

# “一带一路”国家绿色全要素生产率增长的俱乐部收敛

刘自敏 尹 凯\*

**摘要：**“一带一路”沿线国家的绿色全要素生产率增长测度及其影响因素分析是有关中国能源安全的重要政策与理论问题。基于GML指数模型与俱乐部收敛方法,本文对“一带一路”沿线40个国家的绿色全要素生产率增长及收敛性进行测算,并利用面板Tobit方法考察绿色全要素生产率增长的外部影响因素。研究发现,绿色发展约束下,沿线国家整体绿色全要素生产率增长的年均增速为0.39%,分别形成一个效率稳定和一个效率增长的俱乐部。对于效率稳定俱乐部,对外开放程度的提高对绿色全要素生产率增长有显著负向影响;对于效率增长俱乐部,对外开放程度与化石燃料比重的提高均对绿色全要素生产率增长有显著负向影响,优化基础设施与增强工业发展则对其有正向影响趋势。本文建议中国与沿线国家合作时,应采取差异性方案,并加大基础设施方面的合作力度。

**关键词：**一带一路;绿色全要素生产率;GML指数;俱乐部收敛

## 一、引言

为缓解全球气候变化影响,实现全球经济的可持续发展,各国对绿色全要素生产率增长水平的提高提出了要求。绿色全要素生产率增长不仅包含劳动、资本、国民经济等传统要素,还充分考虑了能源消耗、碳排放等经济指标,是实现绿色发展的根本动力。因此,各国的绿色

---

\*刘自敏(通讯作者),西南大学经济管理学院,邮政编码:400715,电子信箱:ziminliu@126.com;尹凯,西南大学经济管理学院,邮政编码:400715,电子信箱:1362443431@qq.com.

本文系国家自然科学基金青年项目“递增阶梯定价的政策评估与优化设计研究”(71603218)、重庆市人文社科重点研究基地重点项目“丘陵山区农村资源型产品的配置效率与定价策略”(16SKB057)、西南大学中央高校基本科研重大项目“交叉补贴视角下的中国能源价格机制设计”(SWU1809022)和西南大学中央高校基本科研基金项目“‘一带一路’沿线国家能源产业风险、运营效率与收敛性分析”(SWU1809406)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的建设性意见,文责自负。

全要素生产率增长既能反映各国的经济生产水平与经济结构,也为衡量各国经济、环境协同发展水平提供参考。在能源紧缺的时代背景下,中国提出“一带一路”倡议,以期各国之间加强合作,推动全球经济绿色发展。所以,能源合作必然是“一带一路”倡议的关键着力点。在此背景下,对“一带一路”沿线各国绿色全要素生产率增长及其关键影响因素进行分析,能够为提高全球绿色全要素生产率增长水平提供理论参考与政策建议,具有重要现实意义。

为应对全球气候变化、提高全球绿色全要素生产率,2015年中国政府发布了《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》,为沿线各国实现互通互联、深度沟通提供了有效平台;2017年、2018年中国政府又相继发布了《推动丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路能源合作愿景与行动》与《标准联通共建“一带一路”行动计划(2018-2020年)》,不仅在战略层面为沿线各国实现能源的深度合作、精准对接提供了契机,还以“推进国际产能和装备制造标准化合作,推动实体经济更好更快发展”为导向,为沿线各国之间的能源合作指明了方向;2018年10月中国举办了首届“一带一路”能源部长会议和第三届国际能源变革论坛,并与17国联合发布《建立“一带一路”能源合作伙伴关系部长联合宣言》,这表明各国间能源合作不断深化,能源治理机制逐步形成。各国之间的能源合作有益于在全球范围内促进要素流动,打破能源壁垒,优化能源结构,提高绿色全要素生产率增长水平。

在全球节能减排的时代背景下,如何实现经济与环境协同发展是各国需要共同面对的现实问题。传统的全要素生产率分析方法中并未考虑能源要素及碳排放,这显然不适用于可持续研究。基于此,本文利用绿色全要素生产率方法,将能源要素与碳排放纳入到分析框架中,通过对沿线各国的绿色全要素生产率增长进行测算分析,考察关键因素的具体影响,进而为优化全球能源利用方式,实现能源结构升级,提供切实可行的政策建议。

## 二、文献综述

对绿色全要素生产率增长及其收敛性进行测算,并对其影响因素进行考察,是分析绿色全要素生产率增长问题的重要手段。目前关于绿色全要素生产率增长的研究主要集中在以下三个方面:

一是有关绿色全要素生产率增长测算的常见方法。关于效率分析,主要分为静态效率测算与动态效率测算。一般在研究效率预测问题时,大多使用动态效率。动态效率测算中,早期常见的方法是Caves等(1982)提出的Malmquist法,但该方法只考虑了投入要素与期望产出,因此测算结果存在一定偏差。为此,Chung等(1997)在测算过程中考虑了环境影响,即生产过程中还存在伴随期望产出的非期望产出,提出了Malmquist-Luenberger(即ML)方法。需要注意的是,Malmquist-Luenberger方法测算出时期 $t$ 的ML指数,所面临的基准技术是依据时

期 $t$ 的观测结果构成,这就导致不同时期所面临的基准技术不同,会对最终的测算结果产生影响。为此,Oh(2010)借鉴Pastor和Lovell(2005)在GM指数方法中的全局思想,提出了Global Malmquist-Luenberger方法(即GML)。GML指数是在所有时期都依据同一基准技术的基础上测算得到的。除此之外,GML指数还具有累积性,且不存在不可行问题。因此,GML指数结果更加准确。

二是有关绿色全要素生产率增长的收敛性分析。常用收敛方式主要分为收敛于同一水平的绝对收敛和各自收敛于不同水平的相对收敛。绝对收敛常用方法主要包括 $\sigma$ 收敛、绝对 $\beta$ 收敛(Baumol, 1986; Barro & Sala-I-Martin, 1995),相对收敛常用方法主要是相对 $\beta$ 收敛(Miller & Upadhyay, 2002)。但是,常规收敛只能考察总体收敛或个体收敛,并且绝对收敛的 $\sigma$ 收敛是绝对 $\beta$ 收敛充分非必要条件(Quah, 1993; Lichtenberg, 1994), $\sigma$ 收敛与绝对 $\beta$ 收敛结果并不能作为相互证明的依据(Huang et al., 2018)。同时,常规收敛忽略了俱乐部收敛情况,即忽略了总体中各小团体收敛差异的情况。为此,Phillips和Sul(2007)提出俱乐部收敛方法。近年来俱乐部收敛应用越发广泛,例如Mariam等(2013)测算生态效率收敛性,Huang等(2018)测算绿色全要素生产率增长收敛性都应用了俱乐部收敛。田旭等(2016)利用常规收敛研究粮食生产潜能过程中,发现收敛结果矛盾,最终也是依靠俱乐部收敛方法,得到准确结果。

三是有关绿色全要素生产率增长影响因素的分析。从国际研究结果来看,外国直接投资、产业结构、能源结构、基础设施建设等因素会对绿色全要素生产率增长产生一定影响(Mulder & de Groot, 2012; Sineviciene et al., 2017; Philip et al., 2018),但技术变革是影响绿色全要素生产率增长最重要的因素(Stern, 2012);国内研究结果显示,政府干预、对外贸易、产业结构、空间集聚性、技术进步、基础设施、行政分割和能源禀赋等都是影响省际绿色全要素生产率的主要因素(魏楚、沈满洪,2007;王兵等,2010;张伟、吴文元,2011);行业研究结果发现,资源错配是削弱绿色全要素生产率增长的关键因素,优化资源配置可以大幅提高绿色全要素生产率增长水平(Hsieh & Peter, 2009; Brandt et al., 2012);在“一带一路”倡议研究结果方面,Han等(2018)认为贸易往来和区域合作能够有效提高绿色全要素生产率增长,齐绍洲和徐佳(2018)认为,进口贸易和监管质量等能够提高绿色全要素生产率增长,崔岩和于津平(2017)认为在一定程度上提高沿线国家的基础设施,有利于缓解资源配置扭曲的现状,进而带动绿色全要素生产率增长水平提高。

通过梳理上述文献可以发现:(1)从绿色全要素生产率增长测算角度而言,GML方法不仅能够考虑非期望产出,也能够统一技术基准,同时还具有累积性、可行性等优点,所以测算结果更为精准;(2)从绿色全要素生产率增长收敛性角度而言,俱乐部收敛不仅能够从总体层面考虑收敛,还能够分析出总体中不同团体的差异收敛情况,使得收敛结果更加科学;(3)从绿

色全要素生产率增长影响因素角度而言,除劳动、资本、能源等基本要素,产业结构、对外开放程度、技术变革、政府干预、基础设施等因素都能对绿色全要素生产率增长产生较大影响。

综上,本文首先利用GML方法对“一带一路”沿线国家的绿色全要素生产率增长进行测算;其次,利用俱乐部收敛方法对沿线国家绿色全要素生产率增长的收敛性进行分析;最后,考察关键因素对沿线国家整体及各俱乐部绿色全要素生产率增长的影响,并借助以上实证结果提出相应的政策建议。本文的贡献与可能存在的创新点主要有以下三点:第一,利用GML方法测算“一带一路”沿线国家的绿色全要素生产率增长水平,既考虑了非期望产出的影响,也统一了测算过程中的基准技术,使得测算结果更加准确;第二,利用俱乐部收敛方法对沿线国家进行划分,并分别考察关键因素对整体及不同俱乐部绿色全要素生产率增长产生的影响,使分析结果更加透彻清楚;第三,从实证角度对“一带一路”倡议绿色全要素生产率增长问题进行分析,充实该领域的成果研究。

