

降碳减污扩绿增长： “四位一体”评估框架及测度

刘世锦 赵勇 刘耕源

摘要 协同推进降碳减污扩绿增长，是目前我国生态文明建设的重点战略任务。本文分别使用碳生产率、环境质量指数、单位面积生态资本服务价值和人均 GDP 四个指标来刻画降碳、减污、扩绿和增长，并参考联合国人类发展指数的编制思路，发展了一套“四位一体”发展指数方法，对我国 253 个地级以上城市降碳减污扩绿增长水平进行测度。本文在对城市总体发展水平进行评估的基础上，还根据增长与绿色发展的协同关系将城市划分四大类型（高增长-高绿色、高增长-低绿色、低增长-高绿色和低增长-低绿色）进行考察。“四位一体”指数评估方法完善了绿色发展评价和核算体系，具有普适性和可扩展性，可在不同区域层面上进行核算，对城市的发展轨迹进行动态化追踪。

关键词 降碳减污扩绿增长 评估框架 测度

[中图分类号] X51 [文献标识码] A [文章编号] 2097-454X (2024) 03-0021-21

一、引言

目前，我国生态文明建设已经进入加快发展方式绿色转型，处理好高质量发展和高水平保护关系的关键时期。党的二十大报告指出，统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。

从我国现阶段国情来看，内在地要求协同推进降碳、减污、扩绿、增长。发达国家已经度过了工业化的高峰期，常规污染问题基本解决，生态环境总体较好，经济转入成熟期，绿色转型主要涉及减少碳排放。我国除了需要减少碳排放外，面临的环境污染、生态破坏问题依然突出，特别是我国仍未跨过高收入国家门槛，有必要也有潜力继续保持较快的经济增速。这几个方面都很重要，不可偏废。事实上，降碳、减污、扩绿与增长存在一定的协同效应，协同推进可以提高效率，而且能够创造新的增长动能。例如，碳与其他污染物排放具有较高的同源性，由于外部性的差异，可以利用较高的减污积极性协同推动降碳。更有意义的是，降碳减污中的绿色技术和投资能够形成巨大的创新和增长新动能，使以往降碳减污与经济增长相互掣肘的关系转变为相互支撑协同共赢的关系。

但从近年来的实践看，因对降碳、生态环境保护与增长之间的关系认识不到位，一些地区在落实中央决策部署过程中出现了“不会干”、“运动式”减碳、降碳减污扩绿与增长不协同甚至对立等偏差。这一背景下，迫切需要变革和创新已有的目标体系、度量手段和评价方法，将降低碳排放、防控污染、修复生态、生物多样性保护等与经济社会增长纳入统一核算评估体系。着眼于实际工作中的针对性和可操

【作者简介】刘世锦，国务院发展研究中心研究员、博士生导师，邮政编码：100010；赵勇，国务院发展研究中心产业经济研究部研究员，邮政编码：100010；刘耕源，北京师范大学环境学院、环境模拟与污染控制国家重点联合实验室教授、博士生导师，邮政编码：100875。

作性，需要运用若干典型性指标科学客观便捷地刻画绿色发展水平，有效发挥评价考核指挥棒的导向和激励作用，引导各级政府形成相互竞争相互促进的发展状态，将降碳减污扩绿增长协同发展真正落到实处。

从已有研究看，第一类文献主要从核算角度对绿色发展进行评估。例如，1993年联合国统计署提出的绿色GDP核算方法及在此基础上的改进版本。这一方法将资源和环境成本纳入GDP核算，但没有考虑生态价值和碳排放导致的成本。第二类文献通过建立指数来评价绿色发展。例如，绿色发展指数、环境绩效指数等。指数评价方法可克服核算方法存在的固有难题，能够反映绿色发展进展，但是该方法存在两方面不足：一是不同指数因对绿色发展的不同理解使得指标体系存在很大差异。例如，北京师范大学经济与资源管理研究院发布的绿色发展指数，从经济增长绿化度、资源环境承载潜力、政府政策支持度3个维度来评价。环境绩效指数从气候变化、环境和生态三个维度建立指标体系（Wolf et al., 2022）。二是绿色发展评价指标体系过于复杂、具体指标过多，在应用时可操作性较弱，特别是开展国际比较时。第三类文献对降碳-减污-扩绿-增长的耦合协调效应进行了测度（崔新蕾、王冉冉，2024），尽管可以一定程度上测度四个维度的耦合协调性，但是耦合协调性并没有比较明确的经济政策含义，同时这一方法本身存在指标构建的主观性、耦合结果的波动性、耦合结果的无可比性等缺陷（王淑佳等，2021）。此外，已有研究使用多个指标来刻画扩绿，较少使用单一指标来反映扩绿。尽管一些研究用生态资本服务价值来衡量扩绿，特别是使用功能价格法（Costanza et al., 1997）、当量因子法（潘竟虎、石培基，2009；谢高地等，2015）来核算生态资本服务价值，但是上述方法存在人为给定价格等弊端（刘世锦、刘耕源，2021）。

本文试图在已有研究基础上，创新性地建立降碳减污扩绿增长“四位一体”评价指标体系和评估框架，分别用碳生产率、环境质量指数、单位面积生态资本服务价值和人均GDP四个指标来刻画降碳、减污、扩绿和增长，并借鉴联合国人类发展指数的编制思路合成“四位一体”发展指数，以有效地测度各地降碳、减污、扩绿、增长进展状况，并根据增长与绿色发展的协同关系分类型进行考察，动态追踪城市的绿色转型发展轨迹，为各级政府部门科学决策提供量化依据。

二、评估指标体系和指数计算方法

（一）指标体系构建原则

科学性原则。从降碳、减污、扩绿、增长的自然属性和经济社会属性出发，选择具有科学依据、公认性强的度量指标。评估逻辑和方法具有广泛认知，能够客观全面动态反映评估对象的实际状态。

典型性原则。尽可能选取较少但典型性、代表性突出的指标。

易操作原则。充分考虑数据的可得性和指标表达的简洁性，计算方法尽可能便捷，使各个层面的使用者方便上手，易于操作实施。

（二）指标选择和数据来源

自2020年提出双碳目标后，我国生态文明建设进入新阶段，降碳成为生态文明建设和绿色发展的重点战略方向，同时要求协同推进降碳、减污、扩绿、增长。在此背景下，绿色发展评价重点转向科学合理地评价降碳减污扩绿增长水平。协同论（Synergetics）起源于自然科学，由赫尔曼·哈肯提出，强调即使在无生命物质中，也能自发产生有序结构，并在外部能量供应下维持。协同论的核心在于研究大量子系统如何通过合作在宏观尺度上产生结构。治理理论作为社会科学的一部分，关注公共决策和治理的有效性。它认为政府不再是唯一的治理主体，而是与市场、公民、非政府组织等多元主体共同参与治理过程。早期的协同研究多关注二元协同，二元协同理论的理论基础主要来自于生态经济学和可持续发展理论，它强调经济发展与环境保护之间的相互作用和平衡。在这个框架下，经济增长不应以牺牲环境为代价，反之亦然。这种理论认为，通过技术创新和政策调整，可以实现经济和环境的双赢。多元协同理论则是在二元协同的基础上发展起来的、它考虑了更

多的社会经济因素，如社会公正、文化多样性、政治稳定等。多元协同理论认为，除了经济和环境之外，社会的其他方面也应该被纳入考量，以实现更全面的可持续发展。多元协同理论借鉴了系统理论的观点，将社会看作是个复杂的系统，其中各个部分相互依赖、相互作用。在这个系统中，经济、环境、社会等多个子系统需要协同工作，以达到整体的可持续发展。多元协同理论支持绿色增长，即在不损害环境的前提下实现经济增长。这要求在经济活动中采取减少污染和碳排放的措施，同时通过扩大绿色空间来提高生态系统的质量和服务。进一步，多元协同理论强调多元主体的参与和协同治理。这包括政府、市场、公民社会和非政府组织等多个治理主体的合作。这种治理模式认为，通过多元主体的共同努力，可以更有效地解决复杂的社会问题（赫尔曼·哈肯，2005）。基于科学性、典型性和易操作性三个原则，本文分别用碳生产率、环境质量指数、单位面积生态资本服务价值和人均 GDP 四个指标来刻画降碳、减污、扩绿和增长，具体见表 1。

