引文格式：黄正东，Michael Batty，叶嘉安，等.特大城市群协同：进展与路径[J].地理信息世界,2021,28(5):5-14.

特大城市群协同：进展与路径

Synergy of Mega-City Clusters：Progress and Pathway

黄正东[1]，Michael Batty[2]，叶嘉安[3]，陈 军[4]，史文中[5]，郭仁忠[1]

基金项目：国家重点研发计划项目（2019YFB2103104）、国家自然科学基金中欧国际重点合作项目（71961137003）、粤港澳联合实验室项目（2020B1212030009）

作者简介：黄正东（1968—），男，湖北随州人，教授，博士，博士生导师，主要从事地理信息系统、城市交通、智慧城市等领域的研究工作

E-mail：zdhuang@szu.edu.cn

收稿日期：2021-04-10

审图号：GS（2019）4342号

1. 深圳大学 建筑与城市规划学院 智慧城市研究院，广东 深圳 518060；
2. 伦敦大学学院 建成环境系 高级空间分析中心，英国 伦敦；
3. 香港大学 城市规划与设计系，香港特别行政区 999077；
4. 国家基础地理信息中心，北京 100830；
5. 香港理工大学 智慧城市研究院，香港特别行政区 999077

HUANG Zhengdong[1]，BATTY M[2]，YEH A G O[3]，CHEN Jun[4]，SHI Wenzhong[5]，GUO Renzhong[1]

1. Research Institute for Smart Cities, School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;
2. Centre for Advanced Spatial Analysis, Faculty of the Built Environment, University College London, London, UK;
3. Department of Urban Planning and Design, The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China;
4. National Geomatics Center of China, Beijing 100830, China;
5. S mart Cities Research Institute, The Hong Kong Polytechnic University,Hong Kong 999077, China

【摘要】自20世纪以来，特大城市群如伦敦、东京、纽约、旧金山、粤港澳大湾区等迅速发展。特大城市群的孕育与增长得益于空间融合、人口迁移、经济合作和科技创新的共同作用，也奠定了政府、企业、组织和个人网络空间协同发展的基础。但城市群演进与发展中也出现了资源错配、同质竞争、发展不均、环境污染等问题，传统的分析工具和治理范式面临挑战，呼唤更有效的空间模型和决策方法。新的技术方法如何促进特大城市群的可持续发展？在2020年国际中国规划年会的特别论坛上，5位专家围绕城市群协同主题，解读特大城市群的发展历程，解析形成机理与协同治理需求，展望融合大数据、地理信息、物联网和人工智能等技术的智慧湾区建设路径。

【关键词】特大城市群；智慧城市；城市协同；可持续发展；粤港澳大湾区

【中图分类号】F061.5　　**【文献标识码】**A　　**【文章编号】**1672-1586（2021）05-0005-10

Abstract：From the last century，several mega-city clusters (MCCs) have evolved，including London，Tokyo，New York，San Francisco，and Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area (GBA). The growth of MCCs have been benefited from joint contribution of spatial integration，population migration，economic cooperation，as well as science and technology innovation. MCCs have laid foundation for synergetic evolution of governments，corporations，institutions and citizens，in both physical and virtual network space. However，there exist problems of resource mismatch，homogeneous competition，uneven development，and environmental pollution，which is challenging traditional analytic tools and governance paradigm. More effective spatial model and decision methods are necessary. How could new technology promote the sustainable development of MCCs? In the MCC synergy special session of the 2020 IACP Annual Conference，five top scientists were invited to share their perspectives on MCC historical evolution，mechanism and synergy requirements，as well as the pathway towards smart Bay Area in the era of big data，geo-information，internet of things，and artificial intelligence.

Key words：mega-city cluster (MCC); smart city; city synergy; sustainable development; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area (GBA)

0 引 言

工业化和信息化促进了人类社会的发展，是城市化的动力源泉。过去一个多世纪以来，随着城市化进程的不断加快，城市建成区向外扩张，围绕主要城市形成大都市区。同时，邻近城市空间的边界开始接触甚至消融，特大城市区域逐步形成，从各自独立的单个城市重组为功能相互依存的城市群体系。由多个城市组成的城市群在有限的地理空间上汇聚了高度密集的人口、资本、技术和创新等要素，强化了经济体量和辐射能力。纽约湾区、旧金山湾区、东京湾区、伦敦都市圈、兰斯塔德都市圈等特大城市群均包含不同等级规模的城市，形成一

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体化发展格局，在全球经济发展中具有重要地位。随着改革开放以来城市化进程的加速，中国也形成了京津冀、长三角、粤港澳等特大城市群，是我国经济、产业和科技创新的重要载体[1]。

特大城市群的孕育与增长得益于多种因素的激励，包括城市空间融合、人口聚集、经济合作和科技创新等。从空间表象来看，特大城市群中兼有城市内部高密度的聚集和城市向外蔓延扩张。两种发展模式虽有其经济社会的内在需求，但也带来一系列的问题，包括交通拥堵、住房短缺、服务不均、环境恶化、社会分异、治理困难、灾害应对的韧性不足等问题[2]。这些问题制约了特大城市区域的可持续发展，不利于联合国可持续发展议程（SDG）目标的达成。此外，跨行政管辖的城市群体制机制的衔接也是一个很大的挑战，如粤港澳大湾区存在两种制度、3 个关税区、3 个法律体系，是世界级的典型异质城市群。大湾区内部存在同质竞争、资源错配、公共服务和经济发展不均衡等问题，有碍湾区的可持续发展。其一体化进程中如何降低制度成本，增强区域联动，是一项长期的任务[3-5]。可持续的、公平和高效的特大城市群对区域一体化协同发展提出要求，包括基础设施互联互通，城市之间资源共享，生态环境协同，产业协同、政府间的决策协同等。同时，随着地理信息、信息与通信技术、大数据、物联网和人工智能的发展，以社交网络、在线支付、工业互联网为代表的数字经济正在迅猛发展，数字技术和数字经济奠定了政府、公司、组织和个人等多主体在物理空间、网络空间协同发展的基础。多学科的交叉融合为研究粤港澳大湾区城市群协同发展提供了新的技术手段。