### 三、理论分析与模型说明

结合上述的分析思路,本文先从理论视角对绿色全要素生产率增长及俱乐部收敛进行分析,再对本文所用的GML方法和俱乐部收敛方法进行简要说明。

#### (一)理论分析

环境污染与能源消耗对经济增长的影响较大。一方面,经济增长往往伴随着污染物排放,尽管生态环境能够自我修复,但是当环境污染的程度超过了生态环境的最大承载限度,不仅会对生态环境造成致命打击,还会造成一定程度的经济衰退(Boons & Wagner, 2009)。现有科技水平下,虽然生产过程难以完全规避环境污染,但是仍然可以通过技术手段削减排污量,进而改善生态环境,促进经济增长,从而实现二者之间的良性循环发展(Pomponi & Moncaster, 2017);另一方面,经济增长与能源消耗之间联系紧密,能源作为经济增长过程中的必要生产要素,在一国发展中具有重要的战略地位。研究发现,在经济水平不够发达时,经济增长不仅能够带动能源消耗(林伯强等, 2007),能源消耗也会促进经济发展(Henryk & Lukasz, 2012)。所以分析经济增长问题时,不仅要考虑环境污染,还要兼顾能源消耗。

全要素生产率作为度量经济增长的常用指标,充分考虑了生产过程中的投入与产出,深受国内外学者的青睐。但是当一国经济结构水平较低时,难以避免高投入、高污染的线性发展方式(陈诗一, 2009)。而传统的全要素生产率测算仅考虑了劳动与资本要素,并未将环境与能耗纳入测算体系中,使得最终测算结果的准确性受到质疑(陈超凡, 2016)。基于此,本文重点考察沿线国家绿色全要素生产率增长水平。绿色全要素生产率增长不仅考虑了传统要素,还将能源消耗与环境污染纳入了分析框架中,并且各国的相关数据中也隐含着自然禀赋、要素配置、生产结构等信息,可以反映出沿线各国的能源配置差异。同时,绿色全要素生产率



增长也能够较好地反映一国的绿色发展情况,便于考察经济发展与环境保护的协同问题。此外,这一指标也适用于收敛分析,利于沿线各国能源发展的长期预测。所以,考察沿线各国绿色全要素生产率增长具有重要的现实意义。

绿色全要素生产率增长的俱乐部收敛可以更为精准地预测各国绿色能源的发展问题。收敛理论指出,收敛分析结果中暗含着一定的动态演进趋势。对绿色全要素生产率增长进行收敛分析则可以对研究样本绿色全要素生产率增长的发展方向进行预测,便于政府配套相应政策。但是,传统的收敛分析,仅能考察样本总体收敛及个体收敛情况,且测算的结果不够准确。还有一些研究依据区位等其他人为因素划分收敛区间,这种方法也不能充分考虑不同地区之间的相似性与相近地区之间的差异(田旭等,2016)。而俱乐部收敛可以克服上述缺陷,能够抓住地区间的时变特征(贺祥民、赖永剑,2017)。同时,俱乐部收敛允许数据存在不同的时间趋势及个体特征。这种研究方法的特性与本文的研究样本极为契合,这也为“一带一路”沿线国家的类型划分提供了一条新思路。

能源刚需与环境污染是“一带一路”沿线国家普遍面临的共同约束,资源丰富和经济粗放是大多国家的现状。但是,如果继续激化环境污染与经济发展之间的矛盾,最终极有可能既破坏了生态环境,又阻碍了经济增长。所以,协同考虑经济发展与生态环境,并测算沿线各国绿色全要素生产率增长水平,能够为“一带一路”倡议的深入推进提供理论支持。基于以上讨论,本文实证部分的设计如下:第一,利用GML模型考察沿线各国的绿色全要素生产率增长,以保证结果更加贴近现实;第二,根据效率测算结果,进行俱乐部收敛分析,依据测算结果,对沿线国家的类型重新识别;第三,考察外部因素对沿线国家整体,以及各俱乐部绿色全要素生产率增长的具体影响,并根据实际测算结果提出具有针对性的政策建议,为沿线国家绿色全要素生产率增长水平的整体提高提供理论保障。

## (二)GML 指数模型

以 Malmquist 指数法为代表的传统全要素生产率增长测算方法,并未考虑非期望产出,这些适用于“唯 GDP”式的测算方法与当前节能减排、环境与经济协同发展的时代背景相悖。随着测算方法的不断发展,ML 指数法将非期望产出引入了指标体系,但是该方法只适用于短期测算,在长期测算过程中,会忽略技术前沿统一问题。而 GML 指数方法,在前人的基础上引入了必要的约束条件,充分考虑了上述问题,进而使得测算结果更加贴近现实,该方法的具体思路如下:

假设某国在本国的生产技术下,利用  $N$  种投入  $x$ ,可以生产出  $M$  种期望产出  $y$  和  $J$  种非期望产出  $b$ 。其中, $x \in R_+^N$ ,  $y \in R_+^M$ ,  $b \in R_+^J$ 。本国生产技术代表的生产可能集为  $P(x)$ ,设定国家  $k=1, 2, \dots, K$ ,时期  $t=1, 2, \dots, T$ ,则各时期的生产可能集为  $P^t(x^t) = \langle (y^t, b^t) | x^t \text{能够}$

生产 $(y', b')$ 。其中,假定  $P'$  满足期望产出强处置性、非期望产出弱处置公理以及产出的零结合公理。

为实现一定投入下,增加期望产出,削减非期望产出的目的,利用方向距离函数 DDF:令  $g=(g_y, g_b)$  作为方向向量,且  $g \in R_+^M \times R_+^J$ , 则 DDF 定义为  $D'(x, y, b; g_y, g_b) = \max \langle \beta((y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P'(x)) \rangle$ 。由生产可能集  $P'$  表达式可知,  $P'$  为同期基准技术,受时间影响。所以由同期基准技术推导出的 ML 指数,只能进行时间相邻的短期预测,而无法准确进行时间跨度较大的长期预测。同时基准技术随时间改变,使得 ML 指数不具有累积性,在方向距离函数的实际计算过程中,也容易出现无解的不可行问题。

为解决这一问题,Oh(2010)借鉴 Pastor 和 Lovell(2005)提出的全局思想,构建了全局基准技术  $P^G$ , 即  $P^G = P^1 \cup P^2 \cup \dots \cup P^T$ 。可以发现,全局基准技术包含了所有的同期基准技术,构建出一个涵盖所有生产技术的独立生产可能集,提供了一个统一前沿。

GML 指数表达式为:  $GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}$ , 其中方向距

离函数:  $D^G(x, y, b) = \max \langle \beta((y + \beta y, b - \beta b) \in P^G(x)) \rangle$ , 在全局技术  $P^G$  上定义。如果生产活动能够生产更多的期望产出和更少的非期望产出,那么  $GML^{t,t+1} > 1$ , 对应的生产率提高,反之亦然。

GML 指数还可以分解为生产率增长的组成部分,具体如下:

$$\begin{aligned} GML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= 1 + D^G(x^t, y^t, b^t) / 1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) \\ &= \frac{1 + D'(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \left[ \frac{(1 + D^G(x^t, y^t, b^t)) / (1 + D'(x^t, y^t, b^t))}{(1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})) / (1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}))} \right] \\ &= [TE^{t+1}/TE^t] \times [BPG_{t+1}^{t,t+1} / BPG_t^{t,t+1}] = EC^{t,t+1} \times BPC^{t,t+1} \end{aligned}$$

其中,  $EC^{t,t+1}$  表示两个时期间技术效率变化,  $EC^{t,t+1} > 1$  对应效率增加,表明赶上同期基准技术前沿,反之则表明滞后同期基准技术前沿。  $BPC^{t,t+1}$  是两时期间最佳实践差距的变化,  $BPC^{t,t+1} > 1$ , 表示技术进步,否则表示技术退步。

同时, GML 的累积性表示如下(  $EC$  与  $BPC$  同理):

$$GML^{t,t+1} \times GML^{t+1,t+2} = \frac{1 + D^G(t)}{1 + D^G(t+1)} \times \frac{1 + D^G(t+1)}{1 + D^G(t+2)} = \frac{1 + D^G(t)}{1 + D^G(t+2)} = GML^{t,t+2}$$

GML 指数模型具有循环累积性、规避了不可行的问题,且确定了统一的基准技术,也就表明可以进行时间跨度较大的长期预测。所以,利用 GML 指数方法测算的实际结果,更加贴近

现实,这也为之后的运算奠定了良好基础。

### (三)俱乐部收敛

目前,有较多学者提及“俱乐部收敛”这一概念,但其具体的计算方法尚存在较大区别。其中,较为常见的是将全样本依据某一特点分为不同子样本,并分别检验(沈坤荣、马俊,2002);也有部分学者采用空间计量方法,利用Moran's I指数将全样本分为不同子样本(杨骞、秦文晋,2018)。学者们虽然采用的方法不同,却都是从不同视角捕捉个体之间的异质性,这与“俱乐部收敛”的本质较为契合。但是需要注意,上述方法中隐含着较大的人为主观影响,这会使结果存在一定偏误。针对这一问题,Phillips和Sul(2007)利用非线性时变因子模型,将数据进行客观分解,对数据的异质成分进行捕捉分析,并基于此提出俱乐部收敛方法。本文主要采用该方法,接下来我们对该方法进行简要介绍:

对于任一面板数据  $X_{it}$ ,都能够分解为变化部分  $\delta_{it}$  与共同因子  $\mu_t$ ,即  $X_{it} = \delta_{it} \cdot \mu_t$ 。并且变化部分  $\delta_{it}$  又可以表示为:  $\delta_{it} = \delta_i + \frac{\sigma_i}{L_{(t)} \cdot t^a} \cdot \zeta_{it}$ ,其中  $\delta_i$  为固定部分,且该部分不随时间发生变化;  $\zeta_{it}$  服从标准正态分布且独立同分布;  $L_{(t)}$  表示增长变化方程。当  $a \geq 0$  时,  $t^a \rightarrow \infty$ ,  $\frac{\sigma_i}{L_{(t)} \cdot t^a} \cdot \zeta_{it} \rightarrow 0$ ,即  $\delta_{it} = \delta_i$ ,所有个体收敛于均衡。所以  $a$  与 0 的大小关系,可作为实证中判断收敛的标准,如下所示:

