

引文格式:胡秋实,李锐,吴华意,等.顾及城市场景变化的人口分析单元表达[J].武汉大学学报(信息科学版),2024,49(10):1788-1799.DOI:10.13203/j.whugis20220579



Citation: HU Qiushi, LI Rui, WU Huayi, et al. Population Analysis Unit Expression Considering Urban Scene Changes[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, 49(10):1788-1799.DOI:10.13203/j.whugis20220579

顾及城市场景变化的人口分析单元表达

胡秋实¹ 李锐^{1,2} 吴华意^{1,2} 刘朝辉¹ 蔡晶¹

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉,430079

摘要:人口分析单元是不同城市场景开展地理分析的时空对象和基本单位。城市场景是人口时空活动的信息描述集合,为单元表达提供时空范围与语义限定。针对当前单元表达模型较少关注具体人口分析特征描述,缺乏场景和单元特征表达的关联方法和参考标准的问题,提出了顾及城市场景变化的人口分析单元表达模型。该模型首先考虑场景要素与人口活动特征在单元中的表达关联,形成融合场景组成要素的人口分析单元表达方法。然后,根据具体表达内容分析场景和单元的关联特征及统一参考标准,构建关联场景的单元形式化描述结构。具体案例表明所提出的模型可将城市场景信息按标准关联人口分析单元特征,提高了单元的特征表达能力和对场景的适用性,并为单元几何构建提供了参考。

关键词:人口分析单元;时空对象;城市场景;表达模型;场景要素;关联特征;形式化描述

中图分类号:P208

文献标识码:A

收稿日期:2022-11-20

DOI:10.13203/j.whugis20220579

文章编号:1671-8860(2024)10-1788-12

Population Analysis Unit Expression Considering Urban Scene Changes

HU Qiushi¹ LI Rui^{1,2} WU Huayi^{1,2} LIU Zhaohui¹ CAI Jing¹

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Survey, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan 430079, China

Abstract: Objectives: Population analysis unit is the spatiotemporal object and basic part of geographical analysis in different urban scenes. Aiming at the problem that the current unit expression model pays less attention to the description of specific population analysis features and lacks the correlation method and reference standard of scene and unit feature expression. We propose a population analysis unit expression model considering urban scene change. Methods: The model first considers the unit's demand for feature description of population spatiotemporal analysis in two-dimensional space, as well as the dissimilarity of components such as objects and environments of urban scenes, forming a population analysis unit expression model that integrates scene components. Then, based on the content of model expression, the relationship between urban scene and population analysis unit is analyzed. Referring to the geographic scene modeling method, the correlation characteristics and reference standards between scene and population analysis unit are constructed. Results: In order to verify the rationality of the method, we take the epidemic analysis scenario in Wuhan City, Hubei Province, China as a case to realize the population analysis unit modeling and attribute feature dynamic update considering the scenario change. The results show that the proposed model can correlate urban scene information with population analysis unit characteristics according to standards and help to improve unit description ability. Conclusions: By associating the information and characteristics of urban scene elements, the proposed model can enhance the expression ability of units and map the information and characteristics of urban scene in a more standard and reasonable way. It can also provide a refer-

基金项目:国家自然科学基金(U20A2091)。

第一作者:胡秋实,博士,研究方向为城市时空计算。huqiushi@whu.edu.cn

通讯作者:李锐,博士,教授。ruili@whu.edu.cn

ce for the geometric construction of the unit and the interpretation of the analysis results.

Key words: population analysis unit; spatiotemporal object; urban scene; expression model; scene element; associated feature; formal description

城市人口时空分析指的是对人口在不同时空区域内的分布、变化、流动的信息、特征和模式进行获取^[1-3],是城市地理研究的热点和重要组成部分^[4-5]。其中,人口分析单元是开展人口分析的基本单位,是不同城市场景特征表达的一种时空对象,适宜的人口分析单元对于得到准确的分析结果具有重要意义^[6]。同时,城市场景是人口时空活动的信息描述集合,为人口分析单元表达、几何构建提供时空范围与语义限定,并赋予分析结果实际意义^[7-8],不同城市场景使单元的表达和使用需求存在差异^[9]。因此,在开展时空分析之前,亟需考虑城市场景信息,形成一种逻辑模型对人口分析单元进行特征表达,指导构建适合表达特征的几何实例,进而获取契合场景的分析结果。

人口分析单元作为开展人口分析的时空对象,本质在于将人口、事物和地理空间信息进行抽象并进行结构化表达^[10]。针对时空对象表达,多位学者从不同角度时空对象的基础数据结构^[11-12]进行扩展,形成了一定的研究成果:对象本身和交互的信息,例如属性关系^[13-14]、关联关系^[15];影响对象变化的相关因素,例如事件^[16-17]、过程^[18-19];特定的对象类型,例如移动对象^[20]等。但单一角度的扩展无法满足对多尺度、层次等复杂人口活动的描述需求^[21-22]。因此,多位学者提出了统一的描述模型,如文献[23]提出了多粒度时空对象模型来支撑全空间的地理信息描述,且有部分学者针对时空对象的结构、属性等特征表达进行补充完善^[24-25];又如文献[26-27]提出了地理信息六要素综合模型,一体化描述自然和人文等客观信息,并抽象为不同的地理场景^[28]。但是这类表达模型较为复杂,并且主要从地理信息特征出发进行通用建模,对于具体应用的适用性还有待进一步研究。

从上述时空对象的表达模型研究中可以发现,现有的研究更加注重对象的全面描述能力,构建普适性的模型,以支撑全时空的地理信息应用,缺少针对人口时空分析所需特征的逻辑描述模型。同时,目前的人口时空分析存在依赖研究数据质量的问题,以数据的组织结构和时空分辨率决定人口分析单元的表达内容和几何构建^[29],从而对数据过分拟合或人为调整超参数,得到一

些非自然存在的伪时空模式,导致分析结果可信度低,缺乏与属性语义等特征结合的机理分析^[30]。这需要预先描述具体场景蕴含的客观信息,并关联人口分析单元的表达内容,指导单元的后续几何构建。而现有的模型缺乏场景和单元特征表达的关联方法和参考标准,对于提高人口分析结果的可解释性支撑力不足。

