

“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率评价及影响因素分析*

张文博，邓玲，尹传斌

(四川大学经济学院，成都 610064)

摘要：城市是绿色“一带一路”建设的重要支撑和节点，研究城市的绿色经济效率对绿色“一带一路”建设具有重要意义。本文将“一带一路”重点开放城市和沿线省区的省会城市作为研究对象，运用基于非期望产出的DEA-SBM模型测算其绿色经济效率。研究发现“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率较高，2005-2015年间绿色经济效率呈缓慢下降趋势，各城市的绿色经济效率存在显著的差异，海上丝绸之路节点城市的绿色经济效率最优，丝绸之路经济带节点城市次之，内陆开放型城市最低。用Tobit模型对绿色经济效率的影响因素分析表明，绿色经济效率与城市规模呈倒U型关系，第二产业比重对城市绿色经济效率具有显著的负向作用，城市经济发展水平和利用外资水平对城市绿色经济效率具有显著的正向作用。

关键词：一带一路；绿色经济效率；DEA-SBM

一、引言及文献综述

“一带一路”战略是国家构建全方位开放新格局、深度融入世界经济体系的重大战略，也是加强沿线国家互利合作，促进地区稳定和发展的的重要举措。推进绿色“一带一路”建设既是中国参与全球环境治理的着力点，也是顺应和引领绿色、低碳、循环发展国际潮流的必然选择。为此，国家先后出台了《关于推进绿色“一带一路”建设的指导意见》和《“一带一路”生态环境保护合作规划》等文件，将绿色发展作为“一带一路”建设核心理念和重要任务。城市作为“一带一路”建设的节点和重要支撑，既面临着生态环境恶化、城市病问题集中爆发的严峻形势，也承担着促进环保产业发展，推动产业生态化转型的重担。了解和掌握“一带一路”城市绿色发展的现状，明确主要影响因素，对因地制宜的推进绿色“一带一路”建设具有重要的现实意义。目前对绿色“一带一路”建设的研究多集中于省域层面和政策领域，城市层面的研究和定量分析较少。因此，本文将基于非期望产出的DEA-SBM模型引入“一带一路”主要节点城市的研究，通过绿色经济效率进行评价和影响因素分析，更加客观准确地评价其绿色发展水平、衡量城市发展中的资源环境代价，以期

能为相关政策制定提供一定的借鉴。

目前对绿色“一带一路”建设的研究还处于起步阶段，研究对象多集中于省域层面和政策领域，薛志华(2016)、谢然(2017)分别对绿色“一带一路”建设的依托因素、挑战与对策进行分析^[1-2]，朱源，施国庆(2017)等提出了推动绿色“一带一路”建设的环境社会政策框架^[3]，岳武、杜莉(2017)研究了对外投资对低碳经济发展的影响，并提出“一带一路”战略下促进低碳经济发展的投资引导策略^[4]。对“一带一路”节点城市的研究主要聚焦于产业发展和城市竞争力，较少涉及城市绿色发展和绿色转型问题。汤凯、许锦锦(2016)对“一带一路”节点城市竞争力进行评价^[5]，赵菁奇，李本和运用总量指标、相对指标和灰色关联方法对“一带一路”沿线西北五省的科技创新绩效进行研究^[6]，周欢，马乃毅(2016)测度了“一带一路”沿线中国西北地区城市的综合协调发展度^[7]，刘艳，曹伟等(2016)对“一带一路”内陆节点城市物流业竞争力进行评价^[8]，上述研究更加侧重城市的经济发展能力评价，对城市发展中的资源环境因素考虑较为欠缺。从评价方法来看，汤凯、许锦锦(2016)通过构建竞争力评价指标体系，采用非线性加权综合的方法进行测

作者简介：张文博(1987-)，男，四川大学经济学院，博士研究生，研究方向：城市绿色发展、资源环境经济与政策；邓玲(1945-)，女，四川大学经济学院教授、博士生导师，研究方向：区域经济政策、资源环境经济与政策；尹传斌(1989-)，四川大学经济学院，博士研究生，研究方向：可持续发展理论与实践。

