

基于 DEA 模型的陕西省工业节能减排效率评价

王 艳, 吴梦楠, 刘 巧

(西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 丰富的能源储备推动陕西省工业经济快速发展的同时也带来了较高的能源耗费和环境污染。在全社会积极努力实现绿色发展的背景下, 提高能源效率、降低污染排放是陕西省经济发展的头等大事。基于 DEA 方法对陕西省 2006—2015 年工业节能减排效率进行测评, 建立陕西省工业节能减排效率评价指标体系, 研究陕西省工业节能减排效率的影响因素。结果表明, 工业规模、技术进步、对外开放程度以及管理水平都能有效促进陕西省工业节能减排效率的提升, 对外开放程度通过技术进步和管理水平的作用而影响节能减排效率。

关键词: 节能减排; 效率评价; DEA 模型

中图分类号: F 224; F 206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7192(2018)04-0040-08

政策, 促进陕西省节能减排工作的有效开展。

一、问题的提出

环境与能源是当今时代人类面临的共同问题, 尤其是近年来的雾霾问题使得全社会对于节能减排的关注达到新高潮。我国政府早已将环境保护确立为基本国策, 通过不同的产业政策来推进节能减排工作, 形成包括“三大政策”和“八项制度”的节能减排政策体系。“十二五”期间, 我国节能减排工作取得了阶段性的成功, 环境“库兹涅茨曲线”正在发生积极变化, 主要污染物化学需氧量 (COD)、氨氮、二氧化硫、氮氧化物排放量分别下降 10.1%、9.8%、12.9% 和 8.6%^[1]。但是, 环境压力还依旧严峻, 生态问题在部分地区依旧突出。

陕西省资源禀赋南北差异大, 面对的资源压力和环境问题也不尽相同。过去节能减排工作, 以控制四类主要污染物排放量为主要目标, 虽然完成了总量控制指标, 但是由于种种原因, 节能减排的成效还不显著。陕西省“十三五”规划提出改善环境质量的目标, 要求在控制污染物排放总量的同时考量节能减排的质量和效果。切实测度各市节能减排效率, 分析各市节能减排效率差异的形成原因, 有利于制定科学合理的环境保护

二、文献回顾

全球环境变化促使学者进行这方面研究, 国外学者在关注节能减排效率方面经历了两个阶段。第一个阶段是污染效率从单指标效率到多指标效率的过程, 采用人均污染排放量、单位 GDP 污染排放量等指标, 虽然易于理解但有很大的局限性, 因而更多的学者采用多指标的方法来测量污染排放效率, 如 Zaim 和 Taskin (2000) 构建了亚太经济合作组织国家的环境效率指数并利用截面数据对比显示不同时期多个国家的节能减排效率^[2]。第二个阶段是从单纯考虑能源效率到考虑污染排放的能源综合效率的过程。忽视碳排放等环境问题会导致能源效率的错误估计, 因而 Korhonen 和 Luptacik (2004) 将污染的指标纳入到 DEA 模型中测评了欧洲火力发电站的生态效率^[3]。Ang (2008) 第一次在能源效率的评价中考虑非期望产出, 并开发出一些基于环境的 DEA 模型用于评价能源效率^[4]。除此之外, 能源综合效率的测算方法不断演化, 也有学者利用随机前沿法^[5] (SFA) 和基于生产理论框架的能源效率方法^[6] (PDA) 对能源效率进行了研究。

收稿日期: 2018-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71403206); 陕西省软科学项目 (2016KRM058); 陕西省社科基金项目 (13D216)

作者简介: 王 艳 (1973-), 女, 西安理工大学经济与管理学院副教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向为区域经济与政策分析; 吴梦楠 (1993-), 女, 西安理工大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向为区域经济。E-mail: wangyan@xaut.edu.cn

国内学者从节能减排评价指标体系、绩效测度、影响因素以及政策措施等方面进行了深入的研究。就节能减排体系构建来说,宏观节能减排效率评价体系应该包括节能减排组织机构建设水平、节能减排政策的贯彻执行水平、污染物排放水平、能源消耗、节能减排项目建设水平、污染物治理水平和经济发展水平这七项指标^[7]。但是,由于该指标系统可操作性较弱,所以杨淑霞(2012)^[8]从污染物减排率、单位工业增加值减排量、治理工业污染投资总额、GDP 相关指标、能耗下降率 5 个方面建立了更为细化的节能减排效果评价指标体系。饶清华等(2013)^[9]从资源能源消耗、污染物排放、综合利用、环保治理及无害化等方面构建节能减排评价指标体系。

