

# 中国省级生态福利绩效水平空间分异及收敛分析\*

**摘要:** 探究生态资源转化为社会福利、人类福祉的效率和生态福利绩效的时空演变特征是提升中国绿色发展水平和可持续发展能力的关键。文章基于中国四大经济分区,运用考虑非期望产出的两阶段动态网络 SBM—DEA 模型,对中国 2011—2020 年 30 个省级行政单位的生态福利绩效进行了测算。结果显示:观测期内我国生态福利绩效均值为 0.815,整体上未能实现 DEA 有效。生态福利绩效水平在空间上呈现“中强东次,西低,东北最弱”的格局。除东北地区,东部、中部和西部地区变异系数总体呈增长态势,只有东北地区的生态福利绩效表现出了  $\sigma$  收敛。在空间相关性上,研究区各单位呈现出高一高集聚和低—低集聚的正空间相关性。研究结果表明,目前,生态福利绩效的高低与生态—经济的转化效率有着必然联系。因此,加快产业结构转型升级,提高单位生态消耗的经济产出,可提升整体生态福利绩效水平。生态福利绩效存在着空间聚集现象。为此,各地区之间应加强沟通交流,共同应对生态资源的消耗利用问题,实现中华民族的永续发展。

**关键词:** 生态福利绩效;地区差异;空间格局;两阶段 NSBM—DEA;莫兰指数

## 一、引言

党的二十大报告指出:“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化。我们坚持可持续发展,坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,坚定不移走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,实现中华民族永续发展。”自改革开放以来,中国经济迅速增长、社会物质财富迅速增加的同时,生态污染问题、资源枯竭问题和生态退化问题日益显著,逐渐成为制约中国经济社会可持续发展的关键所在。<sup>[1]</sup>生态环境和资源的高效利用是影响国家竞争力的重要因素之一。<sup>[2]</sup>生态环境和资源利用的质量和效率直接影响着国家的经济增长、社会福祉和国际地位。因此,走生态可持续发展之路是我国乃至全球的必然选择。然而,独立的生态效率、经济效率和社会福祉并不能很好的衡量国家、地区的可持续发展水平。<sup>[3]</sup>此时,生态福利绩效的提出弥补了传统用经济增长来衡量社会福利水平的局限性,能更全面的反映一个国家或地区的可持续发展能力。<sup>[4]</sup>

本文的意义在于引入联结变量和结转变量,<sup>[5]</sup>通过优化生态福利绩效的投入产出指标体系,来更科学的测算生态福利绩效值,<sup>[6]</sup>更真实的反映中国各地区生态福利水平。使用空间计量学的方法探索中国生态福利绩效的时空演变、区域差异,<sup>[7]</sup>丰富生态福利绩效的研究成果,为中国可持续发展能力的提升提供参考依据。

## 二、文献综述

生态福利绩效的研究最早可以追溯到 20 世纪 70 年代的可持续发展理念<sup>[8]</sup>。可持续发展强调经济、社会和生态环境的协调发展,提倡在经济发展的同时重视环境保护和资源利用效率等方面的指标。这为生态福利绩效的研究提供了理论基础和动力。但由于缺乏可操作的测量方法,直到 Rees 提出了生态足迹<sup>[9]</sup>的概念后,才得到了较多的关注和应用。随着人类对生态环境危机的认识不断加深,生态福利绩效的研究也逐渐得到了广泛的关注和探讨。但目前国内外学者关于生态福利绩效的研究正处于起步发展阶段。<sup>[4]</sup>

目前,对于生态福利绩效的测算,主要有两类方法,一类是比例算法,即用社会福利指标除以生态消耗指标,得到生态福利绩效指数。如 Verhofstadt 用生态足迹与个人主观幸福感的比值来衡量生态福利绩效。<sup>[10]</sup>诸大建等人利用人类发展指数(HDI)与生态消耗(EC)

\*杨培旭,宁夏大学农学院,邮政编码:750021,电子信箱:ypxwh@qq.com。

东梅(通讯作者),宁夏大学经济管理学院,邮政编码:750021,电子信箱:pr2003@126.com。本文得到国家自然科学基金项目“易地扶贫搬迁不同模式绩效评估及其贫困治理机制研究”(72063025)的资助。

的比值来测算生态福利绩效。<sup>[11,12]</sup>Yew-Kwang 使用平均幸福生活年数（HLY）与人均生态足迹的比值来衡量生态福利绩效。<sup>[13]</sup>另一类是非比例算法，如随机前沿生产函数、数据包络分析、回归残差等方法。Dietz 等用随机前沿生产函数来测算生态福利绩效水平。<sup>[14]</sup>肖黎明等利用改进的 SFA 方法测度了 2004—2017 年黄河流域 79 个地市以及 2004—2015 年 30 个省份的生态福利绩效值。<sup>[15,16]</sup>邓远建<sup>[17]</sup>、龙亮军<sup>[18,19]</sup>、东梅<sup>[20]</sup>等使用数据包络分析方法（DEA）以生态资源的多投入和社会福利的多产出对中国省、市区层面的生态福利绩效进行测算。

生态福利绩效的研究在国内于 2008 年首次被学者诸大建<sup>[21]</sup>引出，他指出生态福利绩效是指自然消耗转化为福利水平的效率，并提出使用 DEA 方法研究省、市层面生态福利绩效的可行性。<sup>[12]</sup>龙亮军采用 PCA—DEA 组合方法对我国“十二五”期间的 35 个主要城市的生态福利绩效进行了测算和评价，得出了三大区域“东部最高，中部次之，西部最低”的基本结论。<sup>[18]</sup>我国学者邓远建利用 Super-SBM 模型对 2004—2017 年全国 29 个省级行政单位的生态福利绩效进行了测算，发现研究期内中国生态福利绩效整体上呈“波动上升—持续下降—波动下降”的态势，空间上呈“东强—中次—西弱”的格局，<sup>[17]</sup>支持了以上结论。