针对上述问题,本文提出了一种顾及城市场景变化的人口分析单元表达方法。首先,考虑单元在二维空间对人口时空分析的特征描述需求,以及城市场景的对象、环境等组成要素相异性,形成融合场景组成要素的人口分析单元表达模型。然后,根据模型表达内容分析城市场景与人口分析单元的关联关系,参考地理场景建模内容,构建场景与人口分析单元的关联特征和参考标准。最后,以中国湖北省武汉市的突发公共卫生事件分析场景为案例,实现了考虑场景变化的人口分析单元建模和属性特征动态更新。

1 融合城市场景组成要素的人口分析单元描述框架

1.1 人口分析单元定义

目前,对人口分析单元还没有明确的定义,但已有的研究已经说明了空间对象实例化的意义和重点。例如,文献[31]指出空间单元的几何构建和包含特征直接影响分析的准确性;文献[32]在论述可塑性面积单元问题时明确指出空间单元的尺度大小、空间形状和单元的性质涵义对于地理学分析有重要影响。

因此,本文结合上述研究结果定义人口分析单元是一种表达人口相关特征,并开展建模计算的时空对象和基本单位,是一定时空区域内人、物和地理空间属性描述的载体和集合。其中,本文的人口根据研究规模指的是具有区域共性特征的群体人口^[33]。在此基础上,如何组织人口分析单元的表达内容并将人口相关的时空、关系和属性等客观信息进行抽象和关联是其中的关键问题。

1.2 人口分析单元与多粒度时空对象关系

在地理信息的概念模型中,常用的两个角度是场模型和对象模型。其中,场模型主要用于描

述连续分布的特征或现象^[34]。而人口分析的目标区域可能是连续或离散的,并且具体的几何构建根据特征表达需求可能会发生变化。因此,本文参考由周成虎^[35]提出的通用性描述模型多粒

度时空对象表达方法,对人口分析单元建模。顾及人口分析单元在二维空间对人口时空特征表达和分析建模的需求,二者的表达内容和建模目标存在一定的差异和共同点,具体如表1所示。

表1 人口分析单元与多粒度时空对象对比

Tab. 1 Comparison of Population Analysis Units with Multi-granularity Spatiotemporal Objects

对比内容	共同点	多粒度时空对象	人口分析单元
概念定义	数字化描述和建模	每个对象有实体对应	人工虚拟构建或有对应实体,实质是对空间区域的划分与界定
时空参照	都存在时空参照标准,包括时间、空间、时空间参照变化,相应的描述和属性也会发生变化		
空间形态	可视化表现形式	多形态(二维、三维)	二维
对象组成	都存在组成关系,可拆分,可组合	从简单对象到复杂对象,类型不一	二维的简单对象组合
关联关系		都存在关联关系:属性、空间、综合关联	
认知能力	无	具有知识和自主决策能力	不存在认知能力
行为能力	时空分析、信息处理	复杂多维、细化宽泛	二维人口信息展示和分析:人口分布、变化、流动
属性特征	随着时空尺度动态变化	复杂多维的属性描述和知识参考	基于二维空间形态和人口活动区域的属性描述

总体而言,多粒度时空对象建模是一种通用的模型^[36],而本文的人口分析单元是针对目前具体人口时空分析的应用,以通用模型结合人口活动信息形成的一种继承型模型。同时,与传统GIS基于地图的静态建模不同,人口分析单元表达以分析应用为目标,对多粒度时空对象表达方法进行衍生和关键表达内容抽取。

1.3 城市场景描述与人口分析单元表达的关系

由概念定义和作用可知,人口分析单元主要用于不同城市场景的特征统计和分析计算^[37]。因此,预先对城市场景的要素进行分析,为单元具体表达内容提供信息来源,并指导后续的单元几何实例构建,如图1所示。

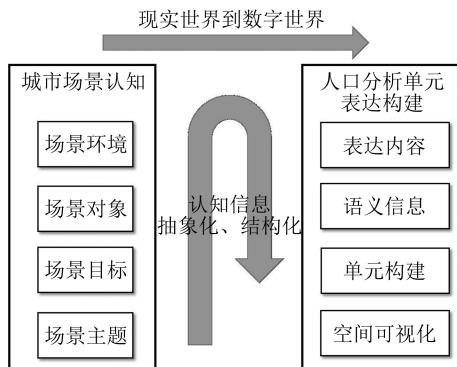


图1 城市场景描述与人口分析单元关系
Fig. 1 Relationship Between Urban Scene Description and Population Analysis Unit

场景的概念源于戏剧和艺术作品,指的是演员表演的场面和情景,以场景运行目标为核心,

使场景内的对象具有实际意义^[38],其本质是对表演进行一定的范围限定和具体内容赋予。因此,类比人口时空分析的应用需求,本文将城市场景定义为人口时空活动的实际信息描述与限制条件集合,其本质是对人口时空分析进行一定的时空范围与语义限定,并赋予分析结果以实际意义。与“居民区”“街道”等语义或空间的单一角度描述不同,本文的场景是对人口活动特征的系统描述。具体而言,人口时空分析的内容来源于场景内人与地物、环境的交互^[39],因此本文结合人口活动特征归纳了城市场景的组成要素,如表2所示。

总体而言,人口分析单元的表达首先需要考虑城市场景组成要素的描述内容^[40],然后开展语义信息的获取,并映射相应的单元特征,进而支撑单元的构建和使用。

1.4 融合城市场景组成要素的人口分析单元描述框架

根据概念定义和对比,需要进一步分析人口分析单元的描述内容和方法。结合城市场景的组成要素,本文提出了融合城市场景信息完善人口分析单元表达方法的描述框架,如图2所示。

由图2可知,人口分析单元表达首先需要对城市场景组成要素进行抽象。本文将城市场景的主要描述内容归纳为5点:(1)人口时空分析目标,需要获取的具体人口活动信息,如人口分布数量、流动模式等;(2)对象属性,描述场景对象特征的语义信息,包含人物属性、事物属性和