* 基金项目：国家社科基金重点项目“城市生态文明协同创新体系研究”(13AZD076)，主持人：邓玲。

算^[6]，周欢，马乃毅（2016）运用了改进的熵权法进行评价^[7]，在指标权重的确定上具有一定的主观性。现有对城市效率评价的研究多采用数据包络分析法（DEA），由于 DEA 方法属于非参数方法，无需构建生产函数和确定指标权重，评价的结果更具客观性，尤其适用于城市这类复杂系统的评价和分析。王家庭（2012）、李艳军（2014）、卢丽文（2016）等都运用 DEA 方法对全国城市的绿色效率进行测度^[9-11]。但以“一带一路”城市为对象的研究较少，目前仅有程广斌、龙文（2017）运用超效率 DEA 模型对“丝绸之路经济带”城市的资源环境效率进行了评价^[12]，但该研究在投入要素方面仅考虑资源环境因素，与综合考虑资本、劳动力和资源环境等因素的绿色经济效率相比具有一定的片面性。

综合现有研究，本文将考虑环境污染等非期望产出的城市经济效率定义为城市的绿色经济效率，选择资本、劳动力的投入和资源消耗作为投入指标，选择环境污染作为非期望产出指标，运用基于非期望产出的 SBM-DEA 模型进行评价，以期能够更客观的评价城市绿色发展的水平。同时，本文运用 Tobit 模型考察城市的人口规模、产业结构、经济发展水平、对外开放程度等因素对城市绿色效率的影响，进而为绿色“一带一路”建设提供参考和政策建议。

二、研究对象和数据来源

根据国家发改委、外交部和商务部发布的《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》对“一带一路”战略的表述，“一带一路”共确定了对 18 个重点开放省（自治区和直辖市）、15 个沿海开放城市和 5 个内陆开放型城市。考虑到在重点开放省区有超过半数位于西北、西南和东北地区，省会城市在这些省区具有较高的首位度，是各省的省经济、政治和对外开放的中心，本文认为除了国家“一带一路”确定的对外开放城市外，重点开放省（自治区）的省会城市也是“一带一路”战略的重要节点。综上，本文共确定研究样本 36 个，包含 16 个沿海开放城市、5 个内陆开放型城市和 14 个省会城市（广州、福州、海口已列入沿海开放型城市，拉萨由于数据缺失较多，不作为研究对象），北京在“一带一路”战略中的定位为“建设向北开放的重要窗口”，作为丝绸之路经济带的重要节点城市。数据来源于 2006—2016 年《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》以及各省、市统计年鉴，其中个别城市某年份的数据缺失，采用滑动平均

和指数平滑进行补全^①。

三、研究方法和变量选择

（一）研究方法

Tone（2001）提出了 SBM（slack based measure）模型，将松弛变量加入 DEA 模型，解决了投入产出的松弛性问题^[13]。同时 SBM 模型非角度和非径向的特点也避免了角度和径向选择中带来的偏差。基于非期望产出的 DEA-SBM 模型（DEA-Undesirable）是在 SBM 模型基础上提出的，将产出区分为期望和非期望产出，为解决非期望产出问题提供了有效的方法。因此，本文将考虑了资源投入和环境污染产出的城市经济效率定义为城市的绿色效率，运用基于非期望产出的 DEA-SBM 模型进行测算。

模型假设有 n 个 DMUs（决策单元），每一个决策单元有投入、期望产出和非期望产出三种要素，分别定义为 $x \in R^m$ ， $y^g \in R^{s_1}$ ， $y^b \in R^{s_2}$ 。定义三个向量 X ， Y^g 和 Y^b 如下： $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$ ， $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$ ， $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$ ，并假设 $X > 0$ ， $Y^b > 0$ ， $Y^g > 0$ 。

生产可能性集定义为：

$$P = \{ (x, y^g, y^b) \mid x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda \geq 0 \}$$

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{s_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