粤港澳智慧城市联合实验室、广东省城市空间信息工程重点实验室和深圳大学智慧城市研究院于 2020 年 12 月在国际中国规划年会联合组织了“特大城市群协同”专题，邀请了英国伦敦大学院 Michael Batty 院士、香港大学叶嘉安院士、国家基础地理信息中心陈军院士、深圳大学郭仁忠院士、香港理工大学史文中教授等专家解读了世界城市群的发展历程，从经济转型的视角解析中国特大城市群的形成机理，分析数字经济时代下的城市可持续发展评估方法，展望融合大数据、地理信息、物联网和人工智能等城市信息科学与技术的智慧湾区建设路径。

2 城市群的形成与发展历程

2.1 特大城市群：城市增长与融合的指数表达

特大城市群实际上是由非常多的小的城市集群组成，其城市边界逐渐接近、相连并不断融合，最后在空间上一起扩张的城市群。在城市发展早期，城市是小村庄，小村庄通过融合周边区域逐渐形成了一定规模的城市。在某一时刻，相邻的城市开始出现。而后，通过建立市场、吸引人口，城市开始发展，但是进展缓慢。1750 年之前，世界上最大城市的人口一直低于 100 万。得益于轨道交通、全球化和互联网技术的发展，相邻城市逐渐融合，城市人口超过了 100 万，达到了 1000 万，甚至 2000 万，真正进入了超大城市时代。特大城市是前所未有的大城市，具有比中小城市更多的经验和机会，对居民生活产生质的影响。

城市系统在许多不同的尺度上呈现出等级结构。特大城市群具有典型的空间多尺度特征。以珠三角城市群为例，2016 年珠三角人口达到 6600 万，但是珠三角地区不同地方的人口密度并不相同，差异巨大。按照等级划分研究城市的分布是一个有意义的尝试。如果把城市从大到小排序，对它们进行排名，那么会发现有非常少的大城市和非常多的小城市。到 2100 年，大多数人都会生活在城市。同样地，特大型城市主要是由小城市融合而成，巨型城市范围内的城市分布依然遵循等级大小关系。假设英国的所有城市都是巨型城市的一部分，将城市按照等级规模进行排序，会发现有一个很大的城市（伦敦），少量的大城市和非常多的小城市。在大城市群时代，城市如何按照这样一个明确、稳定又竞争的规律分布进行发展？当多个城市在空间、产业等维度开始融合时，城市之间的竞争与合作会受到怎样的影响？这些问题都非常值得探究。

借助街道网络及其交叉口的渗滤理论，可以揭示城市在不同尺度上的一系列等级体系。通过建立城市群的联系网络，采用自上而下的方式将其中的城市进行逐级分解，即通过逐级分解强的城市连接，找到下一个等级的城市，从而得到城市群中的城市规模序列结构。具体而言，从带权的公路或铁路网络开始，修剪掉最大的连接，以此类推，直到得到构成城市的最小的单元。如图 1 所示，以英格兰和威尔士为例，以全域道路交叉点间的距离为判据，以 5000 m 作为初始距离阈值，切断城市之间的连接；然后，不断缩短距离阈值，持续向下一个等级切割，直到变成一个个独立的城市，从而将城市群划分成了最小的组成部分。在较大的尺度上，观察到的等级结构可以被解释为英国的区域断裂、自然边界（如国家公园、湖泊）的划分，以及基于社会阶层和财富的分化（如著名的南北分界线）。在较小的范围内，城市

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

是通过对每个新兴区域集群的递归渗滤而产生的。通过测量渗滤过程中每个距离阈值的集群的分形维度来研究整个系统的形态演变。当将这些独立的城市以同样的方式进行反向恢复连接，就可以看到一个城市如何与另一个城市融合为一体。

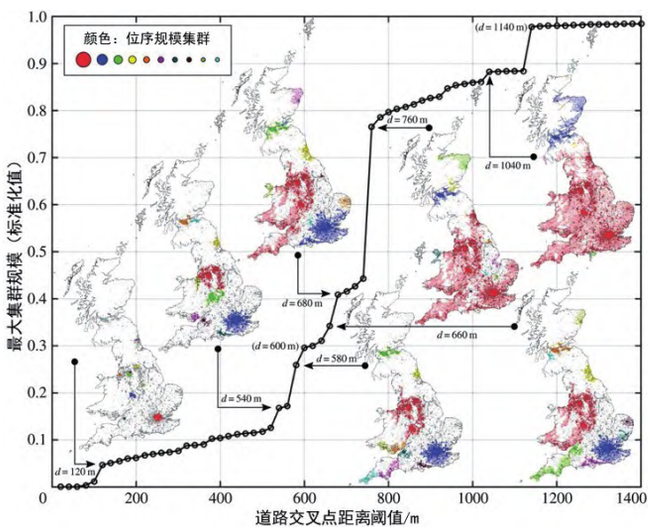


图 1 自上而下方法：基于道路交叉点渗滤法获取不同尺度下的最大城市集群 [6]
Fig. 1 Top-down approach: scale-related largest clusters from percolation on intersection points

特大城市随着规模的变化而发生质的变化。首先，集聚经济体被认为是城市，但对于什么是城市以及如何划分城市并没有达成一致。其次，城市指数的估计随着城市的定义而改变，如基础设施和社会经济属性。同时，因为城市是异质人口，包含活动、工作和设施，城市内部比城市之间的居民人口更加集中。因此，研究城市和特大城市，首先需要重建城市系统，确定城市规模。通过人口密度和通勤阈值范围定义城市是一个有意义的尝试 [7]。首先，使用城市化空间的一个固有属性，人口密度作为主要参数，使用聚类算法产生代表城市和小型定居点形态范围的集群配置。然后，根据第一步中得到的集群和通勤阈值来定义大都市地区。大都市地区是通过社会经济功能联系在一起的城市群。对于每个给定的区域，计算通勤到某个群组的个人在该区通勤者总数中的百分比。如果比值超过设定的阈值，该群组将被添加到接收最大流量的集群中。通过选取不同的人口密度阈值或通勤阈值，可以产生不同的城市（镇）集群配置。图 2 给出了 4 个人口密度阈值（每公顷人数）的城市（镇）集群配置结果。在英国，为英格兰、苏格兰和威尔士的整个城市系统建立了一个模型框架 QUANT，它可以处理精细的通勤问题 [8]。在该模型中，国家被划分为 8436 个区域，生成了大约 7000 万次出行或潜在出行的流量矩阵，以此来研究地方、城市、区域和国家在不同尺度上的影响。