1. 使用碳生产率（GDP/碳排放）度量降碳。碳生产率的计算公式如下：碳生产率 = 购买力平价 GDP（美元）/碳排放（吨）。

碳排放效率指标将碳排放量与 GDP 挂钩，能够更好地反映减碳与增长的关系，反映经济活动在绿色转型方面的效率。为了尽可能剔除价格等因素的影响，增强指标的国际可比性，GDP 选择使用以 2017 年为基期的不变价购买力平价美元计价的 GDP。

其中，城市碳排放量使用的是 2019 年的数据，数据来源于中国 CEDS 数据库；以 2017 年为基期的不变价购买力平价美元计价的 GDP，基于世界银行发布的以 2017 年为基期的不变价购买力平价系数和来源于 iFinD 和《中国城市统计年鉴》的城市 GDP 数据计算得到。

2. 使用环境质量指数度量减污。环境质量指数由空气质量指数和水环境综合指数两个指数合成，两者权重相同。环境质量指数计算公式如下：环境质量指数 = 0.5 * 正向化的空气质量指数 + 0.5 * 正向化的水环境综合指数。

空气质量指数来自生态环境部，水环境综合指数来源于公众环境研究中心。

3. 使用单位面积的生态资本服务价值度量扩绿。计算公式如下：单位面积的生态资本服务价值 = 城市生态资本服务价值/城市行政区域面积。

生态资本服务价值能够综合反映森林、湖泊、草地、湿地等各类生态类型的状况，能够有效地衡量生态保护与修复的成效，计算单位为生态元，1 单位生态元 = 10^{10} 太阳能焦耳。生态元数据使用 2020 年的数据。基于生态元的生态资本服务价值核算体系参见刘世锦等撰写的《基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告》^①。基于“生态元”的生态资本服务价值核算体系，将“生态元”作为核算的基本单位，选取太阳能值为统一的核算量纲，可对生态资产及服务（尤其是“货币化”失灵的调节服务）进行基于能量成本的统一核算。这一核算体系的基本逻辑为（等效）太阳能是自然生态系统中最为重要的驱动来源，生态系统服务的所有活动包括其产生都严格遵守热力学第一定律，即输入系统中的所有活动的总能量减去这些过程输出的总能量结果为零。使用这种方法计算出的能量学价值可作为稳定的标的物，不受人类偏好和市场偶然性的影响，为客观地评价生态产品及其对人类经济系统的贡献提供了一种崭新思路（Odum, 1996；刘耕源等，2020）。这一体系具有理论逻辑一致、度量便捷等优点，特别是其中的综合性指标能够全面度量生态资本服务价值，客观有效度量扩绿情况。

4. 使用以购买力平价美元计价的人均 GDP 度量增长。计算公式如下：以购买力平价美元计价的人均 GDP = 以人民币计价的人均 GDP/购买力平价系数。

相较于使用现价人民币或美元计价的人均 GDP，使用以 2017 年为基期的不变价购买力平价美元计价的 GDP，既可以避免随时间变化的通胀因素的影响，也可以剔除地区间物价差异等因素的影

① 刘世锦等（2021）：《基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告》，中国发展研究基金会。

响，便于跨年份和国际间比较。

需要说明的是，由于部分城市碳排放数据缺失严重，剔除此类数据缺失的城市后，最终得到样本城市共 253 个。

表 1 降碳减污扩绿增长“四位一体”指数评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	计算方法	数据来源
绿色	降碳	碳生产率(PPP 美元/吨)	GDP/碳排放	中国 CEDS 数据库; iFinD 和中国城市统计年鉴; 世界银行
	减污	环境质量指数	0.5 * (正向化的空气质量指数 + 正向化的水环境综合指数)	生态环境部; 公众环境研究中心
	扩绿	单位面积生态资本服务价值(生态元/平方米)	城市生态资本服务价值/城市面积	生态资本服务价值核算数据库
增长	增长	人均 GDP(PPP 美元)	以 2017 年为基期的不变价购买力平价美元计价的 GDP	GDP 和常住人口数据来源于 iFinD; CEIC 和相关城市政府官网; 购买力平价数据来自世界银行

(三) 指数计算方法

建立“四位一体”指数的具体步骤如下：

第一步，对指标进行归一化，建立单个维度指数。使用下面的公式计算得到降碳、减污、扩绿、增长四个维度的指数：

$$X_i = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i}, \text{当 } x_i \text{ 为正向指标} \quad (1)$$

$$X_i = \frac{\max x_i - x_i}{\max x_i - \min x_i}, \text{当 } x_i \text{ 为负向指标} \quad (2)$$

式中： X_i 为维度 i 指标的归一化值； x_i 为维度 i 的原始值； $\max x_i$ 、 $\min x_i$ 分别为维度 i 的极大值和极小值。其中，碳生产率、人均 GDP 和单位面积生态资本服务价值在归一化前进行了对数处理。

由于样本城市范围变化和时间变化均会使相关指标的最大值和最小值发生变化，进而会导致归一化后的维度数值受到影响，使得不同样本城市的结果以及同一样本不同年份的结果不具有可比性。为了避免这种情况，使不同年份和不同地区的指数具有可比性，我们将不同年份和不同地区的碳生产率、空气质量指数、水环境综合指数、单位面积生态资本服务价值和人均 GDP 的极大值和极小值设定为固定值，具体见表 2。

表 2 计算维度指数的极大值和极小值

一级指标	二级指标	三级指标	极大值	极小值
绿色	降碳	碳生产率(2017 年不变价购买力平价美元/吨)	16000	100
	减污	空气质量指数	10	200
		水环境综合指数	1	40
	扩绿	单位面积生态资本服务价值(生态元/m ²)	50	0.05
增长	增长	人均 GDP(2017 年不变价购买力平价美元)	60000	3000

第二步，汇总维度指数。参考联合国人类发展报告^①对指数的几何平均处理，“四位一体”指数的计算方法如下：

① UNDP: Human Development Report 2023 - 24: Breaking the gridlock; Reimagining cooperation in a polarized world, <https://hdr.undp.org>。

“四位一体”指数 = 0.5 * 绿色指数 + 0.5 * 增长指数

其中：绿色指数^① = $\sqrt[3]{\text{降碳指数} * \text{减污指数} * \text{扩绿指数}}$

三、城市总体发展评估结果

(一) 城市总体情况

从“四位一体”指数分布来看，全国城市的“四位一体”指数整体呈现“南高北低”的形势（见图1）。

从四大经济分区层面来看，“四位一体”指数整体表现为东部地区 > 中部地区 > 西部地区 > 东北地区。

从城市群层面来看，东南沿海的珠三角、长三角城市群“四位一体”指数整体得分较高；中原、关中平原城市群发展较弱，其中河南和安徽的部分城市得分较低；京津冀城市群内部发展差距较大，仅北京表现较好。

从城市层面来看，内陆省份中的“热点城市”（较相邻地区得分更高的城市）与省会城市的重叠度较高，如郑州、贵阳、西安、太原、成都等，因为在内陆省份中，省会城市往往较周边城市经济发展水平明显更高。湖北和江西是内陆省份中的例外，湖北省内宜昌的四位一体指数较省会武汉更高，这主要是由于宜昌在保持了较高人均GDP水平的同时，水源质量和生态环境维护得更加优越；与湖北情况类似，江西省中鹰潭市的得分也略高于省会南昌。

