

全球城市扩展模拟数据集（1992–2050）

刘志锋^{1,2}, 应嘉禾^{1,2}, 何春阳^{1,3,4*}, 黄庆旭^{1,2}, 白巧贤^{1,2}, 潘鑫豪^{1,2}

1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学地理科学学部自然资源学院, 北京 100875;

3. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

4. 应急管理部-教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875

摘要: 全球城市扩展数据是开展全球城市扩展过程及其影响与优化研究的基础, 但现有数据未有效区分城乡建设用地, 导致相关研究结果存在较大不确定性。本文复合全球建设用地数据和全球城市中心位置数据重建了全球 1992–2020 年逐年城市扩展过程, 利用土地利用情景变化动力学-城市 (Land Use Scenario Dynamics-urban, LUSD-urban) 模型分区模拟了 5 种共享社会经济路径下全球 2020–2050 年城市扩展过程, 构建了一套有效区分城乡建设用地且连续可比的全球城市扩展数据集。精度评价表明该数据集准确可靠, 模型模拟结果的 Kappa 系数为 0.88、FoM 为 0.23。本数据集包含 1992–2020 年逐年全球历史城市建成区范围和 2021–2050 年逐年全球未来城市建成区范围, 数据集的空间分辨率为 1 km, 存储格式为.tif。数据量为 498 MB, 压缩后为 23.7 MB。

关键词: 城市扩展; 全球; 1992–2050 年; 共享社会经济路径; 城市化

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.11>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.11>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.05.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.05.V1>.

1 前言

全球正在经历的大规模城市扩展过程对环境、社会和经济造成了深远的影响^[1,2]。全球城市扩展数据集是揭示全球城市扩展时空格局与驱动机制、评估全球城市扩展的影响与风险进而对全球城市扩展过程进行优化调整的重要基础。当前, 国内外研究人员已经构建了多套全球城市扩展数据集, 为开展相关研究提供了丰富的数据支持^[3–5]。但现有大部分数据集未有效区分城市建设用地与农村建设用地, 导致相关研究结果存在较大不确定性。虽然

收稿日期: 2024-01-15; 修订日期: 2024-03-10; 出版日期: 2024-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2019YFA0607203)

*通讯作者: 何春阳, 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, hcy@bnu.edu.cn

数据引用方式: [1] 刘志锋, 应嘉禾, 何春阳等. 全球城市扩展模拟数据集 (1992–2050) [J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(1): 90–97. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.01.11>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.01.11>.

[2] 刘志锋, 应嘉禾, 何春阳等. 全球城市扩展模拟数据集 (1992–2050, V1.0) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.05.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.05.V1>.

He 等人复合夜间灯光数据、植被指数数据和地表温度数据，利用深度学习方法重建了一套能够有效区分城乡建设用地的全球历史城市扩展数据集，并进一步模拟出了连续可比的全球未来城市扩展数据^[6,7]。但这套数据缺乏历史逐年城市扩展信息以及 2016 年以后的历史城市扩展信息，而且在模拟未来城市扩展过程中基于全球尺度数据计算城市扩展适宜性，未充分考虑区域间的差异，仍需进一步完善。为此，本文复合多源数据重建了全球 1992–2020 年逐年城市扩展过程，分区模拟了 5 种共享社会经济路径（Shared Socioeconomic Pathways, SSPs）下全球 2020–2050 年城市扩展过程，构建了一套有效区分城乡建设用地且连续可比的全球城市扩展数据集。

