附录 1 文献综述

（一）绿色经济与“一带一路”

2012 年 6 月，“里约+20”峰会赋予绿色经济全新的意义，针对褐色经济并钩发展的核心问题，从自然资本、物质资本与人力资本规范绿色经济的三重底线（环境、经济与社会）效益并将相关资金流入视作绿色投资（诸大建，2012）。改革开放以来，中国经济高速增长的同时资源损耗、环境污染等生态问题愈发严重（Zhang 等，2017），党的十八大将生态文明建设作为重要内容后，对中国绿色经济增长或绿色发展的研究成为焦点。首要问题是如何度量与评价绿色经济（李江龙和徐斌，2018），虽然构建多维评分指标体系的方式可融合客观数据与专家经验全面评价绿色经济实现正增长或负增长，但这种方法不仅无法准确识别正负增长的程度而且复杂的指标选取也不利于对各指标做进一步数据处理以解决相关性或精度粗糙等问题，这增加了评价绿色经济增长的难度与可信度（郭玲玲等，2016），鉴于此以考虑非期望因素的全要素指标为主的效率度量成为评价绿色经济发展的主要方法(李江龙和徐斌，2018；林伯强和谭睿鹏，2019；王兵和刘光天，2015；杨文举，2011）。

借助效率测度工具，关于绿色经济增长影响因素的研究进一步发展。基于考虑区域异质性的情况，积极调整产业结构（孙瑾等，2014）、控制经济集聚程度（林伯强和谭睿鹏，2019）、合理利用资源禀赋（李江龙和徐斌，2018）、加速推动节能减排（王兵和刘光天，2015）与有效部署环境规制（Lin 和 Zhou，2022）被证明有助于中国绿色经济的发展。随着绿色发展理念在“一带一路”建设过程中的逐渐深入，对“一带一路”与绿色经济间联系的讨论愈发热烈（Cuiyun 和 Chazhong，2020）。在肯定了“一带一路”倡议对沿线省市绿色经济发展的推动作用后(Liu 和 Xin,2019),研究范围逐渐从沿线省市扩展至沿线国家(Jiang 等，2021），研究的切入视角聚焦于“一带一路”倡议增强沿线国家间经济、环境与社会发展联系的两个主要方式，即 OFDI 流入（Peng 等，2022）或政策合作（Lin 和 Zhou，2022），证明“一带一路”倡议可通过提升实体经济效益（Wang 等，2022）、推动金融发展（Yang 和 Ni，2022）或增加政府支出（Jin 等，2022）等方式显著助力沿线国家的绿色经济转型。虽然现有研究剖析了“一带一路”倡议推动沿线省市或沿线国家绿色经济发展的路径，但其缺陷是分析过程中将“一带一路”倡议视作一个研究整体从而忽略了研究整体内部的政策波动，由引言部分可知在 2017 年绿色“一带一路”倡议提出后中国在投资策略与合作方针上均产生了向绿色低碳领域倾斜的变化，这种变化可能对绿色经济发展存在引导性，若不根

据该变化对研究区间进行有效划分则可能出现掩盖或夸大政策变动对绿色经济效益影响的现象。

（二）指标选取与模型构建

效率评价的准确性源于指标选取的全面性、模型构建的合理性与数据处理的有效性。全面的指标选取并不代表尽可能多地选取不同变量，而是在符合理论机制的基础上确保变量集多维地刻画需测度的效率（郭玲玲等，2016）。对于绿色经济效率而言，鲜有研究在选取投入变量时做文章，通常选取固定资本存量、劳动力人数、能源消耗总量来刻画资本投入、劳动力投入与能源投入（王兵和刘光天，2015），产出变量则区分为期望产出与非期望产出用以衡量经济体的经济效益与环境效益，其中期望产出的变量选择涉及绿色专利数量、人均 GDP 等而非期望产出的变量选择则聚焦于二氧化碳排放量、工业三废排放量等（李江龙和徐斌，2018；林伯强和谭睿鹏，2019），即使与测度创新效率、能源效率的指标体系有所区别，现有研究仍是在常用的变量集中根据测度效率的需求增删变量个数或细化变量的数据选取范围（Peng 等，2022；邵帅等，2022）。

合理的模型构建依赖于初步的指标体系，考虑到绿色经济效率的测度需求，能够有效处理非期望因素的至前沿最远距离模型（SBM 模型）被广泛应用，同时结合 Malmquist-Luenberger 指数（ML 指数）探索绿色经济效率的动态变化（林伯强和谭睿鹏，2019）。SBM 模型与 ML 指数是度量包含非期望产出的动态效率的经典组合（Tone，2001；Zofío，2006），根据进一步的度量需求会引入可处理指标中含负值数据的 MSBM 模型（Sharp 和 Liu，2007）或便于对有效集排序的超效率模型（Tone，2002），但这仍无法解决 SBM 模型因采用强有效前沿上最远投影点而造成的测度结果相较于实际情况偏大的效率失真（Tone，2008）或 ML 指数传递性差且 VRS 模型可能无可行解等问题（Pastor 和 Lovell，2005），尽管可解决 ML 指数缺陷的全局 Malmquist-Luenberger 指数（GML 指数）已逐渐应用于实证研究中（Jiang 等，2021；Pastor 和 Lovell，2005）但可处理 SBM 模型缺陷的至强有效前沿最近距离模型（Min-DS 模型）因建模思路复杂、计算时间长等问题至今未被广泛应用于实证研究中（Dong 等，2021），同时基于 SBM 模型建模的 Min-DS 模型存在因无法对有效集进行排序而前沿构造不严谨的问题（Aparicio 等，2007）。

