



国土空间用地结构
对大气污染物与碳排放的影响研究
Study on the Influence of Land Use Structure on
Air Pollutants and Carbon Emissions

宇恒可持续交通研究中心

中国国土勘测规划院

生态环境部环境规划院

2021.2.27

Sustainable Transportation Research Center
China Land Surveying and Planning Institute
Chinese Academy of Environmental Planning
February 27, 2021

目 录

执行摘要	1
一、 研究背景与目标	6
1. 项目研究背景.....	6
二、 研究目标、内容和技术路线	12
1. 研究目标和内容	12
2. 研究思路.....	12
3. 研究范围.....	13
三、 数据获取与采集	14
1. 全国国土空间用地结构	14
2. 全国大气污染物和二氧化碳排放网格清单.....	15
3. 工业用地数据 POI (Point of Interest)	21
四、 建设用地与排放特征	26
1. 全国层面概况.....	26
2. 分区层面.....	29
3. 城市群层面	31
4. 城市层面.....	35
5. 网格层面.....	36
五、“用地—污染物”耦合模型的建立与相关性分析	39
1. 主要城市建设用地碳排放与 GDP 的关系	39
2. 建设用地面积与碳排放的双对数耦合模型.....	40
3. 细分行业用地面积与污染物排放耦合模型.....	47
4. 碳排放情景预测	54
六、 结论和建议	59
1. 结论	59
2. 建议.....	60
七、 附录	62
1. 非负约束最小二乘耦合模型	62
2. 非负最小二乘耦合结果	67
3. 各省工业用地与污染物排放/浓度分布	99

执行摘要

应对气候变化，力争在 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和是响应习近平主席在第七十五届联合国大会上的承诺，实现我国新时期高质量发展的重要议题。国土空间结构与碳排放紧密相关，用地是城乡各项人类活动的空间载体，用地结构通过影响能耗活动水平进而对碳排放产生重要影响。本研究通过建立国土空间用地结构与碳排放的关系模型，探讨如何通过国土空间结构优化支持碳达峰、碳中和目标的实现，进而为相关政策和规划的制定，以及实施效果的评估提供理论支持。

研究思路 and 基础数据：

项目首次开展全国尺度¹的国土空间和碳排放关联影响的实证研究，在全国国土空间用地结构分析和二氧化碳排放网格清单研究的基础上，建立全国国土空间用地结构数据和二氧化碳排放的关联框架，并对国土空间用地特征和排放特征进行描述和关联分析，建立用地结构—碳排放的回归模型，为用地和排放关系的政策情景分析应用提供支撑。

使用的基础数据包括：

- 1.2009—2018 年全国国土用地结构数据，部分数据精度达到 1km 精度；
- 2.2015 年全国范围 10km×10km 精度网格二氧化碳清单数据；
- 3.基于生态环境部企业许可证数据库的规上污染企业清单数据；
- 4.近 10 万工业 POI 人口训练转化 AOI+智慧工业用地识别。

¹ 受数据限制，本研究中的全国指除港澳台之外的大陆地区。

基本结论：

一、从全国分区域碳排放来看，东部地区排放总量最高，达 42.3 万吨，约占全国总排放的 39%；西部地区排放量 27.7 万吨，占比 25%；中部地区排放量 25.6 万吨，占比 24%；东北地区排放量最小，为 13.2 万吨，占比 12%。

二、从省级碳排放来看，排放总量差异显著。山东、内蒙古、江苏、河北、山西、河南、广东、辽宁、安徽和浙江的碳排放量居于全国前十名，排放总量占全国总排放的 59%。

三、从城市群碳排放来看，城市群的经济发展相对更加低碳。五大城市群 GDP 占全国 50% 左右，碳排放占全国的 33%。其中，珠三角城市群单位碳排放的 GDP 最高，经济发展相对更低碳。长三角城市群 GDP 占全国的 19%，碳排放占全国的 12.2%；京津冀城市群 GDP 占全国的 9%，碳排放占全国的 7.4%；长江中游城市群 GDP 占全国的 9%，碳排放占全国的 6.2%；珠三角城市群 GDP 占全国的 7%，碳排放占全国的 3.0%；成渝城市群 GDP 占全国的 6%，碳排放占全国的 4.5%。

四、从不同城市的碳排放来看，我国大部分城市仍处于土地 GDP 产出不高，碳排放强度较大的粗放发展阶段。在单位土地 GDP 产出相似的情况下，不同城市土地碳排放强度有较大差异，深圳、东莞等城市表现突出，实现了土地利用的高 GDP 产出和低 CO₂ 排放，是其他城市学习的榜样。但大部分城市还处于土地 GDP 产出低，土地碳排放强度大的状况，说明城市层面通过用地控制碳排放强度潜力较大。

五、城镇地区的空间结构优化是实现碳达峰和碳中和的重中之重。城市和建制镇用地（简称城镇用地）占国土总面积的 1%，但碳排放约占全国总排放的近 90%。这近 90% 的碳排放中，工业用地（城镇用地的约 17%）的碳排放和非工业用地的碳排放约各占一半。

六、从全国及各省份的工业产业用地与碳排放的空间分布来看，二者相关性很强。通过细分行业类型用地和碳排放的耦合模型结果来看，水电气等基础能源

和市政供应用地的碳排放强度最大，工业用地次之，城镇非工业生活生产用地再次之。工业用地中，石油、化工、金属、非金属等重工业用地的碳排放强度较高，应严格控制新增。

七、控制新增建设用地面积是控制碳排放增长的重要抓手。建设用地（包括城镇村矿及交通过地）推动碳排放呈指数级增长。全国的历史数据回归结果表明，建设用地面积每增加 1 倍，碳排放约增加 1.7 倍。

八、从分省来看，各省空间用地结构不同，技术发展水平不同，造成碳排放随建设用地增加的幅度差异显著。当建设用地面积增加一倍时，海南省的碳排放增加 1.36 倍，山东省的碳排放增加 2.78 倍。增幅最大的 10 个省份是青海、西藏、贵州、山东、山西、吉林、河南、辽宁、福建、宁夏，增幅最小的 10 个省份是内蒙古、四川、海南、安徽、北京、湖北、湖南、云南、甘肃、黑龙江。

九、现有用地体系的“存量提质”非常重要。同一行业用地在不同区域的碳排放强度数值也有较大差别，如果各行业用地都达到国内先进省的平均水平，可以减少目前碳排放的一半左右。选取各区域用地结构相近的网格单元进行分析，发现东部区域的碳排放明显低于其他区域，反映了技术和管理因素对碳排放的影响。对比各省份同一行业用地的碳排放强度，发现数值差别较大，有时可达几倍。对各行业选取碳排放强度较小省份的数值作为行业标杆，如果全国都达到行业标杆值，碳排放总量可降低一半左右，其中城镇非工业用地减排潜力大，可达此类减排的 46%；其次为化工（14%）、电力热力（12%）、非金属矿物制品（12%）、黑色金属（6%）等行业。对于这些行业，结合产能过剩调整，应该在未来土地供给和功能调整中予以重点控制（如附图 5）。

十、按照现有国有空间结构继续发展，不采取任何控制措施的情况下，碳排放将持续增长。2030 年碳排放预测结果表明，如果建设用地按照过去十年年均约 60 万公顷的速度继续增长，且不采取用地结构调整、碳排放强度约束等措施，那么二氧化碳排放量将持续增长，预计 2030 年相比 2020 年增加 16%。

十一、通过国土空间规划体系进行碳排放控制高效可行，可以在近期实现达峰，远期支持碳中和的目标达成。设定五种情景，得到不同情景下的碳排放模拟

值。2030 年预测结果显示，在没有考虑碳汇和碳捕集的情况下，通过用地供应控制、用地结构调整、用地强度约束，以及现存用地的功能调整，仍然可以在 2030 年实现国家碳达峰的目标，对比无控情景减排 14%。

BAU 情景（无控情景）：与过去十年类似，建设用地每年新增约 60 万公顷，且不进行结构调整或排放强度控制。

控制情景 1：建设用地每年新增缩减为 21 万公顷，但不进行结构调整或排放强度控制。

控制情景 2：在控制情景 1 的基础上，调整用地结构，减少或取消产能过剩行业的新增用地。

控制情景 3：在控制情景 2 的基础上，降低新增建设用地中不同行业的碳排放强度，使其五年内逐年降低至行业标杆值。

控制情景 4：在控制情景 3 的基础上，控制既往用地碳排放，使碳排放强度逐年降低 0.2%。

主要政策建议：

一、加强基于碳排放的国土空间管控，对于碳排放总量已经较大、发展相对粗放、建设用地碳排放强度较高的区域和省市，严格控制土地供应，特别是高耗能高污染的土地供应。

二、新一轮国土空间规划应在管控土地功能性质的基础上，严格控制建设用地的无序盲目扩张，优化国土空间用地结构和布局，引导产业用地结构调整，推进清洁、高附加值的产业升级，部分地区严控高耗能高污染工业用地供应，并进一步提出土地碳排放强度的控制约束要求。

三、在新的国土空间规划管理体系中，应结合碳达峰和碳中和的要求，在各级国土空间总体规划中明确提出土地供应规模、结构调整要求，探索建立用地碳排放强度标准，提高新增建设开发准入门槛。

四、在国土空间规划的编制中引入气候变化和环境容量约束，进行专门论述和评估，并作为规划依据：

1.通过国土空间规划和土地供应引导产业用地结构调整，推进清洁、高附加值的产业升级，部分地区严控高能耗高污染工业用地供应。

2.在用地结构约束的基础上，提出土地碳排放强度的控制约束要求。

3.国家、省市级国土空间规划必须进行碳排放影响评价，并与省市碳达峰目标和 2060 年碳中和远景目标进行协同。

4.在对国土空间和城区建设用地空间自然禀赋进行研究的基础上，制定能源供需平衡策略，最大限度引入分布式可再生能源。

五、在国土空间规划“双评价”“双评估”体系中纳入碳排放及容量的实施评估和监测指标体系，引导高能耗高污染行业土地腾退与减量化。构建国土空间使用与碳排放相关关系模型体系，评估国土空间利用发展与碳中和发展情景的协同关系，保证碳中和情景的实现。

六、国土空间用地结构调整及布局优化与碳汇生态系统协同，设定全国碳汇容量目标，逐步增加吸储碳能力，确定重点碳汇区域和保护推进政策。国土空间规划引导城市集约低碳发展模式。创建高效集约、低碳宜居的城市空间体系。引导绿色出行，引导居民行为向绿色低碳方向转化。

七、以国土空间规划“一张图”为基础，整合发改委、生态环境部等相关部门管控要求，实现多数据源联动下的碳排放空间精准。

一、研究背景与目标

1. 项目研究背景

应对气候变化和防治大气污染是我国新时期高质量发展的重要议题

伴随中国城镇化和社会经济的持续高速发展，大气污染等生态环境问题与人民追求美好生活愿望的矛盾愈发突出。党的十九大报告要求“坚持全民共治、源头防治，持续实施大气污染防治行动，打赢蓝天保卫战”，凸显了改善空气质量对建设生态文明、实现美丽中国的重要性，也充分表明了实现空气质量达标并大幅改善的决心。与此同时，全球各国政府对气候变化的担忧不断加剧。

2020年9月，习近平主席在联合国大会一般性辩论中提出，“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，努力争取2060年前实现碳中和。”2020年12月12日，国家主席习近平在气候雄心峰会上通过视频发表题为《继往开来，开启全球应对气候变化新征程》的重要讲话，宣布中国国家自主贡献一系列新举措，提出“到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右……风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。”

“十三五”期间，我国明确提出要“加强碳排放和大气污染物排放的协同治理，实施多污染物协同控制，提高治理措施的针对性和有效性”。2018年国务院发布的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号）明确提出2020年的目标，要“大幅减少主要大气污染物排放总量，协同减少温室气体排放”。

在2021年3月公布的《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中提出，“十四五”时期我国“单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低13.5%、18%，主要污染物排放总量持续减少，森林覆盖率提高到24.1%，生态环境持续改善”，并将2030年实现碳达峰和2060年实现碳中和列入远景目标当中。

自然资源部是我国用地管理的主要职能部门，其组建是中央推进我国用地及国土空间规划改革、加强生态文明建设的重要举措。2018年，自然资源部在国务院机构改革背景下成立，负责履行全民所有土地、矿产、森林、草原、湿地、水、海洋等自然资源资产所有者职责和所有国土空间用途管制职责，以及自然资源调查监测评价、统一确权登记、自然资源资产有偿使用、自然资源合理开发利用等多项重要工作。2019年5月，中共中央、国务院印发《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》，明确到2020年，基本建立国土空间规划体系，逐步建立“多规合一”的规划编制审批体系、实施监督体系、法规政策体系和技术标准体系，将国民经济和社会发展规划、城乡规划、土地利用规划、生态环境保护规划等多个规划融合到一个区域上。国土空间规划的“双评价”，即资源环境承载能力和国土空间开发适宜性是国土空间规划的基本依据，减少大气污染物和温室气体排放成为国土空间规划的重要考量因素。

国家要求通过优化用地结构推进面源污染治理

用地是城乡各项人类活动的空间载体，用地结构通过影响能耗活动水平进而对碳排放和大气污染物排放产生重要影响。

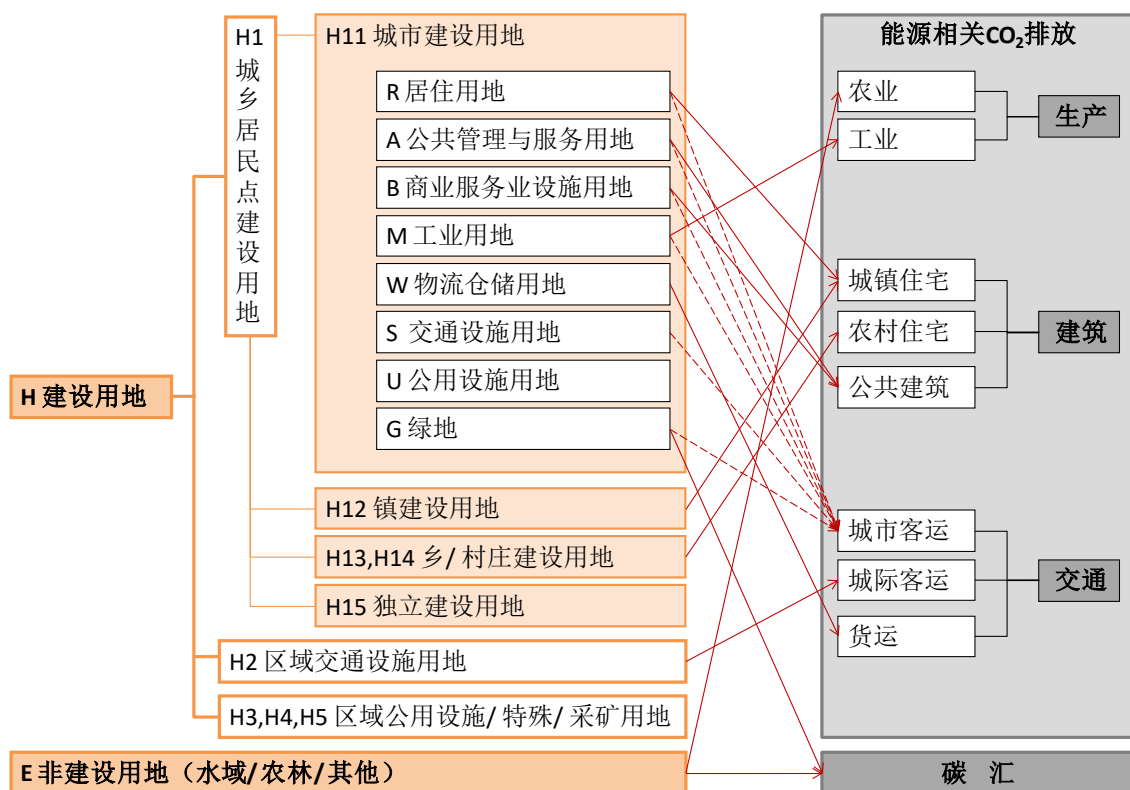


图 1-1 “土地利用—碳排放”关联逻辑框架

在国家层面，国务院《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（国发〔2018〕22号）明确提出“**优化调整用地结构**，推进面源污染治理”，包括实施防风固沙绿化工程、推进露天矿山综合整治、加强扬尘综合治理、加强秸秆综合利用和氨排放控制、控制农业源氨排放等重点举措。

城市层面，如北京市政府在发布的《北京市打赢蓝天保卫战三年行动计划》中，也提出要“**优化调整运输结构、产业结构、能源结构和用地结构**，强化区域联防联控，着力加强城市精细化管理，全面推动绿色发展，坚决打赢蓝天保卫战，为建设国际一流的和谐宜居之都提供有力支撑”。

既有土地利用与污染物排放研究局限性较强，难以支撑政策的有效落地

国内关于“土地利用—污染物排放”方面研究较少，如《土地利用大气多源污染排放清单估算研究》²根据不同土地利用类型区内主导产业活动特点构建相应

² 陈龙高等，《土地利用大气多源污染排放清单估算研究》，《中国矿业大学学报》，2016，45（6），1271-1277。

估算模型，应用 GIS 技术实现市县尺度下主导土地利用大气污染物排放空间估算，以 2010 年连云港数据为例，对 SO_2 和 PM_{10} 排放进行实证研究。主要结论为： SO_2 主要污染来源为重点工业企业用地、城镇用地和公路交通用地。 PM_{10} 排放中除了城镇用地外，其余用地类型排放量均较大，特别是农田秸秆焚烧成为 PM_{10} 排放的关键污染来源；从测算空间分布结果来看， SO_2 及 PM_{10} 的排放区域主要位于连云港中东部城区以及下辖各县城、**乡镇用地区范围**。

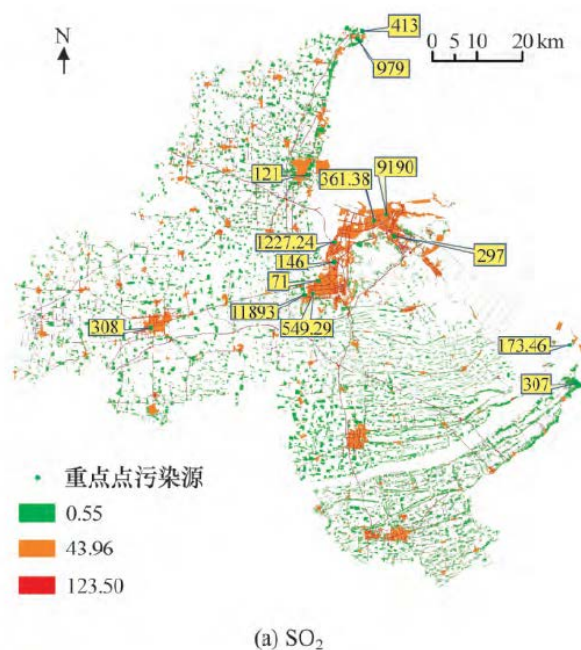


图 1-2 2010 年连云港市土地利用 SO_2 排放估算分布

《土地利用视角空气污染空间分异的地理分析》³引入地理探测器定量分析土地因子在融合气象要素前后对 2013 年长株潭地区的 NO_2 、 PM_{10} 、 O_3 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度空间分布差异的贡献强度。

³ 邹滨等，《土地利用视角空气污染空间分异的地理分析》，《武汉大学学报·信息科学版》，2017,42（2），216-222。

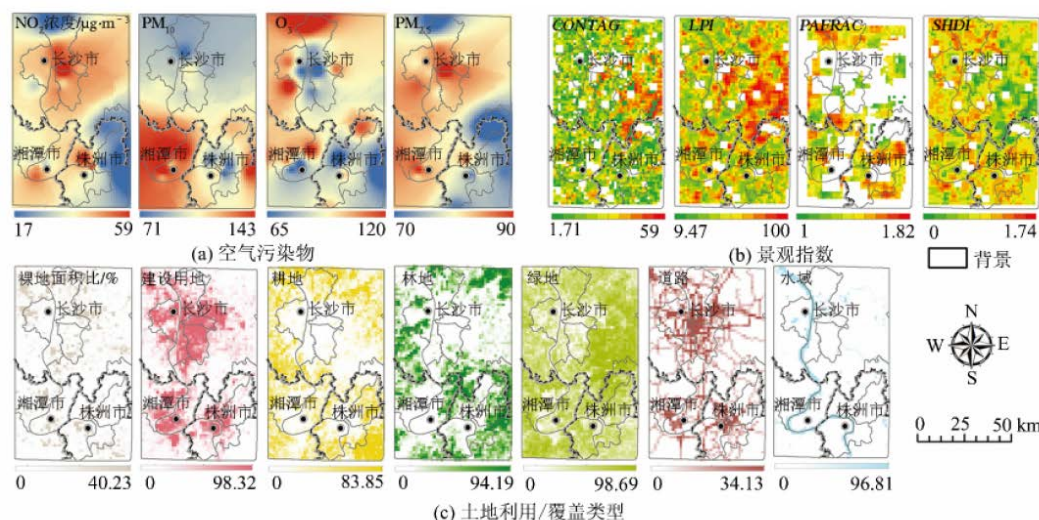


图 1-3 空气污染与土地利用/覆盖空间分布特征

结果表明，建设用地面积比例越高，林地越低， NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度越高， O_3 越低。非建设用地区域，污染物浓度随着土地景观格局破碎度、多样性指数值增大而升高，建设用地区域反之。

综合国内既有相关研究，主要共识为：建设用地比例增大会增加污染物浓度，道路比例、工业用地分布与空气污染物浓度具有相关关系，耕地、水域、草地、林地、植被的比例增大有利于降低污染物浓度，提高空气质量。这些以往研究的主要不足有：

- ✓ 有关温室气体、污染物排放与土地利用结构的研究相对较少，典型特定区域研究相对较多，大范围样本城市研究相对薄弱；
- ✓ 土地利用数据多基于遥感解析或统计年鉴，数据分类较粗，空间分析精度有限；
- ✓ 尚缺乏土地利用结构与空气污染物、碳排放的协同效应分析；
- ✓ 当前空气质量与土地利用关系多采用线性方法，而受土地利用类型排放强度差异和区位的影响，空气质量对土地利用响应关系复杂，需要使用非线性方法揭示过程。关系研究方法较为简单，科学性不足。

当前，第三次全国国土调查工作已基本完成，各地新一轮国土空间规划编制工作方兴未艾。自然资源部高度重视气候变化应对和生态环境保护，尚缺乏相关的技术支撑与工作抓手。因此，开展国土空间用地结构对大气污染物与碳排放的影响研究，既恰逢其时，又迫在眉睫。对于如何从用地结构优化角度协同推动城市的空气质量的根本改善和低碳转型，不仅需要对大气污染物和碳排放源及其控制措施有深入的了解和认识，更需要通过合理的量化方法，从源头建立用地结构和大气污染物、碳排放的关联规律。

二、 研究目标、内容和技术路线

1. 研究目标和内容

基于国土空间全覆盖的历年全国用地数据，纵向维度识别用地结构演变对城市空气质量的影响特征，横向维度构建高分辨率大气污染物和碳排放网格清单数据库，挖掘不同尺度国土空间用地结构对大气污染物和碳排放的映射规律，并选取典型城市群开展国土空间规划评估试点应用，进而提出推动空气质量和碳排放“协同”双达的用地结构优化决策建议，为国土空间规划视角下促进城市、区域乃至全国层面改善空气质量和推动低碳发展提供支撑和借鉴。

子目标 1：构建基于 GIS 的高精度用地结构与污染物排放耦合数据平台

子目标 2：建立用地结构与大气污染物关联模型

子目标 3：针对全国与典型区域，分层进行情景分析并划定评估试点

2. 研究思路

既有研究对用地结构与大气污染物排放以及二氧化碳排放多采取分别独立探讨的方式，缺乏联动分析。另外受限于基础数据质量，既有研究主要针对某个城市或地区，且空间分析的精度有限。本项目拟首次开展全国尺度的实证研究，建立全国国土空间用地结构数据以及大气污染物和二氧化碳排放网格清单数据，进而在两者之间开展多尺度关联模型研究，并通过试点评估验证模型的可行性，指导提出政策建议。

本项目的技术路线图如下：

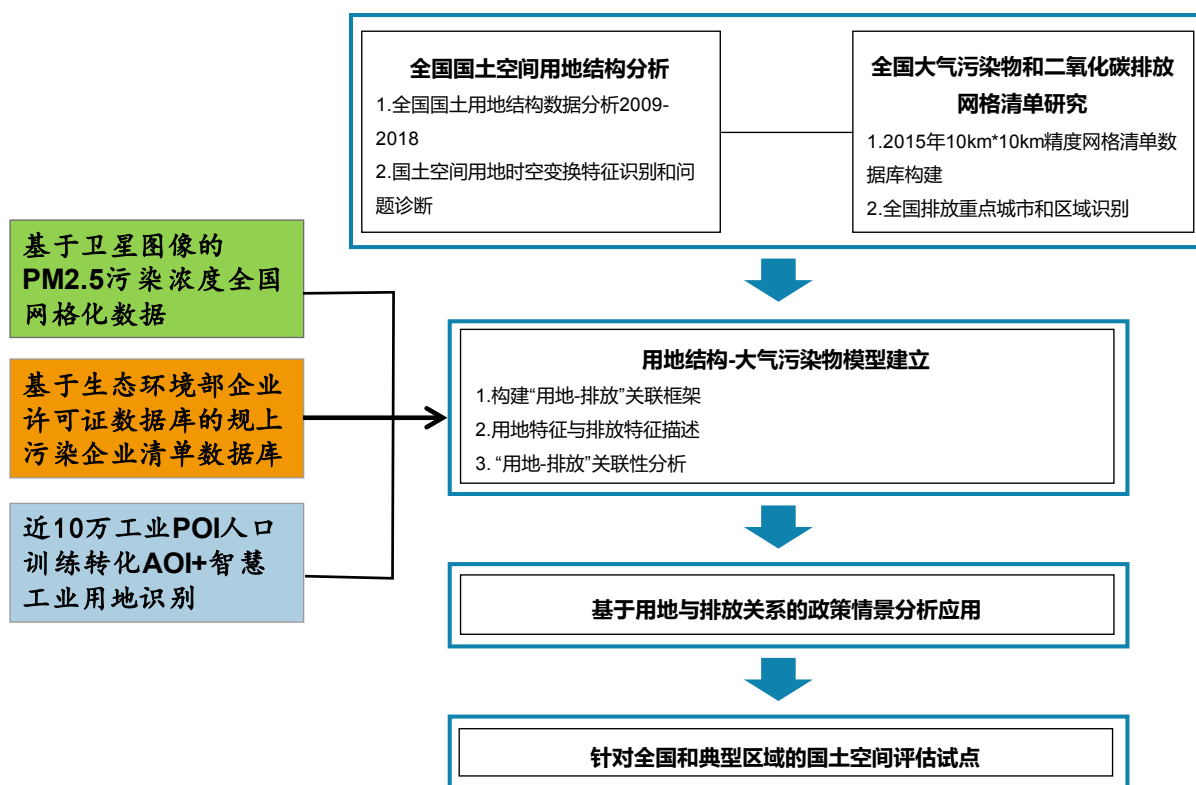


图 2-1 项目技术路线图

3. 研究范围

选取全国建设用地分类下的城镇村及工矿用地（包括城市、建制镇、村庄、采矿用地）、交通运输用地（包括铁路用地、公路用地、机场用地、港口码头用地、管道运输用地）作为研究对象，并将进一步将上述建设用地中的行业用地进行细分，探究 CO₂ 和大气污染物与建设用地结构，以及细分工业类型用地之间的关联。

三、 数据获取与采集

1. 全国国土空间用地结构

本次研究国土空间用地数据主要基于第二次全国土地调查。此次调查于2007年7月1日全面启动，2009年完成，全面查清了全国土地利用现状，掌握了各类土地资源底数。它采用统一的土地利用分类国家标准，首次采用政府统一组织、地方实地调查、国家掌控质量的组织模式，首次采用覆盖全国遥感影像的调查底图，建成了全国土地利用基础数据库；建立了土地变更调查新机制，实现了常态化土地利用变化监测；构建了国土资源管理“一张图”和综合监管平台。

调查的主要任务包括：

- ✓ 农村土地调查：查清每块土地的地类、位置、范围、面积分布和权属等情况；
- ✓ 基本农田调查：将基本农田保护地块（区块）落实到土地利用现状图上，并登记上证、造册；
- ✓ 城镇土地调查：掌握每宗土地的界址、范围、界线、数量和用途；
- ✓ 建立土地利用数据库和地籍信息系统，建立土地资源变化信息的统计、监测与快速更新机制。

中国国土勘测规划院基于第二次全国土地调查结果，以土地利用现状分类国家标准为基础，获取了城市单元用地结构数据、10km×10km精度用地数据。受2020年新冠肺炎疫情的影响，第三次全国土地调查进展大幅度推迟，而第二次全国土地调查的数据只能精确到城市、建制镇等级别的大类用地规模，无法获取工业、居住、商业等级别的细类用地规模。

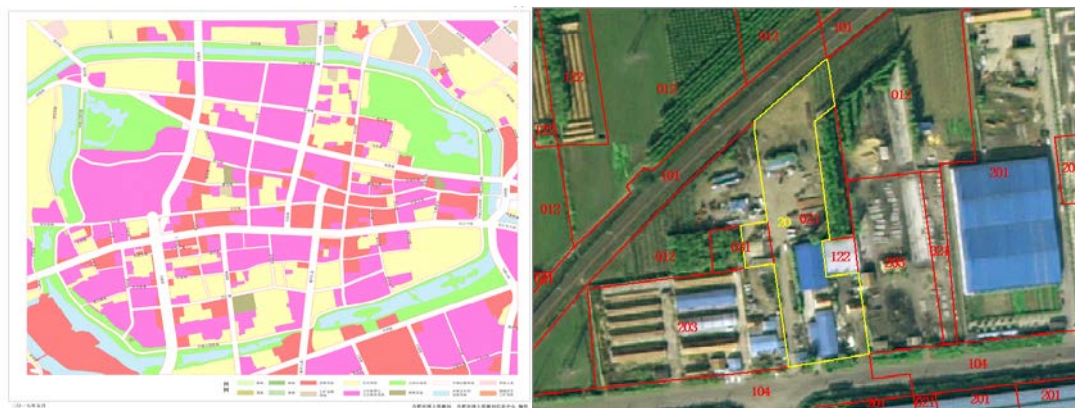


图 3-1 不同用地类型示意图

2. 全国大气污染物和二氧化碳排放网格清单

中国高空间分辨率排放网格数据库（China High Resolution Emission Gridded Database, CHRED）由生态环境部环境规划院组织建设。数据库的建设结合中国的实际情况和数据特点，建立基于点排放源、自下而上的空间化方法，结合点排放源（工业企业、污水处理厂、垃圾填埋场、畜禽养殖场/小区、煤矿开采、水运船舶等）和其他线源（交通源）、面源（农业、生活源等）数据。数据库空间分辨率为 10km，其中局部重点城市和区域（如北京市、国家级工业园区等）排放清单的空间分辨率达到 1km。点源数据的空间位置精度采用双重控制：排放源经纬度数据和基于 API Geocoding 技术的空间坐标和地址匹配验证。

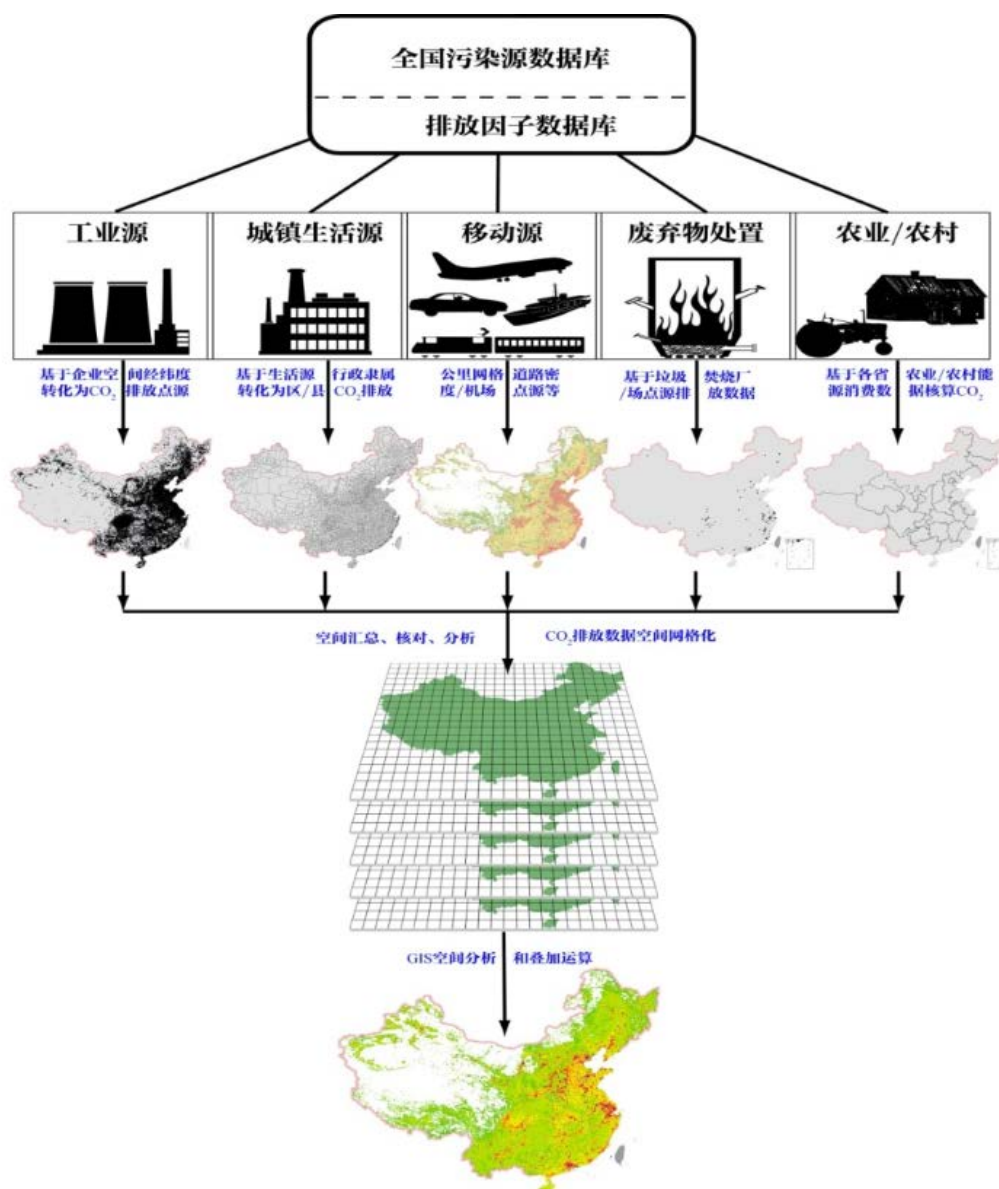


图 3-2 主要排放源和空间网格化流程

CHRED 突出排放的空间化和空间分布格局，强调排放数据的空间精度，当前已更新至 3.0 版本（2018 年）。CHRED 3.0 包括多时间序列的中国高空间分辨率排放网格数据，其中 2015 年数据为全口径温室气体网格数据（CO₂，CH₄，N₂O，HFC-410A，HFC-134a，HFC-23，SF₆，CF₄，C₂F₆，森林碳汇）和 43 个温室气体排放图层（分部门和能源类型等）。

