

中国未来城市人口分布情景分析

项目报告

Population Scenario Analysis for China

清华大学建筑学院

2020年10月



清华大学建筑学院
School of Architecture, Tsinghua University

项目信息

项目资助号：G-1909-30260

Grant Number: G-1909-30260

项目日期：2019.08.01 - 2020.05.31

Grant period: 2019.08.01 - 2020.05.31

所属领域：低碳城市

Sector: Low Carbon Cities

项目概述：

当前，人类活动已成为全球环境变化的主要驱动力，合理预测中国人口的发展趋势，对于预测和理解中国未来的城镇化格局，调节中国城市能源供给平衡，控制能源排放，实现中国城市低碳转型等都具有十分重要的指导意义。在此背景下，能源基金会于 2019 年支持清华大学建筑学院龙瀛团队，开展“中国未来城市人口分布情景分析”研究，对中国的城市人口，在省域、县域等层面上的分布进行分析与预测。

我们对现有的人口预测研究进行了梳理，发现目前的相关研究多以历史梳理、现状分析为主，在情景分析、空间尺度和精度上都略有不足。在此基础上，我们将城市区位、聚集度等多种情景条件引入，在公里网格尺度上对未来中国的人口分布进行了多情景下的预测。该研究的方法可以简要概括为两步：以线性回归为核心的市辖区层面上的人口总量与城镇化率预测；以土地利用变化和 LandScan 人口耦合数据为核心的公里网格尺度的人口判定。我们最终获得了多种情景下的中国未来人口公里网格分布地图。研究发现，未来的中国大城市依然存在很大的人口增长压力，而中西部城市将是中国未来城镇化的主要战场。

项目成员：

龙 瀛 清华大学建筑学院，研究员

王新宇 清华大学建筑学院，博士研究生

李文越 清华大学建筑学院，博士后

孟祥凤 清华大学建筑学院，博士后

目录

1. 项目背景.....	1
2. 相关研究.....	2
2.1. 国家人口总量研究.....	2
2.1.1. 世界人口展望.....	2
2.1.2. SRES 排放情景的专题报告.....	3
2.1.3. SSP 共享社会经济路径研究.....	3
2.2. 空间人口网格分布研究.....	4
3. 数据与方法.....	6
3.1. 研究范围.....	6
3.2. 研究数据.....	6
3.2.1. 联合国中国人口总量与城镇化率预测数据.....	6
3.2.2. LandScan 人口数据.....	7
3.2.3. 全球土地利用数据.....	7
3.2.4. 社会经济统计数据.....	8
3.3. 研究方法.....	8
3.3.1. 地级行政区人口总量预测.....	9
3.3.2. 地级行政区城镇化率预测.....	13
3.3.3. 公里网格人口分布预测.....	13
4. 主要结果.....	16
4.1. 地级行政区预测结果.....	16
4.2. 空间人口网格预测结果.....	20
参考文献.....	27

1. 项目背景

当前，人类活动已成为全球环境变化的主要驱动力，频繁的自然灾害和疫情为人类敲响了警钟。突如其来的新冠疫情启示我们，人类要加快形成绿色的生活方式和发展方式，建设生态文明和美丽地球。作为世界上人口最多的国家，中国已向国际社会承诺：中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，争取在 2060 年前实现碳中和。如何帮助中国实现低碳经济增长，履行中国的国际承诺，完成习总书记对保护全球自然环境的美好愿景，是值得我们深入思考的问题。

纵观人类历史，无论何种社会形态、经济规模或大或小、技术水平或高或低，人口始终在社会发展中发挥着关键作用。人的需求、人的分布是影响能源排放最基本、最核心的因素。人口预测在一定程度上是对中国未来经济发展、能源消费和城市规划的基本预测，对于理解未来的城市化格局、城市等级分布和国家空间结构等方面具有重要意义。

因此，密切关注人口因素，对于倡导低碳城市建设是十分必要的。然而，中国人口统计的唯一权威来源是十年一度的人口普查。自 1949 年以来，中央政府进行了 6 次人口普查。人口普查方法虽然具有权威性，但既耗时又消耗大量财力，并且 10 年一次的频率限制了它的用途。因此，如何经济有效地利用现有数据进行科学统计，对于预测和理解中国未来城镇化格局，调节中国城市能源供给平衡，控制能源排放，实现中国城市低碳转型等都具有十分重要的指导意义。

2. 相关研究

国际上已经有众多相关机构进行了人口预测方面工作，总的说来，相关研究大致可以分为两类，国家人口总量研究和空间网格人口分布研究。国家人口总量研究主要有：世界人口展望^{1,2}；SRES 排放情景的专题报告；SSP 共享社会经济路径研究等。空间人口网格分布研究也可以概括为人口空间网格现状数据产品和人口空间网格数据预测产品两大部分。

2.1. 国家人口总量研究

2.1.1. 世界人口展望(World Population Prospect)^{1,2}

世界人口展望数据由联合国人口司发布。该数据对世界各国人口总量、年龄结构，其他人口基本指标等进行评估与预测，最新版本为 2019 年版本。数据地址为：<https://population.un.org/wpp/>。

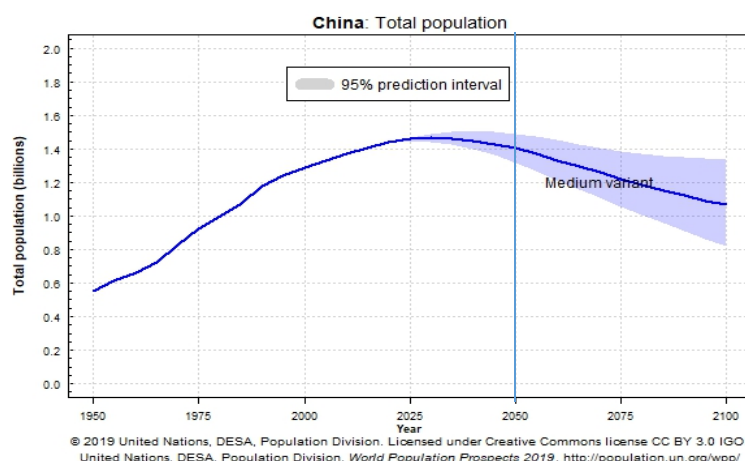


图 1：世界人口展望对中国人口总量的判定^{1,2}

2.1.2. SRES 排放情景专题报告 (Special Report on Emissions Scenarios)

SRES 是 IPCC 在 2000 年发布的一系列预测情景,主要目的是为了探讨环境条件变化对未来发展产生的影响。研究所设置的预测情景也涉及到了温室气体和气溶胶前体排放的产生等相关因素³。

SRES 团队定义了四条叙事线索 (见图 1), 分别标记为 A1、A2、B1 和 B2, 描述了温室气体和气溶胶排放的驱动力之间的关系, 以及它们在 21 世纪在世界各大地区和全球范围内的演变。每一个故事情节都包含了不同的人口、社会、经济、技术和环境发展数据, 这些发展正以越来越不可逆转的方式分化。经过分析与计算, 数据形成了公开数据库³, 数据地址为: <http://beta.ciesin.columbia.edu/datasets/downscaled/>。

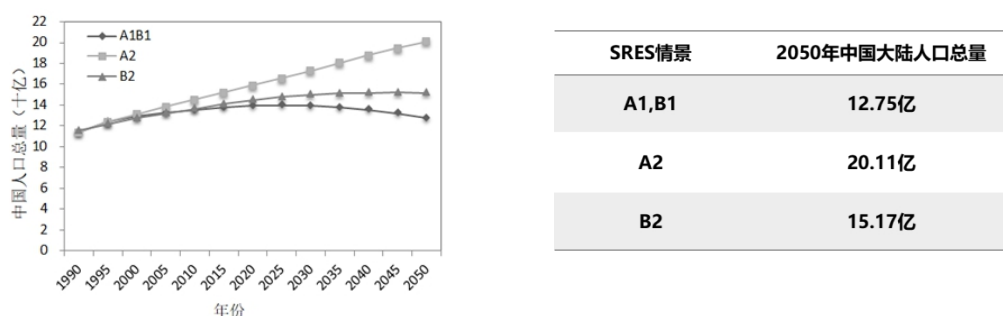


图 2: SRES 情景中国大陆人口总量的变化趋势³ 表 1: SRES 情景对中国大陆人口总量的判定³

2.1.3. SSP 共享社会经济路径 (Shared Socioeconomic Pathways)

气候变化研究界为促进对未来气候影响的分析, 形成了的共同研究框架——

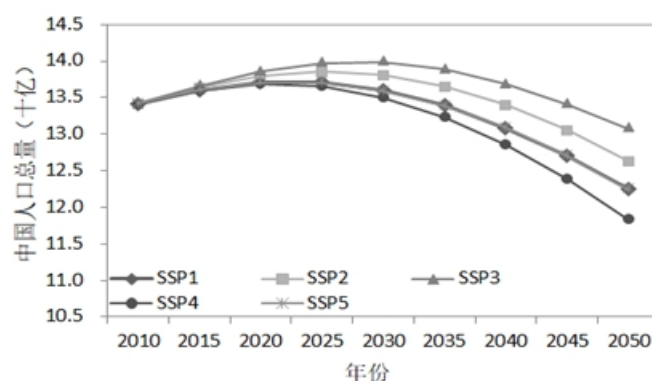


图 3: SSP 情景对中国大陆人口总量的判定趋势

SSP 情景。SSP 的研究框架是围绕一个“矩阵”而建立的，其中横坐标是环境气候条件，纵坐标是社会经济条件，最终形成一套完整的研究框架，并运用一系列建模方法，对人口、经济发展、土地使用和能源消耗等指标进行了量化与预测，形成了公开的数据库⁴。

SSP 情景	2050 年中国大陆人口总量
SSP1	12.25 亿
SSP2	12.63 亿
SSP3	13.07 亿
SSP4	11.83 亿
SSP5	12.25 亿

表 2:SSP 情景对中国大陆人口总量的判定

2.2. 空间人口网格分布研究

空间人口网格分布研究数据主要由现状数据和预测数据组成。现状数据主要由哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心(CIESIN)、橡树岭国家实验室(ORNL)、南安普顿大学等机构进行绘制，精度多以 30 弧分（约为赤道 1km）为主，空间覆盖广，时间覆盖主要集中在过去的三四十年。

