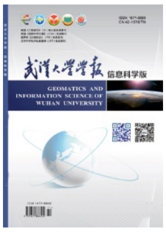

武汉大学学报(信息科学版)
Geomatics and Information Science of Wuhan University
ISSN 1671-8860,CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目：	对人观测的理论、技术与应用进展
作者：	方志祥
DOI：	10.13203/j.whugis20240339
收稿日期：	2024-09-16
网络首发日期：	2024-10-15
引用格式：	方志祥．对人观测的理论、技术与应用进展[J/OL]．武汉大学学报(信息科学版). https://doi.org/10.13203/j.whugis20240339

网络首发时间：2024-10-15 16:15:13
网络首发地址：https://link.cnki.net/urlid/42.1676.TN.20241015.1540.005

DOI:10.13203/j.whugis20240339
引用格式：
方志祥. 对人观测的理论、技术与应用进展[J].武汉大学学报(信息科学版), 2024, DOI: 10.13203/j.whugis20240339（FANG Zhixiang. Theory，Technology and Application Progress for Human being-oriented Observation[J].Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2024, DOI: 10.13203/j.whugis20240339）

对人观测的理论、技术与应用进展

方志祥[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

摘 要：对人观测是由来已久的基础应用需求，现代信息通讯技术发展所带来的大数据普及化，大大促进了对人观测理论、技术与应用的进步，也大幅深化了测绘、遥感、地理、城市科学等多学科交叉融合。在理论进展方面，主要体现在人群感知、特征度量、效应观测这三个层次上发展，特别地，以群体时空过程为视角的系统化表达、建模与演化等方面理论，具有基础性、多态性、系统性等特征，符合以人为本的理论发展趋势。在技术进展方面，主要体现在人群多源感知、时空特征智能计算、时空效应分析应对等层次上的技术进步，特别是以时空 GIS 和人工智能技术为代表的感知技术、平台技术、决策技术等，具有较好的通用型和适应性，符合 GeoAI 的技术趋势与特点。在应用进展方面，对人观测技术显著应用在城市内和城市之间的多个行业领域的广泛应用，如：公共安全、智能交通、社会治理、生命健康、城市群发展、乡村振兴等邻域平台和服务系统，从复杂社会系统角度，推动了各式各样社会问题的空间化感知、研判、预测、预警、决策、治理、协同与融合解决。对人观测已经发展成测绘遥感与其他学科深度交叉融合的前沿方向，具有广泛的理论研究与应用需求。

关键词：对人观测；群体过程；时空 GIS；人工智能；观测平台系统

Theory，Technology and Application Progress for Human being-oriented Observation

FANG Zhixiang[1]
1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract：Human being-oriented Observation has been a basic application requirement for a long time. The popularization of big data brought about by the development of modern information and communication technology has greatly promoted the progress of the theory, technology and application of human being-oriented observation, and also greatly deepened the interdisciplinary intersection of surveying and mapping, remote sensing, geography, urban science and so on. In terms of theory, it is mainly embodied in the development of the three levels of population perception, feature measurement, and effect observation, especially the theory of systematic expression, modeling and evolution from the perspective of spatio-temporal process of crowd, which has the characteristics of foundation, polymorphism, and systematization, and is in line with the development trend of people-oriented theory. In terms of technology, it is mainly reflected in the technological progress at the level of multi-source perception of crowds, intelligent calculation of spatio-temporal characteristics, and analysis and response of spatio-temporal effects, especially the perception technology, platform technology, and decision-making technology represented by spatio-temporal GIS and artificial intelligence technology, which have good versatility and adaptability, and are in line with the technical trends and characteristics of GeoAI. In terms of application, human being-oriented observation technology has been widely used in many industries within and between cities, such as public safety, intelligent transportation, social governance, life and health, urban agglomeration development, extreme and other neighborhood platforms and service systems, which have

收稿日期：2024-09-16
基金项目：国家自然科学基金（42371411）。
第一作者：方志祥，博士，教授，研究方向为人群动态观测、时空 GIS、导航与位置服务。
zxfang@whu.edu.cn

promoted the spatial perception, research and judgment, prediction, early warning, decision-making, governance, coordination and integrated solution of various social problems from the perspective of complex social systems. Human being-oriented observation has developed into a frontier direction of deep cross-integration of surveying, mapping and remote sensing with other disciplines, and has a wide range of theoretical research and application needs.
Key words：Human being-oriented Observation； crowd process；space-time GIS；artificial intelligence；Observation platform and system

对人观测是指利用卫星遥感、移动/室内通信、物联网与泛在传感网等手段对人类在物理空间、社交空间、认知空间等多类型空间活动、行为动态特征、时空规律、群体效应等核心信息的观测理论与方法，包括面向人群的环境认知、活动感知与群组识别、多维度动态与交互效应揭示等核心观测任务，是“空、天、地、海、人”全球完整观测体系中的一个重要组成部分，对发展测绘科学与技术、遥感科学、地理学、信息科学等学科的基础理论，以及开展交叉融通的前沿理论研究与技术研发应用，具有不可替代的显著支撑作用。

对人观测中有关人群动态的部分，已被定义为人群动态观测，主要是指“探测与度量地理环境中人群活动的时空动态特征、模式、规律、影响作用等”[1,2,3]，有助于回答“人群活动与环境的相互影响是什么？”、“如何调控人群活动对环境影响”等一系列的科学研究难题。对人观测与人群动态的观测有一些区别，除了关注人群动态，还更注重如下几个方面：数据的代表性[4]、感知的准确性与认知的全面性，人群的可观测性、行为不确定性、效应可预测性，时空的协调性、交互的扰动性、系统可调控性等诸多方面的科学内容。

本文将从理论研究进展、技术研发进展、创新应用进展这三方面对对人观测进行综述与分析：

1 理论研究进展

对人观测理论可以归纳为三个层次（图 1）：人群感知、特征度量、效应观测。

在人群感知层次，主要包含大规模群体的数据抽样理论、群体过程的时空溯源理论、群体活动空间理论、以及多特征组别的人群交互理论等。(1)大规模群体的数据抽样理论涵盖了简单随机抽样、分层随机抽样、多阶段抽样、分层多阶段抽样、时间/空间抽样、滚雪球法、同伴推动抽样法等[5],特别针对手机位置、地铁/公交刷卡、社交媒体等大数据覆盖人群的差异性，需要采用恰当的数据抽样方法来支撑人群的代表性，如社会群体民主倾向的代表性[6]、手机位置代表性对人群移动性结果的影响[7，8]等。(2)群体过程的时空溯源理论包括基于时间地理、因果图模型、区块链等理论，如：时空轨迹与活动交互溯源[9]，交互群体的因果与或图模型溯源[10]，数据生命周期的区块链架构溯源模型[11]等。(3)群体活动空间理论包括：虚实混合空间理论、位置理论、物理活动统一理论等，如虚实混合空间活动表达与建模理论[4，9]，对位置的无地性、内在、外在、身份、地方感、本质等方面[12，13]的群体感知；冲动-特点-品质的三层物理活动理解[14]等。(4) 特征组别的人群交互理论包括空间交互理论[15,16]、社交交互理论[17]、虚实交互理论[9]等，其中交互行为感知[9]、交互空间网络化和流式理解[18]、交互结果模型化(重力模型、辐射模型等)是空间交互的一些主要理论方向；交流、竞争、冲突、合作、共通等类型的社交类型感知[17];基于个体的和基于群体的通用移动性模型构建，如随机游走、莱维飞行、重力模型、干预机会模型、辐射模型等[19，20]。

在特征度量层次，主要包含不确定性理论、时空流场理论、时空建模理论、跨模态度量理论等。(1)不确定性理论主要包括手机/GPS 定位位置、空间对象数据与分析的不确定性理论，如：手机位置“乒乓效应”[21]影响到手机用户活动停留位置确定[22]；GPS/手机/刷卡等感知数据的采样不确定性[23]，以及点、线、面、体等空间对象的位置不确定性[24]等。 (2)时空流场理论包括地理流、时空轨迹流场、时空场等，如：地理流邻域体积以及地理流密度等测度下的随机、丛集、聚散、社区、并行与等长等常见模式分析[18]；时空轨迹流场流动性、方向性、叠加性、吸附性、以及扇形、带状、网络、面体、孔洞等时空域的度量[3]；针对以稀疏、维度非对称、结构异质为代表的典型非规则时空场数据的张量表达、非规则特征测度方法构建和特征分析[25]等。(3)时空建模理论包括人群动态的时空特征建模、时空过程建模、几何代数建模等，如：人群过程的聚集性、集中度、散度、强度、混合性、时空利用率、拥挤度、稳定性、波动性、扩散性、分异性等时空特征的建模[3]；时空过程的建模包括潜在特征探索

