

全球城市可持续发展指数研发探索

□ 杨帆, 吴志强

[摘要] 文章系统回顾并比较了联合国已有的全球城市监测框架与SDGs、《新城市议程》内容,建立客观、动态、透明和具有可比性的全球城市可持续发展指数,阐明其社会、经济、环境、文化、制度与创新6个维度的构成内容。在此基础上,提出采用能够满足动态监测、多元客观、透明便捷要求的多源动态整合数据。值得一提的是,文章提出了采用多源空间感测数据构建全球城市可持续发展指数的构想,以期为实时发布新的世界城市可持续发展指导性框架和行动准则提供科学支撑。

[关键词] 全球城市可持续发展指数;多源数据;空间感测数据;城市监测网络

[文章编号] 1006-0022(2022)01-0049-07 **[中图分类号]** TU984 **[文献标识码]** A

[引文格式] 杨帆, 吴志强. 全球城市可持续发展指数研发探索 [J]. 规划师, 2022(1): 49-55.

Research on the World Urban Sustainable Index/Yang Fan, Wu Zhiqiang

[Abstract] The sustainable development of the cities needs continuous improvement of cognition and evaluation in planning and guidance for the practice of sustainable development. The paper systematically reviews and compares the UMF framework with SDGs and NUA contents, and develops an objective, dynamic, transparent and comparable index system named "World Urban Sustainable Index (WUSI)", with emphasis on six dimensions: society, economy, environment, culture, system, and innovation. It puts forward the idea of adopting multi-source dynamic integration data that meets the demands of dynamic monitoring, multiple objectiveness, transparency and convenience. Especially, multi-source spatial sensing data provides more reliable methods for the compilation, calculation and application of WUSI. The paper will provide scientific support for the real-time release of the new guiding framework and action guidelines for the sustainable development of world cities.

[Key words] World Urban Sustainable Index, Multi-source data, Spatial sensing data, Urban monitoring framework

1 研究背景

联合国人居署“人居三”会议对城市及城市规划提出的新理念和认识,为世界城市可持续发展及学科未来建设指明了方向^[1]。联合国现有的可持续发展指标需要进一步体现城市在人类可持续发展中的创新作用^[2-3],并结合联合国人居署最新关于可持续发展的评估机制,

重新审视和评判城市可持续发展状况,以指导和提升空间规划的战略引领作用。

比较联合国于1992年提出的可持续发展指标体系(SDI)^①、各种优化模型(PSR^②、DFSR^③、IMD^④)^[4-7],以及新近提出的全球城市监测框架构想^⑤^[8]等后可以发现,由于在给评价项赋予权重时带有编制者的主观价值因素,且各国为了增强指标体系对本国特定政治经济环境

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(51778436)、国家重点研发计划(2018YFC0704600)、中国工程院咨询项目(2019-XZ-20-04、2019-XY-21、2019-XZ-64)

[作者简介] 杨帆, 博士, 同济大学建筑与城市规划学院副教授、博士生导师, 并任职于高密度人居环境教育部重点实验室、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室。

吴志强, 通讯作者, 博士, 同济大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师, 中国工程院院士, 并任职于高密度人居环境教育部重点实验室、自然资源部国土空间智能规划技术重点实验室。

