用耕地、工业用地和农村建设用地,其中农村建设用地的转入面积增加最大,转入 8.33km^2 。批发零售用地和住宿餐饮用地由耕地转入的面积有所减少(分别为 1.65km^2 和 1.59km^2),且向商务金融用地的转出相较于常规情景面积有所增加(分别为 0.15km^2 和 0.07km^2),共同作用下批发零售用地和住宿餐饮用地下降;农村建设用地向公共服务用地的转移面积有所下降。

(3) 就业偏向情景

在土地利用转移方面,该情景与中性增长情景在转移方向和规模基本一致(附表9)。在土地利用的转移规模上,相较于中性增长情景,该情景在林地的未转移面积增加了 11.35km^2 ,转出至耕地的面积减少了 13.86km^2 ,而工业用地向批发零售用地、住宿餐饮用地等商服类用地等面积有所减少(图6-10)。

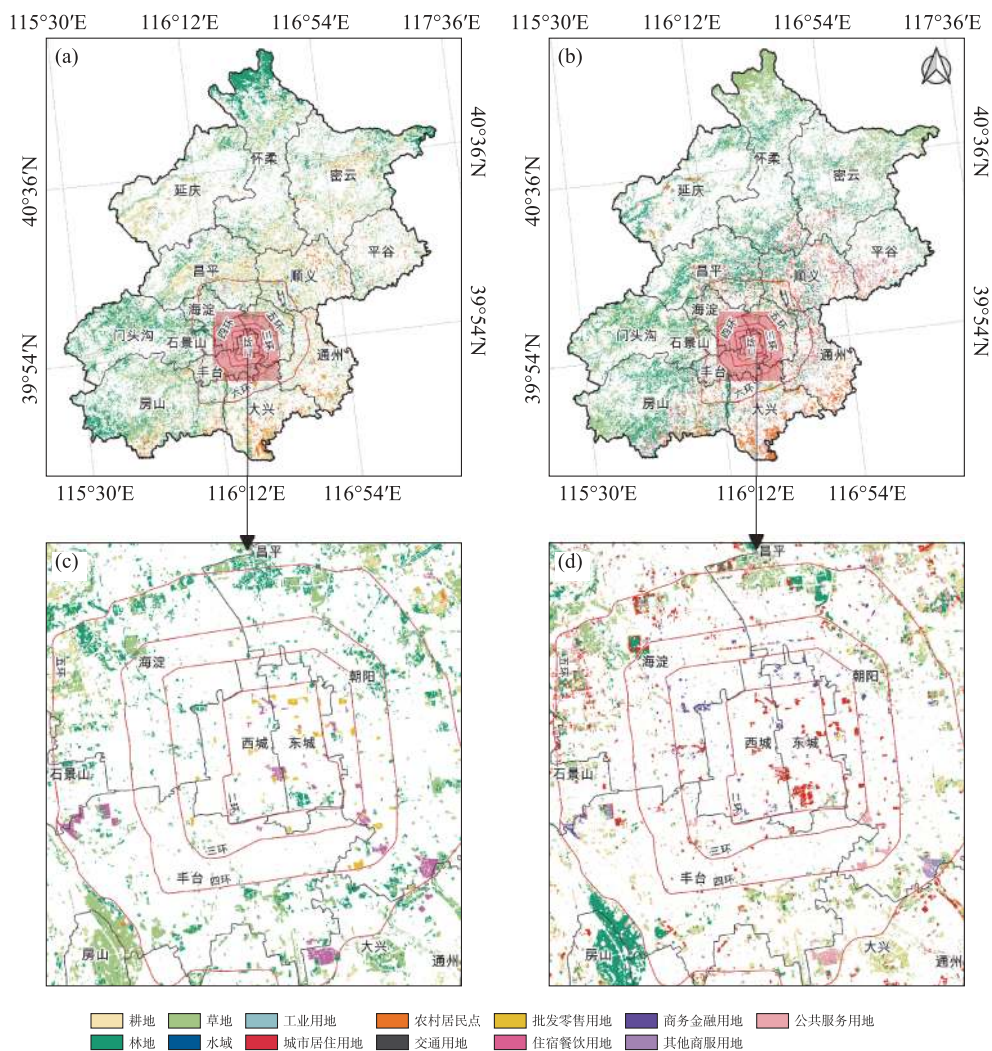


图 6-10 就业偏向情景下 2018—2035 年土地利用空间转移

(a)转出地类;(b)转入地类;(c)五环内转出地类;(d)五环内转入地类

(4) 能源控制情景

该情景下的非建设用地中,耕地、林地和草地分别有 57.68%、80.83%和 33.27%未发生转移(附表 10),相较于中性增长和就业偏向情景,耕地和林地的该值重有所增加;而发生转移的面积中,耕地、林地和草地的相互之间的转移的比重仍较高(图 6-11)。在耕地、林地和草地向城市建设用地单向转移的趋势基本与中性增长/就业偏向情景基本一致;但相较于常规情景,耕地→批发零售用地/住宿餐饮用地、耕地/草地→农村建设用地的规模有所下降,而耕地→商务金融用地/其他商服用地的规模有所增加。

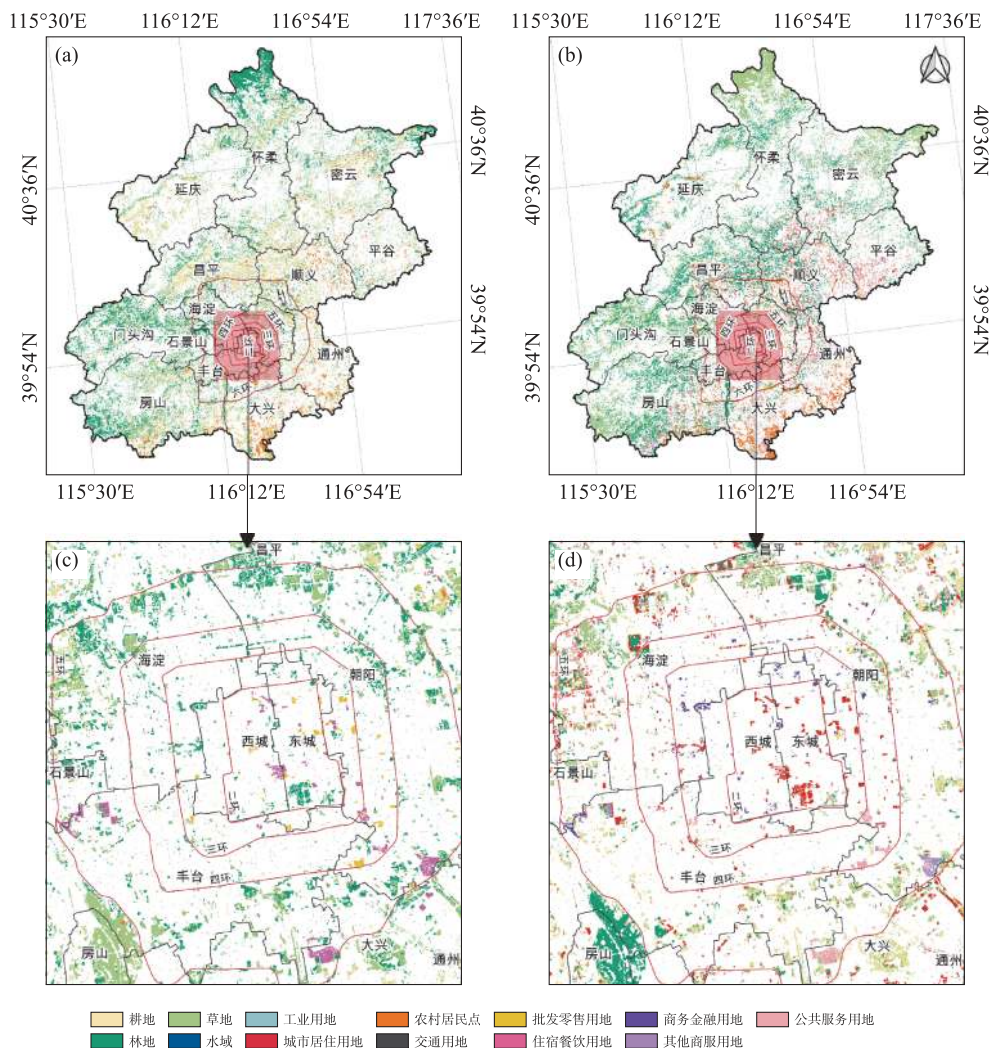


图 6-11 能源控制情景下 2018—2035 年土地利用空间转移

(a)转出地类;(b)转入地类;(c)五环内转出地类;(d)五环内转入地类

在建设用地的转移中,工业用地有 44.6%转出至其他用地,主要转至商务金融用地、其他商服用地和公共服务,且转出规模相较于常规情景有所增加;此外,农村建设用地→商务金融

用地→其他商服用地规模较常规情景有所增加,而农村建设用地/批发零售用地/住宿餐饮用地→公共服务用地、其他商服用地→商务金融用地的面积有所减少。

6.5 雄安新区建设对北京市人口与土地利用的影响分析

6.5.1 雄安新区对北京市人口的影响

雄安新区建设对北京市人口的影响主要通过两个方面:一是通过产业疏解直接带动劳动力迁移至雄安新区,二是通过雄安新区自身的发展直接吸引北京市人口的迁入。模拟结果显示,2018—2035年之间从外部系统累积迁入北京市和雄安新区耦合系统的人口规模约为131.71万~144.28万人(表6-5)。从三种产业疏解情景在2035年人口总量的预测结果上看,北京市呈现人口的净迁出趋势。该差异与系统内部人口流动的方向及其规模密切相关。从最终影响规模上看,北京市人口规模的减少主要依赖于产业迁出带动的劳动力疏解量,相对而言,直接从北京迁入至雄安新区的人口规模相对较小,约占产业迁出带动劳动力疏解规模的8.3%~9.2%。不同产业疏解情景下的上述流动规模及趋势如下。

表 6-5 2018—2035 年北京与雄安耦合系统内人口流动方向及规模

(单位:万人)

人口流动方向	常规情景	中性增长	就业偏向	能源控制
北京市→雄安	3.06	33.80	34.88	25.69
北京市劳动力→雄安	0.00	355.58	359.07	298.57
外部→北京市+雄安	144.28	132.64	131.71	133.31
北京市净迁入人口	141.23	-256.72	-262.22	-190.98

(1) 劳动力疏解量

该指标反映了产业疏解方案对区域劳动力的影响。从模拟结果上看,雄安新区建设后可通过产业疏解方案可疏解劳动力309.05万~368.42万人。对比不同的产业疏解情景可以看出,中性增长的劳动力疏解量最大,其次是就业偏向情景,但二者差距不大;而能源控制情景的劳动力疏解能力最低,说明第二产业中的不同行业在能源消耗和劳动投入之间差异较大,使得在疏解高能耗行业,鼓励低能耗行业发展的同时,提高了对劳动力投入的需求。从时间趋势上看,北京市每年通过产业疏解劳动力的规模呈现逐渐增加的趋势(图6-12),从2016年的11万~14万人/年增加至20万~25万人/年。

分行业来看,批发和零售业、租赁和商务服务、制造业和房地产等产业劳动力是疏解能力较强(表6-6)。在不同情景之间,就业偏向情景主要依赖疏解租赁和商务服务业等在直接和关联劳动力消耗较大的产业实现劳动力的最大疏解,同时增加信息服务、公共管理和金融等高端服务业的比重进而促进充分就业和经济增长;在考虑能源消耗总量和二氧化碳排放的能源控制型方案的模拟结果反映,则更加注重疏解建筑和能源供给行业(电力、热力的生产和供给)等

高能耗产业；在中性增长方案中，基本上平衡了就业偏向和能源控制情景在疏解行业的差异。

表 6-6 2018—2035 年不同情景方案下行业劳动力疏解量

单位：万人

行业	中性增长	就业偏向	能源控制
批发和零售	183.89	191.14	194.84
住宿和餐饮	12.28	12.84	12.90
房地产	58.92	57.28	37.79
农林牧渔业	1.14	1.93	1.31
电力、热力的生产和供应	3.50	3.17	3.58
租赁和商务服务	66.80	73.63	8.72
建筑	11.43	0.11	19.24
制造业	17.48	18.80	20.00
采矿业	0.14	0.17	0.18

(1) 北京市迁移至雄安新区人口规模

预计到 2035 年，雄安新区的建设可吸引 25.84 万~35.02 万人。对比不同的产业疏解情景可以看出，就业偏向的产业疏解可以带动较大规模的人口迁出，其次是中性增长情景，但二者差距不大；能源控制型的产业疏解方案所带动的人口迁出总量最低。不同产业疏解情景下北京市人口的迁出规模与之在雄安新区经济发展中的带动作用呈正相关。从时间趋势上看，北京市每年迁出至雄安的人口规模总体呈现快速增加的趋势（图 6-12）。预计至 2035 年能够增加至 5 万~7 万人/年，且该迁出速度上会呈现逐年递增的趋势。

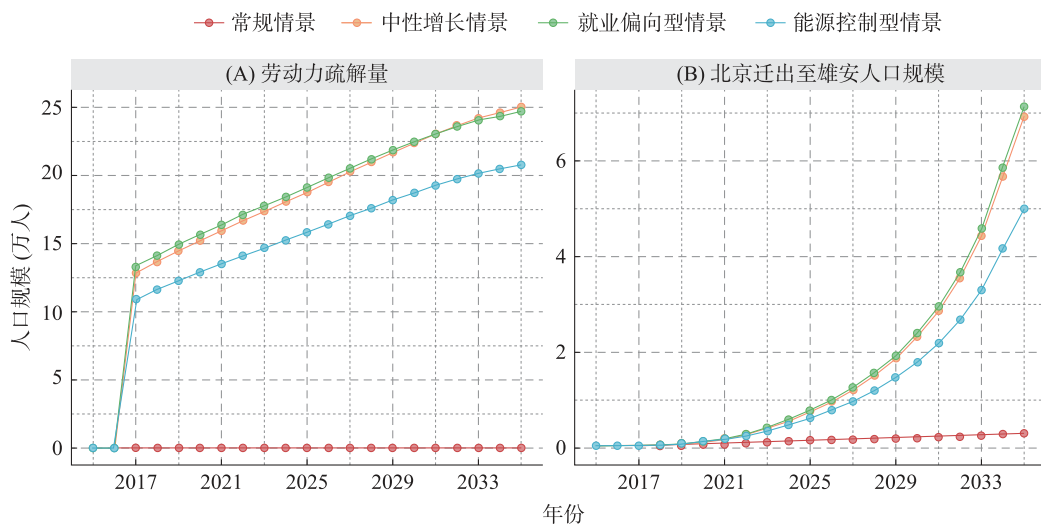


图 6-12 不同产业疏解情景下北京市疏解劳动力及迁出至雄安的规模及趋势

6.5.2 雄安新区对北京市土地利用的影响

本文进一步对比了 3 种产业疏解情景与常规情景在土地需求及其空间格局上的差异，结果如下。

(1) 土地利用总体差异

不同疏解情景下,耕地面积相较于常规情景有所下降(中性增长、就业偏向和能源控制情景下降了 2.95%、3.61%和 2.94%),但是受到北京城市规划中对生态控制范围的比重限制^①,林地面积将相对于常规情景分别增加了 78.54km²、89.87km² 和 58.36km²;而草地面积基本保持不变(图 6-13)。

建设用地二级地类的结构受产业疏解的影响较大。对比常规情景下,雄安新区建设背景下工业用地、批发零售用地、住宿餐饮用地和公共服务用地将有所下降,其中,不同产业疏解情景下的平均降幅为 8.31%,批发零售和住宿餐饮用地的下降幅度为 7.19%和 12.19%。相对而言,产业疏解将促进未来商务金融用地、其他商服用地面积的扩大,其中,商务金融用地面积相较于常规情景增加幅度近一倍(其中中性增长、就业偏向和能源控制情景增加 99.35%、99.03%和 93.56%),其次是其他商服用地,较常规情景平均增加了 23.85%。