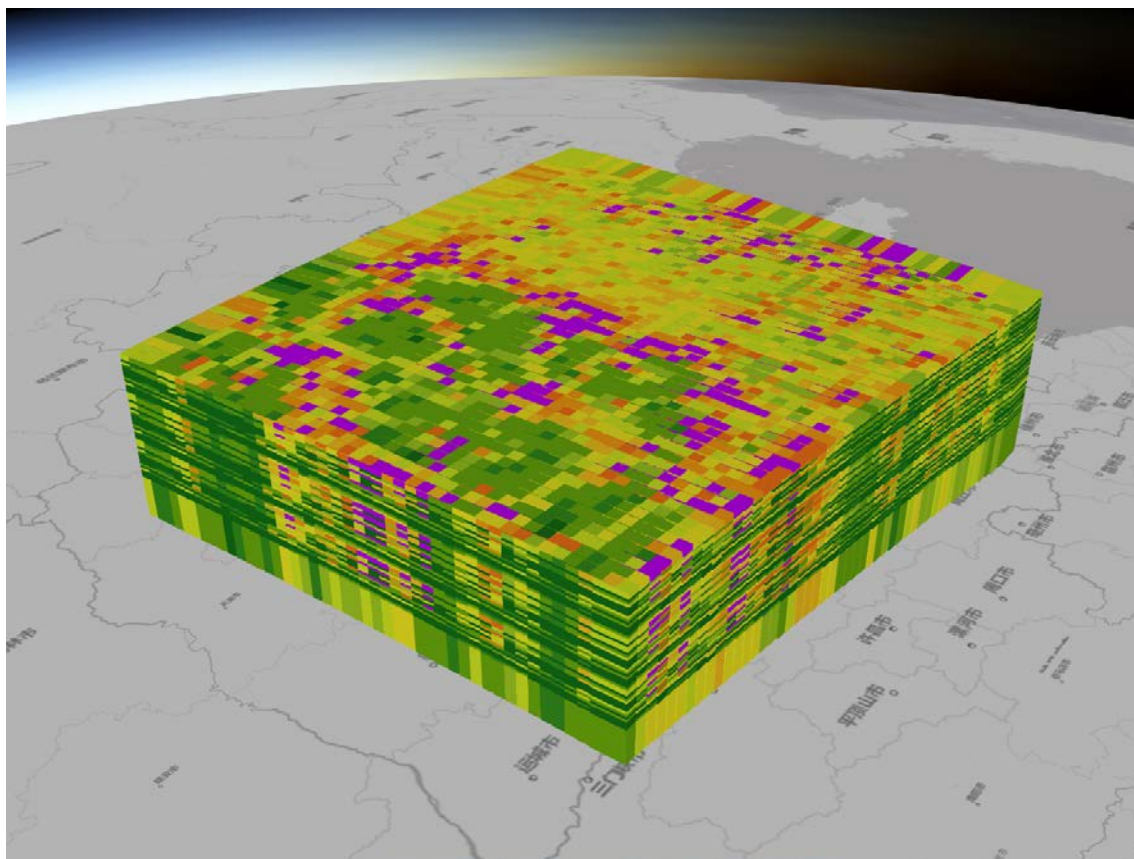


图 3-3 CHRED 3.0 全口径温室气体和 43 个温室气体排放图层

数据库的建立通过走访调研、电话调研等方式获取海量基础数据，包括中国空间化的乡镇人口数据（全国 41,300 个乡镇街道），人口数据源自中国人口普查数据，包括人口年龄结构和性别结构等信息。人群活动大数据包括社交软件、手机信号数据等。

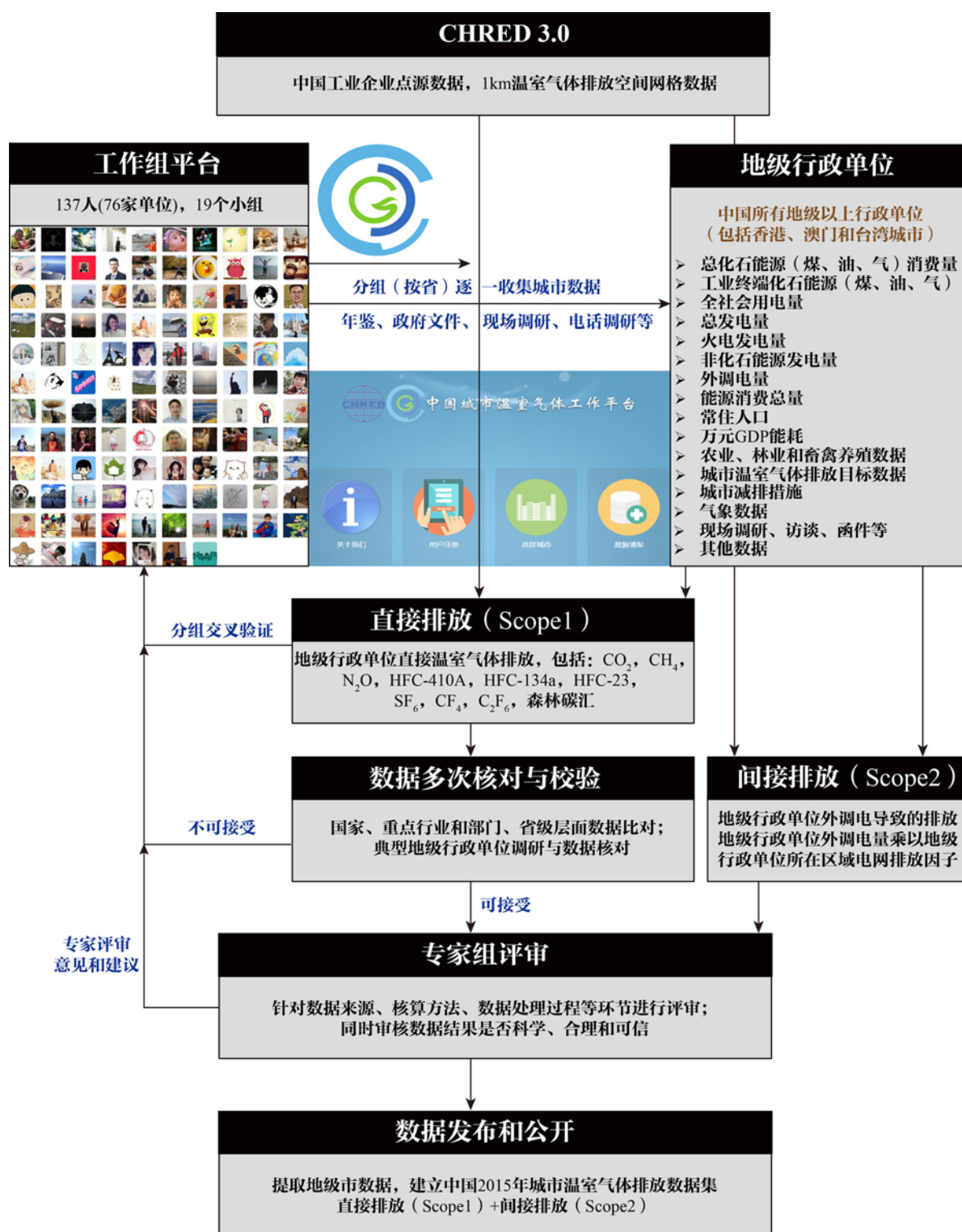


图 3-4 中国 2015 年城市温室气体数据建立过程

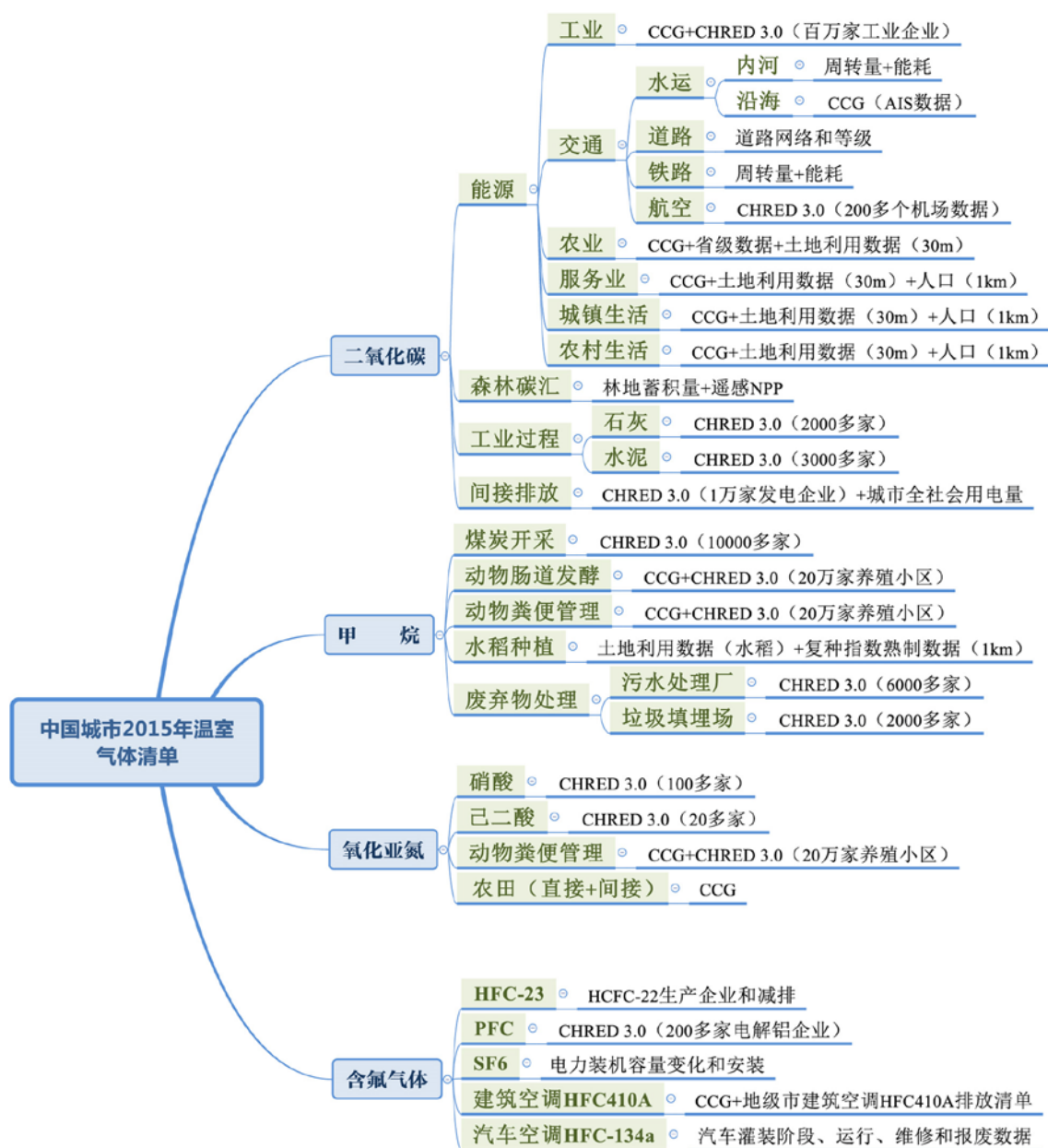
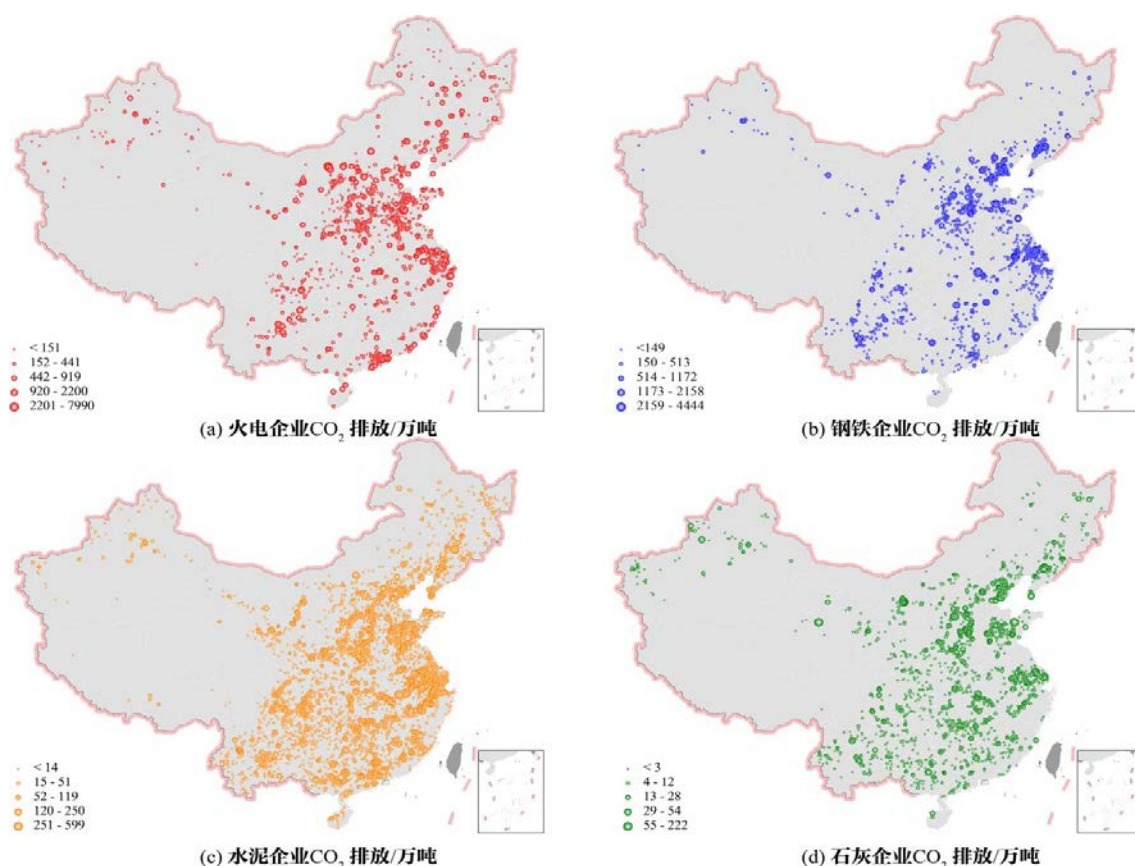


图 3-5 基于 CHRED 和中国城市温室气体工作组的城市温室气体排放清单

重点温室气体排放行业的 CO₂ 全国排放量分布情况如下图所示。

图 3-6 重点排放行业 CO₂ 排放情况

大气污染物（SO₂ 和 NO_x 网格排放量）数据来自 EDGAR（Emission Database for Global Atmospheric Research）数据和 MEIC（Multi-resolution Emission Inventory for China）数据。MEIC 数据，即中国多尺度排放清单模型，是一套通过建立源分类分级体系和排放因子数据库，研发基于技术和动态过程的排放清单技术。该数据开发多尺度高分辨率排放源模式，并在此基础上基于云计算平台技术进行集成开发，形成中国大气污染物和温室气体人为源排放清单模型，建立了中国较为精准的大气污染物排放网格。MEIC 数据涵盖 10 种主要大气污染物和温室气体（SO₂、NO_x、CO、NMVOC、NH₃、CO₂、PM_{2.5}、PM₁₀、BC 和 OC）和 700 多种人为排放源，综合集成最新的动态排放清单方法和本地化的排放因子数据库，能够与空气质量模型无缝链接，提供多层嵌套高时空分辨率排放清单，可供模型直接使用。

EDGAR (Emission Database for Global Atmospheric Research) 数据是一种基于排放源建立的高分辨率气体排放空间网格数据, 空间分辨率为 0.1° 。

EDGAR 数据使用空间代理数据集建立地理数据库, 其中包括能源和制造设施的位置、道路网络、航运路线、人类和动物种群密度以及农业土地使用情况等, 利用地理信息系统技术对输入的数据集以不同分辨率的点、线和面网格进行转换、重采样和聚合, 分布在 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 网格上, 然后将国家部门总数按各地区空间代理的特定百分比进行分配。新版本的全球大气研究排放数据库 (Edgar v4.3.2) 利用相同的人为部门和国际活动数据, 汇编了气体和颗粒空气污染物的排放量。Edgar v4.3.2 温室气体排放除大规模生物质燃烧和土地利用、土地利用变化和林业外, 所有人类活动都包括在排放量计算中。除了用于估计温室气体排放量的活动数据外, 空气污染物排放量还由工艺技术和末端减排量确定。

3. 工业用地数据 POI (Point of Interest)

针对工业用地, 采用生态环境部排污许可证数据库中排污企业的位置信息对工业用地进行深度分析, 将近 10 万工业 POI 点转化为 AOI (Area of Interest) 训练集。



图 3-7 典型行业园区的遥感影像

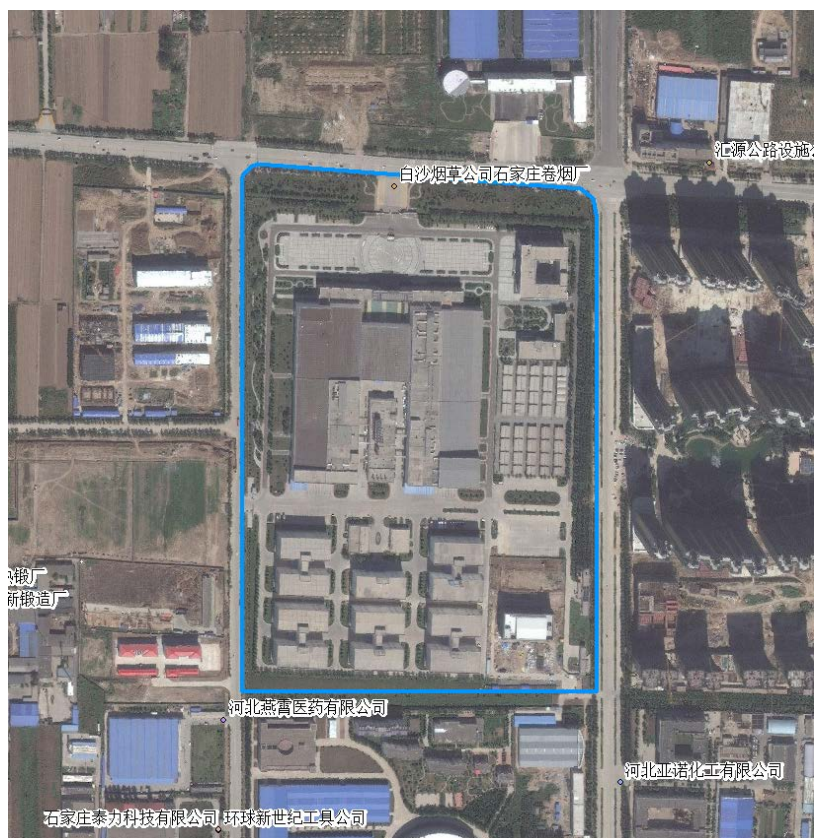


图 3-8 POI 用地边界采样示意图

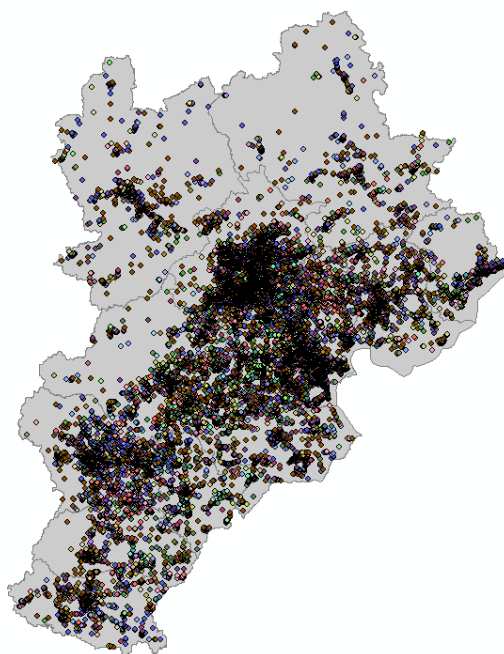


图 3-9 京津冀工业 POI 点分布图

POI 标点归类为对应 M1、M2、M3 的企业，然后分行业对 35 种工业进行细分，基于遥感影像测算 POI 点均用地面积。进一步聚合至网格工业用地大类结果，与国土调查数据比对校验，调整系数，最终得到 10km x 10km 网格工业用地构成。

表 3-1 行业分类和 POI 点平均面积

行业代码	行业	POI点平均面积
M1		8,136
M1-01	电气机械及器材制造业	12,452
M1-02	工艺品及其他制造业	10,478
M1-03	通信设备、计算机及其他电子制造业	7,362
M1-04	仪器仪表及文化、办公用机械制造业	4,104
M2		23,673
M2-01	纺织服装、鞋、帽制造业	32,160
M2-02	纺织业	20,865
M2-03	废弃资源和废旧材料加工业	6,094
M2-04	家具制造业	35,407
M2-05	交通运输设备制造业	11,622
M2-06	金属制品业	9,658
M2-07	木材加工及竹、藤、棕、草制品业	70,932
M2-08	农副食品加工业	5,323
M2-09	食品制造业	30,058
M2-10	塑料制品业	18,041
M2-11	通用设备制造业	12,021
M2-12	文教体育用品制造业	6,741
M2-13	橡胶制品业	8,804
M2-14	烟草制造业	119,470
M2-15	医药制造业	12,057
M2-16	饮料制造业	33,690
M2-17	印刷业和记录媒介的复制	5,540
M2-18	专用设备制造业	1,159
M2-19	建筑业	3,518
M3		53,687
M3-01	非金属矿采选业	84,567
M3-02	黑色金属矿采选业	27,026
M3-03	煤炭开采和洗选	94,790
M3-04	石油和天然气开采业	119,035
M3-05	非金属矿物制品业	20,863
M3-06	黑色金属冶炼及压延加工业	17,957
M3-07	化学纤维制造业	-
M3-08	化学原料及化制品制造业	36,383
M3-09	皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业	11,677
M3-10	石油加工、炼焦及核燃料加工业	75,861
M3-11	有色金属冶炼及压延加工业	69,436
M3-12	造纸及纸制品业	43,373
总计		29,194

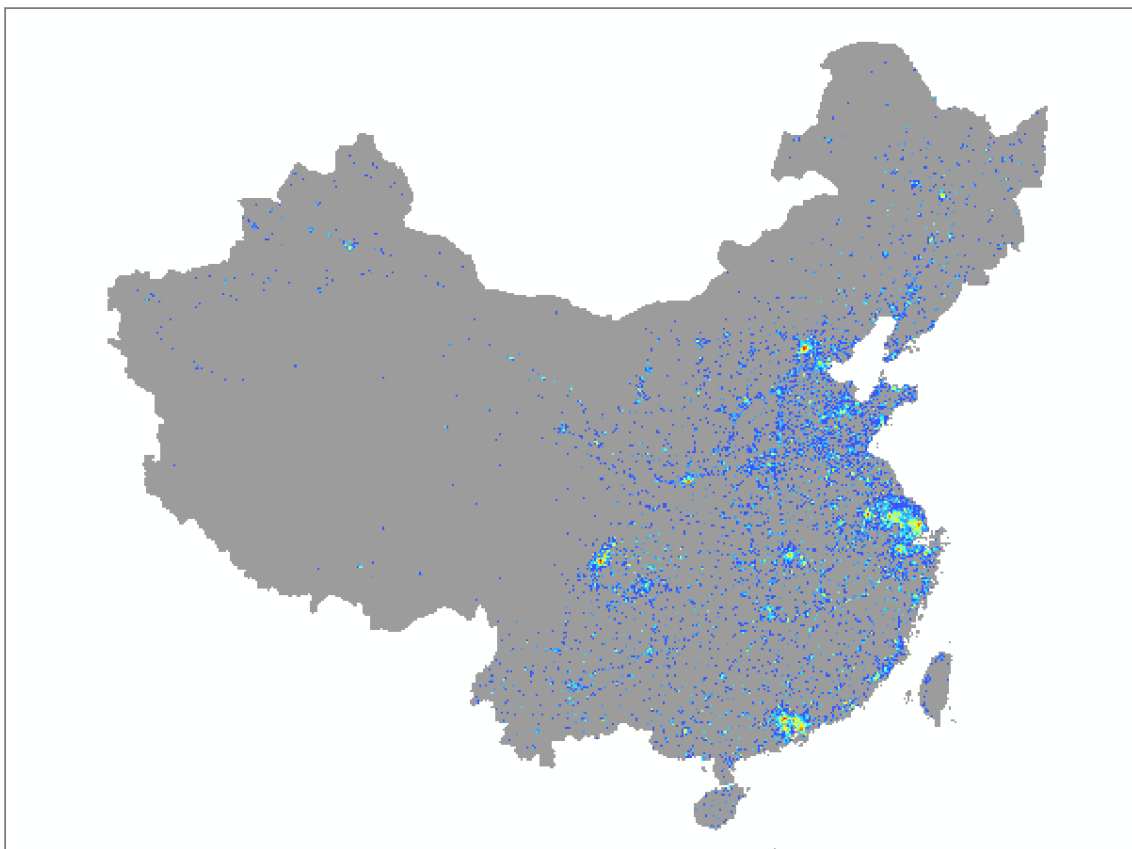


图 3-10 M3 工业用地全国分布图

四、 建设用地与排放特征

1. 全国层面概况

全国建设用地合计 40.25 万 km²，其中工业用地合计 1.54 万 km²。本研究设定的建设用地范围如表 4-1 中标注*所涉及的范围。

表 4-1 本研究中涉及建设用地范围

农用地	耕地	水田
		水浇地
		旱地
	园地	果园
		茶园
		其他园地
	林地	有林地
		灌木林地
		其他林地
	牧草地	天然牧草地
		人工牧草地
	其他农用地	农村道路*
		坑塘水面
		沟渠
		设施农用地
		田坎
建设用地	城镇村及工矿用地	城市*
		建制镇*
		村庄*
		采矿用地*
		风景名胜及特殊用地
	交通运输用地	铁路用地*
		公路用地*
		机场用地*
		港口码头用地*
		管道运输用地*
	水利设施用地	水库水面
		水工建筑用地

建设用地中，占主要部分的是村庄、城镇和公路道路，占比超过建设用地总面积的 90%；按是否为工业用地分类，工业用地面积占建设用地比例为 4%，非工业用地 20%，其他用地为 76%。

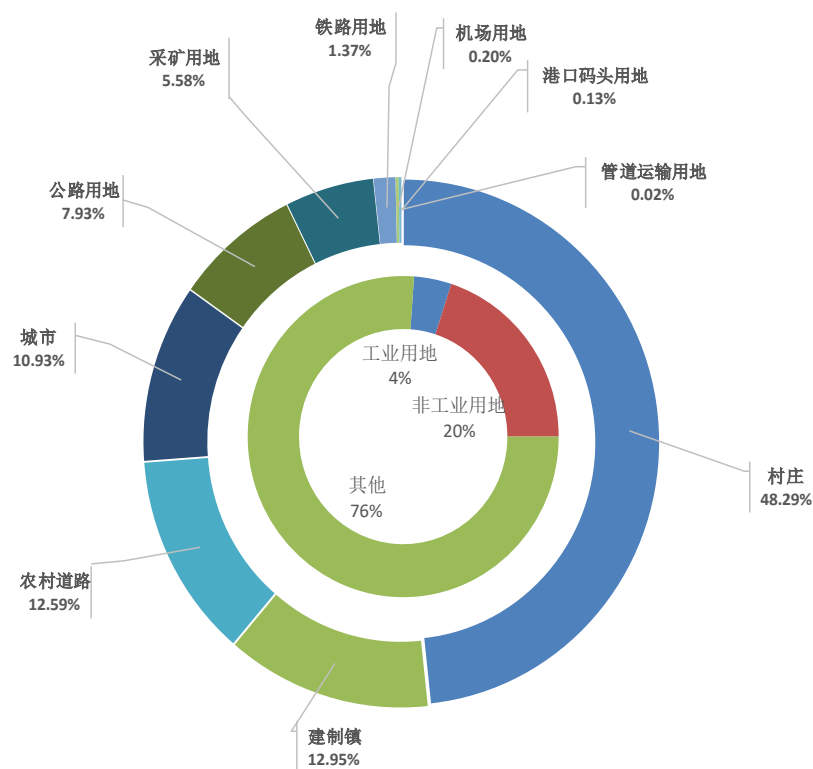


图 4-1 不同用途建设用地面积占比情况

全国总二氧化碳排放量为 108.8 亿 t，根据全国排放分布图来看，二氧化碳的排放分布有着明显“东高西低，北高南低”的特点，并且中东部地区的排放量明显高于其他地区，整个西部地区的排放量都很低。东部地区明显高于西部地区，二氧化碳排放量较高的地区大都集中于华东和华北地区，以山东为最显著，仅仅山东一个省的排放就占到了全国 9.3%，山东、内蒙古、河北、河南、山西、辽宁、安徽等位于中国北部的几个省份的排放量几乎占到全国排放总量的一半。西部的西藏自治区、新疆维吾尔自治区、青海省等地都是排放的低值地区，比如西藏自治区的面积是北京市的 70 多倍，但其二氧化碳排放量还不到北京市二氧化碳排放量的三十分之一。

全国总氮氧化物排放量为 1807 万 t，相对二氧化碳排放的集聚度有所下降，但高排放的地区仍然是集中在华北和华东地区。

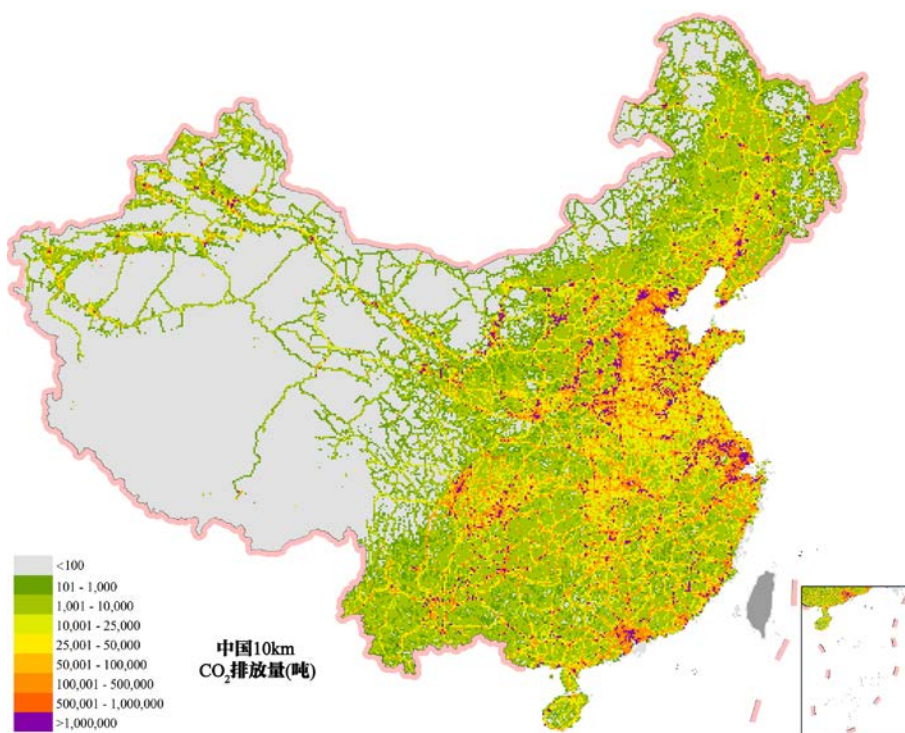


图 4-2 全国二氧化碳排放分布图

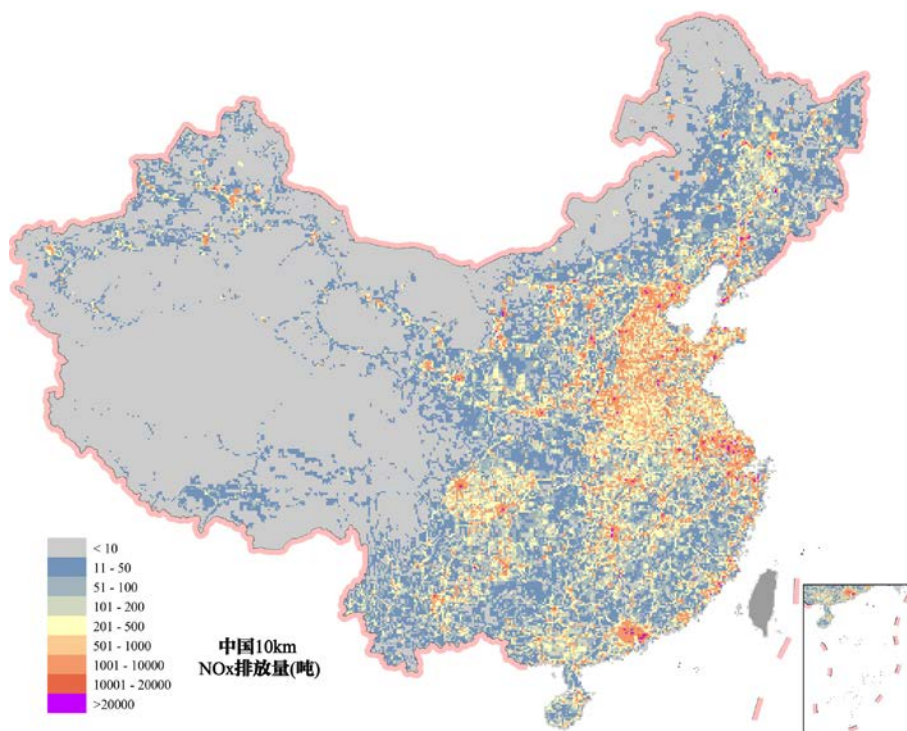


图 4-3 全国氮氧化物排放分布图

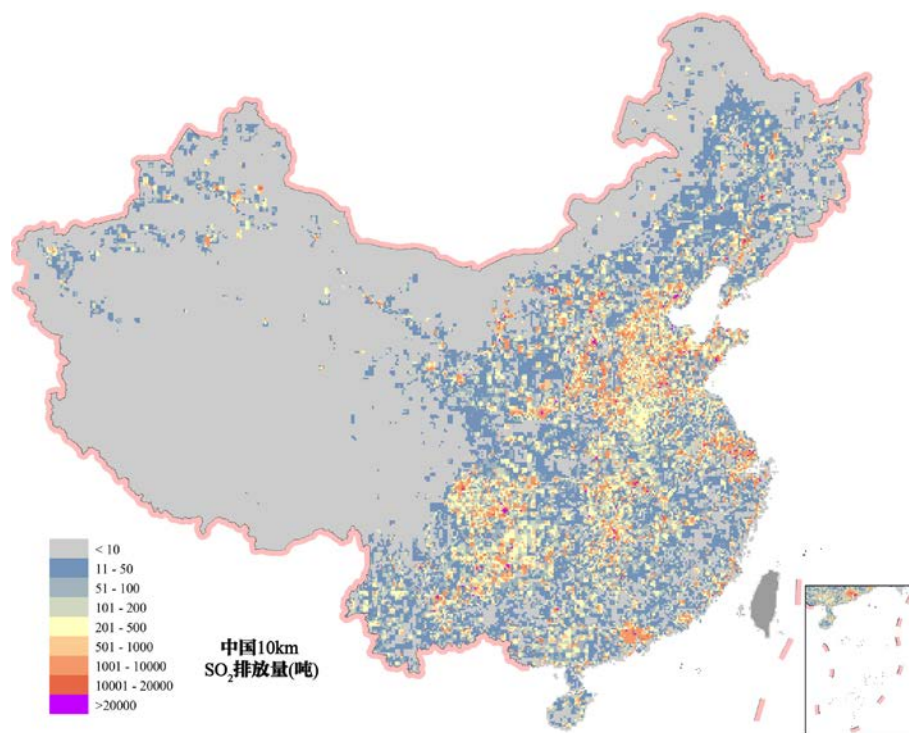


图 4-4 全国二氧化硫排放分布图

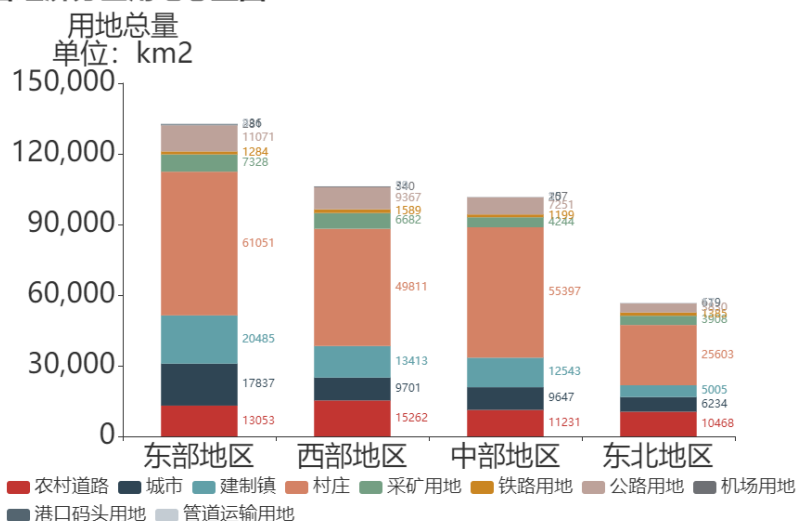
二氧化硫排放分布如图 4-4 所示，排放的高值地区明显少于二氧化碳排放的高值地区，但两者分布特点十分相似，排放的高值地区仍然集中在华北和华东地区。

2. 分区层面

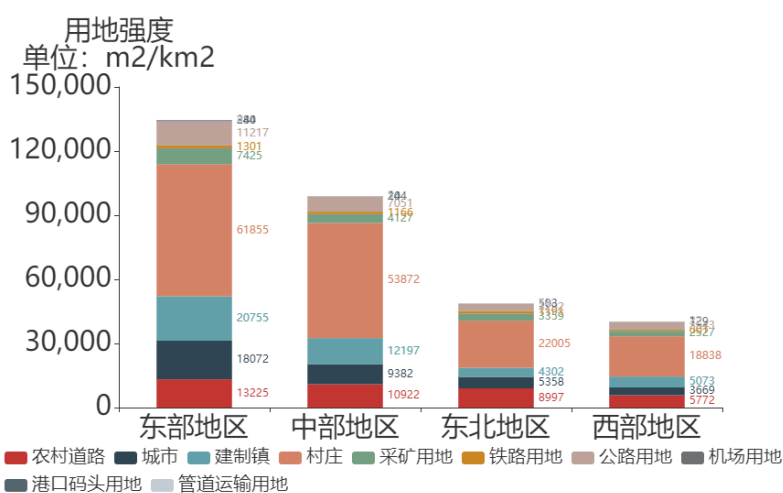
根据中国经济分区范围，将网格聚合到东北地区、东部地区、中部地区和西部地区四个区域，对建设用地构成和 CO₂ 及 NO_x 总排放量进行统计。

