

中国城市空地的 识别与分布规律研究

(申请清华大学工学博士学位论文)

培 养 单 位： 建筑学院

学 科： 城乡规划学

研 究 生： 王 新 宇

指 导 教 师： 龙 瀛 教 授

二〇二五年十一月

中国城市空地的识别与分布规律研究

王新宇

**Identification and Spatial Distribution
Laws of Urban Vacant Lands
in Chinese Cities**

Dissertation submitted to
Tsinghua University
in partial fulfillment of the requirement
for the degree of
Doctor of Philosophy

in
Urban and Rural Planning

by
Wang Xinyu

Dissertation Supervisor: Professor Long Ying

November 2025

学位论文公开评阅人和答辩委员会名单

公开评阅人名单

党安荣	教授	清华大学建筑学院
-----	----	----------

答辩委员会名单

主席 委员	边兰春	教授	清华大学建筑学院
	汪芳	教授	北京大学建筑与景观设计学院
	刘瑜	教授	北京大学地球与空间科学学院
	毛其智	教授	清华大学建筑学院
	党安荣	教授	清华大学建筑学院
	来源	副教授	清华大学建筑学院
秘书	龙瀛	教授	清华大学建筑学院
	李凤娇	助理研究员	清华大学建筑学院

关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解清华大学有关保留、使用学位论文的规定，即：

清华大学拥有在著作权法规定范围内学位论文的使用权，其中包括：（1）已获学位的研究生必须按学校规定提交学位论文，学校可以采用影印、缩印或其他复制手段保存研究生上交的学位论文；（2）为教学和科研目的，学校可以将公开的学位论文作为资料在图书馆、资料室等场所供校内师生阅读，或在校园网上供校内师生浏览部分内容；（3）根据《中华人民共和国学位法》及上级教育主管部门具体要求，向国家图书馆报送相应的学位论文。

本人保证遵守上述规定。

作者签名： _____ 导师签名： _____

日 期： _____ 日 期： _____

摘 要

城市空地，一般指长期未被开发利用、缺乏建筑物或特定功能利用的土地，已成为城市发展过程中亟须关注的议题。然而，现有研究在系统性的识别与量化研究方面仍显不足，缺乏大尺度的统一研究框架和可比较的数据支撑。本研究基于深度学习技术与高分辨率遥感影像，构建了覆盖全国的中国城市空地基础数据库，系统探讨了城市空地的空间分布规律，并提出了相应的应对策略。

研究回顾并识别了城市研究中常用的三类城市边界，即市区边界、城镇边界与实体城市边界，并对三者空间精度和统计一致性等方面的优劣进行了比较与评估。最终，本研究选择全国 2447 个实体城市单元作为研究范围。在城市空地识别方面，研究结合 1 米分辨率的遥感影像，研究构建了覆盖全国实体城市的统一识别方法，基于 FastSAM 模型完成了全国城市空地的识别，共计获得 204769 个城市空地，总面积 4442.1 平方公里，占实体城市总面积的 4.78%。识别结果显示，少数城市集聚了较大规模的空地，而大多数城市则以中小规模空地为主。研究系统刻画了城市空地的多维统计特征。城市空地规模呈现幂律分布，遵循规模法则；全国城市空地率的统计分布表现出对数正态分布。在空间格局方面，研究通过测度城市内部空地的集聚程度、占比与分布范围，将全国城市划分为五类典型的空间分布模式。基于此，研究提出了国家层面和城市层面的多层次应对策略，进一步结合西宁市等典型城市的实地验证，证明了识别结果的可靠性。研究结果显示，全国 2447 座实体城市的城市空地总量庞大且分布不均，整体符合对数正态分布并呈现显著的“长尾效应”，即多数城市的空地率较低，少数城市集中出现高空地率现象。城市空地在类型上呈现中心型、周边型、局域型与全域型等多样格局，不同区域间差异显著。

总体而言，本研究在数据、方法与理论三个方面具有创新：研究构建了覆盖全国实体城市的高精度空地数据库，实现了统一识别与共享；将 FastSAM 深度分割模型应用于全国尺度的城市空地识别，建立了标准化、可复用的技术流程；提出了城市空地的识别框架，揭示了城市空地的幂律与对数正态分布规律。研究所提出的分布规律与治理策略，为城市规划实践中推进土地高效利用、优化空间格局与实现城市的可持续发展提供了参考。

关键词：实体城市；城市空地；深度学习；空间分布模式

Abstract

Urban vacant land generally refers to land that has long remained undeveloped, lacking buildings or specific functional uses, and has become an issue that urgently requires attention in the process of urban development. However, existing studies remain insufficient in terms of systematic identification and quantitative analysis, and there is a lack of large-scale unified research frameworks and comparable data support. To address this gap, this study employed deep learning image segmentation and high-resolution remote sensing imagery to construct a nationwide database of urban vacant land in China, systematically examining its spatial distribution patterns and proposing corresponding strategies.

The study reviewed and identified three commonly used urban boundaries in urban research, namely administrative boundary, city proper, and natural city boundary. Based on the relevant theoretical framework, their respective advantages and disadvantages in terms of spatial precision and statistical consistency were compared and evaluated. This study selected 2447 natural city units as the research scope. For the identification of urban vacant land, this study conducts a comparative evaluation of multiple deep learning image segmentation algorithms. The FastSAM model, which achieves a favorable balance between accuracy and computational efficiency, is ultimately selected. By integrating 1-meter resolution Esri World Imagery Wayback data and field validation, a unified identification method covering all natural cities in China was established. Using this method, the study identified a total of 204769 urban vacant land, with a combined area of 4442.1 km², accounting for 4.78% of the total area of natural cities. The results show significant variation across cities: a small number of cities concentrate large-scale vacant land, while most cities are dominated by medium- and small-scale vacant land. This dataset extends research from single-city or localized case studies to a national scale, producing unified quantitative results in terms of spatial distribution, scale, and morphological characteristics. It provides a solid foundation for subsequent explorations of distributional patterns, cross-regional comparisons, and

multi-scale, multi-dimensional analyses. At the feature-analysis level, the study systematically characterized the multidimensional statistical features of urban vacant land. In terms of overall scale, the distribution of vacant land areas across cities follows Rank–Size Law and Scaling Law; in terms of proportion, the statistical distribution of urban vacant land rates conforms to a log-normal distribution. Regarding spatial structure, by measuring the degree of agglomeration, proportion, and distribution range of vacant land within cities, the study classified all natural cities nationwide into five typical spatial distribution modes: global, local, central, peripheral, and scattered types. Based on these findings, the study proposed multi-level strategies at both the national and urban levels. Furthermore, combined with field validation in typical cities such as Xining, Qinghai Province, the reliability of the identification results was confirmed, and differentiated intervention measures were proposed in local practice. The results reveal that urban vacant lands across 2447 identified natural cities in China are vast in total area yet highly unevenly distributed. Their proportions follow a log-normal distribution with a pronounced long-tail effect, indicating that most cities maintain low vacancy ratios while a few exhibit significantly high ones. Spatially, urban vacant lands display diverse typologies including central, peripheral, local, and global types, with notable regional variations.

Overall, this study makes innovations in data, methodology, and theory. It develops a high-precision nationwide database of urban vacant lands, achieving unified identification and data sharing across all natural cities in China. Methodologically, it applies the FastSAM deep segmentation model for nationwide urban vacant land identification, establishing a standardized and reproducible technical workflow. Theoretically, it proposes a comprehensive analytical framework for urban vacant land identification, revealing both power law and log-normal distribution regularities, and constructing a complete analytical chain of pattern recognition, typological classification, zonal governance, and strategic application.

Keywords: natural cities; urban vacant land; deep learning; spatial distribution patterns

目 录

摘 要	I
Abstract	II
目 录	IV
插图清单	IX
附表清单	XI
第 1 章 绪论	1
1.1. 研究背景	1
1.1.1. 人口达峰带来城市收缩现象	1
1.1.2. 城市空地成为未来发展的挑战	2
1.1.3. 城市空地已获政策层面重视	3
1.1.4. 城市空地相关数据有限	5
1.2. 研究目的	5
1.2.1. 明确城市与城市空地的概念	5
1.2.2. 构建统一的城市空地识别方法与基础数据集	6
1.2.3. 探究城市空地的分布规律	6
1.3. 论文组织结构	7
第 2 章 研究综述	9
2.1. 城市的定义	9
2.1.1. 基于行政视角的城市划分	10
2.1.2. 基于实体地域的城市划分	13
2.2. 城市空地的定义	15
2.2.1. 城市空地同相关中文概念的关系	16
2.2.2. 城市空地同相关英文概念的关系	18
2.2.3. 相关概念总结	20
2.3. 城市空地的识别	21
2.3.1. 基于统计资料或调查数据的识别方法	22
2.3.2. 基于遥感影像解译的识别方法	23
2.3.3. 基于多源数据评估的识别方法	24

2.4. 城市空地的形成机制	25
2.4.1. 制度因素	25
2.4.2. 经济因素	25
2.5. 城市空地的外部效应	26
2.5.1. 城市空地的负面影响	26
2.5.2. 城市空地的发展机遇	29
2.6. 城市空地的治理对策	32
2.6.1. 城市空地的政策治理经验	32
2.6.2. 对城市空地进行临时应用	33
2.7. 本研究的城市空地定义	35
2.7.1. 城市空地的特征	35
2.7.2. 城市空地的定义	36
2.8. 本章小结	37
第 3 章 研究框架与实验设计	39
3.1. 研究拟解决的科学问题	39
3.1.1. 如何科学定义“城市”并识别城市边界	39
3.1.2. 如何运用统一的识别方法识别中国的城市空地	39
3.1.3. 城市空地呈现出何种规律和分布模式	40
3.2. 研究对象	41
3.3. 研究内容与框架	41
3.3.1. 城市边界的识别	42
3.3.2. 城市空地的识别	43
3.3.3. 城市空地的规律探究与应对策略	43
3.4. 研究方案设计	43
3.4.1. 城市边界的识别方案	43
3.4.2. 城市空地的识别方案	44
3.4.3. 城市空地分布规律探究与应对策略	45
第 4 章 城市边界的识别	47
4.1. 三种城市边界的识别方法	48
4.1.1. 市区边界识别流程	48
4.1.2. 城镇边界识别流程	52
4.1.3. 实体城市边界识别流程	55
4.2. 城市边界比较	67

4.2.1. 比较维度	67
4.2.2. 比较方法和结果	68
4.3. 边界特点与适用范围	77
4.3.1. 市区边界的范围往往大于城市空间的实际范围	77
4.3.2. 城镇边界能精确地刻画城市边缘区域	78
4.3.3. 实体城市边界能反映城市的真实空间范围	79
4.4. 本章小结	80
第 5 章 城市空地的识别	81
5.1. 城市空地的遥感特征	83
5.2. 数据预处理	85
5.2.1. 研究范围	85
5.2.2. 研究数据	85
5.2.3. 数据下载与分割	86
5.2.4. 数据清洗与人工标记	87
5.3. 模型比选	89
5.3.1. 模型选择	89
5.3.2. 比较方法	92
5.3.3. FastSAM 模型实现了多维度的平衡	94
5.4. 基于 FastSAM 模型的训练和预测	98
5.4.1. 最优识别模型的训练	98
5.4.2. 基于最优模型开展城市空地识别	99
5.5. 城市空地的识别结果	103
5.5.1. 全国的城市空地识别结果	103
5.5.2. 全国城市的城市空地率识别结果	104
5.6. 实地调研评估数据准确性	105
5.7. 本章小结与讨论	108
第 6 章 城市空地的规律识别与应对策略	110
6.1. 国家尺度分布	111
6.1.1. 城市空地遵循等级-规模法则	111
6.1.2. 城市空地率遵循对数正态分布	114
6.1.3. 城市空地和相关因素的关系	117
6.1.4. 相关研究数据支持现有结论	122
6.2. 城市级别的分布	124

6.2.1. 城市空地的多维度分类方法	125
6.2.2. 分类结果	127
6.2.3. 五类城市空地的分布呈现等级-规模法则	129
6.2.4. 五类城市空地的分布呈现区域差异	131
6.3. 城市空地的规律讨论	135
6.4. 城市空地的应对策略	136
6.4.1. 人口变化是影响城市空地的关键因素	137
6.4.2. 未来规划应纳入人口收缩情景	139
6.4.3. 城市空地应分区分类应对	140
6.4.4. 采用临时利用策略	142
6.5. 西宁市的城市空地应对实践	142
6.5.1. 城市空地的识别与调研	142
6.5.2. 城市空地的成因	144
6.5.3. 西宁市的应对策略	146
6.6. 本章小结	149
第 7 章 结论与讨论	151
7.1. 研究总结	151
7.1.1. 实体城市边界的识别	151
7.1.2. 可比性城市空地识别方法的建立与应用	152
7.1.3. 城市空地分布规律的揭示与应对策略的提出	152
7.2. 主要创新	153
7.2.1. 边界识别方法	154
7.2.2. 空地识别方法	154
7.2.3. 空地规律及对策	155
7.3. 研究局限及未来展望	155
参考文献	157
附录 A 城市空地数据切片示例	170
附录 B 城市空地识别结果示例	171
附录 C 城市空地识别共享数据	172
附录 D 西宁市各区城市空地调研统计表	178
致 谢	181
声 明	182

目 录

个人简历、在学期间完成的相关学术成果	183
指导教师评语	185
答辩委员会决议书	186

插图清单

图 1-1	中国未来人口总量预测	2
图 1-2	城市空地的示例	3
图 1-3	论文组织结构	7
图 2-1	我国的城乡划分代码	11
图 2-2	合肥市主城区三种不同城市边界的对比	14
图 2-3	城市衰退的循环	28
图 3-1	研究框架图	42
图 4-1	城市边界识别方法流程图	47
图 4-2	市区边界识别流程	50
图 4-3	市区边界识别结果	51
图 4-4	村级行政边界	53
图 4-5	基于城乡划分代码识别城镇边界的技术路线	54
图 4-6	村级行政单元分布	54
图 4-7	以北京市、上海市为例的 2020 年 CNLUCC 数据	56
图 4-8	实体城市边界识别方法	59
图 4-9	2015 年和 2020 年的 CNLUCC 数据之间的对比	61
图 4-10	距离判断的计算过程	63
图 4-11	基于四种数据修正“实体城市范围”的示意图	65
图 4-12	实体城市边界识别结果	66
图 4-13	不同城市边界下城市属性的等级-规模分布对比	72
图 4-14	不同城市边界下城市属性与人口的规模法则对比	73
图 5-1	城市空地识别流程图	82
图 5-2	城市空地和非城市空地的典型遥感影像	84
图 5-3	城市空地的标注结果	88
图 5-4	模型比较与预测的流程图	93
图 5-5	不同模型的城市空地识别结果示例	96
图 5-6	最佳城市空地识别模型的 F_2 -置信度曲线	99
图 5-7	基于最优置信度的城市空地识别结果	99
图 5-8	城市空地识别的流程图	101
图 5-9	六个样本中预测结果与标注结果的对比	102

图 5-10	以四个城市为例的城市空地识别结果	103
图 5-11	中国实体城市单元的城市空地率分布	105
图 5-12	赤峰市的实地调研结果	106
图 5-13	西宁市实地调研所搭载的设备	107
图 5-14	西宁市的实地调研结果	108
图 6-1	本章研究流程图	111
图 6-2	城市空地的等级-规模法则	113
图 6-3	城市空地率的分布和概率密度图像	115
图 6-4	城市空地率的累计密度图像	116
图 6-5	实体城市总面积与城市空地面积之间的关系	119
图 6-6	相关性分析结果	120
图 6-7	相关性分析结果矩阵	122
图 6-8	美国 70 个城市的城市空地等级-规模分布	123
图 6-9	美国 70 个城市的城市空地率分布	124
图 6-10	城市空地分布模式的分类流程图	125
图 6-11	某城市的城市空地聚集程度分析	127
图 6-12	各类型的典型城市示例	128
图 6-13	全国尺度下五种城市空地分布类型的结果	130
图 6-14	各类城市的总体空间分布	132
图 6-15	各类城市的单独空间分布	133
图 6-16	各类城市的数据分布	134
图 6-17	2020—2030 年中国城市空地的预测结果	139
图 6-18	西宁市城市空地的分布	143
图 6-19	西宁市假日半岛地块现状	144
图 6-20	西宁市湟水河南岸地块现状	145
图 6-21	西宁市核心区的停车问题与城市空地利用机遇	149

附表清单

表 1-1	国家关于闲置土地的政策治理措施	4
表 2-1	2020 年统计用区划代码与城乡划分代码（部分）	11
表 2-2	城市空地和相关定义之间的关系	21
表 2-3	相关研究的城市空地识别方法	24
表 2-4	城市空地的判别举例	37
表 4-1	按省和行政级别统计的市区分布	49
表 4-2	CNLUCC 土地利用数据的地类含义	56
表 4-3	2015—2020 年 CNLUCC 土地利用转移矩阵	61
表 4-4	不同县级行政单元内部城乡空间单元的数量与占比	76
表 4-5	三种城市边界在不同维度的表现对比	77
表 5-1	不同模型的特征对比	92
表 5-2	不同模型识别城市空地的表现	97
表 6-1	城市空地率的实测与拟合值对比	116
表 6-2	城市空地的相关因素及测度方法	118
表 6-3	不同城市空地分布类型的统计特征对比	131
表 6-4	区域划分标准	134
表 6-5	人口变化与城市空地变化的对应关系	138

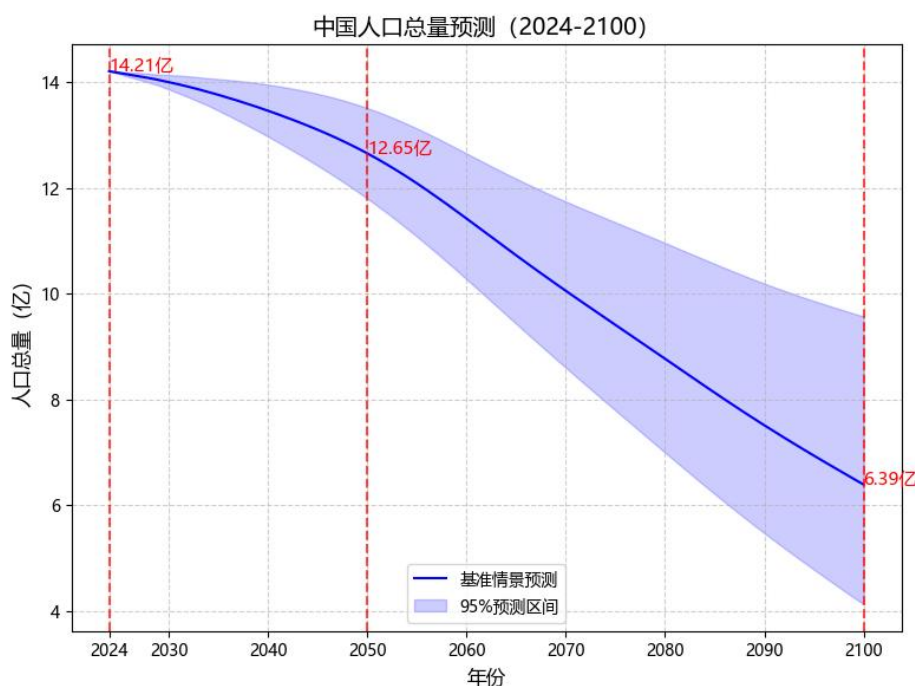
第1章 绪论

1.1. 研究背景

1.1.1. 人口达峰带来城市收缩现象

截至 2024 年末，中国城镇化率已达 67.00%，位于世界中等偏上水平。然而，全国人口规模已于 2021 年末达到峰值，2022 年开始出现负增长，较上一年减少 85 万人，2023、2024 年则进一步下降，呈现出持续收缩的趋势。这种现象已经得到现有研究的广泛关注（Long and Wu, 2016; Meng and Long, 2022）。一方面，现有大量研究证实，中国人口总量在未来将发生明显的下降。根据联合国（United Nations, UN）《2024 年世界人口展望报告》的预测，在 2025-2100 年间，中国人口将面临不可逆转的人口下降趋势（图 1-1）：2025-2050 年间，在中等发展情境下（Medium-variant），中国人口将减少约 1.5 亿人，2050 年预计为 12.65 亿人，2100 年人口仅为 6.39 亿（UN, 2024）。国际应用系统分析研究所（International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA）、清华大学、复旦大学、中山大学的人口预测研究也证实了中国人口的下行压力（Peng, 2011; Samir and Lutz, 2017; Chen et al., 2020b; Chen et al., 2020c）。人口的长期减少对中国社会带来了一系列的社会经济挑战，包括人口老龄化、劳动力短缺、社会保障体系的挑战等，为未来的发展带来不确定性（Peng, 2011）。

另一方面，中国的城镇化将持续推进，大城市的人口将持续增长。根据 UN 发布的世界城镇化展望报告，中国的大城市（人口总量>100 万），在 2018-2030 年间将面临年均 1%~3%的人口增长；超大城市在 2030 年以前也将面临低幅度（年均<1%）的人口增长（UN, 2019）。同时，大量城市放宽落户的政策相继出台，进一步增加了大城市对人口的吸引力。城镇化带来的人口持续向大城市、超大城市流动现象将继续保持。整体而言，人口总量面临下降、大城市和超大城市面临人口缓慢增长的趋势将持续。

图 1-1 中国未来人口总量预测^①

注：数据源自联合国World Population Prospects 2024数据库。

1.1.2. 城市空地成为未来发展的挑战

城市空地，一般指长期未被开发利用、缺乏建筑物或特定功能利用的土地，受人口变化的高度影响，是城市总需求降低在土地利用层面的直接表现。竞租理论认为，人口收缩带来的需求降低会削弱靠近中心区的土地竞争性竞价，同时使得城市边缘土地出现“超额供给”，进而转化为城市空地（O'sullivan, 2012）。在这一过程中，就业机会减少、居民郊区化以及产业分工调整共同削弱了中心城区的土地利用效率，加速了城市空地的累积（Glaeser and Gyourko, 2005; Kabisch et al., 2008）。例如，美国在 2000 年至 2016 年间因产业结构调整流失了约 500 万个工业岗位，大量厂房和工业用地随之废弃，成为城市空地的重要来源（Martinez-Fernandez and Wu, 2007; Martinez-Fernandez et al., 2012; Xie et al., 2018）。工作岗位的减少引发了制造业工人的失业与外迁，导致人口与资本持续流失，进一步加剧了城市空地问题。这一现象已被视为全球性挑战（Pallagst, 2009; Wang and Long, 2023）。

城市空地的出现具有两面性，一方面，它往往伴随社会与经济困境，可能对城市发展带来负面影响。例如，城市空地与废弃房屋会导致房地产市场

^① 如无特殊说明，本文涉及的图表均为作者自绘。

低迷，进一步影响城市经济增长（Glaeser and Gyourko, 2005）。长期无人管理的空地容易滋生违法活动，提升犯罪率，从而威胁到公共安全与社会稳定。此外，城市空地的过度集中可能导致基础设施投资效率下降，增加财政与治理成本，加剧城市收缩过程中的不平衡与脆弱性。

在引发社会危机的同时，城市空地也为城市的发展提供了机遇。部分研究者将城市空地视为城市持续发展的资源，在城市系统中起到积极的作用（Pagano and Bowman, 2000）。一方面，城市空地的存在为城市发展带来大量的机遇，包括提升城市的生态环境品质和社会价值，吸引了大量的设计师和学者进行规划和设计探讨（Kim, Miller and Nowak, 2018）。但在另一方面，城市空地的存在也产生了消极的影响。城市空地带来的城市房地产市场的低迷，直接影响经济的发展（Glaeser and Gyourko, 2005）；城市空地和破败的房屋滋生了大量的城市犯罪，影响城市的公共安全。图 1-2 展示了人本视角和遥感视角的城市空地。



a. 人本视角的城市空地

b. 遥感视角的城市空地

图 1-2 城市空地的示例

图片来源：图a为作者自摄，图b源自Google开源遥感影像。

1.1.3. 城市空地已获政策层面重视

在中国，城市空地已逐渐受到政策层面的重视。在国内政策语境中，相关概念通常以“闲置土地”表述。自 2012 年起，国家层面陆续发布了多项关于闲置土地认定、处置与监管的法规政策，为地方政府在执行土地管理和盘活存量资源时提供了明确的制度指导与操作指引。这些政策不仅规范了闲置土地的认定标准（如满 1 年未动工开发、中止开发建设满 1 年等），也设定了相应的处置路径，包括延长动工开发期限、由政府安排临时使用、有偿收回国有建设用地使用权等。

2020 年后，随着人口收缩与房地产市场下行趋势的叠加，闲置土地问题日益凸显，治理需求随之加剧。2024 年，自然资源部和国家发改委联合发布了《关于实施妥善处置闲置存量土地若干政策措施的通知》，众多城市相继启动闲置土地的收购储备与综合治理行动（表 1-1）。各地通过专项债券、引入社会资本等多元融资渠道，为系统化治理和多元化利用闲置土地注入了可观资金与政策机遇，为后续城市空地的治理奠定了良好基础。例如，安徽省芜湖市通过非货币补偿的方式进行土地回收，以实物资产或其他替代性权益置换土地补偿，有效缓解了地方财政压力和资金短缺问题。在分割处置方面，黑龙江牡丹江、安徽六安、湖北孝感以及新疆乌鲁木齐等地则采用“部分收回”策略，对于企业因资金或能力不足而无法整体开发的地块，政府通过分割收回部分土地来实现资产变现。广东省广州市以解除土地出让合同的方式直接收回闲置地块，明确了违约责任，简化了回收程序；北京市则制定回收补偿方案，将收回补偿细化为可量化的成本明细条目，增强了政策执行的透明度与公信力。

表 1-1 国家关于闲置土地的政策治理措施

时间节点	发布单位/政策	主要内容
2012 年	国土资源部：《闲置土地处置办法》	规定了闲置土地认定、管理、处置等相关内容
2019 年	自然资源部：第三次全国国土调查	将“空闲地”纳入调查范围，开展土地调查
2024 年	自然资源部、国家发改委：《关于实施妥善处置存量闲置土地若干政策措施的通知》	提出依法处置各类闲置存量土地，重点规范无偿收回、协商收回等策略
2024 年	自然资源部：《自然资源部关于运用地方政府专项债券资金收回收购存量闲置土地的通知》	要求地方政府使用专项债资金收购存量闲置土地
2025 年	各地政府开展闲置土地治理行动	截至 2025 年 5 月，全国动用国家专项债超 3500 亿元，累计收购闲置土地近 3000 宗；例如重庆拟 435 亿元回收 323 宗，昆明拟动用专项债回收 5750 亩（3.83 平方千米）土地。

1.1.4. 城市空地相关数据有限

相较于对城市开发的广泛研究，城市空地在学术与实践层面受到的关注仍然不足，尤其在数据支撑方面存在一定局限（宋小青和李心怡，2019）。现有研究多依赖于单个城市或局部片区的案例，识别方法以人工地块普查、POI 辅助信息或案例城市的遥感影像为主。此类案例研究数据虽然能够提供明确的参考，但难以实现跨城市的可比性，也无法揭示空地在空间分布、时间演变和类型差异上的系统特征。

在规律探究层面，由于缺乏连续、完整且可比较的数据，现有研究多停留在描述性层面，集中于讨论城市空地的形成成因（如产业衰退、人口外迁、规划滞后等）或单一类型空地的再利用路径，而对空地与人口、经济、空间结构等多维驱动因素的耦合机制缺少定量分析。地方层面长期“重增量开发、轻存量管控”的规划实践，也使得城市空地往往被看作“暂时性的过渡用地”，忽视了其可能承载的生态缓冲、公共活动、文化遗产保护等价值（宋小青和李心怡，2019）。这不仅削弱了城市空地在应对城市收缩、提升韧性中的战略作用，也掩盖了其在绿色基础设施、社会公平与城市更新中的潜在贡献。

近年来，高分辨率遥感影像的普及和计算机视觉、深度学习等技术的快速发展，城市空地的自动化、精细化、大尺度识别已具备技术可行性。然而，与此相对应的统一数据标准、算法评估体系和跨区域的数据共享框架仍未建立。这不仅导致不同研究之间缺乏可比性，也使得案例研究难以整合，进一步限制了对城市空地分布格局和动态演变的系统认识。

1.2. 研究目的

1.2.1. 明确城市与城市空地的概念

中国的快速城镇化遗留的部分问题与空地本身的概念模糊为城市空地的研究带来了挑战。首先是城市的定义问题。中国的行政城市概念与实体城市概念^①脱离为城市的识别，以及城市空地和乡村空地、荒野的识别带来了研究边界的挑战。其次是城市空地的定义问题。各类研究对于“空置”的定义还没有形成统一的概念，也缺乏针对城市空地统一的特征描述，这导致了各

^① 实体城市指空间上连续、功能上一体的城市建成区，即由密集的人工不透水面（道路、建筑、广场等）和高强度人口活动共同构成的聚落形态（周一星和史育龙，1995）。

类研究的城市空地之间无法进行直接比较，从而限制了后续的耦合分析。本研究将基于城市发展现状，综合遥感影像、土地利用与功能分区等多源数据，厘清实体城市边界，并明确定义城市空地类型，指明明确的城市空地特征，为后续城市空地的识别和规律探究奠定基础。

1.2.2. 构建统一的城市空地识别方法与基础数据集

国内目前缺乏针对城市空地的调查数据，使得运用政府统计数据分析城市空地的路径无法实现。而传统的实地调研法、遥感影像目视解译等存在成本高、标准无法统一等挑战，并且大都聚焦于个例城市研究，鲜有针对大量城市的识别，更缺乏城市和区域之间的比较研究和规律总结。同时运用遥感数据和多源数据的识别方法存在准确率和查全率的挑战，如何高效、低成本地在中国开展大规模的城市空地识别成为亟待研究的课题。本研究将基于深度学习技术，探究城市空地的统一、高效的识别方法，完成对于中国城市的城市空地识别，从而进一步分析城市空地的分布状态，总结城市空地分布的一般规律。

1.2.3. 探究城市空地的分布规律

现有研究对中国城市空地的分布状态仍缺乏系统性认知，其空间分布规律尚未得到揭示。这一不足不仅制约了对城市空地形成机制和演化逻辑的深入理解，也限制了应对策略的制定。本研究拟在既有空地识别方法和成果的基础上，进一步开展分布规律的系统解析。具体而言，研究将从两个层面展开：其一，在总体层面，全面揭示中国城市空地在全国尺度上的整体分布格局，考察其在不同区域、不同发展阶段城市中的空间特征与异质性；其二，在城市间层面，比较不同城市间空地的数量、规模与形态差异，探讨其与城市规模、人口动态和经济结构等因素的关系。通过对城市空地的分布规律与类型特征的分析，本研究旨在提出分级分类的治理策略，从而更有针对性地回应中国城市发展中日益突出的空地问题。

1.3. 论文组织结构

全文共分为七章。其中，第一章和第二章为绪论与文献综述部分，第三章为研究框架与实验设计，重点介绍研究方法与拟解决的科学问题，第四章至第六章为具体方案与规律探究，第七章对全文进行总结与讨论。论文的组织结构如图 1-3 所示。

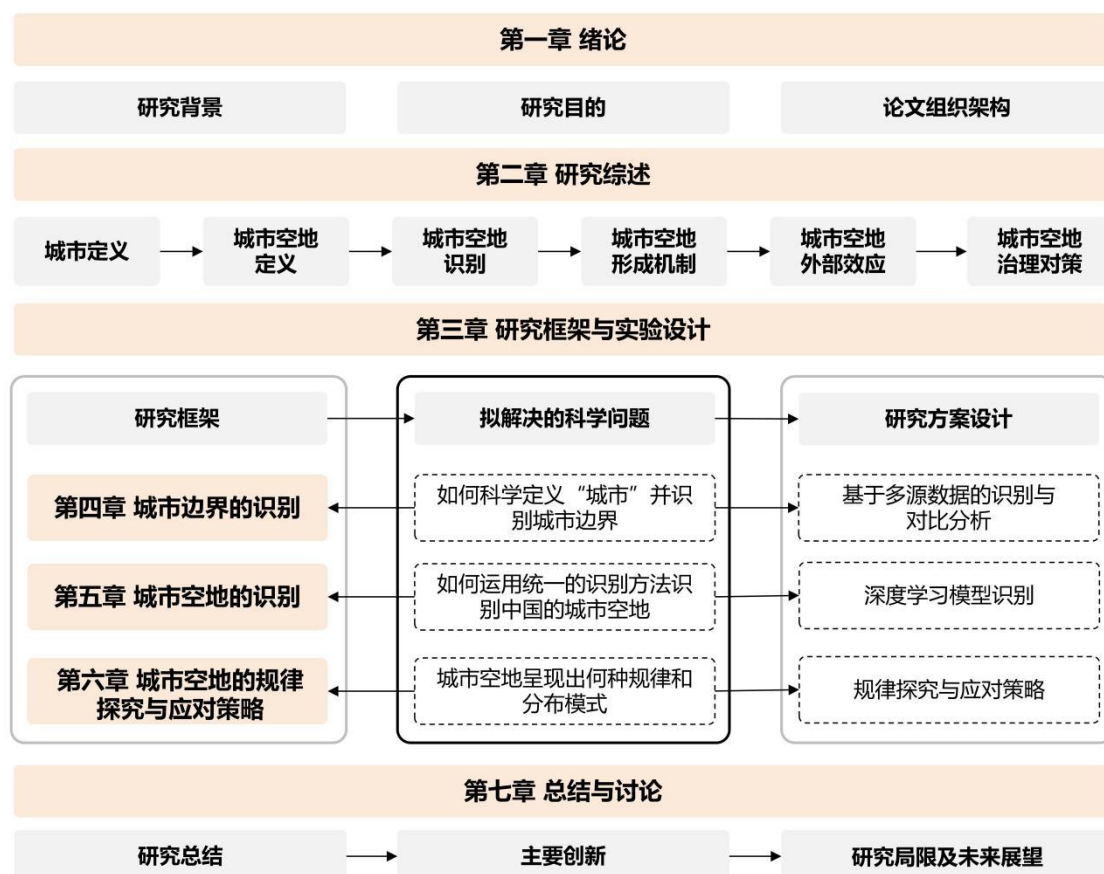


图 1-3 论文组织结构

具体而言，第一章为绪论，在人口收缩的背景下引出城市空地的研究，系统阐述研究背景与目的。

第二章为文献综述，对城市和城市空地的相关概念进行界定，系统回顾城市空地的识别方法、外部效应及治理对策，梳理现有研究的成果与不足，为后续研究问题的提出奠定基础。

第三章为研究框架与实验设计，在提出研究问题的基础上，构建整体研究框架，设计城市空地识别与规律探究的实验方案，并简要介绍后续章节的实验步骤。

第四至第六章为论文的主体部分。第四章详细阐述了城市边界的界定思路与技术路径，介绍了不同城市边界的比较与选择过程，并说明了实体城市边界的划定方法及其技术细节。

第五章重点提出并应用基于深度学习的城市空地识别方法，在全国范围内构建了统一的识别体系，完成了针对全国实体城市的城市空地识别。

第六章基于现有理论，系统分析了中国城市空地在全国尺度与城市尺度的分布规律，根据城市空地的空间分布模式，将全国城市划分为五种类型，并提出了差异化的应对策略。最后，研究以西宁市的实地调研为例，详细论证了在地方实践中策略的具体应用路径。

第七章为总结与讨论，对全文的研究思路、方法与主要结论进行梳理，并开源研究过程中形成的关键数据，进一步总结论文的创新点与局限性。

第2章 研究综述

城市空地作为城市发展与空间演化过程中的典型现象,近年来得到了学界的关注。然而,现有研究在概念界定、识别方法、分布规律与治理策略等方面仍存在不足。其中,如何在统一尺度上对城市空地进行系统识别,是制约相关研究深化的关键问题。城市空地的识别不仅依赖于遥感影像、大数据与深度学习等新兴技术的应用,更根本地取决于城市空地本身的定义以及对“城市”边界的科学划定。若研究对象的边界本身模糊或缺乏一致性,则空地识别与跨城市比较便失去了可比性与严谨性。

因此,本章将主要综述与城市空地研究密切相关的如下内容:其一,回顾“城市”及其空间边界界定的研究进展;其二,总结国内外关于城市空地概念与识别方法的主要成果,梳理从人工普查到遥感、大数据与深度学习等多样化路径的发展脉络;其三,综述城市空地的外部效应与治理对策。通过以上综述,本章将明确本研究所定义的城市空地,以指导后续的城市空地识别与规律探究。

2.1. 城市的定义

现有研究对于城市的定义可以划分为两类视角:基于行政视角的城市划分,以及基于实体地域的城市划分。

基于行政视角的城市是指基于行政单元,如市级行政单元,县级行政单元,市辖区等划定城市边界。行政视角优势在于它是人口、经济等大量统计数据的基础,也是城市管理的边界。然而,行政城市视角的核心问题在于它混淆了“城市”和“区域(或行政区划)”的概念,行政区划内部不仅包含真正的城市范围,也包含大量的农村地区。城市概念的混淆为城市人口统计、城镇化水平的测算带来了困扰。周一星和史育龙(1995)对上述问题进行了高度的概括,即中国的“市”不是城市,并提出中国的实体地域概念,以此作为城乡划分及统计的地域基础,并提出了一套完整的划分方法和工作程序。

基于实体地域所划分的城市一般称为实体城市(亦称实体地域)^①,通常是指空间上连续、功能上一体的城市建成区,即由密集的人工不透水面(道路、建筑、广场等)和高强度人口活动共同构成的聚落形态(周一星和史育

^① 本文将“实体地域”称为“实体城市”,目的是同“行政城市”进行对比。

龙, 1995)。它以实物形态和人类活动为核心判定标准, 与行政城市(以法定政区范围为边界)之间往往存在一定差异。自实体城市概念提出以来, 已有大量研究从不同角度对中国实体城市边界进行了界定(Li et al., 2020)。尤其随着遥感和地理信息技术的快速发展, 近年来不断涌现出高质量的实体城市边界数据, 为实体城市的识别和划分提供了丰富且坚实的数据支撑(Chen et al., 2025)。

2.1.1. 基于行政视角的城市划分

在行政区划视角下, 城市一般指城镇。然而在实际应用中, 城镇的概念往往同“市”, 或“地级行政区”相混淆。实际上, “城镇”, “市”, “地级行政区”是三个不同的概念。由于三者之间的混用与混淆, 现有研究中“行政城市”的界定往往出现以下三种不同的解读。

2.1.1.1. 城镇

根据国家统计局《统计上划分城乡的规定》(2008), 城镇包括城区和镇区。城区是指在市辖区和不设区的市, 区、市政府驻地的实际建设连接到的居民委员会和其他区域。镇区是指在城区以外的县人民政府驻地和其他镇, 政府驻地的实际建设连接的居民委员会和其他区域。在上述定义的基础上, 国家统计局相继制定并发布了《统计用区划代码和城乡划分代码编制规则》, 通过国家统计令颁布了《统计用区划代码》和《统计用城乡划分代码》, 并对这两套代码实行动态维护和年度更新。表 2-1 展示了 2020 年统计用区划代码与城乡划分代码的部分数据。

统计用城乡划分代码明确规定了每一统计单元的城乡属性。其中, 以“1”开头的代码代表城镇, 以“2”开头的代码代表乡村。在具体分类上, 111 表示主城区, 112 表示城乡结合区, 121 表示镇中心区, 122 表示镇乡结合区, 123 表示特殊区域; 210 表示乡中心区, 220 表示村庄。通过该编码体系, 可以对各类区域的城乡属性进行统一、标准化标识(图 2-1)。

城镇是我国统计数据的基本单元, 涉及包括城乡划分在内的多项统计数据。例如, 城镇化率的计算, 便是以城镇的定义为基础, 结合每一个村级行政单元的常住人口或户籍人口得出。前者即“常住人口城镇化率”, 后者为“户籍人口城镇化率”。

目前, 国家统计局尚未对外公开发布城镇边界的详细数据, 这在一定程度上限制了以城镇为基本单元开展的统计分析与空间研究, 给相关实证

研究带来了挑战。尽管民政部已公开了行政区划代码和城乡分类代码的表格数据，但由于缺乏与行政区划代码一一对应的空间边界信息，现有数据尚无法支持对城镇边界的直接提取与分析。

表 2-1 2020 年统计用区划代码与城乡划分代码（部分）

数据来源：民政部官方网站。

省级	市级	区级	镇级	村级	村级代码	城乡划分代码
北京市	市辖区	东城区	东华门街道	银闸社区居委会	110101001002	111
北京市	市辖区	通州区	永乐店镇	熬硝营村委会	110112117237	220
北京市	市辖区	通州区	永乐店镇	临沟屯村委会	110112117238	220
北京市	市辖区	通州区	潞城镇	胡各庄村委会	110112119201	121
北京市	市辖区	通州区	潞城镇	魏庄村委会	110112119202	111
浙江省	宁波市	象山县	新桥镇	新桥村居委会	330225110200	121
山东省	烟台市	莱山区	解甲庄街道	东解甲庄村委会	370613004201	111
四川省	内江市	市中区	凌家镇	高洞村村委会	511002102211	220

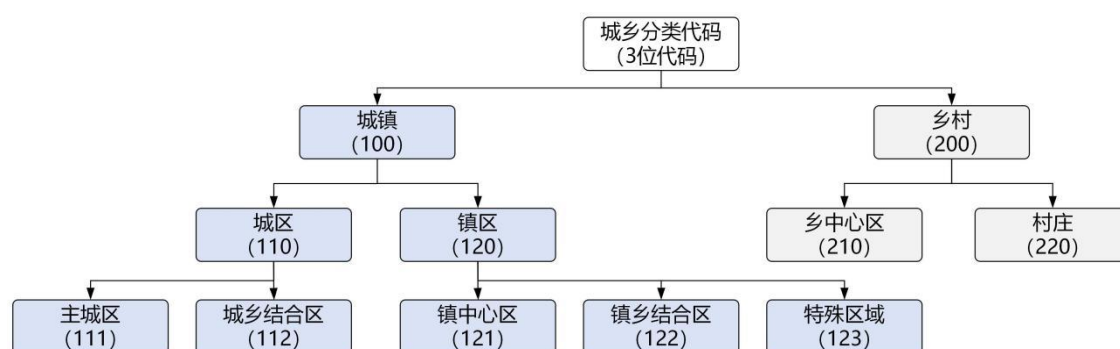


图 2-1 我国的城乡划分代码

图片来源：根据国家统计局数据改绘。

2.1.1.2. 市和市区

在中国，通常所称的“市”包括直辖市、设区的市以及不设区的市。根据《中华人民共和国宪法》，全国行政区划分为省、自治区、直辖市三级。省、自治区下设自治州、县、自治县、市；直辖市和较大的市则划分为区、县；自治州下设县、自治县、市。不设区的市与其他类型的市（如直辖市和设区的市）最核心的区别在于人民代表大会的组织形式^①。随着社会经济

① 根据《中华人民共和国宪法》第九十七条，省、直辖市、设区的市的人民代表大会代表由下一级的人民代

的发展，1985年至1997年间，党中央和国务院陆续出台文件，明确提出了“副省级市”的概念。

综上所述，按照现行行政区划体系，中国的“市”可以细分为直辖市、副省级市、地级市和县级市四类，全国共设有600余个“市”。过去三十余年间，中国经历了快速的城镇化进程，行政区划体系也发生了多次调整。大量行政单元通过“撤县设市”“撤县设区”等改革实现了行政等级的变更，导致“市”级行政单位的数量呈现出较为频繁的波动。

值得注意的是，“市”（包括直辖市、设区的市及不设区的市）与“城市”并非同一概念，但在实际生活中，这两个概念常常被混用，例如“副省级市”常被称为“副省级城市”；“一线城市”往往指代的是经济发展快速、人口聚集的“市”。这种混淆在媒体、政策文件和大众语境中普遍存在。

此外，在某些语境下，行政视角的城市也指代“市区”，或“市辖区”。市辖区是中国城市行政区划体系中的基本单元之一，通常是指由地级及以上城市所辖的非县级行政区域。《中华人民共和国宪法》和《地方各级人民代表大会和地方各级人民政府组织法》均明确规定，设区的市可以下辖若干市辖区。市辖区在行政层级上与县、自治县同级，但其治理主体与功能定位更侧重于城市事务的管理。

关于市辖区之间的空间连接与城市单元的界定，不同研究采用了不同的判定标准。例如，在部分定义下，中国的城市数量被认为是694个（戚伟等，2023），也有研究认为654个（Long, 2016），而根据自然资源部的相关研究，这一数字为683个（中华人民共和国自然资源部，2024）。可见，城市数量的统计在很大程度上受到行政区划变动及研究方法的影响。

2.1.1.3. 地级行政区

地级行政区是中华人民共和国的二级行政区。截至2020年，全国共设有333个地级行政区，包括293个地级市、7个地区、30个自治州和3个盟。由于地级行政单元中“地级市”占据绝大多数，因此在实际语境中，“地级行政区”常被简称为“地级市”，进而导致“城市”与“地级行政区”之间的概念出现混淆。

综上所述，“城镇”“市”与“地级行政区”的核心区别在于所涵盖的空间尺度不同。“城镇”主要聚焦于村、镇、社区等最小行政单元，通常通

表大会选举；县、不设区的市、市辖区、乡、民族乡、镇的人民代表大会代表由选民直接选举。同时，根据第一百零二条，直辖市、设区的市的人民代表大会代表受原选举单位的监督；县、不设区的市、市辖区、乡、民族乡、镇的人民代表大会代表受选民的监督。

过城乡分类代码进行划分；“市”则覆盖多个空间层级，其最小空间单元为县级行政区（即三级行政区）；而“地级行政区”则属于二级行政区，所涵盖的空间范围更大。因此，这三者在行政体系中分别对应不同的空间层次和划分标准。

2.1.2. 基于实体地域的城市划分

实体城市（亦称实体地域或城区）通常指的是空间上连续、功能上一体的城市建成区，其判定标准主要依据实物形态和人类活动。这一概念与以法定政区范围为边界的行政城市存在一定差异。部分研究将建成区面积占比超过一定阈值（如 40%或 50%）的最小行政区划单元聚合后所形成的区域，定义为“城区”，以实现统计数据与实际建成区的有效对应（马爽和龙瀛，2019）。实体城市的提出，有效解决了中国城市研究中概念不统一、人地关系不对应等基础性问题（黄玫等，2022）。

近年来，国内外学者针对城市边界的识别开展了广泛研究，并由此形成了丰富的公开数据集。如马爽和龙瀛（2019）运用土地覆盖数据，在社区尺度识别了中国的实体城市边界；邓刘洋，沈占锋和柯映明（2018）构建决策树用于分析土地利用类型，实现对建成区范围的提取；宋小冬，柳朴和周一星（2006）基于遥感影像数据划定城市统计区和城镇统计区，最终获得城市实体地域；胡忆东等（2008）基于 GIS 技术，在 0.3m 分辨率遥感图像基础上，结合外业调查，绘制了武汉市的建成区范围；自然资源部发布了《城区范围确定规程》以规范城区的识别标准，并于 2024 年 4 月发布了“全国 683 个城市城区范围”（中华人民共和国自然资源部，2024）。此外，道路交叉口，POI 等数据也广泛地应用于城市边界的识别中（Long, 2016; Ma et al., 2025）。

在国际上，城市实体地域（Urban Extent、Urban Land Expansion、Built-Up Areas、Urban Boundary）的划定已受到学界和国际机构的广泛关注，相应的方法与数据产品逐渐成为城市研究的重要方向。其中具有代表性的研究包括清华大学团队基于 Landsat 数据划定的全球 1985—2018 年的 GAIA（Global Artificial Impervious Area, 人工不透水地表）数据；Li 等基于 30 米分辨率的 GAIA 生成的 GUB（Global Urban Boundaries, 全球城市边界）数据（Gong et al., 2020; Li et al., 2020）；中山大学公开的 1985—2015 年全球高精度城市边界数据（Chen et al., 2020a）；中国科学院团队基于城乡分类框架划分

的中国 URCA (Urban-Rural Catchment Area) 城乡划分数据 (Chen et al., 2025); 清华大学团队基于联合国城市定义确定的基于人口分布的城市边界 (Zhang, Zhao and Long, 2025); 武汉大学团队基于遥感图像生成的 HUB (Hierarchical Urban Boundaries) 城市边界数据 (Xu et al., 2021) 等。

然而, 学界至今尚未在城市实体地域的划定标准上形成统一共识, 不同研究团队在边界确定上存在差异 (图 2-2)。这种差异主要源于城市边界概念的多维性以及研究目标的差异化。例如, 政府管理方向的研究者强调城市边界与行政管理及统计数据的衔接, 往往选择行政边界作为划定依据 (黄玫等, 2022); 土地科学的研究者则更关注土地の利用与开发状况, 从土地利用变化的角度界定城市边界; 生态学领域的研究者关注人类活动对环境的影响, 部分研究以地表是否被转化为不透水面作为界定城市边界的标准 (Gong et al., 2020; Li et al., 2020)。

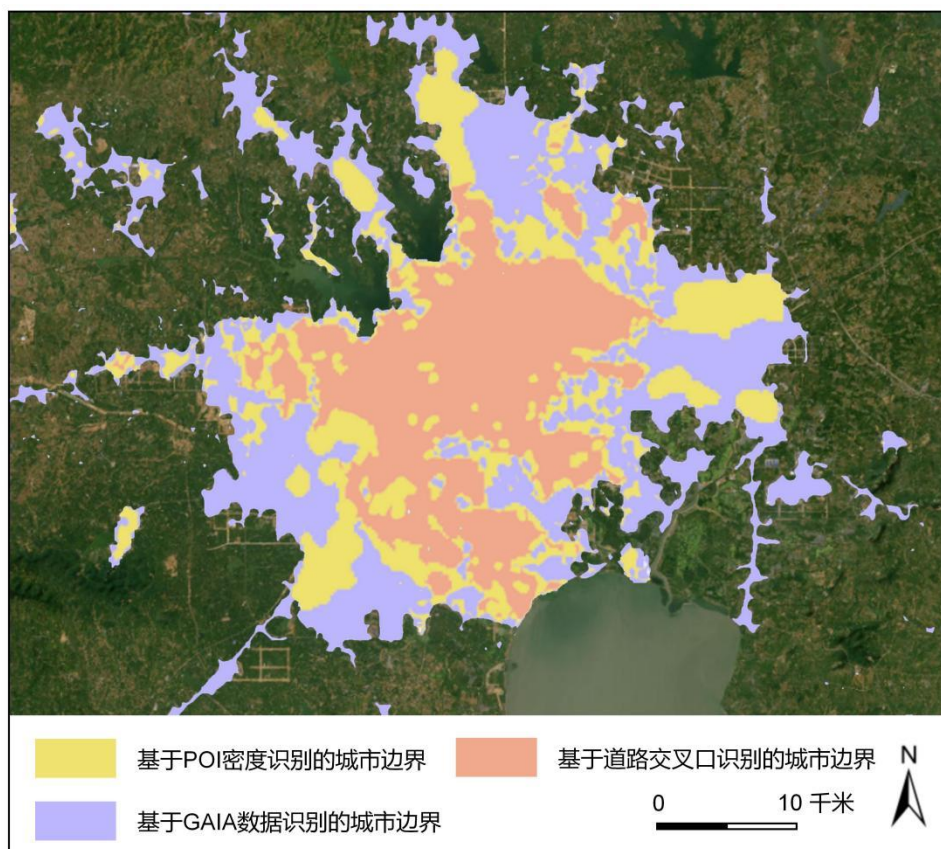


图 2-2 合肥市主城区三种不同城市边界的对比

2.2. 城市空地的定义

空地或城市空地（英文关键词为 Urban Vacant Land/Lot, UVL）一般强调的是“空置的”（Vacant）或“闲置的（Idle）”的土地，指代公有或私有的没有利用的土地（王宏新，孟文皓和熊斯瑶，2016）。由于西方发达国家的城镇化水平普遍较高，因此在大多数的西方研究中，空地通常被限定为城市内部的空地，而较少涉及农村地区或人烟稀少区域的空地。

界定城市空地的关键在于如何定义“空置”或“闲置”。目前学界尚未就“空置”的内涵形成统一共识，一部分学者主张从“人的空置”角度出发，以人口或使用主体为核心，认为当土地或建筑缺乏居住者、使用者或管理者时，便构成空置（Xu and Ehlers, 2022）。这一视角突出了空地背后的社会人口过程，强调了“无人在场”的空间状态。另一部分学者则更关注“空间的空置”与“功能的空置”，即土地虽然在物理层面存在，但其既定功能已被削弱或丧失，因而无法发挥应有的使用价值（Li et al., 2019; Sperandelli, Dupas and Dias Pons, 2013）。这种界定更强调土地利用效率与功能缺失，涵盖了闲置工厂、未开发建设用地或使用功能与规划目标脱节的地块。

在中英文语境下，“城市空地”与其他相关概念之间存在一定的交叉和差异。自“城市空地”概念提出以来，在中文语境下，它常常与“闲置土地”“低效用地”等概念相互关联，但由于制度规定与政策导向的不同，在内涵上仍存在明显区别。而在英文语境下，“Urban Vacant Land”则与“Brownfield（棕地）”以及“Underutilized Parcels（未充分利用土地）”等概念产生了较大程度的交叉与重叠。由于这些概念在内涵和外延上存在一定模糊性，在实践中，无论是政府部门还是学术界，都常常难以准确界定和统计城市空地的面积与数量（Pagano and Bowman, 2000）。

因此，厘清这些概念之间的关系，不仅有助于统一研究尺度与对象，也为政策制定和治理实践提供了更为明确的语义基础（Alker et al., 2000; Pagano and Bowman, 2000; Xu and Ehlers, 2022）。大量学者围绕“城市空地”与“低效用地”“Brownfield”“Underutilized Land”等概念之间的关系展开了讨论。通过对相关文献的归纳与比较，本研究尝试提出一个相对明晰的“城市空地”定义，以便在后续的实证分析与政策讨论中实现概念的一致性与可比性。

2.2.1. 城市空地同相关中文概念的关系

（1）城市空地和闲置土地

在中国语境下，与“城市空地”最为接近的官方概念是“闲置土地”。根据中华人民共和国国土资源部《闲置土地处理办法》，闲置土地，是指“国有建设用地使用权人超过国有建设用地使用权有偿使用合同或者划拨决定书约定、规定的动工开发日期满1年未动工开发的国有建设用地”，其往往指代城市开发过程中，由于政府规划或政策（未按规定交地、规划和政策调整、司法查封）、企业运营（过度投资、囤地）、群众信访等原因导致的未进行建设的用地（周舟，晏学丽和刘蓓蓓, 2022）。谭永忠，姜舒寒和吴次芳（2016）认为，闲置土地是指城市中具有一定的闲置时间、没有被利用或没有得到实际利用的土地，具体也包含由于过度拆迁、拆迁未完成，或者无人居住构筑物、危旧房屋等占有的土地（龙开胜，秦洁和陈利根, 2016）。在具体的实际认定过程中，由于上述法律条文对“闲置土地”的界定相对笼统，仅以“满1年未动工开发”为标准，往往难以全面反映土地利用的复杂性。为此，实践操作中还引入了建设面积和投资额等量化指标作为补充判定依据。例如，常见的标准包括“应动工的开发建设总面积”“已开发建设的总面积”以及“累计投资额”等。这些指标的引入旨在通过更加具体的量化条件，以避免仅依赖单一时间维度所带来的模糊性或争议性，从而在土地监管与治理中提升可操作性和执行力度（赵小风等, 2011）。

总体而言，“城市空地”与“闲置土地”虽在一定程度上存在交叉与相似性，但其关注重点与界定逻辑存在明显差异。“城市空地”更强调从空间利用、城市结构和土地开发潜力等角度进行界定，是一种基于空间规划和城市发展视角的用地类型划分。这一概念旨在揭示城市建成区内部潜在的低效用地与未利用空间，从而为城市更新、土地再开发和空间优化提供依据。与之相比，“闲置土地”则是一种法律和行政管理视角下的土地状态，其界定核心在于对已获批而未建设，或未按照合同约定和规划要求及时开发的建设用地进行认定。由于其背后直接关联国家土地管理制度，闲置土地往往伴随法律和政策后果，包括依法查处、土地收回、罚款等措施，具有鲜明的政策属性和管理属性。换言之，城市空地更多反映的是一种空间现象，而闲置土地则代表一种制度化的管理状态。

（2）城市空地和低效用地

在中国，低效用地通常指利用率低、产出效益不高、未能实现土地潜力

的土地。在中国官方文件中，如《关于深入推进城镇低效用地再开发的指导意见（试行）》，低效用地被定义为“城镇中布局散乱、利用粗放、用途不合理的存量建设用地”，包括但不限于城市空地、旧厂房、城中村等。低效用地强调“利用效率”和“产出效益”，其范围既可以包括已被部分开发但效益低下的地块，也包括部分空地。

在实际应用过程中，各地对于低效用地的分类标准虽大体相近，但在具体的判定指标与操作细节上并不统一。如《厦门市自然资源和规划局关于印发厦门市低效用地认定标准的通知（2023）》中，将“已竣工2年以上，但投资强度达不到出让合同约定标准50%以上或土地产出率低于现行工业（物流仓储）项目建设用地控制标准50%的”认定为低效工业（物流仓储）用地。这一标准明显侧重于投资强度与土地经济效益，体现了地方政府在高质量发展背景下对土地产出效率的重视。而在《河南省低效用地认定标准（2025）》中，当用地满足“物流仓储用地空闲地块面积达30%以上，或空闲仓储建筑面积占比50%以上；危旧楼宇（库房）占比达50%以上”等条件时，即可认定为低效仓储用地。该类标准更多聚焦于土地的空间形态与建筑物安全性，体现了在保障城市运行安全与提升空间利用效率方面的考量。

（3）城市空地和闲置地

在第三次全国国土调查（简称“三调”）中，闲置地通常指已取得土地使用权但未按规定用途开发利用，长期处于闲置状态的建设用地。三调数据在统计时对“闲置地”的权属类别、规划用途以及闲置年限进行了明确区分，并要求地方逐一上报具体地块信息。这些地块通常需满足国土管理部门在法律或政策层面上的认定标准，因而具有较强的制度化和约束性。

从研究视角来看，城市空地的范围大于三调所界定的“闲置地”，除了被正式认定为闲置的建设用地之外，还包括大量尚未纳入三调认定程序或暂时未被统计的地块。例如，用作储备的待开发土地、因规划调整或政策原因而形成的政策性空地、处于过渡期的临时性空闲地块等，都可以被视作城市空地的组成部分，但在三调数据中往往未被标记为“闲置地”。

由此可见，“闲置地”具有严格的法律与行政认定属性，其识别依赖于制度化的标准与流程；而“城市空地”则更多强调空间利用的视角，不仅涵盖了制度意义上的闲置地，还延伸到更广泛的潜在低效或未利用空间。

（4）城市空地和未利用地

依据《中华人民共和国土地管理法》及《土地利用现状分类》标准，“未利用地”是指农用地和城市建设用地之外的其他土地类型，通常可以进一步

划分为荒草地、盐碱地、沼泽地、沙地、裸土地等。这一概念强调在全国土地利用分类框架下对土地进行宏观性归类，突出其自然状态和未被开发利用的属性。与之相比，“城市空地”则更聚焦于城市范围内部，指在城市范围内由于规划、经济、社会或环境等原因而出现的未利用土地。

因此，二者在研究重点和应用场景上存在差异：未利用地属于宏观层面的国土资源管理范畴，关注农用地和城市建设用地之外的土地，主要用于土地调查、资源统计与国家层面的空间格局分析；而城市空地则属于城市研究与规划实践中的概念，更关注城市内部存量空间的再利用潜力及结构优化问题，服务于城市更新、土地集约利用与可持续发展等政策。

2.2.2. 城市空地同相关英文概念的关系

（1）城市空地和棕地

在国际研究语境中，“城市空地（Urban Vacant Land）”与“棕地（Brownfield）”之间存在着较为密切的交叉，但二者的内涵与侧重点并不相同。德国学者通常将城市空地直译为“空隙地（Gap Sites）”。这一概念不仅涵盖了面积较小、形状不规则、夹杂于建成区之间的空置地块，还包括因地理位置偏远或存在物理条件限制（如悬崖、陡坡）而难以有效利用的土地（Xu and Ehlers, 2022）。

相较而言，棕地的概念更多聚焦于生态与经济层面的风险。Freier（1998）认为，棕地主要指城市内部已经废弃的土地，由于可能存在污染、环境隐患或经济再开发难度，其往往被排除在主流经济发展路径之外。这表明，城市空地的概念更强调物理与空间形态的约束，而棕地则突出生态污染与经济利用障碍。

在英国，“棕地”通常被视为“已开发土地（Previously Developed Land, PDL）”的同义概念，指的是目前或曾经被永久性结构（不含农业或林业建筑）和相关基础设施占用的用地（Syms, 2008）。该概念不仅包括工业用地，也包括商业、交通等用途，且不必然含有污染。Alker 等（2000）将其解释为“任何曾经使用或开发、但目前未被完全利用的土地或房舍”，其状态可能表现为部分被占用、空置、废弃或受到污染，因此通常需要一定程度的干预方能再利用。

英国的“城市空地”概念则起源于1992年《英国城市地区空置土地抽样调查》（National Sample Survey of Vacant Land in Urban Areas in England），

其定义为“曾经具有生产用途，但已废弃不用一段时间的土地”（Shepherd and Abakuks, 1992; Alker et al., 2000）。这一界定与 PDL 的内涵基本一致，在后续研究与政策实践中，城市空地的概念逐渐被纳入并整合进 PDL 体系之中。因此，在英国语境下，“棕地”与“城市空地”均被理解为已开发土地（PDL）。

在美国，“棕地”的含义在 2002 年的《小企业责任救济和棕地振兴法》（The Small Business Liability Relief and Brownfields Revitalization Act）中得到了明确定义，即“因存在或可能存在危险物质或污染物而使其扩张、重建或再利用变得复杂的不动产”^①。与此形成对比的是，“城市空地”具有更宽泛的内涵，Pagano 和 Bowman（2000）认为，城市空地不一定是被破坏的土地，它可以是早期开发留下的小块或不规则形状的地块，也可以是有物理限制的地块，如由于陡峭的斜坡或洪水危险，几乎无法建造的地块，也可以是因为人口和经济原因导致的建筑废弃、无人利用的土地。可以看出，棕地与城市空地在内涵上存在部分交叉关系：两者都可能涉及未被利用的城市土地，但棕地更突出污染治理与再开发障碍，而城市空地则更强调空间利用和社会经济维度。也有学者提出了更为宽泛的“城市空地”界定，例如 Németh 与 Langhorst（2014）认为，空地可以指任何长期未被利用的土地，不论其上是否存在构筑物。这种广义界定进一步拓展了城市空地的研究边界。

在澳大利亚，DPZ 公司将棕地界定为“已被城市化或工业化使用，随后被腾空并可重新用于城市化的场地”（Alker et al., 2000）。这一界定强调了棕地在经历过开发利用后重新进入空置状态，并具备再次被纳入城市化进程的潜力。从概念关系上看，这意味着棕地可以被视为城市空地的一个子集：棕地是特定类型的空地，其形成背景和再利用条件通常与城市化和工业化过程紧密相关；而“城市空地”的外延更广，不仅包含棕地，还涵盖了未开发的空置地块、因物理限制而无法利用的土地、因人口或经济因素而被废弃的区域等。因此，在澳大利亚，可以认为城市空地是一个更宽泛的概念，棕地则是其中一个带有特定属性的类别。

综上，在国际视角下，棕地一般强调因污染或经济风险而未被再利用的土地，而城市空地则更侧重于因物理、地形、地块形状或人口经济变动等多原因长期空置的地块，二者为交叉关系。在利用方式上，棕地通常需要生态

① 原文为：Defines a "brownfield site," with exceptions, as real property, the expansion, redevelopment, or reuse of which is complicated by the presence or potential presence of a hazardous substance or pollutant.