有效的数据处理则需视指标选取与模型构建而定，数据包络分析模型（DEA 模型）存在无法处理零值数据与负值数据的劣势，因此在测度效率前需对存在零值数据或负值数据的变量进行处理（沈江建和龙文，2015；赵峭含等，2015），而因为 DEA 模型又存在无需处理数量级的优势，多数研究在构建指标体系时对变量的说明过于单一或模糊，简单的数据处理或

忽略指标货币价值化与内部差异性的变量核算难以确保绿色经济效率度量的精度（马兰，2021）。

总的来说，现有文献对绿色经济发展的影响因素及其与“一带一路”倡议的联系展开了多方面的探讨，但缺少对“一带一路”倡议作用区间内策略变动所造成的效益影响的研究，同时绿色经济效率度量指标的选取与其他效率指标体系差别小、易混淆，模型选择影响了效率测度的准确性，变量的数据处理单一且模糊，并未考虑变量内部的差异性和对各变量统一货币价值化的意义。因此，优化指标体系、测度模型、数据处理的相关问题并考虑“一带一路”实施区间内的策略变化对于精确刻画“一带一路”沿线国家绿色经济发展的演变动态从而探究推动或抑制其发展的根本原因至关重要。

附表 1　　测度绿色经济发展的投入产出指标体系及描述性统计

变量类型	变量名称	标准差	平均值	最大值	最小值
测度绿色经济发展的投入产出指标体系及描述性统计					
投入	固定资本存量	1.0226	4.6993	6.6500	2.2400
	劳动投入的经济价值	0.6573	2.8266	4.6900	1.8000
	沿线国家的绿色投资	1.0325	4.6973	6.6550	2.2470
期望产出	实际国内生产总值	0.6648	4.9581	6.4500	3.8400
	调整后的国民净收入	0.6629	4.8760	6.3900	3.7200
	对外贸易净额	0.3589	3.5417	7.9982	2.1030
非期望产出	二氧化碳损害	0.7446	3.2334	5.0400	1.7500
	颗粒物排放损害	0.6807	2.3179	4.3500	1.2500
	自然资源损耗	1.9650	2.4459	5.1700	0.0001
测度绿色投资效率的投入产出指标体系及描述性统计					
投入	我国对沿线国家的绿色投资	0.3519	5.0513	7.1198	4.0025
	劳务派遣投入的经济价值	0.3369	1.4320	2.0015	0.9984
期望产出	绿地项目申请数	0.3315	0.7231	1.1037	0.2208
	绿色专利申请数	0.4013	0.6112	1.0025	0.1195
非期望产出	工业三废处理成本	0.5001	0.5334	1.0045	0.2568
	项目未完工率	0.2139	0.7134	0.9061	0.5341

资料来源：世界银行、Wind 数据库、中国一带一路网、国务院发展研究中心信息网。

附录 2 模型构建与求解

本文借鉴 Aparicio 等（2007），Bogetoft 和 Nielsen（2008），Oh 和 Lee（2010），柳卸林和朱浪梅（2021）的研究构建用于测度 *GIE* 与 *GED* 的 DEA 模型，所建 DEA 模型主要分为

以下 4 部分，一是构建至前沿最远距离（SBM）模型，测度所有决策单元（DMU）的静态效率值，若 DMU 的静态效率值等于 1，则为高效 DMU，若 DMU 的静态效率值小于 1，则为低效 DMU；二是构建至强有效前沿最近距离（MinDs）模型，修正低效 DMU 的静态效率值；三是构建超效率模型，对高效 DMU 的静态效率值进行排序优化；四是构建全局 Malmquist-Luenberg（GML）指数模型，测度所有 DMU 的动态效率值，并对动态效率值进行分解与组合。

首先，使用 SBM 模型测度 n 个 DMU 的静态效率值，如式（1）所示。每个 DMU 有 m 个投入变量 x_i、p 个期望产出变量 y_r^d、q 个非期望产出变量 y_v^u，设定所有高效 DMU 的集合为 H ，所有低效 DMU 的集合为 L 。

$$\min f_k = \frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1+\frac{1}{p+q}\left(\sum_{r=1}^{p}\frac{s_r^{d+}}{y_{r0}^d}+\sum_{v=1}^{q}\frac{s_v^{u+}}{y_{v0}^u}\right)}$$

$$\begin{cases}\sum_{k=1}^{n}x_{ik}\lambda_k+s_i^-=x_{i0},1\leqslant i\leqslant m\\ \sum_{k=1}^{n}y_{rk}^d\lambda_k-s_r^{d+}=y_{r0}^d,1\leqslant r\leqslant p\\ \sum_{k=1}^{n}y_{vk}^u\lambda_k+s_v^{u+}=y_{v0}^u,1\leqslant v\leqslant q\\ \lambda_k\geqslant 0\\ 1\leqslant k\leqslant n\\ s_i^-\geqslant 0,s_r^{d+}\geqslant 0,s_v^{u+}\geqslant 0\end{cases} \tag{1}$$