S. t.

$$x_0 = X\lambda + s^-$$

$$y_0^g = Y^g\lambda - s^g$$

$$y_0^b = Y^b\lambda + s^b$$

$$s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0$$

其中， s 表示投入、产出的松弛量； λ 是权重向量。目标函数 ρ^* 是关于 s^- ， s^g ， s^b 严格递减的，并且 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。对于特定的被评价单元，当且仅当 $\rho^* = 1$ ，即 $s^- = 0$ ， $s^g = 0$ ， $s^b = 0$ 时是有效率的。

（二）指标体系构建和变量选择

在新经济增长模型中，经济产出量是物质资本，劳动力、人力资本和技术水平的函数，因此，本文将资本、劳动力作为衡量城市经济效率的投入要素。考虑到当前城镇化进程中日益突出的土地资源、水资源和能源供给问题，本文还加入了土地、水、能源三个

① 缺失的数据为 2012 到 2015 年银川市辖区全社会用电量，2014、2015 年湛江市市辖区全社会用电量，2015 年武汉市城市供水总量，2015 重庆、成都年末从业人数。

资源投入要素。在资本投入指标的选择上,目前许多学者选择永续盘存法对资本存量进行估算,但该方法在基年资本存量和折旧的估算上差异较大,而且资本存量的估算多集中在省级层面,对城市的资本存量尚未有一个较为合理可利用的指标^[14]。由于数据包络方法计算的是相对效率,只要保证数据的相对一致性,就可以保证评价结果的准确性,因此本文直接选择各地区的固定资产投资总额反映资本要素的投入。在劳动力投入指标的选择上,本文采用目前选择较多的“年末从业人口”作为投入指标。在资源投入指标选择上,本文选择城市供水总量和全社会用电量衡量城市水资源和能源的投入,考虑的土地资源的投入应以现状为主,所以选用城市建成区土地面积反映了土地资源投入指标。

在产出指标的选择方面,期望产出一方面要考虑经济的增长,另一方面要考虑城市居民生活水平的增长,故本文用城市的GDP来反映城市的经济增长状况,考虑到社会福利水平的衡量的标准较为多样,本文选择城市社会消费品零售总额来反映城市居民的消费能力,从侧面评价城市居民的物质福利水平。非期望产出主要考虑城市发展造成的环境污染状况,本文选择工业废水、二氧化硫(SO₂)、烟(粉)尘三项指标反映城市的环境状况。

四、评价结果分析

本文基于“一带一路”36个主要节点城市2005-2015年的面板数据,采用基于非期望产出的DEA-SBM模型对“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率进行测算。同时,还采用传统DEA模型对不考虑非期望产出的城市经济效率进行测算,作为绿色经济效率的对比。

(一) 总体评价结果

总体来看,“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率和传统经济效率都处于较高水平,其中传统经济效率的均值达到0.955,已经十分接近生产前沿面。考虑资源环境等非期望产出后,测算的绿色效率均值为0.7813,效率值下降了17%,说明城市发展中付出了较大的资源环境代价,也说明考虑资源环境因素的城市绿色经济效率能够更加准确的反映城市发展中的真实成本,运用基于非期望产出的DEA-SBM模型对城市效率的评价结果更接近实际。

“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率的均值达到0.7813,2005年到2015年各年的平均值也都在0.75以上,虽然低于传统效率,但是仍然是较高的分值。从处于生产前沿面的城市个数来看,有9个城市在2005-2015年间的绿色经济效率为1,在评价时期内均处于生产前沿面上。2005、2006年处于生产前沿面的城市个数超过了60%,2008、2009、2013、2014、2015年处于生产前沿面的城市个数在50%以上,2007、2010、2011、2012年处于生产前沿面的城市也在40%以上。说明“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率较高,城市的绿色发展水平和可持续发展能力较强,这主要是由于“一带一路”主要节点城市都是直辖市、省会城市和沿海城市,城市的规模较大、在城镇体系中所处的能级较高,是最具竞争力和绿色发展潜力的城市,具有较强的集聚效应和规模效益。综上,“一带一路”主要节点城市具有较高的资源利用效率、环境污染的防治水平,有良好的绿色发展基础和条件,对绿色“一带一路”建设的支撑作用十分突出。因此,绿色“一带一路”建设要将主要节点城市作为关键和突破口,充分发挥主要节点城市的引领和支撑作用。

