

# 黄河流域生态效率及其提升路径\*

## ——基于 100 个城市的实证研究

陈明华 王 山 刘文斐

**【摘 要】**文章构建非期望产出 SBM 模型,对 2004~2018 年黄河流域城市生态效率进行测度,在此基础上借助无效率分解和分位数回归方法考察生态效率的内在增长潜力和外部驱动因素,进而探寻可行的提升路径。研究发现:(1)观测期内黄河流域城市生态效率总体呈波动下降趋势,下游城市生态效率水平明显高于中、上游。(2)非期望产出冗余是阻碍生态效率提升的主要原因,且在中、上游尤其显著,通过废水废气减排来提高生态效率的潜力较大。(3)经济发展、产业结构、科技创新等对各地区生态效率的影响大小和方向存在显著差异。上游应充分发挥环境规制在生态效率提升中的重要作用;中游应积极推动产业结构“绿色升级”,加大基础设施建设力度;下游应充分发挥绿色金融效应对生态效率的提升作用。

**【关键词】**黄河流域 生态效率 非期望产出 SBM 模型 无效率分解 分位数回归

**【作 者】**陈明华 山东财经大学经济学院,教授;王 山 山东财经大学经济学院,硕士研究生;刘文斐 山东财经大学经济学院,硕士研究生。

### 一、引 言

黄河流域是中国重要的生态屏障,其生态状况关系着国家的生态安全。新中国成立以来,黄河流域的经济社会发展取得了巨大成就,但也存在着生态环境脆弱、水资源短缺、经济发展质量不高问题(陈世强等,2020)。黄河流域以能源重化工业为主的产业结构及不断增长的人口和城镇化率,导致流域内城市的生态环境承载压力日益加大。2014 年黄河流域 41.58% 的土地存在不同程度的水土流失现象;2017 年黄河流域煤炭消费量高达 18.17 亿吨(占全国消费总量的 41.90%),大规模的煤炭燃烧导致  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、

\* 本文为山东省社会科学规划研究项目“黄河流域生态效率评价及高质量发展路径研究”(批准号:20CJJJ29)的阶段性成果。

PM<sub>2.5</sub> 等大气污染物浓度超标;2018 年黄河流域 137 个水质断面中,劣 V 类水占 12.40%,远高于 6.7% 的全国平均水平,并且黄河流域水资源总量不足长江流域的 7%,人均占有量仅为全国平均水平的 1/4(金凤君等,2020)。可见,加强生态保护治理、不断提升生态效率已成为黄河流域可持续发展的必然选择。

生态效率最早由德国学者 Schaltegger 等(1990)提出,后经世界可持续发展理事会和经济发展合作组织进一步阐释并推广。生态效率是指以较小的资源投入,得到较大的经济产出,且使经济发展过程中产生的环境污染产出较小的生产过程,已成为分析经济可持续发展的重要工具(王胜鹏等,2020)。已有研究主要通过单一比值法、指标体系法和模型法对生态效率进行测度。其中,单一比值法不能有效区分不同环境对生态效率的影响,适合对单个项目和技术探讨(Quarriguasi 等,2009);指标体系法需要用权重表达,在加权过程中难以克服人为主观因素的影响(Van 等,2010)。而模型法中的数据包络分析(DEA)能够同时考虑多种投入与产出,并且无须设定生产函数的具体形式,具有较强的客观性,因而被广泛应用于生态效率测度研究。随着黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略,加强黄河流域生态环境保护成为学者们关注的重点。如刘华军、曲惠敏(2019)采用 Malmquist 生产率指数测度了黄河流域绿色全要素生产率,并从全国整体、区域比较、流域内部视角分别对绿色全要素生产率增长的空间格局、演进趋势和分布动态特征进行了考察。金凤君等(2020)分析了黄河流域产业发展对生态环境的胁迫特征,并提出相应的产业发展优化路径。马丽等(2020)从空间视角揭示了黄河流域矿产资源开发对生态环境的影响,有针对性地提出管控途径。刘华军等(2020)构建 MinDS 模型测度了黄河流域用水效率,并以全国、区域、流域内部为视角,分别刻画了黄河流域用水效率的空间格局及动态演进趋势。

虽然国内外学者围绕黄河流域的生态效率测度进行了大量有益探索,但仍有进一步拓展的空间:(1)已有研究主要从省级层面展开,基于城市层面的分析相对匮乏。(2)尽管少数研究测度了黄河流域生态效率水平,但尚未根据无效率来源识别其内在增长潜力。(3)大多研究未能深入探究不同地区生态效率的外部驱动因素,因而无法识别差异化的提升路径。鉴于此,本文构建非期望产出 SBM 模型对黄河流域城市生态效率进行测度,并借助无效率分解方法对投入、期望产出、非期望产出的无效率来源进行识别,以揭示黄河全流域及各地区生态效率提升的内在潜力,然后利用分位数回归方法,从外源视角考察不同地区不同水平下黄河流域城市生态效率的关键影响因素,进而探寻切实可行的生态效率协同提升路径。