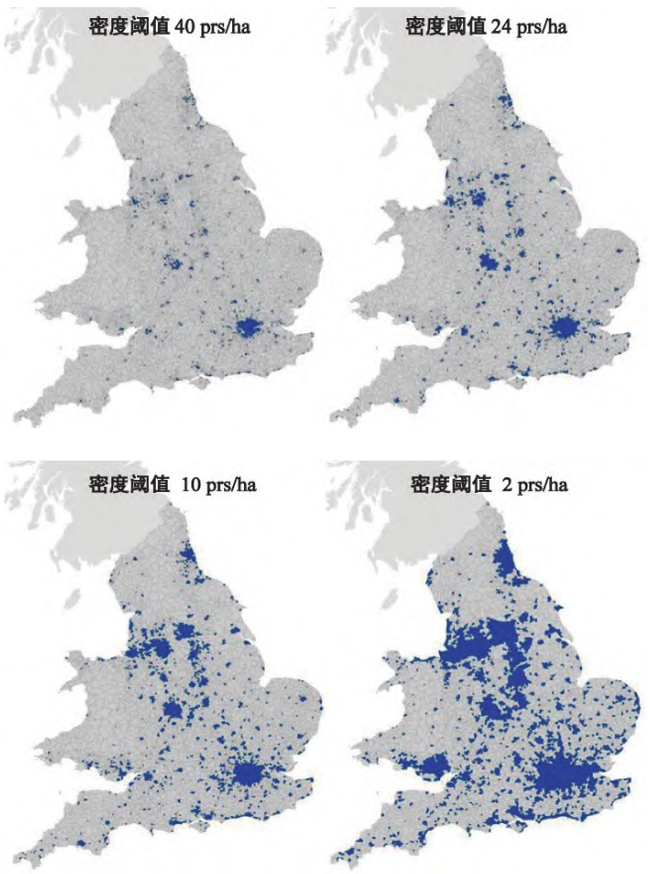


图 2 自下而上方法：基于不同密度阈值的城市集群配置 [7]
Fig. 2 Bottom-up approach: density-based configuration of urban clusters

城市规模扩张可能引发更大的不平等。集聚经济是区域科学和城市规划中一个持久的辩论主题。经验证据表明，集聚经济伴随着集聚不平等，因为高技术劳动力与低技术劳动力的互补可以达到更高的生产力水平。随着不平等进一步影响社会公平和代际流动，两极分化和空间隔离的大型城市社会的动态特征将自我强化 [9]。较大的城市倾向于集中工作机会，而不是为同样的工作支付更高的工资。收入的绝对规模效应也发生在密集的城市核心区。然而，这种生产力的提高伴随着更高的不平等，并且忽略了这样一个事实：在城市中心区工作的人，通过白天的密切互动产生经济产出，往往会通勤回到郊区，这些地区随着规模的扩大，对道路等基础设施的消耗更大。因此，看到特大城市发展带来更高效生产力的同时，也要考虑到城市空间结构对健康、教育、犯罪、社会和空间公平的影响。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 中国特大城市群的发展

城市发展正在进入特大城市群时代。特大城市群是由若干经济社会高度一体化、地域范围相互重叠和覆盖的城市组成的大规模城市化区域。在西方国家，特大城市群是通过“城市－大都市区－特大城市群”的路径发展起来的。20 世纪战后的大规模郊区化将行政区划相互独立的城市和郊区联系在一起，形成大都市区。随着城市的不断扩张和城市间连通性的增加，不同的大都市区通过密集的人流和信息流连接起来，形成特大城市群。研究者用各种标签来描述这种大规模的城市化区域，如 Gottmann[10] 的大城市带 (megalopolis)、McGeeT[11] 的特大城镇群 (mega-urban region)、Scott[12] 等人的全球城市区域 (global city-region)、美国区域规划协会的特大区域 (megaregion) 和 Hall and Pain[13] 的特大城市群 (mega city region)。在中国，由香港、广州、深圳、佛山等大城市组成的粤港澳大湾区就是典型的特大城市群，它与京津冀、长三角等其他特大城市群，共同被确定为“十四五”期间推动高质量城市化和经济增长的国家引擎。

根据人口规模和空间结构，特大城市群可以分为多种类型：根据核心城市的人口是否超过 1000 万（即达到中国超大城市的标准），可划分为普通特大城市群和超级特大城市群（super mega city region），后者多见于我国；根据空间结构的多中心性，可划分为单中心特大城市群和多中心特大城市群 [14]。我国的长三角城市群、珠三角城市群、京津冀城市群以及成渝城市群既属于超级特大城市群、也属于多中心超级特大城市群。以珠三角城市群为例（图 3），在 1990 年只有若干个相互独立的大都市区；2000 年，大都市区开始融合，演变成了以广州、深圳为核心城市的多中心特大城市群；2010 年，随着深圳和广州成为人口超过 1000 万的超大城市，其他城市的人口也增长显著。珠三角演化成为一个多中心超级特大城市群（polycentric super mega city region）。

中国渐进式的经济转型引导了特大城市群的形成和发展。1978 年以来，中国城市增长和转型主要分为 3 个发展阶段，包括早期的经济改革和农村工业化、以土地为中心的发展以及生产者服务业的兴起 [15]。在早期的经济改革中，农村工业化深刻地改变了一些地区的景观格局，使其成为分散的工业化居民点，构成了城市地区的一部分。此后，以土地为中心的发展启动了快速的城市转型，特大城市群的工业用地被商业和服务业所取

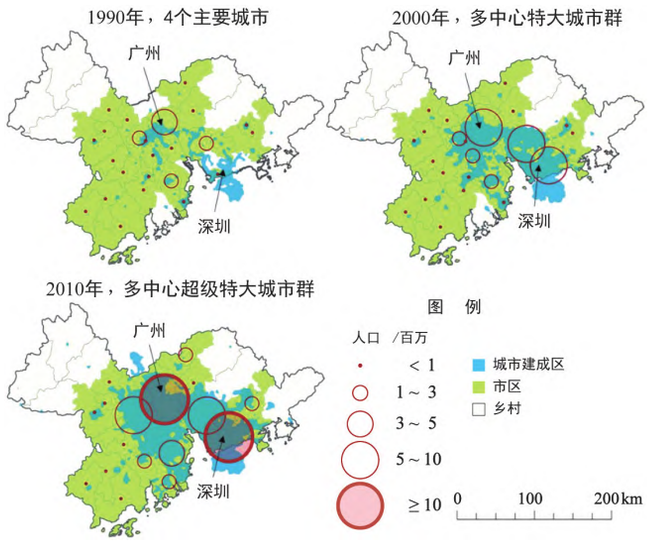


图 3 珠三角城市群的演化 [14]