其中，f_k 为第 k 个 DMU 的静态效率值，若 $f_k=1$，则令 k 为 hk 且 $hk\in$ H ；若 $f_k<1$，则令 k 为 lk 且 $lk\in$ L 。x_{ik}、y_{rk}^d、y_{vk}^u、λ_k 为第 k 个 DMU 的投入变量、期望产出变量、非期望产出变量、既定权重，x_{ik}、y_{rk}^d、y_{vk}^u 均 $\geqslant 0$，x_{i0}、y_{r0}^d、y_{v0}^u 分别为投入变量、期望产出变量、非期望产出变量的初始值，x_{i0}、y_{r0}^d、y_{v0}^u 均 $\geqslant 0$，松弛变量 s_i^-，s_r^{d+}、s_v^{u+} 分别表示投入过剩、期望产出不足及非期望产出过多。

其次，使用 MinDs 模型修正 L 中所有低效 DMU 的静态效率值，如式（2）所示；使用超效率模型对 H 中所有高效 DMU 的静态效率值进行排序优化，如式（3）所示。

$$\max f_{lk}^* = \frac{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\left(1-\frac{s_i^-}{x_{il0}}\right)}{\frac{1}{p+q}\left[\sum_{r=1}^{p}\left(1+\frac{s_r^{d+}}{y_{rl0}^d}\right)+\sum_{v=1}^{q}\left(1+\frac{s_v^{u+}}{y_{vl0}^u}\right)\right]}$$

$$\begin{cases}\sum_{lk\in L}x_{ilk}\lambda_{lk}+s_i^-=x_{il0},1\leqslant i\leqslant m\\ \sum_{lk\in L}y_{rlk}^d\lambda_{lk}-s_r^{d+}=y_{rl0}^d,1\leqslant r\leqslant p\\ \sum_{lk\in L}y_{vlk}^u\lambda_{lk}+s_v^{u+}=y_{vl0}^u,1\leqslant v\leqslant q\\ -\sum_{lk\in L}x_{ilk}a_i-\sum_{lk\in L}y_{vlk}^u c_v+\sum_{lk\in L}y_{rlk}^d b_r+d_{lk}=0\\ s_i^-\geqslant 0,s_r^{d+}\geqslant 0,s_v^{u+}\geqslant 0\\ 0\leqslant\lambda_{lk}\leqslant M\left(1-e_{lk}\right)\\ 0\leqslant d_{lk}\leqslant M\left(e_{lk}\right)\\ a_i\geqslant 1,b_r\geqslant 1,c_v\geqslant 1\\ e_{lk}\in\{0,1\}\\ lk\in L\end{cases} \tag{2}$$

其中，f_{lk}^* 为第 lk 个 DMU 修正后的静态效率值，x_{ilk}、y_{rlk}^d、y_{vlk}^u、分别为第 lk 个 DMU 的投入变量、期望产出变

量、非期望产出变量、既定权重，x_{ilk}、y_{rlk}^{d}、y_{vlk}^{u} 均≥0，x_{il0}、y_{rl0}^{d}、y_{vl0}^{u} 分别为投入变量、期望产出变量、非期望产出变量的初始值，x_{il0}、y_{rl0}^{d}、y_{vl0}^{u} 均≥0，M 是一个足够大的正数，a_i、b_r、c_v 分别为投入变量、期望产出变量、非期望产出变量的修正系数，e_{lk} 用于界定 λ_{lk} 与 d_{lk} 的范围，d_{lk} 为修正松弛变量。

$$\min f_{hk}^{*}=\frac{\frac{1}{m+q}\left(\sum_{i=1}^{m}\phi_i^{x_{ihk}}+\sum_{v=1}^{q}\phi_v^{y_{vhk}^{u}}\right)}{1-\frac{1}{p}\sum_{r=1}^{p}\phi_r^{y_{rhk}^{d}}}$$

$$\begin{cases}\sum_{hk\in \mathrm{H}}\lambda_{hk}x_{ihk}-x_{ih0}\phi_i^{x_{ihk}}\leqslant x_{ih0},1\leqslant i\leqslant m\\ \sum_{hk\in \mathrm{H}}\lambda_{hk}y_{rhk}^{d}+y_{rh0}^{d}\phi_r^{y_{rhk}^{d}}\geqslant y_{rh0}^{d},1\leqslant r\leqslant p\\ \sum_{hk\in \mathrm{H}}\lambda_{hk}y_{vhk}^{u}-y_{vh0}^{u}\phi_v^{y_{vhk}^{u}}\leqslant y_{vh0}^{u},1\leqslant v\leqslant q\\ \lambda_{hk}\geqslant 0\\ hk\in \mathrm{H}\\ \phi_i^{x_{ihk}}\geqslant 0,\phi_r^{y_{rhk}^{d}}\geqslant 0,\phi_v^{y_{vhk}^{u}}\geqslant 0\end{cases}\tag{3}$$