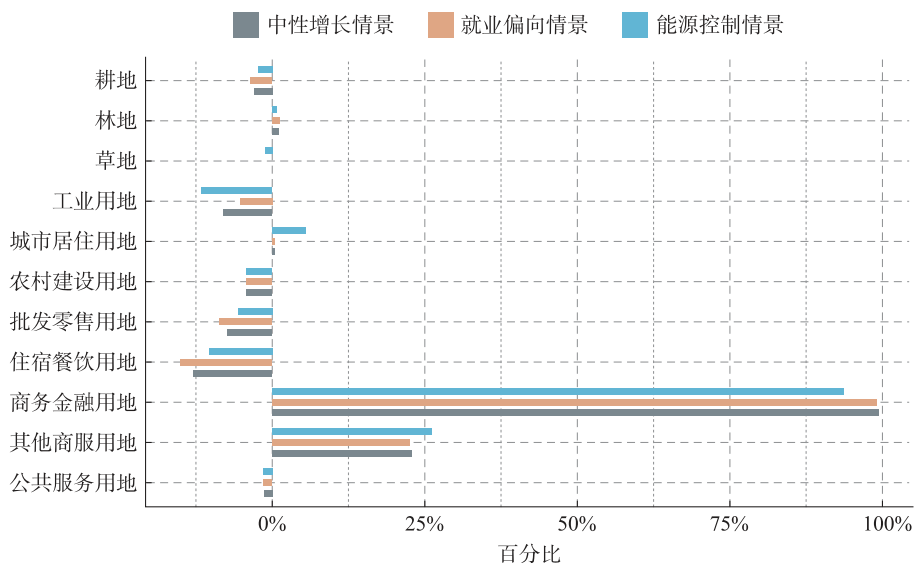


图 6-13 不同产业疏解情景对土地利用需求的影响幅度

(2) 土地利用转移的区县差异

产业疏解对北京市土地利用的影响不仅表现在各类用地的总体规模上,还表现在土地利用转移上。从地类转出的规模上看,2018—2035 年东城、西城、朝阳和丰台等区县在林、草地的转出规模上超过常规情景约 10%~15%(图 6-14);在通州和大兴区的耕地转出规模相对于常规情景分别增加了约 35%和 59%。

在建设用地中,首都核心功能区、平谷、延庆和密云等区县的工业用地疏解规模较大,而其他区县疏解规模与常规情景基本一致。东城、西城、丰台和石景山在批发零售用地转出规模远大于常规情景的疏解规模,朝阳、顺义和昌平区等转出规模与常规情景基本保持一致,房山、大

^① 到 2035 年北京市生态控制区面积约占市域面积的比例提高到 75%。



图 6-14 不同产业疏解对区县地类转出面积的影响

兴、怀柔和平谷等区县的批发零售用地转出规模低于常规情景。在住宿餐饮用地的转出上,首都核心功能区转出规模高于常规情景变化,而门头沟、房山、通州等区域的住宿餐饮用地转出规模小于常规情景。

在地类的转入规模上,房山、大兴和密云等区县耕地转入规模减小,而通州、昌平和怀柔等区县转入规模增加。在林草地的转入量上,产业疏解情景会减少首都核心功能区(东城、西城、朝阳和海淀)的林地以及西城、平谷和顺义的草地转入,但同时将增加通州、丰台、大兴等区县的林草转入。

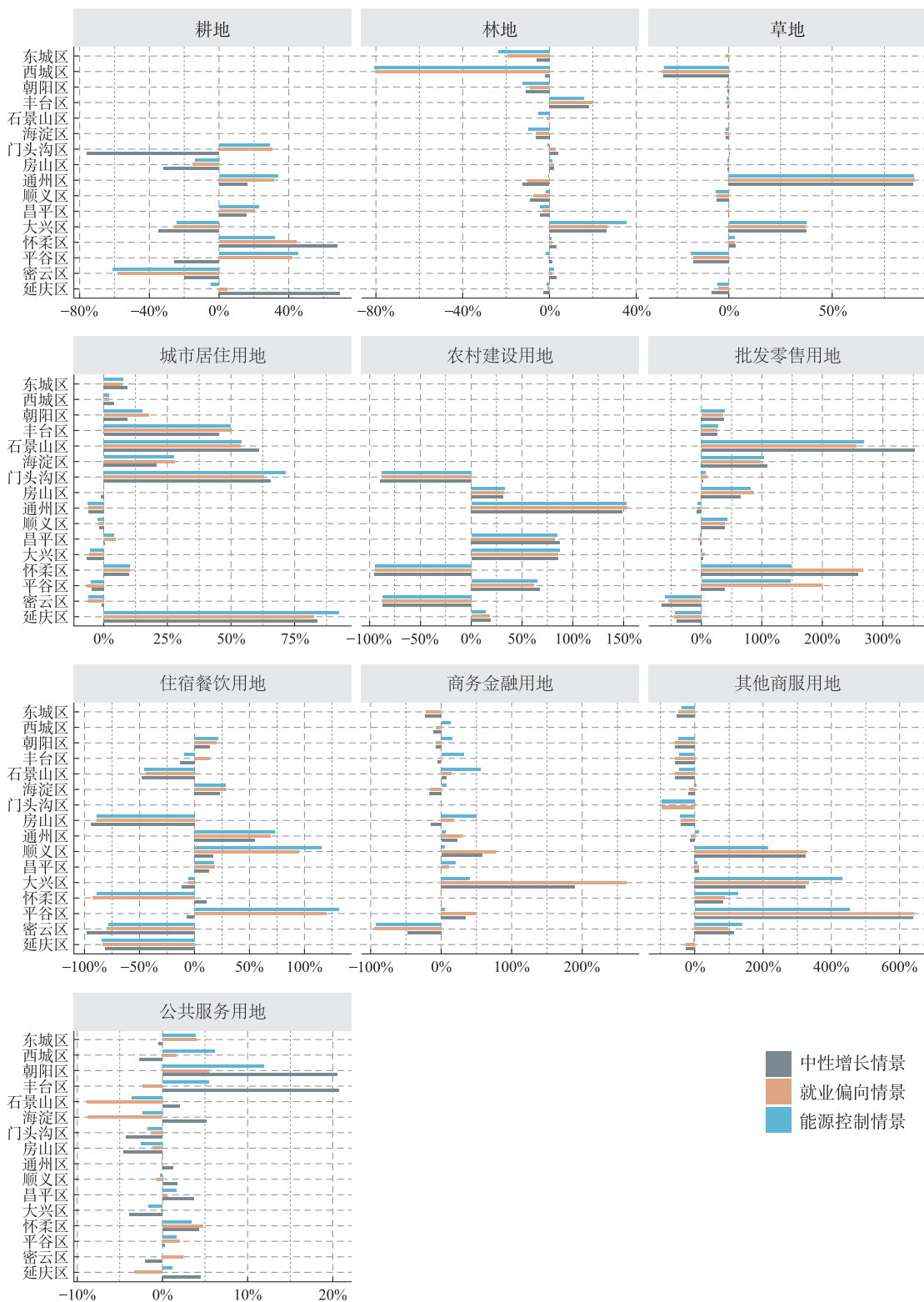


图 6-15 不同产业疏散情景对区县地类转入面积的影响

在建设用地上,产业疏解同时会带动首都核心功能区内城市居住用地增加,东城、西城、海淀和怀柔等区县转入城市居住用地相较于常规情景平均增加了 11.27%;延庆、门头沟、石景山和丰台四区转为城市居住用地增幅较大,平均为 64.50%。在农村建设用地上,门头沟、怀柔 and 密云等区县在农村建设用地的转入规模下降;但通州、昌平和大兴区的转入规模有所增加。对于批发零售用地而言,产业疏解并不能减少在石景山、海淀的区域批发零售用地等增加。对于住宿餐饮业的转入上,产业疏解将会减少石景山、房山、密云和延庆等区县的批发零售用地的增加,而增加通州、顺义、平谷等区县在该地类上规模。在商务金融用地的转入上,除大兴区增加幅度较大外,其他区县相对于常规情景的增幅较小。在其他商服用地上,产业疏解将减少首都核心功能区内该用地的转入。在公共服务用地上,产业疏解将主要抑制石景山、海淀、门头沟和大兴等区域在该地类上的转入,但是朝阳区和丰台区的公共服务用地还是略有增加,但增幅不大。

6.6 本章小结

本章将基于“以业带人”的人口疏解思路,将雄安新区的建设视为对北京产业结构调整的一种政策冲击。利用北京市在人口、经济、能源等方面的发展目标,构建了北京市产业结构的多目标优化模型,并根据不同发展权重设定了未来的产业疏解情景,并确定了不同情景下待疏解行业及其规模。在此基础上,利用第 5 章和第 6 章所构建的人口、土地利用需求和空间格局的模拟模型,测算不同产业疏解情景下北京市人口与土地利用的未来趋势,并评估雄安新区建设的影响。本章的研究结果表明:

(1)不同产业疏解情景下批发和零售、住宿和餐饮、房地产、农林牧渔业、电力、热力的生产和供应、租赁和商务服务变化、建筑和制造业是主要疏解行业,而批发和零售业、住宿和餐饮的疏解幅度最大。

(2)承接产业和劳动力对于雄安新区人口规模的冲击是直接的,且促使的本地人口爆发式增长。雄安新区的建设一定程度地可以抑制北京市人口持续增长的趋势。不同产业疏解情景下,能源控制情景的人口规模将基本维持 2018 年的现状规模,而在中性增长情景和就业偏向情景的人口规模相较于 2018 年略有下降。从影响人口规模的途径上看,北京市人口规模的减少主要依赖于产业疏解。短期来看,直接从北京迁入至雄安新区的人口规模相对较小,但北京市每年迁出至雄安的人口规模总体呈现快速增加的趋势。

(3)受产业疏解的影响,北京市工业用地、批发零售用地、住宿餐饮用地和公共服务用地将减少,其中,批发零售和住宿餐饮用地的下降幅度最大;但未来商务金融用地和其他商服用地将进一步扩大,其中商务金融用地增幅相较于常规情景增加近一倍。在地类的转出规模上,受产业疏解的影响,首都核心功能区、平谷、延庆和密云等区县的工业用地转出规模增加;批发零售用地在东城、西城、丰台和石景山转出规模增加;住宿餐饮用地在首都核心功能区转出规模较高。在地类转入规模上,远郊区城市居住用地的增幅较大;首都核心功能区的批发零售用地相对于常规情景略有增加;首都核心功能区内商务金融用地和其他商服用地转入量减少但远郊区县转入规模在增加。

第7章 对策与建议

本研究通过构建多维度的分析框架与模拟模型,系统评估了雄安新区建设对北京市人口疏解与土地利用格局的深远影响,并揭示了“以业控人、以业带人”路径下的内在运行机制与未来演化趋势。研究结论表明,雄安新区的设立不仅为疏解北京非首都功能提供了历史性机遇,也对首都自身的产业升级、空间重构和区域协同治理提出了更高要求。然而,从模拟结果来看,政策引导下的理想目标与复杂现实系统间的动态演化仍存在差距,产业疏解、人口迁移与土地利用转型之间并非简单的线性传导关系,而是充满博弈、反馈与不确定性的复杂过程。若要将规划蓝图顺利转化为现实图景,必须在宏观战略指引下,辅以更为精准、系统、协同的微观调控政策与长效保障机制。本章将在前述实证分析与模拟预测的基础上,聚焦核心问题与关键环节,从产业精准疏解、人口服务与引导、国土空间优化以及京雄协同机制构建等维度,提出具有针对性对策建议,以期为推动首都高质量发展和京津冀协同发展走向纵深提供科学决策支持。

7.1 精准施策,科学有序推进非首都功能产业疏解

制定并动态更新差异化的产业疏解清单与配套激励政策,是实现精准疏解与结构优化的前提基础。研究表明,不同行业在带动就业、能源消耗、经济贡献等方面的属性差异显著,笼统的产业疏解政策难以实现多重目标的平衡。因此,政府应基于本研究构建的多目标优化模型成果,将待疏解行业从“大类”细化至“子类”,建立一份涵盖具体企业类型、工艺环节的动态疏解清单。针对批发零售、住宿餐饮等具有极强人口吸附效应但附加值相对较低的行业,可适度运用环保、土地、税收等调节杠杆,提高其在中心城区的运营成本,形成市场化的“挤出效应”。而对于制造业、建筑业等兼具高能耗与较强劳动力感应系数的行业,则应制定“一业一策”的疏解方案,通过提供定向的搬迁补贴、税收减免以及在雄安新区的用地指标奖励等政策,引导其整体性、链条式外迁。同时,这份清单应设立动态调整机制,定期评估疏解成效与宏观经济形势,确保政策的精准性与时效性,避免“一刀切”可能引发的经济震荡与民生问题。

强化产业链协同疏解,避免核心功能“空心化”,是保障首都经济平稳发展的关键所在。本研究的投入产出分析揭示了北京市各行业间紧密的上下游关联关系,孤立地疏解单个企业或行业环节,极易割裂产业链条,导致“产业悬崖”现象,反而削弱首都经济的整体竞争力。因此,产业疏解必须从“点状迁移”转向“链状协同”,在疏解某个核心制造企业的同时,应通过规划引

导和政策激励,鼓励其上下游的研发设计、物流仓储、商务服务等关联企业同步布局雄安或周边地区。例如,可以建立京雄产业协作平台,发布产业链疏解机会清单,为企业提供跨区域供应链匹配服务。对于必须保留在京的总部经济、研发中心等产业链高端环节,要加强其与外迁生产基地的信息联通与业务协同,形成“北京研发、雄安制造、全球销售”的新型区域产业分工格局,确保疏解过程平稳过渡,最终实现“瘦身健体”而非“伤筋动骨”的战略目标。

充分运用市场化手段引导企业自主外迁,提升疏解政策的执行效率与长期可持续性。行政命令在疏解初期能够快速启动,但长期来看,构建一个引导要素合理流动的市场环境才是根本之策。建议在北京市内,针对非首都功能产业,系统性地提高其资源要素成本,例如,实施更严格的阶梯水价、电价政策,对超过能耗、环保标准的存量企业征收惩罚性排污费,并通过城市更新将部分低效工业用地规划为公共空间或高精尖产业用地,从而提高土地续租成本。与此同时,雄安新区及周边承接地应着力打造市场化、法治化、国际化的一流营商环境,通过简化行政审批流程、提供普惠性税收优惠、建设高标准的配套基础设施等措施,形成强大的“引力场”。通过京冀两地政策的协同配合,形成“推力”与“拉力”的合力,让企业在成本与收益的自主核算中,将外迁视为理性的市场选择,从而将疏解工作从政府主导的“要我走”转变为企业主动的“我要走”,大幅降低政策执行阻力,保障疏解工作的平稳与长效。

建立产业疏解的动态评估与科学反馈机制,确保政策在执行过程中具备高度的适应性与有效性。产业疏解是一个长周期、高复杂度的系统工程,其影响具有动态性和不确定性,必须避免政策制订与现实脱节。建议成立一个跨部门的“京津冀产业协同发展监测评估中心”,利用大数据、物联网等现代信息技术,构建一个涵盖产业、人口、土地、交通、环境等多维度的动态监测指标体系。该平台应实时追踪疏解企业的生产经营状况、雄安承接产业的落地与发展情况、跨区域就业人口的流动与职住变化、腾退土地的利用效率以及区域整体的经济结构变化等关键信息。通过定期发布评估报告,科学研判疏解政策的实际效果、阶段性成果以及潜在风险,为决策层提供及时、准确的反馈。一旦发现政策执行出现偏差或引发非预期的负面效应,如特定行业失业率异常上升或关键产业链出现断裂风险,能够迅速启动预案,对疏解的节奏、力度和配套政策进行适应性微调,实现从“静态规划”到“动态治理”的转变。