Fig.3 Evolution of city cluster in Pearl River Delta

代，而从中心区迁出的第二产业则在 20 世纪 90 年代推动了次中心地区的发展。近 20 年来，第三产业化促进了新的中央商务区的发展，进一步扩大了中心地区 [16]。除了中心地区的发展，次中心地区的人口和就业也经历了快速增长。受中心地区高房价的影响，在地铁交通系统的推动下，新的保障性住房不断被推向中心地区的边缘乃至次中心地区。此外，生产者服务业的前向和后向联系加强了城市之间的网络关系，从而提升了特大城市群的连通性。总体而言，在持续的城市扩张、不断强化的城市间连通性和大量的人口迁入的共同影响下，原先相互独立的城市或大都市区逐步融合成高度一体化的特大城市群。一些特大型城市群（如京津冀、长三角和珠三角）在这个阶段已经进一步发展为多中心超级特大城市群。中国的特大城市群的发展过程中产生了独特的问题，对区域发展与治理提出了挑战。

首先，中国特大城市群的发展深受行政地域破碎化的影响。珠江三角洲城市群就是一个典型案例。珠三角的核心城市广州和深圳是两个副省级城市，除广州和深圳外还有 7 个地级市；地级市以下是数十个县级行政单位。地方政府之间的资源纠纷和恶性竞争现象较为严重。企业型地方政府为提升城市竞争力而推动大型项目（如大型交通设施建设）落地，但往往因缺少有效的区域协调与城际合作而造成重复建设 [17]。因此，有必要探索有效的区域协同发展机制以提升特大城市群的规划管理的有效性。

其次，与西方国家相比，中国特大城市群在发展过程中形成了独特的社会空间分异模式与职住空间关系(图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

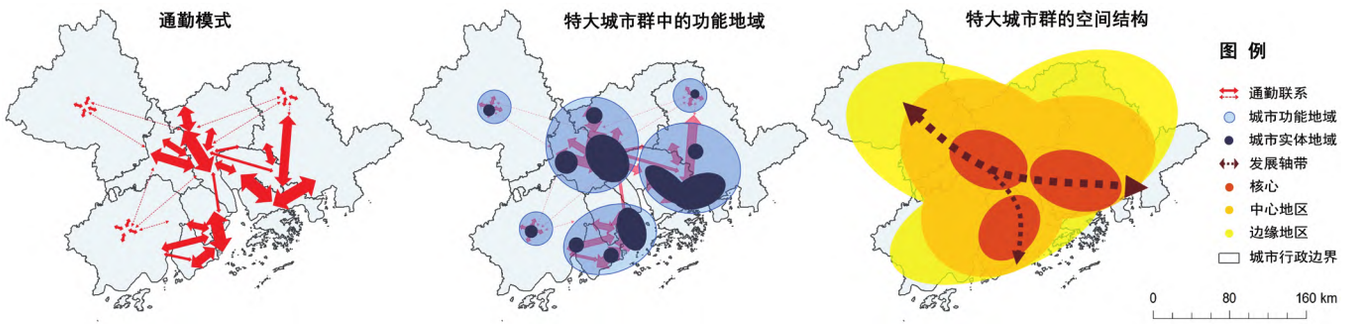


图 4 珠三角大城市群的空间特征
Fig. 4 Spatial characteristics of the mega-city clusters in Pearl River Delta

4）。近几十年来，保障性住房在郊区的集中建设显著地影响了城市的职住空间、增加了居民的通勤距离，而从农村工业化发展起来的郊区、次中心地区长期被第二产业所支配，服务设施建设滞后，难以为日益增长的郊区通勤人口提供高质量的生活服务。因此，特大城市群发展需要根据居民实际的通勤需求界定城市功能地域，保障各个功能地域内交通设施与生活服务设施的公平配置，为居民（特别是郊区通勤人口）提供高效、便捷的日常出行环境。

同时，中国特大城市群中部分地区的无序开发导致了许多环境问题，如土地使用不当、交通拥堵和严重的环境污染。例如，中国特大城市群的工业废水排放总量、工业废气排放量和工业固体废物产生量占全国总量的 67% 以上 [18]。应对这些环境方面的挑战，有必要在快速发展的中国特大城市群中建立更加平衡的空间模式和城际合作机制，以保持环境的可持续性。

3　数字经济时代下的城市群协同发展

3.1 城市可持续发展监测与评估

城市可持续发展监测与评估是实现经济增长、社会包容与环境美好三位一体协调发展的重要环节。2015 年 9 月，联合国启动了 2030 年可持续发展议程，提出了 17 个可持续发展目标（SDGs）及 169 个子目标。2017 年，提出了包括 232 个指标的 SDGs 全球指标框架，为开展国家或区域 SDGs 定量评估、定期检测及定期报告提供统一的指标体系。然而，由于面向 2030 可持续发展议程的 SDGs 综合评估涉及因素众多、技术过程复杂、数据要求较高等难题，SDG 的评估检测总体上仍处于初期阶段 [19]。

根据联合国 2030 议程要求和我国落实 2030 可持续发展议程的国别方案，我国选择了浙江省德清县进行了试点研究。德清县位于上海，南京和杭州的 3 个小时经济圈内。该县面积超过 900km^2，常住居民 43 万，经济