与时空预测、时空过程仿真与决策[26];以及涵盖时空定位、几何结构、要素关系、物理属性、语义特征、演化过程整合描述的几何代数时空统一数据模型建模[27]等。(4)跨模态度量理论包括人群的多模态情感分析模型、红外与RGB多模态图像人群统计模型、WIFI 与视频结合的人群分析模型等，如：面向文本-视觉-语音联合表达多模态情感分析的跨模态语义时空动态交互网络及其机器学习模型[28]；利用红外和 RGB 图像的跨模态 Transformer 机器学习模型，统计场景的人数动态[29]；利用 WIFI 和视频多模态数据开展人群中个体位置、人群规模、人群密度分布与速度分析[30]等。

在效应观测层次，主要包含群体叠加效应、时空边界效应、影响延迟效应、动态演化效应等。(1) 群体叠加效应包括活动叠加、时空过程叠加、舆情叠加等产生的群体性叠加影响。如：不同的对象、场景、空间（物理空间、网络空间、心理空间等）和约束条件下的活动叠加[3]；出租车服务城市群体、重大活动场地群体疏散、城市管理复杂决策等时空过程叠加[31-34]；微信舆情叠加效应下群体性事件的预警与阻断[35]等。(2)时空边界效应包括群体活动/移动性/社交活动边界、群体出行特征（如：拥堵、拥挤）动态边界、群体针对城市空间的认知边界等扩散或收缩的效应。如：行政区/社区居民的活动空间边界[36，37]、特殊群体（青少年等）自我定义活动空间边界[38]、社交媒体活动[39]和古代社交活动空间边界[40]等；基于群体轨迹的车辆交通拥堵边界[41]、人员疏散拥挤区域边界[42]；城市居民认为的邻里边界[43，44]和实际扮演的空间功能边界[45]等。(3)影响延迟效应包括管理政策、群体行为特征等对不同组群对象的时空延迟影响。比如：打车补贴政策/绿色能源化等对城市出租车服务群体的延迟影响[31，46]，动态/潮汐车道收费对城市道路交通流量的时空延迟影响[47]，以及人类行为空间特性对种群传播动力学的延迟影响[48]等。(4)动态演化效应包括群体的爆发与重尾演化效应[49]以及群体模式与机制演化定量[50]、人类行为与疫情/自然灾害等动态融合演化[51,52,53]、邻避和群体行为对舆情演化效应[54，55]等，特别地，群体动态演化效应研究呈现了三个重要转向：从物理空间到虚拟空间、从历史空间到实时空间、从人到情境[56]。

总体来说，对人观测理论是聚焦以人为对象的观测理论体系，主要隶属测绘科学与技术学科，同时与遥感、信息学、地理学、城市科学等多领域交叉融合的学科方向，其人群感知、特征度量、效应观测层次的理论体系具备基础性、多态性、系统性等特征，符合以人为本的理论发展趋势。

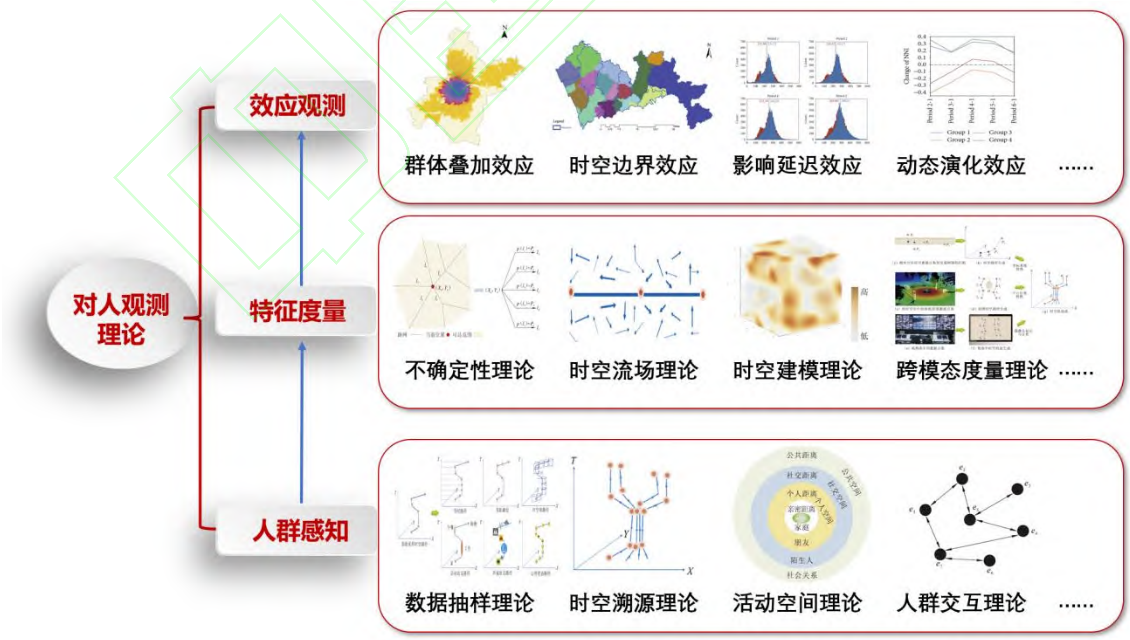

图 1　对人观测的三层理论

Fig. 1 Three-tier theory of human being-oriented observation

2 技术研发进展

对人观测技术进展可以归纳为人群感知、特征计算、效应分析等技术层次（图 2）。

在人群感知技术层次，主要包含大规模群体的主被动感知技术和大数据技术等。(1)在感知技

术方面，通过 WIFI、图像/图片、视频、手机传感器、物联网和社交媒体与网络等被动方式的感知，涌现了一些多种数据融合感知技术，如：跨模态融合[29]、WIFI 和视频融合[30]、遥感和社会感知融合[57]等；传统的问卷调查与人口普查方式，以及基于全球定位（GNSS）/5G+UWB[58]等室内外定位技术、公交/地铁刷卡、扫码出行/进出、手机蜂窝网络主动探测信令、激光雷达等主动方式的感知技术，出现了环境/位置上下文感知的群体感知实时计算技术[59]。(2)地理时空大数据平台方面，传统 GIS 商家都提供了实时大数据平台技术，比如：GeoEvent Server，SuperMap 的大数据 GIS 技术体系、MapGIS 信创大数据与云平台一体机技术、吉奥时空数治平台 GeoPanel 等时空信息云平台技术，以及开源的时空大数据管理组件 GeoMesa 等，在大数据应用、大数据生态对接和高效的数据管理等方面有较好的优势。一般地理时空大数据平台提供了空间相关的人群感知信息动态/实时接入技术，较好地提供对人观测的数据支撑。

在特征计算技术层次，可以笼统概括为时空 GIS 技术和机器学习技术等。(1)美国萧世 课题组较早开发出 ArcGIS 的时空 GIS 插件技术[60]，以及国内李响教授团队的时空轨迹大数据分析软件 XSTAR 等；商业化的有 GeoTime 可视化时空分析软件[61]，支撑手机、GPS 和社交轨迹的行为识别、活动序列分析、群体动态计算等可视化分析功能，该方面技术在空间、时间、交互和模式等语义[3]的时空关联方面还有一些的改善空间，比如：全空间组织与分析[62]、多空间行为因素、多领域的对接能力[63]以及突发事件下的模式解读应急能力[64]等。(2)机器学习的特征编码、时空网络与特征预测等技术结合地理信息，催生了 GeoAI 的空间显式和隐式的人工智能模型（如：深度合成空间模型、空间生成对抗网络模型和长短期记忆网络-轨迹生成对抗网络模型等[65-70]）和深度学习轨迹计算技术[68]，有助于对轨迹、图像和视频等空间特征表征学习、时空预测等，但是在模型的迁移性和可解释性、空间推理等方面[70]还存在一些挑战。

在效应分析技术层次，主要包含时空模拟/推演技术、时空决策技术等。(1)在时空模拟/推演方面，从基于流、实体和智能体[71]的群体模拟技术发展到微观、介观和宏观模型，实现理论模型（动力学模型、速度障碍模型、元胞自动机等）和数据驱动模型[72]，近期发展到知识和实时数据驱动的机器学习框架（如：LSTM[73] 、强化学习[74] 、生成对抗网络[75]）模拟技术；在模拟的基础上，构建知识元网络模型、动态贝叶斯网络模型、证据理论等为基础的时空态势推演技术[76-78]，实现城市物质的映射、城市非物质要素的映射及其与人员物资要素的互动、城市发展规律的发掘、基于规则发掘的城市诊断与优化等，促进城市的科学迭代[79]。(2)在时空决策技术方面，为服务于复杂的信息-物理-人类系统[80]，构建了行为模式建模支持[81]、时空预测与情景驱动[82-84]的决策技术，特别针对高动态的人与环境交互时空系统过程，亟需面对不确定性环境或条件下的多目标与模糊优化[85,86]、共享式[87] 、自适应动态[88]决策能力，来进行科学支撑。