2 数据集元数据简介

《全球城市扩展模拟数据集（1992–2050，V1.0）》^[8]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《全球城市扩展模拟数据集（1992–2050，V1.0）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	全球城市扩展模拟数据集（1992–2050，V1.0）
数据集短名	GlobalUrbanExpansion1992-2050_1.0
作者信息	刘志锋, 北京师范大学, zhifeng.liu@bnu.edu.cn 应嘉禾, 北京师范大学, jiahe.ying@mail.bnu.edu.cn 何春阳, 北京师范大学, hcy@bnu.edu.cn 黄庆旭, 北京师范大学, qxhuang@bnu.edu.cn 白巧贤, 北京师范大学, qx_bai@163.com 潘鑫豪, 北京师范大学, xinhao.pan@mail.bnu.edu.cn
地理区域	全球
数据年代	1992–2050 年
时间分辨率	1 年（1992–2020 年），5 年（2020–2050 年）
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif
数据量	23.7 MB（压缩后）
数据集组成	一共 59 个栅格数据文件，包含 1992–2020 年逐年全球历史城市建成区范围，SSP1–SSP5 情景下 2021–2050 年逐五年全球未来城市建成区范围
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2019YFA0607203）
数据计算环境	Python
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[9]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据源

用于获取全球历史城市扩展数据的全球建设用地数据和城市中心位置数据分别来自于欧空局(European Space Agency, ESA)发布的气候变化倡议计划(Climate Change Initiative, CCI)土地覆盖产品^[10]和欧洲委员会联合研究中心发布的全球人类居住区(Global Human Settlement, GHS)城市中心数据库(Urban Centre Database, UCDB)^[11]。用于预测全球未来城市建成区面积的历史和未来城市人口数据分别来自联合国发布的世界城市化展望数据集^[12]和 WUP-SSPs 人口与城镇化率数据集^[13]。用于模拟全球未来城市扩展过程的数字高程模型(Digital elevation model, DEM)来源于全球多分辨率地形高程数据集^[14], 土壤数据来源于联合国粮食及农业组织和国际土壤参考与信息中心共同开发的世界土壤数据集(Harmonized World Soil Database, HWSD)^[15], 地理信息辅助数据包括来源于美国国家海洋和大气管理局的海岸线数据^[16]、全球河流网络数据集的河流数据^[17]、资源环境数据云平台的道路与铁路数据¹, 气象数据来源于国家气候信息中心^[18]。上述数据中的栅格数据均被重采样到 1 km 空间分辨率。

3.2 算法原理

(1) 重建全球历史城市扩展过程

为了从全球建设用地数据中识别出城市建设用地, 首先将全球建设用地栅格数据转换为矢量数据, 基于摩尔邻域(8 邻域)规则对相邻的建设用地斑块进行合并, 获取基于摩尔邻域的全球建设用地斑块。然后, 对调整后的全球建设用地斑块和城市中心点数据进行空间关联分析, 筛选出与城市中心点相交的建设用地斑块, 将其作为城市建设用地斑块。最后, 将城市建设用地斑块数据转换为栅格数据, 获取空间分辨率为 1 km 的城市建成区栅格数据。

(2) 模拟全球未来城市扩展过程

本文采用 He 等人研发的土地利用情景变化动力学-城市(Land Use Scenario Dynamics-urban, LUSD-urban)模型, 基于分区模拟的思路来模拟全球未来城市扩展过程^[7, 19]。首先, 以大洲为基本单元, 基于历史城市扩展数据以及适宜性和限制性图层相关数据, 利用 LUSD-urban 模型中的自适应蒙特卡洛方法获取各图层的权重, 计算出各非城市像元转换为城市像元的概率。然后, 以国家为基本单元, 基于历史城市建成区面积与城市人口构建一元线性回归方程并对方程进行修订以保证基于 2020 年城市人口数据回归得到的城市建成区面积与实际城市建成区面积一致^[20], 再利用修订后的方程和未来城市人口数据预测出各国未来城市建成区面积。最后, 基于各非城市像元转换为城市像元的概率对城市像元进行空间分配, 以满足未来各国对城市建成区的需求。

3.3 技术路线

基于上述方法, 首先利用全球 1992–2020 年建设用地数据和全球城市中心位置数据逐年识别出了全球城市建成区, 重建了全球 1992–2020 年城市扩展过程(图 1)。然后, 进一

¹ 中国科学院资源环境科学与数据平台. 全球道路数据[OL/DB]. <http://www.resdc.cn/data.aspx?DATAID=207>.