表 2 城市场景组成要素

Tab. 2 Elements of an Urban Scene

场景组成要素	具体内容	举例
场景主题	人口活动问题的粗粒度描述,赋予人口分析实际意义和基本语义描述类型	日常通勤、交通出行、卫生医疗等
场景目标	场景主题下人口时空分析所需要获取的人口活动信息	人口属性(数量、密度)、活动模式、活动规律等
场景中发生具体交互或存在关联关系的对象,具体可分为 3 类:		
场景对象	人物:进行时空活动的主体人群 事物:与人群时空活动发生交互或者相关的其他要素 地理空间:人口时空活动所处的实际地理或空间区域	如常住人口、活跃人口、老年人等 如建筑物、城市设施等 如封闭场所、功能区等
基于场景主题,影响场景对象属性描述、交互或随时间变化而发生的一种特殊模式,包括两类:		
场景环境	人文环境:由人群或社会文化形成的环境 自然环境:由自然事物形成的环境	如节假日、赛事演出等 如天气、季节等

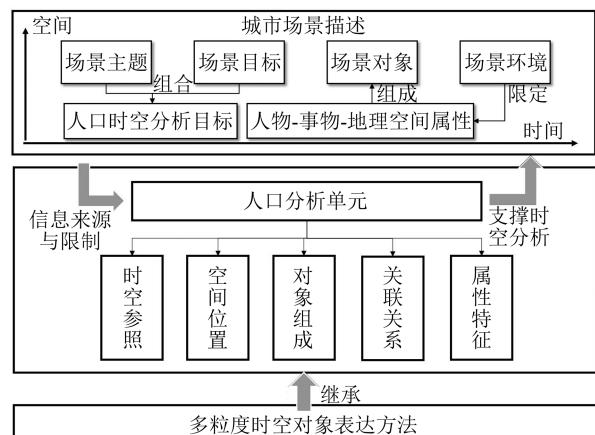


图 2 融合城市场景组成要素的人口分析单元描述框架

Fig. 2 Description Framework of Population Analysis Unit Integrating Elements of Urban Scene

地理空间属性;(3)时间,记录场景发生的一个或多个时间范围以及对应的时间尺度;(4)空间,描述场景发生的范围以及对应的空间尺度;(5)场景环境,对场景对象的属性描述提供额外限定条件。在此基础上,本文将多粒度时空对象模型相应简化为 5 点:(1)时空参照,描述人口分析单元的时间和空间参照系;(2)空间位置,描述单元对象在给定参照系中的具体定位;(3)组成结构,描述单元之间的构成关系,通过逻辑或空间上的关系进行组合或分解;(4)关联关系,描述单元之间相互影响的方式,包括空间、时间和属性 3 个方面;(5)属性特征,描述单元的属性信息,具体分为本质属性、限制属性和认知属性^[24]。

总体而言,人口分析单元的表达首先需要对人口活动的场景组成要素进行解析,进而开展时空参照、组成结构和属性等部分的逐步描述,从而关联单元语义内容,有助于构建准确表达场景特征的单元实例。

2 关联城市场景的人口分析单元表达方法

2.1 基于地理场景描述方法的关联特征分析

由城市场景组成要素和人口分析单元的描述方法可知,单元需要对城市场景中蕴含的语义描述信息进行结构化的集中表达。因此,本文从人口分析单元和场景的具体表达内容出发,对二者进行关联分析,挖掘二者表达的映射关系和关键特征,如表 3 所示。

在此基础上,本文进一步参考文献[28]提出的通用型“地理场景”表达方法,结合具体人口分析应用,对城市场景中关联单元表达关键特征进行挖掘。由表 3 可知,城市场景对单元的关联主要体现在时空间尺度限定、属性语义信息描述和知识参考体系选择等方面。结合“地理场景”建模内容可知,对动态变化的城市场景提取状态信息是其中的重点^[41],因此本文将关联特征归纳为以下几点:

1)时间特征:描述城市场景发生的时间范围,为人口分析单元的动态变化描述提供时间标记和尺度限定,如“**年**月**日”“**节期间”等。

2)空间特征:描述城市场景的发生的范围和位置,是限制单元属性特征表达的重要框架,如坐标“ $P(X, Y)$ ”“**街道**路**号”。

3)属性特征:描述城市场景对象的具体认知信息,为人口分析单元提供额外特征和语义信息,如数量、名称、类型等。

2.2 关联特征尺度标准分析

根据城市场景和人口分析单元关联特征的分析结果,二者的关联主要由时间、空间和属性特征共同决定。进一步由描述方法可知,上述关

表3 城市场景描述与人口分析单元表达关联分析

Tab. 3 Correlation Analysis Between Urban Scene Description and Population Analysis Unit Expression

关联内容	人口分析单元	城市场景	需求与关联
定义	结构化对象表达	问题需求描述	对象服务于需求
时空参照	需要时空参照标准,包括时间、空间	对时间、空间参照模糊描述	空间主要参照WGS84或CGCS2000标准,时间参考北京时间
空间位置	描述单元在不同空间参照系中的具体位置和方向	城市场景存在对空间位置信息和尺度的语义描述	城市场景提供了空间位置的语义信息描述,如地名地址、场所或空间尺度等
组成结构	描述单元之间部分与整体的构成关系	不同场景可能具有层次关系,例如包含、组合、平行	同一主题的城市场景具有多层次特点,不同层次的场景对应不同尺度人口分析单元表达
关联关系	描述单元之间的相互影响关系内涵	不同场景存在的作用关系,包括时空间、属性等,由场景组成要素描述确定	城市场景描述提出了属性和时空间的参考标准需求
属性特征	描述单元的属性信息	对场景对象和环境的语义描述	场景对象的语义描述给人口分析单元的属性描述提供信息来源、属性字段和知识参考体系需求

联特征存在数值大小、类型等级和语义范围相异的多尺度特点。

为了将城市场景信息与人口分析单元表达

内容准确映射,本文基于已有的成熟标准体系,对关联特征尺度参考进行分析和统一,如图3所示。

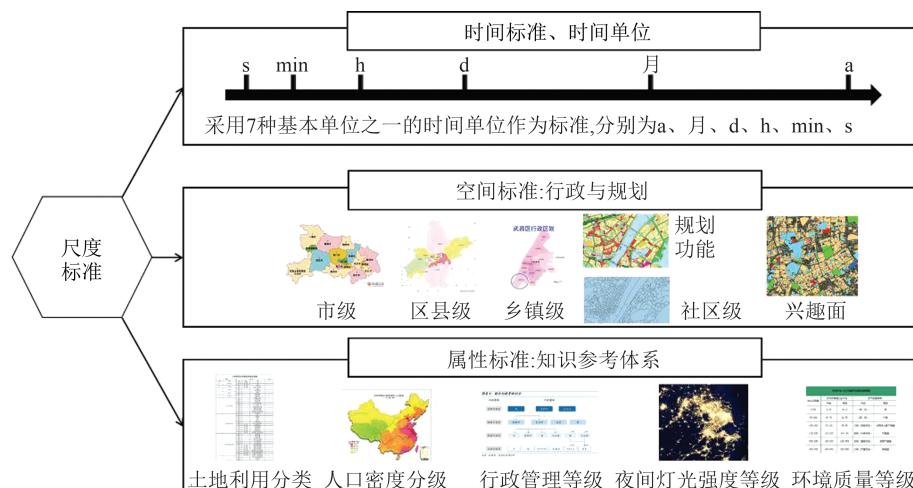


图3 城市场景与人口分析单元关联特征参考标准

Fig. 3 Reference Standard for Correlation Features of Urban Scenes and Population Analysis Units