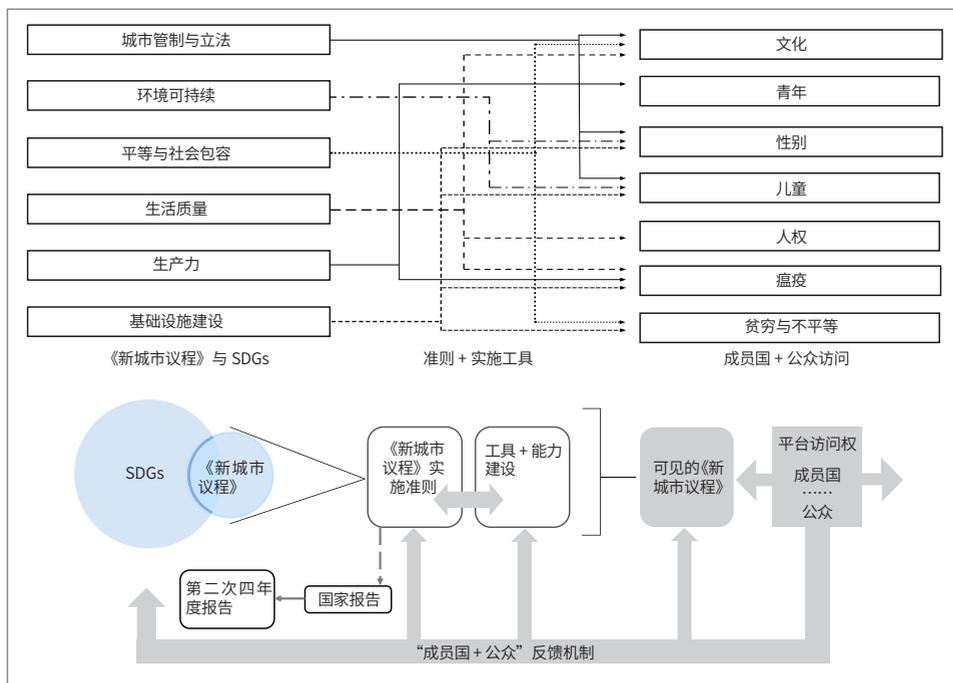


图1 联合国关于《新城市议程》与SDGs融合的计划示意图

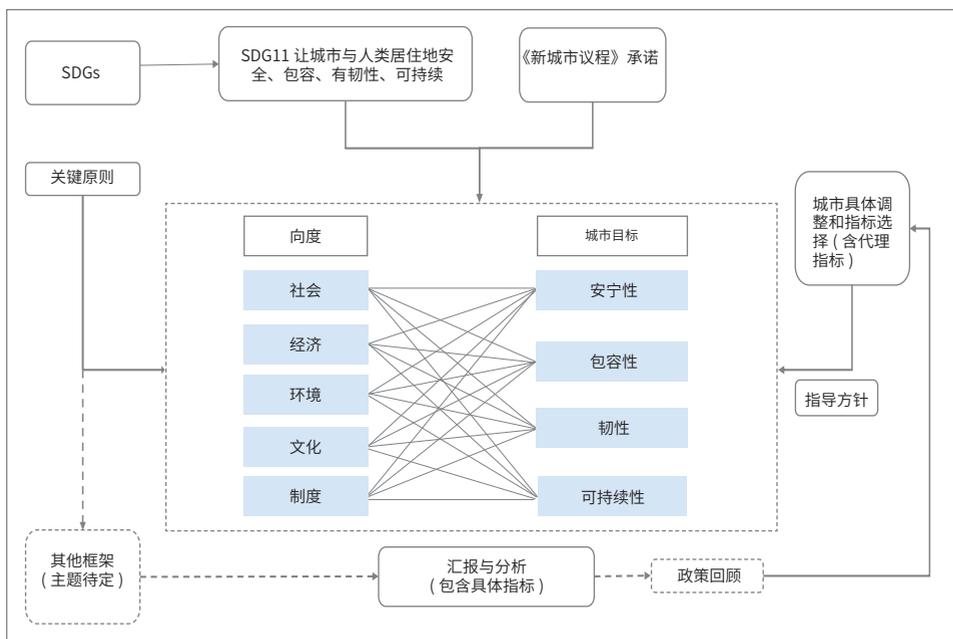


图2 全球城市监测框架及其内涵示意图

的适应性，阻碍了具有普遍价值导向的可持续性认知的广泛推广，同时“人居三”所提出的城市创新价值并没有得到充分的体现。

2017年，中国国际经济交流中心针对已有的可持续发展评价指标体系在考查维度、指标覆盖性和代表性上的不足之处进行了改进，并发布了中国可持续发展指标体系^[9]。其中，既包含了联合国指标体系框架中常见的3个主题——经

济发展、社会民生、资源环境，又新增了与自然资源环境具有高度关联性，甚至具有因果关系的两个主题——消耗排放和治理保护^[10]。

国内外围绕可持续发展目标所提出的诸多指标体系一般采用层次结构，包括目标层、准则层和指标层等，通过分层细化的方式实现对经济社会领域状况考核的全面覆盖，而且不同层次的指标间有一定的解释关系和对应性。各类可

持续发展指标体系具有政策指导作用，给地方政府的发展指明了方向，但是其尚未在不同的城市和地区之间建立起一种具有可比性的可持续性评判标尺，而这一工作在当下显得非常有必要^[11-12]。

2 可持续发展指标体系的发展动态

联合国相关机构一直致力于完善可持续发展指标体系。在“千年发展目标”到期之后，进一步推出可持续发展目标体系^⑥（即“SDGs”）。SDGs通过综合方式反映社会、经济和环境3个维度的发展问题，指导城市和地区设定面向可持续发展的目标和标准，以实现消除贫困、消除饥饿、提供健康与福祉等目标^[13]。

“建设可持续城市和社区”（SDG11）与城市直接相关，即建设包容、安全、有韧性的可持续城市和人类社区^[14]。对于实现SDG11有以下两种建议：一是以SDG11为基础，与《新城市议程》相结合，提出发展智能可持续城市的目标；二是仅依据SDG11指导城市可持续发展是不够的，应当将SDGs的17项目标都赋予城市来实现。但是，SDGs涵盖数量庞大的指标内容，各指标相互之间存在包含、重叠、衍生、相互影响等复杂关系，在关键性指标选取、国家之间比较、实施行动等方面仍需要改进。