(二) 不同类型的城市

按照四分位数对“四位一体”指数进行划分，样本城市发展水平可划分为高、较高、中等、低指数四类。其中，截止点根据城市“四位一体”指数值进行计算，依据样本城市指标的分位数得到如下不同类型的城市（见表3）。

表3 根据“四位一体”指数划分的不同城市类型

序号	不同类型的城市	划分依据	城市
1	高指数城市(63个)	“四位一体”指数值高于65.03	深圳、北京、杭州、广州、常州、无锡、上海、福州、厦门、苏州、泉州、绍兴、宁波、南京、佛山、三明、龙岩、宜昌、克拉玛依、扬州、南平、湖州、玉溪、黄山、青岛、鹰潭、宁德、南昌、武汉、莆田、烟台、成都、威海、漳州、南通、东莞、台州、新余、大连、温州、西安、贵阳、丽水、湘潭、芜湖、东营、惠州、济南、株洲、泰州、岳阳、昆明、中山、合肥、金华、十堰、攀枝花、滁州、郑州、江门、重庆、鄂尔多斯、常德
2	较高指数城市(64个)	“四位一体”指数值位于57.80—65.03之间	绵阳、宝鸡、德阳、海口、大庆、嘉兴、衢州、南宁、宣城、肇庆、延安、九江、洛阳、天津、柳州、茂名、郴州、雅安、随州、宿迁、宜春、金昌、北海、景德镇、吉安、乐山、盐城、鄂州、三门峡、池州、呼和浩特、长春、太原、桂林、荆门、兰州、沈阳、安庆、徐州、乌鲁木齐、包头、乌海、铜陵、衡阳、嘉峪关、日照、泸州、安康、赣州、咸宁、晋城、黄石、本溪、马鞍山、益阳、自贡、阳江、咸阳、连云港、许昌、清远、哈尔滨、汉中
3	中等指数城市(62个)	“四位一体”指数值位于50.74—57.80之间	上饶、商洛、汕头、抚州、铜川、防城港、保山、焦作、唐山、榆林、承德、贺州、河源、萍乡、娄底、韶关、蚌埠、临沧、广元、秦皇岛、永州、梧州、张家界、云浮、潍坊、汕尾、鹤壁、丽江、钦州、六安、南阳、达州、石家庄、安顺、潮州、广安、邵阳、遂宁、六盘水、张掖、信阳、白山、孝感、百色、内江、荆州、抚顺、酒泉、黑河、揭阳、巴彦淖尔、湛江、长治、济宁、朔州、平顶山、昭通、泰安、黄冈、玉林、巴中、临沂

^① 绿色指数包括降碳、减污和扩绿三个维度，三个维度按照等权重的几何平均得到绿色指数。相较于算数平均，几何平均方法的数学性质能让三个维度都均衡较高的城市得分高于有明显长板和短板的城市，即使这两类城市的算数平均在相同水平。

序号	不同类型的城市	划分依据	城市
4	低指数城市(64个)	“四位一体”指数值低于50.74	银川、保定、呼伦贝尔、枣庄、吕梁、河池、牡丹江、大同、新乡、武威、鞍山、辽源、阳泉、来宾、吉林、驻马店、赤峰、南充、梅州、张家口、鹤岗、贵港、鸡西、淮南、忻州、双鸭山、石嘴山、廊坊、沧州、开封、通化、乌兰察布、临汾、淮北、庆阳、白银、宿州、安阳、漯河、渭南、资阳、德州、中卫、吴忠、平凉、白城、邯郸、七台河、松原、绥化、邢台、天水、陇南、四平、伊春、固原、齐齐哈尔、濮阳、阜阳、商丘、亳州、定西、聊城、周口

四、城市分类型评估结果

考虑到不同城市特点差异较大，在评估城市降碳减污扩绿增长“四位一体”发展程度时，根据城市类型特点分类型进行评估将会更加科学客观。

按照增长指数与绿色指数（由生态、环境、碳排放构成）的两方面表现，我们将253个样本城市划分为高增长-高绿色、高增长-低绿色、低增长-低绿色、低增长-高绿色城市四个象限^①，每个象限分别包含72个、55个、55个和71个城市（见图1）。按照上述类型划分标准，分别对四个类型的样本城市进行评估分析。

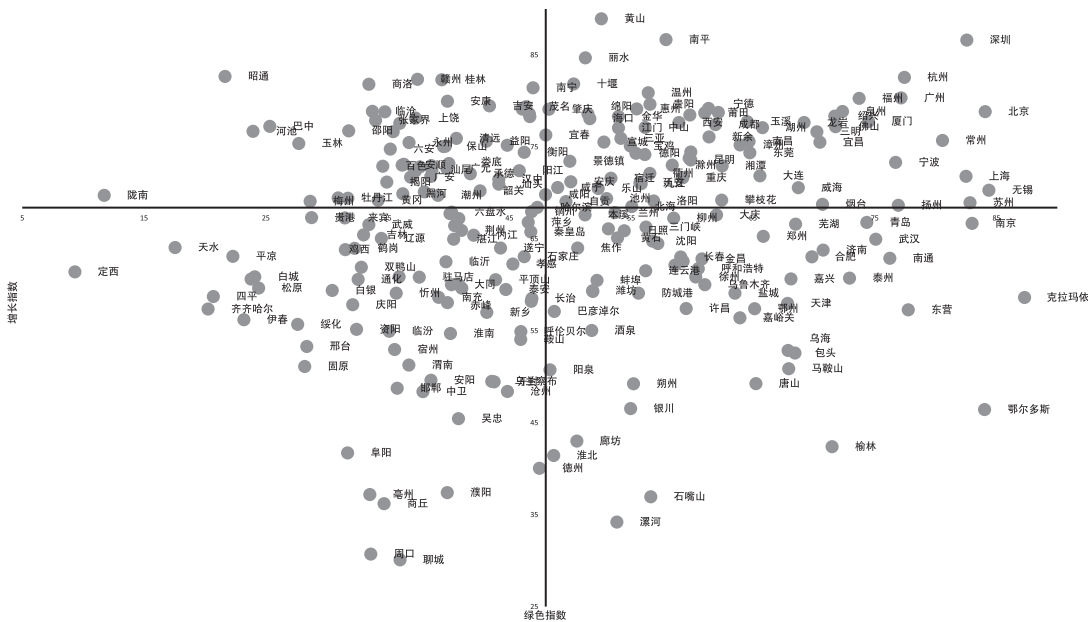


图1 四种城市类型及分布^②

在“四位一体”指数之外，为了更直观地呈现每个城市增长与绿色发展的协同程度，我们定义“协同值”指标对协同程度进行衡量。协同值具体计算方法如下：

$$\text{协同值} = 100 * (1 - |Ei - Gi|/252)$$

其中， Ei 为城市 i 的增长指数在所有样本城市中的排名， Gi 代表城市 i 绿色指数在所有样本城

① 使用增长指数和绿色指数的中位数作为象限之间的分割点。
 ② 横坐标为增长指数，纵坐标为绿色指数。横坐标轴与纵坐标轴的交叉点为增长指数中位数（48.0）和绿色指数中位数（68.4）。

市中的排名。由于样本城市共有 253 个，因此 252 是某个城市增长排名和绿色排名可能达到的最大值， $|E_i - G_i| / 252$ 衡量了城市增长排名与绿色排名的差异程度，对应地， $1 - |E_i - G_i| / 252$ 衡量了城市增长排名与绿色排名的协同程度，最后将 $1 - |E_i - G_i| / 252$ 放缩到 0 - 100 之间便于读数。

(一) 高增长 - 高绿色类型城市

高增长 - 高绿色类型城市共 72 个，主要归属于长三角、长江中游、珠三角、粤闽浙沿海和成渝城市群 5 大城市群，集中分布在浙江、福建、广东、江西、四川、安徽、江苏等省份（见图 2）。