高度关注疏解过程中的“人”的因素,为随迁企业职工提供全方位、人性化的配套服务保障。产业疏解的最终目的是“以业带人”,实现人口的有序疏解,但如果忽视了人的需求,疏解的产业很可能变成“空壳”,无法真正带动人口的稳定迁移。政府必须将保障随迁职工的切身利益置于核心位置,协同企业共同构建一个覆盖就业、居住、教育、医疗、社保等全链条的服务体系。具体而言,应推动建立京雄两地统一的公共就业服务平台,为随迁职工家属提供就业信息与职业培训。在雄安新区同步规划建设高品质的共有产权房或公共租赁住房,解决职工的后顾之忧。同时,通过“名校办分校”、“名院建分院”等模式,将北京的优质教育、医疗资源延伸至雄安,并确保随迁子女能够顺利入学、异地就医能够便捷结算。此外,必须加快打通两地的社保、公积金等转移接续通道,确保职工的社会保障权益无缝衔接,从根本上消除他们“不想迁、不敢迁”的顾虑,使人口疏解成为一个平稳、温暖且可持续的过程。

7.2 优化公共服务资源配置,引导人口合理分布与有序流动

推行更为精准的“差异化落户”与居住证积分政策,以优化人口结构为导向(向调控人口规模。北京的人口问题,核心是规模过大,但结构性矛盾同样突出。未来的人口调控策略应从过去单一的总量控制,转向规模与结构并重的双重优化。建议进一步完善以合法稳定就业、合法稳定住所为核心的居住证积分制度,并与城市功能定位和产业发展方向紧密挂钩。具体而言,可以设立“首都功能核心产业”和“城市运行保障行业”的积分加分项,对就职于科技创新、国际交往、文化创意等领域的专业技术人才,以及在公共交通、市政环卫、社区服务等基础岗位稳定工作的劳动者,给予更高的积分权重,加快其落户进程。反之,对于属于疏解清单的行业,则应逐步降低其从业人员的积分比重。通过这种精细化的政策杠杆,向全社会释放明确的信号:北京欢迎什么样的人,不鼓励哪些领域的从业者长期聚集,从而在保障城市活力与运行安全的基础上,引导人口存量和增量向着更符合首都战略定位的方向优化调整。

加快推动优质教育、医疗等核心公共服务资源向外疏解与均衡布局,从根本上削弱中心城区对人口的过度虹吸效应。本研究发现,优质公共服务的空间分布高度集中,是导致北京职住分离、人口向心集聚的关键驱动因素。因此,打破这一格局是实现人口疏解的治本之策。政府应以更大的决心和力度,推动位于核心城区的知名中小学、三甲医院等,通过整体搬迁、开办新校区或分院区等方式,成建制地向城市副中心、远郊新城乃至雄安新区疏解。这种疏解绝不能仅仅是“挂个牌子”,而必须是品牌、管理、师资、技术等核心资源的实质性平移,确保新校区、新院区能够提供与本部同等质量的服务。为此,政府应在土地供应、建设资金、人才引进等方面给予倾斜,并为外迁的教职员工、医护人员提供专项的住房、薪酬和职业发展激励,确保他们“走得出去、留得住、发展得好”,从而真正将这些外围节点打造成新的高品质生活区,变人口流动的“单向引力”为“多向平衡”。

构建以轨道交通为骨干的多中心、网络化通勤体系,引导并重塑“职住平衡”的空间新格局。未来的交通发展战略,必须从服务单一中心的“放射状”模式,转向支撑多中心格局的“网络化”模式。加快建设连接各新城与城市副中心之间的市郊铁路和区域快线,如加强“三城一区”之间的横向联系,实现科创人才的便捷流动。同时,要加密连接中心城区与远郊区县的轨道交通网络,并通过开行“大站快车”等方式,将通勤时间控制在合理的“一小时”范围内。在此基础上,围绕轨道交通站点进行高强度的 TOD(公共交通导向型开发)模式开发,引导就业岗位与居住空间向站点周边集聚。通过高效便捷的交通网络,将整个北京都市圈串联成一个有机整体,使得居民可以更自由地选择居住地,从而在更大空间尺度上实现职住平衡,缓解中心城区的综合压力。

探索建立京津冀统一的社会保障无缝衔接机制,彻底消除阻碍人口在区域间自由流动的核心制度性障碍。人口的有序疏解,不仅需要产业的引导,更需要制度的保障。当前,医疗保险异地报销流程繁琐、养老保险关系转移接续不畅、公积金跨区域使用受限等问题,已成为劳

动者在京津冀区域内流动就业的最大顾虑。为此,三地政府应在国家主管部门的指导下,下决心破除行政壁垒,共同打造一个统一的社会保障信息平台和政策框架。目标是实现医保目录、报销比例和定点医疗机构的互认,做到异地就医直接结算;统一养老保险的缴费年限与待遇计算标准,实现跨区域流动的“账随人走”;并推动住房公积金的互贷互认,支持在非就业地购房。通过这些深层次的制度创新,将京津冀区域真正塑造成为一个统一的劳动力市场,让人们可以基于职业发展和生活品质做出理性的迁徙决策,而非被无形的制度壁垒所束缚,从而极大促进人口向雄安等非首都功能承载地的有序流动。

7.3 优化国土空间开发格局,实现土地集约高效与绿色发展

建立疏解腾退土地的市级统筹规划与高效利用机制,严防其被无序开发或过度房地产化。产业疏解后腾退出来的大量存量土地,是北京进行城市更新与功能优化的宝贵战略资源,其用途必须服从于城市的长远发展目标。建议由北京市政府牵头,成立一个跨区、跨部门的“腾退空间规划利用委员会”,对所有腾退土地进行统一收储、统一规划和统一监管。该委员会应依据《北京城市总体规划》,制定详细的腾退土地再利用导则,明确不同地块的优先功能,如“留白增绿”、补充公共服务设施、建设保障性住房或用于承载高精尖产业。要坚决杜绝各区出于短期财政利益,将腾退的黄金地段简单出让用于商品房开发。通过建立一个公开透明的“腾退土地资源库”和项目审批流程,确保每一寸土地的再利用都能最大限度地提升城市的公共利益与核心功能,实现从“土地财政”向“空间善治”的根本转变。

严格实施城乡建设用地“增存挂钩”的指标分配政策,以强有力的倒逼机制推动城市发展模式由外延扩张转向内涵提升。本研究的模拟结果显示,在常规发展路径下,北京的建设用地仍面临持续扩张的压力。要扭转这一趋势,必须改革现有的土地供应模式。建议将全市每年的新增建设用地指标与各区盘活存量建设用地的成效紧密挂钩。具体而言,可以设定一个“存量盘活系数”,对于通过拆违、棚改、工业用地升级改造等方式,高效再利用存量土地、提升单位土地投入产出率的区,在下一年度的用地指标分配中给予奖励;反之,对于长期闲置土地、依然依赖新区开发和摊大饼式扩张的区,则相应核减其新增指标。这种激励与约束并存的机制,能够有效地将各区政府的工作重心从“要增量”引导到“挖存量”上来,激发其进行城市更新、提高土地利用集约度的内生动力,从而在源头上控制城市无序蔓延,推动北京进入一个依靠存量优化的精明增长阶段。

积极探索“混合用地”(MUD)开发模式与容积率弹性激励政策,全面提升建成区的土地利用综合效率与城市空间活力。传统的“单一功能分区”规划模式,造成了城市空间的功能割裂,加剧了交通拥堵,降低了城市活力。为应对这一挑战,北京应在城市更新和新区规划中,大力推广土地功能的混合利用。建议修订现行土地出让和规划管理规定,鼓励在商业区、办公区、轨道交通站点周边等核心地段,发展集办公、商业、居住、文化、娱乐等多种功能于一体的垂直城市综合体。为了激励市场主体参与,可引入容积率奖励机制,即开发商若能在一个项目中按

比例配置一定面积的公共服务设施(如社区中心、幼儿园)、小户型租赁住房或文化创意空间,便可获得一定比例的容-积率上浮奖励。这种“以空间换功能”的策略,既能丰富城市功能,营造充满活力的“24 小时社区”,又能通过提高建筑密度,在不增加占地的情况下容纳更多的城市活动,实现土地价值的最大化。

划定并以最严格的制度严守永久基本农田和生态保护红线,构建稳定、健康的城市永续发展生态安全格局。研究预测,在城市化压力下,耕地和生态用地仍面临被侵占的风险,因此,强化“两条红线”的刚性约束是北京可持续发展的生命线。首先,要运用最先进的遥感监测和地理信息技术,对已划定的红线范围进行动态、全覆盖的实时监控,建立“天上看、地上查、网上管”的一体化监管体系。其次,要实行最严格的问责制度,将红线保护成效纳入地方政府和领导干部的绩效考核,对任何突破红线、破坏生态的行为实行“零容忍”和终身追责。更重要的是,必须建立健全横向生态保护补偿机制,由中心城区和城市发展新区,通过财政转移支付、对口协作、产业支持等方式,对承担着水源涵养、生态保育重任的生态涵养区(如密云、怀柔、延庆等)进行补偿,让保护生态的地区不吃亏、有发展,从而形成“保护者受益、使用者付费、破坏者赔偿”的良性循环,确保首都的青山绿水得到永续呵护。

7.4 创新跨区域协同发展机制,构建京雄命运共同体

建立常态化、实体化的高层协调与权威决策机制,为统筹解决协同发展中的跨区域重大问题提供组织保障。京雄协同发展是一项涉及多方利益、复杂度极高的系统工程,仅依靠临时的联席会议或部门间的沟通协调,难以应对持续涌现的深层次矛盾。建议参照国内外成功都市圈的治理经验,在国家层面的京津冀协同发展领导小组指导下,成立一个常设的“京雄协同发展委员会”。该委员会应由北京、河北两省市的主要领导共同担任负责人,并吸纳国家发改委、财政部、自然资源部等核心部委的代表参加。委员会下设实体化的办公室,负责日常工作的推进、政策研究、项目协调和监督评估。通过赋予该机构在跨区域规划、重大项目审批、要素市场建设等方面的实质性协调权和决策建议权,可以有效打破行政壁垒,确保京雄之间的战略部署能够高效协同、步调一致,将“两座城”真正融为“一个整体”来规划和建设。

积极探索建立跨区域的财税分享与成本共担机制,以制度创新实现利益共享与风险共担的紧密捆绑。企业和人口的跨区域流动,必然伴随着税基、GDP 等经济利益的重新分配,这是协同发展中最核心、最敏感的问题。为破解这一难题,必须设计一套科学合理的利益分享机制。建议针对从北京疏解至雄安的企业,设立一个为期 5 至 10 年的“税收分享过渡期”。在此期间,企业所缴纳的增值税、企业所得税等主要税种,由京冀两地按照一定比例(如初期北京占比较高,后逐年递减)进行分享。同时,对于雄安新区前期巨大的基础设施建设和公共服务配套投入,应建立一个由中央财政、北京市、河北省共同出资的“京雄协同发展基金”,明确各自的出资责任,共同承担建设成本。通过这种“我的也是你的”制度设计,将北京的疏解“损失”转化为长期的协同“投资”,将河北的承接“压力”转化为发展的“动力”,构建起一个权责对等、荣辱

与共的利益共同体。

着力打造统一开放、竞争有序的要素市场体系,全力促进劳动力、资本、技术等核心生产要素在京雄间自由无障碍流动。区域一体化的核心是要素一体化。当前,阻碍要素在京冀间自由流动的行政壁垒和制度隔阂依然存在,必须下大力气予以破除。在劳动力市场方面,如前所述,要加快实现社保、医保、公积金等公共服务的互认互通。在资本市场方面,应鼓励北京的金融机构在雄安设立分支,提供同城的金融服务,并建立两地统一的企业信用信息共享平台。在技术市场方面,应共建技术交易平台和成果转化中心,支持中关村的科技成果优先在雄安落地孵化。此外,还需协同改革两地的企业登记、土地供应、项目审批等行政管理制度,最大限度地减少制度性交易成本。最终目标是让企业和个人在京雄之间投资、创业、就业时,感受不到明显的行政边界,让市场在资源配置中真正起决定性作用,从而激发整个区域的创新活力与经济效率。

协同规划建设深度一体化的交通与信息基础设施网络,为构建“一小时通勤圈”和“数字孪生城市”夯实物理与数字基础。高效便捷的互联互通是京雄同城化发展的基本前提。在交通基础设施方面,必须超越单一线路的建设,从区域网络的高度进行统筹规划。应加快构建以高速铁路、城际铁路为骨干,高速公路和干线公路为支撑的多节点、网络化、全覆盖的综合立体交通网,并着力实现多种交通方式在枢纽站点的“零换乘”以及票务系统的“一卡通”。在信息基础设施方面,京雄两地应共同规划建设新一代信息网络,并打造统一的政务数据和社会数据共享平台。通过信息基础设施的深度融合,不仅可以支撑两地产业的数字化协同,更能为城市智慧管理、远程办公、远程医疗等新业态提供可能,将京雄打造成为引领未来的数字城市典范,实现物理空间与数字空间的双重一体化。

建立区域环境协同保护与联防联控治理体系,共同守护好京津冀地区的蓝天白云、绿水青山。生态环境是区域协同发展中最具整体性、最不可分割的领域。大气污染、水体污染的传输和扩散规律,决定了任何一地都无法独善其身。因此,必须将整个京津冀区域视为一个完整的生态单元,进行系统性治理。建议建立一个权威的“区域生态环境联合管理机构”,负责统一区域内的环境标准、统一监测网络、统一执法监督。针对大气污染,应在秋冬季等关键时期,实施统一的重污染天气应急响应,协同开展工业企业限产、机动车限行等管控措施。针对水环境,应以白洋淀流域为核心,建立跨区域的上下游生态补偿和联合执法机制,严厉打击跨界排污行为。通过这种“统一规划、统一标准、统一监测、统一防治”的协同治理模式,才能从根本上改善区域生态环境质量,为京雄两地人民提供一个共同的美好家园。

7.5 健全协同治理的保障体系,为区域一体化进程夯实基础

积极推动京津冀协同发展地方性立法,为复杂的跨行政区协作提供坚实、稳定的法律依据与顶层制度框架。当前,京津冀协同发展更多地依赖于中央的顶层设计和地方政府间的行政协议与政策文件,虽然在初期起到了强大的推动作用,但其权威性、稳定性与规范性仍有待加

强。为确保疏解、承接、协同等各项工作的长期性和严肃性,避免因地方领导更迭或短期利益考量而出现政策摇摆,亟须将行之有效的政策实践上升为具有法律约束力的制度规范。建议由京津冀三地人大协同,共同起草并颁布一部区域性的《京津冀协同发展促进条例》。该条例应明确协同发展的基本原则、三地政府的核心权责清单、跨区域协调机构(如京雄协同发展委员会)的法律地位与议事规则、规划编制与执行的法定程序、生态环保的共同责任与标准以及跨区域利益分享与生态补偿的法律计算依据。通过立法形式,将“协同发展”从一项政治任务,转化为一项法定义务,为处理跨区域的复杂利益纠纷、保障企业与民众的合法预期提供最终的法律准绳,从而为整个区域一体化进程筑牢最根本的制度基石。