人口预测方面，全球多个研究团队均针对人口的空间网格进行了预测分析，且数据大多都划分了城市人口和农村人口。高精度的人口预测数据主要针对全球的部分地区，而空间覆盖较广的全球人口预测或时间维度较短，或数据精度较低。其中，来自中国的多个团队对于中国的未来人口进行了预测分析，并取得了优秀的研究成果。

数据集	数据年份	空间分辨率	研发者
Gridded population of world(GPWv4.11)	2000, 2005, 2010, 2015, 2020	30 arcsec	Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University
Gridded Population of the World (GPWv4)	2000, 2005, 2010, 2015, 2020	30 arcsec	Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University

Global Rural-Urban Mapping Project (GRUMPv1)	1990, 1995, 2000	30 arcsec	CIESIN, Columbia University; International Food Policy Research Institute, the World Bank, Centro Internacional de Agricultura Tropical
LandScan Global Population Database	2000-2018	30 arcsec	Oak Ridge National Laboratory (ORNL)
WorldPop (Unconstrained global mosaics)	2000-2020	30 arcsec	University of Southampton
Global Human Settlement Layer-Population (GHS-POP)	1975, 1990, 2000, 2015	250m / 1km / 9 arcsec / 30 arcsec	European Commission Joint Research Centre (JRC) and CIESIN, Columbia University
World Population Estimate (WPE)	2013, 2015, 2016	150m	Environmental Systems Research Institute (ESRI)
History Database of the Global Environment (HYDE) Population Grids v3.2	1000BC-2015	5 arcmin	Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL)

表 3: 空间网格人口分布现状数据

研发者	数据年份	数据范围	分辨率	数据基础	年份	特点
Salvatore et al.	2005	全球	30 arcsec	LandScan 2002/2000 年夜间灯光遥感图像/GPW/ GRUMP	2000-2015	高精度、划分了城市与农村人口
Bengtsson et al.	2006	全球	0.5arcdeg	SRES / LandScan 2002/土地覆盖数据	1990-2100	精度相对较低、预测时间长、划分了城市与农村人口
Jones et al.	2016	全球	7.5arcmin	SSPs/ GPW/GRUMP	2000-2100	精度相对较低、预测时间长、划分了城市与农村人口
Boke-Olénet et al.	2016	非洲	30 arcsec	SSPs/RCPs/WorldPop/Roads/Water bodies mask/Country Borders	2000-2100	高精度、划分了城市与农村人口
Chen et al.	2020	中国	30 arcsec	SSPs/RCPs/WorldPop/Roads/Water bodies mask/China's provincial statistical population data	2010-2100	高精度、对人口结构进行了预测 (年龄、性别、受教育程度)
Chen et al.	2020	中国	100m	SSPs/RCPs/WorldPop/China land use maps /Built-up land scenarios/NCAR Spatial /Population Scenarios / Future daily maximum /temperature projections	2015-2050	高精度、对城市和乡村人口进行了划分、揭露了极端高温暴露的情况

表 4: 空间网格人口分布预测数据⁵⁻⁸

3. 数据与方法

3.1. 研究范围

我们的研究范围为中华人民共和国全国范围，包含港、澳、台地区。研究范围可以分为两个部分：

- 中国大陆范围。我们选择的是 shapefile 城市边界数据，数据中包含 31 个省级行政区、339 个地级行政区；2853 个县级行政区；
- 香港、澳门特别行政区以及台湾地区。港澳台地区由于在人口总量统计与预测阶段中独立于中国大陆进行统计，因此在人口预测部分也对其进行单独预测。



图 4：中国人口边界数据示例

3.2. 研究数据

3.2.1. 联合国中国人口总量与城镇化率预测数据（Medium Variant 基准情景）

联合国中国人口总量与城镇化率预测数据由联合国人口司同《2019 世界人口展望》一同发布。联合国人口司基于世界人口的历史数据，结合各国实际情况与发展阶段，对世界各个国家的人口总量进行多情景预测。我们将运用 Medium Variant 基准情景，2000-2050 年的中国人口总量进行研究，数据格式为 EXCEL 表格。数据地址为：<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>。

地区名称:	2050 年人口总量预测数据:
中国大陆	14.02 亿人
香港特别行政区	804.1 万人
澳门特别行政区	83.8 万人
台湾地区	2241.3 万人

表 5: 世界人口展望对中国大陆以及港澳台地区的预测^{1,2}

3.2.2. LandScan 人口数据

LandScan 全球人口动态统计分析数据库由美国能源部橡树岭国家实验室 (ORNL) 开发, East View Cartographic 提供。LandScan 运用 GIS 和遥感等创新方法, 是全球人口数据发布的社会标准, 是全球最为准确、可靠, 基于地理位置的, 具有分布模型和最佳分辨率的全球人口动态统计分析数据库。数据格式为精度为 30 弧秒的栅格图像, 数据地址为: <https://landscan.ornl.gov/landscan-datasets>。

LandScan 数据中 2018 年中国大陆的总人口 14.07 亿人, 《中国统计年鉴》中 2018 年全国人口为 13.95 亿人。



图 5: LandScan 人口数据示例

3.2.3. 全球土地利用数据⁹

该数据来自 Chen G, Li X, Liu X, et al. 发表在 Nature communications 杂志上的文章 “Global urban change and its environmental effects under the Shared Socioeconomic Pathways.” 该文章以 SSP 情景为假设, 结合现有观测数据, 在 SSP 五个情境下, 预测了 2020-2100 年间每十年的全球城市用地变化, 像元精度为

1km*1km;

数据下载地址为：<http://www.geosimulation.cn/GlobalSSPsUrbanProduct.html>

我们选取了 SSP1 情景，并根据研究范围，对数据进行了截取和匹配。

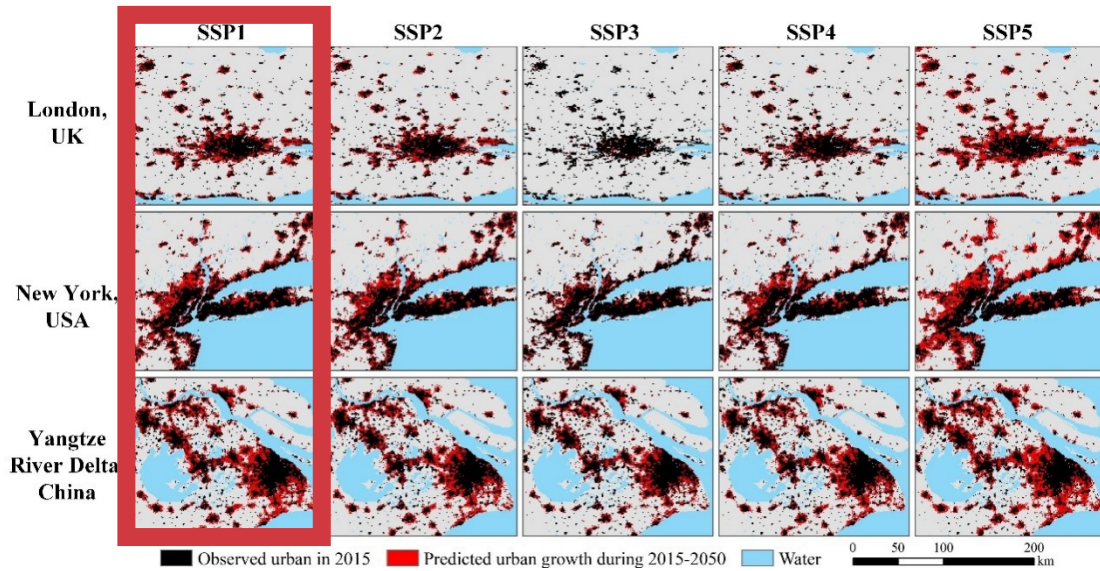


图 6：全球土地利用数据示例⁹

3.2.4. 社会经济统计数据

《中国城市统计年鉴》是全面反映中国城市社会经济发展情况的资料性年刊。年刊对于中国的社会经济数据进行了详细的统计。包括城市行政区划、劳动力及土地资源、综合经济、工业、交通运输数据等。本次研究运用到了城市的人口自然增长率、地区生产总值数据。

3.3. 研究方法

我们的研究方法可以简要概括为：首先在地级行政区层面进行人口总量和城镇化率预测，再将人口总量数据，根据公里网格现状数据分配到公里网格尺度上，完成人口公里网格尺度预测。

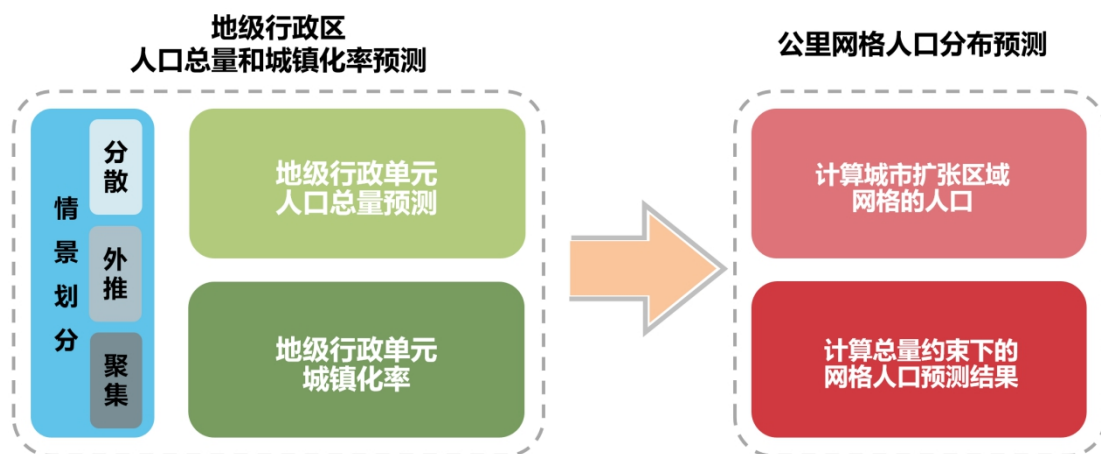


图 7：研究方法图示

3.3.1. 地级行政区人口总量预测

我们通过对 2007-2017 年的历史数据进行分析，以 2017 年作为预测起始年份，进行趋势外推，推算出未来的发展路径，进而计算出 2030, 2040, 2050 年的人口预测数据。研究方法总体可以分为五步：