修复或建筑改造等干预措施 (Alker et al., 2000), 而城市空地的利用成本则可能较低, 不一定需要类似干预。

(2) 城市空地和低效用地/未充分利用的土地

同中国语境下的相关概念类似, “低效用地”或“未充分利用的土地 (Underutilized Parcels)”在国际研究中也具有相对明确的界定。Landis 等 (2006) 从经济学角度出发, 将低效用地界定为在交易过程中土地价值较低的地块, 强调其市场交换中的低价值属性。Sobe、Hirschmugl 和 Wimmer (2021) 则基于遥感视角提出, 低效用地是指在一定时期内 (如 3 年或 5 年) 未呈现出任何人类干预迹象的土地。这一定义不仅适用于城市内部的低效空间, 也涵盖了农村地区的闲置或未利用土地, 体现出该概念的广泛适用性。Hollander (2011) 从土地利用效率的角度出发, 将低效用地界定为未能实现其规划功能、产出效益显著低于同类地块的空间。这种定义强调规划与实际利用之间的偏离, 特别关注工业用地转型失败或公共设施长期搁置的情境。另有学者从政策与制度环境切入, 认为低效用地的形成往往与产权不清晰、管理机制缺位或市场激励不足密切相关 (Adams et al., 2001)。

由此可见, “低效用地/未充分利用的土地”是一个内涵相对宽泛的概念, 其所涵盖的类型多样, 其中包括“城市空地”。换言之, 城市空地可以被视为低效用地的一类典型表现形式, 但并非其唯一范畴; 二者在研究范围、使用场景与政策导向上存在不同。

2.2.3. 相关概念总结

城市空地主要体现为一种空间属性, 即只要符合城市空地的空间和利用特征, 即空间上和功能上没有利用的土地, 无论其权属、用途或管理状态如何, 均可被界定为城市空地。在中文语境下, 与城市空地相关的“闲置土地”“闲置地”等概念则更强调行政属性, 往往需要经过主管部门的认定和审批, 才可被正式列入管理和统计范围。“低效用地”则更强调土地利用效率和经济效益, 但同样需经政府职能部门的认定才能成立。因此, 在实际操作中, 存在大量实际处于空置、闲置状态的土地未被纳入行政认定的情况。例如, 部分储备地、待开发地块等, 虽长期未被有效利用, 但因未满足相关认定标准或未经过行政确认, 未被划入“闲置土地”或“低效用地”统计范畴。

基于上述讨论, “城市空地” (Vacant Land/Lot) 主要侧重于从空间形态和土地利用状态出发, 对处于闲置或未利用状态的土地进行识别和界定,

更多强调空间利用不足与社会经济过程，包括因人口减少、产业转移或规划滞后而产生的空置地块，突出其在城市结构与空间治理中的意义；棕地（Brownfield）则更注重土地利用状况与环境条件，尤其强调生态和污染等因素的影响，其界定往往与土地的历史开发、生态风险和再利用难度紧密相关，是一种带有环境与政策属性的土地类型；低效用地的界定则更加宽泛，既可以从经济价值的角度切入，强调土地市场交易中的价值偏低，也可以从物理空间与遥感观测的角度出发，指代在一定时期内缺乏人类干预迹象的土地。表 2-2 展示了上述概念之间的关系。

表 2-2 城市空地和相关定义之间的关系

概念	一般定义	出发角度
城市空地（Vacant Land/Lot）	因为某些原因、如地形、地块形状、人口经济衰退等原因空置的土地	空间形态特征、土地利用特征
闲置土地	由于政府规划或政策、企业运营等原因导致的未进行建设的用地	土地管理、法律认定
低效用地/未充分利用的土地（Underutilized Parcels）	土地利用价值低，利用粗放、用途不合理的土地，包含空地、废弃土地等	土地价值，土地利用效率
闲置地	已取得土地使用权但未按规定用途开发利用，长期处于闲置状态的建设用地	土地管理、土地调查认定
棕地（Brownfield）	地块内存在或可能存在危险物质或污染物，而使其扩张、重建或再利用变得复杂的土地	土地可利用状况、环境条件

2.3. 城市空地的识别

城市空地的识别一直是现有研究所面临的挑战（Newman et al., 2016）。大量学者已在案例尺度上对城市空地进行了识别与测算（López et al., 2021）。例如，Smith, Li 和 Turner（2017）基于遥感与地籍数据识别了美国亚利桑那州凤凰城的城市空地分布；Castro（2022）利用芝加哥的城市空地数据，探讨了其空间分布及利用状态；Snow 等（2017）通过开源数据和云平台开展了针对宾夕法尼亚州克莱顿市的城市空置土地调查。国内方面，Hu 和 Zhuang（2024）基于高分辨率遥感数据和 SegFormer 模型，识别了中国杭州市的城市空地，Cheng 等（2025）则将类似方法应用于成都市，获得数据结果。尽

管上述研究为理解城市空地的类型、分布及成因提供了重要支撑，但大多仍局限于单一城市或区域，缺乏大范围、系统化的识别框架。

为实现更广域的城市空地识别，许多研究者提出了多样化的技术路径。根据所采用的核心数据类型，这些方法大致可归纳为三类：一是基于统计资料或调查数据的识别方法，依赖土地利用现状、地籍登记等数据进行判别；二是基于遥感影像的方法，通过高分辨率影像解译和图像处理自动识别空地；三是基于多源地图数据的方法，综合利用土地利用图、规划图、GIS 数据与互联网地图等多元数据。随着数据获取与识别技术的发展，这三类方法的界限逐渐模糊，综合利用遥感、统计资料与多源空间数据进行城市空地识别，已成为当前主流趋势。

2.3.1. 基于统计资料或调查数据的识别方法

该类方法主要依赖于与各地政府及相关部门的沟通，以获取城市空地的官方统计资料（Niedercorn and Hearle, 1964; Pagano and Bowman, 2000; Newman, Lee and Berke, 2016）。这种方法的前提是相关政府部门拥有系统、翔实的土地利用数据，并定期开展城市空地普查。仅有在已建立健全地籍管理和空地普查制度的国家或地区，才能通过此类方式获取可靠的数据基础。例如美国、英国等国家普遍开展了由政府主导的城市空地普查，积累了较为完善的基础数据。例如，美国多个州的统计局定期报告收缩型城市的城市空地状况。以阿马里洛（Amarillo）为例，2005 年该市城市空地面积已占城市总面积的 45%，菲尼克斯（Phoenix）也有高达 42.6% 的城市空地（Pagano and Bowman, 2000）。英国于 1990 年组织实施了《英国城市地区空置土地抽样调查》（National Sample Survey of Vacant Land in Urban Areas in England），为后续学术和政策研究形成了高质量的公开数据集。

基于政府统计数据，早在 20 世纪 60 年代，Niedercorn and Hearle（1964）就已通过向政府机构发放问卷，系统收集了美国多个城市的空地数据。这种模式不仅提升了数据获取的效率，也促进了跨地区空地状况的横向比较。Pagano 和 Bowman（2000）则进一步采用邮件调查方式，获得了美国众多城市的详细统计数据，并据此分析了不同城市及区域内城市空地的分布与变化规律。Newman, Lee 和 Berke（2016）在其研究中延续了这一传统，通过与地方政府的合作获取数据，并与以往历史数据进行了系统对比，分析了城市空地的时空演变特征。

该方法的主要优势在于操作流程简便、获取的数据结构标准化,便于与其他统计数据(如人口、经济、土地市场等)进行对接和相关性分析。此外,数据通常具有较高的权威性和可比性,有利于支撑政策制定和科学决策。然而,这一方法也存在短板。首先,其可复制性有限,仅适用于已建立城市空地普查和信息管理体系的国家或地区。许多发展中国家和新兴城市尚未开展相关普查,缺乏统一的数据采集标准和统计口径。其次,不同地区的统计口径、数据更新频率和执行标准存在较大差异,导致即使获取到数据,也难以进行跨国或全球尺度的横向比较。此外,政府数据可能存在滞后性和信息不透明等问题,难以实时反映城市空地的动态变化。

因此,尽管基于统计资料和官方数据的方法为城市空地识别提供了重要的数据基础,未来大范围、跨地区的对比研究仍需借助其他数据手段,以实现城市空地的高效、标准化的识别。

2.3.2. 基于遥感影像解译的识别方法

利用遥感影像解译是当前高效识别城市空地的重要技术路径之一。Li等(2018)通过人工标注方法,对上海市核心区2000、2005与2010年的多期遥感影像进行了解译,划分出包括城市空地在内的13类主要城市用地类型。Li等(2019)则结合高分辨率(1 m)遥感影像的视觉解译与实地调研,实现了对长春市城市空地的精细化识别。Sperandelli、Dupas和Dias Pons(2013)在巴西的研究中,将遥感图像解译与城市空间分析相结合,探讨了城市空地的空间分布及其与城市收缩现象之间的关系。

随着人工智能技术的进步,深度学习模型在遥感影像城市空地识别中的应用日益广泛。Mao等(2022)通过人工标注构建训练数据,基于深度学习方法对中国36个主要城市的遥感影像进行了大范围自动识别,实现了城市空地的高效提取。Hu和Zhuang(2024)提出了一种基于高分辨率卫星影像与深度学习的城市空地提取方法,在中国等城市进行了实证,提升了空地动态监测的时效性和识别的精度。

此类基于遥感解译的方法具有效率高、覆盖范围广、可实现大尺度统一标准识别等优势。特别是在跨城市、跨区域的对比研究中,遥感技术通过统一的数据源与一致的处理方法,能够有效克服传统统计数据在口径不一等方面的限制,从而提升研究结果的可比性与客观性。然而,遥感解译方法也存在一定局限性。一方面,其对城市空地的识别结果主要依赖于影像的空间分

辨率和训练样本质量，缺乏人本尺度的数据矫正，可能导致部分特殊类型空地的误判。另一方面，遥感影像主要反映地表空间形态，难以全面捕捉土地实际利用状况和功能属性。因此，部分研究采用实地调研与标注相结合的综合判定方法，以提升识别结果的准确性和解释力。

2.3.3. 基于多源数据评估的识别方法

基于多源数据的城市空地识别方法是近年来出现的新方法。Xu 和 Ehlers（2022）综合运用地图分类数据、遥感影像、开源空间矢量数据库（如 OpenStreetMap, OSM）和环境温度等多源地理数据，对德国城市的城市空地进行了细致分类与识别。他们将城市空地分为四类：交通附属用地、自然地物、无人使用的地块和储备用地、棕地，并针对每一类空地，结合不透水面遥感数据、OSM 矢量信息及建筑物温度等多项数据源实现了城市空地的多维识别（见表 2-3）。

表 2-3 相关研究的城市空地识别方法

（Xu and Ehlers, 2022）

城市空地的类型	核心数据	识别方法
交通附属用地	不透水面数据、交通设施 矢量数据	位于不透水范围内的交通设施用地判定为城市空地
自然地物	自然地物矢量数据、城市 边界数据	城市边界内的自然地物用地判定为城市空地
无人使用的地块和 储备用地	城市绿地边界、公园、墓 地等设施边界数据	以上类别用地均判定为城市空地，识别时排除交叉和重复部分
棕地	已认定的棕地数据、维基 百科报告数据、社交媒体 数据、建筑物温度数据等	综合 OSM、公开数据库与维基百科报告的棕地数据，辅以社交媒体与建筑物温度数据进行交叉校验，通过任一校验即判定为棕地

这种基于多源数据的识别方法，具有以下特点：

（1）**分类体系清晰**。该方法充分利用城市空地的概念框架，实现了城市空地的筛选与精细区分，有助于深入理解不同类型城市空地的空间分布和成因机制。

（2）**注重识别精度**。相较于传统方法，该方法在一定程度上牺牲了空间覆盖的广度，但更注重识别结果的准确性。例如，部分棕地可能未在社交

媒体或开放数据中得到及时记录,但所识别的城市空地均经过多源数据的交叉验证,从而提升了结果的可靠性。

(3) **综合利用温度和环境数据**。虽然引入了建筑物温度等环境指标,有助于判别地块的利用状况,但该方法仍受制于数据精度和外部环境影响。例如,道路温度受机动车流量影响较大,建筑外立面温度难以准确反映实际使用功能,大范围环境温度数据亦可能存在空间分辨率不足等问题。

2.4. 城市空地的形成机制

2.4.1. 制度因素

土地制度安排、规划管控以及治理能力是驱动城市空地形成的重要“上位机制”。Pagano 和 Bowman (2000) 认为,土地税制、土地储备和出让政策会直接影响地块进入市场和被开发的节奏,拆迁补偿与产权协调的复杂性则容易导致地块在旧用途退出和新用途启动之间经历长期的“真空期”,表现为空地或废弃地。Accordino 和 Johnson (2000) 的系统调查也表明,空地在许多美国城市得以长期存在,与地方政府监管能力不足、激励机制缺失以及治理制度碎片化密切相关。

在中国语境下,制度因素的重要性更加突出。自上世纪以来,批而未供、供而未用、“囤地”等行为在现行国有土地出让制度下较为常见,是城市空地的重要来源之一(李建新和武小平,1998;缪军,2002)。缪军(2002)认为,缺乏统一的闲置判定机制与强制处置程序,导致空地一旦形成往往难以被有效回收与再开发。进入2000年后,制度因素与土地财政的发展模式相叠加,地方政府倾向提前供应土地,而征地拆迁制度的复杂性又导致城市更新区域出现大规模“过渡性空地”。楼江和邓浩强(2007)指出,在监管缺位与持有成本过低的制度环境下,开发企业得以通过囤地与延迟开发获取制度性收益。近年来,面对经济调整与房地产下行,相关部门推动专项债券资金收储闲置土地、健全“批供用”全链条监管机制,显示城市空地治理正从“制度容忍”转向“制度刚性”。

2.4.2. 经济因素

从经济与市场视角看,城市空地往往是产业重组、房地产市场波动和资

本流动节奏的空间反映。经济逻辑从市场供需、投资预期与经济周期的角度解释城市空地的形成,强调开发主体的经济理性与宏观经济环境共同塑造土地的开发节奏。最具代表性的理论来自 Titman (1985) 的期权定价模型,他指出在未来收益不确定性较高时,土地持有者为了保留潜在收益,会选择延迟开发,从而形成“经济性空地”。这一观点为后续大量关于“囤地—延迟开发—待涨预期”的研究奠定理论基础。Accordino 和 Johnson (2000) 也指出,土地投资者在弱势房地产市场下可能降低开发意愿,使空地成为经济周期波动的空间反映。在中国语境中,经济逻辑与房地产主导的城市发展模式紧密相关。2000—2015 年间,土地价值上涨预期显著增强,大量房地产企业通过囤地、分期开发、推迟开工等方式实现资本收益最大化,导致城市外围、开发新区与产业转移地区出现大量的空地。此外,土地财政驱动下的一次性大规模供地,使得土地供应超过城市实际需求,形成以经济增速与投资率波动为背景的空地。进入经济增长放缓与人口变化阶段后,部分工业地块因产业外迁而被废弃,商业与住宅项目因市场需求不足而停滞,城市空地在某些地区呈现出“经济下行—投资撤离—空地累积”的典型路径。Kim, Newman 和 Jiang (2020) 综合多城实证研究,构建了“空置城市空间”的多因素框架,指出经济衰退、产业外迁、住房需求下降以及金融体系调整等,都可能通过降低投资意愿和开发强度,增加空地和废弃结构数量。的研究进一步表明,在收缩城市中,人口流失与住房市场弱化会强化空地的产生,而在增长城市中,空地则更多表现为城市扩张和土地储备过程中的阶段性产物,两类城市的空地动态机制存在显著差异。

2.5. 城市空地的外部效应

2.5.1. 城市空地的负面影响

城市空地过剩为城市发展带来了诸多重大挑战,尤其在面临财政危机的城市表现得尤为突出 (Kim, Miller and Nowak, 2018; Németh and Langhorst, 2014)。长期大量的城市空地往往与城市衰退密切相关,造成这一现象的原因主要包括人口持续减少 (Rieniets, 2009)、再生政策效果有限 (Németh and Langhorst, 2014)、经济萎缩 (Ryan, 2012) 以及城市去中心化 (Audirac, 2007) 等多重因素。

长期存在的城市空地不仅影响城市形象,还会带来一系列社会和经济负

面效应。城市的空间衰败将带来经济衰退，从而进一步带来人口流失；人口的减少进一步促进城市空间的衰败和经济的衰退，使得城市的发展呈现衰退的循环（图 2-3）。这些影响进一步导致房产价值下跌，人口外流加剧，最终形成恶性循环，使空地问题自我强化（Immergluck, 2016）。

空地往往成为犯罪活动的高发区域，降低居民的生活质量，并因环境破败和安全隐患引发更多社会问题（Kivell, 1993）。以美国纽约州的布法罗市为例，作为典型的收缩城市，大量城市空地和废弃建筑已成为显著特征。仅在 2016 年，布法罗市就拆除了超过 5000 栋空置或废弃房屋（Nolan, 2017）。为应对这一问题，土地储备制度被广泛应用于布法罗及其他类似城市，以积累和再利用空置物业，但其成效各异。例如，克利夫兰通过有效的土地储备，将被收回的土地出售并用于再开发，取得了较好成效；而底特律的土地处置机制则收效甚微（Dewar, 2006）。自 20 世纪 50 年代以来，许多经历了持续人口和就业流失的后工业城市同样面临这些问题，这些城市失去了原有的工业基础，尚未形成新的经济增长点。人口减少导致空地增多，从而进一步加剧了城市衰退（Goldstein, Jensen and Reiskin, 2001）。中国的实地研究亦证实了东北典型工业城市（鹤岗、大庆、长春等）因资源枯竭而出现人口外流、房价下探，土地闲置等现象（He et al., 2017；Li et al., 2019；郝婧妍&刘艳军，2022）。

此外，城市空地的过度扩张不仅造成土地的浪费，还进一步加剧了中心城市的空间分化。当新增开发活动更多转向郊区或农村未开发绿地，而不是优先利用和再生城市内部已开发地块时，中心城区的经济活力被逐渐抽离，原有的空间和资本资源无法得到充分利用。这种不均衡的开发模式不仅削弱了城市整体的空间效率，还使得基础设施的运行压力和维护成本不断增加，形成了长期性的治理与发展负担。

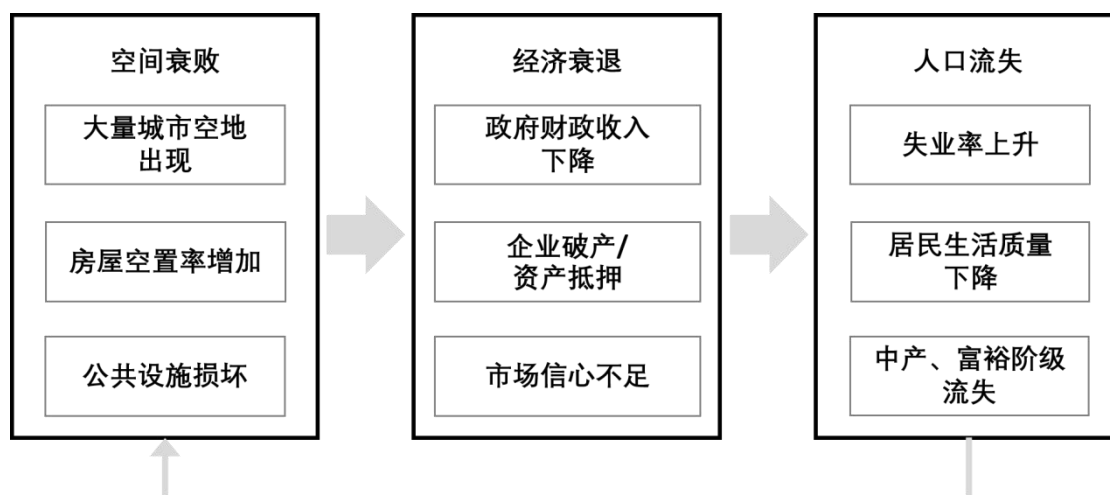


图 2-3 城市衰退的循环

图片来源：根据Goldstein, Jensen和Reiskin的工作改绘。

具体而言，城市空地的负面效应主要体现在以下几个方面：

（1）对城市经济与财政的冲击

城市空地的存在往往导致邻近物业价值下降，抑制房地产市场活力，并进一步削弱地方政府的税基。Kim, Newman 和 Jiang（2020）的实证研究发现，在美国中西部多个城市，空地密度与住宅价格呈显著负相关关系；当空地比重超过 10% 时，周边物业价值的平均降幅可达 5%–12%。税基流失不仅压缩了市政预算空间，还影响了基础设施维护、社区更新与公共服务供给，进而形成“税收萎缩—公共投入减少—空置加剧”的负向循环。对于处于工业转型期的中国东三省和资源型城市，这一机制尤为突出，城市空地治理已成为巩固地方财政和吸引资本投资的关键议题。

（2）对社会安全与健康的威胁

闲置和无人监管的空间更容易出现药物滥用和暴力犯罪事件（Li et al., 2022b; Goldstick et al., 2015），从而加剧社区的不安全感。同时，空地缺乏积极利用，减少了居民开展体力活动的可能，导致整体健康水平下降（Liang et al., 2008）。此外，环境破败会引发“破窗效应”，进一步削弱社区凝聚力和地方认同感（Goh et al., 1987），并造成房产价值下跌与投资流失（Johnson et al., 2022）。Branas 等（2018）在费城实施的“空地轻度整治实验”表明，未整治空地周边的枪击事件和侵入性犯罪的发生频率显著高于已整治区域，居民的心理压力与焦虑水平也同步上升。

此外，空地还可能导致社会资本流失。当社区缺乏能够组织公共活动的

安全空间时，邻里互动与共治意愿下降，形成空间—社会双重衰退。在快速城市化地区，空地的不确定性更易引发“外来者聚集”“治安盲区”等社会舆论担忧，进一步放大居民对城市治理失效的负面感知（Zhu et al., 2023）。

（3）对生态环境与公共卫生的损害

未经治理的空地常堆积建筑垃圾与危险废弃物，破坏土壤理化性质；雨季时易形成积水和动植物腐殖环境，为蚊虫、啮齿类及病媒生物的滋生提供条件（Garvin et al., 2013）。在个体健康层面，空置对于居民的影响包括提升传染病的感染概率，蚊虫聚集会导致疾病传播（Ozdenerol, Bialkowska-Jelinska and Taff, 2008），鼠害同样会引发公共卫生问题（Masi et al., 2010）。此外，部分空地存在重金属和化学物质残留，如铅污染，直接危害居民健康（Sayre and Katzel, 1979）。同时，暴露于高温或缺乏绿化覆盖的空地会加剧热相关健康风险（Uejio et al., 2011）。在心理健康方面，破败与不安全的环境会提升居民的压力与焦虑水平（Snedker and Herting, 2016），并与精神疾病风险上升密切相关（Lew and Rigdon, 2019）。

城市热岛效应研究表明，大面积裸露或硬化空地会吸收并滞留更多热量，抬高局部温度；而缺乏植被覆盖则降低蒸散作用，加剧热风险。此外，地上的污染物可通过雨水冲刷进入城市排水系统，诱发下游水体富营养化和内涝风险，增加城市雨洪管理和公共卫生的成本。

2.5.2. 城市空地的发展机遇

尽管城市空地存在诸多负面效应，但近年来越来越多的跨学科研究表明，城市空地通过系统规划与再利用，可以释放出健康、农业、环境等多元价值，成为城市可持续发展的重要资源（Li et al., 2018）。具体可总结为如下方面。

（1）健康与社会价值

空地具有明显的健康效应，有利于提升居民的健康水平。如绿地可补足在15分钟生活圈内的休闲与健康资源，既降低心血管和呼吸系统疾病风险，又带动邻近物业增值并激活社区（Rupprecht & Byrne, 2014）。空地具有一定的农业价值，将空地发展为都市农业与共享菜园，可提高本地食品自给率、丰富居民营养摄入，并为弱势群体创造培训与就业机会（McClintock, Cooper and Khandeshi, 2013）。在气候韧性层面，拆除硬质铺装后的空地能显著提升雨水下渗、削减径流，成为海绵城市中的多级调蓄节点（Kelleher et al., 2020）。城市空地不仅可以降低联合排水系统溢流以及洪水

的可能性，还可以防止水土流失并改善水质（Shuster, Morrison and Webb, 2008）。植被以及草坪剪裁和树叶的保留可以增强碳储存潜力，从而稳定城市气候，缓解城市热岛效应，并减少空气污染（Davies et al., 2011; Zipperer, 2002）。

（2）生态与气候韧性

城市空地也为城市提供了重新发展的机会（Godoi, Gomes and Longo, 2025）。虽然地方政府的大部分注意力集中在废弃和空置带来的税收损失及其财务解决方案上，但长期以来，空地的许多潜在社会和生态效益被忽视了（Burkholder, 2012; Nassauer and Raskin, 2014）。城市草坪、灌木、树木和林地的保留提供了多种重要的生态系统服务。由于人口流失后缺乏管理和维护，原先占用的土地上通常会有茂密和过度生长的植被。雨水可通过具有植被覆盖的透水性空地渗透与重新分布，从而有效减少进入城市排水系统的雨水径流量。因此，它不仅可以降低联合排水系统溢流以及洪水的可能性，还可以防止水土流失并改善水质（Turner and Daily, 2008）。此外，植被以及草坪剪裁和树叶的保留可以增强碳储存潜力，从而稳定城市气候，缓解城市热岛效应，并减少空气污染（Zipperer, 2002; Turner and Daily, 2008; Davies et al., 2011; Fissore et al., 2011; Pickett et al., 2011）。城市空地也为野生动物的生存与繁衍提供了潜在的机会（Mathey et al., 2015; Pham et al., 2025）。棕地（Brownfields）具有成为绿色基础设施的潜力，为城市提供包括气候调节、雨洪调蓄以及生物栖息地在内的多种生态系统服务（Mathey et al., 2015; Chen and Hashimoto, 2025）。Pham 等（2025）的研究则更为细化地揭示了城市空地在支持生物多样性方面的作用。他们通过在空地种植本土野花，发现此类干预提升了当地蜜蜂的物种丰富度和多样性（Species Richness and Diversity）。

（3）城市发展机遇

土地再利用对于老城区的经济增长与社会复苏具有重要意义。随着城市发展进入存量优化阶段，越来越多的城市开始面临土地供给紧张与空间利用效率不足的双重压力。尽管城市空地往往与经济衰退、公共管理负担以及潜在的社会问题（如治安隐患、环境退化、社区形象受损）相联系，但这些闲置地块并非仅仅是城市发展的包袱。相反，它们同时代表着一种具有潜力的空间资源与发展机遇。特别是在老城区、产业转型区以及人口流失较为严重的地区，这类空地往往规模集中、位置优越，其再利用潜力对提升城市竞争力和社区宜居性具有重要价值。

城市空地被视为一种可塑性强的土地存量。它们可以根据不同的社会经济目标被转化为公共绿地、社区服务设施、创业空间、保障性住房甚至创新型产业用地。在国际经验中，部分老工业城市已经探索出将空地作为经济与社会复兴资源的多种路径。例如，在匹兹堡，Farm-a-Lot 项目将市政府拥有的城市空地开放用于社区农业和食品生产，既改善了居民生活环境，也推动了社区投资与就业机会的创造（City of Pittsburgh, 2023）。同样，匹兹堡的 Vacant to Vibrant 指南为不同类型的城市空地提供了转型为社区花园、公园和绿色基础设施的路径，强调空地在提升生活质量与激活邻里交往中的作用（Butcher et al., 2006）。在底特律，非营利组织 The Greening of Detroit 长期致力于将闲置土地转变为绿色基础设施和城市农业用地，不仅开展大规模植树和土地修复，还通过培训与雇佣当地居民创造了就业岗位（Greening of Detroit, 2020）。这些实践说明，空地再利用并不是被动的修补措施，而是可以成为引导经济创新与社会转型的主动战略。

空地不仅是城市发展的空间负债，更是未来城市更新与转型的潜在资产。对于老城区而言，空地再利用尤其能够恢复社区的活力。一方面，它为城市带来了新型经济活动的落脚点，如文化创意产业、共享办公空间或新零售业态。与此同时，空地还可以作为试验性空间，承载如市集、展览、艺术装置或临时性快闪活动等灵活业态，为社区注入创新氛围和文化活力。另一方面，它也有助于引入公共服务与社会福利设施，改善居民的生活环境。例如，将长期闲置的地块改造为社区公园或体育设施，可以提升居民的健康与幸福感，增加社区的凝聚力。部分城市的实践表明，空地改造为城市农园或社区花园，不仅改善了局部地区的生态环境，还提供了绿色就业与教育机会，增强了居民对社区的归属感与参与感（Huq and Deacon, 2025）。

然而，要使城市能够充分挖掘并利用这一潜力，基础数据的准确性与完整性至关重要。无论是公共部门还是私营部门的决策者，都必须首先全面了解辖区内的城市空地数量、空间分布及其物理和法律状态（Deng and Ma, 2015）。若缺乏这一基础认知，城市政策的制定往往会陷入盲目性和碎片化，难以形成长期、系统的战略。

2.6. 城市空地的治理对策

2.6.1. 城市空地的政策治理经验

在城市空地研究的发展脉络中,土地管理与经济学领域的学者较早尝试从经济与政策工具的角度对空地问题进行解释与应对。这类研究多出现在城市空地形成的早期阶段,其关注重点往往是正在开发或尚未开发的地块,因此研究重心集中在如何通过经济激励与政策调节来提升土地利用效率,相关方法在2000年以前得到国外学者大量研究(王宏新,孟文皓和熊斯瑶,2016)。Titman(1985)运用期权定价方法解释了城市土地在未来收益不确定条件下的开发行为,指出增加建筑面积与人的活动密度能够有效提升空地的地价,从而提高土地利用效率。Accordino和Johnson(2000)通过对美国人口排名前200的城市进行系统调查,收集和分析了大量空地数据,明确指出空地与社会治安恶化、经济发展受阻等负面效应之间存在关联。同时,他们还比较了不同城市采取的空地政策,认为部分以经济激励和政策约束相结合的做法具有较高可行性。这类研究表明,单纯依靠市场机制往往不足以解决空地问题,还需要通过政策干预、激励机制和公共投资来实现土地资源的再整合和优化利用。

在中国语境下,最早关注到城市空地问题的主要是政府的土地管理部门与相关的立法执法部门。随着20世纪90年代中国城市化与土地市场化改革的推进,学者们逐渐注意到土地闲置所带来的制度性与管理性问题(李建新和武小平,1998;缪军,2002)。李建新和武小平(1998)在研究中指出,城市空地的存在不仅与土地市场发育不完全相关,也与制度层面的立法缺陷、执法不力密切相连。而缪军(2002)则进一步强调了土地闲置管理的复杂性,提出应从价格体系和宏观调控两个方面着手,完善用地供需的动态平衡。

进入21世纪初,伴随土地市场逐步放开与房地产行业的快速发展,空地问题开始呈现新的特征。特别是在2000—2015年间,房地产资本在城市土地市场中扮演了越来越重要的角色。大量房地产企业通过囤积土地、延迟开发等方式进行投机操作,造成城市土地资源长期闲置,甚至出现哄抬地价的现象。这不仅加剧了城市土地市场的波动,也在一定程度上阻碍了城市整体的发展。楼江和邓浩强(2007)的研究表明,闲置土地的成因包括:房地产企业所持有的土地闲置成本低;在政府层面没有建立有效的,针对土地隐

形交易的法律约束机制。此阶段的研究逐渐从单纯的土地管理转向制度约束、市场行为与宏观经济效应的综合分析。

不同于外国的经济体制，国内研究者的主流共识是运用政府宏观调控的方法解决城市空地问题（孔小伟, 2015），包括完善范围界定、处置方式、责任主体、配套措施等方面的立法工作（王宏新和周拯, 2012; 顾伟媛, 2018）。卢新海等于 2006 年提出运用土地增值税这一政策工具推动使用者高效合理利用土地，这样也可以减少闲置土地的识别工作（卢新海和黄善林, 2006; 王福生和张骥, 2006; 卢新海, 王福生和宋国伦, 2007）。段晶晶和张坤（2014）也认为需要运用税收的方法对开发商囤积土地，抬高地价的手段进行严厉打击，并完善相关的法律制度。

近年来，受经济下行压力与房地产市场持续低迷的影响，城市空地问题再次引起决策层的高度关注。与以往相比，政策治理手段也不断创新与完善。进入 2024 年，在自然资源部等部委的统筹推动下，全国多个城市陆续启动了闲置土地的收购储备与综合治理行动。例如，2024 年 11 月，自然资源部印发《关于运用地方政府专项债券资金收回收购存量闲置土地的通知》，明确允许专项债券资金优先用于收购企业无意或无力开发、已供应未动工的住宅用地和商服用地，以减少市场存量土地规模、改善土地供求关系。在地方层面，福建省出台指导意见规范“盘活存量土地”路径，并研究以专项借款和再贷款等多种方式补充专项债券资金支持。合肥市在土地储备实施办法修改中也明确优先储备空闲、低效利用的存量建设用地，并将依法收回的闲置土地纳入土地储备体系。郑州市则通过本地政策文件细化收购存量闲置土地的组织领导、定价机制与实施程序。这些举措通过多元化融资渠道、法制政策配套及程序机制的完善，为城市空地问题的长效治理奠定了基础，不仅为实现城市空间高效利用提供了机会，也为经济复苏和提升城市品质创造了有利条件。

2.6.2. 对城市空地进行临时应用

随着 20 世纪 90 年代“城市再生（Regeneration）”运动的发展，以及 21 世纪国外城市规划界对城市开发运动的反思，“衰退下的再生（Regeneration in Recession）”观念成了国外规划的主流。大量的针对城市空地更新实践表明，与其把新的发展强加给收缩型的城市 and 地区，不如让收缩型城市缩小至适当的规模（Kim, Miller and Nowak, 2018）。与其将新的

开发项目强行嵌入收缩型城市，不如通过调整城市规模与功能布局，使城市收缩至一个与其人口和经济相匹配的合理范围。在这种思路下，收缩型城市的空间规划需要更加谨慎，只有在经过充分论证并确认具有明确发展潜力的区域，才会被纳入新的开发范围，而其他地区则可能被转向生态、文化或临时利用等替代性发展方向。

基于这样的共识，国外学界和规划界逐渐探索出一系列与临时性、灵活性相关的规划与设计方法，用以应对城市中空地过多、资源有限、需求不确定的现实情况。其中，战术城市主义（Tactical Urbanism）、弹出式城市主义（Pop-up Urbanism）、临时城市主义（Temporary Urbanism），DIY 城市主义（DIY Urbanism）以及相关的基于临时使用的项目所衍生出来的规划与设计方法成为解决这一城市问题的有效手段（Finn, 2014; Silva, 2016）。这些方法强调“轻量化、快速见效、可逆性强”，往往通过低成本的临时性空间干预，激发社区活力并测试未来可能的长期空间利用路径。例如，社区主导的街头艺术装置、临时市集、快闪公园、临时停车场、运动空间等，都是典型的战术性干预案例。

战术性城市主义主要的实施路径包括移情、明确、设想、原型和测试等多个步骤（张翰卿和陈莉莉, 2016）。弹出式城市主义（Pop-up Urbanism）通常指在空地或闲置空间中，通过快速搭建与拆除的方式，创造短期但富有活力的城市功能空间，如临时展览馆、快闪商业街区、移动绿地装置或便民市场等。这些举措以低成本和灵活性为主要特征，能够在短时间内满足居民的空间需求，同时测试未来可能的长期利用方向。临时城市主义（Temporary Urbanism）强调在一定时期内通过临时用途弥补城市功能不足，例如在旧工业厂区中设置临时演艺空间、在空置住宅区建立短期文化实验室，或将闲置地块改造为季节性市集和临时停车场。这些实践为城市提供了灵活适应的工具箱，使其能够在经济与社会的不确定性下维持空间活力（Bishop and Williams, 2012）。

DIY 城市主义（DIY Urbanism）更加凸显了居民与社区组织在空地利用过程中的主动性。通过居民自发的、非正式的微改造活动，如临时绿化、社区花园搭建、街头家具安装、临时艺术装置等，DIY 城市主义不仅展现了社区的创造性和自主性，也在一定程度上弥补了政府资源不足带来的治理缺口（Finn, 2014）。这些由下而上的微观实践虽然规模有限，但其累积效应往往能够改善社区环境，增强居民的公共参与意识，并促进社会资本的积累与社区凝聚力的提升。

此外,以 Simons 为代表的美国规划师提出了运用绿化手段解决收缩型城市面临的棕地和空地问题 (Simons, 1998)。经过长时间的讨论与实践,在 2010 年以后,这种治理方法逐渐得到了国外学界的认同,形成共识。在近十几年来,世界各国的学者围绕着绿色基础设施和生态治理的手段,解决城市空地问题 (McClintock, Cooper and Khandeshi, 2013; Schilling and Logan, 2008; Gavrilidis et al., 2019),如将城市空地改造为农业手段(菜地)、绿色设施(城市公园)等。当然,对城市空地进行盲目的农业化也是不可取的,合理的城市空地利用需要兼顾城市环境知识,与社会公众的需要以实现价值最大化 (Nassauer and Raskin, 2014)。

在国内,相关研究起步较晚。约 2000 年以后,风景园林、林学等领域的学者,在引入西方的棕地治理经验的基础上,尝试运用“绿色基础设施”(盖伦·纽曼等, 2018; 邓理等, 2006; 刘芳, 2018; 宫聪, 吴祥艳和胡长涓, 2017)、“农业景观”(金露, 2016)、“临时性景观设计”(罗娟, 2005; 王珊亚萍, 2017)、“空地规划”(王刚, 2014)等规划和设计工具解决城市空地问题。各省市也陆续出台了相关的政策支持城市空地的临时景观化,如上海市于 2000 年发布《上海市闲置土地临时绿化管理暂行办法》,天津市在《天津市城市绿化条例》的基础上推进城市空地的绿化,广州市将闲置地块转化为停车场、公共体育空间等 (罗娟, 2005)。

2.7. 本研究的城市空地定义

基于上述梳理,本研究认为,具有行政属性的用地定义难以作为大范围、可比性的研究对象。这主要由于各地在行政标准及执行过程中存在较大差异,标准不统一,导致不同地区的数据难以进行横向比较。因此,采用“城市空地”这一更侧重自然属性(客观属性)的概念,能够支持跨区域、一般化的对比性研究。

2.7.1. 城市空地的特征

本研究中所界定的“城市空地”具有如下特征,与其他用地类型存在区别:

(1) 位于城市内部

城市空地是城镇化进程的产物,具有客观属性。无论是国外的“城市空地(UVL)”,还是中国的“闲置土地”,其界定均强调了与城市空间紧密相

关的特征。因此，本研究所界定的城市空地仅限于城市或城镇建设用地范围内的空地，暂不包括农村地区的空地。

（2）空间特征为“空置（Vacant）”

现有文献对“空置”的内涵尚未达成统一，有学者强调人的空置（Xu and Ehlers, 2022），也有学者关注空间和功能的空置（Li et al., 2019; Sperandelli, Dupas and Dias Pons, 2013）。结合前述分析，笔者认为，“空置（Vacant）”应区别于“废弃（Derelict）”和“低效利用（Underutilized）”等相关概念。具体而言，空置（Vacant）首先是一种空间形态特征，指地面上没有或几乎没有建筑物，其反义词为“充满（Full）”。相比之下，“人的空置”更接近“废弃（Derelict）”的概念，不属于本研究中“空置（Vacant）”的范畴。

（3）缺乏明确功能

其次，空地在功能属性上表现为缺乏明确的功能，即土地未被明确利用或未得到有效开发。这类土地通常在实际情况下缺乏实际的生产、生活或生态服务功能，处于未利用的状态。与“低效利用（Underutilized）”强调利用不足不同，空地的特征在于功能缺位而非功能低效。例如，部分已完成拆迁的地块因后续开发计划迟迟未落实而长期闲置，或因规划调整而实际搁置的土地，均属于此类无功能状态的城市空地。

2.7.2. 城市空地的定义

研究强调土地的自然属性（客观属性）。本研究中的城市空地指的是城市内部，空间形态和功能均表现为空置状态的土地，即既缺乏足量建筑物，也未被赋予特定功能。

城市空地既可能是因地块形状、区位条件、政策等原因尚未开发利用的土地，也可能是因人口流失、经济衰退等因素形成的空置地块，还包括原有用途为居住、工业、商业或绿地等类型，现已失去其原有功能的土地。为进一步明确城市空地的界定，本文结合 10 类典型用地，举例说明本研究中城市空地的具体内涵（见表 2-4）。

表 2-4 城市空地的判别举例

序号	典型用地（举例）	识别结果（是否是空地）
1	城市内的三角地，无建筑（或极少）、无特定功能、未被开发	是空地
2	城市内，开发过程中但建筑尚未建设，或因其他原因无法建设	是空地
3	批而未供土地、闲置土地	是空地
4	在城市内，没有建筑（或建筑极少）、现在无特定功能，之前是商业用地，建筑已被拆毁	是空地
5	在城市内，无建筑（或建筑极少）、有特定功能	不是空地，是其他类型的城市用地
6	在城市内，有建筑、无人使用，无污染	不是空地，是废弃用地
7	在城市内，有建筑、无人使用，有污染	不是空地，是废弃用地， 也是棕地
8	在城市内，有建筑、使用效率低下，无污染	不是空地，是低效用地
9	在农村中，没有建筑（或建筑极少）、 没有特定功能	不是城市空地， 是农村闲置土地
10	不在城市范围中，无建筑，无植被， 无特定功能	不是城市空地，可能 是未利用地

2.8. 本章小结

本章围绕城市空地的核心概念、识别方法、外部效应与治理对策进行了系统梳理，为后续研究奠定了理论基础。城市空地通常指长期未被开发利用、缺乏建筑物或特定功能利用的土地，其界定以自然属性为核心，强调土地的“空置”状态，与权属或政策规定无关。而国内常用的“闲置土地”“低效用地”等概念，则更注重管理和行政属性，突出政策执行与治理操作的可行性。两类界定各有侧重：前者有利于实现跨区域、跨时段的标准空间分析；

后者更便于管理实践，却存在定义模糊、主观性强的问题。这种差异导致不同研究在空地识别标准和治理路径上存在分歧，影响土地政策的制定与实施。

传统城市空地的识别方法多依赖人工解译和实地调查，难以支撑大范围动态监测。随着多源空间数据和人工智能技术的发展，结合遥感影像、POI、街景和深度学习算法的自动识别方法显著提升了精度与效率，为大尺度、长期的城市空地监测提供了新路径。在治理层面，城市空地的治理理念也实现了从单一经济利用向生态、社会和文化多重价值的转型（Al hothaufi et al., 2025）。早期相关研究的关注焦点集中在空地产生的税收流失、产权纠纷与治理责任等问题，并尝试通过产业振兴、市场激励或法律工具推动闲置土地的再利用（Kim, Miller and Nowak, 2018）。随着研究的深入，学者们逐渐认识到，并非所有空地都适合高强度再开发，因此，景观都市主义（Landscape Urbanism）、战术城市主义（Tactical Urbanism）等柔性策略逐步成为主流（Finn, 2014; Silva, 2016）。这些方法强调低成本、渐进式更新，通过临时性景观、社区参与和弹性公共空间等方式，提升空地的生态、社会与文化功能，而不仅仅追求经济回报。例如，大量实践将景观干预手段（如绿色基础设施建设、社区花园营造、临时性农业利用等）纳入城市空地的管理体系中（Schilling and Logan, 2008; McClintock, Cooper and Khandeshi, 2013）。

第3章 研究框架与实验设计

3.1. 研究拟解决的科学问题

基于文献综述，本文从城市概念界定、空地识别方法以及规律与治理体系三个维度出发，凝练出以下三个核心科学问题。三者分别对应城市空地研究的基础层面、技术层面与应用层面：第一个研究问题探讨如何科学界定城市及其空间边界；第二个研究问题关注如何在全国范围内构建统一且可复用的识别体系；第三个研究问题着眼于城市空地的分布规律与多层次治理策略。通过从概念到方法、从识别到治理的系统研究，本文旨在构建一个完整的识别—理解—应对链条，为城市土地利用效率评估与空间治理提供新思路。

3.1.1. 如何科学定义“城市”并识别城市边界

随着中国城镇化进程进入存量优化与结构调整阶段，部分中小城市正面临人口净流出、经济活力下降与土地利用效率降低等多重压力，城市空地问题逐渐成为影响未来城市高质量发展的重要挑战。当前，中国对于“城市”的定义及其空间边界的划定标准尚不统一，在相关研究与统计实践中存在较大分歧。相较于基于行政区划的传统界定方法，依托客观数据识别的城市边界能够更真实地反映实际的城市空间范围，有助于实现跨区域、跨时间的可比性分析，并为城市空间结构、土地利用与人口流动等研究提供更加科学的空间基础。

然而，在实际操作中，不同数据来源与识别方法所划定的城市边界往往存在显著差异，缺乏统一的标准与系统性框架。因此，如何在多源数据支撑下构建科学、统一且具备可比性的城市定义与边界识别体系，成为亟待解决的首要科学问题。该问题的解决不仅有助于厘清“城市”这一核心研究对象的空間边界，促进跨区域与跨时间尺度的比较研究，也将为后续城市空地的识别、规律分析与空间治理研究提供坚实的空间分析基础。

3.1.2. 如何运用统一的识别方法识别中国的城市空地

城市空地的系统识别亟须建立在统一且可推广的方法体系之上，以确保

不同城市间结果的可比性与全国尺度分析的一致性。然而，现有研究在识别口径、数据来源和算法体系上存在显著差异，导致成果间缺乏标准化与普适性。因此，如何构建具备全国适用性和跨尺度可比性的识别体系，成为本研究亟待解决的关键科学问题。

本研究拟引入深度学习影像分割模型，对高分辨率遥感影像进行自动化识别，进而建立覆盖全国的城市空地数据库。这一问题的科学意义在于推动研究范式从局部经验性识别向全国标准化识别的转变，以系统揭示中国城市空地的宏观格局与结构特征。在此基础上，研究不仅能够提升城市空间利用效率的量化精度，也为探讨城市土地利用转型机制和制定差异化治理策略提供数据支撑。具体而言，研究将构建一套识别流程：包括影像数据的预处理（如裁剪、增强与标注）、模型的训练与优化（在多种深度学习分割算法中择优选择），以及结果的后处理。通过统一的识别标准与算法参数，研究将在全国尺度上生成覆盖全部实体城市的城市空地数据集，并在此基础上统计其数量、面积与比例等基础指标。该数据集不仅为后续的规律探究提供了坚实的支撑，也为跨城市的比较分析奠定了统一的技术与数据基础。

3.1.3. 城市空地呈现出何种规律和分布模式

在完成全国尺度的城市空地识别与数据库构建后，研究将进一步从规律探究的角度出发，系统分析城市空地的空间分布特征及其差异性。核心科学问题在于：城市空地的分布是否遵循可解释的统计规律，其空间格局能否揭示城市体系内部的等级结构与发展阶段。作为城市空间演化的表征，城市空地可能体现出幂律分布、对数正态分布等复杂系统特征，并在不同城市规模与区域类型间呈现显著差异。

在此基础上，研究将从空地的数量、比例、集聚程度及空间形态等方面入手，系统刻画全国城市空地的空间分布模式，重点识别其可能呈现的边缘化、穿孔化与碎片化等典型格局，并分析不同区域、不同类型城市间的差异特征。通过揭示这些分布规律，研究旨在深化对城市空地形成机制及城市空间演化过程的理解。

进一步，研究将在规律识别的基础上，面向治理实践提出多层次应对策略。在国家层面，构建统一的动态监测与评估体系；在城市层面，提出差异化更新路径与治理模式；在地方实践层面，通过典型案例验证策略的可行性与适用性。通过总结与对比不同层级的应对思路，研究将为提升土地利用效

率、优化城市空间结构提供科学的决策参考。

这一科学问题的核心价值在于实现从描述性识别向规律性解释与政策性应用的跨越，不仅为理解城市空间演化逻辑提供新的实证依据，也为制定城市更新与土地再利用政策提供可操作的理论支撑。

3.2. 研究对象

基于文献综述，本研究的研究对象为城市空地。本研究所界定的城市空地是指在城市内部，空间形态表现为空置状态，在功能属性上缺乏明确功能或既定用途的土地。这里的空置是一种空间形态特征，指地面上没有或几乎没有建筑物。

城市空地的界定重点在于其空间形态与功能缺失，而其他相关概念则分别侧重于行政、经济和环境等不同维度。“闲置土地”与“闲置地”更强调行政管理属性，往往需要经过主管部门的认定和审批才能正式列入统计与管理范围；“低效用地”则从经济角度出发，突出土地利用效率不足和产出水平较低的特征；而“棕地”则更关注土地利用状况与环境条件，尤其强调因污染、生态风险等因素导致再开发受限的情形。未利用土地指农用地和建设用地之外的土地类型，和城市空地的概念具有差异。

3.3. 研究内容与框架

本研究聚焦于中国城市空地的识别与分布规律研究。研究以全国范围内的实体城市为边界，尝试构建基于深度学习的城市空地识别方法，以获取完整的城市空地数据集和识别模型。在此基础上，研究将系统分析城市空地在国家尺度与城市尺度上的分布模式及其与相关因素之间的关系，并据此总结规律，提出相应的政策建议。具体研究内容包括以下三个方面：（1）城市边界的识别；（2）城市空地的识别；（3）城市空地的规律探究与应对策略。研究框架如图 3-1 所示。

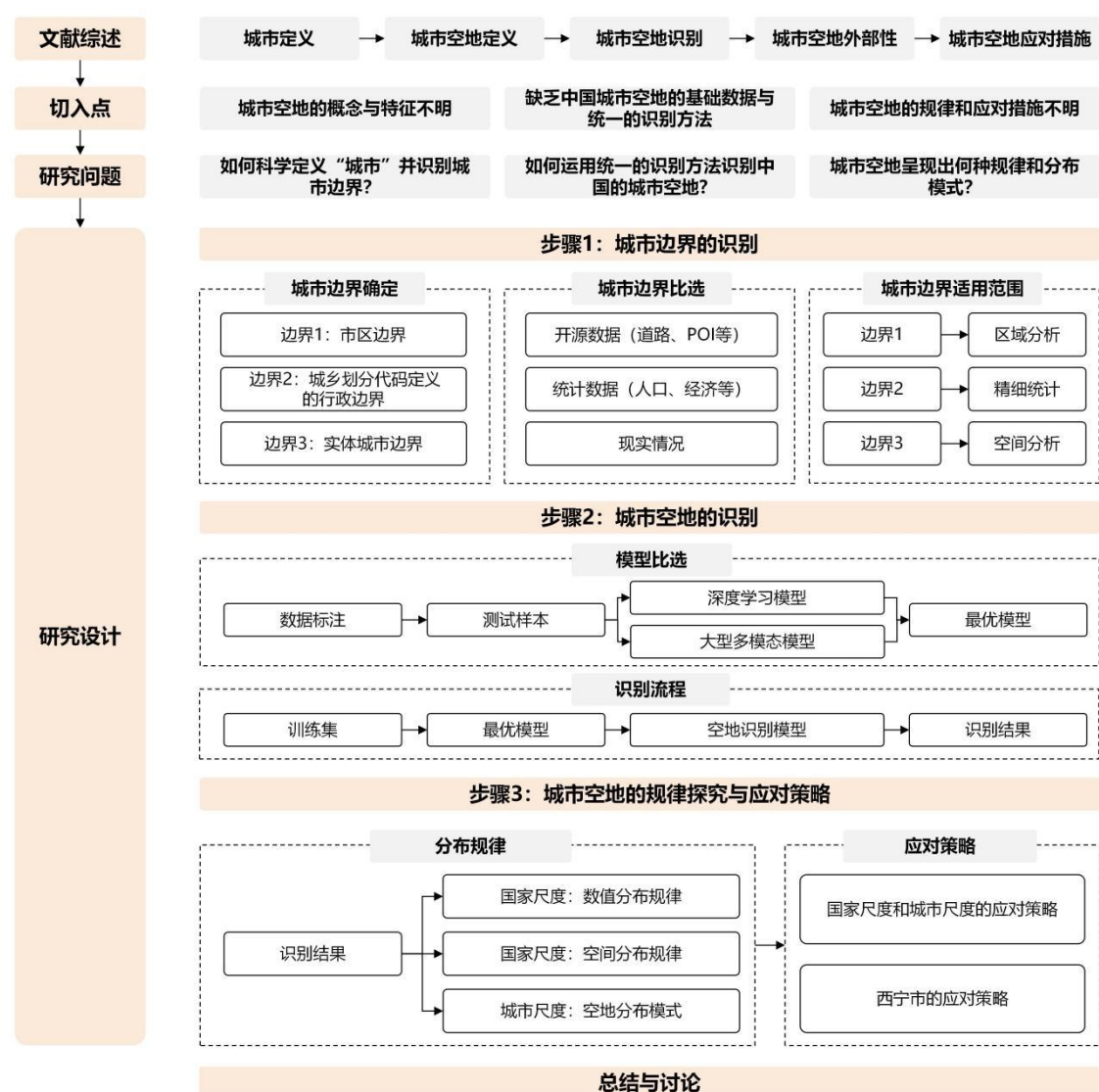


图 3-1 研究框架图

3.3.1. 城市边界的识别

本研究首先聚焦于城市研究领域长期存在的“行政边界与真实城市边界错配”问题，系统梳理了“实体城市”“城镇”“市区”等核心概念。在此基础上，结合已有研究成果，研究整合土地利用数据（CNLUCC）、行政边界数据和人口分布数据，识别并划定中国多种类型的城市边界。具体而言，研究将采用城市聚类算法（City Clustering Algorithm, CCA）及空间迭代规则来测算中国的实体城市边界；利用基于 API 的地理编码（Geocoding）算法，识别统计过程中的城镇边界；并依据民政部和国家统计局公布的表格数

据，识别中国的市区边界。

进一步，本文将对不同类型城市边界之间的差异性进行系统对比，探讨各类边界在实际研究和应用中的适用范围。通过上述方法，研究旨在获得能够支持城市空地高精度识别的城市边界数据基础，为后续城市空地识别与分析提供科学支撑。

3.3.2. 城市空地的识别

在前述城市边界识别的基础上，本文将构建覆盖全国尺度的城市空地自动识别体系。具体做法为：引入高分辨率遥感影像，构建精细化人工标注的训练集，以确保深度学习模型能够有效捕捉不同类型城市空地的空间特征。通过对比多种图像分割方法，评估其在识别精度、计算效率等方面的表现，最终选择表现最优的深度学习模型 FastSAM 来实现城市空地的智能分割与自动识别。

3.3.3. 城市空地的规律探究与应对策略

基于识别得到的城市空地数据，研究进一步提取城市空地的面积、比例、形态指数和空间分布等多维指标，并建立多维分类体系，系统分析不同类型城市中空地的结构差异与分布模式。研究将获得完整的中国城市空地分布数据集，并深入揭示中国城市空地的空间结构与分布特征。

通过这一过程，不仅能够揭示中国城市空地在规模和格局上的规律，还能进一步提出具有针对性的适应性治理建议，为构建更加韧性和可持续的城市空间体系提供科学支撑。

3.4. 研究方案设计

3.4.1. 城市边界的识别方案

在文献综述的基础上，本研究聚焦于中国的“城市定义”与“城市边界识别”的问题，明确统计意义上的“行政城市”与空间真实意义上的“实体城市”在实际研究中的界限模糊与混用问题。

（1）城市边界识别方法与数据集成

本研究首先采用中国科学院地理科学与资源研究所发布的中国土地利用/覆盖变化数据（CNLUCC），提取其中的城镇建设用和其他建设用地作为基础数据，构建城市边界识别的空间输入。通过城市聚类算法（CCA），结合迭代缓冲距离筛选机制，初步划定实体城市边界。

为提高边界识别结果的稳健性与科学性，研究将引入四种互补性验证机制：

- 其一，基于道路交叉口密度聚类提取城市（Long, 2016）；
- 其二，利用全球人工不透水面数据（GAIA）派生的城市边界产品；
- 其三，采用 POI 核密度分析与断点识别方法；
- 其四，组织专家团队开展遥感图像人工判读。

凡同时被三种及以上方法确认的城市区域，纳入最终的全国实体城市边界。

（2）城市边界数据比较

本研究还将基于不同行政划分视角，划定多种行政城市边界，并与前述实体城市边界进行系统比对。研究将引入等级-规模法则（Rank-Size Law）与规模法则（Scaling Law）作为核心对比理论。前者用于检验不同城市边界体系下城市规模分布是否符合幂律规律，从而揭示边界划定对城市体系整体等级结构的塑造与影响；后者则用于评估在不同边界条件下，城市空地规模、人口规模与建成区规模等变量之间的标度关系及其稳定性。

（3）研究贡献与预期成果

通过上述研究路径，本研究预计将构建一套兼顾数据精度、空间真实性与方法通用性的城市边界识别体系。预期成果包括形成可推广的城市边界数据集，为后续城市相关研究提供统一的空间分析基础。该研究有望促进对中小城市和县域镇区等长期被传统数据体系忽视区域的识别与干预，推动城市边界与人口边界融合研究的发展，深化城市大数据在城市空间治理中的实证应用。最终，研究计划形成全国尺度的实体城市边界数据库，为未来的政策制定、空间规划与城市更新提供可靠的数据支撑和科学决策依据。

3.4.2. 城市空地的识别方案

本研究第二阶段围绕“城市空地的识别与分布规律”展开，目标是在全国尺度下，系统识别城市空地、提取其时空特征并构建分类体系。研究重点

包括空地定义澄清、遥感图像处理、深度学习识别、空间聚类分析与分布模型构建等环节。

（1）标注数据的构建

基于文献综述所明确的城市空地遥感特征，本研究采用 Esri World Imagery Wayback 卫星图像作为主要输入数据，并使用 Bigemap 工具下载 2023 年度全国实体城市影像，影像精度达到 1.19 米。利用 Python 与 ArcGIS 工具对图像进行裁剪、编号和格式标准化处理，构建城市空地识别数据集。研究在 X-AnyLabeling 平台标注了 10% 典型城市图像，形成人工标注数据库。

（2）模型对比与识别模型训练

在模型选择与训练环节，本研究将系统对比多种深度学习分割模型与多模态大模型在城市空地识别中的表现，综合考虑识别精度、泛化能力与计算效率，择优选定最优模型作为核心算法。基于该模型，研究将构建“城市空地自动识别算法”。具体流程包括：在 YOLOv8 训练框架下进行模型训练与超参数调优；引入 F_2 -score 作为主要评价指标，以在精确率与召回率之间取得平衡，并通过置信度阈值的优化确定最优模型。最终，在最优参数配置下，对全国所有影像片段进行预测，生成城市空地掩膜，并利用 ArcPy 脚本完成矢量化与拼接，形成覆盖全国的城市级空地矢量数据库。

（3）研究贡献与预期成果

本研究拟构建一条从遥感影像识别、模型训练到数据集成的完整技术路径，旨在实现城市空地的自动化与标准化识别。研究预计将产出覆盖全国全部实体城市的高精度城市空地数据库，为后续的分佈建模与跨区域对比分析提供统一的数据基础与技术支持。

3.4.3. 城市空地分布规律探究与应对策略

本研究的第三阶段聚焦于城市空地分布规律探究与应对策略。其核心目标是在完成全国范围城市空地识别与数据库构建的基础上，进一步揭示不同类型城市空地在空间分布、规模结构及区域差异方面的规律性特征。在此基础上，研究将提出分级分类的应对策略，既回应不同类型城市空地的差异化特征，也为未来城市规划与国土空间治理提供针对性的政策建议和实践路径。

（1）城市空地的国家尺度规律

基于全国实体城市的识别结果，本研究将在整体层面系统分析城市空地的数量、比例与集聚程度等基础特征，检验其分布是否遵循特定的统计规律，

并进一步比较不同区域之间的差异性。同时，还将结合等级-规模法则、空间自相关分析等方法，探讨城市空地在不同空间尺度上的表现特征。该部分旨在揭示中国城市体系中空地分布的总体模式，从而为理解宏观层面的城市演化过程以及区域差异提供量化支撑。

（2）城市尺度的空间分布模式

在城市尺度上，研究将重点关注空地在不同空间区位的分布特征，并基于既有研究经验与实证分析，将全国所有实体城市划分为若干类型，以便开展类型化的比较研究。通过这种分类方式，研究不仅能够揭示不同类型城市在空地数量、比例与形态上的差异，还可以更系统地识别空地在中心城区、边缘区或功能局部地区的空间分布模式。