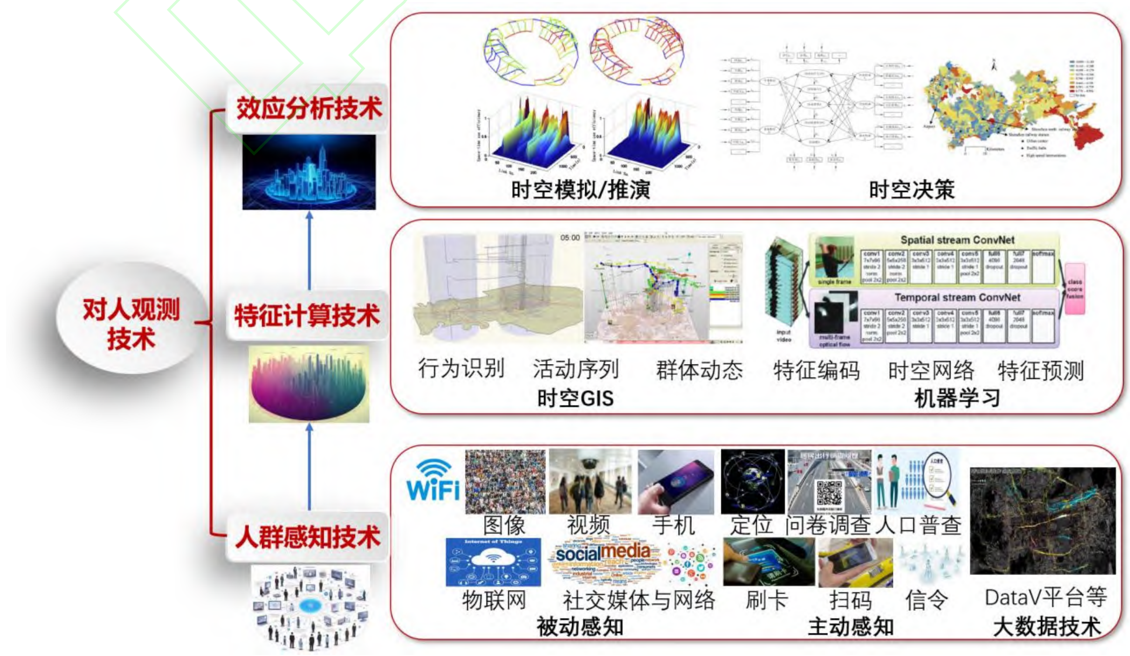

图 2 对人观测技术研发进展
Fig. 2 Technique progress of human being-oriented observation

3 创新应用进展

对人观测是由来已久的基础应用需求。现代信息与通信技术(ICT)快速发展催生了海量的大数据，基于大数据的对人观测技术发展，显著促进了对人观测在城市内和城市之间的多个行业领域的广泛应用，如：公共安全、智能交通、社会治理、生命健康、城市群发展、乡村振兴等(图 3)，支撑了智慧城市、区域协调发展等战略目标的实施。具体为：

(1)在公共安全方面，主要聚焦在“社会和公民个人从事和进行正常的生活、工作、学习、娱乐和交往所需要的稳定的外部环境和秩序”[89]，目前构建的城市安全大数据中心包含了城市公共基础（市情）、部门业务、社情民意、物理环境与灾害监测、城市运行、人行为（活动）、突发事件应急处置等方面，实现灾害和人员的安全监测、人群分布与移动特征的动态推演[90]、人群异常检测 [91,92]、符合犯罪时空分布特性的警力巡逻、突发事件(如：城市大规模人员踩踏、特大暴雨洪水、危化品泄露/厂区爆炸等)的应急救援，公共安全及其衍生事件的预测预警[93]，支撑综合风险评估与防控、科学辅助决策、应急联动和调度，形成多灾种综合、各部门协同、跨行业合作的防灾减灾防治和综合应用[89]。

(2)在智能交通方面，主要加强车辆、道路、使用者三者之间的联系，形成保障安全、提高效率、改善环境、节约能源的综合运输系统。目前构建了人、车、路、环境等对象的感知，实现一些智能化的群体覆盖应用，包括：混合交通流量和状态监测、交通出行行为规律建模、动态交通流时空特性提取、对交通态势的短期与长时序分析研判[94]、交通预测与区域性交通承载力预警、交通优化控制[95]与诱导，以及基于大数据的公共交通精细化服务(如：定制化公交等)、交通需求精准化调控、道路交通的精明化管控、交通系统演化过程干预、综合交通一体化整合与管理决策[96]、交通应急资源配置与协同保障[97]等，特别针对无人交通系统时代（如：无人车、无人机、无人船等），信息不完全下的人车/机交通冲突[98]预判与安全可靠换道决策[99]化解显得非常重要。

(3)在社会治理方面，聚焦在人、房、地、事、物、情、组织等要素的精细化社会综合治理。在大数据互联互通的支持下，实现一系列人群社会相关的智能化应用，包括：特殊人群的生活网络全覆盖与快速关联应对[100]，群体社会性问题的超前感知[101]、优先排查和靠前处置[102]，群众问题的闭环处置[103]，人群管理形式（如：住房、养老等）的宏微观研判[104]，预警体系（如：社会事件与矛盾、社会心理、洪涝、生态、贫困）的分层分级构建[104-107]、大型水利工程、水源污染、公共场站、通信保障、城市生命线、突发事件等）[107-109]应急中的人群方案设计，信息流支撑和周边资源联动调度(垂直-横向协同)的动态调解处理[110]；通过构建多方参与智慧化的决策引擎，实现跨地域、跨部门、跨行业[89]的综合维稳、立体防控、整体联动等。

(4)在生命健康方面，主要聚焦在健康促进、预防、诊断、控制、治疗、康复等方面的应用发展，从群体层面，开展的立体化、多层次应用包括：工作环境颗粒物[111]、水[112]和重金属[113]等职业暴露监测,以及 PM2.5[114-115]、甲醛[116]、苯系物及多环芳烃等主要大气污染物、热环境[117] 、膳食中的铬[118]等大众环境暴露监测，支撑人群暴露风险的评估；老人群体跌倒防护[119]、进藏人群的适应过程、群体心理(抑郁、焦虑等)等物理、生理和心理等方面的健康感知，以及基于移动终端或物联网的儿童与老人群体智能看护[120]以及智能楼宇居民服务[121]；传染病的建模、推估预警、风险评估、防控[122-124]与非药物干预措施效果评估[125]；癌症、生殖障碍、肾病等疾病[125]与大气、水质等环境[126-128]的关联建模与归因分析，指导群体性的健康环境构建与维护。此外，以主动健康为导向的数字赋能健康管理、康养融合等应用，提供了全球超过 2 亿用户、覆盖 170 个国家的数字运动健康服务[129]。

(5)在城市群发展方面，时空大数据支持下，主要开展了空间界定与发展监测、城市群交通网络监测、关联性分析与功能布局评价、产业协同分析和环境监测与评估等方面[130]的工作，如：探究人类活动强度与城市群植被覆盖、景观系统、生态系统服务价值以及大气环境的时空关系与影响[131-132]；建立建设用地扩张与人口-经济-社会城市化的关联关系[133]，识别城市群外部形态紧凑扩张与内部功能发育空间错配[134]；城市群交通网络及各类型交通线路的理论与实

际载流能力[135]，以及基于手机和联网收费数据的城市群人口时空分布与流动特征[136]；城市群人类居住空间的空间演变[137]，以及城市群人口布局与农业生态、旅游、康养、产业等[130，138-140]方面的空间协同，等等。

(6)在乡村振兴方面，主要开展了脱贫攻坚、农文旅体、融合发展等方面的工作，如：农村人口结构与低收入人口动态监测，支撑困难群众的协同比对、主动发现、快速预警[141-142]；基于乡村环境的农村人口承载力分析[143]，指导种植业、渔猎业、放牧畜牧业等发展，提升农产品安全保障；开展农文旅体融合的共同体发展（“贵州村超”），提升乡村的精准衔接、传承融合、资源整合、协同治理等能力[144-147]。

图 3　对人观测的应用
Fig. 3 Application progress of human being-oriented observation

4 结束语

对人观测是研究人、分析人、服务人的核心任务，是认知、分析和调控人群动态的基础性工作，具备以人为中心的核心理论发展理念、以人为本的关键技术创新思路、以人的满意度为重要标准的智能化实用等特点，亟需测绘遥感、信息科学、社会科学、安全科学、经济学、健康医学等多领域的联合交叉攻关，开拓出对人观测的重要学科方向，支撑“空、天、地、海、人”全球观测体系的完整发展，满足智慧城市、公共安全、智能交通、社会治理、健康卫生等国家战略与重大社会工程的理论、方法与应用需求，具有重要的科学研究与社会应用价值。

未来对人观测的研究和应用仍需要突破如下一些关键问题：(1)以无感为关键目标的精细化对人观测设备集成与研制，解决不同应用场景的差异化对人观测需求。(2)以多重空间为核心的准确化对人观测理论与技术突破，解决不同社会现象与问题的自适应观测建模与时空分析能力问题。(3)以空间智能(GeoAI)为手段的泛化应用实时计算平台与框架，解决不同应用领域的对人观测核心需求支撑能力问题。