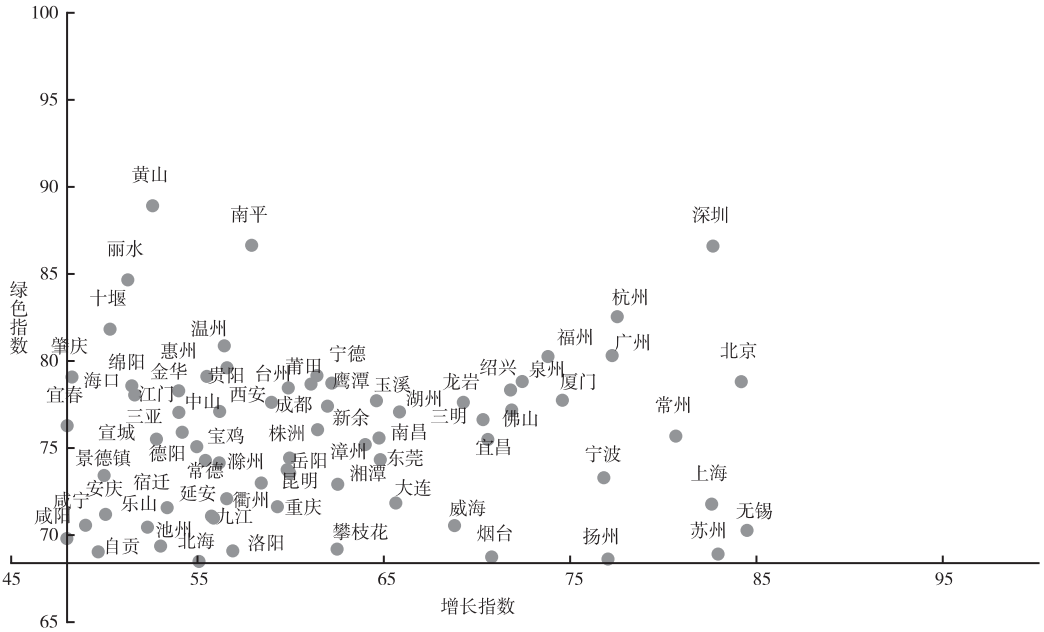


图 2 高增长 - 高绿色类型城市

从“四位一体”指数的数值水平看，深圳、北京、杭州、广州、常州、无锡、上海、福州、厦门、苏州、泉州、绍兴、宁波、佛山、三明、龙岩、宜昌、扬州等城市在高增长 - 高绿色类型城市中指数较高（见表 4）。

表 4 高增长 - 高绿色类型城市中“四位一体”指数较高的城市

城市	“四位一体”指数
深圳	84.59
北京	81.45
杭州	80.00
广州	78.74
常州	78.14
无锡	77.33
上海	77.14
福州	77.00
厦门	76.13
苏州	75.88
泉州	75.59
绍兴	75.03
宁波	75.01

续表

城市	“四位一体”指数
佛山	74.49
三明	73.44
龙岩	73.42
宜昌	73.00
扬州	72.79

从各分项指数表现以及增长与绿色的协同程度来看，高增长-高绿色类型城市可分为以下三类：

第一类包括深圳、北京、杭州、广州、福州、厦门、泉州、绍兴、佛山等34个城市，增长绿色协同值超过90，协同度较高。其中，深圳、杭州、广州、福州、泉州5个城市的绿色和增长指数均位于全国前30，实现了绿色与增长的高发展、高协同。

这一类别的代表性城市是深圳和杭州，经济规模大，服务业和高端制造业为主，重视低碳和环境保护。深圳和杭州作为全国第一批低碳试点城市，积极探索建立包括绿色消费、绿色生产、绿色流通、绿色金融等在内的绿色经济体系，在经济快速发展的同时实现了城市绿色化水平的快速提升。例如，深圳重视调整产业和能源结构低碳化水平；绿色交通水平全球领先，实现公交车、出租车、网约车全面纯电动化；完善碳金融产品，在碳基金、碳质押等方面实现突破；实施全球首部规范绿色金融的综合性法案；出台碳普惠方案引导绿色消费等等，是全国碳生产率排名最高的城市。杭州通过提升产业和金融的数字化水平，加强数字经济和传统制造业、交通、建筑等领域的融合，同时高度重视对城市生态环境的保护和污染的防治，以“美丽发展”为理念，通过生态安全保护行动、深化污染防治攻坚战行动、绿色低碳经济发展行动、美丽都市大花园建设行动、生态文化新高地打造行动等一系列行动，持续推进生态环境治理能力和治理体系现代化，在减污和扩绿方面较为领先。

第二类包括常州、宜昌、宁德、莆田、东莞、台州、西安、湘潭、中山等17个城市，增长绿色协同值在80—90之间，可进一步关注具体指标排序间的协调性。例如，中山、西安在碳减排方面取得较好成效，降碳排名均位于全国前10，但在减污方面仅位于全国中下游水平，空气质量和水质质量仍需进一步改善；宣城、景德镇则是生态环境优势突出，但碳生产效率相对较低，经济绿色低碳转型空间较大。

第三类包括无锡、上海、苏州、宁波、扬州、南平、黄山、烟台、威海等21个城市，增长绿色协同值低于80，协同度在高增长-高绿色类型城市中较低（见图3和表5）。其中，苏州、扬州、

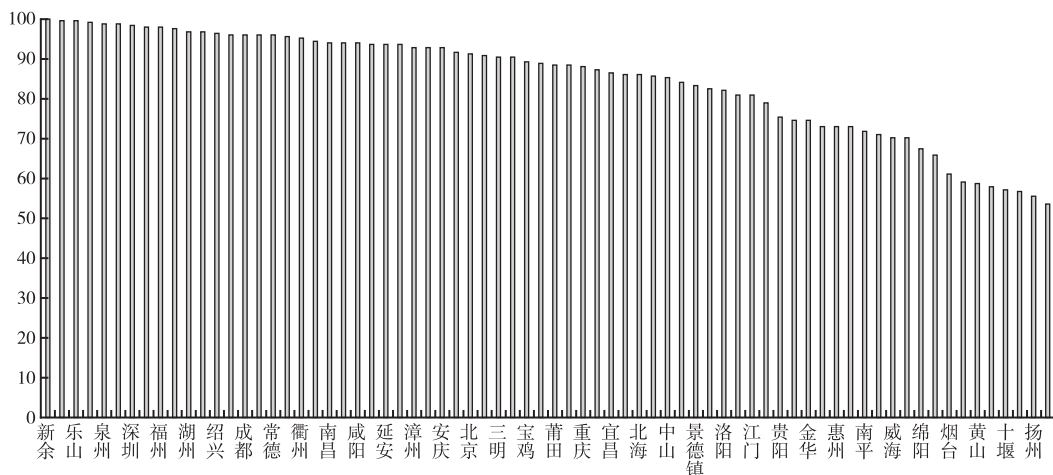


图3 高增长-高绿色类型城市协同值

无锡、上海、宁波 5 个长三角城市的生长指数排序远高于绿色指数。作为我国经济发展最具活力的区域，长三角部分城市在保持增长的同时面临高排放行业聚集、煤炭消费占比大、生态系统受损等压力挑战。一些城市的扩绿水平处于全国中下游水平，需要进一步提高能效水平、创新绿色技术、强化约束激励机制，加快制造业低碳转型和清洁能源替代，形成绿色生产生活方式，重视生态空间保护和生态系统修复。一些城市的自然生态本底好，环境优美突出，在保持人均 GDP 水平尚可的同时，绿色指数排序远高于增长指数。