## 二、研究方法 with 数据来源

本文首先借鉴 Tone(2001)的研究,假设黄河流域有  $I$  个决策单元(DMU),每个 DMU

对应  $N$  种投入  $x_n (n=1, 2, \dots, N)$ 、 $M$  种期望产出  $y_m (m=1, 2, \dots, M)$ 、 $K$  种非期望产出  $b_k (k=1, 2, \dots, K)$ ，将非期望产出 SBM 模型设定为：

$$\sigma = \min \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_n^x}{x_{in}}}{1 + \frac{1}{M+K} \left( \sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_{im}} + \sum_{k=1}^K \frac{s_k^b}{b_{ik}} \right)} \quad s.t. \quad \begin{cases} x_i = X\lambda + s^x \\ y_i = Y\lambda - s^y \\ b_i = B\lambda + s^b \\ \lambda, s^x, s^y, s^b \geq 0 \end{cases}$$

其中,  $\lambda$  表示决策单元的线性组合系数,  $(x_i, y_i, b_i)$  为第  $i$  个决策单元投入产出数据的真实值,  $(s^x, s^y, s^b)$  分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛值。 $\sigma$  为城市生态效率值, 其取值范围为  $0 \sim 1$ 。当  $\sigma=1$  时, 说明被评价 DMU 是有效率的; 当  $0 < \sigma < 1$  时, 说明被评价 DMU 存在效率改进空间, 可以通过优化投入产出配置提高城市生态效率。

本文再借鉴刘瑞翔、安同良(2012)的做法, 对生态无效率值进行计算, 具体公式为:

$$IE = \frac{1}{3} \max \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_n^x}{x_n^t} + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_m^t} + \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{s_k^b}{b_k^t} \right)$$

为了得到无效率的具体来源, 将无效率值分解为:  $IE = IE^x + IE^y + IE^b$ 。其中, 投入、期望产出、非期望产出的无效率值分别为:  $IE^x = \frac{1}{3N} \sum_{n=1}^N \frac{s_n^x}{x_n^t}$ ;  $IE^y = \frac{1}{3M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_m^t}$ ;  $IE^b = \frac{1}{3K} \sum_{k=1}^K \frac{s_k^b}{b_k^t}$ 。由于投入包括劳动(labour)、资本(capital)、能源(energy)、土地(land), 期望产出包括地区生产总值(GDP), 非期望产出包括工业二氧化硫( $SO_2$ )、工业废水(water)。因此可以进一步分解, 以得到导致生态无效率的详细信息, 即:  $IE = IE_{labour} + IE_{capital} + IE_{energy} + IE_{land} + IE_{GDP} + IE_{SO_2} + IE_{water}$ 。

出于数据可得性考虑, 本文剔除青海省海东市及各省(自治区)下辖的自治州, 选取 2004~2018 年黄河流域 9 省(自治区)100 个城市作为研究对象, 并将其划分为上、中、下游三大地区<sup>①</sup>。参考陈明华等(2018)的研究, 本文将投入、期望产出、非期望产出设定为: (1) 投入包括劳动、能源、土地、资本。其中, 劳动以个体从业人员、城镇私营与单位从业人员的汇总数据表示, 能源以全社会用电量近似表示, 土地以城市建成区面积

① 甘肃省: 兰州、嘉峪关、天水、定西、平凉、庆阳、张掖、武威、白银、酒泉、金昌、陇南。河南省: 三门峡、信阳、南阳、周口、商丘、安阳、平顶山、开封、新乡、洛阳、漯河、濮阳、焦作、许昌、郑州、驻马店、鹤壁。内蒙古自治区: 乌兰察布、乌海、包头、呼伦贝尔、呼和浩特、巴彦淖尔、赤峰、通辽、鄂尔多斯。宁夏回族自治区: 中卫、吴忠、固原、石嘴山、银川。青海省: 西宁。山东省: 东营、临沂、威海、德州、日照、枣庄、泰安、济南、济宁、淄博、滨州、潍坊、烟台、聊城、莱芜、菏泽、青岛。山西省: 临汾、吕梁、大同、太原、忻州、晋中、晋城、朔州、运城、长治、阳泉。陕西省: 咸阳、商洛、安康、宝鸡、延安、榆林、汉中、渭南、西安、铜川。四川省: 乐山、内江、南充、宜宾、巴中、广元、广安、德阳、成都、攀枝花、泸州、眉山、绵阳、自贡、资阳、达州、遂宁、雅安。上游: 青海省、甘肃省、宁夏回族自治区、四川省。中游: 内蒙古自治区、陕西省、山西省。下游: 河南省、山东省。

近似表示。资本通过永续盘存法(单豪杰,2008)估计得到,具体测算公式为: $K_{i,t}=(1-\delta_{i,t})K_{i,t-1}+I_{i,t}$ 、 $K_0=I_0/(g_i+\delta)$ 。其中, $K_{i,t}$ 和 $K_{i,t-1}$ 是*i*城市在*t*年和*t*-1年的资本存量, $I_{i,t}$ 是以不变价衡量的*i*城市在*t*年的全社会固定资产实际投资, $\delta_{i,t}$ 是*i*城市在*t*年的资本折旧率<sup>①</sup>, $K_0$ 是基期资本存量, $I_0$ 是基期全社会固定资产实际投资, $g_i$ 是全社会固定资产实际投资的5年几何平均增长率。(2)期望产出以2004年为基期经过平减处理得到的各城市GDP表示。(3)考虑到黄河流域目前比较严重的空气污染和水污染问题,非期望产出以工业二氧化硫和工业废水表示。上述数据来自《中国城市统计年鉴》及各城市统计公报,其中对于个别年份的缺失数据,通过几何增长率法和插值法进行补全。