为此，联合国人居署提出了一套由测量变量组成的指数体系——全球城市监测框架（UMF），以跟踪城市 and 地区的变化，实现SDGs并执行《新城市议程》^[8]。通过建立高效、有效、统一的城市监测框架，推动城市发展向更可持续、更包容、更安全和更有韧性的方向转变。此外，随着城市逐渐成为人类主要的居住空间，全球城市监测框架除了监督实现SDG11，还要帮助实现SDGs的其他目标。因此，全球城市监测框架是基于《新城市议程》和SDG11两套指标体系的融合框架：《新城市议程》中关于促进社会包容、消除贫困、共享城市、环境韧性等内容体现了其价值基础；SDG11中关于安全、包容、

韧性和可持续的4个考察维度则是其衡量城市发展状况的标尺(图1)。

全球城市监测框架作为一套城市发展监测手段,用于量化、评估城市或地区的可持续发展进程,可以较为准确地描述城市地区的现状和发展轨迹,并为城市发展和投资决策提供有效帮助(图2)。

3 既有可持续发展评价框架存在的问题

3.1 侧重提出目标但缺少实现路径

既有的可持续发展评价体系都普遍遵循一个明确的逻辑路径,即试图为实现发展的可持续性提出目标框架,但并没有指出发展主体向可持续发展目标靠近的具体实现路径,以及关键的改进方向。而事实上,由于发展主体之间广泛的差异性,难以通过同一个评价体系进行客观评价。在构建评价体系层面,存在如下争议:①如何实现既能选择和瞄准正确的SDGs目标,又能囊括更多的内容。多数观点认为,指标体系不应追求框架的复杂和多层次,而应找准关键维度,做到精简易懂,提高在全球和多尺度上的可比性。②如何确定可灵活使用的指标,以符合城市管理者的需要。既保证完全不同条件和环境下发展主体间的可比性,又凸显各自策略的适应性,从而增强指标的指导作用。③如何通过既有研究的扩展,补充尚无法观测的指标。例如,通过监测《新城市议程》的指标,并用其反映的现实变化来评估SDGs中既定目标的完成情况。④如何兼顾指标的细化分解与控制指标总体数量。根据统计数据所做的判断常常存在整体情况与局部情况完全相反的辛普森悖论^⑦现象^[15](图3)。因此,通过不断添加“子指标”对数据集进行细化分解、既监测问题的严重程度又监测解决问题能力的变化的做法,往往在不同空间尺度得出相互矛盾的结论,无法获得综合评价。⑤如何更充分地倾听来自各方面的声音。在城市中创建一个有关联性的组织网络,

以实现从群众中获取量化的、定期的数据。这对不同的发展主体而言是一个难度差异较大的任务。

3.2 缺乏高质量的数据基础

各类可持续发展评价指标体系所采用的数据基础,通常以统计型数据为主,但与指标编制相关的数据不易获得。在数据质量方面主要存在以下问题:①数据的可靠性较差。尤其是在将统计数据增长认知为经济增长的国家和地区,在数据形成和获取环节实施人为干扰的做法较为普遍。②数据的连续性较差。频繁调整统计口径、统计单元、统计方法的做法,导致数据汇集不能保持连续一致的规律,难以形成趋势判断。③各类数据的统计单元不一致。一方面,不同国家和地区对统计单元常有不一致的理解和界定,并且数据不能实现在不同空间尺度上的细化分解,导致数据的横向可比性较差。另一方面,基础数据与实施决策的空间单元不一致。④非常规数据应用较少。非常规数据和非官方统计数据未得到重视,不能有效反映城市间的差异性。同时,非常规数据的汇集需要一定程度的标准化,以确保数据的质量、一致性和可靠性。而当前,在常规和非常规数据收集者之间尚未建立起伙伴关系。

3.3 缺少可靠的指数生成技术方法

在指数生成技术方法方面主要存在以下问题:①反映可持续发展质量类指标

的实际表征效用普遍有限。根本的原因在于,在对可持续发展评价指标体系内在逻辑的认知方面,常将“可持续发展的综合认知”与“实现可持续发展的治理能力”相等同或者混淆二者的内涵。②反映增强可持续发展能力的投入产出类指标难以得到评价。综合评价框架只是对可持续发展本身定义的解释,并没有贯通可持续发展目标与可持续发展能力之间的逻辑路径。③指标动态维护的难度较大,指标的时效性普遍存在问题。一方面,存量型指标与流量型指标^⑧的度量比较困难,而且存量、流量本身的内涵较难明确界定。另一方面,全世界主要国家和地区的指标体系编制面临着巨额经费缺口和海量数据调查等瓶颈^[5]。此外,在指标体系的顶层逻辑和传导机制方面,综合评价框架的指标体系思路在数据质量和运算方法方面受到很大约束。

4 全球城市可持续发展指数的框架和特点

既有针对可持续发展的各类评价指标体系在对可持续发展目标、能力等的认知,以及基础数据遴选、指标统计方式、评价主体对象设定等方面都存在差异。城市作为国家构成的重要部分和经济社会发展引擎,是可持续发展评价的首选对象,不仅需要在国家和全球两个层面建立协调机制,还应保证城市间政策的一致性和完整性。因此,本文提出了全