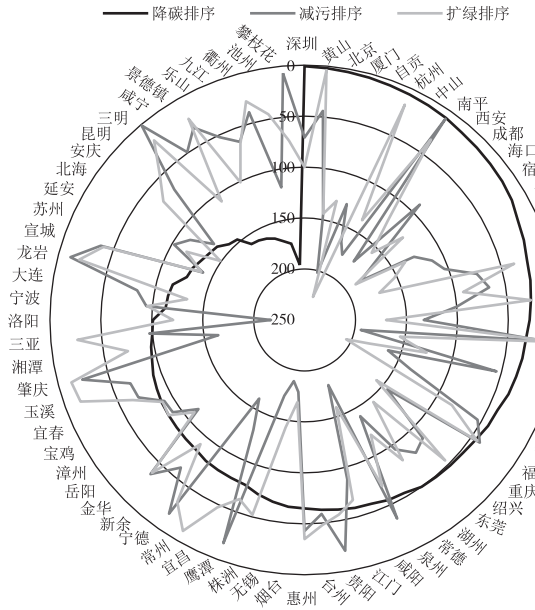


图 4 高增长 - 高绿色类型城市降碳、减污和扩绿指数

表 5 高增长 - 高绿色类型城市增长与绿色指数

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
新余	54	54	100.00	宁德	55	19	85.71
广州	12	13	99.60	莆田	57	28	88.49
乐山	106	107	99.60	东莞	43	72	88.49
自贡	120	122	99.21	台州	63	31	87.30
泉州	21	24	98.81	西安	69	41	88.89
宿迁	101	98	98.81	湘潭	49	84	86.11
深圳	7	3	98.41	中山	83	46	85.32
杭州	11	6	98.02	江门	96	48	80.95
福州	19	14	98.02	重庆	67	97	88.10
玉溪	45	39	97.62	三亚	95	55	84.13
湖州	39	47	96.83	宝鸡	93	66	89.29
株洲	62	70	96.83	宣城	104	60	82.54
绍兴	23	32	96.43	洛阳	75	120	82.14
龙岩	30	40	96.03	北海	91	126	86.11
成都	53	43	96.03	景德镇	119	77	83.33
滁州	72	82	96.03	大连	40	93	78.97
常德	84	74	96.03	贵阳	78	16	75.40
岳阳	64	75	95.63	宁波	14	78	74.60
衢州	79	91	95.24	金华	97	33	74.60

续表

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
池州	103	117	94.44	温州	80	12	73.02
南昌	44	59	94.05	惠州	88	20	73.02
昆明	61	76	94.05	攀枝花	50	118	73.02
咸阳	127	112	94.05	南平	73	2	71.83
德阳	89	73	93.65	宜春	126	53	71.03
延安	86	102	93.65	威海	31	106	70.24
咸宁	121	105	93.65	海口	111	36	70.24
漳州	46	64	92.86	绵阳	112	30	67.46
九江	85	103	92.86	上海	8	94	65.87
安庆	118	100	92.86	烟台	26	124	61.11
厦门	17	38	91.67	肇庆	125	22	59.13
北京	3	25	91.27	黄山	105	1	58.73
佛山	22	45	90.87	无锡	2	108	57.94
三明	28	52	90.48	十堰	117	9	57.14
鹰潭	51	27	90.48	丽水	113	4	56.75
常州	9	57	80.95	扬州	13	125	55.56
宜昌	27	61	86.51	苏州	6	123	53.57

(二) 高增长 - 低绿色类型城市

高增长 - 低绿色类型城市共 55 个 (见图 5)，主要分布在长三角、中原、山东半岛、呼包鄂榆、长江中游 5 大城市群，集中在安徽、河南、江苏、内蒙古、山东 5 个省份。

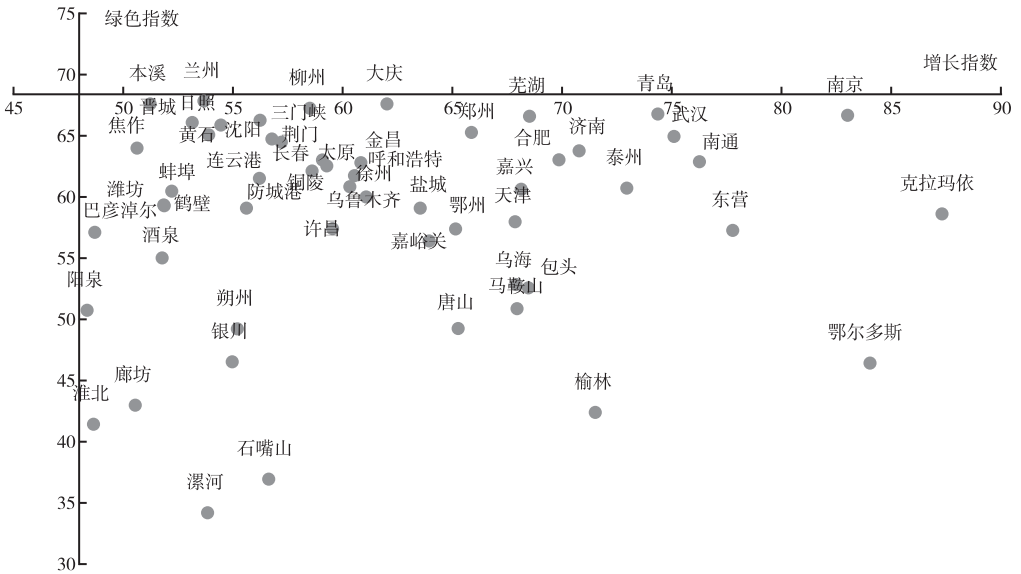


图 5 高增长 - 低绿色类型城市

从“四位一体”指数的数值水平来看，南京、克拉玛依、青岛、武汉、南通、芜湖、东营、济南、泰州、合肥、郑州、鄂尔多斯、大庆、嘉兴、天津、柳州、金昌、盐城、鄂州、三门峡在高增长 - 低绿色类型城市中指数较高 (见表 6)。

从各分项指数表现以及增长与绿色的协同程度看，可分为以下两类：

第一类包括南京、武汉、济南、南通、合肥等工业较为发达的城市，增长绿色协同值一般低于50，协同度偏低。

其中，以合肥、南通为代表的城市通过产业结构优化、数字智能技术融合、低碳技术研发等方式持续推动工业快速发展，相较于大庆、柳州、三门峡等中西部及东北老工业地区的城市，在低碳方面表现更好，但在生态保护和污染治理方面仍有欠缺之处。

第二类包括鄂尔多斯、包头、唐山、榆林、银川等资源型城市，减污和扩绿指数相对较低，排序一般位于200名之后（见图7和图8、表7）。这类资源型城市由于产业发展对资源的较强依赖性和长期的高耗能发展模式，在经济增长缺乏动力的同时面临降碳、减污、扩绿三方面压力，应坚持绿色技术创新应用，提升当地石化、钢铁、建材等资源消耗较大的行业的绿色化水平、加强资源开发利用效率、改造落后产能，在转变经济发展方式的同时重视生态环境质量提升。