### 三、黄河流域城市生态效率测度

本文根据全局基准技术设定生产前沿,通过构建非期望产出SBM模型测度2004~2018年黄河流域城市生态效率。从演变趋势图可以发现,全流域、上游、中游和下游地区的生态效率均在波动中有所降低。其中,下游地区的生态效率最高,这表明下游地区经济基础雄厚,科技创新能力强,能够为绿色生产提供物质基础和技术支持;同时其产业结构更为合理,在经济发展过程中对生态环境的破坏相对较小,故生态效率较高。上游地区的生态效率居中,这是因为上游地区经济基础相对薄弱,技术水平较为落后,且第二产业占比相对较高,故其生态效率低于下游地区。中游地区的生态效率最低,这是因为中游地区拥有丰富的煤、铁等自然资源,不仅自身形成了以资源密集型为主的产业结构,还成为其他地区高耗能、高污染产业转移的首要选择(金凤君等,2020)。在此影响下,中游地区经济增长所付出的资源环境代价相对较大,故其生态效率较低。

黄河流域上、中、下游地区的经济、自然条件不一,生态效率差异较大,因此本文从三大地区入手,对考察期内各城市的生态效率均值进行排名(见表1),从中可知,上游地区生态效率较高的城市主要来自四川省,较低的城市主要来自宁夏回族自治区。中游地区生态效率较高的城市主要来自内蒙古自治区和山西省,较低的城市主要来自山西省,说明山西省各城市间的生态效率绝对差异较大。下游地区生态效率较高的城市主要来自经济、技术相对发达的山东省,较低的城市主要来自河南省。

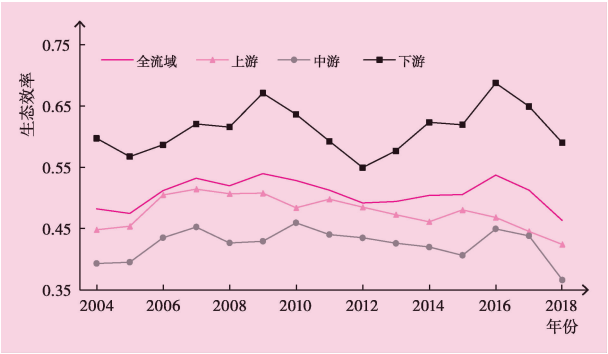


图 2004~2018 年黄河流域城市生态效率演变趋势

① 借鉴单豪杰(2008)的做法,本文将其设定为10.96%。



四、黄河流域城市生态无效率分解及内在增长潜力

(一) 生态无效率分解

本文测算了 2004~2018 年黄河流域城市生态无效率值,并对其相关来源进行了分解。从表 2、表 3 的结果可以发现,与期望产出相关的无效率均值为零<sup>①</sup>,这说明在黄河流域经济发展过程中,期望产出不足并不是导致生态无效率的主要原因。投入要素利用效率低对黄河流域城市生态效率的消极影响较大,且近年来呈现出一定的上升趋势,与其相关的无效率均值为 0.117。在投入的 4 项子要素中,资本使用不当导致的无效率最低,均值仅为 0.016;与能源投入相关的无效率最高,均值为 0.044;由劳动和土地投入带来的无效率相近,均值分别为 0.028 和 0.029。与投入和期望产出相比,因非期望产出导致的生态无效率相对较高,且近年来呈现明显的上升势头,均值为 0.183,约占生态无效率总量的 60.91%。其中,废气排放导致的生态无效率较废水更高,二者均值分别为 0.098 和 0.085。值得一提的是,能源效率低下和污染排放导致的生态无效率均值合计为 0.227,占生态无效率总量的 75.71%,这说明节能减排对于黄河流域生态保护和高质量发展具有重要意义。

从表 2、表 3 可以看出,下游地区的生态无效率均值为 0.235,上游和中游地区的生态无效率均值分别为 0.315 和 0.357。这说明与

表 1 2004~2018 年上中下游地区城市生态效率均值排名

上游	生态效率	中游	生态效率	下游	生态效率
前五名		前五名		前五名	
资阳	1	鄂尔多斯	0.967	周口	1
自贡	0.941	呼伦贝尔	0.569	东营	1
定西	0.932	吕梁	0.557	威海	1
德阳	0.910	临汾	0.510	济宁	0.940
巴中	0.893	汉中	0.509	淄博	0.829
后五名		后五名		后五名	
固原	0.197	忻州	0.304	安阳	0.384
石嘴山	0.187	铜川	0.277	新乡	0.383
中卫	0.185	阳泉	0.277	莱芜	0.368
银川	0.184	太原	0.269	焦作	0.362
嘉峪关	0.107	大同	0.250	鹤壁	0.341