1)时间标准:参考7种基本单位中的时间单位,从低频到高频细分为a、月、d、h等。

2)空间标准:在已有的城市研究中没有统一的标准单位,粗略地分为宏观、中观和微

观3类^[42]。

本文综合了城市行政区划、城市总体规划和商业地图功能区域的等级和范围,对空间尺度标准进行了归纳,如表4所示。

表4 空间尺度标准

Tab. 4 Spatial Scale Standard

空间尺度	参考标准	说明
大尺度	市辖区(县)级	城市管理划分的最大区域 ^[43]
中尺度	街道(乡镇)级	城市管理的基本单元 ^[44]
小尺度	社区(村)级 功能区级 兴趣面级	在一定领域内相互关联的人群形成的共同体及其活动区域 ^[45] 城市土地规划的基本区域,决定了面状要素的用地属性 ^[46] 互联网电子地图中的兴趣面,主要用于在地图中表达区域状的地理实体 ^[47]

其中,空间标准以表4的空间单元作为面积大小的参考依据,提供一个可定量关联的空间尺

度范围。空间尺度的确定采用近邻匹配原则,具体方法如下:

(1) 对任意人口分析单元面积集合 $PauA = \{P_{a1}, P_{a2}, \dots, P_{an}\}$, 提取面积大小的中位数 $MedianP_a$;

(2) 依次与空间参考标准中不同标准单元的面积中位数作差值, 得到上限标准 $MedPaStd_a$ 和下限标准 $MedP_aStd_b$, 并计算二者相差的中值 $MedDiff_{ab}$;

(3) 如果 $MedianP_a > MedDiff_{ab}$, 则 Pau 尺度标准为 a , 反之则为 b 。

3) 属性标准: 本文以每一项属性的知识参考体系为标准描述具体的属性值和对应的属性语义尺度等级, 参考体系例如土地利用分类、人口密度分级、行政管理分级等各领域行业制定的标准。

2.3 人口分析单元形式化描述

基于关联特征和尺度标准分析结果, 本文进一步开展形式化描述, 主要包括场景组成要素和单元属性数据集信息。对于具体的结构, 本文主要将其分为信息集、更新集和状态集。其中, 信息集描述数据集内的所有字段信息, 更新集记录信息集每一次更新时发生变化的字段, 状态集记录信息集和更新集的时间和动作状态, 具体结构如图 4 所示。

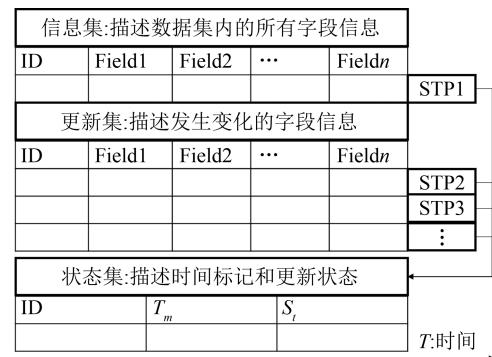


图 4 人口分析单元形式化描述结构

Fig. 4 Population Analysis Unit Formalized Description Structure

图 4 中, ID 表示唯一编码, Field 表示描述字段, T_m 表示状态集中的时间标记, S_t 表示信息集或更新集的操作状态, 包括: -1(删除)、0(创建)、1(更新)。根据以上结构, 对每项描述内容信息集进行形式化结构分析。

2.3.1 场景组成要素形式化描述

场景的形式化描述主要分为摘要集和属性集两个部分。摘要集主要描述场景主题、目标、环境和时空范围等基础信息, 属性集描述场景对象的各个属性信息, 具体结构为:

ScAbs(场景摘要集):

$\{ScID, NameSc, TaSc, EvgdSc, SpSc, TmSc\}$

其中, $ScID$ 表示场景编码; $NameSc$ 表示场景主题; $TaSc$ 表示分析目标; $EvgdSc$ 表示环境信息; $SpSc$ 表示空间尺度; $TmSc$ 表示时间尺度。

ScAtt(场景属性集):

$\{SAtID, ScID, SName, SValue, NameAk, AkID\}$

其中, $SAtID$ 表示属性字段的编码; $SName$ 和 $SValue$ 分别表示属性名称和值; $NameAk$ 和 $AkID$ 分别表示知识体系名称和编码。

2.3.2 基于关联特征的单元属性信息描述

根据场景关联特征, 本文将人口分析单元属性的形式化描述分为属性总集和属性详细集两个部分。属性总集用于对单元限制属性和认知属性进行编码汇总; 属性详细集描述每一项属性的具体信息, 具体结构为:

PAUAtA(单元属性总集): $\{UID, [LAtID1, LAtID2, \dots, LAtIDm], [CAtID1, CAtID2, \dots, CAtIDn], ScID\}$

其中, UID 表示单元的编码; $LAtID$ 表示限制属性的编码; $CAtID$ 表示认知属性编码; $ScID$ 用于关联相应的场景。

PAUAtt(单元属性详细集): $\{PAtID, UID, PName, PValue, ScID, NameAk, AkID, SAtID, SName\}$

其中, $PAtID$ 表示属性编码; $PName$ 和 $PValue$ 分别表示属性名称和值; $SAtID$ 和 $SName$ 用于关联单元属性的场景描述来源。

