

# 中国生态福利绩效驱动分解研究

董莹,孙玉环,丁娇

(东北财经大学统计学院,大连 116025)

**摘要:** 提高生态福利绩效是实现经济可持续发展、推进经济社会全面绿色转型的必要条件。本文围绕居民福利和生态消耗构建了能够量化评估中国生态福利绩效的方法,并在此基础上利用ST-LMDI模型对中国各省份及8个经济区的生态福利绩效进行时间分解和空间分解,拓展当前对生态福利绩效驱动因素分解的研究。研究结果表明,2001—2020年中国生态福利绩效呈现出先升后降的变动趋势,空间上具有显著的地区差异性。其中沿海地区社会经济结构和民生性财政支出具有更高优势,生态福利绩效处于较高水平,且表现出空间溢出效应。引入社会效益、经济效益、人口分散度、建成区人口密度、城市化规模和生态可持续能力6个因素探索其对生态福利绩效的驱动作用,发现时间和空间分解结果表现出显著差异。基于时间分解结果,经济效益和城市化规模为促进生态福利绩效提升的主要因素,人口分散度是抑制生态福利绩效增加的主要因素。但从空间分解结果看,决定各省生态福利高于均值的驱动因素在不同时期内存在区域差异和动态变化特征。综合考虑时间和空间分解结果,全面把握经济增长、生态保护和居民福利提升的关系,有助于为地方政府制订并实施差异化政策提供参考。

**关键词:** 时空双维度;生态福利绩效;可持续福利指数;ST-LMDI;中国  
DOI: 10.11821/dlxb202405015

## 1 引言

1978年以来中国城镇化水平和工业水平快速提高,社会经济发展取得巨大成就,在教育、医疗、社会保障和就业等方面实施的社会福利政策极大增进了人民福祉,显著改善了人民生活<sup>[1]</sup>。但是,生态资源和环境也面临过度消耗和快速恶化等问题,给国家或地区可持续发展带来严峻挑战,加剧了现阶段中国面临的主要社会矛盾,制约了经济产生的社会福利效应。中国共产党“十八大”以来,中国将生态文明建设正式纳入“五位一体”总体布局,注重加强人与自然和谐相处,对绿色发展和环境保护提出了更高的要求。中国共产党“二十大”报告进一步强调了要坚持可持续发展,加快发展方式绿色转型,提升生态系统多样性、稳定性和持续性。因此,如何提升生态福利绩效,优化资源利用水平、降低固废排放并修复生态环境,推进产业转型和新型城镇化建设,成为地区实现经济高质量可持续发展面临的主要问题。

生态福利绩效(Ecological Well-being Performance, EWP)即单位生态资源消耗能够转化的社会福利水平<sup>[2]</sup>,是协调经济发展、社会福利和资源环境的有效工具。随着可持续

收稿日期: 2023-04-23; 修订日期: 2024-04-17

基金项目: 国家社会科学基金项目(18ZDA126); 国家自然科学基金项目(71934001) [Foundation: National Social Science Foundation of China, No.18ZDA126; National Natural Science Foundation of China, No.71934001]

作者简介: 董莹(1995-),女,山东菏泽人,博士生,研究方向为经济可持续与生态安全。E-mail: dy123ing@163.com

通讯作者: 孙玉环(1970-),女,黑龙江牡丹江人,教授,博士生导师,研究方向为资源环境统计与可持续发展。

E-mail: yhsun602@126.com

发展理念的提出,生态福利绩效逐渐应用于可持续发展研究<sup>[3]</sup>。作为一种社会结构,可持续发展概念起源于生态学,强调经济学、社会学和环境科学等多种因素之间的整合和动态平衡,以确保代际内和代际间整体福利的最大化<sup>[4]</sup>。因此,维持可持续发展首先需要确保资源环境和生态要素能够有效满足人类目前及未来的需求,即在不超出生态系统承载能力的情况下改善人类的生活质量<sup>[2]</sup>。区别于生态经济效率只考察了生态消耗的经济产出效益,生态福利绩效同时考虑了生态消耗转化为教育、医疗卫生、社会公平和生态环境等维度的福利效应,能够更真实反映人民福利水平。

目前对生态福利绩效的测度多采用指标体系构建、数据包络分析以及福利水平与生态足迹(Ecological Footprint, EF)的比值等计算方式。但围绕资源消耗、生态环境和福利水平进行的生态福利绩效多维评价方法<sup>[5]</sup>,或采用生态消耗为投入变量、污染和经济增长为产出变量的Super-EBM方法<sup>[6-7]</sup>,均不能保证评估社会经济福利水平的全面性和客观性。利用福利水平与EF比值衡量生态福利绩效的研究中<sup>[2]</sup>,通常采用幸福星球指数和人类发展指数(Human Development Index, HDI)指代居民福利。其中,EF即在社会经济发展过程中被占用的能够持续提供自然资源和污染垃圾消纳的生物生产性土地面积,能够更准确衡量对自然的消耗水平<sup>[8-9]</sup>。虽然HDI客观评估了人们在健康、教育和实现体面生活水平方面的综合能力,但其是一个取值范围在0~1之间的无量纲指标。利用HDI与EF比值计算生态福利绩效,需要首先对EF进行标准化处理<sup>[10]</sup>,仅能通过相对性的数值评估生态福利绩效。Daly等<sup>[11]</sup>对可持续经济福利基本原理进行开发和改进后,核算了以货币为单位的可持续经济福利指数(The Index of Sustainable Economic Welfare, ISEW),但其更多是对国家或地区经济表现的事后评估<sup>[12]</sup>。对此,Armiento<sup>[13]</sup>在ISEW核算框架的基础上,对相关项目进一步调整,提出了可持续福利指数(Sustainable Welfare Index, SWI)。与ISEW相比,SWI考虑了当前投资对居民未来福利水平的促进作用,同时以社会经济和环境因素为导向,仅纳入能够以货币形式计算的流量数据,确保其与GDP具有直接的可比性和互补性<sup>[13]</sup>。利用SWI代替HDI核算中国各省福利水平,有助于实现生态福利绩效的量化评估,能够为基于时空对数平均迪氏指数(Spatial-temporal Logarithmic Mean Divisia Index, ST-LMDI)模型分解中国生态福利绩效的驱动效应提供数据支持。

现阶段中国经济发展和社会福利水平的提高依赖于生态资源<sup>[14]</sup>,厘清经济增长、生态保护和居民福利增进之间的关系成为探究生态福利绩效提升路径的重要前提。从驱动因素角度看,能源结构、资源消耗和环境污染对生态福利绩效表现出负向效应<sup>[15]</sup>;对外开放、技术效应和城市绿化与生态福利绩效具有显著正相关关系<sup>[10, 16-17]</sup>;产业结构、城镇化水平和人口密度随研究尺度不同,对生态福利绩效的影响存在差异性<sup>[16-18]</sup>。这种差异主要来源于不同研究对象在经济发展、资源禀赋和基础设施建设水平等方面的异质性。但在指标选取上,已有文献多利用“HDI/EF”方法测度生态福利绩效,通常需要辅助DEA-ML指数方法对其进行驱动因素分解,将生态福利绩效分解为规模效率变化指数、纯技术效率变化指数和技术进步指数<sup>[9]</sup>,或分解为福利效应和生态效率<sup>[20]</sup>,未能充分考虑社会经济、生态环境、人口和城市化因素探索中国生态福利绩效的有效提升路径。从研究视角看,既有研究多从时间维度探索生态福利绩效的历史变化和驱动因素,较少考虑空间分解方法研究生态福利绩效的区域差异。Ang等提出的ST-LMDI方法能够比较不同时期内碳排放的空间差异<sup>[21]</sup>,弥补了从时间或空间单一维度评估国家或地区碳排放差异的不足,同样适用于从时空双维度考察经济、生态、人口和城市化因素对生态福利绩效的影响。ST-LMDI分解方法能够以全体样本均值作为比较基准,提高了生态福利绩效影响因素分解的灵活性,能够实现更大时空尺度的高效率比较分析,有助于深入了解经济、生态环境和居民福利之间的相互作用,为制定可持续发展策略提供理论参考。

综上,本文参考 Armiento<sup>[13]</sup>构建的 SWI 核算框架,测度了 2001—2020 年中国各省份的居民福利水平,同时将污染足迹纳入生态足迹核算项目,利用 SWI 与 EF 的比值得到含有具体计量单位的生态福利绩效;然后利用 ST-LMDI 方法从时间和空间角度分别量化经济效益、社会效益、人口分散度、建成区人口密度、城市化规模和生态可持续能力 6 个因素对生态福利绩效的作用方向及程度,同时实现生态福利绩效的省际和区域间比较以及时间发展趋势分析;最后具体分析时间和空间维度下各驱动因素的稳定性与动态变化趋势,使政策调整导向更具针对性。