注:由于篇幅限制,这里只列出前、后五名的城市。

表 2 2004~2018 年黄河全流域及上、中、下游地区生态无效率均值及来源分解

地区	总量	投入					期望产出	非期望产出		
		总体	资本	劳动	土地	能源		总体	废水	废气
全流域	0.300	0.117	0.016	0.028	0.029	0.044	0	0.183	0.085	0.098
上游	0.315	0.135	0.020	0.032	0.037	0.047	0	0.180	0.084	0.095
中游	0.357	0.136	0.020	0.036	0.033	0.048	0	0.221	0.093	0.128
下游	0.235	0.082	0.010	0.017	0.016	0.039	0	0.153	0.079	0.074

① 与王兵等(2010)的研究结果一致,即在资源环境约束下,GDP 生产没有出现无效率。

表 3 2004~2018 年黄河全流域及上、中、下游地区生态无效率来源分解的变化趋势

年份	资本	劳动	土地	能源	废水	废气	资本	劳动	土地	能源	废水	废气
全流域	上游											
2004	0.026	0.021	0.038	0.050	0.071	0.093	0.029	0.024	0.044	0.054	0.078	0.086
2005	0.026	0.029	0.031	0.047	0.072	0.097	0.027	0.031	0.036	0.050	0.080	0.094
2006	0.020	0.026	0.031	0.044	0.063	0.093	0.024	0.029	0.035	0.044	0.060	0.084
2007	0.020	0.025	0.030	0.039	0.064	0.092	0.023	0.027	0.039	0.041	0.064	0.080
2008	0.010	0.028	0.030	0.043	0.082	0.096	0.015	0.030	0.039	0.044	0.078	0.085
2009	0.008	0.029	0.029	0.041	0.080	0.090	0.011	0.033	0.038	0.044	0.078	0.087
2010	0.008	0.036	0.027	0.038	0.089	0.096	0.011	0.040	0.034	0.042	0.094	0.099
2011	0.019	0.025	0.024	0.042	0.094	0.109	0.021	0.027	0.032	0.043	0.096	0.102
2012	0.018	0.027	0.025	0.046	0.102	0.108	0.020	0.031	0.033	0.045	0.100	0.098
2013	0.012	0.032	0.029	0.043	0.104	0.104	0.017	0.033	0.038	0.045	0.098	0.099
2014	0.015	0.026	0.027	0.047	0.095	0.104	0.019	0.031	0.036	0.051	0.091	0.104
2015	0.017	0.025	0.027	0.045	0.095	0.105	0.020	0.029	0.037	0.048	0.090	0.103
2016	0.015	0.031	0.025	0.043	0.078	0.083	0.019	0.037	0.036	0.048	0.076	0.093
2017	0.015	0.035	0.026	0.043	0.080	0.090	0.019	0.041	0.037	0.049	0.077	0.098
2018	0.019	0.028	0.029	0.054	0.107	0.106	0.023	0.033	0.037	0.055	0.107	0.116
中游	下游											
2004	0.033	0.030	0.045	0.053	0.066	0.127	0.015	0.010	0.026	0.043	0.067	0.069
2005	0.033	0.036	0.036	0.050	0.066	0.128	0.018	0.020	0.021	0.042	0.069	0.073
2006	0.022	0.031	0.037	0.049	0.066	0.122	0.013	0.018	0.021	0.040	0.062	0.077
2007	0.021	0.035	0.034	0.041	0.065	0.126	0.015	0.013	0.019	0.034	0.062	0.076
2008	0.011	0.039	0.034	0.046	0.091	0.131	0.005	0.015	0.017	0.040	0.079	0.076
2009	0.009	0.042	0.036	0.043	0.097	0.127	0.003	0.014	0.014	0.037	0.068	0.061
2010	0.008	0.044	0.033	0.038	0.094	0.121	0.004	0.024	0.014	0.034	0.079	0.070
2011	0.022	0.033	0.026	0.043	0.100	0.140	0.014	0.015	0.013	0.041	0.087	0.089
2012	0.020	0.033	0.028	0.048	0.107	0.134	0.014	0.019	0.015	0.046	0.100	0.097
2013	0.013	0.038	0.034	0.044	0.114	0.133	0.005	0.023	0.017	0.039	0.102	0.084
2014	0.017	0.036	0.031	0.049	0.112	0.127	0.009	0.013	0.013	0.040	0.084	0.085
2015	0.022	0.032	0.032	0.049	0.112	0.138	0.010	0.015	0.013	0.040	0.084	0.080
2016	0.020	0.037	0.027	0.047	0.095	0.115	0.007	0.018	0.011	0.034	0.065	0.044
2017	0.019	0.042	0.027	0.047	0.092	0.117	0.006	0.022	0.013	0.034	0.073	0.058
2018	0.023	0.034	0.034	0.065	0.120	0.132	0.013	0.017	0.015	0.043	0.097	0.073

注：由于各年份中的黄河全流域及上、中、下游地区的期望产出(GDP)无效率值均为 0,故表中省略。

下游地区相比,上游和中游地区在经济发展过程中对资源利用的效率更低,对生态环境的破坏更大。此外,对全流域来说,非期望产出冗余是生态无效率的主要来源,且近年来均呈现一定的上升趋势。下游地区无论在投入还是非期望产出方面,其生态无效率均值均小于中游和上游。上游和中游地区的生态无效率均值差异较小,但其具体来源构成不