在建设用地总量方面，东部地区最高，东北部地区最低；用地强度为东部最高，中部次之，西部地区最低；用地结构方面，中部地区村庄占比较高，东部和东北部地区城市用地占比较大。

各经济分区用地总量图



各经济分区用地强度



各经济分区用地结构图

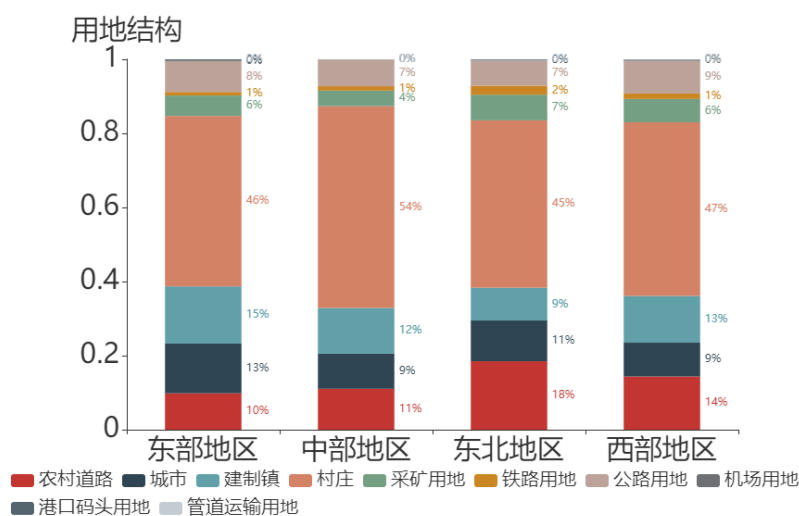


图 4-5 全国分区域建设用地情况

二氧化碳和氮氧化物的排放总量均为东部地区最高，西部地区次之，东北部地区最低；排放强度（排放量/建设用地面积）东部地区最高，中部地区次之，西部地区最低，东北和西部地区在排放量和排放强度上差距较小。

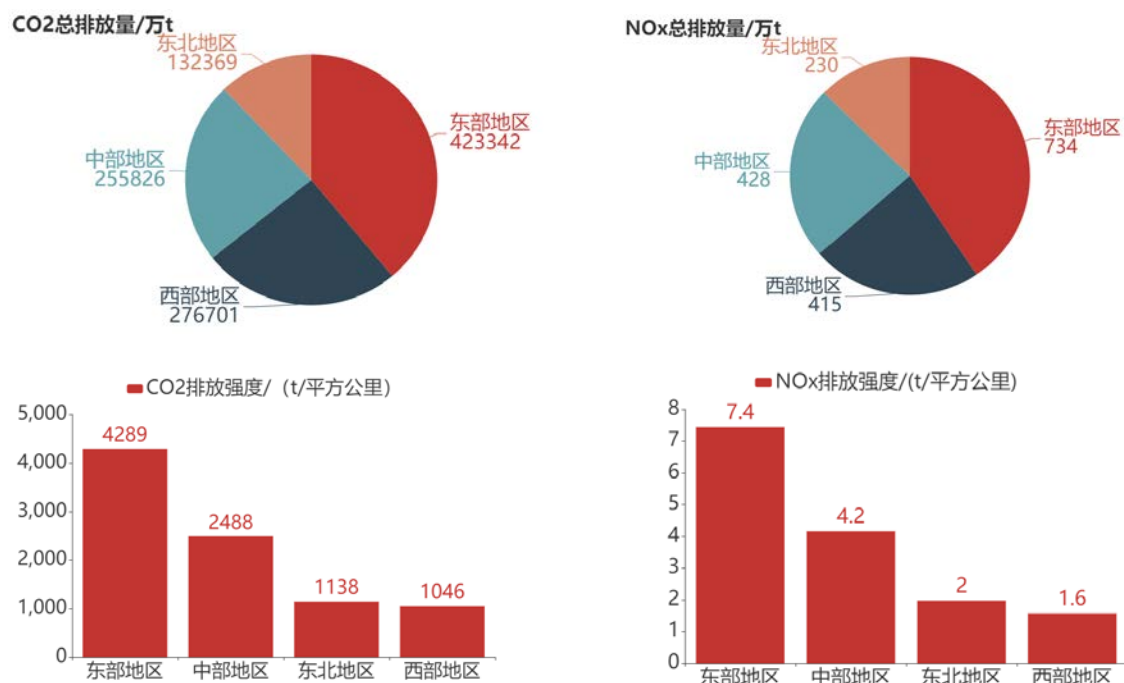


图 4-6 全国分区域排放量和排放强度

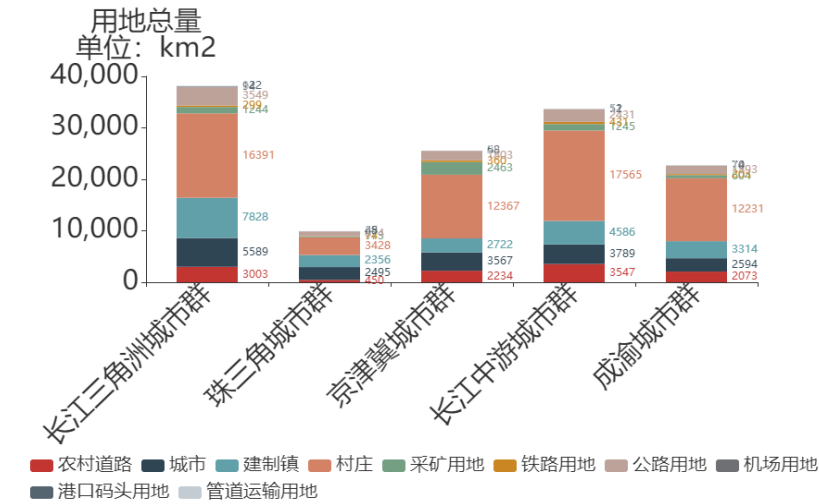
3. 城市群层面

从省级碳排放来看，排放总量差异显著。山东、内蒙古、江苏、河北、山西、河南、广东、辽宁、安徽和浙江的碳排放量居于全国前十名，排放总量占全国总排放的 59%。

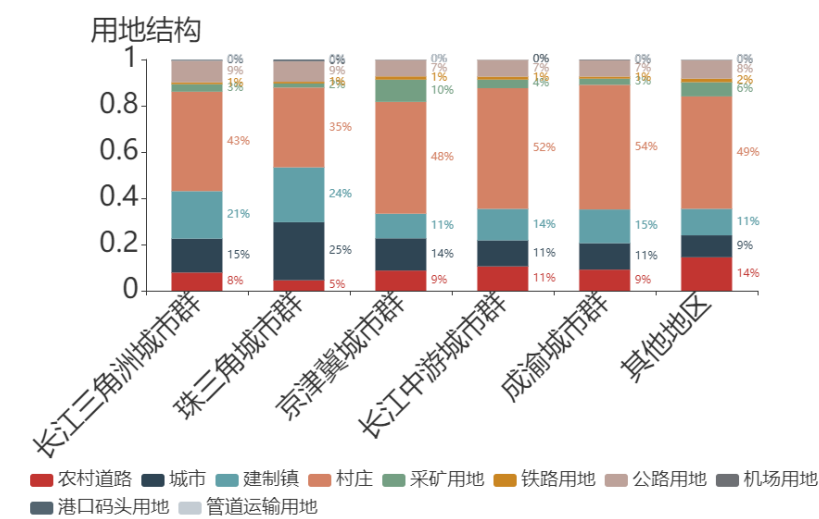
在城市群的层面，研究共选取 5 个典型城市群，即珠三角城市群、京津冀城市群、长江三角洲城市群、长江中游城市群和成渝城市群，在城市群尺度上，进行聚合，统计 CO₂ 和大气污染物排放，以及用地结构数据的平均值。

在建设用地总量和用地强度方面，长三角地区均为最高；用地结构方面珠三角地区城镇建设用地占比远高于其他城市群，京津冀地区采矿用地占比较大。

城市群-用地总量柱状图



城市群-用地结构柱状图



城市群-用地强度柱状图

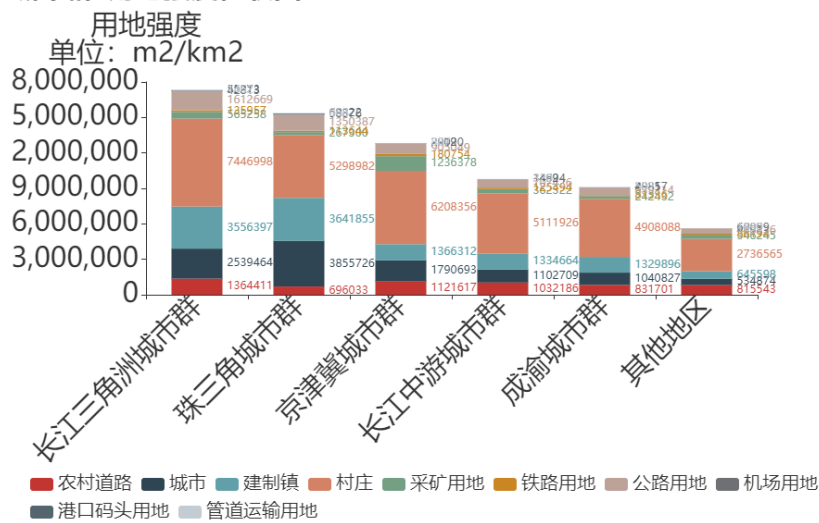


图 4-7 城市群建设用地情况

五大城市群聚集了全国 39%的人口，产生了全国 50%的 GDP；二氧化碳排放量和 NOx 排放量与建设用地规模类似，长江三角洲城市群均为最高。

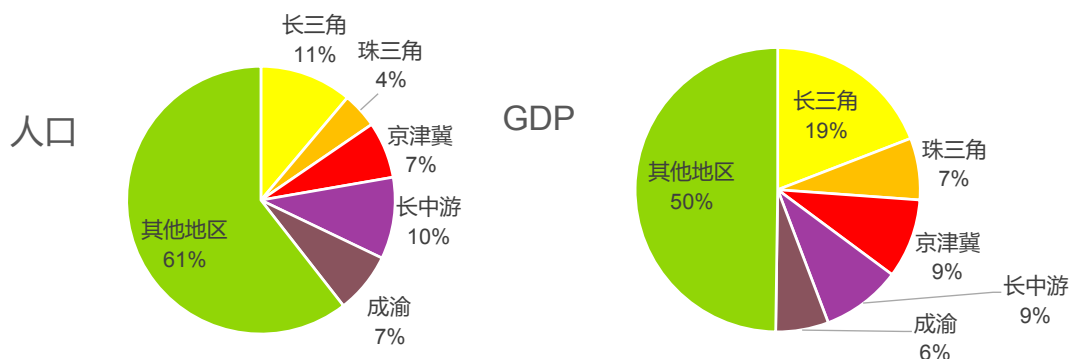


图 4-8 城市群人口和 GDP 占比

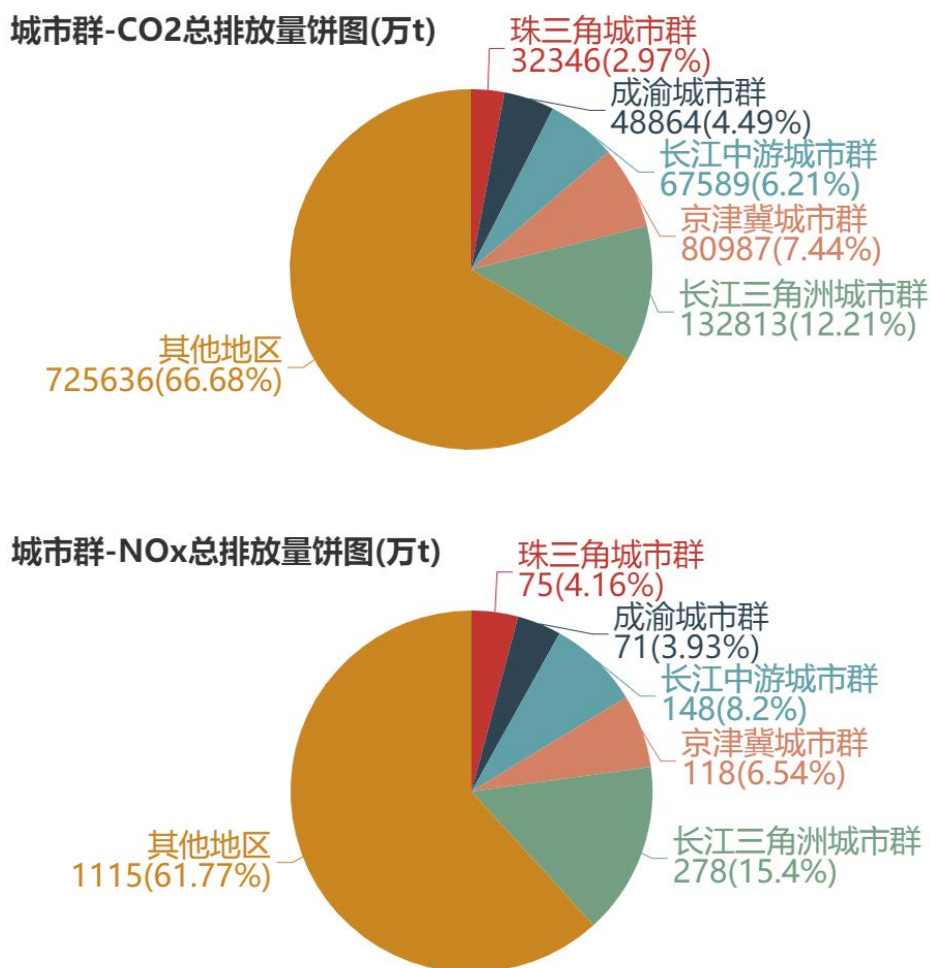
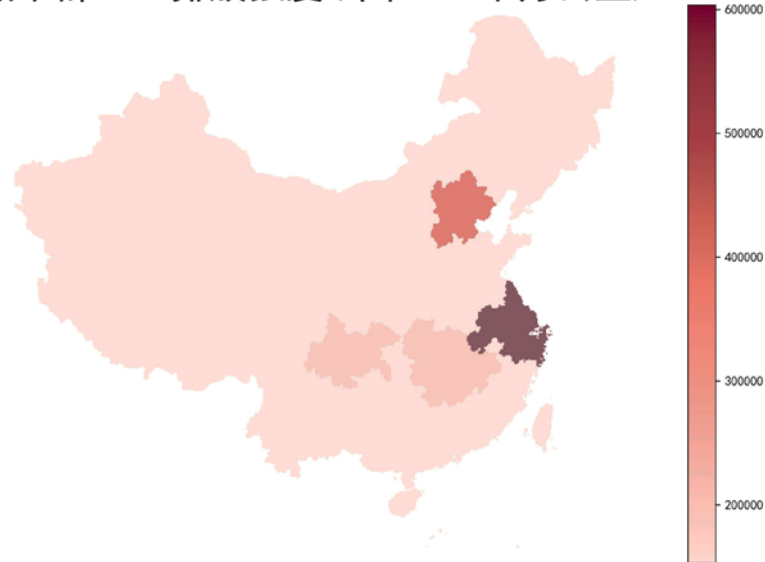


图 4-9 城市群二氧化碳和氮氧化物排放总量

城市群的二氧化碳和 NO_x 排放强度也呈现类似规律，长江三角洲城市群最高，京津冀次之，珠三角城市群最低。

城市群- CO_2 排放强度(单位:t/平方公里)



城市群- NO_x 排放强度(单位:t/平方公里)

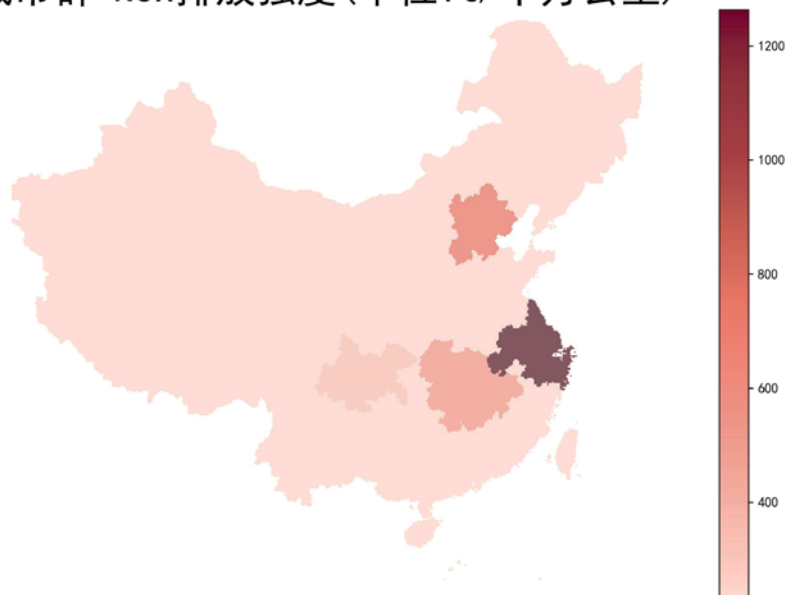


图 4-10 城市群二氧化碳和氮氧化物排放强度

4. 城市层面

将全国 346 个主要城市按照 CO_2 和 NO_x 排放强度从小到大排序，可以看出：总体上用地强度越高的城市， CO_2 和 NO_x 排放也呈现越高的趋势；用地结构中城镇用地占比越高， CO_2 和 NO_x 排放也呈现越高的趋势。

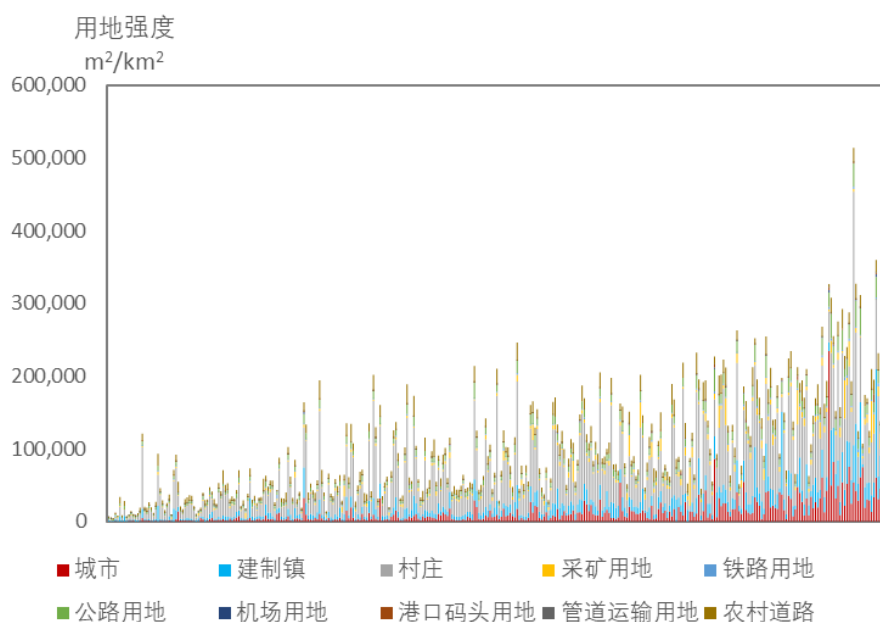


图 4-11 主要城市用地强度情况（按 CO_2 排放强度排序）

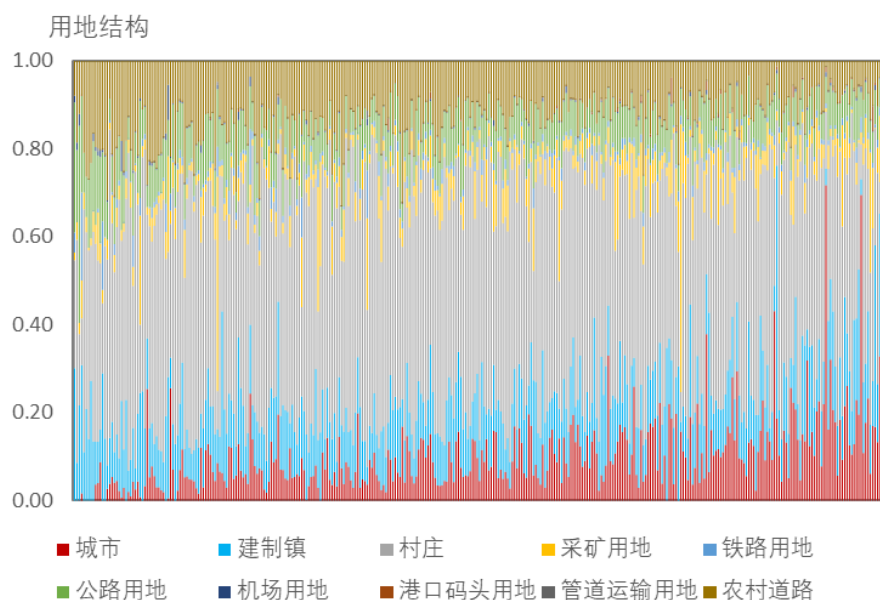


图 4-12 主要城市用地结构情况（按 CO_2 排放强度排序）

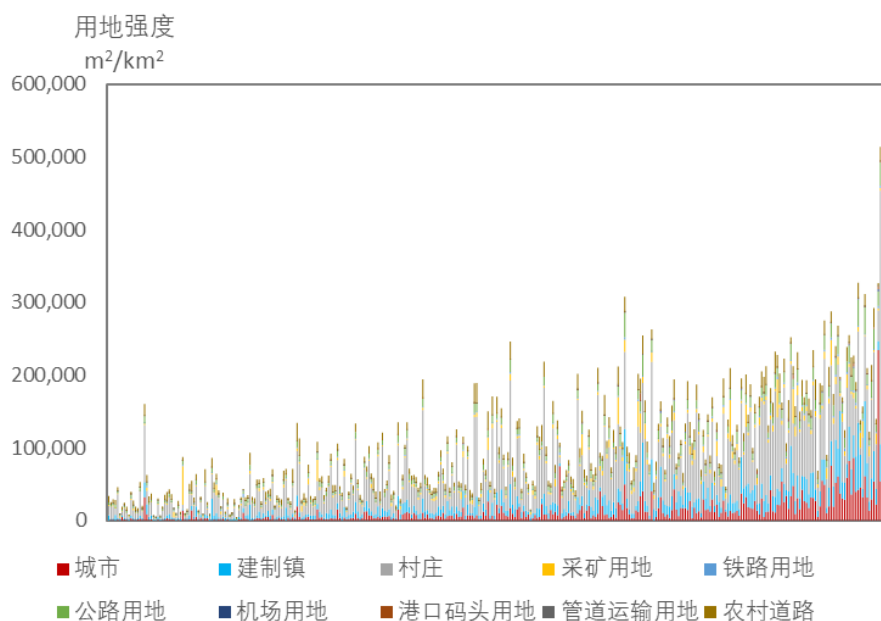


图 4-13 主要城市用地强度情况（按 NO_x 排放强度排序）

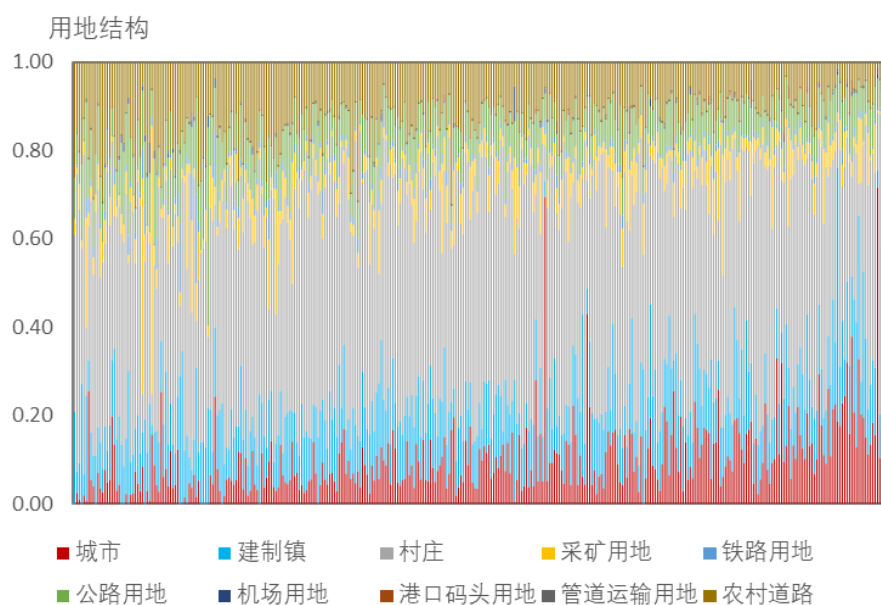


图 4-14 主要城市用地结构情况（按 NO_x 排放强度排序）

5. 网格层面

全国 10km×10km 网格层面建设用地分布情况如图 4-15 所示，二氧化碳和污染物排放情况见图 4-2 至 4-4。

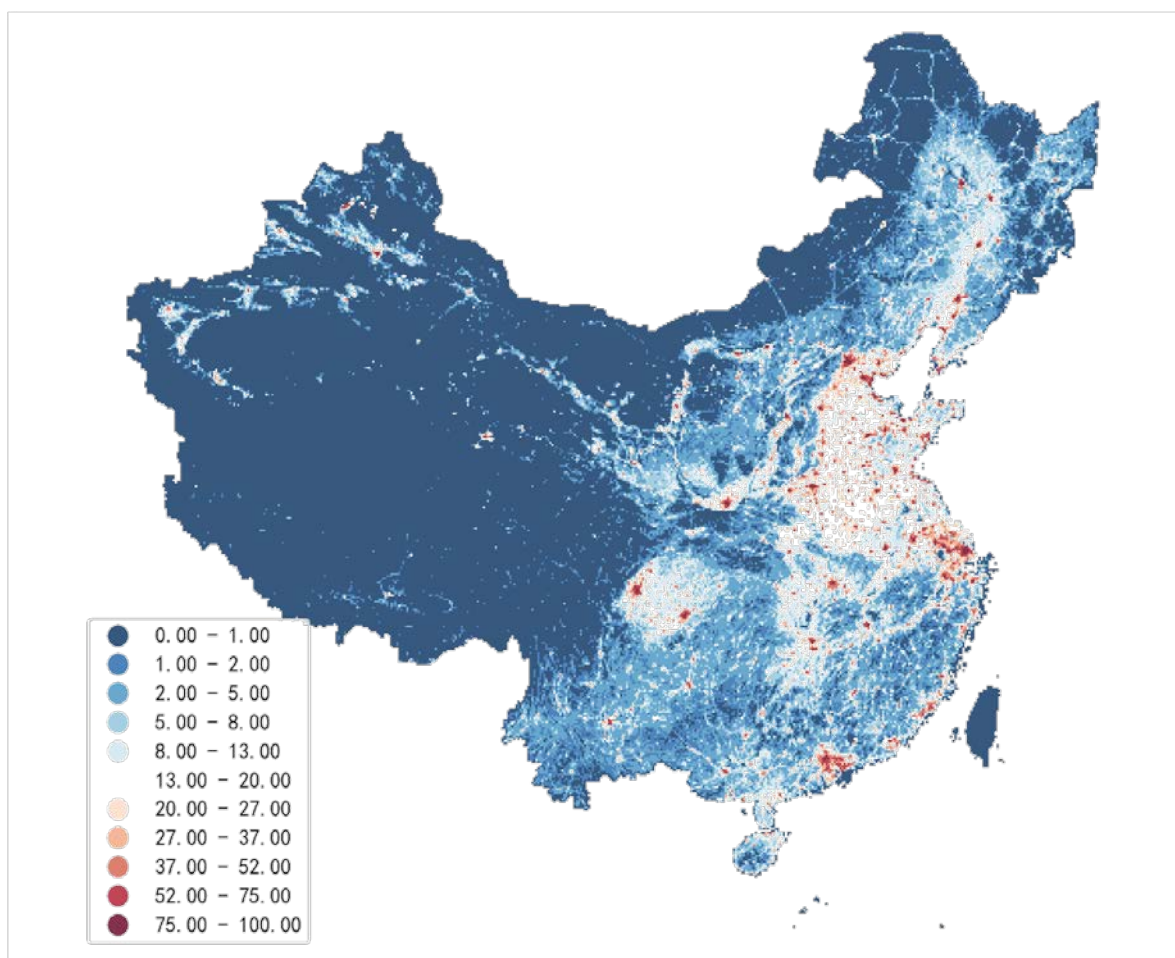


图 4-15 网格层面建设用地面积分布情况

通过对全国层面的污染物的可视化，发现存在大量不排放 CO_2 和大气污染物的网格，后续分析时，去除 CO_2 排放量小于 1t 的公里网格，及 NO_2/SO_2 量小于 10t 的公里网格。去除网格的空间落位：网格主要位于山区或沙漠等地区，去除较为合理。全国共 97132 个网格，去除后剩余 CO_2 网格 58229 个、 SO_2 网格 33572 个、 NO_x 网格 45959 个。

通过绘制各网格建设用地和 CO_2 排放的累计分布曲线，研究发现：4.38% 的网格对应的 CO_2 排放占总排放量的 90%，对应网格的建设用地面积仅约 11 万平方公里，占全国建设用地的 27.94%，占全国国土面积约 1.2%。由于绝大部分 CO_2 排放集中于少数网格中，因此对重点地区的排放管控非常重要。

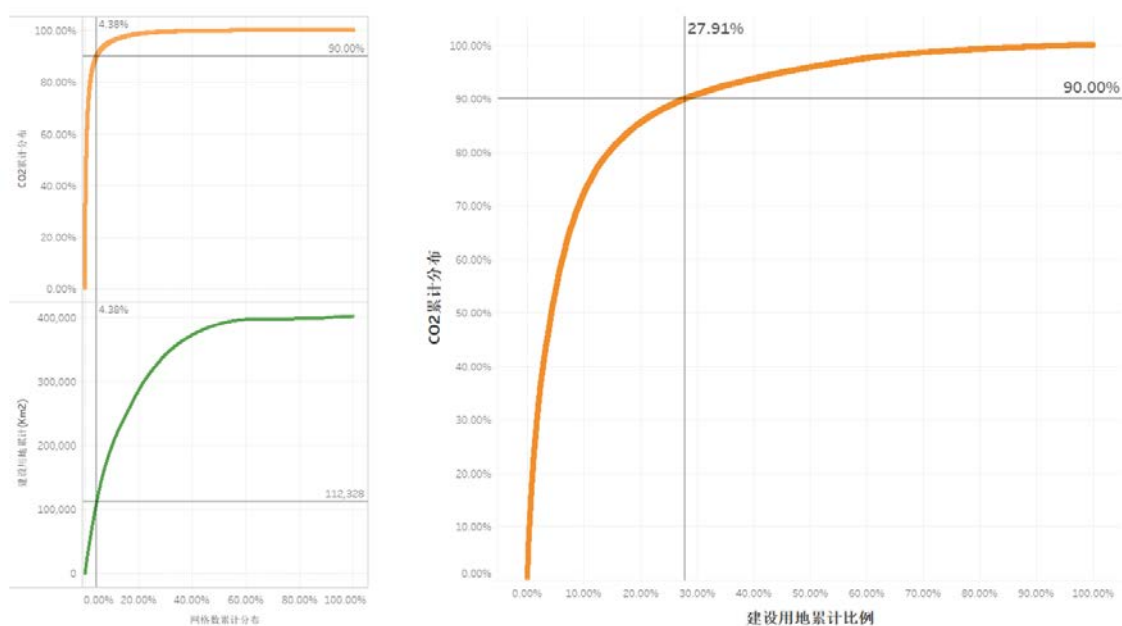


图 4-16 网格建设用地和二氧化碳累计分布曲线

对于相似用地结构的网格，CO₂排放也存在显著差异。在全国 58229 个网格中选择城镇用地面积占比 20%—21% 的网格进行分析，如图 4-18，不同区域网格排放差异显著，尤其中部地区部分网格排放量为其他地区相似用地结构网格的数十倍，因此对于国土空间碳排放既要控制土地类型，又要控制土地碳排放强度。

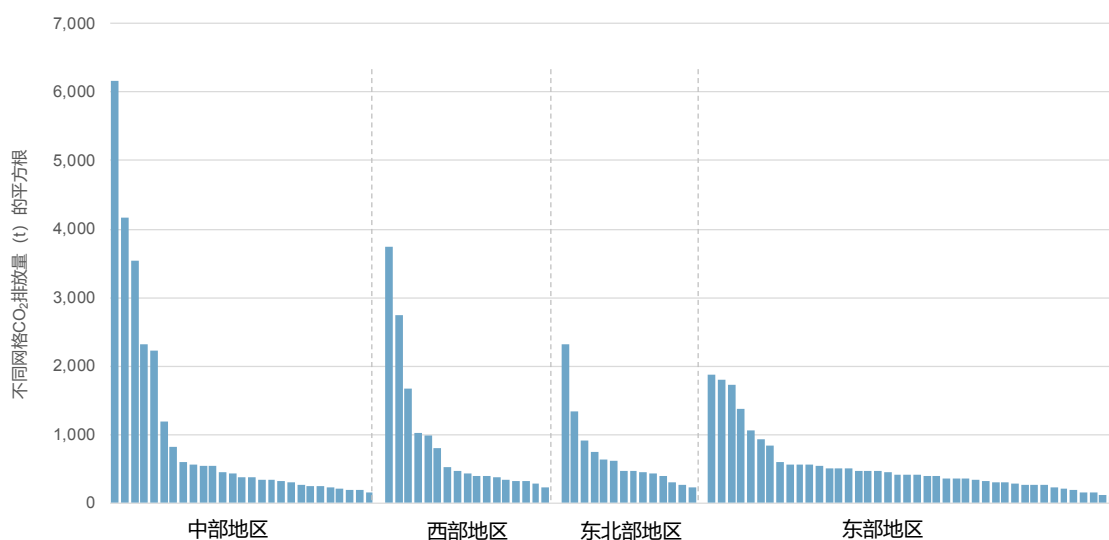


图 4-17 相似用地结构网格二氧化碳排放分布

五、“用地—污染物”耦合模型的建立与相关性分析

1. 主要城市建设用地碳排放与 GDP 的关系

上述第四章不同层面、角度的数据分析结果表明，建设用地和 CO₂ 等污染物的排放具有明显而又复杂的相关关系。其复杂性体现在建设用地并不直接产生污染物排放，而是作为人类经济、社会活动的载体产生污染物排放。同样面积的建设用地，即便在经济发展水平相当的两个地区，污染物的排放水平也常常是大相径庭。如图 5-1 所示，以 2015 年数据为基础，全国 337 个地级及以上城市的单位建设用地 CO₂ 排放和单位建设用地 GDP 的关系就验证了这一点。