参考文献

[1] FANG Zhixiang. Thinking and Challenges of Crowd Dynamics Observation from the Perspectives of Public Health and Public Security[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1847-1856.（方志祥． 公共卫生与安全应急视角下人群动态的观测思考与挑战[J]． 武汉大学学报（ 信息科学版），2020， 45(12)： 1847-1856）

[2] FANG Zhixiang. The theory prospect of crowd dynamics-oriented observation[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021,23(9):1527-1536．（方志祥.人群动态的观测理论及其未来发展思考[J].地球信息科学学报,2021,23(9):1527-1536）

[3] FANG Zhixiang， YANG Xiping， TU Wei, ZHONG Haoyu, ZOU Xinyan, WANG Xiaofan. Theory and methodology of Crowd Dynamics Observation[M]. Beijing: Science Press，2020.（方志祥，杨喜平，涂伟，仲浩宇，邹欣妍，王晓凡著.人群动态的观测理论与方法[M]，北京：科学出版社，2020）

[4] SHAW Shih-Lung, FANG Zhixiang, CHEN Bi-yu, YIN Ling, CHEN Jie, YANG Xiping. Spatiotemporal GIS analysis on urban human activties[M]. Beijing: Science Press，2018.（萧世 ， 方志祥， 陈碧宇，

尹凌，陈洁，杨喜平．城市人群活动时空 GIS 分析．北京：科学出版社，2018）
[5]Bishop Y, Fienberg S, Holland P. Discrete multivariate analysis theory and practice[M]. Beijing：China Statistics Press，1998.（Bishop Y, Fienberg S, Holland P. 离散多元分析理论与实践[M]．北京：中国统计出版社．1998.）
[6] Betzu,M ， Coinu,G, Demuro,G L. Big data governance and representative democracy[J]. *REVISTA DE DERECHO POLITICO*，2019, 106:253-264.
[7]ZHAO Zhiyuan, SHAW Shih-Lung, YIN Ling, FANG Zhixiang, YANG Xiping, ZHANG Fan，WU Sheng. Impacts of temporal sampling intervals on human mobility indicators using mobile phone location data. *International Journal of Geographical Information Science*. 2019,33(7), 1471-1495.
[8] LU Shiwei, FANG Zhixiang, ZHANG Xirui, SHAWQ Shih-Lung, YIN Ling, ZHAO Zhiyuan, YANG Xiping. Understanding the Representativeness of Mobile Phone Location Data in Characterizing Human Mobility Indicators. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6, 7.
[9] SHAW S-L. Time geography in a hybrid physical-virtual world[J]. *Journal of Geographical Systems*， 2023，25（3）：339-356.
[10]XU Yuanlu, QIN Lei, LIU Xiaobai, XIE Jianwen, ZHU Song-Chun. A Causal And-Or Graph Model for Visibility Fluent Reasoning in Tracking Interacting Objects[C]. 2018 IEEE/CVF CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR),178-2187. DOI10.1109/CVPR.2018.00232.
[11]Mendoza-Moreno JF, Santamaria-Granados L, Fraga Vázquez, A, Ramirez-Gonzalez G. OntoTouTra: Tourist Traceability Ontology Based on Big Data Analytics. *Applied Sciences*. 2021; 11(22):11061.
[12]Relph EC. Place and placelessness[M]. London: Pion, 1976.
[13]Del Aguila M, Ghavampour E and Vale B. Theory of Place in Public Space [J]. *Urban Planning*, 2019, 4 (2):249-259
[14]Matias TS， Piggin J. The Unifying Theory of Physical Activity[J]. *Quest*, 2022，74:2, 180-204.
[15]Hayes, MC and Wilson, AG. Spatial Interaction[J]. *SOCIO-ECONOMIC PLANNING SCIENCES*, 1971, 5 (1) :73-95.
[16]Ullman E.L. Geography as Spatial Interaction[M]. Seattle: University of Washington Press, 1980.
[17]Nisbet RA. *The Social Bond: An Introduction to the Study of Society*. New York: Knopf. 1970.
[18]Pei T, Shu H, Guo S H, et al. The concept and classification of spatial patterns of geographical flow[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2020,22(1):30- 40.（裴韬, 舒华, 郭思慧, 等. 地理流的空间模式：概念与分类[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(1)：30-40.）
[19]Schläpfer M, Dong L, O'Keeffe K. et al. The universal visitation law of human mobility [J]. *Nature* 2021,593:522–527.
[20]Barbosa H, Barthelemy M, Ghoshal G, James CR, Lenormand M, Louail T, Menezes R, Ramasco JJ, Simini F, Tomasini M. Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, 2018,734:1–74.
[21]SONG Xiaoqing. Research on the spatial distribution and quality optimization of the positioning uncertainty in mobile based station positioning data[D]. Nanjing Normal Unversity, 2023.(宋晓晴. 手机基站定位数据的位置不确定性空间分布及质量优化研究. 南京师范大学博士论文，2023.)
[22]YANG Xiping, FANG Zhixiang, ZHAO Zhiyuan, SHAW Shih-Lung, YIN Ling. Analyzing space-time variation of urban human stay using kernel density estimation by considering spatial distribution of mobile phone towers. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 42(1)：49-55.(杨喜平，方志祥，萧世伦，尹凌．顾及手机基站分布的核密度估计城市人群时空停留分布．武汉大学学报·信息科学版．2017，42(1)：49-55.)
[23]ZHAO Zhiyuan, YIN Ling, FANG Zhixiang, SHAW Shih-Lung， YANG Xiping. impacts of temporal sampling intervals on stay detection and movement network construction in trajectory data. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(8):1152-1158.（赵志远，尹凌，方志祥，萧世伦，杨喜平．轨迹数据的时间采样间隔对停留识别和出行网络构建的影响，武汉大学学报·信息科学版. 2018，43(8)：1152-1158.）
[24]SHI Wenzhong. Uncertainty Principle of Spatial Data and Spatial Analysis [M]. Beijing: Science Press， 2015.（史文中．空间数据与空间分析不确定性原理 (第二版)[M]．北京：科学出版社，2015）.
[25]LI Dongshuang. Tensor-based Feature Analysis Method for Irregular Geographical Spatiotemporal Field data.Nanjing Normal University.2019.（李冬双．基于张量的非规则地理时空场数据特征分析方法[D]．南京师范大学博士论文, 2019)
[26]Song Y, Wang X, Tan Y, Peng W, Sutrisna M, Cheng JCP, Hampson K. Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: a review from a spatiotemporal statistical perspective. *ISPRS Int J Geo Inf* 2017, 6(12):397.
[27]俞肇元, 袁林旺, 闾国年, 罗文, 胡勇. 面向时空大数据的几何代数多维统一 GIS. 中国地理信息科学 2014 学术年会论文集. 2014, pp. 87-87.
[28]QU Licheng, QIE Liyuan, LIU Zijun, WEI Si, DONG Zhewei. Cross-Modal Emotion Analysis of

Semantic and Spatio-Temporal Dynamic Interaction[J]. *Computer Engineering and Applications,* 2024, 60(1):165-173.(屈立成, 郤丽媛, 刘紫君, 魏思, 董哲为. 跨模态语义时空动态交互情感分析研究[J]. 计算机工程与应用, 2024, 60(1):165-173.)

[29] ZHANG Shihui，WANG Wei, ZHAO Weibo, WANG Lei, LI Qunpeng. A cross-modal crowd counting method combining CNN and cross-modal transformer[J]. *Image and Vision Computing*, 2023, 129:104592.

[30] HE Lifei.Research on the large-scale crowd analysis method based on wifi and video-fused sensing[D]. Inner Mongolia University,2023.（郝利飞. 基于 WiFi 和视频融合感知的大范围人群分析方法研究. 内蒙古大学博士论文，2023）

[31] FANG Zhixiang, WANG Xiaofan, ZHUANG Ying, LIU Xianglong. Estimating the substitution of gasoline taxis by electric taxis in the era of green energy: A case study of Zhengzhou City[J]. *Geo-Spatial Information Science*. 26(3):514-539.

[32] TU Wei, LI Qingquan, FANG Zhixiang, SHAW Shih-lung, ZHUO Baoding, CHANG Xiaomeng. Optimizing the Locations of Electric Taxi Charging Stations: a Spatial-temporal Demand Coverage Approach[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2016,65: 172–189.

[33] ZHAO Tianhong, TU Wei, FANG Zhixiang, WANG Xiaofan, HUANG Zhengdong, XIONG Shengwu, ZHENG Meng. Optimizing living material delivery during the COVID-19 outbreak[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2022，23(7)：6709-6719.

[34] LI Qiuping, ZHONG Shaobo, FANG Zhixiang, LIU Lin, TU Wei, CHEN BiYu. Optimizing Mixed Pedestrian-Vehicle Evacuation by Adaptive Network Reconfiguration[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* 2020, 21(3):1023-1033.