同:上游地区投入要素利用低效对生态效率的消极影响与中游地区相差不大,而中游地区非期望产出导致的环境污染对生态效率的消极影响明显大于上游地区。以上分析表明,下游地区在投入和非期望产出方面对生态效率的消极影响均小于中、上游地区,中游和上游地区的差距主要体现在非期望产出层面。

## (二) 内在增长潜力

由上述分析可知,资本、劳动、土地、能源、废水和废气均存在一定程度的无效率现象,这意味着可以从投入、非期望产出视角挖掘黄河流域生态效率的内在增长潜力。就全流域而言,由废气、废水、能源导致的无效率相对较高,并且均呈现出不同程度的上升趋势,因此总体生态效率的提升潜力主要在于降低废气、废水排放,提高能源利用效率。分上、中、下游地区而言,与废气、废水、能源相关的无效率均排在前三,这表明节能减排同时也是各区域生态效率提升的主要内在潜力。此外,下游地区与资本相关的无效率基本维持在较低水平,与土地相关的无效率总体具有下降趋势,与劳动相关的无效率近年来出现明显反弹,这表明降低劳动的无效率是进一步提升下游生态效率的重要潜力所在。中游地区与劳动相关的无效率显著高于上游和下游地区,与土地相关的无效率呈总体下降趋势,但其绝对水平仍然较高。因此,通过改善劳动、土地利用效率助力中游生态效率提升的潜力较大。上游地区与土地相关的无效率显著高于中游、下游地区,与劳动相关的无效率总体呈上升趋势,这意味着可以通过提高土地和劳动的利用效率来挖掘上游生态效率增长潜力。

# 五、黄河流域城市生态效率的外部驱动因素

## (一) 因素选择及模型构建

借鉴汪锋和解晋(2015)、任保平和吕春慧(2019)的研究,本文选择以下方面作为黄河流域城市生态效率的外部驱动因素:(1)经济发展。一方面,随着经济发展水平的提高,社会生产规模不断扩大,污染排放可能会随之增加,从而不利于生态效率的提高。另一方面,当经济发展到一定水平后,能够为节能减排和技术研发提供相应物质保障,从而有助于生态效率的提高。因此,经济发展对生态效率的影响不确定。(2)产业结构。由于第二产业主要以重化工业、建筑业等污染较为严重的生产部门为主,所以一般来说,第二产业比重越大,环境污染会越严重,生态效率也越低,故预期其影响为负。(3)科技创新。一方面,通常科研投入规模越大,越有助于推动科学创新和技术进步,进一步将先进科技与生产过程有机结合,减少经济活动中的资源浪费和环境破坏,最终提高生态效率。另一方面,根据偏向的不同,科技创新产生的新技术可分为生产技术和绿色技术两类,前者主要影响要素生产率,后者主要影响污染强度。如果科研投入更多地用于发展生产技术,会导致生产规模扩大而对污染排放表现出一定的促增效应,进而阻碍生态效

率提升。因此科技创新对生态效率的影响不确定。(4)金融发展。一方面,金融业的发展和金融资产总量的增加推动了实体经济的发展,尤其是促进了第二产业的壮大,但中国的节能减排技术还不发达,资源利用率低和污染排放增加的现象难以避免,因而不利于生态效率提升。另一方面,近年来兴起的绿色金融作为推动环境改善和资源节约的经济活动,向环保产业提供了大量资金支持,这既降低了废弃污染物等非期望产出,也增加了经济效益等期望产出。因此金融发展对生态效率的影响不确定。(5)基础设施。一般情况下,完善的基础设施能够缩短区域之间的地理、信息距离,降低区际联系成本,促进区际合作交流,从而提高生态效率。但是,基础设施对生态效率也具有一定的“挤出效应”,即随着基础设施的建设,交通、信息通达性的提高会直接促进制造业集聚,导致集聚地区的资源消耗量增多和环境压力增大,从而不利于生态效率提升。因此,基础设施对生态效率的影响不确定。(6)环境规制。根据“波特假说”,合理设置的环境规制能够减少环境投资的不确定性,刺激企业对环境技术改造和环境管理创新进行投资,催生“创新补偿”效应,从而使企业的经济绩效和环境绩效同时得到改进。故预期其影响为正。根据以上分析,本文构建回归模型为:

$$Y_{it,q} = \alpha_{i,q} + \beta_{1,q} PGDP_{it,q} + \beta_{2,q} IS_{it,q} + \beta_{3,q} S_{it,q} + \beta_{4,q} F_{it,q} + \beta_{5,q} IN_{it,q} + \beta_{6,q} ER_{it,q} + u_{it,q}$$

其中, $i$ 表示城市, $t$ 表示时间, $q$ 表示分位数, $\alpha$ 表示城市固定效应, $u$ 为残差项, $Y$ 为生态效率。 $PGDP$ 为经济发展,以2004年为基期平减处理的人均地区生产总值表示。 $IS$ 为产业结构,以第二产业产值占地区生产总值的比重表示。 $S$ 为科技创新,以科学技术支出占地区生产总值的比重表示。 $F$ 为金融发展,以存贷款规模占地区生产总值的比重近似表示。 $IN$ 为基础设施,以移动电话用户数近似表示。 $ER$ 为环境规制,以一般工业固体废物综合利用效率近似表示。以上数据来自《中国城市统计年鉴》和各城市统计公报。