表1 “一带一路”节点城市绿色经济效率

年份	绿色效率均值	传统效率均值	处于生产前沿面的城市个数 (绿色经济效率=1)	占城市总数的比例
2005	0.8323	0.9555	23	63.89%
2006	0.8235	0.9444	22	61.11%
2007	0.7793	0.9298	17	47.22%
2008	0.7814	0.9324	18	50.00%
2009	0.7882	0.9344	18	50.00%
2010	0.7760	0.9010	17	47.22%
2011	0.7547	0.9365	16	44.44%
2012	0.7287	0.9121	15	41.67%
2013	0.7764	0.8998	19	52.78%
2014	0.7721	0.9020	19	52.78%

2015	0.7601	0.8894	18	50.00%
总计	0.7813	0.9555	9	25.00%

(二) 变化趋势分析

从变化趋势来看,“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率总体呈下降趋势,2005年的绿色经济效率最高,此后逐年下降,2012年绿色经济效率均值为0.7287,比2005年下降了12.5%,2015年绿色经济效率值为0.7601,较2005年下降了8.7%。总体来看,除了2013年有所提升外,其余各年“一带一路”主要节点城市的绿色效率均呈下降趋势,说明随着经济的增长和城市规模的扩大,“一带一路”主要节点城市的资源消耗也不断增大,对生态环境的压力也不断加大,城市发展和生态系统之间的矛盾进一步加剧,现有的发展模式难以实现城市的绿色经济效率的稳定提升,城市发展模式绿色转型迫在眉睫。

2013年绿色经济效率均值有所提升,较2012年提高了6.1%。综合现有文献和统计数据,本文认为2013年的城市绿色效率的提升得益于生态文明战略的提出和推进。2012年末党的十八大首次将生态文明建设纳入五位一体总体布局,2013年党的十八届三中全会进一步提出“深化生态文明体制改革,建设生态文明制度”,生态文明建设的地位被提升到前所未有的高度。2012到2013年间,国家先后出台了《推进生态文明建设规划纲要》《大气污染防治行动计划》等多项政策法规,“一带一路”36个主要节点城市中,有10个城市在2013年获批成为第一批生态文明建设示范区^②。国家战略的倾斜、政策的支持和法规的约束,有力的遏制了环境污染的势头,形成一

定的倒逼机制,促进了城市的绿色发展,从而使得城市效率在2013年有明显的提升。但值得注意的是,这种提升是短期的、不可持续的,从图中可以看出绿色经济效率在2014-2015年继续保持下降趋势,说明2013年并不是城市绿色效率持续提升的拐点,绿色经济效率持续提升的城市发展模式尚未形成。

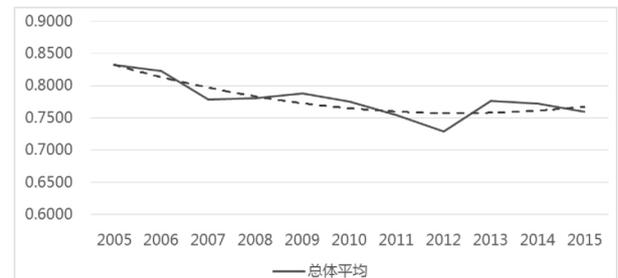


图1 绿色经济效率变化趋势

(三) 城市间的比较

“一带一路”战略主要丝绸之路经济带、21世纪海上丝绸之路两大开放战略交汇而成,不同节点城市的经济地位和区位条件不同,在“一带一路”战略中的作用和地位也不同,绿色经济效率也具有较大的差异性。因此,根据国家对“一带一路”战略的阐述,本文将“一带一路”主要节点城市按照开放方向和作用划分为丝绸之路经济带节点城市、海上丝绸之路节点城市和内陆开放城市三类,进一步分析不同开放方向的城市之间的差异,具体划分情况见下表。