建立一套统一、刚性的区域规划管控制度,确保“一张蓝图绘到底”的战略意图得到不折不扣的法律执行。本研究的土地利用模拟揭示了在不同政策情景下空间格局的巨大差异,凸显了规划管控的重要性。然而,跨行政区的“规划打架”现象是区域协同的普遍难题。为此,必须在法律层面构建一个超越行政边界的统一规划管控体系。建议针对北京城市副中心与廊坊北三县、北京大兴国际机场临空经济区、雄安新区等重点协同区域,制定专门的《协同区空间规划管制条例》。该条例应赋予联合规划委员(会实体性的规划审查与监督执法权,明确任何不符合协同区总体规划的建设项目均不得审批。条例的核心内容应包括对区域生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界这“三条控制线”的法律地位予以确认,并规定任何调整必须经过法定程序和上一级机构批准,从而彻底杜绝地方政府为短期利益而随意突破规划、侵占生态空间的可能,确保区域空间格局的优化调整在法制轨道上有序进行。

创新并固化跨区域的行政执法与司法协作机制,为各类市场主体营造一个公平、高效、可预期的区域营商法治环境。随着产业与人口的跨区域流动日益频繁,因标准不一、信息不通、执法尺度各异而产生的“制度性壁垒”问题愈发凸显。为打造一体化的市场环境,必须在执法和司法层面实现深度协同。在行政执法领域,建议三地政府联合签署具有法律效力的合作协议,在环保、市场监管、税务稽查等重点领域建立常态化的“联合执法”与“委托执法”机制,统一执法标准与流程,实现违法线索互联、处理结果互认。在司法协作领域,建议最高人民法院出台指导意见,鼓励京津冀三地法院建立跨区域案件的“集中管辖”或“巡回法庭”制度,专门审理涉及协同发展的重大商事合同、知识产权、劳动争议等案件。同时,应大力推进三地法院、仲裁机构在判决、裁决上的相互承认与执行,并共建一个覆盖全区域的司法信息共享平台,从根本上降低企业跨区域经营的法律风险与维权成本。

完善社会矛盾的系统性预防与多元化解机制,依法保障疏解过程中各类社会群体的合法权益不受侵犯。大规模的产业疏解和人口迁移,本质上是一场深刻的社会结构重塑,不可避免地会触及不同群体的利益,若处置不当,极易引发社会矛盾。因此,必须构建一个全链条、法治化的风险防控与权益保障体系。建议在立法层面,强制要求所有重大疏解项目在决策前必须开展独立的“社会稳定风险评估”,并组织由利益相关方(包括企业主、员工、被拆迁居民、社区代表等)共同参与的听证会,将矛盾预防的关口前移。同时,应建立一个由政府主导、司法保障、社会力量广泛参与的多元化纠纷解决平台,整合行政复议、仲裁、人民调解、律师咨询、信访

等多种渠道,为当事人提供便捷、低成本的“一站式”解决方案。特别是对于疏解过程中可能出现的劳资纠纷、拆迁补偿争议等敏感问题,应设立专门的劳动仲裁庭和行政裁决委员会,确保所有利益诉求都能在法治框架内得到公正、高效的回应与处理,从而维护社会大局的和谐稳定。

表 7-1 京津冀协同发展核心法规体系建设建议

名称	主要目标	条款建议
《京津冀协同发展促进条例》	确立区域协同发展的基本法律框架,明确各方权责,为跨区域治理提供最高层级的法律依据。	1. 总则:明确协同发展的指导思想、基本原则(如优势互补、互利共赢、生态优先)。2. 领导与协调机制:规定京津冀协同发展领导小组及其办公室、重点领域专项工作组的法律地位、职责与议事规则。3. 规划协同:规定区域总体规划、专项规划的联合编制、审批、监督与评估的法定程序,确立规划的法律权威性。4. 产业疏解与承接:明确非首都功能疏解的清单制管理、承接平台的认定标准,以及对疏解与承接企业的财税、土地等支持政策。5. 生态环保协同:设定区域统一的环保标准、联防联控机制以及跨区域生态补偿的法律原则与计算方法。6. 公共服务共享:规定在教育、医疗、社保等领域推动政策衔接、资源共享的法定义务。7. 利益协调与争端解决:设立税收分享、成本共担的法律框架,并明确跨区域纠纷的行政协调与司法解决途径。8. 法律责任:规定违反本条例的地方政府、部门及个人的法律责任。
《京雄协同区空间规划管制条例》	对北京-雄安这一核心协同区域的空间开发活动进行统一、刚性的法律管控,确保国家战略意图的精准落地。	1. 适用范围:明确界定条例所管辖的地理空间范围,如雄安新区及周边管控区、北京南部邻近区域等。2. 规划效力:确立《河北雄安新区规划纲要》及相关规划的至上法律效力,任何下位规划和开发建设活动不得与其抵触。3. “三区三线”管控:以法律形式固化协同区内的生态保护红线、永久基本农田和城镇开发边界,规定任何调整的极端严格条件与法定审批程序。4. 负面清单管理:制定并定期更新协同区内的产业和项目准入负面清单,严禁不符合功能定位的产业落地。5. 风貌管控:对建筑高度、密度、风格、色彩等城市设计要素做出法定性、指标化的刚性规定,保护“中华风范、淀泊风光、创新风尚”的总体风貌。6. 联合审批与监管:建立京冀联合的规划审批与监督执法委员会,对重大项目实施统一审查和全过程监管。
《京津冀跨区域生态补偿条例》	将生态保护补偿从行政性、临时性的项目支持,转变为法制化、常态化的制度安排,实现“保护者受益、使用者付费”。	1. 补偿范围与对象:明确界定提供重要生态产品(如水源、森林、清洁空气)的生态功能区(如密云水库上游、张家口坝上地区)为受偿方,生态受益区(如北京、天津中心城区)为补偿方。2. 补偿标准与核算:建立基于生态系统服务价值(GEP)核算的科学补偿标准,综合考虑水资源量、水质、空气质量、碳汇能力等指标,并建立动态调整机制。3. 资金来源与支付:规定补偿资金由受益区地方财政预算、水资源费、排污权交易收入等多渠道筹集,并通过财政转移支付方式直接拨付给受偿地政府。4. 资金用途监管:明确规定补偿资金必须专项用于生态保护修复、民生改善和绿色产业发展,并建立严格的审计与绩效评估制度。5. 横向补偿激励:鼓励受益与受偿地区之间签订横向补偿协议,探索除资金补偿外的产业扶持、人才支持、共建园区等多元化补偿方式。

7.6 激发人才与创新驱动力,构筑区域协同创新共同体

系统构建“研发孵化在北京、加速转化在雄安”的梯度协同创新链条,促进创新要素在区域内的最高效配置与价值最大化。北京作为国家科技创新中心,其核心优势在于强大的基础研究能力和高端人才的密集度,但高昂的土地和运营成本限制了科技成果的规模化转化。雄安新区则拥有广阔的发展空间、全新的政策环境和后发优势。二者之间存在天然的互补性。为此,应倾力打造一条“中关村-亦庄-雄安”科技创新走廊。具体举措包括:由北京市科委与河北省科技厅共同设立“京雄科技成果转化引导基金”,专项支持北京高校、科研院所的原创性技术成果在雄安进行中试和产业化;鼓励中关村的领军企业、新型研发机构在雄安设立应用研究中心和智能制造基地;在雄安规划建设一批高标准的专业化科技园区,如未来网络、人工智能、生物医药等,与北京的创新板块形成精准的功能对接。通过政策引导和市场驱动,让创新成果如同接力赛一般,在北京完成“从0到1”的突破,在雄安实现“从1到N”的放大,形成区域整体的创新优势。

全面实施一体化的人才吸引、评价与服务政策,推动高端创新人才在区域内的无障碍流动、共享与发展。人才是创新的第一资源,京雄协同创新的成败,关键在于能否形成一个统一、开放、富有吸引力的人才生态圈。建议打破现有以户籍为基础的人才管理壁垒,探索推出“京雄通用人才绿卡”制度。经认定的持卡人才,无论其人事关系隶属于何地,均可在京雄两地享受同等的购房、子女入学、医疗保健、交通出行等市民待遇。同时,应建立京雄统一的人才评价标准与职称互认体系,鼓励和支持北京的科研人员、工程师、高级管理人才以“周末工程师”、“项目候鸟”、“技术顾问”等多种灵活方式服务雄安的企业和项目,并将其在雄安的工作业绩纳入其在京单位的职称评定和绩效考核体系。此外,还应联合举办全球性的人才峰会和创业大赛,共同面向世界延揽顶尖人才,将京雄地区打造成为全球创新人才向往的“强磁场”。

前瞻性布局并共建共享一批世界一流的重大科技基础设施集群,将雄安新区打造成为区域长远发展的“创新策源地”。重大科技基础设施是催生源头创新、引领产业变革的国之重器。雄安新区的规划建设,为布局这些对空间、环境要求极高的大科学装置提供了千载难逢的历史机遇。建议国家层面统筹规划,将未来若干个国家实验室、大科学装置,如空天技术实验室、新一代同步辐射光源、智能超算中心等,优先布局在雄安新区。这些大科学装置的规划、建设和运营,应采取“国家主导、京冀共建、市场参与”的新模式,由北京的顶尖高校和中科院相关院所作为法人单位,与河北省及社会资本共同组建运营实体。这不仅能将最前沿的科学研究活动直接引入雄安,吸引全球顶尖科学家团队入驻,更能围绕这些设施,衍生出一大批从事高端仪器研发、数据分析服务、前沿技术应用的高科技企业,从而为雄安的创新发展注入最硬核的动力,使其从一个“承接地”跃升为新的“策源地”。

表 7-2 京雄协同创新生态系统关键指标与行动计划

关键领域	核心指标	主要行动
协同创新链	1. 北京技术合同成交额中流向津冀的比例。 2. 每年从北京迁入或在雄安新区设的国家高新技术企业数量。 3. 京雄共建国家级、省级重点实验室及技术创新中心数量。	1. 打造“中关村-亦庄-雄安”科技创新走廊。 2. 设立“京雄科技成果转化引导基金”。 3. 在雄安规划建设专业化高科技园区,与北京创新板块精准对接。 4. 建立京雄技术交易一体化服务平台。
人才一体化	1. 每年在京冀之间流动的各类人才(特别是高层次人才)规模。 2. “京雄通用人才绿卡”发放数量。 3. 跨区域职称互认的专业技术人员数量。	1. 探索推行“京雄通用人才绿卡”制度。 2. 建立统一的人才评价标准与职称互认体系。 3. 实施“柔性引才”计划,鼓励北京专家服务雄安。 4. 联合举办全球人才峰会与创业大赛。 5. 在雄安配套建设国际化的人才社区、学校和医院。
科技金融	1. 京雄协同创新基金总规模及年度投资额。 2. 在雄安新区注册的创投、股权投资机构数量。 3. 跨区域知识产权质押融资金额。	1. 设立政府引导、市场化运作的“京雄协同创新基金”。 2. 鼓励北京金融机构在雄安设立科技金融专营分支。 3. 共建京雄知识产权交易与金融服务平台,探索 IP 证券化。 4. 为入驻雄安的科技企业提供上市辅导“绿色通道”。
创新文化	1. 每年举办的京雄联合创新创业活动(大赛、论坛、沙龙)场次。 2. 两地高校、科研院所及企业间人员互访交流人次。 3. 开放共享的孵化器、众创空间数量。	1. 定期举办“京雄创新峰会”、青年创业节等品牌活动。 2. 鼓励共建共享联合孵化器和开放实验室。 3. 将创新文化元素融入雄安城市规划与公共空间设计。 4. 支持成立跨区域的产业技术联盟和创新社群。

7.7 构筑城市安全韧性屏障,确保区域转型的公平与稳定

建立并实施贯穿全过程的社会风险动态评估与闭环应对机制,主动防范并系统化解转型期的各类社会矛盾。本研究的预测显示,未来十余年,北京和雄安将经历一场剧烈的人口、产业和空间结构的重塑,这一过程必然伴随着深刻的利益调整,潜藏着诸多社会风险。为此,必须将风险管理置于与发展规划同等重要的位置。建议强制要求所有区级以上政府部门在出台与疏解、承接相关的重大政策前,必须委托第三方专业机构开展独立的“社会风险评估”,系统识别政策可能对不同社会群体(如低技能劳动者、小微企业主、被拆迁居民、本地原住民等)带来的就业、收入、住房、心理等方面的冲击,并提出可行的风险缓释方案。

实施“就业优先”的包容性疏解与承接策略,为在产业转型中受冲击最严重的传统产业工人提供坚实的转岗培训与社会托底保障。产业疏解的宏观效益不应建立在牺牲个体劳动者生计的基础之上。研究中明确的批发零售、住宿餐饮、制造业等主要疏解行业,恰恰是吸纳大量中低技能劳动力的“就业海绵”。为避免出现规模性、结构性失业,必须实施积极的就业援助政策。建议由京冀两地人社部门联合设立“京津冀产业转型就业服务中心”,整合两地培训资源

与岗位信息。一方面,面向疏解行业的在职和失业人员,大规模提供免费的、订单式的职业技能提升培训,重点围绕雄安新区未来重点发展的数字经济、智能制造、现代服务业等领域,帮助他们掌握一技之长,实现“转行”而非“失业”。另一方面,要构建一张牢固的社会安全网,对于确实难以通过市场实现再就业的困难人员,通过提供公益性岗位、发放临时生活补贴、加强社会救助等方式予以托底安置,确保每一个家庭的基本生活在转型期得到有效保障,维护社会的公平正义。

构建能够抵御多重冲击的跨区域城市基础设施韧性体系,显著提升京雄两地应对自然灾害与突发公共卫生事件的协同能力。未来的城市发展面临着气候变化、极端天气、流行病等日益增多的不确定性风险。北京与雄安作为地理邻近、功能紧密联系的共同体,其安全韧性必须一体化规划、一体化建设。在基础设施规划层面,应强制要求所有生命线工程(供水、供电、供气、通信、交通)都必须遵循“N-1”甚至“N-2”的安全冗余原则,并建立跨区域的备用切换和智能调度系统。在防洪排涝方面,应以整个大清河流域为单元,协同开展蓄滞洪区建设、堤防加固和智慧水务管理,建立上下游统一的洪水预警与调度机制。在应对突发公共卫生事件方面,应协同规划建设区域性的应急医疗救治中心、物资储备库和负压隔离设施,并建立统一的应急指挥、信息通报和人员、物资跨区域调配流程,确保在危机来临时,能够迅速启动、高效协同,最大限度地保障人民生命安全和城市核心功能的持续运行。

制定并严格执行一个覆盖广、层次多、租购并举的住房保障与供应体系,坚决防止房地产市场的大起大落对区域经济社会稳定造成冲击。住房问题是人口流动的核心关切,也是最容易引发社会焦虑和金融风险的领域。雄安新区从设立之初就明确了“房住不炒”的定位,必须将这一原则贯彻到底。建议雄安新区以发展保障性租赁住房、共有产权住房为主,商品住房为辅,建立一套全新的、以政府主导供给、封闭运行为主的住房制度,从源头上杜绝投机炒作空间。对于北京而言,产业疏解腾退的土地,应拿出相当比例,集中建设面向城市运行服务保障人员、新市民、青年人的保障性租赁住房,以稳定他们的居住预期,缓解中心城区的高房价压力。同时,京雄两地应建立房地产市场联动监测和调控协调机制,共享交易数据,密切关注跨区域的资金流动和购房行为。一旦发现市场出现过热苗头,应果断采取协同行动,统一调整信贷、税收等政策,共同维护房地产市场的平稳健康发展,为区域的长期稳定繁荣提供坚实基础。

