

【环境与生态统计】

中国产业部门全要素隐含能源效率的测度研究

高 鹏 岳书敬

【摘要】研究目标:测度直接能源投入与隐含能源投入条件下的全要素能源效率和节能潜力,并进行对比分析。研究方法:构建非竞争型投入产出模型和超效率SBM模型,动态分析中国产业部门的全要素直接能源效率与全要素隐含能源效率及其节能潜力。研究发现:中国产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量增长显著;全要素隐含能源效率增幅较大;产业部门的全要素直接能源效率变动平缓,并且其均值较高;隐含能源投入条件下的节能潜力更大。研究创新:方法上融合投入产出分析与数据包络分析,扩展了两种方法的应用范畴;视角上立足于直接能源消耗和隐含能源消耗角度;内容上构建了全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率指标。研究价值:促进产业部门的节能发展,为提升能源利用效率提供政策借鉴。

【关键词】投入产出模型;超效率;SBM模型;能源效率;产业部门

【作者简介】高鹏,岳书敬(通讯作者),东南大学经济管理学院。

【原文出处】《数量经济技术经济研究》(京),2020.11.61~80

【基金项目】本文获得教育部人文社会科学研究规划基金“基于城市群空间网络视角的长江经济带绿色发展研究”(20YJA790085);江苏高校哲学社会科学研究重大项目(2020SJZDA059);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2242020S30001,2242020K30071)的资助。

引言

自改革开放以来,中国实现了奇迹般的经济增长和大规模的物质积累,工业化和城镇化水平不断提高,但由于以往粗放式的生产方式和以重工业为主的生产结构,导致中国产生了大量的环境污染和能源消耗。能源对经济可持续发展的制约和对环境健康发展的影响也越发明显。据国际能源署(International Energy Agency, IEA)统计结果显示,2010年中国能源消费量超过美国,成为全球能源消费量最大的国家,同时随着快速增长的能源消费需求,中国自身的能源供给不足问题更加突出,并分别在2017年和2018年超过美国和日本,从而成为全球石油和天然气进口量最大的国家。

中国如何突破能源制约瓶颈促进经济高质量发展成为当前需要解决的问题之一。首要举措是应当构建合理的能源消耗分配机制,尤其是针对不同行业制定详细的能源供给和能源消耗分配清单(Sadorsky, 2009; 岳立和杨帆, 2016; Yang 和 Shi, 2017)。然而,随着不断细化的行业分工,各行业间存在极强的经济联系,一种产品的生产往往要融合

多个部门共同完成,其消费环节也逐渐多元化(吴安波, 2009; Su 等, 2017)。因此,需要区分一种产品或产业的直接能源消耗和包含中间生产消费等环节的间接能源消耗因素,从隐含能源消耗的视角分析一种产品或产业的能源消耗问题更符合现实情况。隐含能源消耗既包含了以往研究中采纳的直接能源消耗因素,也涵盖了以往研究中较少涉及的间接能源消耗因素,可以反映产业部门从生产到最终消费的能源消耗的全过程。同时,落后产能会不可避免地带来环境污染和不必要的能源浪费,结合十八大以来对能源消费总量的严格要求以及中国供给侧结构性改革的内含,亟须结合行业特征淘汰落后产能,这就需要区分各产业部门真实的全要素能源效率,即融合直接能源消耗和间接能源消耗因素,从隐含能源消耗视角下准确测算各产业部门的全要素能源效率,需要引入全要素隐含能源效率指标。该指标反映了产业部门全生命周期的能源利用水平,不仅包含直接生产过程中的能源利用水平,同时包含再加工和中间消费等中间环节的能源利用水平。通过测算中国产业部门的全要素隐含

能源效率,可以判断不同产业部门真实的全要素能源效率处于何种状态,可为相关职能部门实施节能环保等政策提供科学依据,可在新时代和经济高质量发展背景下进一步提升产业部门的能源利用水平和节能潜力。然而,已有研究较少从产业部门视角下分析中国的全要素能源效率问题,同时目前鲜有融合隐含能源消耗视角分析中国产业部门全要素能源效率方面的研究,对于产业部门真实的全要素能源效率和节能潜力缺乏客观认知。