对节能减排的效率及其影响因素的研究主要是从企业、行业和区域三大主体的角度来进行的。从企业节能减排效率的角度来讲,我国中小企业的节能减排效率总体上呈现上升趋势;节能减排效率在区域分布上表现出了明显的差距,呈现出东、中、西递减的趋势^[10]。学者主要围绕工业节能减排进行了相关的研究,研究发现工业节能减排效率总体水平偏低,转型升级迫在眉睫,煤炭等高耗能行业在节能减排效率提升方面表现不佳^[11],而以战略性新兴产业为代表的新型工业能利用自身优势取得较好的节能减排效率值^[12]。综上,影响节能减排效率的因素中技术创新总能较好的促进节能减排效率的提升^[13];而其他如环境效率^[14]、资本替代^[15]、税收优惠^[16]、要素流动^[16]等也被证实一定范围内具有提高节能减排效率的作用。

在对节能减排的研究方法中,DEA 模型已被广泛运用到节能减排效率的测算领域^[17-18]。此外,蔡宁(2014)采用了 SBM-DDF 模型对我国工业节能减排绩效进行评价^[19];肖皓和朱俏(2015)以影响力系数和感应度系数来测度我国节能减排效果^[20];黄清煌等(2017)利用面板分位数模型对省级节能减排效率进行检验^[21]。尽管以上研究采用了不同的研究方法,但其结论基本一致,即我国节能减排效率较低,节能减排潜力还有待提升。

以上研究在揭示我国各区域节能减排效率和影响因素方面取得了较为显著的成绩,同时,还存在着如下不足:(1)大多数研究集中于对企业

节能减排效率进行评价,区域节能减排效率的研究较少,特别是对于地区节能减排的驱动因素研究较少;(2)当前针对区域节能减排问题的研究主要集中在构建指标、综合评价、政策探索等方面,缺乏对区域节能减排效率,尤其是动态趋势的定量研究。

三、研究方法、变量设计

1. BCC-DEA 模型

节能减排包括了两个方面的内容:一方面是能源效率的提高,另一方面是排放的减少。对于其效率的评价根据,其定义可以看作是经济实体在创造一定的财富价值时尽可能地降低能源与资源消耗,同时降低其污染物的排放,这种要求是比较符合线性规划的思维方式,因而本文拟建立 BCC-DEA 模型来求解陕西省内各区域节能减排效率。

BCC-DEA 模型主要是通过保持决策单元(DMU)的输入不变即保持能源和资源使用及污染排放量不变,借助于数学规划确定生产边界,用以衡量每个决策单元的相对效率。BCC-DEA 模型的优点在于其考虑了规模报酬递增或递减因素,在本文中,由于科学技术的不断发展,节能减排的规模报酬呈现出逐渐递减的状态,因而 BBC-DEA 模型有效的模拟了这一过程,从全局最优的角度来对决策单元进行效率评价。

根据 DEA 模型可知,DEA 模型中的节能减排综合效率指标反映的是陕西节能减排投入资源配置和规模聚集等综合效率,技术效率指标表示的是陕西节能减排工作资源配置效率,即污染排放、资源利用等方面的配比效率,规模效率指数表示了陕西工业节能减排工作的规模效率。根据 DEA 模型基本原理可知,综合效率与技术效率和规模效率相关,综合效率在数值上等于技术效率与规模效率的乘积。本文中节能减排效率分析以综合效率为准。

2. 变量设计及数据来源

将污染物作为变量纳入到 DEA 模型中,有两种主要做法:(1)将污染物视为产出,作为非合意产出进行弱可处置性处理,这种方法比较符合现实生产流程和原理,如李科(2013)^[22]等;(2)将污染物作为投入,这种处理方式是由 DEA 分析法本身特性决定的,该方法不需要深入了解或完

全符合决策单元的生产过程^[23]。本文在分析中采取的是第二种方法,将能源、资源的消耗量和污染物的产出量同时作为投入指标,这些指标反映陕西省推进经济发展中对于资源的获取和对环境的破坏;同时,本文拟选取工业增加值为产出指标,以反映在能源消耗和污染排放的基础上换取的经济增长,间接表明陕西省内各省市的节能减排效率。投入产出变量的具体指标选取如表1所示。