## 2 方法和数据来源

### 2.1 中国生态福利绩效与 SWI 估算方法

为实现中国生态福利绩效的量化评估,首先以 SWI 核算框架为基础,对部分项目进行调整后测度中国居民福利水平,然后将污染足迹纳入传统生态足迹评估框架,测度中国生态环境消耗,最后利用 SWI 与 EF 的比实现了以“万元/hm<sup>2</sup>”为计量单位的中国生态福利绩效估算。

$$EWP = \frac{SWI}{EF} \quad (1)$$

式中:EF 为中国各省份的生态足迹,具体参考洪顺发等<sup>[22]</sup>的方法进行测算;SWI 为居民福利水平,参考 Armiento<sup>[13]</sup>提出的核算项目,对 ISEW 核算框架和核算方法进行调整,得到更适用于中国社会经济发展现状的可持续福利指数。

Daly 等<sup>[11]</sup>构建的 ISEW 框架以个人消费支出为起点,通过补充能够提高居民福利的教育、医疗和公共服务等正向因素,剔除会降低居民福利的环境成本因素,测度国家的经济福利水平。与 ISEW 不同的是,SWI 认为所有的教育和医疗卫生支出以及固定资本形成净额均有利于可持续福利,并将科技创新投入纳入核算框架。同时,为加强 GDP 的可比性与互补性,剔除了 ISEW 中与存量价值相关的变量,仅考虑可以加强未来经济活动的投资,并采用可以用货币表示的流量数据。与 GDP 相比,SWI 扣除了经济增长带来的环境污染成本和社会成本,能够衡量居民在经济过程中享受的福利净值。由于 ISEW 多用于衡量国家层面的福利水平,学者们在中国省级层面的应用中,结合中国基本国情和数据可获取性,对 ISEW 体系进行了拓展和修正<sup>[23-24]</sup>。在已有研究的基础上,本文的 SWI 核算项目以居民消费为基础,添加家庭行为净收益、政府行为净收益、环境成本和社会因素对居民福利水平进行修正。为进一步提高利用 SWI 核算中国社会居民福利的准确性,将固体污染、生活垃圾和自然灾害给居民带来的福利损失纳入环境成本的核算范畴。具体核算项目如表 1 所示。

**2.1.1 核算基础** 与 ISEW 相同,SWI 核算基础为扣除收入不平等负效应后的居民加权消费支出 ( $WHC_{i,t}$ )。其中, $i$  省在  $t$  年收入不平等造成的福利损失利用当年收入分配指数  $IDI_{i,t}^{Gini}$  修正<sup>[13]</sup>。表达式如下:

$$WHC_{i,t} = \frac{C_{i,t}}{IDI_{i,t}^{Gini}} = C_{i,t} \times \frac{Gini_{i,t}}{\min(Gini_{1,t}, Gini_{2,t}, \dots, Gini_{30,t})} \quad (2)$$

式中:收入分配指数是各省当年的基尼系数与该时期内各省份基尼系数最小值的比率;居民消费支出  $C_{i,t}$  来源于历年《中国统计年鉴》;基尼系数参考田卫民<sup>[25]</sup>的方法计算。

**2.1.2 家庭行为净收益** 家庭行为净收益中,每户家庭在打扫卫生、家庭辅导等无酬劳动对家庭的福利价值测算如下:

表1 中国SWI核算框架  
Tab. 1 The accounting framework of China SWI

	正效应	负效应
核算基础	居民消费支出	收入不平等造成的福利损失
家庭行为净收益	家庭劳动服务价值 耐用品服务价值	耐用品支出 车辆事故成本和通勤费用 家庭医疗和教育支出
政府行为净收益	卫生和教育公共支出 R&D研发支出 基础设施建设支出	城市化成本
环境成本		噪声、水、空气污染成本 不可再生资源枯竭 年度二氧化碳排放的社会成本 自然灾害直接经济损失 固体污染和生活垃圾成本
社会因素	固定资本形成净额 国际地位	腐败成本

$$LC = ft \times hw \times fn \quad (3)$$

式中： $LC$ 为家庭劳动服务价值； $ft$ 为每户家庭每年在家庭劳动上花费的时间； $hw$ 为人均小时工资； $fn$ 为当年家庭总户数<sup>[23]</sup>。

耐用品净收益由耐用品服务价值与耐用品支出的差值计算得到，其中耐用品服务价值应同时考虑当年购买和库存耐用品能够提供的总服务价值<sup>[13]</sup>，在具体计算时，参考刘渝琳等<sup>[24]</sup>对耐用消费品支出与服务价值的测度方法。

通勤费用测算如下：

$$CC = 0.3 \times (A - 0.3A) \quad (4)$$

式中： $CC$ 为通勤费用； $A$ 为居民消费支出中用于交通支出的部分<sup>[24]</sup>。车辆事故成本由各省交通事故带来的直接财产损失估计<sup>[26]</sup>。

家庭医疗与教育支出成本利用各省居民医疗和教育消费支出的1/2估计<sup>[24]</sup>。原始数据可从历年的《中国统计年鉴》获取。

**2.1.3 政府行为净收益** SWI核算体系认为政府行为净收益中，卫生和教育公共支出、R&D研发支出和基础设施建设支出对居民福利的影响均是促进的<sup>[13]</sup>。为确保统计口径的一致性，对基础设施建设支出的测算参考张文彬等<sup>[23]</sup>的指标选取方式筛选数据。城市化成本则采用城镇居民收入的18%来衡量<sup>[27]</sup>。相关指标数据源于《中国统计年鉴》和《中国财政年鉴》。

**2.1.4 环境成本** 环境成本核算项目中，噪声污染定义为GDP的1%，不可再生资源枯竭的环境损失采用煤炭、石油和天然气3种主要的不可再生资源产生的碳排放成本估计<sup>[24]</sup>，水污染和空气污染、固体污染和生活垃圾成本利用各污染物排放量与对应单位治理成本的乘积衡量<sup>[28]</sup>。其中，水污染物包括化学需氧量和氨氮。空气污染物主要包括颗粒污染物、气态污染物和生物污染物。《中国生态环境状况公报》<sup>①</sup>选取二氧化硫、二氧化氮、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>等指标评价重点区域的空气污染水平。为确保研究对象在观测期内的数据可获取性，本文选取二氧化硫、烟尘和粉尘估计地区的空气污染程度。固体污染成本为产

① 生态环境保护部. 2022 中国生态环境状况公报. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202305/P020230529570623593284.pdf>.

生量和综合利用量的差值;生活垃圾成本为清运量与无害化处理量的差值,各污染物的单位治理成本参考沈晓艳等<sup>[28]</sup>的研究,并将其平减至2001年。年度二氧化碳排放的社会成本采用二氧化碳边际损害成本与化石燃料消耗产生的二氧化碳总量的乘积衡量。其中,化石燃料包括原煤、焦炭、原油、汽油、柴油、燃料油、天然气和煤油,各省对应的二氧化碳影子价格参考Zhang等<sup>[29]</sup>的测算结果。自然灾害直接经济损失数据可从《中国民政统计年鉴》直接获取,其余指标原始数据来自《中国统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。

**2.1.5 社会因素** 社会因素项目中,固定资本形成净额由当年固定资本形成总额与固定资本消耗的差额估计得到<sup>[13]</sup>。其中,固定资本消耗的计算参考张军等<sup>[30]</sup>的对资本折旧的测度方法,首先利用永续盘存法计算当年的资本存量,然后选取9.60%作为资本折旧率测度固定资本损耗程度。腐败成本采用GDP的0.74%表示。国际地位变化(CIS)则利用 $CIS=OI-FI$ 的方式计算得到,其中 $OI$ 为对外投资总额, $FI$ 为实际利用的外商投资<sup>[24]</sup>。相关指标的数据来源为《中国贸易外经统计年鉴》和《中国对外直接投资统计公报》。

## 2.2 ST-LMDI分解方法

采用ST-LMDI分解方法<sup>[31]</sup>从时间和空间维度分别实现中国生态福利绩效的驱动因素分解。与传统LMDI方法相比,ST-LMDI既能够消除分解余项,更好地解决零值问题,又具有跨区域、跨时间段的时空比较优势,有助于进行区域间比较和趋势发展分析<sup>[32]</sup>。本文结合已有研究,围绕社会效益、经济效益、人口分散度、建成区人口密度、城市化规模和生态可持续能力对生态福利绩效进行分解:

$$\begin{aligned} EWP &= \frac{SWI}{EF} = \frac{SWI}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times \frac{P}{Pc} \times \frac{Pc}{Ac} \times \frac{Ac}{EC} \times \frac{EC}{EE} \\ &= SG \times GP \times PPc \times PAc \times AEc \times EE \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $P$ 为地区年末总人口数; $Pc$ 为市辖区年末总人口数; $Ac$ 为市辖区建成区面积; $EC$ 为地区生态承载力,参考洪顺发等<sup>[22]</sup>的方法进行测算。相较于县和县级市的行政区划,市辖区经济发展政策与地级市相统一,且其职能重点在于城市规划与建设,为兼顾指标可获取性和科学性,本文采用市辖区年末总人口和建成区面积反映各省的城市化发展水平。公式(5)将生态福利绩效分解为6个因素: $SG$ 为社会效益,表示单位国民经济产出能够转化的居民福利水平,衡量经济增长对居民福祉提升的贡献; $GP$ 为经济效益,即人均享受的经济水平,能够反映地区经济增长和生活水平情况; $PPc$ 为人口分散度,反映地区总人口在市辖区和其他地区的人口分散情况,结合指标含义,人口分散度下降,说明地区人口在市辖区集聚的水平提高; $PAc$ 为各省市辖区建成区人口密度,衡量市辖区单位建成区面积能够承载的人口容量,能够反映城市化发展质量,考虑到地区人口向市辖区集聚,虽然能对经济发展带来一定正向溢出效应,但对于生态福利绩效,若建成区土地面积的扩张速度超过人口增速,市辖区人口集聚、产业集聚和城市土地面积扩张对生态系统造成的负效益可能会高于对居民福利水平带来的正效益,因此,采用 $PPc$ 和 $PAc$ 共同讨论人口因素对生态福利绩效的驱动作用; $AEc$ 为城市化规模,表示单位生态生产性土地承载的市辖区建成区面积,既衡量了城市化建设对生态承载力的占用,又反映了城市化过程中城市面积的延展,相较于区域差异较高的各省行政区划面积, $EC$ 更能反映地区生态系统能够支撑的人口和经济规模,以及对污染物的吸纳能力<sup>[14]</sup>,因此,利用 $AEc$ 反映地区城市化规模,有助于实现地区间的横向比较; $EE$ 为生态可持续能力,一般来说生态承载力越高、生态足迹越低, $EE$ 的数值越大,地区的生态可持续能力就越高。