$H_0: \delta_i = \delta_{it}, a \geq 0$  收敛;  $H_1: \delta_i \neq \delta_{it}, a < 0$  不收敛

对  $a$  进行数值判断,通常采用  $\log t$  方程检验:

$$\log\left(\frac{H_1}{H_0}\right) - 2 \log L(t) = b_0 + 2a \log t + \mu_t$$

其中:  $H_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2$ ,  $H_0$  中的  $h_{it} = X_{it} / \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{it}$ ,  $L(t) = \log(t+1)$ ,  $t = [rT], [rT] + 1, \dots, T$ 。

因为  $T \leq 50$ ,所以此处取  $r=0.3$ 。该方程的判定标准为,对  $\log t$  的系数进行 t 检验,如果  $t > -1.65$ ,则表示同意收敛;如果  $t < -1.65$ ,则表示拒绝收敛。

综合Phillips和Sul(2007)与Schnurbus等(2017)的研究成果,我们总结如下五步的俱乐部收敛算法:

第一,排序。依据最后的观测结果,将面板中个体进行排序。若数据中存在时间序列波动性,按一定比例  $p$  截取数据的最后一部分,再按时间序列平均值顺序排序。

第二,构建核心组。令  $K$  为核心组的成员数量,基于排序顺序,找出第一个  $K(2 \leq K \leq N)$ ,用  $\log t$  回归的 t 统计量进行分别检验。找出其中所有符合  $t_k > -1.65$  的  $K$  值集合,并从中找出  $t_k$  的最大值  $t_k$  所对应的  $K^*$ 。此时  $K^*$  即为核心组所包含的成员数量。

第三,筛选俱乐部成员入会资格。确定核心组之后,通过逐个加入备选个体的方法,依次进行  $\log t$  回归。当  $t > 0$  时,认为此个体属于俱乐部,反之则不属于。通过此方法直至找到所有成员。需要注意的是,在这个过程中,整组要始终保证  $t_k > -1.65$ 。

第四,找出剩余的所有俱乐部。重复以上三个步骤,直到找出所有存在的俱乐部,若最后仍存在无归属的个体,则表明这些个体是发散的。

第五,俱乐部合并。对于分好的所有俱乐部,将俱乐部1与俱乐部2进行  $\log t$  回归;若实现共同收敛,则构成新的俱乐部  $A$ ,再将俱乐部  $A$  与俱乐部3继续进行融合;若未实现共同收敛,则将俱乐部2与俱乐部3进行  $\log t$  回归。重复上述步骤,直到合并了所有能够合并的俱乐部,实现俱乐部最少的目的。

俱乐部收敛方法较常规收敛方法具有独特的优势,俱乐部收敛可以依据群体中每个个体的不同情况,并按照一定的准则进行俱乐部构建,并且还能够甄别出其中的发散个体。同时,俱乐部收敛还能区别出全局收敛与全局发散的极端情况,所以俱乐部收敛方法基本上可以分辨出任何可能存在的收敛或发散的情况,从而得到更为精准的收敛结果。

#### 四、数据说明与实证分析

##### (一)数据说明与变量定义

本文研究选取“一带一路”沿线国家中的40国为样本,样本时间段为2003–2014年,所使用的数据均来源于世界银行数据库(World Bank 数据库)、佩恩表(Penn World Table 数据库)、国研网一带一路战略支撑平台、中国一带一路网<sup>①</sup>。

在分析过程中,首先利用GML方法测算沿线各国的绿色全要素生产率增长水平,并进行俱乐部收敛分析。之后再分析关键外部变量对绿色全要素生产率增长产生的影响。基于该研究思路,本文变量分为产出变量、投入变量、环境变量。关于产出变量,以GDP表示期望产出,CO<sub>2</sub>排放总量表示非期望产出(Han et al., 2018);关于投入变量,分别是资本存量、能源使用量、劳动力总人数表示资本、能源、劳动要素(李小平、王洋, 2017; Huang et al., 2018)。

关于环境变量,考虑现有研究成果与数据可获得性后,选取如下五个变量:一级行政区个数,对于各国而言,国内的行政划分意味着不同区域会面临不同的政策环境及经济环境,进而

<sup>①</sup>依据国研网等官方数据披露显示,目前默认“一带一路”中的主要国家共67个,包含中国后共计68个。由于一些沿线国家或整体数据缺失严重(如摩洛哥、叙利亚、卡塔尔、也门、巴勒斯坦等),或某一指标数据缺失严重(如阿联酋、阿曼、巴林、波黑、黑山、马其顿等),所以本次研究的样本国家共计40个。同时,考虑到“一带一路”沿线国家中的东帝汶民主共和国在2002年正式成立,所以本次研究的起始年份定于2003年,以2002年为基期。又因数据限制,本次研究的截止年份定于2014年。



影响能源要素的流动配置(吴文洁、巩芯仪,2015),从而影响绿色全要素生产率增长,本文以一级行政区个数表示行政区划<sup>①</sup>;工业增加值占GDP比重,产业结构调整会影响三大产业的占比情况,第二产业占GDP比重增大会加大能源消耗量,第二产业占GDP比重减小会降低能源消耗量(Newell et al. 1999),进而影响绿色全要素生产率增长,所以本文以工业增加值占GDP比重代表产业结构;货物贸易占GDP比重,对外开放程度会影响本国产品的生产结构,进而改变能源消耗水平,本文以货物贸易占GDP比重代表对外开放程度;铁路总公里数,对于“一带一路”国家,铁路能够加速沿线地区之间的经济发展(林茜妍等,2019),促进能源要素流动,进而提高能源利用效率,本文以铁路总公里数代表基础设施<sup>②</sup>;化石燃料能源消耗占比,能源消费结构的转型升级可以提高能源利用效率。一般而言,化石燃料消耗占比越大,表示能源消费结构越偏向于高排放的传统能源结构。但是,该指标中包含煤炭、石油、天然气三种燃料。林伯强等(2009)指出电力消费能够在很大程度上代替能源消费,考虑到天然气为清洁能源,本文以天然气发电量占比估算各国天然气发电在总发电中占比平均水平的具体参数,并利用该参数剔除化石燃料能源消耗占比中天然气影响,确保结果更为准确。因此,本文以修正后的化石燃料能源消耗占比代表能源消费结构具有一定代表性(宋一弘,2012;崔岩、于津平,2017;齐绍洲、徐佳,2018)。有关各项指标的描述性统计如表1所示:

表1 各变量描述性统计

	变量名	均值	标准差	最小值	最大值
产出变量	GDP(亿美元)	3266.61	8986.82	31.39	83332.87
	CO <sub>2</sub> (万吨)	36232.82	124910.30	188.12	1029193
投入变量	资本存量(亿美元)	20718.75	65549.73	252.20	693796.90
	能源使用量(人均千克石油当量)	2219.88	1752.54	149.73	9829.33
	劳动力总人数(万人)	4340.42	13786.13	16.50	78657.34
环境变量	一级行政区(个)	26.45	25.57	4	119
	工业增加值占GDP比重(%)	31.18	11.64	13.83	74.11
	货物贸易占GDP比重(%)	83.77	49.22	20.82	345.42
	铁路总公里数(百公里)	90.87	185.10	0.13	855.42
	化石燃料能源消耗占比(%)	44.16	24.24	0.95	93.47

从表1中可以看出,各项指标的两端极值差距很大,同时各项的标准差与均值也显示出各项指标数据的离散程度较大。以GDP、劳动力总人数、工业增加值比重这三个指标为例,这三个指标的最小值分别为31.39亿美元、16.50万人、13.83%,三个指标的极差分别为83301.48

①各国一级行政区数量的数据,是作者依据中国一带一路网信息手工整理。

②铁路总公里数的数据,是作者综合国研网、knoema数据库及其他平台数据整理所得。

亿美元、78640.84万人、60.28%。从数值上来看,不同国家在经济总量、劳动力人数、产业结构等方面存在着极大差距,这意味着沿线各国的经济结构具有较大差异,且都具有自身经济结构决定的比较优势。所以,各国自然禀赋结构、经济总量规模、国家基础设施等方面的差异为各国之间进行深度能源合作提供了基础。

(二)绿色全要素生产率增长测算及稳健性检验

1.绿色全要素生产率增长测算

为了对沿线各国的绿色全要素生产率增长进行深入分析,我们计算出沿线各国及整体的GML指数及其分解项(详见附录1.1)。并从累积变化和几何平均两个角度测算出沿线各国整体绿色全要素生产率增长水平,及各项指标下效率变化的国家个数,具体如表2所示:

表2 沿线国家整体效率及各国效率变化说明

	累积变化			几何平均		
	GML	EC	BPC	GML	EC	BPC
效率进步	26	14	24	23	15	22
效率不变	0	6	0	2	7	2
效率退步	14	20	16	15	18	16
整体效率	1.0325	0.9975	1.0351	1.0039	0.9997	1.0042

注:效率进步、不变、退步对应数值指国家个数。

由表中信息可知,从整体角度而言,2003-2014年沿线国家GML与技术进步BPC,分别整体累积提高3.25%、3.51%,即绿色全要素生产率以0.39%的年均增长率提高,能源技术以0.42%的年均增长速度实现进步,技术效率变化EC则整体累积降低0.25%,即能源技术的利用效率以年均0.03%的速度递减;从个体角度而言,沿线各国的GML值及其分解项结果表明,沿线各国的绿色全要素生产率大都发生了变化,且变化方向及大小均不同。累积变化视角下,从绿色全要素生产率增长角度来看,有26个国家实现了进步,14个国家效率退步;从效率变化角度来看,进步国家有14个,退步国家有20个,未发生变化的国家有6个;从技术进步角度来看,进步国家有24个,退步国家有16个。几何平均视角下,从绿色全要素生产率增长角度来看,有23个国家实现了进步,15个国家效率退步,未发生变化的国家有2个;从效率变化角度来看,进步国家有15个,退步国家有18个,未发生变化的国家有7个;从技术进步角度来看,进步国家有22个,退步国家有16个,未发生变化的国家有2个。