（3）城市空地的应对策略

在规律探究的基础上，本研究将面向国家、城市两个层次提出应对思路。国家层面，研究将从宏观视角探究城市空地的多层次应对策略；城市层面，结合不同类型空地特征，提出分类治理与再利用路径，并通过典型案例总结经验，探索具体城市案例的治理模式。

（4）阶段贡献与研究价值

在学术层面，研究将推动城市空地分布规律的多尺度研究，丰富对城市空地的理论认识；在实践层面，研究提出的差异化应对策略可为国家政策制定、城市土地再开发以及绿色转型提供量化支撑和可操作的参考。

第4章 城市边界的识别

随着中国城镇化进程迈入高质量发展阶段，如何科学界定城市及其空间边界，已成为制定区域差异化发展政策和实施精细化空间治理的前提。准确、统一的城市定义及高精度城市边界数据，不仅直接影响城市统计、人口监测和政策评估的科学性与有效性，也为城市收缩、土地利用优化、空间结构调整等相关研究提供了坚实的数据基础。本章提出如图 4-1 所示的城市边界识别流程，意图实现对中国城市及其边界的科学界定与标准化处理。

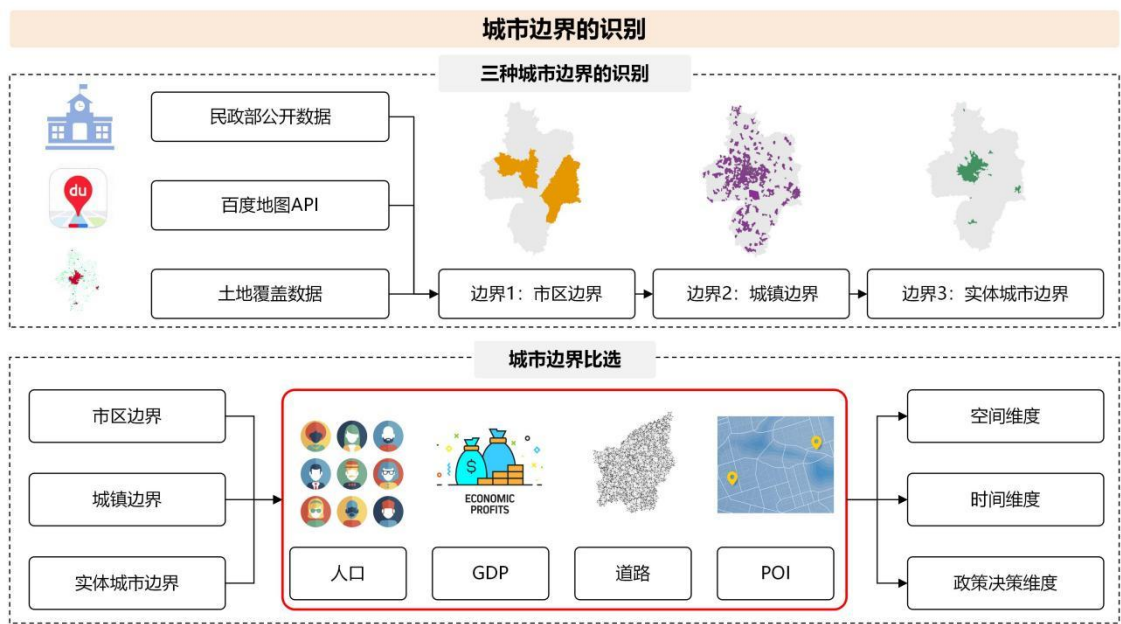


图 4-1 城市边界识别方法流程图

本章首先将梳理和整合现有文献中广泛采用的主流城市空间界定方法：一是以法定行政区划为基础的“行政城市”视角，二是基于土地利用、人口分布等客观空间数据的“实体城市”视角。依托这两类方法，研究尝试构建多套中国城市边界数据集，为后续城市空间特征分析和差异化政策制定奠定数据基础。在此基础上，为对比不同城市边界之间的优劣，研究将进一步引入道路交叉口密度、人口分布、经济活动分布等多源空间数据，对不同边界划定的合理性及其与城市系统一般规律的符合程度进行量化评估。通过对比分析，研究将筛选出最具代表性与科学性的城市边界方案，并将其作为后续城市空地识别与空间演化分析的基础输入数据。

4.1. 三种城市边界的识别方法

考虑到中国城市在行政层级、统计口径与空间形态等方面存在多种划分方式，本章首先对不同类型的城市边界进行系统性筛选与对比，旨在明确哪一种边界体系最适合用于反映城市空间特征与支撑后续的空地识别与演化分析。

具体而言，本文基于文献综述，选取三种具有代表性的城市边界类型展开分析：

(1) 市区边界。以行政“市”为单位的市区边界，涵盖直辖市、设区的地级市以及不设区的县级市，侧重于法定政区的管理范围；

(2) 城乡划分代码定义的城镇边界。依托城乡分类代码形成的统计边界，能够反映人口与土地统计的实际范围；

(3) 实体城市边界。基于遥感影像和土地利用数据提取的城市实体地域边界，强调建成区的实际物理空间。

在识别上述三类城市边界的基础上，研究将综合比较它们在空间精准度、数据可及性与时间可比性等方面的差异，力求筛选出最能真实反映中国城市空间格局与发展特征的边界体系。这样的边界基础不仅有助于提高实证识别的科学性与可操作性，也为后续的规律分析与理论拓展提供了良好支撑。

4.1.1. 市区边界识别流程

市区边界是中国传统意义上“市域”的官方表达，也是国内学术与政策研究最常用的城市边界之一。它直接对应国家统计局在《中国城市统计年鉴》中公布的城市名录和各类数据，具有权威性、可追溯性和高度的年份连贯性。市区边界的核心特征在于“市辖区即城市”，即凡是市辖区行政单元（含县级市）均被视为一座“城市”，并以该单元的完整行政范围作为城市的边界。2020年，根据《中国城市统计年鉴》公布的城市名录，市区边界共分五级：4个直辖市、15个副省级城市、17个非副省级省会城市、261个普通地级市以及387个县级市。具体名单如表4-1所示。

表 4-1 按省和行政级别统计的市区分布

(数据来源: 2020 中国城市统计年鉴)

地区	城市合计	按行政级别分组			
		直辖市	副省级市	地级市	县级市
全国总计	684	4	15	278	387
北京	1	1			
天津	1	1			
河北	32			11	21
山西	22			11	11
内蒙古	20			9	11
辽宁	30		2	12	16
吉林	28		1	7	20
黑龙江	33		1	11	21
上海	1	1			
江苏	35		1	12	22
浙江	31		2	9	20
安徽	25			16	9
福建	21		1	8	12
江西	22			11	11
山东	43		2	14	27
河南	39			17	22
湖北	37		1	11	25
湖南	31			13	18
广东	41		2	19	20
广西	23			14	9
海南	9			4	5
重庆	1	1			
四川	36		1	17	18
贵州	15			6	9
云南	25			8	17
西藏	6			6	
陕西	16		1	9	6
甘肃	17			12	5
青海	6			2	4
宁夏	7			5	2
新疆	30			4	26

4.1.1.1. 研究数据

本研究以中国县级行政单元边界作为基础数据，并按照表 4-1 中列出的城市名录（涵盖市辖区与县级市）进行筛选与组合。行政边界的获取主要依

托三类渠道：

一是国家基础地理信息中心发布的行政区划矢量数据；

二是各省（市）自然资源部门或测绘、规划机构公开的最新行政区更新成果，用以补充和校正年度变更；

三是高德、百度、天地图等商业 GIS 平台提供的边界矢量数据，作为精细化对照。

鉴于中国行政区划调整频繁，本研究同时收集国务院和民政部批复文件，对历年变动进行时序核对，确保边界的权威性与可追溯性。

4.1.1.2. 基于统计数据的识别

市区边界的识别流程如图 4-2 所示。研究在完成原始数据清洗后，依据民政部及《2020 中国城市统计年鉴》中的公开数据（表 4-1），根据直辖市、副省级市、地级市与县级市的名单，提取相应的市辖区与县级市边界。随后，在空间分析软件中构建每座城市的完整边界，从而生成与统计年鉴一一对应的市区边界数据集（图 4-3）。该数据集具有如下优势：

其一，人口、GDP、财政收入等核心指标均按行政区口径上报，使市区边界能够与官方统计保持一致，从而支持长时段的时序分析；

其二，市区边界本身是政策实施的最直接空间单元，市区边界能够对应公开的各类统计数据，从而支撑土地、财政及住房等宏观决策研究；

其三，该数据可以进行年度更新，为城市体系演变研究提供了历史连贯性。

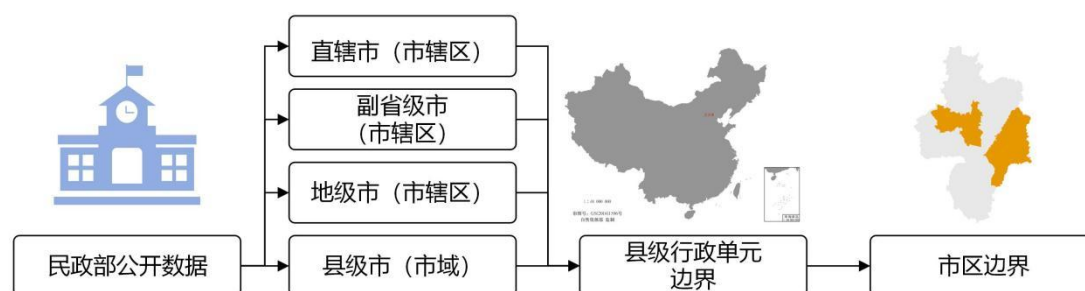


图 4-2 市区边界识别流程

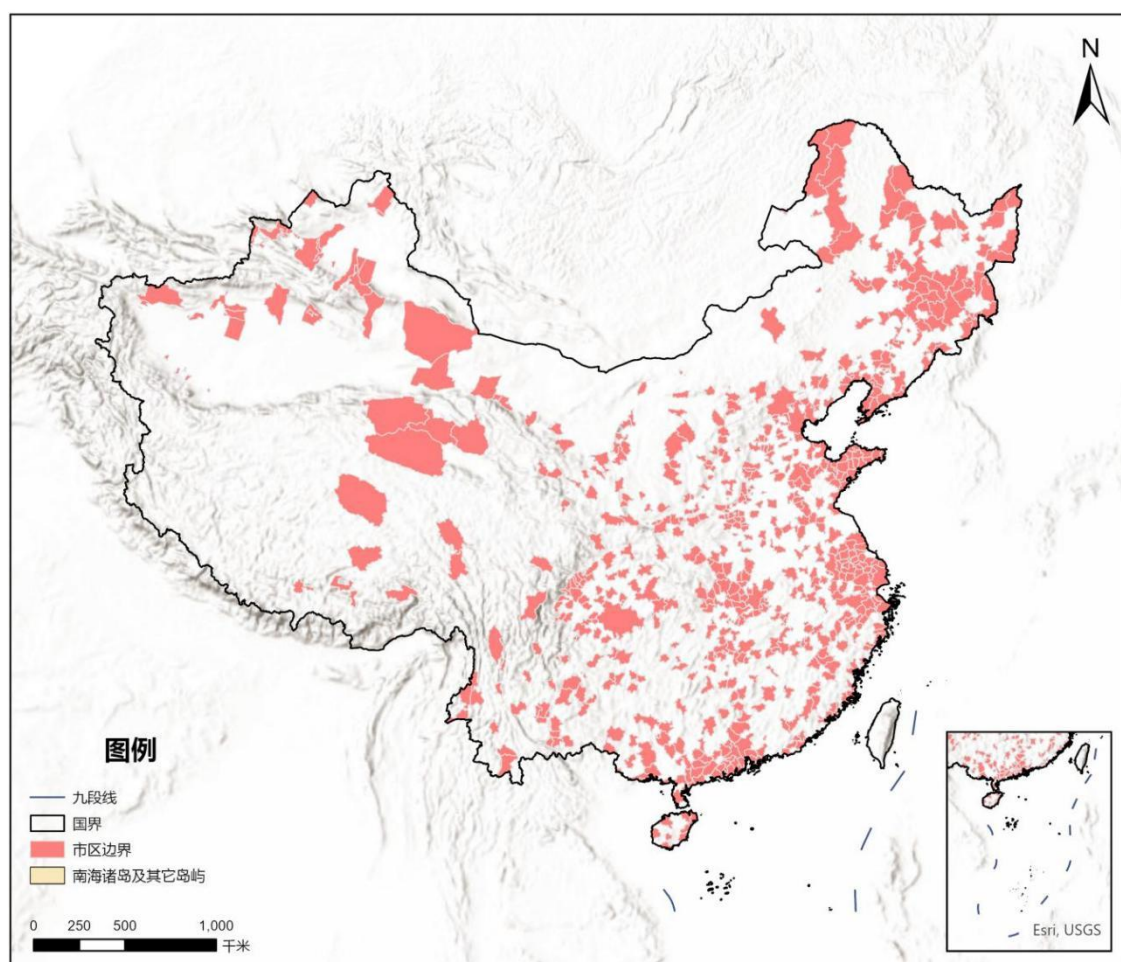


图 4-3 市区边界识别结果

注：此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。

4.1.1.3. 城市边界的统计制度优势与局限

市区边界是指由“市辖区”与“县级市”共同构成的行政单元集合，是《中国城市统计年鉴》中所采用的城市定义方式之一。该边界体系共覆盖 684 个城市单元，构成了中国官方统计体系中最具代表性的城市空间框架。由于其与统计制度紧密对应，市区边界不仅是各类城市社会经济指标计算的空间单元，也广泛应用于国土空间规划、政策评估与城市发展战略等多个领域，已成为城市研究和政策报告中最常使用的边界类型之一。

然而该边界存在局限性。自 1997 年“撤县设区”“撤县设市”等政策推行以来，中国的市区范围迅速外扩，城市数量增长，但大量乡村和非城市地区被纳入市域，致使农村人口与经济活动被统计为城市数据。例如，青海省茫崖市虽于 2018 年获批设市，但其行政面积高达 4.99 万 km²，已超过海

南省全境，显然难以在如此辽阔空间内实现全面城市化；因此，市区边界应被理解作为一种“行政经济区”或“治理区”的空间尺度，而不是对城市物理空间形态的替代。

4.1.2. 城镇边界识别流程

城乡划分代码定义的行政边界^①在多次全国人口普查中被正式采用，是我国界定“城镇地区”的核心统计标准，也是计算城市化率的基础空间单元。该边界与国务院2014年颁布的城市规模划分标准中“城区常住人口”的定义完全一致。该体系以上报到村级单位（居民委员会、村民委员会）的《统计用区划代码与城乡划分代码》为基础，每年随区划更新在民政部网站公开，具有实时性和可追溯性。该数据包含村级代码，由12位数字组成，前6位是行政区划代码（对应省、市、县），后6位是村级序列号；而“城乡属性”由独立的3位城乡分类代码标记，具体为，城镇边界：“111”主城区、“112”城乡结合区，“121/122”镇中心区与建成区，“123”特殊区域（矿区、开发区等）；乡村边界：“210/220/230”三档乡村级别。

4.1.2.1. 研究数据

本研究首先下载并清洗了民政部发布的“全国行政区划代码”数据集。该数据共计634261条记录，涵盖全国范围内每个村级单元（居民委员会、村民委员会）的标准名称及其所属的省、市、县信息，并完整保留12位唯一行政代码及城乡分类字段。

然而，该数据集并未附带对应的空间边界，若仅依靠城乡分类代码难以直接重建城市边界。为弥补这一缺口，研究从公开数据库获取了总计740519个村级行政单元（包含居民委员会、村民委员会）的矢量边界（图4-4）。尽管该边界数据仍存在少量缺失，且未能与民政部名录实现一一对应的代码字段，实际单元数量也与官方统计存在一定偏差，但在当前公共可获取的数据资源中，其总体质量已属上乘，能够为本研究的空间拼接与城市边界构建提供必要支撑。

^① 后文简称为“城镇边界”。

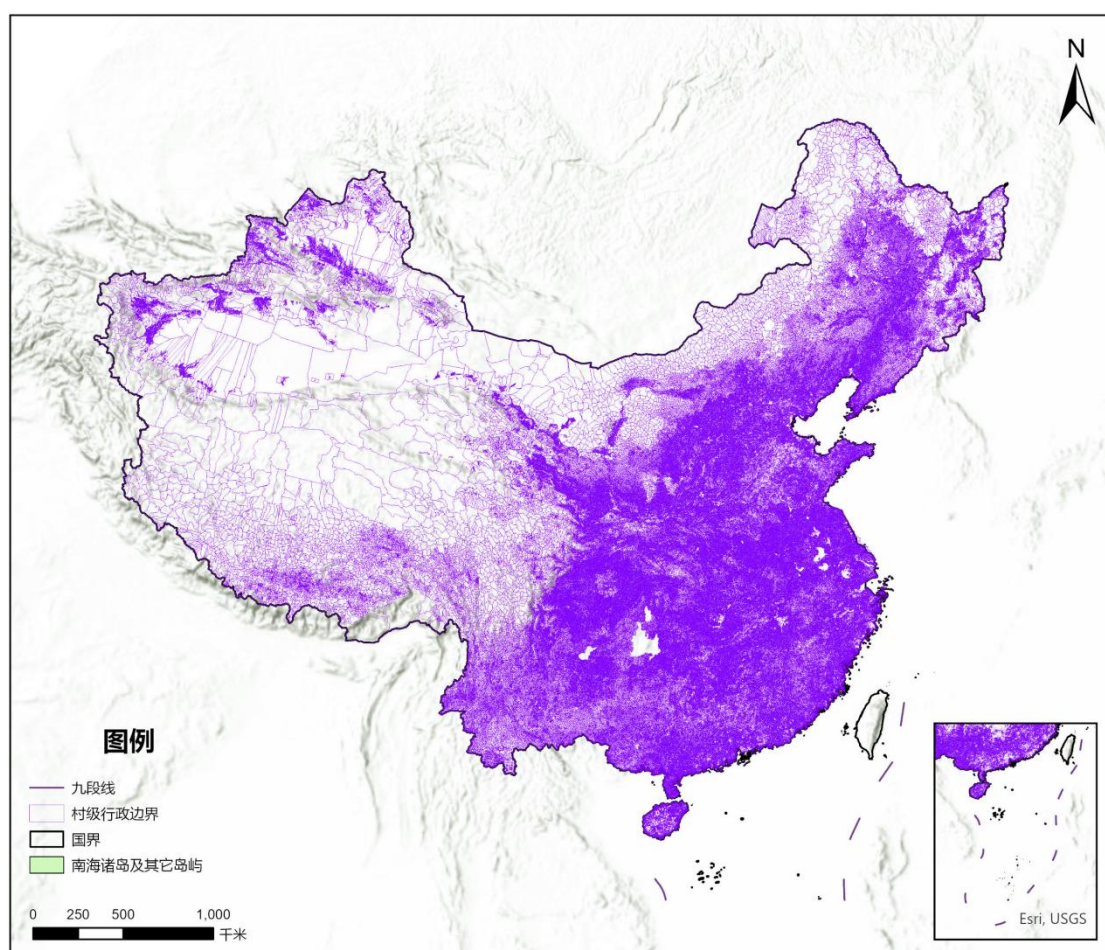


图 4-4 村级行政边界

注：此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。数据共计包含 740519 个村级行政单元，几乎覆盖了中国的全部国土。

4.1.2.2. 基于公开数据的识别

针对缺乏村级唯一代码的限制，研究采用“空间链接”策略将属性表与边界数据进行匹配，其具体流程如图 4-5 所示。首先，利用百度地理编码 API 为所有村级条目获取经纬度坐标，并统一转换至同一地理坐标系，得到如图 4-6 所示的村级行政中心位置。随后，提取并融合所有代码以“11”开头（城市地区）或“12”开头（镇区）的单元，获得城镇的位置集合。进一步，运用空间匹配算法，将坐标点与整合后的村级矢量边界（图 4-4 所示数据）进行配准。最后，为确定城镇边界的数量，研究将相邻的城镇边界进行聚合，最终构建了基于城乡划分代码定义的行政边界，城镇边界共计包含不相连的城镇单元 30975 个。

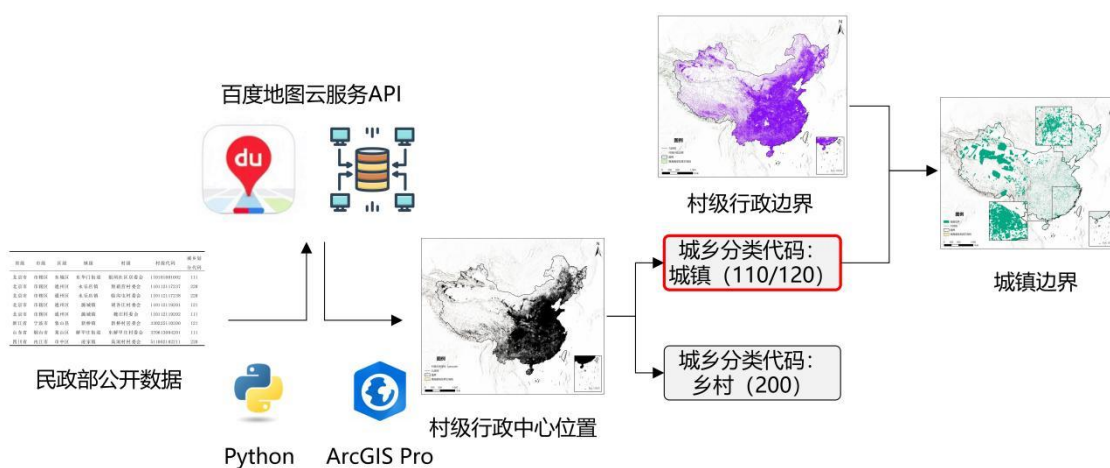


图 4-5 基于城乡划分代码识别城镇边界的技术路线

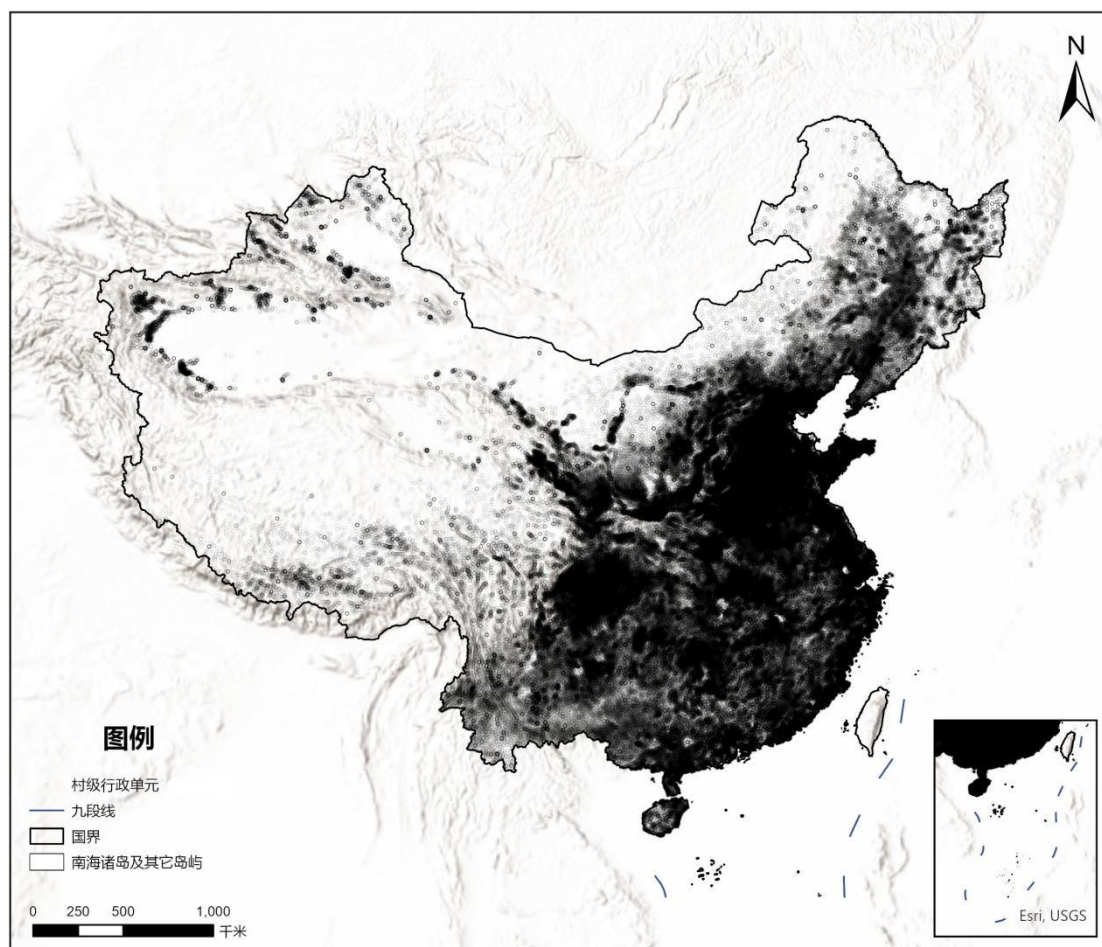


图 4-6 村级行政单元分布

注：此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（GS（2016）1519 号）制作，包含民政部 2020 年公布的 634261 个村级行政单元。

4.1.2.3. 城镇边界的优势与局限

城镇边界可视为当前人口普查与城市化率统计中所采用城市边界口径的一种近似表达,代表了国家在统计实践中对“城市”概念的操作性界定。在目前已有的文献中,尚未有系统研究对该统计口径所对应的城市边界进行全面可视化处理。本研究将这一口径下的城市边界进行空间化表达,为今后在城市研究中与其他边界体系进行对比分析、精度评估提供了数据基础。

该数据所覆盖的“城镇”分布特征明显呈现出高度离散性。一方面,全国范围内存在大量彼此不相连的城镇单元,空间呈现碎片化布局;另一方面,即使在连片城镇区域中,也广泛存在“城中村”,增加了边界整合与空间分析的复杂性。几乎所有的县级行政单元内部都包含若干建制镇,这意味着基于市区边界的统计方法在实际操作中遗漏了大量分布于县域内的城镇性空间,限制了对中国城镇系统的全面识别。

此外,由于该数据本身的离散性特征,即便可以统计行政意义上的城镇数量,也难以回答“中国的城市(即空间连片的城镇)数量”这一基本问题。同时,由于中西部存在大量行政面积较大的村级行政单元,使得城镇的总面积指标存在争议。总数量和总面积的争议,为城市的空间分析和行政管理带来了很大的困难。

4.1.3. 实体城市边界识别流程

实体城市(或称实体地域、城区)是以连续建成区,或人口活动为判据所判定的城市聚落形态,强调城市作为人类聚落的“地表物理形态”。与按行政边界划定的“行政城市”相比,其内部不存在“农村”区域,更能反映城市功能和空间结构。

4.1.3.1. 研究数据

研究数据采用中国科学院地理科学与资源研究所开发的中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)^①。该数据集基于美国陆地卫星(Landsat)遥感影像,通过人工目视解译构建,形成了一个涵盖多个时期的国家尺度土地利用数据库。该数据库自20世纪70年代末起,记录了多个时间节点的土地利用状况。土地利用类型采用二级分类体系,其中一级分类包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地六大类,并在此基础上细分为25个二级类型。本研究选取其中的51类(城镇用地,包括大、中、小城市及县

^① 详细信息,见 <https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIID=54>

镇以上建成区用地）和 53 类（其他建设用地，包括厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等，以及交通道路、机场和特殊用地）。分类体系的完整列表见表 4-2。图 4-7 展示了以北京市和上海市为例的 2020 年 CNLUCC 土地利用数据。

表 4-2 CNLUCC 土地利用数据的地类含义

编号	名称	含义
5	城乡、工矿、居民用地	指城乡居民点及其以外的工矿、交通等用地
51	城镇用地 (简称城镇用地)	指大、中、小城市及县镇以上建成区用地
52	农村居民点 (简称农村用地)	指独立于城镇以外的农村居民点
53	其他建设用地 (简称工矿用地)	指厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场等用地以及交通道路、机场及特殊用地

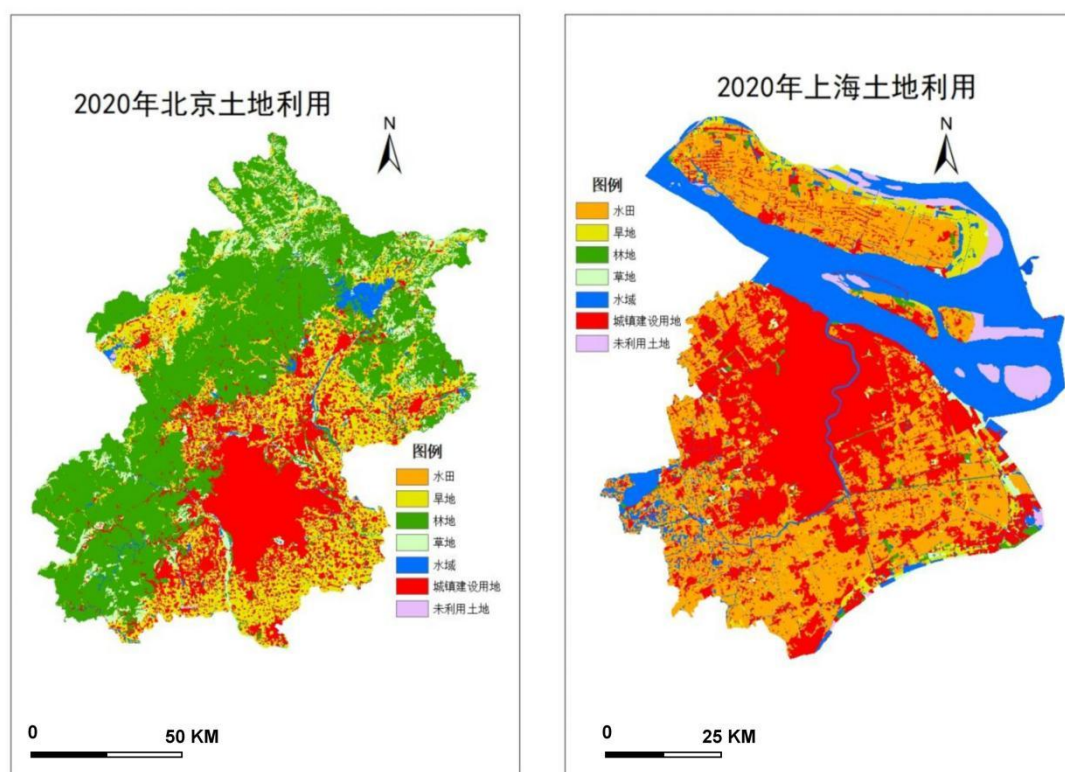


图 4-7 以北京市、上海市为例的 2020 年 CNLUCC 数据

图片来源: <https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIID=54>。

4.1.3.2. 基于多源数据的识别

城市聚类算法 (City Clustering Algorithm, CCA) 由 Rozenfeld 等 (2008) 提出, 并被广泛应用于城市边界的识别 (Rozenfeld et al, 2011; Oliveira, Andrade and Makse, 2014; Chen et al, 2022b)。该方法通过识别人类聚居地及其相互联系, 为理解城市作为人类活动载体提供了更为精确的视角。CCA 的优势在于其灵活性和可扩展性, 它突破了传统行政区划的限制, 能够以统一的标准应用于全球范围, 尤其适用于跨国或跨区域的对比研究。其典型操作流程包括以下步骤: 首先, 定义一组节点或地理位置, 通常代表城市或其他地理实体; 随后, 根据预设的距离阈值判断节点之间的连接关系, 该阈值决定了两个节点是否互为邻居。在建立连接后, 相邻的节点会被合并为同一组, 这一过程不断重复, 直到所有簇完全形成, 并确保每一簇内的任意节点均可互相连通。最终得到的是一组空间上连贯的聚类, 可用于分析城市化、交通或其他空间现象的分布模式 (Vera et al., 2022)。

在应用 CCA 进行城市边界识别时, 搜索半径的设定尤为关键 (Chen et al., 2022b)。相关研究表明, 搜索半径与城市聚类数量之间呈指数衰减关系 (Long, 2016; Chen et al., 2022b), 但具体数值的选择需结合研究目标与实际情境加以确定。

自然资源部于 2021 年发布的《城区范围确定规程》, 从定义与识别方法上为实体城市的划定提供了明确的技术路径。其划分方法主要包括两个环节: 一是基于国土调查数据获取城区实体地域范围; 二是在此基础上, 叠加“最小统计单元管辖范围数据” (如乡镇或街道办事处边界) 和“城区实体地域范围”, 从而生成最终的城区边界。该文件建议, 在中国城市体系相关研究中采用 100 米作为适宜半径。

在本研究中, 城市识别的方法将在 CCA 基础上进一步完善与修正, 形成了如图 4-8 所示的研究流程。研究尝试引入开源数据对实体城市边界进行识别与验证, 以弥补单一数据源识别城市的局限, 提升边界划定的准确性和适用性。具体而言, 流程分为两部分:

(1) 构建实体城市初步边界

研究基于中国 2020 年 CNLUCC 数据, 选择其中的 51 类用地 (即城镇用地, 包括大、中、小城市及县镇以上建成区用地) 作为实体城市的初始范围, 以 53 类 (包括厂矿、大型工业区、油田、盐场、采石场及交通道路、机场、特殊用地等其他建设用地) 作为备选用地。研究运用空间算法分析 51 类用地和 53 类用地之间的空间关系。如果二者相邻小于 100m, 则认为

其相邻，将相邻的 53 类用地纳入初始范围。针对全部初始范围地块均进行上述操作，完成一次识别循环。上述流程循环进行 5 次，或直到没有任何用地能够被纳入。最终该方法将得到“实体城市初步边界”。

（2）数据修正

由于现有的实体城市初步边界主要依赖于 CNLUCC 数据构建，其结果仍存在一定局限性。文献综述表明，已有研究常结合 POI、道路交叉口等多源数据开展实体城市识别，以弥补单一数据源的不足。鉴于此，本文在原有基础上进一步引入多种识别方法，通过多视角的综合判别来确定每个地块是否属于实体城市。在数据修正环节，研究参考并融合了以下四种实体城市识别方法，以提升边界划定的准确性与合理性。

运用道路交叉口识别的城市空地（Long, 2016）。该方法以道路网络的空间结构为基础，利用道路交叉口衡量城市的活动与开发密度；

基于人工不透水面数据（GAIA, Global Artificial Impervious Area）生成的城市边界数据（GUB, Global Urban Boundary）（Gong et al., 2020; Li et al., 2020）。该方法依托于遥感影像解译和机器学习技术，通过识别全球范围内的建筑物、道路、广场等不透水地表（即不能被水渗透的人造表面）来推算城市建设用地分布；

运用 POI 识别的实体城市边界。通过对 POI 数据的空间分布密度进行分析，可以有效识别出城市内部的活跃区和功能集聚区；

运用遥感图像直接判定的方法。该方法主要依赖高分辨率遥感影像，由研究人员进行目视判读。

本研究采用多源数据多数投票（Majority Voting）原则进行最终实体城市边界的确定（Mellor and Boukir, 2017）。具体而言，若某一地块在四种识别方法中有三种及以上一致判定为实体城市，将该地块纳入实体城市范围。该策略能够有效整合各类数据源的优势，提升边界识别的稳健性和科学性，确保最终划定的实体城市区域为多方法共同验证的结果。研究进一步设定 5km^2 阈值，对实体城市进行筛选，以排除规模过小的城市单元。

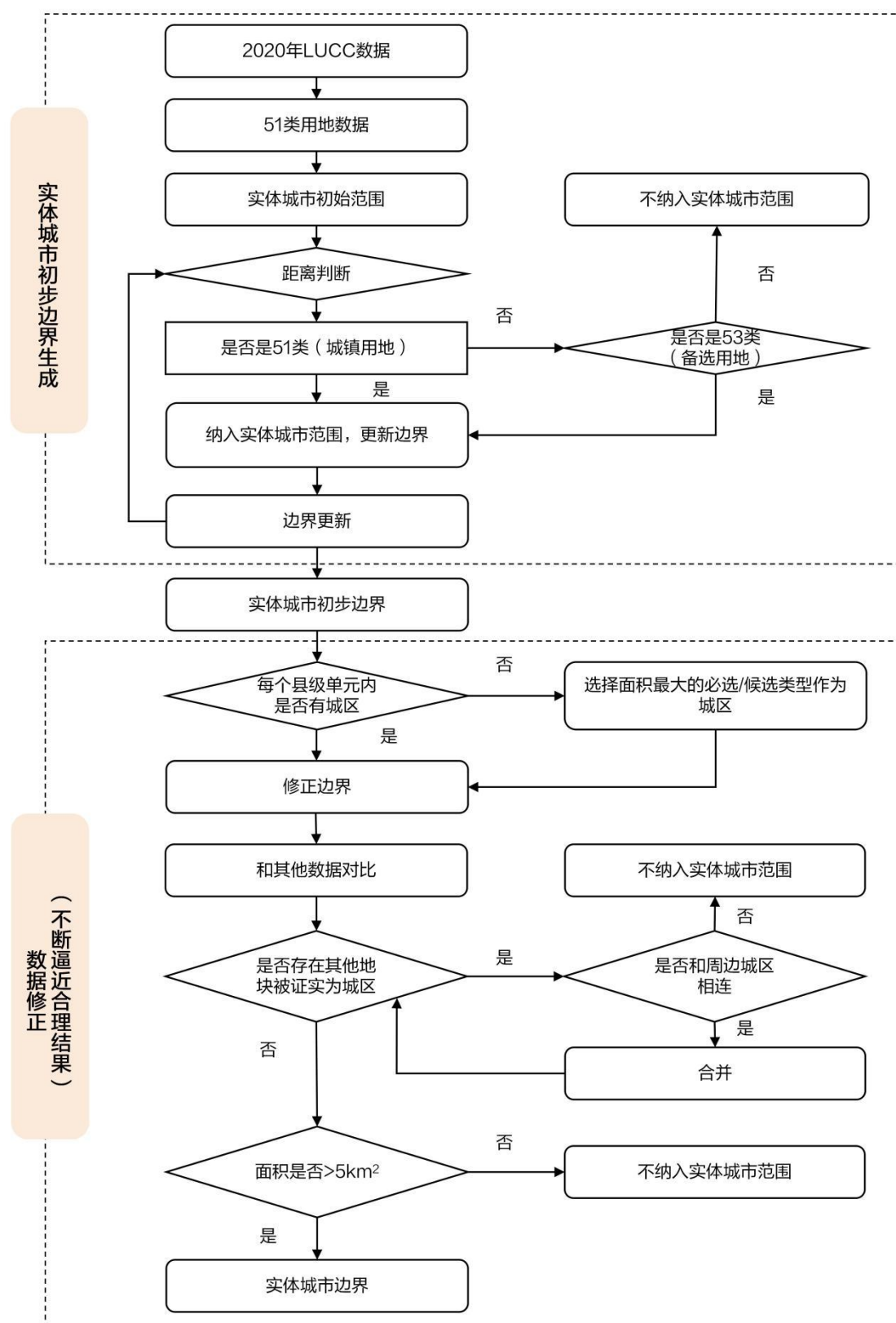


图 4-8 实体城市边界识别方法

4.1.3.3. 识别过程与结果

(1) 清洗 CNLUCC 数据

本研究首先对所使用的数据进行了清洗与一致性校验。研究获取了 2015 年和 2020 年的 CNLUCC 数据，并对两期数据进行了叠加对比，发现部分地块的土地利用类型发生了转移（图 4-9）。以 2015—2020 年 CNLUCC 土地利用转移矩阵为例（表 4-3）：在全部土地中，2015 年与 2020 年均保持为城市用地的比例为 26.38%；有 0.71% 的土地由城市用地转化为农村用地，0.31% 转化为工矿用地；同时，有 0.29% 的土地由农村用地转化为城市用地，0.46% 由工矿用地转化为城市用地。需要指出的是，表 4-3 矩阵对角线上的数值反映了用地类型在两期之间保持不变的面积比例。

研究对上述转移结果进行了修复，核心原则是在修正过程中避免出现“逆城镇化”现象，即确保 2015 年已经为城市用地的地块，在 2020 年不被误判为农村用地。研究将 2015 年已被认定为城市用地的地块在 2020 年统一保持为城市用地，从而保证了土地利用数据的科学性和城市边界识别的准确性。具体的数据修正方法如下。

对于第一类地块，即 2015 年判定为城市用地、但 2020 年被标注为农村用地的部分，研究将其统一修正为城市用地，以避免逆城市化现象对后续分析结果造成干扰。

对于第二类地块，即 2015 年为工矿用地、但 2020 年被标注为农村用地的部分，研究将其修正为其他建设用地，确保工矿类用地的空间一致性。

在实际操作中，研究利用 ArcGIS 平台，通过栅格计算方法完成了上述数据修正流程。具体做法是，将 2015 年和 2020 年的用地数据分别转化为具有足够空间分辨率的栅格图像，并对不同用地类型赋予不同的数值：城市用地赋值为 10，工矿用地赋值为 1，农村用地赋值为 0，其他用地赋值为 255（以保证其在后续三类用地的运算中不产生干扰）。

随后，研究将两期栅格图像进行像元减法运算（以 2015 年用地减去 2020 年用地）。像元值为 10 的区域对应第一类需修正用地（即 2015 年为城市、2020 年为农村），像元值为 1 的区域对应第二类需修正用地（即 2015 年为工矿、2020 年为农村）。将上述两类用地区域转换为矢量图层，并与 2020 年用地数据进行叠加融合，生成修正后的 2020 年 CNLUCC 数据。根据表 4-3，第一类、第二类用地及其他需修正用地的面积占比均不足 1%，表明仅有极少量用地需要调整。这一结果显示原始数据在时间序列上具备较好的连续性与一致性。

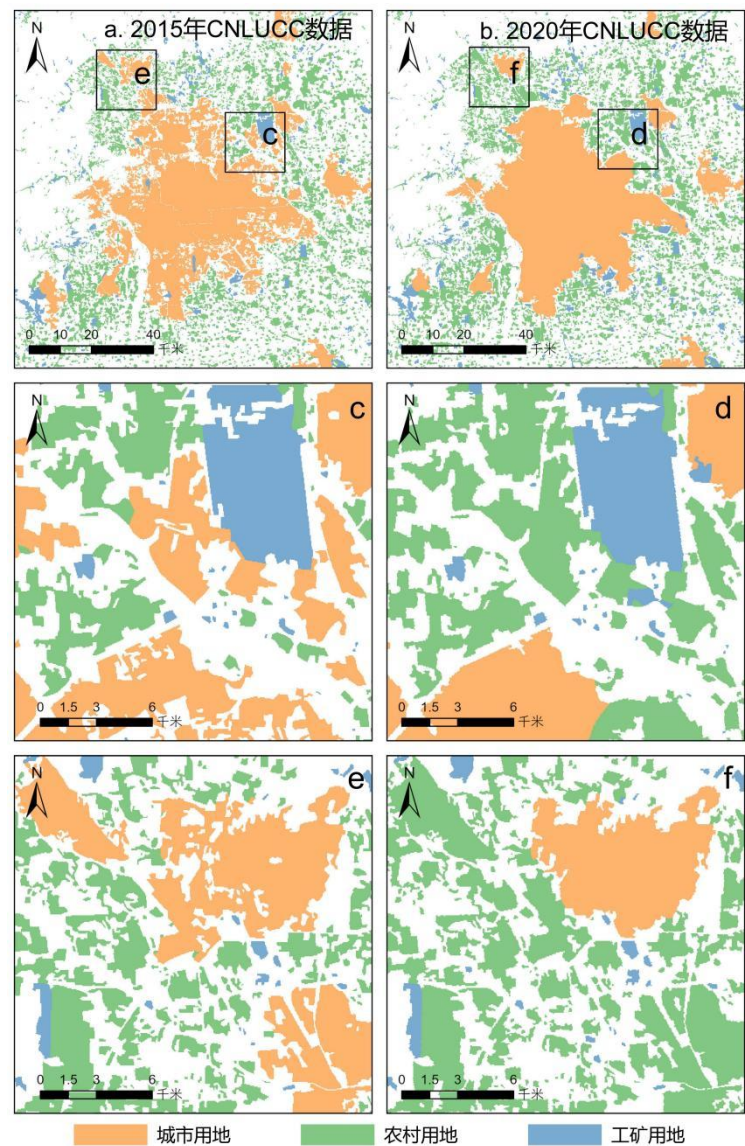


图 4-9 2015 年和 2020 年的 CNLUCC 数据之间的对比

注：图 a 为 2015 年 CNLUCC 数据，图 b 为 2020 年 CNLUCC 数据。图 c、d 与图 e、f 分别展示了两个研究区域在 2015 年和 2020 年 CNLUCC 数据的对比情况。

表 4-3 2015—2020 年 CNLUCC 土地利用转移矩阵

2015 年土地类型	2020 年城市用地 (%)	2020 年农村用地 (%)	2020 年工矿用地 (%)
城市用地 (%)	26.38	0.71	0.31
农村用地 (%)	0.29	53.38	0.16
工矿用地 (%)	0.46	0.19	18.12

注：表中数值表示 2015 年各类用地在 2020 年保持或转化为相应用地的比例；
对角线为未发生类型变化的面积比例。

（2）“实体城市初步边界”的识别

根据图 4-8 的流程,研究在 ArcGIS 平台中实现了“实体城市初步边界”的自动识别。具体方法如下:首先,采用“缓冲区(Buffer)”工具,以 100 米为半径,对 51 类用地(即城镇用地)进行空间扩充。随后,在扩充后的范围内,筛选与 51 类用地有空间相交关系的 53 类用地斑块,并将这些斑块一同纳入 51 类用地,从而形成初步的城市边界。上述过程相当于完成了一次基于空间邻近性的距离判定。

为提升边界识别的全面性与准确性,研究将该距离判定方法重复执行 5 次,每次均在上一轮结果的基础上继续扩展,直至没有新的 53 类用地被纳入为止,最终获得的“实体城市初步边界”。具体运算过程如下:

初始 51 类用地共计 17293 个斑块,经过第一次的距离判定,斑块数为 28317 块,总面积 88214 平方公里;

经过第二次的距离判定,斑块数为 30759 块,总面积 88938 平方公里;

经过第三次的距离判定,斑块数为 31619 块,总面积 89141 平方公里;

经过第四次的距离判定,斑块数为 32056 块,总面积 89220 平方公里;

经过第五次的距离判定,斑块数为 32056 块,总面积 89220 平方公里。

五次距离判定的识别结果如图 4-10 所示,图中不同颜色的斑块代表了在第几次距离判定时被纳入初步边界,所有颜色斑块的集合即为最终的识别结果。由此可见,经过五次距离判定后,已无新的斑块被纳入初步边界范围,流程自动终止。最终,共计 89220 平方公里的用地被划定为“实体城市初步边界”,并作为下一步分析的输入数据。

（3）修正“实体城市初步边界”,获得实体城市边界

根据上述讨论,并结合实际应用需求,本研究对“实体城市初步边界”进行了针对性地修正。修正的首要原则是保证每一个行政城市(包括直辖市、副省级城市、地级市的市辖区和县级市,共计 684 个)范围内均存在“实体城市初步边界”。这是因为行政城市是统计和政策实施的基本单元,如果某些行政城市缺乏实体城市边界,将导致该单元在数据分析与统计匹配中出现缺失,从而影响后续全国尺度的系统性研究与跨城市比较。

其次,本研究还保证每一个县级行政单元内都存在“实体城市初步边界”。县级单元是中国空间治理和资源管理的重要层级,在土地利用、财政收支以及人口管理等方面具有直接责任。如果某些县级单元在空间上缺乏对应的实体城市边界,不仅会造成区域分析结果的不完整,还可能削弱对区域均衡和空间格局的真实反映。

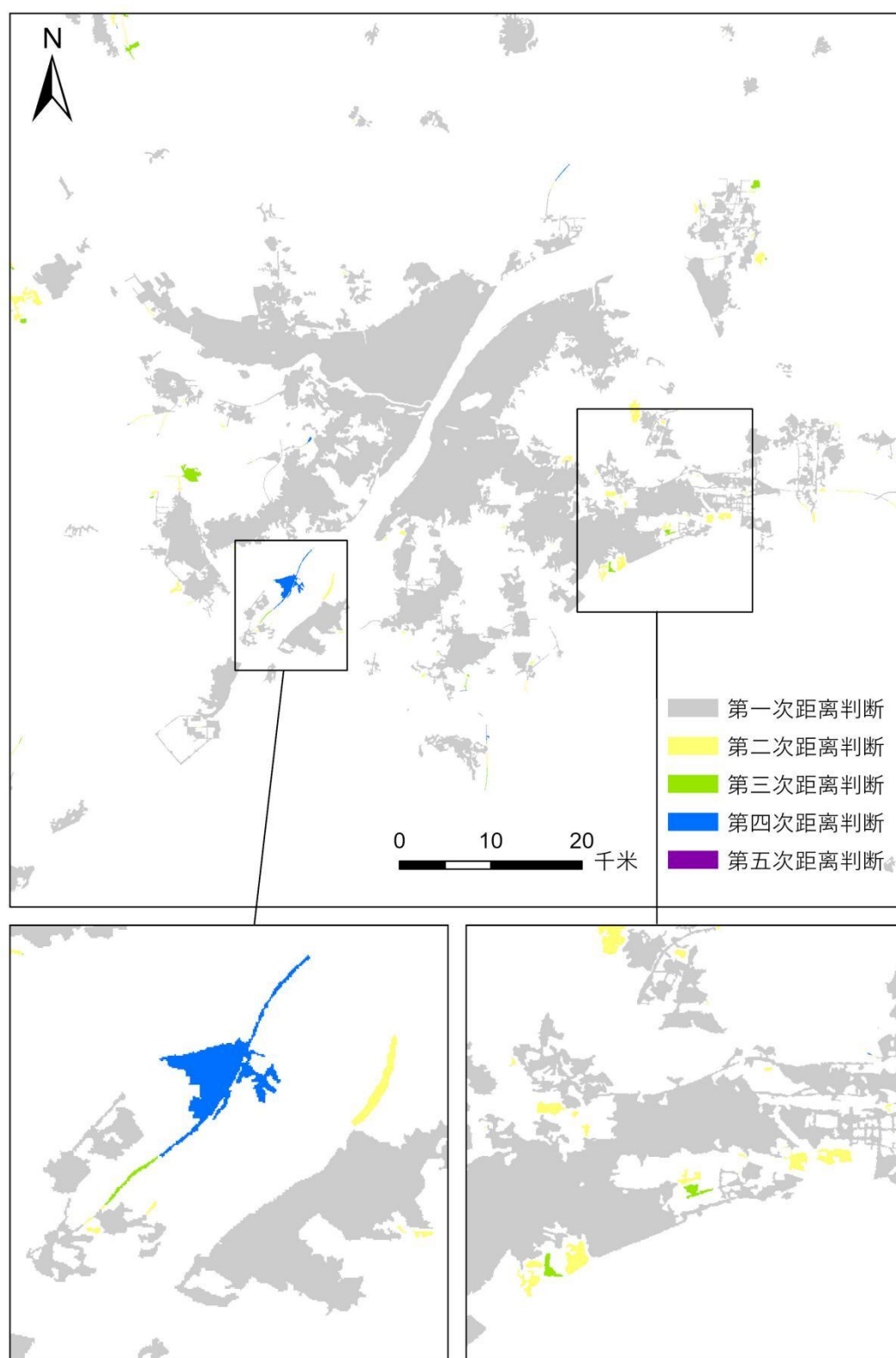


图 4-10 距离判断的计算过程

注：图中所有颜色的斑块共同构成了最终的识别结果，不同颜色表示对应斑块在第几次距离判定中被纳入初步边界。

具体修正方法为：首先，将行政城市的矢量边界数据与“初步边界”数据进行空间叠加，利用“空间链接”工具统计每个行政单元内部的“实体城市初步边界”总面积。对于总面积为0的单元，进一步进行人工分析，将该单元内政府所在地对应的地块纳入“实体城市初步边界”。

修正后，行政城市中仅三沙市内无“实体城市初步边界”；县级行政单元中仅乐山市金口河区内无“实体城市初步边界”，这一结果与实际情况相符。

最终，研究获得了“实体城市初步边界”共计22006块，总面积89864km²。然而，经进一步检查发现，发现“市区边界”内共有3个城市（三沙市、昆玉市、胡杨河市）无“初步边界”，另有3个城市（霍尔果斯市、马尔康市、昌都市）的“初步边界”面积小于2 km²。在县级行政单元中，有36个单元无“初步边界”，79个单元“初步边界”面积小于1 km²，195个单元“初步边界”面积小于2 km²。

研究继续采用了4种方法对“实体城市初步边界”进行判定。如图4-11所示，若某一斑块在四种方法中至少有三种被一致判定为“实体城市初步边界”，则将其纳入最终范围。研究所参考的四种方法如下。

其一，Long（2016）提出使用道路交叉口的方法。该方法通过街道交叉口的空间聚集来定义城市，并构建了依托全国道路交叉口识别全国城市体系的技术路径。在这一框架下，城市被界定为“在300米内至少有100个道路/街道交叉口的空间聚类”。该研究识别了全中国2016年共计的4629个城市，总城市面积为64144平方公里。本研采用了相同的方法获得了2019年的城市边界数据。

其二，Li等（2020）基于全球人工不透水面数据（GAIA）生成的城市边界数据（GUB）。此研究开发了一个自动化界定框架，使用30米分辨率的全球人工不透水面积（GAIA）数据，生成了一个多时期的全球城市边界（GUB）数据集。此研究在Google Earth Engine平台上实施了这种界定，并生成了七个代表性年份（即1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2018年）的30米分辨率全球城市边界数据集。该数据集的城市边界（GUB）与夜间灯光数据和人类解释的结果相符，能够很好地描绘与高分辨率Google Earth图像相比的城市范围。

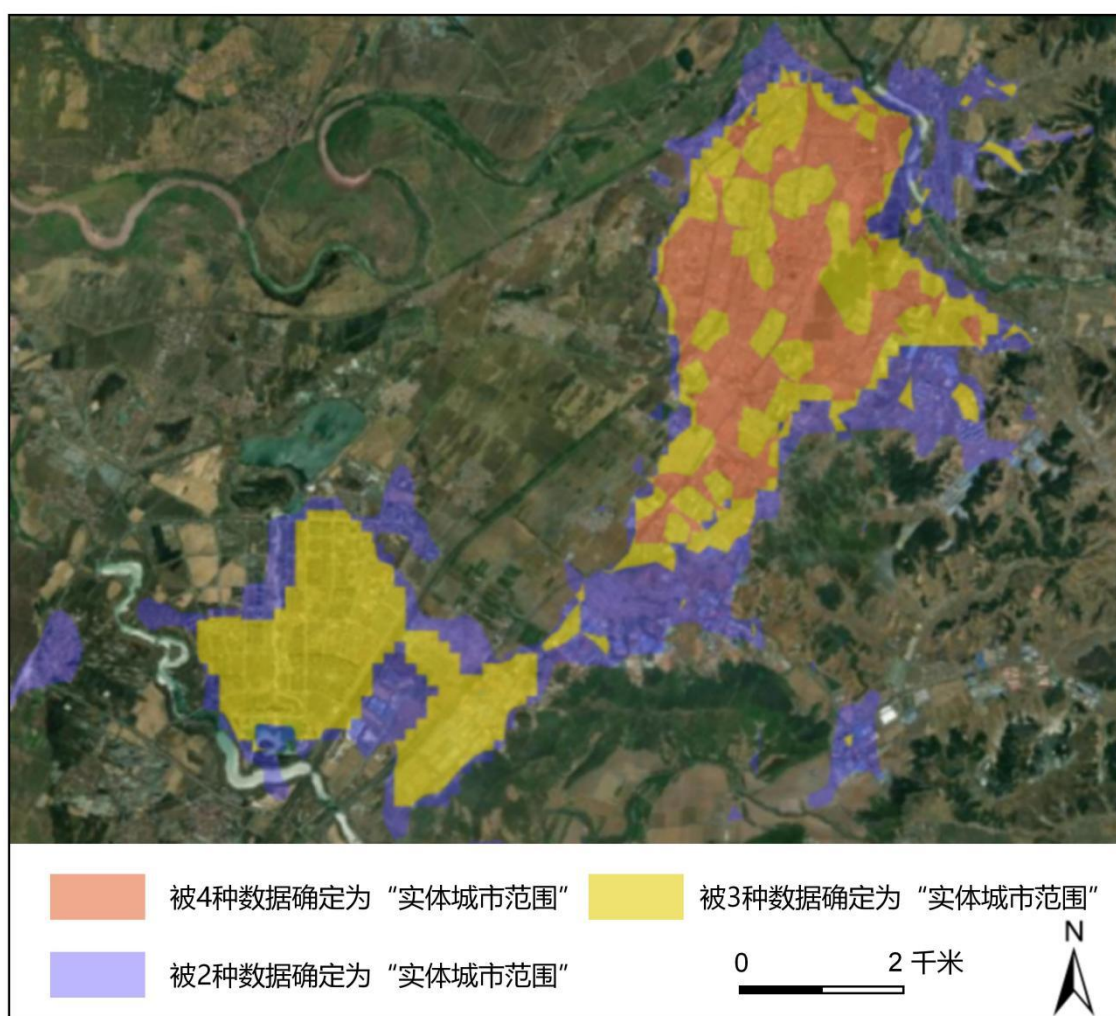


图 4-11 基于四种数据修正“实体城市范围”的示意图

其三，利用 POI 数据识别实体城市边界。本研究参照了城市研究中广泛使用的 POI 数据，采用核密度分析，并结合断点分析的方法识别了城市的边界（Deng et al., 2019）。具体而言，本研究采用密度等高线树（DCT）的方法来检测城市的空间分布。POI 密度被视为代表城市 POI 的连续分布平面。POI 的核密度图代表人类活动的频繁程度，其中人类活动较为频繁的区域被定义为城市（Deng et al., 2019）。

其四，直接运用遥感图像进行判定。运用遥感图像直接判定城市边界，更加符合研究者的主观判定。为了减少主观判定的不确定性，本研究将数据随机拆分为 15 份，随机分发给 15 位受过训练的、专业的城市研究者，分别开展独立的基于遥感图像的判定。每个实体城市斑块都由至少 2 名研究者进行判定，以获取更加稳健的结果。

在上述 4 种方法的验证下，研究最终选择 5km^2 对实体城市进行阈值控

制，最终获得如图 4-12 所示的实体城市边界。

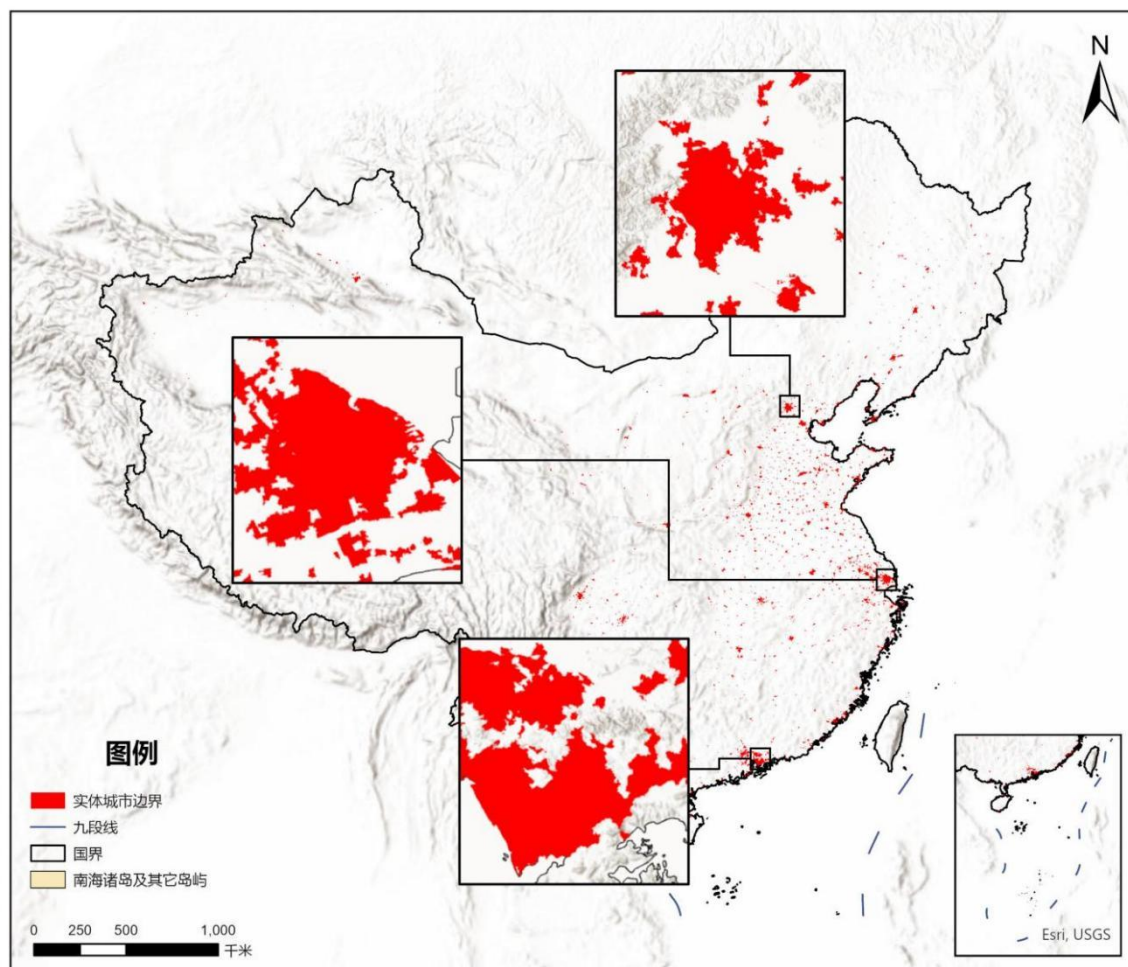


图 4-12 实体城市边界识别结果

注：此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。

4.1.3.4. 实体城市边界特点

实体城市边界内共有城市 2447 个，总面积 94558km²。该数据不依赖于行政区划，能够更真实地反映城市的物理空间范围。

一方面，实体城市边界能够更真实地反映城市的物理空间形态。与市区边界相比，它在识别过程中有效排除了大量尚未城市化的非建成区，包括农村、农业用地、山地及低密度开发区域，从而避免了行政边界对城市范围的高估，更准确地刻画了建成区的空间格局。