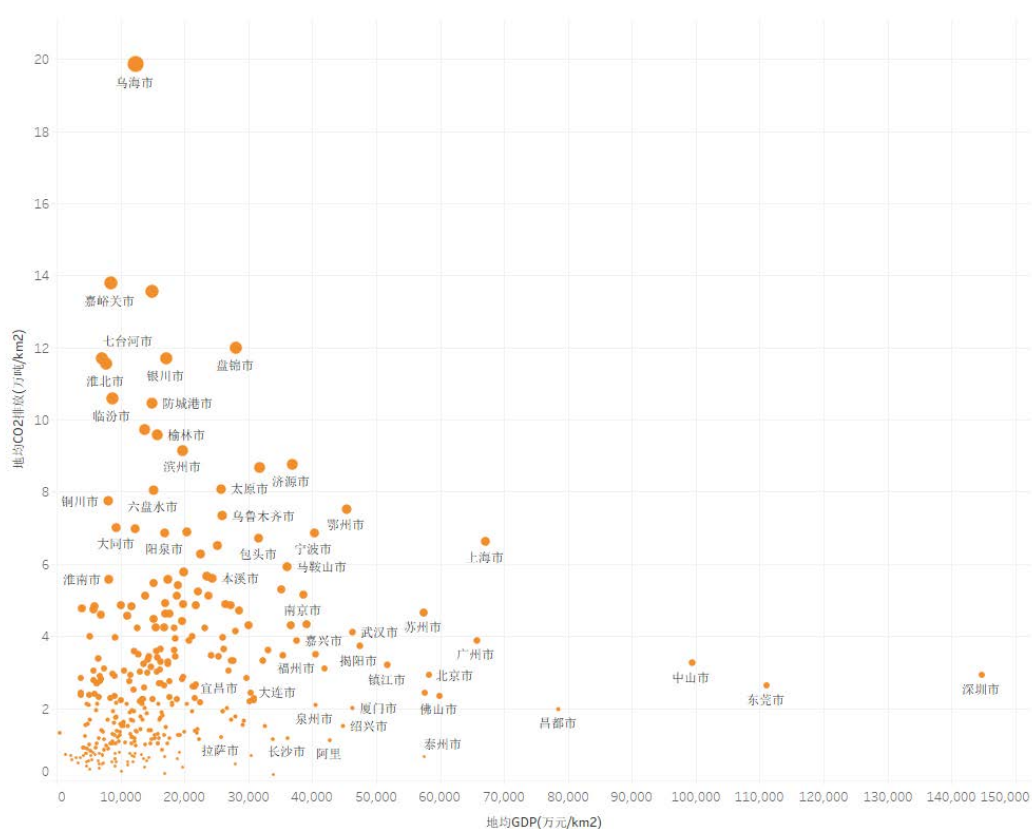


图 5-1 全国主要城市地均 CO₂ 排放与地均 GDP 关系图

可以明显看出，在土地 GDP 产出相似的情况下，不同城市的土地碳排放强度差异较大。其中广东省的深圳、东莞、中山、广州四个城市地均 GDP 较高且 CO₂ 排放较低，值得其他城市学习。广东省之所以成为经济发展和碳排放控制的排头兵，得益于广东省相对较轻的产业结构，以及节能减排、碳交易市场等一系

列政策措施的实施。其中深圳市的单位 GDP 碳排放强度更是达到了全球先进水平⁴。但是从图 5-1 可以看出，大部分城市还处于土地 GDP 产出低，土地碳排放强度大的状况。说明城市层面通过用地控制碳排放强度潜力较大。

也正因为建设用地面积和污染物排放之间的复杂关系，本研究在试图建立“用地—污染物”耦合模型时，考虑了多种因素组合和多种模型模拟方式。

2. 建设用地面积与碳排放的双对数耦合模型

本研究在全国范围进行 10km¹×0km 的网格划分，共计得到约 9.7 万个网格，但这些网格中存在大量网格不产生或者产生极少的 CO₂ 或 NO_x 的排放。污染物可视化发现这类网格主要位于人类活动极少的山区或沙漠等地区（如图 5-2 所示），因此在进行 CO₂ 排放分析时去除了 CO₂ 排放量小于 1 吨的网格，剩余网格 58229 个；在进行 NO_x 分析时去除了 NO_x 排放量小于 10 吨的网格，剩余网格 45959 个。

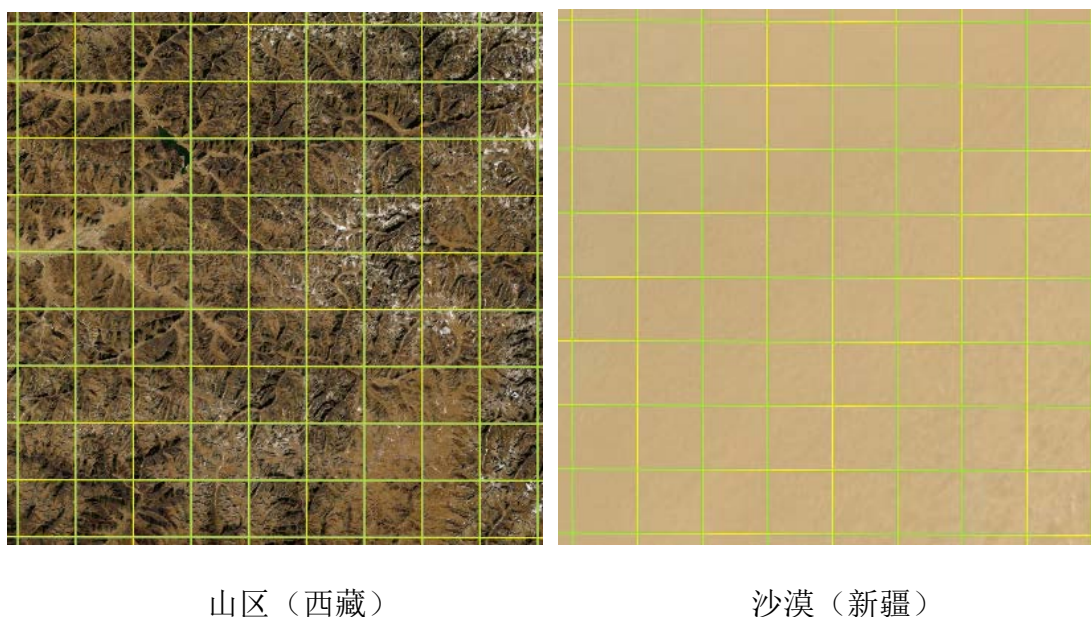


图 5-2 污染物排放极少的典型网格示例

2.1 建设用地面积和类型与 CO₂ 排放的关系

⁴ 深圳市 2019 年环境状况公告

为了直观分析建设用地面积和类型与 CO₂ 排放的关系，本研究首先将 58229 个网格根据 CO₂ 排放量水平划分为 20 档，每档为一个集合，每个集合含 2911 或 2912 个网格，统计这些网格的不同建设用地类型的平均面积得到图 5-3。图中的 20 个柱子代表不同集合里的网格平均建设用地类型及相应的面积，图中黑色折线中的各点为各个集合中 CO₂ 排放最低的网格的 CO₂ 排放量。可以看出，随着建设用地面积，尤其是城镇（城市+建制镇）建设用地面积的增加，CO₂ 排放总体呈上升趋势。特别的，当建设用地面积占网格面积的 15% 以上时，CO₂ 排放随着建设用地面积的增加而迅速增长。

与图 5-3 类似，将上述 20 个集合中的 2911 或 2912 个网格的不同建设用地的平均比例作图，得到图 5-4。图中的 20 个柱子分别代表不同集合里的不同建设用地类型占比。可以看出，CO₂ 排放随着城镇面积占比的增加而显著增加，说明城镇用地与 CO₂ 排放关系显著。城镇用地占比越大，越需要考虑如何控制 CO₂ 排放。

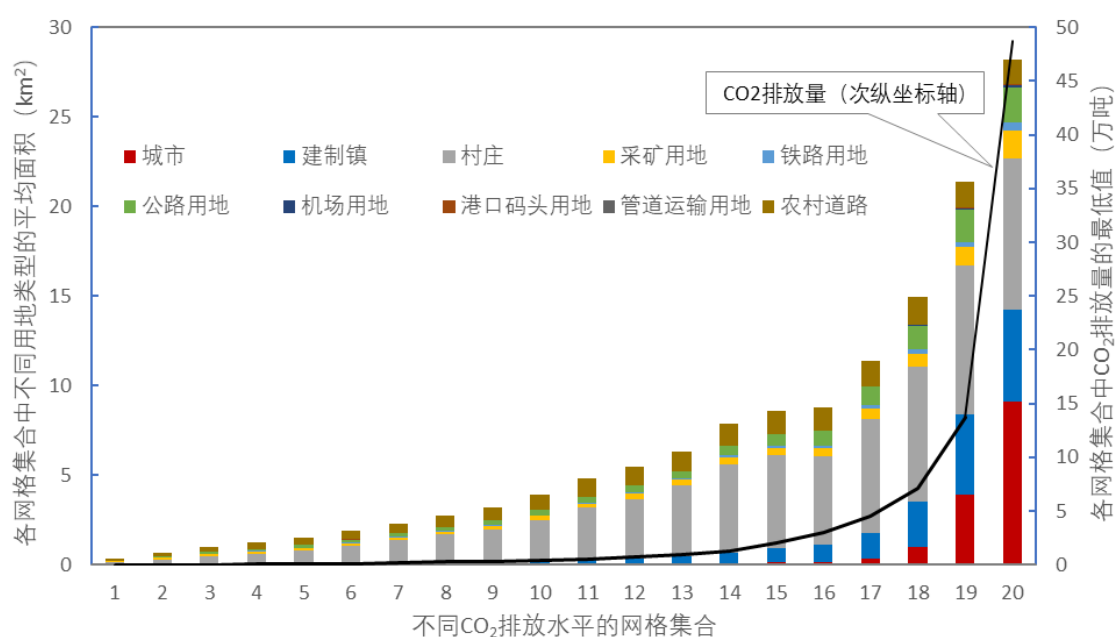
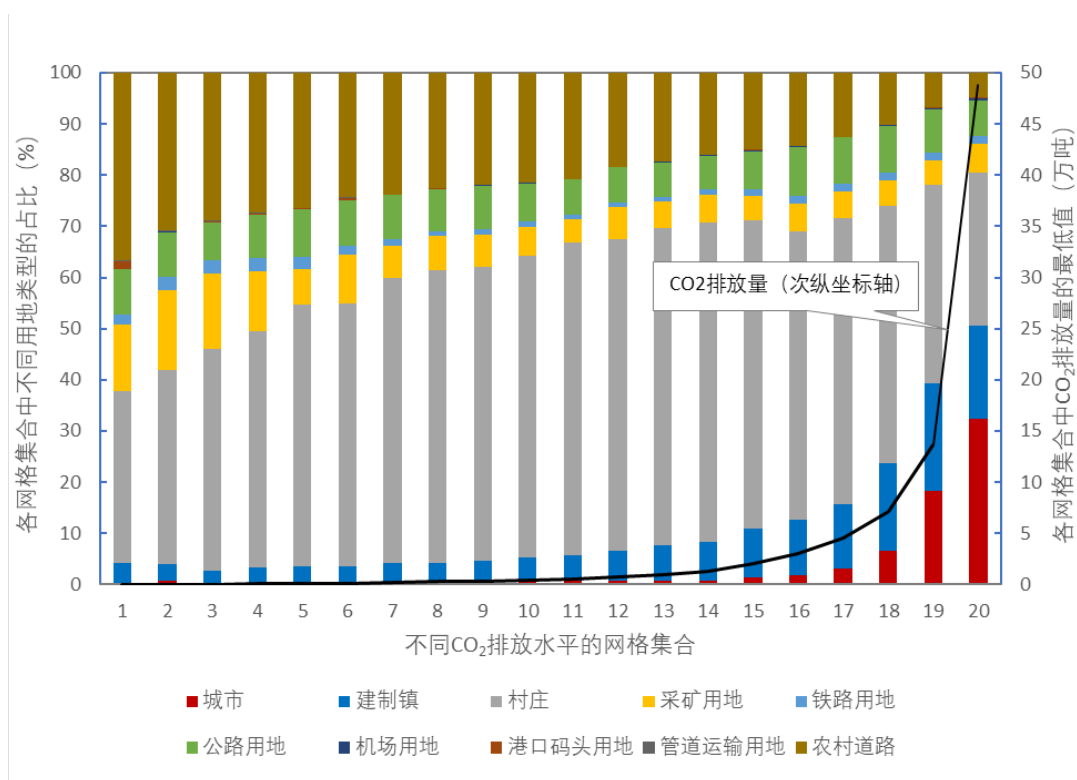
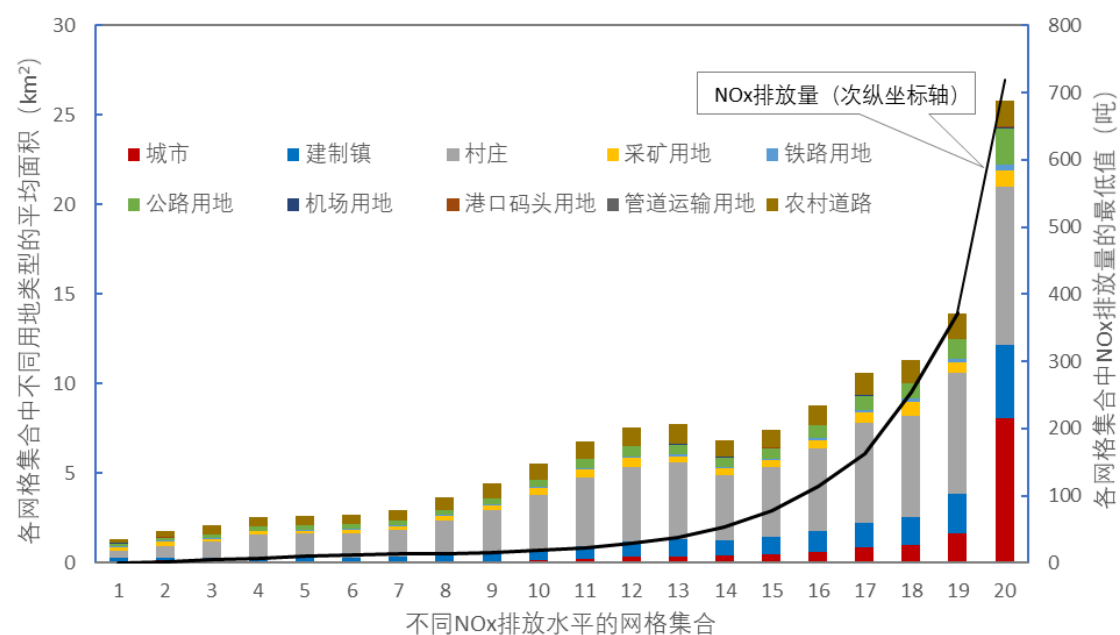
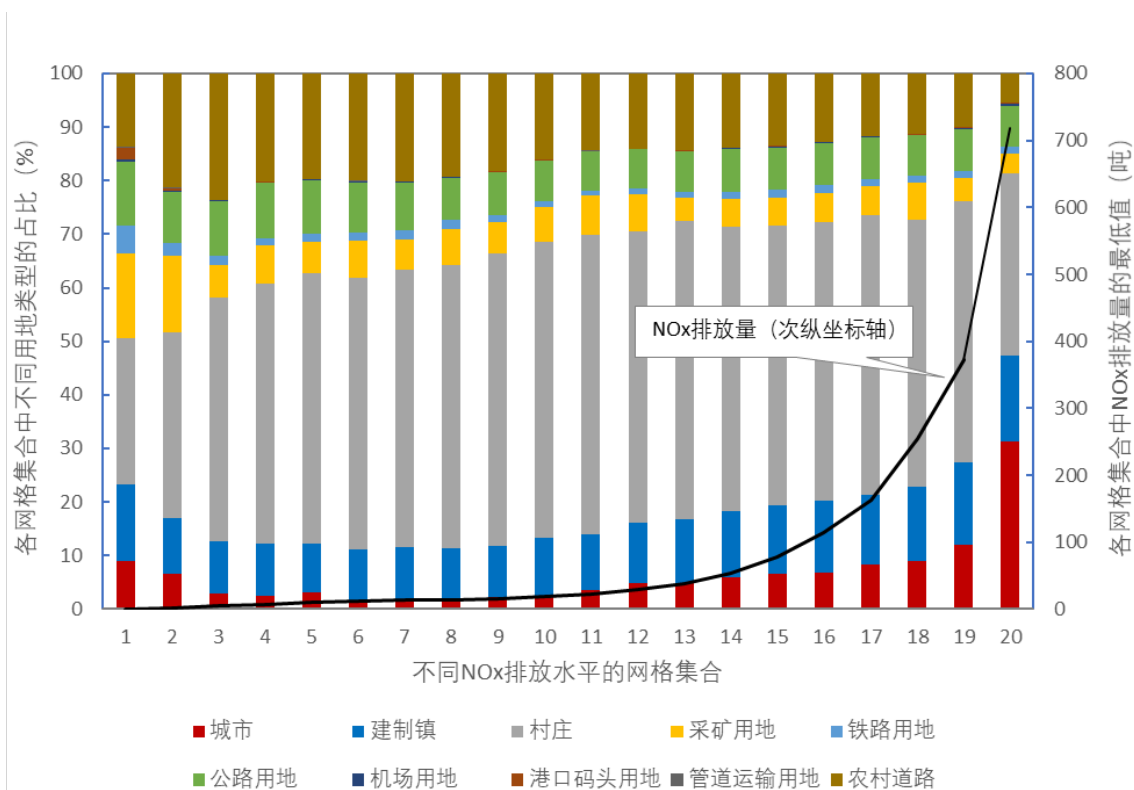


图 5-3 不同用地类型面积与 CO₂ 排放水平的关系


 图 5-4 不同用地类型占比与 CO₂ 排放水平的关系

2.2 建设用地面积和类型与 NO_x 排放的关系

与上述建设用地和 CO₂ 关系分析方法类似，将 45959 个 NO_x 排放量大于等于 10 吨的网格，根据 NO_x 和大气污染物排放量的大小划分为 20 档，统计这些网格的不同用地类型的平均面积得到图 5-5。可以看出，城镇用地面积的增长总体呈推动 NO_x 排放增长的趋势。进一步将 20 个集合中网格的不同建设用地的平均比例作图，得到图 5-6。可以看出，城镇面积占建设用地的比例超过 20% 时，其增加显著促进 NO_x 排放的增长。


 图 5-5 不同用地类型面积与 NO_x 排放水平的关系

 图 5-6 不同用地类型占比与 NO_x 排放水平的关系

2.3 建设用地面积和碳排放的双对数模型

在进行建设用地和 CO₂ 排放相关关系初步分析的基础上，为了得到建设用地和 CO₂ 排放的定量关系，尝试了多种数据分析方法，最终发现建设用地总面积与 CO₂ 排放的双对数线性关系显著。即在 58229 个网格中去掉建设用地面积为 0 的网格后，对剩余的 57607 个网格进行单位面积 CO₂ 排放和建设用地占比的双对数线性回归（见图 5-7），结果显示其决定系数 $R^2=0.5983$ ，线性关系显著，得到的回归方程为：

$$\log(y) = 1.4272 \log(x) + 3.9636$$

其中：y 为单位面积的 CO₂ 排放，单位 t/km²

x 为网格中的建设用地占比

根据此回归方程测算，当建设用地规模增加 1 倍时，对应的 CO₂ 排放增加约为 1.7 倍，即建设用地的增加推动 CO₂ 排放加速增长。

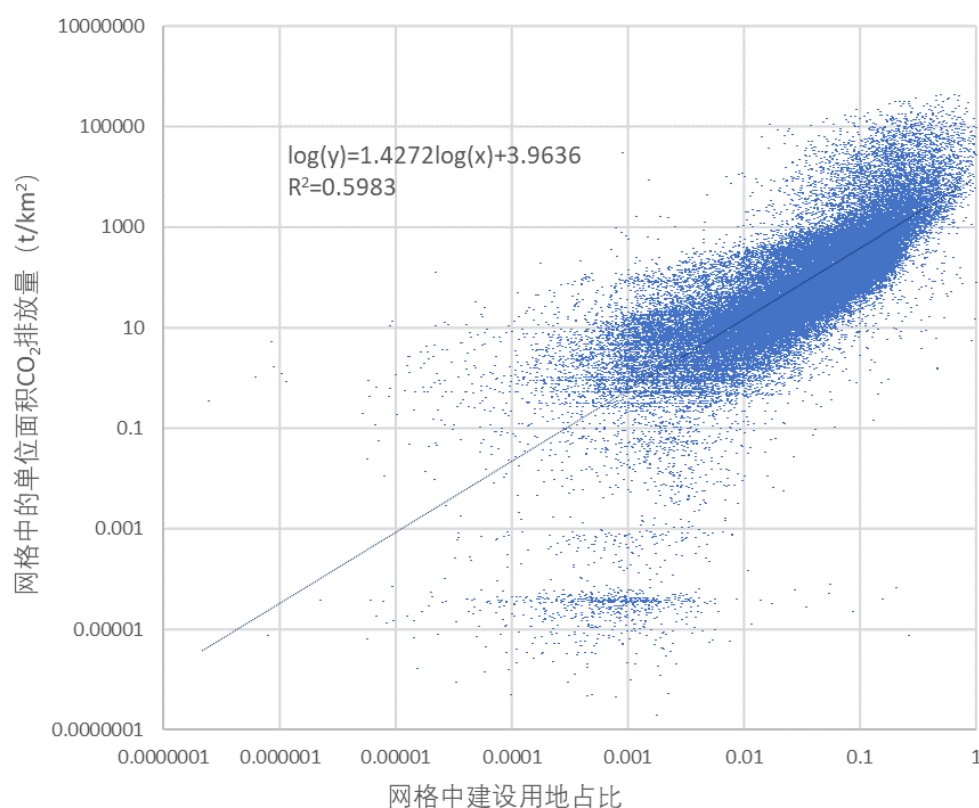


图 5-7 全国建设用地面积和碳排放的双对数回归结果

按照上述方法分别对 31 个省级行政区做单位面积 CO_2 排放和建设用地占比的双对数线性拟合，结果如图 5-8 所示。其中除新疆外的 30 个省份的回归决定系数 R^2 值均大于 0.4，线性拟合度较好。暂不考虑新疆，根据 30 个省份各自的回归方程推算建设用地面积增加一倍时，相应的碳排放的增加值，结果如表 5-1 所示。可以发现各省份区别较大，建设用地增加 1 倍时，各省份 CO_2 排放的增加值从 1.1 倍到 3.9 倍不等。其中，增幅最大的 10 个省份是青海、西藏、贵州、山东、山西、吉林、河南、辽宁、福建、宁夏，增幅最小的 10 个省份是内蒙古、四川、海南、安徽、北京、湖北、湖南、云南、甘肃、黑龙江。各省份空间用地结构不同，技术发展水平不同，造成碳排放随建设用地增加的幅度差异显著。

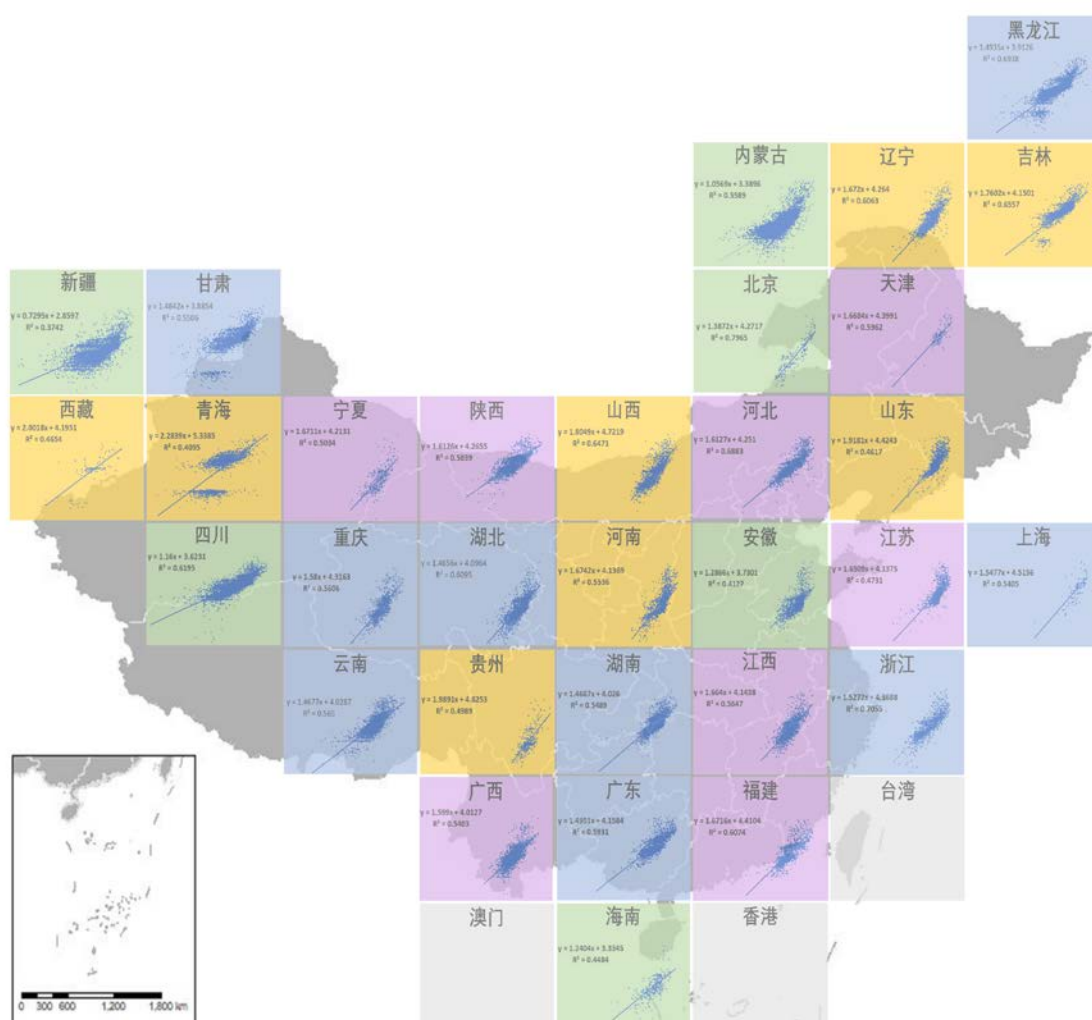


图 5-8 31 省双对数拟合结果图

表 5-1 分省双对数回归结果表

	回归系数	决定系数 R^2	有效网格 个数	建设用地面积翻倍时 碳排放的增加值
新疆	0.730	0.374	4547	66%
	1.057	0.559	6801	108%
四川	1.160	0.620	4024	123%
	1.240	0.448	360	136%
安徽	1.287	0.413	1402	144%
	1.387	0.797	213	162%
湖北	1.466	0.610	1888	176%
	1.467	0.549	2113	176%
云南	1.468	0.565	3618	177%
	1.484	0.551	2763	180%
黑龙江	1.494	0.694	3962	182%
	1.495	0.593	1844	182%
浙江	1.527	0.706	1167	188%
	1.548	0.541	104	192%
重庆	1.580	0.561	965	199%
	1.599	0.540	2356	203%
陕西	1.613	0.584	1938	206%
	1.613	0.688	1981	206%
江苏	1.651	0.473	1126	214%
	1.664	0.565	1675	217%
天津	1.668	0.596	148	218%
	1.671	0.503	354	218%
福建	1.672	0.607	1325	219%
	1.672	0.606	1520	219%
河南	1.674	0.554	1589	219%
	1.760	0.656	1883	239%
山西	1.805	0.647	1612	249%
	1.918	0.462	1600	278%
贵州	1.989	0.499	358	297%
	2.002	0.465	115	300%
青海	2.284	0.410	2256	387%

建设用地面积和碳排放的双对数模型是一个经验模型，也是定性分析结果的定量化呈现，其主要反映了污染物排放随建设用地面积增加而加速增长的特性。但此模型不能很好地反映影响碳排放的具体因素，因此本研究进一步细致探究，得到

下文的耦合模型。此外，本研究也试图建立建设用地面积和 NO_x 排放的双对数模型，但结果显示效果欠佳。

3. 细分行业用地面积与污染物排放耦合模型

包括能源工业在内的工业生产贡献了大部分人为 CO_2 排放⁵，因此研究工业用地与污染物排放的关系十分必要。从图 5-9 可以直观看出，我国大陆地区工业分布与 CO_2 和 NO_x 排放关系明显，但与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分布关系不明显。

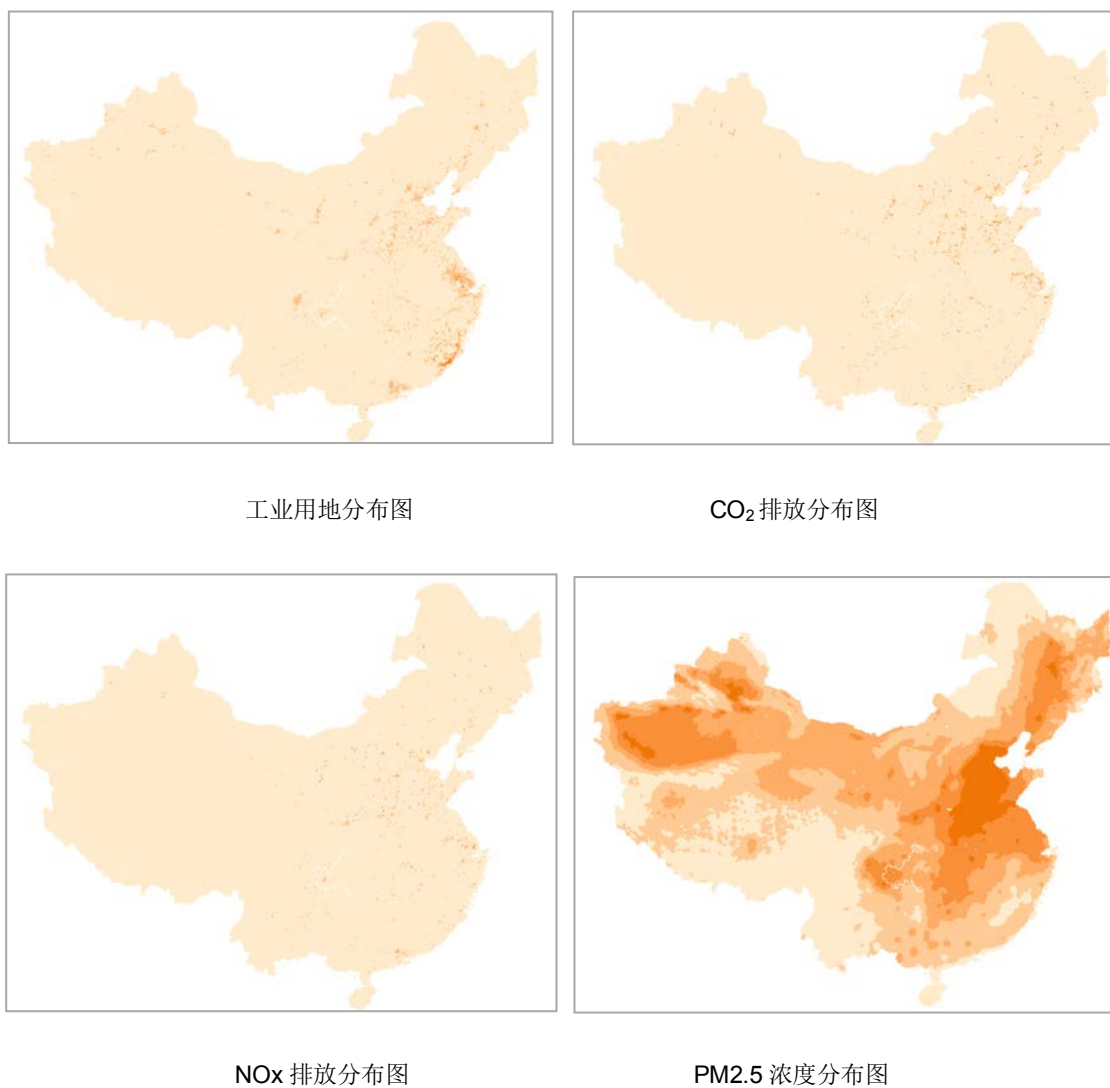


图 5-9 工业用地与污染物排放/浓度分布

⁵ <http://www.tanpaifang.com/jienenjianpai/2019/0314/63240.html>。

在行业细分背景下对工业用地的污染物排放进行研究时，发现使用非负最小二乘的拟合方法是最稳健的，因此结合非负最小二乘耦合模型对我国大陆地区工业面积与 CO₂、NO_x、PM_{2.5} 浓度进行了相关性分析。从全国的结果来看，其中与 CO₂ 相关性最强的几个行业分别是燃气生产和供应业、电力热力生产和供应业、仓储物流业以及石油加工炼焦和核燃料加工业；与 NO_x 相关性最强的几个行业分别是造纸和纸制品业、黑色金属冶炼和压延加工业以及仓储物流业；与 PM_{2.5} 浓度相关性较强的行业分别是燃气生产和供应业、有色金属矿采选业以及畜牧业。

3.1 不同行业用地与碳排放的耦合关系

3.1.1 耦合方法

为了进一步研究不同行业用地与污染物排放的耦合关系，利用近 10 万个工业 POI 点转化为 AOI，得到 35 种细分行业在网格中的分布。在尝试多种数据挖掘方法的基础上，最终选择以 10km¹×0km 网格为基本单位，进行 CO₂ 排放与不同类型行业用地的多元线性回归。为了达到最佳回归效果，对 35 个细分行业中的部分行业进行了选择性合并，得到如表 5-2 所示的 19 个行业类型。

表 5-2 进行多元线性回归的行业类型

序号	行业或行业集合
1	燃气生产和供应业
2	电力热力生产和供应业
3	水的生产和供应业
4	造纸和纸制品业
5	石油加工炼焦和核燃料加工业
6	化学纤维制造业
7	化学原料和化学制品制造业
8	黑色金属冶炼和压延加工业
9	非金属矿物制品业
10	仓储物流业
11	有色金属冶炼和压延加工业
12	畜牧业
13	有色金属矿采选业
14	皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业
15	村庄

16	交通用地（不含农村道路）
17	城镇
18	采矿用地
19	其他

最终得到回归方程为：

$$E=b_0+b_1A_1+b_2A_2+\cdots+b_{19}A_{19}$$

其中，E 为网格的 CO₂ 排放量，单位 t

b_n 为第 n 种行业的 CO₂ 排放耦合系数（排放强度），单位 t/km²

A_n 为第 n 种行业在网格中的面积，单位 km²

3.1.2 分省耦合结果

对我国大陆地区 31 省份数据分别进行上述回归，得到不同省份的碳排放与行业用地的多元线性回归方程，结果显示线性关系显著。根据 31 省份的回归方程，做不同行业碳排放排放强度的箱型图，如图 5-10 所示。

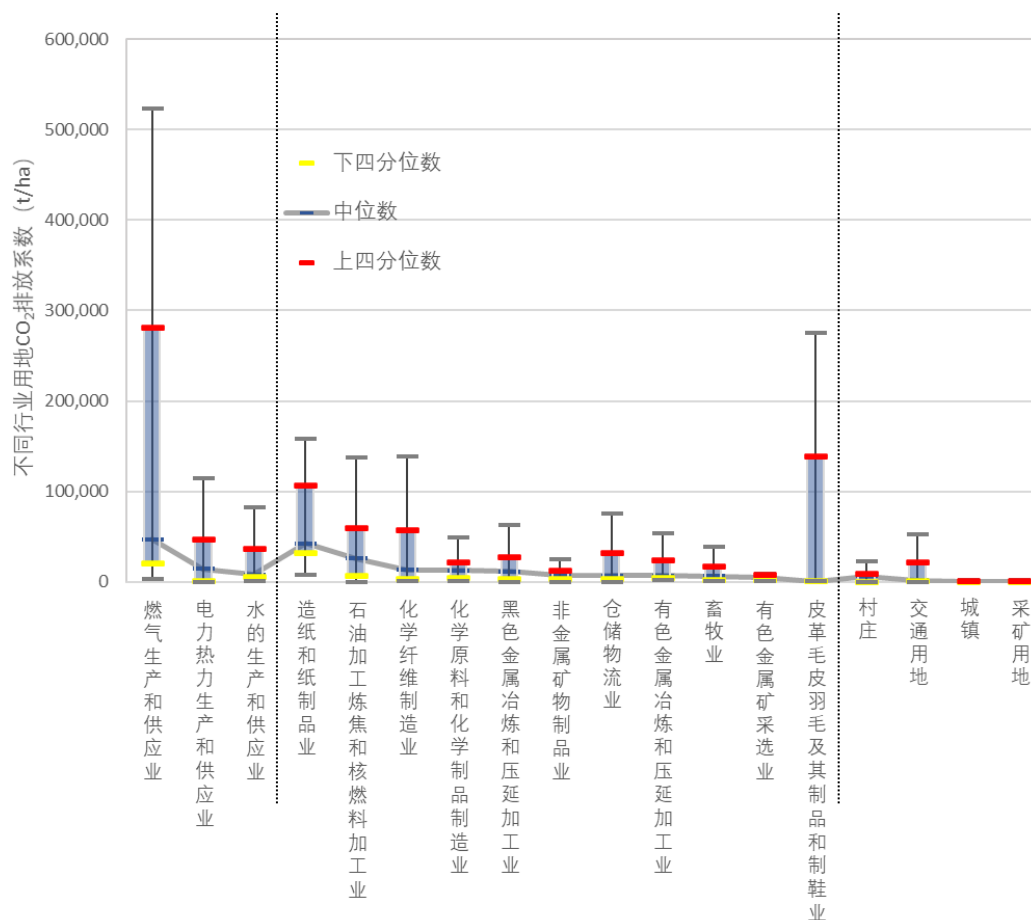


图 5-10 不同行业用地 CO₂ 排放系数箱型图

根据《中国碳排放权交易报告（2017）》⁶，2009 年中国各行业碳排放量最大的行业是电力燃气及水的供应业。从本研究的结果来看，燃气、电力和水这三类行业用地的二氧化碳排放强度较高，且不同省份的碳排放强度差异较大，因此其减排潜力大。燃气、电力等能源行业的脱碳需要大力推进可再生能源的使用。水的生产和供应业的碳排放方面，除了电力消耗等间接排放外，污水处理行业的 CH₄、N₂O 等温室气体直接排放量也不容小觑。