可以发现,虽然沿线各国的绿色全要素生产率增减不一,但是多数国家的绿色全要素生产率还是有所进步,并且从整体上看,绿色全要素生产率按照一定速度稳步提升。分解后可以发现,技术效率负向变化的国家较多,技术进步正向变化的国家较多。其中,技术效率负向变化但是程度较小,技术进步正向变化且程度与绿色全要素生产率增长大致相同。所以,尽管沿线各国绿色全要素生产率变化的大小与方向不一,但是整体上绿色全要素生产率是提升

的,并且基本上都是由技术进步带来。虽然技术效率变化阻碍了绿色全要素生产率增长,但程度非常小,基本上可以忽略不计。

为了进一步讨论沿线国家绿色全要素生产率增长变化,接下来我们基于时间视角,分别从累积变化与几何均值两个维度分析沿线国家整体的绿色全要素生产率增长及其分解结果(各年数值说明请见附录1.2)。具体测算结果如图1所示:

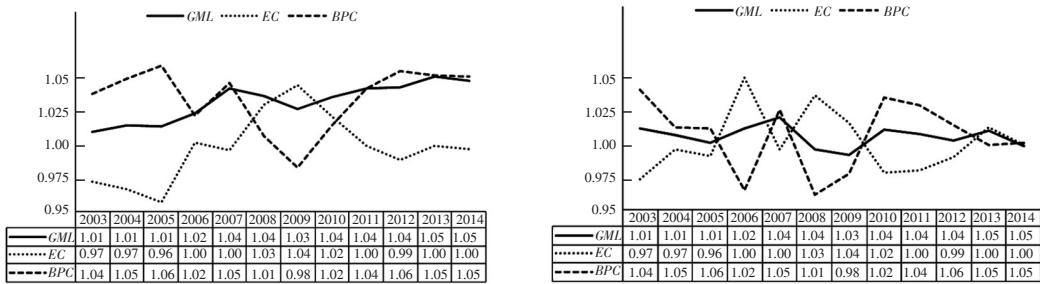


图1 2003-2014年沿线国家整体累积变化值与几何平均值

在图1左中,是沿线国家整体的累积变化值,其中绿色全要素生产率增长、效率变化、技术进步这几个指标,都随着时间的推移产生了较大的波动,虽然这三个指标都有增长趋势,但是表现的并不明显。从累积角度而言,各年与基期2002年相比,只有绿色全要素生产率始终表现为增长状态,而效率变化与技术进步都出现过不同频次的退步情况。

在图1右中,是沿线国家整体的几何平均值,其中效率变化和技术进步波动较大,绿色全要素生产率表现出较为平稳的增长趋势。并且从效率变化与技术进步的转折点可以看出,基本上在2009年的时候这两个指标发生了较大变化,其中技术进步衰减,效率变化提高,但是两者的综合效应仅有小幅下降,可能是因为2008年的全球性金融危机给能源相关行业带来较大冲击,技术研发资金缩减,生产资金扩充进而带动技术效率提高。

综合而言,沿线国家整体的绿色全要素生产率并没有明显的稳定增长趋势,且效率变化与技术进步也是如此。这种波动状的隐性增长表明沿线国家整体的能源利用方式并未达到最优状态,说明沿线国家整体正在发展过程中不断摸索,进行能源产业的结构升级,从而提高绿色全要素生产率。

## 2.绿色全要素生产率稳健性检验

本文在采用GML指数方法对“一带一路”沿线40个国家的绿色全要素生产率增长测算分析后,有必要进行相应的稳健性检验。从方法角度而言,如果将GML方法更换为ML、Malmquist等方法,则会更改非参数运算中的约束条件,进而导致测算结果的侧重方向发生偏离,所以更换运算方法进行稳健性检验,并不可取;从数据角度而言,更换相关数据的指标进行再次运算,通过结果分析比对,则可以实现稳健性检验的目的。由于目前数据限制,本文难以更换如非期望产出、资本、劳动力等数据,借鉴林伯强等(2009)的观点,本文将能源变量的

指标由能源消耗量更换为用电量,并将新数据重新进行计算(结果见附录2)。计算后发现,前后两组运算结果大体一致,这也说明了本文使用的绿色全要素生产率增长结果稳健。

### (三)俱乐部收敛分析及稳健性检验

#### 1.俱乐部收敛分析

结合测算得到的沿线各国绿色全要素生产率增长结果,本文首先对沿线国家整体进行总体收敛分析<sup>①</sup>,之后再利用  $\log t$  检验,得到各俱乐部的组成情况,最后借鉴 Schnurbus 等(2017)的研究成果,完成俱乐部合并。通过以上思路,得到俱乐部收敛的最终结果。

$$\log\left(\frac{H_t}{H_0}\right) - 2 \log L(t) = b_0 + 2a \log t + \mu_t$$

利用上式进行总体收敛分析。通过测算发现  $\log t$  的系数值为-1.12,t 值为-43.40,小于临界值-1.65,即不存在全局收敛,所以接下来有必要进行俱乐部收敛。进行俱乐部收敛计算后,样本国家分为如下2个俱乐部,再进行合并计算,结果显示无合并必要。所以,俱乐部收敛结果如表3所示:

表3 俱乐部组成情况

俱乐部名称	国家	累积均值	几何均值
效率稳定俱乐部(33个)	波兰、俄罗斯、菲律宾、克罗地亚、拉脱维亚、尼泊尔、沙特阿拉伯、斯里兰卡、斯洛伐克、斯洛文尼亚、以色列、印度、阿尔巴尼亚、埃及、爱沙尼亚、巴基斯坦、保加利亚、黎巴嫩、立陶宛、马来西亚、孟加拉国、泰国、文莱、匈牙利、亚美尼亚、伊朗、哈萨克斯坦、柬埔寨、吉尔吉斯斯坦、蒙古、土耳其、新加坡、中国	0.9944	0.9996
效率增长俱乐部(7个)	阿塞拜疆、白俄罗斯、捷克、摩尔多瓦、塔吉克斯坦、乌克兰、乌兹别克斯坦	1.2325	1.0246

俱乐部收敛的结果表明,样本国家形成的2个俱乐部数量分布并不均匀,俱乐部规模“一大一小”,且并无发散国家,这说明样本国家中目前存在两种收敛方式。结合两个俱乐部的累积变化均值与几何均值可以发现,效率稳定俱乐部整体累积削减了0.56%,即绿色全要素生产率以年均0.04%的速度递减,由于绿色全要素生产率的年均递减值非常小,所以我们可以将该俱乐部视为沿线国家中绿色全要素生产率稳定不变的群体;效率增长俱乐部整体累积增加了23.25%,即绿色全要素生产率以年均2.46%的速度递增,这个绿色全要素生产率的年均递增速度比较大,所以将该俱乐部看作沿线国家中绿色全要素生产率稳健增长的群体。在之前对沿线国家整体分析中,就绿色全要素生产率而言,无论是累积值还是几何均值都呈现出一定程度的增长趋势,而结合俱乐部收敛结果,可以发现沿线国家整体的增长趋势基本都来源于效率增长俱乐部中的国家。

①若检验发现整体收敛,则不进行之后的俱乐部收敛分析,若整体不收敛,则继续进行俱乐部收敛分析。



梳理绿色全要素生产率增长与俱乐部收敛结果,可以得到如下两个结论:第一,在样本国家中,存在一个规模较大且绿色全要素生产率稳定的俱乐部和一个规模较小且绿色全要素生产率稳健增长的俱乐部。这一结果让我们对样本国家的绿色全要素生产率有了更深一层的理解。第二,虽然绿色全要素生产率稳健增长的俱乐部规模较小,但它是沿线国家整体呈现增长趋势的主要动力。这表明绿色全要素生产率稳健增长的俱乐部具有较大发展潜力。

## 2.俱乐部收敛稳健性检验

为保证上述结果的稳健性,本文将对绿色全要素生产率增长稳健性检验结果进行俱乐部收敛分析,并对两组结果进行对比分析。俱乐部收敛的稳健性检验结果如下:

表4 稳健性检验的俱乐部组成情况

俱乐部名称	国家	累积均值	几何均值
效率稳定俱乐部(35个)	波兰、俄罗斯、菲律宾、克罗地亚、拉脱维亚、尼泊尔、沙特阿拉伯、斯里兰卡、斯洛伐克、斯洛文尼亚、以色列、印度、阿尔巴尼亚、埃及、爱沙尼亚、巴基斯坦、保加利亚、黎巴嫩、立陶宛、马来西亚、孟加拉国、泰国、文莱、匈牙利、亚美尼亚、伊朗、哈萨克斯坦、柬埔寨、吉尔吉斯斯坦、蒙古、土耳其、新加坡、中国、捷克、塔吉克斯坦	0.9931	0.9985
效率增长俱乐部(5个)	阿塞拜疆、白俄罗斯、摩尔多瓦、乌克兰、乌兹别克斯坦	1.2558	1.0275

通过对比表3与表4数据可以发现,两者的俱乐部构成基本一致,区别在于稳健性检验后捷克与塔吉克斯坦归入效率稳定俱乐部,这与更换测算数据有关。同时,稳健检验前后,样本都分为效率基本稳定的俱乐部与效率增长的俱乐部,且各俱乐部的相关数值相差不大。这表明本文俱乐部收敛的结果是较为稳健的。