[35] LI Weiquan, LIU Yan. On the warning and blocking of group events under the superposition effect of WeChat Public Opinion[J]. *Journal of Northeastern Unversity(Social science)*, 2018, 20(4):392-398.（李伟权，刘雁. 微信舆情叠加效应下群体性事件的预警与阻断问题研究——以广东 A 市环境群体性事件为例[J]. 东北大学学报（社会科学版），2018, 20(4):392-398.）

[36] FANG Zhixiang, LIU Lihan, SHAW Shih-Lung, YIN ling. An extended community detection algorithm to compare human mobility flow based on urban polycentric cluster boundaries: A case study of Shenzhen City. In: ZHOU Chenhu, SU Fenzhen, HARVEY Francis, XU Jun(eds) *Spatial Data Handling in Big Data Era, part of the series advances in geographical information science*. 2017，pp.111-124.

[37] Zhou Y, Ji H, Zhang S, Qian C, Wei Z. Empirical Study on the Boundary Space Form of Residential Blocks Oriented Toward Low-Carbon Travel [J]. *Sustainability* 2019, *11*, 2812.

[38] Colabianchi N, Coulton C J, Hibbert JD, McClure SM, Ievers-Landis CE, Davis EM. Adolescent self-defined neighborhoods and activity spaces: Spatial overlap and relations to physical activity and obesity[J]. *Health &Place*,2014,27:22–29.

[39] Lambotte F. Making Social Media Activity Analytics Intelligible for Oneself and for Others: A "Boundary Object" Approach to Dashboard Design[C]. In: Yamamoto, S. (eds) *Human Interface and the Management of Information: Information, Knowledge and Interaction Design*. HIMI 2017. Lecture Notes in Computer Science, 2017, vol 10273. Springer, Cham. pp 112–123.

[40] Kooyman B. Boundary theory as a means to understanding social space in archaeological sites[J]. *Journal of Anthropological Archaeology*,2006, 25 (4):424-435.

[41] LEE EH, LEE E. Congestion boundary approach for phase transitions in traffic flow[J], *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 2024，12:1, 2379377.

[42] FANG Zhixiang, LI Qingquan, LI Qiuping, HAN Lee D. Han, WANG Dan. A Proposed Pedestrian Waiting-Time Model for Improving Space-Time Use Efficiency in Stadium Evacuation Scenarios[J]. *Building and Environment*, 2011, 46(9): 1774-1784.

[43] Rugkhapan NT. UNSEEING CHINATOWN: Universal Zoning, Planning Abstraction and Space of Difference[J]. *International Journal of Urban and Regional Research*,2016, 40 (3):601-620.

[44] Pinchak NP, Browning CR, Calder CA, Boettner B. Activity locations, residential segregation and the significance of residential neighbourhood boundary perceptions[J]. *Urban Studies*, 2021, 58(13): 2758-2781.

[45] ZENG Y, DEAL B. What Role Do Urban Parks Play in Forming a Sense of Place? Lessons for Geodesign Using Social Media[J]. *Land,* 2023, 12, 1960.

[46] FANG Zhixiang, SU Rongxiang, HUANG Lian. Understanding the effect of an e-hailing app subsidy war on taxicab operation zones[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 7687852.

[47] Budnitzki A. Computation of the optimal tolls on the traffic network[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 235(1):247-251.

[48] ZHAO ZIDAN.Research on analysis, modeling anddynamics of spatial-temporal characteristics of human behaviors[D]. University of Electronic Science and Technology of China. 2014.（赵志丹. 人类行为为时空特性的分析、建模及动力学研究[D]. 电子科技大学博士论文,2014.）

[49] Barabási AL. The origin of bursts and heavy tails in human dynamics[J]. *Nature*,2005,435:207–211.

[50] ZHA Yilong, ZHOU Tao，ZHOU Changsong.

Unfolding large-scale online collaborative human dynamics. *PNAS*, 2016, 113(51): 14627–14632.

[51] Aerts JCJH, Botzen WJ, Clarke KC, et al. Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment[J]. *Nature Climate Change*, 2018，8：193–199.

[52] Perofsky AC, Hansen CL, Burstein R, et al. Impacts of human mobility on the citywide transmission dynamics of 18 respiratory viruses in pre- and post-COVID-19 pandemic years[J]. *Nature Communications*， 2024,15：4164.

[53] Kang Y, Gao S, Liang Y, et al. Multiscale dynamic human mobility flow dataset in the U.S. during the COVID-19 epidemic[J]. *Scientific Data*,2020 7, 390.

[54] PENG Xiaobing，ZOU Xiaoyun.Transmission of Internet Public Opinion from NIMBY to Mass Disturbances& Civil Disorder Derived from Environmental Pollution:Based on the “ Anti-PX Program ” Happened in Zhenhai, Ningbo[J]. *Journal of Intelligence* ,36(4): 150-155.（彭小兵,邹晓韵.邻避效应向环境群体性事件演化的网络舆情传播机制——基于宁波镇海反 PX 事件的研究.情报杂志， 2017，36（4）：150-155.）

[55] ZHANG Jidong, JIANG Liping. Research on the dynamics evolution model of public opinion communication in mobile social network integrated with user behavior[J]. *Journal of Mordern Information*, 2021,41(5):159-166.（张继东，蒋丽萍.融入用户群体行为的移动社交网络舆情传播动态演化模型研究.现代情报,2021,41(5):159-166.）

[56] SHaw SL, SUI D. Introduction: Human Dynamics in Perspective. In: Shaw, SL., Sui, D. (eds) Human Dynamics Research in Smart and Connected Communities. Human Dynamics in Smart Cities[M]. Springer, Cham. 2018, pp 1–11.

[57] XING Xiaoyue, YU Bailang, KANG Chaogui, HUANG Bo, GONG Jianya, LIU Yu. The Synergy Between Remote Sensing and Social Sensing in Urban Studies: Review and perspectives. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 2024, 12(1): 108 – 137.

[58] LI Mingfeng , LI Yan , LIU Yong , WU Xuesong , XU Jisheng , CHANG Jianming , WANG Tao , PAN Hongguang. Underground personnel positioning system based on 5G+UWB and inertial navigation technology. *Journal of Mine Automation*, 2024, 50(1):25-34.（李明锋，李燚，刘用，吴学松，徐继盛，常建明，王涛，潘红光. 基于 5G+UWB 和惯导技术的井下人员定位系统. 工矿自动化,2024, 50(1):25-34.）

[59] Vahdat-Nejad H, Asani E, Mahmoodian Z, Mohseni M H. Context-aware computing for mobile crowd sensing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 2019, 99: 321-332.

[60] Shaw Shih-Lung. Towards a GIS-based Analytical Time-geographic Framework for Physical and Virtual Activities. http://web.utk.edu/∼sshaw/NSF-Project-Website/default.htm.

[61]GeoTime. https://www.geotime.com/.

[62] Hua YX, Zhou C H. 2017. Description frame of data model of multi-granularity spatio-temporal object for Pan-spatial Information System. *Journal of Geo-information Science*, 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.）

[63] SHAW Shih-Lung, FANG Zhixiang. Rethinking Human Behavior Research from the perspective of Space-time GIS. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 667-670 (萧世伦,方志祥. 从时空 GIS 视野来定量分析人类行为的思考[J]. 武汉大学学报・信息科学版. 2014, 39(6): 667-670.)

[64] ZHONG Leiyang, ZHOU Ying, GAO Song,et al. Identifying Human Mobility Patterns Changes During Public Health Emergencies[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2024, 49(7): 1237-1249.（钟雷洋,周颖,高松，等. 突发公共卫生事件下的人口流动模式变化识别[J]. 武汉大学学报（信息科学版）,2024,49(7):1237-1249.）

[65] Zammit-Mangion A，Ng T L G，Vu Q，et al. Deep Compositional Spatial Models[J]. *Journal of the American Statistical Association*,2022, 117(540):1787-1808.

[66] Klemmer K ， Koshiyama A ， Flennerhag S. Augmenting Correlation Structures in Spatial Data Using Deep Generative Models[J]. https：//arxiv. org/abs/1905. 09796，2019

[67] Rao J，Gao S，Kang Y，et al. LSTM-TrajGAN：ADeep Learning Approach to Trajectory Privacy Protection[C]. Leibniz International Proceedings in Informatics，Poznań，Poland，2020.

[68] Chen W, Liang Y, Zhu Y, et al. Deep Learning for Trajectory Data Management and Mining: A Survey and Beyond. [OL]https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.14151, 2024.

[69] Graser A, Jalali A, Lampert J, et al. MobilityDL: A Review of Deep Learning From Trajectory Data[J]. 2024, DOI10.1007/s10707-024-00518-8.

[70] GAO Song. A Review of Recent Researches and Reflections on Geospatial Artificial Intelligence[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1865-1874.（高松. 地理空间人工智能的近期研究总结与思考[J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2020, 45(12): 1865-1874.）

[71] Zhou SP, Chen D, Cai WT, et al. Crowd Modeling and Simulation Technologies. *ACM TRANSACTIONS ON MODELING AND COMPUTER*

SIMULATION, 2010, 20(4): 20.