表 1 联合国指标和德清本土化指标 [21]
Tab. 1 UN indicators and localized indicators for Deqing

SDG 目标	UN 指标 / 个	德清指标 / 个	对应 SDG 目标编码
1	14	5	1.1.1，1.3.1，1.4.1，1.a.1，1.b.1
2	13	7	2.1.1，2.1.2，2.2.1，2.3.2，2.4.1，2.a.1，2.c.1
3	27	15	3.1.1，3.1.2，3.2.1，3.2.2，3.3.1，3.3.2，3.3.3，3.3.4，3.4.1，3.6.1，3.7.1，3.8.1，3.b.1，3.b.2，3.c.1
4	11	8	4.1.1，4.2.2，4.3.1，4.4.1，4.5.1，4.6.1，4.a.1，4.c.1
5	14	4	5.1.1，5.5.1，5.5.2，5.c.1
6	11	7	6.1.1，6.2.1，6.3.1，6.3.2，6.4.1，6.4.2，6.6.1
7	6	3	7.1.1，7.1.2，7.3.1
8	17	6	8.1.1，8.2.1，8.5.2，8.6.1，8.9.1，8.9.2
9	12	10	9.1.1，9.1.2，9.2.1，9.9.2，9.3.1，9.4.1，9.5.1，9.5.2，9.b.1，9.c.1
10	11	2	10.1.1，10.2.1
11	15	9	11.1.1，11.2.1，11.3.1，11.4.1，11.5.1，11.5.2，11.6.1，11.6.2，11.7.1
12	13	5	12.2.2，12.4.2，12.5.1，12.6.1，12.7.1
13	8	4	13.1.1，13.1.3，13.3.1，13.3.2
15	14	7	15.1.1，15.1.2，15.2.1，15.3.1，15.4.1，15.4.2，15.a.1
16	23	6	16.1.1，16.1.3，16.3.2，16.5.1，16.6.1，16.1.a
17	25	5	17.1.1，17.2.1，17.3.1，17.8.1，17.11.1
总计	234	102	

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

水平较高，可持续发展理念已被广泛接受和实施，具有丰富的地理空间和统计信息资源。总体上参考 SDGs 全球指标框架，结合城市现状，构建适合德清的 SDG 指标集，利用多源地理空间数据、社会经济数据、政务数据等，进行多源数据处理、分析与融合，进行基于指标的多层次评估，最终形成面向 SDG 监测的知识服务[20]。

根据联合国 2030 议程的要求、研究区域的地域特征和数据可用性，从适应性、可量测和全覆盖 3 个方面，分析联合国 SDGs 指标集，经筛选、改进、扩展和替代，构建本土化指标集。本研究从 234 个联合国全球指标选共取 102 个指标（表 1），其中直接采用指标 47 个，扩展指标 6 个，修改指标 42 个，替代指标 7 个，确保指标集涵盖区域经济、社会和环境各个主要的 SDGs 及其重要的子目标，以便进行全面评估。

SDGs 时空分析和评估监测依赖多类型、多时相、多尺度的统计和地理空间数据。本研究共收集了 200 余种空间数据，包括地形图，土地覆盖地图，对地观测影像和社会经济数据等。数据主要来源于德清地理信息中心和官方统计报告。由于数据来源不同，数据类型、时空分辨率差异较大，难以反映其真实空间分布与差异，因此，对不同来源数据进行归一化、地理分解与聚合、质量验证校核等处理，形成尺度较为一致的时空数据。

针对不同的数据类型，采取不同的计算方法。对于统计数据，多采用比率或占比、变化率、密度、指数等统计方法进行计算。对涉及地理空间分布及变化的指标，采用空间型方法，或空间统计混合型方法进行计算。空间型方法以通达性、覆盖度、空间关系为基础。在 102 项 SDGs 指标中，85 项指标采用社会经济统计数据量化计算，10 项指标采用地理空间数据量化计算，7 项指标系利用空间统计混合型方法计算。

将指标评估结果与《SDGs 指数和指示板》和国家计划授权要求（中国落实 2030 年可持续发展议程国别方案）进行比对，分为基本达标、有待提高、面临挑战和相差甚远 4 个等级。对于德清 102 项 SDGs 指标来说，共有 79 项指标具有可比对的参照标准或依据，其中 68 个指标达到了联合国 2030 议程目标，9 个指标接近可持续发展指标，2 个指标差距较大。以 SDG6（清洁水和卫生设施）评估中 6.4.2（水源压力）为例，定量分析结果是 25.08%，略高于国际基准 25%。

在得到分项指标后，可以按照分组标准分别汇总到 SDG 目标。按照最小因子原则，以每个目标内最低水平的指标评级确定所在 SDG 的水平。评估结果显示：德清县的 8 个 SDG 目标基本实现，接近联合国可持续发展目标，另有 6 个可持续发展指标需要提升，2 个 SDG 指标面临挑战。进一步将可持续发展子目标均根据其相关性归为经济、社会和环境的集群，对经济增长、社会包容与环境美好进行总体发展水平、协调程度、主要挑战等进行评估，全面了解城市可持续发展目标的现状，差距和挑战。如在过去的几年中，德清的环境生态的可持续性显著提升，朱鹭数量增长显著，实现了垃圾 100% 的回收利用或无害化处理，AQI 良好率为 97.5%，饮用水水质为 2 级，森林覆盖率为 46.1%。但是，城市可持续发展指标也指示了挑战，如公共交通系统服务覆盖不够充分。

基于以上的研究，我们设计研发了基于互联网的 SDGs 知识服务系统，可分指标展示相关成果，帮助决策者了解城市可持续发展细节（图 5）。如与水有关的生态系统现状如何，过去 35 年中变化趋势如何，采取了哪些行动对水资源进行保护。时空地理要素信息在该服务系统中起着至关重要的作用。

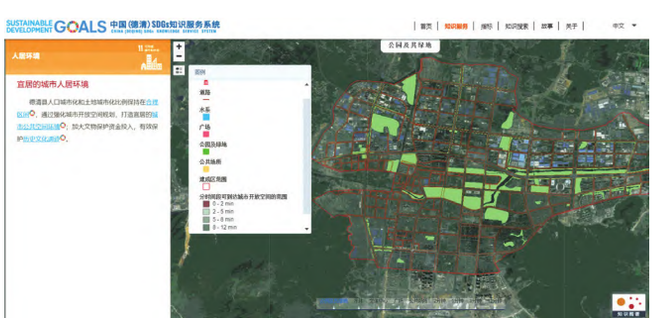


图 5 中国（德清）SDGs 知识服务系统
Fig.5 China (Deqing) SDGs knowledge service system

实现城市可持续发展依然面临很多挑战。如何将 SDG 评估结果转化为实践行动；如何为一些没有基准值的指标制定客观的评估指标；如何定义和获取可靠的地理空间变量，利用空间计算技术生产可靠的 SDG 指标均是需要解决的问题。最后，如何将城市可持续发展监测拓展到城市群也需要进一步探索。

3.2 智慧大湾区的城市信息学

粤港澳大湾区面临着交通、住房、污染、灾害和人口问题。香港、澳门、深圳、广州等大湾区中心城市均面临着土地资源紧张、交通拥堵问题。目前，各个城市交通部门均在城市内进行交通拥堵治理，缺乏城市之间的交通协同与合作。同时，高密度城市如香港、深圳和广州均面临着严重的住房问题，住房价格过高，超出了一般居民的经济能力。环境污染与自然灾害也是急需面