第 8 章 结论与展望

8.1 研究结论

本研究基于“以业带人”的人口疏解思路,将雄安新区的建设视为促进北京市产业结构优化和人口疏解的政策冲击,基于北京市历史土地利用分布图、遥感影像、城市兴趣点(POI)、产业投入产出表和统计年鉴等资料和数据,利用轮廓线树法、系统动力学、多主体与元胞自动机等方法,分析了雄安新区建设背景下产业疏解对北京市人口与土地利用的影响。本研究主要研究结论如下:

通过对比 1990—2000 年、2000—2015 年和 2015—2018 年北京市土地利用空间分布格局及其演变规律后发现北京市城市土地扩张呈现出由“圈层扩展”向“圈层扩展+分散扩展”过渡的态势。城市兴趣点(POI)数据,利用 POI 分布密度及空间衰减特征识别了包含居住、商服和工业等主要产业与功能的集聚中心,发现除工业以外,北京市首都功能核心区诸如居住、商业和公服等功能等主要集聚区,而远郊区的商服类产业发展规模仍偏小。

利用北京市在经济、就业和能源等方面的发展目标,构建了北京市产业结构的多目标优化模型,并根据不同发展权重设定了包括中性增长、就业偏向和能源控制三种产业疏解情景,并确定了不同情景下待疏解行业及其规模。从不同产业疏解情景的平均疏解规模来看,批发和零售、住宿和餐饮、房地产、农林牧渔业、电力、热力的生产和供应、租赁和商务服务变化、建筑和制造业是未来主要的疏解行业,而批发和零售业和住宿和餐饮的疏解幅度最大,分别下降到 2012 年产值比重的 45.63% 和 38.56%。不同产业疏解情景之间,就业偏向情景下行业解规模基本与中性增长情景保持一致,但能源控制情景会增加制造业和建筑业的疏解规模,但减少租赁和商务服务业疏解。

雄安新区建设背景下,产业疏解带动劳动力迁出以及通过雄安新区自身经济发展吸引人口迁出是疏解北京市人口重要途径。基于系统动力学方法,引入劳动力感应系数,构建了包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区人口与土地需求模拟模型。应用该模型测算不同产业疏解情景对北京市劳动力、人口规模和土地需求等要素的变动趋势。雄安新区的建设一定程度地可以抑制北京市人口持续增长的趋势。不同产业疏解情景下,能源控制情景的人口规模将基本维持 2018 年的现状规模,而在中性增长情景和就业偏向情景的人口规模相较于 2018 年略有下降。从影响人口规模的途径上看,北京市人口规模的减少主要依赖于产业疏解,2018—2035 年劳动力的疏解总量可达到 309.05 万~368.42 万

人。短期来看,直接从北京迁入至雄安新区的人口规模相对较小,约占产业迁出带动劳动力疏解规模的 8.3%~9.2%,但北京市每年迁出至雄安的人口规模总体呈现快速增加的趋势。

构建了耦合多主体与元胞自动机的土地利用模拟模型并应用该模型模拟北京市 2018 年的呢年土地利用格局,并预测了 2035 年不同产业疏解情景下北京市土地利用格局。受产业疏解的影响,北京市工业用地、批发零售用地、住宿餐饮用地和公共服务用地将减少,其中,批发零售和住宿餐饮用地的下降幅度最大;但未来商务金融用地和其他商服用地将进一步扩大,其中商务金融用地增幅相较于常规情景增加近一倍。在地类的转出规模上,首都核心功能区、平谷、延庆和密云等区县的工业用地转出规模增加;批发零售用地在东城、西城、丰台和石景山转出规模增加;住宿餐饮用地在首都核心功能区转出规模较高。在地类转入规模上,远郊区城市居住用地的增幅较大;首都核心功能区的批发零售用地相对于常规情景略有增加;首都核心功能区内商务金融用地和其他商服用地转入量减少但远郊区县的转入规模在增加。

8.2 主要创新点

在产业空间集聚中心的识别方面,本研究引入轮廓线树法,利用不同产业的兴趣点(POI)分布密度判断其空间集聚形态,克服传统以行政区为评价单元的限制性;在集聚边界识别上,考虑产业分布密度的空间衰减特征以及衰减距离的空间异质性,引入分段线性回归识别衰减距离的断点并确定产业集聚密度的边界阈值,改进了以往使用单一密度阈值识别集聚边界所可能导致的“过度提取”或“提取不足”的问题。

在人口与土地需求预测方面,本研究基于远程耦合的视角,构建了包含发送系统(北京—疏解子系统)和接收系统(雄安新区—承接子系统)的跨区 SD 模型,分析了雄安新区的建设作为北京市城市发展的一项外部政策冲击对北京市人口与土地需求的影响;在驱动因素选择上增加了空间上远距离因素的考量,改进了以往驱动因素多囿于区域内部所带来的不足。

在土地利用空间格局的模拟模型方面,本研究构建了耦合多主体与元胞自动机的土地利用变化模拟模型,基于多主体理论分析了产业疏解下城市企业、居民与政府主体的决策行为及规则,综合考虑宏观社会经济与微观决策行为对土地利用空间分布的影响;同时引入元胞自动机模型兼顾地理环境的局部特征。

8.3 研究展望

土地利用变化是宏观社会经济、微观决策行为以及地理环境的多因素共同驱动的结果。本研究受限于数据的可获取性,将主体类别、决策行为及其驱动因素进行了简化。今后的研究应从数据获取和利用两个方面入手,细化主体类别并充分考虑社会经济要素对微观决策行为的影响。

本研究中主体行为的决策参数主要基于 AHP 与熵值法结合的方法确定。该方法虽能综

合主观赋权法和客观赋权法的优势,但仅能够反映不同主体在进行决策判断时对驱动因素的相对偏好大小,但是与真实世界中对决策参数的偏差同样会影响模拟精度。今后研究引入如遗传算法等方法进行参数优化,提高模型预测的精度。

本研究主要分析了雄安新区建设对人口与土地利用空间格局的影响,研究人口规模与土地利用空间格局是探讨产业疏解对人口影响的第一步。今后的研究可根据劳动力迁移理论与劳动经济学理论通过引入居民主体职业类型和企业主体的劳动力需求,考虑居民主体与企业主体的互动关系,进一步评估产业疏解对就业人口空间分布的影响。

参考文献

- 曹芳洁,邢汉发,侯东阳,徐海滨,孟媛,郭旋,2019. 基于 POI 数据的北京市商业中心识别与空间格局探究[J]. 地理信息世界(1):66-71.
- 陈凯,刘凯,柳林,朱远辉,2015. 基于随机森林的元胞自动机城市扩展模拟[J]. 地理科学进展,34(8):937-946.
- 陈萍,2009. 城市经济发展:理论与实践[M]. 北京:经济管理出版社.
- 陈庆能,2018. 中国行业碳排放的核算和分解[D]. 杭州:浙江大学.
- 陈彦光,2009. 空间相互作用模型的形式、量纲和局域性问题探讨[J]. 北京大学学报(自然科学版)(2):333-338.
- 陈自芳,2011. 区域经济学新论[M]. 北京:中国财政经济出版社.
- 范剑勇,2004. 长三角一体化,地区专业化与制造业空间转移[J]. 管理世界,11(11):77-84.
- 冯云廷,2017. 城市土地经济学原理[M]. 北京:清华大学出版社.
- 古明明,张勇,2012. 中国资本存量的再估算和分解[J]. 经济理论与经济管理(12):29-41.
- 官莹,管驰明,周章,2006. 经济功能演替下的城市空间结构演化——以深圳市为例[J]. 地域研究与开发(1):58-61+82.
- 郝晓斌,章明卓,2014. 沙里宁有机疏散理论研究综述[J]. 山西建筑,40(35):21-22.
- 何春阳,陈晋,史培军,于章涛,2002. 基于 CA 的城市空间动态模型研究[J]. 地球科学进展,17(2):188-195+303.
- 侯慧丽,2018. 特大城市产业疏解政策下外来劳动力定居意愿的变化——以北京市为例[J]. 劳动经济研究,6(2):109-127.
- 胡曾曾,赵志龙,张贵祥,2018. 非首都功能疏解背景下北京市人口空间分布形态模拟[J]. 地球信息科学学报,20(2):205-216.
- 胡腾云,2018. 北京市产业疏解对人口疏解带动的成效思考[C]//中国城市规划学会,杭州市人民政府. 共享与品质——2018 中国城市规划年会论文集(14 规划实施与管理). 北京市城市规划设计研究院:795-805.
- 姜鹏飞,唐少清,2017. 首都人口疏解的制约因素与突破思路——基于国外城市人口疏解的经验[J]. 河北大学学报(哲学社会科学版),42(4):150-155.
- 康停军,张新长,赵元,王海鹰,张维,2012. 基于多智能体的城市人口分布模型[J]. 地理科学,32(7):790-797.
- 黎夏,叶嘉安,刘小平,杨青生,2007. 地理模拟系统:元胞自动机与多智能体[M]. 北京:科学出版社.
- 李超,张红宇,卢健,覃飙,2013. 北京市人口调控与产业结构优化的互动关系[J]. 城市问题(8):2-6.
- 李程伟,闫晶,付艳华,张欣亮,王分,沈昭宇,林琳,王凯,张旭,马晨凯,2017. 流动人口疏解效果评价及政策建议——对北京市的问卷调查[J]. 国家行政学院学报(1):114-119+129.
- 李春梅,2015. 中国区际产业转移绩效实证研究——产业结构优化视角[M]. 北京:中国社会科学出版社.
- 李江苏,梁燕,王晓蕊,2018. 基于 POI 数据的郑东新区服务业空间聚类研究[J]. 地理研究,37(1):145-157.
- 李少英,黎夏,刘小平,吴志峰,艾彬,陈明辉,黎海波,刘萌伟,2013. 基于多智能体的就业与居住空间演化多

- 情景模拟——快速工业化区域研究[J]. 地理学报, 68(10):1389-1400.
- 李少英, 黎夏, 刘小平, 吴志峰, 马世发, 王芳, 2015. 基于劳动力市场均衡的人口多智能体模拟——快速工业化地区研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 40(10):1306-1311.
- 李少英, 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 2017. 土地利用变化模拟模型及应用研究进展[J]. 遥感学报, 21(3):329-340.
- 李秀霞, 徐龙, 江恩赐, 2013. 基于系统动力学的土地利用结构多目标优化[J]. 农业工程学报, 29(16):247-254+294.
- 李扬, 刘慧, 2010. 人口迁移空间格局模拟研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 29(10):1162-1170.
- 李治国, 唐国兴, 2003. 资本形成路径与资本存量调整模型——基于中国转型时期的分析[J]. 经济研究(2):34-42+92.
- 林理升, 王晔倩, 2006. 运输成本, 劳动力流动与制造业区域分布[J]. 经济研究(3):115-125.
- 凌嘉勤, 2017. 造城建家——香港城市规划回顾与展望[J]. 国际城市规划, 32(3):6-10.
- 刘东亚, 2019. 土地利用变化时空动力学方法构建与应用研究[D]. 北京:中国地质大学(北京).
- 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等, 2014. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 69(1):3-14.
- 刘继生, 陈彦光, 2000. 城市地理分形研究的回顾与前瞻[J]. 地理科学(2):166-171.
- 刘乃全, 耿文才, 2015. 上海市人口空间分布格局的演变及其影响因素分析——基于空间面板模型的实证研究[J]. 财经研究, 41(2):99-110.
- 刘起运, 陈璋, 苏汝劼, 2011. 投入产出分析[M]. 北京:中国人民大学出版社.
- 刘小平, 黎夏, 陈逸敏, 刘涛, 李少英, 2010. 基于多智能体的居住区位空间选择模型[J]. 地理学报, 65(6):695-707.
- 刘玉, 孙亮, 2008. 珠三角经济区劳动力结构与产业升级[J]. 城市发展研究(4):91-97.
- 刘媛媛, 李庭竹, 刘冉, 2019. 北京市流动人口的社区选择及居留意愿研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 40(3):58-64.
- 鲁春阳, 2011. 城市用地结构演变与产业结构演变的关联研究[D]. 重庆:西南大学.
- 鲁春阳, 杨庆媛, 靳东晓, 李新阳, 文枫, 2010. 中国城市土地利用结构研究进展及展望[J]. 地理科学进展, 29(7):861-868.
- 牟宇峰, 2016. 产业转型背景下就业人口与产业发展关系研究综述[J]. 人口与经济(3):103-114.
- 裴彬, 潘韬, 2010. 土地利用系统动态变化模拟研究进展[J]. 地理科学进展, 29(9):1060-1066.
- 彭建, 汪安, 刘焱序, 马晶, 吴健生, 2015. 城市生态用地需求测算研究进展与展望[J]. 地理学报, 70(2):333-346.
- 乔文怡, 2019. 长三角城市群城镇化进程中的土地利用变化与预测研究[D]. 南京:南京师范大学.
- 曲畅, 任玉环, 刘亚岚, 李娅, 2017. POI 辅助下的高分辨率遥感影像城市建筑物功能分类研究[J]. 地球信息科学学报, 19(6):831-837.
- 任保平, 李梦欣, 2017. 进入新常态后我国地方经济增长分化的理论解释[J]. 经济学家(10):31-41.
- 芮明杰, 余光胜, 1997. 企业战略:产业视角的思考[J]. 中国工业经济(12):41-44.
- 盛广耀, 2018. 城市群区域人口变动的时空演化模式——来自京津冀地区的证据[J]. 城市与环境研究(2):33-47.
- 单豪杰, 2008. 中国资本存量 K 的再估算:1952—2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 25(10):17-31.
- 石敏俊, 张卓颖等, 2012. 中国省区间投入产出模型与区际经济联系[M]. 北京:科学出版社.
- 孙启明, 白丽健, 彭惠, 宋阳, 2012. 区域经济波动的微观动态基础:企业迁移和产业转移[J]. 经济学动态(12):60-66.
- 孙威, 毛凌潇, 唐志鹏, 等, 2016. 基于敏感度模型的非首都功能疏解时序研究[J]. 地理研究, 35(10):1819-1830.