## 五、绿色全要素生产率增长影响因素分析及稳健性研究

### (一)绿色全要素生产率增长影响因素分析

绿色全要素生产率增长在一定程度上会受到外部因素的影响,因此本文接下来将分别讨论外部因素对样本国家总体、效率稳定俱乐部国家、效率增长俱乐部国家的影响。考虑到绿色全要素生产率增长数据具有非负截断特性,本文采用面板Tobit模型,模型具体如下:

$$Y_{k, it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1, it} + \beta_2 x_{2, it} + \beta_3 x_{3, it} + \beta_4 x_{4, it} + \beta_5 x_{5, it} + \varepsilon_{it}$$

其中,当 $k=1, 2, 3$ 时, $Y_{it}$ 分别表示绿色全要素生产率增长、技术效率变化、技术进步<sup>①</sup>,  $x_1-x_5$

<sup>①</sup>在实际计算中,绿色全要素生产率增长、技术效率变化、技术进步的取值都选取其百分数表示,即数值单位为%。

分别表示行政区划、对外开放程度、产业结构、基础设施、能源消费结构,  $\beta_i$  表示回归系数,  $\varepsilon_{it}$  表示随机误差。借鉴杜江等(2016)研究经验,本文有关效率的取值采用累积值。包含中国在内的样本回归结果如表5所示:

表5 样本包含中国的面板Tobit回归结果

	样本总体			效率稳定俱乐部			效率增长俱乐部		
	GML	EC	BPC	GML	EC	BPC	GML	EC	BPC
行政区划	-0.040 [0.086]	0.049 [0.105]	-0.079 [0.077]	-0.053 [0.063]	-0.048 [0.055]	0.014 [0.046]	-0.151 [0.227]	-0.151 [0.196]	0.192 [0.343]
对外开放程度	-0.122*** [0.026]	-0.057* [0.031]	-0.059** [0.024]	-0.079*** [0.018]	0.003 [0.019]	-0.042** [0.019]	-0.275* [0.153]	-0.292** [0.117]	0.066 [0.081]
产业结构	0.144 [0.114]	0.531*** [0.148]	-0.236** [0.114]	0.0061 [0.088]	-0.101 [0.098]	0.186** [0.089]	0.480 [0.305]	1.704*** [0.311]	-1.439*** [0.279]
基础设施	-0.001 [0.012]	0.005 [0.015]	-0.010 [0.011]	-0.0002 [0.009]	0.011 [0.008]	-0.010 [0.006]	0.105 [0.072]	0.313*** [0.057]	-0.345*** [0.122]
能源消费结构	-0.039 [0.080]	-0.020 [0.100]	0.001 [0.078]	0.129** [0.064]	0.188*** [0.059]	-0.125** [0.051]	-0.327* [0.190]	-0.722*** [0.148]	0.888*** [0.318]
常数	1.125*** [0.062]	0.887*** [0.076]	1.193*** [0.058]	1.017*** [0.047]	0.917*** [0.049]	1.076*** [0.044]	1.407*** [0.174]	1.012*** [0.126]	1.324*** [0.172]
$\sigma_u$	0.130*** [0.016]	0.158*** [0.019]	0.115*** [0.015]	0.088*** [0.013]	0.075*** [0.010]	0.061*** [0.009]	0.080*** [0.044]	0.054*** [0.036]	0.165*** [0.056]
$\sigma_e$	0.080*** [0.003]	0.103*** [0.003]	0.084*** [0.003]	0.050*** [0.002]	0.071*** [0.003]	0.076*** [0.003]	0.149*** [0.012]	0.170*** [0.014]	0.097*** [0.008]
Rho	0.724	0.702	0.656	0.753	0.532	0.395	0.221	0.092	0.741
LR	431.03	452.90	365.83	370.09	233.46	125.23	3.43	1.59	74.25

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%水平上显著,方括号内为标准差,下表同。

由上表可知,对于样本总体而言:对外开放程度提高对绿色全要素生产率增长、技术效率、技术进步都有显著的负向影响,“一带一路”沿线国家大多是能源储备较为丰富的发展中国家,通常会以技术含量低、能源消耗大的产品进行贸易,所以对外开放程度大并不利于绿色全要素生产率增长提高;产业结构对技术效率变化有显著正向影响,对技术进步有显著负向影响,这表明对沿线国家而言,工业发展利于提高绿色全要素生产率增长,但是不利于技术进步,这说明工业发展到一定程度后,沿线国家需要结合本国实际对产业结构进行优化。

对于效率稳定俱乐部国家而言:对外开放程度增加对绿色全要素生产率增长、技术进步都有显著的负向影响,与样本国家总体基本一致,这说明对外开放程度的提高并不利于效率稳定俱乐部国家提高绿色全要素生产率增长;产业结构对技术进步有显著正向影响,并且对绿色全要素生产率增长表现为正向影响,表明加大工业投入能够优化工业结构,促进技术进

步,进而带动绿色全要素生产率增长,这说明该俱乐部整体工业化水平仍存在提升空间,有必要加大工业投入;能源消费结构对绿色全要素生产率增长、技术效率有显著的正向影响,对技术进步有显著的负向影响,这说明该俱乐部加大传统能源投入能够依靠规模效应提高绿色全要素生产率增长,但是该生产方式属于传统的粗放模式,这表明该俱乐部国家整体还处于粗放经济发展阶段,且能源技术存在较大提升空间。

对于效率增长俱乐部国家而言:对外开放程度增加依然对绿色全要素生产率增长、技术效率有显著负向影响,说明对外开放程度提高不利于该俱乐部国家提高绿色全要素生产率增长;产业结构对技术效率变化有显著正向影响,对技术进步有显著负向影响,对绿色全要素生产率增长有正向影响趋势,这表明尽管加大工业投入能够带动绿色全要素生产率增长,但该俱乐部整体工业技术已经达到较高水平,在该发展模式下继续加大工业投入,只能依靠规模效应获得收益,且会对生产技术的改良造成阻碍;基础设施对绿色全要素生产率增长、技术效率、技术进步的影响均与产业结构相同,这表明该俱乐部应该从多维视角对基础设施网络进行升级改进,进而为产业结构升级做好充分保障;能源消费结构对绿色全要素生产率增长与技术效率有显著的负向影响,对技术进步有显著正向影响,表明加大传统能源投入不利于绿色全要素生产率增长,该俱乐部整体的生产结构已有偏向集约经济的趋势,这说明该俱乐部需要进行转型升级。

通过对比两个俱乐部的结果可以发现,绿色全要素生产率稳定俱乐部正处于粗放发展阶段,且发展较为稳定,但仍需在发展过程中蓄势,为下一次能源结构升级、优化调整作准备;绿色全要素生产率增长的俱乐部正处于面临转型升级的关键时期,需要在发展过程中把握时机,以技术进步为发展导向,以技术效率为发展目标,二者互为动力,协同发展。

中国作为世界大国与“一带一路”倡议的发起国,需要在全球经济和谐发展的过程中承担大国责任。同时,也为了便于中国在“一带一路”倡议中,能够匹配到高质量的合作伙伴,本文将在下面的分析中剔除中国影响,重点考察环境因素对其他沿线国家绿色全要素生产率增长的影响。基于此,接下来讨论样本中不包含中国的情况<sup>①</sup>,具体的分析结果如表6所示。

由表6可知,对样本国家总体而言,对外开放程度与产业结构对绿色全要素生产率增长的影响与包含中国时的结果基本一致,其他影响因素对绿色全要素生产率增长、技术效率及技术进步均无显著影响,但对于绿色全要素生产率增长而言,基础设施作用由负向影响趋势转换为正向影响趋势。

<sup>①</sup>作者对除中国外的样本总体再次进行俱乐部收敛,分析结果发现,两个俱乐部的构成并未发生变化。

表6 样本不包含中国的面板Tobit回归结果

	样本总体			效率稳定俱乐部			效率增长俱乐部		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
行政区划	-0.046 [0.086]	0.039 [0.105]	-0.076 [0.078]	-0.060 [0.063]	-0.056 [0.055]	0.016 [0.047]	-0.151 [0.227]	-0.151 [0.196]	0.192 [0.343]
对外开放程度	-0.121*** [0.026]	-0.057* [0.031]	-0.058** [0.024]	-0.077*** [0.018]	0.003 [0.019]	-0.041** [0.020]	-0.275* [0.153]	-0.292** [0.117]	0.066 [0.081]
产业结构	0.156 [0.116]	0.545*** [0.150]	-0.236** [0.116]	0.023 [0.090]	-0.079 [0.100]	0.186** [0.092]	0.480 [0.305]	1.704*** [0.311]	-1.439*** [0.279]
基础设施	0.003 [0.014]	0.012 [0.017]	-0.012 [0.013]	0.004 [0.010]	0.016* [0.008]	-0.010 [0.007]	0.105 [0.072]	0.313*** [0.057]	-0.345*** [0.122]
能源消费结构	-0.032 [0.081]	-0.006 [0.101]	-0.001 [0.080]	0.140** [0.065]	0.204*** [0.059]	-0.127** [0.053]	-0.327* [0.190]	-0.722*** [0.148]	0.888*** [0.318]
常数	1.117*** [0.063]	0.876*** [0.078]	1.193*** [0.060]	1.006*** [0.048]	0.904*** [0.050]	1.076*** [0.046]	1.407*** [0.174]	1.012*** [0.126]	1.324*** [0.172]
$\sigma_u$	0.130*** [0.016]	0.158*** [0.019]	0.117*** [0.015]	0.088*** [0.013]	0.074*** [0.010]	0.062*** [0.009]	0.080*** [0.044]	0.054*** [0.036]	0.165*** [0.056]
$\sigma_e$	0.081*** [0.003]	0.104*** [0.003]	0.085*** [0.003]	0.051*** [0.002]	0.072*** [0.003]	0.077*** [0.003]	0.149*** [0.012]	0.170*** [0.014]	0.097*** [0.008]
Rho	0.721	0.696	0.655	0.747	0.515	0.393	0.221	0.092	0.741
LR	415.16	434.94	356.53	350.58	213.89	121.50	3.43	1.59	74.25