基于此,我们根据投入产出法的基本思想,通过构建非竞争型投入产出模型测算了中国产业部门的隐含能源消耗量。基于超效率 SBM 方法,在 Hu 和 Wang(2006)的研究基础上,将隐含能源消耗因素纳入全要素能源效率的分析框架下,从产业部门视角研究中国的全要素隐含能源效率问题并分析其节能潜力。同时,我们还引入直接能源消耗因素,综合对比直接能源消耗和隐含能源消耗条件下的全要素能源效率及其节能潜力的差异,以期为中国经济的高质量发展和全要素能源效率提升提供数据支撑和客观依据。

一、理论依据与文献回顾

伴随着经济全球化和对外贸易的快速发展,中国的城市化建设和经济发展取得重大突破,而在此过程中,能源作为重要的发展动力也越发成为一种稀缺资源,尤其在低碳经济时代,能源消耗带来的环境外部性问题也越发突出(陈诗一,2009; Fotis 等,2017; 邵帅等,2019)。低碳经济理论的核心内涵是要求在生产生活过程中提高能源的利用效率,促进长期的低碳可持续发展,这就涉及一个关键因素,即能源的消耗和利用水平问题。因此,众多学者从全要素能源效率(Honma 和 Hu,2008; 李兰冰,2015; 李双杰和李春琦,2018)、节能潜力(史丹,2006; 孙传旺和林伯强,2014; Çay,2018)、能源消费驱动因素(史丹和马翠萍,2014; Wang 和 Li,2016; Wang 等,2019)等方面开展了大量研究。中国作为全球最大的能源消费国,如何在经济高质量发展背景下实现全要素能源效率和节能潜力的双重提高成为当前需要解决的问题之一。

全要素能源效率意味着用更少的能源和非能源投入(比如资本和劳动力)产生更大的经济价值(张伟和吴文元,2011; Wu 等,2017),而已有研究普遍选取直接能源消耗量作为能源投入(Zhao 等,2014),从直接能源消耗视角研究全要素能源效率

问题。需要注意的是,一种产品从生产制造到最终消费都会产生一定的能源消耗,实际产生的能源消耗量往往大于直接能源消耗量(Su 和 Ang,2017; Su 等,2019),仅基于直接能源消耗测算的全要素能源效率往往与实际情况相偏离。因此,单纯考虑直接能源消耗量而忽略中间生产消费等环节产生的能源消耗量的方法并不合理,需要纳入包含直接能源消耗和间接能源消耗的隐含能源消耗因素。

关于隐含能源消耗问题的研究,可总结为以下三个方面。第一,关于隐含能源消耗的测算。目前应用较为广泛的方法是投入产出法和生命周期法,由于生命周期法对数据的要求较高,需要明确一种产品从原材料获取到最终消费全生命周期的数据,可操作性相对较低;而投入产出法可直接基于投入产出表进行分析,得到了众多学者的广泛应用(齐晔等,2008; 张友国,2009; 彭水军和刘安平,2010; 黎峰,2016; Moreau 和 Vuille,2018)。第二,关于隐含能源消耗的影响因素研究。众多学者运用诸如 IDA、SDA 和 PDA 等在内的指标分解分析和计量方法等从多维度研究隐含能源消耗的影响因素(陈红敏,2009; 庞军等,2012; Jiang 等,2020)。第三,将隐含能源消耗因素纳入相关的经济学分析框架中。目前应用较为广泛的是将隐含能源消耗纳入福利效应分析、污染效应分析以及包含环境库兹涅茨理论和污染避难所理论等理论在内的分析框架中(徐丽萍等,2012; 章辉和蒋瑛,2016),但目前将隐含能源消耗纳入全要素能源效率分析框架中的研究却鲜有涉及。而关于全要素能源效率的研究方法则主要集中在 DEA 和 SFA 中,由于 DEA 作为一种非参数方法,不用设置具体的函数形式,在实际应用中更为广泛(Zhang 等,2008)。为准确测算中国在隐含能源消耗条件下的全要素能源效率,有效区分全要素能源效率超过 1 的产业部门,根据 Tone(2001、2002)提出的超效率 SBM 方法对全要素能源效率进行评估。在仅针对中国问题的研究中, Li 和 Shi(2014)、钱争鸣和刘晓晨(2014)、王兆峰和杜瑶瑶(2019)等学者利用超效率 SBM 方法研究了中国的全要素能源效率、碳排放效率和节能潜力等问题,但已有研究很少涉及产业部门和隐含能源消耗因素。