从图 5-10 还可以看出，除水、电、气以外的其他工业用地与碳排放显著相关的还有（以排放强度中位数从大到小排列）造纸和纸制品业、石油加工炼焦和核燃料加工业、化学纤维制造业、化学原料和化学制品制造业、黑色金属冶炼和压延加工业、非金属矿物制品业、仓储物流业、有色金属冶炼和压延加工业、畜牧业、有色金属矿采选业、皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业。

造纸业用地的碳排放强度最大。统计数据表明⁷，2015 年，我国造纸行业碳排放占到 1.67%。其中 80%以上的排放来自化石燃料尤其是煤炭的燃烧，造纸企业煤炭几乎全部用于小型自备电厂和供热锅炉，发电/供热规模小，能源利用效率低，碳排放量大。因此，造纸业的脱碳首先以取缔/升级自备电厂/锅炉为工作重点，同时也应采取其他措施降低企业能耗和碳排放⁸。化纤和皮革业的碳排放强度省际差异较大，排放大的可能同样与自备电厂/锅炉相关。2018 年 3 月 22 日，国家发改委办公厅下发了《燃煤自备电厂规范建设和运行专项治理方案(征求意见稿)》，对全国燃煤自备电厂的建设和运行提出了 24 条整治意见，主要涉及严控新建自备电厂、清理违规自备电厂、限期完成环保及能耗改造、坚决淘汰落后产能等工作，对降低上述行业碳排放起到了积极作用。

⁶ http://www.cssn.cn/jjx/jjx_bg/201709/t20170917_3642571_4.shtml。

⁷ <http://www.tanjiaoyi.com/article-25802-3.html>。

⁸ 吕泽瑜，蒋彬，孙慧，吕竹明，陈晨.《我国造纸行业碳排放现状及减排途径》，《中国造纸学报》，32(3)，2017，64-69. <https://max.book118.com/html/2017/1121/140953882.shtml>。

石油、化工、金属、非金属等重工业是传统碳排放大户，其对应的用地排放强度也较高。一方面，应严格控制产能并提高效率减少碳排放；另一方面，如果要深度脱碳，往往还需根本性的技术变革以及碳捕获技术。

仓储物流业和畜牧业用地排放强度也较大，且近十年来发展较为迅速（如图 5-11 所示）。关于这两个行业的碳排放研究相对较少，未来需开展更深入的研究，建立现代化绿色仓储物流业和畜牧业，减少温室气体排放。

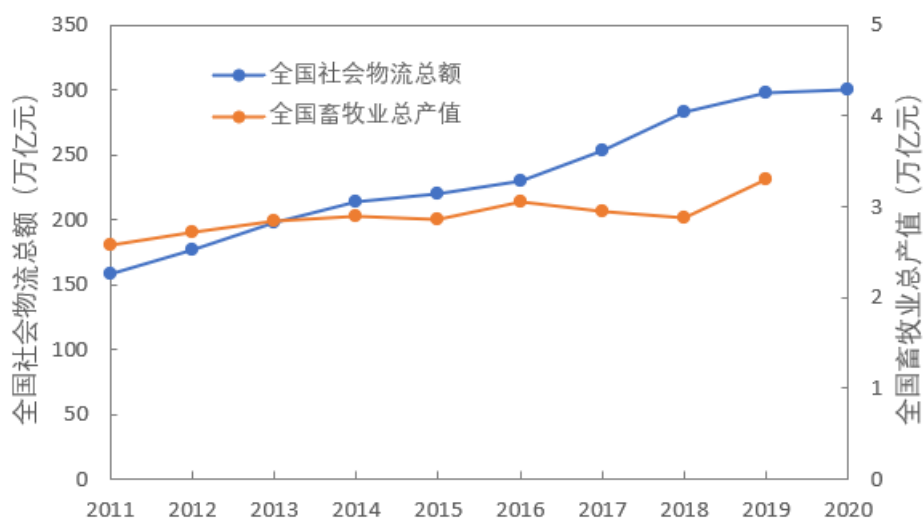


图 5-11 2011—2020 年全国社会物流综合和畜牧业总产值变化趋势

除去工业用地之外的村庄和城镇用地，以及交通用地和采矿用地的排放强度均较低，但这几部分面积大约占总建设用地的 79%，因此对总排放量也有一定的贡献。

3.1.3 整体耦合结果

按照上述 31 省份分省进行多元线性回归类似的方法，以 31 省份所有数据为整体进行多元线性回归，结果显示线性关系显著，得到碳排放与不同行业用地的多元线性回归方程。根据此方程解析建设用地与碳排放的耦合关系，发现城市和建制镇用地（简称城镇用地）占国土总面积的 1%，但碳排放约占全国总排放的近 90%。这近 90%的碳排放中，工业用地（城镇用地的约 17%）的碳排放和非工业用地的碳排放约各占一半。因此，城镇地区的空间结构优化是实现碳达峰和碳中和的重中之重。

3.1.4 减排潜力分析

根据 3.1.3 得到的 31 省份整体的碳排放与不同行业用地的多元线性回归方程，再取 31 省份分省的不同行业碳排放强度统计结果的下四分位数作为先进值，计算当 31 省份的行业用地碳排放强度下降到先进值时的碳排放量，发现 31 省份的总体碳排放量可降低一半（见图 5-12）。其中，不同行业用地的碳减排贡献率如图 5-13 所示，可以看出其中城镇用地的减排潜力大，占此类减排的 46%。其次为化工、电力、非金属、黑色金属和仓储物流业，分别占此类减排的 14%、12%、12%、6%和 5%。这些都是未来进行碳排放控制的重点领域。

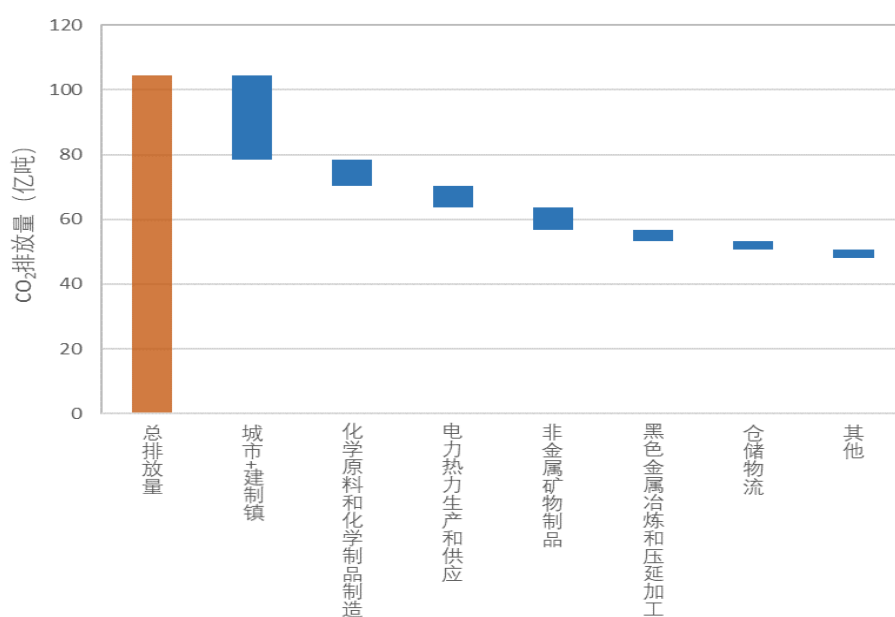


图 5-12 不同建设用地类型进行碳排放强度控制的减排潜力

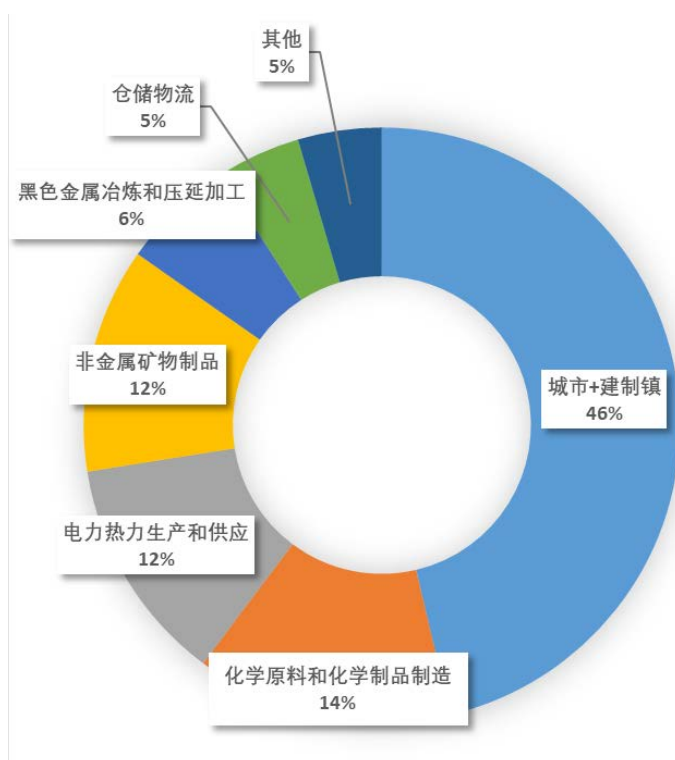


图 5-13 不同建设用地类型进行碳排放强度控制的减排潜力占比

3.2 不同行业用地与氮氧化物排放的耦合关系

与 3.1 中不同行业用地与碳排放的耦合方法类似，进行 31 省份的 NO_x 排放与不同行业用地的多元线性回归，结果同样显示线性关系显著。根据 31 省份的回归方程做不同行业排放耦合系数的箱型图，如图 5-14 所示。可以看出：

- 和 CO_2 耦合结果类似，燃气、电力和水行业 NO_x 排放强度较高。
- NO_x 排放强度较高的工业行业集中在有色、仓储物流、化纤、造纸和石化行业等。
- 全国 NO_x 排放清单中，机动车排放和非道路移动源排放量约占全国 NO_x 排放量一半， NO_x 的线源和面源排放比例较高，在一定程度上影响工业行业用地结构与 NO_x 排放的耦合结果。

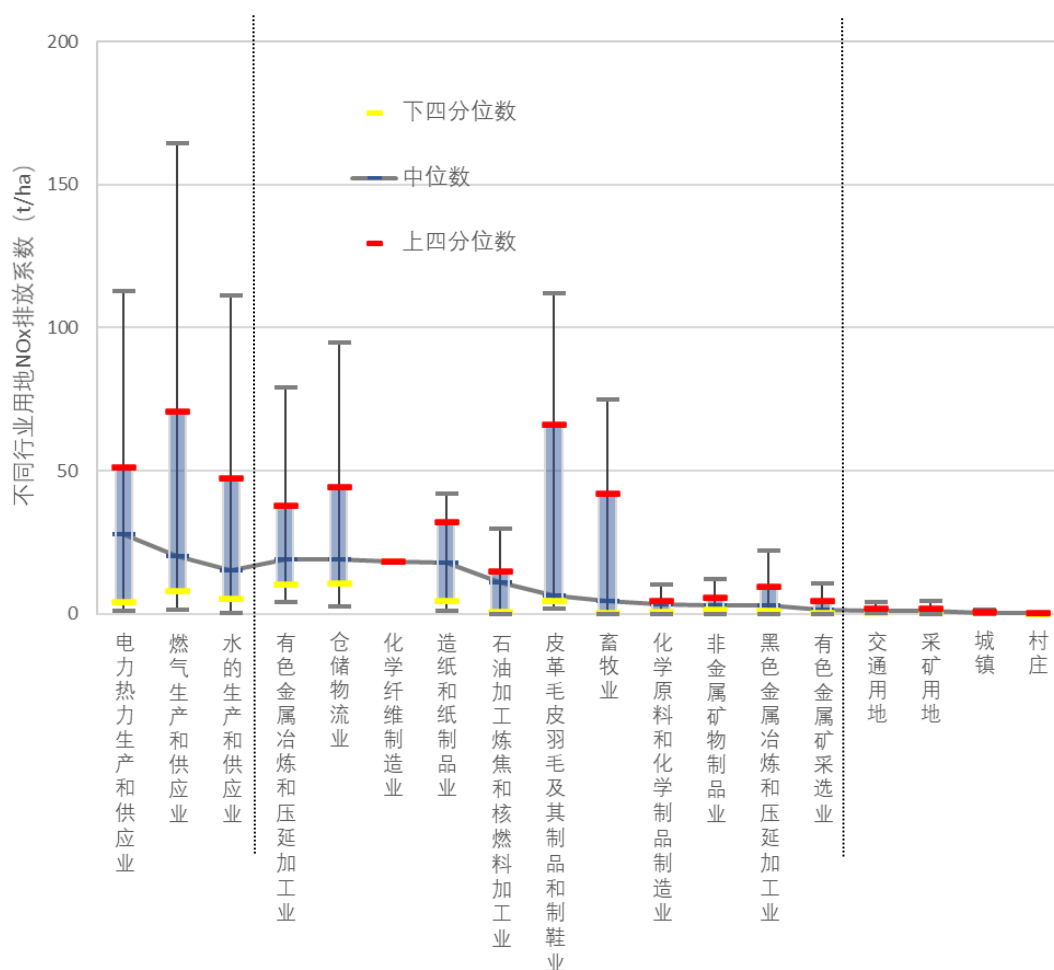


图 5-14 不同行业用地 NOx 排放系数箱型图

3.3 不同行业用地与 PM_{2.5} 浓度的耦合关系

同样的方式进行不同省份的 PM_{2.5} 浓度与不同行业用地的多元线性回归，结果显示相关性差。推测其原因是此处使用的 PM_{2.5} 为环境浓度数据，而非排放量数据，所以在受到不同用地类型 PM_{2.5} 排放情形不同影响的基础上，还显著受到气象因素和污染物之间相互作用等因素的影响，所以没有明显的线性相关性。

4. 碳排放情景预测

以 3.1 所述的全国 31 省份整体的碳排放与不同行业用地的多元线性回归结果为基础，考虑不同的控制情景，进行碳排放情景预测。设定五种情景具体如下：

- **BAU 情景（无控情景）：**与过去十年类似，建设用地每年新增 60 万公顷，且不进行结构调整或排放强度控制。
- **控制情景 1：**建设用地每年新增缩减为 21 万公顷，但不进行结构调整或排放强度控制。
- **控制情景 2：**在控制情景 1 的基础上，调整用地结构，减少或取消产能过剩行业的新增用地。
- **控制情景 3：**在控制情景 2 的基础上，降低新增建设用地中不同行业的碳排放强度，使其五年内逐年降低至行业先进值（31 省份分省的不同行业碳排放强度统计结果的下四分位数）。
- **控制情景 4：**在控制情景 3 的基础上，控制既往用地碳排放，使碳排放强度逐年降低 0.2%。

五种情景下的碳排放预测结果如图 5-15 所示。可以看出，随着控制的深入，碳排放量逐级降低，并最终实现 2030 年碳达峰。也就是说，在没有考虑碳汇和碳捕集的情况下，通过用地供应控制、用地结构调整、用地强度约束，以及现存用地的功能调整，仍然可以在 2030 年实现碳达峰目标，对比无控情景 2030 年的碳排放减少约 14%。具体计算不同情景下各个控制措施所达到的 2030 年碳减排效果，如图 5-16 所示。

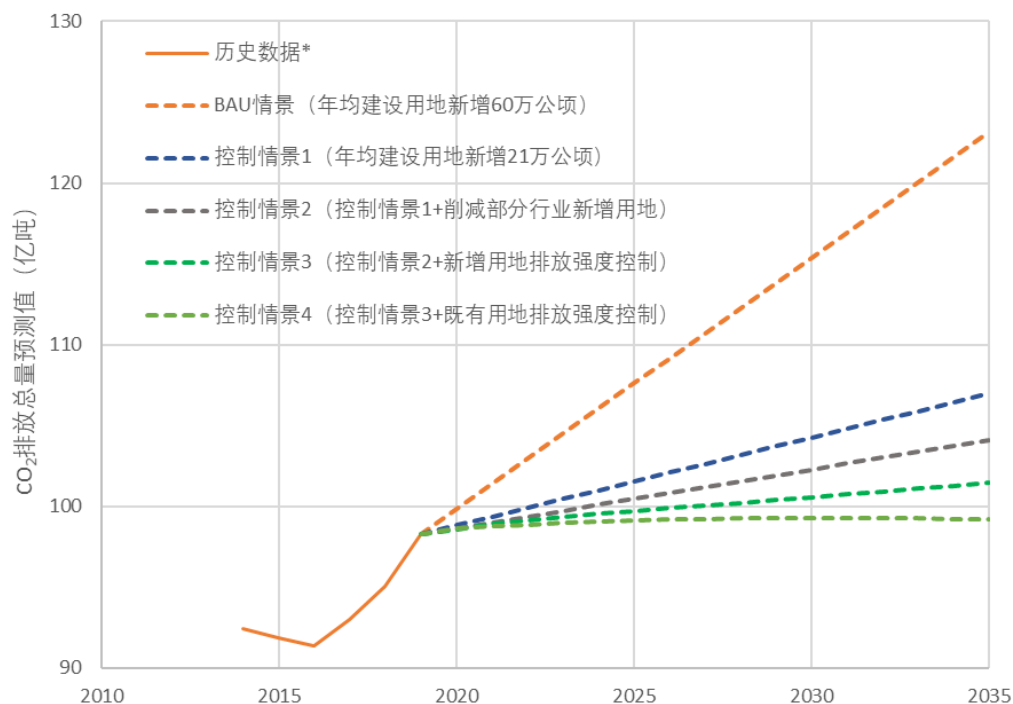


图 5-15 不同情景下 CO₂ 排放总量预测值

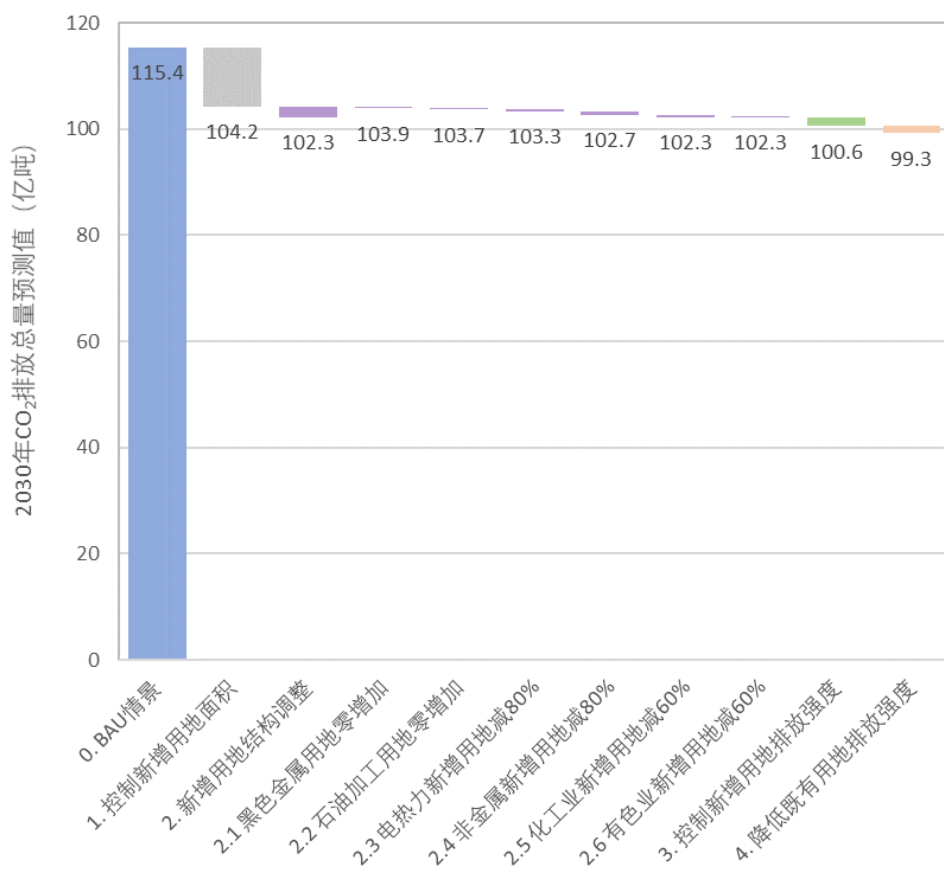


图 5-16 不同控制手段的 CO₂ 减排效果

从图 5-16 可以看出：

- 按照现有国有空间结构继续发展，不采取任何控制措施的情况下，碳排放将持续增长。2030 年碳排放预测结果表明，如果建设用地按照过去十年年均增长约 60 万公顷的速度继续增长，且不采取用地结构调整、碳排放强度约束等措施，那么二氧化碳排放量将持续增长，预计 2030 年相比 2020 年增加 16%。
- 控制新增建设用地面积可以显著降低 CO₂ 排放。在过去十年里，建设用地一直都保持着大约每年新增 60 万公顷的速度，其中新增工矿仓储用地大约占 1/4，新增房地产用地大约占 1/4，剩下的一半左右为新增基础设施及其他用地（见图 5-17）。若新增建设用地面积从原来的每年 60 万公顷，下降到每年 28 万公顷，根据模型预测，碳排放将显著下降，相比无控情景，2030 年的排放量下降约 10%。然而，在城镇化率将继续提高的大背景下，没有切实可行的控制措施，就无法实现建设用地总量的控制。所以在经济稳步增长的基础上，要想实现新增建设用地的下降乃至负增长，就必须进一步挖掘存量建设用地潜力、健全用地控制标准体系、开发应用节地技术、降低单位 GDP 建设用地使用面积等。

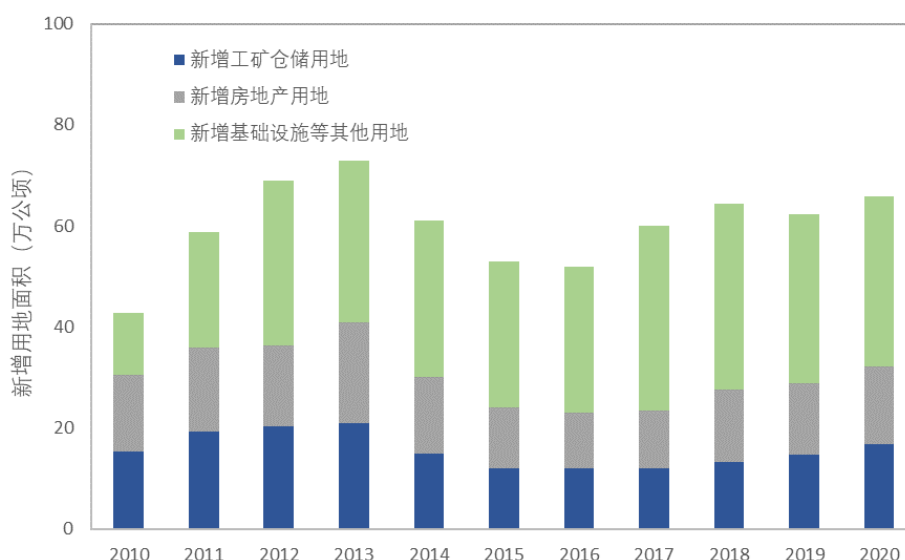


图 5-17 2010—2020 年新增建设用地面积分类

- **调整新增用地结构可进一步降低 CO₂ 排放。**化石能源行业、石化、化工、金属、非金属等行业的碳排放强度高，应在新增用地中严格控制这类行业用地，乃至实现部分行业用地的零增长，以达到调整新增用地结构，减少碳排放的目标。
 - 化石能源可通过可再生能源来替代：据国际可再生能源署（IRENA）推测⁹，在全球升温小于 2 摄氏度的目标下，2050 年全球电力消费占全球终端能源消费的一半，且其中 86% 的电力来自非化石能源。高盛集团报告¹⁰预测可再生能源是中国实现脱碳最重要的技术，脱碳贡献率可达 50%；预计中国 2060 年的发电量将为现在的三倍，主要来自太阳能、风能、核能和氢能。
 - 我国石化、化工、金属、非金属等重工业均面临一定的产能过剩、落后产能问题，控制这类行业的新增用地与化解过剩产能、淘汰落后产能、加快优质产能释放的需求相一致，有利于实现行业的高质量发展，同时减少环境污染和碳排放。
- **进一步控制新增用地的碳排放强度并结合既有土地的碳排放强度降低，可实现碳达峰。**如 3.1 所述，降低建设用地的碳排放强度具有很大的减排潜力。对于新增建设用地，可以考虑用行业先进值对新增项目进行碳排放约束。对于既有建设用地，可以用行业先进值作为目标，制订碳排放强度降低计划。

⁹ <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>。

¹⁰ <https://www.qa.goldmansachs.com/insights/pages/carbonomics-china-net-zero.html>。

六、 结论和建议

1. 结论

本研究通过建立国土空间用地结构与碳排放的关系模型，探讨如何通过国土空间结构优化支持碳达峰、碳中和目标的实现，进而为相关政策和规划的制定，以及实施效果的评估提供理论支持。得到的主要结论包括：

- 1) 国土空间结构与碳和常规污染物排放存在强相关关系；建设用地，特别是工业用地规模直接影响碳排放；建设用地面积增加 1 倍， CO_2 排放约增加 1.7 倍。
- 2) 分省分析表明，省级用地结构均与碳排放直接相关，不同省份相关系数不同，反映了省级用地结构不同造成的碳排放差异；建设用地面积增加 1 倍，不同省份碳排放增加 1.1—3.9 倍
- 3) 选取用地结构相近的网格进行分析，不同省份网格碳排放和污染物排放具有一定的离散度，东部区域明显好于其他区域，反映了技术和管理因素对碳和污染物排放的影响程度；从国土规划碳排放的角度分析，在控制土地结构和性质的基础上，应该纳入碳和污染强度的规划要求。
- 4) 城市层面的分析表明，在土地 GDP 产出相似的情况下，土地碳排放强度仍有较大差异，说明城市层面通过土地结构和碳排放强度控制污染的潜力较大。
- 5) 从行业用地类型分析：
 - 不同行业碳排放强度差异较大，其中水电气等基础能源和市政供应的用地碳强度最大，工业用地次之，城镇生活生产用地再次之，但城镇用地占地面积较大，同样应该引起重视。
 - 同一行业不同地域的碳排放强度也有较大差别，反映了技术和管理因素在污染和碳排放控制中的作用。细分行业的分析结果，可以为行业用地设定污染物和碳排放标杆，为未来土地供应中引入碳强度指标提供依据。

- 6) 通过国土空间规划体系进行碳排放和污染排放控制高效可行，控制的要素可以分为以下几个层次：用地供应控制，用地结构调整，用地强度约束，以及现存用地的功能调整。这些控制手段应在未来各级国土空间规划中予以要求和考虑。
- 7) 根据上述分析研究，进行了国土空间规划用地控制情景分析。结果表明通过上述控制手段，在没有考虑碳汇和碳捕集的情况下，仍然可以在2030年实现国家碳达峰的目标，2030年对比无控情景减排比例为14%。
- 8) 本研究污染物浓度与用地规模结构在GIS表达上具有相关趋势；相比CO₂排放，建设用地规模结构与NO_x排放和PM_{2.5}浓度的模型回归相关关系相对较弱。说明：
 - 过去多年来我国大气污染治理，特别是末端治理取得一定成绩，但随着末端治理技术的应用潜力减少，仍需集中于前端的结构调整。
 - 除了上述末端治理的贡献之外，气象因素的影响尚未考虑。结合污染物强度和气象条件的国土空间规划应该在未来的研究中进一步深化。

2. 建议

国土空间使用与碳排放和污染物浓度存在强相关关系，基于环境容量的土地利用精细化规划势在必行，考虑到国家提出的2030碳达峰和2060碳中和的新要求，本研究提出如下政策建议：

- 1) 加强基于碳排放的国土空间管控，对于碳排放总量已经较大、发展相对粗放、建设用地碳排放强度较高的区域和省市，严格控制土地供应，特别是高耗能高污染的土地供应。
- 2) 新一轮国土空间规划应在管控土地功能性质的基础上，严格控制建设用地的无序盲目扩张，优化国土空间用地结构和布局，引导产业用地结构调整，推进清洁高附加值的产业升级，部分地区严控高耗能高污染工业用地供应，并进一步提出土地碳排放强度的控制约束要求。

- 3) 在新的国土空间规划管理体系中，应结合碳达峰和中和的要求，在各级国土空间总体规划中明确提出土地供应规模、结构调整要求，探索建立用地碳排放强度标准，提高新增建设开发准入门槛。
- 4) 在国土空间规划的编制中引入气候变化和环境容量约束，进行专门论述和评估，并作为规划依据：
 - 通过国土空间规划和土地供应引导产业用地结构调整，推进清洁高附加值的产业升级，部分地区严控高能耗高污染工业用地供应。
 - 在用地结构约束的基础上，提出土地碳排放强度的控制约束要求。
 - 国家、省市级国土空间规划必须进行碳排放影响评价，并与省市碳达峰目标和 2060 年碳中和远景目标进行协同。
 - 对国土空间和城区建设用地空间自然禀赋进行研究的基础上，制定能源供需平衡策略，最大限度引入分布式可再生能源。
- 5) 在国土空间规划“双评价”、“双评估”体系中纳入碳排放及容量的实施评估和监测指标体系，引导高能耗高污染行业土地腾退与减量化。构建国土空间使用与碳排放相关关系模型体系，评估国土空间利用发展与碳中和情景的协同关系，保证碳中和情景的实现。
- 6) 国土空间用地结构调整及布局优化与碳汇生态系统协同，设定全国碳汇容量目标，逐步增加吸储碳能力，确定重点碳汇区域和保护推进政策。国土空间规划引导城市集约低碳发展模式。创建高效集约，低碳宜居的城市空间体系。引导绿色出行，引导居民行为向绿色低碳方向转化。
- 7) 以国土空间规划“一张图”为基础，整合发改、环保等相关部门管控要求，实现多数据源联动下的碳排放空间精准管控。

七、 附录

1. 非负约束最小二乘耦合模型

在构建行业用地面积与污染物排放的耦合关系时，需要采用非负性多元拟合（NNLS），相对于最小二乘拟合，非负性多元拟合对高维模型更加有效，其预测结果也更加准确。

首先设想一个线性回归模型

$$y = X\beta^* + \varepsilon \quad (1.1)$$

其中 y 为观测向量， $X \in R^{n \times p}$ 是变量矩阵， ε 是噪声向量， β^* 为待估系数向量，在本文中，我们将采用如下一些记号： $R^{m \times n}$ 表示 $m \times n$ 实矩阵所构成的集合； $R^m = R^{m \times 1}$ 表示 m 维列向量所构成的集合；对于任意矩阵 $A \in R^{n \times m}$ ， $A^H \in R^{m \times n}$ 表示 A 的转置矩阵，且 A^+ 表示矩阵 A 的 Moore-Penrose 广义逆矩阵¹¹； $\|\cdot\|_2$ 表示 2 的范数， $\|\cdot\|_\infty$ 表示无穷范数； $\|\cdot\|_1$ 表示 1 的范数； $\text{Rank}(A)$ 表示矩阵 A 的秩； $R(A)$ 表示矩阵 A 的列向量所生成的子空间； $\text{Span}\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示由向量 $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 生成的子空间； I^k 表示 k 阶单位阵；设 s 为一子空间或为一矩阵记号，令 P_s 表示这一子空间上的投影算子，或为矩阵 s 列向量所生成的子空间上的投影算子。

在现实生活中，利用线性回归方法，常常可以得到的数学问题，求 x 满足：

$$\begin{cases} Ax = b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

其中， $A \in R^{m \times n}$ 和 b 为已知数据。就实际问题（1.2）本身而言，有时，尽管它应该有解，但由于测量误差和其它各种因素的影响，使得数据 A 和 b 都不可避免地存在着一些误差。这样就可能造成问题（1.2）性态较差或根本无解，因而，

¹¹ Martin Slawski. Matthias Hein. "Non-negative least squares for high-dimensional linear models: Consistency and sparse recovery without regularization." Electron. J. Statist. 7 3004 - 3056, 2013. <https://doi.org/10.1214/13-EJS868>

对于问题 (1.2) 通常要做一些处理。最小二乘法是比较常用的一个手段, 即考虑如下问题:

$$\min_{x \geq 0} \|Ax - b\|_2 \quad (1.3)$$

这种方法, 实质上是认为 A 为精确数据, 而只在数据 b 中存在误差, 这样就与一些实际情况不符, 因而最小二乘法也有欠缺之处。基于这种实际情况, 我们考虑利用总体最小二乘法处理问题 (1.2)。

由于 A 和 b 为测得数据, 因此, 通常有 $m \geq n + 1$ 。在本文中, 我们假设此关系式成立。**Golub** 和 **Vanloan** 最先利用奇异值分解处理了总体最小二乘问题, 即利用总体最小二乘方法处理问题:

$$Ax = b \quad (1.4)$$

时, 只需转而求解:

$$\widehat{Ax} = \widehat{b} \quad (1.5)$$

其中 $(\widehat{A}, \widehat{b}) = (A, b) - (\Delta A - \Delta b)$ 满足:

$$\min_{\Delta A, \Delta b} \|(\Delta A, \Delta b)\|_F \quad (1.6)$$

且有

$$b - \Delta b \in R(A - \Delta A) \quad (1.7)$$

奇异值分解是处理总体最小二乘问题(1.4)~ (1.6) 的主要工具。设 A 和 $(A, -b)$ 的奇异分解为:

$$\overline{U}^H A \overline{V} = \Sigma \overline{U}^H (A, -b) \overline{V} = \Sigma \quad (1.8)$$

在许多情况下, 问题(1.4) 亏秩(接近亏秩) 或相容性极差时, 问题(1.5)~(1.7) 无解。为此,**Van Huffel** 和 **Vandewalle** 对总体二乘问题作了进一步推广, 一般地, 我们有定义:

定义(1-1): 假设 A 和 $(A, -b)$ 的奇异值分解形如(1.8), 对 V 作为酉矩阵的分块, 如果对于某个正整数 $p \leq n$, 且有 $\sigma_{p+1} \leq \sigma_p$ 和 $\text{Rank}(V_{22}(p)) = 1$, 此时如果方程:

$$\begin{cases} \widehat{Ax} = \widehat{b} \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (1.9)$$

有解, 则其任一解称为问题(1.2)的非负约束总体最小二乘解, 式(1.9)中各记号的意义与定义(1-1)中的对应相同。

因此, 由定义(1-1)可知, 问题(1.1)的非负约束总体最小二乘解的解集和方程式(1.9)的解集相等。

$$S_+ = \{x | \widehat{Ax} = \widehat{b}, \text{ 且 } x \geq 0\} \quad (1.10)$$

和

$$S = \{x | \widehat{Ax} = \widehat{b}\} \quad (1.11)$$

显然 $S_+ \subseteq S$, 因此仅需要考虑在什么条件下 $S_+ \neq \emptyset$, 即方程式(1.9)有解。

定义(1-2): 对 A 和 $(A, -b)$ 形如(1.8)式的奇异值分解, 对于某个自然 $p: 1 \leq p \leq n$, 有 $\sigma_{p+1} > \sigma_p$, 记 $V_2 = (V_{p+1}, V_{p+2}, \dots, V_n)$ 的列向量生成的 $n - p$ 维子空间为 S_{v_2} 。如果 $S_{v_2} \cap R_+^n \neq \emptyset$, 则 $S_+ \neq \emptyset$, 即方程式(1.9)有解。

为此, 我们对于一个正整数 p , 可以考虑如下的非线性规划问题:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{i=1}^n (y_{1i} - y_{2i})^2 \\ & \begin{cases} \widetilde{Ax} + (y_1 - y_2) = \widetilde{b} \\ x \geq 0, y_1 \geq 0 \text{ 且 } y_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1.12)$$

记 $D_p = \min \sum (y_{1i} - y_{2i})^2$, 若 $D_p = 0$ 或 $D_p \approx 0$, p 就为所求的正整数。

在问题的性态较好的情况下, 我们可以考虑如下的线性规划问题:

$$\min \sum_{i=1}^n (y_{1i} - y_{2i})$$

$$\begin{cases} \widetilde{A}x + (y_1 - y_2) = \widetilde{b} \\ x \geq 0, y_1 \geq 0 \text{ 且 } y_2 \geq 0 \end{cases} \quad (1.13)$$

记 $D_p = \min \sum (y_{1i} - y_{2i})$, 若 $D_p = 0$ 或 $D_p \approx 0$, p 就为所求的正整数。