### (二) 回归结果分析

由于分位数回归可以得到不同生态效率水平下解释变量对被解释变量更详细的估计结果,且不易受极端值的影响,故本文运用分位数回归方法识别在25%、50%、75%分位点处各影响因素的作用大小和方向,具体结果如表4所示。

#### 1. 经济发展

就黄河全流域、上游和下游地区而言,经济发展对生态效率具有正向影响。一方面,经济发展能够推动社会转型,提高消费者对环境质量的诉求,对居民的低碳消费行为、政府的环境规制行为、企业的绿色生产行为产生积极影响,从而有利于节能减排和生态效率提升。另一方面,经济发展本身具有一定程度的正外部性,即可以通过资源配置、技术共享、集聚效应等途径减少环境污染,从而提高生态效率。就中游地区而言,25%分位点通过显著性水平检验,且影响系数为负,这表明中游地区的低生态效率城市可能仍处于城市化和工业化加速推进阶段,经济发展水平相对较低,传统高投入、高能耗、高污染



表 4 黄河全流域及上、中、下游地区的分位数回归结果

变 量	25%	50%	75%	25%	50%	75%
全流域				上游		
经济发展	0.346 (1.04)	2.141*** (3.59)	2.961*** (7.94)	0.975 (1.23)	0.104 (0.14)	0.065 (0.06)
产业结构	-0.198*** (-3.03)	-0.308*** (-6.30)	-0.438*** (-4.74)	-0.195** (-2.48)	-0.298*** (-3.81)	-0.755*** (-3.67)
科技创新	0.058** (2.11)	0.074*** (2.62)	0.119** (2.06)	-0.072 (-1.55)	0.014 (0.18)	0.090 (0.94)
金融发展	-0.073*** (-15.11)	-0.074*** (-9.30)	-0.086*** (-14.27)	-0.084*** (-5.75)	-0.072*** (-7.17)	-0.142*** (-6.56)
基础设施	1.154*** (3.96)	0.250 (0.87)	-0.567 (-0.79)	2.907*** (6.39)	1.580*** (2.98)	0.236 (0.16)
环境规制	0.001*** (5.25)	0.001*** (9.35)	0.003*** (10.88)	0.002*** (3.04)	0.001* (1.88)	0.004*** (3.20)
常数项	0.506*** (11.87)	0.572*** (17.37)	0.715*** (13.35)	0.401*** (8.18)	0.602*** (9.05)	1.036*** (6.41)
样本数	1500	1500	1500	540	540	540
中游				下游		
经济发展	-0.421** (-2.12)	0.629 (0.99)	3.140*** (4.71)	3.749*** (12.16)	3.905*** (9.07)	4.910*** (4.62)
产业结构	-0.216*** (-4.04)	-0.159*** (-2.79)	0.042 (0.65)	-0.527*** (-4.91)	-0.337*** (-3.12)	-0.707*** (-2.65)
科技创新	0.094*** (9.97)	0.084*** (3.55)	0.093 (0.83)	-0.037 (-1.19)	-0.022 (-0.44)	-0.112 (-1.19)
金融发展	-0.064*** (-9.93)	-0.044*** (-7.77)	-0.056*** (-6.27)	-0.104*** (-6.26)	-0.123*** (-4.64)	-0.111* (-1.73)
基础设施	0.558*** (5.08)	-0.142 (-0.52)	-0.688*** (-2.96)	0.868*** (2.73)	0.629 (0.91)	2.475 (1.08)
环境规制	0.000 (0.23)	0.000 (1.57)	0.001** (2.52)	0.001 (1.49)	0.001 (0.91)	0.001 (0.51)
常数项	0.562*** (13.54)	0.532*** (16.89)	0.467*** (11.55)	0.684*** (7.41)	0.713*** (6.75)	0.956*** (3.09)
样本数	450	450	450	510	510	510

注:括号内数据为 t 值;\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%显著性水平上显著。

的发展模式短期内难以转变,经济发展对生态效率的提升没有起到应有的促进作用。

2. 产业结构

就黄河全流域而言,产业结构在各分位点处的影响系数均显著为负,说明以第二产业为主导的产业结构对生态效率的提升具有抑制作用。同样,上、中、下游地区的产业结构也不利于生态效率的提高。这是因为包括工业(尤其是重化工业)、建筑业等在内的第二产业通常具有高投入、高能耗、高污染特征,黄河流

域以第二产业为主导的产业结构往往会造成资源消耗的过度增加和环境污染的加剧,不利于生态效率的提高。

3. 科技创新

就黄河全流域和中游地区而言,科技创新对生态效率具有正向影响,且通过显著性

水平检验(中游 75%分位点除外)。通常,随着企业自主研发能力的增强,以及先进生产设备、管理经验的引进,其科技创新水平会不断提高,尤其是随着清洁生产技术的进步,经济活动中的资源浪费和环境污染现象可以得到有效控制,故有助于生态效率的提高。就上游地区而言,科技创新在 50%和 75%分位点处的影响没有通过显著性检验,说明对于上游地区的中、高生态效率城市来说,科技创新水平的提升对生态效率的促进作用并不明显。就下游地区而言,科技创新的影响系数不显著。可能的解释是下游地区城市的科研投入更多地用于发展生产技术而非绿色技术,导致生产规模扩大而对污染排放表现出一定的促增效应,没有发挥出科技创新对生态效率提升的促进作用。

