

低碳约束下中、蒙、俄3国能源效率评价

屈秋实^{1,2}, 王礼茂^{1,2}, 方叶兵^{1,2,3}, 牟初夫^{1,2}, 熊琛然^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049
3. 安徽师范大学地理与旅游学院, 芜湖 241003

摘要 作为“一带一路”沿线主要国家,中、蒙、俄3国共同组成中蒙俄经济走廊带。以中、蒙、俄能源效率为主要研究内容,利用2000—2014年3国能源和环境数据,考察3国能源利用和环境状况,运用结合窗口模型的超效率DEA(data envelopment analysis)模型测算包含碳排放约束的三国全要素能源效率,并回归分析其影响因素。能源效率研究结果表明,中国的能源消耗和CO₂排放量均大于俄罗斯和蒙古国;中、蒙两国能源消费与CO₂排放关系密切;2004—2009年俄罗斯的单要素和全要素能源效率均高于中国和蒙古国,而2010—2014年中国的单要素和全要素能源效率均高于俄罗斯和蒙古国。造成能效差异的主要原因为:经济发展、能源贸易增加对能源效率的提高有积极作用,煤炭等高耗能能源的投入及工业在产业中占比的增加对能源效率产生负向影响。

关键词 能源效率;低碳约束;中、蒙、俄;DEA模型

自“一带一路”倡议提出以来,能源合作一直是重点领域之一^[1]。随着各国经济的不断增长,对能源的需求也不断增加,资源约束日趋加剧,在加大能源开发力度的同时,能源效率也需要进一步提高。在这种背景下,科学评估能源效率、实现能源资源的高效利用成为各国经济发展和环境保护的重要措施^[2]。

作为“一带一路”沿线国家,中、蒙、俄3国共同构成“中蒙俄经济走廊带”,俄、蒙两国能源资源丰富,产业发展相对落后,而中国能源需求旺盛,基础产能相对过剩,3国在能源和产业合作方面具有很好的互补性。然而,随着能源消费的不断增长,尤其是对化石能源的消费不断增多,导致CO₂排放增加,对全球变暖产生重要

影响,而提高能源效率被广泛认为是增加能源安全、减缓气候变化的主要手段之一^[3-4]。因此,在考虑碳排放的条件下,对中、蒙、俄3国能源利用效率及碳排放状况进行考察,分析测算3国碳约束下能源效率,探讨能源效率差异影响因素,对进一步认识和挖掘3国节能潜力,完善国家的能源配置方式具有较强的参考价值,同时也可作为“一带一路”沿线其他国家能源的效率评估及能源领域合作提供参考和借鉴。

对能源效率的评价可以分为单要素能源效率和全要素能源效率^[5-6]。其中,单要素能源效率方法以能源作为唯一投入,用能源投入量与相应的产出量的比值代表能源效率,最常见的衡量指标为能源强度,该方法

收稿日期:2017-11-30;修回日期:2018-01-02

基金项目:国家重点研发计划(2016YFA0602800);中国科学院重点部署项目(ZDRW-ZS-2016-6)

作者简介:屈秋实,博士研究生,研究方向为能源经济,电子信箱:quqs.16b@igsnr.ac.cn;王礼茂(通信作者),研究员,研究方向为地缘政治与能源经济,电子信箱:lmwang@igsnr.ac.cn。

引用格式:屈秋实,王礼茂,方叶兵,等.低碳约束下中、蒙、俄3国能源效率评价[J].科技导报,2018,36(3):91-99;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.03.012

是简单的比例关系,并没有从系统的角度考虑能源使用情况,进而忽视了生产过程中其余生产要素的使用和生产活动对环境、生态的影响。全要素能源效率能够充分考虑各种投入要素之间的相互作用,可以较为客观、准确地度量一个国家或行业的能源利用水平,近年来得到广泛应用,但其需要通过模型进一步测算,结果存在一定不确定性。因此,本文在对单要素能源效率进行考察的前提下,测算全要素能源效率,一方面可以了解中、蒙、俄3国能源基本情况,另一方面也可为全要素能源效率的结果提供参照。