近年来，生态福利绩效指标逐渐成为研究热点。相比于传统的基于时间序列或面板数据的分析方法，该指标在时空演变趋势方面的研究较少见。然而，从时空角度所提供的信息对于提升各省区生态福利绩效水平往往具有重要的决策参考意义。<sup>[22]</sup>

本文拟在研究内容和研究方法上拓展和区别于以往研究。首先，利用基于非期望产出的两阶段动态网络 DEA 模型，分别测算出 2011—2020 年我国 30 个省级行政单位生态福利转化两个阶段的效率值及平均效率，并分为“十二五”和“十三五”两个历史阶段、“生态—经济”“经济—福利”两个转化阶段，在全国、地区及省级层面进行综合全面的对比分析总结。其次，利用变异系数对生态福利绩效进行 $\sigma$ 收敛检验，并利用莫兰指数进行空间自相关检验，揭示生态福利绩效在空间上的聚集情况，探寻我国生态福利绩效时空演变的规律。最后根据研究结论给出适当的政策建议。

### 三、研究方法

#### （一）非期望动态网络 DEA 模型

数据包络分析（Data Envelopment Analysis, DEA）是一种基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率分析方法，是由美国的 Charnes、Cooper 和 Rhodes 3 人于 1978 年首次提出的。<sup>[23]</sup>由于 DEA 模型具有适用范围广、原理相对简单的特点，被广泛应用于各个领域。

传统的 DEA 模型只是基于径向角度进行测量，仅从投入和产出角度考虑效率问题，<sup>[24]</sup>缺少对松弛变量的考量，导致测算结果与实际情况有出入。鉴于此，Tone 分别于 2001 年和 2002 年提出 SBM 模型<sup>[25]</sup>、Super-SBM 模型<sup>[26]</sup>，解决了投入产出变量的松弛问题和决策单元的排序问题。本文调整了 Tone 和 Tsutsui 的非期望动态网络 DEA 模型，<sup>[27]</sup>参考龙亮军城市生态福利绩效两阶段的划分方法，<sup>[28]</sup>将我国生态福利绩效分为生态经济转化和经济福利转化两个阶段，具体转化过程见图 1。

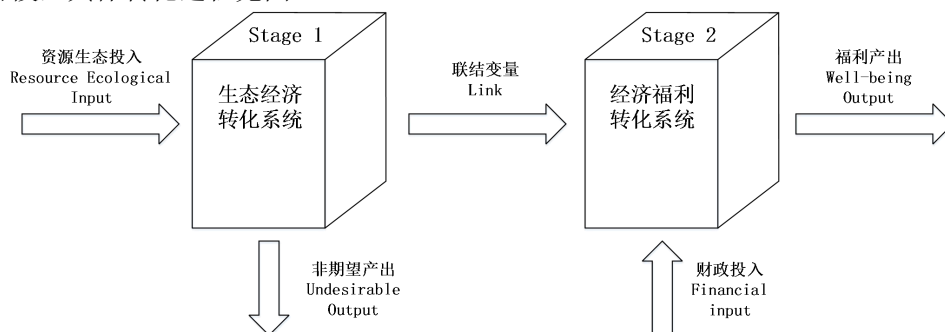


图 1 生态福利绩效两个转化阶段

其中，生态经济转化阶段投入为人均建设用地面积、人均用水量和人均能源消费量，产出变量人均废水排放、人均废气排放和人均固废排放（非期望产出）。人均 GDP（期望产出）作为与第二阶段的联结变量（Link），第二阶段投入为人均一般公共预算支出，产出为平均受教育年限和人均预期寿命，结转变量（Carry-over）是人均固定资产投资额。

该基于非期望产出的动态网络 DEA 模型的内在逻辑是：假设有  $n$  个 DMU ( $j=1, \dots, n$ )，每个 DMU 有  $k$  个分区 ( $k=1, \dots, k$ ) 和  $T$  个时间周期 ( $t=1, \dots, t$ )。每个 DMU 在一个时间段  $t$  内有一组投入和一组产出，并有结转变量投入到下一个时间段  $t+1$ 。

原理如式 (1) 所示

$$\theta_0^* = \min \frac{\sum_{t=1}^T W^t [\sum_{k=1}^K w^k [1 - \frac{1}{m_k + linkin_k + nbad_k} \times (\sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{iok}^{t-}}{x_{iok}^t} + \sum_{(k,h)_i=1}^{linkin_k} \frac{s_{o(k,h)_i in}^t}{z_{o(k,h)_i in}^t} + \sum_{k_l=1}^{nbad_k} \frac{s_{ok_l bad}^{(t,t+1)}}{z_{ok_l bad}^{(t,t+1)}})]]}{\sum_{t=1}^T W^t [\sum_{k=1}^K w^k [1 + \frac{1}{r_k + linkout_k + ngood_k} \times (\sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r iok}^{t+}}{y_{r iok}^t} + \sum_{(k,h)_i=1}^{linkout_k} \frac{s_{o(k,h)_i out}^t}{z_{o(k,h)_i out}^t} + \sum_{k_l=1}^{ngood_k} \frac{s_{ok_l good}^{(t,t+1)}}{z_{ok_l good}^{(t,t+1)}})]]} \quad (1)$$

s.t.