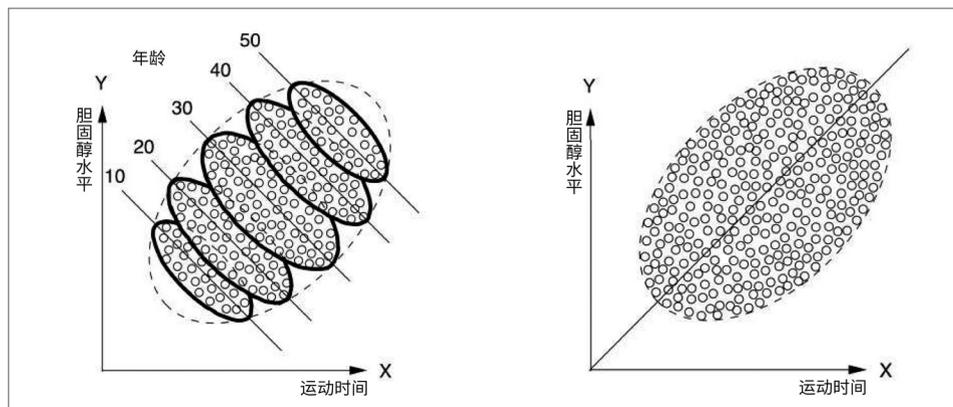


图3 辛普森悖论示意图

球城市可持续发展指数，以期优化既有指标体系。

4.1 构建包含 6 个维度的框架

按照“人居三”的精神，针对城市创新的现实需求，全球城市可持续发展指数包含经济、社会、生态、制度、文化、创新 6 个维度的一级指标 (图 4)。其中，经济、社会、生态维度延续了传统指标体系的提法和内涵。它们既是人类活动的 3 个领域，也是进行城市可持续性量化评价的 3 个方面，具有较高的辨识度和分离度。制度、文化、创新维度则是具有软实力特征的支撑要素，是体现城市治理能力和治理体系水平的主要方面，三者同样具有较高的辨识度和分离度。全球城市可持续发展指数通过测度城市经济发展水平和潜力、社会多样化包容和自我修复能力、人居环境生态友好和多物种和谐共处程度、社会治理能力和机制的适应性、文化繁荣程度和社会创

新意识等 6 方面的内容，全面反映了城市的发展状况和潜力。通过对 6 个维度的指数运算进行归一化处理，采用 TOP-sis 熵权法对各分项赋予权重，从而计算出综合指数 (表 1)。

4.2 全球城市可持续发展指数的特点

4.2.1 重视创新要素对促进可持续发展的作用

全球城市可持续发展指数从优化全球城市监测系统框架的视角出发，增加了“创新”维度。创新与创造不同，创新不是简单的要素叠加，它既渗透于其他 5 个维度之中，也是促进城市可持续发展的、相对独立的动力源泉。创新的作用不仅可以在经济运行机制中被观察到，还可以在更为广泛的社会运行机制中被观察到。由于创新性能够被系统地考察，能够推动各个领域的迭代和发展，它需要全社会认可、重视并突出其

地位和作用 (图 5)。在量化计算创新指数时，采用与全球城市监测框架一致的推导模型。通过考量城市在创新培育方面的投入、产出，揭示其直接形成的成效，并开展影响分析，获取城市治理机制在增进城市创新方面的表现和潜力 (图 6)。

4.2.2 注重与其他类型指数的协调关系

全球城市可持续发展指数充分考虑了与现有其他类型城市评价指数的关系，着重体现可持续发展的方向性引领。研究分析数据生成机理发现，不同指数在编制时所遵循的科学逻辑不同，指数一旦生成则并不具有加合的可能性和必要性。例如，城市智慧数据库侧重于基础数据的权威客观性，城市繁荣度指数反映了国际通用标准，城市体检指数反映了中国城市的特征等 (图 7)。

4.2.3 实现动态监测和增进相互学习

(1) 增强对全球范围城市发展状况监测的能力。

表 1 全球城市可持续发展指数框架一览

一级维度		二级维度
分项指数	内涵	
经济维度方面	主动战略；产业和就业	年度土地供给 (统计和网络数据)；高铁开通 (遥感和灯光数据)；就业密度 (统计和遥感数据)
社会维度方面	多元化；自治程度；包容度	城市规模 (遥感和灯光数据)；空间结构 (LBS 和遥感数据)；聚集密度 (统计、LBS、遥感和灯光数据)
生态维度方面	环境质量；绿色建筑；能源结构	PM2.5 (遥感和监测数据)；CO ₂ 排放 (遥感和监测数据)；人口密度 (统计和遥感数据)；土地使用强度 (统计和遥感数据)
制度维度方面	均衡性；连续性	流动人口比例 (统计和 LBS 数据)；辖区碎化程度 (遥感数据)；契约状况 (统计数据)
创新维度方面	开放度；外向性；政府投入	TFP (统计和网络数据)；FDI (统计数据)；出口开放度 (统计和遥感数据)；人才比 (统计和网络数据)
文化维度方面	多元性；设施便利度；人口构成	POI 密度和分布 (LBS、网络和遥感数据、灯光数据)；房价分异情况 (网络和遥感数据)；收入消费结构 (统计数据)