- 孙玉环,李倩,陈婷,2016. 中国能源消费强度行业差异及影响因素分析——基于指数分解[J]. 调研世界(4): 28-34.
- 谭静,2011. 可持续的人口集聚——以长三角地区的人口导入和碳减排实现机制为例[D]. 上海:复旦大学.
- 谭日辉,马钰宸,2019. 非首都功能疏解对北京市流动人口居留意愿及其社会情绪的影响[J]. 城市发展研究, 26(12):95-101.
- 唐华俊,吴文斌,杨鹏,陈佑启,2010. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报,64(4): 456-468.
- 陶海燕,黎夏,陈晓翔,2009. 基于多智能体的居住空间格局演变的真实场景模拟[J]. 地理学报,64(6):665-676.
- 童玉芬,单士甫,宫倩楠,2020. 产业疏解背景下北京市人口保有规模测算[J]. 人口与经济(2):1-11.
- 王德,程国辉,刘律,钱欣,2008. 上海市中心城区人口疏散的机制研究[J]. 人口与经济(5):1-7.
- 王飞,石晓冬,郑皓,伍毅敏,2017. 回答一个核心问题,把握十个关系——《北京城市总体规划(2016年—2035年)》的转型探索[J]. 城市规划,41(11):9-32+32.
- 王甫园,王开泳,陈田,李萍,2017. 城市生态空间研究进展与展望[J]. 地理科学进展,36(2):207-218.
- 王富喜,毛爱华,李赫龙,贾明璐,2013. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学, 33(11):1323-1329.
- 王继源,陈璋,胡国良,2015. 京津冀协同发展下北京市人口调控:产业疏解带动人口疏解[J]. 中国人口资源 与环境,25(10):111-117.
- 王建军,许学强,2004. 城市职能演变的回顾与展望[J]. 人文地理(3):12-16.
- 王君,杨威,2017. 人工智能等技术对就业影响的历史分析和前沿进展[J]. 经济研究参考,(27):11-25.
- 王微,林剑艺,崔胜辉,吝涛,2010. 碳足迹分析方法研究综述[J]. 环境科学与技术,33(7):71-78.
- 王贞超,2012. 基于GIS和MAS的城市用地扩展模型研究[D]. 南京:南京大学.
- 尉闻,卓健,2020. 交易成本控制视角下我国大城市疏解的理论路径——以上海市为例[J]. 城市发展研究, 27(3):36-44.
- 魏守华,陈扬科,陆思桦,2016. 城市蔓延,多中心集聚与生产率[J]. 中国工业经济(8):58-75.
- 肖亮,2006. 城市街区尺度研究[D]. 上海:同济大学.
- 肖周燕,王庆娟,陈卫,2016. 我国特大城市的功能布局与人口疏解研究——以北京为例[J]. 人口学刊,37(1):5-14.
- 许学强,周一星,宁越敏,2009. 城市地理学(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社.
- 闫卫阳,王发曾,秦耀辰,等,2009. 城市空间相互作用理论模型的演进与机理[J]. 地理科学进展,28(4):511-518.
- 颜咏华,郭志仪,等,2015. 中国人口流动迁移对城市化进程影响的实证分析[J]. 中国人口资源与环境, 25(10):103-110.
- 杨成凤,韩会然,张学波,宋金平,2016. 国内外城市功能疏解研究进展[J]. 人文地理,31(1):8-15.
- 杨舸,2013. 国际大都市与北京市人口疏解政策评述及借鉴[J]. 西北人口,34(3):43-48.
- 杨俊,解鹏,席建超,葛全胜,李雪铭,马占东,2015. 基于元胞自动机模型的土地利用变化模拟——以大连经 济技术开发区为例[J]. 地理学报,70(3):461-475.
- 杨青生,黎夏,2006. 基于支持向量机的元胞自动机及土地利用变化模拟[J]. 遥感学报(6):836-846.
- 杨吾扬,梁进社,1987. 地域分工与区位优势[J]. 地理学报(3):201-210.
- 杨伍栓,2011. 管理哲学新论[M]. 北京:北京大学出版社.
- 殷子渊,2016. 协同,紧凑——香港新市镇发展与港铁建设回顾[J]. 住区(2):12-17.

- 于涛方,陈修颖,吴泓,2008. 2000年以来北京城市功能格局与去工业化进程[J]. 城市规划学刊(3):46-54.
- 于伟,杨帅,郭敏,宋金平,2012. 功能疏解背景下北京商业郊区化研究[J]. 地理研究,31(1):123-134.
- 俞路,2006. 20世纪90年代中国迁移人口分布格局及其空间极化效应[D]. 上海:华东师范大学.
- 喻锋,张丽君,李晓波,符蓉,2014. 国土空间开发及格局优化研究:现状述评,战略方向,技术路径与总体框架[J]. 国土资源情报(8):41-46+9.
- 翟振武,李龙,陈佳鞠,陈卫,2017. 人口预测在PADIS-Int软件中的应用——MORTPAK, Spectrum和PADIS-Int比较分析[J]. 人口研究,41(6):84-97.
- 曾翔,2018. 基于空间视角的中国省际人口迁移与区域经济发展关系研究[D]. 上海:上海社会科学院.
- 张鸿辉,王丽萍,金晓斌,宋歌,周寅康,杨悉廉,2012. 基于多智能体系统的城市增长时空动态模拟——以江苏省连云港市为例[J]. 地理科学,32(11):1289-1296.
- 张景华,封志明,姜鲁光,2011. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展[J]. 资源科学,33(6):1195-1203.
- 张可云,董静媚,2015. 首尔疏解策略及其对北京疏解非首都功能的启示[J]. 中国流通经济,29(11):64-71.
- 赵俊三,袁磊,张萌,2015. 土地利用变化空间多尺度驱动力耦合模型构建[J]. 中国土地科学,29(6):57-66.
- 赵莉,杨俊,李闯,葛雨婷,韩增林,2016. 地理元胞自动机模型研究进展[J]. 地理科学,36(8):1190-1196.
- 赵佩,2020. 基于GEE云平台的喜马拉雅地区森林覆被提取及其变化分析[D]. 西宁:青海师范大学.
- 赵秀池,2011. 北京市优质公共资源配置与人口疏解研究[J]. 人口研究,35(4):76-85.
- 赵振全,袁锐,2009. 消费与投资变动对我国经济增长的动态影响[J]. 吉林大学社会科学学报,49(6):48-54+156.
- 赵志耘,刘晓路,吕冰洋,2006. 中国要素产出弹性估计[J]. 经济理论与经济管理(6):5-11.
- 中国共产党北京市委员会,北京市人民政府,2019. 北京城市总体规划(2016年—2035年)[M]. 北京:中国建筑工业出版社.
- 中国科学院资源环境数据中心,2015. 2015年中国土地利用现状遥感监测数据[EB/OL]. <http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=184>.
- 周嵩山,李红波,2012. 元胞自动机(CA)模型在土地利用领域的研究综述[J]. 地理信息世界,10(5):6-10+13.
- A RAMEZAN C, WARNER T A, MAXWELL A E, 2019. Evaluation of sampling and cross-validation tuning strategies for regional-scale machine learning classification[J]. Remote Sensing, 11(2):185.
- AGARWAL C, 2002. A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice[M]. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.
- ALLEN H, 2013. Bus reform in Seoul, Republic of Korea[R]. Global Report for Human Settlement.
- ALMUSAED A, ALMSSAD A, 2020. City Phenomenon between Urban Structure and Composition[M]//Sustainability in Urban Planning and Design. London: IntechOpen.
- ALONSO W, 1964. Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent[M]. Cambridge: Harvard University Press.
- BAKER G P, HUBBARD T N, 2003. Make versus buy in trucking: asset ownership, job design, and information[J]. American Economic Review, 93(3):551-572.
- BARLACCHI G, LEPRI B, MOSCHITTI A, 2020. Land use classification with point of interests and structural patterns[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33(9):3258-3269.
- BASIAGO A D, 1998. Economic, social, and environmental sustainability in development theory and urban planning practice[J]. Environmentalist, 19(2):145-161.
- BATTY M, 2007. Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models,

- and Fractals[M]. Cambridge: The MIT Press.
- BOUDEVILLE J R, 1966. Problems of Regional Economic Planning[M]. Edinburgh: Edinburgh UP.
- BRADÉ I, MAKHROVA A, NEFEDOVA T, 2014. Suburbanization of Moscow's Urban Region[M]. Wiley Online Library.
- BRANCH M C, 2018. What is a city? [M]//Comprehensive City Planning. New York: Routledge, 35-71.
- BREIMAN L, 2001. Random forests[J]. Machine Learning, 45(1): 5-32.
- BRENNER N, 1998. Global cities, glocal states, global city formation and state territorial restructuring in contemporary Europe[J]. Review of International Political Economy, 5(1): 1-37.
- BRIGGS A, MUMFORD L, 1963. The city in history: its origins, its transformations, and its prospects[J]. History and Theory, 2(3): 296.
- CAMPBELL S, 2000. The changing role and identity of capital cities in the global era[C]//Annual Meeting of the Association of American Geographers, Pittsburgh, PA.
- CARDOSO R V, 2017. Localising urbanisation trajectories: comparing the emergence of second-tier urban regions in Europe (1890-2011)[J]. Urban Research & Practice, 11(3): 223-246.
- CHRISTALLER W, 1966. Central Places in Southern Germany[M]. New Jersey: Prentice Hall.
- CLARK D P, KASERMAN D L, ANANTANASUWONG D, 1993. A diffusion model of industrial sector growth in developing countries[J]. World Development, 21(3): 421-428.
- CROOKS A T, HEPPENSTALL A J, 2012. Introduction to agent-based modelling[M]//Agent-Based Models of Geographical Systems. Dordrecht: Springer, 85-105.
- DENG Y, LIU J, LIU Y, LUO A, 2019. Detecting urban polycentric structure from POI data[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(6): 283.
- DUNCAN O D, 1957. The measurement of population distribution[J]. Population Studies, 11(1): 27-45.
- DURA-GUIMERA A, 2003. Population deconcentration and social restructuring in Barcelona, a European Mediterranean city[J]. Cities, 20(6): 387-394.
- EGGER H, FALKINGER J, 2003. The distributional effects of international outsourcing in a 2×2 production model[J]. The North American Journal of Economics and Finance, 14(2): 189-206.
- EICHENGREEN B, PARK D, SHIN K, 2012. When fast-growing economies slow down: international evidence and implications for China[J]. Asian Economic Papers, 11(1): 42-87.
- FALK T, 1978. Urban turnaround in Sweden: the acceleration of population dispersal 1970-1975[J]. Geo Journal, 2(1): 27-33.
- FAN C C, 2005. Interprovincial migration, population redistribution, and regional development in China: 1990 and 2000 census comparisons[J]. The Professional Geographer, 57(2): 295-311.
- FANG C, YU D, 2017. Urban agglomeration: an evolving concept of an emerging phenomenon[J]. Landscape and Urban Planning, 162: 126-136.
- FORRESTER J W, 1997. Industrial dynamics[J]. Journal of the Operational Research Society, 48(10): 1037-1041.
- FRAGKIAS M, GEOGHEGAN J, 2010. Commercial and industrial land use change, job decentralization and growth controls: a spatially explicit analysis[J]. Journal of Land Use Science, 5(1): 45-66.
- FRIEDLAND R, PALMER D, STENBECK M, 1990. The geography of corporate production: Urban, industrial, and organizational systems[C]//Sociological Forum. New York: Kluwer Academic Publishers-Plenum

- Publishers, 5(3):335-359.
- FUGUITT G V, 1985. The nonmetropolitan population turnaround[J]. *Annual Review of Sociology*, 11(1):259-280.
- GONG L, JIN M, LIU Q, GONG Y, LIU Y, 2020. Identifying urban residents' activity space at multiple geographic scales using mobile phone data[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4):241.
- GORELICK N, HANCHER M, DIXON M, ILYUSHCHENKO S, THAU D, MOORE R, 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 202:18-27.
- GOTTMANN J, HARPER R A, 1990. *Since Megalopolis: The Urban Writings of Jean Gottmann*[M]. Maryland: Johns Hopkins Univ Press.
- HAGHANI A, LEE S Y, BYUN J H, 2003. A system dynamics approach to land use/transportation system performance modeling part I: methodology[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 37(1):1-41.
- HALL P, 1984. *The World Cities*[M]. London: Weidenfeld and Nicolson.
- HALL P, 2000. The changing role of capital cities[J]. *Plan*, 8-11.
- HATTA T, OHKAWARA T, 1994. *Housing and the journey to work in the Tokyo metropolitan area*[M]// *Housing Markets in the United States and Japan*. Chicago: University of Chicago Press, 87-132.
- HOOVER E M, 1941. Interstate redistribution of population, 1850-1940[J]. *The Journal of Economic History*, 1(2):199-205.
- HOWARD E, 2013. *Garden Cities of To-Morrow*[M]. New York: Routledge.
- HUANG J, CAI X, HUANG S, TIAN S, LEI H, 2019. Technological factors and total factor productivity in China: evidence based on a panel threshold model[J]. *China Economic Review*, 54:271-285.
- HUDEC R, TÓTH V, 2014. Population density gradient and its changes in the regions of the largest cities in the Slovak Republic[J]. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 64(1):65-78.
- IRWIN E G, 2010. New directions for urban economic models of land use change: incorporating spatial dynamics and heterogeneity[J]. *Journal of Regional Science*, 50(1):65-91.
- JONES H R, 1990. *Population Geography*[M]. New York: Guilford Press.
- KIM H, 2017. The effect of consumption on economic growth in Asia[J]. *Journal of Global Economics*, 5(3):1-8.
- KIM K S, GALLENT N, 1998. Regulating industrial growth in the South Korean capital region[J]. *Cities*, 15(1):1-11.
- KOOMEN E, DIOGO V, LAVALLE C, 2014. Estimating demand for industrial and commercial land use given economic forecasts[J]. *PLOS ONE*, 9(3):1-14.
- KRUGMAN P, 1997. *Development, Geography, and Economic Theory*[M]. Cambridge: The MIT Press.
- LIU D, ZHENG X, WANG H, ZHANG C, LI J, LV Y, 2018. Interoperable scenario simulation of land-use policy for Beijing-Tianjin-Hebei region, China[J]. *Land Use Policy*, 75:155-165.
- LIU H, SILVA E A, WANG Q, 2016. Incorporating GIS data into an agent-based model to support planning policy making for the development of creative industries[J]. *Journal of Geographical Systems*, 18(3):205-228.
- LIU X, LI X, YE H ANTHONY G O, 2006. Multi-agent systems for simulating spatial decision behaviors and land-use dynamics[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 49(11):1184-1194.
- LOSCH A, et al, 1954. *Economics of Location*[M]. New Haven: Yale University Press.
- MARCON E, PUECH F, 2003. Evaluating the geographic concentration of industries using distance-based methods[J]. *Journal of Economic Geography*, 3(4):409-428.