步结合全球各国 1992–2020 年城市人口数据和 SSPs 情景下全球各国 2020–2050 年城市人口数据，预测出了 SSPs 情景下全球各国 2020–2050 年城市建成区面积（图 1）。最后，利用全球 1992–2020 年城市扩展数据对 LUSD-urban 模型进行了校正与验证，利用校正后的模型模拟出了 SSPs 情景下全球 2020–2050 年城市扩展过程（图 1）。

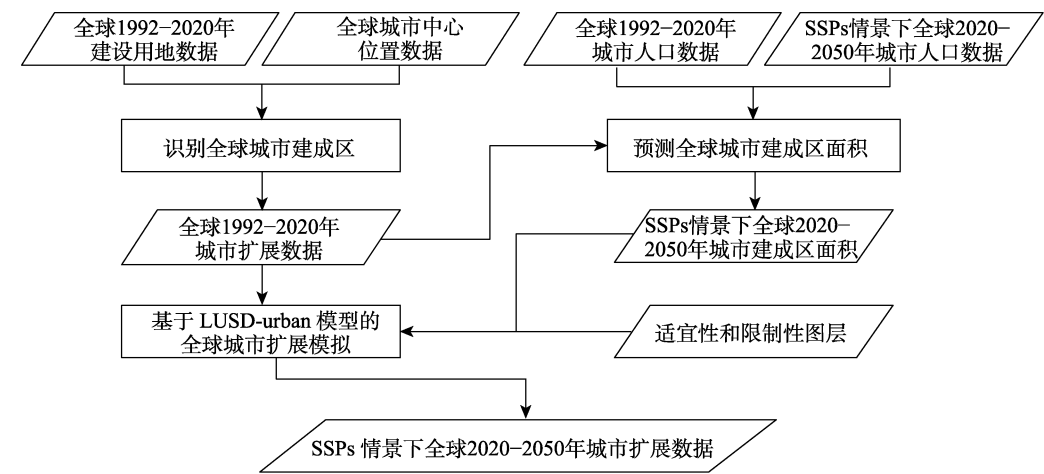


图 1 数据研发的技术路线图

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

本数据集包含 1992–2020 年逐年全球历史城市建成区范围和 SSP1–SSP5 情景下 2021–2050 年逐五年全球未来城市建成区范围，数据集的空间分辨率为 1 km。数据量为 498 MB，压缩后为 23.8 MB。数据的命名方式如下：GlobalUrban****代表第****年全球历史城市建成区范围；GlobalUrban20**_SSP*代表 SSP*情景下第 20**年全球城市建成区范围，SSP1 是可持续路径，SSP2 是中间路径，SSP3 是区域竞争路径，SSP4 是不均衡路径，SSP5 是化石燃料为主发展路径。

4.2 数据结果

全球 1992–2020 年经历了快速城市扩展过程，这一过程在 2020–2050 年仍将持续进行（图 2）。全球城市建成区面积从 1992 年的 22.98 万 km² 增长到 2020 年的 48.67 万 km²，增长了 1.12 倍。2050 年，全球城市建成区面积将增至 63.39 万 km²–76.26 万 km²，比 2020 年高出 30.24%–56.69%。在 SSP5 情景下，全球城市扩展面积最大，达 27.59 万 km²；SSP3 情景下，全球城市扩展面积最小，为 14.72 万 km²。

不同大洲的城市扩展过程存在明显差异（图 2）。1992–2020 年，亚洲、北美洲的城市扩展面积较大，分别为 12.76 万 km² 和 4.40 万 km²；欧洲、南美洲、非洲的城市扩展面积次之，分别为 2.48 万 km²、2.28 万 km²、2.06 万 km²；大洋洲的城市扩展面积较小，为 0.26 万 km²。2020–2050 年，亚洲和非洲城市扩展面积较大，分别为 6.59 万 km²–9.18 万 km² 和 3.20 万 km²–4.28 万 km²。北美洲、欧洲和南美洲不同情景间的城市扩展面积差异较大。SSP5 情景下，北美洲城市建成区将扩展 9.31 万 km²，但在 SSP3 情景下仅扩展 0.81 万 km²。欧