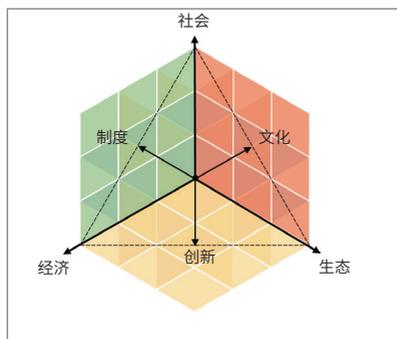


图 4 全球城市可持续发展指数框架示意图

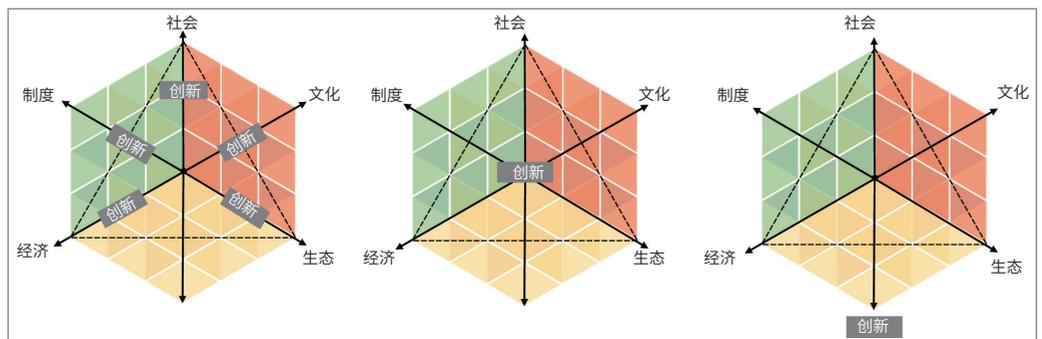


图 5 创新在可持续发展指标框架中的地位示意图

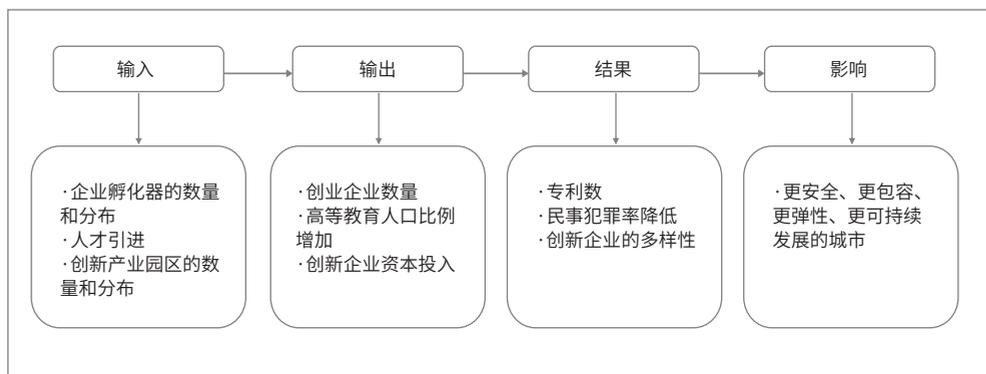


图6 创新促进城市可持续发展的逻辑示意图

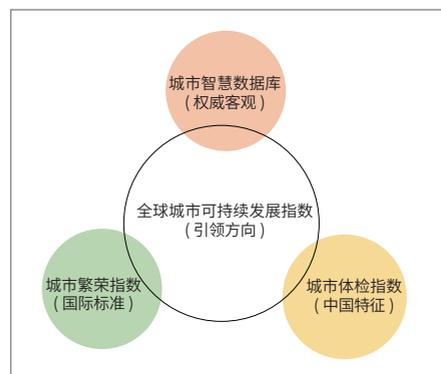


图7 全球城市可持续发展指数与其他指数的关系示意图

全球城市可持续发展指数的一个重要意义和价值就是能够实现对城市发展状况和潜力的动态监测，分辨处于不同发展阶段、质量、状态的城市的差异，并对其动态演变趋势进行实时掌握、评价、比较、预警和提示。在此基础上，进一步实现全球城市之间的信息共享、经验交流。由于采用了客观基础数据和逻辑内涵一致的运算机制，指数自身能够揭示全球城市的特点和各城市间的差距，使焦点问题和关键信息一目了然。整体上看，全球城市可持续发展指数在识别、锁定劣势领域、保持优势领域、制定追赶策略或者延续某项公共政策方面具有明显的支撑作用。