非负最小二乘在现实中的应用相较普通最小二乘更加广泛, 也更加合理, 特别是当处理非负数据, 诸如行业用地面积大小, 行业能耗或产品价格时, 如果使用普通最小二乘估计, 常常会因为样本量不足或未观测到的偏差的影响而错误估计自变量对因变量的影响, 例如在本报告中, 行业面积与污染物排放的耦合关系, 即某一行业的面积与污染物排放负相关, 这一结果显然是错误的, 出现这一错误的原因是, 当计算机在进行多元最优拟合时, 会优先考虑模型的整体拟合优度, 因此, 一些相关性较弱的行业会被错误的估计为负相关。运用非负最小二乘可以有效地解决负相关问题, 同时也不会过高估计相关性较弱的行业, 避免研究者在样本量不足的情况错误地进行相关性分析。

$$\min_{\beta \geq 0} \frac{1}{n} \|y - X\beta\|_2^2 \quad (1.14)$$

上式是非负最小回归的表达式, 是一个相对比较容易解决的最优收敛问题, 最小系数即为 NNLS 的回归系数, 非负最小二乘的有效性在近年来得到了相当多的学术论证, 甚至在某些相对简单的模型环境中, 其表现要远优于普通最小二乘回归, 举例来说, 在处理稀疏数据时, 非负最小二乘的限制性条件可以有效的解决大量数据为零的问题, 而不需要像普通最小二乘回归时, 必须加入稀疏性限制条件, 当我们处理各行业面积对污染物排放的影响时, 因为数据本身的特殊性, 必然有大量的数据为空, 因此采用非负性回归也可以解决这一数据稀疏问题。

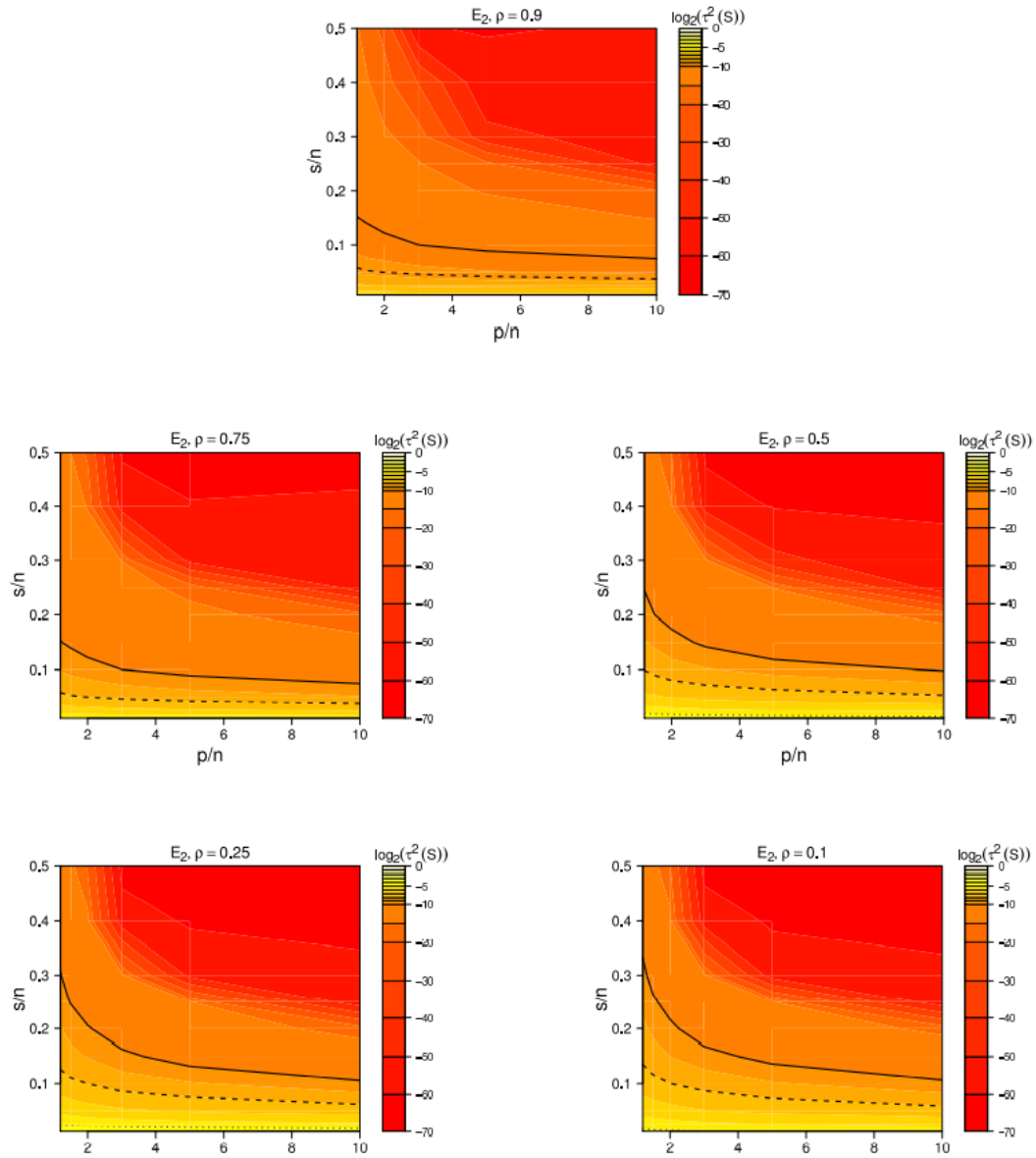


图 7-1. 非负最小二乘误差项拟合优度

2. 非负最小二乘耦合结果

表 7-1. 全国行业用地与污染物浓度的耦合结果表

全国行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	22.78762	0
有色金属冶炼和压延加工业	414.9598	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0.9621193
交通过地	207.202	0.9323315	0.0310019
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	4599.758	0	0.07675734
石油加工炼焦和核燃料加工业	9136.632	0.4974579	0.01315566
燃气生产和供应业	48522.96	0	0.1021279
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	12185.22	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	8003.681	2.534943	0
村庄	0	0.3672394	0.05176421
城镇	543.1131	0.7588199	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	156.6562	0.07339195	0.01525848
非金属矿物制品业	7203.88	0	0.005781564
电力热力生产和供应业	8774.65	1.164267	0.0515585
畜牧业	0	0.1040749	0.1010495
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	10278.1	3.916673	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO2 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-2. 安徽省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

安徽省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0.03214093
有色金属冶炼和压延加工业	0	57.17694	0
有色金属矿采选业	0	0	2.704563
交通用地	0	0.5402386	0.03896452
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	833.2346	0	0.6712699
石油加工炼焦和核燃料加工业	45711.43	0	0
燃气生产和供应业	108820.4	10.41181	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	1.792986	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	5685.398	0	0.05869952
村庄	0	0.1608394	0.048261
城镇	325.689	0.1639557	0.001195828
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	6017.535	1.550043	0.02219462
非金属矿物制品业	982.598	0	0.02125523
电力热力生产和供应业	79820.52	70.50758	0
畜牧业	0	0	1.200807
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	6705.018	22.35603	0.09822923
M12	0	1.025839	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO2 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-3. 北京市行业用地与污染物浓度的耦合结果表

北京市行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	1.292874
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	1381145	271.9774	10.45845
交通用地	1700.067	0	0.02066227
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	85641.58	0	0
燃气生产和供应业	17289.28	0	0.02944726
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	1.055158
化学原料和化学制品制造业	61404.76	0	0.1711926
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	1.90442
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
村庄	0	1.244093	0.02910073
城镇	207.0892	0.2403708	0.006738295
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.1073116
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	812.4517	3.819312	0
畜牧业	0	41.88601	1.857635
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	2.487157	0
M12	0	0	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-4. 福建省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

福建省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0.1159811
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	0	2.319291
交通用地	0	0	0.04092523
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	36322.84	0	1.14386
石油加工炼焦和核燃料加工业	1276.201	0	0.03696335
燃气生产和供应业	313005.1	20.34003	0.05061369
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	44760.02	0	0.2252345
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	4185.46	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	14022.2	21.86349	0.1044461
村庄	0	0.2482514	0.01878915
城镇	0	0.6731257	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	381.1328	0.01574764	0.01740913
非金属矿物制品业	416.1549	0	0
电力热力生产和供应业	63733.69	0	0
畜牧业	5259.21	0	1.595165
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	55806.59	86.72914	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中
 CO2与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为
 NOX与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-5. 甘肃省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

甘肃省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	158642.5	0	0.5495673
有色金属冶炼和压延加工业	6568.681	0	0
有色金属矿采选业	0	0.01838921	0.7719664
交通用地	10771.69	0	0.1368639
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0.5127035	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	27.27745	0	0.1201508
燃气生产和供应业	344988.9	1.455494	0.1231038
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	5871.141	1.663018	0.02340661
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	74.75986	1.808379
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0.1091795
村庄	0	0.199113	0.0492221
城镇	11932.39	0.2971517	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	34.83738	0.2009324	0.05208685
非金属矿物制品业	166.9218	0	0.002730789
电力热力生产和供应业	218.0053	0	0
畜牧业	45011.38	0.3045261	0.03136492
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	692.2511	30.35466	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-6. 广东省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

广东省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	4.105463	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	0	2.753934
交通用地	23448.32	1.496947	0.05680584
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	5262.576	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	723.9354	4.629759	0.2017172
化学原料和化学制品制造业	8392.649	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.16536
黑色金属冶炼和压延加工业	0	2.582479	0
村庄	6842.778	0.62556	0.01005101
城镇	61307.53	0.6115405	0.000947765
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0.7454272	0.07420637
非金属矿物制品业	0	0	0.0939087
电力热力生产和供应业	155.1014	0	0.06039951
畜牧业	19816.05	0	1.000749
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-7. 广西壮族自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表

广西壮族自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _x	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0.131579
有色金属冶炼和压延加工业	8942.997	10.24032	0
有色金属矿采选业	7609.091	0.3024324	0.5644818
交通用地	0	0	0.05888096
	CO ₂	NO _x	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	1.844585
石油加工炼焦和核燃料加工业	58554.54	8.386916	0
燃气生产和供应业	6576.041	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	14341.99	4.220552	0.07362209
	CO ₂	NO _x	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	6.511331
黑色金属冶炼和压延加工业	7747.257	0	0.05342034
村庄	0	0.375023	0.05242727
城镇	289.4626	0.1629263	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
采矿用地	264.8152	1.817709	0.01206179
非金属矿物制品业	6213.149	1.310204	0
电力热力生产和供应业	2172.36	0	0.01543943
畜牧业	873.0102	0	0.1321342
	CO ₂	NO _x	PM浓度
仓储物流业	382407.3	154.304	0
M12	0	2.113174	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-8. 贵州省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

贵州省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	1961.115	13.7291	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	0	0	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	124.0451	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	9155.726	0	0.1113182
燃气生产和供应业	26685.35	0	0.3827244
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	275520.9	0	0
化学原料和化学制品制造业	22578.41	0	0.174616
	CO ₂	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0.8071968
村庄	0	0	0
城镇	834.1661	0.4118769	0.08777751
	CO ₂	NOX	PM浓度
采矿用地	895.1382	1.060485	0
非金属矿物制品业	6723.724	5.087525	0.02995548
电力热力生产和供应业	100396.3	61.52003	0
畜牧业	0	0.1462015	0.04455229
	CO ₂	NOX	PM浓度
仓储物流业	3065.569	29.92937	0
M12	0	3.439546	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NOX与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-9. 海南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

海南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	7.141687
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	71820.52	0	0.02673454
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	29.62383	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	111863.6	0	0.127149
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.1225663
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
村庄	18742.39	0.1986782	0.02467826
城镇	0	0.216965	0.000516448
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0
非金属矿物制品业	0	0	0.2652834
电力热力生产和供应业	0	0	0
畜牧业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	191.6484	0	0
M12	0	4.565573	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-10. 河北省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

河北省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	1003.862	2.552674	0.8846124
交通用地	0	1.205768	0.01139807
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	6307.379	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	9443.934	0	0
燃气生产和供应业	0	5.814473	0.1014696
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0.1126041
化学原料和化学制品制造业	3142.254	0.1134809	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	22081.9	0	0.2091716
黑色金属冶炼和压延加工业	19595.93	0.6946561	0
村庄	8330.163	0.2655901	0.05930545
城镇	16109.69	0.7555706	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.01192348
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	1019.621	42.31515	0
畜牧业	8101.631	0	0.4395173
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	27.95947	10.40862	0.1288654
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO2 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-11. 河南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

河南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	22357.09	0	0
有色金属矿采选业	0	0	13.16841
交通用地	43439.87	1.983549	0.02997793
	CO ₂	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	11130.44	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	55830.76	0	0
燃气生产和供应业	11173.1	57.89437	0.1126721
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	17766.28	0	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	163895.6	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	2121.932	1.777585	0
村庄	6367.492	0.1344223	0.05519655
城镇	50763.32	0.1407128	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
采矿用地	0	3.447791	0.03927767
非金属矿物制品业	0	0.02974826	0.01391639
电力热力生产和供应业	103.1015	0	0
畜牧业	9283.088	4.698458	1.643076
	CO ₂	NOX	PM浓度
仓储物流业	1581.324	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-12. 黑龙江省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

黑龙江省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	106824.3	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	7468.5	32.33516	0
有色金属矿采选业	0	0	2.630512
交通用地	0	0.2668342	0.05294129
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	17.61387	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	61085.51	0	0
燃气生产和供应业	2756.665	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0.6317598
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
村庄	0	0.2091568	0.0965298
城镇	459.6068	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	37.00495	0.06632216	0.003597458
非金属矿物制品业	12263.83	18.03462	0
电力热力生产和供应业	13643.26	0	0
畜牧业	0	0	0.0942049
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	7101.996	6.387192	0
M12	0	8.100599	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-13. 湖北省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

湖北省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	42.11141	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	0	0	0.03106193
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	1.876814
石油加工炼焦和核燃料加工业	633527.5	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	112.0982	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	82394.34	436.8458	0
村庄	0	0	0.06330463
城镇	131.0791	0.4982107	0.000996911
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	0	0	0.01499358
非金属矿物制品业	7433.968	0	0.05154118
电力热力生产和供应业	41701.46	42.72809	0
畜牧业	0	0	0.4183436
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	3393.92	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-14. 湖南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

湖南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	1.076564	0.1772968
有色金属冶炼和压延加工业	2460.637	4.30548	0
有色金属矿采选业	0	0	1.008195
交通过地	0	1.951166	0.02081112
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	8.635047	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	250363.6	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	3655.104	6.371224	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	18.34489	0.866037
黑色金属冶炼和压延加工业	34842.79	0	0
村庄	0	0.1090105	0.0641516
城镇	208.6766	0.04663507	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	38.97458	0.5543354	0.03538714
非金属矿物制品业	6189.602	2.989626	0
电力热力生产和供应业	22184.16	0	0
畜牧业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	3387.805	15.79296	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-15. 吉林省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

吉林省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _x	PM浓度
造纸和纸制品业	0	30.9455	0
有色金属冶炼和压延加工业	25558.49	19.15527	0
有色金属矿采选业	3068.892	0	5.500579
交通用地	0	0	0.05827606
	CO ₂	NO _x	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	37829.52	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0.220771
化学原料和化学制品制造业	10790.81	22.35153	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	15339.16	38.54411	0
村庄	0	0	0.07580541
城镇	531.0742	0.5342475	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
采矿用地	294.9669	1.930591	0.02888519
非金属矿物制品业	12375.59	0	0
电力热力生产和供应业	16325.66	2.441225	0
畜牧业	0	0	1.486733
	CO ₂	NO _x	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-16. 江苏省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

江苏省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	165.3206	5.113857
交通用地	0	0	0.006385145
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	0	13.16636	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	15605.27	15.27369	0.03454359
燃气生产和供应业	523474	746.8086	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	8.064285	0.03377771
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	291.3525	1.055214	0
村庄	0	0.1377619	0.04467228
城镇	88.46609	1.117103	0.006134977
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	85.97535	0	0.01358262
非金属矿物制品业	12953.71	12.64488	0.02554329
电力热力生产和供应业	128892.2	51.91389	0
畜牧业	0	74.86726	1.312303
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	24748.27	5.390058	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-17. 江西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

江西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	8918.702	0	1.44685
交通用地	0	2.86985	0.02570576
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	5.925207	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0	0
燃气生产和供应业	270489.4	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	51492.18	0	0
村庄	0	0	0.05143882
城镇	203.8045	0.06232508	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.01662688
非金属矿物制品业	2062.119	3.400703	0.0544974
电力热力生产和供应业	52674.48	4.252914	0
畜牧业	2036.425	0	0.7198355
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	6995.259	49.06982	0.05946453
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-18. 辽宁省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

辽宁省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	29535.76	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	6293.938	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0.8616948
交通用地	20580.29	0	0.01646903
	CO ₂	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	15206.65	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0	0
燃气生产和供应业	48560.39	325.9338	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	85.59835	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.2698262
黑色金属冶炼和压延加工业	20041.33	0	0
村庄	10585.13	1.762305	0.05895604
城镇	1915.906	0.3989624	0.001262913
	CO ₂	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.009540488
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	972.6595	5.368691	0
畜牧业	0	0	3.682339
	CO ₂	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-19. 内蒙古自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表

内蒙古自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	17380.34	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0.8772114
交通用地	0	0	0.1031575
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	115532.1	120.4621	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	14.51014	0.1190547
燃气生产和供应业	45541.37	0	0.3642025
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	53323.17	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	30721.58	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	11299.98	6.852331	0.02471885
村庄	77.96779	0.7829485	0.05410733
城镇	821.3084	0.07476723	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	2.278608	0.01032683
非金属矿物制品业	52795.55	0	0.1873342
电力热力生产和供应业	13008.44	4.306911	0
畜牧业	0	0	0.297853
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	39235.28	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO2 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-20. 宁夏回族自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表

宁夏回族自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	126194.7	0	0.3404402
有色金属冶炼和压延加工业	1829.933	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	592.6643	0	0.0272039
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	5392.607	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	743.4801	0	0
燃气生产和供应业	129608.7	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	1440.951	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	3487.377	0	0.05842736
村庄	188.2846	0	0.05338832
城镇	320.0541	1.461614	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	1.194676	0.08176837
非金属矿物制品业	7723.073	0	0.03118178
电力热力生产和供应业	31407.62	13.09376	0.1442465
畜牧业	0	0	0.05163477
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	0.8324081	0.0129033

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-21. 青海省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

青海省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	6989.903	0	0
有色金属矿采选业	34725.37	58.71045	7.323954
交通用地	0	0	0.1008216
	CO ₂	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	2.793821	0.648947
石油加工炼焦和核燃料加工业	19682.51	13.34458	0.2537321
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	4480.16	0.6930331	0.08509173
	CO ₂	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0.9944022	0
村庄	165.5834	0.2974788	0.0723131
城镇	451.1368	0	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0.001928244	0.005795659
非金属矿物制品业	11095.19	0.5528931	0.001333976
电力热力生产和供应业	433.5356	0	0
畜牧业	0	0	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
仓储物流业	25248.19	0	0
M12	0	0.7908688	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NOX与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-22. 山东省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

山东省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	87276.15	10.28148	0
有色金属矿采选业	0	0	1.590456
交通用地	777.9421	1.453799	0.003198063
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	8114.89	46.01833	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	284.1892	0.009479876	0
燃气生产和供应业	48969.93	83.38112	0.5401882
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	5.033523	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	1917.476	0.7095656	0
村庄	0	0.2763221	0.06006751
城镇	437.5329	0.3766627	0.001849155
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	0	0	0.01351445
非金属矿物制品业	11807.46	3.536074	0
电力热力生产和供应业	33747.03	0	0
畜牧业	24182.17	0	0.213274
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	10219.67	0	0.0854875
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-23. 山西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

山西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	68776.62	43.2736	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	1565.703	0.3661482	0.05368478
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	109212.8	36.0987	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	4644.532	0.3655598	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	5.187256
化学原料和化学制品制造业	0	4.592902	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	3.613502
黑色金属冶炼和压延加工业	7434.472	0.06745512	0
村庄	0	0.1912317	0.04817861
城镇	1319.415	0.7271734	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	484.6254	3.063952	0.04393761
非金属矿物制品业	0	5.932054	0.07261028
电力热力生产和供应业	14403	0	0
畜牧业	0	0	0.1365682
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	31978.56	11.73787	0
M12	0	2.42635	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-24. 陕西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

陕西省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _x	PM浓度
造纸和纸制品业	0	32.5206	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	0	13.39666
交通用地	0	4.432847	0.02771951
	CO ₂	NO _x	PM浓度
水的生产和供应业	2886.017	0	0.4606042
石油加工炼焦和核燃料加工业	15817.73	0	0
燃气生产和供应业	23448.47	0	0.2656971
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	11582.6	3.499405	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
化学纤维制造业	0	663.3843	0
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
村庄	0	0	0.0531623
城镇	48.23776	0.03003939	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
采矿用地	1434.604	0	0.1062751
非金属矿物制品业	18778.43	0	0.1207774
电力热力生产和供应业	33701.36	1.281487	0
畜牧业	0	0	1.576244
	CO ₂	NO _x	PM浓度
仓储物流业	0	195.4363	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-25. 上海市行业用地与污染物浓度的耦合结果表

上海市行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _x	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	969.718	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	0	0	0.01573017
	CO ₂	NO _x	PM浓度
水的生产和供应业	183367.8	0	2.757747
石油加工炼焦和核燃料加工业	59407.01	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	1493.527	0	0
	CO ₂	NO _x	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.3717127
黑色金属冶炼和压延加工业	152830.2	0	0
村庄	0	0	0.02339179
城镇	515.7168	4.05011	0.001604421
	CO ₂	NO _x	PM浓度
采矿用地	0	244.6938	0.2771502
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	5273.903	0	0.0574288
畜牧业	0	0	0.1586466
	CO ₂	NO _x	PM浓度
仓储物流业	31992.47	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-26. 四川省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

四川省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	27.60983	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	968.2413	0	0
有色金属矿采选业	27122.68	0	0.8601495
交通用地	1328.818	1.200913	0.008753689
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	117.9498	0	0.7225561
石油加工炼焦和核燃料加工业	1413.992	0	0.02003327
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	847.6215	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.4768196
黑色金属冶炼和压延加工业	0	10.14159	0
村庄	3648.109	0.1830581	0.05934403
城镇	46598.92	0.3140542	0.000542532
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	4443.129	0.2982431	0.03453397
非金属矿物制品业	36.06518	0	0.009785793
电力热力生产和供应业	0	0	0.2637351
畜牧业	0	0	0.2122357
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	26069.88	0	0
M12	38709.7	0	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_X与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-27. 天津市行业用地与污染物浓度的耦合结果表

天津市行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	5.198439	0.004434345
有色金属冶炼和压延加工业	70184.98	0	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	806.9035	0.1885033	0.00976814
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	29429.14	0	0
燃气生产和供应业	804134.6	1096.134	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	5.391077
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	1066074	0	0.8547424
黑色金属冶炼和压延加工业	0	3.333615	0
村庄	0	0.1467384	0.04913463
城镇	352.9378	0.2241816	0.004717604
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	232.5844	0	0.01139501
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	4329.339	49.22979	0
畜牧业	0	0	2.197528
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	3820.743	0	0.1295994
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-28. 西藏自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表

西藏自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	330.6373	0.7625631	0.2461177
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	0	0	0.1031186
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	1.186825	0.03461676
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0.3161929	2.639274
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
村庄	195.0606	0.02186797	0.08252978
城镇	0	0.08238847	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0
非金属矿物制品业	1435.483	1.672079	0.09158223
电力热力生产和供应业	0	0	2.904871
畜牧业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	26654.71	0	0
M12	0	1.39845	0.04279795

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-29. 新疆维吾尔自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表

新疆维吾尔自治区行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	37703.37	0	1.005167
有色金属冶炼和压延加工业	4028.294	0	0.1499642
有色金属矿采选业	0	10.83033	9.311517
交通用地	0	2.432614	0.07516307
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0.8544681
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0	0.3176564
燃气生产和供应业	22151.28	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	5.080215
化学原料和化学制品制造业	14963.83	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0.4338207
黑色金属冶炼和压延加工业	11677.47	0	0.01634149
村庄	0	0.01363594	0.05882491
城镇	793.547	0.02755091	0
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.01379741
非金属矿物制品业	6910.711	0.5097095	0.2307142
电力热力生产和供应业	10799.19	0	0.07707668
畜牧业	907.696	0	0.1099962
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	1.243938	0.03313697

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NO_x与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-30. 云南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

云南省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NO _X	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	4193.151	6.87119	0.003437963
有色金属矿采选业	0	0	0.8615052
交通用地	0	0.3508726	0.01569192
	CO ₂	NO _X	PM浓度
水的生产和供应业	0	52.08375	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	2528.868	0.9702097	0
燃气生产和供应业	679.4252	0.1145357	0.1898761
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	254822	0	0
化学原料和化学制品制造业	3572.919	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	650.7384	7.434349	0
村庄	0	0.03200262	0.06873102
城镇	226.3419	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
采矿用地	280.354	0.766201	0.003132718
非金属矿物制品业	14712	1.484549	0.1721612
电力热力生产和供应业	86526.16	112.7962	0.2852524
畜牧业	0	0	0
	CO ₂	NO _X	PM浓度
仓储物流业	3387.805	11.36731	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_X 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

表 7-31. 浙江省行业用地与污染物浓度的耦合结果表

浙江省行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO ₂	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	0	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	0	0
有色金属矿采选业	0	0	13.72044
交通用地	121.4065	0.7579413	0.0279435
	CO ₂	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	144126.3	0	0.2451292
燃气生产和供应业	340.2763	0.6385566	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0.04213548
化学原料和化学制品制造业	15214.46	0.8419054	0.006117532
	CO ₂	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	0
黑色金属冶炼和压延加工业	2792.444	0	0.02485839
村庄	0	0.2441935	0.03329237
城镇	348.355	0.7425733	0
	CO ₂	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.04787542
非金属矿物制品业	29807.4	37.38831	0.1094142
电力热力生产和供应业	69341.34	0	0.01699166
畜牧业	0	0	9.482109
	CO ₂	NOX	PM浓度
仓储物流业	0	0	0
M12	0	0.8403958	0

注解: 第(1)列为非负最小二乘模型中
 CO₂与行业面积的耦合结果, 第(2)列为
 NOX与行业面积的耦合结果, 第(3)列为
 PM浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二
 乘结果在95%的置信区间显著, M12为一类
 工业用地与二类工业用地之和。

表 7-32. 重庆市行业用地与污染物浓度的耦合结果表

重庆市行业用地与污染物浓度的耦合结果表:			
	(1)	(2)	(3)
	CO2	NOX	PM浓度
造纸和纸制品业	47599.54	0	0
有色金属冶炼和压延加工业	0	25.13558	0
有色金属矿采选业	0	0	0
交通用地	0	0	0.01527778
	CO2	NOX	PM浓度
水的生产和供应业	0	0	0
石油加工炼焦和核燃料加工业	0	0	0
燃气生产和供应业	0	0	0
皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业	0	0	0
化学原料和化学制品制造业	22018.48	0	0.01406732
	CO2	NOX	PM浓度
化学纤维制造业	0	0	1.090502
黑色金属冶炼和压延加工业	92813.14	0	0.06571696
村庄	25714.22	0	0.06503028
城镇	47043.99	1.062103	0.001421944
	CO2	NOX	PM浓度
采矿用地	0	0	0.06800441
非金属矿物制品业	0	0	0
电力热力生产和供应业	123.1633	0	0
畜牧业	0	0	0
	CO2	NOX	PM浓度
仓储物流业	1520.822	0	0
M12	0	0	0

注解: 第 (1) 列为非负最小二乘模型中 CO₂ 与行业面积的耦合结果, 第 (2) 列为 NO_x 与行业面积的耦合结果, 第 (3) 列为 PM 浓度与行业面积的耦合结果, 非负最小二乘结果在 95% 的置信区间显著, M12 为一类工业用地与二类工业用地之和。