3 突发公共卫生事件防控案例

2020 年初武汉市爆发了突发公共卫生事件, 并经历了由短期防控到长期管理的变化历程^[48]。该场景的描述和人口分析单元表达方式对于开展突发公共卫生事件期间人口时空活动特征分析和人口分布展示有关键性作用。以武汉市突发公共卫生事件防控的场景信息描述和特征抽象为例, 并以人口热点分析为场景目标, 给出了本文场景关联人口分析单元表达的一种案例实现, 说明城市场景描述向人口分析单元表达的映射过程。

3.1 案例数据来源

场景信息主要来源于中国国务院、武汉市政府等部门提供的权威数据, 如表 5 所示。

表5 突发公共卫生事件防控场景案例研究数据

Tab. 5 Case Study Data of Epidemic Prevention and Control Scenarios

场景描述	具体内容	数据源
场景主题	主题类别、场景目标、人口分析目标等	突发公共卫生事件防控方案、突发公共卫生事件防控暂行办法、武汉市GIS数据、土地利用现状分类等属性标准
场景对象	场景对象属性	
场景时间	场景发展历程	
场景空间	场景发生空间范围	突发公共卫生事件防控方案、《抗击新冠肺炎疫情的中国行动》白皮书、突发公共卫生事件防控暂行办法、行政管理等级等
场景环境	场景包含的特殊事件和模式	

3.2 案例场景空间与时间描述

对场景描述首先需要明确时空范围。防控方案等内容指出“超市、养老机构等人员密集场所应当做好防护”,同时指出“街道、乡镇政府等应当加强疫情防治排查”。结合§2.2的空间尺度

标准(图5(a)),突发公共卫生事件场景的空间结构描述可以在乡镇级与功能区级分别对应,其中乡镇级尺度可参考城市街道区划(见图5(b)),功能区级尺度可参考兴趣面(见图5(c))分别构建单元。

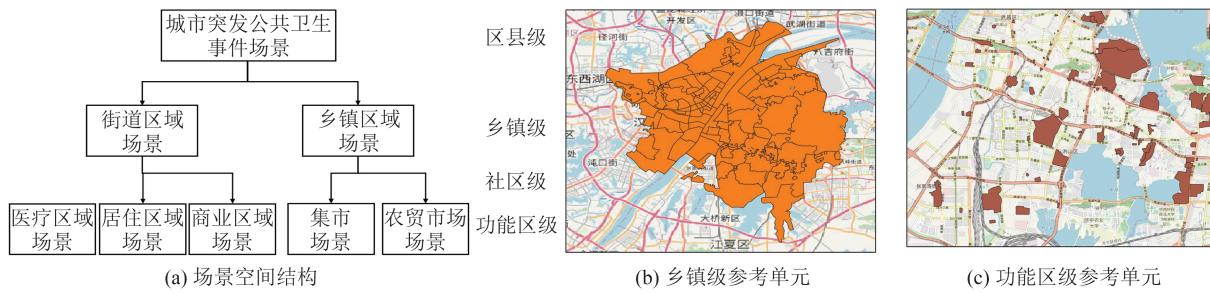


图5 突发公共卫生事件场景空间结构和参考空间单元

Fig. 5 Spatial Structure of Epidemic Scenarios and Reference Space Units

在此基础上,突发公共卫生事件场景的人口热点分析在公共卫生事件的发展和人为政策的共同作用下,场景要素会发生变化。根据《抗击新冠肺炎疫情的中国行动》白皮书内容可以将发展历程归纳为暴发管控至常态化等5个时间阶段,如图6所示。

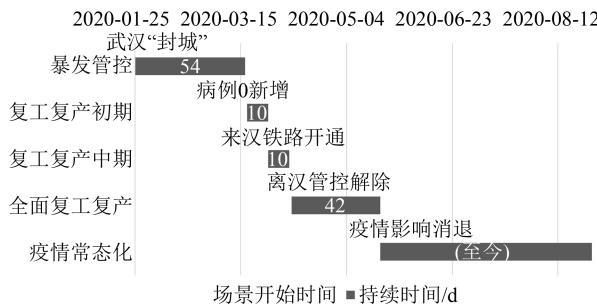


图6 突发公共卫生事件场景发展阶段

Fig. 6 Epidemic Scenario Development Stage

3.3 案例场景形式化表达与更新

城市功能区是突发公共卫生事件管理的关键区域,本文选取功能区级为空间尺度,并以管控暴发阶段和常态化阶段作为时间限定,从场景要素描述出发给出了相应人口分析单元形式化表达描述和属性动态更新的示例和实现,从而说

明城市场景的描述过程以及对人口分析单元对应表达和几何构建结果的影响。

3.3.1 场景组成要素表达与更新

在功能区场景中,需要对主题、分析目标、时空间尺度以及场景对象的属性信息进行描述。其中场景的主题为突发公共卫生事件;分析目标是人口受突发公共卫生事件影响的热点分析;时空间尺度信息可根据空间标准和场景时间阶段进行提取,上述信息在场景摘要集中描述为以下形式:

ScAbsIF(场景摘要信息集): {Sc04(场景编码),突发公共卫生事件(场景主题),人口活动热点分析(人口分析目标),公共传染性病毒(场景环境),功能区级(空间尺度),天(时间尺度)}

进一步地,需要记录功能区场景的人口、事物和地理空间等对象的属性。本文以地理空间对象为描述示例,其中属性可以由标准的城市用地分类体系作为知识参照描述用地类型,在场景属性集中描述为以下形式:

ScAttIF(场景属性信息集): {At0401(属性编码),Sc04(场景编码),用地属性(属性名称),[医疗卫生;居住;商场](属性值),功能区级(空

间尺度),城市用地分类体系(知识参照),[A1, R1, B11](属性知识编码)}

在此基础上,以“用地属性”作为示例,其形式化表达的更新过程如图 7 所示。



图 7 突发公共卫生事件功能区级场景摘要数据集和用地属性更新过程

Fig. 7 The Process of Basic Description and Land Use Attribute Updating of Epidemic Functional Area Scenarios

根据场景发展阶段的变化,摘要集中人口分析目标描述由“病毒相关区域的人口活动热点分析”更新为“密集区域的人口活动热点分析”;相应的场景属性集中的地理空间对象属性描述由原先的“医疗卫生;居住;商场”等更新为“居住;

商业服务业”。同时,如图 8 所示,功能区尺度的参考空间单元也相应地从范围较小的兴趣面(见图 8(a))扩展为范围较大的城市用地功能区(见图 8(b)),以满足更为连续的人口活动热点分析需求。