在对世界各国全要素能源效率评价中,Zhang等^[7]应用DEA(data envelopment analysis)窗口模型对23个发展中国家的全要素能源效率进行测算,并对全要素能源效率增加国家,尤其是中国进行深入分析,得出有效的能源政策是提高能源效率的重要方式等结论。胡根华等^[8]基于DEA-Tobit模型对“金砖国家”(俄罗斯(Russia)、中国(China)、巴西(Brazil)、印度(India)和南非(South Africa),BRICS)的全要素能源效率进行比较,得出“金砖国家”全要素能源效率整体水平不高,各国存在显著差异;其中,中国与俄罗斯两国节能潜力很大。刘明辉^[9]对中哈两国全要素能源效率进行比较,探讨两国节能减排领域合作路径。de Castro Camioto等^[10]在全要素框架下对G7成员国(加拿大、法国、德国、意大利、日本、英国和美国)和“金砖五国”的能源效率进行对比分析,结果表明,G7成员国整体效率高于金砖五国;其中,“金砖五国”中的中国和俄罗斯分别排在第3位和第4位。岳立^[11]对“丝绸之路经济带”沿线28国的能源效率进行变化和分解,得出各国全要素能源效率处于上升趋势;其中,中国的全要素能源效率最高,俄罗斯排名第7,蒙古国排名第9位,但其研究内容中仅考虑了能源效率,忽视能源利用对环境的影响。可以发现,在对各国间全要素能源效率进行比较中,由于比较国家的不同,国家的效率相对不同,但对于中、蒙、俄3国而言,其整体能源效率均存在进一步改进空间,不仅如此,中国作为世界碳排放大国,若忽视环境效应对其进行评价,在效率比较上有失偏颇。因此,不同以往研究,将非期望产出考虑在内,使用2000—2014年中、蒙、俄3国数据,在考虑到松弛变量和模型样本容量的基础上,将DEA模型中的超效率SBM(slacks based measure)模型和窗口模型进行结合,比较分析3国在碳排放约束

下的全要素能源效率,并对照参比各国目标能源消耗量,为能源效率的进一步提高提供依据;同时建立计量模型揭示碳排放约束下全要素能源效率影响因素,为能源效率的提高找寻外部条件。

1 研究方法 with 指标数据选取

虽然在现状考察中对中、蒙、俄3国能源利用和环境状况进行考察,并选用能源强度单要素能源效率指标进行说明,但这种考察仅仅是针对能源这一单要素,忽视了可能存在的资本和劳动等要素之间的替代,因此,有必要进行全要素能源效率测算,并找出影响3国能源效率的主要因素,为3国能源效率的提高提供依据。

1.1 DEA方法

使用传统DEA评价决策单元的效率时,对于无效决策单元来说,其当前状态与强有效目标值之间的差距,除了等比例改进的部分之外,还包括松弛改进的部分。为了解决投入产出出现松弛问题,Tone^[12]将松弛变量引入目标函数建立了SBM模型,次年又进一步在该模型基础上构建了超效率松弛变量的数据包络模型,其核心是将被评价决策单元(decision making unit)从参考集中剔除,且效率值可以 >1 ,解决了传统DEA模型中的截尾问题,不需要采用Tobit模型进行进一步回归分析,解决了相对有效单元排序问题。而随着环境问题的逐渐显现,“坏产出”逐渐被引入模型中,Cooper^[13]在已有SBM模型基础上,将“坏产出”引入到模型中,建立了包含非期望产出的SBM模型。

而DEA窗口模型是对传统DEA改进后所形成的非参数面板方法,该方法既可以测算一个截面上各决策单元的效率,也可以测算所有决策单元的效率在时间序列上的变化趋势,是解决决策单元数量不足问题的有效途径。本文以此为参照,结合Tone提出的SBM超效率模型,建立包含窗口模型的非期望产出的SBM超效率模型。Charnes等^[14]发现在窗口选择上,当窗口为3时能达到最终效率值的平衡,本文选择3为窗口期数,这样对于各国每年将会产生3个有效值,在最终分析上,将对其取平均进行分析。

本研究假设期望产出与非期望产出有联合弱可处置性和零结合性,投入与期望产出强可处置性^[15]。具体线性规划式为

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{q_2} \frac{s_t^-}{b_{rk}} \right)}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik}$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \geq y_{rk}$$

$$\sum_{j=1, j \neq k}^n b_{tj} \lambda_j - s_t^- \leq b_{tk}$$

$$\lambda, s^-, s^+ \geq 0$$

$$i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, q; j=1, 2, \dots, n (j \neq k)$$

式中, j 为中第 j 个国家, 共 n 个国家; i 为 x 的第 i 个投入, 共 m 个投入; r 为 y 的第 r 个期望产出, 共 q 种期望产出; t 为第 t 个非期望产出; x, y, b 分别表示投入变量、期望产出和非期望产出; s^-, s^+, s^- 分别表示投入变量、期望产出、非期望产出的松弛变量; 目标值 ρ 的分子与分母分别表示实际投入和产出相对于生产前言的平均扩张比例与平均可缩减比例。

由于包含了超效率求解, 最终效率值不受效率值小于或等于 1 的限制, 存在效率值大于 1 的情况。由于融合了窗口模型, 在模型窗口设置上在有 j 个“决策单元”, 样本包含 p 个时期的情况下, 实际总“决策单元”个数为 jp 。若假设窗口宽度为 $d (d \leq p)$, 则窗口的数量为 $w = p - d + 1$ 。每个窗口内的“决策单元”数量为 jd , 相当于每个时期的决策单元数量的 d 倍, 因此有效解决了本文中决策单元数量不足等问题。

通过对模型进行窗口设置及求解线性规划方程可获得能源的投入冗余量, 结合全要素能源效率的定义^[16-17], 全要素能源效率为

$$E_{j,t} = \frac{A_{j,t} - L_{j,t}}{A_{j,t}} = 1 - \frac{L_{j,t}}{A_{j,t}} = \frac{T_{j,t}}{A_{j,t}}$$