洲在 SSP1、SSP2 和 SSP4 情景下城市建成区面积略有增加，在 SSP5 情景下城市建成区扩展较多，在 SSP3 情景下将面临城市收缩压力。南美洲的城市建成区范围在 SSP3 情景下将扩展 2.07 万 km²，在 SSP5 情景下仅扩展 0.83 万 km²。大洋洲的城市扩展面积较小，仅为 0.14 万 km²–0.64 万 km²。

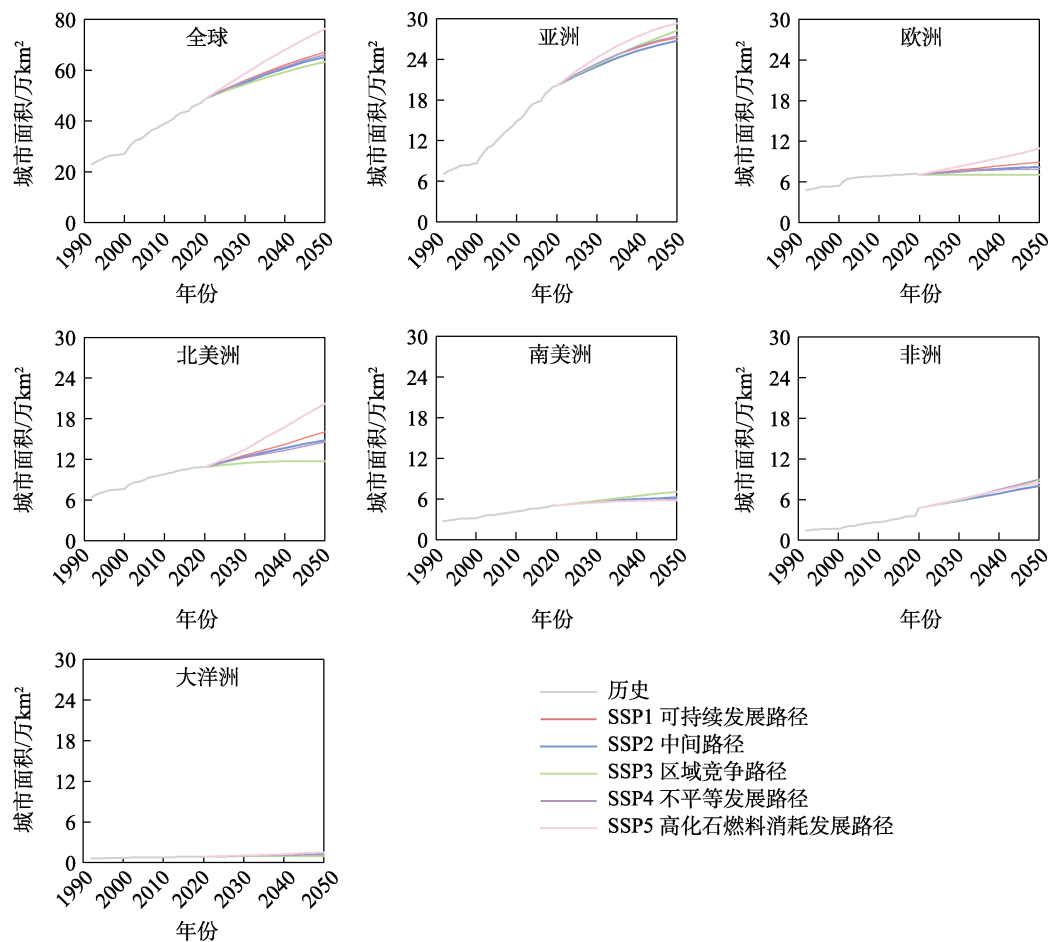


图 2 全球和各大洲城市扩展过程图

国家间城市扩展过程的差异更加明显（图 3）。1992–2020 年，中国、美国、印度的城市扩展面积较大，分别为 6.77 万 km²、4.15 万 km²和 1.56 万 km²；日本、巴西、印度尼西亚的城市扩展面积次之，分别为 0.88 万 km²、0.78 万 km²和 0.62 万 km²。2020–2050 年，印度和尼日利亚城市建成区范围将持续扩展，面积将分别增加 2.14 万 km²–2.82 万 km²和 0.83 万 km²–1.28 万 km²。美国不同情景下的城市建成区面积变化趋势不一致，城市扩展面积最大可达 8.69 万 km²，最小仅为 0.76 万 km²。中国城市建成区面积将略有增加，扩展面积为 1.17 万 km²–2.19 万 km²。日本、巴西和俄罗斯城市建成区扩展面积较小。城市扩展过程在不同区域间也存在差异（图 4）。