利用ST-LMDI方法对分解结果在更大时空范围内进行比较,可以使用全部样本的平

均值构建基准省  $\mu$ ，使之与不同时期内的所有省进行比较，从而保证所有省和年份之间的比较基于一个标准<sup>[21, 33]</sup>。基准省  $\mu$  的计算方式见式 (6)。

$$EWP_{\mu} = \frac{1}{600} \sum_{i=1}^{30} \sum_{j=1}^{20} EWP_{ij} \quad (6)$$

在  $t=k$  时期，中国各省与基准省  $\mu$  生态福利绩效的空间差异  $\Delta EWP_{ik-\mu}$  可以分解为：

$$\begin{aligned} \Delta EWP_{ik-\mu} &= EWP_{ik} - EWP_{\mu} \\ &= \Delta EWP_{ik-\mu}^{SG} + \Delta EWP_{ik-\mu}^{GP} + \Delta EWP_{ik-\mu}^{PPc} + \Delta EWP_{ik-\mu}^{PAC} + \Delta EWP_{ik-\mu}^{AEc} + \Delta EWP_{ik-\mu}^{EE} \end{aligned} \quad (7)$$

式中： $EWP_{ik}$  为  $i$  省在  $k$  年份的生态福利绩效； $\Delta EWP_{ik-\mu}^{SG}$ 、 $\Delta EWP_{ik-\mu}^{GP}$ 、 $\Delta EWP_{ik-\mu}^{PPc}$ 、 $\Delta EWP_{ik-\mu}^{PAC}$ 、 $\Delta EWP_{ik-\mu}^{AEc}$  和  $\Delta EWP_{ik-\mu}^{EE}$  分别为  $i$  省与基准省的空间差异中 SG、GP、PPc、PAC、AEc 和 EE 驱动因子的贡献程度，计算方式如下：

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{SG} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln SG_{ik} - \ln SG_{\mu}) \quad (8)$$

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{GP} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln GP_{ik} - \ln GP_{\mu}) \quad (9)$$

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{PPc} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln PPc_{ik} - \ln PPc_{\mu}) \quad (10)$$

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{PAC} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln PAC_{ik} - \ln PAC_{\mu}) \quad (11)$$

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{AEc} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln AEc_{ik} - \ln AEc_{\mu}) \quad (12)$$

$$\Delta EWP_{ik-\mu}^{EE} = \frac{EWP_{ik} - EWP_{\mu}}{\ln EWP_{ik} - \ln EWP_{\mu}} \times (\ln EE_{ik} - \ln EE_{\mu}) \quad (13)$$

同理，在  $t_0$  和  $t_T$  时期， $i$  省与基准省  $\mu$  的空间分解结果表示为式 (14) 和式 (15)。

$$\begin{aligned} \Delta EWP_{i0-\mu} &= EWP_{i0} - EWP_{\mu} \\ &= \Delta EWP_{i0-\mu}^{SG} + \Delta EWP_{i0-\mu}^{GP} + \Delta EWP_{i0-\mu}^{PPc} + \Delta EWP_{i0-\mu}^{PAC} + \Delta EWP_{i0-\mu}^{AEc} + \Delta EWP_{i0-\mu}^{EE} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \Delta EWP_{iT-\mu} &= EWP_{iT} - EWP_{\mu} \\ &= \Delta EWP_{iT-\mu}^{SG} + \Delta EWP_{iT-\mu}^{GP} + \Delta EWP_{iT-\mu}^{PPc} + \Delta EWP_{iT-\mu}^{PAC} + \Delta EWP_{iT-\mu}^{AEc} + \Delta EWP_{iT-\mu}^{EE} \end{aligned} \quad (15)$$

由此， $i$  省从  $t_0$  至  $t_T$  时期的生态福利绩效变化的时间分解结果见式 (16)：

$$\begin{aligned} \Delta EWP_{iT-i0} &= EWP_{iT} - EWP_{i0} = (EWP_{iT} - EWP_{\mu}) - (EWP_{i0} - EWP_{\mu}) \\ &= \Delta EWP_{iT-\mu} - \Delta EWP_{i0-\mu} = \sum (\Delta EWP_{iT-\mu}^e - \Delta EWP_{i0-\mu}^e) \\ &e = \{SG, GP, PPc, PAC, AEc, EE\} \end{aligned} \quad (16)$$

由于各经济区内包含的省份数目不同，为进一步实现不同经济区的比较，需要将各省结果在经济区层面加总后求均值。 $t_k$  时刻经济区  $m$  的生态福利绩效空间分解结果可以表示为：

$$\begin{aligned} \Delta EWP_{mk-\mu} &= \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} (\Delta EWP_{ik} - \Delta EWP_{\mu}) = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} \Delta EWP_{ik-\mu}^e \\ &e = \{SG, GP, PPc, PAC, AEc, EE\} \end{aligned} \quad (17)$$

$t_0 \sim t_T$  时期, 经济区  $m$  生态福利绩效变化的时间分解结果可以表示为:

$$\Delta EWP_{mT-m0} = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} (\Delta EWP_{mT} - \Delta EWP_{m0}) = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} (\Delta EWP_{iT-\mu}^e - \Delta EWP_{i0-\mu}^e) \quad (18)$$

$$e = \{SG, GP, PPc, PAc, AEc, EE\}$$

### 2.3 研究对象与数据来源

为使数据获取方式更具完整性和合理性, 仅以中国2001—2020年30个省份作为研究对象, 暂未包含香港、澳门、台湾和西藏。本文社会经济数据来源于《中国统计年鉴》《中国财政年鉴》《中国交通年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国民政统计年鉴》《中国贸易外经统计年鉴》和《中国对外直接投资统计公报》以及各省及行业统计年鉴。生态足迹与生态承载力测算使用的相关数据来源于《中国农业年鉴》《中国林业年鉴》《中国环境统计年鉴》和各省的统计年鉴, 其中国家土地覆盖数据集和中国省级行政区划数据来自中国科学院资源与环境科学数据中心。此外, 本文涉及的相关经济数据利用GDP平减指数, 以2001年为基准年进行价格平减。

## 3 结果分析

### 3.1 中国生态福利绩效时空演变

**3.1.1 中国各省份生态福利绩效时空变化趋势** 2001—2020年中国人均居民福利、人均生态足迹和生态福利绩效整体均呈现出先升后降的变动趋势(图1)。由于生态消耗在数值上变化幅度较小, 生态福利绩效的曲线变化主要受居民福利水平影响, 两者的时序变化曲线较为相似。2001—2007年中国人均生态足迹逐年提升, 人均居民福利水平和生态福利绩效以较缓速度增长, 这一时期中国的经济发展依赖于自然资源尤其是能源资源, 对资源环境造成较大损失; 2008年受自然灾害和国际金融危机影响, 中国多个省份如四川、云南和江苏等支出了大量的自然灾害等成本, 各省人均居民福利均表现出显著下降状态, 中国整体仅上升3.157%。此后, 中国经济增长从数量型转向质量型发展, 民生得到进一步保障和改善, 实现了人均居民福利的快速提升。随着绿色发展和生态环境保护重要性的提升, 生态文明建设被提升至国家战略高度, 对自然资源消耗和环境损失逐年降低, 中国人均生态足迹呈现出下降趋势, 但每年需支付的环境保护成本仍处于较高水平, 加之经济增速放缓, 2017—2020年中国人均居民福利和生态福利绩效均趋于波动下降。