综上所述,目前还存在以下问题有待解决:第一,已有研究在分析全要素能源效率问题时,较少地涉及隐含能源消耗因素,普遍将能源投入设定为直接能源消耗量,忽略了中间生产和消费产生的间

接能源消耗量。一种产品从生产到最终消费都会产生一定的能源消耗,仅考虑直接能源消耗因素测算得到的全要素能源效率往往与实际情况存在偏差。第二,关于全要素能源效率的测算,目前多数研究是基于区域或省域的视角,较少涉及产业部门,尤其是利用投入产出部门研究全要素能源效率问题的文献更少,缺乏具体产业部门实施节能环保政策的指导和数据支撑。第三,已有研究在设定能源投入变量时,仅计算了产业部门的直接能源消耗量,没有考虑贸易因素和开放经济对能源消耗的影响。在经济全球化背景下,一种产品的生产与消费发生分离,一国生产的产品极有可能在其他国家进行消费,由贸易活动导致的能源泄漏问题应当纳入研究范畴。

基于此,我们结合投入产出分析和数据包络分析,通过构建非竞争型投入产出模型测算了贸易开放背景下中国 28 个产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量。在全要素能源效率框架下融合直接能源消耗和隐含能源消耗因素,构建了全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率指标,并通过超效率 SBM 模型评价其效率和节能潜力。

因此,本文的创新之处可总结如下:第一,在研究视角上,我们立足于直接能源消耗和隐含能源消耗问题,提出了在隐含能源消耗和直接能源消耗条件下的全要素能源效率指标,以此测算了中国 28 个产业部门的全要素隐含能源效率和全要素直接能源效率,并进一步分析各产业部门的节能潜力。与全要素直接能源效率相比,全要素隐含能源效率融合了直接能源消耗和间接能源消耗因素,反映了产业部门从生产到最终消费全生命周期的能源利用水平。第二,在研究方法上,本文融合了投入产出法和数据包络方法,以此构建了中国产业部门隐含能源消耗测算的非竞争型投入产出模型和全要素能源效率评价的超效率 SBM 模型。第三,在研究内容上,我们在测算中国产业部门隐含能源消耗时剔除了进口因素,研究中国产业部门真实的隐含能源消耗量,同时对比分析了中国产业部门在隐含能源消耗和直接能源消耗条件下全要素能源效率和节能潜力的差异,进一步证明利用隐含能源消耗因素研究全要素能源效率问题的必要性。

二、测算方法、模型构建与数据说明

1. 非竞争型投入产出模型构建

根据投入产出法的基本思想,基于 2005 - 2017

年《中国投入产出表》(含延长表),借鉴 Lau 等(2007)、Mi 等(2017)、潘安(2018)等学者的研究方法,可构建如下分析框架:

假设中国存在 n 个产业部门,则每个产业部门 i 都满足下列等式:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + y_i \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中, x_i 和 y_i 分别表示 i 部门的总产出和最终消费, a_{ij} 表示直接消耗系数元素。

将 i 部门扩展到所有产业部门,则式(1)可表示如下:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n1} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{11} + Y_{12} + \dots + Y_{1n} \\ Y_{21} + Y_{22} + \dots + Y_{2n} \\ \dots \\ Y_{n1} + Y_{n2} + \dots + Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

进一步将式(2)转换为如下形式:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A_{11} & -A_{12} & \dots & -A_{1n} \\ -A_{21} & I - A_{22} & \dots & -A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -A_{n1} & -A_{n1} & \dots & I - A_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_{1i} \\ \sum_{i=1}^n Y_{2i} \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n Y_{ni} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)中, X 和 Y 分别表示总产出和最终消费, $(I - A)^{-1}$ 表示 Leontief 逆矩阵, A 表示直接消耗系数矩阵。

若将投入产出法扩展到能源和环境分析中,根据理论分析可得到产业部门 i 的直接能源消耗量,表示如下:

$$E_i = \sum_{k=1}^n (\omega_{ik} \times \mu_k) \quad (i = 1, 2, \dots, 28; k = 1, 2, \dots, 8) \quad (4)$$

其中, E_i 为 i 部门的直接能源消耗量, ω_{ik} 为 i 部门对第 k 种能源的消耗量, $\sum_{k=1}^n \omega_{ik}$ 为 i 部门对 $k = 8$ 种能源的消耗总量^①, μ_k 为第 k 种能源的消耗因子。