$$\begin{aligned} x_{ok}^t &= X_k^t \lambda_k^t + s_{ko}^{t-} (\forall k, \forall t) \\ y_{okgood}^t &= Y_{kgood}^t \lambda_k^t - s_{kogood}^{t+} (\forall k, \forall t) \\ y_{okbad}^t &= Y_{kbad}^t \lambda_k^t + s_{kobad}^{t-} (\forall k, \forall t) \\ e \lambda_k^t &= 1 (\forall k, \forall t) \\ \lambda_k^t &\geq 0, s_{ko}^{t-} \geq 0, s_{kogood}^{t+} \geq 0, s_{kobad}^{t-} \geq 0, (\forall k, \forall t) \\ Z_{o(kh)in}^t &= Z_{(kh)in}^t \lambda_k^t + S_{o(kh)in}^t ((kh)in = 1, \dots, linkin_k) \\ \sum_{j=1}^n z_{jk_1 \alpha}^{(t,t+1)} \lambda_{jk}^t &= \sum_{j=1}^n z_{jk_1 \alpha}^{(t,t+1)} \lambda_{jk}^{t+1} (\forall k; \forall k_l; t = 1, \dots, T-1) \\ Z_{ok_l good}^{(t,t+1)} &= \sum_{j=1}^n z_{jk_l good}^{(t,t+1)} \lambda_{jk}^t - s_{ok_l good}^{(t,t+1)} (k_l = 1, \dots, ngood_k; \forall k; \forall t) \\ s_{ok_l good}^{(t,t+1)} &\geq 0, (\forall k_l; \forall t) \end{aligned}$$

上式中： $x$  表示投入， $y$  表示产出； $z$  表示结转变量； $m_k$  表示第  $k$  阶段的投入个数； $v_k$  表示第  $k$  阶段的产出个数； $(k, h)$  表示从阶段  $k$  到阶段  $h$  的连接； $w^t$  表示  $t$  时期的权重； $w^k$  表示  $k$  阶段的权重； $\lambda_k$  表示  $k$  阶段的模型权重； $s_{gk}$  和  $s_{bk}$  分别表示期望产出和非期望产出。当  $\theta_0^* = 1$  时，表示该 DMU 整体上 DEA 有效，否则无效。

## (二) 收敛性检验方法

检验中国生态福利绩效是否存在收敛，本文将对生态福利绩效进行  $\sigma$  收敛性检验。若生态福利绩效水平  $\sigma$  收敛则表明各地区绩效水平的差异随着时间的推移而逐渐减小。一般用 Theil 指数<sup>[29]</sup>、变异系数<sup>[30]</sup>和标准差<sup>[31]</sup>。本文使用变异系数进行  $\sigma$  收敛检验。公式如式 (2) 所示。

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} (EWP_{ji} - \overline{EWP_j})^2}}{\overline{EWP_j}} \quad (2)$$

式 (4) 中， $EWP_{ji}$  表示研究区域  $j$  内第  $i$  个省份的生态福利绩效水平值， $\overline{EWP_j}$  表示区域  $j$  内各省份的生态福利绩效水平均值， $N_j$  表示区域  $j$  内省份个数。

### （三）空间相关性检验

本文利用探索性空间数据分析法（ESDA）集合中的全局空间自相关检验和局部空间自相关检验（全局 Moran 指数、局部 Moran 指数）分析研究区内生态福利水平的空间相关性。<sup>[32]</sup>

#### （1）全局 Moran's $I$ 指数

Moran's  $I$  指数是澳大利亚统计学家帕特里克·阿尔弗雷德·皮尔斯·莫兰于 1950 年提出。Moran's  $I$  指数（莫兰指数）是研究空间关系的一种相关系数值，本文利用 Moran's  $I$  指数研究我国 30 个省市生态福利绩效水平之间是否具有空间相关关系。Moran 指数通常分为两种，分别是全局 Moran's  $I$  指数和局部 Moran's  $I$  指数。全局 Moran's  $I$  指数用于分析整体上是否存在空间相关关系，公式如式（3）所示。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (EWP_i - \overline{EWP})(EWP_j - \overline{EWP})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

其中， $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EWP_i - \overline{EWP})^2$ ， $\overline{EWP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EWP_i$ ， $EWP_i$  表示第  $i$  个省份的生态福利绩效水平值， $n$  为省份个数， $w_{ij}$  为省份  $i$  和省份  $j$  之间的空间权重值。Moran's  $I$  取值范围是  $[-1,1]$ ，当值大于 0 时，表示数据呈现空间正相关，值越大空间相关性越明显；Moran's  $I$  小于 0 时，表示数据呈现空间负相关，值越小空间差异越大；Moran's  $I$  为 0 时，空间呈随机性。<sup>[17]</sup>

#### （2）局部 Moran's $I$ 指数

局部莫兰指数（Local Moran's  $I$ ），由卢卡·安瑟林于 1995 年提出。若全局 Moran 指数显著，即可认为该区域存在空间相关性，但局部 Moran 指数可以呈现哪个区域存在着聚集或者异常。公式如式（4）所示。

$$I_i = \frac{(EWP_i - \overline{EWP})}{s^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (EWP_j - \overline{EWP}) \quad (4)$$

其中， $I_i$  代表第  $i$  个地区的局部莫兰指数， $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (EWP_i - \overline{EWP})^2$ ，

$\overline{EWP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n EWP_i$ ， $EWP_i$  表示第  $i$  个省份的生态福利绩效水平值， $n$  为省份个数， $w_{ij}$  为省

份  $i$  和省份  $j$  之间的空间权重值。

## 四、指标与数据

### （一）指标体系

在选择投入和产出变量时，遵循了相关性、可观察性和易于分析的原则，并参考了诸大建<sup>[12]</sup>、龙亮军<sup>[28]</sup>的指标选择方法。本文选择资源消耗作为第一阶段生态投入的指标，其中资源消耗包括能源消耗、土地消耗和水资源消耗，分别以人均能源消费量（标准煤）、人均建设用地面积和人均用水量来衡量。第一阶段生态经济转化阶段非期望产出为污染排放包括废水排放、废气排放和固体废弃物排放<sup>[33]</sup>，期望产出人均生产总值作为与第二阶段的联结变量。