表2 “一带一路”主要节点城市分类

类别	个数	包含城市
丝绸之路经济带节点城市	10	北京市、呼和浩特市、沈阳市、长春市、哈尔滨市、西安市、兰州市、西宁市、银川市、乌鲁木齐市
海上丝绸之路节点城市	19	天津市、大连市、上海市、杭州市、宁波市、舟山市、福州市、厦门市、泉州市、青岛市、烟台市、广州市、深圳市、汕头市、湛江市、南宁市、海口市、三亚市、昆明市
内陆开放城市	9	合肥市、南昌市、郑州市、武汉市、长沙市、重庆市、成都市

从绿色经济效率均值来看,海上丝绸之路节点城市效率最高,为0.8546,高于总体均值,丝绸之路经济带节点城市和内陆开放型城市的均值都低于总体均值,其中内陆开放城市绿色经济效率均值最低仅为0.6747,比总体均值低13.6%,比海上丝绸之路节点城市低21.1%。从处于前沿面的城市占比来看,

丝绸之路经济带节点城市中约有50%左右的城市处于前沿面,海上丝绸之路节点城市中约有70%左右的城市处于生产前沿面,而内陆开放城市仅有约25%左右的城市处于生产前沿面。这说明“一带一路”主要节点城市之间存在显著的差异,海上丝绸之路节点城市大多是东部沿海发达的港口城市,具有

^② 北京、天津、上海、杭州、郑州、江西、重庆、成都、云南、青海,大连、宁波、兰州

较高的经济发展水平和科技创新水平，产业以高端制造业和服务业为主，对资源环境的压力较小，绿色发展能力和潜力较强。丝绸之路经济带城市以西北、东北的城市为主，除北京外大部分城市的经济发展水平较为落后，产业结构以资源型产业和重工业为主，对资源环境的压力较大，城市的绿色经济效率较低。内

陆开放城市的绿色经济效率最低，虽然内陆开放城市多为中部地区经济发展水平较好的城市，但由于其城市规模和开发强度较大，经济发展水平和技术水平的优势难以弥补发展模式对资源环境造成的影响，城市的绿色经济效率反而落后于丝绸之路经济带节点城市。

表3 “一带一路”主要节点城市之间的绿色经济效率比较

年份	总体均值	丝绸之路经济带节点城市		海上丝绸之路节点城市		内陆开放城市	
		效率值	效率为1的城市比例	效率值	效率为1的城市比例	效率值	效率为1的城市比例
2005	0.8323	0.7349	50%	0.9124	79%	0.7544	33%
2006	0.8235	0.7393	50%	0.9120	79%	0.7037	22%
2007	0.7793	0.7076	40%	0.8465	58%	0.6994	22%
2008	0.7814	0.7018	40%	0.8489	63%	0.7117	22%
2009	0.7882	0.6953	30%	0.8714	68%	0.6950	22%
2010	0.7760	0.7095	40%	0.8395	58%	0.6989	22%
2011	0.7547	0.6770	30%	0.8417	63%	0.6297	11%
2012	0.7287	0.6196	20%	0.8333	63%	0.6007	11%
2013	0.7764	0.7241	50%	0.8668	68%	0.6057	11%
2014	0.7721	0.7659	60%	0.8187	58%	0.6546	22%
2015	0.7601	0.7300	50%	0.8099	63%	0.6680	22%
总计	0.7813	0.7095		0.8546		0.6747	