整体的直接能源消耗系数矩阵为 L , 则有如下关系: $L = E/X$, 而为了满足最终需求引起的能源消耗可表示为:

$$E = LX = L(I - A)^{-1}Y \quad (5)$$

通过移项整理可进一步表示如下:

$$E/Y = L(I - A)^{-1} \quad (6)$$

在经济全球化和当前愈发开放的贸易体系中,一个国家或地区生产的产品极有可能在其他国家或地区进行消费,使得一种产品的生产和消费出现脱钩,而在此过程中,生产该产品产生的能源消耗却由生产国来承担。基于此背景,我们通过剔除进口因素,依据投入产出法的基本思想,构建了中国产业部门隐含能源消耗测算的非竞争型投入产出模型。此时,直接消耗系数矩阵可表示为: $A = A^d + A^m$, 其中, A^d 为国内投入的直接能源消耗系数矩阵, A^m 为进口产业部门的直接能源消耗系数矩阵。参考 Lau 等(2007)学者剔除进口中间投入 A^m 的方法, 设 $A^m = M \times A$, M 为进口系数矩阵, 假设 i 部门对其他部门的投入中所使用的进口中间投入比例相同, 则 M 为一个对角矩阵, 其元素 $m_{ij} = \frac{t_i^m}{x_i + t_i^m - t_i^e}$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$; 若 $i \neq j$, 则 $m_{ij} = 0$), t_i^e 和 t_i^m 分别表示出口

和进口价值列向量。

此时,国内直接能源消耗系数矩阵可表示为: $A^d = (I - M)A$, 而涵盖了直接能源消耗和间接能源消耗的隐含能源消耗系数矩阵可表示为:

$$W = L(I - A^d)^{-1} \quad (7)$$

其中, $(I - A^d)^{-1}$ 表示剔除进口的 Leontief 逆矩阵。

2. 超效率 SBM 模型构建

根据 2005 - 2017 年《中国投入产出表》(含延长表)中各产业部门的合并分类,我们将投入产出部门合并为 28 类(见表 1)。假设每个产业部门都是一个决策单元 DMU_r , Y_{in} 是 DMU_r 的第 r 个输出结果, X_{im} 是 DMU_r 的第 m 个投入要素,我们将 Y_{in} 设定为产业部门增加值 Y_{av} , 将 X_{im} 设定为劳动力投入 X_l , 资本存量投入 X_k , 隐含能源消耗投入 X_{ec} 或直接能源消耗投入 X_{dec} 。生产可能性集合 $P/(X_0, Y_0)$ 可表示为:

表 1 2005 - 2017 年中国 28 个产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量 (单位:万吨)

代码	产业部门	2005 年		2007 年		2010 年		2012 年		2015 年		2017 年	
		直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能
1	农业	3255	14003	3174	16151	3284	18593	3560	20896	4453	25108	4672	21556
2	煤炭开采和洗选业	10627	38420	12865	44637	16849	48981	19194	52405	20865	71081	17161	45456
3	石油和天然气开采业	3652	18111	3512	31680	3939	36578	3609	32830	3573	47007	3104	21922
4	金属矿采选业	362	33363	405	45662	514	52882	597	47995	772	60336	501	41566
5	非金属矿及其他矿采选业	590	29208	618	35505	600	48257	600	44445	1063	56161	874	43648
6	食品制造及烟草加工业	2678	16600	2874	20733	3095	24164	3164	24163	4522	28003	4295	25650
7	纺织业	1986	22332	2211	30328	2035	31612	1574	33182	3516	40598	3019	36205
8	服装皮革羽绒及其他制造业	359	16690	390	23717	355	27395	327	28312	381	30947	98	30307
9	木材加工及家具制造业	386	23067	405	28779	420	37763	395	35154	481	40484	249	33267
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	2661	25857	2945	32809	3298	39651	3470	45370	3777	56119	3846	44146
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	52248	74925	62201	88995	78651	106767	89974	117538	109168	156689	115782	141788
12	化学工业	19007	53447	21188	66378	22038	73677	25093	82605	37821	110171	33717	88643
13	非金属矿物制品业	15970	49407	16419	58176	18723	71613	20151	74920	25050	91067	22441	73838
14	金属冶炼及压延加工业	38979	82176	43587	97756	54266	115512	60646	131303	72525	168869	71601	135720
15	金属制品业	456	44189	485	57281	513	69983	558	74803	729	87147	721	69467
16	通用、专用设备制造业	1476	36414	1669	44469	2011	53997	1779	54314	1609	60180	1220	45489
17	交通运输设备制造业	958	31327	1029	37264	1213	43332	904	46737	1136	51153	1137	40629
18	电气机械及器材制造业	279	35115	295	47839	439	56668	542	63150	678	73954	273	56558
19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	301	17852	327	21539	372	28487	323	27702	269	32818	323	27362
20	仪器仪表及文化办公用机械制造业	41	23269	45	24971	64	31456	49	34220	44	38123	36	31088