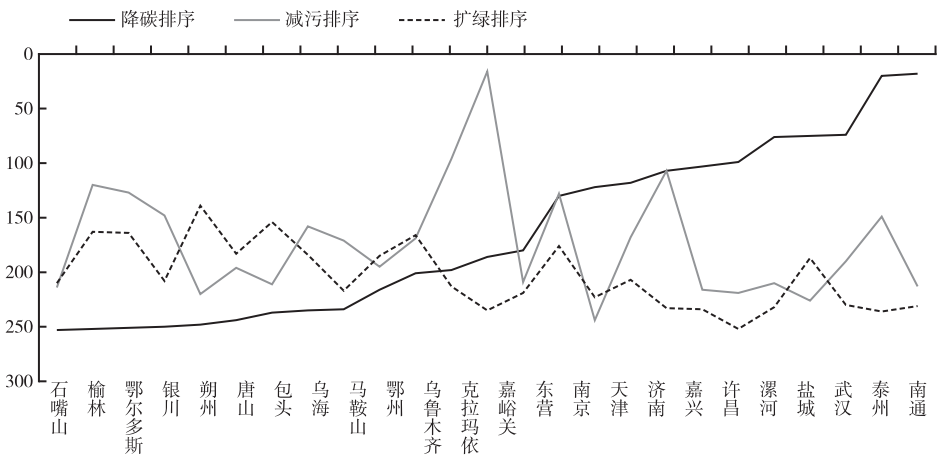


图7 高增长-低绿色类型城市中部分典型城市的降碳、减污和扩绿指数的背离排序

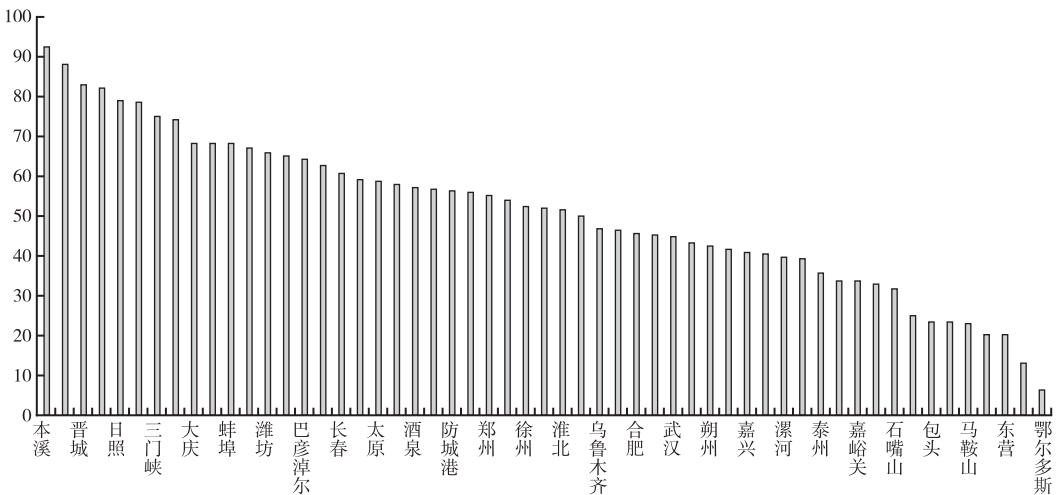


图8 高增长-低绿色类型城市协同值

表7 高增长-低绿色类型城市增长与绿色指数排序

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
本溪	114	133	92.46	淮北	123	245	51.59
兰州	100	130	88.10	廊坊	116	242	50.00
晋城	102	145	82.94	乌鲁木齐	56	190	46.83
焦作	115	160	82.14	南京	5	140	46.43
日照	94	147	78.97	合肥	29	166	45.63
黄石	98	152	78.57	济南	25	163	45.24
三门峡	81	144	75.00	武汉	16	155	44.84
柳州	71	136	74.21	许昌	65	208	43.25
大庆	52	132	68.25	朔州	90	235	42.46
沈阳	76	156	68.25	银川	92	239	41.67
蚌埠	107	187	68.25	嘉兴	34	183	40.87
荆门	74	157	67.06	盐城	48	198	40.48
潍坊	109	195	65.87	漯河	99	251	39.68
鹤壁	108	196	65.08	南通	15	168	39.29
巴彦淖尔	122	212	64.29	泰州	20	182	35.71
连云港	82	176	62.70	鄂州	42	209	33.73
长春	68	167	60.71	嘉峪关	47	214	33.73
铜陵	70	173	59.13	天津	37	206	32.94
太原	66	170	58.73	石嘴山	77	249	31.75
阳泉	124	230	57.94	乌海	36	225	25.00
酒泉	110	218	57.14	唐山	41	234	23.41
芜湖	32	141	56.75	包头	33	226	23.41
防城港	87	197	56.35	马鞍山	35	229	23.02
金昌	58	169	55.95	克拉玛依	1	202	20.24
郑州	38	151	55.16	东营	10	211	20.24
呼和浩特	59	175	53.97	榆林	24	243	13.10
徐州	60	180	52.38	鄂尔多斯	4	240	6.35
青岛	18	139	51.98				

(三) 低增长-高绿色类型城市

低增长-高绿色类型城市共包括55个城市（见图9），集中在广东、广西、湖南、四川、江西、云南6个省份。

从“四位一体”指数来看，南宁、茂名、郴州、雅安、随州、吉安、桂林、衡阳、泸州、安康、赣州、益阳、阳江、清远、哈尔滨、汉中、上饶、商洛、汕头、抚州在低增长-高绿色类型城市中指数较高（见表8）。

但降碳排序在 100 位以内的城市仅占 47%。因此，未来加大降碳力度是这类城市提升绿色指数的重点（见图 11 和表 9）。

低增长 - 高绿色类型城市大致可分为以下两类：

第一类是汕头、韶关、南宁、茂名、随州、衡阳、泸州等 35 个城市，增长绿色协同值在 50 以上，多位于广东、四川、湖南 3 省（见图 10）。这些城市可通过都市圈建设和中心城市的带动引领，发挥自身资源优势与产业特点，推动经济可持续增长。

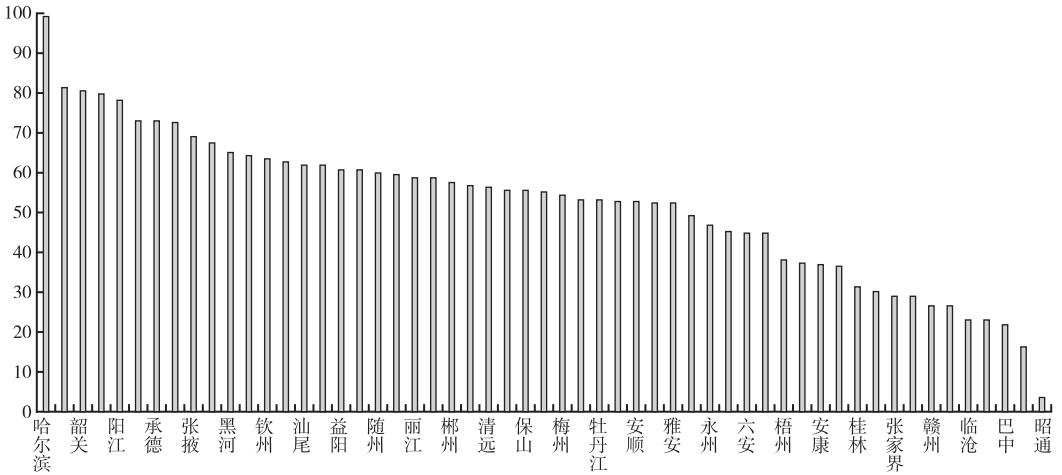


图 10 低增长 - 高绿色类型城市协同值

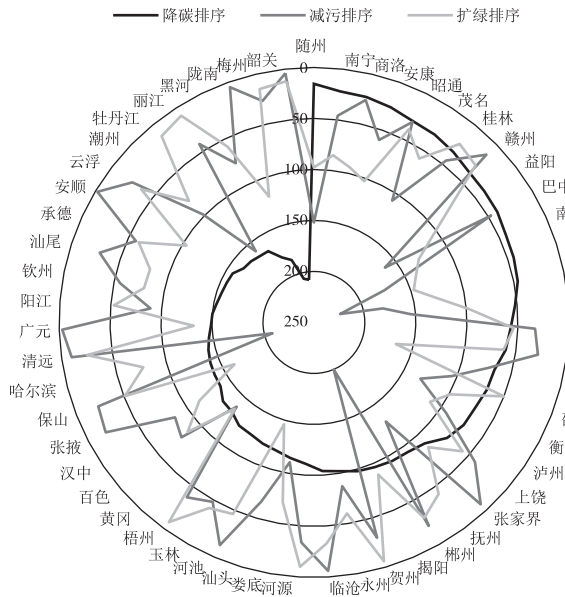


图 11 低增长 - 高绿色类型城市降碳、减污、扩绿指数

第二类是吉安、桂林、安康、赣州、上饶、商洛、贺州等 20 个城市，增长绿色协同值一般低于 50。这些城市以西部广西、云南、陕西的城市居多，绿色发展水平普遍较高，绿色指数排序平均值达到 41，但由于山地丘陵地貌影响、城市基础设施相对落后等因素，经济发展落后。其中较具代表性的是丽江、南宁、桂林以及张家界等旅游胜地城市，其绿色发展指数位次均在 90 名以内，增长指数位次在 130 名以外。这些城市一直积极抓好环境污染治理、生态保护修复，打造绿色发展实