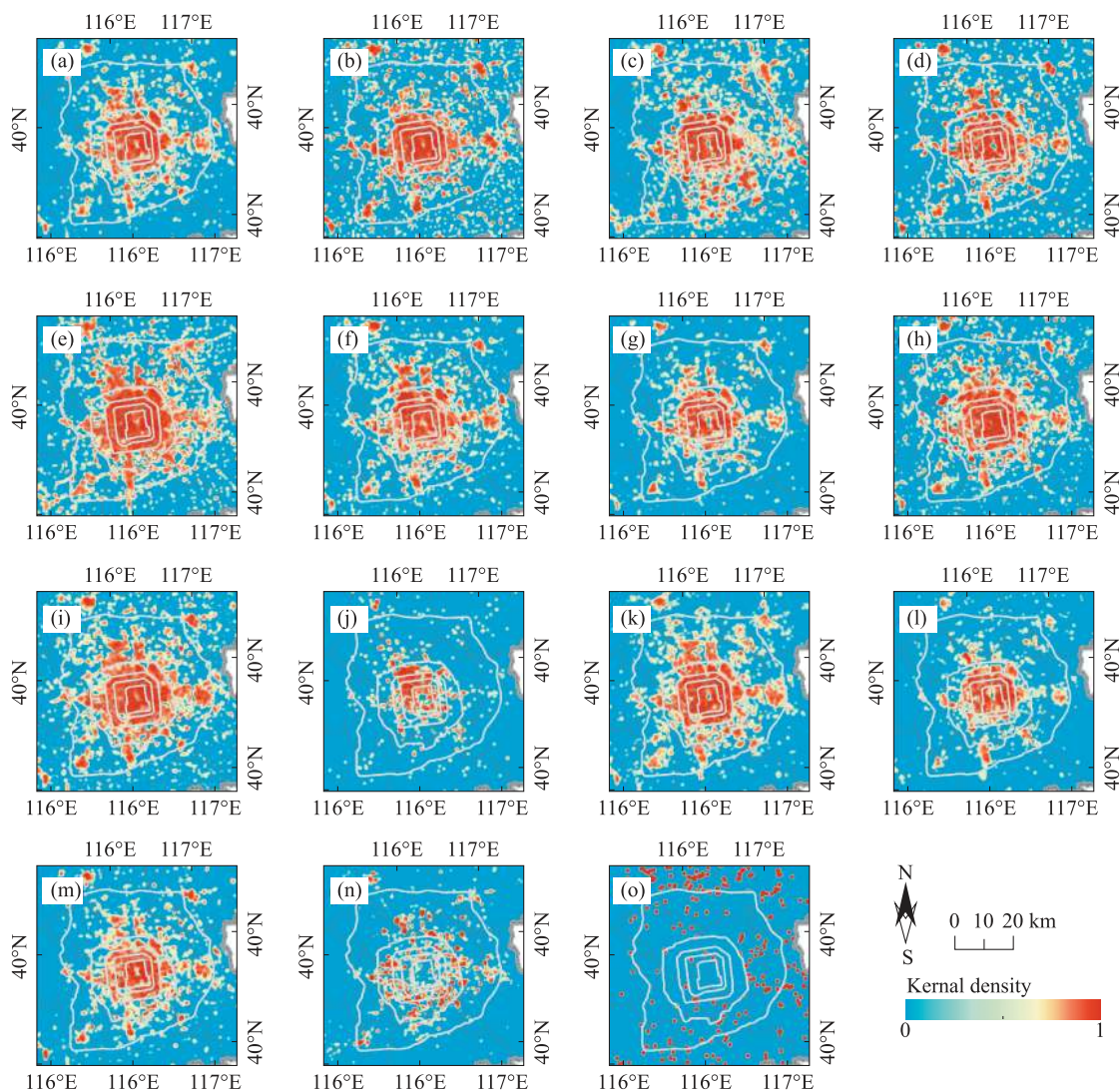
- MARSHALL A, 2013. Principles of Economics[M]. London: Palgrave Macmillan UK.
- MARTIN P, OTTAVIANO G I P, 1999. Growing locations: industry location in a model of endogenous growth [J]. European Economic Review, 43(2): 281-302.
- MICHAEL B, JAN-ERIK W, 2014. Estimating aggregate capital stocks using the perpetual inventory method: a survey of previous implementations and new empirical evidence for 103 countries[R]. Review of Economics, 65(1): 1-34.
- MILLS E S, HAMILTON B W, et al, 1972. Urban Economics[M]. New York: Pearson.
- MOHAN M, SATI A P, BHATI S, 2020. Urban sprawl during five decadal period over National Capital Region of India: impact on urban heat island and thermal comfort[J]. Urban Climate, 33: 100647.
- MYRDAL G, 1957. Economic Theory and Under-Developed Regions[M]. London: Gerald Duckworth.
- NASA JPL, 2013. NASA shuttle radar topography mission global 1 arc second V003[EB/OL]. <https://lpdaac.usgs.gov/node/527>.
- OKATA J, MURAYAMA A, 2011. Tokyo's urban growth, urban form and sustainability[M]//Megacities. Japan, Tokyo: Springer, 15-41.
- OKUN A M, 1963. Potential GNP: Its Measurement and Significance[C]// Proceedings of the Business and Economics Section. American Statistical Association, 98-103
- OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS, 2017. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>[EB/OL]. <https://www.openstreetmap.org>.
- ORLANS H, 2013. Stevenage: A Sociological Study of a New Town[M]. London: Routledge.
- OTA T, 2017. Economic growth, income inequality and environment: assessing the applicability of the Kuznets hypotheses to Asia[J]. Palgrave Communications, 3(1): 1-23.
- PARKER D C, MANSON S M, JANSSEN M A, HOFFMANN M J, DEADMAN P, 2003. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 93(2): 314-337.
- PERROUX F, 1970. Note on the concept of growth poles[J]. Regional Economics: Theory and Practice, 22: 93-103.
- PRESCOTT E, 1997. Needed: a theory of total factor productivity federal reserve bank of Minneapolis[R]. Research Department Staff Report, 242.
- QIAO C F, CHEN J, ZHAO R L, LI J, 2005. Preliminary studies on contour tree-based topographic data mining [C]//Proceedings of International Symposium on Spatio-Temporal, Beijing, China, 27-29.
- QIU R, XU W, ZHANG J, 2015. The transformation of urban industrial land use: a quantitative method[J]. Journal of Urban Management, 4(1): 40-52.
- QIU R, XU W, ZHANG J, STAENZ K, 2018. Modeling and simulating urban residential land development in Jiading New City, Shanghai[J]. Applied Spatial Analysis and Policy, 11(4): 753-777.
- RAZA S A, JAWAID S T, SIDDIQUI M H, 2016. Electricity consumption and economic growth in South Asia [J]. South Asia Economic Journal, 17(2): 200-215.
- RICHARDSON H W, 1995. Economies and diseconomies of agglomeration[M]//Urban Agglomeration and Economic Growth. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 123-155.
- S KAHSAI M, SCHAEFFER P V, 2010. Deconcentration, counter-urbanization, or trend reversal? the population distribution of Switzerland, revisited[J]. The Open Urban Studies Journal, 3(1): 46-55.

- SAARINEN E, et al, 1943. *City, Its Growth, Its Decay, Its Future* [M]. Cambridge: The MIT Press.
- SAGERS M J, GREEN M B, 1979. Industrial dispersion in the Soviet Union; an application of entropy measures [J]. *Soviet Geography*, 20(10): 567-586.
- SHAO Z, 2015. Relevant theories on new urban area development [M] // *The New Urban Area Development*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 23-30.
- SJÖBERG Ö, SJÖHOLM F, 2004. Trade liberalization and the geography of production: agglomeration, concentration, and dispersal in Indonesia's manufacturing industry [J]. *Economic Geography*, 80(3): 287-310.
- SKLAR F H, COSTANZA R, 1991. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: a review and prognosis [J]. *Ecological Studies*, 82: 239-288.
- SORENSEN A, 2001. Subcentres and satellite cities: Tokyo's 20th century experience of planned polycentrism [J]. *International Planning Studies*, 6(1): 9-32.
- STANILOV K, S 81 KODA I, 2014. *Confronting Suburbanization: Urban Decentralization in Postsocialist Central and Eastern Europe* [M]. Oxford: John Wiley & Sons.
- VELDKAMP A, FRESCO L O, 1996. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects [J]. *Ecological Modelling*, 85(2-3): 253-270.
- VELDKAMP A, LAMBIN E F, 2001. Predicting land-use change [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, 85(1-3): 1-6.
- VENABLES A J, 1996. Equilibrium locations of vertically linked industries [J]. *International Economic Review*, 37(2): 341-359.
- VERGEER R, KLEINKNECHT A, 2010. The impact of labor market deregulation on productivity: a panel data analysis of 19 OECD countries (1960-2004) [J]. *Journal of Post Keynesian Economics*, 33(2): 371-408.
- VESELOVSKY M Y, GNEZDOVA J V, ROMANOVA J A, KIROVA I V, IDILOV I I, 2015. The strategy of a region development under the conditions of new actual economic [J]. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 6(5): 310.
- VINING D R, KONTULY T, 1978. Population dispersal from major metropolitan regions: an international comparison [J]. *International Regional Science Review*, 3(1): 49-73.
- VISSER E J, 1999. A comparison of clustered and dispersed firms in the small-scale clothing industry of Lima [J]. *World Development*, 27(9): 1553-1570.
- VIVARELLI M, 1995. *The Economics of Technology and Employment: Theory and Empirical Evidence* [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- WANG S, MA H, ZHAO Y, 2014. Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment—a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Ecological Indicators*, 45: 171-183.
- WILLIAMS A, 2012. What is a city? [J]. *Architectural Design*, 82(1): 66-69.
- XIANG B, 2016. Emigration trends and policies in China: movement of the wealthy and highly skilled [M] // *Spotlight on China*. Rotterdam: Sense Publishers, 245-267.
- YAMASAKI K, UEDA T, MUTO S, 2012. Impacts of transport infrastructure policies in population-declining metropolitan area: business productivity and quality of urban life in Tokyo [M] // *Metropolitan Regions: Knowledge Infrastructures of the Global Economy*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 425-449.
- YAO Y, LIU X, LI X, LIU P, HONG Y, ZHANG Y, MAI K, 2017. Simulating urban land-use changes at a

- large scale by integrating dynamic land parcel subdivision and vector-based cellular automata[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(12): 2452-2479.
- YEUNG H W C, 2013. *Globalizing Regional Development in East Asia: Production Networks, Clusters, and Entrepreneurship*[M]. New York: Routledge.
- ZHANG L, 2001. *Strangers in the City: Reconfigurations of Space, Power, and Social Networks Within China's Floating Population*[M]. Redwood City: Stanford University Press.

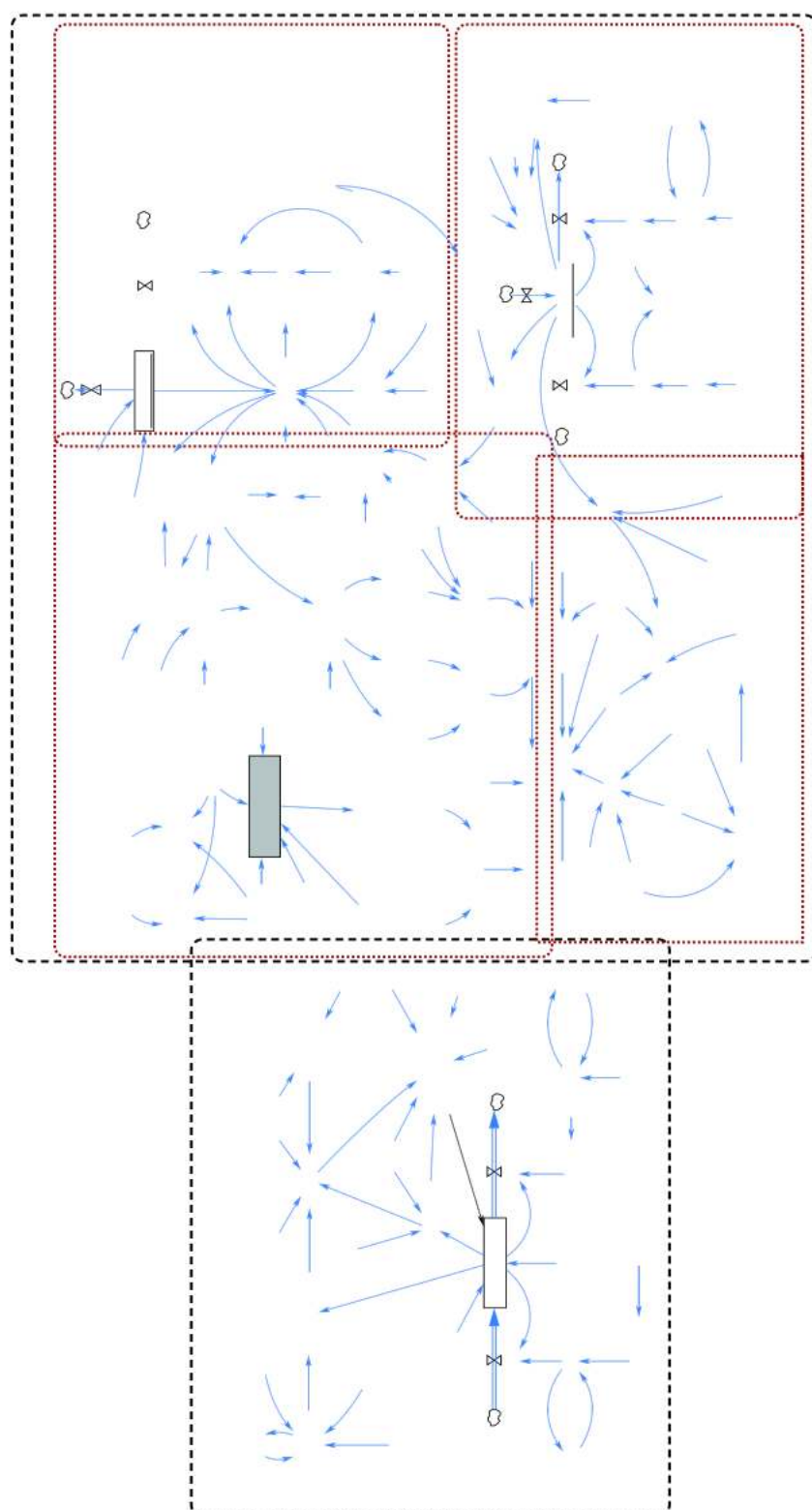
附录

一、附图



附图 1 POI 核密度分布

注：(A) 餐饮；(B) 公共设施；(C) 公司企业；(D) 卫生、社保；(E) 教育、文化；(F) 金融、保险；(H) 运动、休闲；(I) 住、宿；
(J) 科研及技术服务；(L) 商业设施、商务服务；(M) 批发、零售；(N) 汽车销售及服务；(O) 农林牧渔业。



二、附表

附表 1 北京市居住空间分布中心的统计信息

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
西城	# 20	新街口街道南部	17.15	10.02	4.38	1.28
	# 1	德胜街道、展览路街道、什刹海街道与天桥街道的交界区域	8.00	18.68	10.14	0.52
海淀	# 25	清河街道与西三旗街道的交界区域	11.50	16.08	10.65	0.44
	# 19	紫竹院街道、曙光街道	22.50	15.40	12.56	1.29
	# 17	八里庄街道东部、甘家口街道与展览路街道的交界区域	17.02	16.50	7.97	1.15
	# 21	清华园街道、燕园街道、中关村街道、青龙桥街道和海淀街道	18.06	12.56	9.51	0.25
	# 4	上地街道东部与清河街道的交界区域	21.61	8.21	4.46	1.23
丰台	# 15	长辛店街道与长辛店镇交界处及周边地区	9.07	7.56	2.93	0.55
	# 22	方庄地区与东铁匠营街道的交界处及周边地区	9.24	8.89	5.89	1.15
	# 24	南苑乡与南苑街道、大红门街道、和义街道、西罗园街道、马家堡街道	18.20	7.01	3.44	1.01
石景山	# 2	广宁街道与金顶街街道	7.84	6.01	2.90	0.84
	# 14	八宝山街道与老山街道	8.27	8.11	3.34	1.14
朝阳	# 16	平房地区、高碑店地区与管庄地区的交界区域	13.05	7.23	3.69	0.76
	# 23	将台地区、太阳宫地区、望京街道、六里屯街道、东湖街道、酒仙桥街道	17.15	22.68	19.19	1.31
门头沟	# 3	大峪街道东部,位于大峪街道中部,辐射周边多个区域	17.15	10.02	4.38	1.28
通州	# 1	永顺镇	12.38	9.01	3.96	0.84

附表 2 北京市商务金融业分布中心的统计信息

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
东城	# 1	建国门街道、东华门街道、朝阳门街道与东四街道的交界区域	95.82	18.42	10.64	1.20
	# 10	和平里街道与安定门街道的交界区域	5.80	7.31	1.86	1.28
	# 9	东直门内街道与北新桥街道的交界区域	9.59	14.88	12.39	1.62
石景山	# 6	模式口地区与金顶街街道的交界区域	9.38	8.08	6.89	0.83
	# 7	苹果园街道南部	10.00	5.90	1.95	1.14
丰台	# 4	卢沟桥乡、右安门街道与新村街道的交界区域	8.53	5.69	2.52	0.92
	# 11	长辛店镇与长辛店街道的交界区域	10.20	7.11	2.93	1.23
朝阳	# 12	奥运村街道、大屯路街道	10.20	11.37	7.55	2.83
	# 15	朝外街道东部	10.36	6.80	2.88	1.20
	# 16	麦子店街道、香河园街道与左家庄街道的交界处	10.50	9.02	6.22	0.40
怀柔	# 2	泉河街道与龙山街道的交界处及周边地区	8.56	9.86	7.84	0.88