3. 各省工业用地与污染物排放/浓度分布

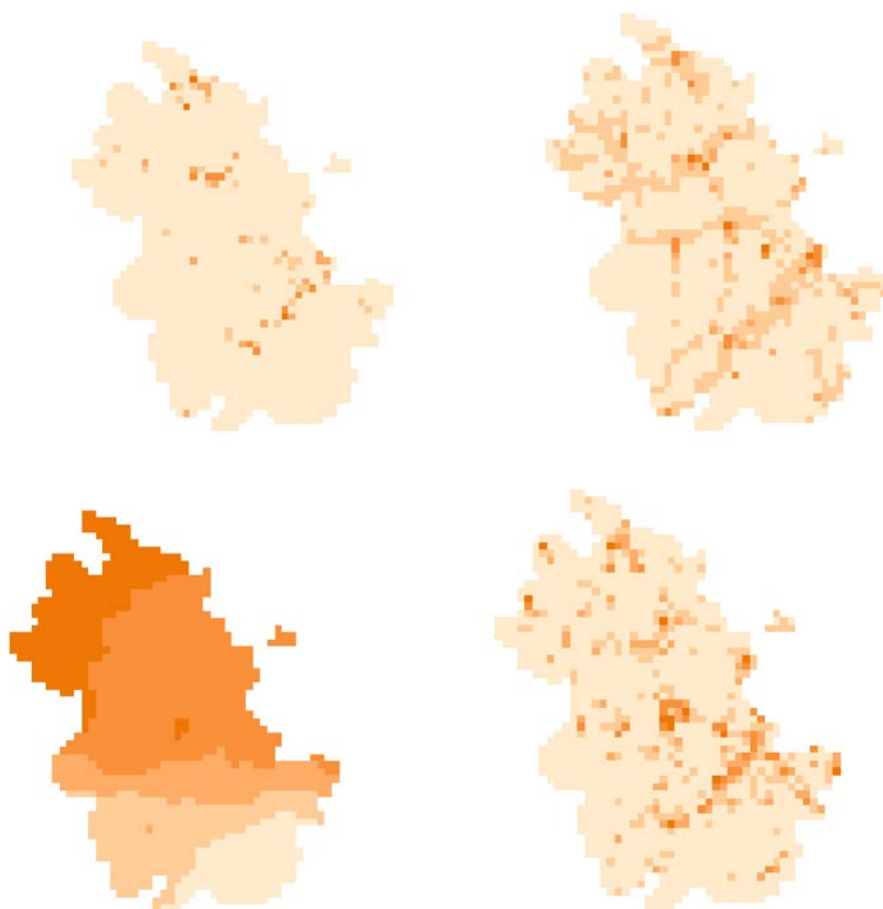


图 7-2. 安徽省工业用地与污染物排放/浓度分布¹²

¹² 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。



图 7-3. 北京市工业用地与污染物排放/浓度分布¹³

¹³ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

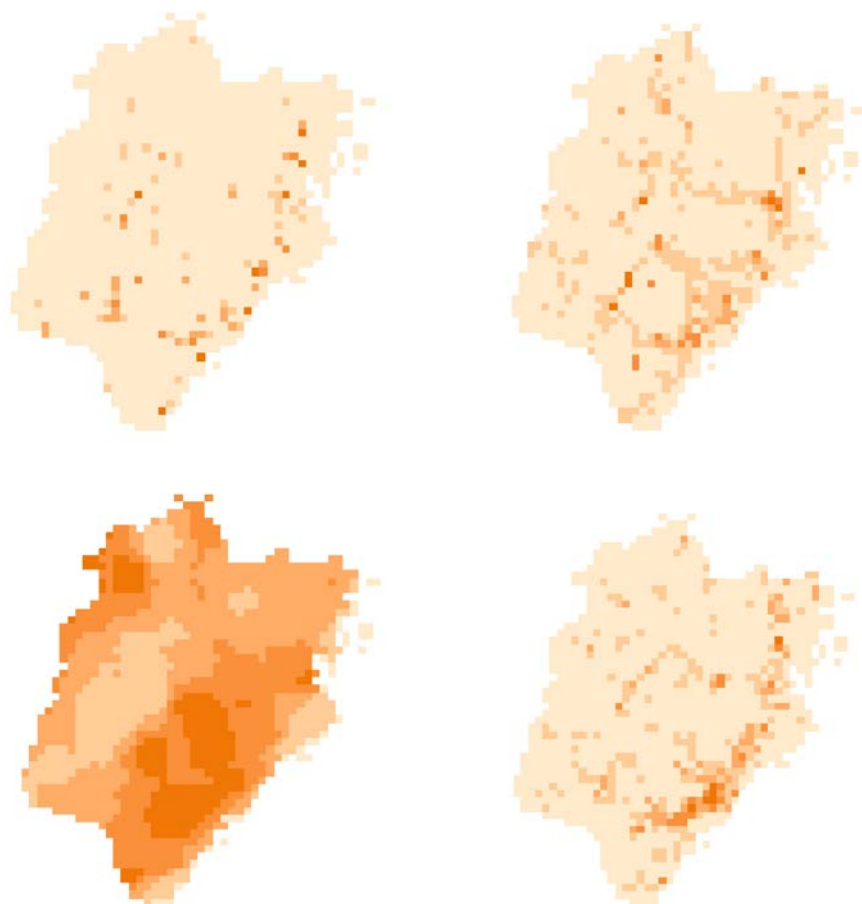


图 7-4. 福建省工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁴

¹⁴ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

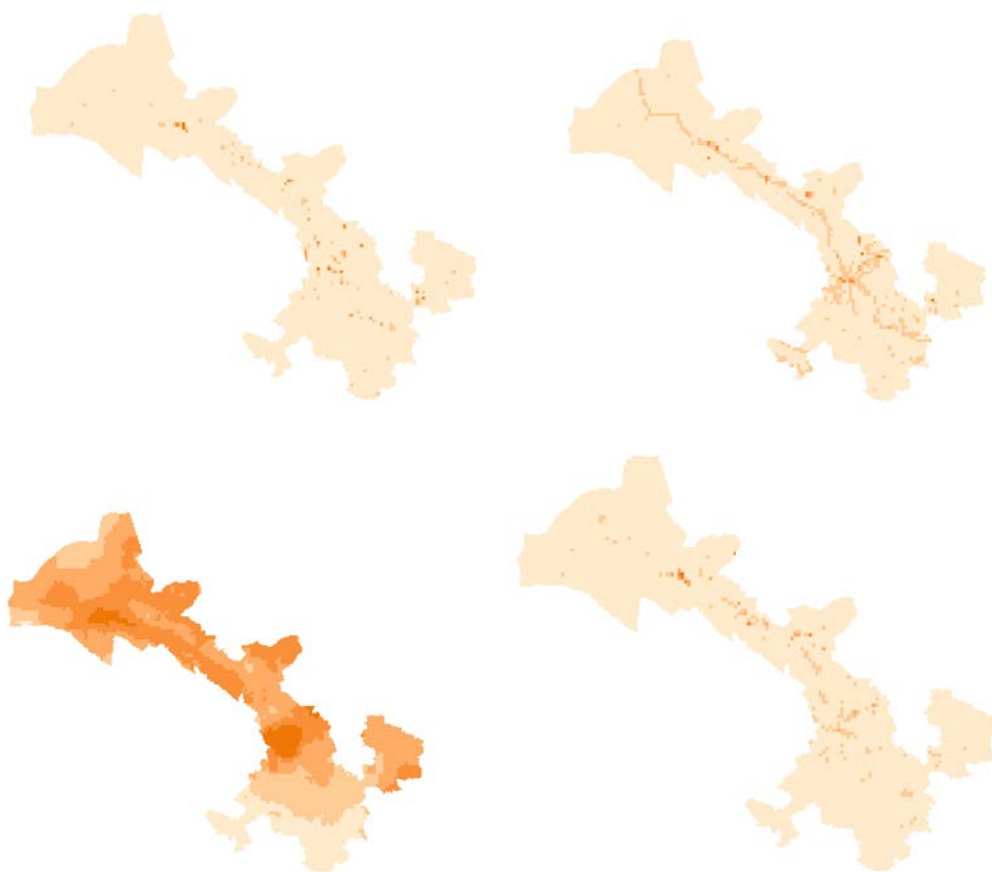


图 7-5. 甘肃省工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁵

¹⁵ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

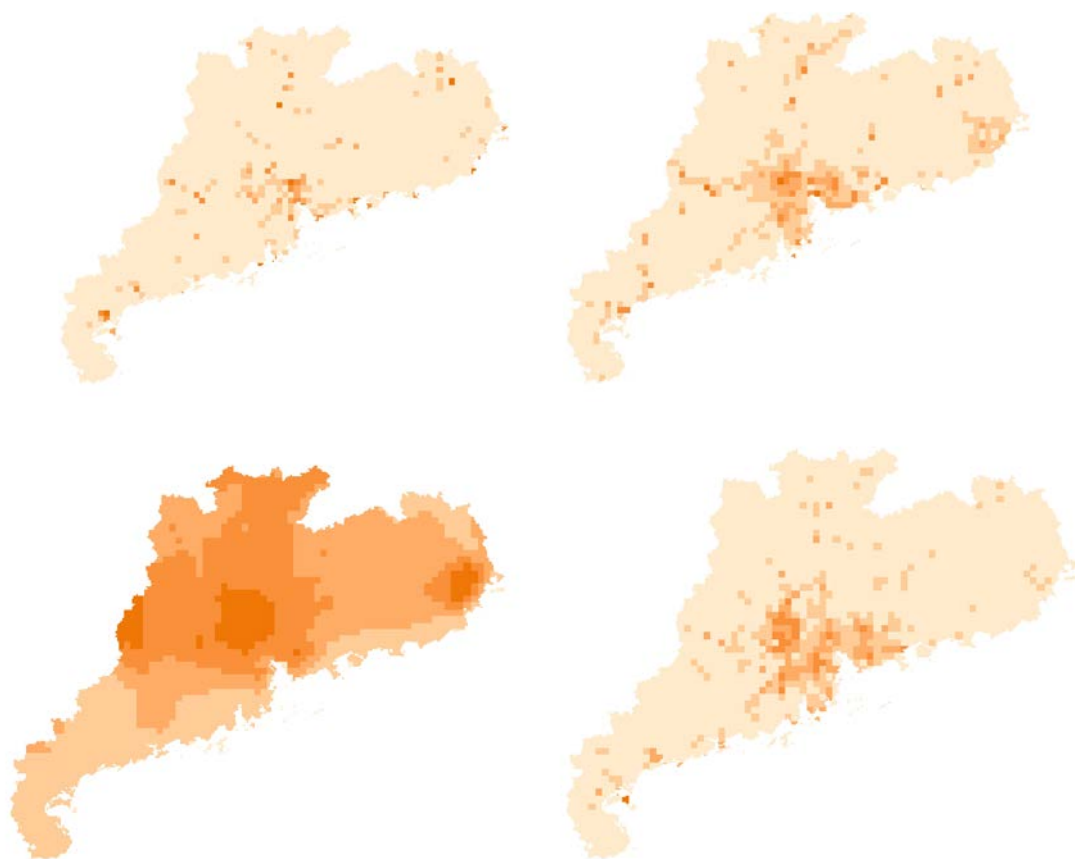


图 7-6. 广东省工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁶

¹⁶ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

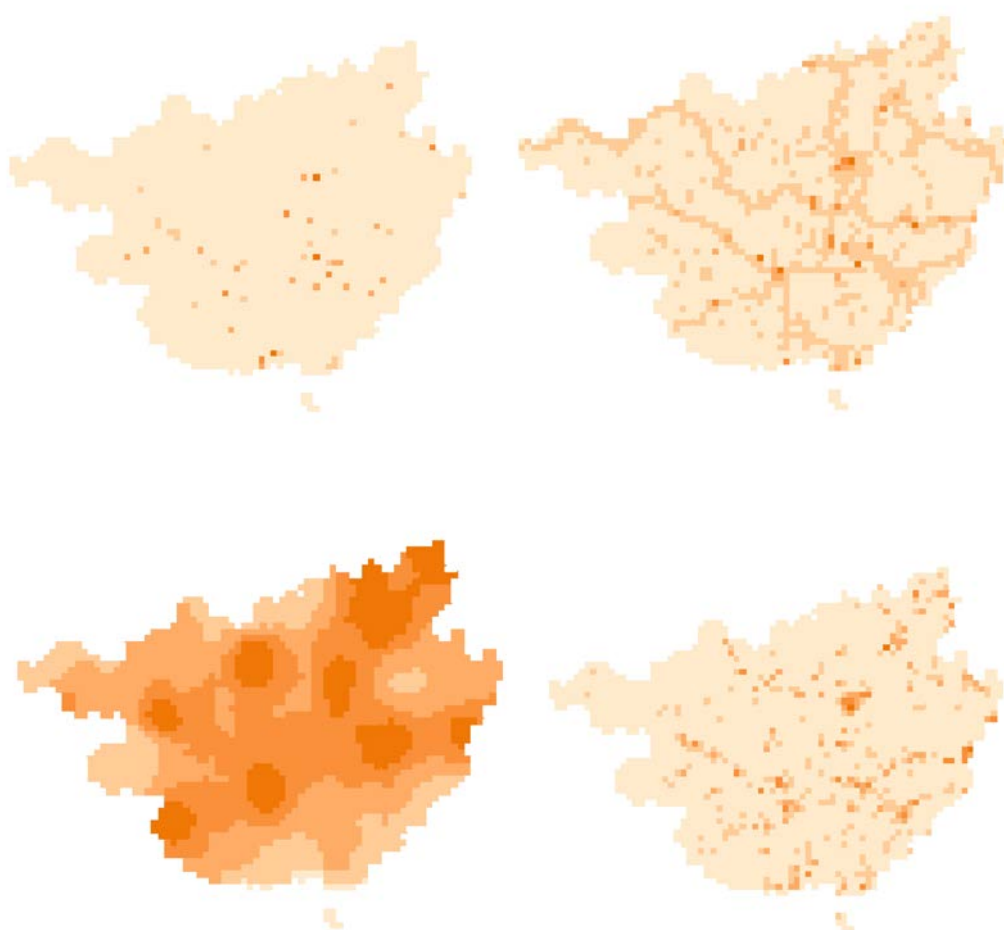


图 7-7. 广西壮族自治区工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁷

¹⁷ 左上为CO₂的排放分布，右上为NO_x的排放分布，左下为PM_{2.5}的浓度，右下为工业用地分布。

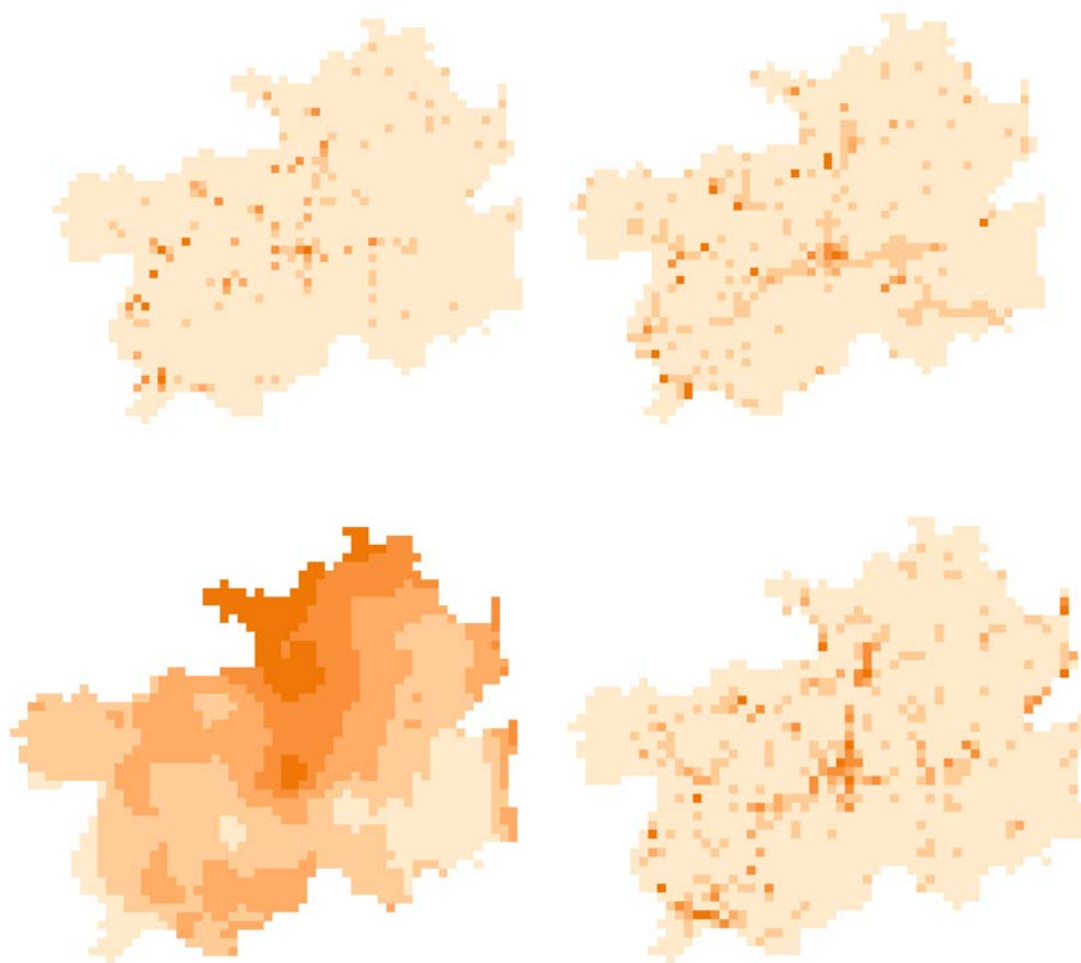


图 7-8. 贵州省工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁸

¹⁸ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

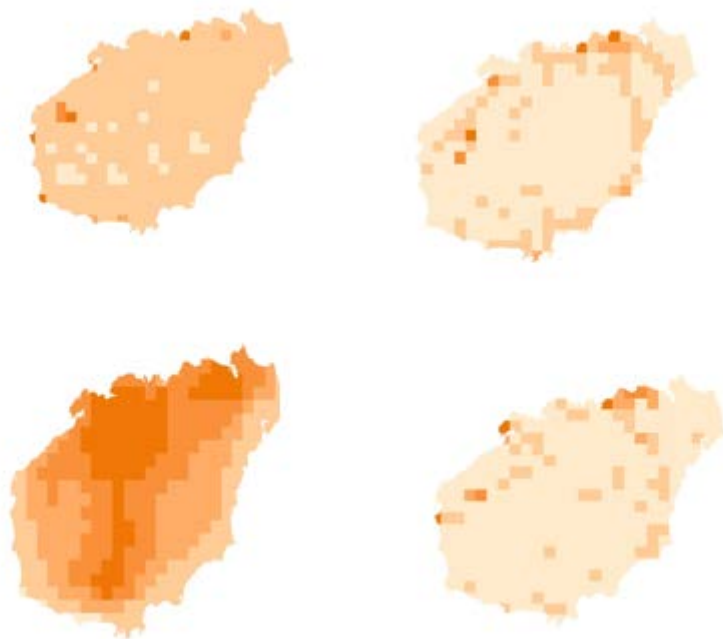


图 7-9. 海南省工业用地与污染物排放/浓度分布¹⁹

¹⁹ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为PM25的浓度，右下为工业用地分布。



图 7-10. 河北省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁰

²⁰ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。



图 7-11. 河南省工业用地与污染物排放/浓度分布²¹

²¹ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

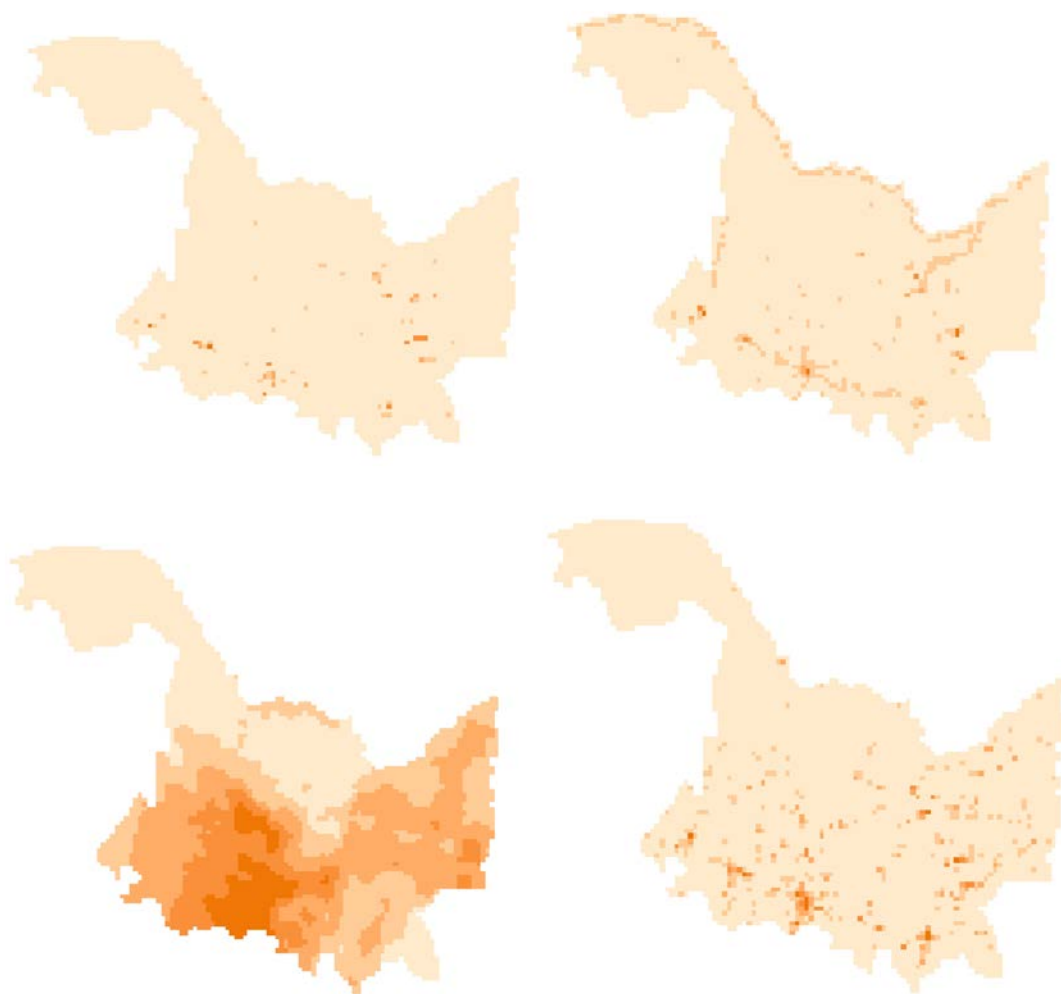


图 7-12. 黑龙江省工业用地与污染物排放/浓度分布²²

²² 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

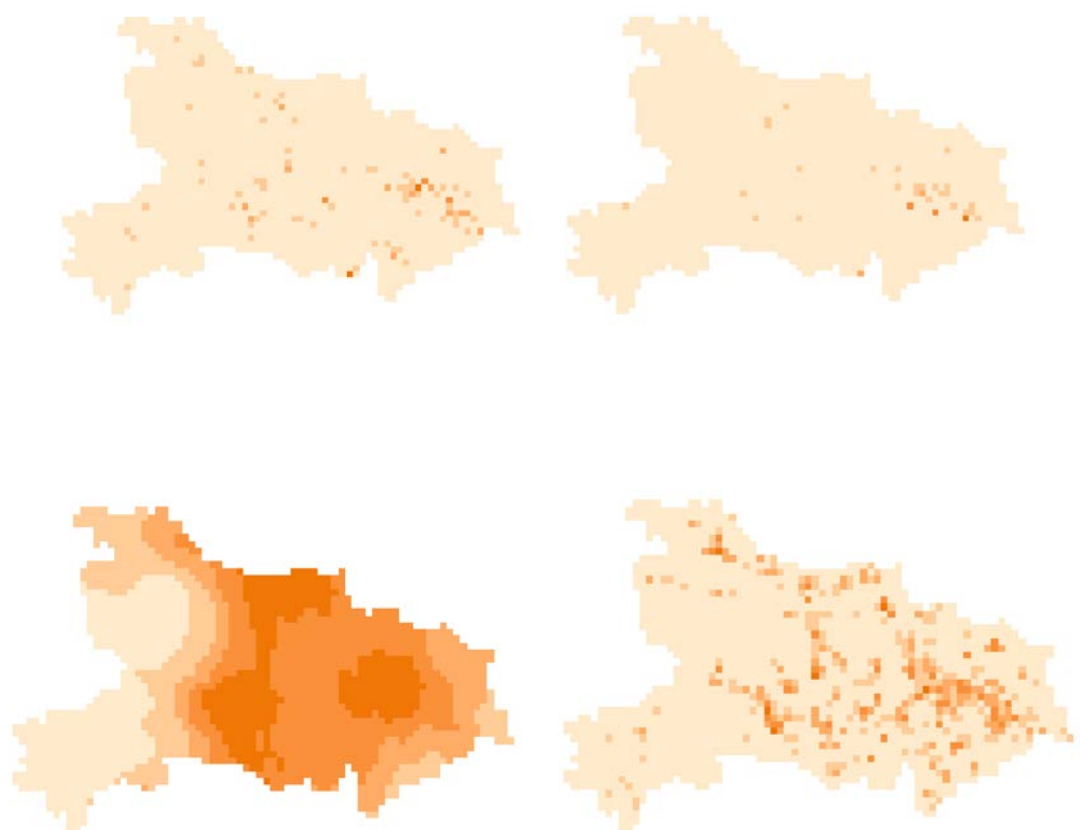


图 7-13. 湖北省工业用地与污染物排放/浓度分布²³

²³ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

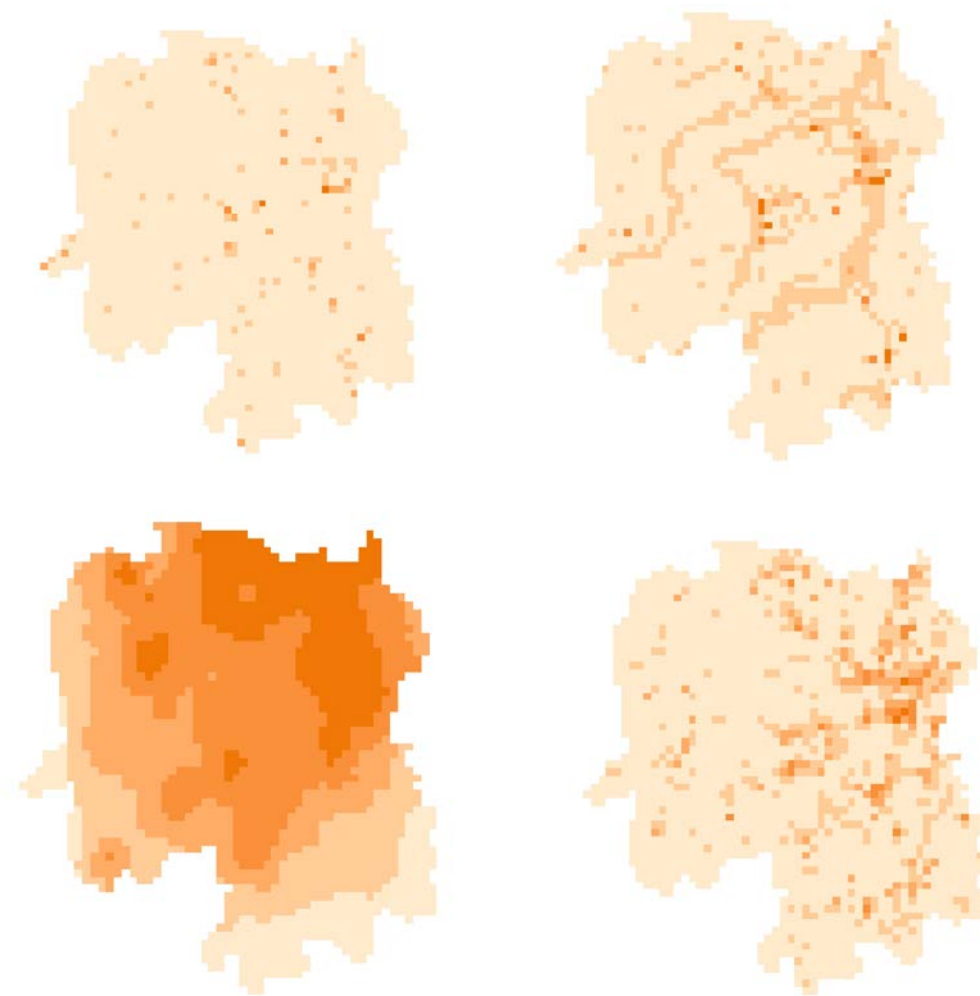


图 7-14. 湖南省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁴

²⁴ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

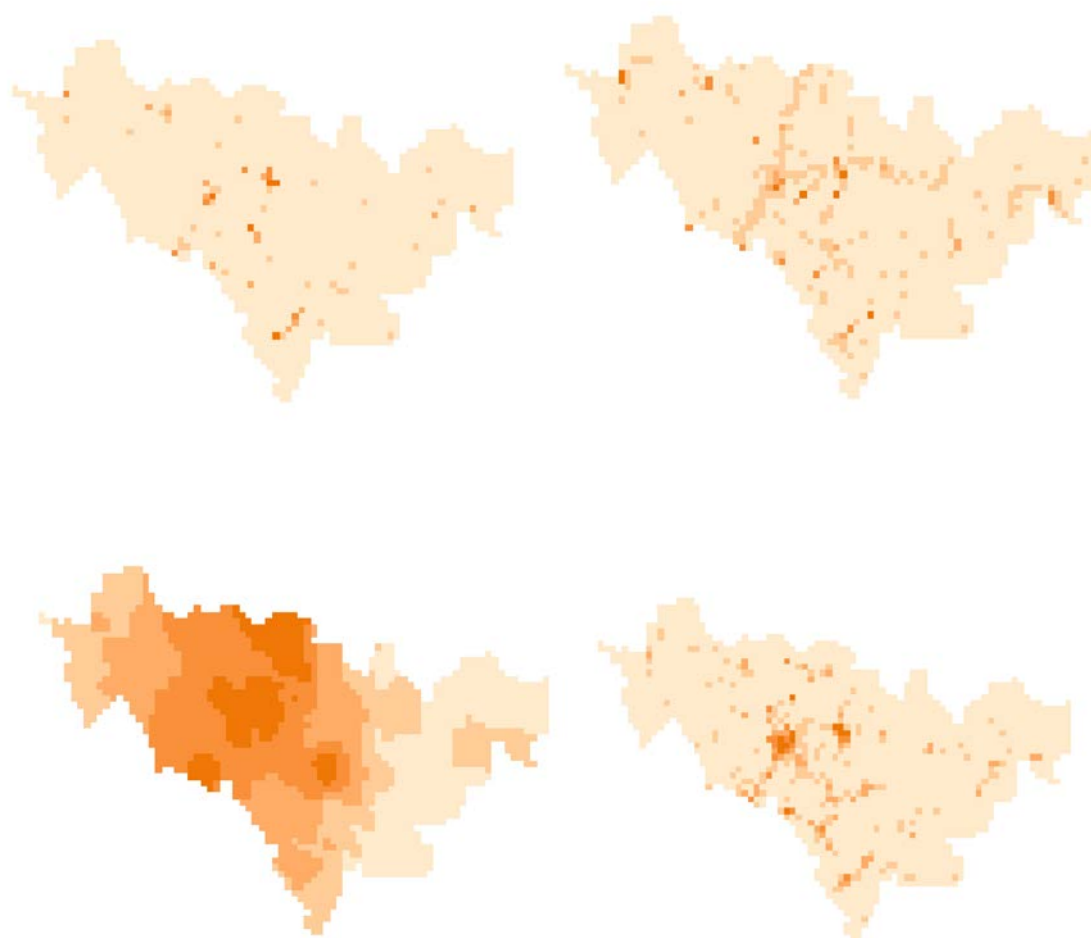


图 7-15. 吉林省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁵

²⁵ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

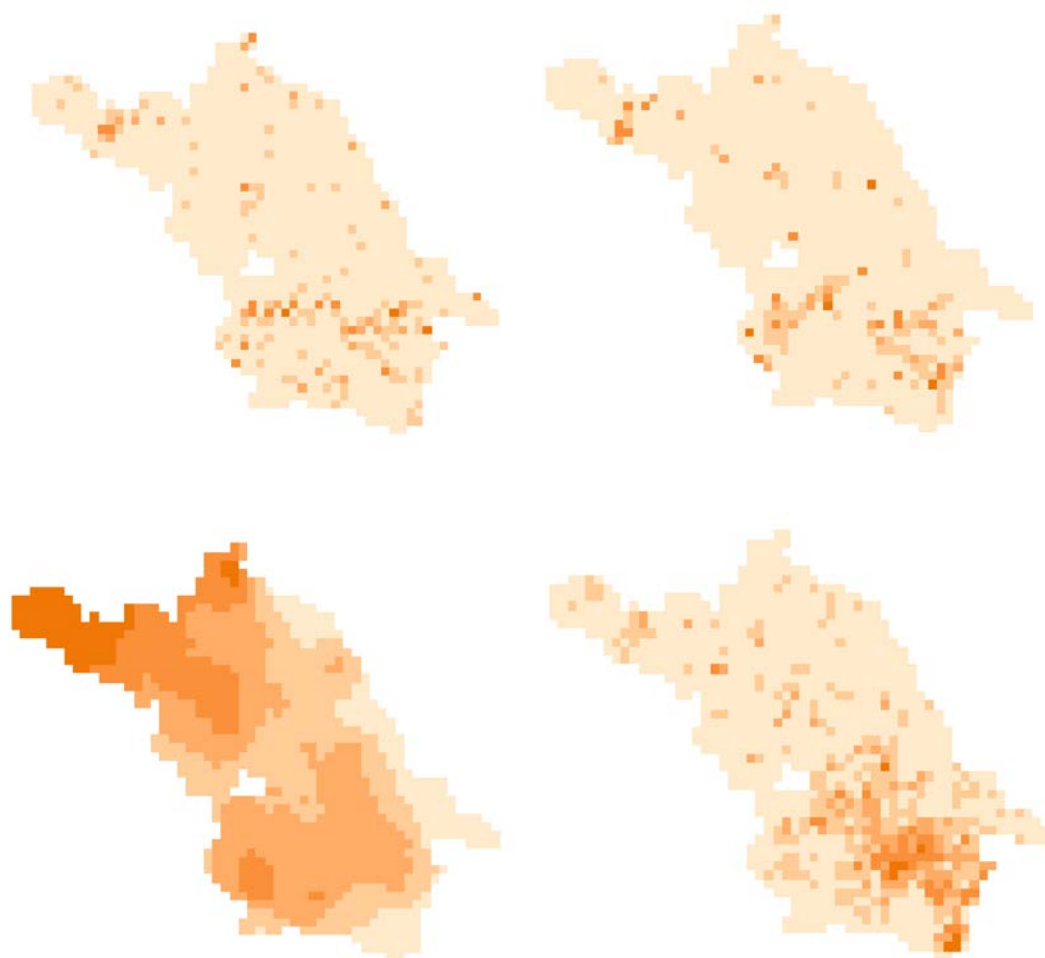


图 7-16. 江苏省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁶

²⁶ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

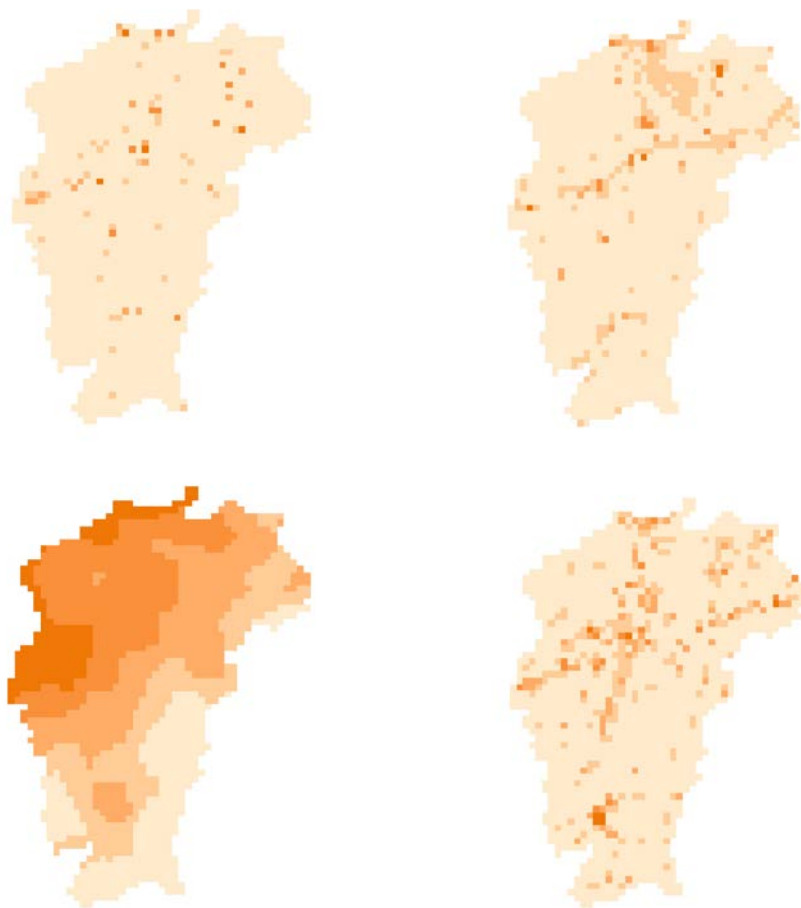