[72] Dang H-T, Gaudou B, Verstaevel N. A literature review of dense crowd simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2024,134 : 102955.

[73] Bisagno, N., Garau, N., Montagner, A., Conci, N. (2019). Virtual Crowds: An LSTM-Based Framework for Crowd Simulation[C]. In: Ricci, E., Rota Bulò, S., Snoek, C., Lanz, O., Messelodi, S., Sebe, N. (eds) *Image Analysis and Processing – ICIAP 2019*. Lecture Notes in Computer Science, vol 11751. Springer, Cham. pp 117–127.

[74] Charalambous P, Pettre J, Vassiliades V, et al. GREIL-Crowds: Crowd Simulation with Deep Reinforcement Learning and Examples[J]. *ACM Transactions on Graphics*， 2023，42(4): 137.

[75] Dapeng Yan, Gangyi Ding, Kexiang Huang & Tianyu Huang. Generating natural pedestrian crowds by learning real crowd trajectories through a transformer-based GAN[J]. *The Visual Computer*，2024， https://doi.org/10.1007/s00371-024-03385-4.

[76] ZHENG Xiang, LIU Long, ZOU Xiaolei. Passenger flow organization adjustment in urban rail transit station based on radid deduction for passenger flow situation[J]. *Urban Mass Transit*. 2023, 11:43-48（郑翔 , 刘龙 , 邹晓磊. 基于客流态势快速推演方法的城市轨道交通车站客流组织调整措施[J].城市轨道交通研究, 2023, 11:43-48.）

[77] CHEN Zhuolin, LUO Nianxue. Construction and deduction of offshine oil spill accident scenario based on knowledge element network[J]. *Geomatics &spatial information technology*, 2022, 45(9):22-25.（陈卓琳 , 罗年学. 基于知识元网络的海上溢油事故情景构建与推演[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(9):22-25.）

[78] XIE Xiaoliang, TIAN Yuzhang & WEI Guo. Deduction of sudden rainstorm scenarios integrating decision makers' emotions, dynamic Bayesian network and DS evidence theory[J]. *Nature hazards*, 2023, 116:2935-2955.

[79] WU Zhiqiang, ZHOU Mimi, LIU Qi, GAN Wei, XU Haowen, HEI Jinghao. The "Cross-Generational Twin City": Mapping the Life Characteristics of the City[J]. *Urban planning forum* 2024, (1):9-17.（吴志强，周咪咪，刘琦，甘惟，徐浩文，黑静好. “跨代孪生”：映射城市的生命特征[J]. 城市规划学刊, 2024, (1):9-17. ）

[80] HU Chen-Lian, WANG Lei, CHEN Mei-Ling, PEI Cheng. A real-time interactive decision-making and control framework for complex cyber-physical-human systems[J]. *Annual Reviews in Control*, 2024, 57: 100938.

[81] XU Fengli, LI Yong, JIN Depeng, LU Jianhua, SONG Chaoming. Emergence of urban growth patterns from human mobility behavior[J]. *Nature Computational Science*, 2021,1, 791–800.

[82] Kline D, Hyder A, Liu E, Rayo M, Malloy S, Root E. A Bayesian Spatiotemporal Nowcasting Model for Public Health Decision-Making and Surveillance[J]. *American Journal of Epidemiology*, 2022,191(6): 1107–1115.

[83] SHE Jianjun, GUO Zihao, LI Zhijian, LIANG Shuwei, ZHOU Yilun. Research on scenario deduction and emergency decision-making evaluation for construction safety accidents[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2024, 251: 110317.

[84] SHI Lingyuan, YANG Xin, LI Jue, WU Jianjun, SUN Huijun. Scenario construction and deduction for railway emergency response decision-making based on network models[J]. *Information Sciences*, 2022, 588:331-349.

[85] Demir G，Riaz M，Deveci M. Wind farm site selection using geographic information system and fuzzy decision making model. *Expert systems with applications*, 2024, 255:124772.

[86] TIAN Guangdong, LU Weidong, ZHANG Xuesong, et al. A survey of multi-criteria decision-making techniques for green logistics and low-carbon transportation systems[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30:57279–57301.

[87] Scholl I, LaRussa A, Hahlweg P, Kobrin S, Elwyn G. Organizational- and system-level characteristics that influence implementation of shared decision-making and strategies to address them — a scoping review. *Implementation Science*, 2018, 13:40.

[88] Carrubbo L, Cosimato S, Gagliardi A R. Towards dynamic decision-making in government as service organization: insights from systems thinking[J]. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 2024, https://www.emerald.com/insight/1750-6166.htm.

[89] HUANG Quanyi, XIA Jinchao, YANG Xiuzhong, SONG Yugang. Urban public sequrity big data[J]. *Geosaptial Information*, 2017, 15(7):1-5.（黄全义, 夏金超, 杨秀中, 宋玉刚. 城市公共安全大数据[J]. 地理空间信息, 2017, 15(7):1-5.）

[90] LIU Guan. Application of Situation Projection Technology in Airport Security Operations[J]. *Journal of Civil Aviation*, 2024,8(2):134-139.(刘冠. 态势推演技术在机场安保业务中的应用[J]. 民航学报, 2024,8(2):134-139.)

[91] HU Xuemin, YU Jin, DENG Chongyang, SONG Sheng, CHEN Qin. Abnormal Crowd Behavior Detection and Location Based on Spatial-temporal Cube[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(10): 1530-1537.（胡学敏, 余进, 邓重阳, 宋昇, 陈钦. 基于时空立方体的人群异常行为检测与定位[J]. 武汉大学学报（信息科学版), 2019, 44(10): 1530-1537.）

[92] CAI Rui-Chu, XIE Wei-Ha, HAO Zhi-Fen, WANG Li-Juan,WEN Wen. Abnormal Crowd Detection Based on Multi-Scale Recurrent Neural Network[J].

Journal ofSoftware,2015，26(11)：2884—2896. (蔡瑞初,谢伟浩,郝志峰,王丽娟,温雯. 基于多尺度时间递归神经网络的人群异常检测[J]. 软件学报, 2015，26(11)：2884-2896.)

[93] LI Shixuan. Construction of early-warning model for secondary and derivative events of public health emergencies based on event evolutionary graph[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2024, 20(3):12-19. (李诗轩. 基于事理图谱的公共卫生事件次生衍生事件预警模型构建研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(3):12-19.)

[94] LU Huapu, SUN Zhiyuan, QU Wencong. Big Data and Its Applications in Urban Intelligent Transportation System[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2015, 15(5):45-52. (陆化普,孙智源,屈闻聪. 大数据及其在城市智能交通系统中的应用综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(5):45-52.)

[95] HUA Yun, WANG Xiangfeng, JIN Bo. Multi-agent deep reinforcement learning—based urban traffic signal management[J]. *Operations Research Transactions*, 2023, 27(2):49-62.(华赟, 王祥丰, 金博. 面向城市交通信号优化的多智能体强化学习综述[J]. 运筹学学报, 2023, 27(2):49-62.)

[96] YANG Dongyuan. Promoting Urban Transportation Planning Theory Innovation Using Big Data[J].*Urban Transport of China*, 2016, 14(3): 72-80.(杨东援. 通过大数据促进城市交通规划理论的变革[J]. 城市交通, 2016, 14(3): 72-80.)

[97] WU Jianjun, GAO Ziyou. Emergency Support and Management of Regional Integrated Traffic System under Significant Events[J]. *Journal of Management Science*, 2021, 34(6): 67–70. (吴建军, 高自友. 重大突发事件下区域综合交通系统应急保障和管理[J].管理科学, 2021, 34(6): 67–70.)

[98] ZHOU Hui, WANG Weili. Traffic Conflict Analysis of Non-Motor Vehicle Lanes Based on UAV Video[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2023，59（16）:324-329.(周辉,王维莉. 基于无人机视频的非机动车道交通冲突分析[J]. 计算机工程与应用, 2023,59(16):324-329.)

[99] CUI Bingyan, LI He, CUI Zhe, JI Haojie, GUAN Yuxin. A Review of Safety Studies on Lane Change Decision-makings for Connected Automated Vehicles[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2023,41(4):1-13. (崔冰艳, 李贺, 崔哲, 冀浩杰, 关宇昕. 智能网联汽车换道决策安全性研究综述[J].交通信息与安全，2023,41(4):1-13)

[100] Ma Wenxue, Qin Xiao. Research on Application With the Background of Information of Hidden Populations[J]. *Digital communication World*, 2019, (2):11-12. (马文学,秦晓. 浅析信息化技术在特殊人群防控应用研究[J]. 数字通信世界, 2019, (2):11-12.)