(2) 简化指数计算逻辑以利于学习和传播。

由于确立了可比性和相互学习的目标，全球城市可持续发展指数体系确立了“简洁、透明、准确”的原则。“简洁”指体系框架简单明了，遵循“少即是多”的理念，在减少需采集数据的数量和范围的同时，减少指数运算的数据层次，降低指数运算的复杂程度，避免采用动辄数百项、面面俱到的基础数据。

“透明”指数据采集的渠道和方法简单，体系框架及具体指数的运算模型全部公开透明，接受全球范围科学机构的监督，并加以修正和完善，以实现更大范围的信息采集、反馈和协调。“准确”指在反映城市自身问题、发展阶段、发展趋势，以及城市间可持续发展能力、

潜力和状况的优劣程度比较方面，有较为准确的排序关系和参考标准，以增强不同城市和地区间数据的可比性，帮助城市明确自身存在的问题。例如，经济维度的指数是测度城市在主动战略实施、产业结构和就业程度等方面的表征。其中，“是否采用主动战略”是通过年度土地供给量和多年土地供给变动趋势，以及高速铁路建设开通的情况来测度的；“产业和就业状况”是通过土地供给结构、结构变动趋势、就业人口密度及密度变化趋势来测度的。完成这些测度所依据的基础性数据均是在对官方统计信息、网络数据、卫星遥感数据、灯光影像数据等数据进行综合分析的基础上获得的，在获取基础性数据后进一步开发数学算法模型计算相应的指数。其他维度的分项指数计算逻辑以此类推。

此外，通过增强底层客观数据对6个维度指数的支撑力和解释力，不断优化各分项指数的算法，实现总体全球城市可持续发展指数的不断优化和演进。一方面，沿用联合国对发展主体可持续发展价值核心的定义，保持对可持续发展既有指数和内涵界定的延续性；另一方面，增强发展的前瞻性和动态性，注重建设底层数据和表征指数的年度维护机制，通过实时更新基础数据、优化运算框架、发布年度指数等环节，不断提升评价的准确性和参考价值。同时，在进行单一维度指数运算时，不采用传统的基于多要素的层次分析法构建多层次

评价框架，而是采用因果解释模型，减少因基础数据过多、解释关系太复杂而导致的指数运算中的“多重共线性”^[16-19]和“内生性”^[20-26]等问题。特别强调运用城市客观物质形态数据和相关解释算法，揭示城市空间形态结构与经济社会等状况的科学机理^[27-30]。

5 全球城市可持续发展指数的创新探索讨论

5.1 对基础数据来源的优化探索

(1) 可比性。

指数的可比性决定了编制、维护、发布指数的意义和价值。全球城市可持续发展指数确立的首个目标就是数据的可比性：城市既可以开展自身关键数据的纵向比较，也可以与区域内其他城市或者与全球范围内其他地区的城市进行横向比较。同时，为了实现纵向和横向的可比性，应长期对基础数据进行年度维护，对指数的算法进行持续优化并适时发布优化后的算法。

(2) 易获得性。

全球城市可持续发展指数所依据的基础数据大多是开放式数据源，以减少调查和汇总统计成本，提高数据可获得性。例如，分项指数算法中采用了大量可公开获取的卫星遥感数据和夜间灯光数据，提升了可持续发展研究的效率和客观性^[31]。事实上，简化指数框架、简化基础数据获取渠道、采用简洁的客观

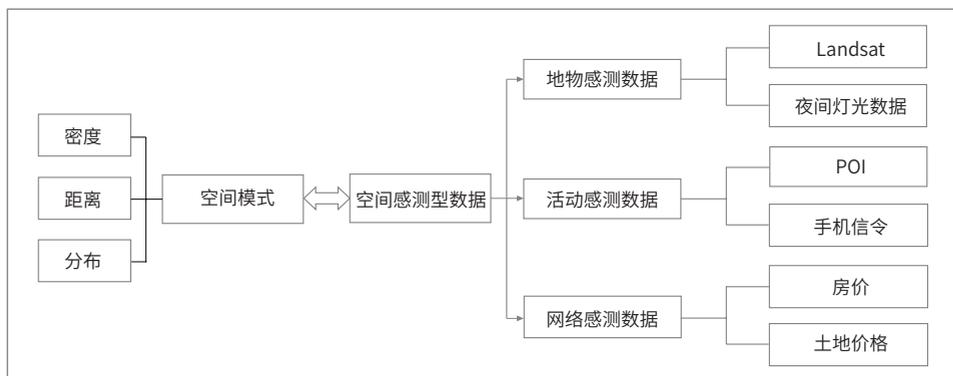


图8 全球城市可持续发展指数所采用的主要基础数据类型示意图

性数据很好地解决了指数运算的内在逻辑问题。

(3) 地方性。

基础数据是地方化的，指数运算结果因此体现了地方性特征。全球城市监测框架提出了地方特征指标的结构^[8]，全球城市可持续发展指数延续了这一首要原则，针对城市自然、人文、地缘的独特性，提出应根据不同的年度议题调整指数计算规则。在备选的基础数据源中选择某一类数据加入指数运算，以实现既体现关键议题也体现地方特征的目标。本次研究尝试为全球研究者和政府决策部门提供满足纵向和横向比较的、可靠的数据集。其中，空间感测型数据具有无可比拟的优势，也是全球城市可持续发展指数首要考虑的数据类型。空间感测型数据包括遥感技术所提供的地物感测数据、LBS 技术所提供的活动感测数据，以及网络挖掘技术所提供的网络感测数据 3 种类型 (图 8)。