式中, j 为第 j 个国家, t 为时间, E (energy efficiency) 为能源效率, A (actual energy input) 为实际的能源投入数量, L (lost energy input) 为损失的能源投入数量, T (target energy input) 为目标能源投入, L 和 T 可从上述线性规划式获得。因为采取超效率模型, L 可为正也可为负, 将导致 T 存在大于或小于 A 情况, 当 T 大于或等于 A 时, E 大于或等于 1, 表明目标投入大于等于实际投入, 此时全要素能源效率有效; 反之, 能源投入过量。

1.2 变量与数据说明

碳排放约束条件下全要素能源效率评价指标包括

投入和产出两方面。其中, 以各国资本存量、劳动力和能源消费为投入要素, 而产出指标主要包括期望产出和非期望产出两大部分, 其中, 期望产出为各国国内生产总值 (GDP), 非期望产出为各国 CO₂ 排放量。数据年份选择 2000—2014 年, 2014 年为当前国际能源机构数据库 (IEA) 中最新年份。

1) 资本存量 (K): 采用中、蒙、俄 3 国 2000—2014 年资本存量数据, 以 2011 年美元不变价为单位, 数据来源于“佩恩表”^[18]。

2) 劳动力投入 (L): 选取中、蒙、俄 3 国就业人数为模型投入指标, 数据经过总人口乘以 15 岁以上总就业人口比率折算获得, 单位为万人, 总人口及 15 岁以上总就业人口比率数据来源于世界银行数据库^[19]。

3) 能源消费 (E): 采用各国一次能源消费总量作为能源投入, 单位为千吨石油当量 (Ktoe), 数据出自于 IEA^[20]。

4) 期望产出 (Y): 通过中、蒙、俄 GDP 为产出指标, 为排除通货膨胀等因素, 以 2010 年不变价美元为单位, 数据来源于世界银行数据库^[19]。

5) 非期望产出 (N): 以中、蒙、俄 3 个国家 CO₂ 排放量为根据, 单位为百万吨 (MtCO₂), 数据来源于 IEA^[20]。

2 能源消费总量与结构

2.1 能源消费量

随着经济不断发展, 中、蒙、俄 3 国对能源的需求逐渐增加, 从世界银行数据库获取 2000—2016 年数据, 中国能源使用量从 2000 年 899 Kgoe/人增至 2016 年的 2236 Kgoe/人, 增长约 2.5 倍; 蒙古国的能源使用量从 2000 年 999.6 Kgoe/人增至 2016 年 1838.2 Kgoe/人, 增加 1.84 倍; 俄罗斯的能源使用量从 4224 Kgoe/人增至 4972 Kgoe/人, 增加约 1.2 倍。

通过 IEA 能源平衡表 (2000—2014) 获取数据, 分别对中、蒙、俄 3 国能源最终消费情况进行分析, 得出图 1~图 3。3 国对比来看, 中国的能源消费总量最高, 以 2014 年为例, 中国总能源消费量为 1868 Mtoe, 占世界总能源消费量的 20.11%; 蒙古国总能源消费量为 3.3 Mtoe, 约占世界消费量 0.04%; 俄罗斯总能源消费量为 459 Mtoe, 约占世界能源总消费的 4.94%。

从消费结构来看, 以 2015 年为例, 中国能源主要用于工业消费, 而俄罗斯和蒙古国能源主要用于居民、公

共服务等其他消费。从时间趋势上看,2000—2014年中国的能源消费总量处于增加状态,平均年增加6.19%;蒙古国能源消费从2000—2013年处于增加状态,平均年增加6.79%,而2014年处于下降,同2013年相比下降约4.23%;俄罗斯能源消费总量趋势性不明

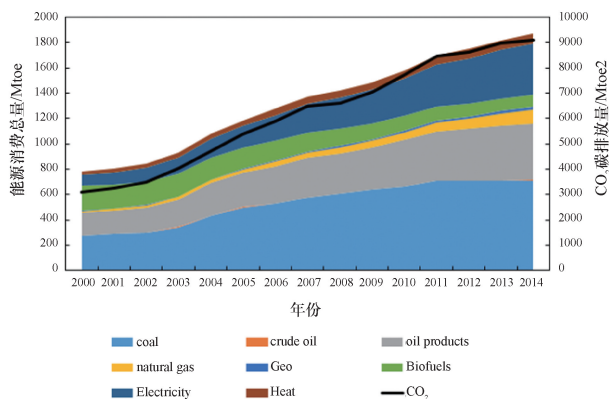


图1 中国能源消费总量及CO₂排放量
Fig. 1 China energy total final consumption and carbon dioxide emission