本文的数据全部来源于《陕西省统计年鉴》(2007—2016),数据覆盖了陕西省的10个地级市。这10个地级市按照所处的地理位置通常被划分为三大区域,即陕北地区、关中地区和陕南地区。陕北地区主要包括延安和榆林两市,位于陕西省最北部的高原地区,该区域自然资源如煤炭资源丰富,因而采矿等重工业发展较为聚集;关中地区包括了西安、渭南、宝鸡、咸阳、铜川五市,处于陕西省腹部的关中平原,该区域地势平坦、交通便利,在省会城市西安的带动下逐步从第二产业向第三产业过渡;陕南地区包括了汉中、商洛和安康三市,地处陕西南部秦岭山脉一系,多山的地理特征限制了区域工业发展速度,而近年来该区域在第三产业如计算机通讯、食品工业等产业方面取得了较大进步。

表2 2006—2015年陕西省10城市节能减排综合效率值

	西安	铜川	宝鸡	咸阳	渭南	延安	榆林	汉中	安康	商洛	均值
2006	0.351	0.198	0.086	0.115	0.051	1.000	0.299	0.070	0.171	0.162	0.250
2007	0.355	0.201	0.106	0.126	0.059	1.000	0.208	0.076	0.215	0.164	0.251
2008	0.426	0.247	0.106	0.164	0.074	0.856	0.447	0.074	0.272	0.065	0.273
2009	0.484	0.271	0.093	0.150	0.074	1.000	0.276	0.091	0.369	0.076	0.288
2010	0.605	0.421	0.126	0.158	0.144	0.977	0.450	0.128	0.532	0.107	0.364
2011	0.670	0.500	0.315	0.220	0.199	1.000	0.602	0.135	0.612	0.178	0.443
2012	0.791	0.485	0.348	0.301	0.220	1.000	0.742	0.175	0.690	0.175	0.492
2013	0.984	0.590	0.461	0.418	0.203	1.000	0.777	0.212	0.828	0.234	0.570
2014	1.000	0.604	0.479	0.524	0.203	1.000	0.604	0.248	0.957	0.240	0.585
2015	1.000	0.508	0.468	0.461	0.186	0.680	0.416	0.294	1.000	0.272	0.528

由表2可知:(1)陕西省各地级市节能减排效率水平较低。首先,从达到节能减排效率最优值的城市个数来说,陕西省节能减排效率只有少数城市如西安、延安和安康在个别年份达到了效率最优。而绝大多数城市在统计范围内没有达到最优。2006—2013年间,除2008和2010年各只有一个城市达到了效率最优,且达到最优值的城市都是延安市。2014年和2015年效率最优的城市分

表1 指标选取

指标类型	指标选取	单位	选取依据
投入指标	一般工业固体废物产生量	万吨	龙银如 ^[24]
	工业废水排放量	万吨	田泽 ^[25]
	工业废气排放总量	亿立方米	段显明 ^[26]
	单位工业增加值能耗	吨标准煤/万元	李静 ^[27]
产出指标	工业增加值	亿元	龙银如 ^[24]

四、实证结果

首先利用 Deap2.1 软件对陕西省各地市 2006—2015 年节能减排效率进行测算,从变化趋势和地区差异两个角度对陕西省节能减排效率进行分析,以对陕西省整体和各地级市节能减排状况有一个较为全面、客观的了解;随后根据陕西省节能减排效率数据,利用 Stata12.0 统计软件对陕西省各地级市节能减排效率及假定的影响因素数据进行回归分析,找出影响陕西省节能减排效率的重要因素。

1. 各地级市节能减排综合效率分析

对陕西省各地级市 2006—2015 年节能减排效率测算,结果如表2所示。

别为两个,其中西安市在这两年里均表现出效率最优,延安市和安康市分别在2014年和2015年取得了效率最优值。其次,从达到节能减排效率最优值的频率来说,在没有达到效率最优水平的节能减排效率值中,效率值在0.4以下的有57次,效率值低于0.6的累计74次,占所有效率值数量的74%。最后,从全省节能减排效率的均值来说,陕西省在2006—2015年间,全省节能减排效率值

总体上保持了持续上升的态势，节能减排效率提升明显。但是，全省节能减排效率值均处于 0.6 以下，节能减排的效率水平还不高。同全国其他城市相比，陕西省节能减排效率还处于较低效率区^[28]。