其中，f_{hk}^{*} 为第 hk 个 DMU 排序优化后的静态效率值，x_{ihk}、y_{rhk}^{d}、y_{vhk}^{u}、λ_{hk} 分别为第 hk 个 DMU 的投入变量、期望产出变量、非期望产出变量、既定权重，x_{ihk}、y_{rhk}^{d}、y_{vhk}^{u} 均≥0，x_{ih0}、y_{rh0}^{d}、y_{vh0}^{u} 分别为投入变量、期望产出变量、非期望产出变量的初始值，x_{ih0}、y_{rh0}^{d}、y_{vh0}^{u} 均≥0，$\phi_i^{x_{ihk}}$、$\phi_r^{y_{rhk}^{d}}$、$\phi_v^{y_{vhk}^{u}}$ 分别为第 hk 个 DMU 的投入变量的减少量、期望产出变量的增加量、非期望产出变量的减少量。

再次，使用 GML 指数模型向所有 DMU 调整后的静态效率值施加动态变化特征，得到从第 t 期到第 $t+1$ 时期的动态效率值，如式（4）所示。

$$f_k^{(t,t+1)}=\frac{f_k^{*\mathrm{G}_k}\left(x_{t+1},y_{t+1}^{d},y_{t+1}^{u}\right)}{f_k^{*\mathrm{G}_k}\left(x_t,y_t^{d},y_t^{u}\right)}\tag{4}$$

$$\mathrm{G}_k=\left\{x_1,y_1^{d},y_1^{u}\right\}\cup\left\{x_2,y_2^{d},y_2^{u}\right\}\cup\cdots\cup\left\{x_t,y_t^{d},y_t^{u}\right\}\cup\left\{x_{t+1},y_{t+1}^{d},y_{t+1}^{u}\right\}\cup\cdots\cup\left\{x_g,y_g^{d},y_g^{u}\right\}$$

$$1\leqslant t\leqslant t+1\leqslant g$$

其中，f_k^{*} 为第 k 个 DMU 调整后的静态效率值，$f_k^{(t,t+1)}$ 为第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的动态效率值，G_k 为第 k 个 DMU 所有各期生产前沿的集，$f_k^{*\mathrm{G}_k}$ 表示第 k 个 DMU 的相邻两期在计算动态效率值时以 G_k 为参照，x_t、y_t^{d}、y_t^{u} 分别为第 k 个 DMU 第 t 期的投入变量、期望产出变量、非期望产出变量，$[1,g]$ 为时间区间。

最后，将所有 DMU 的动态效率值分解为纯效率变化、规模效率变化、纯技术变化、规模技术变化，如式（5）所示。纯效率变化可反映 DMU 是否更有效地利用现有技术；规模效率变化可反映 DMU 是否有效提升现有生产规模；纯技术变化可反映 DMU 是否改进技术水平；规模技术变化可反映 DMU 现有生产规模能否提升技术水平。将纯效率变化、规模效率变化、纯技术变化、规模技术变化组合成生产效率变化、技术水平发展、生产规模效应，如式（6）所示。生产效率变化可反映 DMU 在现有技术条件下生产效率的变化；技术水平发展可反映 DMU 在现有生产规模条件下技术水平的变化；生产规模效应可反映生产规模优化对生产效率

提高和技术水平提高的影响。

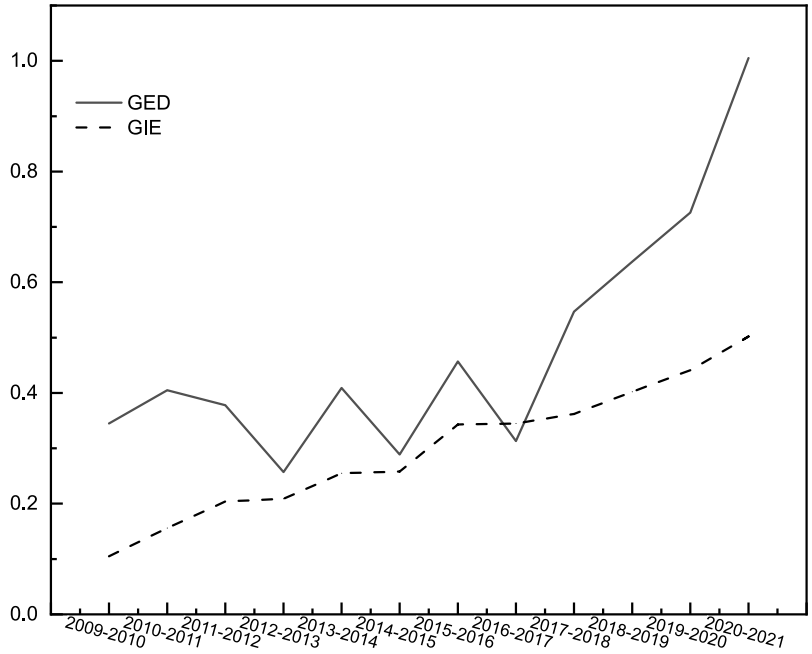
$$
\begin{aligned}
f_k^{(t,t+1)} &= \frac{f_k^{*G_k}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*G_k}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \\
&= \frac{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \times \left[\frac{f_k^{*G_k}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*G_k}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \times \frac{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \\
&= \left[\frac{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}\right] \times \left[\frac{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \\
&\quad \times \left[\frac{f_k^{*G_k}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)} \times \frac{f_k^{*t+1}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \\
&\quad \times \left[\frac{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*G_k}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \times \frac{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}\right] \\
&= \left[PEC_k^{(t,t+1)}\right] \times \left[SEEC_k^{(t,t+1)}\right] \times \left[PTC_k^{(t,t+1)}\right] \times \left[SETC_k^{(t,t+1)}\right]
\end{aligned}
\tag{5}
$$