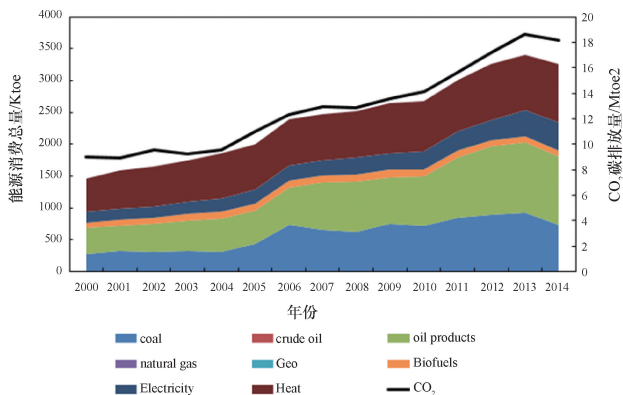


图2 蒙古国各能源消费总量和CO₂排放量
Fig. 2 Mongolia energy total final consumption and carbon dioxide emission

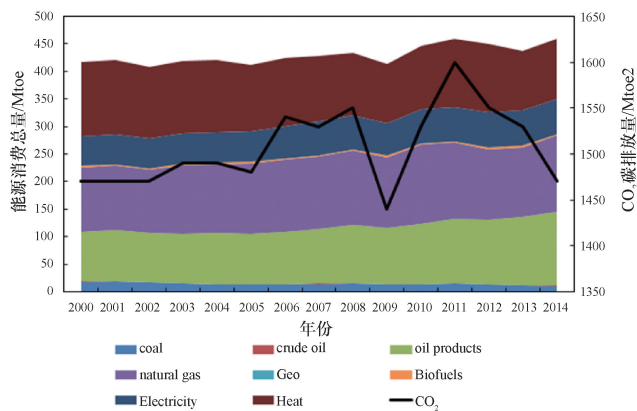


图3 俄罗斯各能源消费总量及CO₂排放量
Fig. 3 Russian Federation energy total final consumption and carbon dioxide emission

显,平均波动2.48%,且增幅不稳定,下降幅度最大出现在2009年,同2008年相比下降4.64%。

2.2 能源消费结构

对中国消费总结构进行分解(图1),中国在多种能源消费结构中煤炭占总消费的绝大部分,其次为石油,从趋势上看,煤炭消费有减少趋势,电能逐年增加。以2015年为例,将IEA能源平衡表中的电(electricity)和热(heat)进行来源统计(图4),可以看出,煤炭约占发电量70%,其次水能约占20%,可再生能源约占7%,这表明中国依然是以煤炭为主的国家。

蒙古国主要以畜牧业和采矿业为主,对能源总消费进行结构分解(图2),蒙古国能源消费2000—2013年处于增加状态,而2014年处于下降,从具体能源消费分布结构看,主要以石油为主,其次为热能和煤炭,但对热能再进行细分(图4),可以看出煤炭占电热能的90%以上,这表明蒙古国主要以煤炭为主要能源消费。

对俄罗斯总能源消费进行结构分解(图3),2000—2014年,俄罗斯能源消费总量同中、蒙两国相比波动较稳定,在消费结构上,主要以天然气和原油为主,其次为热能,通过热能分解可以看出,其主要能源依然为油气资源。这表明俄罗斯是以油气为主要能源的国家。

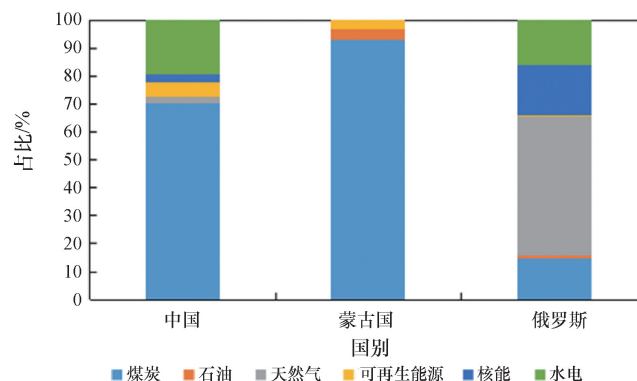


图4 2015年中、蒙、俄3国电热能来源分解占比
Fig. 4 Decomposition of source on electric and heat resource for China, Mongolia and Russia in 2015

3 单要素能源效率与CO₂排放

3.1 能源消耗强度

能源消耗强度是衡量单要素能源效率的方式之一,通过对单要素能源效率进行分析可以为全要素能源效率的评价结果提供佐证。通过世界银行(2000—2014年)获取GDP单位能耗数据(图5),以2011年不变价购买力平价美元(2011不变Dollar)为单位,可以看出

不考虑其他条件,2000—2014年蒙古国能源消耗强度平均约为5.29 Kgoe 大于中国4.64 Kgoe 大于俄罗斯4.41 Kgoe,蒙古国的能源利用效率还有进一步提高的必要。在不同年份中国和俄罗斯能源消耗强度各有不同,2004—2009年,俄罗斯能源消耗强度大于中国;而2009—2014年,中国能源消耗强度大于俄罗斯,且呈增加趋势,这表明中国能源利用需要引起重视。