- 判定影响人口分布的要素
- 建立回归方程
- 求解影响因子系数
- 调整影响因子系数进行情景分析
- 进行人口总量约束

①判定影响人口分布的要素¹⁰⁻²⁰

我们对影响人口分布的要素进行了判定，并形成了表格。印象因素可以概括为：经济因素、区位因素、政治因素、人口因素、资源禀赋等。考虑到数据的来源以及可靠性，我们进一步确定为投资强度、人均地区生产总值、距大城市的距离、距中心城市的距离、距离海岸线的距离、城市行政等级、人口自然增长率、土地开发强程度共计八个指标。

影响因素	具体指标		影响人口的趋势
经济因素	投资强度	投资率的提高有利于加速人口集聚，高投资强度的地区能够产生人口虹吸效应。	↑
	人均地区生产总值	人均地区生产总值很大程度上代表着人民生活水平的高低，也会因此成为城市人口流动的风向标	↑
区位因素	距大城市的距离	受交通，或就业成本等的影响。距离大城市的远近也是影响人口是否向其流入的一个影响因素。	↓
	距中心城市的距离	中心城市的辐射作用，会吸纳周边城市的人口流入	↓
	距离海岸线的距离	全球三分之一以上的大城市分布于沿海地区，这些城市集聚着所在国家的大部分城市人口。	↓
政治因素	城市行政等级	城市行政等级决定了该城市基础设施建设、公共服务设施等的投资强度，也由此对城市人口的流动产生较强的影响。	↑
人口因素	人口自然增长率	人口的自然增长率直接关系到一个城市人口总量的变化程度	↑
资源禀赋	土地开发强程度	城市人口的发展受到城市可开发面积的制约	↓

表 6：人口影响人口分布的要素¹⁰⁻²⁰

②建立回归方程

$$\begin{aligned}
 \text{地级行政区年人口增长率 (\%)} = & \\
 & \beta 1 \times \text{是否省会/副省级城市} \\
 & + \beta 2 \times \text{是否沿海} \\
 & + \beta 3 \times \text{距国家中心城市距离} \\
 & + \beta 4 \times \text{是否位于三大城市群} \\
 & + \beta 5 \times \text{人均地区生产总值 (元)} \\
 & + \text{人口自然增长率 (\%)}
 \end{aligned}$$

$$- \text{土地开发强度} (\%)^2 / 200$$

$$+ \beta 6$$

每一项指标的具体指标为：

$$\text{地级行政区年人口增长率} (\%) = \sqrt[10]{\frac{2017\text{年平均人口}}{2007\text{年平均人口}}} \times 1000\%$$

行政等级：β 1：是否直辖市/省会/副省级城市（是为 1，否为 0）

区位条件：β 2：是否沿海（是为 1，否为 0）

β 3：距国家中心城市距离（≤100km 为 1，≤200km 为 2……>500km 为 6）

β 4：是否位于三大城市群（距离北京、天津、上海、广州 300km 以内为是为 1，否为 0）；

$$\text{经济发展：} \beta 5: \text{人均地区生产总值(元)} = \frac{2007\text{年人均GDP} + 2017\text{年人均GDP}}{2}$$

$$\text{人口结构：自然增长率} (\%) = \frac{2006\text{年人口自然增长率} + 2016\text{年人口自然增长率}}{2}$$

资源禀赋：土地开发强度 (%) =

$$\frac{2015\text{年地级政区城市建设用地面积} + 2050\text{年地级政区城市建设用地面积}}{2 \times \text{行政区域总面积}}$$

③求解影响因子系数

我们将 2007-2017 年的 LandScan 数据进行统计与带入，求解了线性回归方程，结果如下：

模型系数	非标准化系数		标准系数 试用版	t	Sig.
	B	标准误差			
常数项	-17.751	1.515		-11.718	.000
β 1: 是否直辖市/省会/副省级城市	8.538	1.776	.238	4.808	.000
β 2: 是否沿海	3.260	1.465	.112	2.225	.027

$\beta 3$: 距国家中心城市距离	1.165	.313	.181	3.729	.000
$\beta 4$: 是否位于三大城市群	4.188	1.381	.160	3.032	.003
$\beta 5$: 人均地区生产总值	.0002	.000	.415	7.454	.000

表 7: 线性回归方程结果

④调整影响因子系数进行情景分析

在标准结果的基础上，我们调整影响因子系数进行情景分析。我们的三大情景假定为：

- 线性外推：人口按照历史规律集聚；
- 集聚发展：历史规律基础上，人口向直辖市/省会/副省级城市、沿海城市、国家中心城市附近和三大城市群集聚；
- 分散发展：历史规律基础上，人口向直辖市/省会/副省级城市、沿海城市、国家中心城市附近和三大城市群以外分散。

我们对不同情景下的回归系数进行调整进行最终的数据运算，回归系数的调整为：

	$\beta 1$ _是否直 辖市/省会/ 副省级城市	$\beta 2$ _是否 沿海	$\beta 3$ _距国家 中心城市距 离	$\beta 4$ _是否位 于三大城市 群	$\beta 5$ _人均地 区生产总值
线性外推情景	8.5	3.3	1.2	4.2	0.0002
集聚发展情景	17	6.6	2.4	8.4	0.0002
分散发展情景	0	0	0	0	0.0002

表 8: 回归系数的调整数据

⑤进行人口总量约束

经过上述计算，我们实际上获得了不同地级行政单元在全国人口中的占比。我们将获得的结果在国家层面上进行总量控制，将总量同联合国中国人口总量数据（表 5）调整一致，最终完成了地级行政区的人口总量预测。

3.3.2. 地级行政区城镇化率预测

在预测之前，我们对基本的原则进行了设定：

- 1) 2050 年城镇化率大于等于 2017 年城镇化率，即不出现逆城镇化率现象；
- 2) 2050 地级行政区农村人口在全国农村人口中的占比与 2017 尽量相同
(可以理解为，全国各个地级行政区的农地面积不变，随着农业科技发展会导致全国各个地级行政区的乡村人口等比例减少)；
- 3) 根据联合国对于中国大陆的城镇化率的预测，2050 年全国城镇化率达到 80%。

具体的预测方法为，将城镇化率数据转换为人口总量数据，从而根据上文的预测直接带入，即：

$$\begin{aligned} \text{地级行政区 2050 城镇化率} &= \\ &= 1 - \frac{\text{地级行政区2050年农村人口}}{\text{地级行政区2050年总人口}} \\ &= 1 - \frac{(1 - 2050\text{年全国城镇化率}) \times 2050\text{年地级行政区农村人口}}{2050\text{年地级行政区总人口} \times \text{全国农村人口中的占比}} \end{aligned}$$

3.3.3. 公里网格人口分布预测

在这一部分，我们的预测流程可以简要概括为两步：

计算城市扩张区域网格的人口：首先将 2017 年的人口数据外推至 2020 年，同土地数据进行匹配。我们计算出城市扩张用地的范围，并将其划分为邻近扩张土地，与跳跃式扩张土地。在此基础上，根据历史数据，进行人口分布计算。

地级人口总量和城镇化率约束下的网格人口预测结果：调整人口分布总量，使得人口总量和城镇化率同地级行政区人口预测保持一致。



图 8：公里网格人口分布预测过程示意图

①计算城市扩张区域网格的人口

我们首先对于城市扩张区域进行计算。在 ArcGIS 平台中，将 2030 年全球土地利用数据同 2020 年进行差值计算，获得十年间城市扩张区域的范围。图中的每一个网格相当于数据中的每一个像素元，精度为 30 弧分，即赤道上约 1 公里。图中的蓝色范围为城市用地，灰色范围为农村用地，红色范围为城市扩张用地。计算获得的土地数据同 LandScan 数据进行匹配，获得 2020 年人口-土地耦合数据

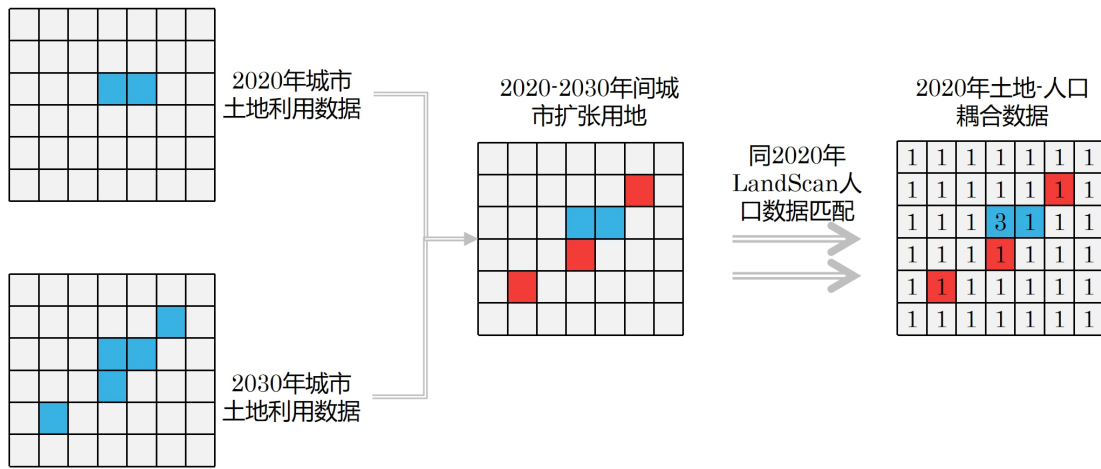


图 9：寻找城市扩张区域网格的方法示意图

我们运算方法的核心是计算红色区域中的人口。基本逻辑为，周边城市用地的现有人口的均值作为城市扩张用地的人口。我们以扩张土地 A、B 和 C 作为案例进行介绍。土地 A、B 周边存在相邻的城市用地，因此土地 A、B 未来的人口可以运用以下公式进行计算：

$$A = \frac{A+a}{2}$$

$$B = \frac{B+a+b}{3}$$

至于扩张用地 C，它属于“跳跃式扩张”，即扩张的城市用地不与现有城市用地相连。对此，我们将扩张用地 C 及其周边用地的均值作为该地的预测人口数值，可以用以下公式表示：