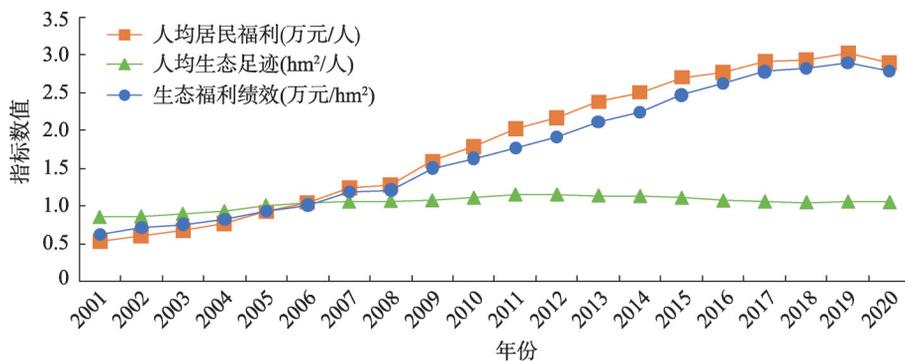


图1 2001—2020年中国人均居民福利、人均生态足迹和生态福利绩效时序变化

Fig. 1 Time series changes of SWI per capita, EF per capita and EWP in China, 2001-2020

中国各省份的人均居民福利变化表现出明显的地区差异性,且空间格局随时间有所改变(表2)。2001—2020年各省份人均居民福利均有显著提升,其中云南、贵州和广西的年均增幅处于较高水平,这源于西部大开发战略实施以来,西南地区丰富的生态资源、充足的劳动力和独特地理区位发挥了充分优势,经济得到快速发展,居民福利水平大幅度提高。从空间格局看,观测期内沿海各省的人均居民福利始终居于前列,其中北京、上海和天津位居前三。这是由于北京、上海和天津具有更为优化的社会经济结构,对民生性财政支出力度更大,且当地的高污染工业企业较少,无需承担高昂的环境污染成本。随着西部大开发、新发展理念和精准扶贫的深入,落后地区加大了对教育、公共

表2 2001—2020年中国各省份人均居民福利、人均生态足迹和生态福利绩效时序变化

Tab. 2 Time series changes of SWI per capita, EF per capita and EWP in China's provincial-level regions, 2001-2020

省份	人均居民福利(万元/人)				人均生态足迹(hm <sup>2</sup> /人)				生态福利绩效(万元/hm <sup>2</sup> )			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
北京	1.848	3.142	4.192	6.043	0.876	0.604	0.452	0.312	2.110	5.202	9.275	19.367
天津	1.504	3.295	5.996	5.648	1.252	1.102	1.020	0.826	1.201	2.990	5.879	6.838
河北	0.535	1.087	1.807	2.212	1.290	1.374	1.396	1.241	0.415	0.791	1.294	1.782
山西	0.529	1.272	2.056	2.186	1.430	1.674	1.954	2.248	0.370	0.760	1.052	0.972
内蒙古	0.742	2.086	3.734	2.743	2.610	4.209	4.800	5.035	0.284	0.495	0.778	0.545
辽宁	0.931	1.915	2.984	2.242	1.097	1.324	1.443	1.245	0.848	1.446	2.068	1.801
吉林	0.712	1.796	2.767	2.759	1.371	1.522	1.712	1.550	0.520	1.180	1.616	1.780
黑龙江	0.633	1.180	2.431	3.102	1.567	1.785	2.022	2.267	0.404	0.661	1.202	1.368
上海	2.089	3.235	4.211	5.794	0.922	0.775	0.657	0.547	2.265	4.174	6.409	10.593
江苏	1.034	1.825	2.843	3.740	0.780	0.863	0.915	0.824	1.325	2.115	3.107	4.539
浙江	1.113	1.939	2.717	3.118	0.671	0.769	0.690	0.552	1.658	2.521	3.937	5.648
安徽	0.458	1.025	1.897	2.488	0.744	0.802	0.918	0.874	0.616	1.277	2.067	2.847
福建	0.860	1.654	2.566	3.450	0.652	0.831	0.834	0.718	1.319	1.991	3.076	4.806
江西	0.507	0.991	1.757	2.482	0.571	0.698	0.749	0.697	0.888	1.420	2.346	3.561
山东	0.817	1.512	2.346	2.885	1.072	1.277	1.362	1.272	0.762	1.184	1.722	2.268
河南	0.444	1.101	1.917	2.328	0.937	1.151	1.146	0.899	0.474	0.957	1.673	2.590
湖北	0.579	1.120	2.108	3.007	0.719	0.826	0.895	0.769	0.806	1.356	2.356	3.910
湖南	0.485	1.097	2.027	2.474	0.656	0.785	0.764	0.696	0.740	1.397	2.653	3.554
广东	0.898	1.582	2.350	3.264	0.477	0.544	0.518	0.429	1.882	2.907	4.537	7.607
广西	0.391	1.123	2.033	2.092	0.654	0.858	0.985	1.064	0.598	1.309	2.064	1.966
海南	0.551	1.089	2.048	2.598	0.539	0.584	0.688	0.633	1.023	1.865	2.977	4.104
重庆	0.686	1.411	2.592	3.386	0.738	0.828	0.792	0.650	0.930	1.704	3.273	5.209
四川	0.532	0.875	1.887	2.484	0.663	0.748	0.749	0.663	0.802	1.170	2.519	3.747
贵州	0.357	0.825	1.746	2.595	0.751	0.935	1.021	0.941	0.475	0.882	1.710	2.758
云南	0.456	0.870	1.953	2.902	0.680	0.872	0.989	0.932	0.671	0.997	1.974	3.114
陕西	0.499	1.299	2.352	2.819	0.722	0.930	1.149	1.129	0.691	1.396	2.047	2.497
甘肃	0.450	0.876	1.619	2.095	0.739	0.884	1.071	1.043	0.610	0.991	1.512	2.008
青海	0.747	1.379	3.321	4.255	1.327	1.488	1.680	1.722	0.563	0.927	1.977	2.471
宁夏	0.710	1.570	2.837	3.096	1.913	2.493	3.366	3.986	0.371	0.630	0.843	0.777
新疆	0.676	1.073	2.333	2.510	1.915	2.054	2.493	2.740	0.353	0.522	0.936	0.916

注: A、B、C、D分别表示表中时阶2001—2005年、2006—2010年、2011—2015年和2016—2020年,后同。

卫生和基础设施建设的投入;发达地区随着城市化进程加快,占用了更多自然和环境资源,产生了巨大的生态环境成本和城市化成本。在两者的共同作用下,2016—2020年居民福利在全国范围内的空间差异水平逐步缩小。

2001—2020年中国各省份的人均生态足迹表现出显著的空间特征,北部地区如新疆、宁夏、陕西等始终处于较高水平,且仍表现出上升趋势;中部和南部地区各省则较低,且上海、广东、四川等多数省均表现出下降趋势。依据时序状态,2001—2005年和2006—2010年中国人均生态足迹仍处于上升趋势,经济发展依赖于生态资源。2012年中国共产党“十八大”报告指出要大力推进生态文明建设,中国更加重视绿色发展和生态环境保护。2011—2015年包括北京、上海、天津、浙江和广东等8个省份的人均生态足迹均表现出下降趋势,其中北京和上海降幅最大,分别为24.84%和15.05%。2016—2020年中国产业转型进一步升级,创新技术的提高同时加强了资源利用效率、降低了污染治理成本,除宁夏、山西、黑龙江、新疆、广西、内蒙古和青海的人均生态足迹仍处于增加状态,其余省均趋于下降。需要注意的是,本文仅考虑了地区生产和消费的自然资源,并未考虑生态资源和污染的跨区域转移。综合考虑各省人均居民福利和人均生态足迹变化趋势,2001—2020年中国生态福利绩效较高的省以沿海地区为主,且逐步向中部和南部地区延伸,北部地区的生态福利绩效仍处低水平发展。其中,北京、上海和广东的生态福利绩效在2011—2015年和2016—2020年呈现大幅度提高,主要源于维持较高增量的人均居民福利水平和不断降低的人均资源消耗水平。北京、上海和广东以高新技术产业、轻工业为主,经济增长产生的能源足迹和污染足迹降低,加之对生物性产品的进口贸易高需求,其人均生态足迹较低且表现为下降趋势;同时,人才集聚、技术创新和产业结构转型进一步促进了地区经济发展和居民福利水平提升。在两种因素的共同作用下,北京、上海和广东的生态福利绩效实现显著增加。

**3.1.2 中国八大经济区的生态福利绩效时空变化趋势** 图2为中国八大经济区生态福利绩效、人均居民福利和人均生态足迹的时序变化趋势,其中气泡大小用以表现EWP数值,各象限依据swi和ef的均值进行划分。2011—2020年实现高居民福利低生态消耗水平发展的经济区有4个,其中南部和东部沿海经济区生态福利绩效表现出大幅度提升,2016—2020年期间年均值分别达到6.425万元/hm<sup>2</sup>和5.564万元/hm<sup>2</sup>。2001—2020年仅东北经济区的生态福利绩效表现出下降趋势。一方面,东北经济区产业结构相对落后,人才流失和城市脆弱性等问题降低了地区经济发展水平;另一方面,2016—2020年东北经济区尤其是辽宁的固定资产投资额大幅度下降,进一步降低了居民福利水平。2016—2020年西北经济区的生态福利绩效仅维持了7.13%的小幅度增长。这是由于西北经济区多为自然资源和能源资源输出省,主导产业多为初级产业,资源损失较大,且在产业结构、科技人才等方面缺少优势。2001—2020年北部沿海经济区的人均生态足迹表现出先增加后下降趋势,但仍在均值以上,并未在区域内实现高居民福利低生态消耗的发展水平。尽管北部沿海经济区内各省的生态福利绩效均表现出上升趋势,但区域内差异始终较高,如2016—2020年北京生态福利绩效达19.367万元/hm<sup>2</sup>,远高于河北(1.782万元/hm<sup>2</sup>)和山东(2.268万元/hm<sup>2</sup>)。提高北部沿海经济区的生态福利绩效,需要注重区域协调发展,充分发挥北京和天津在科技教育、人才流动和产业结构的辐射效应,降低区域内部的发展差异。