对于效率稳定俱乐部国家而言,对外开放程度、产业结构、能源消费结构对绿色全要素生产率增长的影响与包含中国时的结果基本一致。但是,基础设施对未包含中国样本的技术进步有显著正向影响,且对绿色全要素生产率增长有正向趋势,这表明加大基础设施建设能提高该样本国家的技术效率,且能在一定程度上促进绿色全要素生产率增长;对于效率增长俱乐部国家而言,无论样本总体中是否包含中国,效率增长俱乐部的组成国家并没有发生任何变化,所以此处得到的结论与之前相同。

通过对比有无包含中国的样本可以发现:基础设施对除中国外的样本群体具有一定正向影响,这表明其他样本国家的基础设施水平还存在着提升空间,这也为中国与他国的合作指明了一个方向;对外开放程度增加对样本总体及两个俱乐部的绿色全要素生产率增长都有显著的负向影响,这表明沿线国家现行的贸易方式及贸易结构不利于绿色全要素生产率增长提高;产业结构与能源结构在表5与表6中,对样本总体、效率稳定俱乐部、效率增长俱乐部的绿色全要素生产率增长、技术效率变化、技术进步影响基本一致。

### (二)稳健性检验

为保证上文结果的有效性,本文将因变量 *GML*、*EC*、*BPC* 替换为前文绿色全要素生产率增长稳健性检验的相关数据。同时,对全样本数据进行分析后,再依据俱乐部收敛稳健性



检验的相关结果进行实证分析,结果如下:

表7 稳健性检验

	样本总体			效率稳定俱乐部			效率增长俱乐部		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
行政区划	0.005 [0.081]	0.032 [0.104]	-0.007 [0.059]	-0.029 [0.057]	-0.049 [0.059]	0.027 [0.055]	0.557*** [0.169]	0.013 [0.226]	0.470*** [0.088]
对外开放程度	-0.086*** [0.024]	-0.066** [0.030]	-0.004 [0.021]	-0.045** [0.018]	-0.009 [0.019]	-0.011 [0.020]	-0.507*** [0.161]	-0.727*** [0.216]	0.165** [0.084]
产业结构	0.422*** [0.110]	0.583*** [0.148]	0.039 [0.095]	0.163* [0.089]	-0.056 [0.100]	0.285*** [0.101]	0.369** [0.160]	1.455*** [0.214]	-0.814*** [0.083]
基础设施	-0.002 [0.012]	0.004 [0.015]	-0.009 [0.009]	0.001 [0.008]	0.012 [0.008]	-0.012 [0.008]	0.661*** [0.145]	0.548*** [0.194]	0.088 [0.076]
能源消费结构	-0.025 [0.076]	-0.041 [0.099]	0.018 [0.059]	0.093* [0.056]	0.114* [0.060]	-0.0004 [0.058]	-2.101*** [0.478]	-1.713*** [0.640]	-0.316 [0.249]
常数	0.981*** [0.059]	0.901*** [0.076]	1.012*** [0.048]	0.949*** [0.047]	0.953*** [0.050]	0.953*** [0.049]	1.485*** [0.152]	1.522*** [0.203]	0.977*** [0.079]
$\sigma_u$	0.123*** [0.015]	0.158*** [0.019]	0.088*** [0.011]	0.080*** [0.011]	0.082*** [0.010]	0.076*** [0.010]	0.078*** [0.043]	0.052*** [0.034]	0.162*** [0.052]
$\sigma_e$	0.076*** [0.002]	0.102*** [0.003]	0.078*** [0.003]	0.057*** [0.002]	0.070*** [0.002]	0.078*** [0.003]	0.151*** [0.015]	0.174*** [0.017]	0.102*** [0.011]
Rho	0.722	0.704	0.560	0.666	0.580	0.488	0.215	0.089	0.735
LR	438.80	455.73	292.30	321.71	289.20	199.48	3.27	1.36	71.86

对于全样本、效率稳定俱乐部而言,产业结构对绿色全要素生产率增长具有显著正向影响,而之前结果中显示为正向趋势。表5中指数结果中包含了能源消耗影响,表7中指数结果中包含了电力消耗影响,显著性出现变化的原因可能是产业结构变化会对电力使用结构造成较大影响,而对能源消耗的配置方式影响较小,所以产业结构对以电力消耗为代表的能源要素影响更为明显。虽然产业结构对绿色全要素生产率增长影响的显著性有变化,但是对全样本中的技术效率、效率稳定俱乐部中的技术进步始终表现为显著正向影响,前文分析表明两个样本中绿色全要素生产率增长的正向趋势分别由技术效率、技术进步提供,稳健性检验中只是加大了这种影响程度,所以该结果能够表明前文研究结果稳健。

对于效率增长俱乐部而言:产业结构、基础设施对绿色全要素生产率增长均表现为显著正向影响,前文则均表现为正向趋势。但是在表5与表7中,对技术效率始终均表现为显著正向影响,所以也能理解为将能源消耗替换为电力消耗后,加强了这两个指标对技术效率的影响,进而对绿色全要素生产率增长表现为显著正向影响,所以该结果也能表明前文结果稳健;行政区划对绿色全要素生产率增长表现为显著正向影响,这与前文结果有较大差别。造成这一结果可能有如下原因,前文中能源消耗虽然会受到行政区划影响,但是行政区划对能源流通、利用方式等的影响作用并不会太大。但是将指标更换为电力消耗后,各级行政区对本区

内电力的定价、配额、利用方式等具有较大决策权力,所以行政区划会对包含电力消耗的指数结果产生更为显著的影响。

结合上述分析,虽然稳健性检验结果与前文分析有一定差距,但是结合更换指标的影响及现实背景,能够说明该结果表现出的经济含义与前文基本一致。所以,本文稳健性检验结果表明前文分析的实证部分结果稳健。

## 六、结论与政策建议

基于“一带一路”沿线国家中40个国家的公开宏观数据,本文利用GML指数模型测算样本国家的绿色全要素生产率增长,并利用俱乐部收敛方法对样本国家绿色全要素生产率增长的收敛性进行分析。在此基础上,再考察关键因素对沿线国家整体及各俱乐部的影响,进而为沿线国家提高绿色全要素生产率增长水平提出相关政策建议,提供理论支持。

本文的研究结论与政策建议主要包括以下几个部分:

第一,绿色发展约束下,沿线国家总体绿色全要素生产率以0.39%的年均增长率提高,并形成了一个绿色全要素生产率基本稳定的俱乐部和一个年均增长率为2.46%的绿色全要素生产率增长俱乐部,不同俱乐部之间差别明显,这表明各国应结合本国能源要素优势,加深能源合作,实现优势互补,形成共赢发展,进而带动国际绿色全要素生产率提高。通过测算可知,沿线国家总体绿色全要素生产率呈现增长趋势,但是结合俱乐部收敛结果发现,总体中存在基本稳定和稳健增长这两类俱乐部,沿线国家之间的发展差异为能源合作提供了机遇。所以,沿线国家可以借助“一带一路”平台进行深度能源合作,拓宽要素流通渠道,打通要素配置障碍,削弱空间地理约束,实现能源配置最优,既能实现合作双方的收益最大,又能从根本上提高国际能源利用效率。

第二,对于绿色全要素生产率稳定俱乐部而言,对外开放程度提高对绿色全要素生产率增长有负向影响,加大工业投入能够促进技术进步,且该俱乐部目前处于粗放式的稳定发展阶段,所以各成员国应提高工业化水平,并调整贸易政策,加大与沿线国家能源要素与技术上的深度合作,从根本上提高绿色全要素生产率。一般而言,对外开放程度越高,越利于提高绿色全要素生产率增长,但是实证结果却得出相反的结论,这说明该俱乐部国家以高能耗产品为主,且贸易对技术提升没有帮助。所以,这就要求该俱乐部国家需要依据本国情况提高工业水平,并调整贸易政策,加大沿线各国间能源与技术的深层次、多领域合作,并于发展过程中逐步淘汰高能耗的传统方式,引入低能耗的先进方式,提高该俱乐部国家的绿色全要素生产率。

第三,对于绿色全要素生产率增长的俱乐部而言,提高对外开放程度与化石燃料比重会产生显著负向影响,优化基础设施与提高工业水平能够提高技术效率进而对该俱乐部绿色全

要素生产率增长产生正向影响,这表明该俱乐部正处于面临转型的关键时期,各成员国需要调整对外贸易政策,优化工业结构,配套基础设施,降低化石燃料比重,并在发展中逐步引入先进能源技术,从而实现绿色全要素生产率增长。由实证结果可知,为了保持该俱乐部国家良好的发展势头,各国需要依据本国具体发展情况推动产业结构升级,从多维视角优化基础设施网络,并对传统的能源消费结构作出优化调整,以适应转型升级的发展进程,同时调整贸易政策,加紧与沿线国家能源要素及技术的深度合作,实现共赢互惠,从而达到提高绿色全要素生产率增长的目的。

第四,两个俱乐部之间存在较大差异,且基础设施优化对样本国家有正向影响趋势,这表明中国与沿线国家进行合作时,应对不同的合作伙伴采取差异性合作方案,且中国需要加大与其他国家在基础设施方面的合作力度,加深沿线国家之间互联互通程度。中国作为“一带一路”倡议的发起者,需要和沿线国家携手发展,共赢互利。通过本文分析结果可以明显发现样本国家中存在两个差别明显的俱乐部,所以在合作过程中,中国需要采取特点鲜明的差异政策手段,才能实现双方合作的收益最大化。通过分析结果可知,基础设施对除中国外样本国家的绿色全要素生产率增长有正向影响趋势,所以中国应加大与其他国家在基础设施方面的合作,加深各国之间的互联互通,从而提高国际绿色全要素生产率增长水平。