$$C = \frac{C+c_1+c_2+\dots+c_8}{9}$$

我们将两种不同类型扩张用地的数据进行合并，并同农村人口进行合并，获得 2030 年土地-人口耦合数据。

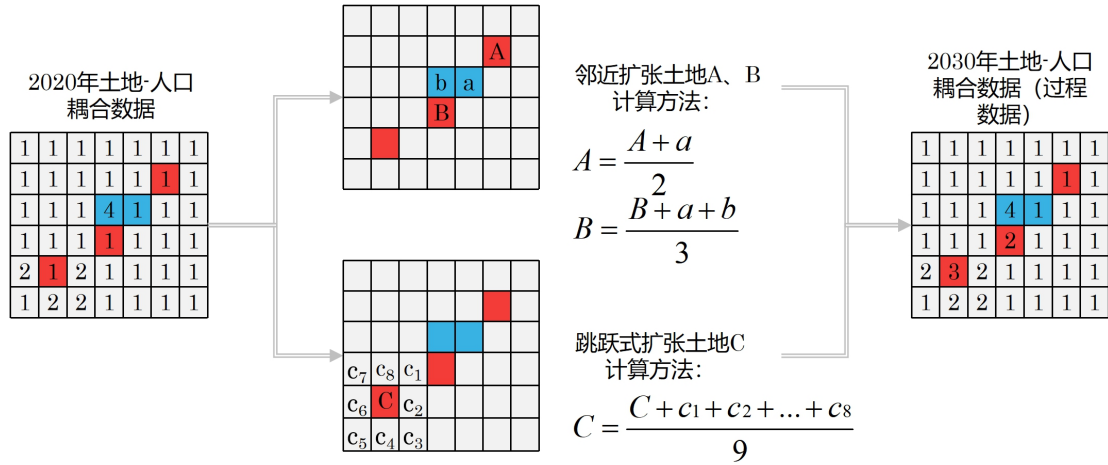


图 10：计算城市扩张区域网格的人口方法示意图

②总量约束下的空间网格人口结果

我们将 2030 年的土地-人口耦合数据继续划分为城市用地和农村用地，分别在两类用地上进行人口总量约束。城市和农村人口总量数据由预测得来的人口总量和城镇化率数据进行计算。将两类土地进行最终汇总，我们获得了 2030 年的人口分布预测结果。同时 2030 年的预测结果作为输入数据进行迭代，依次获得 2040，2050 年的预测结果。最终，我们完成了 2030，2040，2050 年的空间人口网格预测。

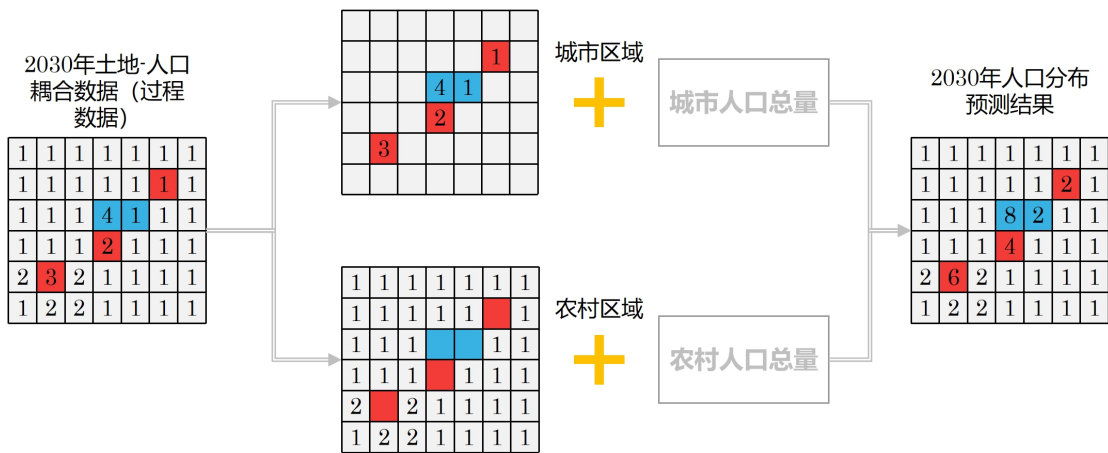


图 11：总量约束下的空间网格人口结果方法示意图

4. 主要结果

经过前文的预测分析，我们获得了最终的预测结果。我们选取了 2050 年的聚集、趋势外推、分散三种情景下的数据进行了详细的展示与分析。

4.1. 地级行政区预测结果

4.1.1. 人口总量

我们将地级行政区的人口总量预测结果进行了绘制，并将人口总量前十位、后十位的地级行政单元进行了统计。

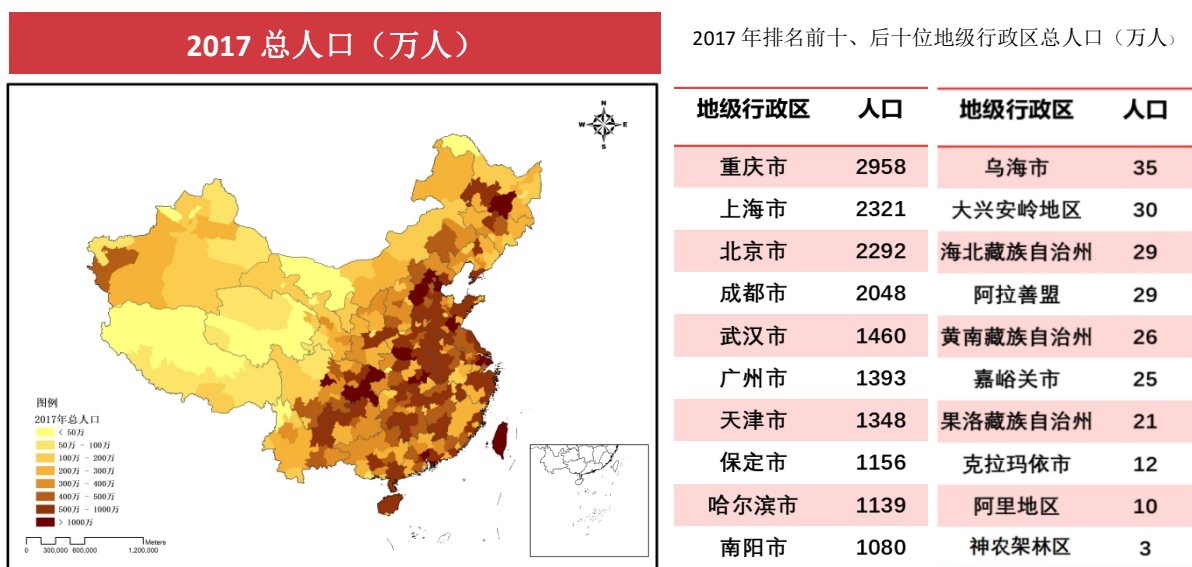
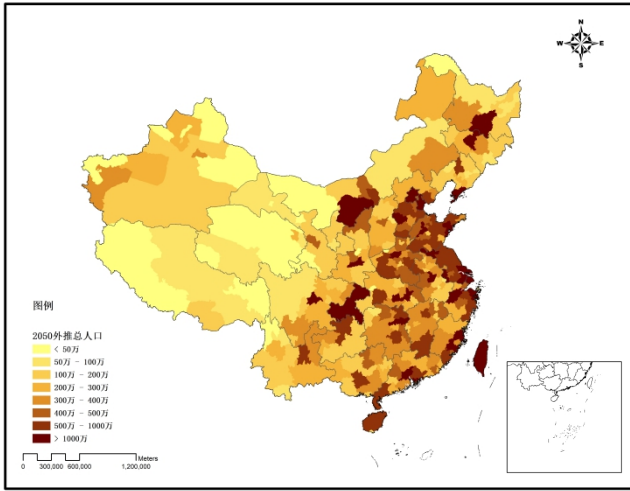


图 12：2017 年地级行政区人口分布地图

线性外推 2050 总人口 (万人)

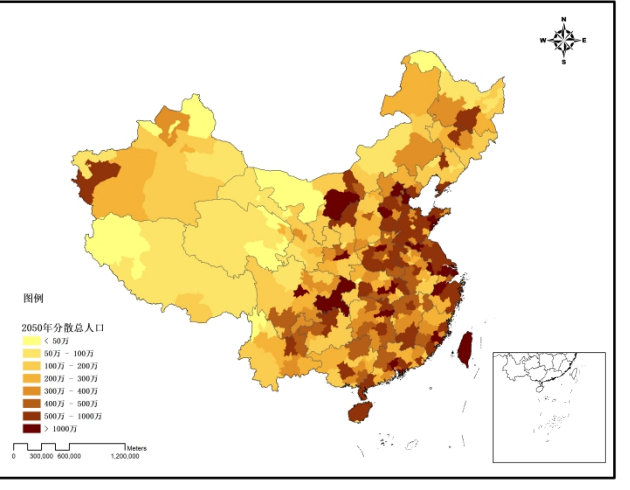


线性外推排名前十、后十位地级行政区总人口 (万人)

城市	人口	城市	人口
北京市	3768	果洛藏族自治州	29
重庆市	3377	怒江傈僳族自治州	29
武汉市	3287	博尔塔拉蒙古自治州	25
广州市	3255	黄南藏族自治州	24
深圳市	2897	克拉玛依市	22
天津市	2617	嘉峪关市	20
上海市	2553	海北藏族自治州	17
长沙市	2280	阿里地区	12
杭州市	2018	大兴安岭地区	12
成都市	1920	神农架林区	4

图 13: 线性外推 2050 年地级行政区人口分布地图

分散情景 2050 总人口 (万人)

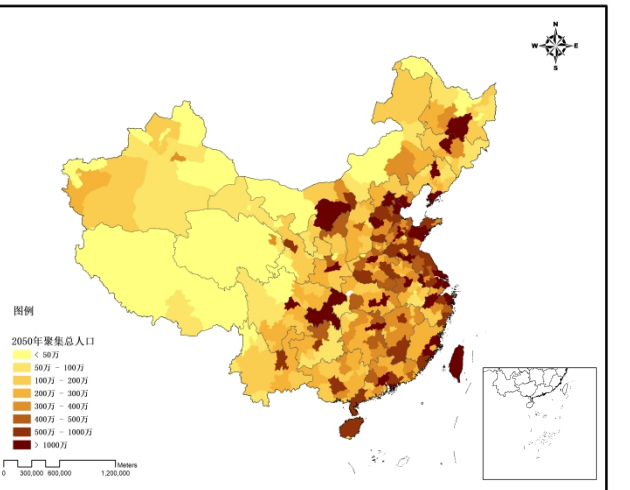


分散情景排名前十、后十位地级行政区总人口 (万人)