#### 4. 金融发展

就黄河全流域而言,金融发展在各分位点处的影响系数均显著为负,说明金融发展对生态效率的提升具有抑制作用。上、中、下游地区的金融发展同样不利于生态效率的提高。一方面,在西部大开发、中部地区崛起等发展战略稳步推进的背景下,近年来黄河流域第二产业尤其是能源、原材料工业发展迅速,在资本逐利性的驱使下,金融资本大量流入上述产业。因此,随着第二产业规模的扩大,资源消耗和污染排放逐渐增加,生态效率会趋于下降。另一方面,由于绿色金融对排污治理的投入相对有限,尚未起到有效治理作用,加之治污本身可能就是一种效率的损失,更多的资金投入可能意味着更大规模的效率损失,因而当前的金融发展水平并未发挥出对于生态效率提升的促进作用。

#### 5. 基础设施

就上游和下游地区而言,基础设施对生态效率有正向影响。一方面,完善的基础设施可以使企业间、区域间联系更加便捷,有利于知识技术扩散,尤其是在资源利用及污染治理方面实现信息、技术共享,从而提高资源利用和排污治理效率。另一方面,完善的基础设施能够缩短区域间地理、信息距离,降低区际联系成本和信息不对称程度,这有利于促进要素流动,提高资源配置效率,最终提高生态效率。就全流域而言,基础设施在 25%分位点处的影响系数显著为正,说明基础设施的完善对低生态效率城市具有显著促进作用。在 50%和 75%分位点处,基础设施对中等生态效率城市的影响不显著。就中游地区而言,基础设施在 25%分位点处的影响系数显著为正,说明基础设施的完善对低生态效率城市具有显著促进作用。在 75%分位点处,基础设施对中等和高生态效率城市具有阻碍作用。

#### 6. 环境规制

就黄河全流域和上游地区而言,环境规制对生态效率具有正向影响,且通过显著性检验。一方面,立足于资源环境约束日趋紧张的现实,中央政府开始将科学发展和生态

文明作为地方政府官员政绩考核的重要方面,这导致地方政府高度重视环境规制的制定与实施,并加大生态保护和环境治理投入,从而促进生态效率改善。另一方面,根据“波特假说”,合理设置的环境规制能够通过刺激企业增加与清洁生产相关的创新投入来催生“创新补偿”效应,这不仅能使企业提高经济绩效,同时可以改进其环境绩效,有助于生态效率的提升。就中游和下游地区而言,环境规制对生态效率正向影响普遍不显著(仅中游75%分位点处显著),这说明当前中游和下游地区的环境规制政策对于生态效率的促进作用还不明显,未来应继续加大环境规制力度。

## 六、研究结论与提升路径选择

### (一) 研究结论

第一,考察期内黄河流域的生态效率在波动中略微降低,提升空间较大。对于上中下游地区来说,下游地区的生态效率最高,上游地区次之,中游地区最低。其中,生态效率较高的城市主要来自四川省、内蒙古自治区、山东省,生态效率较低的城市主要来自宁夏回族自治区、山西省、河南省。

第二,考察期内各要素对黄河流域生态效率的影响顺序为“非期望产出>投入>期望产出”。非期望产出冗余是阻碍生态效率提升的主要原因,意味着生态效率的增长潜力主要在于减少废气废水排放。与能源相关的无效率较高,表明可以采取提高能效、节约能耗的方式挖掘增长潜力。期望产出不足导致的无效率为零,说明通过增加GDP来提高生态效率的潜力有限。分上、中、下游地区而言,与废气、废水、能源相关的无效率较高,表明节能减排对于各区域生态效率提升具有重要意义。除此之外,下游地区通过改善劳动利用效率助力生态效率提升的潜力较大,中游和上游地区降低土地和劳动的无效率是进一步提升生态效率的重要潜力所在。

第三,就黄河全流域而言,经济发展对中、高水平城市的生态效率具有正向影响,科技创新和环境规制能够有效促进低、中、高水平城市的生态效率提升,基础设施有助于低水平城市的生态效率改善,而产业结构和金融发展对低、中、高水平城市的生态效率均具有抑制作用。分上、中、下游地区而言,经济发展有助于中游地区的高水平城市生态效率提升,而不利于中游地区的低水平城市生态效率改善,但对下游地区的低、中、高水平城市生态效率均具有促进作用。科技创新对中游地区的低、中水平城市生态效率具有正向影响。环境规制对上游地区的低、中、高水平城市和中游地区的高水平城市生态效率具有促进作用。基础设施完善有助于上游地区的低、中水平城市生态效率提升,同时对中游和上游地区的低水平城市生态效率具有促进作用。产业结构和金融发展对上中下游地区的低、中、高水平城市生态效率均有负向影响。

## （二）路径选择

### 1. 基于内在增长潜力的路径选择

就黄河全流域而言,提高能源利用效率和推进废弃污染物减排是生态效率提升的主要突破口。一方面,优化产业结构,降低第二产业比重,提高第三产业比重来达到减少废弃污染物排放的主要来源目的;通过加强清洁生产技术创新、建设废水废气处理循环系统等以减少污染排放。另一方面,加快能源消费结构的绿色调整,推动可再生能源和清洁能源替代以煤炭为主的传统化石能源,在提高能源利用效率的基础上促进生态效率提升。