第二阶段经济福利转化阶段，投入指标为人均一般公共预算支出。人的全面发展是生态投入的根本目的。因此，本文参考联合国开发计划署（UNDP）发布的人类发展指数（HDI）中经济发展水平、教育发展水平、健康医疗水平和生活水平四个维度指标进行量化评估。<sup>[34]</sup>经济福利转化阶段具体产出指标由平均受教育年限、人均预期寿命、人均生产总值和人均固定资产投资额构成。其中，人均生产总值作为两阶段网络 DEA 模型的联结变量，人均固定资产投资额作为结转变量。联结变量和结转变量的设置使 DEA 模型能更好的还原现实，效率值测算更准确。<sup>[35]</sup>具体指标体系如表 1 所示。

表 1 基于非期望动态网络 DEA 模型的生态福利绩效评价指标体系

类别	一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	资源消耗	能源消耗	人均能源消费量/万吨标准煤
		土地消耗	人均建设用地面积/平方米
		水资源消耗	人均用水量/立方米
		财政投入	人均一般公共预算支出/元
		废水排放	人均废水排放/吨
产出指标	污染排放	废气排放	人均废气排放/吨
		固废排放	人均固废排放/吨
		福利产出/福利水平	平均受教育年限/年 人均预期寿命/年
联结变量	经济发展	GDP 产出	人均 GDP/元
结转变量	资产积累	固定资产投资	人均固定资产投资额/元

## （二）数据来源与处理

本文研究对象为我国除香港、澳门特别行政区，台湾省、西藏自治区外的 30 个省级行政单位。选取 2011—2020 年的面板数据进行实证分析。由于数据统计的滞后性，原始数据来自 2012—2021 年《中国统计年鉴》、《城市建设统计年鉴》、《城乡建设统计年鉴》、《中国生态环境统计年报》、《中国环境统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》及各省级统计年鉴、公报，个别缺失数据通过内插法、外推法得到。

资源消耗、污染排放等人均指标均以当年年末常住人口处理得出。人均 GDP、固定资产投资额、一般公共预算支出均利用相关价格指数以 2011 年为基年进行不变价处理。各省份人均预期寿命只有 2010、2020 年数据，中间年份按照自然增长率补齐。平均受教育年限参照《中国人类发展报告 2013》中的公式计算得到，计算如式（5）所示。

$$AYS = \frac{6 \times P_{小学} + 9 \times P_{初中} + 12 \times P_{高中} + 16 \times P_{大专及以上学历}}{P_{小学} + P_{初中} + P_{高中} + P_{大专及以上学历}} \quad (5)$$

其中， $P$  代表各学历段人口数。变量的描述性统计结果见表 2。

表 2 变量的描述性统计

变量	单位	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
人均能源消费量	万吨标准煤	300	3.793	1.860	1.549	11.292
人均建设用地面积	平方米	300	40.519	17.743	14.850	123.270
人均用水量	立方米	300	500.524	413.385	161.200	2657.400
人均一般公共预算支出	元	300	9114.717	3974.057	4490.878	21442.761
人均废水排放	吨	300	0.015	0.009	0.002	0.048
人均废气排放	吨	300	0.037	0.030	0.004	0.167
人均固废排放	吨	300	3.501	4.696	0.190	27.443
平均受教育年限	年	300	9.744	0.744	8.415	12.938

人均预期寿命	年	300	76.775	2.348	69.988	82.550
人均 GDP	元	300	56511.630	26243.499	16413.000	138827.009
人均固定资产投资额	元	300	24393.175	8611.327	11323.325	57000.502

## 五、生态福利绩效评价

### (一) 我国各地区生态福利整体绩效水平分析

本文将首先运用基于可变规模报酬假设下考虑非期望产出的两阶段动态网络 DEA 模型,使用 MaxDEA8.0 软件,打开“黑箱”进行效率评价,测算出了我国四大地区 30 个省级行政单位 2011—2020 年生态福利的整体绩效水平,如表 3 所示。

从整体来看,2011—2020 年我国生态福利绩效均值为 0.815,整体非 DEA 有效。2011—2020 年十年中,东部地区中河北、上海、江苏、浙江、福建、山东和广东效率值小于 1,未能实现 DEA 有效,只有北京、天津和海南实现了 DEA 有效;东北地区生态福利效率均值 0.605,未能实现 DEA 有效;中部地区整体绩效均值为 0.951,其中只有河南一省实现了 DEA 有效,令人注意的是,山西、湖南两省绩效均值为 0.993 和 0.992,已非常接近 DEA 有效;西部地区整体生态福利绩效均值为 0.719,其中广西壮族自治区和贵州省实现了 DEA 有效。

表 3 2011—2020 年我国生态福利整体绩效水平

地区	省份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	均值
东部地区	北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	天津	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	河北	0.770	0.779	0.791	0.777	0.810	0.775	0.781	0.992	0.973	0.974	0.842
	上海	1.000	0.750	0.747	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.950
	江苏	0.706	0.709	0.676	0.679	0.683	0.662	0.644	0.608	0.630	0.663	0.666
	浙江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.931	1.000	0.993
	福建	0.855	0.781	0.754	0.788	0.779	0.746	0.724	0.698	0.717	0.720	0.756
	山东	0.834	0.832	0.856	0.817	0.806	0.801	1.000	1.000	0.830	0.786	0.856
	广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.870	1.000	0.839	0.958	0.967
	海南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
东北地区	辽宁	0.567	0.625	0.636	0.616	0.560	0.591	0.570	0.561	0.539	0.548	0.581
	吉林	0.630	0.613	0.640	0.606	0.580	0.603	0.582	0.583	0.580	0.579	0.599
	黑龙江	0.681	0.649	0.684	0.657	0.637	0.637	0.600	0.594	0.626	0.563	0.633
中部地区	山西	0.984	1.000	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993
	安徽	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.957	1.000	0.826	0.978
	江西	1.000	0.986	1.000	0.968	0.974	0.958	0.952	0.943	0.944	0.729	0.945
	河南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	湖北	0.826	0.815	0.833	0.816	0.850	0.818	0.774	0.771	0.745	0.748	0.800
	湖南	0.958	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.963	0.992
西部地区	内蒙古	0.360	0.332	0.317	0.301	0.373	0.419	0.384	0.381	0.417	0.365	0.365
	广西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	重庆	0.856	0.806	0.800	0.807	0.792	0.788	0.787	0.802	0.803	0.793	0.804
	四川	0.940	1.000	0.936	0.930	0.943	0.934	0.933	0.891	0.936	0.934	0.938
	贵州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
云南	0.958	0.961	0.952	0.946	0.966	0.970	0.969	0.973	0.987	0.963	0.964	