城市	人口	城市	人口
北京市	3246	怒江傈僳族自治州	38
重庆市	3096	金昌市	36
广州市	2813	博尔塔拉蒙古自治州	33
武汉市	2605	黄南藏族自治州	31
深圳市	2509	克拉玛依市	23
天津市	2256	海北藏族自治州	22
上海市	2100	嘉峪关市	20
鄂尔多斯市	1970	阿里地区	16
长沙市	1886	大兴安岭地区	15
苏州市	1794	神农架林区	5

图 14: 分散情景 2050 年地级行政区人口分布地图

聚集情景 2050 总人口 (万人)



聚集情景排名前十、后十位地级行政区总人口 (万人)

城市	人口	城市	人口
北京市	4257	果洛藏族自治州	22
武汉市	4027	怒江傈僳族自治州	22
广州市	3666	克拉玛依市	21
重庆市	3590	博尔塔拉蒙古自治州	19
深圳市	3257	嘉峪关市	19
上海市	3016	黄南藏族自治州	18
天津市	2955	海北藏族自治州	13
长沙市	2681	阿里地区	9
杭州市	2450	大兴安岭地区	9
成都市	2284	神农架林区	3

图 15: 聚集情景 2050 年地级行政区人口分布地图

通过对人口总量分布的观察，我们可以发现：

1) 三种预测情景下，2050 年中国地级行政区总人口比 2017 年在分布上更加集聚；

2) 三种预测情景下，华北平原和东南沿海地区、胡焕庸线以东的高行政的等级城市多将面临人口密度增长压力。

我们也将地级行政区的城镇化率预测结果进行了绘制，并同人口总量预测一样，将城镇化率前十位、后十位的地级行政单元进行了统计。

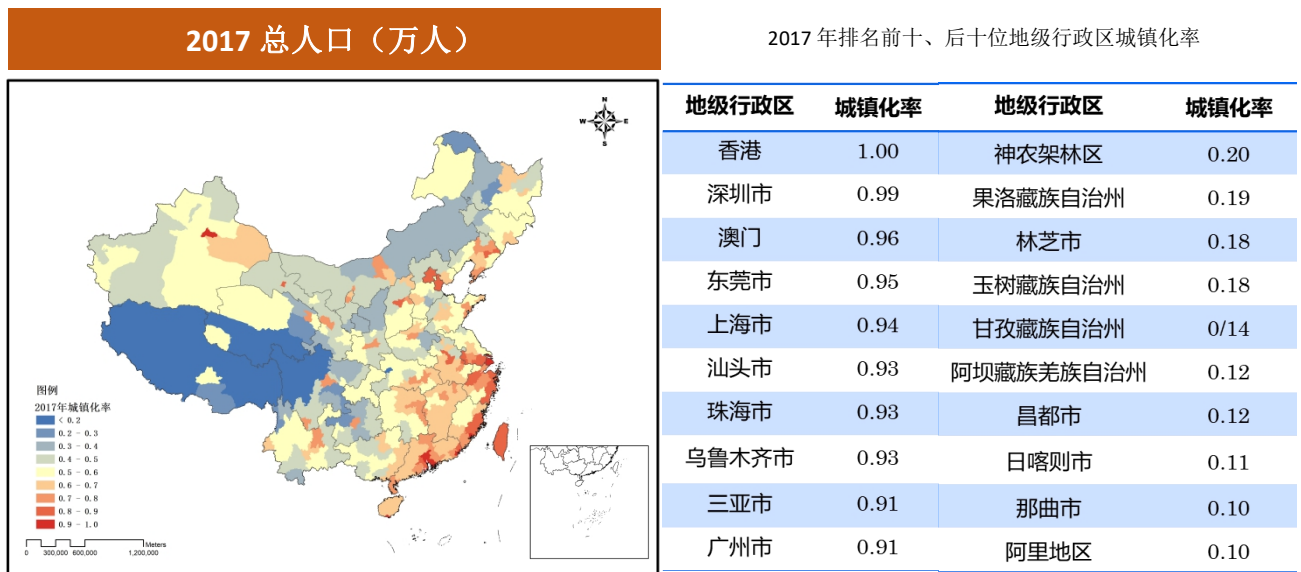


图 16：2017 年地级行政区城镇化率分布地图

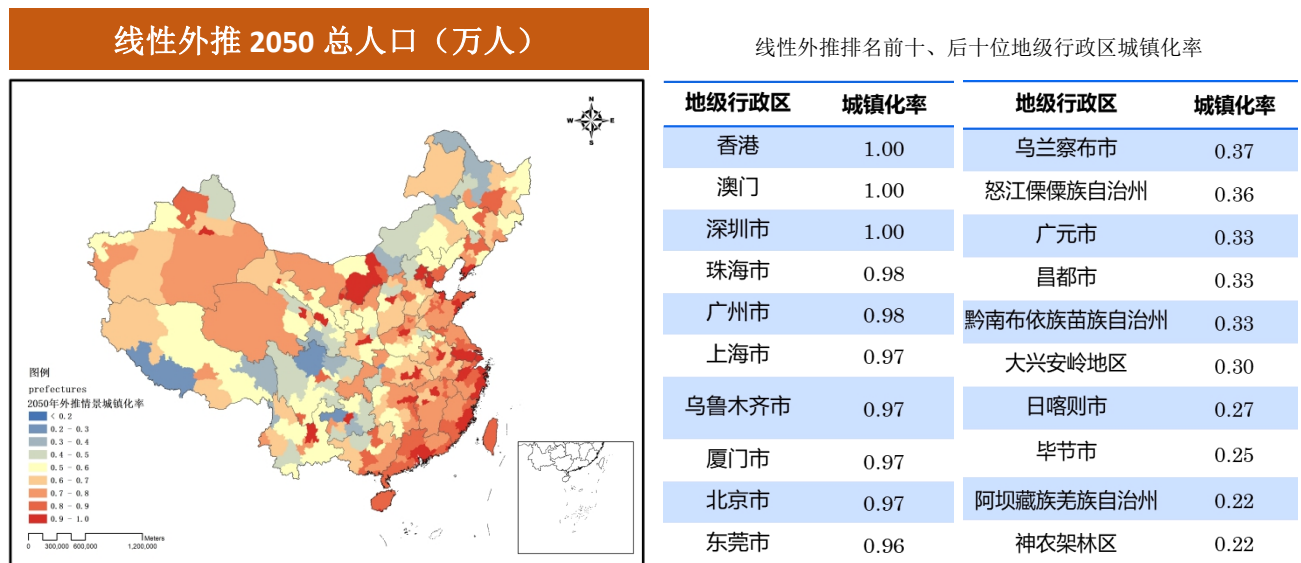
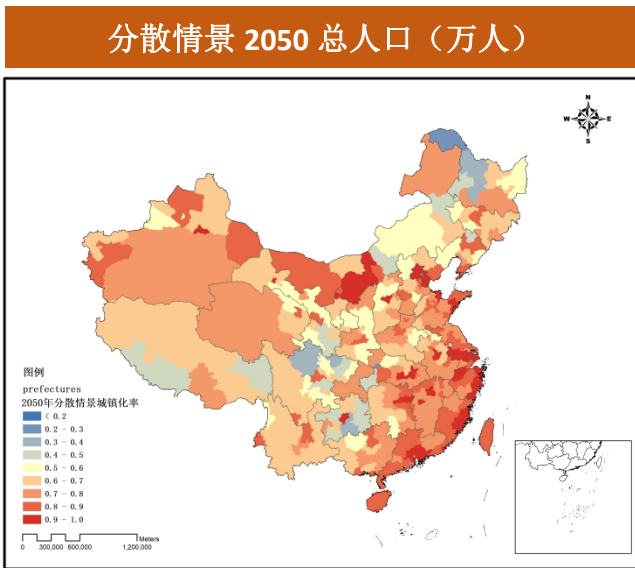


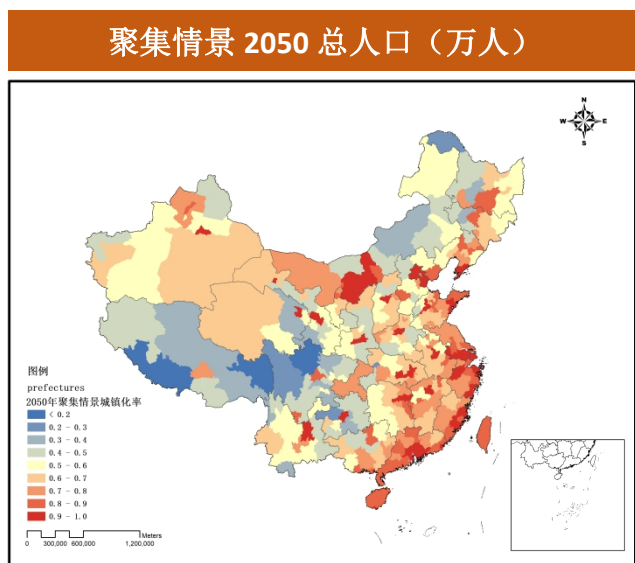
图 17：线性外推 2050 年地级行政区城镇化率分布地图



分散情景排名前十、后十位地级行政区城镇化率

地级行政区	城镇化率	地级行政区	城镇化率
香港	1.00	眉山市	0.42
澳门	1.00	毕节市	0.42
深圳市	1.00	乌兰察布市	0.40
珠海市	0.98	阿坝藏族羌族自治州	0.40
广州市	0.98	广元市	0.40
上海市	0.96	黑河市	0.38
乌鲁木齐市	0.96	绥化市	0.38
鄂尔多斯市	0.96	黔南布依族苗族自治州	0.36
厦门市	0.96	大兴安岭地区	0.27
北京市	0.96	神农架林区	0.27