随着“一带一路”倡议的逐步推进,有关沿线国家绿色全要素生产率的研究不断增加。本文测算了沿线国家的绿色全要素生产率增长及其收敛性,并考察了关键外部因素对绿色全要素生产率增长的影响,借助以上分析结果提出适当的政策建议。但是本文主要研究沿线国家的动态效率,并未考虑各国的静态效率,所以得到的结果不够充分。基于此,本文在后续研究中,会尝试将沿线国家的静态效率与动态效率联合分析,最终形成一套完备的理论体系,为“一带一路”倡议的绿色全要素生产率问题,提供有效可行的理论支持。

## 附录:

### 附录 1:

在附录 1.1 中,我们详细说明了沿线各国能源动态效率的累积变化值与几何平均值,同时还测算出沿线各国的能源动态效率均值;在附录 1.2 中,我们逐年分析了沿线国家总体的能源动态效率,并分别给出了累积变化值与几何平均值,同样也测算出了各年动态效率均值。

附录 1.1 沿线各国的累积变化值与几何平均值

国家	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
阿尔巴尼亚	0.8847	0.8424	1.0502	0.9810	0.9783	1.0027
阿塞拜疆	1.3307	1.5468	0.8603	1.0295	1.0480	0.9824
埃及	0.8870	0.9946	0.8919	0.9919	1.0016	0.9903

续附录 1.1

沿线各国的累积变化值与几何平均值

国家	累积变化值			几何平均值		
	GML	EC	BPC	GML	EC	BPC
爱沙尼亚	0.8629	0.8681	0.9939	0.9793	0.9777	1.0016
巴基斯坦	1.0428	1.0102	1.0323	1.0094	1.0021	1.0073
白俄罗斯	1.3420	1.4183	0.9462	1.0311	1.0334	0.9977
保加利亚	0.9112	0.9515	0.9576	0.9846	0.9856	0.9990
波兰	1.0757	1.1627	0.9252	1.0127	1.0277	0.9854
俄罗斯联邦	1.0940	1.1160	0.9802	1.0119	1.0148	0.9971
菲律宾	1.1322	1.0832	1.0453	1.0131	1.0043	1.0087
哈萨克斯坦	1.1275	1.1638	0.9689	1.0168	1.0185	0.9984
吉尔吉斯斯坦	1.1180	1.2370	0.9038	1.0103	1.0208	0.9897
柬埔寨	1.0059	0.8641	1.1641	0.9978	0.9792	1.0190
捷克	1.1108	1.0444	1.0636	1.0166	1.0032	1.0134
克罗地亚	0.9049	0.8831	1.0247	0.9876	0.9922	0.9954
拉脱维亚	0.9076	0.8330	1.0896	0.9828	0.9929	0.9898
黎巴嫩	0.8521	0.8629	0.9874	0.9848	0.9812	1.0037
立陶宛	0.9723	0.9614	1.0113	0.9934	0.9986	0.9947
马来西亚	0.9960	0.9725	1.0241	1.0014	0.9967	1.0048
蒙古	0.8614	0.9347	0.9216	0.9972	1.0030	0.9943
孟加拉国	1.0066	0.9402	1.0706	1.0024	0.9888	1.0137
摩尔多瓦	1.2177	1.0378	1.1734	1.0316	1.0132	1.0182
尼泊尔	1.0093	0.8526	1.1838	0.9935	0.9716	1.0225
沙特阿拉伯	1.0437	0.8537	1.2226	1.0037	0.9709	1.0338
斯里兰卡	1.0849	1.0000	1.0849	1.0095	1.0000	1.0095
斯洛伐克	1.0050	1.0360	0.9701	0.9982	1.0064	0.9918
斯洛文尼亚	0.9235	0.8714	1.0598	0.9884	0.9929	0.9955
塔吉克斯坦	1.2360	0.7992	1.5466	1.0171	0.9718	1.0465
泰国	1.0207	0.9866	1.0346	1.0007	0.9970	1.0037
土耳其	0.9715	1.0000	0.9715	1.0000	1.0000	1.0000
文莱	0.9443	0.7605	1.2416	0.9906	0.9670	1.0244
乌克兰	1.2934	1.3391	0.9658	1.0277	1.0372	0.9908
乌兹别克斯坦	1.1187	1.2684	0.8819	1.0192	1.0317	0.9878
新加坡	1.1014	1.0000	1.1014	1.0175	1.0000	1.0175
匈牙利	1.0010	0.9546	1.0486	1.0052	1.0000	1.0052
亚美尼亚	1.0885	1.0013	1.0871	1.0080	0.9973	1.0107
伊朗	1.0022	0.9327	1.0745	0.9982	0.9906	1.0076
以色列	1.1025	1.0000	1.1025	1.0155	1.0000	1.0155
印度	1.0078	1.0000	1.0078	1.0016	1.0000	1.0016
中国	0.9814	1.0000	0.9814	1.0000	1.0000	1.0000
整体	1.0325	0.9975	1.0351	1.0039	0.9997	1.0042



附录 1.2 2003–2014 年沿线国家整体累积变化值与几何平均值

年份	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	[ <i>BPC</i> ]	<i>GML</i>	<i>EC</i>	[ <i>BPC</i> ]
2003	1.0100	0.9722	1.0388	1.0100	0.9722	1.0388
2004	1.0149	0.9668	1.0497	1.0048	0.9944	1.0104
2005	1.0139	0.9565	1.0601	0.9991	0.9893	1.0099
2006	1.0241	1.0018	1.0223	1.0100	1.0474	0.9643
2007	1.0424	0.9959	1.0468	1.0179	0.9941	1.0239
2008	1.0367	1.0302	1.0063	0.9945	1.0345	0.9613
2009	1.0269	1.0450	0.9827	0.9905	1.0143	0.9766
2010	1.0363	1.0210	1.0150	1.0092	0.9770	1.0329
2011	1.0422	0.9996	1.0426	1.0057	0.9791	1.0272
2012	1.0434	0.9886	1.0555	1.0012	0.9889	1.0123
2013	1.0519	0.9992	1.0528	1.0081	1.0108	0.9974
2014	1.0483	0.9968	1.0517	0.9966	0.9976	0.9990
均值	1.0325	0.9975	1.0351	1.0039	0.9997	1.0042

## 附录 2:

附录 2 中包含了绿色全要素生产率增长的稳健性检验结果。附录 2.1 中说明了沿线国家绿色全要素生产率增长稳健性检验的累积变化值与几何平均值;在附录 2.2 中,我们从时间维度对绿色全要素生产率增长稳健性检验结果作出分析,并逐年给出累积变化值与几何平均值。同时,我们在两个附表中都给出了样本国家两类变化的几何均值。对比附录 1 与附录 2 中的附表可以发现,两者之间虽然存在差距,但是整体趋势基本一致,所以能够保证正文中应用结果的稳健性。

附录 2.1 沿线各国的累积变化值与几何平均值(稳健性检验)

国家	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
阿尔巴尼亚	0.8847	0.8424	1.0502	0.9810	0.9783	1.0027
阿塞拜疆	1.3307	1.5468	0.8603	1.0295	1.0480	0.9824
埃及	0.8714	0.9960	0.8748	0.9863	1.0016	0.9847
爱沙尼亚	0.8629	0.8681	0.9939	0.9793	0.9777	1.0016
巴基斯坦	1.0326	1.0486	0.9848	1.0081	1.0090	0.9992
白俄罗斯	1.3420	1.4183	0.9462	1.0311	1.0334	0.9977
保加利亚	0.9112	0.9515	0.9576	0.9846	0.9856	0.9990
波兰	1.0882	1.1692	0.9308	1.0139	1.0263	0.9879
俄罗斯联邦	1.0911	1.1109	0.9822	1.0107	1.0139	0.9969
菲律宾	1.1048	1.0810	1.0221	1.0114	1.0050	1.0064
哈萨克斯坦	1.1275	1.1830	0.9531	1.0168	1.0194	0.9975
吉尔吉斯斯坦	1.1180	1.2370	0.9038	1.0103	1.0208	0.9897
柬埔寨	0.9702	0.9652	1.0052	0.9910	0.9903	1.0007

续附录 2.1 沿线各国的累积变化值与几何平均值(稳健性检验)

国家	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
捷克	1.1125	1.0126	1.0987	1.0145	1.0022	1.0122
克罗地亚	0.9028	0.8831	1.0223	0.9862	0.9922	0.9940
拉脱维亚	0.9076	0.8330	1.0896	0.9828	0.9929	0.9898
黎巴嫩	0.8539	0.8549	0.9988	0.9867	0.9820	1.0048
立陶宛	0.9723	0.9614	1.0113	0.9934	0.9986	0.9947
马来西亚	1.0189	0.9619	1.0593	1.0029	0.9964	1.0065
蒙古	0.8614	0.9347	0.9216	0.9972	1.0030	0.9943
孟加拉国	0.9340	1.0000	0.9340	0.9926	1.0000	0.9926
摩尔多瓦	1.2177	1.0378	1.1734	1.0316	1.0132	1.0182
尼泊尔	0.9243	0.9499	0.9730	0.9808	0.9834	0.9975
沙特阿拉伯	1.2053	1.0000	1.2053	1.0077	1.0000	1.0077
斯里兰卡	1.0260	1.0000	1.0260	1.0018	1.0000	1.0018
斯洛伐克	1.0050	1.0360	0.9701	0.9982	1.0064	0.9918
斯洛文尼亚	0.9235	0.8714	1.0598	0.9884	0.9929	0.9955
塔吉克斯坦	0.9923	0.7463	1.3297	0.9916	0.9659	1.0266
泰国	1.0101	0.9969	1.0133	0.9998	0.9972	1.0026
土耳其	0.9719	1.0000	0.9719	1.0000	1.0000	1.0000
文莱	0.9443	0.7605	1.2416	0.9906	0.9670	1.0244
乌克兰	1.2841	1.3177	0.9745	1.0261	1.0372	0.9894
乌兹别克斯坦	1.1187	1.3200	0.8475	1.0192	1.0379	0.9820
新加坡	1.1039	1.0000	1.1039	1.0175	1.0000	1.0175
匈牙利	1.0204	0.9621	1.0605	1.0047	0.9995	1.0053
亚美尼亚	1.0885	1.0013	1.0871	1.0080	0.9973	1.0107
伊朗	0.9780	0.9416	1.0386	0.9957	0.9912	1.0046
以色列	1.1025	1.0000	1.1025	1.0155	1.0000	1.0155
印度	0.9925	1.0000	0.9925	1.0002	1.0000	1.0002
中国	0.9833	1.0000	0.9833	1.0000	1.0000	1.0000
整体	1.0227	1.0081	1.0144	1.0021	1.0015	1.0006