陕西	0.838	0.847	0.848	0.833	0.821	0.727	0.681	0.723	0.694	0.929	0.794
甘肃	0.817	0.819	0.809	0.781	0.784	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.901
青海	0.323	0.333	0.310	0.300	0.293	0.282	0.286	0.296	0.288	0.300	0.301
宁夏	0.306	0.311	0.317	0.304	0.352	0.355	0.350	0.307	0.309	0.351	0.326
新疆	0.640	0.624	0.533	0.357	0.605	0.430	0.600	0.599	0.355	0.367	0.511
均值 <sup>a</sup>	0.916	0.885	0.883	0.906	0.908	0.898	0.902	0.930	0.892	0.910	0.903
均值 <sup>b</sup>	0.626	0.629	0.653	0.626	0.592	0.610	0.584	0.579	0.582	0.563	0.605
均值 <sup>c</sup>	0.961	0.967	0.964	0.964	0.971	0.963	0.954	0.945	0.948	0.878	0.951
均值 <sup>d</sup>	0.731	0.730	0.711	0.687	0.721	0.719	0.726	0.725	0.708	0.727	0.719
全国均值	0.828	0.819	0.813	0.809	0.820	0.817	0.816	0.823	0.805	0.802	0.815

注：均值<sup>a</sup>是指东部 10 省十年整体效率的平均值；均值<sup>b</sup>是指东北 3 省十年整体效率的平均值；均值<sup>c</sup>是指中部 6 省十年各年整体效率的平均值；均值<sup>d</sup>是指西部 11 省十年整体效率的平均值。

为更好地在时间和空间上分析各地区生态福利绩效水平的变化趋势，由表 3 生成图 3，来展现四大地区生态福利绩效均值的变化趋势。由图 3 可知，我国生态福利绩效水平呈现出“中强东次，西低，东北最弱”的格局。东部地区经济发展水平最高，但其生态福利绩效却低于经济发展不如东部地区的中部地区，说明生态福利绩效并不与经济水平有绝对的关联。2011—2019 年中部地区高于其他三个地区，效率值最高。2020 年东部地区赶超中部地区，达到同时间最高效率值。就变化趋势来看，东部、东北、中部、西部地区生态福利绩效皆呈下降趋势，绩效均值分别从 2011 年的 0.916、0.626、0.961 和 0.828 下降到 2020 年的 0.910、0.563、0.878 和 0.727，降幅分别为 0.70%、9.98%、8.72%和 0.43%。

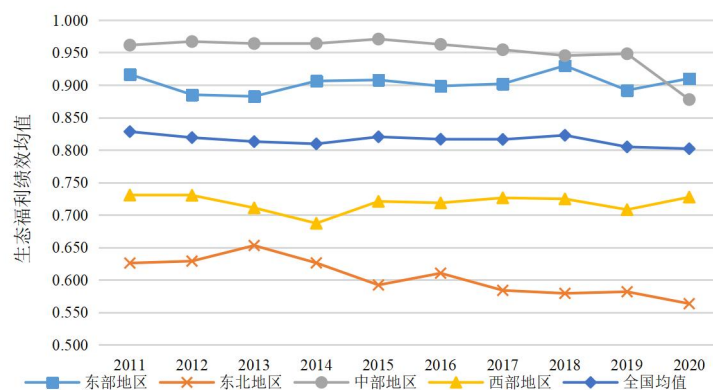


图 2 我国四大地区 2011—2020 年生态福利整体效率变化情况

## (二) 我国各地区生态福利分阶段绩效水平分析

表 4 展示了 2011—2020 年（“十二五”时期）和 2016—2020 年（“十三五”时期）我国生态福利两阶段效率值（I 表示第一阶段生态经济转化阶段，II 表示第二阶段经济福利转化阶段）。

总的来说，从分阶段效率来看，“十二五”和“十三五”时期，生态经济转化阶段效率值都明显低于经济福利转化阶段，说明生态经济转化阶段效率值偏低是导致生态福利整体绩效水平不高的主要原因。

由表 4 可知，“十二五”时期，东部地区有北京、天津、浙江、广东、海南，中部地区有安徽、河南，西部地区有广西、贵州，共九省份实现了生态经济转化和经济福利转化两阶段 DEA 有效。说明大多数省份未能实现生态、经济和福利三者协调发展。山西、江西、湖南、重庆、四川和云南六省在生态经济转化阶段实现了 DEA 有效，而在经济福利转化阶段未能实现 DEA 有效，说明该六省在生态经济转化阶段工作做得较好，但经济福利的转化与

生态经济的转化不平衡,该六省的下一步工作重点可以放在经济福利的转化上。上海、山东、湖北和甘肃四省在第二阶段效率值为1,实现了DEA有效,但第一阶段效率值小于1,未能实现DEA有效。说明该四省生态效率偏低,但经济福利的转化相对较好,这些地区应重点提高生态—经济的转化效率,在资源投入上开源节流、降本增效。