另一层面，实体城市边界与现行行政边界的关联性较弱。在长三角、珠三角、京津冀等经济高度集聚的城市群区域，毗邻城市的实体边界往往已连片，形成大尺度的连续空间板块。这种突破行政边界限制的格局虽揭示了城

市群空间一体化的趋势，但也打破了市辖区或县级市的传统管理边界，造成行政区划与空间结构的不匹配，对城市管理、基础设施统筹与区域协同治理带来了挑战。

4.2. 城市边界比较

不同类型的城市边界具有各自的特征与适用条件，其划定标准会直接影响人口统计、经济核算、土地利用监测等多类空间数据的统计精度与解释效力。若城市边界不够准确或缺乏统一，将导致数据统计口径不一致，进而削弱空间数据分析的可信度，并对研究结论的科学性产生影响（Berry, 1964; Openshaw, 1984）。例如，同一城市若分别使用行政边界和实体城市边界进行统计，其人口规模、经济总量及建设用地面积等指标可能存在差异。因此，开展城市边界的比较研究，并系统讨论不同边界的特征，有助于避免后续研究因空间维度或空间单元界定模糊而产生的偏差与误差。

4.2.1. 比较维度

城市边界比较的目的是分析不同边界在不同条件下与各类数据的适配性及其所展现的特征，从而选择更适合后续研究的边界，用于城市空地的识别与规律探究。在实际研究中，城市边界的选择通常基于以下目的。

4.2.1.1. 空间维度：反映真实城市空间结构

准确界定城市边界的核心在于根据研究目标选择最能反映城市空间特征的边界体系。不同类型的城市边界，如行政边界、统计边界、建成区边界、夜间灯光边界或遥感提取的边界等，由于其划定依据与方法差异，往往揭示出城市空间结构的不同侧面。例如，行政边界虽便于管理和数据获取，但常无法反映城市功能扩展的真实范围；而基于遥感影像或人口密度生成的实体边界则更贴近城市人口与经济活动的空间分布（Ma and Long, 2020）。因此，依据研究目的灵活选取边界类型，不仅能影响建成区识别结果、人口密度判断与土地利用分析，还将决定研究所呈现出的空间结构特征与政策启示（Long, 2016; Chen et al., 2024a）。提高空间统计与数据分析的科学性。

4.2.1.2. 时间维度：支撑城市演化与机制研究

城市演化包括扩张、收缩、空间重构、人口迁移与土地利用转型等多个动态过程（Anselin, 1988）。在这一过程中，时间维度的引入具有必要性，

因为不同城市边界在跨期比较中可能呈现出差异。例如，实体城市边界更贴近物理空间，却可能因数据更新频率或判定标准不同而在时间序列上出现不连续。若不在时间维度下对这些边界进行系统评估，将难以准确刻画城市扩张或收缩的真实轨迹，也会影响对演化规律和驱动机制的解释。此外，精准的城市边界数据也为分析土地利用变化驱动力、评价城市发展政策的空间效果、探索城市空间形态的演变机制提供数据支撑，从而推动对城市发展的理解（Gabaix, 1999）。

4.2.1.3. 政策决策维度：优化空间规划与政策决策

在中国背景下，空间规划高度依赖政府主导的行政管理体系，政策执行与财政分配往往严格依托行政边界展开。这使得行政边界在规划和治理中具有天然的优先性，但也可能造成与实际城市空间范围的脱节。例如，对尚未城市化区域可能出现过度投资，而对真实建成区则存在公共服务供给不足的风险。相较之下，基于实体城市或遥感识别的功能边界更能反映城市的物理空间格局，但若缺乏行政力量的对接，则在政策落地和资源调配中缺乏可操作性。

因此，评估不同城市边界与行政体系之间的契合程度，能够为制定既科学合理、又具备行政可执行性的空间规划与公共政策提供依据（Tan et al., 2022）。在都市圈或城市群规划中，合理界定城市间的真实边界，还可为跨区域交通网络建设、环境治理合作及资源共享平台的建立奠定基础，从而推动更高水平的区域空间治理与协同发展（Wang, Wu and Wu, 2025）。

4.2.2. 比较方法和结果

4.2.2.1. 空间维度的比较方法和结果

空间维度的评估侧重于检验不同城市边界在反映城市空间规模与结构方面的准确性和适用性。根据现有的城市科学理论，城市系统普遍遵循规模法则（Scaling Law）和等级-规模法则（Rank-Size Law, Zipf's Law, 齐普夫法则）。其中，规模法则强调城市内部的人口、GDP、基础设施数量等变量之间存在非线性的规模关系。例如，人口密度通常会随着城市规模的扩大呈现出特定的变化趋势，体现了城市功能结构的自组织特性和社会经济过程中的规模经济效应（Xu et al., 2025）。等级-规模法则关注城市之间的等级结构，描述了城市人口规模与其排名之间的反比关系。这一规律已在发达国家与发展中国家的城市体系中得到验证，说明城市增长和等级分布背后可能存

在某种普遍机制（Xu et al., 2025）。

（1）研究数据

研究将选择开源的 GDP 数据、人口分布数据，POI 分布数据和道路交叉口数据，计算和分析城市规模分布的相关统计指标，并结合规模法则和等级-规模法则，以检验所识别的城市边界是否能够真实反映城市体系的一般性规律。具体方法包括：

一是利用 GDP 和人口规模的回归分析，评估城市体系是否呈现出预期的规模特征；

二是利用等级-规模法则对城市规模进行排序并开展回归检验，从而判断不同类型边界在揭示城市空间结构时的合理性与科学性。

由于不同类型的城市边界在所涵盖的空间范围上存在差异，因此在研究中需要选择高精度的公开数据，以确保在不同边界体系下均具备适用性和可操作性。研究选择了如下的公开数据用于验证。

其一，公里网格 GDP 数据（Chen et al., 2022a）。该研究利用卫星拍摄的夜间灯光数据，制作了 1992 年至 2019 年期间全球范围内每个 1 公里网格的经济产出（GDP）与电力消耗详细分布图。具体而言，研究首先对两个卫星系统（DMSP/OLS 与 NPP/VIIRS）拍摄的夜间灯光数据进行了统一校准，以确保不同年份的数据具有高度一致性。随后，结合各国家整体的 GDP 和电力消费统计数据，按照灯光强度大小将这些国家尺度的数据精细地分配到每个网格中。这种方法突破了过去只能在国家或较大区域尺度上使用经济数据的局限，实现了经济和能源数据在细致网格尺度上的分布，为多个城市边界之间的比较提供了基础数据集。

其二，人口统计数据（Chen et al., 2024b）。该数据结合遥感、土地利用、夜间灯光、POI 等多源大尺度地理数据，构建了空间分辨率为 100 m×100 m 的中国人口分布数据集。研究采用集成学习方法，将随机森林、XGBoost 和 LightGBM 模型融合，通过对普查人口进行高精度空间下分，实现了对乡镇级及以下空间的人口精细映射。

其三，路网交叉口数据。该数据基于高德地图于 2019 年发布的全国道路网络数据。该数据覆盖中国境内主要城市及乡村区域的道路系统，具有较高的空间精度和更新完整性。在本研究中，研究将原始矢量路网数据进行预处理，通过提取道路节点之间的交会关系，将连续道路段转换为离散的道路交叉点。具体方法为：基于 GIS 空间分析工具，对所有道路线数据进行拓扑处理，识别所有两条及以上道路相交的几何点，并去除孤立端点及虚假连接，

最终形成覆盖全国的道路交叉口分布数据。该处理方式能够有效反映城市内部的道路密度与空间结构，作为衡量城市空间形态、发展强度与交通复杂度的重要变量（Long, 2016）。

其四，POI 数据。该数据来源于 2021 年百度地图平台，通过网络爬虫技术抓取获取，涵盖全国范围内的兴趣点（Points of Interest, POI），包括居民小区、学校、医院、商场、餐饮、办公楼、交通设施等多个类别。为提高数据的准确性与代表性，研究对原始数据进行了清洗、去重和分类标准化处理，并剔除了重复记录和位置异常点。每一个 POI 记录都包含经纬度坐标、名称、所属类别和所在城市等基本属性，能够较为全面地反映城市内部的功能结构和人类活动分布。由于 POI 分布在一定程度上与城市建成环境 and 经济活动密度高度相关，因而可以作为辅助变量，特别是在传统统计数据受限的区域，POI 作为动态更新的民间数据源，具有很强的补充价值和现实参考意义。

（2）等级-规模法则（Rank-Size Law）比较结果

在上述数据的基础上，本研究绘制了基于实体边界、城镇边界与市区边界的五类城市属性（人口、面积、GDP、POI 数量、道路交叉口数量）的等级-规模法则分布图，最终结果如图 4-13 所示。图中采用双对数坐标系展示每一属性的城市排名与其对应值的关系，并拟合 Zipf 分布以评估等级-规模结构的稳定性与一致性。拟合直线的斜率（ γ ）表征幂律指数，其绝对值越接近 1 表明该系统越接近经典的等级-规模分布；决定系数 R^2 则衡量幂律拟合的精度。

从拟合结果可以看出，实体边界在反映城市物理规模方面表现较为稳定，人口与面积的等级-规模关系均呈现出典型的幂律结构，斜率 γ 分别为 -1.42 与 -1.08，拟合优度较高。这表明实体边界较好地还原了真实的城市建成区范围，使得城市系统的等级结构特征更为清晰。同时，GDP 与 POI 等功能属性在实体边界下也具有较好的结构一致性。其斜率（ $|\gamma| > 1$ ）表明该城市系统中出现了资源向大城市集中的特点。

对于城镇边界而言，虽然其多数属性的决定系数（ R^2 ）均高于 0.8，表面上具有较好的拟合度，但所获得的拟合斜率普遍偏大（如 GDP 斜率达到 -2.22），超出等级-规模法则理论推荐值（ $|\gamma| \approx 1$ ）。这意味着城市系统的等级结构可能被过度夸大。因此从结构合理性角度来看，其斜率过大，解释能力有限。

相比之下，市区边界作为典型的行政划分单位，其整体表现较为稳健。

在多类城市属性中,其斜率值相对适中,接近理论期望范围(如 γ 在-0.9至-1.2之间),同时决定系数也保持在较高水平(多数 R^2 在0.80以上)。这表明市区边界虽受制于行政制度划定,但在一定程度上能够兼顾城市规模差异与空间分布的合理性,在等级结构分析中具有一定的可解释性和稳定性。然而需要指出的是,市区边界的“合理性”是以制度性分割为基础,可能掩盖实际建成区或功能区的真实规模。

(3) 规模法则(Scaling Laws)比较结果

为评估不同城市边界对城市结构关系的刻画能力,本研究构建了基于三类边界(实体边界、城镇边界、市区边界)的人口、GDP、POI数量与道路交叉口数量与城市面积(城市规模)之间的幂律尺度拟合模型(图4-14)。所有属性均采用对数-对数坐标进行线性回归,提取幂律斜率(γ)与决定系数(R^2),以量化功能属性对城市空间规模的响应强度与规律性。

从整体结果来看,实体边界下的拟合效果最为显著且稳定。四类属性与面积之间均呈现中度以上的幂律相关性(R^2 介于0.58–0.69),拟合斜率也处于理论与实证研究支持的合理区间(Xu et al., 2025),表明在实体边界下,人口与各类功能设施随城市面积扩张呈现出协调增长趋势。这一结构性响应符合城市空间扩展与集聚效应的一般规律,印证了实体城市边界在刻画中国城市系统空间结构方面的有效性。

城镇边界下的幂律指数也保持在合理区间($|\gamma|$ 介于0.7–1.0),但 R^2 普遍偏低(仅为0.35–0.49),虽然规模法则的大体分布趋势存在,但数据分散性较高,各类空间属性与城市规模之间的关联性较差,反映出该边界在表征城市空间结构上的不足。

而在市区边界下,拟合结果最弱,多个属性甚至出现了负斜率或近乎无相关性(如POI $|\gamma| = 0.20$, $R^2 = 0.03$; 交叉口 $|\gamma| = 0.10$, $R^2 = 0.00$),表明市区边界在反映功能分布的空间依赖性方面存在不足。尤其是道路交叉口与面积的 $|\gamma|$ 仅为0.10,拟合优度为0,这表明市区边界在反映城市系统的空间结构中存在明显的局限性。

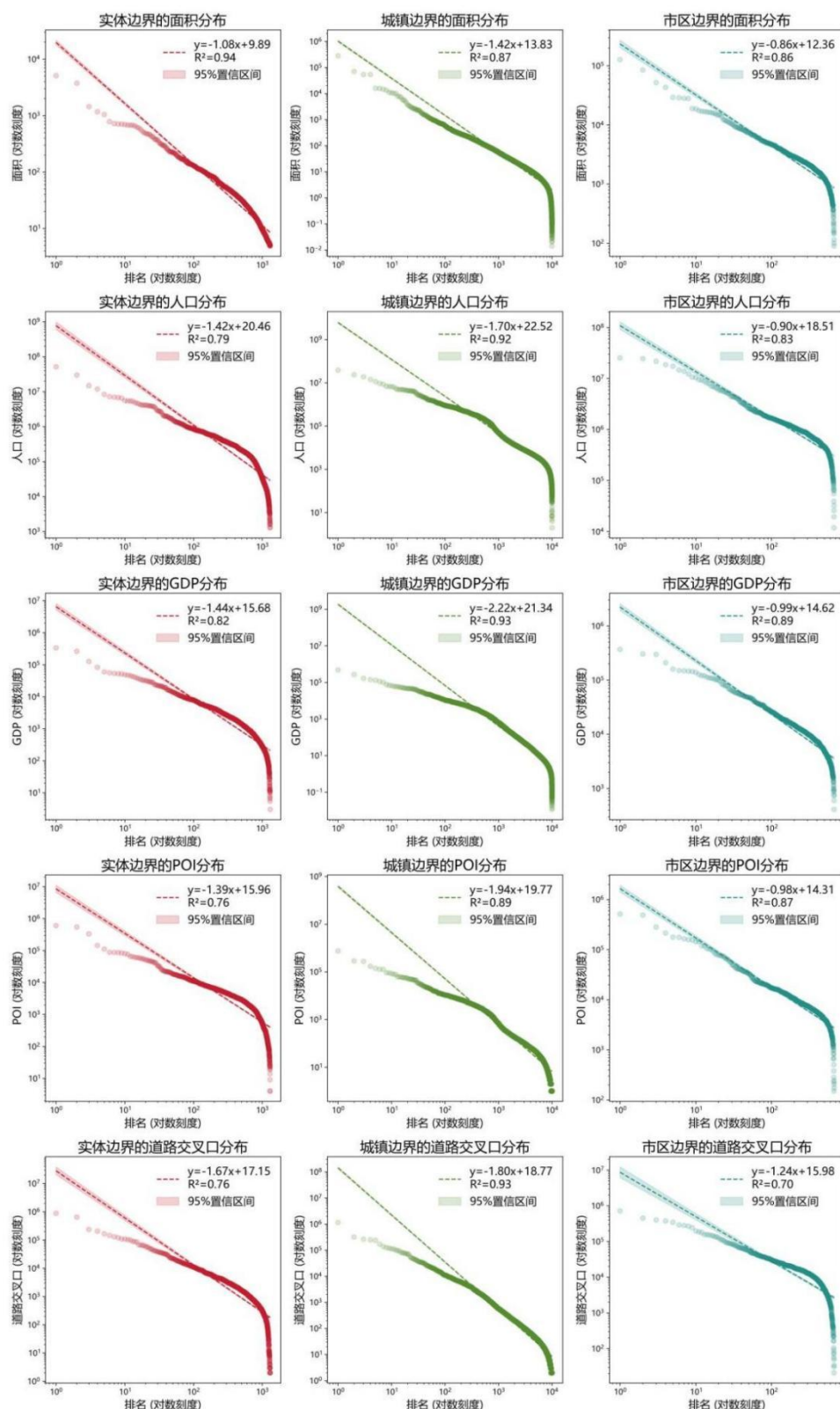


图 4-13 不同城市边界下城市属性的等级-规模分布对比

注：图中采用双对数坐标系展示全国城市的属性值（人口、面积、GDP、POI、道路交叉口）与其排名之间的关系，并拟合等级-规模法则函数以估计拟合优度（ R^2 ）。

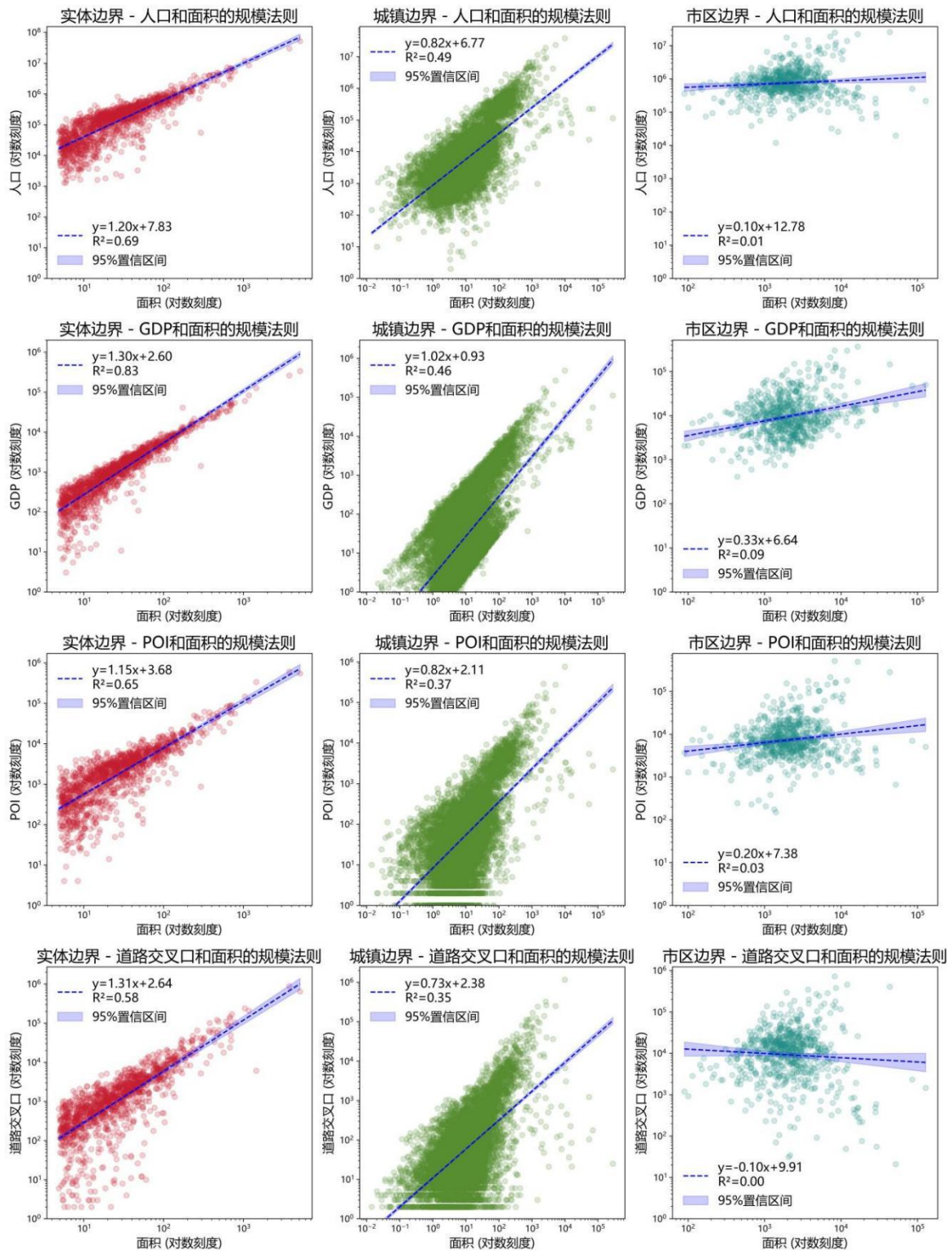


图 4-14 不同城市边界下城市属性与人口的规模法则对比

4.2.2.2. 时间维度的比较方法和结果

在探讨城市边界对城市结构的刻画能力之后，本节将进一步分析三类边

界在动态时间维度下反映城市空间变化的能力，重点比较其在数据来源、可获取性、时序一致性和空间分辨率等方面的差异，以评估不同边界在长期演化研究中的适用性。

（1）市区边界

市区边界的更新主要依赖于民政部每年公布的行政区划变更数据，其变化多表现为行政层级的调整，如“撤县设区”“撤县设市”等。理论上，该类边界具备明确的时间标签与法律依据，能够较为系统地获取年度变化信息。然而，市区边界的变化实质上反映的是政府体制与行政区划体系的演化，并不直接对应于城市物理空间或建成区的扩张。行政边界的调整往往滞后于城市发展的实际过程，有时甚至出于政治或经济管理目的而非空间结构变化。因此，尽管多时序的市区边界可以在某种程度上间接捕捉城市体系的变化趋势，但其本质上更强调行政单位的制度属性，而非空间形态的真实变迁。在需要精准表征城市空间扩张或建成区演变的研究中，市区边界的适用性较为有限。

（2）城镇边界

城镇边界主要基于县级以下的建制镇、街道等行政单元，其变化通常来源于“撤乡设镇”“设立街道办事处”或“行政合并”等基层行政调整，亦由民政部门发布。理论上，该边界类型具有更高的空间精度，能够反映城市扩展过程中的变化，尤其在研究城市-乡村过渡区、空间扩张边界、功能区重构等议题时具有一定价值。

然而，在构建多时序的城镇边界数据时面临较大挑战。一方面，民政部虽发布行政区划代码及变更公告，但往往缺乏详细的建制镇级边界矢量数据，导致其空间边界难以精确还原；另一方面，地方行政单元数量众多，调整频繁，但信息记录常常滞后或不完整，使得跨年度、跨区域的时序一致性难以保障。此外，基层行政单位的变更常涉及拆并与命名更替，使得追踪连续性和空间可比性变得复杂。因此，尽管城镇边界的精确度较高，理论上可用于部分城市空间变化的监测，但受限于数据可获取性、准确性与标准化程度，其在时序分析中的适用性仍然有限，需要辅以大量人工校验或地方数据支撑。

（3）实体城市边界

实体城市边界是基于城市建成区物理形态所提取的空间边界，常通过遥感影像与土地利用变化数据加以识别。近年来，随着遥感技术的发展和高分辨率卫星影像的广泛应用，相关研究已经获得大量多期、一致性高、分辨率高的建成区数据，使得构建城市实体边界的时序数据成为可能。

实体边界的优势在于其数据源稳定、更新频率高、可重复性强，且能反映城市空间形态的真实变化过程。由于 CNLUCC 数据的生成基于统一的分类标准与算法框架，研究者可利用相同的提取逻辑构建不同年份的实体城市边界，形成完整的城市扩张时序数据集。这种方式不仅能够识别城市新增建成区，还可以量化城市空间边界的外延变化、碎片化程度等方面的分析。因此，在开展跨期、跨区城市空间动态演化研究时，实体边界是最具优势、最具可操作性的边界定义方式。

4.2.2.3. 政策维度的比较方法和结果

（1）市区边界

在政策应用层面，中国的行政管理体系与市区边界高度一致。中国的行政组织架构可以划分为 5 级，即省级行政单元，市级行政单元，县级行政单元，乡镇级行政单元和村级行政单元。在此体系下，市区边界与行政区划中的行政区存在一一对应关系。直辖市、副省级、地市级、县级市边界内的城市规划政策，在对应的区域可以找到对应的人民政府负责制定和实施。采用市区边界作为城市空间的界定标准，有利于规划政策在空间上的对接与有效执行。

（2）城镇边界

城镇边界与行政管理体系之间存在一定程度的结构性差异，尤其在县级行政单元内部表现得尤为明显。表 4-4 统计了不同城乡分类代码的村级行政单元在市辖区、县级市和县（旗）这三类县级行政单元中的分布情况，为理解这一差异提供了数据基础。

首先，在县级行政单元内部广泛分布着大量的“城镇”单元。这些城镇单元中，一部分是县级人民政府的驻地，即所谓的“县城”，而另一部分则为非驻地城镇，通常呈现出空间上相互分散、不连续的特征。这意味着，在一个县级单元中，可能同时存在多个相互独立的城镇聚落，它们之间由大量的农村区域分隔。这种格局对城市发展规划提出了更高要求：县级政府不仅需要重点考虑县城的发展，还必须统筹兼顾辖区内其他城镇以及广大农村地区的发展需求与空间协调。

其次，即便是在被视为“市区边界”的市辖区和县级市内部，也广泛存在大量农村单元。这种城乡混合的空间结构，进一步揭示了行政边界与实际城镇空间之间的不一致性。根据城乡分类代码的数据，在市辖区中，乡村单元（代码 210、220）数量达 87970 个，占其全部单元的 13.87%；在县级市中，乡村单元达 77055 个，占比 12.15%。这些农村单元通常分布在城市建

成区的边缘或被城市扩展过程中“包围”的区域。这说明，即使在“市辖区”或“县级市”这样高度城市化的行政单元内部，仍不能简单地视其为纯粹的城市空间。城市发展政策若仅依据行政边界进行制定，可能会忽视这些内部存在的农村区域，进而造成资源配置失衡或政策适用错位。

因此，虽然城镇边界有助于识别建成区和推动精细化治理，但在实际政策制定与执行中，仍需考虑行政单元内部多样化的城乡空间结构。尤其在以县域为基本单元推进新型城镇化或乡村振兴政策时，必须充分认识到县级单元并非纯粹的“城市区域”，而是包含了多个空间上不连续的城镇及农村区域。这对治理尺度的选择、规划资源的配置和服务体系的建设都提出了更为复杂的挑战。

表 4-4 不同县级行政单元内部城乡空间单元的数量与占比

城乡分 类代码	市辖区		县级市		县（旗）		总计	
	数量	数量占比	数量	数量占比	数量	数量占比	数量	数量占比
110、120 （城镇）	96403	15.20%	37195	5.86%	71841	11.33%	205439	32.39%
210、220 （乡村）	87970	13.87%	77055	12.15%	248146	39.12%	413171	65.14%
总计	184373	29.07%	114250	18.01%	319987	50.45%	618610	97.53%

注：（1）东莞、嘉峪关、中山等不设区县的地级市没有纳入统计；（2）在 Geocoding 过程中，部分单元无法获得坐标，导致数据出现缺失；（3）城乡分类代码中 230 特殊用地未纳入统计。

（3）实体城市边界

实体城市边界与行政管理体系之间存在明显的结构性差异。这种不匹配主要体现在两个方面：一是实体城市边界与行政边界几乎完全不重合，二是部分实体城市范围已超越单一行政城市的边界。

首先，实体城市边界和各级行政边界之间几乎没有重合关系。在一些中小城市或欠发达地区，行政边界所划定的“城市”单位内部，其空间形态却远未城市化，呈现出高度的城乡混合状态。以县级市或部分市辖区为例，虽然其行政级别为“市”或“区”，但在空间分布上往往包含多个彼此分离的乡镇单元。这些乡镇既非连片城市建成区，也未具备成熟的城市功能，却因行政归属关系被整体纳入“城市”范畴。此外，这种几乎完全不重合性直接导致了实体城市边界在现实管理中难以被识别、追踪和采纳。在日常治理实践中，无论是城市规划、土地审批、公共服务布局，抑或人口统计、经济监测、资源配置，相关部门所使用的基本空间单元往往仍是行政边界下的“市”

“区”“县”等行政单位。这导致实体城市边界即使在技术上可以被识别，也因其在行政体系中无法被纳入日常管理流程。

其次，高度城镇化地区，其实体空间已明显突破了原有的行政边界限制，特别是珠三角和长三角，城市建成区不断向周边扩张，形成了与邻近县级市或市辖区高度融合连续城市形态。例如，广州市与佛山市之间、上海市与苏州市，昆山市等，已形成了空间上高度一体化、功能上高度耦合的城市建成区。尽管这些区域在土地利用、人口流动、产业链分布、交通网络等方面高度融合，仍分别隶属于不同的行政单元，其城市规划、基础设施建设、环境治理等工作往往受限于“属地管理”原则而难以协调。这种“实体城市边界”与“市区边界”的错位，导致跨界交通规划滞后、治理各自为政，乃至在应急管理事务中出现响应不及时、职责不明的问题。

4.3. 边界特点与适用范围

研究基于对三种维度的系统讨论，总结了三类边界在空间维度、时间维度和政策维度下的主要表现，旨在为后续的边界选择、数据处理与研究设计提供依据与参考。三类边界的具体特点见表 4-5。

表 4-5 三种城市边界在不同维度的表现对比

边界类型	空间维度	时间维度	政策决策维度
市区边界	行政划定，边界清晰但常包含大量非建成区，难以体现城市系统的相关特征	有变更记录，边界清晰，但反映制度变迁非真实扩张	行政管理单位，适用于政策执行与制度研究
城镇边界	颗粒度细，能刻画城乡过渡区，但边界不完整	调整频繁，数据缺失，难以构建标准化时序数据	与基层治理相关，适用于乡镇发展与资源配置研究
实体城市边界	基于遥感，精度高、结构真实，符合城市系统的相关理论	数据连续性强，支持统一方法下的多期动态分析	不具法定地位，难以直接用于政策执行，适合用于城市空间规律分析

4.3.1. 市区边界的范围往往大于城市空间的实际范围

市区边界是依据“市辖区”和“县级市”划定的行政边界，是中国城市

制度体系中最常被使用的城市界定方式之一，广泛应用于统计分析、制度研究和政策制定等多个领域。

在空间维度上，市区边界具有明确的法理基础，边界数据来源稳定、覆盖范围清晰，便于数据整合与制度应用。然而，该边界本质上是行政单元，其划定逻辑与城市的实际空间形态不同，内部往往涵盖大量非建成区土地，如乡村地区、农业用地、山区等，导致其在空间上难以准确匹配城市的真实物理边界或建成区范围，存在“行政空间大于城市空间”的普遍现象。

在时间维度上，市区边界具有清晰的变更记录和制度更新机制，其主要变化来自“撤县设区”“撤县设市”等上级行政区划调整。民政部每年公布的区划变更数据使得市区边界具备良好的可追溯性和时间标注，能够用于分析行政体制和城市边界的变迁过程。但需要注意的是，这种变化更多反映的是政府管理层级与制度结构的调整，而非城市空间的真实扩展过程，因此在解释城市演化时可能存在滞后性与不足。

在政策决策维度上，市区边界作为政府治理的核心单位，是资源分配、公共服务配置等制度流程的基础空间单元。大量国家统计、财政制度、城市建设规划等均基于市辖区和县级市单元，使得该边界在实际政策执行中具有极强的操作性与制度合法性。因此，尽管市区边界在反映城市真实空间结构方面存在一定局限，但其在制度逻辑与政策分析中具有合理性和可行性，适用于城市治理、制度变迁等方面的研究。

4.3.2. 城镇边界能精确地刻画城市边缘区域

城镇边界是基于县级以下行政单元（如村级行政单元，社区等）的城乡分类代码所构建的边界类型，反映了我国基层治理空间的基本结构，也是大量统计数据的基础单元。

在空间维度上，城镇边界理论上能够更具体地刻画城市边缘区域与城乡过渡带的空间结构，适合用于县域尺度上的空间治理与资源配置研究。然而，受限于边界数据的不完整与规范化程度不足，当前城镇边界多以统计意义上的单元为基础，缺乏高精度的边界矢量文件，导致空间精度和内部一致性存在较大差异。此外，部分城镇单元可能呈现出非连片、跳跃式的空间分布，进一步削弱了其在精细化空间分析中的适用性。在多源数据的验证下，城镇边界能在一定程度上体现城市科学的基本理论，基于村级单元聚合的空间系统在总体上可以呈现出一定的等级-规模分布特征，然而模型拟合曲线的斜

率较大，限制了数据的可解释性。城镇边界对于规模法则的解释也存在一定的不足。

在时间维度上，城镇边界的变动频繁，受“村级建制调整”“撤乡设镇”“镇改街道”等行政调整影响较大。尽管民政部每年发布相关变更公告，但由于缺乏系统、标准化的历史边界数据库，历年城镇边界难以准确还原，限制了其在构建多时序空间序列中的应用。此外，城镇单元涉及的村级行政单元数量庞大、异名同体等现象也增加了时间追踪的技术难度，难以保障跨年度的空间一致性与数据可比性。

在政策决策维度上，城镇边界与基层治理体系高度耦合。作为行政体制中的基本治理单元，其边界划定（即城乡划分代码的确定）直接影响到政策覆盖范围与统计指标的归属。因此，尽管城镇边界在空间与时间维度存在一定局限，但在政策分析与基层治理研究中仍具有重要应用价值，适用于评估乡镇发展水平、城乡融合程度以及公共资源分布格局等问题。

4.3.3. 实体城市边界能反映城市的真实空间范围

实体城市边界是基于遥感影像、开源数据和土地利用数据提取的城市边界，能够真实反映城市建成区的空间分布。

在空间维度上，实体城市边界不依赖行政单元，而是以地表物理形态和人类活动为基础进行识别，具有更高的空间精度、更强的一致性和更好的跨区域可比性。在多源数据的交叉验证下，实体城市边界在整体空间形态上能够较好地契合城市科学中的结构性理论。例如，在城市内部，不同要素（如人口密度、功能设施、路网节点等）的空间分布呈现出明显的等级-规模分布特征，而在城市间，不同城市的属性与其规模之间也普遍符合规模法则。

在时间维度上，实体边界依托一致的遥感数据源与提取逻辑，可构建统一标准下的多期边界序列，具备良好的时序一致性与更新能力，能够有效支持动态演化分析和长期趋势监测。

在行政决策维度上，实体城市边界存在局限性。在时间维度上，实体城市边界基于遥感数据，可在统一的数据源和提取逻辑下构建不同年份的边界序列，从而具备良好的时序一致性与动态更新能力。然而，在行政决策维度上，实体城市边界仍存在一定局限。一方面，该边界不具备法定制度属性，难以直接与行政管理体系、财政体制或统计口径对接；另一方面，政策制定往往以行政区划为实施单元，实体边界难以在现有政策执行逻辑中被直接应

用。因此，尽管实体城市边界在空间与时间两个维度上具备优势，但在制度治理与政策分析场景中仍需与行政边界结合使用，或作为补充性参考。

4.4. 本章小结

本章首先明确了相关研究中广泛使用的三类城市边界的定义，包括市区边界、城镇边界和实体城市边界。进一步地，基于现有公开数据，本章设计了三类边界的识别方法。对于市区边界，研究获取了中国县级行政边界，并结合民政部及《中国城市统计年鉴》公布的数据提取了市区范围；对于城镇边界，研究对全国村级行政单元进行了地理编码，并将其与城乡分类代码进行关联，从而近似绘制出基于城乡分类体系的城镇边界；对于实体城市边界，研究基于 CNLUCC 数据，运用城市聚类算法识别了全国实体城市边界，并结合 POI 和遥感影像等多源数据进行了修正与完善。

在此基础上，本章从空间、时间和政策决策三个维度对三类城市边界进行了比较，以分析其适用范围与数据特征。在空间维度上，研究利用 POI 数据、道路交叉口数据、高精度人口分布数据和城市 GDP 网格数据，探讨各类城市边界能否有效验证城市系统的等级-规模法则与规模法则；在时间维度上，研究分析了三类边界在构建长时序数据集方面的可行性；在政策决策维度上，研究讨论了各类边界与行政单元及城市管理单元之间的匹配程度，以评估其在城市治理与决策中的参考价值。

第5章 城市空地的识别

在过去几十年中，伴随着城市化和经济快速发展，城市内的建成环境发生了显著的变化。然而，在巨大成就的背后，也逐渐出现了一系列与城市化进程并行的现象，包括去城市化、人口流失等问题导致的土地利用不足，甚至土地空置的现象，产生了大量的城市空地（Kim, Miller and Nowak, 2018）。城市空地的产生并不仅限于人口流失的收缩城市，在出现在一些发展中的城市，其根源往往在于实际发展需求与土地开发之间的错配。在中国，城市空地的数量近年来呈快速增长趋势。这既体现为城市空间扩张与人口城市化进程之间的不平衡，导致大量低效利用土地和城市空地的出现；也表现为部分中小城市在经历收缩后，积累了大量被遗弃或利用率偏低的城市空间。

对城市空地的识别与分析不仅有助于理解城市发展的空间演变规律，更在应对当前城市所面临的诸多挑战中发挥着关键作用。城市空地往往意味着土地资源的空置甚至浪费，同时也可能引发一系列环境和社会问题，如土地荒芜、非法倾倒垃圾、社区安全隐患及房产价值下降等。因此，准确绘制和动态监测城市空地的分布特征，对于制定有针对性的干预政策，提升城市空间的复合利用效率和整体宜居性具有重要意义。

在此基础上，随着人工智能与大数据技术的发展，城市空地的研究与管理正迈入数据驱动的新阶段。机器学习、深度学习等算法能够处理海量的遥感影像和辅助数据，自动识别城市空地的空间分布、检测其时序变化。通过技术赋能，城市规划者和管理者能够更有效地激活低效空间资源，推动城市更新与可持续发展，进而实现更加包容、公正的城市增长目标。

在上述研究背景下，本章将构建“影像预处理—训练数据构建—识别模型比选—空地分布规律探究”的整合分析框架，以系统开展全国尺度城市空地的批量化识别与分布模式分析。本章的具体技术路线如图 5-1 所示。

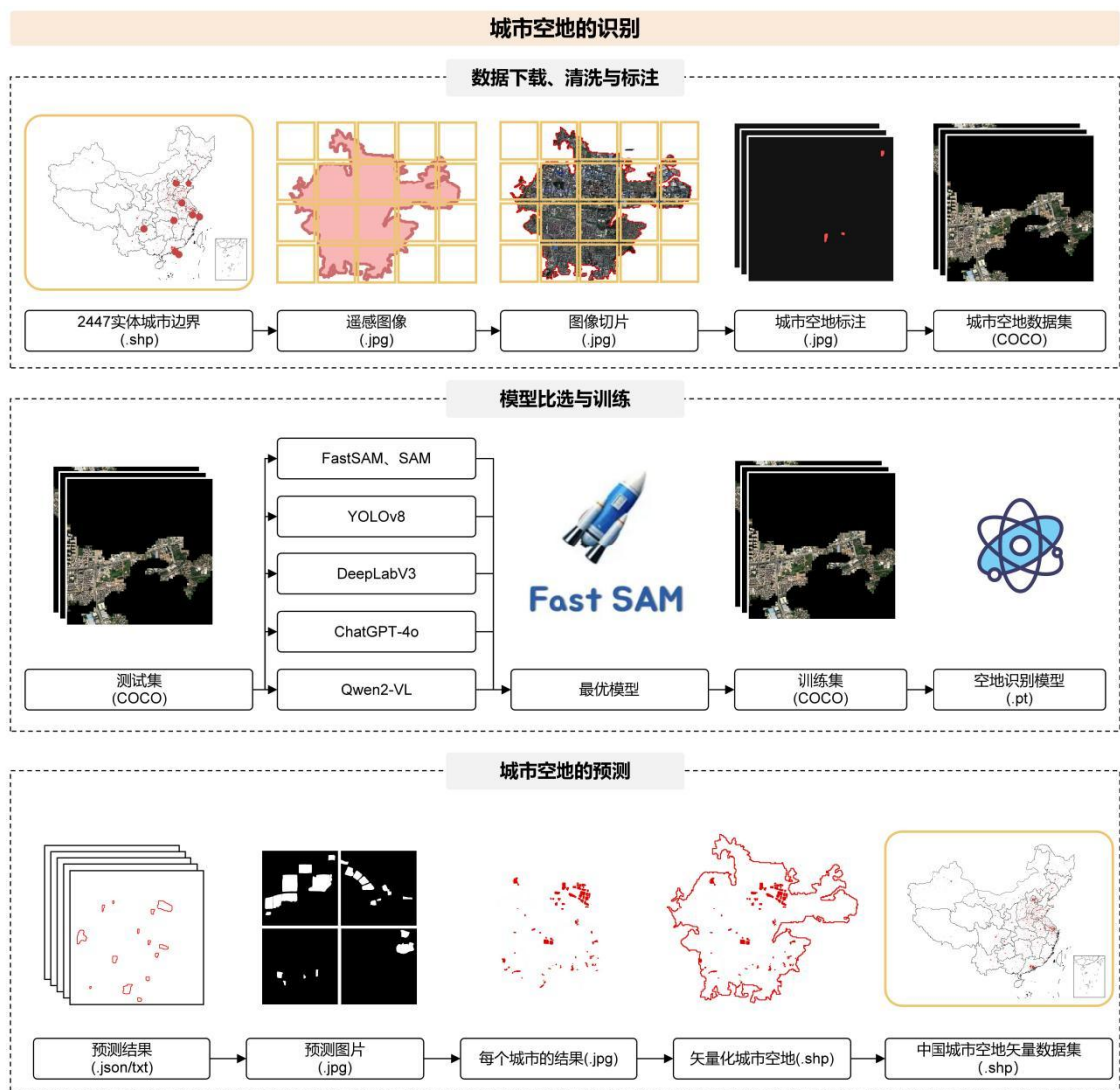


图 5-1 城市空地识别流程图

首先，研究以全国城乡建设用地分布与行政区划为分层依据，获取了覆盖实体城市范围的高精度遥感影像，并按城市尺度进行切片处理。随后，采用分层随机抽样方式选取部分切片样本，并通过 X-AnyLabeling 平台对约 10% 的样本实施精细化人工标注，构建符合 COCO 规范的训练数据集。在模型比选环节，通过多模型比选，最终确定采用 FastSAM 框架作为主干网络，并完成模型训练，获得适用于城市空地识别的图像深度学习模型。在此基础上，研究对共计 55670 张遥感切片进行批量推理，成功提取了全国 2447 座实体城市的像素级城市空地掩膜。研究利用 ArcPy 工具对识别结果进行栅格转矢量处理，结合去噪与城市边界叠合操作，构建了可直接用于统计分析和空间回归的城市空地矢量数据库。基于该数据库，进一步对城市空地的分布

模式进行了系统分析,总结其在不同城市类型、空间位置和发展阶段下的一般分布规律。本章所提出的研究流程在多源遥感影像、深度学习算法与空间分析方法的有机融合下,将实现全国尺度城市空地的自动化、高精度、批量化识别,为后续分布模式判读与空地演化预警模型构建奠定了数据基础。

5.1. 城市空地的遥感特征

识别和定义城市空地是城市规划和管理中的一项重要任务 (Xu and Ehlers, 2022; Smith, Li and Turner, 2017)。基于文献综述的讨论,城市空地通常指的是在城市内部,空间形态表现为空置状态,在功能属性上缺乏明确功能或既定用途的土地。这些土地上没有大量建筑物,也缺乏稳定的经济或社会活动。

在实际操作中,准确区分城市空地与其他类型的城市土地利用至关重要。商业、住宅、工业等用地通常具备明确的功能和人类活动特征,而城市空地则表现为功能缺失、处于闲置或废弃状态。这些差异在遥感图像中的空间形态与地表特征上具有可识别性,构成了实现高精度识别的基础。与其他空置土地和荒地相比,城市空地有其独特的特点。首先,它们位于城市建成区或城市边界内,这些区域通常是城市发展和扩展的潜在用地。其次,这些土地上没有太多建筑物,通常表现为开放的空间。此外,在这些区域内,缺乏稳定的经济或社会活动,包括公共空间中的交流、商业活动和其他功能利用,这使得城市空地在物理和功能上都表现出一种不活跃和不确定的状态。

为更准确地识别和界定城市空地,本研究在梳理现有文献的基础上,整合了多个研究中的定义与分类框架 (Smith, Li and Turner, 2017; Tu, Wang and Long, 2024),构建了一个包含六个类别的城市空地遥感识别体系。图 5-2 展示了基于高分辨率卫星图像的典型示例,对城市空地与非空地进行直观对比,并借鉴 Mao 等 (2022) 研究成果,将城市空地划分为六类:裸地、建筑拆除用地、废弃用地、早期施工用地(无建筑)、杂草覆盖地以及覆盖绿色防尘膜的土地。需要特别指出的是,部分非空地类型(如建成用地、耕地及林地)在遥感图像上可能因视觉特征相似而被误判为空地,因此在识别过程中应结合上下文信息和时间序列分析加以甄别,以提升识别的准确性和可靠性。



图 5-2 城市空地和非城市空地的典型遥感影像
(Mao et al., 2022; Tu, Wang and Long, 2024)

5.2. 数据预处理

5.2.1. 研究范围

基于第四章讨论,实体城市边界在城市空间分析中具有明显优势。因此,本研究基于实体城市边界,以 2447 个 5km² 以上的实体城市为研究对象,识别其内部的城市空地,以分析中国的城市空地变化,并为后续的城市空地预警以及应对方案研究支持。

5.2.2. 研究数据

本研究采用 Esri World Imagery Wayback 数据集作为城市空地识别的主要影像输入来源 (<https://livingatlas.arcgis.com/wayback>)。该数据集由全球领先的地理信息系统 (GIS) 服务提供商 Esri 提供,依托其长期积累的遥感数据整合能力和空间大数据处理平台,构建了一个具有里程碑意义的全球历史影像档案库。Wayback 影像服务自 2014 年启动以来,持续记录并存储了来自全球各地的遥感数据快照,使研究人员能够系统性地回溯过去十余年的地表变化过程。

从数据特征来看, Esri World Imagery Wayback 拥有多方面的优势。首先,它具备高空间分辨率(一般可达 1 米级别),能够清晰刻画建筑物、道路与地块形态,这为城市内部空地的精细识别提供了基础。其次, Esri 允许公共机构、商业公司以及个人用户贡献遥感影像数据,从而形成了一个覆盖全球的开放协作平台几乎囊括所有主要城市与区域,为跨区域的对比研究创造了条件 (Hou et al., 2021)。此外, Wayback 按时间顺序保存了影像快照,形成了相对完整的时间序列,不仅能够展示特定时点的地表状态,还能支持长期的城市动态演化分析。其数据采集和处理遵循统一标准,确保了影像的可溯源性与稳定性,有效减少了因数据来源差异而引起的偏差 (ESRI, 2025)。在数据获取与使用上, Wayback 提供了基于 ArcGIS 平台的交互式界面。研究人员可以直观地浏览和对比不同年份或月份的影像,并按需下载特定时段的数据。研究者还可以借助第三方软件实现批量下载,以满足大范围、多时段影像获取的需求。与此同时, Esri 也提供了基于 Python API 的编程接口,研究人员能够通过脚本化方式自动化调用和下载影像,从而提高数

据处理的效率与可重复性。

5.2.3. 数据下载与分割

遥感图片的分辨率对于图像深度学习的识别结果具有重要影响。Kupidura 与 Lesisz (2022) 的研究表明, 对于多数地物类别 (如裸地和低植被), 使用 2–5 米分辨率的影像可提升分类效果, 而当分辨率降低至 10–15 米时, 纹理特征的区分性明显削弱。Ardohain 和 Fei (2025) 的研究指出, 高分辨率样本在模型训练中能够增强对细节的敏感性, 即使在测试阶段应用于稍低分辨率影像时, 仍能保持较强的泛化能力。与此同时, 切片大小也关系到上下文信息的获取与模型的计算效率。若切片过小, 可能丧失地块与周边环境的空间关系, 从而影响识别准确性; 若切片过大, 则会增加 GPU 内存负担和训练时间 (Kampffmeyer et al., 2016)。Mao 等 (2022) 在城市空地识别研究中发现, 高分辨率影像能更好地捕捉小尺度空地与地块边界, 而当分辨率降低时, 模型的识别精度会明显下降, 并选择了约 1 m 分辨率的影像数据作为输入数据。

在上述讨论的基础上, 研究选择了约 1m 分辨率的高分辨率遥感影像作为输入数据, 以识别城市空地。本研究利用 Bigemap 软件 (<https://www.bigemap.com>) 下载了全国范围内所有实体城市边界范围内的 2023 年卫星遥感影像。下载过程中统一设置了空间分辨率等级为 17 级, 该等级在实际应用中约等同于 1.19 米的地面分辨率, 能够较为清晰地呈现城市建成环境的细部特征, 如道路纹理、建筑轮廓和城市空地边界。经过系统化下载与整合, 影像数据总体积达到约 1080GB, 为后续深度学习模型的训练与应用提供了原始数据基础。

为了适应深度学习图像分割模型的输入需求, 本研究在数据下载完成后, 采用 Python 3.7 和 ArcGIS Pro 软件 (包含 Arcpy 模块) 对原始影像进行了分割预处理。已有研究表明, 切片大小的选择对遥感影像语义分割性能具有显著影响。特别是对于约 1 m 分辨率的影像数据, Mao 等 (2022) 认为将原始影像划分为 2520×2520 像素的切片被认为是较为理想的设置, 不仅能够在空间尺度上保持地块及其上下文环境的完整性, 还能在计算资源可控的情况下实现高效训练与推理。该分辨率在空间尺度上既能保证对城市地块边界的完整呈现, 又便于在 GPU 环境下实现高效的批量训练与推理。在全国范围内完成分割后, 共获得 55670 张图像切片 (见附录 A), 它们构成了深度学

习模型输入的核心数据单元。

5.2.4. 数据清洗与人工标记

在获取遥感数据的技术上,研究进一步构建了标准格式的城市空地标注数据集,用于训练城市空地识别模型。考虑到人工标注在时间与人力成本上的巨大消耗,本研究并未对所有影像切片进行逐一标注,而是选择约 10% 的切片进行标注,共计 5548 张。

在样本选择方面,本研究并未采用完全随机抽样的策略,而是结合城市空地识别的研究目标,采用了基于空间代表性的优先抽样方法。具体而言,优先选择覆盖多个完整城市区域的影像切片,以确保样本能够充分反映不同城市规模、不同区域功能分布及多样化的地块类型。这一策略有助于增强训练数据在模型学习过程中的代表性和泛化能力。值得注意的是,理论上 10% 的切片应对应 5567 张,但在实际操作中,研究为保证样本在城市级别上的完整性,对抽样数量进行了微调,最终标注 5548 张。这一样本选择策略的优势在于:一方面,它在有限的成本条件下保证了数据集的规模与质量,为深度学习模型提供了充足的训练数据;另一方面,样本的空间异质性和地物多样性得以保留,使得模型能够学习到更具普适性的特征表达,提升了跨区域应用中的泛化能力。

在标注流程上,标注工作在 X-AnyLabeling-CPU 平台上完成(Wang, 2023)。该平台由 GitHub 开源发布,具备高度灵活与功能完备的标注能力,支持多种任务类型,如目标检测、图像分割、姿态估计等。平台集成了深度学习辅助标注功能(如 SAM 等模型),支持矩形框、多边形、折线与关键点等多种标注方式,具备批量数据处理、标注进度自动保存、任务分配、进度追踪等特性,可有效提升协作效率与数据管理能力。标注由训练有素的标注人员逐块描绘城市空地的边界轮廓。由于单个切片尺寸较大(2520×2520 像素),每张影像的标注平均耗时约 1.2–1.5 分钟。在保证高精度的前提下,标注者在标准工作日(8–9 小时)内通常可完成约 300–350 张图像切片的标注工作。按照这一工作强度,完成全部 5548 张图像的标注任务预计需耗时约 14 天。最终的标注成果如图 5-3 所示。

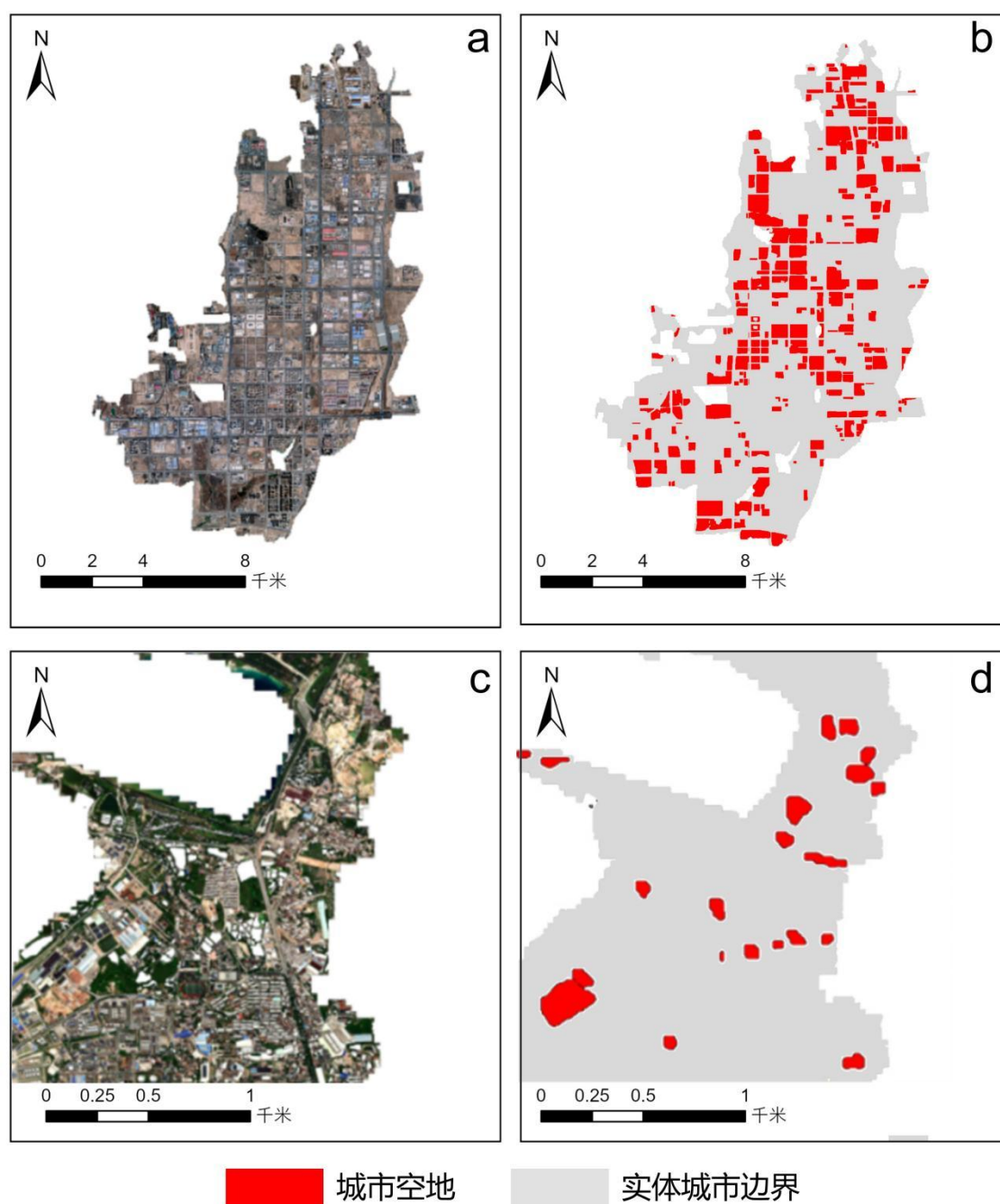


图 5-3 城市空地的标注结果

注：图 a 和 b 为兰州新区的遥感图像和城市空地标注结果。图 c 和 d 为某切片的遥感图像和城市空地标注结果。

在完成影像获取与人工标注后，本研究进一步构建了一个标准化的城市空地数据集。具体而言，研究团队对所有包含城市空地的影像切片进行整理，并依据 COCO (Common Objects in Context) 数据集格式创建了一个统一的

YAML 文件索引。COCO 格式作为当前计算机视觉领域最为广泛使用的数据组织与标注标准之一，具有结构清晰、兼容性强和功能丰富的特点，能够同时支持目标检测、实例分割与语义分割等多种任务。这种选择不仅提升了数据集的可扩展性和通用性，也为研究成果与国际主流深度学习框架的对接提供了便利。

在数据内容方面，本研究构建的城市空地数据集包含每个影像块的详细标注信息，包括空地的空间位置、矢量边界、面积大小等。这些信息通过矢量多边形与属性标签的形式进行存储，既保证了对地物空间特征的准确描述，也为后续的定量统计和模型训练提供了完整的数据输入。例如，研究人员可以基于这些标注数据快速计算不同城市或不同时段的地空地比例，从而实现从影像识别到城市空间分析的衔接。

在数据集构建过程中，本研究还引入了图像增强技术，以进一步提升有限样本的利用效率。具体方法包括对原始影像切片进行多种处理操作，如旋转、缩放、水平与垂直翻转、随机剪切以及仿射变换等。这些增强策略在保持空地空间特征不变的前提下，生成了大量具有不同姿态和视角的新样本，有效缓解了训练数据不足带来的过拟合风险。同时，增强后的数据能够帮助模型更好地适应不同场景下的光照、方向和尺度差异，提高了识别结果的鲁棒性和泛化能力。

5.3. 模型比选

5.3.1. 模型选择

本节首先梳理语义分割技术的发展脉络，为后续城市空地识别方法的选择提供参考。早期经典方法，如边缘检测、阈值分割与 K-means 聚类，在处理道路或单一纹理目标时具备实时优势，但面对高维、异质性的遥感影像则存在劣势。具体说来，边缘检测方法的核心思路是通过捕捉图像中像素灰度值的急剧变化，以定位地物边界。这类方法对于边界清晰、纹理单一的目标（如道路、水体）具有较好的检测效果，且计算效率较高，适用于低分辨率或处理速度要求较高的场景。然而，该方法对噪声较为敏感，若原始图像中存在大量的异常值，或边缘存在明显的噪点，会导致算法无法有效捕捉复杂形态的目标轮廓。阈值分割方法则依赖像素值在空间上的分布特性，通过设

定一个或多个灰度或光谱值的阈值，将图像划分为若干区域或类别。典型方法如 Otsu 阈值法，其通过最大化类间方差自动确定最优分割阈值，在目标与背景灰度差异显著的图像中表现良好。这些方法逻辑简单、执行快速，适用于对比度较高、目标与背景差异明显的影像。然而，在遥感图像中，地物光谱值常常存在显著重叠，导致阈值分割精度显著下降，尤其难以处理城市场景中空地与建筑、林地、耕地之间的细微差异。例如，在城市密集区，阴影与反射变化会带来干扰，从而影响阈值设定。即使采用多阈值策略，也难以全面捕捉城市边界内的土地与周边复杂地物之间的细微边界。K-means 聚类是一种典型的无监督分类方法，其基本原理是通过最小化像素与其所归属聚类中心之间的欧几里得距离，将图像像素划分为若干类别或“簇”。相较于有监督方法，K-means 不依赖人工标注样本，具备实现简单、运算效率较高、对初步结构模式具有良好探测能力等优势，因此在早期遥感影像分类与变化检测中得到广泛应用。其优势在于不依赖训练样本，能够发现图像中的潜在结构模式。但在遥感图像中，由于城市用地的图像特征高度不均匀，且缺乏一致的形态，K-means 常常难以形成语义一致的分类结果。

2012 年，卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）在图像识别任务中的突破性进展（Minaee et al., 2021），并在此基础上相继衍生出 FCN、DeepLab 等分割算法。相较于传统图像处理方法，CNN 能够通过多层卷积结构自动学习图像中的空间特征与语义表示，从而显著提升图像分割的精度。在 CNN 的基础上，Fully Convolutional Network（FCN）将传统的全连接层替换为卷积层，使模型能够接受任意尺寸的图像输入并生成对应大小的像素级分类结果。随后，DeepLab 系列模型进一步引入空洞卷积（dilated convolution）以扩大感受野，并结合条件随机场（CRF）进行后处理，在上述算法的基础上有效提升了分割精度。尽管 FCN 和 DeepLab 系列模型能够提取更深层语义特征，然而 CNN 系列模型（包含 FCN 和 DeepLab）架构本质上仍受限于固定且局部的感受野，在复杂遥感影像的识别中仍存在一定局限。

自 2020 年起，基于注意力机制的 Transformer 架构迅速在计算机视觉领域兴起，成为图像语义理解的重要方向。其中，CLIP（Radford et al., 2021）通过大规模图文对比预训练，实现了对图像与自然语言的统一多模态表征，极大拓展了模型的泛化能力。Segment Anything Model（SAM）（Kirillov et al., 2023）在 11 亿张图像及其对应掩膜的大规模预训练基础上，形成了强大的零样本分割能力，能够在不经过额外调优的情况下对陌生目标进行分割

(Kirillov et al., 2023)。然而,其 24 亿参数规模对显存容量和计算资源提出了极高要求,限制了其在个人级硬件环境中的应用。为降低资源门槛, FastSAM 在保留 SAM 提示式分割框架的同时,采用 YOLOv8 作为主干网络,并仅使用预训练数据集 2% 的样本进行再训练,最终将模型体积缩减至 68–600 MB;该模型可在单张 RTX 显卡上于百余分钟内完成完整训练,在识别任务中兼具零样本适应性与轻量化部署优势 (Zhao et al., 2023)。

与此同时,基于 transformer 架构的 ChatGPT、Qwen 等大型多模态模型 (Large Multimodal Models, LMM) 在跨模态推理、语言生成与视觉理解任务中表现优异,具备强大的知识整合与上下文理解能力。例如, ChatGPT-4o 在 GPT-4 架构中融入高分辨率视觉编码器,能够解析自然语言描述并自动生成分割脚本及后处理流程,但其像素级分割仍需调用外部视觉模型完成。Qwen2-VL 通过混合指令微调与对齐学习,在 340 亿参数规模下实现了更强的跨模态推理与代码生成能力;受限于显存消耗及输出稳定性,该模型目前更适用于高层语义解析或算法辅助。然而,尽管这些模型在通用 AI 任务中表现出色,但目前尚难直接完成针对城市空地的高精度遥感影像分割。

Transformer 架构的兴起也对 CNN 系列模型的发展产生了推动作用,促进了两者的融合与互补。YOLO (You Only Look Once) 系列模型作为基于 CNN 的目标检测框架,并在 YOLOv1—v3 中以卷积神经网络作为主要特征提取结构。同 FCN、DeepLab 等语义分割模型不同,YOLO 的核心任务是实现目标的快速检测与定位,其在保持较高精度的同时显著提升了推理速度。随着发展,YOLO 系列逐渐在后续版本中引入部分 Transformer 模块,使其在检测与分割等多任务中具备更强的表现力。该模型在普通桌面级 GPU 上即可对大规模城市遥感影像实现近实时处理 (Jocher, Qiu and Chaurasia, 2023)