4.3 数据结果验证

利用全球 1992–2010 年城市扩展数据对 LUSD-urban 模型进行参数校正，利用校正后

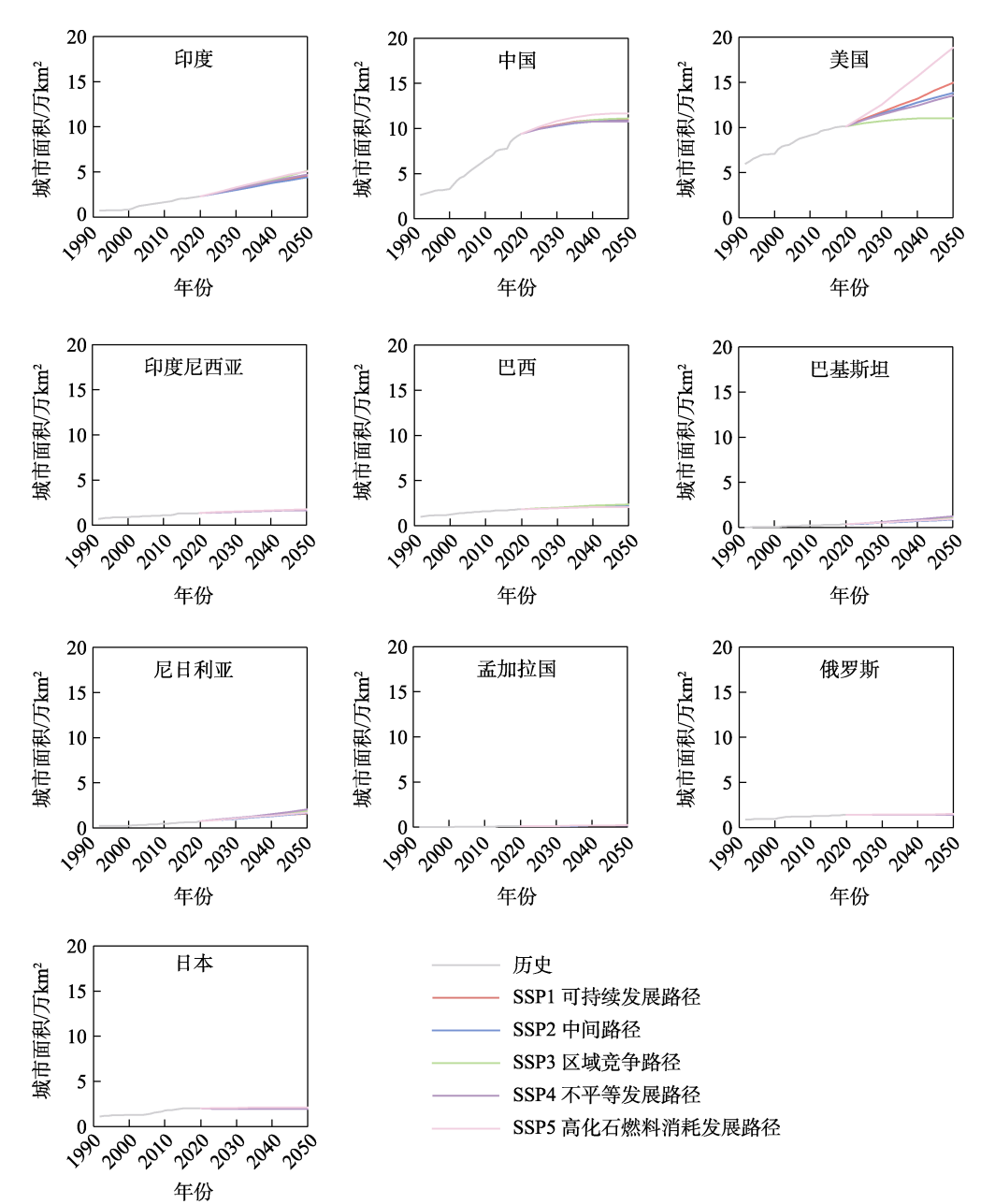


图 3 总人口排名前十国家的城市扩展过程图

的模型模拟出 2020 年城市建成区范围，通过与 2020 年实测的城市建成区进行对比，检验了 LUSD-urban 模型的模拟精度。精度评价结果表明，模拟出的全球城市建成区 Kappa 系数为 0.88，FoM（Figure of Merit）为 0.23；全球人口排名前十国家的城市建成区模拟结果 Kappa 系数为 0.78–0.93，FoM 为 0.13–0.34，说明利用 LUSD-urban 模型可以准确地模拟全球城市扩展过程（表 2）。

5 讨论和总结