### 3.2 基于ST-LMDI的中国生态福利绩效的时间分解结果

**3.2.1 省级分解结果** 利用ST-LMDI方法,围绕经济效益、社会效益、人口分散度、建成区人口密度、城市化规模和生态可持续能力对中国各省份生态福利绩效进行时间分解,得到以五年计划为划分标准展示的分解结果(图3)。

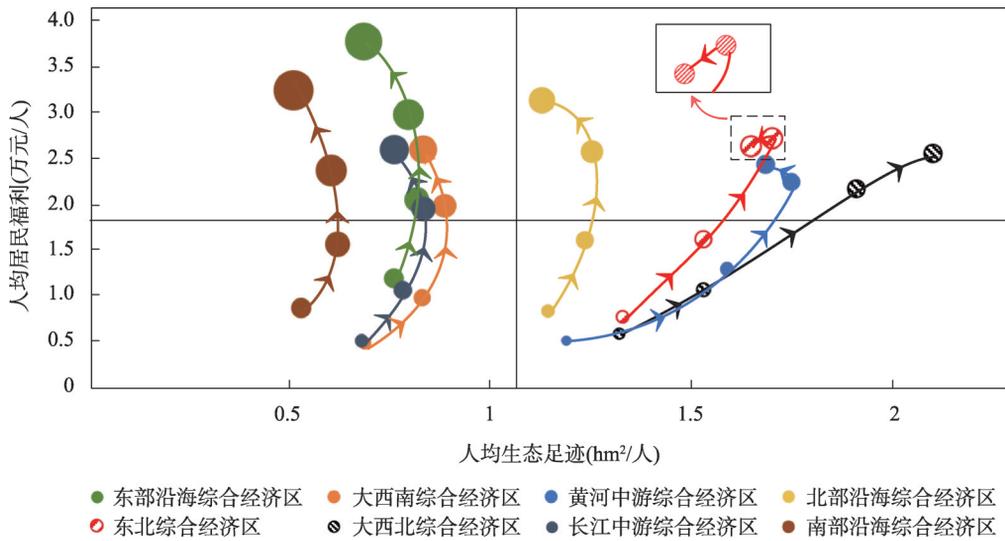


图2 2001—2020年中国8个经济区人均居民福利、人均生态足迹和生态福利绩效时序变化

Fig. 2 Time series changes of SWI per capita, EF per capita and EWP in China's 8 economic regions, 2001-2020

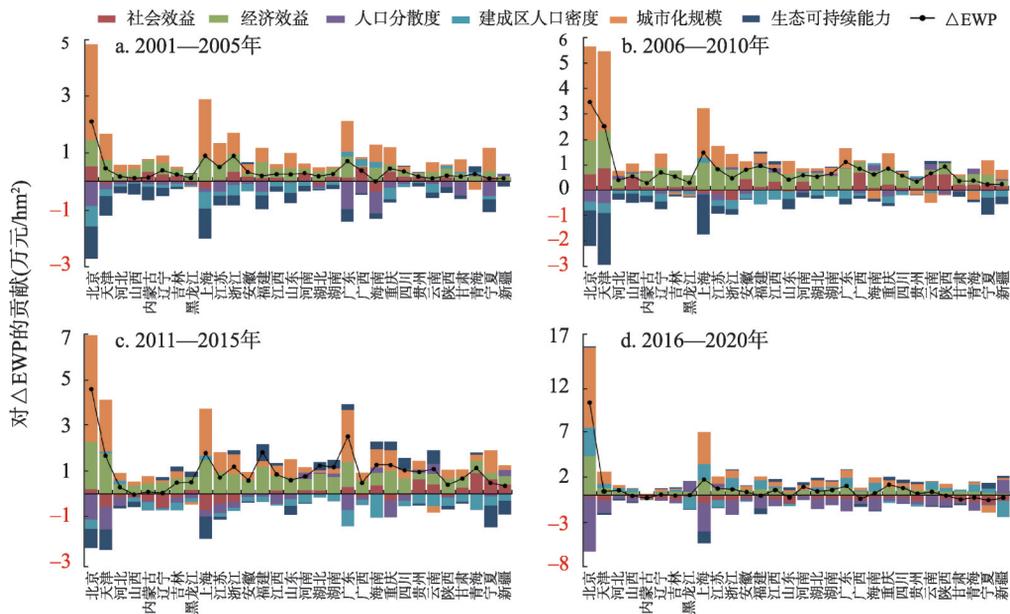


图3 2001—2020年6个驱动因素对中国各省份生态福利绩效变化的贡献

Fig. 3 Contribution of 6 drivers to  $\Delta$ EWP changes in China's provincial-level regions, 2001-2020

(1) 2001—2020年社会效益对各省生态福利绩效的贡献存在波动变化。2001—2020年社会效益对各省生态福利绩效的驱动作用逐渐由正向促进转为负向抑制，2016—2020年社会效益对各省生态福利绩效的贡献均为负。随着中国对生态文明和绿色发展的重视逐渐提高，资源利用和污染排放量得到有效控制，但仍处于较高水平，导致环境污染治理和社会治理的成本较高，加之在卫生、教育、创新和社会保障等领域的投资不足<sup>[24]</sup>，难以实现居民福利水平与经济增长的同步提升。因此，当经济增长的社会福祉产出效应表现出下降趋势，社会效益便成为降低生态福利绩效的主要因素。

(2) 经济效益是提升生态福利绩效的主要驱动因素。2001—2020年北京、天津、上海、广东和浙江的经济效益值始终位居前列,说明经济增长对沿海发达地区生态福利绩效增加的驱动作用更强;贵州、新疆、宁夏、河南和河北的经济效益值则较低,经济增长对生态福利绩效增加的驱动作用较弱。分析可能原因,沿海发达地区的产业结构以服务业、金融业和轻工业为主,产业分配更为合理。受益于自然资源需求低、经济利润空间大的良性特征,这类地区的经济增长能够带来更高的生态福利绩效变化。贵州、河南和河北等地区则以重工业为主,资源利用需求较高,排放的污染也较高,这类地区经济增长对生态福利绩效变化的影响较低。

(3) 人口分散度是提升生态福利绩效的主要制约因素。2001—2020年中国各省份的人口分散度主要呈现出下降趋势,说明各省人口向市辖区聚集的程度逐年提高。人口聚集对地区经济发展存在正向溢出作用,但也增加了地区的资源利用和环境破坏程度。图3表明,观测期内各省人口在市辖区集聚带来的自然资源的高消费和环境负效益,要超过其对居民福利水平的正向作用。

(4) 建成区人口密度反映了单位建成区面积能够承受的人口容量,是城市化发展质量的体现。在前3个五年计划阶段,虽然各省人口在市辖区聚集的程度表现为上升趋势,但建成区人口密度呈现出下降趋势,市辖区建成区土地面积的扩张速度相对人口增速更快。2016—2020年多数省的建成区人口密度得到显著提升,城市化质量增加,对各省生态福利绩效提升的贡献转为正值。说明单纯的市辖区人口集聚对生态福利绩效增加的抑制效应高于促进效应,但当城市建成区面积同步扩张时,城市化质量上升,建成区人口密度能够带来更高的经济增长和居民福利水平,提高地区单位资源消耗对居民福利水平的转化效率。

(5) 城市化规模是提升生态福利绩效的主要驱动因素。2011—2015年中国各省份的城市化规模均表现出上升趋势,城市化水平得到显著提高,对生态福利绩效的驱动作用多为正向促进。这是由于建成区包含了工业园区和产业集群,尽管其占用了生态生产性土地,但城市区位的合理规划、公共设施的逐渐完善和产业集群的正向溢出能够创造更多的居民福利。

(6) 2001—2010年生态可持续能力对生态福利绩效主要表现为抑制效应,但2011—2020年随着绿色创新技术研发、资源利用效率和环境污染治理水平的提升,超半数省的生态可持续能力表现为增加趋势,促进了生态福利绩效的提升。