围绕本研究需求,本文遴选了六种具有代表性的模型进行比选,他们分别是 DeepLabV3、YOLOv8、SAM、FastSAM、ChatGPT-4o 与 Qwen2-VL,具体信息如表 5-1 所示。

表 5-1 不同模型的特征对比

模型名称	核心特点	参数规模	训练/运行资源需求	适用场景
DeepLabV3	经典 CNN 语义分割模型，具备较强的语义提取能力	中等	桌面 GPU 可运行	标准遥感分割任务
YOLOv8	集成目标检测与语义分割，支持 Mosaic9 增强，推理速度快	中等	桌面 GPU 可运行	高效处理大规模影像
SAM	基于 11 亿图像的预训练，支持零样本提示式分割	24 亿	需高端 GPU(A100)	零样本图像分割
FastSAM	轻量化 SAM 版本，YOLOv8 为主干网络，适配桌面级 GPU	68–600MB	桌面 GPU 可训练	低资源环境下部署
ChatGPT-4o	具备图文推理与代码生成能力，支持流程自动化	未公开（GPT-4 架构）	需调用外部视觉模型	任务理解与流程生成
Qwen2-VL	支持跨模态推理与语言输出，适合高层语义任务	340 亿	资源消耗大	跨模态任务辅助

5.3.2. 比较方法

比较的具体流程如图 5-4 所示。为了量化评估上述模型在城市空地识别任务中的适用性，本文基于前述构建的遥感数据集开展实验。该数据集共包含 2116 幅高分辨率遥感影像（分辨率为 2520×2520 像素），并按照 4 : 1 的比例随机划分为训练集与验证集，以确保模型训练的代表性与评估的稳定性。

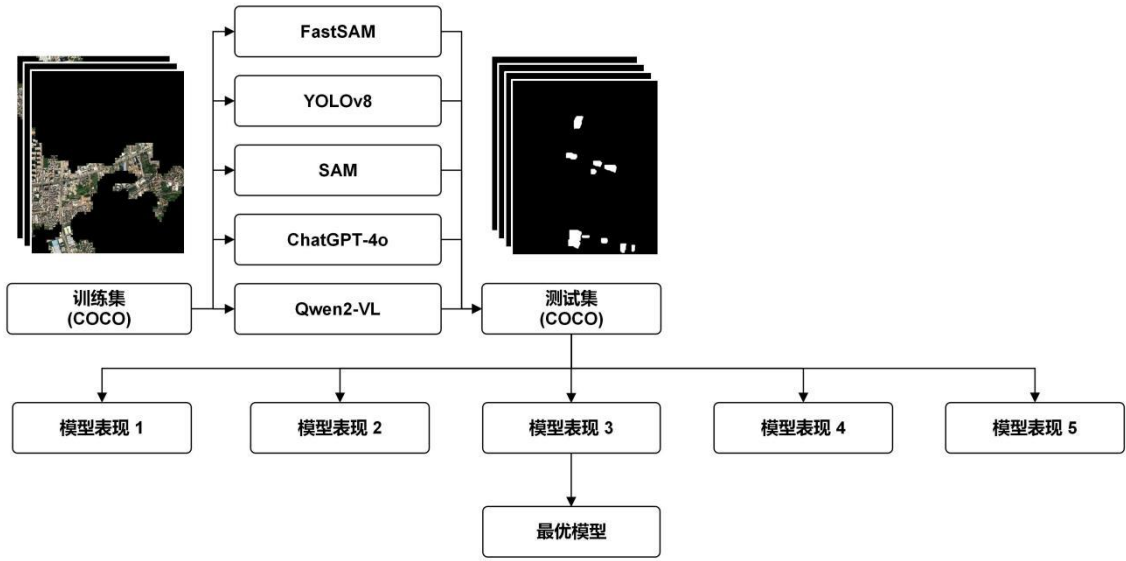


图 5-4 模型比较与预测的流程图

鉴于 Segment Anything Model (SAM) 在完整训练过程中对硬件资源的要求极高, 需配置多达 256 张 A100 GPU, 远超本研究的算力条件, 因此本文采用其官方发布的预训练权重直接进行推理测试, 以评估其在城市空地识别中的零样本适应能力。对于大型多模态模型 (LMM), 如 ChatGPT-4o 与 Qwen2-VL, 则不侧重于像素级分割效果的量化评估, 而主要考察其在任务理解、推理稳定性及辅助分析流程构建方面的表现, 以探索其在遥感智能应用中的潜在支持价值。模型的比较标准为, 在桌面级 GPU 环境下, 对各模型统一训练 100 个 Epoch, 并以 F_2 -score (F_2 分数) 作为主要评价指标。 F_2 分数是测试深度学习模型准确性的一个指标。具体的 F_2 分数公式为:

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \frac{Precision \cdot Recall}{\beta^2 Precision + Recall}, (\beta = 2) \quad (5-1)$$

其中 Precision 指精确率, 是真正例的数量除以真正例和假正例的总和, 即用于评估模型的准确程度。

Recall 指召回率 (也称为灵敏度) 是, 真正例的数量除以真正例和假负例的总和, 即用于评价模型的查全程度。

F_1 -score ($\beta = 1$) 即二者的调和平均值。然而在实际应用中, 查全率与准确率的重要性并不对等。相较于模型的准确性, 本研究更强调其对城市空

地的全面识别能力，因此采用 F_2 -score 指标，即将查全率的权重设为准确率的 2 倍。

5.3.3. FastSAM模型实现了多维度的平衡

各个模型的计算时间以及 F_2 -score 运算结果如表 5-2 所示。实验结果如图 5-5 所示（以 3 个样例为例）。实验结果表明，在保证精度处于可接受范围的前提下，YOLOv8 与 FastSAM 两个模型的识别效率表现较高。在使用单张 RTX 显卡的测试环境下，两者均可在一小时内完成对训练集的全部训练任务。其中，YOLOv8 在语义分割任务中的平均推理速度相较于 DeepLabV3 提升约一个数量级，使其更适合大规模城市遥感影像的处理。FastSAM 作为 SAM 框架的轻量化衍生版本，基于 YOLOv8 主干结构进行了微调，在识别速度、算力需求与模型精度之间实现了较好的权衡，特别适合资源受限场景下的部署需求。

相较而言，Segment Anything Model (SAM) 具备较强的零样本迁移能力，其无需针对具体任务进行再训练。这一特性在识别多种目标，或在训练样本匮乏的情景下具有优势。然而，实验中也发现，SAM 在城市遥感影像的分割任务中存在一定局限：其推理耗时较高，不适合大规模自动化处理。此外，若需提升其适配性与精度，重新训练模型所需的算力成本极高，限制了其在通用科研与应用实践中的可及性。

对于大型多模态模型 (LMM)，如 ChatGPT-4o 与 Qwen2-VL，尽管其并非专门为图像分割任务设计，但在实验中表现出一定的辅助潜力。二者在理解自然语言任务描述、自动生成图像处理流程代码（如 Python + OpenCV 或 GIS 分割脚本）方面展现出良好能力，为用户提供了从“任务描述”到“初步工具调用”的高效连接。然而，其在遥感图像分割中的直接表现仍存在不足，尤其是依赖提示词 (Prompt) 的零样本分割结果存在不稳定性。一方面，模型难以直接完成对图像的语义分割，需要多次强调，并重复要求才能使模型完成识别任务，获得的识别结果精度较不理想。另一方面，不同表达方式可能导致模型输出差异较大，这使得模型的识别结果的鲁棒性较差，缺乏可重复性和系统性，即运用相同或相似的 Prompt 进行重复提问，会获得多种不同的结果，这限制了识别结果的可比性。

因此，当前 LMM 尚不具备直接进行批量遥感图像处理的能力，难以适应城市级别数据集的规模化需求。尽管其在语义解析、任务规划与辅助标注

场景中具有一定前景，但在图像分割方面需要进行调参与修正，方能成为主力方案。需要强调的是，这并不意味着 LMM 无法应用于遥感分割任务，而是由于其泛化性与通用的设计初衷，导致模型在直接面对高分辨率遥感影像时难以充分捕捉到地物的精细边界与复杂纹理特征。要使其在此类任务中发挥作用，往往需要进行复杂的超参数调整与任务特定调优，包括分块切片方案、提示词设计以及与下游分割网络的协同优化等（Wu et al., 2025）。这些额外的调参过程会显著增加实验复杂度。

在现阶段，LMM 更适合作为图像分割的辅助工具，其优势主要体现在帮助研究人员进行代码调试、算法修改与模型解释，而非直接承担大规模分割任务的主力角色。例如，研究人员可以利用 LMM 在自然语言交互上的优势，快速理解和定位模型运行过程中的报错信息，生成特定任务所需的代码模板，甚至在一定程度上参与数据标注和结果解释，从而提高整体研究效率。此外，LMM 还可以在实验方案设计与流程优化中发挥作用，例如自动生成影像预处理脚本、推荐合适的超参数配置、解释不同分割算法的优劣，从而降低初学者或跨学科研究人员进入遥感图像分割领域的门槛。随着模型能力的提升，LMM 也有望在任务管理与人机协作中承担更重要的角色，为大规模遥感影像的处理提供间接支持。

结果显示，FastSAM 的 F_2 -score (0.75) 略低于 DeepLabV3，却显著优于后者在算力与时间上的消耗；与 YOLOv8 相比，FastSAM 保留了点-框-文本 prompt 的零样本灵活性，可在新影像或分辨率升级时通过少量标注快速适配，更契合本研究面向全国尺度的动态监测需求。相比之下，ChatGPT-4o 和 Qwen2-VL 并未直接输出像素级掩膜，二者更倾向于生成分割脚本或分析性文本，或给出语义解释及示例代码。

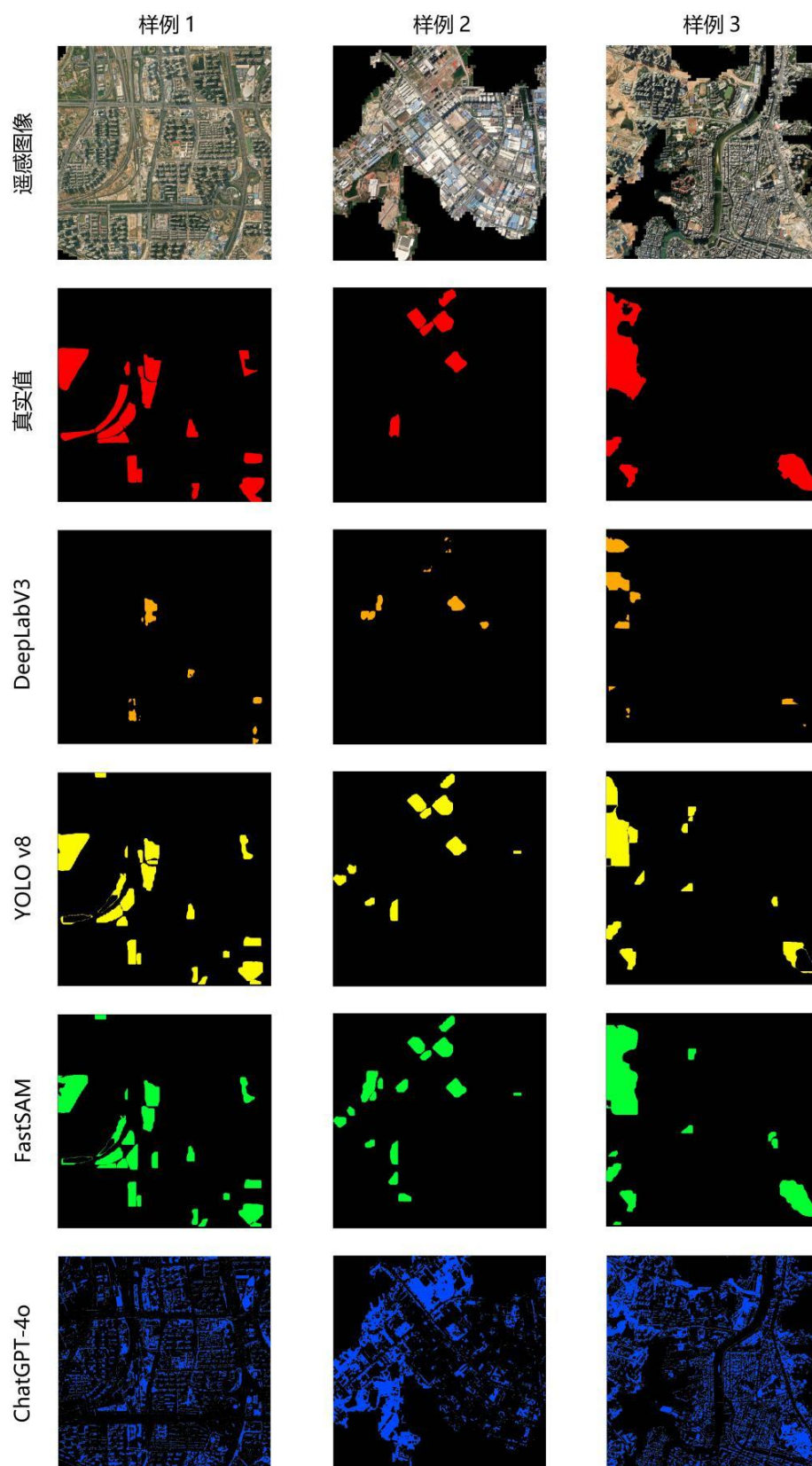


图 5-5 不同模型的城市空地识别结果示例

表 5-2 不同模型识别城市空地的表现

模型	核心机制	零样本能力	训练时长 (100 epoch)	推理时间 (单图)	F ₂ -score	主要特点
DeepLabV3	CNN	否	≈ 100 h	≈ 1 s	0.86*	精度最高， 计算量大
YOLOv8	CNN	否	≈ 40 min	≈ 0.06 s	0.76	速度最快， 文档完善
SAM	Transformer	是	—	≈ 3 s	—	零样本，需 超算
FastSAM	CNN+Prompt	是	≈ 40 min	≈ 0.06 s	0.75	轻量化，易 于部署
ChatGPT-4o	LMM	是	—	—	—	擅长代码， 分割不稳定
Qwen2-VL	LMM	是	—	—	—	跨模态理 解，需要外 部算法

注：DeepLabV3 的 F₂-score 引自 Mao 等（2022）在 36 个城市的实验结果。

综合比较可见，FastSAM 兼顾了精度与部署成本，是在典型个人 GPU 环境中应用最具可行性的方案，本研究最终选择 FastSAM 作为核心识别模型。FastSAM 模型是基于元的 Segment Anything Model（SAM）的简化版本，旨在在显著提高处理速度的同时保持准确性（Zhao et al., 2023）。够在极短的时间内处理和分割大量图像，适用于实时应用场景，如自动驾驶和视频监控。通过引入注意力机制和多尺度特征融合，FastSAM 提供了精确的分割结果，即使在复杂的图像场景中，也能准确捕捉到细小的物体边缘和复杂的背景，其分割精确度同 SAM 模型几乎没有差距（图 5-5）。FastSAM 的设计兼顾通用性和灵活性，支持多种图像分割任务，包括语义分割、实例分割和全景分割，广泛应用于自动驾驶、医疗影像分析和遥感影像处理等领域（Zhang et al., 2023;Kong et al., 2024）。轻量级设计使其在资源受限的环境中也能高效运行，如移动设备和嵌入式系统。该模型采用了 YOLOv8 架构进行训练，在视觉相关任务中实现了显著的计算速度提升，而不损害通常在

工业应用中所需的准确性。FastSAM 解决了原始 SAM 模型的计算开销问题，特别是由于在高分辨率输入中使用 Transformer 架构而导致的问题。通过将任务重新定义为更简单的段生成和提示机制，并使用常规的卷积神经网络（CNN）与实例分割分支，FastSAM 能够提供与 SAM 相当的性能，但在相同的硬件设置下运行时速度提高了 50 倍。更多信息可见：<https://github.com/CASIA-IVA-Lab/FastSAM>。

5.4. 基于FastSAM模型的训练和预测

5.4.1. 最优识别模型的训练

本节利用前文构建的城市空地数据集，基于 FastSAM 模型开展了城市空地识别任务的训练。在具体应用中，本研究采用 FastSAM-X^①模型。训练数据来源于本研究构建的城市空地遥感数据集，按照 COCO 格式标注，包含掩膜信息。模型训练在单张显卡上进行，共设定 100 个 Epochs^②。在上述基础上，为提高模型稳定性与泛化能力，本研究独立训练了 10 个 FastSAM-X 模型，并基于验证集性能指标（IoU、F₂ 值）选取其中表现最优的模型作为最终城市空地识别模型。

图 5-6 展示了最优城市空地识别模型在不同置信度阈值下的 F₂-score 变化趋势。置信度（Confidence）是深度学习模型在进行分类或检测任务时，对其预测结果可靠性的度量，通常以 0 到 1 之间的概率值表示。在本研究中，置信度用于衡量模型判定某区域是否为空地的信心程度。例如，当模型输出某像素或地块为空地的置信度为 0.85 时，意味着模型有 85% 的信心认为该区域应被归类为空地。当阈值设定较低时，模型会输出更多候选空地，从而提高整体的召回率（Recall），但同时也可能引入较多的误判，导致精确（Precision）降低。相反，当阈值设定较高时，模型只会在非常有把握的情况下才给出预测结果，此时精确率上升，但召回率往往下降。这种权衡直接体现在 F₂-score 与置信度的相关趋势中。

从图 5-6 中可见，随着置信度阈值的逐步提高，F₂-score 曲线呈现出“先上升、后下降”的趋势。当置信度阈值设定为 0.184 时，模型的 F₂-score 达

① FastSAM-X 是 FastSAM 模型的增强版的高效图像分割模型。

② Epochs 指的是将整个训练数据集在神经网络中完整地训练的次数，即模型的重复训练次数。多个 Epoch 的训练有助于提高模型的性能。随着训练的进行，模型逐渐学习到数据的特征和模式，因此经过多个 Epoch 的训练后，模型通常会表现得更加准确和稳定。

到峰值 0.80,此时精确率与召回率之间实现了最佳平衡。这一结果表明,0.184 是当前模型在城市空地识别任务中最优的置信度设定,有助于在保持高召回率的同时,避免过多的误报,从而提升整体识别的鲁棒性。基于最优置信度的城市空地识别结果如图 5-7 所示。

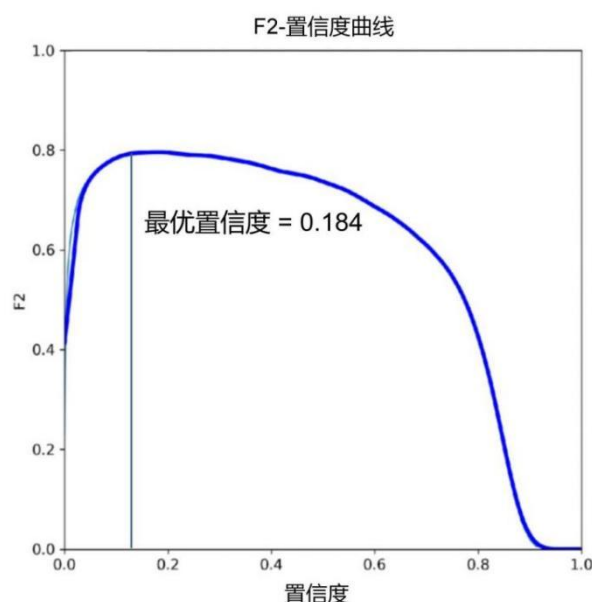


图 5-6 最佳城市空地识别模型的 F_2 -置信度曲线



图 5-7 基于最优置信度的城市空地识别结果

注：红色框表示每个城市空地的范围。红色掩码代表城市空地。每个框顶部的数字是每个城市空地的置信度。

5.4.2. 基于最优模型开展城市空地识别

基于图 5-6 中 F_2 -score 的评估结果,本研究选取置信度阈值 0.184 作为

最优超参数，并据此对所有遥感影像切片进行了城市空地识别推理。在此基础上，本研究完成了对 55670 张影像切片的推理工作，其整体流程如图 5-8 所示。推理阶段包括图像加载与预处理、模型调用与掩膜生成、结果过滤与后处理等关键步骤。推理过程在配置有个人 GPU（NVIDIA RTX 系列）的计算设备上完成，运行环境为 CUDA 11.8 与 PyTorch 2.0.1，总耗时约 10 小时。

在模型推理结束后，所有 55670 张影像切片均生成了对应的空地预测结果（见附录 B），这些结果以 txt 文本的形式展示。研究使用 ArcGIS 10.8 及其附带的 Python 模块 ArcPy 对预测图像结果进行空间化处理。研究将预测文本转换为掩膜（Mask, jpg 格式）格式文件。掩膜文件以像素值的二值化形式存储预测结果，其中空地像素标记为正类，其余区域标记为负类。在此基础上，研究进一步结合原始遥感影像的地理位置信息，将掩膜结果重新投影至实际的地理坐标系中。通过这一操作，每个像素的空间位置都能够与地理坐标一一对应，从而确保后续的空间叠加与城市尺度统计的准确性。随后，利用栅格转矢量（Raster-to-vector）算法，将掩膜中的连续像素区域转换为多边形矢量边界，并生成 Shapefile。

最终所有预测图像均被成功转化为空间精度较高的地理信息数据，构建了标准化的城市空地矢量数据集，并汇总形成“中国城市空地矢量数据库”。该数据库为后续的城市空地预警与政策分析提供了高质量的空间数据基础。

为进一步验证模型在实际应用中的有效性与鲁棒性，本研究选取了 6 个具有代表性的遥感影像切片，对最优城市空地识别模型的输出结果进行了可视化展示。在对比实验中，首先利用人工标注结果作为“标注结果”，然后将模型预测结果与人工标注进行叠加比对。对比过程中重点考察两个方面：其一是模型在语义层面的理解能力，即能否正确识别出空地的类型与空间分布；其二是模型在几何层面的边界刻画能力，即预测的空地边界是否能够与人工标注保持较高一致性。

如图 5-9 所示，模型预测结果与人工标注在绝大多数区域呈现出较高的一致性。直观比较表明，模型能够准确还原空地的形态与空间范围，尤其在边界清晰、背景复杂的城区环境下，依然保持了良好的识别精度。尽管在个别地块边界存在轻微偏差，或在少数噪声区域出现误判，但整体趋势显示模型具有较强的泛化能力和稳定性。

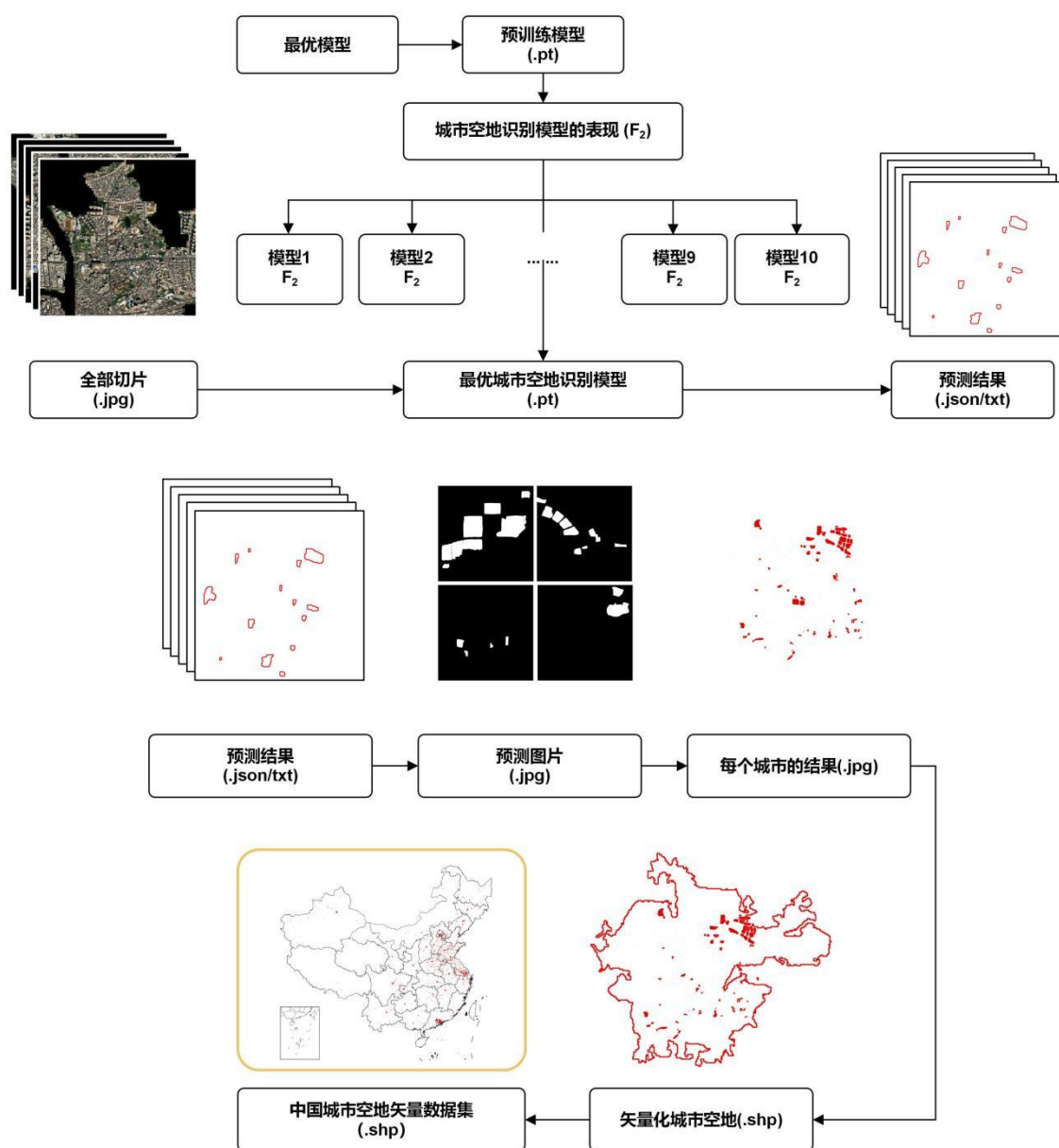


图 5-8 城市空地识别的流程图

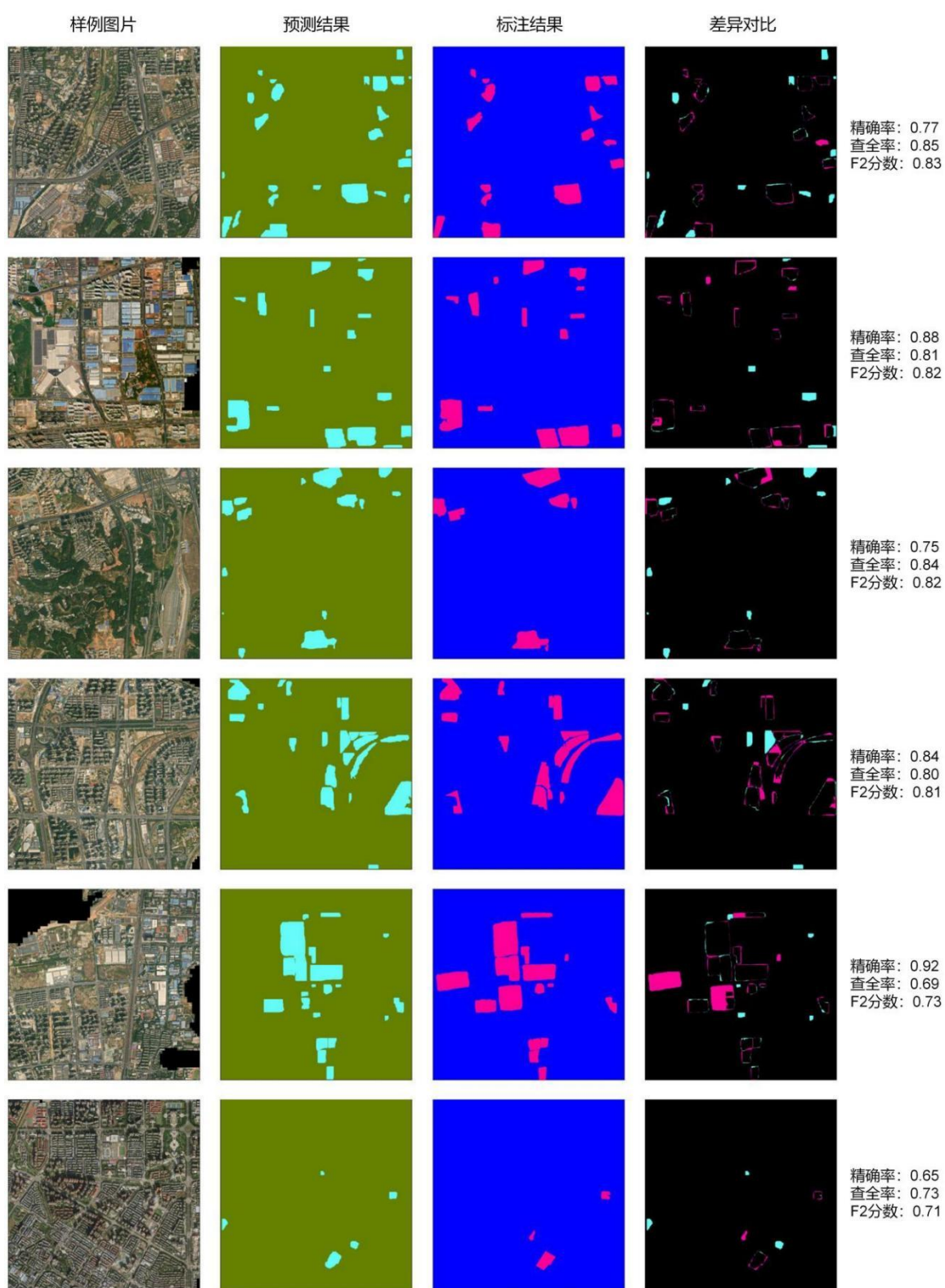


图 5-9 六个样本中预测结果与标注结果的对比

注：每个样本的召回率（Recall）、精确率（Precision）和 F₂分数显示于图右侧。

5.5. 城市空地的识别结果

5.5.1. 全国的城市空地识别结果

最终，本研究基于 FastSAM 模型在全国 2447 个实体城市范围内完成了城市空地的系统识别，共计提取出 204769 个城市空地。这些空地在空间上呈现出高度的分散性与异质性，既包括位于中心城区的细碎地块，也包括城市边缘较大规模的城市空地。从总量上看，中国城市空地的累计面积约为 4442.1 平方公里，全国的城市空地率为 4.78%。本研究选取了四个样例城市，绘制其城市空地的空间分布（见图 5-10）。其他代表性城市的结果见附录 C。

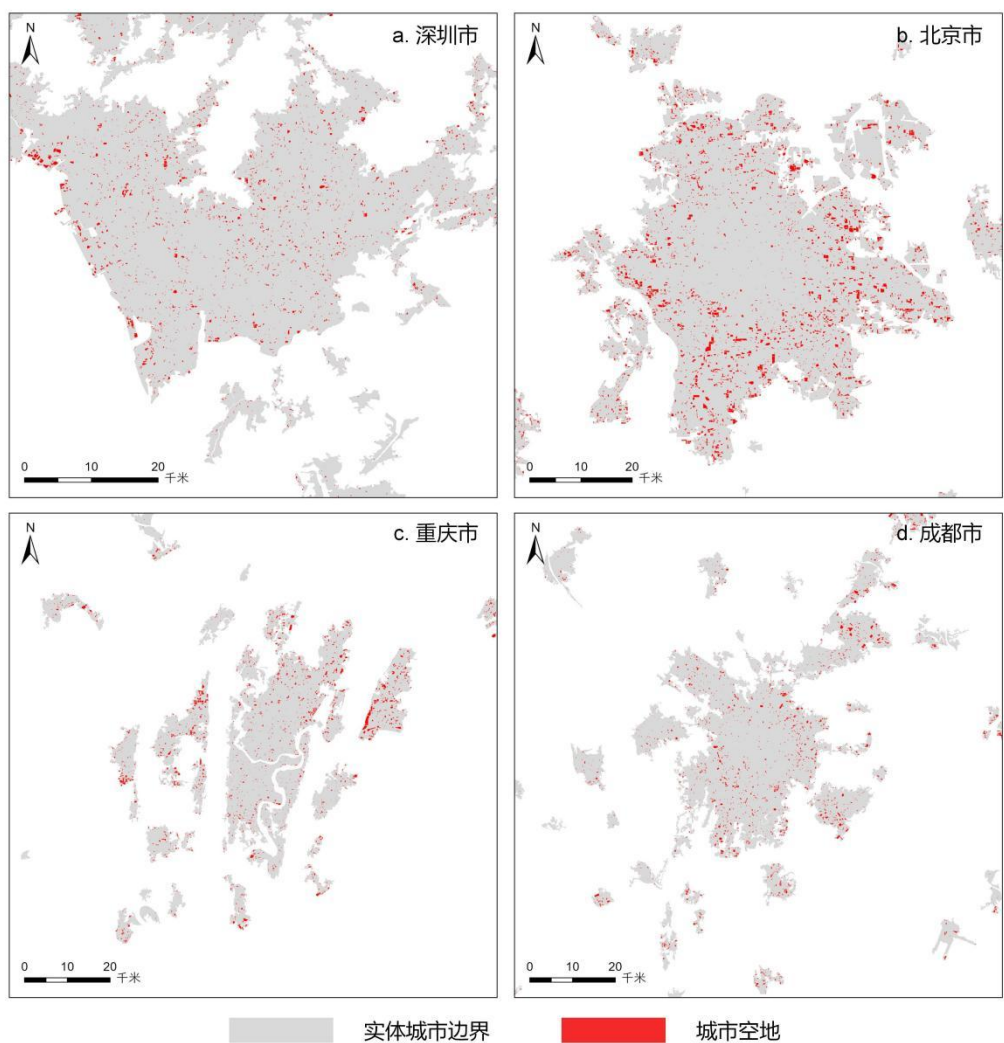


图 5-10 以四个城市为例的城市空地识别结果

注：图中居中展示的部分为该市区范围内面积最大的实体城市单元。

城市空地在空间形态、规模大小与分布格局上存在一定差异。如北京市和成都市的城市空地在一定程度上集中于远离城市核心区的位置。北京的空地主要分布在四环以外的区域地带，成都也表现出类似的特征。相比之下，深圳市的城市空地分布则更为离散与均衡。由于深圳在城市化进程中形成了多中心结构，且各区之间发展较为均衡，空地既可能出现在中心城区，也可能出现在产业转移后的外部片区。

5.5.2. 全国城市的城市空地率识别结果

图 5-11 展示了基于识别结果计算得到的城市空地率。具体方法是以每个城市识别出的空地总面积与对应实体城市面积之比来衡量。

从总体分布来看，全国大部分城市的空地率处于 6% 以下，说明多数城市的空地在实体城市区域中仅占较小比例，空地问题在空间上表现为局部性和零散性。在地图上，这部分城市以绿色和蓝色标记为主，呈现出广泛而均匀的分布。然而，也有少数城市的空地率明显偏高，超过 10% 甚至 20%，这些高值城市在图中以红色表示。

中国城市空地率在整体水平上具有一定的共性，但在区域层面呈现出一定的差异性。具体来看，西北地区（如新疆、甘肃、宁夏等省区）以及中部的江西、安徽等地均存在较为密集的高空地率城市。这些区域往往伴随经济增长放缓、产业转型滞后和人口外流等现象，导致土地利用效率下降。与之形成对比的是，东部沿海、中原地区及核心城市群地区的空地率普遍较低，集中在 0%~4% 的水平。这些区域土地利用紧凑、开发强度较高。

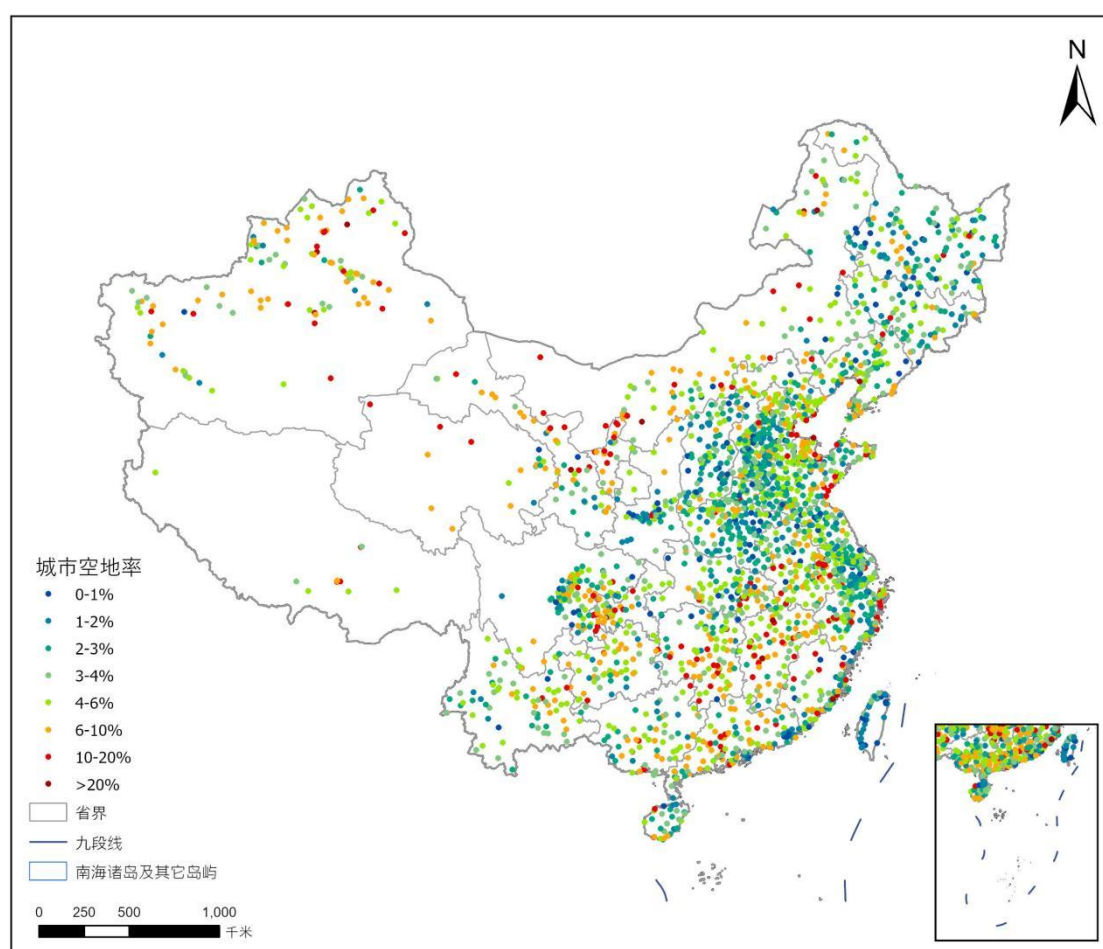


图 5-11 中国实体城市单元的城市空地率分布

注：图中每个点代表一个实体城市单元，不同的颜色代表空地率的大小。

5.6. 实地调研评估数据准确性

为验证城市空地识别结果的可靠性与精度，本研究在赤峰市范围内选取了一处区域作为测试区，开展实地验证工作。研究团队首先基于模型识别结果获取了研究区域内的空地数据，并在此基础上随机抽取部分样本点，用于后续的人工调研与现场核查。此方法能够检验模型识别的准确性与适用性，以评估识别过程中可能存在的遗漏与误判。

在具体的实地调查过程中，研究团队发现多数空地位于相对封闭的区域，例如围墙或临时围挡之内。因此，为获取影像资料，调查人员需要使用带有长杆的相机，将设备伸入封闭区域以完成拍摄。此外，部分空地周边环境较为荒凉，存在建筑垃圾或生活垃圾的堆放，局部区域甚至有杂草丛生、卫生条件欠佳的情况。基于此，调查人员在核查过程中需佩戴口罩和防护手套等

基本防护装备，以降低潜在的健康风险。

研究开展了针对两个城市的调研工作。研究人员于 2025 年 9 月内蒙古赤峰市开展了针对 20 个空地的调研工作。整个调研工作由两名调查人员共同完成，出行方式为乘坐出租车，调查耗时约 1 天。在这 20 个样本点中，识别结果总体表现良好，仅发现 2 个识别错误，即将一处隶属于绿化局管理的绿地误判为空地，其余 18 个样本点均为真实空地。在这 18 个空地中，大多数被植被所覆盖，并伴随部分的围墙遮挡，表明这些空地处于相对长期闲置或未开发的状态。图 5-12 展示了其中 5 个典型样本点的实地调查照片，通过直观对比可以看出模型识别结果与现场观察情况之间的一致性。

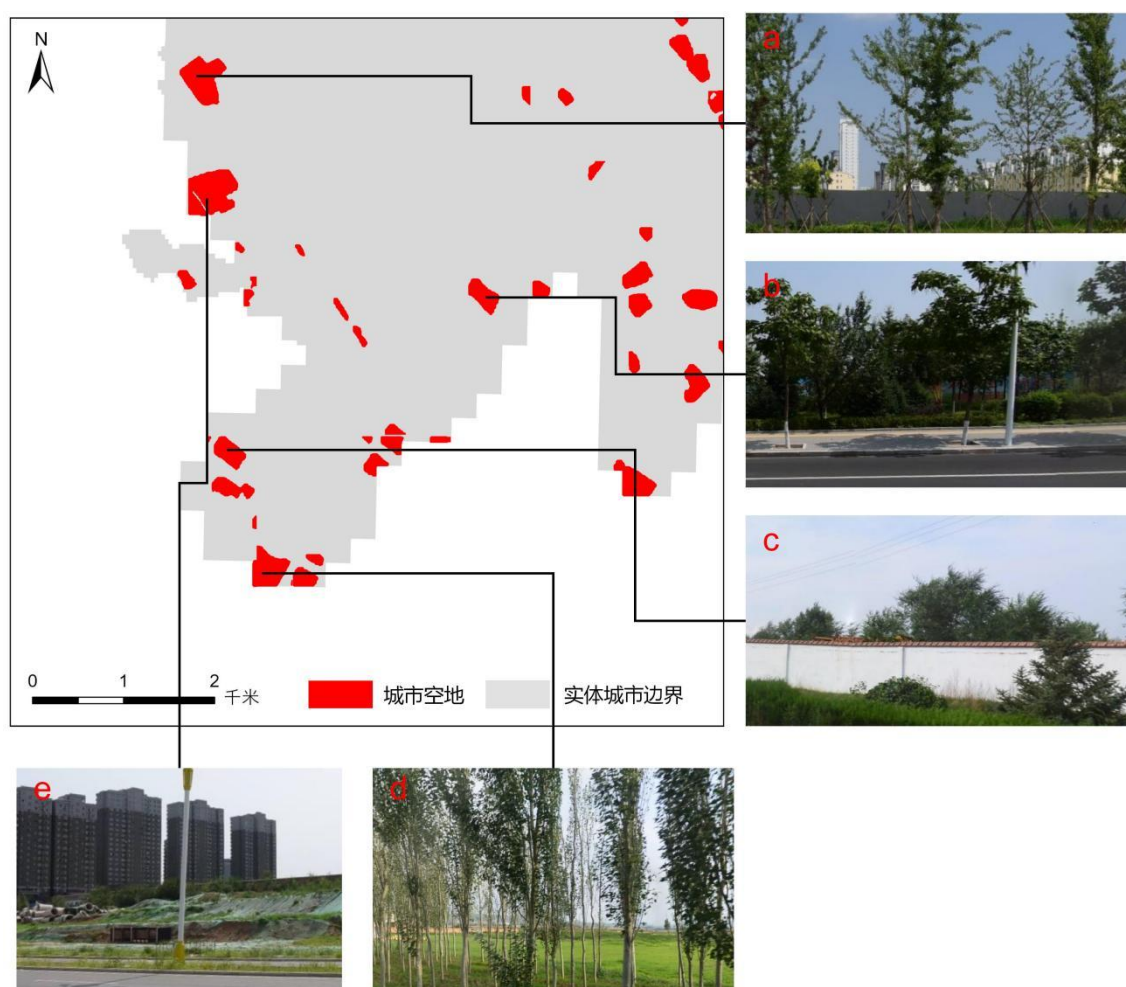


图 5-12 赤峰市的实地调研结果

注：图中红色区域表示基于模型自动识别得到的城市空地范围。其中，图 a-e 展示了测试区内 5 处典型的验证区域。图中的城市空地中，共有 20 处被用于验证。图中 5 处验证区域全部证实为城市空地。

此外，研究依托于西宁市城市更新项目，于2023年7月开展了针对西宁市的城市空地调研工作。整个调研工作由四名调查人员共同完成，采用汽车搭载采集设备（图5-13）对市区街道进行街景影像采集，并在4天内完成了全市街道空间数据的获取。

基于上述数据，研究在西宁市城中区随机选取了15片城市空地进行实地核实。结果显示，该区域的城市空地识别总体准确性较高，仅有2处样本存在识别偏差，其中一处为在建项目，另一处为园林绿化用地（样例见图5-14）。西宁市的城市空地多位于可达性较差的区域，如高速公路沿线、桥下空间以及断头路附近。此外，还发现部分地块属于政府储备用地，典型代表为青海省国际会展中心周边的大面积空地（图5-14d和图5-14e）。

实地核查结果显示，本研究提出的城市空地识别方法在大多数情况下能够有效捕捉实际空地形态。这一结果不仅验证了方法本身的适用性，也进一步证明了全国城市空地数据集的可靠性。

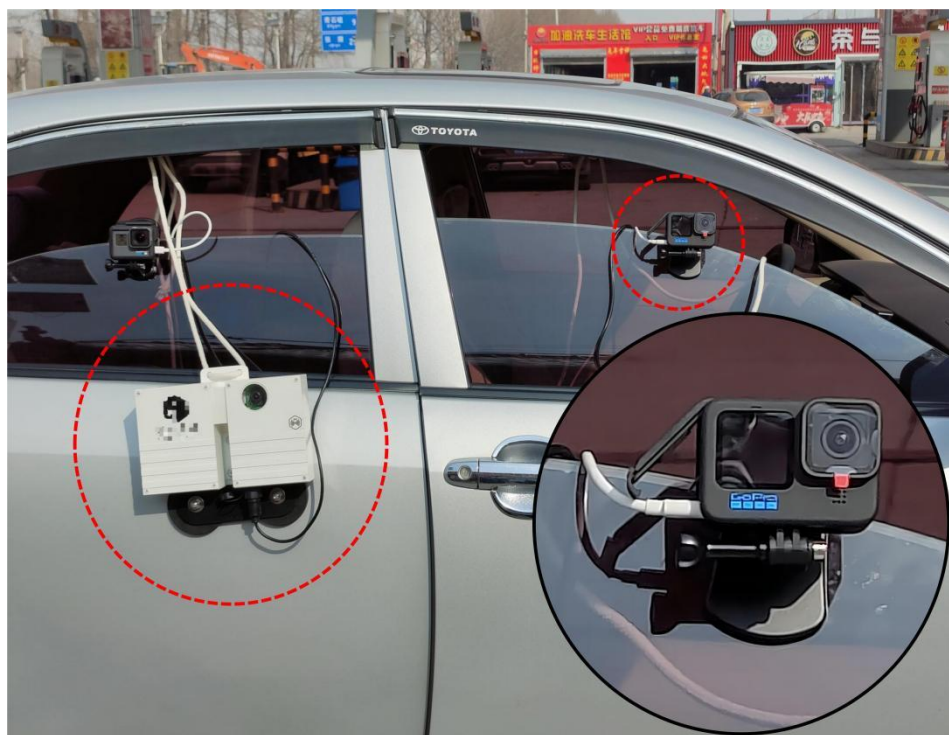


图 5-13 西宁市实地调研所搭载的设备

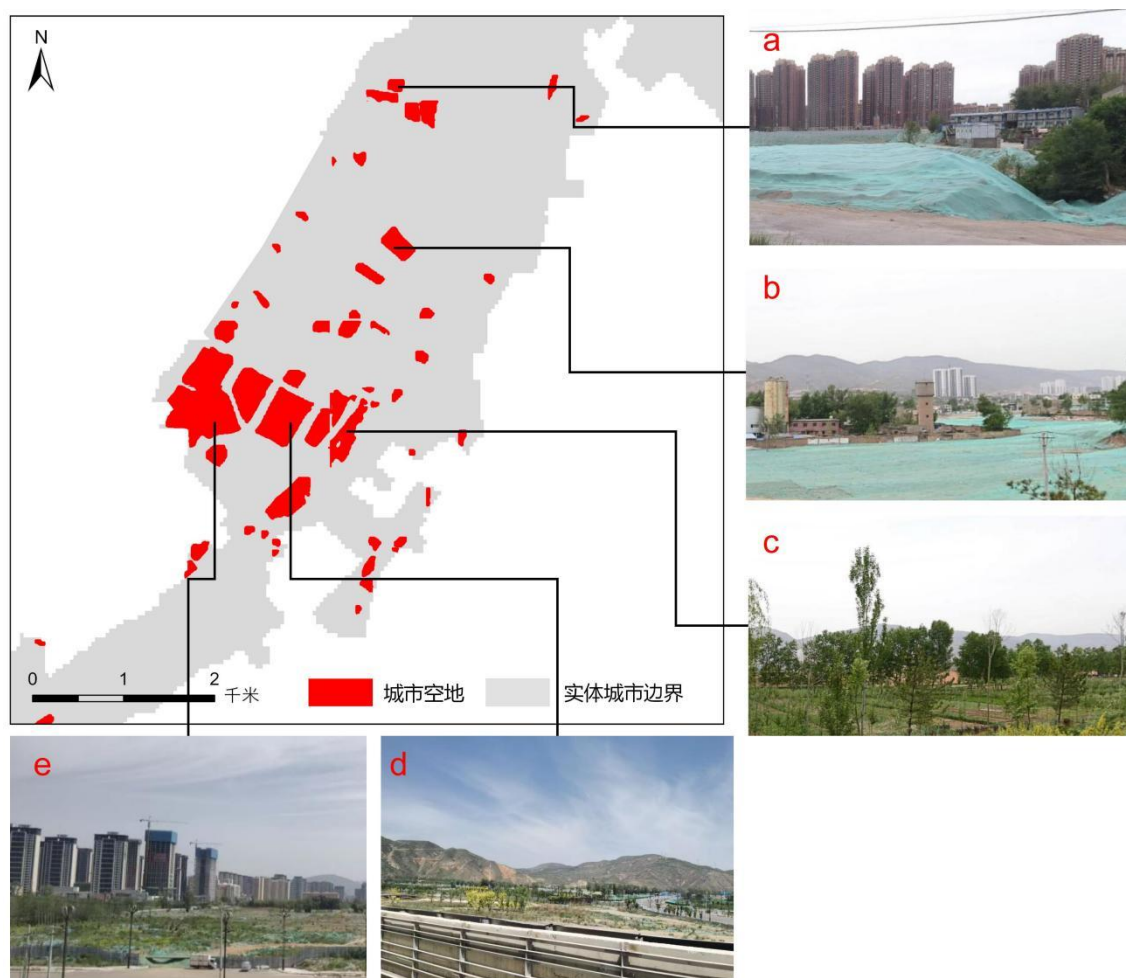


图 5-14 西宁市的实地调研结果

注：图中红色区域表示基于模型自动识别得到的城市空地范围。其中，图 a-e 展示了测试区内 5 处典型的验证区域。图中 5 处验证区域全部证实为城市空地。

5.7. 本章小结与讨论

本章提出了一种基于深度学习模型的城市空地识别方法，并同时公开了相关模型及其训练数据。该方法已在中国所有城市范围内进行应用，构建了一个全国尺度的城市空地数据集。该数据集为有意分析城市空地现状、空间分布模式及其特征的研究者提供了基础资源。相关的具体贡献如下。

本章提出了一套面向实体城市的城市空地识别方法。一方面，在模型应用环节中，通过构建统一的标注规范、优化切片分辨率及数据增强方式，提高了模型在复杂场景中的适应性；另一方面，在数据资源层面，研究建立了一个覆盖全国范围的开放数据集，涵盖原始遥感影像、人工标注结果及模型训练样本。该数据集不仅为提升图像深度学习模型在城市土地研究中的表现

提供了有力支撑，也为跨学科研究者与城市治理实践者提供了数据资源，有助于推动城市土地利用效率、空间规划和可持续发展的相关研究。研究的识别成果、工具、模型与训练数据的具体下载方式与获取链接详见附录 C。

与传统深度学习方法相比，FastSAM 的优势在于泛化性和适应性，这使得其在面对不同城市类型（如快速扩张型城市、收缩型城市或资源型城市）时，依然能够保持较为稳定的识别精度。由此可见，FastSAM 模型的引入为基于遥感影像的城市土地划分带来了重要进展。一方面，其迁移能力在一定程度上降低了模型在推广应用过程中对时间和算力的依赖，缩短了从模型训练到落地应用的周期；另一方面，该模型为跨国家、跨区域乃至长时序的城市空地识别提供了可行路径。这意味着研究者能够在无需重复训练的前提下，将模型应用到不同地理背景和发展阶段的的城市，从而构建大范围、长时段的城市空地数据库，支持全球尺度的比较研究与动态监测。

第6章 城市空地的规律识别与应对策略

在前文城市空地识别结果的基础上，本章将进一步探索城市空地的空间分布特征及其一般规律，并在此基础上提出相应的应对策略。具体而言，研究将对全国 2447 个实体城市的空地进行系统统计与量化分析，测算其总量及比例，并考察其与多维社会经济属性之间的相关关系。

在此基础上，研究将进一步分析城市空地的空间分布模式，包括空地在城市内部的集中度特征及其与城市规模之间的相关性。通过多指标的综合测算，本研究将尝试对城市空地的异质性进行定量刻画，并基于模式识别方法揭示城市空地在全国范围内的分异格局。在揭示空间规律的同时，本研究还将进一步探讨不同类型城市所对应的治理与应对策略。这些策略将包括从国家与区域层面出发的宏观政策导向，以及针对具体城市层面的实践应对路径，以期提升土地利用效率和推动城市可持续发展提供理论支撑。

同时，本章将结合西宁市的实地调研与案例分析，在全国规律研究的框架下提供城市层面的实践印证。西宁市作为典型的西北省会城市，其空地分布特征反映了区域发展的典型困境。通过对该城市的实地调研与案例总结，研究将为如何将宏观规律转化为具体治理路径提供有价值的经验参考。

整体而言，本章节分为如下部分：国家尺度的城市空地分布规律、城市尺度的空地分布规律和城市空地应对策略。研究的整体路径如图 6-1 所示。

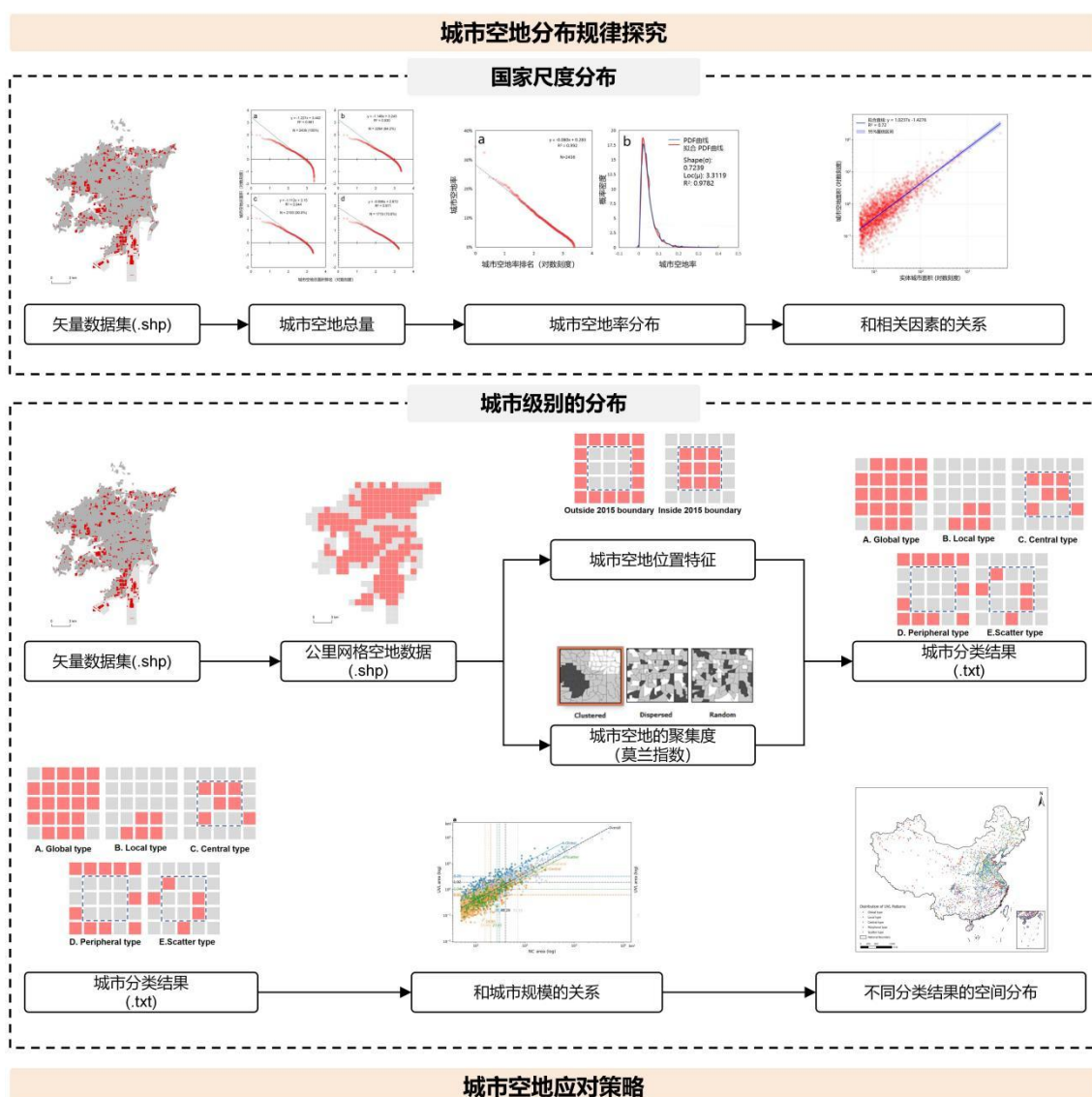


图 6-1 本章研究流程图

6.1. 国家尺度分布

6.1.1. 城市空地遵循等级-规模法则

基于以往研究的检验方法（Jiang and Miao, 2015；Jiang, Yin and Liu, 2015），本研究对全国城市空地数据集进行了四组检验，以判断城市空地总面积是否符合齐普夫定律（Zipf's law）。研究分别以全部实体城市（共 2436 个有效样本）、空地面积超过 0.1 平方公里的实体城市（2294 个）、按空地

面积排名前 90% 的实体城市（2193 个）、以及空地面积超过 0.3 平方公里的实体城市（1758 个）为样本进行了拟合分析。结果如图 6-2 所示，表明各城市的空地总面积总体上遵循齐普夫定律（ $R^2 = 0.88$ ），即城市的空地总面积与其在排序中的排名在对数坐标系下呈现近似反比关系。这一规律表明，少数大城市集聚了较大规模的城市空地，而多数中小城市则仅拥有相对有限的空地面积，从而形成了“头部集中、尾部分散”的总体格局。

需要指出的是，与以往城市研究中基于人口、城市建成区面积和 GDP 等指标的齐普夫定律拟合结果相比，城市空地的拟合优度略低（Jiang and Miao, 2015）。当剔除部分空地比极低的城市后，拟合的 R^2 值显著提升，这进一步验证了城市空地分布同样符合齐普夫定律（Jiang, Yin and Liu, 2015）。这一现象说明，极小空地城市在总体拟合中具有一定的离散性，其存在可能削弱了整体规律的显著性。

这种差异的原因在于，与人口或经济指标不同，中国的城市空地受政策和产权因素的影响更为复杂。在中国，产权问题使得建筑拆除极为困难，即便建筑长期闲置，也难以被归入空地范畴。因此，在一些城市中，本应以空地形式出现的空间，实际上表现为“空置建筑”或“空置住宅”。近年来，中国存在大量尚未转化为空地的“鬼城”，这也是部分城市空地比例偏低的原因之一。