(2) 陕西省各地级市节能减排效率差异较大。首先表现为各地级市节能减排效率绝对值存在较大差异。以 2006 年为例，陕西省只有延安市节能减排效率表现优异，节能减排效率值为 1.000。其他 9 个城市的节能减排效率值均低于 0.4，其中最高值为 0.351，最低值为 0.051。到 2015 年，全省各地级市节能减排效率还存在较大差异，最高值 1.000（西安、安康）和最低值 0.272（商洛）相差 0.728。其次，陕西省各地级市节能减排效率差异还表现在效率增长幅度方面。从表 2 可以看出，陕西省各地级市的节能减排效率得分在 2006—2015 年间都呈现了上升趋势，但各地级市节能减排增长幅度差异较大。增幅超过 0.5 的有西安、安康和榆林三市，其中安康市节能减排效率以 0.829 的增幅一跃成为节能减排效率优异的城市，这得益于安康市政府对城市发展规划的精确定位，以南水北调工程为发展契机形成以丝麻纺织、食品饮料、烟草、医学化工的工业体系来促进地区发展；增幅最小的为渭南市，其节能减排效率增幅为 0.169；节能减排效率值最高增幅和最低增幅相差 0.660，差距较大。

(3) 陕西省节能减排效率分布呈现北高南低的分布特征，三大区域（陕北、关中、陕南）内呈现以中心城市辐射的态势。根据陕西省各市节能减排效率值的实际情况，将效率值分为了四个等级：第一等级取值 0.800 ~ 1.000，第二等级取值 0.600 ~ 0.799，第三等级取值 0.400 ~ 0.599，第四等级取值 0.000 ~ 0.399。图 1 分别给出了 2006 年、2010 年和 2014 年陕西省节能减排效率空间差异分布。由图 1 看出，2006 年、2010 年和 2014 年，延安市的效率值都保持在 0.800 以上；随着时间发展，关中地区的西安和陕南地区的安康节能减排效率值逐步提高，逐步进入第一等级；从区域效率值分布看，陕北地区所处的等级较其他区域更高，其次分别是关中地区和陕南地区，如 2010 年陕北地区节能减排效率值最高的延安市位于第一等级，关中地区节能减排效率值最高的西安市位于第二等级，陕南地区效率值最高的安

康市位于第三等级；三大区域都有一个中心城市，如陕北的延安市、关中的西安市和陕南的安康市，围绕这些中心城市，周边的城市节能减排效率也呈现不断地提高的趋势。从图 1 可知，节能减排效率低于 0.4 的区域主要集中在了关中和陕南地区。从表 3 分析原因可知：西安取得较高的节能减排效率的主要特征是其工业产值高，而其投入的废物产出和消耗的能源相对较少。安康市能够取得较高的节能减排效率主要是因为其污染物的排放和能源的消耗相对小。相反，节能减排效率较低的主要原因是工业产值较低而能耗与污染物排放相对较高。如渭南市的污染制造量和能源消耗量比西安略高而其工业产值仅为西安的 1/3；同安康市相比，商洛市节能减排效率较低的原因在于其能源消耗较大且污染排放较多，同时，商洛市在工业生产方面却并没有取得较好的成绩。

(4) 近两年，陕西省节能减排效率出现了下降趋势。由表 2 可以看出，2014—2015 年，陕西省关中和陕北各市的节能减排效率均出现了下降，而陕南三市（汉中市、商洛市和安康市）则保持了增长的趋势。根据 2015 年陕西省统计年报数据和统计年鉴数据分析可知，2015 年受到石油和煤炭价格低迷的冲击，以能源化工产业为主导的陕北区域和工业占比较大的关中地区工业产值出现了下降的趋势。根据污染的空间效应原理，污染物的排放和能源利用率的下降速度低于工业产值的下降速度，因而这两个地区节能减排效率出现了浮动。

2. 各地级市节能减排冗余分析及优化目标

根据上文对各地级市的效率分析可见，陕西省节能减排效率水平整体较低，省内各地级市之间的节能减排效率存在较大差别。除外部因素对陕西省工业节能减排效率的影响，还可以从影响陕西省工业节能减排的内部因素着手，分析陕西省节能减排效率的投入冗余，即各变量可以节省的比例。根据 DEA 基本原理，在投入导向 DEA 中，非有效单元必然存在投入冗余，对节能减排效率投入冗余的分析，可以动态的反映该减排系统中改进和提高的领域。因而对陕西省节能减排效率进行冗余度分析可以帮助陕西省在节能减排效率提高工作中明确节能减排的目标。表 4 为陕西省 2015 年投入冗余及优化目标，其中冗余度为 0 时，目标值为现值（当前排放量）。