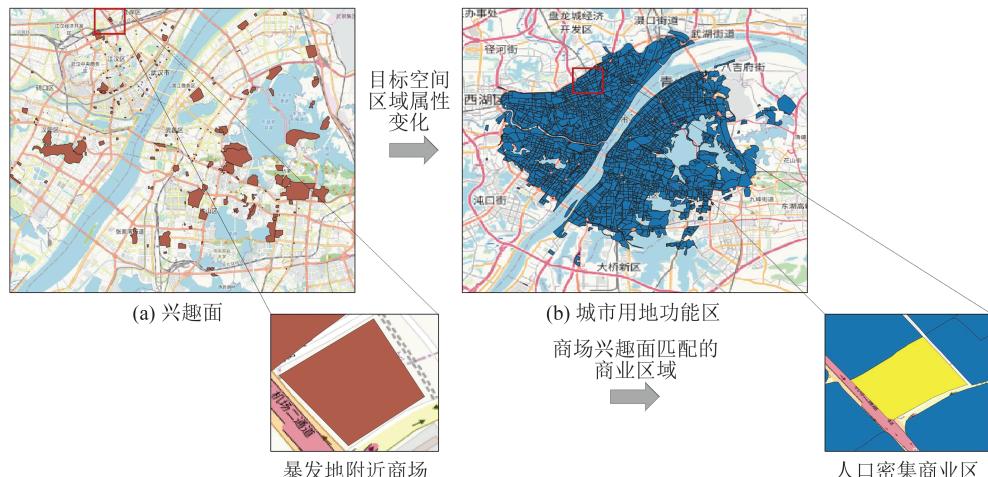


图 8 突发公共卫生事件场景功能区级参考空间单元更新过程

Fig. 8 Update Process of Functional Area-Level Reference Space Units in Epidemic Scenarios

3.3.2 人口分析单元属性表达与更新

在功能区尺度下,需要对相应的人口分析单元属性特征进行关联表达。针对突发公共卫生事件场景下的人口时空分析需求,单元本质属性包含人口分析单元的缩写和编码,限制属性包含单元形状、空间坐标、时间尺度等单元固定信息,认知属性包含地点名称、用地类型、风险评级等地理空间对象的描述信息,同时还包含常住人口数量、常住人口密度、病例人数等人口对象描述信息。上述信息属性总集中的描述结构如下所示:

PAUAtAIFP (单元属性总集信息集) :

{PAU40(单元编码), 本质属性:PAU(人口分析单元), 限制属性: [(LAtID1-不规则), (LAtID2-100 m²), (LAtID3-121.4, 34.5), (LAtID4-10 米级), (LAtID5-天)], 认知属性: [(CAtID1-××商场) (CAtID2-商业中心), (CAtID3, 社区 1), (CAtID4-街道 2), (CAtID51-100 人, CAtID52-2 500/km², CAtID53-30 例), (CAtID6-相关区域)], Sc04(场景 ID)}

进一步地,本文以单元属性中的“病例人数”和“风险评级”属性作为示例,描述单元属性详细

集更新过程。根据突发公共卫生事件场景发展阶段的变化,如图9(a)所示,单元属性详细集中“病例人数”属性值随时间变化更新为0,需要在更新集的相应部分进行记录,并在状态集中标记状态;如图9(b)所示,单元属性详细集中“风险评

级”属性值随着防控办法的完善,由没有明确评级的“高相关区域”更新为按标准分级的“低风险”地区。同时,本文对每个属性记录了场景描述的来源,从而更好地将场景与单元描述进行关联。

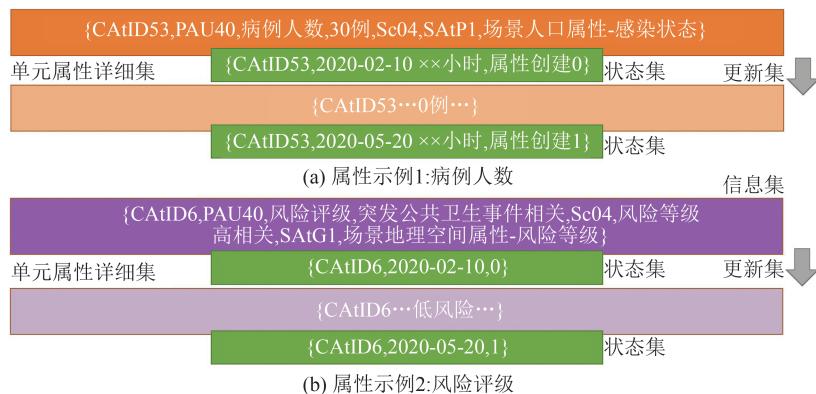


图9 人口分析单元属性动态更新过程示例

Fig. 9 Example of Dynamic Updating Process of Population Analysis Unit Attributes

4 结语

普适、复杂的时空对象和地理场景表达模型难以直接应用,缺少针对具体人口时空分析所需特征的逻辑描述模型,缺乏场景和单元特征表达的关联方法和参考标准,针对这些问题,本文提出了一套顾及城市场景变化的人口分析单元建模方法。案例实践表明,本文提出的方法有助于完善人口分析单元描述能力,将城市场景信息按标准关联单元表达,提高了单元对场景的适用性,为构建适合表达场景特征的空间几何实例,提高人口时空模式的可解释性提供了表达基础。

本文提出的人口分析单元表达方法面向场景关联的时空间、属性多尺度的描述需求,完善和增强了单元表达模型对场景要素的描述能力和特征关联方式。但是由于对多粒度时空对象的轻量级抽取,本文未能考虑将人口以及与事物、环境的交互过程进行表达,分析单元不具有个体的认知能力,其应用也只限制在二维人口信息的展示和分析。因此,今后可结合三维时空分析以及复杂网络表达建模方法,将人口时空分析基础表达向三维和人口交互维度进行扩展。