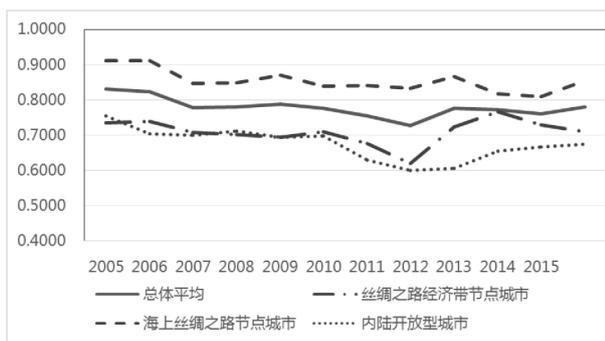


图2 “一带一路”主要节点城市之间的绿色经济效率趋势分析

从绿色经济效率的变化趋势来看，海上丝绸之路节点城市、丝绸之路经济带节点城市和内陆开放型城市绿色经济效率的均值均呈现出逐年下降的趋势，与总体均值的变化趋势基本一致，说明“一带一路”主要节点城市尚未形成较为成熟的绿色发展模式，城市发展和资源环境的矛盾短期内难以缓解。海上丝绸之路节点城市的绿色经济效率明显高于总体均值，其变化趋势与总体均值最为接近，说明海上丝绸之路节点城市对“一带一路”主要节点城市总体效率的影响最为显著，引领地位突出。城市绿色经济效率在2013年都有较为明显的提升，说明政策因素对“一带一路”

主要节点城市都具有显著的影响，但影响程度并不相同，其中丝绸之路经济带节点城市的绿色效率在2013年上升幅度较大，说明其对政策的影响更加敏感，这主要是因为丝绸之路经济带节点城市大多为西北和东北省区的省会城市，与其他城市相比发展较为滞后，根据追赶理论，后发地区的路径依赖更小，具有较强的后发优势，有实现追赶和跨越的潜力。

五、影响因素分析

为进一步提出针对性的政策建议，本文在绿色经济效率评价的基础上，对其影响因素进行分析。根据城市经济学和资源环境经济学相关理论，以及现有的研究文献，本文认为影响城市绿色经济效率的因素主要有以下五个方面：一是城市规模，城市的集聚效应和规模效应是城市形成和发展的主要动力，因此城市的规模是城市经济效率的首要因素，本文用城市的人口规模来反映城市规模，用Pop表示，指标选择城市年末总人口，考虑到城市规模是城市集聚效应和拥挤效应共同作用的结果，城市规模与城市经济效率之间应该具有倒U型关系，因此本文加入人口规模的平方项进行验证，用Pop²表示；二是经济发展水平，经济发展水平能够反映城市的经济基础，也与城市的

资源利用水平和科技水平密切相关，因此本文选择人均 GDP 作为经济发展水平的指标，用 GDP 表示；三是产业结构，第二产业需要消耗更多的资源、能源，对环境的压力较大，对城市的绿色经济效率有负向影响，本文选择城市第二产业占 GDP 的比重作为城市产业结构指标，用 InS 表示；四是科教投入，科技和教育投入一方面影响城市的创新能力和技术水平，另一方面也对劳动力素质和居民环保意识直接相关，本文选择科教投入占 GDP 比重反映城市科教投入力度，用 S&E 表示；五是对外开放水平，“一带一路”主要节点城市是国家对外开放的主要门户，对外开放水平能够反映城市在更大范围内配置资源的能力，同时也可以验证“一带一路”主要节点城市是否存在“污染天堂”的现象，本文选择当年直接利用外资金额反映城市的对外开放水平，用 FDI 表示。

由于绿色经济效率是大于 0 小于 1 的受限因变量，因变量为截断值，OLS 不再适用，结合现有文献，本文选择面板数据 Tobit 模型，以城市绿色经济效率为因变量进行回归分析。Tobit 模型的形式如下：

$$y_i^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \chi_{ij} + \varepsilon_i$$

当时 $y_i \leq 0$ ， $y_i^* = 0$ ；当 $y_i > 0$ 时， $y_i^* = y_i$ 。式中， y_i^* 为潜变量； y_i 为观测到的因变量； β_0 为常数项； χ_{ij} 为自变量向量； β_j 为相关系数向量； ε_i 为随机误差项^[15]。

采用 stata14 软件进行 Tobit 面板数据回归得到下表结果。

表 4 Tobit 回归结果

自变量	系数	z	p
Pop	0.0007041	3.32	0.001
Pop2	-4.45e-07	-3.83	0.000
InS	-0.0124654	-4.78	0.000
GDP	1.44e-06	1.87	0.063
S&E	-5.119412	-1.86	0.064
FDI	3.51e-07	2.79	0.006