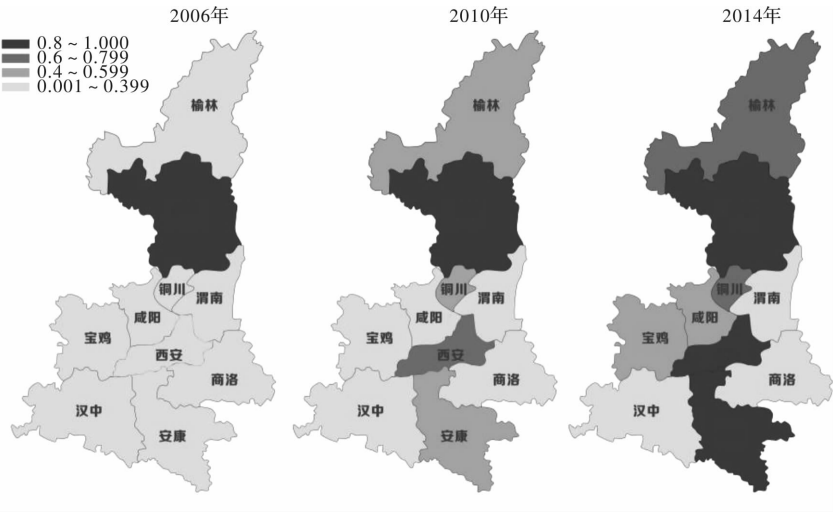


图 1 陕西省节能减排综合效率空间分布变化趋势

表 3 2014 年陕西省节能减排效率比较

效率等级	城市	投入				产出工业生 产值 (亿元)	节能减排 效率
		一般工业固体废 物产生量 (万吨)	工业废水排 放量 (万吨)	工业废气排放 总量 (亿立方米)	单位工业增加值能耗 (吨标准煤/万元)		
0.8 ~ 1.0	西安	249.37	6 339.85	901.23	0.313	2 194.78	1.000
	安康	113.11	464.45	290.77	0.462	371.03	0.957
0.4 ~ 0.8	榆林	2 140.56	6 254.68	5 272.07	1.473	1 966.78	0.604
	宝鸡	603.83	4 687.37	1 503.21	0.696	1 051.65	0.479
0.4 以下	渭南	3 191.66	5 849.43	4 171.31	2.472	751.74	0.203
	商洛	944.92	2 695.93	251.13	0.609	298.39	0.240

表 4 陕西省 2015 年节能减排冗余分析及优化目标

	固体废物排放		废气排放		增加值能耗	
	冗余度 (%)	目标	冗余度 (%)	目标	冗余度 (%)	目标
西安	0	249.37	0	901.23	0	0.31
铜川	0.20	93.22	58.54	250.89	40.45	0.76
宝鸡	0.31	165.54	23.17	525.68	0	0.41
咸阳	0.02	325.32	5.93	788.19	0	0.57
渭南	0.15	373.91	2.47	932.53	0	0.61
延安	0	108.26	0	185.39	0	0.47
汉中	0.12	120.36	10.84	323.23	0	0.45
榆林	0.13	1 698.10	9.61	3 507.83	0	1.12
安康	0	113.11	0	290.77	0	0.46
商洛	0.66	109.55	0	194.76	0	0.47

从表 4 可以看出,陕西省各地级市 2015 年除西安、延安、安康 3 市之外均存在冗余现象,冗余量比较大的指标主要集中在固体废弃物和废气排放量两个方面。以铜川为例,其废气排放的冗余度为 58.54%,也就是说要使得铜川市工业节能减排效率达到最优值,铜川市废气排放量至少要减少 58.54%,超过了总数的 1/2,减排压力不谓不大;其他 6 市中,宝鸡的废气排放冗余度超过

20%,需要加大对废气排放的治理力度;西安、延安、安康和商洛 4 市的废气排放冗余度小于 20%,在减少废气排放量上压力相对较小。对于固体废弃物的减少,陕西省各市的冗余度均低于 1%,可通过有效地关注使得工业节能减排效率达到最优值。在节能方面,2015 年陕西省增加值能耗的冗余度仅有铜川市较大,为 40.45%,这表明铜川市在能源使用方面存在着较大的浪费,从而影响了铜川