参考文献

- [1] Liu Shenghe, Deng Yu, Hu Zhang. Research on Classification Methods and Spatial Patterns of the Regional Types of China's Floating Population[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65 (10) : 1187-1197. (刘盛和, 邓羽, 胡章. 中国流动人口地域类型的划分方法及空间分布特征[J]. 地理学报, 2010, 65(10):1187-1197.)
- [2] Liu Yaolin, Fang Feiguo, Wang Yiheng. Characteristics and Formation Mechanism of Intra-urban Employment Flows Based on Mobile Phone Data: Taking Wuhan City as an Example[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43 (12) : 2212-2224. (刘耀林, 方飞国, 王一恒. 基于手机数据的城市内部就业人口流动特征及形成机制分析: 以武汉市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2018, 43(12):2212-2224.)
- [3] Yao Yao, Zhang Yatao, Guan Qingfeng, et al. Sensing Multi-level Urban Functional Structures by Using Time Series Taxi Trajectory Data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44 (6) : 875-884. (姚尧, 张亚涛, 关庆峰, 等. 使用时序出租车轨迹识别多层次城市功能结构[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44 (6):875-884.)
- [4] Zheng Yu. Introduction to Urban Computing [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(1) : 1-13. (郑宇. 城市计算概述 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(1) : 1-13.)
- [5] Wu Jinghang, Gui Zhipeng, Shen Li, et al. Population Spatialization by Considering Pixel-Level Attribute Grading and Spatial Association[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(9) : 1364-1375. (吴京航, 桂志鹏, 申

- 力,等.顾及格网属性分级与空间关联的人口空间化方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2022,47(9):1364-1375.)
- [6] Séguin A M, Apparicio P, Riva M. The Impact of Geographical Scale in Identifying Areas as Possible Sites for Area-Based Interventions to Tackle Poverty: The Case of Montréal [J]. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2012, 5(3): 231-251.
- [7] Zhou X G, Liu J Z, Yeh A G O, et al. The Uncertain Geographic Context Problem in Identifying Activity Centers Using Mobile Phone Positioning Data and Point of Interest Data [M]//Harvey F, Leung Y. *Advances in Spatial Data Handling and Analysis*. New York: Springer, 2015.
- [8] Wang J, Kwan M P. An Analytical Framework for Integrating the Spatiotemporal Dynamics of Environmental Context and Individual Mobility in Exposure Assessment: A Study on the Relationship Between Food Environment Exposures and Body Weight[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(9): 2022.
- [9] Kwan M P. The Uncertain Geographic Context Problem[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2012, 102(5): 958-968.
- [10] Brown D G, Riolo R, Robinson D T, et al. Spatial Process and Data Models: Toward Integration of Agent-Based Models and GIS [J]. *Journal of Geographical Systems*, 2005, 7(1): 25-47.
- [11] Worboys M F, Hearnshaw H M, Maguire D J. Object-Oriented Data Modelling for Spatial Databases [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1990, 4(4): 369-383.
- [12] Worboys M F. A Unified Model for Spatial and Temporal Information [J]. *The Computer Journal*, 1994, 37(1): 26-34.
- [13] Song Wei. Spatio-Temporal Data Model and Its Application in Land Management [D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2005. (宋玮.时空数据模型及其在土地管理中的应用研究[D].郑州:信息工程大学,2005.)
- [14] Song Wei, Wang Jiayao, Guo Jinhua. An Object-Oriented Spatial-Temporal Data Model [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2006, 23(4): 235-238. (宋玮,王家耀,郭金华.面向对象时空数据模型的研究[J].测绘科学技术学报,2006,23(4):235-238.)
- [15] Zhu Jie, Zhang Hongjun. Battlefield Geographic Environment Spatiotemporal Process Model Based on Simulation Event [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1367-1377. (朱杰,张宏军.面向仿真事件的战场地理环境时空过程建模[J].武汉大学学报(信息科学版),2020,45(9): 1367-1377.)
- [16] Wu Changbin, Lü Guonian. Improved Event-Process Based on Spatiotemporal Model [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(12): 1250-1253. (吴长彬,闾国年.一种改进的基于事件-过程的时态模型研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2008,33(12): 1250-1253.)
- [17] Meng Lingkui, Zhao Chunyu, Lin Zhiyong, et al. Research and Implementation of Spatiotemporal Data Model Based on Time-Varying Sequence of Geographical Events [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(2): 202-207. (孟令奎,赵春宇,林志勇,等.基于地理事件时变序列的时空数据模型研究与实现[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,28(2): 202-207.)
- [18] Su Fenzhen, Zhou Chenghu. A Framework for Process Geographical Information System [J]. *Geographical Research*, 2006, 25(3): 477-484. (苏奋振,周成虎.过程地理信息系统框架基础与原型构建[J].地理研究,2006,25(3): 477-484.)
- [19] Zhu Jie, You Xiong, Xia Qing. Battlefield Environment Object Spatiotemporal Data Organizing Model Based on Task-Process [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(11): 1739-1745. (朱杰,游雄,夏青.基于任务过程的战场环境对象时空数据组织模型[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(11): 1739-1745.)
- [20] Chen B Y, Yuan H, Li Q Q, et al. Spatiotemporal Data Model for Network Time Geographic Analysis in the Era of Big Data [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016, 30(6): 1041-1071.
- [21] Camossi E, Bertolotto M, Bertino E, et al. A Multigranular Spatiotemporal Data Model [C]//The 11th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, New Orleans Louisiana, USA, 2003.
- [22] Camossi E, Bertolotto M, Bertino E. A Multigranular Object-Oriented Framework Supporting Spatiotemporal Granularity Conversions [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2006, 20(5): 511-534.
- [23] Hua Yixin, Zhou Chenghu. Description Frame of Data Model of Multi-granularity Spatiotemporal Object for Pan-Spatial Information System [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(9): 1142-1149. (华一新,周成虎.面向全空间信息系统的多