其中，f_k^{*t}、f_k^{*t+1} 分别表示第 k 个 DMU 的相邻两期在计算动态效率值时以第 t 期、第 $t+1$ 期的生产前沿为参照。$PEC_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的纯效率变化，若 $PEC_k^{(t,t+1)}>1$，则现有技术利用率提高；若 $PEC_k^{(t,t+1)}<1$，则现有技术利用率下降；若 $PEC_k^{(t,t+1)}=1$，则现有技术利用率不变。$SEEC_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的规模效率变化，若 $SEEC_k^{(t,t+1)}>1$，则现有生产规模增加；若 $SEEC_k^{(t,t+1)}<1$，则现有生产规模减少；若 $SEEC_k^{(t,t+1)}=1$，则现有生产规模不变。$PTC_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的纯技术变化，若 $PTC_k^{(t,t+1)}>1$，则技术水平提高；若 $PTC_k^{(t,t+1)}<1$，则技术水平下降；若 $PTC_k^{(t,t+1)}=1$，则技术水平不变。$SETC_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的规模技术变化，若 $SETC_k^{(t,t+1)}>1$，则现有生产规模推动技术水平提高；若 $SETC_k^{(t,t+1)}<1$，则现有生产规模阻碍技术水平提高；若 $SETC_k^{(t,t+1)}=1$，则现有生产规模不影响技术水平提高。

$$
\begin{aligned}
EE_k^{(t,t+1)} &= PEC_k^{(t,t+1)} \times SEEC_k^{(t,t+1)} \\
&= \left[\frac{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}\right] \times \left[\frac{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \\
TE_k^{(t,t+1)} &= PTC_k^{(t,t+1)} \times SETC_k^{(t,t+1)} \\
&= \left[\frac{f_k^{*G_k}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)} \times \frac{f_k^{*t+1}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \\
&\quad \times \left[\frac{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*G_k}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \times \frac{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}\right] \\
SE_k^{(t,t+1)} &= SEEC_k^{(t,t+1)} \times SETC_k^{(t,t+1)} \\
&= \left[\frac{f_k^{*t+1}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}\right] \times \left[\frac{f_k^{*t}\left(x_{t+1}, y_{t+1}^d, y_{t+1}^u\right)}{f_k^{*G_k}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)} \times \frac{f_k^{*t}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}{f_k^{*t+1}\left(x_t, y_t^d, y_t^u\right)}\right]
\end{aligned}
\tag{6}
$$

其中，$EE_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的效率变化，若 $EE_k^{(t,t+1)}>1$，则在现有技术条件下生产效率提高；若 $EE_k^{(t,t+1)}<1$，则在现有技术条件下生产效率下降；$EE_k^{(t,t+1)}=1$，

则在现有技术条件下生产效率不变。$TE_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的技术水平发展，若 $TE_k^{(t,t+1)}>1$，则在现有生产规模条件下技术水平提高；若 $TE_k^{(t,t+1)}<1$，则在现有生产规模条件下技术水平下降；$TE_k^{(t,t+1)}=1$，则在现有生产规模条件下技术水平不变。$SE_k^{(t,t+1)}$ 表示第 k 个 DMU 从第 t 期到第 $t+1$ 期的生产规模效应，若 $SE_k^{(t,t+1)}>1$，则生产规模优化对生产效率提高和技术水平提高存在正向影响；若 $SE_k^{(t,t+1)}<1$，则生产规模优化对生产效率提高和技术水平提高存在负向影响；$SE_k^{(t,t+1)}=1$，则生产规模优化对生产效率提高和技术水平提高无影响。



附图 1 绿色经济发展与绿色投资效率的时变趋势

附表 2　　稳健性检验[1]

	GED	*GED_dis*	*GED*	*GED*	*GED*	*GED*
	M（1）	M（2）	M（3）	M（4）	M（5）	M（6）
“一带一路”倡议期间						
GIE_dis	0.2003** （2.1340）					
GIE		0.2158** （2.3066）	0.3315*** （3.0119）	-0.0351 （-1.2024）		
IV_GIE					0.2593*** （2.9931）	0.2319** （2.3284）
					GIE	*GIE*
SOI					0.0781*	