表4 2011—2020年我国生态福利分阶段绩效水平

地区	省份	“十二五”		“十三五”	
		均值 I	均值 II	均值 I	均值 II
东部地区	北京	1.000	1.000	1.000	1.000
	•••	•••	•••	•••	•••
	海南	1.000	1.000	1.000	1.000
东北地区	辽宁	0.392	0.810	0.377	0.747
	吉林	0.470	0.757	0.464	0.707
	黑龙江	0.362	0.961	0.332	0.876
中部地区	山西	1.000	0.974	1.000	1.000
	•••	•••	•••	•••	•••
	湖南	1.000	0.983	1.000	0.985
西部地区	内蒙古	0.226	0.447	0.220	0.567
	•••	•••	•••	•••	•••
	新疆	0.231	0.873	0.207	0.733
均值	东部地区	0.833	0.966	0.846	0.967
	东北地区	0.408	0.843	0.391	0.777
	中部地区	0.943	0.988	0.896	0.980
	西部地区	0.688	0.744	0.697	0.745
	全国	0.759	0.877	0.756	0.869

注:均值 I 是指“十二五”时期各省第一阶段效率的平均值;均值 II 是指各省第二阶段效率的平均值。由于篇幅原因,未展示数据可向笔者联系提供。

“十三五”时期,仅有9个省份在生态经济转化和经济福利转化两个阶段的数据包络分析(DEA)中均实现了有效性,大多数省份未能实现生态、经济和福利三者协调发展。具体而言,湖南、重庆和云南3省在生态经济转化阶段实现了DEA有效,但在经济福利转化阶段未能实现DEA有效。另外,浙江、山东、广东、安徽和湖北5个省份在第二阶段的效率值为1,实现了DEA有效,但第一阶段的效率值小于1,未能实现DEA有效。这表明这5个省份的生态效率偏低,但经济福利的转化相对较好。因此,这些地区应重点提高生态经济的转化效率,实行资源投入的开源节流、降本增效。

## 六、生态福利绩效的收敛性检验及空间相关性检验

上节已对我国四大地区30个省级行政单位的生态福利绩效进行了测度分析,重点是对各地区和两大时期的生态福利绩效进行静态对比和变化趋势分析。但各省份之间生态福利绩效的内部差距会随着时间的推移而消失吗?为解决这一问题,本文采用 $\sigma$ 收敛对全国以及东部、东北、中部和西部地区进行收敛性检验。

### (一) $\sigma$ 收敛检验

本文使用变异系数来检验生态福利绩效的 $\sigma$ 收敛特征。从图3可以看出,全国整体的变化趋势与西部地区极为相似,全国整体和西部地区在2014年达到观测期内最大值。东部地区观测期内的变异系数相对稳定;中部地区变异系数基本呈逐年增加的态势。从演变过程来看,除东北地区外,全国整体及东部、中部、西部地区的变异系数都在波动上升。中部地区



的变异系数上升最为明显，从 0.07 上升为 0.143，涨幅为 101.9%；其次是东部地区，涨幅为 16.8%；西部地区涨幅为 11.8%；东北地区的变异系数下降了 69.7%。由此可见，除东北地区外，东部、中部、西部以及全国整体生态福利绩效均不存在  $\sigma$  收敛，说明东部、中部、西部地区内部各省之间的生态福利绩效差距随着时间的变化而越来越大；中部地区内部差异较小，但差距增长幅度是最大的；东北地区变异系数最小，下降幅度最大，表明内部差异最小，生态福利绩效表现出了  $\sigma$  收敛。

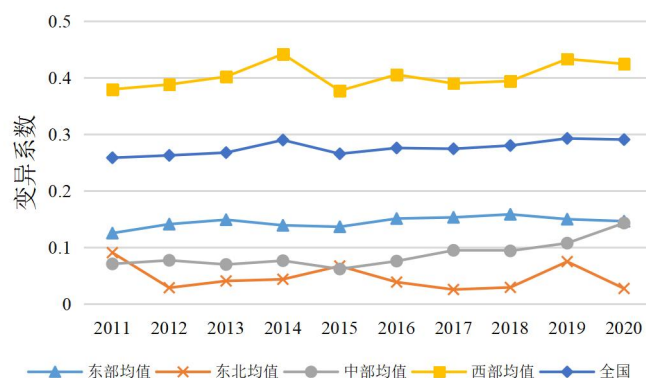


图 3 我国四大地区 2011—2020 年生态福利绩效变异系数演变趋势

## (二) 空间相关性检验

本文将 2011—2020 年 30 个研究区的生态福利绩效作为观测指标，应用 ArcGIS 和 GeoDa 软件进行空间相关性检验。

通过全局莫兰指数对 2011—2020 年 30 个省份的生态福利绩效水平集聚程度进行检验，结果如表 5 所示。除 2017 年通过 5% 水平下的显著性检验，其余年份均通过了 1% 水平下的显著性检验，说明在全国范围内生态福利绩效水平相似的地区存在着空间聚集的现象。

表 5 2011—2020 年生态福利绩效 Moran' s I 指数

Tab.1 Ecological Welfare Performance Moran's I 2011-2020

	Moran's I 指数	z 值		Moran's I 指数	z 值
2011	0.414***	3.759	2016	0.295***	2.718
2012	0.389***	3.537	2017	0.277**	2.571
2013	0.401***	3.635	2018	0.295***	2.715
2014	0.428***	3.941	2019	0.290***	2.671
2015	0.440***	3.920	2020	0.286***	2.629

注：\*\*、\*\*\* 分别表示在 5%、1% 的水平下显著。

另外，全局莫兰指数均为正值，意味着我国生态福利绩效水平高的省份趋于集中形成高一高值聚集区，生态福利绩效水平低的省份趋于集中形成低一低值聚集区。自 2011—2020 年，呈现出先增后减的趋势，2012—2015 年随着地区间交流日益密切，生态福利绩效的空间相关性逐渐加强，2015 年莫兰指数为 0.440，达到峰值。2018—2020 年中国经济的发展进入新常态，这一阶段的经济发展主要受到产业转型的推动。经济发展逐渐从过去的要素和投资驱动模式转向了创新驱动发展。各省产业结构的转变其生态福利绩效出现了分化现象。莫兰指数从 2011 年的 0.414 下降到 2020 年的 0.285，表明我国整体生态福利绩效水平空间自相关程度呈现出减弱的态势，聚集现象愈发不显著。