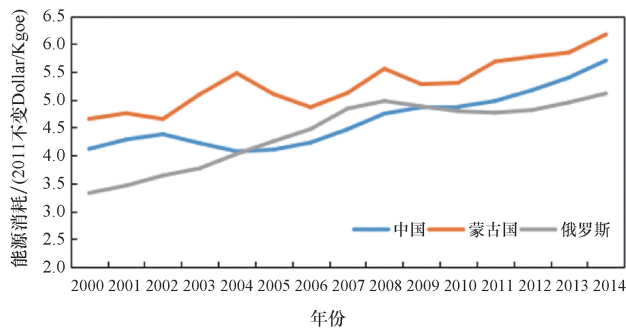


图5 中、蒙、俄3国能源消耗强度

Fig. 5 Energy intensity of China, Mongolia and Russia

3.2 CO₂排放量

从CO₂排放量数据(图1、图2、图3)可以看出,2000—2014年中国和蒙古国CO₂排放量同能源最终消费趋势较一致,这间接表明中蒙国环境受能源影响较大。从绝对量上来看,中国CO₂排放平均为6190 MtCO₂,高于俄罗斯1507 MtCO₂,远高于蒙古国的12.8 MtCO₂。从时间趋势上看,2000—2014年中国CO₂排放呈逐年增加,但2012—2014年增速有所减缓,平均增加2.39%,而2012年前,平均增加9.68%,这表明近年中国节能减排等政策得到很好落实,虽然中国依然以煤炭为主要能源消费,但电力和新能源占比逐年增加,这在一定程度上减缓了CO₂排放。蒙古国CO₂排放在这15年间,除2003年和2014年有一定程度下降外,其余年份基本处于增加状态,平均年增加5.3%。俄罗斯CO₂排放在2009年开始波动幅度较大,且2009年处于下降状态,同2008年比下降7.1%,而2010年又增加6.25%,从2012年开始处于下降状态,平均下降2.78%。总体来看,中蒙俄三国CO₂排放量虽有增加,但均得到一定控制,这也符合当前各国节能减排新趋势。

3.3 CO₂强度

从CO₂排放强度(图6)来看,中国碳排放强度约为3.21 Kgoe,蒙古国碳排放强度平均为4.24 Kgoe,俄罗斯碳排放强度为2.48 Kgoe。可以看出蒙古国的CO₂强度

大于中国大于俄罗斯,并且蒙古国CO₂强度在2010—2013年呈现较大幅度增加状态,中国和俄罗斯两国CO₂排放强度较平稳,但中国从2011年开始有下降趋势,这表明中国节能减排政策得到一定落实。综合来看,虽然中国碳排放总量高,但如果同经济发展程度相结合,碳排放强度低于蒙古国。这表明对于蒙古国来说节能减排更加任重道远。

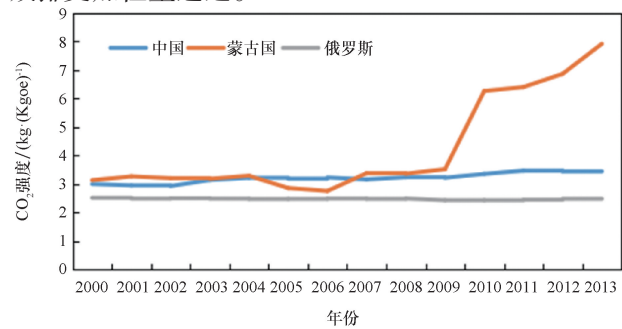
图6 中、蒙、俄3国CO₂强度

Fig. 6 Carbon dioxide emission intensity of China, Mongolia and Russia

4 中、蒙、俄3国全要素能源效率测算

以中、蒙、俄3国能源消费量、资本存量、劳动力为投入指标,各国GDP为期望产出,CO₂排放量为非期望产出,运用“非期望超效率窗口DEA”方法测算2000—2014年全要素能源效率,在多视窗结果中,对各视窗数据取平均值进行处理,因为采用了窗口模型,3国的能源效率值不仅可以在同一时期内相互比较,也可以在不同时期进行比较,根据数据结果得出中、蒙、俄3国全要素能源效率图(图7)。