图 18: 分散情景 2050 年地级行政区城镇化率分布地图



聚集情景排名前十、后十位地级行政区城镇化率

地级行政区	城镇化率	地级行政区	城镇化率
香港	1.00	广元市	0.32
澳门	1.00	怒江傣族苗族自治州	0.32
深圳市	1.00	绥化市	0.31
珠海市	0.98	毕节市	0.28
广州市	0.98	大兴安岭地区	0.27
上海市	0.97	甘孜藏族自治州	0.26
乌鲁木齐市	0.97	神农架林区	0.26
厦门市	0.97	阿坝藏族羌族自治州	0.17
北京市	0.97	日喀则市	0.14
南京市	0.96	昌都市	0.12

图 18: 聚集情景 2050 年地级行政区城镇化率分布地图

对城镇化率的结果进行总结分析, 我们发现:

- 1) 2050 年中国西北、中部地区的城镇化率都将比 2017 年显著提高;
- 2) 分散发展情景下, 2050 年中国东北、西南地区少量地级行政区城镇化率较低, 除此之外, 全国地级行政区城镇化率均比 2017 年有明显提高;
- 3) 线性外推情景下, 2050 年中国东北、西南地区城镇化率较低, 东部、西北部地区城镇化率比 2017 年有明显提高;
- 4) 集聚发展情景下, 2050 年中国西部地区城镇化率较低, 东部、中部地区城镇化率比 2017 年有明显提高。

4.2. 空间人口网格预测结果

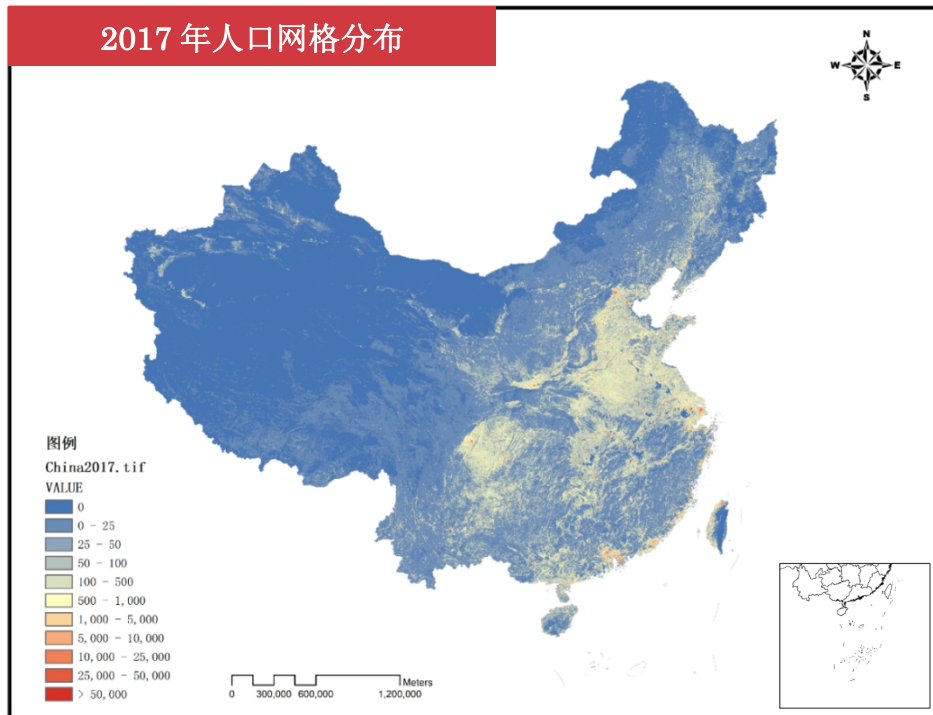


图 19: 2017 年人口网格分布地图

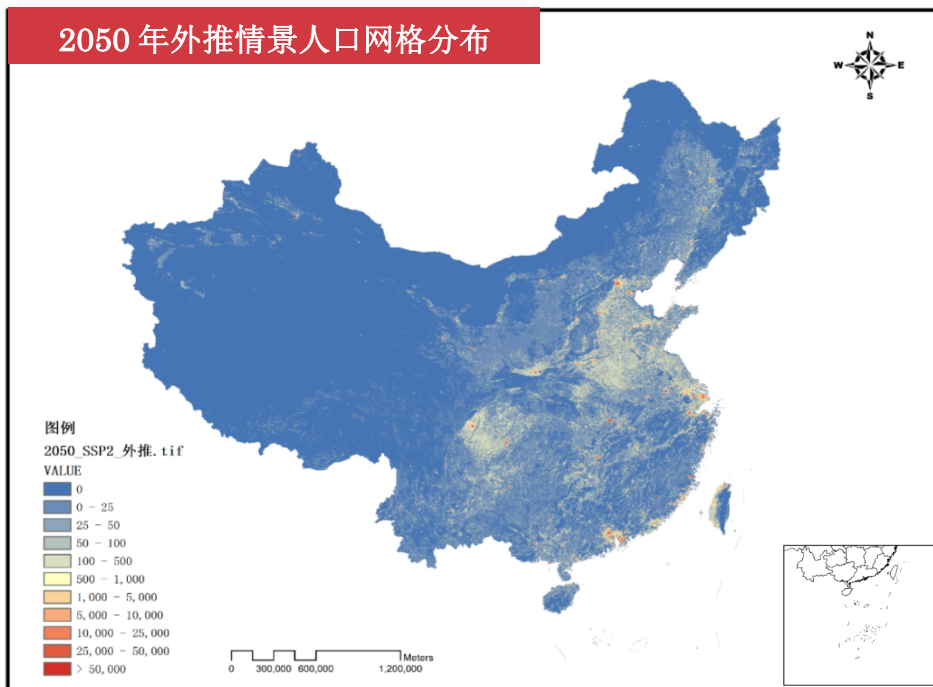


图 20: 2050 年外推情景人口网格分布地图

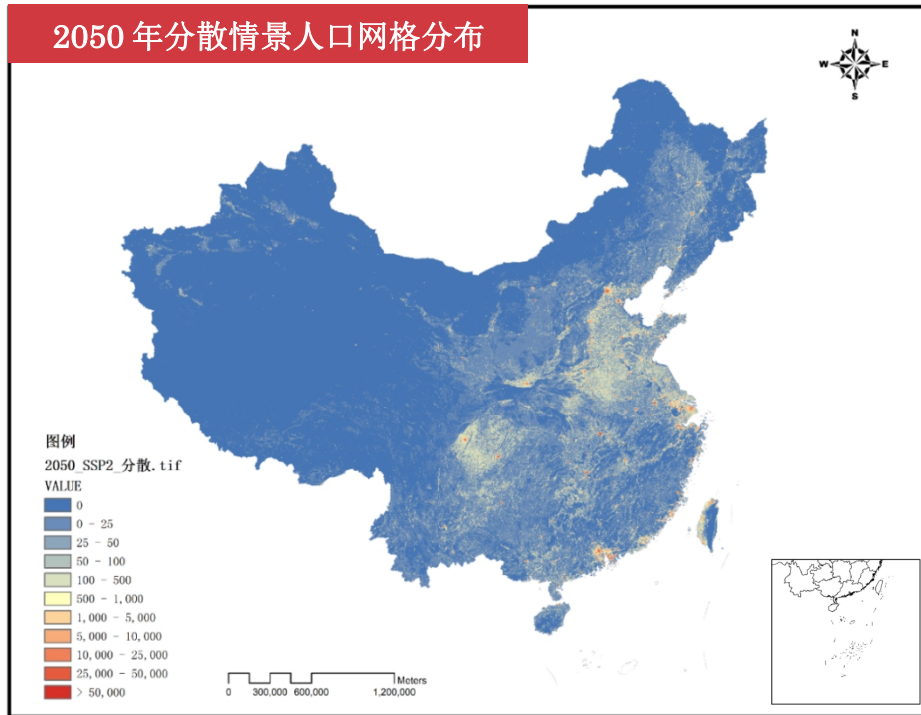


图 21: 2050 年分散情景人口网格分布地图

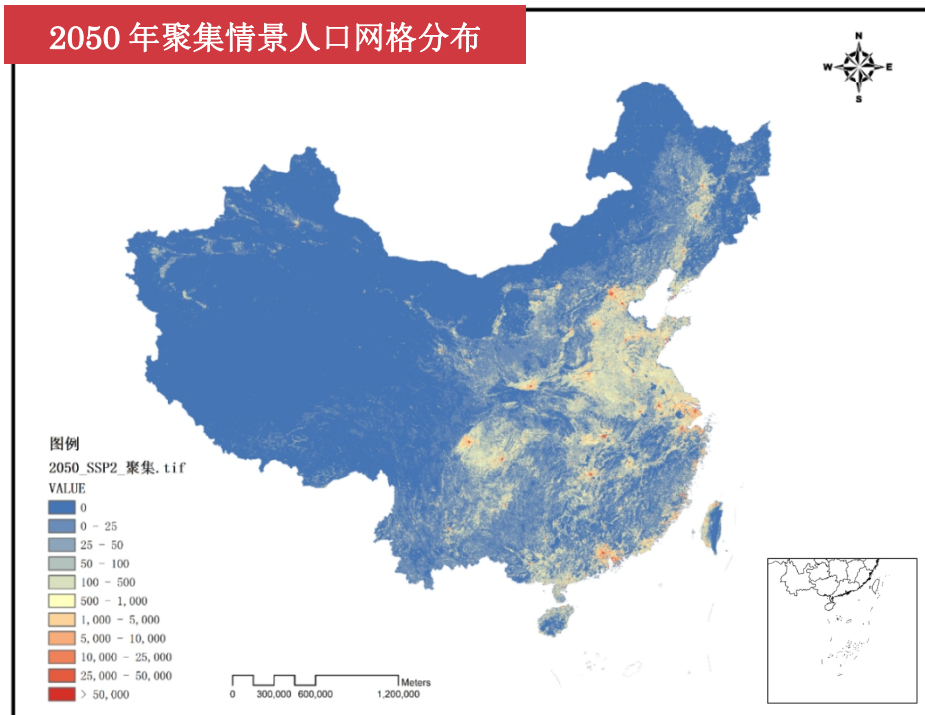


图 22: 2050 年聚集情景人口网格分布地图

我们对预测结果以及 2017 年的现状人口数据进行了展示,并对比三种情景的结果。我们的结论可以总结为:线性外推情景、分散发展情景人口向城镇集中;聚集情景人口会向东部、中部地区的城乡集中。