践先行区，以高品质生态环境支撑高质量发展，但在经济发展方面，由于地理位置偏远，交通相对不便，当地资源无法得到有效的开发利用，旅游业发展和经济水平受到一定限制。同时，由于以旅游业为主的产业结构相对单一，产业链条长度不足，对经济的拉动力相对欠缺。

低增长 - 高绿色类型城市需要找到让“绿水青山”变成“金山银山”的路径，使之可以带动地方经济发展，发挥地域优势的联动作用，与周边具有区位优势的城市加强联动，通过产业分工和比较优势提升发展效率；发展自然与人文方面的比较优势。利用山水林田湖的自然资源和美丽村庄的人文资源，延长旅游经济的带动链条，实现生产发展、生活富裕、生态良好的生态文明建设目标。

表 9 低增长 - 高绿色类型城市增长与绿色指数

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
哈尔滨	129	127	99.21	梅州	236	121	54.37
汕头	151	104	81.35	达州	198	80	53.17
韶关	158	109	80.56	牡丹江	233	115	53.17
汉中	150	99	79.76	南宁	130	11	52.78
阳江	144	89	78.17	安顺	200	81	52.78
衡阳	139	71	73.02	茂名	138	18	52.38
承德	160	92	73.02	雅安	141	21	52.38
潮州	183	114	72.62	百色	213	85	49.21
张掖	188	110	69.05	永州	196	62	46.83
泸州	147	65	67.46	吉安	155	17	45.24
黑河	199	111	65.08	六安	208	69	44.84
广元	177	87	64.29	陇南	252	113	44.84
钦州	187	95	63.49	梧州	207	51	38.10
娄底	173	79	62.70	上饶	193	35	37.30
汕尾	184	88	61.90	安康	174	15	36.90
黄冈	215	119	61.90	河源	202	42	36.51
益阳	157	58	60.71	桂林	181	8	31.35
广安	195	96	60.71	玉林	239	63	30.16
随州	135	34	59.92	张家界	216	37	28.97
云浮	185	83	59.52	邵阳	228	49	28.97
丽江	190	86	58.73	赣州	192	7	26.59
南阳	194	90	58.73	贺州	211	26	26.59
郴州	136	29	57.54	临沧	217	23	23.02
揭阳	210	101	56.75	河池	244	50	23.02
清远	166	56	56.35	巴中	241	44	21.83
抚州	179	67	55.56	商洛	221	10	16.27
保山	180	68	55.56	昭通	248	5	3.57
保定	229	116	55.16				

(四) 低增长 - 低绿色类型城市

低增长 - 低绿色类型城市共包括 71 个城市（见图 12），从空间分布看，低增长 - 低绿色类型城市主要分布于非城市群范围内的城市，主要集中在河南、黑龙江、吉林、甘肃、河北、山东等省份。这些城市以传统行业为主，产业结构层次偏低，人口流失问题较为严重，经济问题和环境问题

较为突出，包括西部、东北部自然生态环境和经济增长条件较差的城市、中部地区部分农业城市和能源化工城市以及部分资源型或资源枯竭型城市。

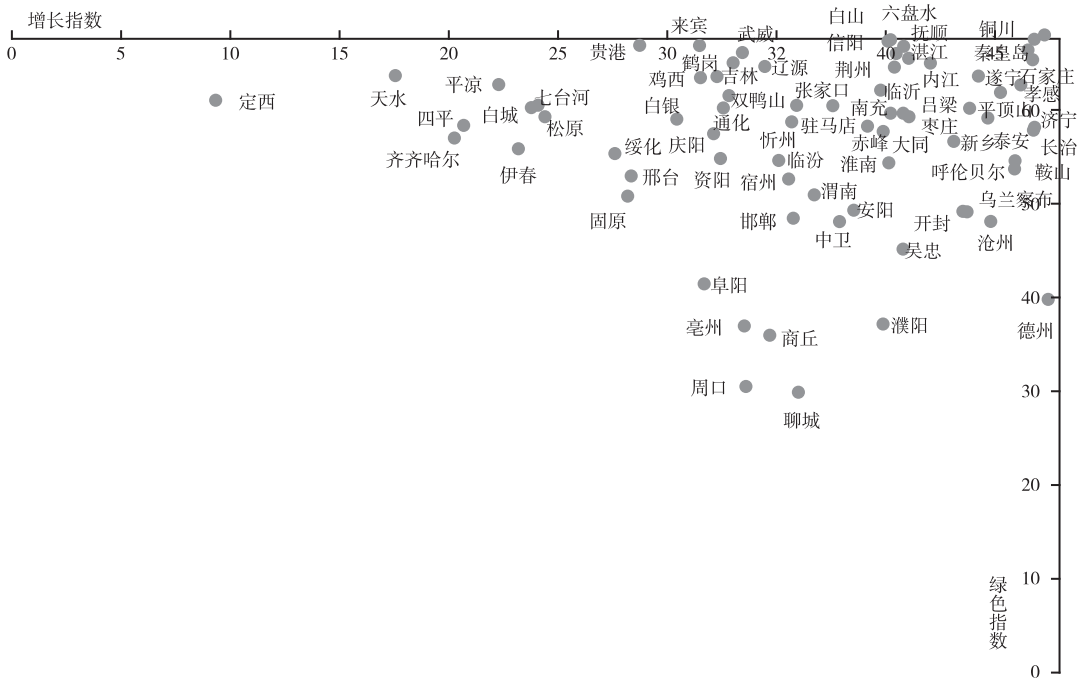


图 12 低增长 - 低绿色类型城市

从“四位一体”指数的数值水平来看，铜川、萍乡、秦皇岛、石家庄、遂宁、六盘水、信阳、白山、孝感、内江、荆州、抚顺、湛江、长治、济宁、平顶山、泰安、临沂、呼伦贝尔、枣庄在低增长 - 低绿色类型城市中指数较高（见表 10）。

表 10 低增长 - 低绿色类型城市中“四位一体”指数较高的城市

城市	“四位一体”指数
铜川	57.39
萍乡	56.67
秦皇岛	56.25
石家庄	54.63
遂宁	54.14
六盘水	54.08
信阳	54.02
白山	53.94
孝感	53.77
内江	53.73
荆州	53.49
抚顺	53.47
湛江	52.69
长治	52.68
济宁	52.50
平顶山	52.21
泰安	52.10

自然地理条件不佳、产业结构层次较低。这类城市包括资阳、阜阳、定西、天水、驻马店、安阳等，一般增长指数排序与绿色指数排序均靠后。

资源相对枯竭，经济较为乏力。这类城市包括辽源、白银、鸡西、鹤岗等，其绿色发展转型在产业结构优化、能源类型调整、配套政策完善等方面需要进一步探索。其中，黑龙江的鸡西、双鸭山、七台河和鹤岗均为煤炭资源型城市，经济转型面临煤炭依赖性强、资源不可持续、生态受损、人才流失等问题，可在参考德国鲁尔、日本九州、美国匹兹堡以及江苏徐州等国际国内资源型城市转型经验的基础上，充分结合本地优势，发展石墨、生物医药、绿色农产品、冰雪经济等新产业新业态，加快数字智能技术赋能，促进产业转型。