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对的城市问题，如城市内涝、空气污染等。另外，粤港澳大湾区各城市之间的人口结构发展十分不均衡，广州、深圳人口增长率分别为 3.6% 和 3.5%，而香港仅为 0.7%。但 65 岁以上的人口百分比，香港达 15.6%，肇庆和江门约为 10%，深圳则仅为 3.4%。优化粤港澳大湾区内的人口空间分布，当把大湾区作为一个整体进行住房资源的整合优化，让部分低收入群体入住其他地区，改善城市居民的住房条件。

城市信息学是一种跨学科的方法，使用基于新信息技术的系统理论和方法来理解、管理和设计城市[22]。城市信息学涵盖了城市系统的各个方面，如人口、经济、城市建设、交通、住房、零售、废弃物、能源等。相较于单一学科的城市研究，城市信息学的优势在于其以计算方法和模型为核心，从而更深层次地理解城市的运作、形态发展、增长和衰退，以及人口分布和人类活动的时空动态规律[22]。城市信息学整合了城市科学、地理信息学和信息学，相较于地理信息科学，城市信息学的研究目标从地理现象演进为城市问题，以人为本，强调城市的可持续发展[23]。

城市信息学涵盖了城市科学、城市感知、城市大数据基础设施、城市计算、城市系统与应用五大板块（图 6）。其中，城市科学聚焦于城市结构相关的基础理论，尤其是城市形态、城市功能对人群活动分布及其内在联系的影响。城市感知技术旨在获取城市物理空间和人类活动的相关信息，包括建筑、道路等相对稳定的静态属性特征，以及人车移动等动态特征。城市大数据基础设施不仅包括大数据本身，还涵盖了相关数据处理软件、建设数据基础设施的专业人员，乃至使用大数据的决策者和公众。城市计算利用城市感知获取、城市大数据基础设施管理整合的数据，进一步服务于城市应用。城市计算包括直接提升算力的技术，如云计算、移动计算和边缘计算等，也包括提升计算科学性与智能性的技术，如各类城市理论与仿真模型、深度学习、数据挖掘与知识发现等。城市应用聚焦于城市各个系统，如城市交通、城市治理、城市风险与韧性、安全与犯罪、健康、环境污染、公平性等，运用其他 4 个板块的理论、模型和工具，直接服务于城市问题的解决和人民生活水平的提升[22]。

城市信息学为实现粤港澳大湾区城市协同，解决多城市均衡发展提供了新的分析方法和技术手段。城市感知可以产生城市空间、时间和属性数据，然后用于城市分析，最终提供城市服务和城市治理[24]。城市治理旨在通过解决城市发展中的问题，提高城市管理和决策的



图 6 城市信息学的构成
Fig.6 Components of urban informatics

有效性和效率，城市服务则对公众的日常生活便利性和质量进行直接提升[22]。为了实现城市治理和城市服务的目标，城市计算需要帮助人们理解数据并提取可操作的知识或其他分析结果，以缓解城市问题并提供服务。如通过社会经济数据和社交媒体数据分析，揭示不同人群的不同地区的旅游意向，提供高质量的旅游服务，支撑旅游业发展。通过共享出行、交通系统优化、自动驾驶等提供智慧出行服务，将城市之间的高速公路、高铁、地铁、机场和水运等作为整体进行系统组织与协同优化，缓解交通拥堵，促进湾区经济发展。集成卫星遥感和人工智能，进行山体滑坡的监测与预警，减少对人、车的潜在伤害。针对公共卫生，特别是新冠肺炎疫情，通过新冠病例可视化与风险预测系统，帮助公众更好地了解新冠疫情实时信息，构建时空智能预测模型来预测新冠肺炎的扩散风险，实现精细空间粒度下的新冠疫情可视化与预测（图 7）。

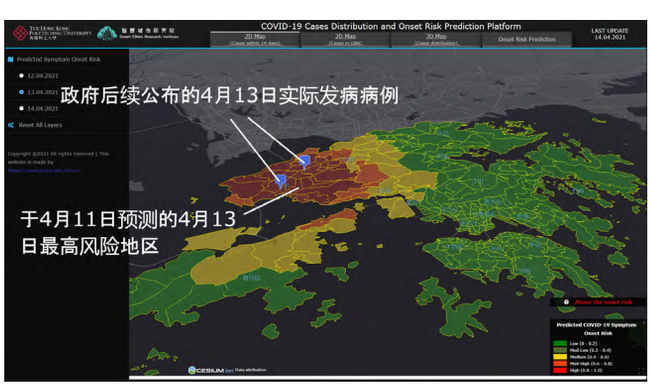


图 7 香港社区尺度新冠发病风险预测
Fig.7 Risk prediction for CovID-19 at the community level of Hong Kong

高端城市信息学人才对建设智慧大湾区至关重要。目前，深圳大学设有地理空间信息工程（智慧城市）本科专业，香港理工大学设有城市信息学与智慧城市硕士

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以及博士点，香港大学建有城市分析与智慧城市硕士点，均可培养多层次城市信息人才，助力粤港澳大湾区经济发展。

3.3 粤港澳大湾区城市群协同发展

城市化起源于15世纪，近两百年快速推进。根据联合国预测，2050年世界城市化率将达到68%。世界银行相关数据表明，1950年只有2个人口超千万的巨型城市，2018年则达到33个，2030年将达到43个，城市规模越来越大。当城市的体量变大的时候，其产出增长将超过线性增长，呈现超线性效应[25-26]。如城市人口从100万增长到200万，社会经济的产出不是翻1倍，而是翻1.15倍，但所需公共资源投入如土地、道路和电力则不需要翻一倍，只需要增加85%即可。因此，随着城市规模扩大，单位人口的公共资源投入不断下降，但其产出则增加，具有经济学上的规模效益。中国近四十年来的城市化进程印证了West的理论[27]。据统计，粤港澳大湾区以0.58%的全国土地，承载了5%的人口，产出12%的GDP。