我们也选取了几个代表城市进行详细的数据展示与分析:

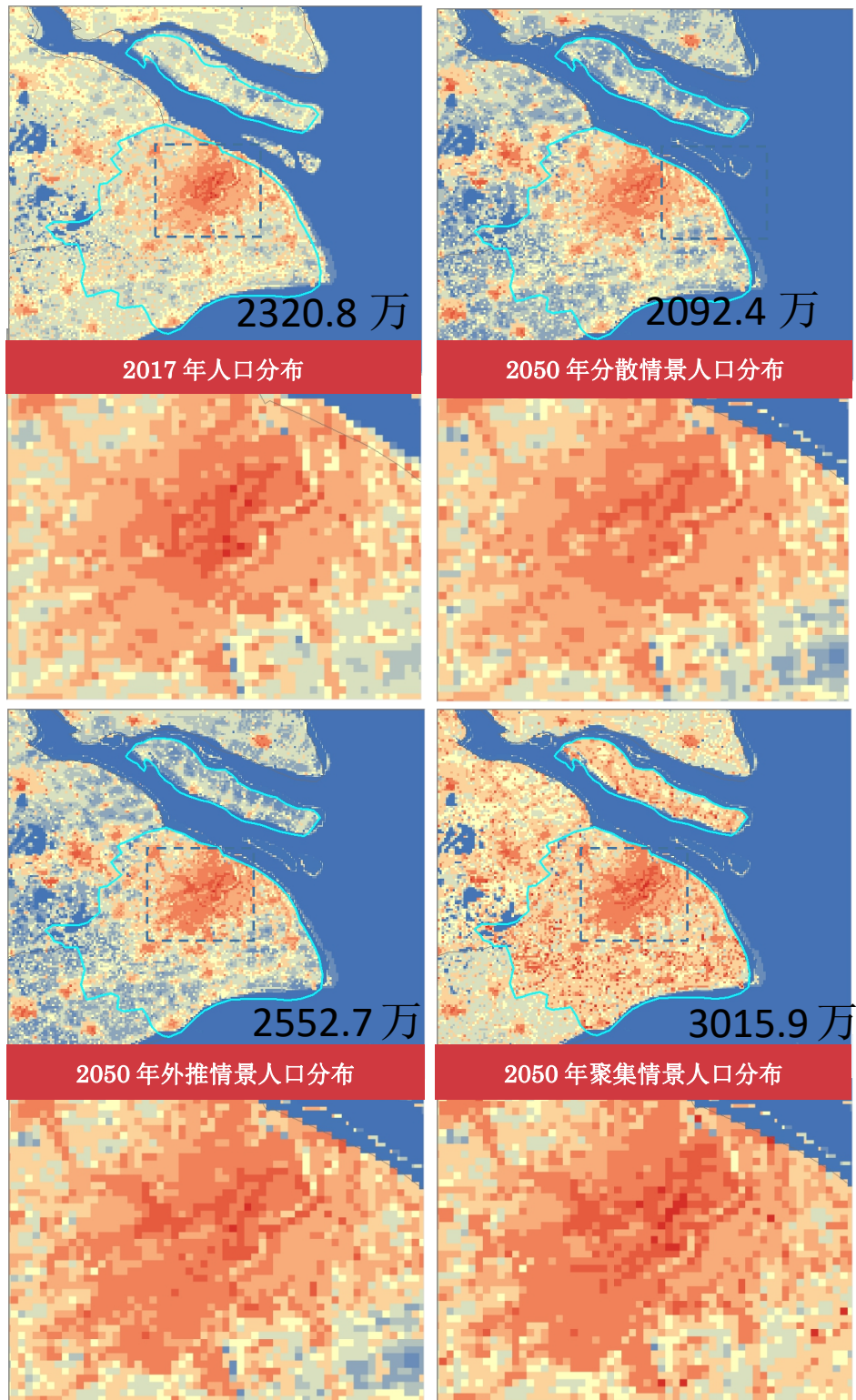


图 23：全国人口空间分布网格预测结果-上海市

上海市的结果显示，市域人口：城镇人口在分散情景与 2017 相似，外推、集聚情景比 2017 略增加；

市区人口：分散情景比 2017 减少，外推、集聚情景比 2017 有不同程度增加。

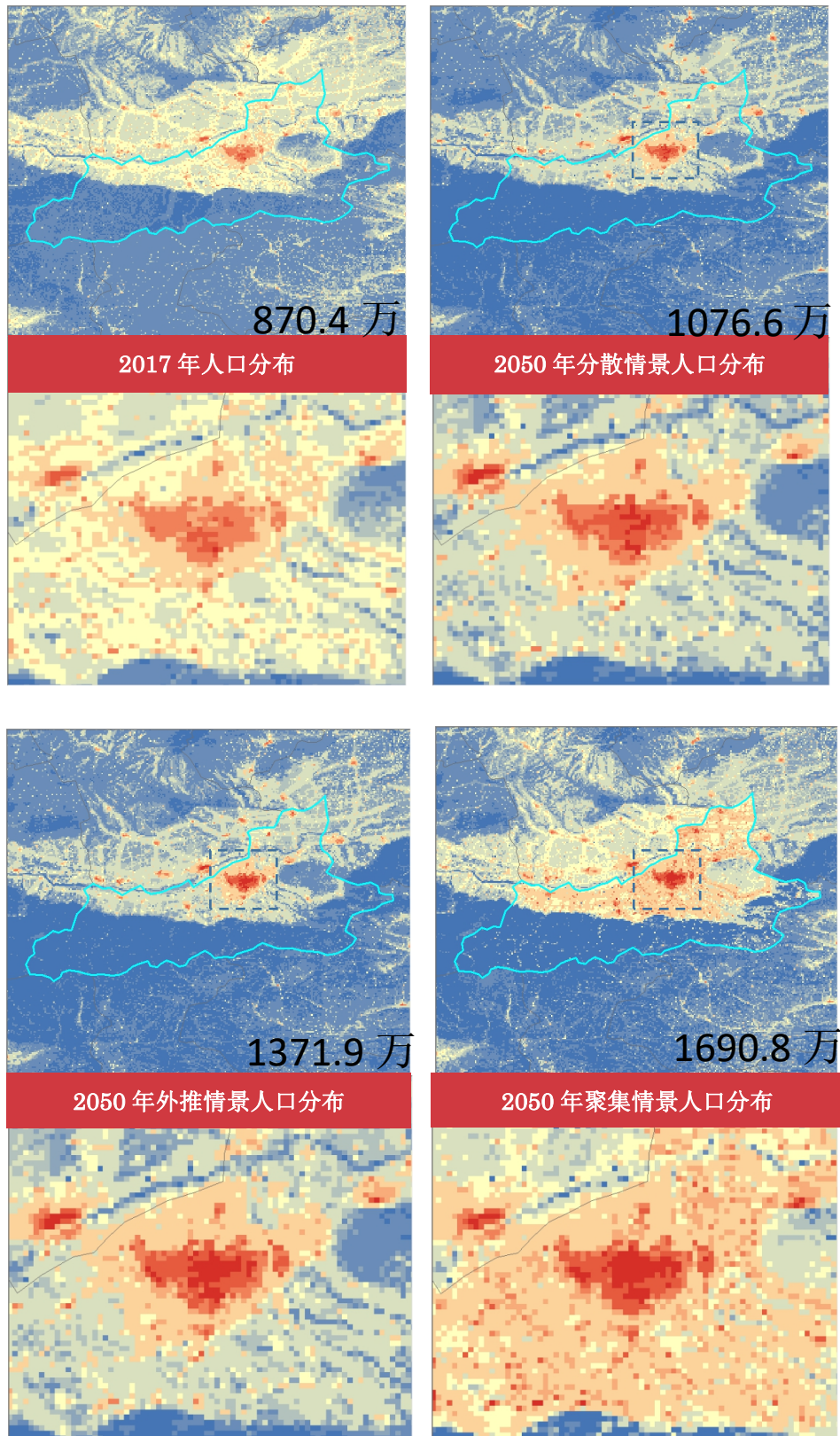


图 24：全国人口空间分布网格预测结果-西安市

西安市的结果显示，市域人口：农村人口在分散、外推情景比 2017 减少，集聚情景比 2017 增加；城镇人口均比 2017 增加；

市区人口：分散、外推和集聚情景均比 2017 增加，增加的程度依次递增。

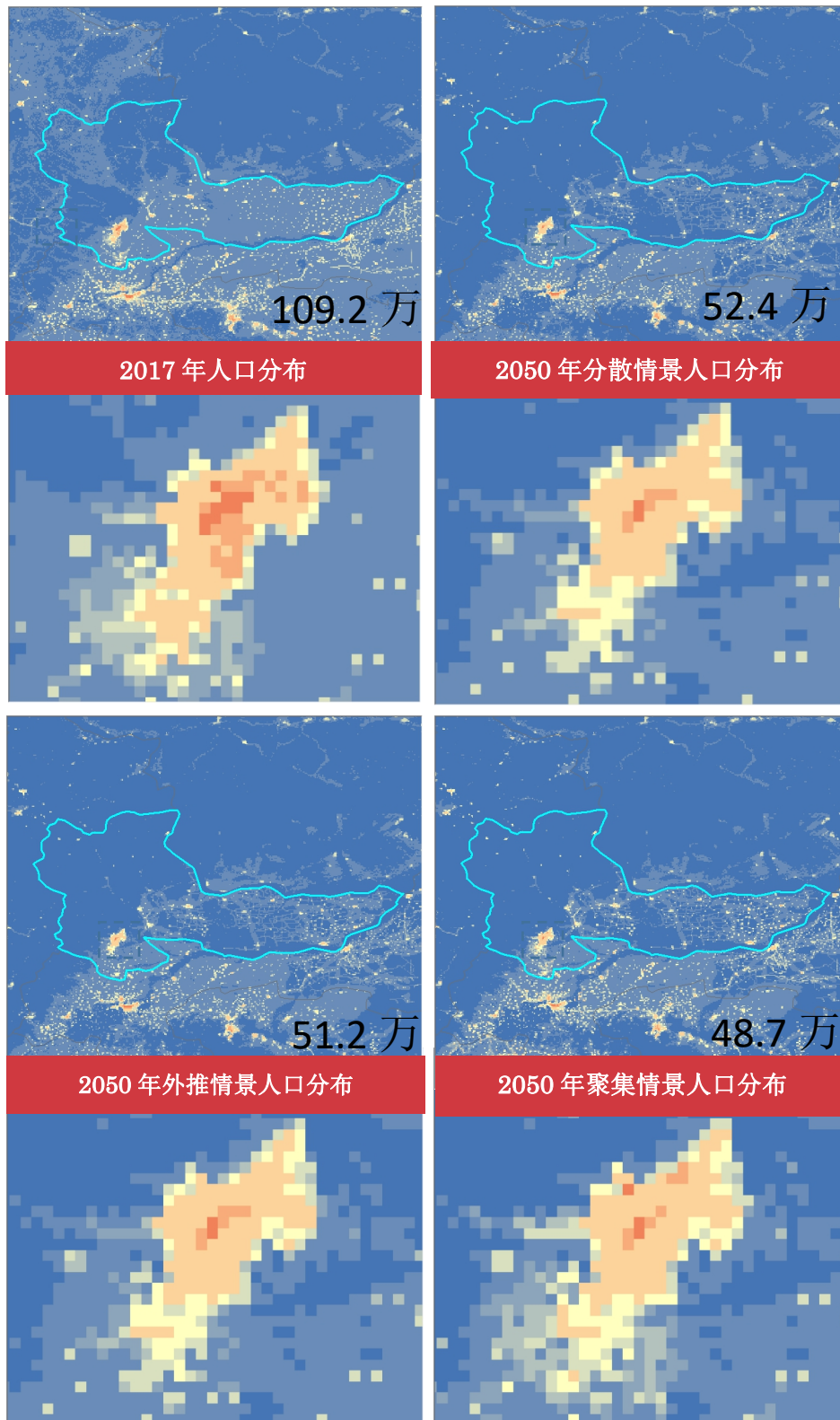


图 25：全国人口空间分布网格预测结果-鹤岗市

鹤岗市的结果显示，市域人口：农村、城镇人口在分散、外推、集聚情景均比 2017 减少；

市区人口：分散、外推和集聚情景均比 2017 减少。

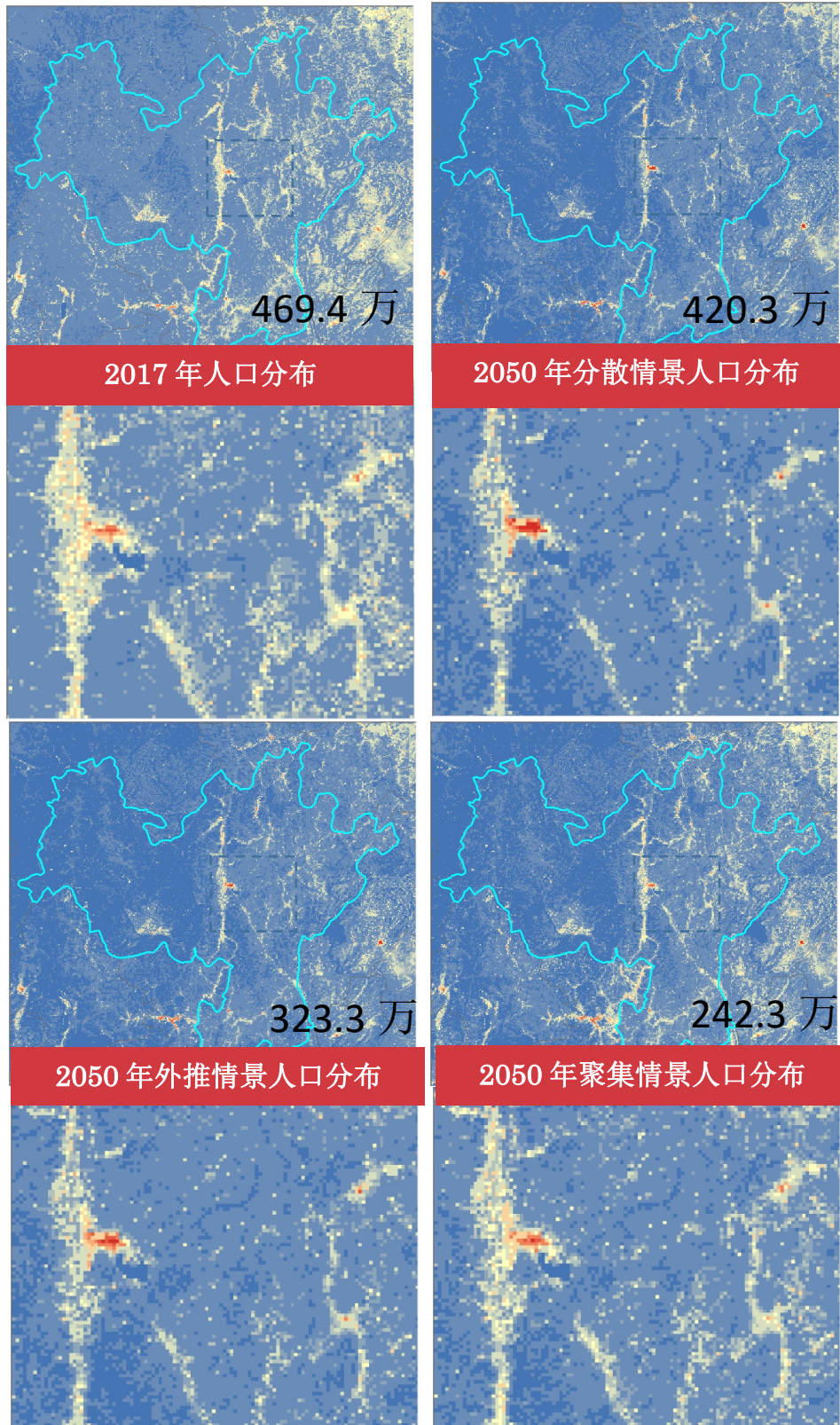


图 26：全国人口空间分布网格预测结果-凉山彝族自治州

凉山彝族自治州的结果显示，州域人口：农村人口在分散、外推、集聚情景均比 2017 减少；城镇人口与 2017 相似；

市区人口：分散、外推和集聚情景均比 2017 增加，增加的程度依次递减。

最后，我们的对人口的预测结论进行了总结：

地级行政区总人口变化趋势： 2050 年中国地级行政区总人口比 2017 年在分布上更加集聚，华北平原、东南沿海地区存在人口密度增长压力；北京将是 2050 年人口总量最多的地级行政区。

地级行政区城镇化率变化趋势： 2050 年中国西北、中部地区的城镇化率都将比 2017 年显著提高；香港、澳门、深圳的城镇化率或将达到 100%。

全国人口空间分布变化趋势： 线性外推情景、分散发展情景人口向城镇集中，聚集情景人口会向东部、中部地区的城乡集中。

不同城市的人口分布变化趋势可以概括为：

①高行政等级的、经济发达的、位于东部沿海或国家中心城市附近的地级行政区：

A、市区人口和城镇人口，在外推、集聚情境下有不同程度的增加，分散情境市区人口甚至可能有所减少；

B、农村人口在外推、集聚情景下有所减少，分散情景将有所增加。

②低行政等级的、经济不发达的、位于中西部和东北地区或远离国家中心城市的地级行政区：

A、市区人口在分散、外推、集聚情境下，可能有所增加，也可能有所减少；

B、农村人口和城镇人口有不同程度地减少。

参考文献

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019: Data Booklet (ST/ESA/SER. A/424). 2019
2. United Nations. 2018 revision of world urbanization prospects. 2018.
3. Bengtsson M, Shen Y, Oki T. A SRES-based gridded global population dataset for 1990 – 2100[J]. *Population and Environment*, 2006, 28(2): 113-131.
4. O' Neill B C, Kriegler E, Riahi K, et al. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways[J]. *Climatic change*, 2014, 122(3): 387-400.
5. Boke-Olén N, Abdi A M, Hall O, et al. High-resolution African population projections from radiative forcing and socio-economic models, 2000 to 2100[J]. *Scientific data*, 2017, 4(1): 1-9.
6. Chen Y, Guo F, Wang J, et al. Provincial and gridded population projection for China under shared socioeconomic pathways from 2010 to 2100[J]. *Scientific data*, 2020, 7(1): 1-13.