城市人口规模 Pop 的系数为正，且通过水平 1% 的显著性检验，说明城市的集聚效应和规模效应能够带来技术的外溢和资源利用效率的提升，从而提高城市的绿色经济效率；城市人口规模的平方 Pop2 的系数为负，且通过水平 1% 的显著性检验，说明城市的绿色经济效率与城市人口规模呈倒 U 型关系，在到达拐点之前，城市的集聚效应和规模效应较优，城市的绿色经济效率随城市规模的增大而增大，到达拐点后，城市拥挤效应开始凸显，绿色经济效率随城市规

模的增大而降低。从分析结果来看，城市绿色经济效率的拐点为 791.12 万人，目前“一带一路”主要节点城市有 86% 的城市均处于左侧的上升区域，可以适度扩大城市规模，采取理性增长的城市发展模式。

第二产业占 GDP 比重系数为负，且通过水平 1% 的显著性检验，说明产业结构对城市的绿色经济效率有显著影响，第二产业资源能源投入多、环境污染较重，且处于价值链的低端环节，对城市的资源环境造成较大的压力，应当加快城市的产业转型升级，大力发展以技术和人力资本投入为主的高端制造业和服务业。

人均 GDP 的系数为正，且通过水平 10% 的显著性检验，说明经济发展水平对城市绿色经济效率具有正向的影响，经济发展水平的提高能够带来技术效率的提升，从而促进城市绿色经济效率提升，但经济发展水平的提高也可能带来消费水平的提高，从而导致资源消耗和环境污染总量的增加，这也解释了人均 GDP 指标显著性水平不高的原因。

科教投入占 GDP 的比重系数为负，且通过水平为 10% 的显著性检验，说明科教投入对城市绿色经济效率的影响较小，一方面科教支出并不能完全转化为技术水平和创新能力，对科学普及和基础教育的投资难以直接对城市的绿色发展产生直接的影响，另一方面“一带一路”主要节点城市中有一半位于中西部地区，城市的人才流失现象十分严重，导致科教投入不仅没有带来创新能力和劳动力素质的提升，反而挤占了政府的财政支出，这也解释了科教投入占 GDP 比重系数为负的原因。

对外开放度 FDI 的系数为正，且通过水平为 1% 的显著性检验，说明“一带一路”主要节点城市在对外开放和外资引进中较为重视产业的甄别和选择，没有出现“污染天堂”的现象，外资的进入也通过技术外溢提升了资源利用效率和环境保护水平，应当进一步扩大开放，推动“一带一路”主要节点城市与沿线国家和地区的产业合作和环保协作，进一步提升城市的绿色经济效率。

六、结论和政策建议

本文以“一带一路”重点开放城市和省区的省会城市为研究对象，运用基于非期望产出的 DEA-SBM 模型对 36 个城市 2005—2015 年间的绿色经济效率进行测算，并比较了“一带一路”主要节点城市间绿色经济效率的差异。然后运用 Tobit 模型分析了城市绿色经济效率的影响因素。研究发现：（1）“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率较高，处于效率前沿面的城市比重较大，说明“一带一路”主