[1] 完整实证结果可向通讯作者咨询获取，通讯作者邮箱：ljt950817@126.com。

					(1.7349)	
TWC						0.1063* (1.8337)
Kleibergen-Paap rk LM					1325.1190 [0.00]	1729.3047 [0.00]
Kleibergen-Paap rk Wald F					1462.3518 [0.00]	1613.4208 [0.00]
R^2	0.1352	0.1538	0.1427	0.1669	0.1570	0.1706
绿色“一带一路”倡议期间						
GIE_dis	0.3192*** (3.2041)					
GIE		0.3017** (2.9543)	0.4180*** (3.3516)	-0.1123 (-1.4605)		
IV_GIE					0.2874** (2.3010)	0.2900** (2.2973)
					GIE	*GIE*
SOI					0.1305* (1.9264)	
TWC						0.1281* (1.8974)
Kleibergen-Paap rk LM					1536.4425 [0.00]	1700.2518 [0.00]
Kleibergen-Paap rk Wald F					1608.9243 [0.00]	1665.0995 [0.00]
R^2	0.2031	0.1847	0.2216	0.1990	0.1568	0.1602
剔除特定年份	否	否	是	否	否	否
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
N	612	612	556	612	612	612

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平下显著；括号中是经过稳健标准误调整的 t 值，下同。

附表 3　　绿色投资效率对绿色经济发展的动态叠加：滞后效应

	GED				
	当期	滞后一期	滞后二期	滞后三期	滞后四期
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
“一带一路”倡议期间					
GIE	0.0918 (1.5037)	0.2384** (2.1503)	0.2039** (2.0926)	0.1736** (1.9954)	0.1032 (1.4871)
R^2	0.0817	0.1537	0.1549	0.1387	0.0903
绿色“一带一路”倡议期间					
GIE	0.1138*	0.2536***	0.3051***	0.2045***	0.1534**

	（1.8342）	（3.0058）	（3.1104）	（2.8314）	（2.4155）
R^2	0.1315	0.2014	0.2335	0.1997	0.1733
控制变量	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是
N	612	612	612	612	612

注：本文选择讨论绿色投资效率对绿色经济发展在当期、滞后一期、滞后二期、滞后三期与滞后四期的影响。

附表 4　　绿色投资效率影响绿色经济发展：产业结构差异、资源禀赋差异与绿色倾向差异

	GED					
	产业结构差异		资源禀赋差异		绿色倾向差异	
	传统产业转型	新兴产业发展	资源禀赋较强	资源禀赋较弱	绿色倾向较强	绿色倾向较弱
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）
“一带一路”倡议期间						
GIE	0.0895* （1.6938）	0.0436* （1.6910）	0.0377* （1.6451）	0.1433** （1.8452）	0.2340*** （3.1110）	0.0057 （1.0089）
R^2	0.2310	0.1478	0.1537	0.1348	0.1693	0.0821
绿色“一带一路”倡议期间						
GIE	0.2069*** （2.7334）	0.1232*** （2.6513）	0.3294*** （3.2257）	0.3305*** （3.3517）	0.3024*** （3.2061）	0.1308** （2.0031）
R^2	0.3360	0.2911	0.2715	0.1938	0.2413	0.1740
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
N	420	192	360	252	156	456

附表 5　　绿色投资效率影响绿色经济发展的企业行为：绿色创新-公司治理-绿色营销

	GED	*INO*	*GED*	*ESG*	*GED*	*GMI*	*GED*
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）	（7）
“一带一路”倡议期间							
GIE	0.2015*** （2.5413）	0.0300* (1.8021)		0.0630* (1.9360)		0.0563* (1.8402)	
INO			0.0993** (1.9837)				
ESG					0.1089** (1.9956)		
GMI							0.1003** (2.0019)
机制识别		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导	
R^2	0.2596	0.3019	0.3924	0.2814	0.2378	0.3403	0.3056

绿色“一带一路”倡议期间							
GIE	0.3408*** (3.1520)	0.1316*** (3.1150)		0.1673*** (3.3043)		0.1509*** (3.0025)	
INO			0.1280*** (2.7351)				
ESG					0.2033*** (3.4120)		
GMI							0.1725*** (2.8869)
机制识别		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导	
R^2	0.3015	0.3327	0.2891	0.3631	0.3472	0.3602	0.3685
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是	是
N	612	612	612	612	612	612	612

附表 6　　绿色投资效率影响绿色经济发展的政府管制：绿色补贴-污染税收-专利保护

	GED	*GMS*	*GED*	*PGT*	*GED*	*PPL*	*GED*
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）	（7）
“一带一路”倡议期间							
GIE	0.1963*** (2.3089)	0.1093** （1.9420）		0.1033** （1.9603）		0.1004** （1.7395）	
GMS			0.1398*** （2.8342）				
PGT					0.0953* （1.7344）		
PPL							0.0720* （1.8001）
机制识别		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导	
R^2	0.3157	0.3046	0.2991	0.3099	0.2783	0.2855	0.3007
绿色“一带一路”倡议期间							
GIE	0.2953*** (3.3148)	0.1766*** （3.0014）		0.1237** （2.3209）		0.1833*** （3.0033）	
GMS			0.1141** （2.0050）				

PGT					0.1539*** （2.8323）		
PPL							0.1910*** （3.2201）
机制识别		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导		机制有效-正向传导	
R^2	0.2589	0.2714	0.2333	0.2600	0.3104	0.2796	0.2803
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是	是
N	612	612	612	612	612	612	612

参考文献

[1] 安超,雷明.二氧化碳排放、人力资本和内生经济增长研究[J].中国管理科学,2019,27(5):149-160.

[2] 陈昌兵.可变折旧率的另一种估计方法——基于中国各省份资本折旧的极大似然估计[J].经济研究,2020,55(1):49-64.