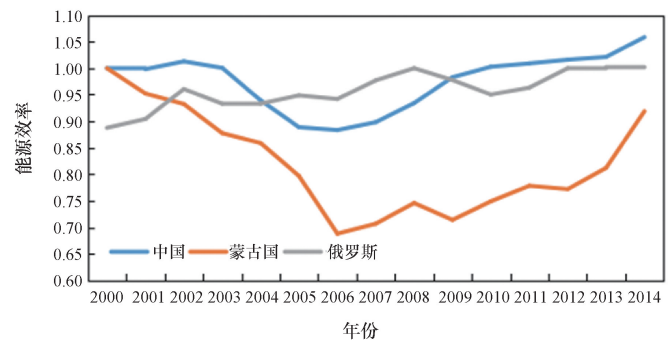


图7 中、蒙、俄3国2000—2014年全要素能源效率

Fig. 7 Total-factor energy efficiency of China, Mongolia and Russia in 2000—2014

4.1 全要素能源效率分析

可以看出,在考虑CO₂排放量的前提下,中、蒙、俄3

国能源效率在不同年份展现出不同的状态,对比不同年份中、蒙、俄3国全要素能源效率,因采用超效率模型求解,以全要素能源效率大于等于1为能源高效利用依据,2000年为窗口模型初期,参考性不强,故不做比较,可以看出2001—2003年,中国能源均得到有效利用,而蒙古国和俄罗斯的能源效率比较低;2003—2010年,除俄罗斯在2008年实现了能源有效利用,其余年份中蒙俄三国能源均未实现充分利用,但相比较来看,俄罗斯的能源效率高于中国高于蒙古国;2010—2014年,中国一直处于能源高效利用阶段,俄罗斯从2012年开始能源利用效率较高,而蒙古国能源效率比较低。从这15年中全要素能源实现有效的年数来看,中国全要素能源有效年份多于俄罗斯多于蒙古国。同胡根华等^[8](测算年份为2000—2010年)、Camoto等^[10](测算年份为2001—2010年)研究相比,在增加了碳排放约束后,中俄两国排名相反,在本研究中俄罗斯的全要素能源效率2004—2009年高于中国,究其原因主要为增加了CO₂排放这一“非期望产出”后,中国作为碳排放大国,在能源效率比较中不占优势,这也在一定程度上表明中国节能减排的重要意义。

对于蒙古国来说,一直处于能源低效利用状态,在这15年间全要素能源效率比较低。根据模型结果计算得出投入改进表(表1),可以看出,其能源改进值一直

为负,这表明能源投入量大于目标量,即过度利用能源,需要通过高效集约利用能源实现能源效率的进一步增长。

以中、俄两国全要素能源效率曲线交叉年份2004年和2009年为界进行说明,中、蒙、俄3国比较来看,在2004年前,中国全要素能源效率较接近1,表明同其余两国相比,全要素能源效率较高,具体来看,在2002年和2003年全要素能源效率大于1,能源得到高效利用;2004—2009年,仅有俄罗斯在2008年效率值为1,而中蒙两国在这时间内整体能源效率值较低,从模型求解松弛变量方面来看,在这6年中主要存在生产粗放导致能源过度使用问题,尤其中国在2006年能源过度使用较为明显,能源过量投入约153 Mtoe,占实际投入的11%。2008年受全球经济危机影响大量资金转向基础设施建设和重化工业,这在一定程度上缓解了能源过度使用情况,使得全要素能源效率逐渐转向有效,并且随着产业结构的逐渐调整,全要素能源效率有所提升。

2009—2014年,中、蒙两国全要素能源效率均在增加,其中中国全要素能源效率均大于1,表明能源利用处于有效状态;而蒙古国能源效率一直处于小于1状态,说明能源利用粗放,没有充分利用能源,应进一步提高能源利用率;而在这5年中,俄罗斯能源利用分别在2012年和2014年达到全要素能源效率有效,表明在这两年中不考虑其他因素,其能源利用较充分,不存在能源过度投入或投入不足情况。

4.2 全要素能源效率影响分析

通过对全要素能源效率的测算,可从能源投入的角度为中、蒙、俄3国能源利用效率进一步提高提供支撑,但影响3国全要素能源效率的因素众多,为进一步从量上揭示影响3国全要素能源效率因素,构建了回归模型,综合相关研究^[21-22],选取第二产业增加值占比代表产业结构(Ind);煤炭和石油分别在总能源消费量占比作为能源消费结构指标(coal,oil);通过人均GDP反映国家经济增长(PGDP);以能源净进口反映能源贸易程度(import),上述数据均来自世界银行。以所测3国全要素能源效率为因变量,这5个指标作为自变量,由于样本数量限制,采用面板数据形式对3国2000—2014年相关数据进行回归分析,结果见表2。

可以看出对于中、蒙、俄3国来说,在低碳约束下,经济发展对能源效率有促进作用,这表明经济发展水平越高的地区能源利用效率越高;从产业结构配置方

表1 中、蒙、俄3国能源投入改进量(单位:Mtoe)

Table 1 Slack movement of energy for China, Mongolia and Russia

年份	中国	蒙古国	俄罗斯
2000	0	0	-46.96
2001	-1.45	-0.08	-40.33
2002	10.99	-0.11	-16.05
2003	0.60	-0.21	-28.02
2004	-66.91	-0.26	-28.09
2005	-135.66	-0.41	-21.12
2006	-153.01	-0.75	-24.66
2007	-144.45	-0.72	-9.73
2008	-97.42	-0.64	0
2009	-26.31	-0.76	-9.20
2010	4.60	-0.67	-22.17
2011	16.04	-0.67	-16.79
2012	29.54	-0.76	0
2013	40.76	-0.66	0.91
2014	116.69	-0.27	0