- 粒度时空对象数据模型描述框架[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9):1142-1149.)
- [24] Liu Zhaojun, Li Rui, Wang Jingqi. A Dynamic Representation Method of Considering Semantic Scales of Attributes of Spatiotemporal Object [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19 (9) : 1185-1194. (刘朝辉, 李锐, 王璟琦. 顾及语义尺度的时空对象属性特征动态表达[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9):1185-1194.)
- [25] Li Rui, Shi Jiahao, Dong Guangsheng, et al. Research on Expression of Multi-granularity Spatio-Temporal Object Composition Structure [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2021, 23 (1) : 113-123. (李锐, 石佳豪, 董广胜, 等. 多粒度时空对象组成结构表达研究[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(1): 113-123.)
- [26] Liu Kai, Wu Hehai, Ai Tinghua, et al. Three-Tiered Concepts of Scale of Geographical Information and Its Transformation[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(11): 1178-1181. (刘凯, 吴海海, 艾廷华, 等. 地理信息尺度的三重概念及其变换[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(11): 1178-1181.)
- [27] Lü G, Batty M, Strobl J, et al. Reflections and Speculations on the Progress in Geographic Information Systems (GIS): A Geographic Perspective[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(2): 346-367.
- [28] Lü G, Chen M, Yuan L W, et al. Geographic Scenario: A Possible Foundation for Further Development of Virtual Geographic Environments[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2018, 11 (4) : 356-368.
- [29] Biehl A, Ermagun A, Stathopoulos A. Community Mobility MAUPing: A Socio-spatial Investigation of Bikeshare Demand in Chicago [J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 66: 80-90.
- [30] Bian Fuling, Du Jiangyi, Meng Xiaoliang. Requirements, Applications and Challenges of Spatiotemporal Big Data Processing [J]. *Journal of Geomatics*, 2016, 41(6): 1-4. (边馥苓, 杜江毅, 孟小亮. 时空大数据处理的需求、应用与挑战[J]. 测绘地理信息, 2016, 41(6):1-4.)
- [31] Wu C S, Murray A T. A Cokriging Method for Estimating Population Density in Urban Areas [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(5): 558-579.
- [32] Wong D W S. The Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) [M]//Janelle D G, Warf B, Hansen K. *WorldMinds: Geographical Perspectives on 100 Problems*. Dordrecht: Springer, 2004.
- [33] Duan Shijiang. On Population Socialization [J]. *Population & Economics*, 2004 (S1) : 24-26. (段世江. 论人口社会化[J]. 人口与经济, 2004 (S1) : 24-26.)
- [34] Cui Kejin, Cheng Changxiu. Research Review on Spatial Data Models [J]. *Geomatics World*, 2013, 20(3): 31-38. (崔珂瑾, 程昌秀. 空间数据模型研究综述[J]. 地理信息世界, 2013, 20(3): 31-38.)
- [35] Zhou Chenghu. Prospects on Pan-Spatial Information System [J]. *Progress in Geography*, 2015, 34 (2):129-131. (周成虎. 全空间地理信息系统展望[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2):129-131.)
- [36] Hua Yixin. The Core Problems and Key Technologies of Pan-Spatial Information System[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2016, 33 (4): 331-335. (华一新. 全空间信息系统的核心问题和关键技术[J]. 测绘科学技术学报, 2016, 33 (4):331-335.)
- [37] Yang Chao, Yang Liusong, Du Yang, et al. Social Media User's Activity Classification Integrating Image and Spatiotemporal Information [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48 (3): 463-470. (杨超, 杨柳松, 杜阳, 等. 融合图像和时空信息的社交媒体用户活动分类方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(3):463-470.)
- [38] Zhang Yin. A Brief Discussion of Narrative Scenes in Drama and Film Art [J]. *New Century Theatre*, 2018(5):54-58. (张颖. 略谈戏剧和影视艺术中的叙事性场景[J]. 新世纪剧坛, 2018(5):54-58.)
- [39] Fang Zhixiang, Ni Yaqian, Huang Shouqian. A Multi-model Fusion Model of Individual Travel Location Prediction Using Markov and Machine Learning Methods [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46 (6) : 799-806. (方志祥, 倪雅倩, 黄守倩. 融合Markov与多类机器学习模型的个体出行位置预测模型[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(6): 799-806.)
- [40] Lü Zheng, Sun Qun, Zhao Guocheng, et al. A Clustering Method of Rural Settlement Considering Direction Relation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2023, 48 (4) : 631-638. (吕峥, 孙群, 赵国成, 等. 顾及方向关系的农村居民地聚类方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2023, 48(4): 631-638.)
- [41] Huang Yi. Construction of Geographic Scene Data Model and Ontology Representation [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2020. (黄毅. 地理场景数据模型构建与本体表达[D]. 南京: 南京师范大学, 2020.)

- [42] Cao Tianbang. Spatial-Temporal Evolution of Residential Land Price in Nanjing Urban Area and Its Influencing Factors [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013. (曹天邦. 南京市主城区住宅地价时空演变及其影响因素研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.)
- [43] Deng Chuxiong, Li Xiaoqing, Xiang Yunbo, et al. The Spatiotemporal Change and Driving Forces of Cultivated Land Quantity in Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration [J]. *Economic Geography*, 2013, 33 (6):142-147. (邓楚雄, 李晓青, 向云波, 等. 长株潭城市群地区耕地数量时空变化及其驱动力分析 [J]. 经济地理, 2013, 33(6):142-147.)
- [44] Wei Di, Li Xuhong. Jurisprudence Query and Perfect Choice of China's "Two-Level Government and Three-Level Management" System [J]. *Shanghai Urban Management*, 2007, 16(2): 71-74. (魏迪, 厉旭宏. 我国“两级政府、三级管理”体制的法理质疑与完善选择[J]. 上海城市管理职业技术学院学报, 2007, 16(2): 71-74.)
- [45] Hu Lingling. Community Reconstruction in a "Strangers' Society" [J]. *Journal of Jiangsu Ocean University (Humanities & Social Sciences Edition)*, 2015, 13(9): 105-107. (胡玲玲. “陌生人社会”中社区共同体的重建[J]. 淮海工学院学报(人文社会科学版), 2015, 13(9): 105-107.)
- [46] Zhou Guolei, Li Chenggu, Zhang Jing, et al. Transition of Urban Functional Land in Changchun from 2003 to 2012 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 539-550. (周国磊, 李诚固, 张婧, 等. 2003 年以来长春市城市功能用地演替[J]. 地理学报, 2015, 70(4):539-550.)
- [47] Jendryke M. Inferring Shanghai's Urban Vibrancy Using Microwave Remote Sensing and Big Social Sensing Data [D]. Wuhan: Wuhan University, 2016.
- [48] Xu Xiaoke, Wen Cheng, Zhang Guangyao, et al. The Geographical Destination Distribution and Effect of Outflow Population of Wuhan When the Outbreak of COVID-19 [J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2020, 49(3):324-329. (许小可, 文成, 张光耀, 等. 新冠肺炎暴发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响 [J]. 电子科技大学学报, 2020, 49 (3) : 324-329.)