[101] YU ZhiWen, YU ZhiYong, ZHOU XingShe. Socially Aware Computing[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2012, 35(1):16-26. (於志文, 於志勇, 周兴社. 社会感知计算:概念、问题及其研究进展[J]. 计算机学报, 2012,)

[102] XU Chi, XUE Yindi, WANG Quan, et al. The application of smart chemical site in the investigation of potential safety hazards and the dynamic management of personnel[J]. *Construction Safety*,2023,38(4):64-66.（徐驰,薛颖迪,王全,等. 智慧化工地在安全隐患排查和人员动态管理中的应用[J]. 建筑安全,2023,38(4):64-66.）

[103] ZHAI Mengjie, WANG Xue. Exploration of the linkage mechanism and hierarchical disposal of online public opinion response in colleges and universities[J]. *Journalism Research Guide* ,2023,14(15):137-139.（翟梦杰,王雪. 高校网络舆情应对联动机制及分级处置探索[J]. 新闻研究导刊,2023,14(15):137-139.）

[104] YANG Yinan. Actively respond to the research on pension finance in the aging of the population. *Social Sciences in Chinese Universities*, 2024(3):62-72.（阳义南. 积极应对人口老龄化中的养老金融研究[J]. 中国高校社会科学,2024(3):62-72.）

[105] PENG Wenjing, MA Wen, LV Ding. The construction strategy of social security incident early warning system based on social governance innovation[J]. *Joumal of Railway P01ice College*,2023,33(1):17-22.（彭文静,马雯,吕丁. 基于社会治理创新的社会安全事件预警体系构建策略[J]. 铁道警察学院学报,2023,33(1):17-22.）

[106] KANG Yaowen, LI Xiuyan. Strengthening the Construction of Social Psychological Services System to Promote Innovation in Social Governance. *Journal of Shenyang Institute of Engineering（Social Sciences）*, 2022,18(2):16-20.（康耀文,李秀艳. 以加强社会心理服务体系建设推进社会治理创新[J]. 沈阳工程学院学报（社会科学版）,2022,18(2):16-20.）

[107] LI Hongyan，JIN Xiaoyu. A study of Relative Poverty Governance in the “Post—Poverty Alleviation Era” [J]. *Economic Forum*, 2023(4):13-20.（李鸿雁,金小雨. "后扶贫时代"相对贫困治理研究[J]. 经济论坛,2023(4):13-20.）

[108] LIU Xuemei，LU Hankang，LI Hairui，HUAI Xianfeng ，CHEN Xiaolu. A knowledge-driven approach for intelligent generation of hydraulic engineering contingency plans: a case study of the Middle route of South-to-North water diversion project[J]. *SHUILI XUEBAO*. 2023,54(6):666-676.（刘雪梅,卢汉康,李海瑞,等. 知识驱动的水利工程应急方案智能生成方法—以南水北调中线工程为例[J]. 水利学报,2023,54(6):666-676.）

[109] YUAN Hongyong, ZHANG Xiang, HUANG Lida, et al. A Review of Progress of Key Technologies for Urban Lifeline-Safety Engineering[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*,

2024, 49(8): 1251-1263.（：袁宏永,章翔,黄丽达，等. 城市生命线安全工程关键技术研究进展[J]. 武汉大学学报（信息科学版），2024, 49(8): 1251-1263.）

[110] LU Liangdong， WEI Jiuchan. Collaborative Models of Social Risk Management on Digital Platforms. *Journal of Guangzhou University (Social science)* ,2023,22(6):78-92.（卢良栋,魏玖长. 基于数字平台的社会风险协同治理模式研究[J]. 广州大学学报（社会科学版）,2023,22(6):78-92.）

[111] WANG Yuqian, GAO Xiangjing, ZHANG Yuanbao, XIE Haohan, CHEN Rui. Particles exposure detection and occupational health risk assessment of powder electrostatic spraying workshop. *Journal of Safety Science and Technology*, 2024,20(2):177-182.（王煜倩,高向景,张元宝,等. 粉末静电喷涂车间颗粒物暴露检测与职业健康风险评估[J]. 中国安全生产科学技术,2024,20(2):177-182.）

[112] LIU Fangying, ZHAO Zhiqiang, MENG Chao, WANG Dan, LI Ping, LIU Xiaoli, ZHANG Dianping, WANG Qin, WANG Min. Spatiotemporal distribution characteristics of nitrates and health risks in drinking water in Zibo City. *Journal of shandong university(health sciences*, 2021,59(12):50-57.（刘芳盈,赵志强,孟超,等. 淄博市生活饮用水中硝酸盐暴露及其健康风险的时空分布特征[J]. 山东大学学报（医学版）,2021,59(12):50-57.）

[113] YANG Li, YE Bing, HAN Han, et al. Monitoring and exposure risk assessment of lead pollution in commercially cereal and tuber products in Henan, 2015-2019[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2022,49(1):37-40,52.（杨丽,叶冰,韩涵,等. 2015-2019 年河南省市售谷薯类食品中铅污染状况监测及暴露风险评估[J]. 现代预防医学,2022,49(1):37-40,52.）

[114] LI Yuan, XU Yifei, YUAN Minghao, et al. Urban residents PM2.5 exposure concentration health risk high spatial resolution grids reducing measures. *Environmental science*, 2023, 44(4):1911-1923 (李媛,徐艺斐,袁明浩,等. 基于高空间分辨网格的郑州市城镇居民 PM2.5 暴露浓度与健康风险变化评估[J]. *环境科学*,2023,44(4):1911-1923.)

[115] Pu Q, Zou B, Zhai L, et al. Mapping of PM2.5 fine particulates using multi-source remote sensing data. *Journal of Geo-information Science*, 2016, 18 (12):1717-1724.（蒲强,邹滨,翟亮,等. 集成多源遥感数据的 PM2.5 浓度空间分布制图[J]. 地球信息科学学报,2016(12):1717-1724.）

[116] DONG Xiaoyan, WU Yaxi.Monitoring techniques and exposure status for external exposure of air pollution. *Journal of Environmental Hygiene*, 2017,7(1):64-68,74.（董小艳,吴亚西. 空气污染外暴露监测技术及暴露现状[J]. 环境卫生学杂志,2017,7(1):64-68,74.）

[117]CUI Haiying, YIN Chaohui, LU Xinhai, TIAN Mingjie, WEI Xiaojian.Identification and health effects of urban thermal exposure risk areas based walkability: A case study of main urban area of Wuhan City[J]. *Areal research and development,* 2023,42(1):75-80,107.（崔海莹,银超慧,卢新海,等. 基于步行性的城市热环境暴露风险区识别及其健康效应 ——以武汉市主城区为例[J]. 地域研究与开发,2023,42(1):75-80,107.）

[118] CHEN Jiahui, CHEN Jingrong, FENG Ping, et al. Dietary exposure to chromium and associated health risks in Chongqing[J]. *Chinese journal of food hygiene*, 2023, 35(10):1499-1505.（陈佳辉,陈京蓉,冯萍等. 重庆市居民膳食中铬暴露水平及其健康风险评估[J],中国食品卫生杂志，2023, 35(10):1499-1505.）

[119] Nie Yadong, Yin Hu, Ma Peixun, et al. Acceptance model for elderly fall protection robots[J]. *Science Technology and Engineering*, 2023, 23(18):7716-7724.（聂亚东,尹虎,马佩勋,等. 跌倒防护机器人的用户接受度模型[J]. 科学技术与工程,2023,23(18):7716-7724.）.

[120] Xiang Qi, Chen Xu, Wang Chuncheng, Liu Manlu, Ren Wanchun. Design of Intelligent Care System Based on Mobile Terminal. *Computer measurement & control*. 2019,27(5):251-254.（向琦,陈旭,王春城,等. 基于移动终端的智能看护系统设计[J]. 计算机测量与控制,2019,27(5):251-254.）

[121] YU Zhen，LI Huai. Research Progress of Building Automation Technology. *Building Science*, 2013,29(10):106-113.（于震,李怀. 楼宇自动化技术研究进展[J]. 建筑科学,2013,29(10):106-113.）

[122] FENG Mingxiang, FANG Zhixiang, LU Xiongbo, XIE Zefeng, XIONG Shengwu, ZHENG Meng, HUANG Shouqian. Traffic Analysis Zone-Based Epidemic Estimation Approach of COVID-19 Based on Mobile Phone Data:An Example of Wuhan[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(5): 651-657, 681.（冯明翔,方志祥*, 路雄博, 谢泽丰, 熊盛武, 郑猛. 交通分析区尺度上的新型冠状肺炎时空扩散推估方法：以武汉市为例. 武汉大学学报・信息科学版，2020, 45(5):651-657.）

[123] CAO Wen, DAI Haoran, TONG Xiaochong, PENG Feilin, FENG Chenguang, WU Ziman. A Model of Artificial Prevention and Control Measures for COVID-19 Isolation and Reception and Cure Based on Discrete Grids[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(2): 167-176.（曹闻, 戴浩然, 童晓冲, 彭斐琳, 冯晨光, 吴子满. 离散格网下的 COVID-19 隔离与收治人为防控措施模型[J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2021, 46(2): 167-176.）

[124] LI Dan, QIN Ying, FAN Simeng, et al. erformance of screening of contacts of COVID-19 cases in

same flight Chinese Journal of Epidemiology[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*,2023,44(5):713-719（李丹,秦颖,范思萌,等.新型冠状病毒感染者航班同乘风险人员排查效果分析[J]. 中华流行病学杂志,2023,44(5):713-719.）.