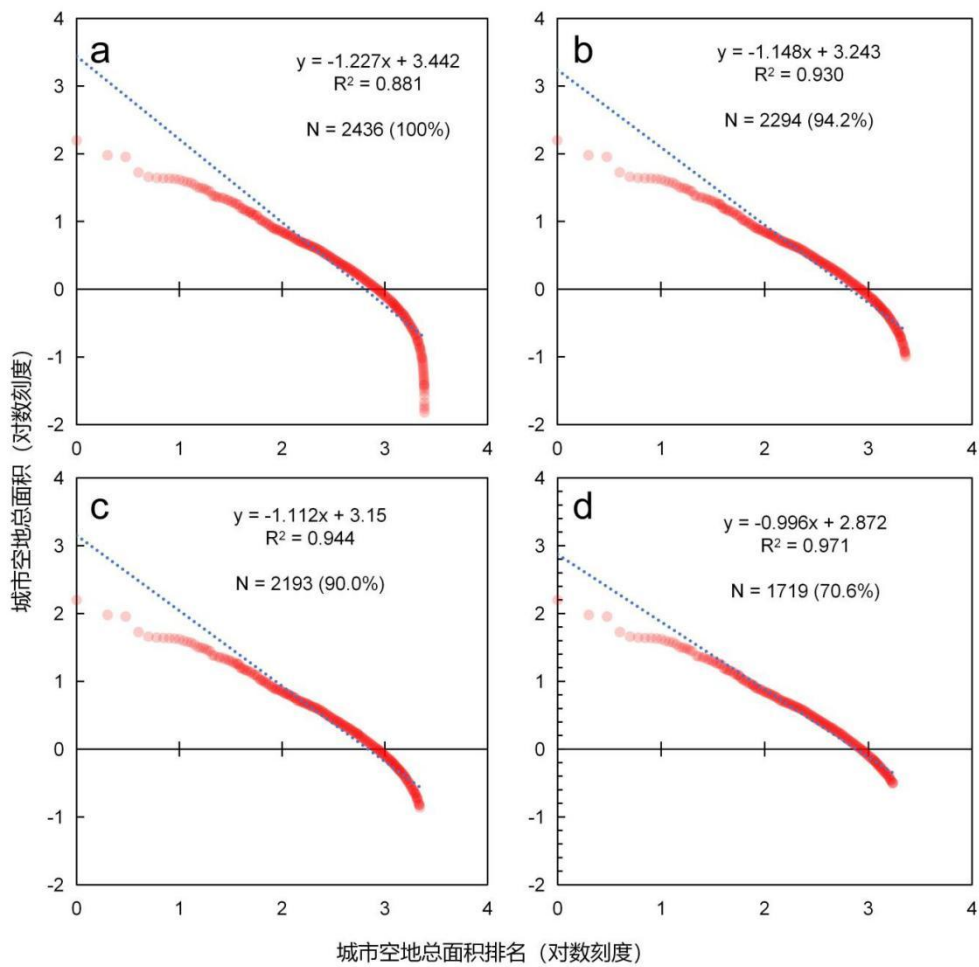


图 6-2 城市空地的等级-规模法则

注：图中每个点为每个实体城市，横坐标为城市空地总面积的排名（对数坐标轴），纵坐标为城市空地的总面积（对数坐标轴），二者呈现线性关系（等级-规模法则）。如果去掉城市空地面积最小的若干城市，则拟合程度提高。图 a 表示拟合的 2436 个城市。图 b 表示去掉后 5.8% 城市的拟合结果， $R^2 = 0.930$ ；图 c 表示去掉后 10% 城市的结果， $R^2 = 0.944$ ；图 d 表示去掉后 29.4% 城市的拟合结果， $R^2 = 0.971$ 。

6.1.2. 城市空地率遵循对数正态分布

研究进一步探究了城市空地率的分布。在实体城市尺度，每个城市的城市空地率是表征城市空地分布的重要指标。根据城市空地率的大小对所有城市进行排名（图 6-3a），研究发现排名的对数和城市空地率显示出非常强的线性关系（ $R^2 = 0.99$ ），可以认为城市空地率呈现非常明显的“对数正态分布”。这种分布并非偶然， R^2 的值为 0.99 意味着城市系统的城市空地率分布都可以通过排名来解释。

城市空地率呈现对数正态分布的现象揭示了一个重要的统计特性：城市空地率的分布显示出左偏的特点，即数据集中在较小的值，而较大的值则相对稀疏。在对数正态分布中，城市空地率较低的城市数量较多，形成数据的主体；而高空地率的城市虽然数量较少，但在分布的尾部延伸较远，这反映了在一些城市中存在着较大比例的未开发土地或保留的区域。全国范围内有 64% 的城市空地率低于 5%，92.1% 的城市空地率低于 10%。整体上，全国城市的平均空地率为 4.78%，其中位数为 3.81%。

对数正态分布的出现，意味着城市空地率在对数尺度下的概率密度函数（Probability Density Function, PDF）符合正态分布。研究在图 6-3a 的基础上绘制了其 PDF 分布图，如图 6-3b 中的蓝色曲线。该分布可以通过正态分布的数学公式在对数尺度下进行刻画。设 X 表示城市空地率，则 $\ln(X)$ 近似服从正态分布：即：

$$\ln(X) \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (6-1)$$

其概率密度函数（PDF）可表示为：

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad x > 0 \quad (6-2)$$

其中， μ 为尺度参数， σ 为形状参数。

计算的拟合结果如红色曲线所示，其公式为：

$$f(x; 0.7138, -3.2827) = \frac{1}{x \cdot 0.7138 \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(x) + 3.2827)^2}{2 \cdot 0.7138^2}\right) \quad (6-3)$$

基于上述公式，本研究可精确地计算任意空地率阈值所对应的城市占比，

只需对变量 X 进行积分即可完成累积分布函数 (CDF) 的求解。具体计算过程可借助 Python 中的 Scipy 工具包实现。在此基础上, 研究进一步拟合了 2023 年中国城市中, 不同空地率区间所对应的城市百分比。最终结果列于表 6-1, 并绘制了累积分布函数图像 (见图 6-4)。拟合曲线与观测数据之间高度一致, 其决定系数 R^2 达到 0.9984, 表明所选函数形式能够准确刻画城市空地率的整体分布特征。

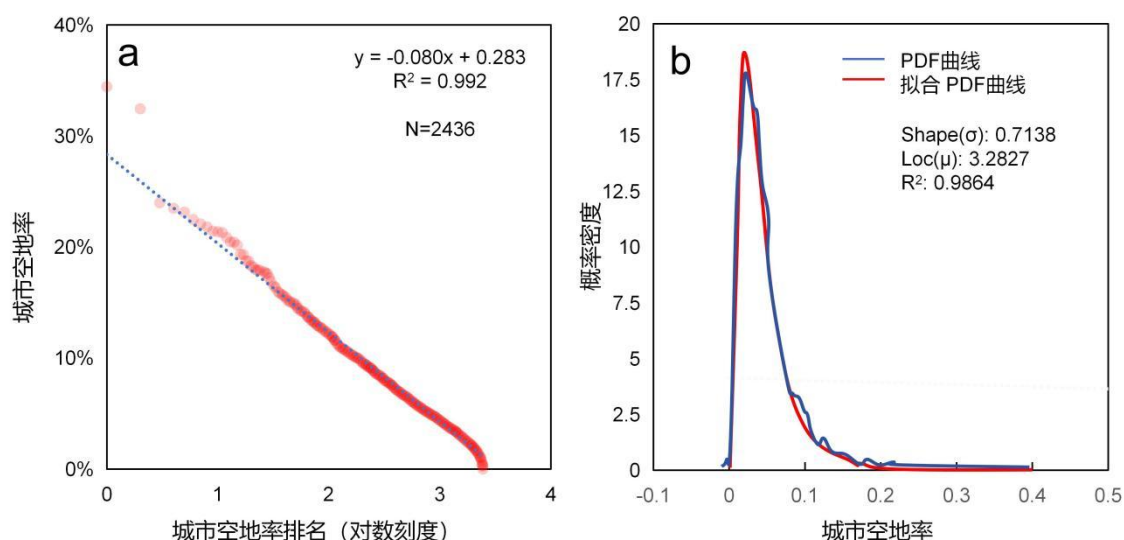


图 6-3 城市空地率的分布和概率密度图像

注: 图 a 为城市空地率的分布。每一个红点代表一个城市。横坐标为城市空地率的对数排名, 纵坐标为城市空地率。图 b 为城市空地率的概率密度分布图像。横坐标为城市空地率、纵坐标为其概率密度。蓝线为城市空地率的概率密度曲线 (PDF), 红线为标准的对数正态分布曲线。其中形状拟合参数 σ 为 0.7138, 尺度参数 μ 为 3.2827, 拟合的 R^2 为 0.9864, 表明拟合优度非常优秀。

城市空地率呈现对数正态分布的一种可能解释是其形成机制是乘性累积过程, 即:

$$X = a \times b \times c \times \dots \quad (6-4)$$

或:

$$\ln(X) = \ln(a) + \ln(b) + \ln(c) \dots \quad (6-5)$$

其中, X 为城市空地率, $a, b, c \dots$ 为影响城市空地率的其他因子, 如产

业结构、土地市场状况、规划管控、生态约束、地形条件、开发强度等多维城市特征。若上述因子之间的影响近似独立，则根据中心极限定理，当一个指标由多个独立因素以“相加”方式共同决定时，各因素的随机波动在累积过程中会相互抵消、趋向平均，使结果呈现对称的钟形分布，即正态分布。因此 $\ln(X)$ 呈现正态分布，即 X 呈现对数正态分布。

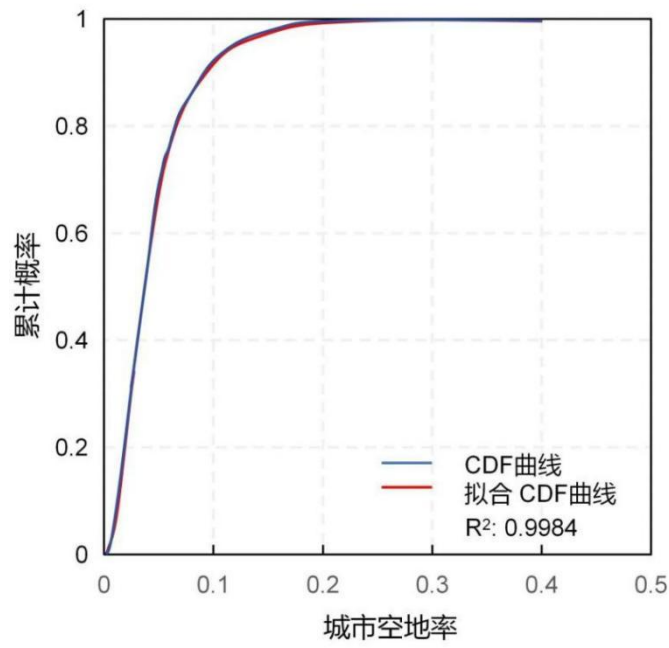


图 6-4 城市空地率的累计密度图像

注：图中红色曲线为拟合曲线，蓝色曲线为城市空地率的实际分布。拟合的 R^2 为 0.9984，表明拟合程度非常优秀。当城市空地率为 0.10 时，累计概率为 0.9205，意味着 92.05% 的城市的城市空地率小于 10%。

表 6-1 城市空地率的实测与拟合值对比

空地率取值 范围 (%)	城市数量 (实测 值)	城市数量占比 (实测值) (%)	城市数量占比 (拟合值) (%)	城市数量 (拟合值)	拟合数量 差值	相对误差 (%)
<1	107	4.39	3.20	78	29.11	27.20
1-2	324	13.30	15.70	383	-58.66	18.06
2-3	457	18.76	18.79	458	-0.97	0.17
3-4	395	16.22	15.87	387	8.21	2.15
4-5	276	11.33	12.05	294	-17.77	6.39
5-6	275	11.29	8.84	215	59.60	21.71
6-7	149	6.12	6.42	157	-7.52	4.94

续表 6-1 城市空地率的实测与拟合值对比

空地率取值 范围 (%)	城市数量 (实测 值)	城市数量占比 (实测值) (%)	城市数量占比 (拟合值) (%)	城市数量 (拟合值)	拟合数量 差值	相对误差 (%)
7-8	109	4.47	4.68	114	-4.95	4.60
8-9	55	2.26	3.43	84	-28.51	51.63
9-10	96	3.94	2.53	62	34.26	35.70
10-11	54	2.22	1.89	46	7.92	14.83
11-12	34	1.40	1.42	35	-0.72	1.76
12-13	22	0.90	1.08	26	-4.41	20.39
13-14	18	0.74	0.83	20	-2.26	12.37
14-15	14	0.57	0.64	16	-1.68	12.91
15-16	14	0.57	0.50	12	1.76	11.91
16-17	6	0.25	0.39	10	-3.62	57.91
17-18	6	0.25	0.31	8	-1.61	25.04
18-19	6	0.25	0.25	6	-0.073	0.32
19-20	4	0.16	0.20	5	-0.87	24.95
20-21	4	0.16	0.16	4	0.07	0.84
21-22	4	0.16	0.13	3	0.81	18.15
22-23	1	0.04	0.11	3	-1.60	167.16
23-24	1	0.04	0.09	2	-1.14	119.10
24-25	2	0.08	0.07	2	0.24	9.72
>25	4	0.16	0.39	10	-5.61	146.41

6.1.3. 城市空地和相关因素的关系

6.1.3.1. 测度方法

为深入探究城市空地与多维度因素之间的关系,本研究在系统梳理国内外相关文献的基础上,筛选并归纳了 25 个可能的解释变量。具体而言,变量涵盖六大维度:经济(包括 GDP、人均可支配收入、失业率等)、人口(人口比例,人口流失率、65 岁以上老龄人口比例)、基础设施(如公交站密度、地铁站密度、POI 密度等)、行政等级、气候变化,以及空间品质(容积率、建筑密度、失序空间指数)。具体的测度方式和类别,见表 6-2。

表 6-2 城市空地的相关因素及测度方法

	因素	测度方式	数据源	维度	
1	GDP（元）	实体城市所在行政城市 2015 年的 GDP	统计 数据	经济	
2	人均可支配收入 （元）	实体城市所在行政城市的人均可支配收入			
3	人均可支配收入增 速（%）	实体城市所在行政城市 2020 年与 2015 年 相比人均可支配收入的增速			
4	失业率（%）	实体城市所在行政城市的 2020 年失业率			
5	城镇人口比例（%）	实体城市所在行政城市的城镇人口与常住 人口数量比值	统计 数据	人口	
6	15-64 岁人口比例 （%）	实体城市所在行政城市的 15-64 岁人口与 常住人口数量比值			
7	65 岁及以上人口比 例（%）	实体城市所在行政城市的 65 岁及以上人口 与常住人口数量比值			
8	人口流失率（%）	实体城市 2019-2023 年间人口流失比例	百度人口		
9	公交站密度 （个/km ² ）	实体城市内公交站点数量与实体城市面积 的比	POI 数据	基础 设施	
10	地铁站密度 （个/km ² ）	实体城市内地铁站点数量与实体城市面积 的比			
11	POI 密度（个/km ² ）	实体城市内 POI 数量与实体城市面积的比			
12	POI 多样性	实体城市内不同类别 POI 的熵值			
13	是否有机场	实体城市内是否有机场，有为 1，无为 0			
14	是否有火车站	实体城市内是否有火车站，有为 1，无为 0			
15	所处城市等级	实体城市行政等级，包括直辖市、省会城 市、地级市、县级市及非城市	行政边界数 据	行政 等级	
16	所处气候分区	实体城市所处气候分区	所处气候分 区	气候 变化	
17	城市面积（km ² ）	实体城市面积	实体城市数 据		
18	容积率	实体城市内居住建筑总面积与实体城市面 积的比值	Zhang, Zhao and Long, 2025	空间 品质	
19	建筑密度	实体城市内居住建筑底面积与实体城市面 积的比值			
20	平均建成年代	实体城市平均开发年代	GAIA 数据		
21	1985 年前已建成区 域占比（%）	1985 年前已建成区域面积占比			
22	2018 年后新建成区 域占比（%）	2018 年后新建成区域面积占比			
23	空间失序指数	实体城市内空间失序指数均值	Ma, Li and Long, 2025		
24	年均 NDVI	实体城市内年平均 NDVI	遥感		
25	平均 DEM（m）	实体城市内平均 DEM	DEM		

6.1.3.2. 城市空地和城市规模之间遵循规模法则

图 6-5 展示了实体城市总面积与城市空地面积在对数坐标系下的拟合结果。从整体趋势来看，两者之间呈现出显著的正相关关系，即城市规模越大，其内部所包含的空地总量也相应增加。线性拟合的决定系数为 0.72，说明模型能够较好地解释二者之间的变化关系。图中同时标示了拟合直线的 95% 置信区间（淡蓝色部分）。

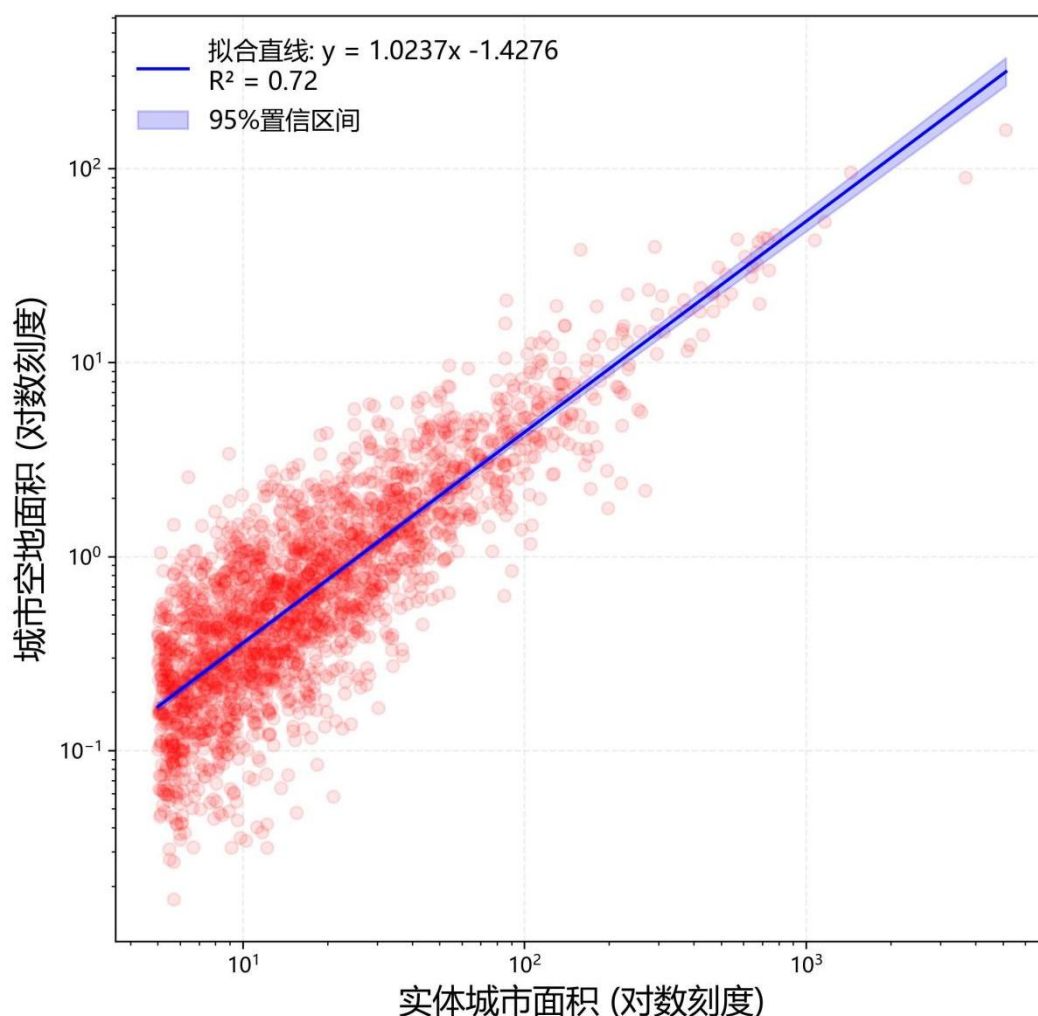


图 6-5 实体城市总面积与城市空地面积之间的关系

上述拟合结果表明，尽管不同城市中空地的形成机制存在差异，受到多种因素的影响，如规划布局、开发强度、历史遗留等，但在全国尺度上，城市空间规模同城市空地具有很强的相关性。这种关系体现出一定的规模发展规律。值得注意的是，拟合结果并未呈现出明显的亚线性关系，即城市空地面积并未因城市规模扩大和土地利用效率提升而相对减少。

6.1.3.3. 城市空地由多因素驱动

城市空地的总面积、数量，以及城市空地率同其他 25 个因子的相关性如图 6-6 所示，完整的相关矩阵（Pearson）如图 6-7 所示。

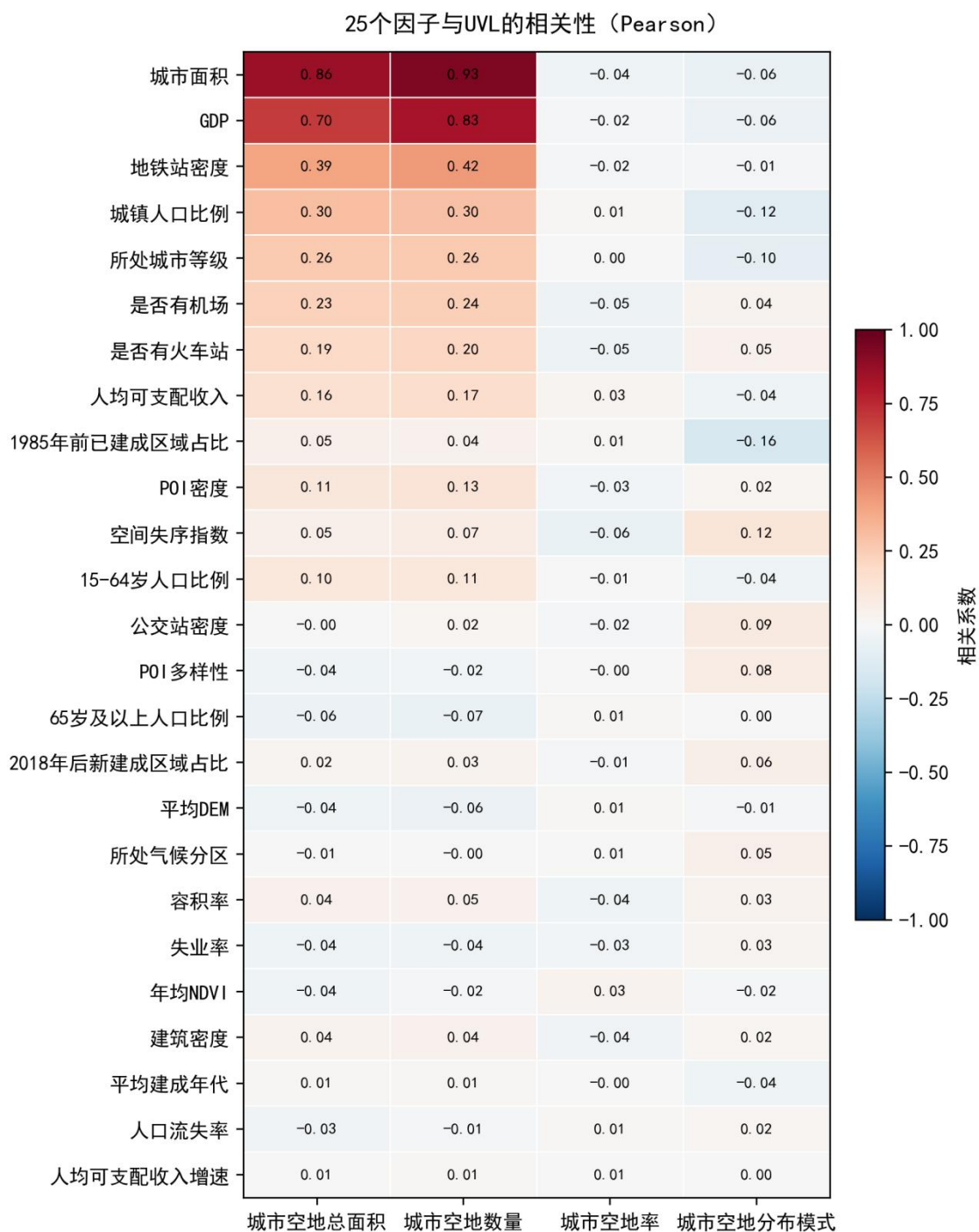


图 6-6 相关性分析结果

城市空地总量和数量，同实体城市面积以及 GDP 呈现高度相关。上述结果验证了城市空地和城市规模之间的规模法则。地铁站密度（约 0.39~0.42）、城镇人口比例（约 0.30）、城市等级（约 0.26）以及是否有机场/火车站（约 0.20~0.24）同城市空地的总面积和数量中度相关。这一结果表明，城市体量越大、经济活动越强，所承载的空地绝对规模与斑块数量也相应增加。与此形成对照的是，城市空地率与城市面积、GDP、城市等级等因素的相关性整体接近于零。即无论是经济体量、行政等级，还是城市的物理规模，都不足以单独解释城市空地率的差异。这一结果揭示出，城市空地的形成与演化并非线性地受制于规模效应或某一单一维度的指标，而更可能是多因素交织作用的产物。

其余因素与城市空地的数量和面积之间的相关性较弱，绝对值多在 0.15 以内，但其相关性的方向具有一定的启示。人均可支配收入、POI 密度、15—64 岁人口比例、空间失序指数与城市空地绝对量多为轻微正相关，或指向人口与业态集聚可能带来更高的空地存量，但影响并不显著。

图 6-7 的相关矩阵说明，GDP、城市等级、地铁站密度、POI 密度、城镇人口比例等因子高度同向，并同城市空地的总面积和数量呈现较高的相关性。在后续的多变量回归分析中需要特别关注多重共线性问题，单一的相关系数并不宜被直接解读为各因子的独立因果作用。自然地理特征（如 NDVI、DEM）与多数城市化强度变量之间表现出较弱的负相关或接近于零的关系。这一结果符合现有理论，即高密度的城市化往往伴随绿化下降或受地形制约，但总体影响程度有限。

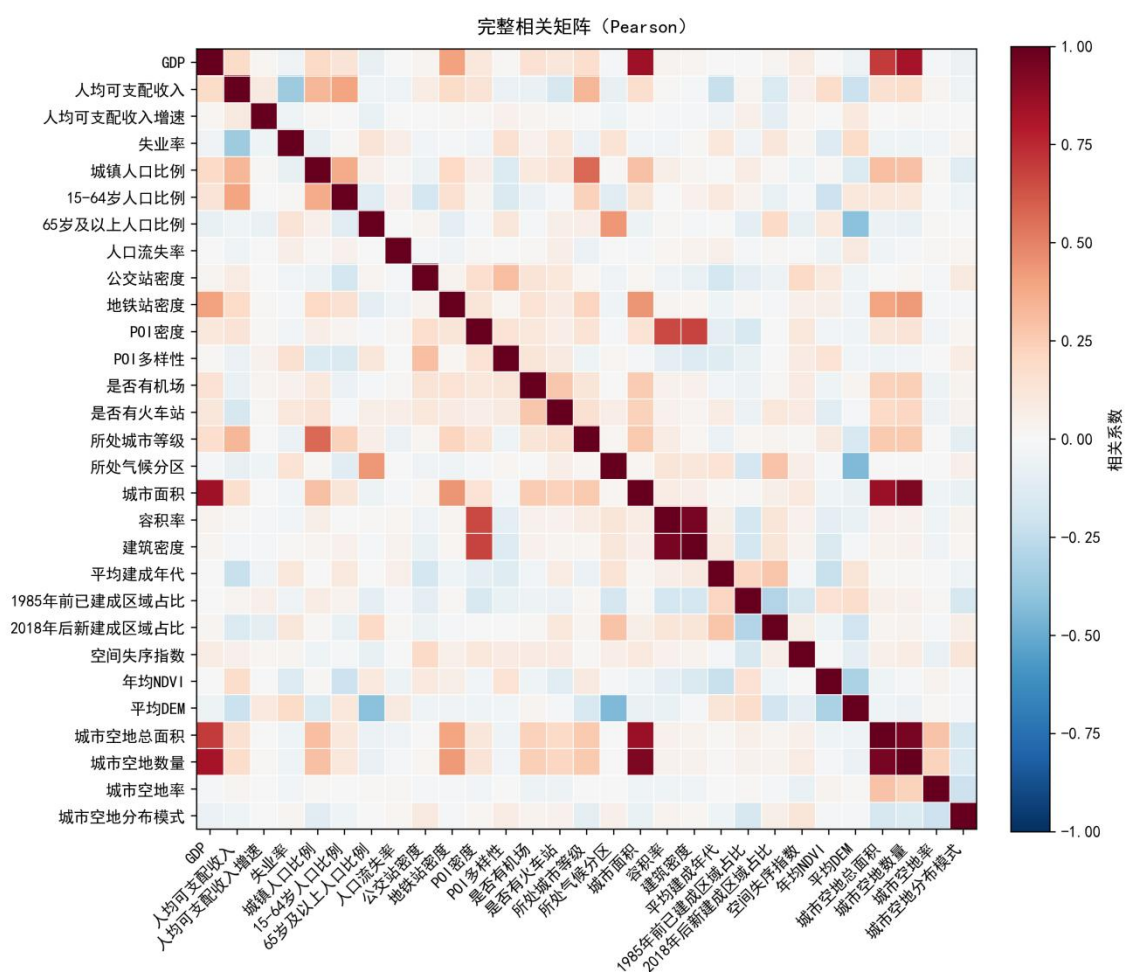


图 6-7 相关性分析结果矩阵

6.1.4. 相关研究数据支持现有结论

目前关于国家尺度的城市空地系统性统计研究仍相对较少。其中较为代表性的研究来自 Pagano 和 Bowman (2000) 撰写的文章。该文章指出城市空置土地在城市发展、更新与复兴中具有潜在价值。该研究通过人工调查方式收集了美国约 70 个城市的空地数据, 内容涵盖城市总面积、空地总面积、空地率等关键指标, 数据来源主要依赖于对城市规划人员和政府管理者的实地访谈与问卷汇总。为验证本研究构建的中国城市空地数据库在国家尺度下的适用性与规律性, 并与既有国际研究形成对比, 研究引入 Pagano 和 Bowman (2000) 发布的美国城市数据, 并进行对比分析。具体而言, 研究绘制了城市空地面积对数-排名关系图, 以考察其是否呈现出等级-规模法则

分布结构（图 6-8）。

图中结果显示，美国城市的空地面积分布大致符合等级-规模法则，回归曲线的决定系数为 0.652，表明约 65% 的变异能够通过数排名得到解释。进一步地，当排除样本中最小的城市（即最后 10%）之后，模型的拟合度提高，决定系数达到 $R^2=0.844$ 。这一现象不仅说明等级-规模法则在大多数城市中具有较强的适用性，也提示小城市的离散性和异质性可能在一定程度上削弱整体规律的显著性。

Pagano 和 Bowman（2000）的研究也验证了城市空地在美国情境下同样遵循等级-规模法则，从而进一步确认了该模型的普遍性与稳健性。他们的数据也揭示了城市空地率的特点：城市空地率与城市规模之间的相关性极低（ $R^2 < 0.03$ ）。换言之，城市的物理规模或人口数量并非决定城市空地率的关键变量。这一点与本研究具有一致性。

此外，研究还对美国城市空地率与其对数排名之间的关系进行了可视化分析，并发现该分布明显呈现出“对数正态分布”的特征（图 6-9），也证实了城市空地率在跨城市体系中所具有的统计学规律。

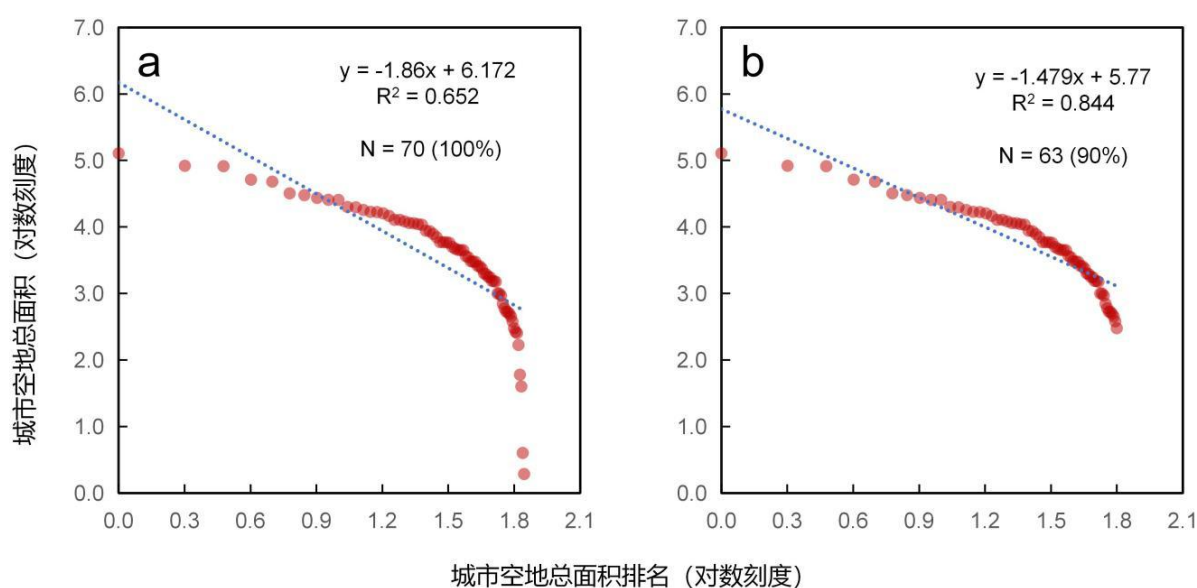


图 6-8 美国 70 个城市的城市空地等级-规模分布

注：数据源自 Pagano 和 Bowman（2000）。其中图 a、b 表示城市空地的总面积符合等级-规模法则，特别是在去掉空地总面积较小的 10% 城市时， R^2 达到 0.844。

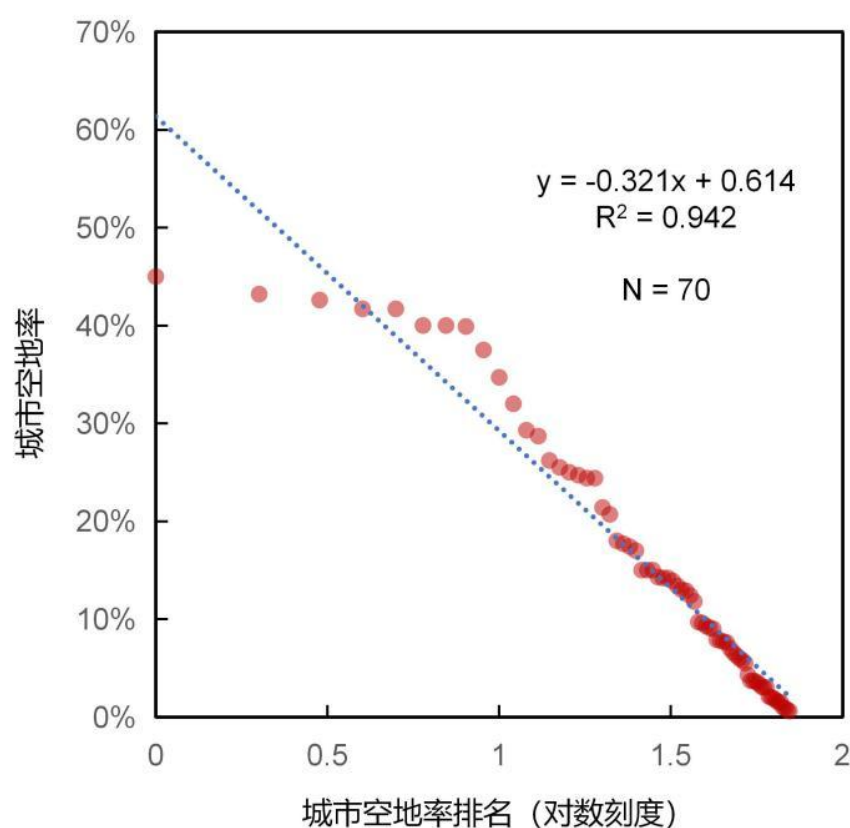


图 6-9 美国 70 个城市的城市空地率分布

6.2. 城市级别的分布

在分析城市空地在总量与规模分布上的规律之后，本章进一步聚焦如下问题：这些空地在空间上究竟以何种方式分布？即除了空地的数量与比例外，不同城市内部空地的空间组织模式是否存在可归纳的特征？这一问题的回答对于理解城市空地的生成机制与治理难点具有重要意义。即便在空地率相近的城市中，空地的分布形态也可能截然不同：有的城市呈现大范围分散分布，有的则集中在核心区或边缘地带，不同的分布格局往往意味着不同的形成机理和政策应对需求。

基于此，本研究尝试构建一个全国尺度的城市空地分布模式分类体系。该方法参考了收缩城市人口分布相关研究（Schetke and Dagmar, 2008; Blanco et al., 2009; Meng et al., 2021; Jiang et al., 2020），为刻画城市空地的空间特征提供了更加直观和可比的框架。

6.2.1. 城市空地的多维度分类方法

本研究从“分布、聚集和比例”三个维度出发，构建了一个适用于全国尺度实体城市的城市空地分布模式分类体系，具体分类方法如图 6-10 所示。该体系将城市空地划分为五种典型类型：全域型、局域型、中心型、周边型和散点型。

上述类型的具体特征如下所示。全域型（Global type）的城市中，空地广泛分布于城市的多个区域，呈现出空间上的大范围覆盖。局域型（Local type）则表现为空地在城市内部的某一部分或特定区域内呈明显聚集分布。中心型（Central type）的空地集中分布在城市中心区域，通常与老城区或传统功能核心区高度重合。周边型（Peripheral type）则表现为空地主要环绕于城市外围或边缘地带，呈带状或环状分布。散点型（Scatter type）城市中，空地在空间上呈现离散、零星分布的特征，通常分布于城市中的多个不连续区域，且不具明显的聚集性。

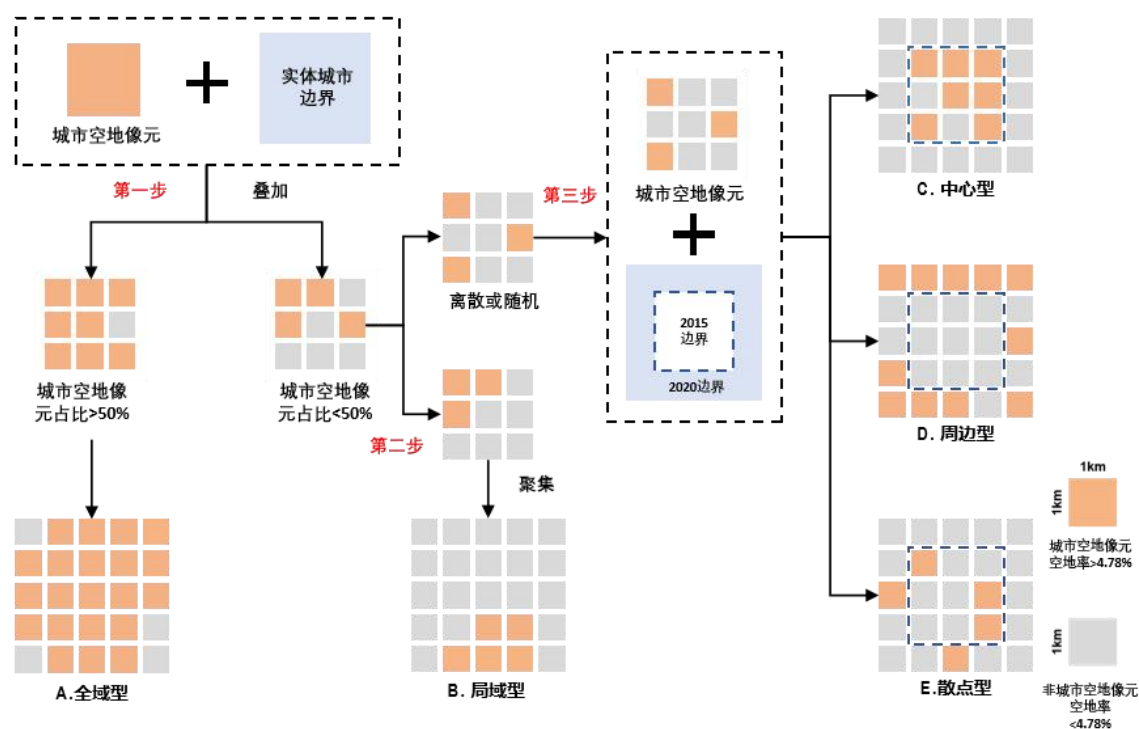


图 6-10 城市空地分布模式的分类流程图

由于城市空地的大小差异显著、空间分布高度不均，因此本节的分类方法采用 1 km 分辨率网格作为基本分析单元。这一方法能够消除行政单元划分带来的不一致性，统一分析尺度，从而便于不同城市间的比较。同时，鉴

于城市空地在不同区位间存在明显的空间异质性，网格化处理可在一定程度上平滑极端值，更准确地反映空间的连续性与分布特征。类似的网格化分析方法已被广泛应用于特定用地类型的空间分布研究中，例如耕地弃耕（Zhu and Woodcock, 2014）、生态用地空间自相关（Li et al., 2022a），城市的人口变化与收缩城市研究（孟祥凤等, 2021）等。

首先，本研究以 1 km 栅格为基本分析单元，对全国 2447 个实体城市的矢量化空地图层进行网格化处理。当某栅格内空地面积占比高于 4.78%（即全国城市空地率的平均值）时，将其定义为城市空地像元，否则为非城市空地像元。该阈值设定使得城市空地像元占全部栅格的 29.8%，却能覆盖 88.1% 的空地总面积，较好平衡了精度与适用性。若将阈值提高至 10%，尽管能增强城市空地识别精度，但由于部分小城市像元数量不足，难以继续分类，因此本研究维持 4.78% 作为基准阈值。

如图 5-17 所示，分类流程共分为三个步骤。第一步中，若某城市的城市空地像元比例高于 50%，则被划分为全域型，表示城市空地广泛分布于城市的大部分区域；若城市空地像元比例低于 50%，则需进一步进行分类。

第二步通过全局莫兰指数（Moran's I）及 p 值评估城市空地的空间聚集性：若评估结果显示空地聚集，归为局域型，否则为离散或随机。以图 6-11 为例，某城市空地聚集显著，被认定为局域型。

第三步，研究引入了 2015 年的城市边界数据，用于判定城市空地的空间位置分布特征。当城市空地像元主要集中于 2015 年旧城范围内时，城市被划分为中心型，表明空地主要分布于城市的核心区域；若空地像元主要位于城市边界之外，则划分为周边型，反映出空地在空间上围绕城市外缘呈带状或片状分布；而当空地像元在城市中心与外围区域之间分布较为均衡，难以明确归属其位置优势时，则归为散点型，表示城市空地在空间结构上缺乏聚集规律，呈离散、零散状态。

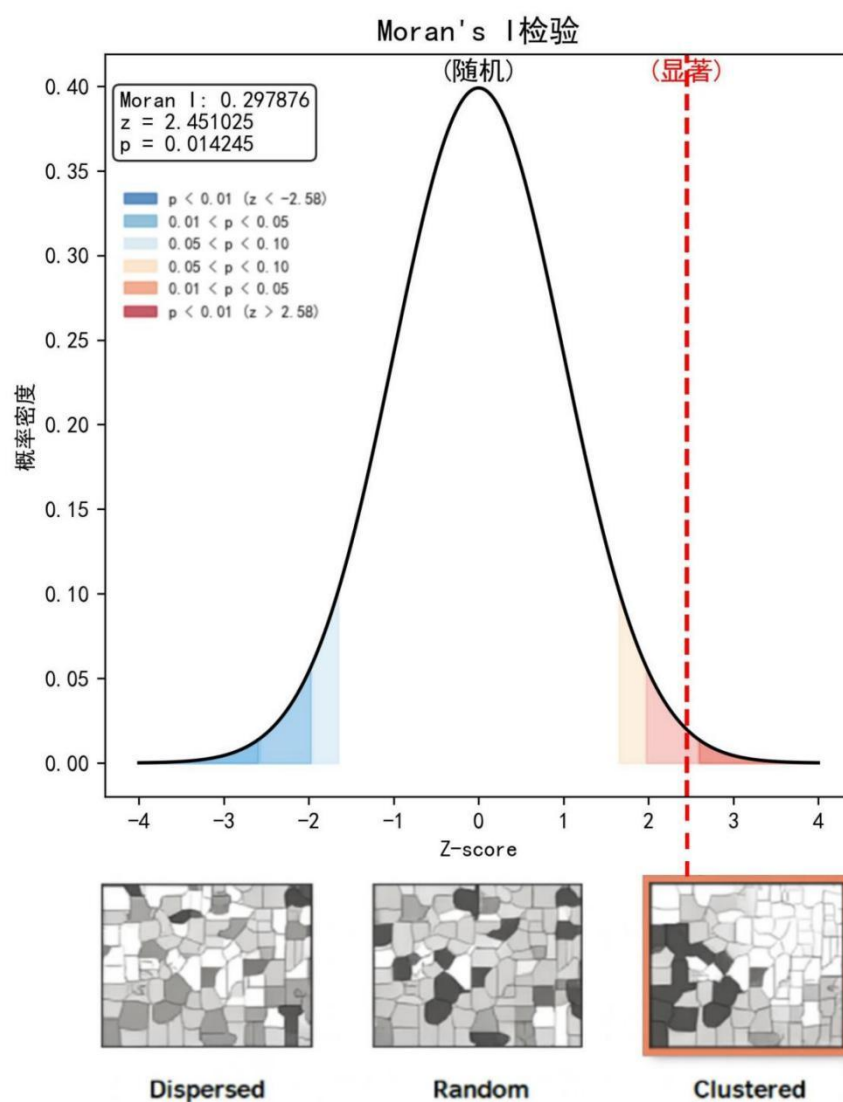


图 6-11 某城市的城市空地聚集程度分析

图片来源：作者基于 ArcGIS Pro 计算结果自绘。

注：该城市的 z-score 为 2.451，p 值为 0.014，说明该城市的城市空地呈现聚集状态。由于该城市的空地率小于 50%，因此该城市的城市空地分布为局部型。

6.2.2. 分类结果

图 6-12 展示了不同类型城市的城市空地分布状态及其最终分类结果。可以看出，该分类方法较好地识别和刻画了城市空地在空间格局上的差异性。无论是空地的覆盖比例、聚集程度，还是在城市中心-边缘结构中的位置特征，分类结果均与实际空间分布契合。

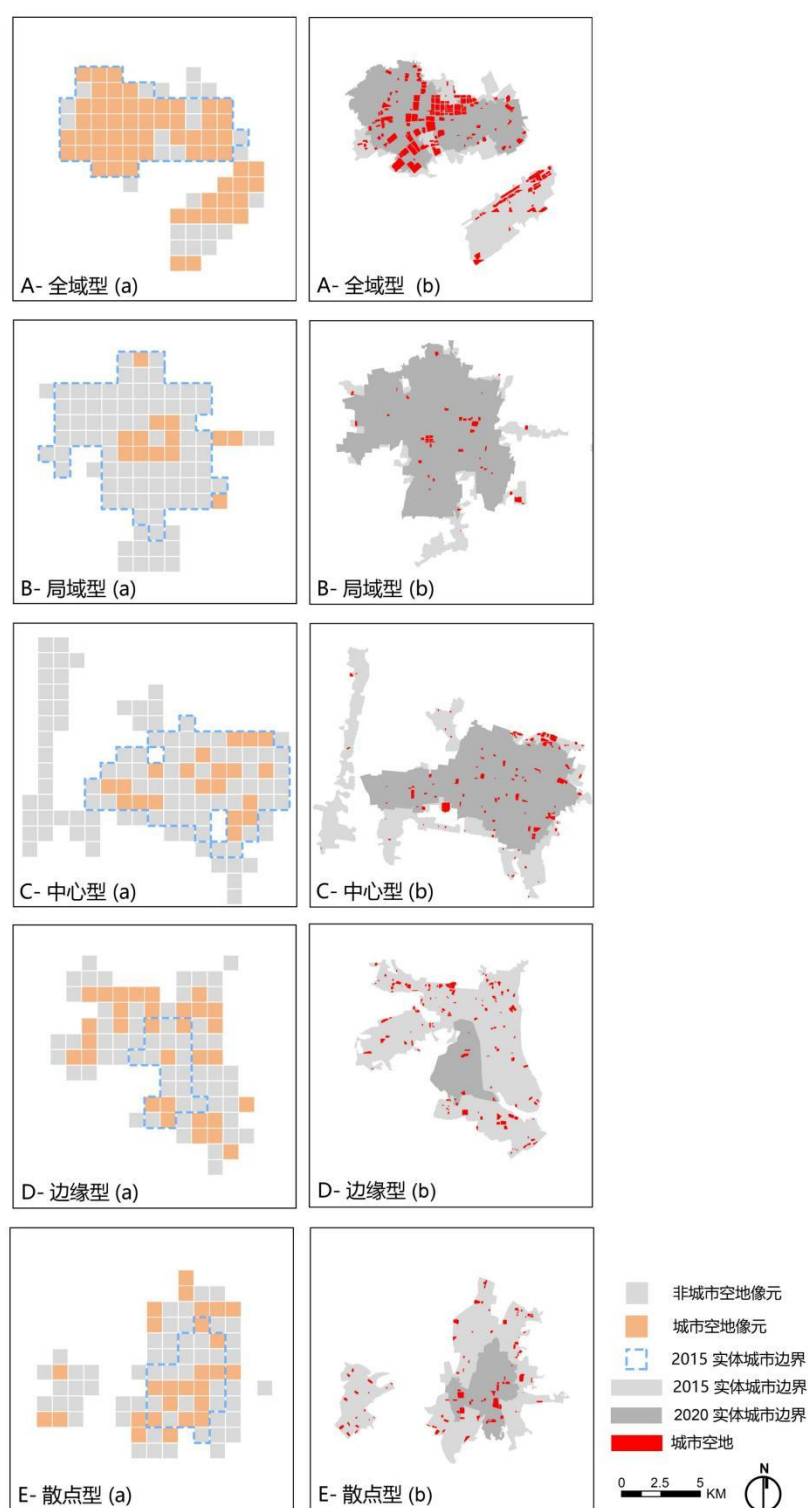


图 6-12 各类型的典型城市示例

注：A (a)、B (a)、C (a)、D (a) 和 E (a) 表示按照本研究分类框架得到的分类结果；A (b)、B (b)、C (b)、D (b) 和 E (b) 则为 FastSAM 识别模型的原始输出。

6.2.3. 五类城市空地的分布呈现等级-规模法则

城市空地总面积与实体城市面积之间呈现出等级-规模法则，整体拟合优度达到 0.72。图 6-13 进一步从类型划分视角，展示了五类城市空地分布类型和其他因素之间的关系。图 6-13a 中，每个点代表一座城市，其 X 轴为城市面积，Y 轴为空地面积，证明了五种类别的城市符合等级-规模法则。图 6-13b 反映了不同城市规模区间内，各类型的占比变化趋势，其中中大型城市以局域型为主，小城市则以中心型和周边型为主。图 6-13c 展示了五类城市的平均空地面积及其 95% 置信区间，说明全域型与局域型的空地面积普遍高于其他类型，而中心型与周边型的空地规模则低于总体平均水平。

此外，图 6-13a 显示，即使将城市按照五种类型进行划分，各类型内部的城市空地面积与城市面积之间仍然遵循相似的等级-规模法则，表明这一分布模式具有较强的稳健性。然而，这五种类型在城市规模上的分布特征存在明显差异。如图 6-13b 所示，小城市（例如城市面积在 5–10 km² 之间）主要属于中心型与周边型（分别对应图例中的橙色和浅橙色）。随着城市规模的扩大，这两类的占比明显下降，而局域型逐渐成为主导类型。根据上文的分类方法，中心型、周边型与散点型均反映出城市空地在空间上缺乏明显聚集特征，说明在小城市中，城市空地更容易呈现出边缘化、离散化的分布格局。而随着城市规模的扩大，空地逐渐向特定区域聚集并形成明显的空间结构。特别是当城市面积超过 300 km² 时，几乎所有城市均表现为局域型，其空地高度聚集，有助于提升土地利用效率。

图 6-13c 进一步展示了五种类型的空地面积特征。可以看出，局域型与全域型城市的空地面积平均值明显高于其他类型。造成这一差异的原因主要有两点：首先，局域型城市主要分布于大城市，而较大的城市面积往往会带来更大的空地规模，这一趋势与图 6-13b 中的等级-规模法则一致；其次，全域型城市的空地分布范围广泛，因此其空地率在五类中最高，从而也导致其空地总量更大。

此外，对中心型与周边型这两类主要出现在中小城市中的类型进行对比，也揭示出有趣的空间差异。如表 5-4 所示，周边型城市的空地斑块数量（平均为 37.24 个）少于中心型，但其空地总面积却更大。这一发现证明城市边缘区域的空地斑块通常面积更大，而城市中心区域的空地则更零碎、面积较小。

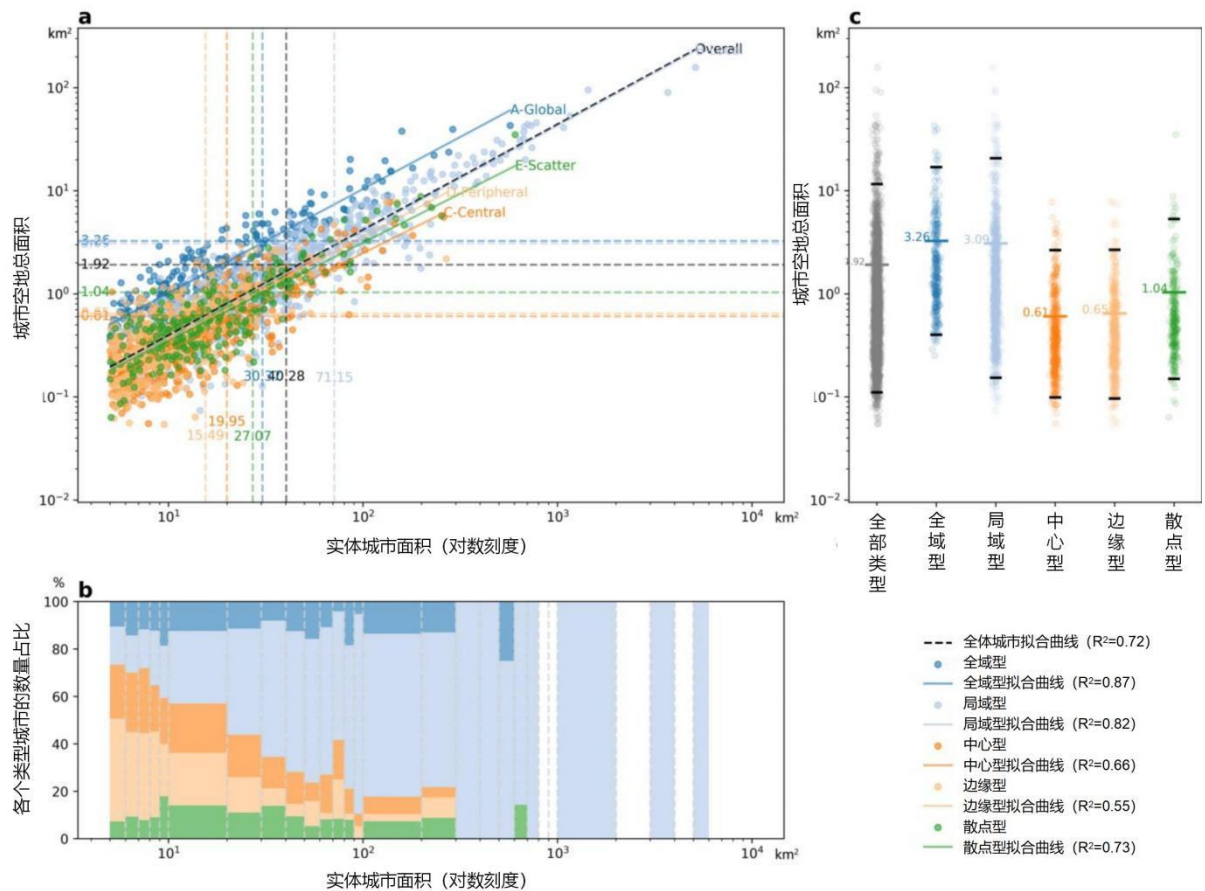


图 6-13 全国尺度下五种城市空地分布类型的结果

注：图例中，不同颜色对应五种类型。图（a）以散点图形式呈现，每个点代表一座实体城市，横轴为城市总面积，纵轴为城市空地总面积。图（b）的横轴同样表示城市总面积，纵轴则给出各面积区间（例如 5–6 km²、10–20 km²、300–400 km²）内五种类型所占比例。图（c）的横轴列示五种分布类型，纵轴与图（a）一致，为城市空地总面积（对数刻度）。图（a）说明城市空地面积与城市总面积遵循规模法则；图（b）表明在不同城市规模下，各类型所占比例存在差异：中等和大城市以局域型为主，而小城市则以中心型和边缘型为主；图（c）给出了五种类型的平均值及 95 % 置信区间，显示全球型与局域型城市普遍拥有更大的空地面积，而中心型与边缘型城市则低于总体平均水平。

表 6-3 不同城市空地分布类型的统计特征对比

注：表中展示了五种城市空地分布类型（全域型、局域型、中心型、周边型、散点型）在城市数量、面积、空地指标及等级-规模法则拟合优度等方面的比较结果。

类型	全域型	局域型	中心型	周边型	散点型	总体
实体城市面积的等级-规模法则拟合优度 (R^2)	0.96	0.95	0.96	0.99	0.97	0.97
平均实体城市面积 (km^2)	30.37	71.15	19.95	15.49	27.07	40.28
平均城市空地面积 (km^2)	3.26	3.09	0.61	0.65	0.90	1.92
平均空地数量 (个)	105.17	146.12	40.59	37.24	57.89	89.26
城市空地率 (%)	10.75	4.34	3.04	4.17	3.83	4.78
实体城市总面积 (km^2)	8381.11	60689.85	8297.62	7386.41	6767.61	91522.59
城市空地总面积 (km^2)	900.69	2635.42	252.31	307.97	259.02	4355.41
实体城市数量	276	853	416	477	250	2272

6.2.4. 五类城市空地的分布呈现区域差异

本章进一步分析了五类城市空地的空间分布模式，并考察了其在不同区域之间的差异。研究所采用的区域划分是依据国家统计局的官方行政区划，将全国划分为华北、东北、华东、中南、西南和西北六大区域（表 6-4）。结果显示，不同类型城市空地在空间分布上表现出异质性（图 6-14 和图 6-15）。具体来看，局域型空地主要集中在华北、华东和西北地区，而周边型空地则在华东和西北地区分布更为突出。跨区域比较表明，不同区域内部的空地分布模式存在明显差异：在华北地区，局域型和中心型空地占据主导；在西北和华东地区，局域型与周边型更为常见；在东北地区，则以中心型和周边型为主，表明城市空地多集中于核心区与外围区，这可能与产业衰退和城市收缩过程密切相关。相比之下，中南和西南地区则以局域型为主，显示出城市空地在空间上更具集聚性。

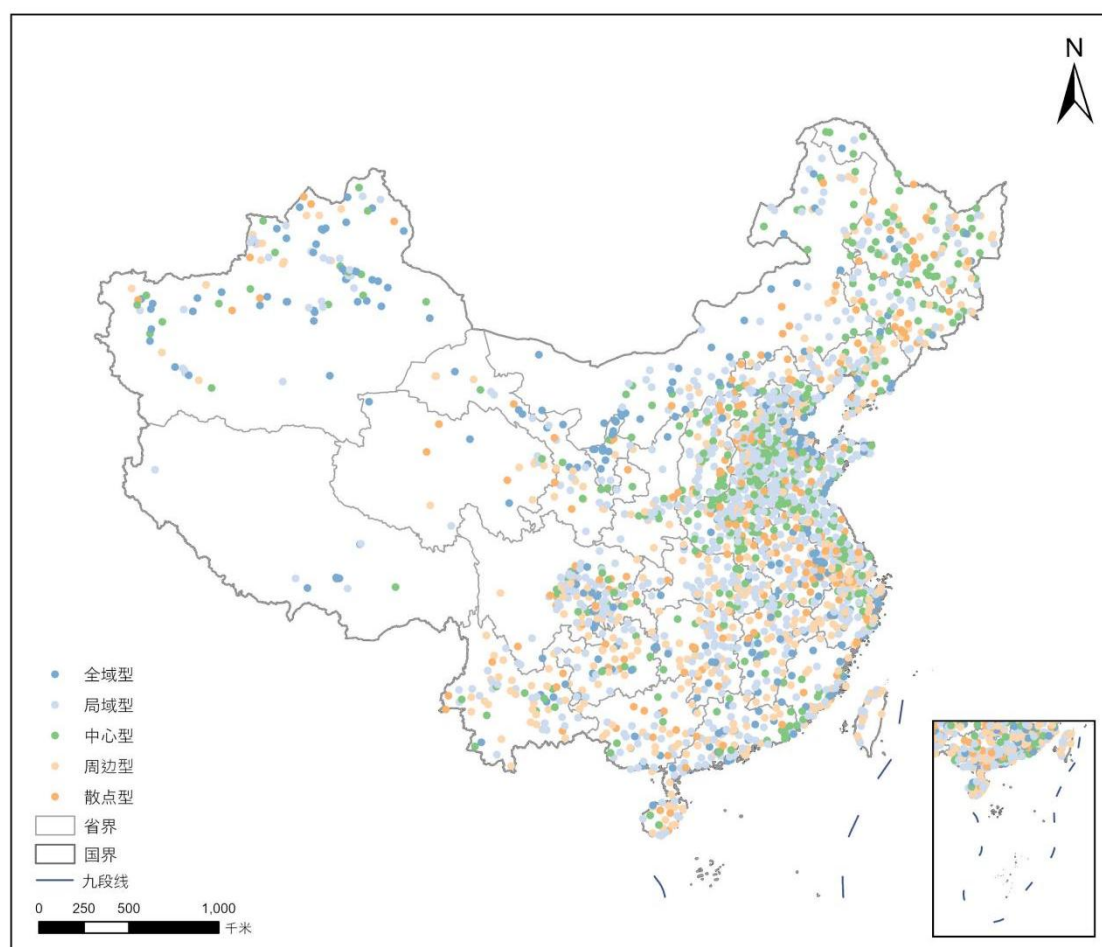


图 6-14 各类城市的总体空间分布

注：此图基于自然资源部地图技术审查中心的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。

进一步地，图 6-16 展示了五类城市空地与六大区域中城市面积和实体城市面积之间的对数关系。结果表明，不同类型城市空地均表现出较强的对数线性关系，但回归斜率和拟合优度存在差异。整体而言，全域型和局域型的拟合效果最佳（多数 R^2 在 0.8 以上），说明这两类空地的规模与城市面积之间具有稳定的比例关系；而中心型和周边型的拟合度相对较低，尤其在部分区域 R^2 不足 0.6，反映出这些类型空地的空间分布更容易受到产业结构、城市功能和历史发展的干扰；散点型则整体样本量相对较少，但仍显示出一定的对数线性趋势。