本文复合全球建设用地数据和全球城市中心位置数据，利用 LUSD-urban 模型模拟构建了一套能够有效区分城乡建设用地且连续可比的全球 1992–2050 年城市扩展数据集。该数据集准确可靠，精度评价表明模型模拟出的全球城市建成区 Kappa 系数为 0.88，FoM (Figure of Merit) 为 0.23。

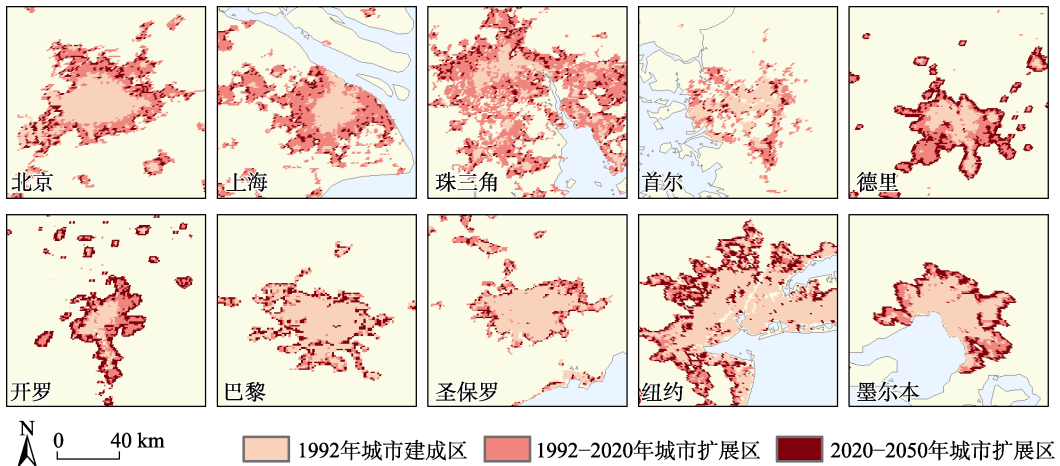


图 4 代表性区域城市扩展过程的时空格局图（以 SSP2 情景为例）

表 2 城市扩展模拟结果的精度验证统计表

国家	Kappa	FoM	国家	Kappa	FoM
印度	0.82	0.22	尼日利亚	0.81	0.34
中国	0.81	0.24	孟加拉国	0.78	0.28
美国	0.93	0.15	俄罗斯	0.92	0.13
印度尼西亚	0.87	0.22	日本	0.91	0.20
巴西	0.91	0.13	全球	0.88	0.23
巴基斯坦	0.79	0.23			