**3.2.2 区域分解结果** 由中国8个经济区生态福利绩效的阶段变化和驱动因素作用(图4)可知,2001—2020年北部沿海经济区的正向驱动因素为经济效益和城市化规模,且城市化规模对生态福利绩效提升的累计贡献高于经济效益。主要是由于北京、天津和山东的城市化规模相对较高,且随时间呈现为上升趋势。从时间阶段看,2011—2015年北部沿海经济区生态福利绩效的增幅较小,仅增加1.802万元/hm<sup>2</sup>,主要源于该阶段地区人口在市辖区的集聚水平大幅度提高,但地区的城市建成区面积并未实现同步增长,城市化规模对生态福利增加的正效应低于市辖区人口高度集聚带来的负效应。对于东部沿海经济区,各项驱动因素对生态福利绩效的贡献与北部沿海经济区存在相似性。但2016—2020年东部沿海经济区的生态福利绩效增速放缓,主要源于该阶段生态可持续能力始终表现为负效应。南部沿海经济区的经济效益和城市化规模虽然在2016—2020年仍表现出正向作用,但相较于2011—2015年,其对生态福利绩效增加的贡献量趋于下降。与2016年相比,南部沿海经济区的生态福利绩效在2020年仅增加了0.412万元/hm<sup>2</sup>。长江中游经济区是实施促进中部地区崛起战略的重点区域,其生态可持续能力最早对生态福利绩效

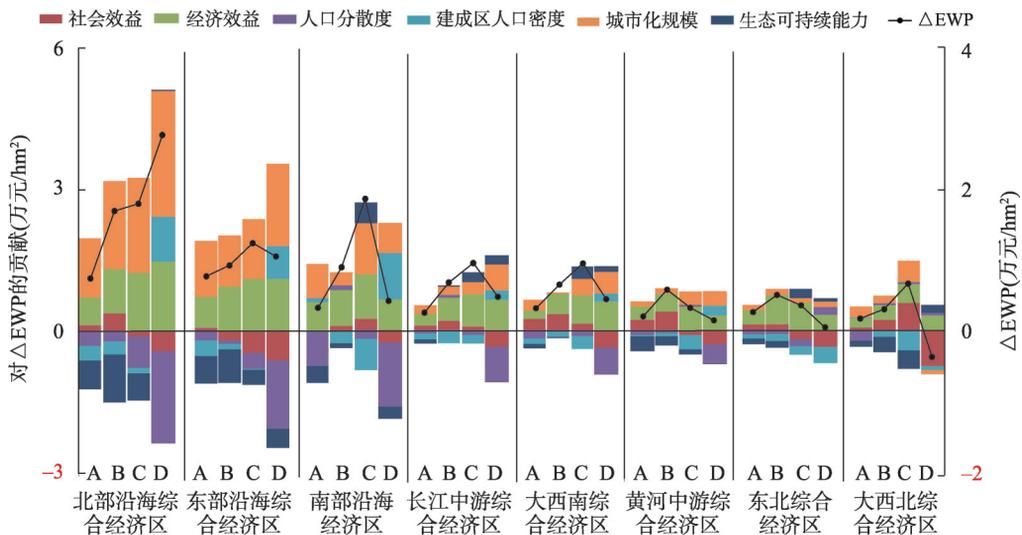


图4 2001—2020年6个驱动因素对中国8个经济区生态福利绩效变化的贡献  
Fig. 4 Contribution of 6 drivers to  $\Delta$ EWP changes in China's 8 economic regions, 2001-2020

增加发挥正向作用。2001—2020年长江中游经济区的生态可持续能力对生态福利绩效增加的贡献累计为0.324万元/hm<sup>2</sup>。西南经济区各项驱动因素对生态福利绩效的贡献与长江中游经济区相似,人口分散度和建成区人口密度是遏制生态福利绩效提升的主要因素。黄河中游和东北经济区生态福利绩效的增幅在2011—2015年和2016—2020年均表现出下降趋势,主要源于社会效益、人口分散度和建成区人口密度的负向效应。2010年后,黄河中游和东北经济区卫生教育、基础设施建设、创新和资本投入均有大幅度降低,使经济产出的社会福利效应变低,对生态福利绩效的增加表现出抑制作用。2016—2020年社会效益分别给黄河中游和东北经济区带来-0.294万元/hm<sup>2</sup>和-0.335万元/hm<sup>2</sup>的负向贡献量。2016—2020年西北经济区生态福利绩效表现出下降趋势,其中社会效益和城市化质量、规模是主要因素。

### 3.3 基于ST-LMDI的中国生态福利绩效的空间分解结果

**3.3.1 省级分解结果** 由各省在不同年份与全部样本均值的差距以及各驱动因素的贡献度(图5)可知,2001年中国各省份的生态福利绩效与均值的差距在-1.605万元/hm<sup>2</sup>与0.070万元/hm<sup>2</sup>之间;2020年生态福利绩效水平差距进一步提高,除山西、内蒙古、辽宁、黑龙江、宁夏和新疆外的其余省,其生态福利绩效均高于均值。为便于分析,首先结合建成区人口密度和城市化规模2个因素对样本进行划分:①高度城市化(建成区人口密度和城市化规模均高于均值)的代表地区有北京、天津、上海和重庆。这类地区的市辖区人口集聚和经济发展均处于较高水平,同时由于城市面积扩张和人口集聚带来的资源高需求和生态环境负效益,其社会效益和生态可持续能力大多表现为低于均值。②中度城市化(城市化规模高于均值但建成区人口密度低于均值)的代表地区有辽宁、江苏、山东、广东、宁夏和新疆。这类地区的人口分散度和生态可持续能力是导致生态福利绩效低于均值的主要因素,其次为社会效益。从时间趋势看,2001—2020年经济效益对生态福利绩效高于均值的贡献由负值转为正值,且贡献量的绝对值表现为上升趋势。③低度城市化(城市化规模低于均值但建成区人口密度高于均值)的代表地区有广西、海南、四川、贵州、陕西和青海。这类地区的城市土地面积占生态生产性土地面积的比值、市辖区人口集聚水平和经济发展水平均较低,但生态可持续能力相对较高。2001—

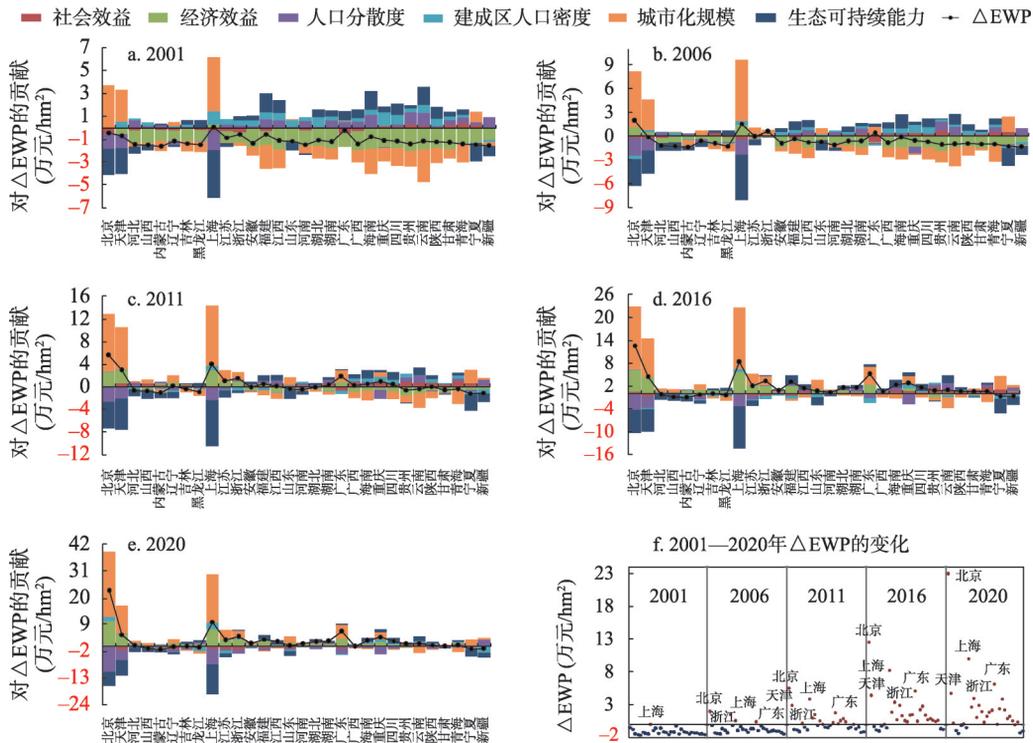


图5 2001—2020年中国各省份生态福利绩效的空间分解结果

Fig. 5 Results of spatial decomposition of EWP in China's 30 provincial-level regions, 2001-2020

2020年除福建的社会效益对生态福利绩效高于均值的作用始终为负，其余6个省自2006年起均表现出正向驱动作用，且贡献量随时间变化呈现出先增加后降低趋势。④弱城市化（建成区人口密度和城市化规模均低于均值）地区产生原因可分为两类。如内蒙古表现为弱城市化主要源于较低的市辖区人口集聚水平；吉林和黑龙江则是由于人口大规模的迁移和流动导致的人才流失、经济低迷和区域性城市收缩等一系列问题，进一步降低了城市化规模和地区居民福利水平<sup>[34]</sup>。但2020年吉林建成区人口密度较2019年增加16.50%，对生态福利绩效的负向贡献由0.803万元/hm<sup>2</sup>下降至0.556万元/hm<sup>2</sup>，城市化规模也得到小幅度提升。