[3] 陈健.我国人力资本差异对城乡经济差距的影响研究[D]·吉林.吉林大学,2021.

[4] 郭玲玲,卢小丽,武春友,等.中国绿色增长评价指标体系构建研究[J].科研管理,2016,37(6):141-150.

[5] 胡博伟,周亮,王中辉,等.干旱区资源型城市绿色经济效率时空分异特征[J].资源科学,2020,42(2):383-393.

[6] 蒋辉,马超群,许旭庆,等.仿EM的多变量缺失数据填补算法及其在信用评估中的应用[J].中国管理科学,2019,27(3):11-19.

[7] 柯善咨,向娟.1996—2009年中国城市固定资本存量估算[J].统计研究,2012,29(7):19-24.

[8] 李浩杰.关于我国居民无酬劳动经济价值的估算与分析[D]·北京.清华大学,2017.

[9] 李江龙,徐斌.“诅咒”还是“福音”:资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J].经济研究,2018,53(9):151-167.

[10] 李伟,隆国强,张琦,等.未来15年国际经济格局变化和中国战略选择[J].管理世界,2018,34(12):1-12.

[11] 林伯强,谭睿鹏.中国经济集聚与绿色经济效率[J].经济研究,2019,54(2):119-132.

[12] 柳卸林,朱浪梅.中国区域创新全要素生产率的演变动态:追赶还是落后?[J].科学学与科学技术管理,2021,42(12):99-112.

[13] 刘志彪,凌永辉.结构转换、全要素生产率与高质量发展[J].管理世界,2020,36(7):15-29.

[14] 吕越,陆毅,吴嵩博,等.“一带一路”倡议的对外投资促进效应——基于2005—2016年中国企业绿地投资的双重差分检验[J].经济研究,2019,54(9):187-202.

[15] 马兰.中国人力资源价值核算与分析[D]·湖北.中南财经政法大学,2021.

[16] 莫凌水,翟永平,张俊杰.“一带一路”绿色投资标尺和绿色成本效益核算[J].中国人民大学学报,2019,33(4):23-35.

[17] 邵帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J].管理世界,2022,38(2):4-10,46-69.

[18] 沈江建,龙文.负产出在DEA模型中的处理——基于软件DEAP的运用[C]第十届（2015）中国管理学年会论文集,2015,10(1):267-272.

[19] 孙瑾,刘文革,周钰迪.中国对外开放、产业结构与绿色经济增长——基于省际面板数据的实证检验[J].管理世界,2014,(6):172-173.

[20] 陶平生.全球治理视角下共建“一带一路”国际规则的遵循、完善和创新[J].管理世界,2020,36(5):16,161-171,203.

[21] 王兵,刘光天.节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J].中国工业经济,2015,(5):57-69.

[22] 王守坤.空间计量模型中权重矩阵的类型与选择[J].经济数学,2013,30(3):57-63.

[23] 王文,杨凡欣.“一带一路”与中国对外投资的绿色化进程[J].中国人民大学学报,2019,33(4):10-22.

[24] 夏炎,姜青言,杨翠红,等.“一带一路”倡议助推沿线国家和地区绿色发展[J].中国科学院院刊,2021,36(6):724-732.

[25] 许文静.房地产开发投资对工业绿色全要素生产率的影响研究[D]·湖北.华中科技大学,2018.

[26] 杨林涛,邱惠婷.中国财富性与生产性R&D资本存量估算——基于非传统永续盘存法[J].数量经济技术经济研

究,2021,38(11):122-143.

[27] 杨文举.基于 DEA 的绿色经济增长核算:以中国地区工业为例[J].数量经济技术经济研究,2011,28(1):19-34.

[28] 张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J].经济研究,2004,(10):35-44.

[29] 张琳彦,陈鸣,徐倩,等.考虑非期望因素的决策单元排序：两阶段综合效率法[J].运筹与管理,2021,30(10):57-63.

[30] 张少辉,余泳泽,杨晓章.中国城市固定资本存量估算与生产率收敛分析：1988—2015[J].中国软科学,2021,(7):74-86.

[31] 张述存.“一带一路”战略下优化中国对外直接投资布局的思路与对策[J].管理世界,2017,(4):1-9.

[32] 赵峭含,胡晓龙,诸克军.变量降维及零值数据在 DEA 应用中的改进[J].系统工程,2015,33(4):126-130.

[33] 诸大建.绿色经济新理念及中国开展绿色经济研究的思考[J].中国人口·资源与环境,2012,22(5):40-47.

[34] Albuquerque R, Koskinen Y, Zhang C. Corporate Social Responsibility and Firm Risk: Theory and Empirical Evidence[J]. Management Science, 2019, 65(10):4451-4469.

[35] Aparicio J, Ruiz J L, Sirvent I. Closest Targets and Minimum Distance to the Pareto-efficient Frontier in DEA[J]. Journal of Productivity Analysis, 2007, 28(3): 209-218.

[36] Bogetoft P, Otto L. Benchmarking with DEA, SFA, and R[J]. International Series in Operations Research & Management Science, 2011, 157(1): 81-113.

[37] Cohen L, Gurun U, Nguyen Q. The ESG-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting[J]. National Bureau of Economic Research, 2020, Working Paper, w27990.