5.2 对分项和综合指数计算路径的探索

全球城市可持续发展指数运算采用两种技术方法：一是在对城市可持续发展状况的综合认知，以及其可持续发展能力、潜力进行评价时，采用较为传统的主成分分析和层次评价技术路径，形成基本的考察维度作为计算分项指数所要表征的城市的某个侧面。二是提取和分析城市可持续发展目标和促进手段之

间具有较强因果关联的关键要素，并以此为目标测算具有表征性的指数，进而对指数进行聚类分析，以获取各城市指数的分布关系，由此揭示城市应当关注的关键问题。

综上所述，全球城市可持续发展指数满足了发展主体的两方面需求：一是客观认知需求。全球城市可持续发展指数帮助城市认识到与区域内其他城市的关系，促使城市将区域作为可持续发展的腹地和战略基础，并发挥带动区域发展的作用。二是指数有效应用需求。全球城市可持续发展指数帮助城市了解指数计算逻辑，以及各类指标体系的不同理念，并根据自身突出性议题和潜力选择最有效的努力方向，制定出合适的利用自然、人力、社会和机构等各类资源的政策。

6 结语

全球城市可持续发展指数创新性地提出创新领域对城市可持续发展的重要作用，在指数的基础数据和编制技术路径方面更强调客观获取、动态监测和可比性，以更为理性地支撑城市可持续发展，为 SDGs 的实现提供科学合理的路径建议。鉴于全球城市可持续发展指数的概念框架、理论分析等环节的试错仍在进行，全球城市可持续发展指数计算过程仍将面临一些未知因素，技术路径需不断细化和调整。例如，近期由我国在太原卫星发射中心用长征六号运载

火箭发射的可持续发展科学卫星 1 号 (SDGSAT-1)^①也将为全球城市可持续发展指数的计算提供大量新的、高精度、客观的感测型数据^[32]。此外，未来在指数运算、维护和发布机制方面还需不断完善，并听取社会组织和民众的意见、反馈，开展关于可持续发展相关理念、知识、指标体系的宣传^[33]。□

[注 释]

- ①可持续发展指标体系 (SDI) 是于 1992 年由联合国可持续发展委员会提出的用以评价可持续发展水平、有影响力的城市发展指数，其为衡量城市发展的可持续情况提供了标准，是评估可持续发展的重要工具之一。
- ② PSR (Pressure-State-Response) 模型是由经济合作与发展组织提出的。
- ③ DFRS 模型是由联合国可持续发展委员会提出的。该模型是在 PSR 的基础上构建的，其将压力 (Pressure) 替换为动力 (Driving Force)，构建了驱动力—状态—响应 (Driving Force-State-Response) 的评价指标体系，更有利于引入社会经济等方面概念的评价。
- ④ IMD 模型由瑞士洛桑国际管理开发学院提出，是以国家为评估对象的国际竞争力评估指标体系。
- ⑤全球城市监测框架旨在实现联合国可持续发展目标并执行《新城市议程》的相关要求，包含社会、经济、环境、文化、治理、措施 5 个监测领域和安全性、包容性、韧性、可持续性 4 个方面的城市目标。其主要原则包括：注重城市转型、以现有框架指标为基础、监测城市韧性、采用开源数据等。
- ⑥ SDGs 是根据“5P” (People、Plane、Prosperity、Peace、Partnership) 理念设计的，包含“3-5-17-169-244”多层次指标框架体系，涵盖“人的基本需求、经济持续繁荣、可持续的气候和生物、社会公正和谐、全球合作” 5 个方面的内容，17 个全球发展目标，169 项具体目标，以及 244 个具体检测指标。
- ⑦辛普森悖论于 1951 年由统计学家爱德华·辛普森发现，其揭示了数据集及所包含的子集展现出不一致的统计规律现象。
- ⑧存量型指标指在一定时刻上测量的值，又称“时点指标”，如资产和负债；流量型指标指按一定时期段测算的量，又称“时期指标”，具有时间量纲，如年粮食产量、

季工业总产值等。

⑨ SDGSAT-1 是全球首颗专门服务联合国可持续发展议程的科学卫星,由中国科学院“地球大数据科学工程”先导专项立项支持,是可持续发展大数据国际研究中心的首发星。

[参考文献]