基于构建的数据集，发现全球 1992–2020 年城市建成区面积增长了 1.12 倍，2020–2050 年还将增加 30.24%–56.69%。不同大洲和国家的城市扩展过程存在明显差异，在大洲尺度上，亚洲 1992–2020 年和 2020–2050 年城市扩展面积均最大。在国家尺度上，中国 1992–2020 年城市扩展面积最大；美国 2020–2050 年城市扩展面积最大。该数据集为理解全球不同尺度城市扩展过程的时空格局、驱动机制和环境、社会与经济效应提供了基础数据支撑。

作者分工：何春阳、刘志锋和黄庆旭对数据集的开发做了总体设计；刘志锋、应嘉禾和白巧贤采集和处理了数据；何春阳、刘志锋和潘鑫豪设计了模型和算法；应嘉禾做了数据验证；刘志锋、应嘉禾和何春阳撰写了数据论文。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] Seto, K. C., Güneralp, B., Hutyrá, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools [J]. *PNAS*, 2012, 109: 16083–16088.
- [2] Wu, J. Urban ecology and sustainability: the state-of-the-science and future directions [J]. *Landscape Urban Planning*, 2014, 125: 209–221.
- [3] Klein, G. K., Beusen, A., Doelman, J., *et al.* Anthropogenic land use estimates for the holocene—HYDE 3.2 [J]. *Earth System Scientific Data*, 2017, 9(2): 927–953.
- [4] Chen, G. Z., Li, X., Liu, X. P., *et al.* Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways [J]. *Nature Communication*, 2020, 11(1): 12.
- [5] Gao, J., O'Neill, B. C. Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways [J]. *Nature Communication*, 2020, 11: 2302.
- [6] He, C., Liu, Z., Gou, S., *et al.* Detecting global urban expansion over the last three decades using a fully convolutional network [J]. *Environmental Research Letters*, 2019, 14: 034008.
- [7] He, C., Liu, Z., Wu, J., *et al.* Future global urban water scarcity and potential solutions [J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 4667.
- [8] 刘志锋, 应嘉禾, 何春阳等. 全球城市扩展模拟数据集（1992–2050, V1.0） [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.06.05.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2024.06.05.V1>.
- [9] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [10] ESA. Land cover CCI product user guide version 2.0 [OL/DB]. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>.
- [11] Florczyk, A., Corbane, C., Schiavina, M., *et al.* GHS-UCDB R2019A—GHS Urban Centre Database 2015, multitemporal and multidimensional attributes [Z]. European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2019. <https://doi.org/10.2905/53473144-b88c-44bc-b4a3-4583ed1f547e>.
- [12] Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics. 2018 Revision of World Urbanization Prospects [Z]. United Nations, 2018. <https://population.un.org/wup>.
- [13] Chen, S., Huang, Q., Muttarak, R., *et al.* Updating global urbanization projections under the Shared Socioeconomic Pathways [J]. *Scientific Data*, 2022, 9: 137. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01209-5>.
- [14] Jeffrey, J. D., Dean, B. G., Global multi-resolution terrain elevation data 2010 [Z]. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, 2018. <https://lta.cr.usgs.gov/GMTED2010>.
- [15] Wieder, W. R., Boehnert, J., Bonan, G. B., *et al.* Regridded harmonized world soil database v1.2 [Z]. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- [16] Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database [Z]. National Centers for Environmental Information, 2017. <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/>.
- [17] Schneider, A., Jost, A., Coulon, C., *et al.* Global scale river network extraction based on high-resolution topography and constrained by lithology, climate, slope, and observed drainage density [J]. *Geophysical Research Letter*, 2017, 44(6): 2773–2781. DOI: 10.1002/2016GL071844.
- [18] 国家气象科学数据中心. 全球地面气象观测历史数据集 [OL/DB]. <http://data.cma.cn/data/detail/dataCode>.
- [19] He, C., Okada, N., Zhang, Q., *et al.* Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2020, 86: 79–91.
- [20] Huang, M., Wang, Z. C., Pan, X. H., *et al.* Delimiting China's urban growth boundaries under localized shared socioeconomic pathways and various urban expansion modes [J]. *Earth's Future*, 2022, 10: e2021EF002572.