技术进步是城市化、城市巨型化的另一个重要推手。城市通过空间、产业和经济链接融合到一起，形成了城市群。技术进步延长了产业生态，在更大空间内重构产业、经济和社会空间，促进粤港澳大湾区城市之间的协同发展。如汽车在几十年前是一个简单的机械产品，随着不断迭代，汽车有了空调、音响，还有了智能驾驶、自动导航等，如今制造汽车需要更多的技术支撑。产业发展之后，它的内涵、技术含量、技术链条也会随之增加，如果产业所在的城市不能提供对应的技术支撑，不仅是这个产业，连城市也没法继续发展。技术升级以后需要更多的企业来形成产品。企业越多，需要的空间也就越多，这个空间必然会延伸到大湾区各城市之间的行政区划之外。创新速度加快，新技术不断涌入到传统行业，就需要更大的容纳空间和更加广泛的协同，区域间协作合作才能符合现代产业发展需求。

除了基础设施互联互通，大湾区应当进一步促进城市之间资源共享。如在交通方面，需真正做到让大湾区人民之间互连，实现交通日常化、公交化。设计交通设施时应以大湾区一体化为对象，在人力、物力、资金、技术等各方面减少不必要的行政许可。在医疗方面，尽可能实现大湾区任何一个城市的居民可在大湾区内任何一间医院就医。只有做到把一个城市的资源变成大湾区的资源，把一个城市的人才变成大湾区的人才，提高各城市之间的配合度，才能实现资源共享，减少不必要的内部消耗，促进区域间融合发展。

数字技术为湾区城市间的互联互通带来新契机。通过现代信息通信技术以及大数据分析，对产业链、产业分工、区域布局等问题进行科学评估，利用好大湾区的网络空间，加快产业经济转型升级。通过网络空间来承接社会经济活动，能弥补地理空间以及土地资源上的不足，同时还在一定程度上增加粤港澳大湾区的辐射能力。未来粤港澳大湾区要实现高质量发展，要抓住数字经济这一新机遇，加快数字湾区建设，实现高效合理的资源配置，打造数字化、智能化的世界级城市群。数字经济在取代某些旧行业的同时必定会催生新的行业。传统物流需要寄件人亲自出门邮寄包裹，耗费很长时间。现在有专门人员处理快递，有了更加明确的社会分工。现代物流行业通过数字化技术，把传统社会的服务模式、生产模式重组重构，减少不必要的重复劳动，让更多人从传统的物流中解放出来，节省时间去做其他事情，给社会带来了更多的效益。如利用地理信息技术，集成共享经济和空间众包，能够提供高效的城市外卖物流配送服务，实现了空间智能服务于智慧城市[28]。在粤港澳大湾区总体经济发展好、创新程度高的情况下，把现代化、数字化的技术用于改造我们传统服务业和传统制造业，能够使人员分工更加精细，让适合的人做适合的事情，节约人力及时间成本，实现有效的资源配置。

粤港澳大湾区的广州、东莞、深圳、香港等目前的协同度较差，城市之间的融合不足。集成遥感、地理信息、5G和人工智能，构建粤港澳大湾区的数字底座，是促进大湾区协同的有效路径。在状态感知方面，通过手机信令数据和车辆轨迹数据等，可动态感知城市群之间人和车的流量，从而挖掘大湾区内产业发展与居民生活模式。如我们通过手机信令数据分析发现深圳跟东莞联系最为密切，与广州、惠州之间的联系次之。在模拟评价方面，利用多源时空数据，构建大湾区“国土－人口－经济”综合模拟模型（图8），预测并评估湾区重大基础设施选址、产业发展和人口增长。总体来说，建立数字湾区，强化粤港澳大湾区在数字空间、网络空间的融合是重要路径。通过多源时空数据融合，进行深度的感知、分析和优化，进行资源的协同配置，进一步整合粤港澳大湾区的土地、人口、科技、制度等资源，构建完整的产业生态链，降低企业的生产成本和创新成本，促进粤港澳大湾区经济、社会和生态的可持续发展。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

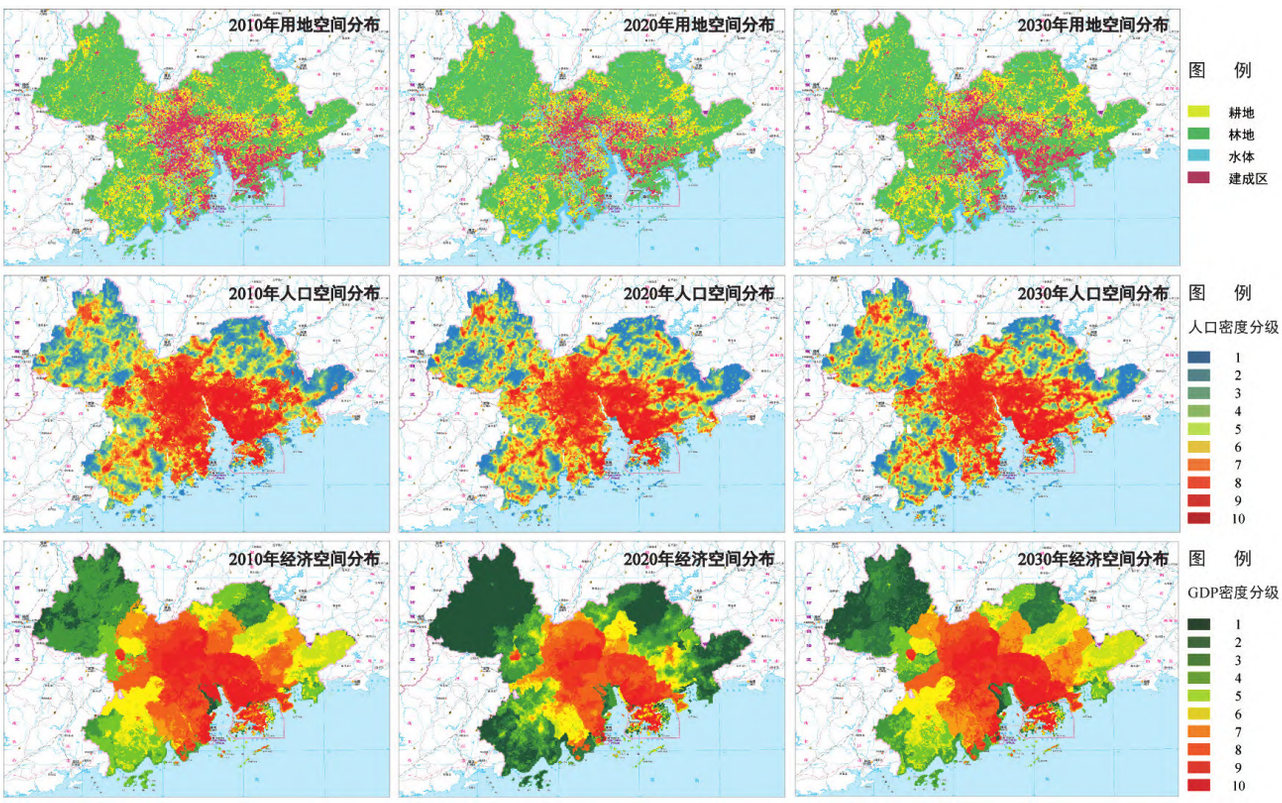


图 8 粤港澳大湾区用地、人口、经济综合模拟
Fig. 8 Integrated simulation of Land-Population-Economy for GBA