附表3 北京市批发零售业分布中心的统计信息

区县	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
东城	#22	东华门街道、崇文门外街道、东花市街道、 建国门街道与朝阳门街道的交界区域	192.94	11.47	9.29	1.52
西城	#20	广安门外街道	91.99	8.65	5.84	1.05
	#24	西长安街街道与金融街街道交界区域	173.39	7.62	3.99	1.14
朝阳	#4	望京街道、酒仙桥街道	62.62	12.58	9.89	1.21
	#14	十八里店乡与豆各庄乡交界区域	53.93	5.97	2.81	0.95
	#17	高碑店镇中部	70.42	6.73	3.44	0.84
	#23	朝外街道东部、三里屯街道南部、呼家楼街道交界区域	158.02	9.71	6.21	1.31
丰台	#16	卢沟桥街道与卢沟桥乡交界区域	53.17	5.97	2.54	1.38
	#21	大红门街道、东铁匠营街道与万庄镇交界区域	89.47	11.37	7.27	0.88
石景山	#15	古城街道与八角街道交界区域	53.64	6.48	3.30	1.05
海淀	#16	万寿路街道南部	53.17	5.97	2.54	1.38
	#18	中关村街道、海淀街道东部、北下关街道北部	71.57	10.65	8.20	1.21
	#19	羊坊店街道与甘家口街道、万寿路街道交界区域	82.82	7.90	4.83	0.87
房山	#1	城关街道	59.75	6.75	3.57	1.27
	#2	拱辰街道与西潞街道的中部交界附近	63.19	7.93	4.96	1.03
通州	#3	永顺镇、新华街道、北苑街道、中仓街道、玉桥街道与 梨园镇等区域的交界处	54.34	12.35	11.05	1.02
顺义	#13	马驹桥镇	56.90	5.89	2.75	1.03
	#6	胜利街道、旺泉街道东部、光明街道、石源街道北部	67.89	10.55	8.24	0.85
昌平	#5	回龙观镇	54.94	7.74	4.59	0.81
	#9	城北街道	75.71	9.65	7.34	0.95
大兴	#8	清源街道、兴丰街道、林校路街道与观音寺街道交界区域	58.64	8.19	4.82	1.47
怀柔	#10	泉河街道、龙山街道与怀柔镇交界区域	74.88	9.15	6.43	1.36
平谷	#7	兴谷街道、滨河街道与渔阳镇交界区域	80.32	9.38	6.99	0.98
密云	#11	鼓楼街道	91.48	11.85	10.78	0.96
延庆	#12	香水园街道、儒林街道与延庆镇交界区域	67.10	7.96	4.99	1.01

附表4 北京市住宿餐饮业分布中心的统计信息

区县	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
东城	#25	建国门街道、朝阳门街道	144.19	6.53	3.34	1.26
	#23	安定门街道、交道口街道、北新桥街道东部	132.85	7.17	3.58	0.58
	#26	西长安街街道东部、金融街街道东部	98.89	6.53	3.00	1.00

续表

区县	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
西城	#20	广安门外街道东北部、月坛街道西南部	71.77	7.83	4.59	0.97
	#29	德胜门街道北部	63.63	5.88	2.57	0.83
朝阳	#5	三里屯街道、朝外街道、呼家楼街道、团结湖街道西侧、建外街道	155.05	12.11	9.74	1.38
	#3	望京街道东北部、酒仙桥街道	65.13	14.35	13.70	1.33
	#29	亚运村街道西南部、安贞街道西北部	63.63	5.88	2.57	0.83
	#24	来广营街道西南部	40.55	6.77	3.22	1.65
	#30	首都机场街道	23.54	5.64	2.47	0.89
丰台	#15	南苑房镇东南部、垡头街道、十八里店镇东北部	23.47	8.97	5.23	0.93
	#20	太平桥街道东北部	71.77	7.83	4.59	0.97
	#27	方庄镇南部、东铁匠营街道北部	71.27	6.44	3.10	0.69
	#10	丰台街道东部、新村街道北部、卢沟桥街道南部	38.37	10.87	6.10	1.71
石景山	#2	苹果园街道南侧、八角街道、老山街道、鲁谷街道与八宝山街道北侧	31.74	14.76	10.59	0.88
海淀	#4	东升园、中关村街道、海淀街道、北下关街道侧	81.08	13.57	11.22	1.35
	#29	羊坊店街道东南部	71.77	7.83	4.59	0.97
	#20	花园路街道东部、亚运村街道西南部、安贞街道西北部	63.63	5.88	2.57	0.83
	#11	清河街道、上地街道、西三旗街道	37.04	10.06	4.38	0.43
房山	#13	拱辰街道、西潞街道东部	29.73	9.50	7.06	1.02
	#28	城关街道	24.42	6.02	2.80	1.30
通州	#18	马驹桥镇西北部	30.71	8.26	5.39	1.00
	#1	北苑街道、永顺镇南侧、中仓街道西侧、玉桥街道、梨园镇北部	29.67	15.61	17.10	1.09
顺义	#12	胜利街道、光明街道、旺泉街道东部	30.97	9.96	7.42	1.30
	#30	天竺镇东北部	23.54	5.64	2.47	0.89
昌平	#9	回龙观街道	41.89	10.97	7.15	1.04
	#24	天通苑北街道南部和天通苑南街道	40.55	6.77	3.22	1.65
	#8	城北街道、城南街道西北部	37.18	11.25	9.97	0.91

附表5 北京市其他商业分布中心的统计信息

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
东城	#21	东花市、崇文门外与建国门街道交界区域	99.68	5.86	2.63	1.10
西城	#20	广安门街道、大栅栏街道、牛街街道和天桥街道	86.58	12.57	7.13	0.40
朝阳	#2	大屯、亚运村与小关街道交界区	63.96	8.52	5.50	1.06
	#3	望京街道、酒仙桥街道交界处	65.26	9.32	6.18	1.27
	#12	王四营镇东南部	63.92	6.28	3.13	0.97
	#19	六里屯、八里庄与平房镇交界区域	72.18	6.35	3.10	1.22
	#22	三里屯街道南部、呼家楼街道、团结湖街道东部	114.80	8.30	4.46	1.26

续表

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
丰台	#11	丰台街道、卢沟桥镇与新村街道交界处	61.77	7.93	4.91	0.96
	#17	由马家堡街道中部向东北延伸,沿途涉及大红门街道与西罗园街道,终至永定门外街道西南部	69.41	10.80	3.31	0.86
	#18	方庄镇与东铁匠营街道交界处中部	72.84	8.41	4.79	0.62
	#13	八角街道	60.11	6.72	3.54	0.99
海淀	#4	西三旗街道与清河街道交界处	58.54	6.62	3.36	1.06
	#16	中关村街道、海淀街道东部	58.71	8.48	5.14	0.91
房山	#1	西潞街道与拱辰街道交界处中部	56.75	5.81	2.63	0.99
通州	#15	北苑街道、玉桥街道与中仓街道交界区域	52.49	8.60	3.85	0.66
顺义	#6	胜利街道与光明街道交界处中部	57.76	6.52	3.24	1.32
昌平	#5	回龙观街道	60.77	8.39	5.20	0.72
	#7	城北街道	69.17	8.62	5.77	0.85
怀柔	#9	龙山街道、怀柔镇与泉河街道交界处	62.02	6.16	2.97	1.29
平谷	#8	滨河街道与渔阳镇交界处	57.48	5.50	2.38	1.07
密云	#10	鼓楼街道中部	63.46	8.03	4.69	0.81

附表 6 北京市公共服务业分布中心的统计信息

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
东城	#17	景山街道、东四街道、朝阳门街道、建国门街道、东华门街道东北部	81.52	12.57	9.43	0.88
	#13	望京街道、酒仙桥街道	39.52	15.69	16.17	0.99
	#15	南磨房镇、潘家园街道东北部	53.55	7.16	2.42	0.43
朝阳	#16	和平街街道	74.60	8.19	4.17	2.18
	#16	和平里街道东部	74.60	8.19	4.17	2.18
	#18	三里屯街道与团结湖街道和麦子店街道交界处及周边地区	79.35	5.98	2.75	1.22
丰台	#10	新村街道与花乡镇中部交界处及周边地区	30.86	6.42	3.14	1.36
	#11	丰台街道、新村街道北部	34.97	10.89	8.54	1.60
石景山	#14	八角街道、老山街道与鲁谷街道交界处及周边地区	48.81	12.10	8.52	0.72
海淀	#19	学院路街道与花园路街道中部交界处及周边地区	104.84	6.48	3.17	1.10
	#20	清华园街道、燕园街道与中关村街道交界处及周边地区	106.08	7.94	4.46	1.14
房山	#1	西潞街道与拱辰街道中部交界处及周边地区	31.21	7.70	4.47	1.22
通州	#12	新华街道与中仓街道、北苑街道和玉桥街道交界处及周边区域	32.23	11.95	9.88	0.98
顺义	#3	胜利街道与光明街道东部交界处及周边地区	40.03	10.43	8.35	1.12
昌平	#2	回龙观镇东部与霍营街道西部交界处及周边地区	30.55	9.73	6.58	0.68
	#4	城北街道、城南街道北部区域	47.42	11.98	11.15	0.82

续表

行政区	编号	位置	POI 密度	几何属性 (边长)	几何属性 (面积)	几何属性 (狭长度)
大兴	#9	兴丰街道、清源街道东南部、林校路街道东北部及观音寺街道西部	40.51	11.22	9.31	1.46
怀柔	#6	泉河街道、龙山街道与怀柔镇交界处及周边地区	37.61	9.18	6.38	1.48
平谷	#5	滨河街道与渔阳镇和兴谷街道交界处及周边地区	35.69	8.57	5.74	0.88
密云	#7	果园街道与鼓楼街道的中部交界处及周边地区	36.25	10.02	7.57	0.81
延庆	#8	香水园街道与延庆镇、百泉街道和儒林街道东部的交界处及周边区域	34.99	8.28	5.38	1.12

附表 7 常规情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵

单位: km²

代码	1	2	3	5	6	7	9	10	11	12	13	转出
1	1855.68	774.46	167.29	0.00	138.83	179.62	5.69	2.21	1.26	6.96	30.04	1306.37
2	106.27	5675.20	1090.14	0.00	85.16	67.56	9.15	2.11	2.82	0.70	0.00	1363.90
3	285.21	775.77	587.03	0.00	22.08	31.96	1.74	0.46	1.86	0.35	0.00	1119.44
5	1.90	0.54	10.19	119.21	2.78	0.14	11.13	6.96	2.86	0.45	35.30	72.26
6	0.00	0.00	0.00	0.00	363.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	15.38	15.66	5.96	0.00	1.80	260.11	1.39	0.14	0.00	3.88	250.97	295.18
9	0.13	0.19	0.08	0.00	6.05	0.03	2.10	0.24	0.15	0.91	21.64	29.42
10	0.10	0.10	0.05	0.00	2.61	0.02	0.44	1.52	0.73	2.39	7.45	13.87
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.89	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.25	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	0.00	0.27	9.25	1500.00	12.85
转入	408.99	1566.73	1273.71	0.00	262.64	835.08	29.54	12.13	9.95	24.88	345.40	

附表 8 中性增长情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵

单位: km²

代码	1	2	3	5	6	7	9	10	11	12	13	转出
1	1820.23	808.95	164.65	0.00	136.64	170.57	4.05	0.62	7.47	13.07	35.79	1341.82
2	106.00	5678.60	1087.42	0.00	84.94	67.39	9.13	2.11	2.81	0.70	0.00	1360.50
3	253.10	816.43	591.77	0.00	22.26	18.46	1.76	0.47	1.87	0.35	0.00	1114.70
5	1.90	0.54	10.20	109.69	6.62	0.05	11.14	6.96	2.86	3.33	38.19	81.78
6	0.00	0.00	0.00	0.00	363.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	15.38	15.66	5.96	0.00	1.80	260.11	1.39	0.14	0.00	12.21	239.86	295.18
9	0.13	0.19	0.08	0.00	6.48	0.02	1.43	0.08	0.30	1.34	21.48	30.09
10	0.10	0.10	0.05	0.00	2.59	0.02	0.44	1.51	0.80	2.37	7.41	13.88
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.89	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	0.00	0.00	2.06	41.19	0.00	2.06
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.63	9.11	1477.83	35.02
转入	376.61	1641.88	1268.36	0.00	264.63	835.08	27.89	10.38	43.57	42.49	342.74	

附表 9 就业偏向情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵

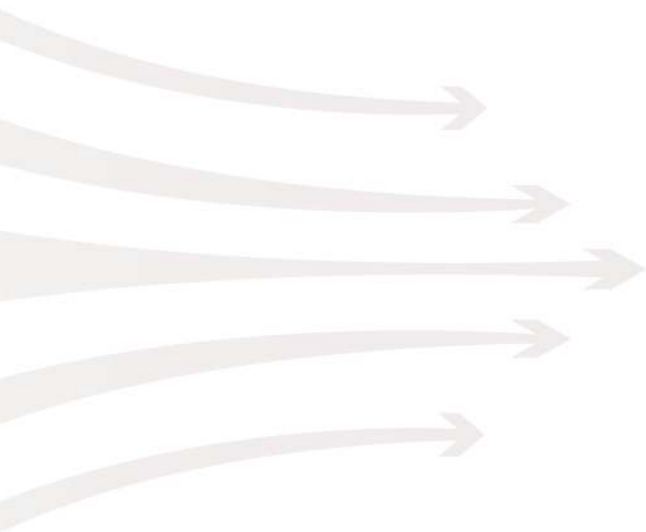
单位: km²

代码	1	2	3	5	6	7	9	10	11	12	13	转出
1	1820.23	808.95	164.65	0.00	136.64	170.57	4.05	0.62	7.47	13.07	35.79	1341.82
2	92.14	5689.95	1089.59	0.00	85.11	67.53	9.14	2.11	2.81	0.70	0.00	1349.15
3	253.10	816.43	591.77	0.00	22.26	18.46	1.76	0.47	1.87	0.35	0.00	1114.70
5	1.83	0.52	9.81	112.83	6.36	0.05	10.71	6.69	2.75	3.20	36.72	78.64
6	0.00	0.00	0.00	0.00	363.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	15.38	15.66	5.96	0.00	1.80	260.11	1.39	0.14	0.00	12.21	239.86	295.18
9	0.13	0.19	0.08	0.00	6.48	0.02	1.43	0.08	0.30	1.34	21.48	30.09
10	0.00	0.10	0.05	0.00	2.55	0.02	0.43	1.49	0.79	2.34	7.53	13.90
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.89	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	0.00	0.00	2.06	41.19	0.00	2.06
13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	0.00	0.00	22.63	9.11	1477.83	35.02
转入	362.68	1641.85	1270.14	0.00	264.50	842.08	27.47	10.11	43.46	42.32	341.38	

附表 10 能源控制情景下 2018—2035 年土地利用转移矩阵

单位: km²

代码	1	2	3	5	6	7	9	10	11	12	13	转出
1	1823.82	810.55	164.98	0.00	136.91	170.91	4.05	0.62	7.48	13.10	29.63	1338.23
2	92.14	5689.95	1089.59	0.00	85.11	67.53	9.14	2.11	2.81	0.70	0.00	1349.15
3	279.13	783.27	567.73	0.00	54.36	17.71	1.69	0.45	1.80	0.34	0.00	1138.74
5	2.00	0.57	10.74	105.38	6.96	0.05	11.73	7.33	3.01	3.50	40.20	86.09
6	0.00	0.00	0.00	0.00	363.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	15.38	15.66	5.96	0.00	1.80	260.11	1.39	0.14	0.00	12.21	239.86	295.18
9	0.13	0.19	0.08	0.00	6.58	0.02	1.45	0.08	0.30	1.36	21.33	30.07
10	0.10	0.10	0.05	0.00	2.59	0.02	0.44	1.51	0.80	2.37	7.41	13.88
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.89	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	0.00	0.00	2.06	41.19	0.00	2.06
13	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	0.00	0.00	22.63	9.11	1477.83	35.02
转入	388.88	1610.34	1271.39	0.00	297.61	835.08	28.43	10.73	41.61	42.69	338.43	



ISBN 979-8-9992829-4-1



9 798999 282941 >

人民币：140 元
港币：180 元