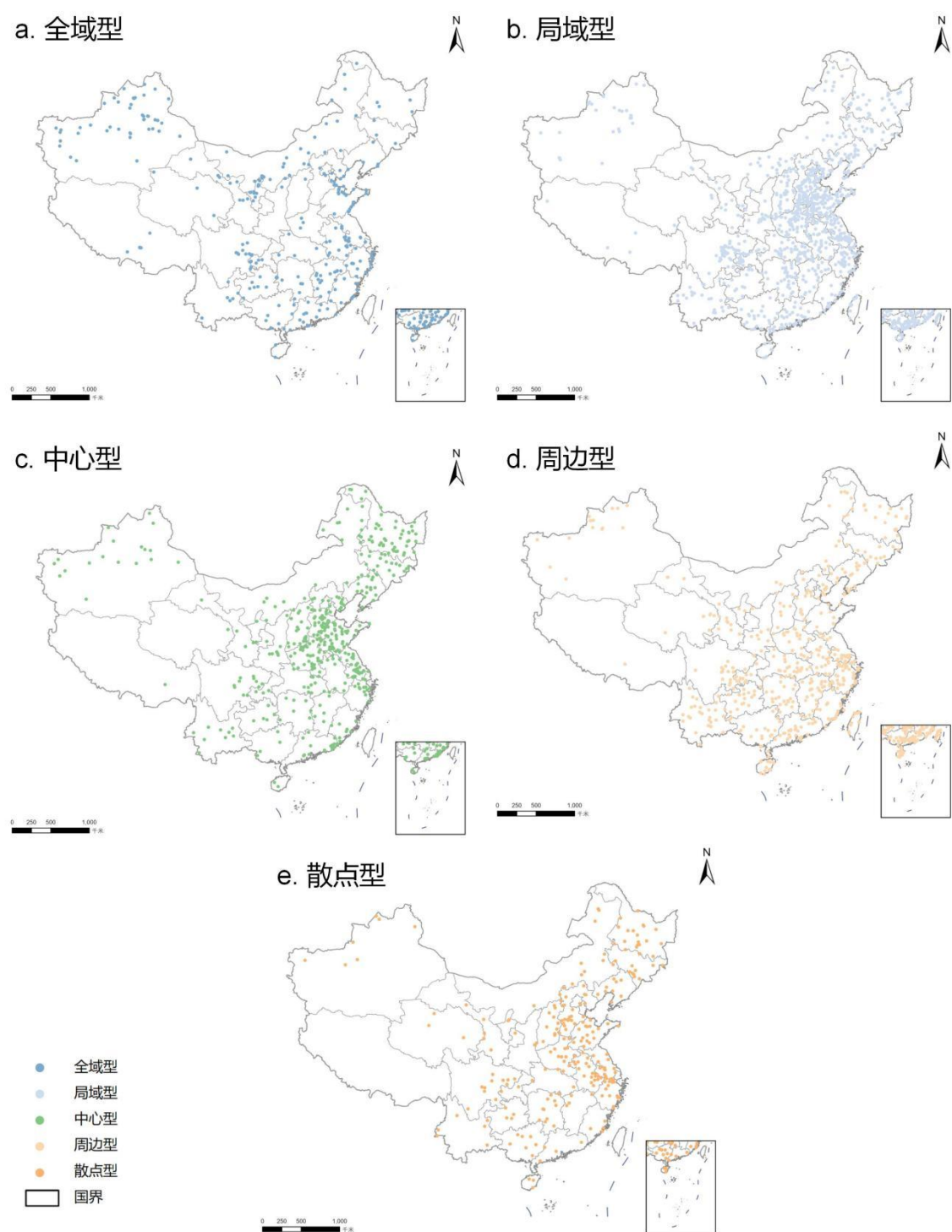


图 6-15 各类城市的单独空间分布

注：图 a-e 为全域型、局域型、中心型、周边型、散点型的空间分布。此图基于自然资源部地图技术审查中心的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。

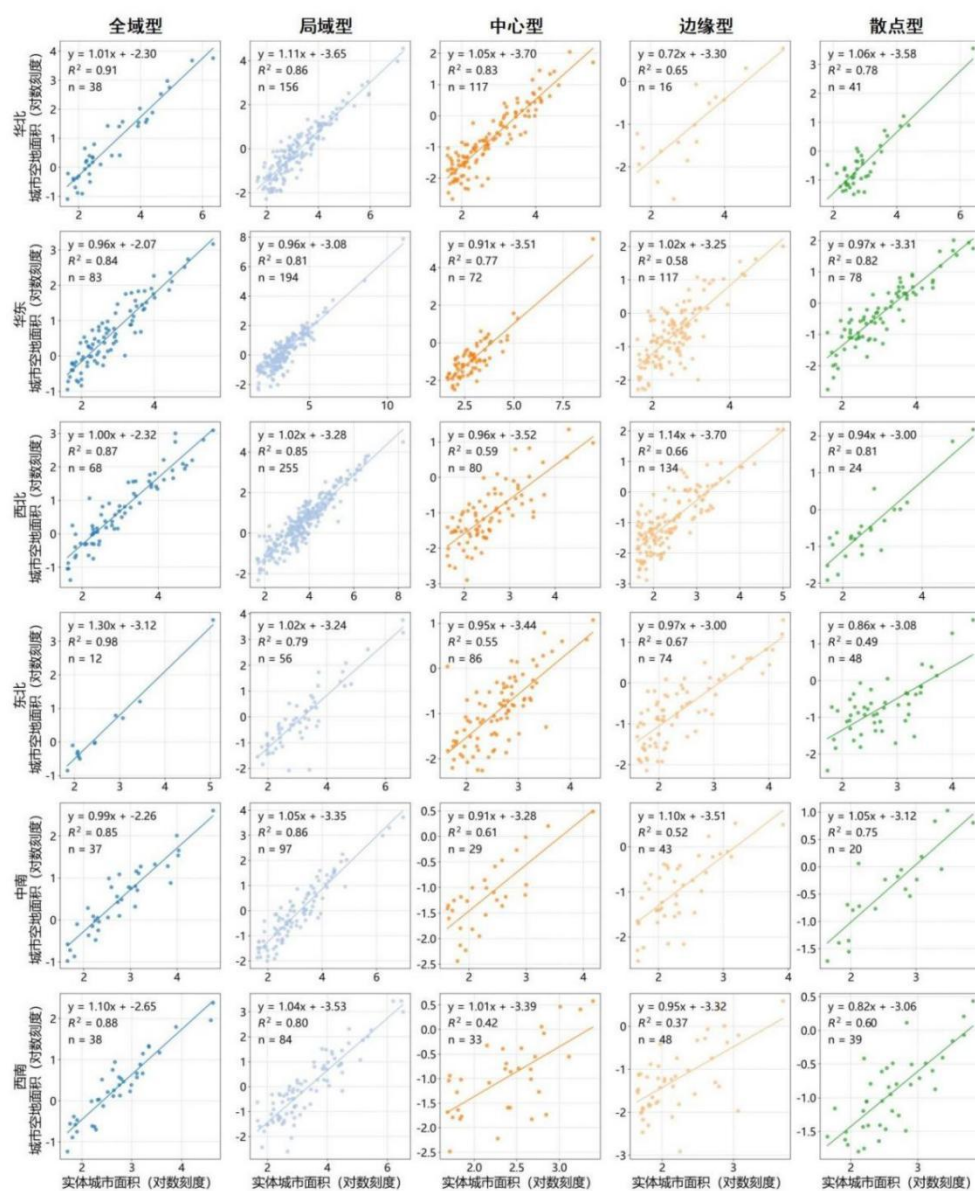


图 6-16 各类城市的数据分布

表 6-4 区域划分标准

区域	区域划分及包含的省份/直辖市
华北地区	北京、天津、河北、山西、内蒙古
东北地区	辽宁、吉林、黑龙江
华东地区	上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东
中南地区	河南、湖北、湖南、广东、广西、海南
西南地区	重庆、四川、贵州、云南、西藏
西北地区	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆

6.3. 城市空地的规律讨论

与既有研究相比,本研究弥补了两个空白。首先,以往文献鲜有探讨城市空地是否遵循特定统计规律,也缺乏可供比较分析或政策优先排序使用的操作性阈值(如空地率的百分位数或置信区间)。本研究证明了城市空地总面积呈现出显著的等级-规模分布规律,并在对数尺度下与实体城市面积之间表现出较强的相关性,表明城市规模越大,其空地总量通常也越大。这一规律主要受到“城市规模扩大”的驱动,而非空地率变化的影响,因为空地率本身与城市面积之间并无显著相关性。

从统计特征来看,城市空地率呈现出典型的对数正态分布,且伴随显著的“长尾效应”,即少数城市的空地率远高于全国平均水平。这种分布形态说明,大多数城市的空地率处于相对较低的水平,而少数城市则可能因特定的发展阶段、产业转移、人口外流或土地利用效率低下等因素,形成了大比例的城市空地。此外,该分布形态也提示,采用中位数而非均值作为空地率的集中趋势指标,能够更真实地反映大多数城市的实际状况,避免均值受极端值影响而产生误导。

从整体水平来看,中国城市的平均空地率为4.78%,显著低于美国城市2000年的15.4%(Pagano and Bowman, 2000)。在全国范围内,66.89%的城市空地率低于5%,约92%低于10%。基于现有人口分布数据(Jones and O'Neill, 2016; Tatem, 2017),中国城市普遍具有更高的人口密度与更紧凑的土地利用模式,土地开发强度远高于美国等发达国家。因此,直接基于空地率水平对中美两国城市空地问题作对比,可能忽视了各自不同的发展阶段、制度环境与土地市场特征。换言之,在中国这样的人地矛盾突出的国家,即使是相对较低的空地率,也可能代表着大量的空间浪费。

因此,识别和干预那些空地率显著高于平均水平的城市,具有重要的政策意义。这类城市可能存在产业结构调整滞后、城镇化进程停滞或区域人口净流出的风险,其空地的形成往往并非临时性现象,而是与深层次的经济社会结构转型密切相关。此外,中国还面临大量空置房屋拆除并转化为空地的治理难题(Gao and Ryan, 2021)。来自地方治理实践的实证研究与政府公开数据均表明,城市空地问题已成为广泛关注的焦点议题(Zhang et al., 2023)。

基于城市空地分布类型的分类结果,可以得出以下几点结论。首先,大城市中的城市空地更容易聚集,形成规模较大的空地集群;而在中小城市中,

空地的分布更为分散，因此“局域型”是大城市最常见的分布模式，而“中心型”“周边型”与“散点型”则更频繁地出现在中小城市。其次，“全域型”与“局域型”城市的空地面积普遍更大，这反映了这些城市内部存在大块空地。最后，在治理层面，“全域型”与“周边型”城市需要得到特别关注：前者的空地率通常较大，位于对数正态分布的前部，其大范围且高度集聚的空地格局对城市发展和空间治理提出了更高要求；后者虽然空地总面积与空地率相对较低，但单个空地斑块的平均面积较大，因而在土地整合、基础设施供给和功能再利用等方面面临着与其他类型截然不同的治理挑战。

结果显示，不同类型城市空地在空间分布上具有差异。局域型空地主要集中在华北、华东和西北地区，表明这类空地在这些区域的城市中更为常见；周边型空地则在华东和西北更为突出。东北地区的城市以中心型和周边型为空间主导，说明空地往往集中在核心区与外围区两端。相比之下，中南和西南地区的城市以局域型为空间主导，呈现出更强的集聚性。这些差异说明，不同区域的城市在空地分布模式上具有内在的多样性。

进一步的回归分析表明，五类城市空地与城市面积和实体城市面积之间均呈现较强的对数线性关系，但其拟合优度和斜率存在差异。全域型和局域型的拟合效果最佳，多数 R^2 超过 0.8，说明这两类空地在规模与城市面积之间具有相对稳定的比例关系。中心型和周边型的拟合度相对较低，部分区域 R^2 不足 0.6，表明这类空地的空间分布存在更大的不确定性和波动性。散点型虽然样本量较少，但整体仍表现出一定的对数线性趋势，提示其在宏观层面也具备一定的规律性。

总体而言，中国城市空地在空间分布上呈现出明显的异质性：局域型和全域型更符合尺度规律，具有较强的稳定性；中心型与周边型则不易通过单一的尺度关系来解释，表现出较大的离散性；散点型虽然零散，但依然遵循一定的规模约束。这些特征为后续的分类治理和政策制定提供了实证依据。

6.4. 城市空地的应对策略

在上述规律识别的基础上，结合全国城市空地测度结果，本节将对当前城市空地治理的政策方向与优化路径进行系统梳理，以有效应对空地规模扩张所引发的社会、经济与空间环境挑战，从而推动城市空间的集约利用与可持续发展。

6.4.1. 人口变化是影响城市空地的关键因素

城市空地和城市的规模、经济以及人口变化呈现一定的关系。现有研究根据历史数据发现,相较于经济发展,人口变化是影响城市土地扩展的主要因素(Mahtta et al., 2022)。Newman 等对“Vacant Urban Areas (VUAs)”的形成机制进行探讨时,将人口变化(Population Alteration)与就业、财政状况及区位条件并列为核心变量之一,指出人口动态直接关系到空地的产生与空间分布(Newman, Park and Lee, 2018)。在中国城市背景下,Meng 等(2024)对 2006—2021 年间 618 个城市的土地扩张进行分析,结果表明人口、GDP 和行政层级等多重因素共同作用于城市土地扩张,其中人口变动同样是不可忽视的关键驱动因素(Meng et al., 2024)。探究城市空地与人口流动之间的关系,尤其是通过将当前城市空地的空间分布与未来人口迁移趋势进行匹配分析,可为制定有针对性的城市空地治理策略提供重要依据。

(1) 研究数据

研究基于 Wang, Meng 和 Long (2022) 的未来人口预测结果进行分析。该数据运用机器学习方法,基于开放访问的 WorldPop 数据集,先通过潜力面(或密度权重层)刻画像元对人口分布的相对贡献,再将行政单元人口分配到网格尺度(Bengtsson, Shen and Oki, 2006; Jones and O'Neill, 2016; Gao, 2017; Murakami and Yamagata, 2019),构建了 2020—2100 年间多种情景下的约 1 公里(30 弧秒)中国人口预测。

(2) 研究方法

研究选择基准情景下的未来人口变化数据,基于人口变化推演 2020—2030 年间中国城市空地的变化特征(表 6-5)。结合文献综述,本节分析了人口下降幅度与空地增长之间的阶段性关系。已有研究指出,当人口仅出现小幅下降(如十年内降幅低于 3%)时,城市通常能够通过自然更新、旧区拆迁与土地再开发等过程吸收冲击,从而避免空地率的系统性上升(Glaeser and Gyourko, 2005; Haase et al., 2014; Pallagst et al., 2017)。当人口降幅扩大至 10%—20%时,空地增长往往呈现加速效应,进入“显著增加”阶段(Mallach, Haase and Hattori, 2017)。而当人口下降幅度超过 20%时,城市则可能面临高风险的空地累积,部分社区的空置率会突破“超高空置”阈值,进而引发市场失灵、社区空心化以及生态风险叠加等问题(Schilling and Logan, 2008; Rink et al., 2012; Audirac et al., 2012; Bernt, 2019)。此外,有研究指出,这种阶段性关系还受到城市规模、治理能力与土地制度的调节作

用：大型城市在早期阶段具有更强的空间再利用能力，而中小城市则更易陷入“空地锁定”与衰退循环（Silverman, Yin and Patterson, 2013; Long and Wu, 2016）。

表 6-5 人口变化与城市空地变化的对应关系

人口变化幅度（十年尺度）	城市空地变化特征	风险等级
> 3%	些许减少	土地与住房需求增加，促进存量空地再利用
±3%以内	基本无显著变化	自然周转、拆迁和再开发可消化空地增长有限，可通过常规更新与治理措施加以控制
-3% ~ -10%	些许增加	空地扩张加速，应实施主动性收缩、再利用与差异化治理措施
-10% ~ -20%	明显增加	社区空心化与市场失灵，需要系统性政策干预与空间再配置
< -20%	显著增加	

（3）分析结果

2020 至 2030 年间部分城市已经显现出较大的城市空地增长压力（图 6-17）。尤其是东北、西北、西南以及若干大城市周边地区，部分城市将面临城市空地的快速增长，并呈现出明显的空间聚集性。这些区域往往伴随产业衰退、人口外流和经济转型困难。与之相比，中原地区（如河北南部、河南等）虽然也零散出现一些城市面临快速增长的风险，但整体上人口变化相对温和，城市发展仍保持一定的紧凑性和活跃性。这意味着该地区城市空地的增长速度相对较缓，城市体系内部仍存在支撑活力的条件。中原地区的城市空地问题具有一定的可控性，与东北、西北、西南等更严重的空地扩张地区形成对照。

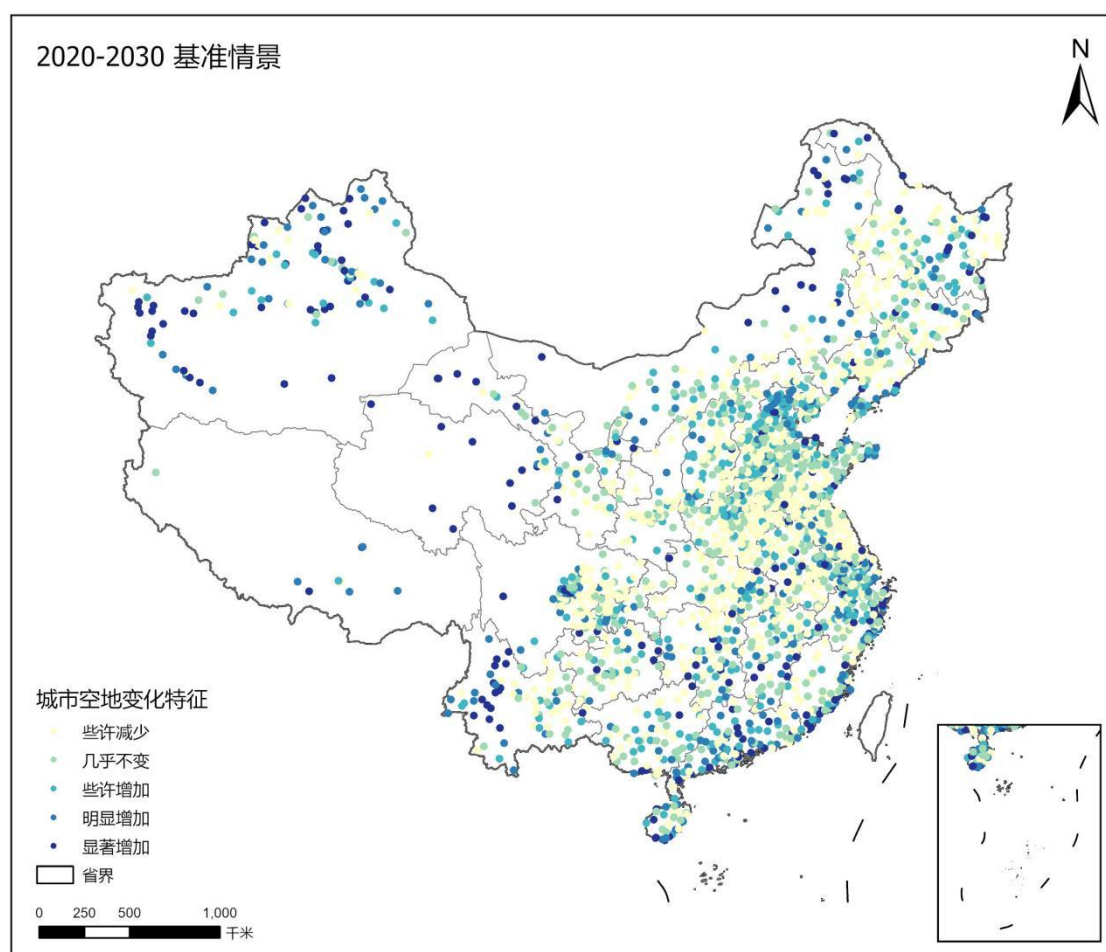


图 6-17 2020—2030 年中国城市空地的预测结果

注：每个点代表一个实体城市，颜色表示城市空地的变化特征。此图基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（GS（2016）1519 号）制作。

6.4.2. 未来规划应纳入人口收缩情景

当前，中国正面临历史性的长期人口下降趋势，这一趋势在未来几十年内将深刻影响国家的城市体系结构与土地利用格局。根据现有研究估算，在基准情景下，中国的总生育率被假定为在 2020 年约为 1.8，至 2030 年下降至 1.65（Chen et al., 2020b）。然而，国际应用系统分析研究所（IIASA）及相关研究指出，中国近年来的实际生育率远低于上述假定值，已降至 1.0–1.3 之间，接近或甚至低于日韩等国家当前的生育水平（Samir et al., 2017）。这证实了未来中国或将面临更严重的人口收缩问题。

在人口持续负增长的大背景下，人口结构变化的冲击将首先集中体现在

中小城市和非核心区域。这些地区原本就存在产业支撑不足、人口吸引力有限等结构性问题，未来更易受到人口流失、劳动力减少与公共服务弱化等多重影响。首先，大规模空地的出现将导致既有基础设施布局与服务供给体系失配，增加运维成本、降低运行效率；其次，土地闲置意味着城市土地利用效率下降，对资源集约化管理形成制约；此外，土地出让收入锐减和税基缩小将直接影响地方财政的可持续性，加剧“人走地空、债留城存”的风险。若中小城市的空地问题长期得不到有效治理，可能进一步削弱城市的功能承载力与发展韧性，陷入“衰退—空置—收缩”的负向循环。

面对全国人口总量的持续性下降以及人口加速向大城市和城市群集中趋势，大量中小城市将不可避免地进入人口长期收缩阶段，从而为城市空地的治理带来了更大的挑战。因此，在编制国土空间规划与城市总体规划时，应主动将“人口收缩”情景纳入规划前提，适时调整城镇开发边界、基础设施布局和土地利用策略，避免盲目扩张与资源闲置，提升城市体系的韧性与可持续性。

6.4.3. 城市空地应分区分类应对

基于上述讨论，在全国尺度，城市空地的类型多样，不同区域的空间分布不均且城市空地的现状不同，形成机制和发展潜力差异显著。因而，单一的管理模式难以全面适配不同类型城市空地的治理需求。为实现精准施策与高效利用，应建立以“分区管理”为核心的治理框架，推动因地制宜的精细化治理转变。

基于全国尺度的分析结果，城市空地在六大区域呈现出明显的类型差异与空间异质性。因此，在治理层面应当坚持“分区治理”的思路，结合区域特征因地制宜地制定政策工具。具体而言：

在华北地区，局域型和中心型空地占比较高，空地多集中在建成区内部或核心功能区。治理重点应放在推动存量空间更新与核心区功能重构，强化城市更新与土地再开发的统筹，避免核心区长期低效利用。

在华东和西北地区，局域型与周边型空地较为常见。由于外延式扩展带来的空地规模较大，治理应强调基础设施的配套完善和分期开发，防止外围新区出现大面积闲置。同时，局域型空地的集聚分布需要与区域的更新计划结合，避免空间断裂。

在东北地区，中心型与周边型空地同时占主导。这一“双核—边缘”并

存的格局提示治理需双向发力：一方面通过核心区更新促进产业与人口再集聚，另一方面通过外围空地的合理整合避免边缘地带进一步空心化。

在中南与西南地区，局域型空地更为突出，显示出城市空地在建成区内部的集聚特征。治理应结合存量更新与社区微更新路径，推动小尺度、渐进式的利用方式，提高城市内部空间的活力和连续性。

总体来看，城市空地在全国范围内呈现出空间差异性，这决定了治理路径需由总体策略逐步深入到城市内部。空地治理的关键在于根据不同空间特征和类型差异，形成分层递进、因地制宜的行动体系。具体而言，不同的空地分布格局往往对应着差异化的治理逻辑和实施重点，而本研究识别的五类城市空地类型，正反映出多样的治理方向。

对于全域型城市，空地几乎遍布整个实体边界，其特征是整体规模较大、覆盖面广。这类城市需要将空地治理与总体规划紧密结合，建立统一的空间战略，既要通过土地收储与再开发机制逐步盘活核心区块，又要避免周边区域的空地进一步扩散。相比之下，局域型城市的空地主要集中在某一片区，治理重点在于推动区域性更新。通过片区综合改造、公共服务设施导入和产业功能重组，可以实现对局部空地的整体性盘活，防止空间割裂加剧城市内部的失衡。

对于中心型城市，空地集中于主城区或城市核心地带，其影响不仅体现在土地浪费，更容易带来衰败感和社会问题。因此，该类型城市的治理关键在于激活城市核心，通过公共空间更新、混合功能开发与文化活力注入来提升地段价值，并借此带动周边区域的连锁反应。而边缘型城市则呈现空地主要分布在城市边缘的特征，这类城市的策略需要结合城市扩张的边界管控与城乡统筹发展。一方面，要严格控制城市无序外延，避免新增边缘空地；另一方面，要通过生态修复和郊区公共服务建设，将边缘空地转化为生态隔离带、休闲绿廊或多功能缓冲区，从而实现城市边界的柔性治理。

最后，散点型城市的空地呈离散分布，点状空地数量多而分布广。这种格局下的治理难以依赖统一改造，而更需要针对性与灵活性。通过小规模、渐进式的“微更新”措施，将零散空地纳入社区更新和街区治理之中，可以实现空地再利用的精细化和低成本化。同时，借助社会资本、社区组织与居民参与，可以推动分布式治理模式，使零散空地逐步转化为社区公共空间或生态节点。

6.4.4. 采用临时利用策略

在城市空地治理中，社会视角的介入同样是推动空间再利用的重要力量。临时性利用不仅能够回应短期用地需求、提升空间治理的韧性，还能有效激发社会参与并增强社区凝聚力（Agheyisi, 2025）。不同于传统的自上而下开发模式，临时性利用强调灵活性与社会性，为居民、社区组织和社会资本的直接介入提供了可能。

具体而言，根据地块属性和周边社区需求，城市空地可被灵活转化为社区花园、城市农场、便民集市、临时停车场、雨水收集点或文创展示空间等低强度利用方式。这类用途不仅具有成本低、部署快和可随时调整的优势，更重要的是，它们通过居民直接参与的形式强化了社区的自组织功能。居民在这一过程中不仅是使用者，更成为共建、共管、共享的主体，从而促进了社会资本与空间资源之间的良性互动。

国际经验表明，临时性利用在促进社会参与和公共价值创造方面具有重要作用。例如，纽约的“Temporary Urbanism”政策通过制度化手段支持居民和社区团体开展临时项目，推动了市民自发的公共活动与文化创意实践。柏林 Tempelhofer Feld 项目更是将废弃机场改造为临时性的文化与休闲空间，成为社区自治和社会包容的重要象征。这些案例显示，临时性利用不仅改善了空间环境，更激发了社会认同和公共责任感。

6.5. 西宁市的城市空地应对实践

本节聚焦于具体城市的城市空地识别与治理实践，强调在深入理解空地形成原因、产权结构、使用现状及其环境影响的基础上，探索针对性的治理路径。以西宁市为例，研究进一步探讨如何在具体情境中将空地治理与城市更新、空间优化等政策工具有机衔接，从而实现土地再利用与城市空间品质的协同提升。

6.5.1. 城市空地的识别与调研

本研究在中国城市建设研究院有限公司和西宁市自然资源与规划局的支持下，深入青海省西宁市开展了城市空地的实地调研与分析工作，以支持西宁市城市更新与空间优化策略的制定。

西宁市作为青藏高原区域的重要中心城市，既具有典型的资源型产业基础，又承担着区域交通枢纽与服务中心的核心职能。然而，受产业周期性波动、经济转型压力以及城市空间扩张方式等多重因素的叠加影响，西宁市的城市空地问题呈现出显著的复杂性与多样性。与东部发达地区相比，西宁市的城市发展起步相对较晚，其快速增长阶段大致始于 2008 年前后，属于典型的后发展型城市。目前，西宁正处于增量扩张与存量优化并重的关键时期，如何在推进城市化进程的同时有效盘活和治理空地，已成为其城市高质量发展与治理体系建设的核心议题之一。

在西宁市城市更新的具体实践中，由于缺乏系统性的调研成果与矢量数据，各级政府往往依赖台账（电子表格）的方式来识别城市空地。在西宁市的实地调研中，研究采用“沟通+标注”的方式绘制了城市空地数据库。通过对典型地块的调查与验证，研究不仅纠正了空地的空间信息，还和西宁市各区委、开发区管理委员会沟通，分析了城市空地形成的原因，并据此提出了相应的治理对策与实践路径。该成果不仅包含各地块的矢量边界、面积规模和产权信息，还记录了现状使用情况等要素（详见附录 D），具体空间分布如图 6-18 所示。整体分布特征显示，西宁市的城市空地主要集中于城东区、城中区以及生物园区，并呈现出一定的空间集聚性。

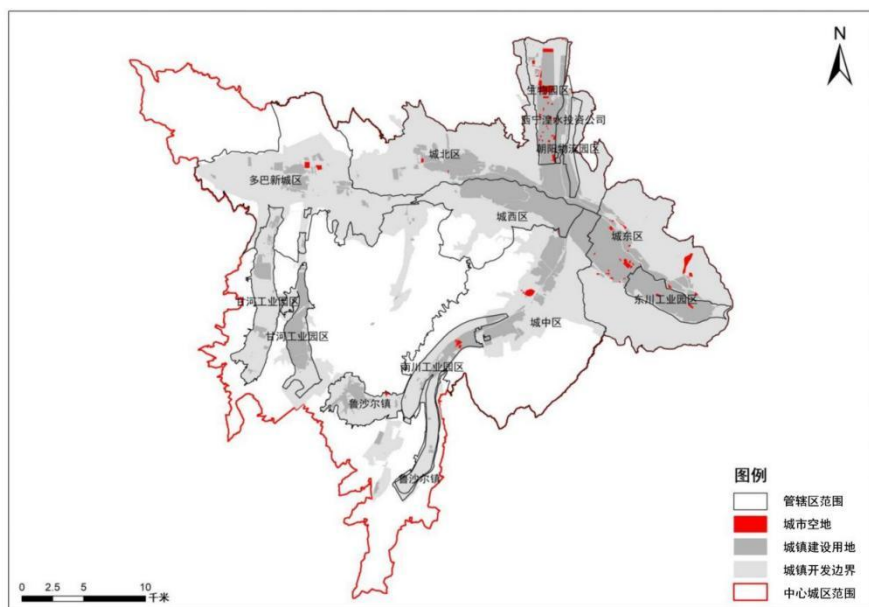


图 6-18 西宁市城市空地的分布^①

① 该图和数据成果由本研究和中国城市建设研究院有限公司、西宁市自然资源和规划局共同完成，直接支持了西宁市城市更新项目。

6.5.2. 城市空地的成因

整体来看，西宁市的城市空地主要集中分布于城东区 and 生物园区。调研结果显示，城东区占比为 36.5% (27/74)，生物园区占比为 41.9% (31/74)，而城西区、多巴新城及南川工业园区等区域的城市空地相对较少。结合实地调研、座谈访谈及现场踏勘等多维分析结果可见，城市空地的形成机制较为复杂，并非单一因素所致，而是由多重历史、经济与制度因素交互作用所形成。初步而言，其成因可归纳为以下几个方面。

6.5.2.1. 产权不清晰与管理权属交叉

该类城市空地的形成根源在于土地产权关系长期处于不明晰状态，同时缺乏有效的政策引导、资金支持与技术投入，导致相关地块在短期内难以进入正式开发流程，也缺乏明确的发展方向。以城东区湟乐公园河对岸的假日半岛地块（原省妇联地块）为例，该项目虽于 2012 年完成建设，但由于产权结构复杂、后续管理缺位，迄今已闲置十余年，成为典型的城市空地案例（图 6-19）。调研结果显示，该区域虽具备良好的生态环境与基础设施条件，且紧邻湟水河，区位优势显著，但因产权纠纷及缺乏后续利用规划，长期未能实现有效利用（图 6-20）。

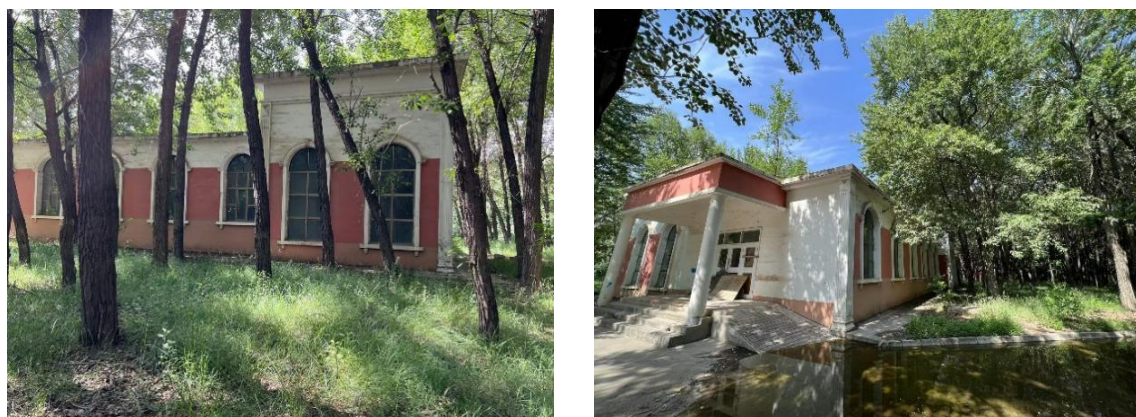


图 6-19 西宁市假日半岛地块现状

图片来源：作者自摄。



图 6-20 西宁市湟水河南岸地块现状

图片来源：作者自摄。

这类情况在城东区、城中区等行政交界处尤为突出。此类地块多呈破碎化分布，可达性不足，整体开发效益有限；同时，其产权关系复杂，需要分别同市住建局、市房管局、城投公司及土地储备中心等多个部门逐一核验，显著增加了治理与盘活的难度。更为复杂的是，园区与城区之间的土地开发和管理往往存在权责争议。例如，南川工业园区与湟中区交界处的部分地块，由于地面设施管理权和土地开发权分属不同政府部门，导致产权确认困难，进而阻滞了后续开发进程。类似问题不仅反映了土地制度层面的碎片化，也揭示了跨区域协调机制不足对土地利用效率的制约作用。

6.5.2.2. 规划职能与政策执行错位

在城市发展的过程中，相关管委会的成立在推动新区建设和产业布局方面取得了显著成效，但也不可避免地带来了一些管理层面的交叉与重叠，从而导致部分土地处于闲置状态。此类闲置土地的形成往往与原有规划的落地受阻密切相关。一方面，部分地块原本被收储或预留，用于满足特定职能需求，但由于后续政策调整或限制，原定功能无法实现，导致土地长期闲置。

例如，多巴新城境内原湟中区政府办公预留用地，虽然在前期已投入大量人力物力进行搬迁与收储，但因政策规定不再允许新建政府办公设施，后续规划又未能及时调整，该地块最终长期空置。类似的情况也出现在城西区海湖新区的原省政府预留用地。该地块原本计划建设行政办公设施，但在政策调整后，相关功能被取消，致使土地利用方向迟迟未能明确，形成了长期闲置的局面。

这一现象从侧面反映出，在快速城市化过程中，政策变化与空间规划衔接不足的问题。土地一旦进入收储或预留阶段，若缺乏灵活的调整机制和备用方案，极易在政策环境变化时陷入“锁定”状态。对于城市管理而言，这

不仅造成了土地资源的低效使用，也增加了未来规划修订与实施的难度。

6.5.2.3. 受土地开发影响导致难以开发利用

宏观市场环境与发展变化同样是导致土地闲置的重要外部因素。一方面，全国范围内土地市场价格整体下行，直接削弱了地产开发商的投资意愿，使得部分已由政府收储的地块在谈判与招商过程中迟迟无法达成实质性进展。例如，城东区为民巷片区由于征迁及收储成本居高不下，加之火车站周边存在较多尚未完全消化的空置商业楼宇，导致其开发前景长期受限。同时，目前中国的宏观经济发展的节奏低于预期，市场环境与发展预期普遍下行，资本趋于谨慎，投资动力不足。这一趋势在城市层面表现为开发节奏的明显放缓，使得部分地块缺乏及时的市场承接与政策推动，从而进一步加剧了土地闲置的规模与持续时间。

6.5.3. 西宁市的应对策略

结合调研结果与西宁市在国土空间治理中的探索实践，可以将城市空地的应对思路凝练为三个层次：

6.5.3.1. 信息化支撑与动态管理

空地治理的首要任务在于实现系统化的信息支撑。依托国土空间规划“一张图”平台，应当构建覆盖主城区、各区县及产业园区的综合性城市空地数据库。该数据库不仅需要纳入老旧小区、城中村、城市空地、低效工业与仓储用地等多类型地块，还应实现矢量化、属性化的建库体系，以保证不同类型空地的空间位置、产权状况、使用状态和发展潜力均能得到准确记录和实时更新。

在此基础上，应结合年度更新计划与实地调研成果，建立动态监测与预警机制，将空地的发现、登记、处置与再利用纳入制度化、常态化的运行轨道。通过这一机制，城市可以实时掌握空地的变化趋势，识别潜在的风险地块，并根据人口变化、产业转移或市场波动及时调整利用策略。

此外，信息化平台还应与城市更新、公共服务设施布局及基础设施建设相联动，实现数据共享与跨部门协同，推动“从被动应对到主动管控”的转变。通过这一过程，城市空地治理不再局限于事后修补，而是能够前置于规划决策环节，为后续空间优化与项目实施提供坚实的数据支撑和科学依据。

6.5.3.2. 存量盘活与公共功能协同

在空地利用层面，需要突出“以存量优化推动民生改善”的战略重点。这一思路强调城市空地不仅是潜在的发展资源，更是改善居民日常生活、提升社区品质的重要抓手。具体而言，应优先将中心城区的空地纳入整体更新计划，结合社区绿地、口袋公园、道路附属绿化、公共停车设施和便民综合体建设，缓解居民出行、休闲和生活服务方面的突出矛盾。

与此同时，老旧小区内部闲置的配套用房和煤房改造应与“十五分钟生活圈”建设统筹推进。通过引入社会资本或第三方主体进行统一打包运营，可以在原有空间中植入教育托育、医疗健康、社区食堂、菜篮子工程等功能，弥补公共服务短板。这种模式不仅能够提升社区生活便利度，也有助于推动社会力量参与城市更新，实现公共与市场的良性互动。

此外，存量优化应采取渐进式推进的方式，避免大拆大建带来的社会震荡。对于零散且规模较小的空地，可通过临时性或阶段性利用（如社区花园、临时文创空间或共享停车）实现“以用促管”，逐步提升地块价值和公共效益。在此过程中，空地治理与社区更新、公共空间改善形成有机结合，不仅提高了土地利用效率，也增强了居民对城市更新的获得感与认同感。

6.5.3.3. 区域统筹与完善长效机制

城市空地治理不仅是单个地块更新与再利用的问题，更应置于区域协同和制度创新的更大格局中加以统筹。空地的产生与消解往往跨越行政边界、功能片区和产业体系，具有明显的空间外部性。因此，治理体系需从“单点修补”转向“系统统筹”，在区域空间结构调整、要素流动配置及政策协调层面实现一体化推进。从西宁市的调研经验来看，城市在空间格局调整和新区建设过程中，可以通过建立“主城区疏解—新区承接”的联动模式来优化空地治理。城区可主动疏解部分低效功能与存量产业，将其导入新区或园区，从而既缓解新园区的空地压力，又为新区发展提供动力。例如，西宁市计划将主城区的物流仓储用地集中布局于多巴新城周边区域，不仅能够释放核心区空间潜力，还可带动周边基础设施建设与产业集聚，形成“核心区优化—外围区增长”的良性循环。这种“以疏促承、以承促优”的机制，为城市空地的区域化治理提供了可复制的经验路径。

与此同时，对于规模较大、区位优势、带动性强的重点闲置地块，单一的市场化更新往往难以奏效，需要通过制度化安排建立专项决策机制。从总体策划、实施方案到控制性详细规划的落实，再到综合运营的保障，应形成完整的决策与执行链条，并辅以政策支持和制度创新，以确保重大项目顺利

落地。

在治理机制上，应进一步完善长效化制度建设。一方面，可通过土地储备与再开发制度，为重点地块提供资金与用地保障；另一方面，应建立空地动态监测与信息共享平台，定期更新城市空地数据库，实现从识别—评估—利用的全过程管理。同时，鼓励地方政府引入多元主体参与，形成“政府引导—市场参与—公众共治”的多层协同机制。此外，可探索与生态修复、住房保障、公共服务等领域的政策协同，将空地治理与城市功能提升、环境改善及社会公平目标相结合，推动形成可持续、可复制的长效治理体系。

6.5.3.4. 临时利用与机制探索

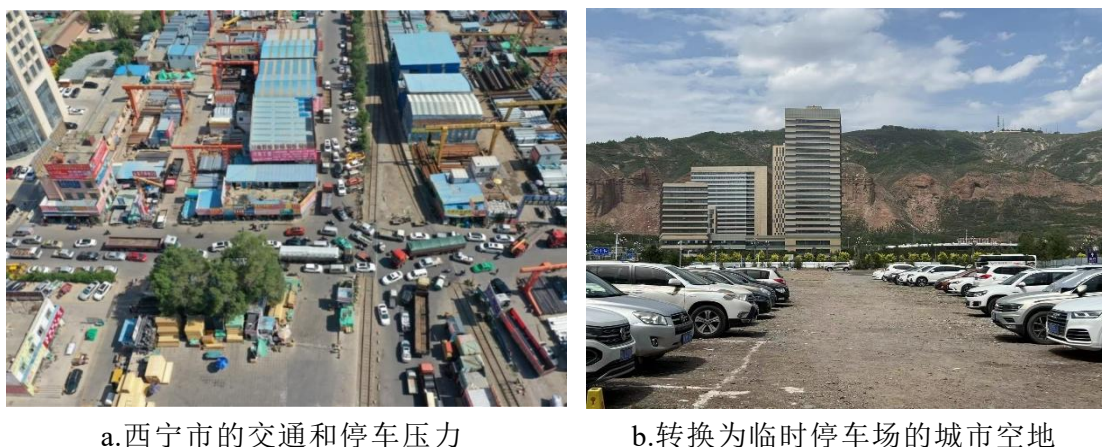
在老城区空间资源紧张、停车矛盾突出的背景下，空地的临时利用成为缓解交通压力的重要途径。以西宁市为例，该市中心长期面临突出的停车压力。由于地处西北地区，城市间公共交通联系相对不足，汽车，尤其是燃油车，已成为居民日常出行的主要方式。然而受制于河谷地形，老城区空间资源紧张，人地矛盾突出，核心区停车难问题日益严峻。

在此情况下，核心区内分布的大量闲置地块为交通与停车问题提供了现实契机。通过低成本、快速部署的方式，可将部分闲置地块临时改造为公共或半公共停车场。在无需大规模拆建或长期开发的条件下，这种临时利用不仅能有效缓解交通与停车矛盾，还能提升空地的短期使用效率，避免土地长期闲置所造成的社会与空间浪费（图 6-21）。

实地调研表明，政府与居民在态度上高度一致：将核心区空地改造为临时停车场，不仅能直接改善居民生活质量、提升政府管理效能，还能在短期内带来显著的社会与经济收益。这类实践增强了居民对城市治理成效的直观感知，提高了公共政策的认同度，为后续城市更新与功能重构奠定了社会基础。

从社会效应层面看，临时停车场的建设有效缓解了居民“出行难”“停车贵”等民生痛点问题，改善了社区生活秩序与交通环境，提升了居民对城市空间治理成果的可感知度与满意度。同时，这类项目通常以低成本、快速落地的方式实施，具有资金投入小、见效快、可调整性强等优势，体现出城市治理中灵活适应与渐进改善的特征。从政府治理角度看，临时利用策略为公共管理部门提供了一种更具弹性的空间管理模式。从长远视角来看，临时停车场等短期利用形式还具有过渡性功能，可作为未来城市更新和功能重组的实验场。通过对临时利用效果的评估与公众反馈的收集，政府可以更好地了解居民需求与空间使用偏好，为后续的永久性空间布局和土地再开发提供

实证依据与社会支持。这种从临时到长效的治理思路，体现了城市空间治理的阶段性逻辑与渐进性创新特征。



a. 西宁市的交通和停车压力

b. 转换为临时停车场的城市空地

图 6-21 西宁市核心区的停车问题与城市空地利用机遇

图片来源：作者自摄。

6.6. 本章小结

本章围绕中国城市空地的空间分布与统计特征展开系统分析，揭示了城市空地在全国尺度上的若干规律。首先，城市空地总量与城市规模之间呈现显著的等级-规模规律，在对数尺度下与实体城市面积高度相关，表明大城市普遍拥有更多的空地，但空地率与城市规模之间并无直接关系。其次，城市空地率整体符合对数正态分布，并呈现明显的“长尾效应”，即多数城市的空地率处于较低水平，而少数城市则表现出偏高的空地率。这一分布规律提示相较于平均数，中位数更能代表整体水平，同时而高空地率城市应成为政策重点。在空间格局上，不同类型城市空地表现出多样化特征。在国家尺度上，中国城市空地的空间分布表现出明显的区域差异和类型分化。全域型与局域型空地分布较广，平均面积普遍较大。中心型和周边型空地则更多集中于特定区域：前者主要出现在老工业基地和传统核心区；后者则在东部沿海与西北地区较为突出。散点型空地分布最为零星，单块规模普遍偏小，但在西南和中南等部分地区依然具有一定比例。

在此基础上，本章提出了基于规律的多层次治理策略。国家层面，应通过信息化平台建立统一的城市空地数据库，实现动态监测与预警，推动空地治理的制度化与常态化。区域层面，应坚持分区治理思路，结合六大区域的差异化分布特征，因地制宜制定政策工具。城市层面，应围绕三类核心任务展开：

其一，强化存量优化，优先将中心城区空地纳入社区更新与公共服务补短板的整体规划；

其二，推动临时性利用，鼓励居民、社区组织与社会资本共同参与，实现低成本、高灵活度的空间激活；

其三，完善制度机制，通过专项决策与跨部门统筹，保障重点地块和重大项目的高效落地。

综上所述，本章既揭示了城市空地在数量、结构与分布上的统计规律，也提出了多维度的治理思路，形成了“规律识别—类型划分—分区治理—城市策略”的分析逻辑。这不仅为理解中国城市空地的形成机制与空间特征提供了实证依据，也为未来在不同尺度上推进空地治理与城市更新提供了政策参考。

第7章 结论与讨论

7.1. 研究总结

中国的城市空地问题正日益成为城市发展和空间治理中的关键议题，具有明显的外部效应。然而，现有研究中对城市空地的关注仍显不足，主要存在三个方面的挑战：一是城市空地缺乏统一清晰的定义和分类标准；二是缺乏可比较、具有时效性与空间精度的系统数据，制约了城市空地的识别、监测与比较研究；三是对城市空地的规律探究和应对策略了解不足。因此，本文以上述视角为切入点，提出了“城市边界识别—城市空地识别—规律与策略探究”为核心的研究框架。

具体而言，研究首先通过整合遥感影像、土地利用数据与多源空间信息，提出并实现了中国实体城市边界的系统划定，获得了 2447 个实体城市单元；继而利用深度学习和多模态模型技术，开发了城市空地的自动化识别方法，生成覆盖全国实体城市的空地数据集；最后结合城市空地的识别数据，在国家 and 城市尺度探究了城市空地的分布规律，并根据规律探究和案例分析提出了国家尺度和城市尺度的应对策略。

7.1.1. 实体城市边界的识别

本研究围绕中国城市研究存在的“行政边界与真实城市边界错配”问题，构建了覆盖全国尺度的城市边界识别体系。研究首先梳理了中国城市研究中广泛使用的三类城市边界的定义：市区边界、城镇边界和实体城市边界；在参考土地利用数据、POI、道路交叉口密度、遥感影像等多源空间信息的基础上，本文采用城市聚类算法（CCA）等空间分析方法与交叉验证机制，完成了三套城市边界的识别。

进一步，研究对比了市区边界、城镇边界与实体边界三类城市定义方式所反映的城市空间结构、时间维度的可比性与政策的适用性，研究进一步明确了实体边界在反映城市真实空间形态、支撑空间统计与动态分析方面的优势。研究通过与全国人口、POI、GDP、路网等高分辨率数据的拟合与等级-规模法则的验证，研究证实了实体城市边界在空间维度上展现出良好的结构合理性与跨城市一致性，为后续城市空地识别与规律探究奠定了良好的空间

基础。

总体而言，本章提出的城市边界识别方法不仅实现了从“制度划分”向“空间真实”的转变，也为面向未来的城市人口分布、城市转型等研究提供了科学有效的空间单元支持。

7.1.2. 可比性城市空地识别方法的建立与应用

在明确城市空地的概念与遥感辨识特征的基础上，本研究构建了覆盖全国实体城市的系统化识别体系。该体系利用高分辨率遥感影像与人工标注数据集，结合深度学习方法对全国范围内的城市空地进行了自动化识别。具体而言，研究在模型选取阶段对比评估了 YOLOv8、FastSAM 等多种前沿的图像分割与目标检测模型，在综合考虑精度与效率后，选择 FastSAM 作为核心识别工具，构建出一条兼顾准确性与可扩展性的最优识别路径。

本研究设计了一套涵盖“图像预处理—训练样本构建—参数调优—置信度控制—批量矢量化”的多环节流程。研究在本地化计算环境下实现了对 56000 余张遥感影像切片的快速处理，最终输出了 2447 座实体城市的城市空地矢量成果。与传统的遥感人工解译或统计普查方法相比，本研究实现了从“手工普查—局部案例”向“自动提取—统一标准”的转变，降低了大范围城市空地识别的时间成本与人力投入。同时，通过深度学习模型的引入，识别过程具备良好的可扩展性与可重复性，可随影像更新而实现动态迭代，以满足长时序研究的需要。

这一识别成果不仅为后续研究提供了精细化的空间数据输入，也为城市空地的多维度分析创造了条件。一方面，它为揭示空地的分布规律、等级结构与区域差异提供了量化基础；另一方面，它也为开展空地演化建模、再利用路径评估及政策干预模拟提供了空间化、可操作的底图支持。

7.1.3. 城市空地分布规律的揭示与应对策略的提出

识别结果显示，全国城市空地率约为 4.78%，总面积达到 4442.1 平方公里，这证实了城市空地在绝对数量和空间格局上已构成了不可忽视的城市发展现象。从分布规律来看，城市空地具有明显的“等级-规模”特征，不同城市在空地占比、形态结构与空间聚集性上表现出高度异质性。在实体城市系统内部，城市空地总量与城市规模之间呈现出典型的规模法则特征：城市

面积越大，其空地总量往往也越高，二者在对数尺度下表现出较强的线性相关性。这一现象表明，城市空地的形成并非完全随机，而是在相当程度上受到“规模效应”的驱动，即大城市在扩张与功能转换过程中更易积累大体量的空地。

进一步的统计分析显示，城市空地率整体符合对数正态分布，伴随明显的“长尾效应”。这意味着绝大多数城市的空地率保持在较低水平，仅有少数城市出现极高的空地率。这一分布特征不仅反映出城市空地在整体上的低普遍性与局部上的高度集中性，还提示在统计度量与跨城市比较时，应更加注重采用中位数而非均值作为评价指标，从而避免少数特大城市对总体结果产生不成比例的扭曲。

从分类视角来看，全国城市空地在空间分布上呈现出差异化格局。全域型与局域型空地在数量和面积上占据主体地位，平均面积普遍较大。中心型空地主要分布于老城区或功能核心区，往往对城市整体形象与功能重塑具有重要影响。不同区域的城市空地类型存在差异：华北、华东和西北以局域型与周边型为主，东北则以中心型和周边型为多，而中南与西南则以局域型为主。这表明，不同区域的发展背景与城市空间演化路径存在多样性，为后续研究提供了重要参考。

基于上述空间分布规律，本章提出了分层次的治理策略。在国家尺度，应依托国土空间规划平台建立统一的城市空地数据库，实现动态监测与信息化支撑；在区域尺度，应坚持分区治理思路，统筹区域间产业与功能布局；在城市尺度，应探索多维度的差异化路径，包括以存量优化推动民生改善，将空地转化为公共服务与社区更新的资源；通过临时性利用提升社会参与与空间韧性，鼓励社区花园、共享菜园和便民设施的低成本植入；并通过制度化安排完善决策链条，对重点地块实施专项治理。

7.2. 主要创新

本研究围绕中国城市空地的识别与规律探究，聚焦于“边界识别方法、空地识别方法与空地规律及对策”三个核心创新方向展开系统研究，取得了如下创新。

7.2.1. 边界识别方法

研究基于“实体城市”概念，构建了覆盖全国的统一识别框架，生成了覆盖全国 2447 座实体城市的标准化边界数据库，为城市系统的规模分布、密度结构与空间规律分析提供了统一的空间基础。具体而言，研究综合利用土地利用数据（CNLUCC）、高分辨率遥感影像、POI、道路节点与人口分布等多源数据，采用城市聚类算法（CCA）结合迭代阈值优化技术，建立了全国尺度的自动化识别路径。为提高识别结果的可靠性，研究进一步引入道路密度聚类、POI 核密度、GAIA 不透水面和专家判读等多重方法进行交叉验证，确保边界在空间上的稳健性与一致性。研究该方法在技术上实现了多源数据融合与算法优化，在方法论上采用以空间数据驱动的城市识别范式，为后续的城市收缩、扩张及跨区域比较研究提供了可复现、可扩展的分析框架。

在此基础上，研究借助城市研究的经典理论，设计了对多种边界划定方式进行比较的方法，并优选出最适合的城市边界数据。在城市系统边界理论方面，本研究系统梳理并比较了市区边界、城镇边界与实体城市三类常用边界，评估了各个城市边界的适用性与局限，为不同城市边界概念的理解与选择提供了理论支持。

7.2.2. 空地识别方法

在空地识别方法上，研究构建了融合深度学习与高分辨率遥感影像的自动化识别体系。以 Fast Segment Anything Model（FastSAM）为核心模型，建立了从影像分割、样本优化到人工校核的完整技术路径，实现了全国范围城市空地的精准提取与矢量化输出。具体而言，研究在全国范围内选取随机样本区开展模型训练与阈值调优，以 F_2 -score 作为综合精度指标，确定最优识别参数，并通过多时相影像比对与人工修正，提升了模型的普适性与鲁棒性。研究基于最优识别模型，对全国范围的城市空地进行了自动化识别，并基于地理信息技术完成了城市空地矢量数据库生成。

与传统的人工解译或统计普查方法相比，该体系实现了识别过程的自动化与结果的标准化，提高了效率与可重复性，减少了人为主观差异。由此，研究在全国尺度上形成了覆盖全部实体城市的高精度空地数据库，为跨城市、跨区域的比较分析提供了统一基础。这一方法在技术上完善了城市空地的智

能识别流程，在方法论上则推动了城市存量空间研究由经验判读向数据驱动的系统转变，为后续的空间规律分析与政策制定提供了支撑。

7.2.3. 空地规律及对策

在空地规律及对策方面，研究基于全国尺度的空地识别成果，系统揭示了中国城市空地的统计分布特征，即城市空地符合等级-规模规律；城市空地率呈现对数正态分布，并伴随显著的“长尾效应”。这一发现表明，城市空地作为一种普遍存在的空间现象，具有内在的统计规律性和结构特征，扩展了现有关于城市空间分布与规模效应的理论认识。进一步，研究提出了城市空地的分类框架，量化了其在城市内部的分布差异。研究根据城市空地在城市内部的分布模式，将城市划分为中心型、边缘型与分散型等典型类型，并讨论了不同类型城市的应对策略。

本研究构建了从“规律识别—类型划分—治理策略”的完整研究链条，实现了从空地特征解析到治理路径构建的系统化探索。该框架不仅揭示了城市空地的空间分布与形成机制，也通过典型案例验证了分区治理策略在城市层面的可行性与适用性。研究在理论上深化了对城市存量空间结构与演化规律的认识，在实践上为城市更新、低效用地再开发及未来空间规划提供了可操作的数据支持和理论依据，体现了本研究在方法体系与理论建构上的整体创新与综合价值。

7.3. 研究局限及未来展望

尽管本研究在城市空地识别、分类与规律探究等方面取得了阶段性进展，但仍存在一定局限，未来可以从以下几个方面进一步拓展和完善。

首先，本研究的数据精度、完整性与时效性仍存在一定局限。本研究所采用的城市边界、遥感影像和人口数据主要来源于公开数据集，受影像更新周期、地类识别误差等因素影响，部分地区的识别结果可能存在偏差。在动态性方面，由于空地识别主要基于2023年单期遥感影像，尚未能揭示城市空地的动态变化过程。未来可构建长时序空地数据库，结合人口、土地出让及互联网大数据等多源信息，量化不同驱动因素对空地演化的影响与贡献，从而提升对空地形成机制与空间演变过程的解释力。

其次，部分结果仍具有主观性。尽管本研究提出了多维分类框架并尽力

结合客观数据指标,但部分分类仍依赖人为设定或专家判断。例如,城市空地的标注数据在缺乏地面核实的情况下,难以完全保证其客观性。未来研究可进一步引入地面实测数据,或结合城市管理部门的实际分区与用地资料,从而提升分类标准的普适性与可操作性。

最后,本研究对城市空地的探讨主要集中在统计规律与空间分布规律层面,尚未深入到其背后的作用机制与形成逻辑。尽管本研究提出了五类典型空间分布模式,但尚未针对不同成因类型展开差异化机制分析。未来可在现有分类基础上识别各类空地的核心驱动因素,从而支撑空地治理痛点的识别与政策制定。未来研究应突破单一的统计与分布分析,转向城市空地的机制探究。例如,在不同城市发展阶段下,探究人口、经济、社会与环境因素如何推动城市空地的生成与演化。

未来可在城市空地的形成机制方面开展以下研究。

首先,构建“类型—机制”对应关系的系统框架。本研究已识别五类典型空间模式,但尚未建立类型背后的动力差异。未来可针对每一类空地制定专门的机制假设,边缘型空地更多由超前供地、扩张模式和预期高估所致;散点型空地或与地块形状与可达性等空间结构因素密切相关等。通过构建类型化假设,并结合地块级或区级数据进行验证,可形成“类型—成因—治理”三段式逻辑链条,为分类治理提供基础。

第二,引入多维解释变量,构建形成机制的多元模型。未来可在全国2447座城市层面构建综合解释框架,纳入制度(如土地出让效率、征拆周期、土地闲置处罚强度)、经济(如房地产投资、产业转移指数、财政收入结构)、空间(如城市形态紧凑度、道路密度、开发边界扩张速率)、社会(如人口流入流出、老龄化比例)等多维度变量,系统检验不同因素对空地规模、空地率及其空间类型的影响强度,从而形成结构化的机制模型。

第三,结合城市发展阶段开展分组比较研究。不同规模、不同发展阶段的的城市,其空地的驱动因素和形成逻辑可能显著不同。未来可将城市分为不同的发展模式类别,分别分析空地的形成路径。例如,在增长型城市中,空地可能更多源于超前供地与扩张式开发;而在收缩型城市中,则可能源于人口流失、产业外迁与投资撤离。通过开展城市组群的异质性分析,可揭示不同发展阶段下空地形成机制的差异性。

参考文献

- Accordino J, Johnson G T. Addressing the vacant and abandoned property problem[J]. *Journal of Urban Affairs*, 2000, 22(3): 301-315.
- Adams D, Disberry A, Hutchison N, et al. Ownership constraints to brownfield redevelopment[J]. *Environment and Planning A*, 2001, 33(3): 453-477.
- Agheyisi J E. Temporary use of urban vacant spaces: A pro-poor land use strategy in the Global South[J]. *Journal of Urban Affairs*, 2025, 47(3): 978-1002.
- Al hothaufi A S M, Hu Y, Alabsi A A N, et al. Transforming Underutilized Urban Spaces into Green Infrastructure in Global South Cities: A Systematic Review[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2025: 106816.
- Alker S, Joy V, Roberts P, et al. The definition of brownfield[J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2000, 43(1): 49-69.
- Anselin, L. *Spatial econometrics: Methods and models*[M]. Dordrecht: Springer, 1988.
- Arдохайн C, Fei S. The impacts of training data spatial resolution on deep learning in remote sensing[J]. *Science of Remote Sensing*, 2025, 11: 100185.
- Audirac I. Urban shrinkage amid fast metropolitan growth (Two faces of contemporary urbanism)[EB/OL]. 2007.
- Bengtsson M, Shen Y, Oki T. A SRES-based gridded global population dataset for 1990–2100[J]. *Population and Environment*, 2006, 28: 113-131.
- Berry, B. J. L. Cities as systems within systems of cities[J]. *Papers in Regional Science*, 1964, 13(1): 147–163.
- Bishop P, Williams L. *The temporary city*[M]. London: Routledge, 2012.
- Blanco H, Alberti M, Olshansky R, et al. Shaken, shrinking, hot, impoverished and informal: Emerging research agendas in planning[J]. *Progress in Planning*, 2009, 72(4): 195-250.
- Branas C C, South E, Kondo M C, et al. Citywide cluster randomized trial to restore blighted vacant land and its effects on violence, crime, and fear[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(12): 2946-2951.
- Burkholder S. The new ecology of vacancy: Rethinking land use in shrinking cities[J]. *Sustainability*, 2012, 4(6): 1154–1172.
- Butcher A, Cristiani J, Davidson B, et al. *Vacant to Vibrant—A Guide for Revitalizing Vacant Lots in Your Neighborhood*[M]. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, 2006.
- Castro A. *Vacant Lots in Chicago: A Typology of Vacant Lot Uses and Their Local Context*[M]. Northeastern Illinois University, 2022.