市节能减排效率的提升，因而铜川市需要提高能耗使用效率。

3. 陕西省工业节能减排效率的影响因素

运用 DEA 方法对陕西省工业节能减排效率进行测算，明确了陕西省工业节能减排水平的高低，但这并不能判断什么影响陕西省工业节能减排的效率，尤其是一些外因如政策导向等对陕西省节能减排效率的影响，为更好实现节能减排效率最优目标，需要对影响陕西省工业节能减排效率的因素做进一步分析。

Tobit 模型能够解决 DEA 模型在测量效率时表现出的范围限制问题。尤其是在 DEA 计算出具有截尾性质的节能减排效率 θ 时，简单地把 θ 作为一般意义上的被解释变量，采用最小二乘法（OLS）引起计量模型的错误设定而无法得到一致的估计

量，而 Tobit 模型则可以避免该问题的出现。基于最大似然法的 Tobit 模型还具有同时分析连续型数值变量和虚拟变量的优势。目前，该模型在探索了能源全要素效率和能源环境效率^[29-32]方面取得了较为理想的结论。因此，本文拟采用 Tobit 模型，选取技术创新、工业规模、管理水平和对外开放程度作为节能减排影响因素的测试变量，采用 stata12.0 统计软件对陕西省工业节能减排效率的影响因素进行实证研究。本文选取的四个测试变量分别用科学研究额与技术服务投资额（亿元）、工业固定资产投资/全社会固定资产投资（%）、1/3 ×（城市工业固体综合利用量/全省工业固体综合利用量 + 城市 SO2 排放量/全省 SO2 排放量 + 城市废水治理量/全省废水治理量）（%）和进出口产品总值（亿元）来描述。实证结果如表 5 所示。

表 5 陕西省工业节能减排影响因素的 Tobit 回归分析结果

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
技术创新 X1	0.007*** (0.002)	0.011*** (0.002)	0.007*** (0.002)	0.002 (0.002)	0.008* (0.003)		
工业规模 X2		0.019*** (0.003)	0.015*** (0.003)	0.248*** (0.004)		0.025*** (0.003)	
管理水平 X3			0.736*** (0.185)	0.562*** (0.176)		0.568* (0.174)	
对外开放程度 X4				0.001*** (0.000 2)	-0.000 (0.000 2)	0.000 9*** (0.000 1)	0.000 4** (0.000 1)
_ cons	0.348*** (0.038)	0.952*** (0.112)	0.584*** (0.136)	0.957*** (0.159)	0.347*** (0.385)	0.974*** (0.155)	0.384*** (0.036)

注：***、**、* 分别表示回归系数在 1%、5%、10% 的水平下显著。

陕西省工业节能减排效率的影响因素回归分析得到如下结果：（1）模型 1 ~ 模型 3 中回归系数在 1% 条件下显著，表明技术创新对于陕西省工业节能减排效率的提升有显著作用，这和孙欣^[33]的结论一致。技术创新之所以能够提升陕西省工业节能减排效率，主要有两个原因：其一是如减量技术、再利用技术、系统化技术等关键技术能够在给定资源总量的条件下提高能源使用效率；其二是技术创新带来的新型工艺、新型能源等有利于减排目标顺利达成，促进了节能减排效率的提升。（2）模型 2 ~ 模型 4 表明管理水平与陕西省工业节能减排效率之间显著正相关，显著性水平始终保持在 1% 水平。管理水平越高则节能减排效率越高，这和金桂荣^[33]的研究结论相同。管理水平能够提升陕西省工业节能减排效率，有效的管理限制了低水平的工业企业进入市场，使得社会节能减排的平均水平提高，因而管理水平的提高能

够促进节能减排效率的提升。（3）模型 2 ~ 模型 4 还表明了工业规模和节能减排效率之间显著负相关，显著性水平始终保持在 1% 水平。这与市场竞争机制下资源会源源不断的流向使用效率更高的部门并逐步提升整个行业的能源使用效率的认知矛盾，也和其他学者如张在旭等的研究结论相反。其中主要的原因是陕西省工业发展的水平不高、市场机制活力不足，导致了不能显著提高社会平均资源使用效率。（4）模型 7 表明对外开放程度对于陕西省节能减排效率存在一定的正向促进作用。对外开放有利于推动节能减排技术的转移和节能减排资金的投入，从而促进陕西省节能减排效率的提升。模型 4 和模型 5 表明对外开放程度会影响技术创新提高陕西省工业节能减排效率的效果；模型 6 和模型 7 表明对外开放程度会使得管理水平与节能减排效率之间的相关性水平下降，对外开放程度也会影响管理水平促进节能减排的效