图 7-17. 江西省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁷

²⁷ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

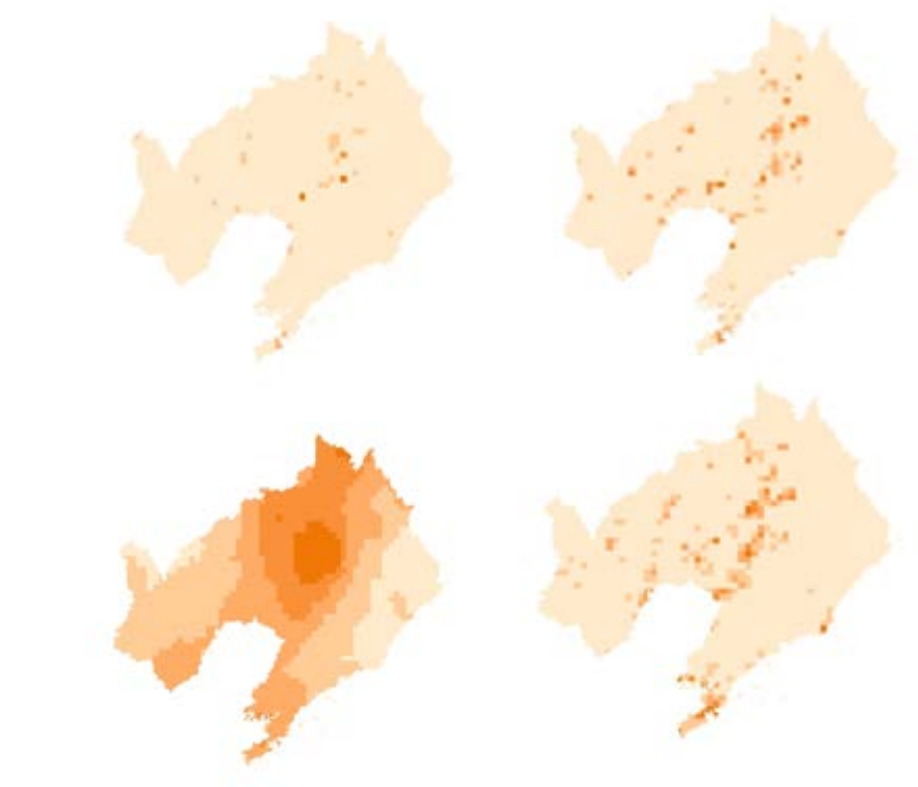


图 7-18. 辽宁省工业用地与污染物排放/浓度分布²⁸

²⁸ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

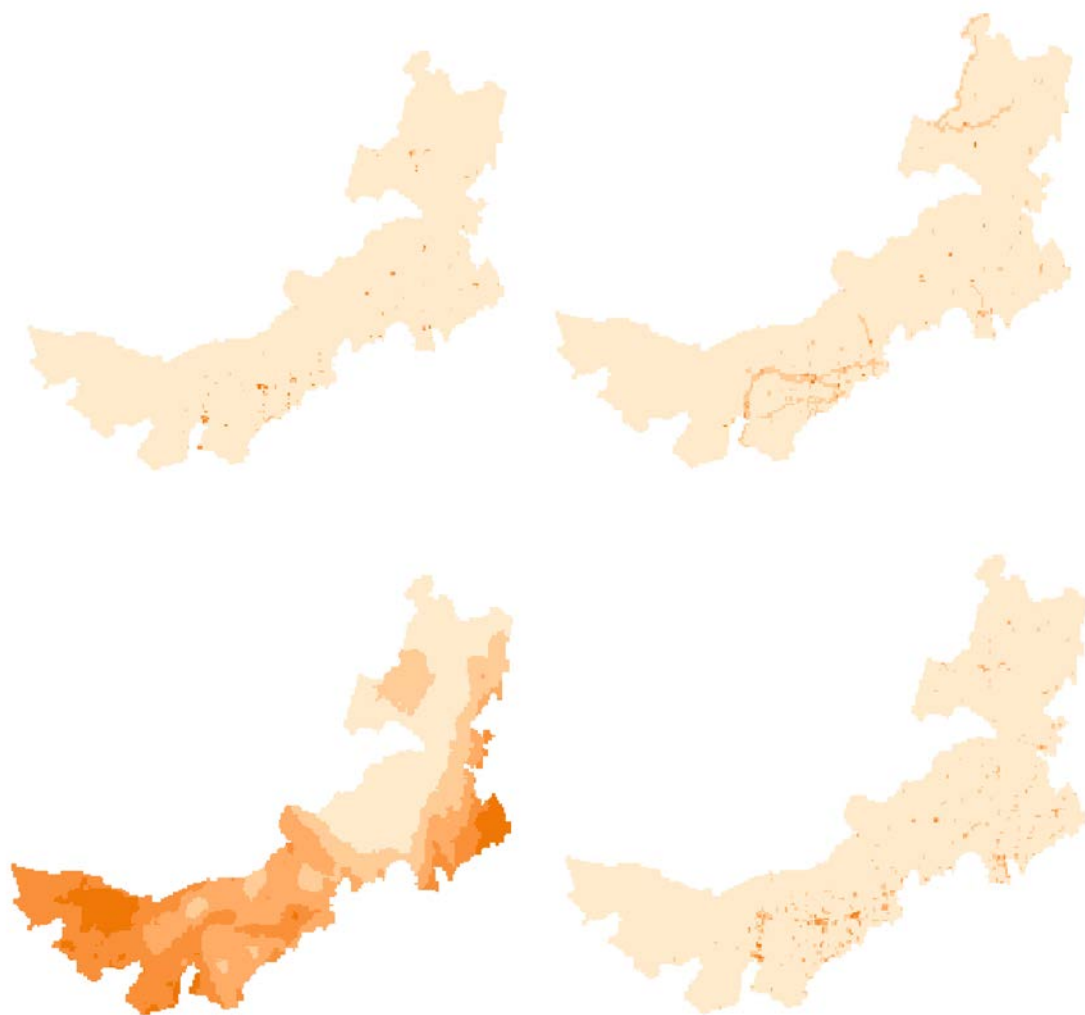


图 7-19. 内蒙古自治区工业用地与污染物排放/浓度分布²⁹

²⁹ 左上为CO₂的排放分布，右上为NO_x的排放分布，左下为PM_{2.5}的浓度，右下为工业用地分布。

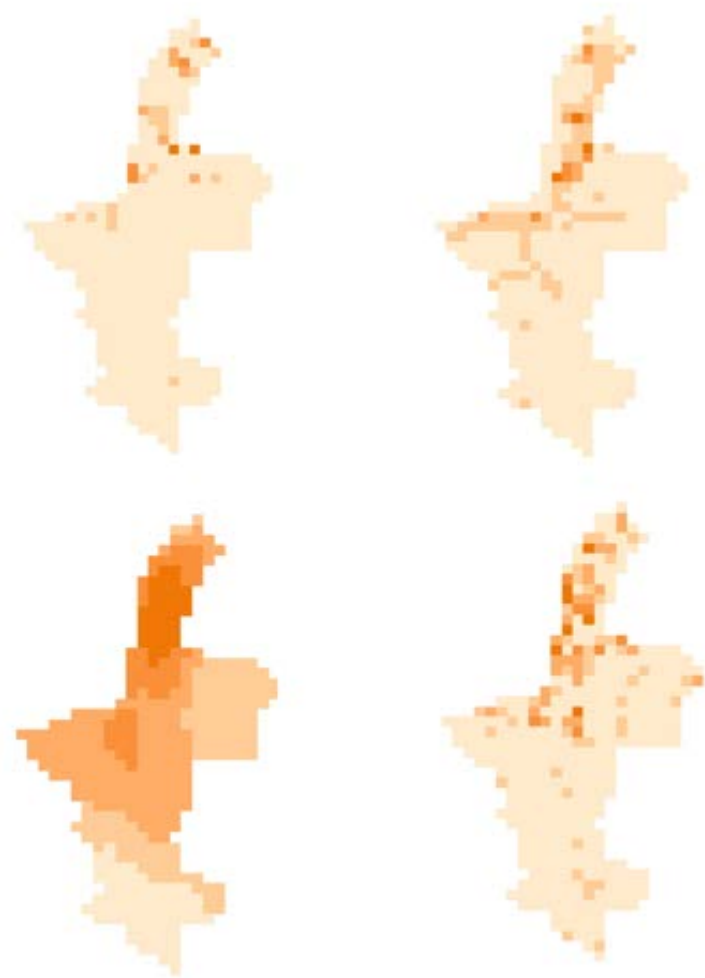


图 7-20. 宁夏回族自治区工业用地与污染物排放/浓度分布³⁰

³⁰ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

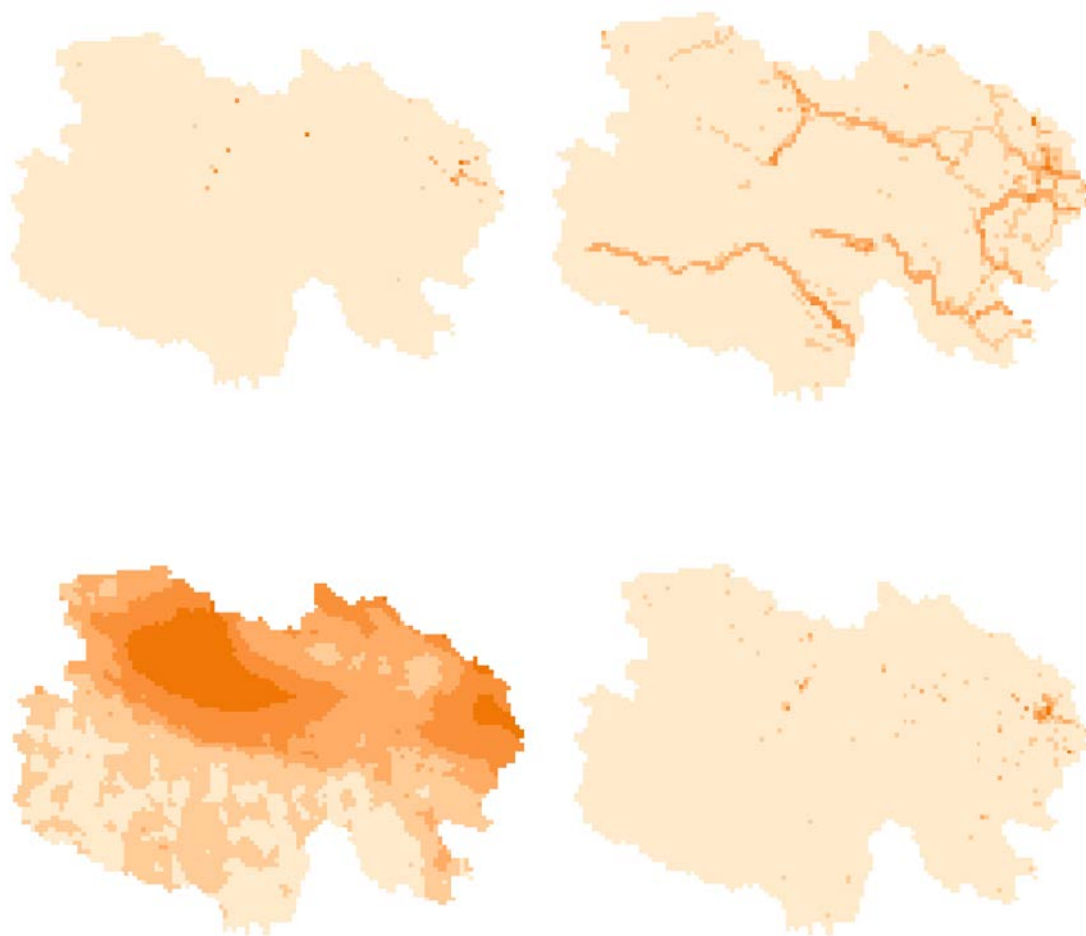


图 7-21. 青海省工业用地与污染物排放/浓度分布³¹

³¹ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

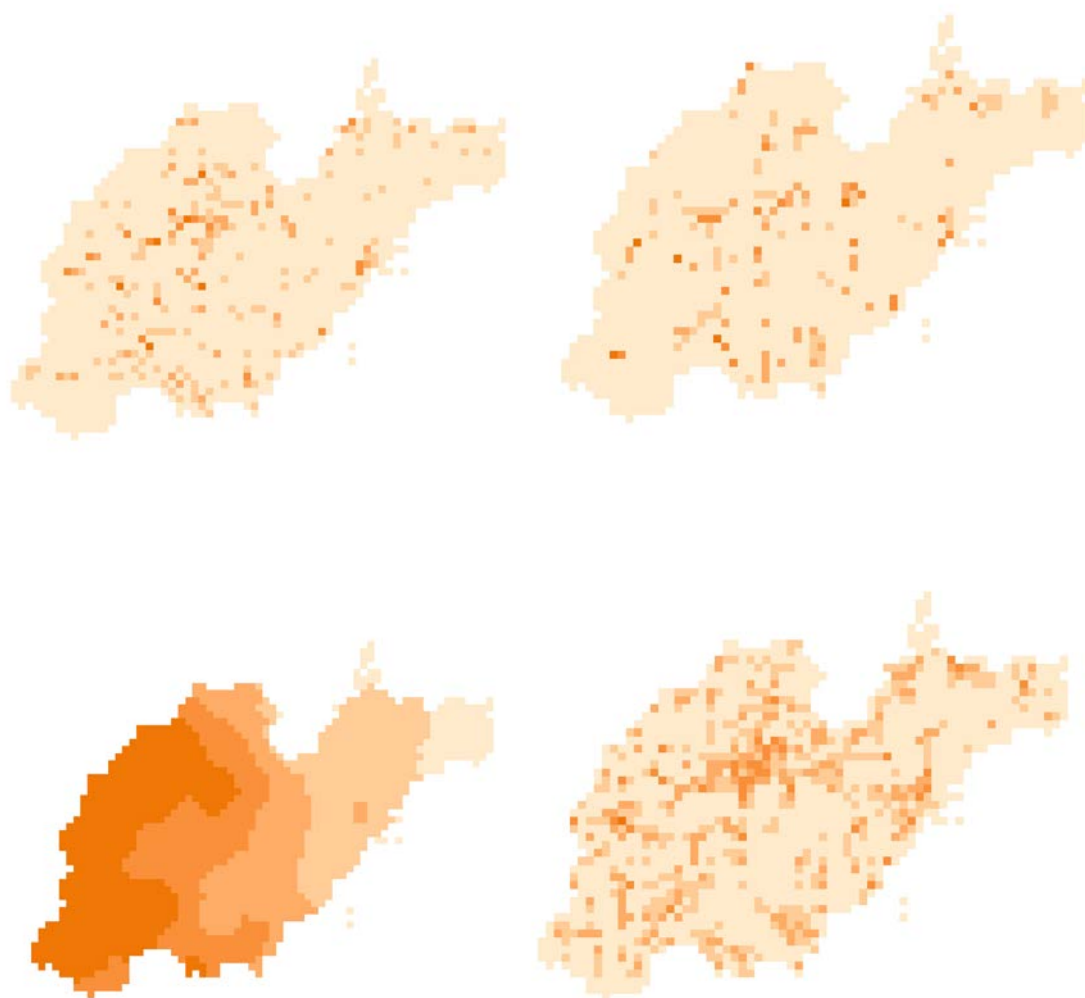


图 7-22. 山东省工业用地与污染物排放/浓度分布³²

³² 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

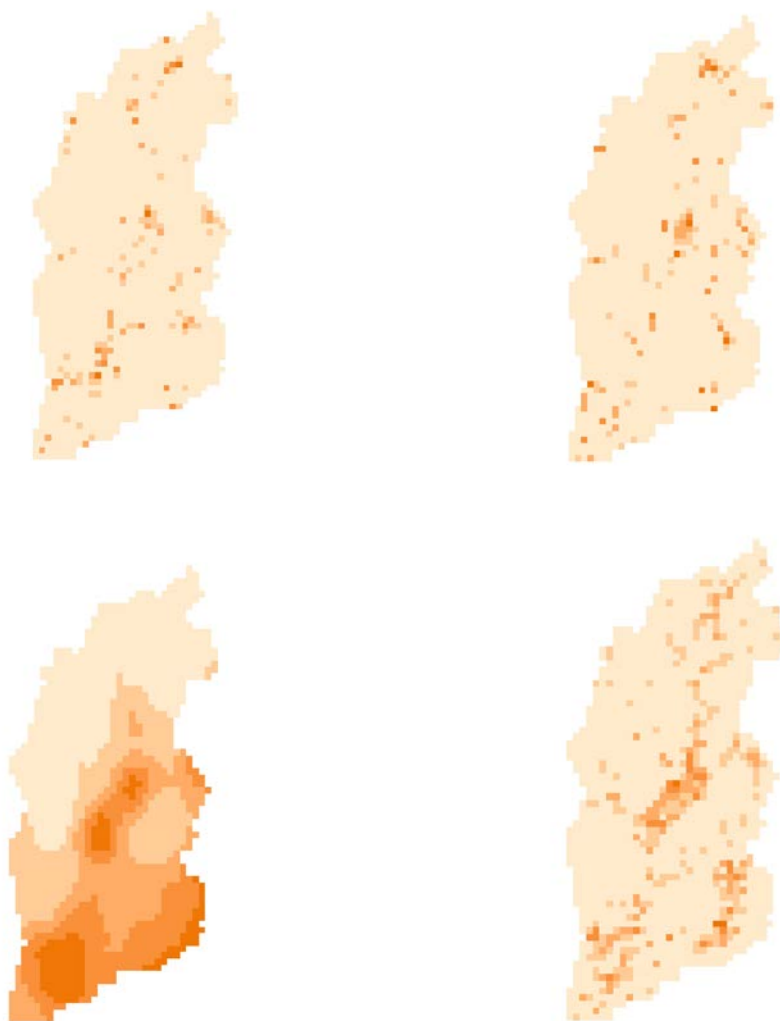


图 7-23. 山西省工业用地与污染物排放/浓度分布³³

³³ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

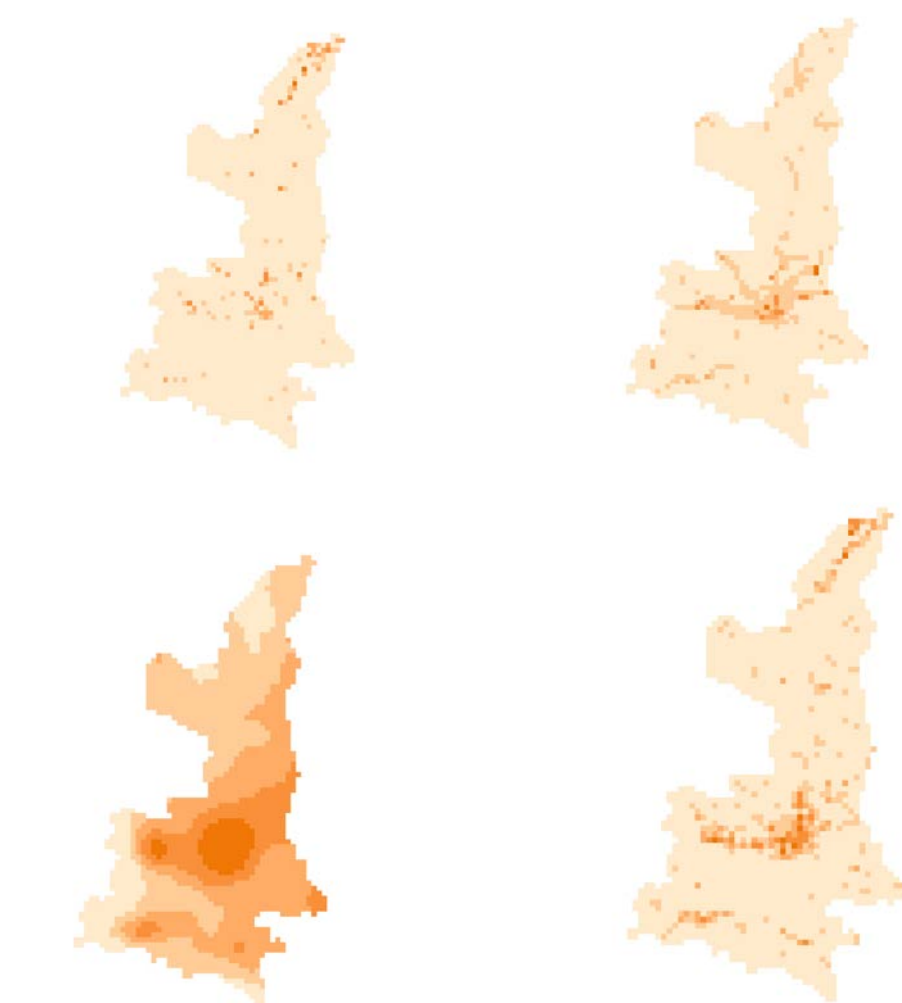


图 7-24. 陕西省工业用地与污染物排放/浓度分布³⁴

³⁴ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

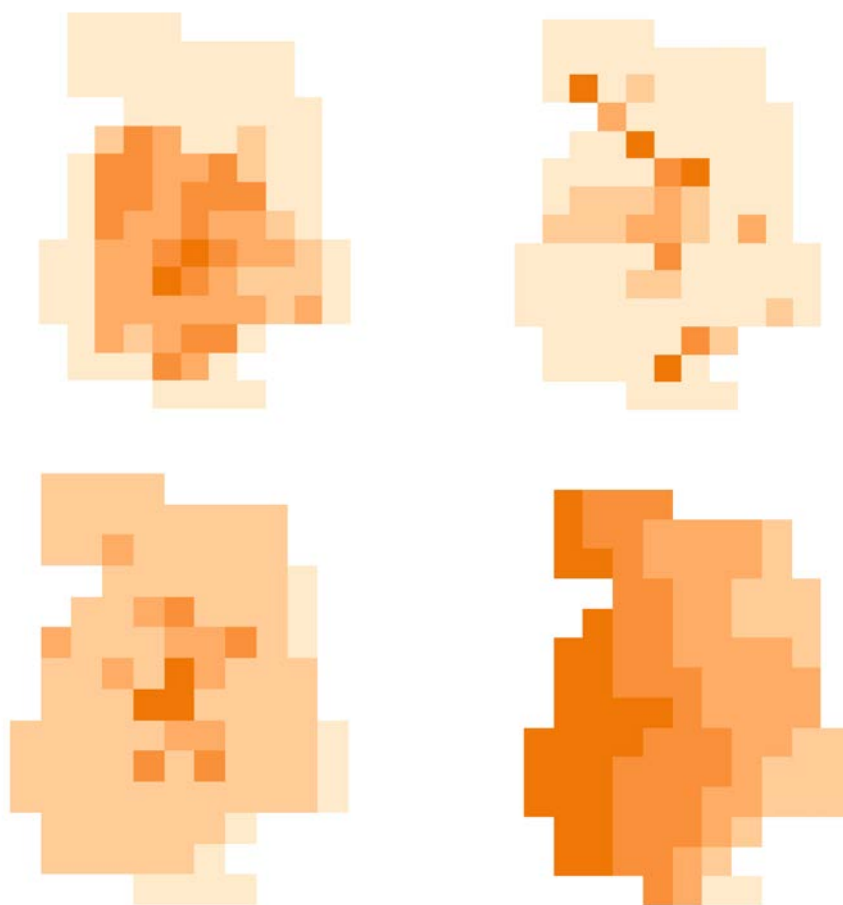


图 7-25. 上海市工业用地与污染物排放/浓度分布³⁵

³⁵ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

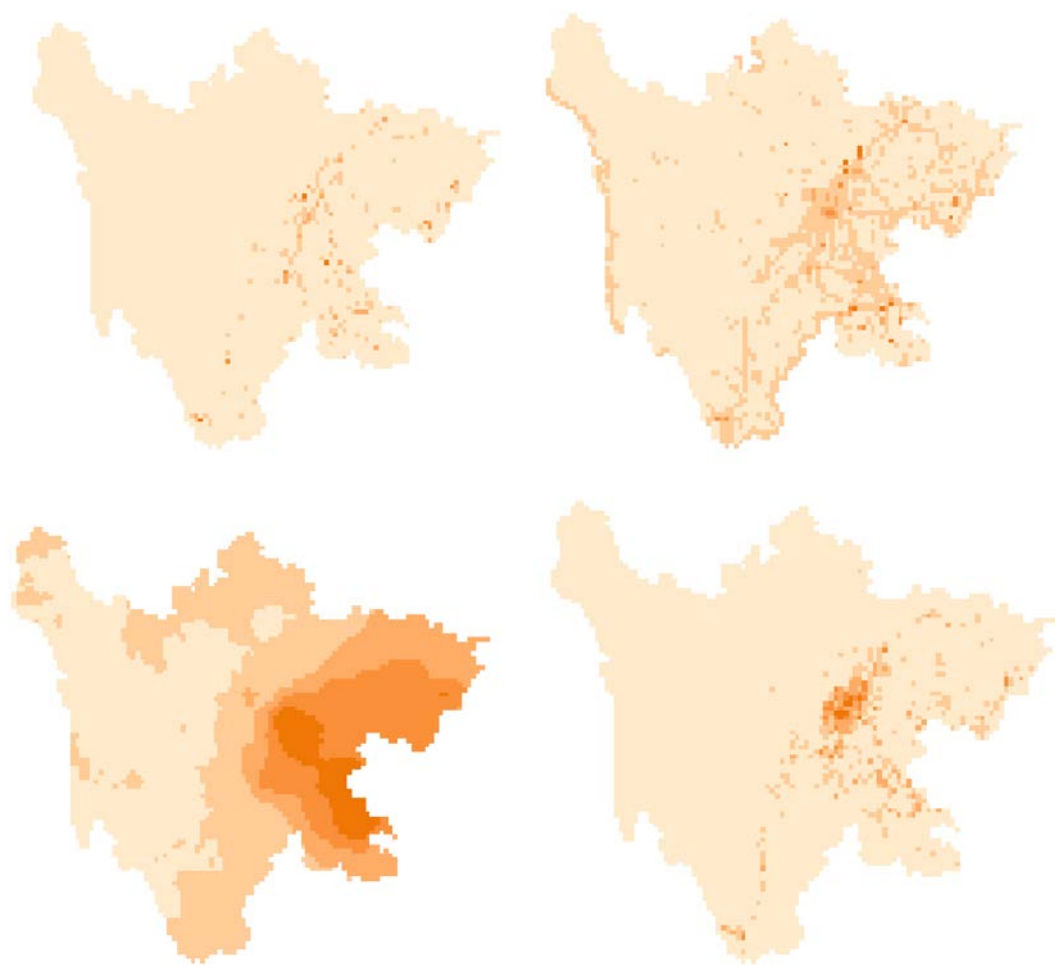


图 7-26. 四川省工业用地与污染物排放/浓度分布³⁶

³⁶ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

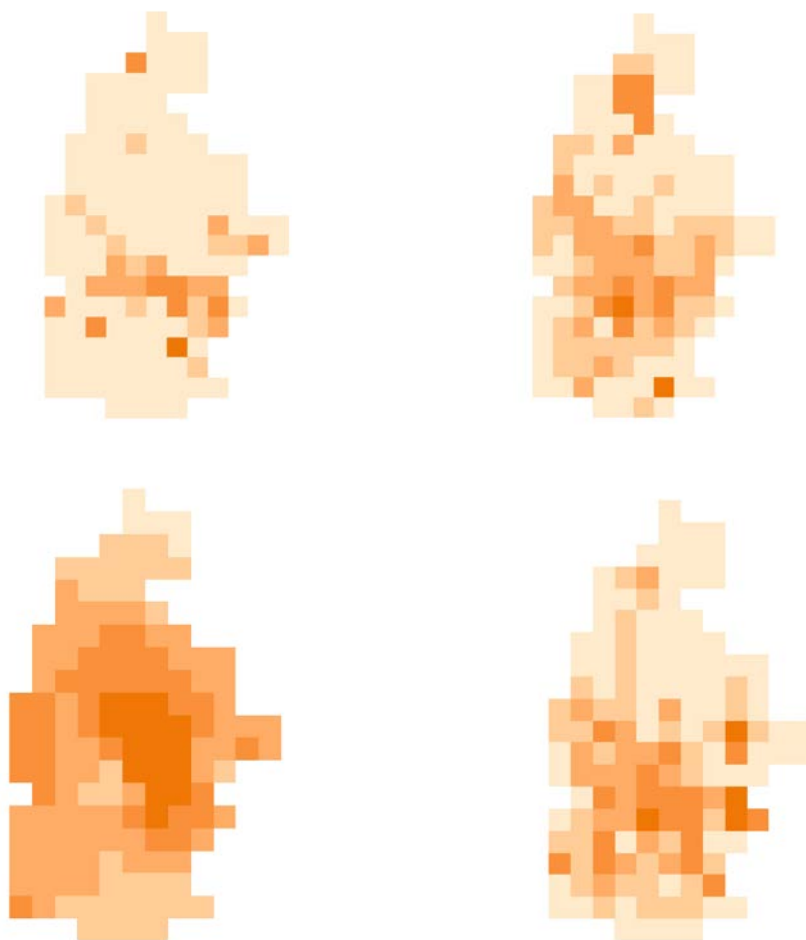


图 7-27. 青海省工业用地与污染物排放/浓度分布³⁷

³⁷ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

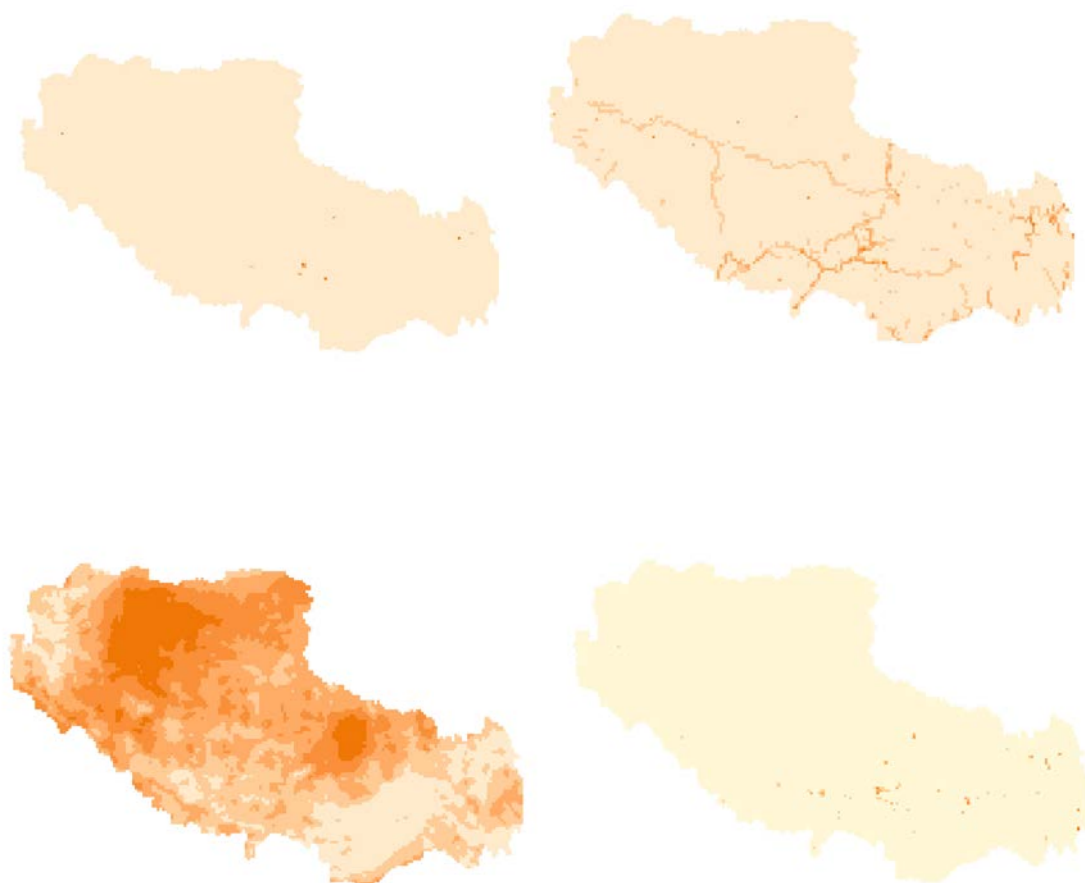


图 7-28. 西藏自治区工业用地与污染物排放/浓度分布³⁸

³⁸ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

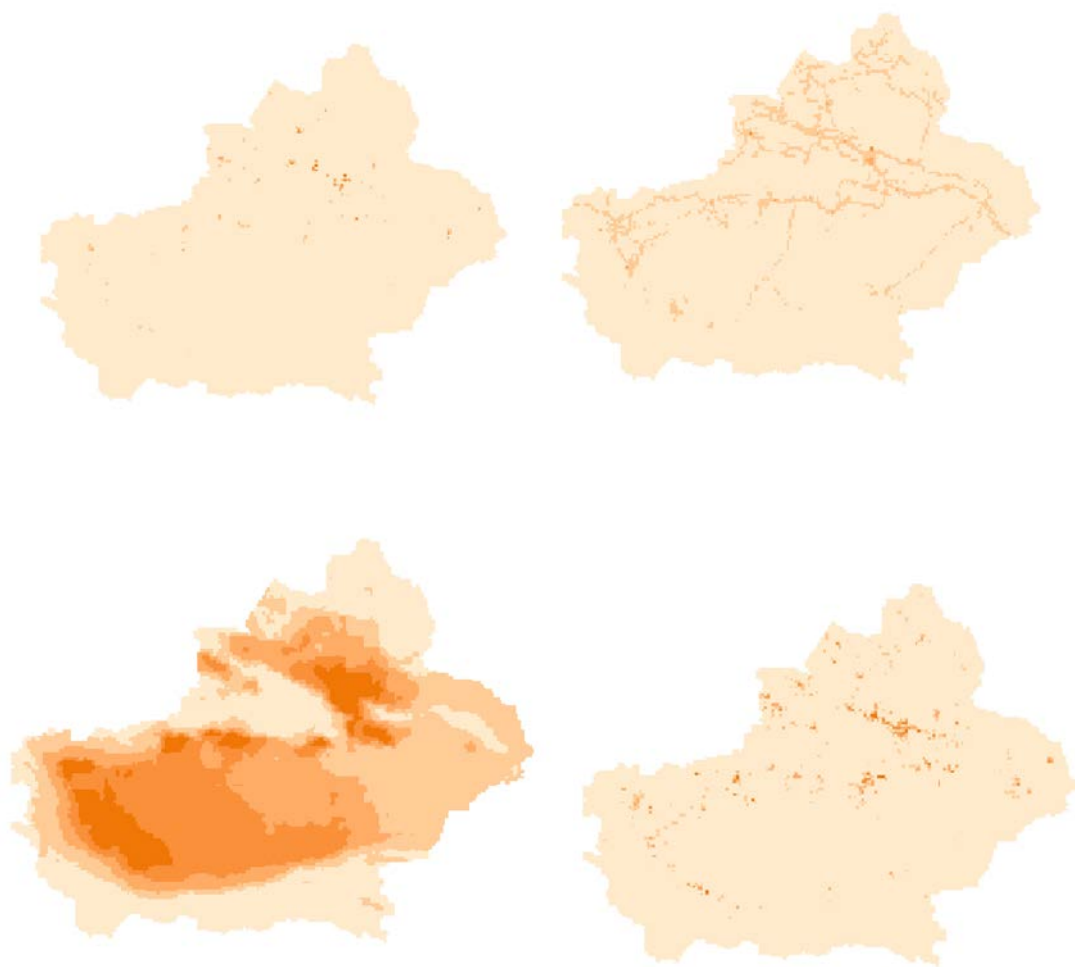


图 7-29. 新疆维吾尔自治区工业用地与污染物排放/浓度分布³⁹

³⁹ 左上为CO₂的排放分布，右上为NO_x的排放分布，左下为PM_{2.5}的浓度，右下为工业用地分布。

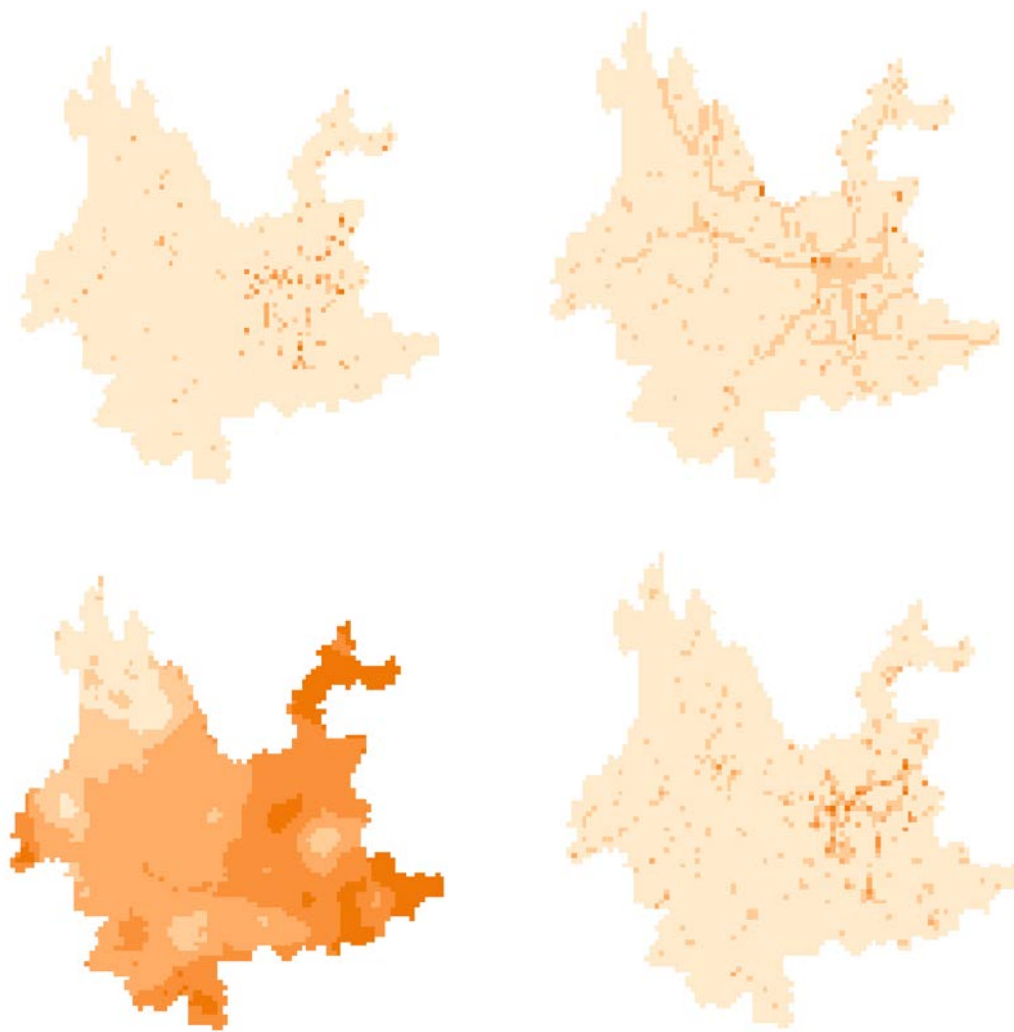


图 7-30. 云南省工业用地与污染物排放/浓度分布⁴⁰

⁴⁰ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

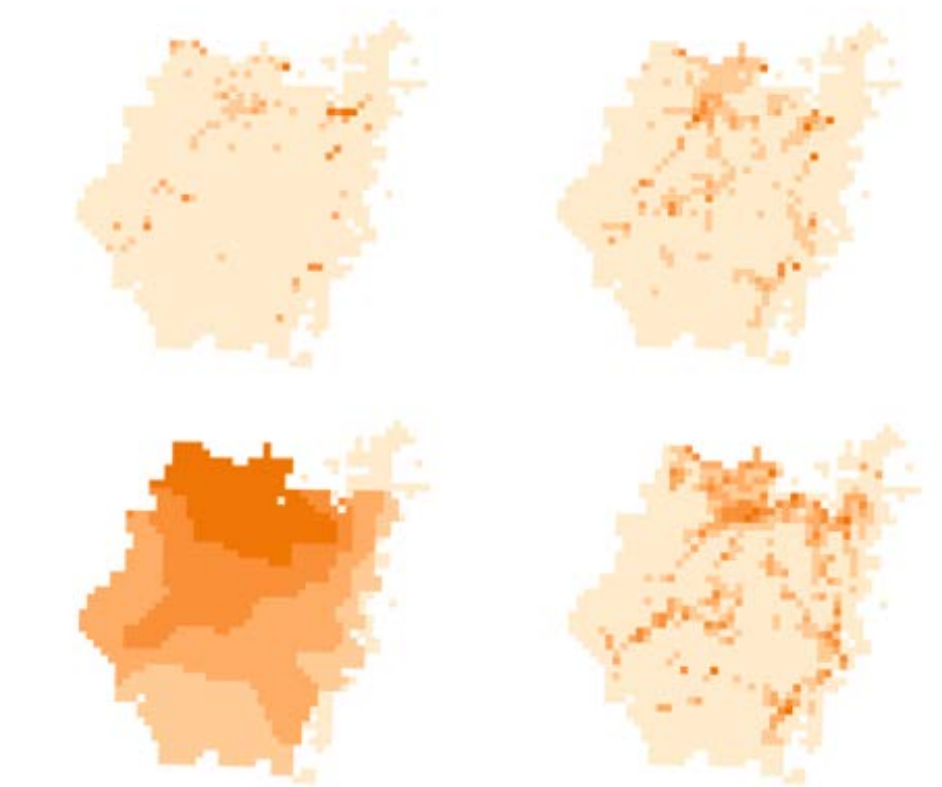


图 7-31. 浙江省工业用地与污染物排放/浓度分布⁴¹

⁴¹ 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

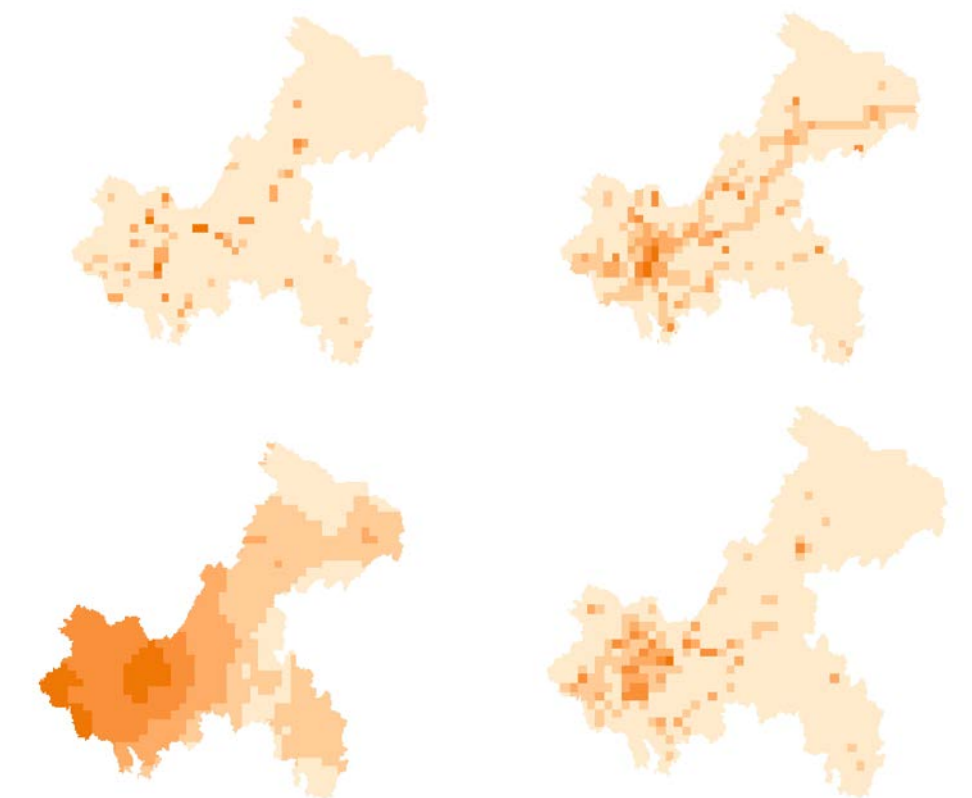


图 7-32. 重庆市工业用地与污染物排放/浓度分布⁴²

⁴² 左上为 CO_2 的排放分布，右上为 NO_x 的排放分布，左下为 $PM_{2.5}$ 的浓度，右下为工业用地分布。

致谢

本研究由宇恒可持续交通研究中心、中国国土勘测规划院、生态环境部环境规划院联合撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是能源基金会低碳城市项目课题。

在本项目研究过程中，研究团队得到了北京数城未来科技有限公司的大力支持，在此表示诚挚感谢。

-----报告正文-----

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。