4 结束语

本文回顾了特大城市群的形成机制，探讨了人工智能与数字经济时代下的城市群可持续发展的评估方法、学科支撑和协同路径。特大城市群汇聚了人口、资本、技术和创新等诸多要素，已在世界范围内呈现清晰的分布格局，是支撑经济、社会与生态可持续发展的焦点区域。特大城市群的孕育与增长得益于空间融合、人口迁移、经济合作和科技创新等因素，其内部的协同能力将是影响区域高质量发展的关键因素。

针对粤港澳大湾区这种跨治理模式的特大城市群，在战略规划、科技创新、产业分工、设施互联、公共服务等方面做好体制机制对接，是提升协同能力的必由之路。为达到此目的，十分有必要针对大湾区特大城市群的现状开展系列深入研究，包括探讨大湾区城市群形成机理、空间格局、演化机制，构建粤港澳大湾区一体化城市群空间信息综合研究平台，以联合国 2030 议程为导向开展大湾区可持续发展状况量化评估与综合分析等。

参考文献

[1] 方创琳. 改革开放30年来中国的城市化与城镇发展[J]. 经济地理，2009，29(1):19-25.
[2] BUHAUG H，URDAL H. An Urbanization Bomb? Population Growth and Social Disorder in Cities[J]. Global Environmental Change，2013，23(1):1-10.
[3] 辜胜阻，曹冬梅，杨嵋. 构建粤港澳大湾区创新生态系统的战略思考[J]. 中国软科学，2018(4):1-9.
[4] 张虹鸥，王洋，叶玉瑶，等. 粤港澳区域联动发展的关键科学问题与重点议题 [J]. 地理科学进展，2018，37(12):1587-1596.
[5] 刘毅，王云，杨宇，等. 粤港澳大湾区区域一体化及其互动关系[J]. 地理学报，2019，74(12):2455-2466.
[6] ARCAUTE E，MOLINERO C，HATNA E，et al. Cities and Regions in Britain Through Hierarchical Percolation [J]. Royal Society Open Science，2016，3(4)：150691.
[7] ARCAUTE E，HATNA E，FERGUSON P，et al. Constructing Cities，Deconstructing Scaling Laws[J]. Journal of The Royal Society Interface，2015，12(102):20140745.
[8] BATTY M，MILTON R. A new Framework for very Large-

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

scale Urban Modelling[J]. Urban Studies, 2021, 58(15):3071-3094.

[9] COTTINEAU C, FINANCE O, HATNA E, et al. Defining urban Clusters to Detect Agglomeration Economies [J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2018, 46(9):1611-1626.

[10] GOTTMANN J. Megalopolis or the Urbanization of the Northeastern Seaboard[J]. Economic Geography, 1957, 33(3):189-200.

[11] MCGEET G. The Emergence of Desakota Regions in Asia: Expanding a Hypothesis[Z]. University of Hawaii Press, 1991.

[12]SCOTT A. Global City-regions: Trends, Theory, Policy[Z]. Oxford, Oxford University Press, 2001.

[13] HALL P G, PAIN K. The Polycentric Metropolis: Learning from Mega-city Regions in Europe[M]. Routledge, 2006.

[14]YEH A G-O, CHEN Z. From Cities to Super Mega City Regions in China in a New Wave of Urbanisation and Economic Transition: Issues and Challenges [J]. Urban Studies, 2020, 57(3):636-654.

[15]YEH A G, YANG F F, WANG J. Economic Transition and Urban Transformation of China: The Interplay of the State and the Market [J]. Urban Studies, 2015, 52(15):2822-2848.

[16]YI H, YANG F F, YEH A G. Intraurban Location of Producer Services in Guangzhou, China[J]. Environment and Planning A, 2011, 43(1):28-47.

[17]XU J, YEH A G. City Repositioning and Competitiveness Building in Regional Development: New Development Strategies in Guangzhou, China[J]. International Journal of Urban and Regional Research, 2005, 29(2):283-308.

[18]FANG C, YU D. China′s New Urbanization[M]. Berlin and Beijing: Springer, 2016.

[19]陈军, 任惠茹, 耿雯, 等. 基于地理信息的可持续发展目标(SDGs)量化评估[J]. 地理信息世界, 2018, 25(1):1-7.

[20]陈军, 彭舒, 赵学胜, 等. 顾及地理空间视角的区域SDGs综合评估方法与示范[J]. 测绘学报, 2019, 48(4):473-9.

[21]CHEN J, PENG S, CHEN H, et al. A Comprehensive Measurement of Progress Toward Local SDGs with Geospatial Information: Methodology and Lessons Learned[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020, 9(9):522.

[22]SHI W, GOODCHILD M F, BATTY M, et al. Urban Informatics[Z]. The Urban Book Series. Singapore, Springer 2021:941

[23]李清泉. 从Geomatics到Urban Informatics[J]. 武汉大学学报（信息科学版）, 2017, 42(1):1-6.

[24]涂伟, 曹劲舟, 高琦丽, 等. 融合多源时空大数据感知城市动态[J]. 武汉大学学报（信息科学版）, 2020, 45（12）: 1875-83.

[25]BETTENCOURT L, WEST G. A Unified Theory of Urban living[J]. Nature, 2010, 467(7318):912-913.

[26]龚健雅, 许刚, 焦利民, 等. 城市标度律及应用[J]. 地理学报, 2021, 76(2):251-260.

[27]WEST G. Scale: The Universal Laws of Life, Growth, and Death in Organisms, Cities, and Companies[M]. Penguin Books, 2017.

[28]TU W, ZHAO T H, ZHOU B D, et al. OCD: Online Crowdsourced Delivery for On-Demand Food[J]. Ieee Internet of Things Journal, 2020, 7（8）: 6842-6854.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net