7. Chen Y, Li X, Huang K, et al. High - resolution gridded population projections for China under the Shared Socioeconomic Pathways[J]. *Earth's Future*, e2020EF001491.
8. Hauer M E. Population projections for US counties by age, sex, and race controlled to shared socioeconomic pathway[J]. *Scientific data*, 2019, 6: 190005.
9. Chen G, Li X, Liu X, et al. Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways[J]. *Nature communications*, 2020, 11(1): 1-12.
10. Baum-Snow N. Did highways cause suburbanization?[J]. *The quarterly journal of economics*, 2007, 122(2): 775-805.
11. Liu X, Hu G, Chen Y, et al. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform[J]. *Remote sensing of environment*, 2018, 209: 227-239.

12. Baum-Snow N. Changes in transportation infrastructure and commuting patterns in US metropolitan areas, 1960-2000[J]. *American Economic Review*, 2010, 100(2): 378-82.
13. Bhatta S D, Drennan M P. The economic benefits of public investment in transportation: A review of recent literature[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2003, 22(3): 288-296.
14. Boarnet M G. Highways and economic productivity: Interpreting recent evidence[J]. *Journal of Planning Literature*, 1997, 11(4): 476-486.
15. Chi G. The impacts of highway expansion on population change: an integrated spatial approach[J]. *Rural Sociology*, 2010, 75(1): 58-89.
16. Chi G, Parisi D. Highway expansion effects on urban racial redistribution in the post — civil rights period[J]. *Public Works Management & Policy*, 2011, 16(1): 40-58.
17. Cervero R. Road expansion, urban growth, and induced travel: A path analysis[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2003, 69(2): 145-163.
18. Rasker R, Gude P H, Gude J A, et al. The economic importance of air travel in high-amenity rural areas[J]. *Journal of rural studies*, 2009, 25(3): 343-353.
19. Chi G. Land developability: Developing an index of land use and development for population research[J]. *Journal of Maps*, 2010, 6(1): 609-617.
20. Wu J J. Economic fundamentals and urban – suburban disparities[J]. *Journal of Regional Science*, 2010, 50(2): 570-591.