观测期内全局莫兰指数的显著证实了研究区内生态福利绩效水平存在空间相关性，为继续研究哪些省份存在空间聚集现象，需进行局部莫兰指数的计算。通过 Lisa 聚集图的生成，汇总了高一高值聚集区、高一低值离群区、低一低值聚集区和低一高值离群区的省份，如表 6 所示。

表 6 局部莫兰 Lisa 聚集图汇总

	HH	HL	LL	LH
2011	广西、湖南、湖北、江西、福建		甘肃、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江	
2012	广西、贵州、湖南、湖北、江西	甘肃	内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江	福建
2013	广西、云南、贵州、湖南、湖北、江西	甘肃	内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江	福建
2014	广西		甘肃、吉林、黑龙江	
2015	广西、贵州、湖南、江西		新疆、甘肃、内蒙古、黑龙江、吉林	福建
2016	广西	甘肃	内蒙古、黑龙江、吉林	
2017		甘肃	内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁	江苏
2018	广西	甘肃	黑龙江、吉林	
2019		甘肃	吉林	
2020	广西	甘肃	黑龙江、吉林	

广西、湖南、湖北、江西在 2011—2013 年位于高一高值聚集区，说明该四省自身生态福利绩效水平较高，且对周边省份的生态福利绩效水平的提高有一定的辐射带动作用。广西在 2011—2020 年中的大部分时间都位于高高值聚集区，说明其对周边省份具有较强和较稳定的辐射带动作用。内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江四省的生态福利绩效水平呈现低值聚集现象，说明我国东北部地区的生态福利绩效水平普遍偏低，绩效水平的还有待于提高。大多数年份甘肃自身的绩效水平相对较高，但周边省份的生态福利绩效水平较低，自身处于孤立无援地位，缺乏对邻近地区的辐射带动。2012 年、2013 年和 2015 年福建省毗邻高绩效水平省份，但自身生态福利绩效水平偏低，没有受到正向的辐射效应，关键在于加快学习邻近的高值区发展经验，充分发挥自身优势提高生态福利绩效水平。

## 七、结论及建议

### （一）结论

本文运用基于非期望产出的两阶段动态 SBM—DEA 模型测算我国 30 个省级行政单位 2011—2020 年的生态福利绩效，并运用经典收敛模型和空间自相关检验模型进行实证分析。主要结论如下：

（1）观测期内，我国生态福利绩效从 2011 年的 0.828 下降到 2020 年的 0.802。十年绩效均值为 0.815，说明整体上未能实现 DEA 有效。

（2）分阶段来看，观测期内经济福利转化阶段效率均值为 0.873，生态经济转化阶段效率均值为 0.758，说明我国经济—福利的转化效率优于生态消耗—经济增长的转化效率。

（3）分地区来看，生态福利绩效水平在空间上呈现“中强东次，西低，东北最弱”的格局。

（4）对全国以及四大地区进行  $\sigma$  收敛检验，发现只有东北地区的生态福利绩效表现出了  $\sigma$  收敛，全国及东部、中部和西部地区均不存在  $\sigma$  收敛。

（5）空间自相关检验结果显示，全局莫兰指数均为正值，且都通过了显著性检验。这表明，研究区内生态福利绩效水平相似的地区存在着空间聚集的现象，但全局莫兰指数呈下降趋势，这表明各省份的生态福利绩效水平趋于分散，绩效差距趋小。

（6）局部莫兰指数的计算结果表明，广西、湖南、湖北、江西对周边省份生态福利绩效水平的提高有一定的辐射带动作用，且广西壮族自治区的辐射带动作用最强最稳定。

### （二）政策建议

根据以上结论，本文提出以下政策建议。

（1）加强资源节约，提高生态资源利用效率。政府应该鼓励企业和个人节约用水、用电、用气等各种资源，推广低碳、环保、节能技术和产品，减少资源浪费，提高生态资源利

用效率。通过优化产业结构、调整能源结构、提高资源利用效率、发展循环经济等措施，减少对土地、水、能源等生态资源的过度开发和浪费，实现经济增长与生态消耗的相对脱钩或绝对脱钩。

(2) 加强生态环境保护和修复，提升生态系统服务功能。通过实施治理、保护、重点监管等措施，防治水污染、空气污染、土壤污染等突出环境问题，恢复退化生态系统，提升森林覆盖率、湿地面积等生态指标，增加单位生态资源的福利产出效率。

(3) 促进福利最大化转型。通过改善民生保障、扩大公共服务，增加绿色消费，保障公平正义等措施，提高人民群众的收入水平、健康水平、教育水平、文化水平等多方面的福利水平。

(4) 提高环保教育水平。政府应该加大对环保教育的投入力度，提高全民环保意识和素质，推动全社会形成良好的环保氛围。

(5) 完善可持续发展的政策体系和激励机制。规范和引导各类市场主体参与绿色转型发展。通过建立健全排污许可制度、碳排放交易制度、生态补偿制度等，激励各类市场主体减少生态资源消耗，提高生态福利绩效。