要节点城市具有较高的资源利用效率、环境污染的防治水平,绿色发展基础和条件较好,对绿色“一带一路”建设的支撑作用十分突出。(2)从2005年到2015年间,“一带一路”主要节点城市的绿色经济效率呈缓慢下降趋势,仅在2013年生态文明战略实施初期有所提升,说明国家战略和政策在短期内对城市绿色经济效率具有显著的提升作用,但长期看来,现有的发展模式难以实现城市的绿色经济效率的稳定提升,城市绿色经济效率下降的趋势并未扭转,改变这一状况需要政策法规约束和发展模式转型共同作用。(3)“一带一路”主要节点城市之间的绿色经济效率存在显著的差异,海上丝绸之路节点城市的绿色经济效率最优,丝绸之路经济带节点城市次之,内陆开放型城市最低。(4)海上丝绸之路节点城市对总体趋势的影响更强,引领地位较为突出,丝绸之路经济带节点城市对政策的反应更敏感,具有较强的后发优势,有希望通过推动城市绿色转型实现追赶和跨越。(5)城市绿色经济效率与城市规模呈倒U型关系,随着城市规模的增大呈现先增加后减小的趋势,“一带一路”主要节点城市中86%处于左侧上升区域,可以适度扩大城市规模,采取理性增长的城市发展模式。(6)第二产业比重对城市绿色经济效率具有显著的负向作用,城市经济发展水平和利用外资水平对城市绿色经济效率具有显著的正向作用,因此,在绿色“一带一路”建设中要加快推动城市的产业转型升级和生态化改造,进一步扩大对外开放水平。

根据以上分析,本文提出推动绿色“一带一路”建设的政策建议:(1)鼓励和支持主要节点开展城市生态文明建设先行试点,积极探索城市绿色发展的经验和模式,充分发挥主要节点城市的引领和支撑作用;(2)针对城市发展的特点,因地制宜地制定城市绿色发展战略和规划,支持丝绸之路经济带节点城市探索后发赶超和跨越发展的城市绿色发展道路;(3)进一步优化城市规模和城镇体系,引导特大城市采取生态优化的发展模式,一般大城市和中等城市采取理性增长的发展模式;(4)大力发展高端制造业和服务业,加快城市的产业转型升级和生态化改造进程;(5)进一步扩大开放,推进节能环保产业、新能源技术和绿色产业技术的国际合作和交流。

参考文献:

[1] 薛志华. 绿色“一带一路”的若干依托因素[J]. 重庆社会科学 2016(09):39-47.

[2] 解然. 绿色“一带一路”建设的机遇、挑战与对策[J]. 国际经济合作 2017(04):10-13.

[3] 朱源 施国庆 程红光 李天威. “一带一路”倡议的环境社会政策框架研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版) 2017(01):69-73 91.

[4] 岳武 杜莉. 中国FDI与ODI对低碳经济发展的影响以及对“一带一路”战略的启示[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版) 2017(02):52-60.

[5] 汤凯 许锦锦. “一带一路”节点城市竞争力测评与优化[J]. 经济问题探索,2016(09):65-71.

[6] 赵菁奇 李本和. “丝绸之路经济带”建设背景下区域科技创新体系研究——基于西北五省科技创新差异性的实证研究[J]. 重庆理工大学学报:社会科学 2015(8):36-42.

[7] 周欢,马乃毅. “一带一路”建设中我国西北地区城市群协调发展研究[J]. 科技管理研究,2016(06):187-191.

[8] 刘艳 曹伟 王晏晏. “一带一路”内陆节点城市物流业竞争力评价——基于熵权TOPSIS组合模型[J]. 技术经济 2016(11):68-72+104.

[9] 王家庭. 环境约束条件下中国城市经济效率测度[J]. 城市问题 2012(7):18-23.

[10] 李艳军,华民. 中国城市经济的绿色效率及其影响因素研究[J]. 城市与环境研究,2014(02):36-52.

[11] 卢丽文,宋德勇,李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究[J]. 中国人口·资源与环境,2016 26(06):35-42.

[12] 程广斌,龙文. 丝绸之路经济带城市可持续发展能力及其影响因素——基于超效率DEA—面板Tobit模型的实证检验[J]. 华东经济管理 2017(01):35-43.

[13] 李永立,吴冲,考虑非期望产出弱可处置性的随机DEA模型[J]. 管理科学学报,2014,17(9):17-28.

[14] 刘秉镰,李清彬. 中国城市全要素生产率的动态实证分析:1990—2006——基于DEA模型的Malmquist指数方法[J]. 南开经济研究,2009(03):139-152.

[15] 尹传斌,朱方明,邓玲. 西部大开发十五年环境效率评价及其影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境 2017(03):82-89.

(编辑校对:韦群跃 陈崇仁)