附录 2.2 2003-2014年沿线国家整体累积变化值与几何平均值(稳健性检验)

年份	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
2003	1.0112	0.9729	1.0394	1.0112	0.9729	1.0394
2004	1.0198	0.9660	1.0556	1.0086	0.9930	1.0157
2005	1.0159	0.9654	1.0523	0.9961	0.9993	0.9968
2006	1.0219	1.0015	1.0204	1.0060	1.0374	0.9697
2007	1.0373	1.0019	1.0354	1.0151	1.0004	1.0147
2008	1.0314	1.0357	0.9958	0.9943	1.0338	0.9618
2009	1.0123	1.0581	0.9567	0.9814	1.0215	0.9607

续附录 2.2 2003-2014 年沿线国家整体累积变化值与几何平均值(稳健性检验)

年份	累积变化值			几何平均值		
	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>	<i>GML</i>	<i>EC</i>	<i>BPC</i>
2010	1.0195	1.0376	0.9826	1.0072	0.9807	1.0270
2011	1.0265	1.0180	1.0083	1.0068	0.9811	1.0262
2012	1.0240	1.0094	1.0145	0.9976	0.9916	1.0061
2013	1.0270	1.0179	1.0090	1.0029	1.0084	0.9946
2014	1.0254	1.0179	1.0074	0.9984	1.0000	0.9984
均值	1.0227	1.0081	1.0144	1.0021	1.0015	1.0006

### 参考文献：

- [1] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素——基于 ML 生产率指数及动态面板模型的实证研究[J]. 统计研究, 2016, 33(03): 53-62.
- [2] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, 44(04): 41-55.
- [3] 崔岩, 于津平. “一带一路”国家基础设施质量与中国对外直接投资——基于面板门槛模型的研究[J]. 世界经济与政治论坛, 2017, (05): 135-152.
- [4] 杜江, 王锐, 王新华. 环境全要素生产率与农业增长: 基于 DEA-GML 指数与面板 Tobit 模型的两阶段分析[J]. 中国农村经济, 2016, (03): 65-81.
- [5] 贺祥民, 赖永剑. 基于非线性时变因子模型的地区环境效率俱乐部收敛分析[J]. 软科学, 2017, (03): 103-106.
- [6] 李小平, 王洋. “一带一路”沿线主要国家碳生产率收敛性及其影响因素分析[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2017, (3): 58-76.
- [7] 林伯强, 蒋竺均, 林静. 有目标的电价补贴有助于能源公平和效率[J]. 金融研究, 2009, (11): 1-18.
- [8] 林伯强, 魏巍贤, 李丕东. 中国长期煤炭需求: 影响与政策选择[J]. 经济研究, 2007, (02): 48-58.
- [9] 林茜妍, 马宗文, 李闽榕, 傅海威. “一带一路”之繁荣发展: 基于产业、金融与设施联通的分析[J]. 东北亚经济研究, 2019, 3(02): 32-45.
- [10] 齐绍洲, 徐佳. 贸易开放对“一带一路”沿线国家绿色全要素生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(04): 134-144.
- [11] 沈坤荣, 马俊. 中国经济增长的“俱乐部收敛”特征及其成因研究[J]. 经济研究, 2002, (01): 33-39+94-95.
- [12] 宋一弘. 环境约束下城市能源效率及其影响因素分析——基于三阶段 DEA-Malmquist 指数的实证分析[J]. 暨南学报(哲学社会科学版), 2012, 34(11): 99-105+163.
- [13] 田旭, 于晓华, 张晓恒. 中国粮食生产潜能分析: 一个基于“俱乐部收敛”的视点[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2016, 46(05): 112-128.
- [14] 王兵, 吴延瑞, 倪鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010, (05): 95-109.
- [15] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007, (08): 66-76.
- [16] 吴文洁, 巩芯仪. 碳排放约束下陕西省全要素能源效率研究[J]. 当代经济科学, 2015, 37(02): 97-105+127-128.
- [17] 杨骞, 秦文晋. 中国产业结构优化升级的空间非均衡及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(11): 58-76.
- [18] 张伟, 吴文元. 基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究[J]. 经济研究, 2011, (10): 95-109.

- [19] Barro, J. and X. Sala-i-Martin. *Economic Growth*[M]. New York: McGraw, 1995.
- [20] Baumol, W. Productivity, Growth, Convergence and Welfare: What the Long-run Data Show[J]. *American Economic Review*, 1986, 76(5): 1872-1885.
- [21] Boons, F. and M. Wagner. Assessing the Relationship between Economic and Ecological Performance: Distinguishing System Levels and the Role of Innovation[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 1908-1914.
- [22] Brandt, L., J. V. Biesebroeck, and Y. Zhang. Creative Accounting or Creative Destruction? Firm-Level Productivity Growth in Chinese Manufacturing[J]. *Journal of Development Economics*, 2012, 97(2): 339-351.
- [23] Caves, D. W., L. R. Christensen, and W. E. Diewert. Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers[J]. *The Economic Journal*, 1982, 92(365): 73-86.
- [24] Chung, Y. H., R. Fare, and S. Grosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51(3): 229-240.
- [25] Lichtenberg, F. R. Testing the Convergence Hypothesis[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1994, 76(3): 576-579.
- [26] Han, L., B. Han, X. Shi, B. Su, X. Lv, and X. Lei. Energy Efficiency Convergence across Countries in the Context of China's Belt and Road Initiative[J]. *Applied Energy*, 2018, 213: 112-122.
- [27] Henryk, G. and L. Lukasz. The Electricity Consumption Versus Economic Growth of the Polish Economy[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(2): 500-510.
- [28] Hsieh, C. T. and J. K. Peter. Misallocation and Manufacturing TFP in China and India[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2009, 124(4): 1403-1448.
- [29] Huang, J., Y. Yu, and C. Ma. Energy Efficiency Convergence in China: Catch-Up, Lock-In and Regulatory Uniformity[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2018, 70(1): 107-130.
- [30] Mariam, C., C. Juana, J. P. T. Andr es, and T. Cecilio. Eco-Efficiency and Convergence in OECD Countries[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2013, 55(1): 87-106.
- [31] Miller, S. and M. Upadhyay. Total Factor Productivity and the Convergence Hypothesis[J]. *Journal of Macroeconomics*, 2002, 24(2): 267-286.
- [32] Mulder, P. and H. L. F. de Groot. Structural Change and Convergence of Energy Intensity across OECD Countries, 1970-2005[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(6): 1910-1921.
- [33] Newell, R., A. Jaffe, and R. Stavins. The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114: 941-975.
- [34] Oh, D. H. A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183-197.
- [35] Pastor, J. T. and C. A. K. Lovell. A Global Malmquist Productivity Index[J]. *Economics Letters*, 2005, 88(2): 266-271.
- [36] Philip, K. A., A. Kwaku, K. A. Kennedy, and Q. Christopher. Estimate of Transient and Persistent Energy Efficiency in Africa: A Stochastic Frontier Approach[J]. *Energy Conversion and Management*, 2018, 166: 556-568.
- [37] Phillips, P. and D. Sul. Transition Modeling and Econometric Convergence Tests[J]. *Econometrica*, 2007, 75(6): 1771-1855.
- [38] Pomponi, F. and A. Moncaster. Circular Economy for the Built Environment: A Research Framework[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 143: 710-718.
- [39] Quah, D. Galton's Fallacy and Tests of the Convergence Hypothesis[J]. *The Scandinavian Journal of Economics*, 1993, 95(4): 427-443.
- [40] Schnurbus, J., H. Haupt, and V. Meier. Economic Transition and Growth: A Replication[J]. *Journal of Ap-*

plied Econometrics, 2017, 32(5): 1039–1042.

[41] Sineviciene, L., I. Sotnyk, and O. Kubatko. Determinants of Energy Efficiency and Energy Consumption of Eastern Europe Post-Communist Economies[J]. Energy and Environment, 2017, 28(8): 870–884.

[42] Stern, D. I. Modeling International Trends in Energy Efficiency[J]. Energy Economics, 2012, 34(6): 2200–2208.

## Green Total Factor Efficiency Growth in Countries Along the Belt and Road: Based on Club Convergence

Liu Zimin and Yin Kai

(College of Economics and Management, Southwest University)

**Abstract:** The measurement of green total factor productivity growth in the countries along the "Belt and Road" and the analysis of its influencing factors are important policy and theoretical issues concerning China's energy security. Based on Global Malmquist–Luenberger index model and Club Convergence method, this paper measures the energy efficiency and convergence of 40 countries along the "Belt and Road" countries, and then this paper uses the Panel Tobit method to investigate the external influencing factors of energy efficiency. The result shows that under the constraint of green development, the average annual growth rate of green total factor productivity in the countries along the line is 0.39%. These countries are divided into two clubs: a club with stable efficiency and a club with increased efficiency. For the efficiency stability club, improving the degree of opening up to the outside world has a significant negative impact on the growth of green total factor productivity. For the efficiency growth club, both increasing openness and the proportion of fossil fuels have a significant negative impact on green total factor productivity growth, while optimizing infrastructure and enhancing industrial development have a positive impact. It is suggested that China should adopt different plans and strengthen cooperation in infrastructure when it cooperates with the countries along the Belt and Road.

**Keywords:** Belt and Road; Green Total Factor Productivity; GML Index; Club Convergence

**JEL Classification:** C24, Q43, Q56

(责任编辑:朱静静 卢玲)