- [1] 吴志强. “人居三”对城市规划学科的未来发展指向[J]. 城市规划学刊, 2016(6): 7-12.
- [2] 吴志强. “和板理论”提升长三角一体化协同创新[J]. 世界科学, 2020(增刊2): 18-21.
- [3] 陆天赞, 吴志强, 黄亮. 网络关系与空间组织: 长三角与美国东北部城市群创新合作关系的比较分析[J]. 城市规划学刊, 2016(2): 35-44.
- [4] OECD. OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development 2001[R]. 2001.
- [5] 朱启贵. 可持续发展评估[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 1999.
- [6] 张秀娟, 周立华. 基于DFSR模型的北方农牧交错区生态系统健康评价——以宁夏盐池县为例[J]. 中国环境科学, 2012(6): 1134-1140.
- [7] 徐中民, 张志强, 程国栋. 生态经济学理论方法与应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [8] Johnson K. Global Urban Monitoring Framework[R]. 2020.
- [9] 张杰, 刘清芝, 石隽隽, 等. 国际典型可持续发展指标体系分析与借鉴[J]. 中国环境管理, 2020(4): 89-95.
- [10] 中国国际经济交流中心. 中国经济分析与展望(2016—2017)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.
- [11] 吴志强, 李欣. 城市规划设计的永续理性[J]. 南方建筑, 2016(5): 4-9.
- [12] 吴志强. 空间规划的基本逻辑与未来城市发展[J]. 国土资源科普与文化, 2020(3): 4-11.
- [13] 鲜祖德, 王全众, 成金璟. 联合国可持续发展目标(SDG)统计监测的进展与思考[J]. 统计研究, 2020(5): 3-13.
- [14] United Nations. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development[R]. 2014.
- [15] Judea Pearl, Dana Mackenzie. The Book of Why: The New Science of Cause and Effect[M]. New York: Basic Books, 2018.
- [16] 方振华, 覃豪杰, 范昆飞, 等. 建设用地扩张影响因子的选取及分析[J]. 国土资源科技管理, 2012(2): 58-64.
- [17] 高志刚, 贾晓佳. 密度、距离、分割、政策与城市经济发展——基于280个地级及以上城市面板数据的实证分析[J]. 南昌大学学报(人文社会科学版), 2015(6): 65-72.
- [18] 宋伟轩, 刘春卉. 长三角一体化区域城市商品住宅价格分异机理研究[J]. 地理研究, 2018(1): 92-102.
- [19] 吴华安, 曾波, 彭友, 等. 基于多维灰色系统模型的城市人口密度预测[J]. 统计与信息论坛, 2018(8): 60-67.
- [20] 郭琪, 贺灿飞. 密度、距离、分割与城市劳动生产率——基于中国2004—2009年城市面板数据的经验研究[J]. 中国软科学, 2012(11): 77-86.
- [21] 张明斗. 城市化水平与经济增长的内生性研究[J]. 宏观经济研究, 2013(10): 87-94.
- [22] 陈丰龙, 徐康宁, 王美昌. 高铁发展与城乡居民收入差距: 来自中国城市的证据[J]. 经济评论, 2018(2): 59-73.
- [23] 毛文峰, 陆军. 蔓延的城市发展模式与地方公共财政负担[J]. 财政研究, 2019(11): 64-76.
- [24] 刘修岩, 杨如. 出口开放与城市增长——基于夜间灯光数据的实证检验[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2019(2): 34-43, 146.
- [25] 刘修岩, 秦蒙, 李松林. 城市空间结构与劳动者工资收入[J]. 世界经济, 2019(4): 123-148.
- [26] 高苇, 李永盛, 李小帆. 空间集聚能否提高城市生产率? ——基于长江经济带动态空间面板模型的分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2020(2): 135-148.
- [27] Yu Bailang, Shu Song, Liu Hongxing, et al. Object-based Spatial Clustering Analysis of Urban Landscape Pattern Using Nighttime Light Satellite Images: A Case Study of China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014(11): 2328-2355.
- [28] Yu Bailang, Deng Shunqiang, Liu Gang, et al. Nighttime Light Images Reveal Spatial-temporal Dynamics of Global Anthropogenic Resources Accumulation above Ground[J]. Environmental Science & Technology, 2018(20): 11520-11527.
- [29] Yang Chengshu, Yu Bailang, Chen Zuoqi, et al. A Spatial-socioeconomic Urban Development Status Curve from NPP-VIIRS Nighttime Light Data[J]. Remote Sensing, 2019(20): 2398.
- [30] 曾垂卿, 周艺, 王世新, 等. 基于夜间灯光数据的人口密度遥感定量反演方法[J]. 遥感学报, 2009(增刊1): 314-321.
- [31] 郭华东, 张露. 雷达遥感六十年: 四个阶段的发展[J]. 遥感学报, 2019(6): 1023-1035.
- [32] 王震, 高雷. 我国成功发射广目地球科学卫星服务全球可持续发展[EB/OL]. <http://finance.people.com.cn/n1/2021/1105/c1004-32274661.html>, 2021-11-05.
- [33] 同济大学建筑与城市规划学院课题组. 全球城市可持续发展指标体系框架[R]. 2020.

[收稿日期] 2021-11-22