果。因而陕西省在对外开放的过程中应该注意选择绿色产业,提升陕西省整体创新能力和管理水平。

五、结论及建议

通过上述分析,本研究基本结论如下:陕西省工业节能减排效率持续提高,但效率水平还比较低;节能减排效率空间分布呈现了北高南低、三大区域内点状放射的基本形态。陕西省工业节能减排效率的影响因素的Tobit模型分析结果表明:工业规模与工业节能减排效率显著负相关,而技术创新、对外开放程度和管理水平与工业节能减排效率显著正相关,对外开放程度通过技术创新和管理水平促进节能减排效率的提升。

基于以上分析,提出提高陕西省减排效率的对策建议:(1)陕西省工业节能减排效率整体低下,因而应该将节能减排的重点领域放在电力、钢铁、有色、建材、石油石化、化工等高耗能高污染行业,加强污染排放管控,明确排污权,坚持谁污染谁治理。在节能减排目标设定方面,主要应从减少排放角度,尤其是固体废弃物的排放和大气污染的排放着手。强化地方政府的环境责任意识,加大政府财政对节能减排的投入力度,重视对企业参与节能减排工作的扶持和引导力度。除此之外,应加强中心城市的带动作用,以点带面,提高整体节能减排效率水平。(2)工业规模与工业节能减排效率显著负相关,因而可以通过政策引导和制度安排等不断调整、优化产业结构,并使其向节能环保型产业转变,从而降低能源资源的消耗;调整工业企业规模结构,促使不同的企业在市场上都能合理发展。(3)通过推进“国退民进”改革,扩大对外开放程度,提高管理水平和技术创新能力等措施,来提高陕西省工业节能减排效率。(4)加强与科研院校合作,构建技术研发服务平台,着力抓好技术标准示范企业建设,以吸引外商投资,注意选择新技术、新工艺、新流程,增加技术创新对区域经济的影响。

参 考 文 献

[1] 环保部部长陈吉宁总结我国“十二五”生态环境保护成就报告[DB/OL]. [2015-10-10]. http://news.xinhuanet.com/fortune/2015-10/10/c_128314031.htm

[2] ZAIM O, TASKIN F. Environmental efficiency in carbon

dioxide emissions in the OECD: a non-parametric approach[J]. Journal of Environmental Management, 2000, 58(2):95-107.

[3] Pekka J, KORHONEN, MIKULAS L. Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154(2):437-446.

[4] ZHOU P, ANG B W. Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance [J]. Energy Policy, 2008(6):2911-2916.

[5] REINHARD S, LOVELL C A K, THIJSSSEN G J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121(2):287-303.

[6] KARIMU A, BRÄNNLUND R, LUNDGREN T, et al. Energy intensity and convergence in Swedish industry: a combined econometric and decomposition analysis [J]. Energy Economics, 2017, 62:347-356.

[7] 殷克东,王冰,王冰. 山东省节能减排水平综合评测研究[J]. 科技进步与对策, 2010(22):172-176.

[8] 杨淑霞,韩奇,徐琳茜,等. 鱼群算法与神经网络结合的节能减排效果评价[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012(4):1538-1548.

[9] 饶清华,邱宇,许丽忠,等. 基于多目标决策的节能减排绩效评估[J]. 环境科学学报, 2013(2):617-625.

[10] 金桂荣,张丽. 中小企业节能减排效率及影响因素研究[J]. 中国软科学, 2014(1):126-133.

[11] 王婷婷,朱建平. 环境约束下电力行业能源效率研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3):120-127.

[12] 蔡宁,丛雅静,姚懿珈. 基于行业数据的新型工业节能减排效率与技术创新研究[J]. 工业技术经济, 2016(8):19-30.

[13] 金桂荣. 提升我国中小企业节能减排效率的创新驱动研究[J]. 科学管理研究, 2014(3):89-92.

[14] 王珊珊,屈小娥. 基于环境效应的中国制造业全要素能源效率变动研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(8):130-137.