最后，笔者认为各省之间应该加强合作和交流，分享经验和技術，共同应对生态资源的消耗利用问题，实现地区可持续发展，乃至实现中华民族的永续发展。

## 参考文献

- [1] LIANG W, YANG M. Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China[J/OL]. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2019, 21: 1-9. DOI:10.1016/j.suscom.2018.11.007.
- [2] MARIKINA M. The Impact of Ecological Regulations and Management on National Competitiveness in the Balkan States[J/OL]. *Journal of Competitiveness*, 2018, 10: 120-135. DOI:10.7441/joc.2018.04.08.
- [3] LI Y, CHIU Y ho, LIN T Y. The Impact of Economic Growth and Air Pollution on Public Health in 31 Chinese Cities[J/OL]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(3): 393. DOI:10.3390/ijerph16030393.
- [4] 臧漫丹, 诸大建, 刘国平. 生态福利绩效:概念、内涵及 G20 实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(5): 118-124.
- [5] TONE K, TSUTSUI M. Network DEA: A slacks-based measure approach[J/OL]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 197(1): 243-252. DOI:10.1016/j.ejor.2008.05.027.
- [6] MIKI T, KAORU T. Malmquist Index in the Dynamic & Network DEA model[J]. *日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集*, 2013, 2013: 206-207.
- [7] HU M, PANG Y, JIN T, 等. Spatio-Temporal Evolution of EIWB and Influencing Factors: An Empirical Study from the Yangtze River Delta[J/OL]. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2021, 14(4): 999-1024. DOI:10.1007/s12061-021-09389-0.
- [8] DALY H E. Sustainable Development: From Concept and Theory to Operational Principles[J/OL]. *Population and Development Review*, 1990, 16: 25-43. DOI:10.2307/2808061.
- [9] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J/OL]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130. DOI:10.1177/095624789200400212.
- [10] VERHOFSTADT E, VAN OOTEGEM L, DEFLOOR B, 等. Linking individuals' ecological footprint to their subjective well-being[J/OL]. *Ecological Economics*, 2016, 127: 80-89. DOI:10.1016/j.ecolecon.2016.03.021.
- [11] 张彦博, YAN-BO Z, 李想, 等. 中国省级生态福利绩效的测度及其影响因素[EB/OL]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2022[2023-04-25]. <http://xuebao.neu.edu.cn/natural/article/2022/1005-3026/2022-2-289.htm>.
- [12] 诸大建, 张帅. 生态福利绩效与深化可持续发展的研究[J]. *同济大学学报(社会科学版)*, 2014, 25(5): 106-115.
- [13] NG Y K. Environmentally Responsible Happy Nation Index: Towards an Internationally Acceptable National Success Indicator[J/OL]. *Social Indicators Research*, 2008, 85(3): 425-446. DOI:10.1007/s11205-007-9135-1.
- [14] DIETZ T, ROSA E A, YORK R. Environmentally Efficient Well-Being: Rethinking Sustainability as the Relationship between Human Well-being and Environmental Impacts[J]. *Human Ecology Review*, 2009, 16(1): 114-123.
- [15] 肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 312-324.
- [16] 肖黎明, 肖沁霖. 黄河流域城市生态福利绩效格局分异及空间收敛分析[J/OL]. *软科学*,

2021, 35(2): 46-53. DOI:10.13956/j.ss.1001-8409.2021.02.08.

- [17] 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[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 132-143.
- [18] 龙亮军. 中国主要城市生态福利绩效评价研究——基于 PCA-DEA 方法和 Malmquist 指数的实证分析[J]. 经济问题探索, 2019(2): 69-79.
- [19] 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[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 595-605.
- [20] 东梅, 王妍瓔, 于松, 等. 生态福利绩效视角下西部地区高质量发展路径研究——基于两阶段 DEA 与 Tobit 模型 [J/OL]. 资源与产业, 2021, 23(5): 61-71. DOI:10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20211014.004.
- [21] 诸大建. 生态经济学: 可持续发展的经济学和管理学[J/OL]. 中国科学院院刊, 2008(6): 520-530. DOI:10.16418/j.issn.1000-3045.2008.06.010.
- [22] 徐显东, 元朋, 童临风. 中国省级地区生态福利绩效水平时空分异格局研究[J/OL]. 区域经济评论, 2017(4): 123-131. DOI:10.14017/j.cnki.2095-5766.2017.0134.
- [23] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J/OL]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444. DOI:10.1016/0377-2217(78)90138-8.
- [24] Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis | Management Science[EB/OL]. [2023-04-22]. <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.30.9.1078>.
- [25] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J/OL]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509. DOI:10.1016/S0377-2217(99)00407-5.
- [26] TONE K. A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis[J/OL]. European Journal of Operational Research, 2002, 143: 32-41. DOI:10.1016/S0377-2217(01)00324-1.
- [27] TONE K, TSUTSUI M. Dynamic DEA: A slacks-based measure approach[J/OL]. Omega, 2010, 38(3): 145-156. DOI:10.1016/j.omega.2009.07.003.
- [28] 龙亮军. 基于两阶段 Super-NSBM 模型的城市生态福利绩效评价研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 1-10.
- [29] 刘亦文, 文晓茜, 胡宗义. 中国污染物排放的地区差异及收敛性研究[J/OL]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(4): 78-94. DOI:10.13653/j.cnki.jqte.2016.04.006.
- [30] 梁红艳. 中国城市群生产性服务业分布动态、差异分解与收敛性[J/OL]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(12): 40-60. DOI:10.13653/j.cnki.jqte.2018.12.003.
- [31] 潘文卿. 中国区域经济差异与收敛[J]. 中国社会科学, 2010(1): 72-84+222-223.
- [32] 刘佳, 赵金金, 张广海. 中国旅游产业集聚与旅游经济增长关系的空间计量分析[J]. 经济地理, 2013, 33(4): 186-192.
- [33] 王宾, 于法稳. 长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究[J/OL]. 华东经济管理, 2019, 33(3): 58-63. DOI:10.19629/j.cnki.34-1014/f.180211002.
- [34] UNITED NATIONS. Human development report 1990. Published for the United Nations (New York) Development Programme[M]. Oxford New York, N.Y: Oxford Univ. Pr, 1990.
- [35] TONE K, TSUTSUI M. Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach[J/OL]. Omega, 2014, 42(1): 124-131. DOI:10.1016/j.omega.2013.04.002.