分上、中、下游地区而言,在做好能效改进和污染物减排工作之余,应重点通过改善劳动利用效率来提升生态效率。例如可以在提高劳动力素质的同时注重配置的合理化,促进劳动力在城市、行业、企业之间自由流动,从而充分释放人力资本红利。此外,上游和中游地区还面临土地资源冗余问题,因而应扎实推进工农业土地集约高效利用,增加林地、湿地等生态用地比重,以期在提高土地利用效率的基础上提升生态效率。

### 2. 基于外部驱动因素的路径选择

从黄河全流域看,低生态效率城市应继续加快经济发展步伐,为节能减排和绿色技术研发提供物质保障。中等生态效率城市应加大基础设施建设力度,发挥基础设施在优化资源配置和促进信息共享等方面的积极作用。高生态效率城市应注重加强科技创新,促进清洁生产技术、污染处理技术和新材料、新能源等的研发,以期更好地发挥技术进步的关键作用。

上游地区作为重要的生态屏障,经济社会发展过程必须高度重视生态环境保护问题,低、中、高生态效率城市应充分发挥环境规制对于生态效率提升的重要作用。一方面,进一步深化环境规制改革,激发“波特假说”中的“创新补偿”效应,即通过加强环境规制倒逼企业进行生产科技创新,从而实现末端治理向清洁生产的转变,从源头上减少污染排放。另一方面,转变政府绩效考核方式,将科学发展和生态文明纳入政府官员政绩考核中,从而倒逼地方政府推动以科技创新为核心的去污模式。

就中游地区而言,低、中生态效率城市应积极推动环境友好型产业发展,促进产业结构“绿色”升级。一方面,引导社会资源合理有序地向高端装备制造、生物医药等高效率、低污染的环境友好型产业部门流动,提高第三产业在国民经济中的比重。另一方面,优化第二产业内部结构,推动传统产业转型升级,改变第二产业高投入、低效率、污染严重的粗放经营模式。高生态效率城市要注意警惕基础设施建设带来的制造业集聚现象,以及由此对生态效率造成的“挤出效应”。应继续加大基建力度,为专业化生产和地域分工奠定基础。



下游地区经济发展强劲、金融机构集聚,因而应充分发挥绿色金融对生态效率低、中、高水平城市的带动作用。一方面,主动探索并提供多样化的绿色金融产品,借助金融资本的配置效应向生产率高的地区和行业提供资金支持,推动其技术进步和管理水平提升;另一方面,发挥金融体系对高污染、高排放企业的监督效应,通过其“大贷款人”的监督地位,促使企业将精力用于生产经营,进而提高资本等投入要素的利用效率。

# 参考文献:

1. 陈明华等(2018):《长江经济带全要素生产率增长的地区差异及影响因素》,《经济社会体制比较》,第2期。
2. 陈世强等(2020):《黄河流域雾霾污染空间溢出效应与影响因素》,《经济地理》,第5期。
3. 金凤君等(2020):《黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别》,《资源科学》,第1期。
4. 刘瑞翔、安同良(2012):《资源环境约束下中国经济增长绩效变化趋势与因素分析——基于一种新型生产率指数构建与分解方法的研究》,《经济研究》,第11期。
5. 刘华军、曲惠敏(2019):《黄河流域绿色全要素生产率增长的空间格局及动态演进》,《中国人口科学》,第6期。
6. 刘华军等(2020):《黄河流域用水效率的空间格局及动态演进》,《资源科学》,第1期。
7. 马丽等(2020):《黄河流域矿产资源开发的生态环境影响与空间管控路径》,《资源科学》,第1期。
8. 任保平、吕春慧(2019):《中国生态环境质量的变动态势及其空间分布格局》,《经济与管理评论》,第3期。
9. 单豪杰(2008):《中国资本存量K的再估算:1952~2006年》,《数量经济技术经济研究》,第10期。
10. 王兵等(2010):《中国区域环境效率与环境全要素生产率增长》,《经济研究》,第5期。
11. 汪锋、解晋(2015):《中国分省绿色全要素生产率增长率研究》,《中国人口科学》,第2期。
12. 王胜鹏等(2020):《黄河流域旅游生态效率时空演化及其与旅游经济互动响应》,《经济地理》,第5期。
13. Quarriguasi F.N.J., Walther G., Bloemhof J., van Nunen J.A.E.E, Spengler T. (2009), A Methodology for Assessing Eco-efficiency in Logistics Network. *European Journal of Operational Research*. 193(3):670-682.
14. Schaltegger S., Sturm A. (1990), Ökologische Rationalität. Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten. *Die Unternehmung*. 4(4):273-290.
15. Tone K. (2001), A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*. 130(3):498-509.
16. Van Caneghem J., Block C., Cramm P., Mortier R., Vandecsteel C. (2010), Improving-efficiency in the Steel Industry: The ArcelorMittal Gent Case. *Journal of Cleaner Production*. 18(8):807-817.

(责任编辑:朱 犁)