[38] Cuiyun C, Chazhong G. Green Development Assessment for Countries along the Belt and Road[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 263(6): 110344.

[39] Dong Y, Tian J, Ye J. Environmental Regulation and Foreign Direct Investment: Evidence from China’s Outward FDI[J]. Finance Research Letters, 2021, 39(3): 101611.

[40] Edler J, Georghiou L. Public Procurement and Innovation -- Resurrecting the Demand Side[J]. Research Policy, 2007, 36(7): 949-963.

[41] Fan Q, Liu J, Zhang T, et al. An Evaluation of the Efficiency of China's Green Investment in the “Belt and Road” Countries[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2022, 60(3): 496-511.

[42] Fankhauser S, Kverndokk S. The Global Warming Game -- Simulations of A CO_2-reduction Agreement[J]. Resource and Energy Economics, 1996, 18(1): 83-102.

[43] Fare R, Lovell A C K. Measuring the Technical Efficiency of Production[J]. Journal of Economic Theory, 1978, 19(1): 150-162.

[44] Glenn J C, Gordon T J. The Millennium Project: Challenges We Face at the Millennium[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2001, 66(2-3): 129-312.

[45] Grosskopf R F. Nonparametric Productivity Analysis with Undesirable Outputs: Comment[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2003, 85(4): 1070-1074.

[46] Jiang Q, Ma X, Wang Y. How Does the One Belt One Road Initiative Affect the Green Economic Growth?[J]. Energy Economics, 2021, 101(9): 105429.

[47] Jin Y, Tang Y M, Chau K Y, et al. How Government Expenditure Mitigates Emissions: A Step Towards Sustainable Green Economy in Belt and Road Initiatives Project[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 303(2): 113967.

[48] Lin B, Zhou Y. Measuring the Green Economic Growth in China: Influencing Factors and Policy Perspectives[J]. Energy, 2022, 241(2): 122518.

[49] Liu Z, Xin L. Has China’s Belt and Road Initiative Promoted Its Green Total Factor Productivity? ——Evidence from Primary Provinces along the Route[J]. Energy Policy, 2019, 129(6): 360-369.

[50] Mahmood N, Zhao Y, Lou Q, et al. Role of Environmental Regulations and Eco-innovation in Energy Structure Transition for Green Growth: Evidence from OECD[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 183(10): 121890.

[51] Oh D, Lee J. A Meta-frontier Approach for Measuring Malmquist Productivity Index[J]. Empirical Economics, 2010,

38(1): 47-64.

[52] Pastor T J, Lovell K A C. A Global Malmquist Productivity Index[J]. Economics Letters, 2005, 88(2): 266-271.

[53] Peng H, Tan X, Managi S, et al. Club Convergence in Energy Efficiency of Belt and Road Initiative Countries: The Role of China’s Outward Foreign Direct Investment[J]. Energy Policy, 2022, 168(9): 113139.

[54] Qin G, Wang X, Wang T, et al. Impact of Particulate Matter on Hospitalizations for Respiratory Diseases and Related Economic Losses in Wuhan, China[J]. Front Public Health, 2022(10): 797296.

[55] Rennert K, Errickson F, Prest B C, et al. Comprehensive Evidence Implies A Higher Social Cost of CO2[J]. Nature, 2022, 610(9): 687－692.

[56] Sharp J A, Liu W M. A Modified Slacks-based Measure Model for Data Envelopment Analysis with Negative Outputs and Inputs[J]. The Journal of the Operational Research Society, 2007, 58(12): 1672-1677.

[57] Tone K. A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.

[58] Tone K. Variations on the Theme of Slacks-based Measure of Efficiency in DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 200(3): 901-907.

[59] Tone K, Tsutsui M. An Epsilon-based Measure of Efficiency in DEA － A Third Pole of Technical Efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.

[60] Uyarra E, Zabala-Iturriagagoitia J M, Flanagan K, et al. Public Procurement, Innovation and Industrial Policy: Rationales, Roles, Capabilities and Implementation[J]. Research Policy, 2020, 49(1): 103844.

[61] Wang X, Yang J, Zhou Q, et al. Mapping the Exchange between Embodied Economic Benefits and CO_2 Emissions among Belt and Road Initiative Countries[J]. Applied Energy, 2022, 307(2): 118206.

[62] Yang L, Ni M. Is Financial Development Beneficial to Improve the Efficiency of Green Development? Evidence from the “Belt and Road” Countries[J]. Energy Economics, 2022, 105(1): 105734.

[63] Zabala-Iturriagagoitia J M, Aparicio J, Ortiz L, et al. The Productivity of National Innovation Systems in Europe: Catching up or Falling behind?[J]. Technovation, 2021, 102(4): 102215.

[64] Zelenyuk V. Directional vs. Shephard’s Distance Functions[J]. Optimization Letters, 2014, 8(8): 2185-2189.

[65] Zhang N, Liu Z, Zheng X, et al. Carbon Footprint of China’s Belt and Road[J]. Science, 2017, 357(6356): 1107.

[66] Zofio J L. Malmquist Productivity Index Decompositions: A Unifying Framework[J]. Applied Economics, 2011, 39(18), 2371－2387.