- Chen B, Hashimoto S. Integrate brownfield greening into urban planning: A review from the perspective of ecosystem services[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2025, 104: 128642.
- Chen G, Li X, Liu X, et al. Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways[J]. *Nature Communications*, 2020a, 11(1): 537.
- Chen G, Zhou Y, Voogt J A, et al. Remote sensing of diverse urban environments: From the single city to multiple cities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2024a, 305: 114108.
- Chen J, Gao M, Cheng S, et al. Global 1 km $\times$ 1 km gridded revised real gross domestic product and electricity consumption during 1992–2019 based on calibrated nighttime light data[J]. *Scientific Data*, 2022a, 9(1): 202.
- Chen M, Chen L, Meadows M E, et al. Unveiling disparate urban-rural relations in China through catchment area mapping[J]. *Science Bulletin*, 2025.
- Chen Y, Guo F, Wang J, et al. Provincial and gridded population projection for China under shared socioeconomic pathways from 2010 to 2100[J]. *Scientific Data*, 2020b, 7(1): 83.
- Chen Y, Li X, Huang K, et al. High-resolution gridded population projections for China under the shared socioeconomic pathways[J]. *Earth's Future*, 2020c, 8(6): e2020EF001491.
- Chen Y, Wang J, Long Y, et al. Defining urban boundaries by characteristic scales[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2022b, 94: 101799.
- Chen Y, Xu C, Ge Y, et al. A 100 m gridded population dataset of China's seventh census using ensemble learning and big geospatial data[J]. *Earth System Science Data*, 2024b, 16(8): 3705-3718.
- Cheng X, Yang J, Li B, et al. Enhancing Urban Land Utilization through Segformer: A Vacant Land Analysis in Chengdu[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2025, 18, 6070-6085.
- City of Pittsburgh. Farm-a-Lot Program[EB/OL]. (2023-05-10)[2025-09-16]. <https://www.ura.org/pages/farm-a-lot-program>.
- Davies Z G, Edmondson J L, Heinemeyer A, et al. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(5): 1125–1134.
- Deng C, Ma J. Viewing urban decay from the sky: A multi-scale analysis of residential vacancy in a shrinking US city[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 141: 88-99.
- Deng Y, Liu J, Liu Y, et al. Detecting urban polycentric structure from POI data[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, 8(6): 283.
- Dewar M. Selling tax-reverted land: Lessons from Cleveland and Detroit: New this spring Westchester[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2006, 72(2): 167-180.
- ESRI. World Imagery[EB/OL]. (2025-09-06)[2025-09-16]. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>

- Finn D. DIY urbanism: implications for cities[J]. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 2014, 7(4): 381-398.
- Fissore C, Baker L A, Hobbie S E, et al. Carbon, nitrogen, and phosphorus fluxes in household ecosystems in the Minneapolis-Saint Paul, Minnesota, urban region[J]. *Ecological Applications*, 2011, 21(3): 619-639.
- Freier K. CLARINET Working Group 1: Brownfield Redevelopment Workplan[J]. German Environmental Agency: Berlin, Germany, 1998.
- Friendly A. Common property in the city: Curbing urban vacancy in São Paulo[J]. *Urban Studies*, 2025, 62(6): 1062-1082.
- Gabaix, X. Zipf's Law for Cities: An Explanation[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(3): 739-767.
- Gao J. Downscaling Global Spatial Population Projections from 1/8-degree to 1-km Grid Cells[R]. National Center for Atmospheric Research (NCAR), 2017.
- Gao S, Ryan B D. Implementation challenges of state-led redevelopment in shrinking cities: Case study of shantytown redevelopment in Yichun, Northeast China[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2021, 147(4): 05021001.
- Garvin E, Branas C, Keddem S, et al. More than just an eyesore: local insights and solutions on vacant land and urban health[J]. *Journal of Urban Health*, 2013, 90: 412-426.
- Glaeser E L, Gyourko J. Urban decline and durable housing[J]. *Journal of Political Economy*, 2005, 113(2): 345-375.
- N M I, Gomes R C, Longo R M. Contributions of urban green spaces to cities: A literature review[J]. *Sustainable Environment*, 2025, 11(1): 2464418.
- Goh KT, Ng SK, Chan YC, et al. Epidemiological aspects of an outbreak of dengue fever/dengue haemorrhagic fever in Singapore[J]. *The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 1987, 18(3): 295-302.
- Goldstein J, Jensen M, Reiskin E. Urban vacant land redevelopment: Challenges and progress[M]. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2001.
- Goldstick JE, Lipton RI, Carter P, et al. The effect of neighborhood context on the relationship between substance misuse and weapons aggression in urban adolescents seeking ED care[J]. *Substance Use & Misuse*, 2015, 50(5): 674-684.
- Gong P, Li X, Wang J, et al. Annual maps of global artificial impervious area (GAIA) between 1985 and 2018[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 236: 111510.
- Greening of Detroit. The Greening of Detroit: Organization Mission and Programs[EB/OL]. (2020-07-15)[2025-09-16]. <https://greeningofdetroit.com>.
- Haase A, Rink D, Grossmann K, et al. Conceptualizing urban shrinkage[J]. *Environment and Planning A*, 2014, 46(7): 1519-1534.
- He S Y, Lee J, Zhou T, et al. Shrinking cities and resource-based economy: The economic restructuring in China's mining cities[J]. *Cities*, 2017, 60: 75-83.

- Hollander J. Sunburnt cities: The great recession, depopulation and urban planning in the American sunbelt[M]. Routledge, 2011.
- Hou D, Miao Z, Xing H, et al. Two novel benchmark datasets from ArcGIS and bing world imagery for remote sensing image retrieval[J]. International Journal of Remote Sensing, 2021, 42(1): 240-258.
- Huq F F, Deacon L. A systematic review of community gardens and their role in urban food security and resilience[J]. Discover Sustainability, 2025, 6(1): 1-15.
- Immergluck D. Examining changes in long-term neighborhood housing vacancy during the 2011 to 2014 US national recovery[J]. Journal of Urban Affairs, 2016, 38(5): 607-622.
- Jiang B, Miao Y. The evolution of natural cities from the perspective of location-based social media[J]. The Professional Geographer, 2015, 67(2): 295-306.
- Jiang B, Yin J, Liu Q. Zipf's law for all the natural cities around the world[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2015, 29(3): 498-522.
- Jiang Z, Zhai W, Meng X, et al. Identifying shrinking cities with NPP-VIIRS nightlight data in China[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2020, 146(4): 04020034.
- Jocher G, Qiu J, & Chaurasia A. Ultralytics YOLO (Version 8.0.0) [EB/OL]. 2023. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. [2025-07-04].
- Johnson LT. Modeling urban neighborhood violence: The systemic model and variable effects of social structure[J]. Urban Affairs Review, 2021, 57(1): 128-152.
- Jones B, O'Neill B C. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways[J]. Environmental Research Letters, 2016, 11: 084003.
- Kabisch S, Steinführer A, Haase A, et al. Demographic change and its impact on housing[J]. Final Report for the EUROCITIES Network, Brussels and Leipzig, 2008.
- Kampffmeyer M, Salberg A B, Jenssen R. Semantic segmentation of small objects and modeling of uncertainty in urban remote sensing images using deep convolutional neural networks[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2016: 1-9.
- Kelleher C, Golden H E, Burkholder S, et al. Urban vacant lands impart hydrological benefits across city landscapes[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 1563.
- Kim G, Miller P A, Nowak D J. Urban vacant land typology: A tool for managing urban vacant land[J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 36: 144-56.
- Kim G, Newman G, Jiang B. Urban regeneration: Community engagement process for vacant land in declining cities[J]. Cities, 2020, 102: 102730.
- Kirillov A, Mintun E, Ravi N, et al. Segment anything[J]. arXiv preprint arXiv:2304.02643, 2023.
- Kivell P. Land and the city: patterns and processes of urban change[M]. Routledge, 2002.

- Kong X, Wang J, Shen J, et al. FastSAM-based Change Detection Network for Remote Sensing Images[C]//2024 5th International Conference on Geology, Mapping and Remote Sensing (ICGMRS). IEEE, 2024: 53-58.
- Kupidura P, Lesisz K. The impact of the type and spatial resolution of a source image on the effectiveness of texture analysis[J]. *Remote Sensing*, 2022, 15(1): 170.
- Landis J D, Hood H, Li G, et al. The future of infill housing in California: Opportunities, potential, and feasibility[J]. *Housing Policy Debate*, 2006, 17(4): 681-725.
- Lew D, Rigdon SE. Mapping rates of inpatient hospitalizations related to mental disorders in the state of Missouri: A conditional autoregressive model with zip code-level data[J]. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 2019, 28: 24-32.
- Li L, Tang H, Lei J, et al. Spatial autocorrelation in land use type and ecosystem service value in Hainan Tropical Rain Forest National Park[J]. *Ecological Indicators*, 2022a, 137: 108727.
- Li W, Hsu C Y, Wang S, et al. Segment anything model cannot segment anything: Assessing AI foundation model's generalizability in permafrost mapping[J]. *Remote Sensing*, 2024, 16: 797.
- Li W, Wang D, Li H, et al. Quantifying the spatial arrangement of underutilized land in a rapidly urbanized rust belt city: The case of Changchun City[J]. *Land Use Policy*, 2019, 83: 113-23.
- Li W, Zhou W, Bai Y, et al. The smart growth of Chinese cities: Opportunities offered by vacant land[J]. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(10): 3512-3520.
- Li X, Gong P, Zhou Y, et al. Mapping global urban boundaries from the global artificial impervious area (GAIA) data[J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(9): 094044.
- Li Y, Miller HJ, Root ED, et al. Understanding the role of urban social and physical environment in opioid overdose events using found geospatial data[J]. *Health & Place*, 2022b, 75: 102792.
- Liang H, Tomey K, Chen D, et al. Objective measures of neighborhood nment and self-reported physical activity in spinal cord injured men. *Archives ofenviro Physical Medicine and Rehabilitation*, 2008, 89(8): 1468-1473.
- Liu C, Hu S, Wu S, et al. County-level land use carbon emissions in China: Spatiotemporal patterns and impact factors[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2024, 105: 105304.
- Long Y, Wu K. Shrinking cities in a rapidly urbanizing China[J]. *Environment and Planning A*, 2016, 48(2): 220-222.
- Long Y. Redefining Chinese city system with emerging new data[J]. *Applied Geography*, 2016, 75: 36-48.
- López J I M, Kim G, Lei Y, et al. An assessment method and typology for the regeneration of vacant land in Quito, Ecuador[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62: 127130.

- Ma S, Long Y. Functional urban area delineations of cities on the Chinese mainland using massive Didi ride-hailing records[J]. *Cities*, 2020, 97: 102532.
- Ma Y, Li Y, Long Y. Measuring Temporal Evolution of Nationwide Urban Physical Disorder: An Approach Combining Time-Series Street View Imagery with Deep Learning[J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2025, 115(4): 923-948.
- Mahtta R, Fragkias M, Güneralp B, et al. Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities[J]. *npj Urban Sustainability*, 2022, 2(1): 5.
- Mallach A, Haase A, Hattori K. The shrinking city in comparative perspective: Contrasting dynamics and responses to urban shrinkage[J]. *Cities*, 2017, 69: 102-108.
- Ma D, Deng L, Guo R, et al. Revisiting urban scaling through street-based hotspots across 360 Chinese cities[J]. *Cities*, 2025, 167: 106386.
- Mao L, Zheng Z, Meng X, et al. Large-scale automatic identification of urban vacant land using semantic segmentation of high-resolution remote sensing images[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2022, 222: 104384.
- Martinez-Fernandez C, Audirac I, Fol S, et al. Shrinking cities: Urban challenges of globalization[J]. *International journal of urban and regional research*, 2012, 36(2): 213-225.
- Martinez-Fernandez C, Wu C T. Shrinking cities: Urban management and environmental legacy[J]. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung*, 2007.
- Mathey J, Röbber S, Banse J, et al. Brownfields as an element of green infrastructure for implementing ecosystem services into urban areas[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2015, 141(3): A4015001.
- Mcclintock N, Cooper J, Khandeshi S. Assessing the potential contribution of vacant land to urban vegetable production and consumption in Oakland, California[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 111: 46-58.
- Mellor A, Boukir S. Exploring diversity in ensemble classification: Applications in large area land cover mapping[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 129: 151-161.
- Meng H, Liu Q, Yang J, et al. Spatial interaction and driving factors between urban land expansion and population change in China[J]. *Land*, 2024, 13(8): 1295.
- Meng X, Jiang Z, Wang X, et al. Shrinking cities on the globe: Evidence from LandScan 2000–2019[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2021, 53(6): 1244-1248.
- Meng X, Long Y. Shrinking cities in China: Evidence from the latest two population censuses 2010–2020[J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2022, 54(3): 449-453.

- Minaee S, Boykov Y, Porikli F, et al. Image segmentation using deep learning: A survey[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2021, 44(7): 3523–3542.
- Murakami D, Yamagata Y. Estimation of gridded population and GDP scenarios with spatially explicit statistical downscaling[J]. *Sustainability*, 2019, 11(7): 2106.
- Nassauer J I, Raskin J. Urban vacancy and land use legacies: A frontier for urban ecological research, design, and planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 245–253.
- Németh J, Langhorst J. Rethinking urban transformation: Temporary uses for vacant land[J]. *Cities*, 2014, 40: 143-50.
- Newman G, Bowman A O M, Jung Lee R, et al. A current inventory of vacant urban land in America[J]. *Journal of Urban Design*, 2016, 21(3): 302-319.
- Newman G, Lee J, Berke P. Using the land transformation model to forecast vacant land[J]. *Journal of Land Use Science*, 2016, 11(4): 450-475.
- Newman G, Park Y, Lee R J. Vacant urban areas: Causes and interconnected factors[J]. *Cities*, 2018, 72: 421-429.
- Niedercorn J H, Hearle E F. Recent land-use trends in forty-eight large American cities[J]. *Land Economics*, 1964, 40(1): 105-110.
- Nolan E P. Vacant land conversion in Detroit, Michigan: A spatial analysis of neighborhood stabilization and communal access[D]. 2017.
- Oliveira E A, Andrade J S, Makse H A. Large cities are less green[J]. *Scientific reports*, 2014, 4(1): 4235.
- Openshaw S. The modifiable areal unit problem[M]. Norwich: Geo Books, 1984.
- O'sullivan A. Urban economics[M]. New York, NY: McGraw-Hill/Irwin, 2012.
- Ozdenerol E, Bialkowska-Jelinska E, Taff G N. Locating suitable habitats for West Nile Virus-infected mosquitoes through association of environmental characteristics with infected mosquito locations: a case study in Shelby County, Tennessee[J]. *International Journal of Health Geographics*, 2008, 7(1): 12.
- Pagano M A, Bowman A O M. Vacant land in cities: An urban resource[M]. Washington, DC: Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy, 2000.
- Pallagst K. The future of shrinking cities: problems, patterns and strategies of urban transformation in a global context[J]. 2009.
- Peng X. China's demographic history and future challenges[J]. *Science*, 2011, 333(6042): 581-587.
- Pham M A, Turo K J, Perry K I, et al. Planting native wildflowers improves vacant land as bee habitat in a post-industrial city[J]. *Ecological Entomology*, 2025, 50(3): 538-551.

- Pickett S T A, Cadenasso M L, Childers D L, et al. Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress[J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(3): 331–362.
- Radford A, Kim J W, Hallacy C, et al. Learning transferable visual models from natural language supervision[J]. In: *Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning*, 2021: 8748–8763.
- Radford A, Wu J, Child R, et al. Language models are unsupervised multitask learners[J]. *OpenAI blog*, 2019, 1(8): 9.
- Rieniets T. Shrinking cities: Causes and effects of urban population losses in the twentieth century[J]. *Nature and Culture*, 2009, 4(3): 231-254.
- Rozenfeld H D, Rybski D, Andrade Jr J S, et al. Laws of population growth[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(48): 18702-18707.
- Rozenfeld H D, Rybski D, Gabaix X, et al. The area and population of cities: New insights from a different perspective on cities[J]. *American Economic Review*, 2011, 101(5): 2205-2225.
- Rupprecht C D, Byrne J A. Informal urban greenspace: A typology and trilingual systematic review of its role for urban residents and trends in the literature[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13(4): 597-611.
- Ryan B D. *Design after decline: How America rebuilds shrinking cities*[M]. University of Pennsylvania Press, 2012.
- Samir K C, Dhakad M, Potančoková M, et al.. The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100[J]. *Global Environmental Change*, 2017, 42: 181–192.
- Samir K C, Lutz W. The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100[J]. *Global Environmental Change*, 2017, 42: 181-192.
- Sayre JW, Katzel MD. Household surface lead dust: its accumulation in vacant homes[J]. *Environmental Health Perspectives*, 1979, 29: 179-182.
- Schetke S, & Haase D. Multi-criteria assessment of socio-environmental aspects in shrinking cities: Experiences from eastern Germany[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2008, 28: 483–503.
- Schilling J, Logan J. Greening the Rust Belt: A Green Infrastructure Model for Right Sizing America's Shrinking Cities[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2008, 74(4): 451-66.
- Shepherd J, Abakuks A. *The National Survey of Vacant Land in Urban Areas of England 1990*[M]. HM Stationery Office, 1992.
- Shuster W D, Morrison M A, Webb R. Front-loading urban stormwater management for success—a perspective incorporating current studies on the implementation of retrofit low-impact development[J]. *Cities and the Environment*, 2008, 1(2): 8.

- Silva P. Tactical urbanism: Towards an evolutionary cities' approach?[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2016, 43(6): 1040-1051.
- Simons R A. Turning brownfields into greenbacks: Developing and financing environmentally contaminated urban real estate[M]. Urban Land Institute, 1998.
- Smith J P, Li X, Turner B L. Lots for greening: Identification of metropolitan vacant land and its potential use for cooling and agriculture in Phoenix, AZ, USA[J]. *Applied Geography*, 2017, 85: 139-151.
- Snedker KA, Herting JR. Adolescent mental health: Neighborhood stress and emotional distress[J]. *Youth & Society*, 2016, 48(5): 695-719.
- Snow J, Mullholland T, Johnson D, et al. Vacant Land Assessment Report: Investigation and Strategies to Reduce Blight in Clairton, PA [R]. 2017.
- Sobe C, Hirschmugl M, Wimmer A. Sentinel-2 Time Series Analysis for Identification of Underutilized Land in Europe [J/OL] 2021, 13(23):10.3390/rs13234920.
- Sperandelli D I, Dupas F A, Dias Pons N A. Dynamics of Urban Sprawl, Vacant Land, and Green Spaces on the Metropolitan Fringe of São Paulo, Brazil[J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2013, 139(4): 274-9.
- Syms P. Previously developed land: industrial activities and contamination[M]. John Wiley & Sons, 2008.
- Tan R, Liu P, Zhou K, et al. Evaluating the effectiveness of development-limiting boundary control policy: Spatial difference-in-difference analysis[J]. *Land Use Policy*, 2022, 120: 106229.
- Tatem A J. WorldPop, open data for spatial demography[J]. *Scientific Data*, 2017, 4: 170004.
- Titman S. Urban land prices under uncertainty[J]. *The American Economic Review*, 1985, 75(3): 505-514.
- Tu T, Wang X, Long Y. Spatiotemporal changes of urban vacant land and its distribution patterns in shrinking cities on the globe. *Science of the Total Environment*, 2024, 947: 174424.
- Turner R K, Daily G C. The ecosystem services framework and natural capital conservation[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2008, 39: 25–35.
- Uejio CK, Wilhelmi OV, Golden JS, et al. Intra-urban societal vulnerability to extreme heat: the role of heat exposure and the built environment, socioeconomics, and neighborhood stability[J]. *Health & Place*, 2011, 17(2): 498-507.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision[R]. New York: United Nations. 2019.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2024[R]. New York: United Nations. 2024.

- Vera C, Lucchini F, Bro N, et al. Learning to cluster urban areas: two competitive approaches and an empirical validation[J]. EPJ Data Science, 2022, 11(1): 62.
- Wang C, Wu J, Wu S. Urban agglomeration policy and coordinated road infrastructure development[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2025, 195: 104433.
- Wang S, Li W. GeoAI in terrain analysis: Enabling multi-source deep learning and data fusion for natural feature detection[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 90: 101715.
- Wang X, Long Y. Future shrinking cities on the globe: A projection map for 2020–2100 based on global gridded population dataset[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2023, 50(7): 1994-1997.
- Wang X, Meng X, Long Y. Projecting 1 km-grid population distributions from 2020 to 2100 globally under shared socioeconomic pathways[J]. Scientific Data, 2022, 9(1): 563.
- Wang X. X-AnyLabeling-CPU: A lightweight manual annotation platform for visual segmentation[R/OL]. 2023. <https://github.com/CVHub520/X-AnyLabeling>. [2025-07-04].
- Wu H, Du Z, Zhong D, et al. Fsvlm: A vision-language model for remote sensing farmland segmentation[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2025.
- Xu G, Zhu M, Chen B, et al. Underlying rules of evolutionary urban systems in Africa[J]. Nature Cities, 2025: 1-9.
- Xu S, Ehlers M. Automatic detection of urban vacant land: An open-source approach for sustainable cities[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2022, 91: 101729.
- Xu Z, Jiao L, Lan T, et al. Mapping hierarchical urban boundaries for global urban settlements[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2021, 103: 102480.
- Xue B, Cheng H, Yang Q, et al. Adapting Segment Anything Model to aerial land cover classification with low-rank adaptation[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2024, 21: 1–5.
- Zhang C, Han D, Qiao Y, et al. Faster segment anything: Towards lightweight sam for mobile applications[J]. arXiv preprint arXiv:2306.14289, 2023.
- Zhang W, Li Y, Zheng C. The distribution characteristics and driving mechanism of vacant land in Chengdu, China: A perspective of urban shrinkage and expansion[J]. Land Use Policy, 2023, 132: 106812.
- Zhang Y, Zhao H, Long Y. CMAB: A Multi-Attribute Building Dataset of China[J]. Scientific Data, 2025, 12(1): 430.
- Zhao X, Ding W, An Y, et al. Fast segment anything[J]. arXiv preprint arXiv:2306.12156, 2023.

- Zhu R, Newman G, Li D, et al. Associations between vacant urban lands and public health outcomes in growing and shrinking cities[J]. Urban forestry & urban greening, 2023, 89: 128127.
- Zhu Z, Woodcock C E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data[J]. Remote sensing of Environment, 2014, 144: 152-171.
- 邓理, 郭松青, 解清生等. 城市拆迁空地对城市绿化率的影响[J]. 水土保持研究, 2006, (3): 244-246.
- 邓刘洋, 沈占锋, 柯映明. 城市建成区遥感影像边界提取与扩张分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(07): 996-1003.
- 段晶晶, 张坤. 当前土地闲置的成因与对策分析[J]. 农村经济与科技, 2014, 25(4): 177-178.
- 盖伦·纽曼, 黎东莹, 朱芮, 等. 城市再造与韧性提升: 以绿色基础设施为导向的闲置土地再利用的经济绩效评估[J]. 景观设计学, 2018, 6(6): 10-23.
- 宫聪, 吴祥艳, 胡长涓. 城市空地转变为绿色基础设施的系统性规划方法研究——以美国里士满为例[J]. 中国园林, 2017, 33(5): 74-79.
- 顾伟媛. 城市房地产开发中土地闲置问题法律规制研究[J]. 法制博览, 2018, (1): 114-115.
- 郝婧妍, 刘艳军. 收缩城市住宅价格空间分异及影响机制——以鹤岗市为例[J]. 地理科学进展, 2022, 41(05): 812-824.
- 胡忆东, 吴志华, 熊伟, 等. 城市建成区界定方法研究——以武汉市为例[J]. 城市规划, 2008, 32(4): 88-91+96.
- 黄玫, 张敏, 张兵, 等. “城区范围”概念解析及其确定方法探讨: 以 115 个城市为实践对象. 城市规划, 2022, 46(5): 17-26.
- 金露. 浅析城市闲置空地中的农业景观发展模式[J]. 住宅科技, 2016, 36(6): 11-13.
- 孔小伟. 我国闲置土地处置中的政府功能与政策选择分析[J]. 经济与管理, 2015, 29(2): 36-40.
- 李建新, 武小平. 关于闲置土地处理和利用的若干意见和建议[J]. 中外房地产导报, 1998, (19): 43-44.
- 刘芳. 生态系统服务需求视角下的城市闲置空地转变为 GI 的优先级评价研究[D]. 华中农业大学, 2018.
- 龙开胜, 秦洁, 陈利根. 开发区闲置土地成因及其治理路径——以北方 A 市高新技术产业开发区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(01): 126-131.
- 楼江, 邓浩强. 城市闲置土地市场化配置的博弈分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, (1): 129-132.
- 卢新海, 黄善林. 房地产宏观调控的有效措施: 盘活城市闲置土地[J]. 中国房地产, 2007, (3): 12-14.
- 卢新海, 王福生, 宋国伦. 城市闲置土地处置方式创新思路[J]. 中国房地产, 2006, (6): 28-31.

- 陆明, 金美岑, 张岩. 城市空地更新为绿色基础设施的潜力评估[J]. 风景园林, 2024, 31(03): 81-88.
- 罗娟. 发展临时绿地——城市闲置土地的一种应对之策[J]. 中国林业产业, 2005, (5): 44-46.
- 马爽, 龙瀛. 中国城市实体地域识别:社区尺度的探索[J]. 城市与区域规划研究, 2019, (1):37-50.
- 孟祥凤, 马爽, 项雯怡, 等. 基于百度慧眼的中国收缩城市分类研究[J]. 地理学报, 2021, 76(10): 2477-2488.
- 缪军. 广州市闲置土地的利用研究——兼论城市土地供求平衡的关系[J]. 南方建筑, 2002, (3): 60-62.
- 戚伟, 刘振, 刘盛和, 等. 基于“城区常住人口”的 2010-2020 年中国收缩城市识别. 地理研究, 2023, 42(10): 2539-2555.
- 宋小冬, 柳朴, 周一星. 上海市城乡实体地域的划分[J]. 地理学报, 2006, (08): 787-797.
- 宋小青, 李心怡. 城市空地的内涵解释与研究方向[J]. 中国土地科学, 2019, 33(06): 71-79.
- 宋小青, 麻战洪, 赵国松, 等. 城市空地:城市化热潮的冷思考[J]. 地理学报, 2018, 73(6): 1033-1048.
- 谭永忠, 姜舒寒, 吴次芳. 闲置土地的形成原因与类型划分[J]. 中国土地, 2016, (2): 9-12.
- 王福生, 张骥. 利用土地增值税处置闲置土地的创新研究[J]. 当代经济, 2006, (8): 84-85.
- 王刚. 城市规划的一种弹性机制——城市空地规划[J]. 西部人居环境学刊, 2014, 29(3): 61-65.
- 王宏新, 孟文皓, 熊斯瑶. 基于 CiteSpace 的城市闲置土地研究:特征与热点演进 (1990—2015 年)[J]. 中国土地科学, 2016, 30(12): 54-62.
- 王宏新, 周拯. 城市闲置土地的生成机理及治理[J]. 城市问题, 2012, (9): 78-82.
- 王珊亚萍. 当代城市闲置空间的临时性景观设计[J]. 中国住宅设施, 2017, (2): 40-41.
- 王新宇, 龙瀛. “城区常住人口”在收缩城市识别中的特点——基于文献综述和多源数据的检验[J]. 地理研究, 2024, 43(7): 1929-1939.
- 张翰卿, 陈莉莉. 城市规划视角下的战术城市主义研究[J]. 城市规划学刊, 2016, (05):35-41.
- 赵小凤, 黄贤金, 马文君, 等. 闲置土地的认定思路及处置建议[J]. 中国土地科学, 2011, 25(09): 3-7.
- 中华人民共和国国家统计局. 国家统计局关于国家统计标准有关事项的公告[EB/OL]. 2008-07-12. 国 家 统 计 局 .
http://www.stats.gov.cn/sj/tjbz/gjtjbz/202302/t20230213_1902742.html.
[2025-07-04].

- 中华人民共和国自然资源部. 我国首次完成六百八十三个城市城区范围确定 [EB/OL]. (2024-04-08). https://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202404/t20240408_2841652.html. [2025-07-04].
- 周一星, 史育龙. 建立中国城市的实体地域概念[J]. 地理学报, 1995, (04): 289-301.
- 周舟, 晏学丽, 刘蓓蓓. 关于闲置土地处置问题的探讨[J]. 中国土地, 2022, (06): 49-51.

附录A 城市空地数据切片示例



图 F-1 城市空地数据切片示例

附录 B 城市空地识别结果示例

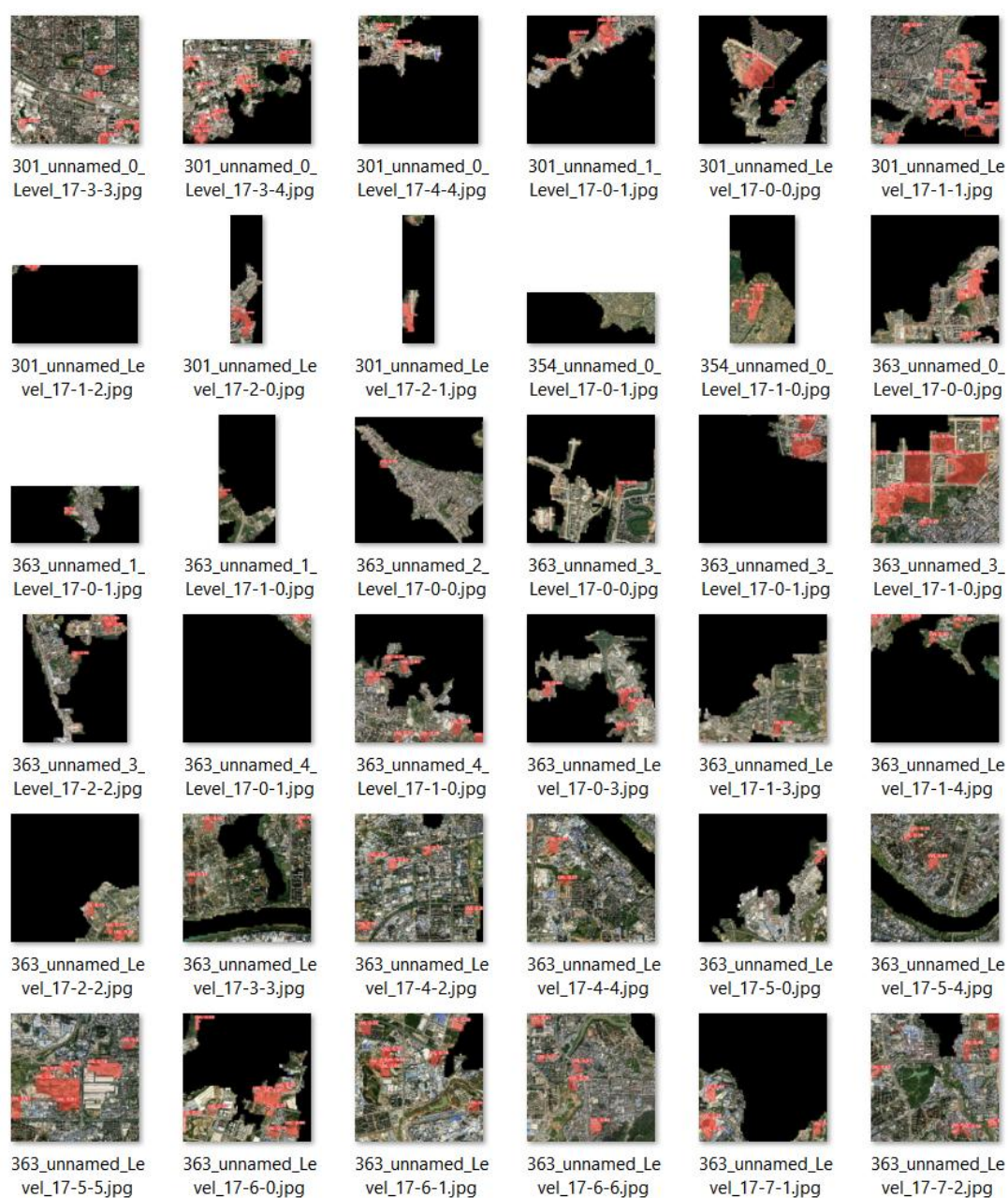


图 F-2 城市空地识别结果示例

附录 C 城市空地识别共享数据

为推动城市空地（UVL）的后续研究和应用，本研究共享论文相关的识别成果、工具、模型与训练数据。研究人员和政策制定者均可通过 Figshare 或 GitHub 获取。这些资源不仅支持城市空地的再现性研究，也为未来的扩展应用提供了坚实基础。

- 城市空地识别结果数据集。该数据集提供全国范围内城市空地的识别成果，包含矢量边界与面积规模等信息，可直接用于空间分析与政策模拟。下载链接：<https://figshare.com/s/f57bb8825ab157637d24>。代表城市的识别结果如图 F-3—F-11 所示。

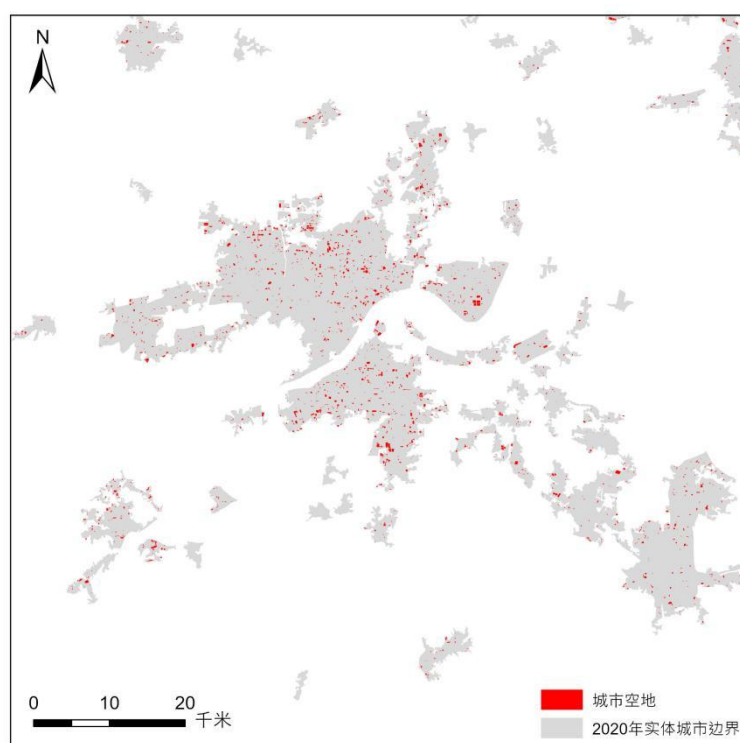


图 F-3 杭州市城市空地识别结果

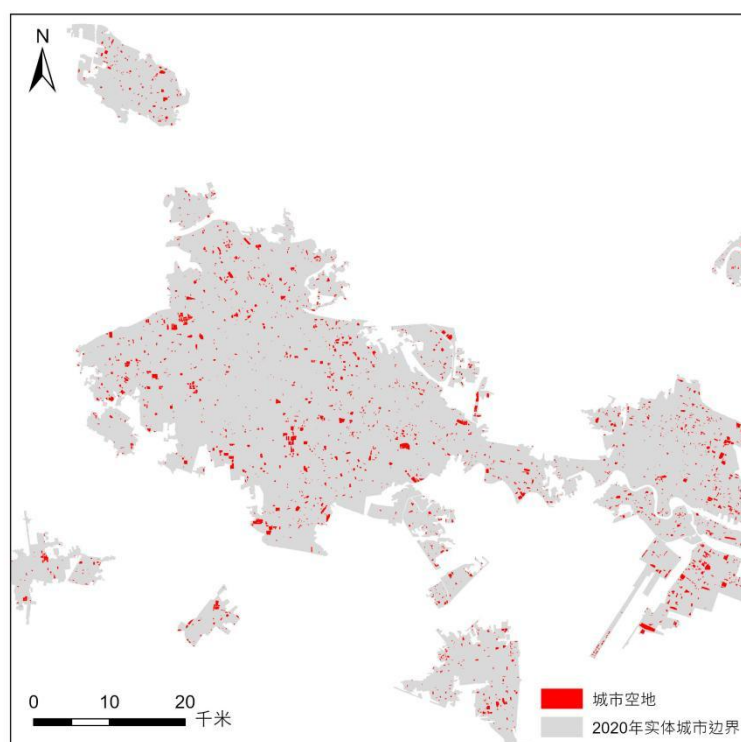


图 F-4 天津市城市空地识别结果

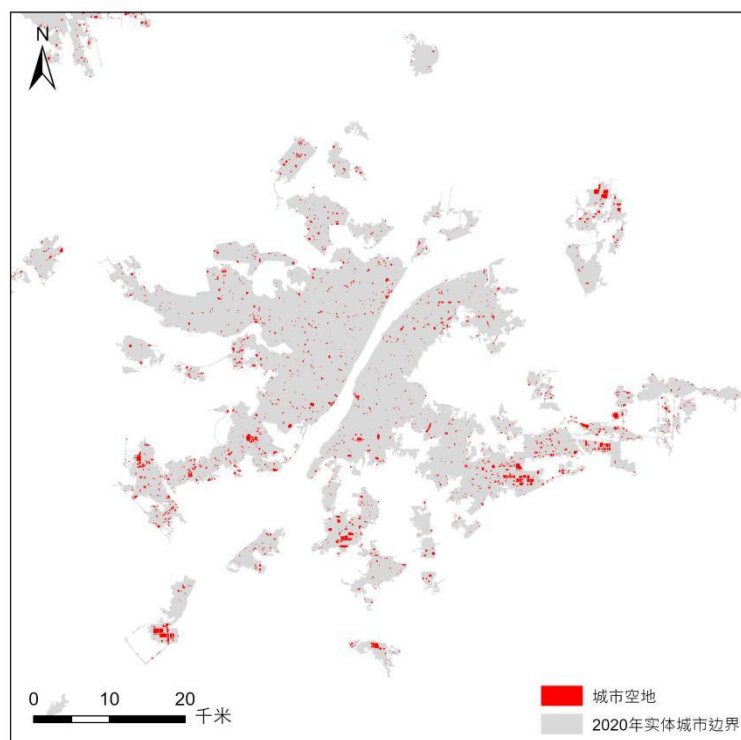


图 F-5 武汉市城市空地识别结果

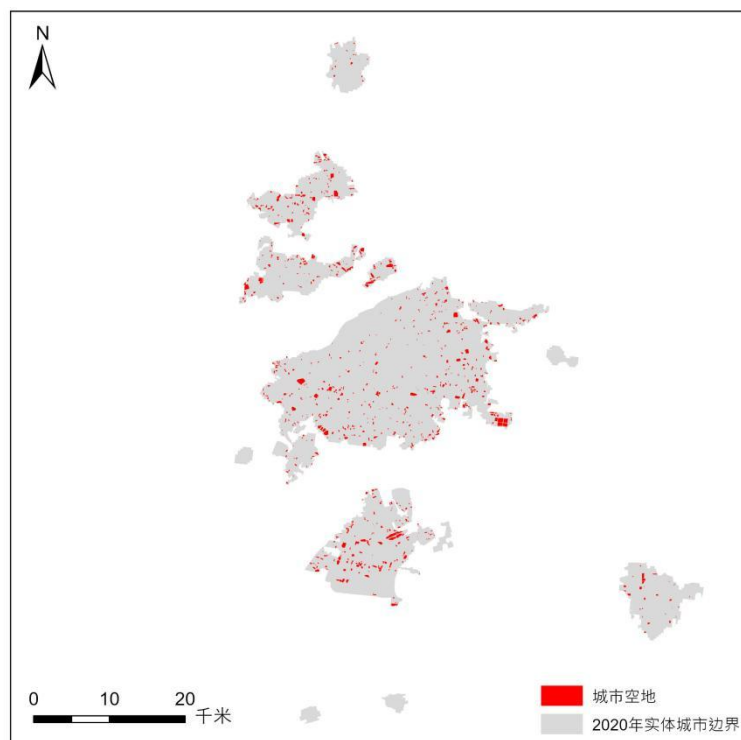


图 F-6 哈尔滨市城市空地识别结果

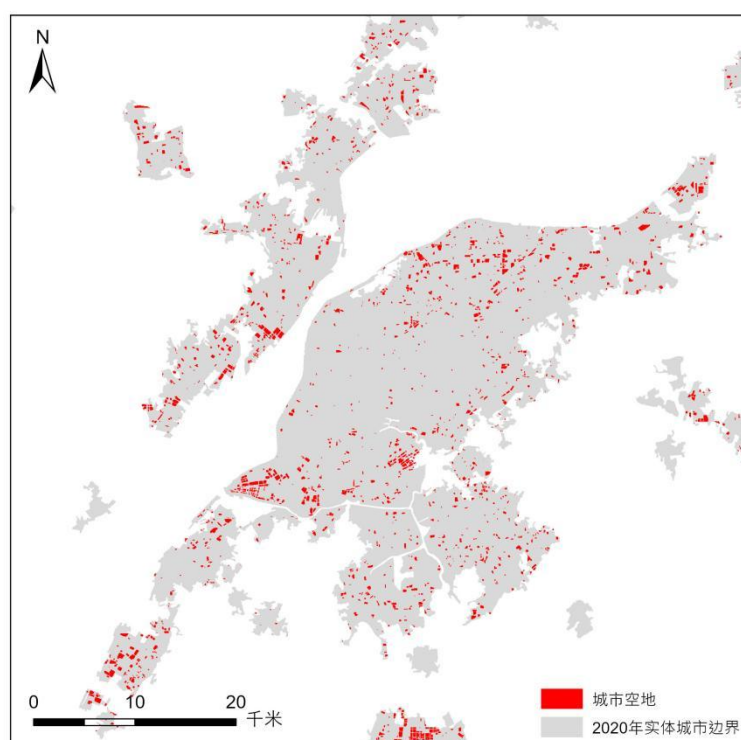


图 F-7 南京市城市空地识别结果

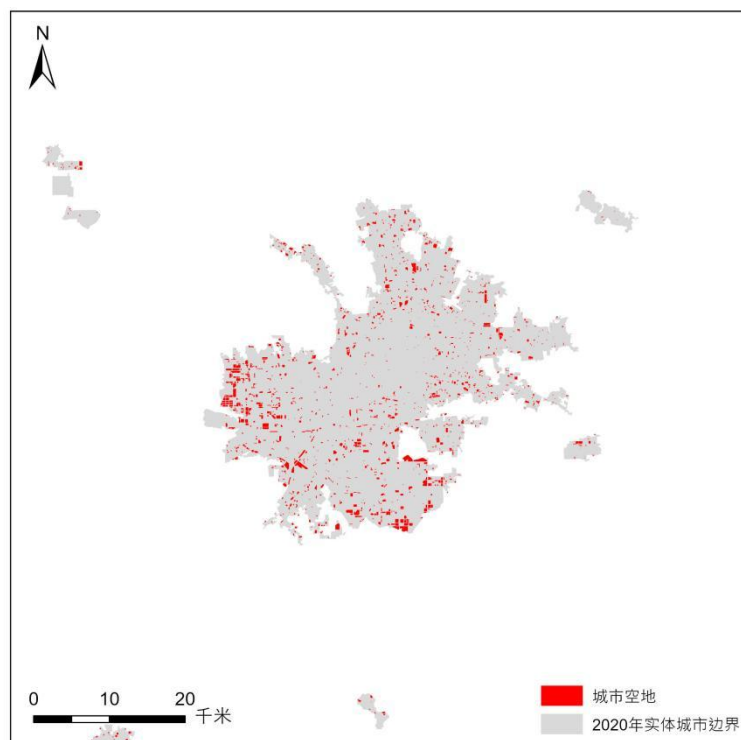


图 F-8 合肥市城市空地识别结果

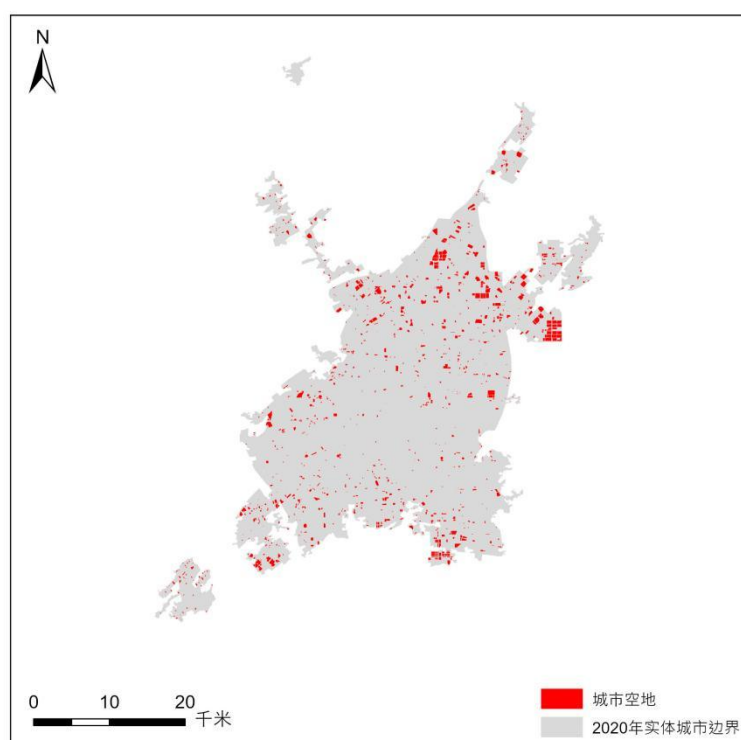


图 F-9 长春市城市空地识别结果

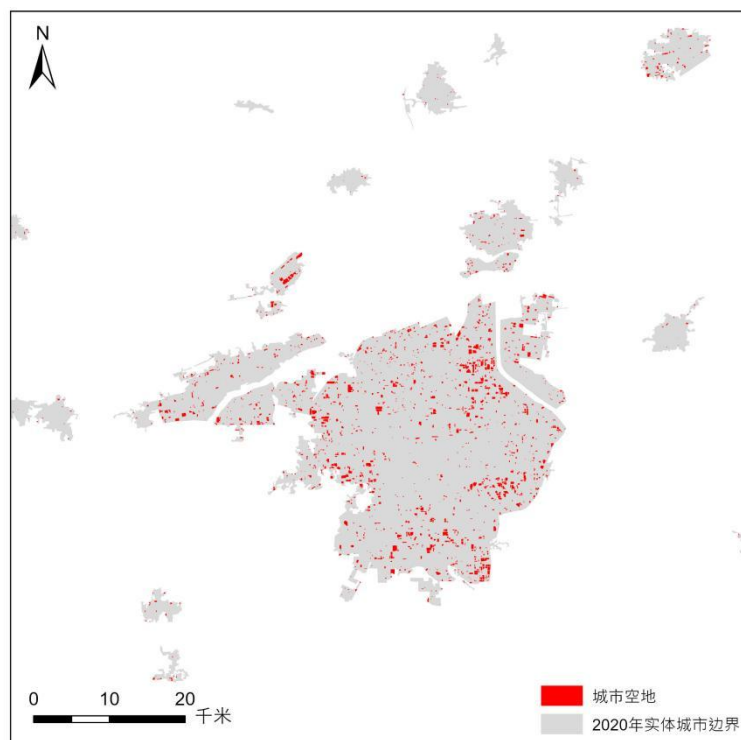


图 F-10 西安市城市空地识别结果

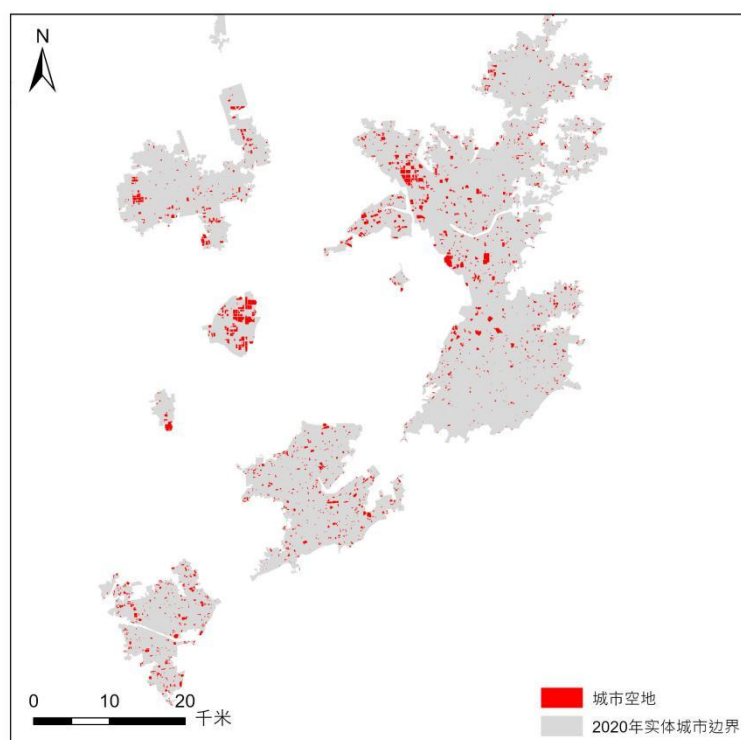


图 F-11 青岛-胶州市城市空地识别结果

- 研究基于 FastSAM 工具包，调整并共享了一个基于深度学习图像分割的识别工具，能够在高分辨率遥感影像中快速提取城市空地。下载链接：https://github.com/wangxy20/UVL_identification_FastSAM 或 <https://figshare.com/s/93c66411d8ee337dab15>。所含文件列表如下：
 - （1）predict/images，待预测图片存储路径；
 - （2）ultralytics-main，预测主体文件；
 - （3）README.md，指引文件（操作说明）；
 - （4）predict.py，进行空地识别的代码；
 - （5）train.py，进行模型训练的代码；
 - （6）val.py，进行模型验证的代码；
 - （7）yolo2mask.py，将预测结果转换为图片的代码。
- 城市空地识别模型。基于大规模标注数据集训练的深度学习模型，能够在多城市、多场景下保持较高的泛化性能，模型权重文件可加载到工具包中，用于复现城市空地的识别结果。下载链接：<https://figshare.com/s/a204a7ae8a8e172e2f4d>。
- 训练用标注数据集。该数据集包含用于模型训练与验证的遥感影像标注成果，覆盖不同类型、不同区域的典型城市空地。该数据集有助于未来研究者进一步优化模型或开展迁移学习实验。下载链接：<https://figshare.com/s/3a05a0d41fcd1cbf12b9>。

附录 D 西宁市各区城市空地调研统计表

表 F-1 西宁市各区城市空地调研统计表

序号	所处区域	面积 (公顷)	现状使用情况	产权所属
1	城北区	1.30	目前为临时停车场（大型货运车辆）	暂不明确
2	城北区	6.44	整体闲置	暂不明确
3	城东区	2.11	硬质铺装和绿地	处于城东区和东川工业园区交界处，大部分属于城东区，部分区域属于南川工业园区
4	城东区	7.48	临近火车站和青海省人民医院，目前为临时停车场	暂不明确
5	城东区	6.39	现状为绿地	暂不明确
6	城东区	2.55	目前为临时停车场	暂不明确
7	城东区	1.18	目前为临时停车场	暂不明确
8	城东区	50.01	目前整体为荒地，部分区域有开发计划	暂不明确
9	城东区	7.57	目前为临时停车场（主要为大型运输车辆）	暂不明确
10	城东区	1.64	暂无明确利用计划，地上存在一定的建筑	暂不明确
11	城东区	11.63	整体空置	暂不明确
12	城东区	11.09	整体空置，存在少许建筑	暂不明确
13	城东区	2.75	整体空置	暂不明确
14	城东区	1.27	主要为临时停车场	暂不明确
15	城东区	0.72	有一定面积的铺装，目前为临时停车场	暂不明确
16	城东区	2.62	整体用途不明，有车辆停放	暂不明确
17	城东区	1.69	整体空置	暂不明确
18	城东区	1.30	整体空置，地表有杂草覆盖	暂不明确
19	城东区	2.09	整体空置，存在硬质铺装和少量建筑	暂不明确
20	城东区	4.57	为临时停车场和绿地	暂不明确
21	城东区	1.39	整体空置	暂不明确
22	城东区	2.05	整体空置	暂不明确
23	城东区	0.95	整体空置	暂不明确
24	城东区	2.97	目前为临时停车场	暂不明确

附录 D 西宁市各区城市空地调研统计表

续表 F-1 西宁市各区城市空地调研统计表

序号	所处区域	面积 (公顷)	现状使用情况	产权所属
25	城东区	2.35	整体空置	暂不明确
26	城东区	1.54	整体空置，有硬质铺装，为临时停车场	暂不明确
27	城东区	0.12	为硬质铺装	暂不明确
28	城东区	0.43	整体废弃，靠近明长城遗址，周边有部分自建房	暂不明确
29	城东区	4.96	植被茂盛，内含多栋未完全建成的别墅	暂不明确
30	城西区	0.41	有硬质铺装	暂不明确
31	城中区	1.41	存在一定量建筑	北侧未征收，南侧为贾小村集体所有
32	城中区	1.61	有一定存量建筑	暂不明确
33	城中区	1.13	整体废弃，为临时停车场	暂不明确
34	城中区	0.13	桥下空间，有硬质铺装	城投公司（需进一步确定）
35	城中区（南管委）	33.65	整体闲置	南管委
36	东川工业园区	5.90	整体闲置	已完成收储
37	东川工业园区	8.89	整体闲置	已完成收储
38	多巴新城	20.15	完成政府收储	原湟中区政府预留用地
39	多巴新城	15.22	现整体空置，存在部分存量建筑	部分完成征收
40	南川工业园区	0.24	有硬质铺装	暂不明确
41	南川工业园区	13.73	整体闲置	商业，完成征收，南川工业园区
42	南川工业园区	5.32	整体闲置	总寨镇清河村
43	生物园区	7.98	整体闲置	暂不明确
44	生物园区	1.65	已批未供土地	暂不明确
45	生物园区	3.01	已批未供土地	暂不明确
46	生物园区	3.63	整体闲置	暂不明确
47	生物园区	1.65	有植被覆盖	暂不明确
48	生物园区	1.90	有一定量的存量建筑	暂不明确
49	生物园区	1.47	整体闲置	暂不明确
50	生物园区	0.95	闲置空地	暂不明确
51	生物园区	1.17	整体闲置	暂不明确
52	生物园区	1.46	整体闲置	暂不明确
53	生物园区	2.48	批而未供土地	暂不明确

附录 D 西宁市各区城市空地调研统计表

续表 F-1 西宁市各区城市空地调研统计表

序号	所处区域	面积 (公顷)	现状使用情况	产权所属
54	生物园区	0.74	现为临时绿地	暂不明确
55	生物园区	0.84	已批未供土地	暂不明确
56	生物园区	0.52	主要为临时停车场	暂不明确
57	生物园区	3.62	有一定存量用地	暂不明确
58	生物园区	4.69	整体闲置	暂不明确
59	生物园区	2.29	闲置土地	暂不明确
60	生物园区	1.68	闲置土地	暂不明确
61	生物园区	1.49	闲置土地	暂不明确
62	生物园区	6.15	绿地	暂不明确
63	生物园区	4.03	绿地	暂不明确
64	生物园区	62.34	疑似耕地，有部分建筑	暂不明确
65	生物园区	14.87	整体闲置	暂不明确
66	生物园区	22.08	有部分植被	暂不明确
67	生物园区	1.69	闲置土地	暂不明确
68	生物园区	2.77	批而未供土地	暂不明确
69	生物园区	0.69	批而未供土地	暂不明确
70	生物园区	0.43	批而未供土地	暂不明确
71	生物园区	0.39	批而未供土地	暂不明确
72	生物园区	5.75	批而未供土地	暂不明确
73	生物园区	1.93	大量植被	暂不明确
74	湟中区鲁沙尔镇	7.14	少部分使用，大部分闲置	平台公司运营

致 谢

在博士学习的漫长旅程中，我有幸得到许多师长、家人和朋友的陪伴与支持。值此论文完成之际，谨向所有给予我教诲与帮助的人致以最诚挚的感谢。

首先，我要向我的导师龙瀛教授致以最衷心的敬意与感激。龙老师严谨治学、宽厚待人，在学术上给予我精准而深刻的指导，在人生选择上给予我充分的信任与支持。从课题方向的确定，到论文的反复打磨，龙老师都以极高的责任感为我指引方向，让我在科研道路上不断成长。博士数年，受益良多，难以言尽。

同时，我也要特别感谢我的家人，包括我的妻子梁璐琪，双方父母以及家里的小核桃猫。在漫长的科研过程中，是你们的理解、支持与鼓励，让我能够无后顾之忧地投入研究。你们的陪伴，是我最坚实的后盾。我也要感谢同窗与好友们一路上的互相扶持、交流讨论与精神鼓励，与你们的相遇，是博士旅程中最温暖的时光。

衷心感谢在开题、中期、预答辩以及论文外审等关键环节中给予我宝贵意见的各位老师。老师们的建议不仅帮助我完善了研究的逻辑与方法，也拓宽了我对学术问题的理解，使论文能够逐步走向成熟。每一次研讨与交流，都让我深切体会到严谨审慎的学术精神。

此外，感谢百忙之中参加论文答辩的各位专家教授，感谢你们审阅我的论文，并在答辩中提出中肯而具有启发性的意见。

博士学习虽有终点，求索之路却永无止境。谨以此文，向所有支持、帮助与成就我的人致以深深的谢意。

声 明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师指导下，独立进行研究工作所取得的成果，不包含涉及国家秘密的内容。尽我所知，除文中已经注明引用的内容外，本学位论文的研究成果不包含任何他人享有著作权的内容。对本论文所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

签 名：_____日 期：_____

个人简历、在学期间完成的相关学术成果

个人简历

1997 年 6 月 20 日出生于内蒙古自治区赤峰市。

2015 年 9 月考入天津大学建筑学院城乡规划学专业，2020 年 7 月本科毕业并获得工学学士学位。

2020 年 9 月推荐免试攻读清华大学建筑学院城乡规划学博士（直博）至今。

2024 年 9 月至 2025 年 8 月于美国宾夕法尼亚大学韦茨曼设计学院联合培养。

在学期间完成的相关学术成果

学术论文：

- [1] **Wang X**, Long Y. Urban Vacant Land Identification and Its Distribution Rules of China's Urban System Based on Fast Segment Anything Model[J]. Habitat International, 2025, 167, 103663.
- [2] **Wang X**, Meng X, Long Y. Projecting 1 km-grid population distributions from 2020 to 2100 globally under shared socioeconomic pathways[J]. Scientific Data (Nature), 2022, 9(1), 563. (IF=9.8, 2022, ESI 高被引, SCIE, JCR Q2)
- [3] **Wang X**, Long Y. Future shrinking cities on the globe: A projection map for 2020-2100 based on global gridded population dataset[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2023, 50(7), 1994-1997. (IF=2.6, 2023, SSCI, JCR Q1)
- [4] **王新宇**, 李彦, 李伟健, 李洪澄, 龙瀛. 城市更新视角下的公共空间品质评估方法--基于移动感知技术的探索[J]. 2024, 国际城市规划, 39(1), 21-29.
- [5] **王新宇**, 孟祥凤, 龙瀛. 资源枯竭型城市的低效空间识别方法——以鹤岗市为例[J]. 资源科学, 2024, 46(6), 1119-1130.
- [6] **王新宇**, 龙瀛. “城区常住人口”在收缩城市识别中的特点——基于文献综述和多源数据的检验[J]. 2024, 地理研究, 43(7), 1929-1939.

- [7] Meng X, Jiang Z, **Wang X**, Long Y. Shrinking cities on the globe: Evidence from LandScan 2000-2019[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 2021, 53(6), 1244-1248. (IF=1.2, 2021, SSCI, JCR Q1)
- [8] Tu T, **Wang X**, Long Y. Spatiotemporal changes of urban vacant land and its distribution patterns in shrinking cities on the globe[J]. Science of The Total Environment, 2024, 947, 174424. (IF=8.2, 2024, SCIE, JCR Q1)
- [9] Li W, Wang H, **Wang X**, Tu T. Automatic identification of potential regeneration areas in urban residential districts using remote sensing data and GeoAI[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2025, 18, 8523-8535. (IF=4.7, 2023, SCI, JCR Q1)

会议宣讲:

- [1] 王新宇, 龙瀛. 中国城市空地的识别. 第九届中国收缩城市研究网络年会, 茫崖, 2024.
- [2] 王新宇, 龙瀛. 基于人口空间分布预测的全球收缩城市展望. 收缩城市学术沙龙, 北京, 2023.
- [3] 王新宇, 龙瀛. 中国未来高精度人口空间分布—基于机器学习模型的探索, 中国城市科学学会城市大数据专业委员会 2022 年会暨第三届‘城市文化感知与计算’学术研讨会, 北京, 2022.
- [4] 王新宇, 龙瀛. 中国未来人口分布空间分布, 中国城市科学学会城市大数据专业委员会 2021 年会暨“智慧城市协同治理”学术研讨会, 沈阳, 2021.

公开展览:

- [1] 龙瀛, 李文竹, 赵慧敏, 王新宇. 收缩城市: 现状与低碳再生的机遇, 深港城市/建筑双城双年展(UABB), 2022.

获奖情况:

- [5] 王新宇. 国家公派联合培养博士生. 国家留学基金委. 2024.07.
- [6] 王新宇. 2022 年清华大学综合优秀奖学金(二等). 清华大学. 2022.10.
- [7] 李文竹、王辉、涂唐奇、王新宇. 2025 年中国国土空间规划青年论坛优秀报告. 中国自然资源学会. 2025.05.

指导教师评语

论文聚焦中国城市空地这一现实问题，基于各种技术手段对中国城市空地的分布进行识别并对其规律进行挖掘，具有重要的方法探索价值和规划实践支持意义。

论文如下方面具有创新性。（1）方法层面，研究突破了传统实地调查与目视判读在大范围识别上的局限，建立了以实体城市边界为统一空间框架、以深度学习模型为核心的城市空地自动化识别流程，实现了低成本、大范围、高效率的智能测度；（2）理论层面，研究依托所构建的城市空地数据库，从等级—规模关系、内部空间结构和类型分布等多个维度揭示了城市空地的分布规律。

总体上，论文选题得当，研究思路清晰，技术路线完整，创新性突出，体现了作者扎实的科研能力与独立开展研究的素质。

答辩委员会决议书

论文研究中国城市空地识别及其分布规律，选题具有重要的理论价值与实践意义。

论文的主要成果与创新点：

基于 FastSAM 与高分辨率遥感影像，提出了一种快速、可迁移的城市空地智能识别方法。

2. 构建全国范围、地块尺度的城市空地数据库，可为跨区域比较与多尺度研究提供数据支持。

3. 揭示中国城市空地的统计分布规律与空间分布模式，对城市土地资源优化配置具有参考价值。

论文工作表明作者在城乡规划领域具有扎实的专业理论基础和独立开展科学研究的能力。论文结构完整，资料翔实，论证充分，写作规范。论文汇报阐述清晰，很好地回答了答辩委员提出的问题。

答辩委员会表决，一致同意通过论文答辩，并建议授予王新宇工学博士学位。