注:根据模型计算得出。

面可以看出,第二产业比例越大,能源效率越低,这主要是因为第二产业特别是重工业都是高耗能、高污染产业,在低碳约束下,能源效率自然不高;从能源消费结构中,煤炭和石油消耗同全要素能源效率呈反向关系,尤其是煤炭,在其他条件不变的条件下,增加1单位煤炭使用量,全要素能源效率将下降0.12,而石油下降0.05,这主要是因为煤炭本身属于低能效资源,且在燃烧过程中易排放出大量CO₂,对环境产生一定影响,因此其对能源效率产生的负向影响大于石油。中蒙两国主要能源消费以煤炭为主,这在一定程度上也是造成这两国全要素能源效率不高的原因;从国家能源对外关系上可以看出,能源净进口增加可以提高全要素能源效率,但影响程度较弱,相关系数仅为0.039。中国为能源净进口国家,这在一定程度上可以提高能源效率,但其影响程度有限,煤炭的大量使用一定程度抵消了进口能源所获得的高效率。

表2 全要素能源效率回归结果

Table 2 Result of regression for total-factor energy efficiency

变量	PGDP	Ind	coal	oil	import
相关系数	0.072***	-0.089***	-0.121***	-0.056**	0.039*

注:***、**、*分别表示参数估计值在1%、5%和10%水平显著。

5 结论

对中、蒙、俄3国2000—2014年能源利用和碳排放状况进行梳理,运用包含非期望超效率及窗口模型的DEA模型测算中、蒙、俄3国全要素能源效率,并对影响中、蒙、俄3国能源效率影响因素进行回归分析,得出以下结论。

1) 在能源消费结构上,中国和蒙古国两国能源消费以煤炭为主,俄罗斯以石油天然气为主。3国比较来看,在总量上,中国的能源消耗大于俄罗斯大于蒙古国,并且中、蒙两国能源消费2000—2014年基本处于增加状态,而俄罗斯能源消费较稳定;中国的CO₂排放量高于俄罗斯和蒙古国,但中、蒙两国CO₂排放总量有下降趋势;从能源消费量和CO₂排放量趋势线上可以看出,中、蒙、俄3国尤其是中蒙两国曲线拟合程度较好,说明能源消费与CO₂排放关系密切。从能源强度和碳强度上,蒙古国的能源消耗强度和CO₂排放强度高于中国,中国高于俄罗斯,这表明在考虑碳排放约束条件

下,蒙古国单要素能源效率较低,而俄罗斯较高。

2) 在碳排放约束条件下,俄罗斯分别在2008、2012和2014年能源利用合理,实现全要素能源效率为1。中国2004—2009年由于能源过量投入,导致能源效率偏低,其余年份均保持能源有效利用。蒙古国由于一直处于能源过度使用状态,其能源效率一直处于低效。

3) 同单要素能源效率(GDP单位能源消耗)相比,全要素能源效率的测算结果在一定程度上同其存在一定相似性,不论单要素还是全要素能源效率,三国比较来看,蒙古国能源效率最低,而中、俄两国能源效率曲线均在2004和2009年出现相交,2004—2009年俄罗斯能源效率高于中国,这在一定程度上佐证了本文全要素能源效率测算的结果。

4) 回归结果表明,全要素能源效率同经济发展、能源消费结构、产业结构、能源进出口贸易密切相关。经济快速发展和能源进口贸易的增加对提高全要素能源效率有积极影响,煤炭和石油的消费、尤其是煤炭等高耗能能源投入的增加,对全要素能源效率有负向影响,并且工业在产业中占比的增加对能源效率产生了消极作用。

参考文献(References)

- [1] 刘卫东, 田锦尘, 欧晓理. “一带一路”战略研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2017: 282-300.
Liu Weidong, Tian Jinchun, Ou Xiaoli. The research of "One Belt and One Road"[M]. Beijing: The Commercial Press, 2017: 282-300.
- [2] Patterson M G. What is energy efficiency: Concepts, indicators and methodological issues[J]. Energy Policy, 2007, 24(5): 377-390.
- [3] Yang S. On energy efficiency of DEA method based on environmental factors[J]. Contemporary Economy & Management, 2012, 2(2): 57.
- [4] Keehn B, Wagner J B, Tager Flusberg H, et al. Reduction of CO₂ emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach[J]. Energy, 2013, 55(1): 676-682.
- [5] Hu J, Wang S. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [6] 吴利学. 中国能源效率波动: 理论解释, 数值模拟及政策含义[J]. 经济研究, 2009(5): 130-142.
Wu Lixue. Energy efficiency fluctuations in China: Theoretical interpretation, numerical simulation and policy implications[J].