[125] ZHANG Hao, YIN Ling, LIU Kang, MAO Liang, FENG Shengzhong, CHEN Jie, MEI Shujiang. Effectiveness of Non-pharmaceutical Interventions on Suppressing the 1st Wave of COVID-19 Epidemic in Shenzhen: An Agent-based Modelling Study[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021, 23(11): 1936-1945.（张浩, 尹凌, 刘康, 毛亮, 冯圣中, 陈洁, 梅树江. 深圳市快速抑制COVID-19 疫情的非药物干预措施效果评估：基于智能体的建模研究[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(11): 1936-1945）

[126] Jiang, J., Zhang, L., Wang, Z. et al. Spatial consistency of co-exposure to air and surface water pollution and cancer in China. *Nature Communication*, 2024 15, 7813.

[127] ZHANG Yuying, LIU Jianfeng, HU Min, et al. The relationship between air pollution and the occurrence of hypertensive disorders of pregnancy: Evidence from a study in Wuhan, China[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2024, 284:116933.

[128] Chin Wei-Shan, Guo Yue-Liang Leon, Chang Yu-Kang,et al. Long-term exposure to NO2 and PM2.5 and the occurrence of chronic kidney disease among patients with type 2 diabetes in Taiwan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2024, 284: 116940.

[129]LIANG Chao, SONG Zhenpeng， TANG Lixu. Digital intelligence enabled proative health management: practice pattern, construction strategy and driving path[J]. *Journal of Wuhan Sports University*, 2024, 58(4):72-81.（梁超,宋振鹏,汤立许. 数智赋能主动健康管理:实践样态、建构策略与驱动路径[J]. 武汉体育学院学报,2024,58(4):72-81.）

[130]Chen F M, Huang H P, Jia K. Study on the administration and construction of urban agglomeration with spatiotemporal big data: A progress review [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2020,22(6):1307-1319.（陈芳淼,黄慧萍,贾坤.时空大数据在城市群建设与管理中的应用研究进展[J].地球信息科学学报,2020,22(6):1307-1319.）

[131] Zhou Y P，Zhao X C Spatial relationship between human actiVity intensities and ecosystem serVices Value in Changsha Zhuzhou Xiangtan urban agglomeration[J]. *China Environmental science*,2024,44(5):2948-2960（周雅萍,赵先超. 长株潭城市群人类活动强度与生态系统服务价值空间关系[J]. 中国环境科学,2024,44(5):2948-2960.）

[132] CHAI Wenxia, JIA Xia, ZHAO Yonghua, et al. Spatio—temporal correlation between human actiVity intensity and Vegetation cover on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*,2024,44(15):6708-6721.（柴文雯,贾夏,赵永华,等. 黄土高原人类活动强度与植被覆盖的时空关联[J]. 生态学报,2024,44(15):6708-6721.）

[133] LIN Yin, YU Weixuan, LUO Keyu, et al. Study on expansion of construction land and urbalization based on coupling coordination: A case study of Shanghai-Hangzhou Bayu Metropolitan Region[J]. *Modern Urban Research*, 2019(5):71-77.（林萌,于伟宣,罗可雨,等. 基于耦合协调度的建设用地扩张与城市化发展研究——以上海-杭州湾城市群为例[J]. 现代城市研究,2019(5):71-77.）

[134] HE Qingsong, WANG Bo. Spatial Mismatch between External Urban Morphological Compactness and Internal Urban Development Levels of Urban Agglomerations in China from a Multi-scale Perspective. *China Land Science*, 2022,36(8):85-97.（何青松,王博. 多尺度视角下中国城市群外部形态紧凑扩张与内部功能发育空间错配[J]. 中国土地科学,2022,36(8):85-97.）

[135] Wang Z B, Yang L Y, Liang L W, et al. 2017. Study on carrying capacity evaluation and optimization of traffic network in Shandong Peninsula urban agglomeration. *Journal of Geo-information Science*, 19(6):808-817.（王振波,杨励雅,梁龙武,等. 山东半岛城市群交通网络载流能力评估与优化研究[J]. 地球信息科学学报,2017,19(6):808-817.）

[136] ZHANG Yingna, WANG Rui, HU Haoyu, et al. Analysis of Population Spatial—temporal Distribution and Mobility in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration Based on Mobile Phone Traj ectory Big Data. *Areal research and Development*,2023,42(3):161-167,180.（ZHANG YINGNA, 王悦,胡昊宇,等. 基于手机信令大数据的京津冀城市群人口时空分布与流动特征分析[J]. 地域研究与开发,2023,42(3):161-167,180.）

[137] TAO Haiyan, LI Xia, CHEN Xiaoxiang, LIU Xiaoping. Method Exploration of Geographical Spatial Differentiation Based on Multi-agent：A Case Study of Urban Residential Simulations. *Acta Geographical Sinica*, 2007,62(6):579-588.（陶海燕,黎夏,陈晓翔,等. 基于多智能体的地理空间分异现象模拟——以城市居住空间演变为例[J]. 地理学报,2007,62(6):579-588.）

[138] LIU Helin, TANG Yongwei, CI Hui, WANG Zhiyong. Theoretical Logic and Practical of Collaborative Planning of Agro-ecological Space in the Metropolitan Area. *Planners*, 2023,39(12):101-107.（刘合林,唐永伟,慈慧,等. 都市圈农业生态空间协同规划的理论逻辑与实践[J]. 规划师,2023,39(12):101-107.）

[139] LU Xianglin, MA Lingbo, SUN Zhongwei, XIE Ailiang. Optimization of Tourism Spatial Structure of Beijing--Tianjin-Hebei Metropolitan Based on

the Promotion of the Urban Tourism Energy Level. *Areal research and development*,2018,37(4):98-103.（陆相林,马凌波,孙中伟,等. 基于能级提升的京津冀城市群旅游空间结构优化[J]. 地域研究与开发,2018,37(4):98-103.）

[140] TANG JX, CHEN N, MA MY, et al. The spatial structureand disparities of healthy tourism destinations in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan[J], *Journal of Shaanxi Normal Unviersity(Natural Science Edition)*, 2019,47(3):115-124.（唐健雄,陈宁,马梦瑶,等. 长株潭城市群康养旅游地空间结构及其差异[J]. 陕西师范大学学报（自然科学版）,2019,47(3):115-124.）

[141] Xian Jianlin. Research on Development of Informatization of Low-Income Population Dynamic Monitoring. *Technology and information*, 2023(8):59-61.（冼建林. 低收入人口动态监测信息化发展研究[J]. 科学与信息化,2023(8):59-61.）

[142] PENG Xiaohui, SHI Qing-hua. Structure change of rural population and employment choice in China. *Journal of Chang'an University(Social science edition*, 2018, 20(2):83-92.)（彭小辉,史清华. 中国农村人口结构变化及就业选择[J]. 长安大学学报（社会科学版）,2018,20(2):83-92.）

[143] LIANG Shumin, LIU Lan, CUI Qifeng, ZHU Lizhi. Global Agricultural Development Potential and Population Carrying Capacity Analysis Based on GIS. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*， 2021,57(2):261-274.（梁书民,刘岚,崔奇峰,等. 基于 GIS 的全球农业开发潜力和人口承载力分析[J]. 北京大学学报（自然科学版）,2021,57(2):261-274.）

[144] LI Danchun. Research on the innovative development model of cultural tourism in Gansu from the perspective of agriculture, culture and tourism community[J]. *Rural Economy and Science-Technology*,2024,35(6):114-117.（李春丹. 农文旅共同体视域下甘肃文化旅游创新发展模式研究[J]. 农村经济与科技,2024,35(6):114-117.）

[145] CHEN Xiaohu. Research on the collaborative governance of mass events in the context of sports and tourism integration[J]. *Contemporary Sports Technology*, 2023,13(31):92-94.（陈小虎. 体旅融合背景下群众性赛事的协同治理研究——以贵州村超为例[J]. 当代体育科技,2023,13(31):92-94.）

[146] HE Wei, PAN Jinyun. Research on the Convergence Mechanism of Targeted Poverty Alleviation and Rural Revitalization Strategy. *Journal of North China University of Science and Technology (Social Science Edition)*, 2021,21(1):11-15.（贺卫,潘锦云. 精准扶贫与乡村振兴战略衔接机制研究[J]. 华北理工大学学报（社会科学版）,2021,21(1):11-15.）

[147] ZHANG Mingdou, ZHOU Chuan. Coordination degree between rural revitalization and urban-rural integrated development and its spatial correlation. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2024, 23(1):1-11.（张明斗,周川. 乡村振兴与城乡融合发展的协调度及其空间相关性[J]. 农林经济管理学报,2024,23(1):1-11.