**3.3.2 区域分解结果** 由各经济区在不同年份与全部样本均值的差距以及各驱动因素的贡献度（图6）可知，2001—2020年黄河中游、东北和西北经济区的生态福利绩效始终低于样本均值，长江中游和西南经济区自2016年起高于样本均值，但仍处于较低水平。北部沿海和东部沿海经济区生态福利绩效的发展趋势以及各驱动因素的作用排序较为类似。具体分析，经济效益和城市化规模是生态福利绩效高于均值的主要驱动因素；社会效益是造成两个经济区生态福利绩效存在差异的主要因素，2020年东部和北部沿海经济区社会效益分别提供了-1.159万元/hm<sup>2</sup>和-0.569万元/hm<sup>2</sup>的贡献，其中东部经济区社会效益的负向贡献绝对值更高；生态可持续能力低和人口分散度低则是制约生态福利绩效高于均值的主要因素。与之相反，观测期内南部沿海、长江中游和西南经济区的生态可持续能力始终高于平均值，在促进生态福利绩效高于均值时起到主要作用。但其他驱动因素对生态福利绩效的作用存在区域差异。其中，南部沿海经济区单位经济产出转化为居民福利的效率低于均值，其社会效益对生态福利绩效的贡献为负；但长江中游和西南经

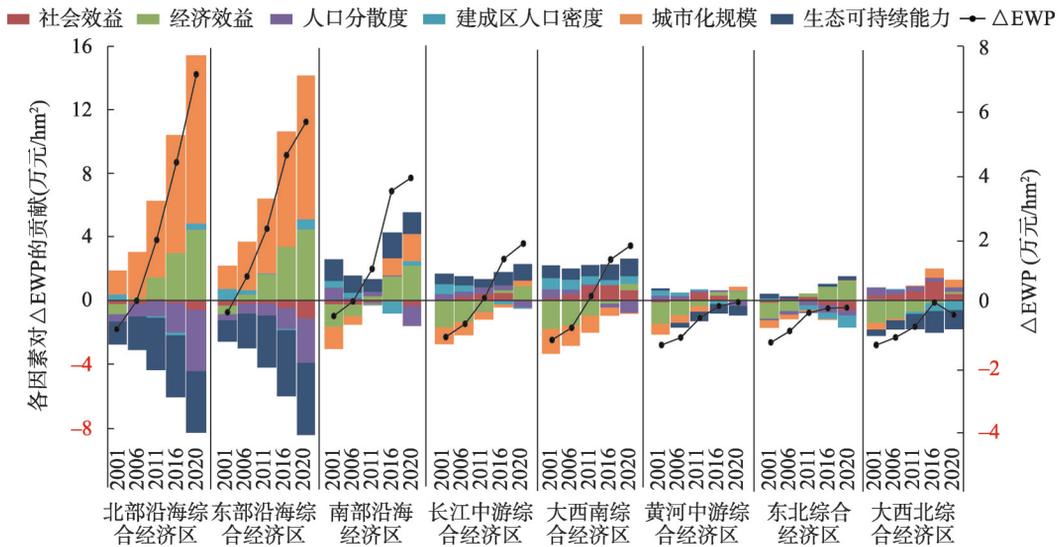


图6 2001—2020年中国8个经济区生态福利绩效的空间分解结果

Fig. 6 Results of the spatial decomposition of EWP in China's 8 economic regions, 2001-2020

济区社会效益较高，是促使生态福利绩效高于均值的主要因素。此外，长江中游和西南经济区的经济发展水平在观测后期才表现出正向促进作用，说明长江中游和西南经济区的产业结构仍需进一步优化，应通过合理规划城市建成区、建立产业园区，充分发挥地区产业优势，提高单位生态承载力内建成区面积发挥的经济产出。黄河中游、东北和西北经济区的生态福利绩效始终低于均值，主要源于市辖区人口增速与城市土地面积扩张速度的不同步，未能充分发挥产业集聚和人口集聚对经济增长和生态可持续协调发展的促进作用。

## 4 结论与讨论

本文结合 SWI 和 EF 核算框架，测度中国 2001—2020 年中国各省份的可持续福利水平和生态消耗，并对中国生态福利绩效进行量化评估；在此基础上引入经济、生态、人口和城市化因素，利用 ST-LMDI 方法评估时间和空间维度下中国省级和经济区层面生态福利绩效变化的因素差异。主要结论如下：

(1) 2001—2020 年中国人均可持续福利、人均生态足迹和生态福利绩效整体均呈现出先升后降的变动趋势，空间上具有显著的地区差异性。如沿海地区在社会经济结构、民生性财政支出和高新技术产业方面均具有更高优势，地区单位资源消耗转化的居民福利效率较高；北部地区尤其是西北经济区是生态资源的主要提供者，地区生态足迹处于较高水平，但地区居民福利水平并未得到同步提升，导致生态福利绩效水平较低。

(2) 2001—2020 年经济效益和城市化规模是提升地区生态福利绩效的主要驱动因素，人口分散度则是提升生态福利绩效的主要制约因素。社会效益、建成区人口密度和生态可持续能力对生态福利绩效的驱动作用表现出阶段特征，社会效益对生态福利绩效增加的贡献在 2016—2020 年由正向转为负向；与之相反，2016—2020 年建成区人口密度由负向贡献转为正向；2011—2015 年超半数省的生态可持续能力得到改善，对生态福利绩效增加表现为正向驱动作用。

(3) 2001—2020年生态可持续能力和人口分散度始终是制约北部和东部沿海经济区生态福利绩效高于均值的主要因素,城市化规模和建成区人口面积则是主要促升因素;对于南部沿海、长江中游和西南经济区,生态可持续能力对地区生态福利绩效高于均值始终存在正向贡献,城市化规模表现出逐年提升趋势;黄河中游和西北经济区各项因素存在小幅度改善,地区生态福利绩效与均值差距缩小;城市化质量和规模低则是东北经济区生态福利绩效低于均值的主要因素。

因此,改善生态环境质量、防范生态环境风险成为维持国家或地区可持续发展的重要保障。结合本文的主要结论,地方政府应积极推进生态文明建设,针对区域特点构建满足多主体需求的生态环境科技创新体系,完善产业绿色创新技术,促进经济高质量发展。通过不断提高生态资源利用效率和转化效率,提升单位经济产出转化的福利效益,实现经济成果向居民福利的有效转换。同时,打破地区间行政壁垒,强化东部经济发达地区在提升生态福利绩效的辐射带动作用,通过创新技术的空间溢出、生态补偿和产业扶持等方式带动中部和西部地区发展;发挥中部地区在省区间人才、资本和生态要素流动承接作用,促进生产要素的跨区域流动效率,提升生态福利绩效在空间关联网络的紧密程度,从区域层面推动生态保护、环境治理和民生改善的协同发展。此外,地方政府应充分挖掘影响中国各省及地区生态福利绩效的驱动因素,综合考虑各因素分别在时间和空间维度的作用方向及程度,制订差异化的激励政策。通过优化地区产业规划和资源配置、完善基础设施建设和交通运输结构,促使地区城市土地面积扩张与人口增速的同步进行,以推动区域内部及区域间的要素流通、缩小生态福利绩效的内部差异和地区间差异,实现从整体上推动中国可持续发展。

本文提出了能够量化中国生态福利绩效的评估框架,并利用ST-LMDI对其实现了时间和空间维度的分解,但在核算方法上仍存在一些局限。①为具体核算中国居民福利水平并使其与GDP具有直接可比性,研究参考SWI核算框架并对其中的具体项目进行调整,测度了中国居民福利,仅考虑了客观福利,并未充分识别居民的主观幸福感;②利用ST-LMDI识别影响中国生态福利绩效的主要因素时,仅考察了经济、人口、生态和城市化相关因素,未能纳入产业结构、能源结构、资源跨区域流动和污染治理技术等因素。未来研究希望进一步完善和拓展,在充分考虑主观和客观指标的基础上结合共同富裕,测度符合中国实际的社会福利水平,并从多个角度考察影响生态福利绩效的驱动因素,为全面提高生态福利绩效、实现区域协调高质量发展提供参考。

## 参考文献(References)

- [1] Zang Mandan, Gao Yi, Li Jin. The influence of administrative hierarchy and urban scale on ecological well-being performance. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(12): 3201-3216. [臧漫丹,高易,李金.行政等级与城市规模对生态福利绩效的影响研究.自然资源学报,2022,37(12):3201-3216.]
- [2] Zhu Dajian, Zhang Shuai. Ecological wellbeing performance and further research on sustainable development. *Journal of Tongji University (Social Science Section)*, 2014, 25(5): 106-115. [诸大建,张帅.生态福利绩效与深化可持续发展的研究.同济大学学报(社会科学版),2014,25(5):106-115.]
- [3] Long X Y, Yu H J, Sun M X, et al. Sustainability evaluation based on the three-dimensional ecological footprint and human development index: A case study on the four island regions in China. *Journal of Environmental Management*, 2020, 265: 110509. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110509.
- [4] da Silva J, Fernandes V, Limont M, et al. Sustainable development assessment from a capitals perspective: Analytical structure and indicator selection criteria. *Journal of Environmental Management*, 2020, 260: 110147. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110147.
- [5] Li C Y. China's multi-dimensional ecological well-being performance evaluation: A new method based on coupling coordination model. *Ecological Indicators*, 2022, 143: 109321. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109321.