[15] 永达,刘智超,孙巍. 资本替代能源的节能减排效应研究[J]. 产业经济研究, 2017(1):114-126.

[16] 周武星,田发. 税收优惠、要素流动对节能减排效率的影响[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2015(4):101-106.

[17] 徐盈之,魏莎. 中国省际节能减排效率的经济增长效应——基于门槛回归模型的研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2014(3):60-69, 139.

[18] 吴巧生,李慧. 长江中游城市群能源效率评价研究

- [J]. 中国人口·资源与环境, 2016(12):140-146.
- [19] 蔡宁, 丛雅静, 李卓. 技术创新与工业节能减排效率——基于 SBM-DDF 方法和面板数据模型的区域差异研究[J]. 经济理论与经济管理, 2014(6):57-70.
- [20] 肖皓, 朱俏. 影响力系数与感应度系数的评价与改进——考虑增加值和节能减排效果[J]. 管理评论, 2015(3):57-66.
- [21] 黄清煌, 高明. 环境规制的节能减排效应研究——基于面板分位数的经验分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2017(1):30-43.
- [22] 李科. 我国省际节能减排效率及其动态特征分析[J]. 中国软科学, 2013(5):144-157.
- [23] HAILU A, VEEMAN T S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: an application to the Canadian pulp and paper industry[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2011, 83(3):605-616.
- [24] 龙如银, 杨冉冉, 牛源. 江苏省节能减排绩效的区域比较研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2014(6):7-13.
- [25] 田泽, 严铭, 李楠. 碳约束下江苏省节能减排效率时空演化及分异研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2016(6):49-55, 95.
- [26] 段显明, 胡玉筱. 基于 DEA 交叉效率模型的省际节能减排效率评价[J]. 杭州电子科技大学学报(社会科学版), 2015(1):1-5.
- [27] 李静, 彭翡翠, 黄丹丹. 基于并行 DEA 模型的中国工业节能减排效率研究[J]. 工业技术经济, 2014(5):145-152.
- [28] 张丹, 王腊芳. 中国区域节能减排绩效的差异性与收敛性分析[J]. 系统工程, 2015(4):92-98.
- [29] 冯博, 王雪青. 中国建筑业能源经济效率与能源环境效率研究——基于 SBM 模型和面板 Tobit 模型的两阶段分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2015(1):14-22.
- [30] 宫大鹏, 赵涛, 慈兆程, 等. 基于超效率 SBM 的中国省际工业化能源效率评价及影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2015(2):585-595.
- [31] 李宏勋, 兰致, 王明丽, 等. 基于超效率 DEA-Tobit 模型的环渤海经济区全要素能源效率研究[J]. 科技管理研究, 2014(20):226-230.
- [32] 陈浩, 陈平, 罗艳. 京津冀地区环境效率及其影响因素分析[J]. 生态经济, 2015(8):142-146, 150.
- [33] 孙欣, 张可蒙, 宋马林. 中国省域节能减排效率评价及其影响因素研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2014(4):137-143.

An Evaluation of the Industrial Energy Saving and Emission Reduction Efficiency in Shaanxi Province Based on DEA Model

WANG Yan, WU Meng-nan, LIU Qiao

(Faculty of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: When promoting the rapid development of industrial technology in Shaanxi province the abundant energy reserves have also brought higher energy consumption and severe environmental pollution. In the context of the green development that the whole society works hard to achieve, Shaanxi should take the priority to the energy efficiency improvement and the pollution emissions reduction in the economic development. This paper evaluates Shaanxi's industrial energy saving and emissions reduction efficiency by using the evaluation index system established and the data from 2006 to 2015 in the DEA model. It aims to explore the factors driving the industrial energy saving and emissions reduction and improve the efficiency in Shaanxi Province. The result indicates that the industrial scale, the technological progress, the opening degree to the outside world, and the management level can effectively promote the efficiency of industrial energy saving and emissions reduction in Shaanxi industries. Finally, it is suggested that the third industry development should be prompted by optimizing the industrial structure and that the regional innovation ability be improved by cultivating innovative enterprises so as to increase the efficiency of industrial energy conservation and emissions reduction in Shaanxi province and as well strengthen the degree of opening up to the outside world with the "silk road" as a focus.

Key words: energy saving and emission reduction; efficiency evaluation; DEA model

【编辑 吴晓利】