表 11 低增长 - 低绿色类型城市增长与绿色排序

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
萍乡	137	138	99.60	六盘水	169	129	84.13
铜川	132	128	98.41	白银	234	194	84.13
忻州	205	199	97.62	齐齐哈尔	250	210	84.13
临沂	178	171	97.22	白山	172	131	83.73
资阳	225	217	96.83	泰安	148	193	82.14
内江	159	150	96.43	安阳	186	231	82.14
遂宁	149	159	96.03	双鸭山	223	174	80.56
驻马店	191	181	96.03	中卫	189	238	80.56
临汾	209	219	96.03	四平	249	200	80.56
固原	238	228	96.03	淮南	171	221	80.16
秦皇岛	134	148	94.44	松原	242	191	79.76
湛江	168	154	94.44	聊城	201	253	79.37
邢台	237	223	94.44	新乡	156	213	77.38
阜阳	230	244	94.44	辽源	214	153	75.79
荆州	162	146	93.65	七台河	245	184	75.79
宿州	206	224	92.86	鹤岗	226	161	74.21
大同	170	189	92.46	白城	243	178	74.21
南充	182	201	92.46	鸡西	231	162	72.62
庆阳	227	207	92.06	济宁	133	204	71.83
抚顺	167	143	90.48	濮阳	176	247	71.83
枣庄	164	188	90.48	长治	131	203	71.43
张家口	203	179	90.48	吉林	222	149	71.03
绥化	240	216	90.48	吴忠	165	241	69.84
石家庄	140	165	90.08	定西	253	177	69.84
信阳	163	137	89.68	呼伦贝尔	142	220	69.05
孝感	145	172	89.29	武威	220	142	69.05
亳州	219	248	88.49	乌兰察布	154	232	69.05
赤峰	175	205	88.10	鞍山	143	222	68.65
渭南	197	227	88.10	开封	153	233	68.25
吕梁	161	192	87.70	平凉	247	164	67.06
伊春	246	215	87.70	沧州	146	237	63.89
邯郸	204	236	87.30	天水	251	158	63.10

续表

城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值	城市	增长指数序号	绿色指数序号	增长绿色协同值
平顶山	152	186	86.51	来宾	232	135	61.51
周口	218	252	86.51	贵港	235	134	59.92
商丘	212	250	84.92	德州	128	246	53.17
通化	224	185	84.52				

五、主要结论与建议

本文使用碳生产率、环境质量指数、单位面积生态资本服务价值、人均 GDP 四个具有典型性的指标来刻画降碳、减污、扩绿、增长，并运用成熟易操作的方法综合评估相关地区“四位一体”发展状态。

在对 253 座样本城市的评估中，可以发现将碳排放、环境、生态和增长纳入统一体系进行考量后，对城市发展水平的评估更加全面，一批如丽水、十堰、黄山、海口等城市没有以环境生态为代价盲目过度追求经济高增长，凭借不低的经济水平和环境优美生态和谐也能够在城市排名中脱颖而出，使得“绿水青山”的价值得以充分展现。同时，降碳、污染治理、生态保护与增长并不是互相对立的关系，仍然有如深圳、杭州等的优秀城市能兼顾多方面的发展目标，在高协同水平上完成集约化、绿色化、低碳化的经济增长。

不同类型城市均可学习吸收高增长高绿色城市的发展经验。例如，高增长低绿色城市可通过提高能效水平、创新绿色技术、强化约束激励机制来加快制造业低碳转型和清洁能源替代，形成绿色生产生活方式，更加重视生态空间保护和生态系统修复；低增长高绿色城市可以充分挖掘利用自身环境优美、生态和谐的比较优势，提升如文化旅游等低污染产业的发展水平来支撑经济增长；而低增长低绿色城市当前仍需找到新的经济增长点，通过鼓励发展绿色农业、可再生能源和环境友好型制造业、培育地方特色企业等方式突破低水平上的均衡；对于已成为高增长高绿色的城市，则需要继续在增长和环境保护方面取得平衡，在探索自身特色增长道路和充分借鉴国际先进经验之间追求更高水平的绿色增长协同。

从“四位一体”指数的未来应用空间来看，这种评估方法具有普适性，能够数字化动态化核算和展示，既可用在全国，也可用在省、市、县、开发区等层面。在全国和省级层面上，以评估结果激励先进、鞭策后进，有助于针对性地扬长避短、强长补短，制定或调整中长期经济社会发展绿色转型规划和相应政策。在颗粒度更细的区域层面上，可借助评估体系了解自身及其他地区的发展水平，在比较中更准确地把握自身定位和协同发展机遇。

本文讨论的“四位一体”评估框架是初步的，还可以进一步扩展和深化。例如按固定频率持续记录城市发展水平变化的时间序列，在象限图中可清晰呈现出每个城市动态变化的历史轨迹和下一步可能的演进方向，有助于回顾总结历史经验，引领规划未来发展路径。评估方法和成果也会有更多的应用场景，尤其是在生态资本核算和绿色金融等领域，可以推动生态核算和核算碳账户、ESG 等基础制度建设，开发多种绿色金融、转型金融产品，为绿色转型和发展提供有效支持。

参考文献

崔新蕾、王冉冉 (2024):《中国降碳-减污-扩绿-增长协同发展空间关联网络特征及影响因素研究》，《环境科学研究》第 6 期，第 1—14 页。

王淑佳、孔伟、任亮等 (2021):《国内耦合协调度模型的误区及修正》，《自然资源学报》第 3 期，第 793—

810 页。

[德] 赫尔曼·哈肯 (2005):《协同学——大自然构成的奥秘》，凌复华译，上海：上海译文出版社。

刘耕源等 (2020):《生态产品价值实现机制的理论基础：热力学，景感学，经济学与区块链》，《中国环境管理》第 5 期，第 28—35 页。

中国自然资源经济研究院 (2021):《国内外生态价值核算方法研究报告》。

潘竟虎、石培基 (2009):《张掖市生态功能分区》，《城市环境与城市生态》第 1 期。

谢高地等 (2015):《基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进》，《自然资源学报》第 8 期，第 1243—1254 页。

Wolf, M. J., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., Wendling, Z. A., et al. (2022). 2022 Environmental Performance Index. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. www.epi.yale.edu.

Costanza, R. et al. (1997), “The Value of the World’s Ecosystem Services and Natural Capital”, *Nature*, 387, 253–260.

Odum, H. T. (1996). *Environmental Accounting—Energy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley.

The Synergistic Effect of Carbon Reduction, Pollution Abatement, Green Expansion and Economic Growth: A New “Four In One” Evaluation Framework and Measurement Method

LIU Shijin¹, ZHAO Yong², LIU Gengyuan³

(1. Development Research Center of the State Council, Beijing 100010, China;

2. Department of industrial economics in Development Research Center of the State Council, Beijing 100010, China;

3. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In China’s quest to build an ecological civilization, the collaborative advancement of carbon reduction, pollution abatement, green expansion, and economic growth stands as a strategic imperative. This article adopts a scientific, typical, and user-friendly approach, employing four key indicators—carbon productivity, environmental quality index, ecological capital service value per unit area, and per capita GDP—to encapsulate the facets of carbon and pollution reduction, green expansion, and economic development. Drawing inspiration from the methodology behind the United Nations Human Development Index, we’ve synthesized the “Four in One” development index, which consolidates the evaluation and analysis of 253 Chinese cities. Our analysis not only benchmarks the overall development levels and geographic distribution of these cities but also categorizes them into four distinct types—high growth-high green, high growth-low green, low growth-high green, and low growth-low green—based on the interplay between economic growth and green development. The “Four in One” index serves as an enhancement to the evaluation and accounting frameworks for green development, offering a universal and scalable tool that can be applied across various regional levels to dynamically monitor the developmental trajectories of cities.

Key Words: carbon reduction, pollution abatement, green expansion, economic growth; evaluation framework; measurement method

责任编辑：黄承梁