- [6] Zhao Lin, Cao Naigang, Han Zenglin, et al. Evolution characteristics and formation mechanism of spatial correlation network of ecological well-being performance in China. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(12): 3183-3200. [赵林, 曹乃刚, 韩增林, 等. 中国生态福利绩效空间关联网演变特征与形成机制. *自然资源学报*, 2022, 37(12): 3183-3200.]
- [7] He B, Du Y, Li J K, et al. A effectiveness-and efficiency-based improved approach for measuring ecological well-being performance in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(3): 2024. DOI: 10.3390/ijerph20032024.
- [8] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [9] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [10] Wang S Y, Duan L C, Jiang S W. Research on spatial differences and driving effects of ecological well-being performance in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(15): 9310. DOI: 10.3390/ijerph19159310.
- [11] Daly H E, Cobb J B. *For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*. Boston: Beacon Press, 1989: 401-455.
- [12] Kalimeris P, Bithas K, Richardson C, et al. Hidden linkages between resources and economy: A "Beyond- GDP" approach using alternative welfare indicators. *Ecological Economics*, 2020, 169: 106508. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.106508.
- [13] Armiento M. The sustainable welfare index: Towards a threshold effect for Italy. *Ecological Economics*, 2018, 152: 296-309.
- [14] Wang Shihao, Huang Lin, Xu Xinliang, et al. Spatio-temporal variation characteristics of ecological space and its ecological carrying status in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(1): 164-181. [王世豪, 黄麟, 徐新良, 等. 特大城市群生态空间及其生态承载状态的时空分异. *地理学报*, 2022, 77(1): 164-181.]
- [15] Fang Shijiao, Xiao Quan. Research on regional ecological well-being performance and spatial effect in China. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(3): 1-10. [方时姣, 肖权. 中国区域生态福利绩效水平及其空间效应研究. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(3): 1-10.]
- [16] Long Liangjun, Wang Xia, Guo Bing. Evaluation of urban ecological well-being performance based on revised DEA model: A case study of 35 major cities in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(4): 595-605. [龙亮军, 王霞, 郭兵. 基于改进DEA模型的城市生态福利绩效评价研究: 以我国35个大中城市为例. *自然资源学报*, 2017, 32(4): 595-605.]
- [17] Deng Yuanjian, Yang Xu, Ma Qiangwen, et al. Regional disparity and convergence of China's ecological welfare performance level. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(4): 132-143. [邓远建, 杨旭, 马强文, 等. 中国生态福利绩效水平的地区差距及收敛性. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(4): 132-143.]
- [18] Pham N M, Huynh T L D, Nasir M A. Environmental consequences of population, affluence, and technological progress for European countries: A Malthusian view. *Journal of Environmental Management*, 2020, 260: 110143. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110143.
- [19] Xia Meijun, Li Jian, Yan Yongcan. Spatial-temporal patterns and evolution characteristics of ecological wellbeing performance in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Ecology and Environmental Sciences*, 2023, 32(4): 814-824. [夏美君, 李健, 闫永蚕. 京津冀城市群生态福利绩效时空格局及演进特征. *生态环境学报*, 2023, 32(4): 814-824.]
- [20] Wang Shengyun, Han Yajie, Ren Huimin, et al. Evaluation of provincial ecological well-being performance and its driving effect decomposition in China. *Resources Science*, 2020, 42(5): 840-855. [王圣云, 韩亚杰, 任慧敏, 等. 中国省域生态福利绩效评估及其驱动效应分解. *资源科学*, 2020, 42(5): 840-855.]
- [21] Ang B W, Su B, Wang H. A spatial-temporal decomposition approach to performance assessment in energy and emissions. *Energy Economics*, 2016, 60: 112-121.
- [22] Hong Shunfa, Guo Qinghai, Li Dawei. Spatiotemporal dynamics of ecological supply and demand based on ecological footprint theory. *Resources Science*, 2020, 42(5): 980-990. [洪顺发, 郭青海, 李达维. 基于生态足迹理论的中国生态供需平衡时空动态. *资源科学*, 2020, 42(5): 980-990.]
- [23] Zhang Wenbin, Guo Qi. China's sustainable economic welfare measurement and the analysis of its regional differences. *Journal of Management*, 2019, 32(3): 19-30. [张文彬, 郭琪. 中国可持续经济福利水平测度及区域差异分析. *管理学*

- 刊, 2019, 32(3): 19-30.]
- [24] Liu Yulin, Wang Yuhao, Zhu Xincheng. Structural equilibrium-index of sustainable economic welfare under the goal of common prosperity. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2022, 39(5): 3-24. [刘渝琳, 王雨豪, 朱鑫城. 共同富裕目标下可持续经济福利结构均衡增长. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(5): 3-24.]
- [25] Tian Weimin. Calculation of the Gini coefficient in China and analysis of its trend. *The Journal of Humanities*, 2012, 66(2): 56-61. [田卫民. 中国基尼系数计算及其变动趋势分析. *人文杂志*, 2012, 66(2): 56-61.]
- [26] Long X L, Ji X. Economic growth quality, environmental sustainability, and social welfare in China: Provincial assessment based on genuine progress indicator (GPI). *Ecological Economics*, 2019, 159(5): 157-176.
- [27] Clarke M, Islam S M N. Diminishing and negative welfare returns of economic growth: An index of sustainable economic welfare (ISEW) for Thailand. *Ecological Economics*, 2005, 54(1): 81-93.
- [28] Shen Xiaoyan, Wang Guanghong, Huang Xianjin. Green GDP accounting and spatio-temporal pattern in China from 1997 to 2013. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(10): 1639-1650. [沈晓艳, 王广洪, 黄贤金. 1997—2013年中国绿色GDP核算及时空格局研究. *自然资源学报*, 2017, 32(10): 1639-1650.]
- [29] Zhang X P, Xu Q N, Zhang F, et al. Exploring shadow prices of carbon emissions at provincial levels in China. *Ecological Indicators*, 2014, 46: 407-414.
- [30] Zhang Jun, Wu Guiying, Zhang Jipeng. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000. *Economic Research Journal*, 2004(10): 35-44. [张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000. *经济研究*, 2004(10): 35-44.]
- [31] Azam M, Younes B Z, Hunjra A I, et al. Integrated spatial-temporal decomposition analysis for life cycle assessment of carbon emission intensity change in various regions of China. *Resources Policy*, 2022, 79: 103062. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.103062.
- [32] Qin Q D, Yan H M, Li B X, et al. A novel temporal-spatial decomposition on drivers of China's carbon emissions. *Gondwana Research*, 2022, 109: 274-284.
- [33] Wang Banban, Liao Xiaojie, Tan Xiujie. Urbanization and its contribution to haze exposure: A spatial-temporal decomposition of Chinese urban agglomerations. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(7): 63-74. [王班班, 廖晓洁, 谭秀杰. 城市化对雾霾暴露的贡献: 基于对中国城市群的时空分解. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(7): 63-74.]
- [34] Sun Pingjun, Zhang Keqiu, Cao Naigang, et al. Geographical cognition and governance logic of regional urban shrinkage in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*. [孙平军, 张可秋, 曹乃刚, 等. 东北区域性城市收缩的地理认知与治理逻辑. *地理学报*. <https://link.cnki.net/urlid/11.1856.P.20231123.1336.002>.]

## Decomposition of ecological welfare performance drivers in China

DONG Ying, SUN Yuhuan, DING Jiao

(School of Statistics, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, Liaoning, China)

**Abstract:** To achieve sustainable economic development and promote the comprehensive green transformation of the economy and society, it is necessary to improve ecological welfare performance. This study constructed a method of quantitatively evaluating ecological welfare performance in China based on residents' welfare and ecological consumption. On this basis, the ST-LMDI model was used for spatial and temporal decomposition of the ecological welfare performance of provincial-level regions and economic zones in China, thus expanding the current research on the decomposition of the driving factors of ecological welfare performance. The results of the study were as follows. First, the trend for China's ecological welfare performance from 2001 to 2020 was first increasing and then decreasing, with significant regional differences. Additionally, because of their advantages in socioeconomic structure and livelihood-based fiscal expenditures, the coastal regions had a higher ecological welfare performance and also showed spatial spillover effects. Second, the six factors of social benefits, economic benefits, population dispersion, population density in built-up areas, scale of urbanization, and ecological sustainability were introduced to explore their driving roles on ecological welfare performance. The findings showed that the spatial and temporal decomposition results were significantly different. The temporal decomposition results proved that economic benefits and scale of urbanization were the main factors promoting ecological welfare performance, whereas population dispersion inhibited growth of ecological welfare performance. However, the spatial decomposition indicated that the drivers that determine above-average ecological welfare in each provincial-level region showed regional differences and dynamic changes in different periods. The combination of spatial and temporal decomposition and the relationships among economic growth, ecological conservation, and enhancement of residents' welfare are comprehensively helpful to provide reference for local governments to formulate and implement differentiated policies.

**Keywords:** two-dimensional perspective of time and space; ecological welfare performance; sustainable welfare index; ST-LMDI; China