- Economic Research Journal, 2009(5): 130-142.
- [7] Zhang X P, Cheng X M, Yuan J H, et al. Total-factor energy efficiency in developing countries[J]. Energy Policy, 2011, 39(2): 644-650.
- [8] 胡根华, 秦嗣毅. “金砖国家”全要素能源效率的比较研究——基于 DEA-Tobit 模型[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 533-540.
- Hu Genhua, Qin Siyi. A comparative study on the total factor energy efficiency of the "BRICs": Based on the DEA-Tobit model[J]. Resources Science, 2012, 34(3): 533-540.
- [9] 刘明辉, 袁培. 中哈全要素能源效率比较研究——“一带一路”背景下的思考[J]. 山东工商学院学报, 2015, 29(6): 43-48.
- Liu Minghui, Yuan Pei. A comparative study of total factor energy efficiency between China and Kazakhstan: Thinking under the "Belt and Road Initiative" background[J]. Journal of Shandong Institute of Business and Technology, 2015, 29(6): 43-48.
- [10] de Castro Camioto F, Moralles H F, Mariano E B, et al. Energy efficiency analysis of G7 and BRICS considering total-factor structure[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 122: 67-77.
- [11] 岳立, 杨帆. “丝绸之路经济带”框架下中国与中亚五国能源效率评价——基于 CCR-BCC 和 Malmquist 指数分析方法的 DEA-Tobit 模型[J]. 统计与信息论坛, 2016, 31(6): 37-43.
- Yue Li, Yang Fan. Energy efficiency evaluation of China and the five Central Asian countries under the framework of "the Silk Road Economic Belt": A DEA-Tobit model based on the CCR-BCC and Malmquist index analysis methods[J]. Statistics & Information Forum, 2016, 31(6): 37-43.
- [12] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [13] Cooper W W, Seiford L M, Tone K. Introduction to data envelopment analysis and its uses: With DEA-solver software and references[M]. New York: Springer Science & Business Media, 2006.
- [14] Charnes A, Cooper W W, Lewin A Y, et al. Extensions to DEA models[M]//Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications. Springer Netherlands, 1994: 49-61.
- [15] Yang H, Pollitt M. The necessity of distinguishing weak and strong disposability among undesirable outputs in DEA: Environmental performance of Chinese coal-fired power plants[J]. Energy Policy, 2010, 38(8): 4440-4444.
- [16] Wang Z H, Zeng H L, Wei Y M, et al. Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China[J]. Applied Energy, 2012, 97: 115-123.
- [17] 孙广生, 黄祎, 田海峰, 等. 全要素生产率, 投入替代与地区间的能源效率[J]. 经济研究, 2012(9): 99-112.
- Sun Guangsheng, Huang Yi, Tian Haifeng, et al. Total factor productivity(TFP), investment substitution and energy efficiency between regions[J]. Economic Research Journal, 2012(9): 99-112.
- [18] Feenstra R C, Inklaar R, Timmer M. The next generation of the penn world table[J]. The American Economic Review, 2015, 105(10): 3150-3182.
- [19] 世界银行公开数据[EB/OL]. [2017-11-12]. <https://data.worldbank.org.cn>.
- The world bank database[EB/OL]. [2017-11-12]. <https://data.worldbank.org.cn>.
- [20] International Energy Agency(IEA). Energy balance flows[EB/OL]. [2017-11-01]. <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=CHINA&product=balances&year=2012>.
- [21] 谢秀梅. 全要素能源效率的影响因素分析与区域比较[D]. 广州: 暨南大学, 2015.
- Xie Xiumei. The influence factors of the total-factor energy efficiency and regional comparison[D]. Guangzhou: Jinan University, 2015.
- [22] 王兆华, 丰超. 中国区域全要素能源效率及其影响因素分析——基于 2003—2010 年的省际面板数据[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6): 1361-1372.
- Wang Zhaohua, Feng Chao. Analysis of regional total factor energy efficiency and its influencing factors in China: Based on the interprovincial panel data from 2003 to 2010[J]. System Engineering Theory and Practice, 2015, 35(6): 1361-1372.

Energy efficiency analysis for China, Mongolia and Russia under of CO₂ emission control

QU Qiushi^{1,2}, WANG Limao^{1,2}, FANG Yebing^{1,2,3}, MOU Chufu^{1,2}, XIONG Chenran^{1,2}

1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. College of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China

Abstract In this research, the energy efficiencies of China, Mongolia and Russia are analyzed for the period of 2000 to 2014. The conditions of energy utilization and carbon dioxide emission are investigated through the data from IEA and World Bank. The total factor energy efficiency is calculated with super SBM and window DEA model. Besides, regression analysis is used to identify the influencing factors. The result indicates that Chinese energy consumption and carbon dioxide emissions were higher than Russia and Mongolia. Chinese and Mongolia energy consumptions and carbon dioxide emissions were closely related. The energy efficiency in Russia from 2004 to 2009 was the highest while Chinese was the highest from 2009 to 2014. Moreover, the economic development and energy trade increment had positive effects on energy efficiency, whereas both input of high energy consumption and proportion of industrial would bring negative influences on energy efficiency.

Keywords energy efficiency; carbon constraints; China, Mongolia and Russia; DEA model ●



(责任编辑 王志敏)