续表 1

代码	产业部门	2005 年		2007 年		2010 年		2012 年		2015 年		2017 年	
		直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能	直接能	隐含能
21	其他制造业	449	18260	418	22692	409	27250	444	29727	644	57604	471	27529
22	电力、热力的生产和供应业	78425	106148	97712	174563	110822	195909	127661	218745	122880	239255	134178	210472
23	燃气生产和供应业	1134	30399	1274	24578	1093	26989	906	24644	499	38092	491	20177
24	水的生产和供应业	36	33487	38	46346	64	59135	56	50761	49	61137	30	44933
25	建筑业	1306	29740	1423	45670	1710	50606	1788	56172	2168	65962	2200	51334
26	交通运输、仓储及邮政业	16629	38006	19874	48057	23481	59589	28424	66384	33382	73648	36039	65961
27	批发零售及餐饮业	1806	12203	2063	17327	2372	16692	2891	15696	4259	19849	4053	18756
28	其他服务业	4200	17555	4878	20703	5450	23292	6462	24832	8845	30133	8265	26011

资料来源:根据 2005 - 2017 年《中国投入产出表(含延长表)》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及相关公式计算整理所得。

$$P/(X_0, Y_0) = \left[\frac{(X, Y)}{X} \geq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \lambda_i X_i, Y \leq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \lambda_i Y_i, Y \geq 0, \lambda \geq 0 \right] \quad (8)$$

定义 $\bar{P}/(X_0, Y_0)$ 是 $P/(X_0, Y_0)$ 的子集, 则 $\bar{P}/(X_0, Y_0) = (X_0, Y_0) \cap [\bar{X} \geq X_0, \bar{Y} \geq Y_0]$, 其中 $\bar{P}/(X_0, Y_0)$ 为非空集, $X > 0, Y > 0$ 。

为有效区分全要素能源效率超过 1 的产业部门, 在借鉴 Tone(2001, 2002) 和 Tran 等(2019)的研究成果基础上构建了超效率 SBM 模型, 如下所示:

$$\phi^* = \min \phi = \frac{(1/s) \sum_{m=1}^s \bar{X}_m / X_{m0}}{(1/t) \sum_{n=1}^t \bar{Y}_n / Y_{n0}} \quad (9)$$

其中, $\bar{X} \geq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \lambda_i X_i, \bar{Y} \leq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \lambda_i Y_i, \bar{X} \geq X_0, \bar{Y} \leq Y_0, \bar{Y} \geq 0, \lambda \geq 0$ 。

进一步将式(9)表示为如下线性规划形式:

$$\gamma^* = \min \gamma = \frac{l}{s} \sum_{m=1}^s \frac{\bar{X}_m}{X_{m0}} \quad (10)$$

$$\text{而 } l = \frac{1}{t} \sum_{n=1}^t \frac{\bar{Y}_n}{Y_{n0}}, \bar{X} \geq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \vartheta_i X_i, \bar{Y} \leq \sum_{i \in I, i \neq 0}^n \vartheta_i Y_i, \bar{X} \geq zX_0, \bar{Y} \geq zY_0, \vartheta \geq 0, \bar{Y} \geq 0, z \geq 0。$$

3. 数据来源及处理

基于数据的可获得性和研究的严谨性, 本文所用数据主要来源于 2005 - 2017 年《中国投入产出表(含延长表)》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及国家统计局统计数据库等。本文研究所涉及的变量和处理情况如下所示:

(1) 劳动力投入 (X_l): 用各产业部门的年末平

均从业人数表示劳动力投入变量。

(2) 资本存量投入 (X_k): 借鉴陈诗一(2011)、张宁和张维洁(2019)的处理方法, 选取建筑设备工程、设备工器具购置和其他费用作为产业部门的新增固定资产投资, 以 1980 年产业部门的固定资产净值作为初始资本存量, 并以 2005 年产业部门的固定资产投资价格指数为基准进行价格调整, 通过永续盘存法计算得到各产业部门的资本存量。具体的处理方法可表示为:

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta) + I_t \quad (11)$$

其中, K_t 和 K_{t-1} 分别表示 t 年和 $t-1$ 年的资本存量, δ 表示折旧率, I_t 表示 t 年的固定资产投资。

(3) 隐含能源投入 (X_{ec}): 根据投入产出法的基本思想, 通过构建非竞争型投入产出模型测算各产业部门的隐含能源消耗量, 以此作为隐含能源投入。

(4) 直接能源投入 (X_{dec}): 选取产业部门消耗较大的 8 种化石能源, 根据式(4) 计算得到各产业部门的直接能源消耗量, 以此作为直接能源投入。

(5) 产业增加值 (Y_{ar}): 用各产业部门的增加值作为产出变量。

三、实证结果与分析

1. 中国产业部门的直接能源消耗与隐含能源消耗分析

2005 - 2017 年中国 28 个产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量测算结果如表 1 所示。整体看来, 中国各产业部门的隐含能源消耗量普遍高于直接能源消耗量, 各产业部门隐含能源消耗量与直接能源消耗量的差值, 即间接能源消耗量不断

扩大,并已远远超过直接能源消耗量。在 2005 - 2017 年中国总体的直接能源消耗量增加 210537 万吨,而中国总体的隐含能源消耗量增加 547907 万吨,从而可得到间接能源消耗量增加 337371 万吨,包含中间生产和流通等环节的间接能源消耗问题值得进一步关注。具体来看,在 28 个产业部门的直接能源消耗量中,有 8 个部门的直接能源消耗量有所下降,其中燃气生产和供应业的减少量最大,减少了 643 万吨,其余 20 个部门的直接能源消耗量均有所增加,其中石油加工、炼焦及核燃料加工业的增加量最大,增加 63534 万吨。与直接能源消耗量变动趋势不同的是,在 28 个产业部门的隐含能源消耗量中,仅有燃气生产和供应业的隐含能源消耗量有所下降,下降 10222 万吨,其余 27 个部门的隐含能源消耗量均呈增加趋势,其中电力、热力的生产和供应业的增加量最大,达到 104324 万吨。

其次从中国 28 个产业部门直接能源消耗和隐含能源消耗的增速方面分析(见图 1)。整体来看,有 7 个产业部门的直接能源消耗增速和隐含能源消耗增速呈相反变动趋势,并且均处于直接能源消耗增速小于 0,隐含能源消耗量增速大于 0 的情形,表明这 7 个产业部门的间接能源消耗量较大,而其余 21 个产业部门的直接能源消耗量增速与隐含能源消耗量增速保持相同变化趋势。具体来看,有 8 个产业部门直接能源消耗量的增速呈下降趋势,其中服装皮革羽绒及其他制造业下降幅度最大,达到 72.79%,其余 20 个产业部门直接能源消耗量的增速均有所上升,其中批发零售及餐饮业上升幅度最

大,达到 124.45%。而仅有燃气生产和供应业的隐含能源消耗量呈下降趋势,下降幅度为 33.63%,其余 27 个产业部门的隐含能源消耗量均有所上升,其中电力、热力的生产和供应业上升幅度最大,达到 98.28%。

最后分析中国 28 个产业部门直接能源消耗量和隐含能源消耗量在每年的占比情况(见表 2)。整体来看,各产业部门直接能源消耗量和隐含能源消耗量在每年的占比情况的变化趋势并不一致,各产业部门隐含能源消耗量的最大值均集中在 2015 年,在 2015 - 2017 年间整体呈下降趋势,而直接能源消耗量整体呈增加趋势。具体来看,首先分析 28 个产业部门直接能源消耗量在每年的占比情况,在 2005 年、2007 年、2010 年、2012 年、2015 年和 2017 年直接能源消耗量占比最大的产业部门分别有 0 个、2 个、6 个、0 个、14 个和 6 个,其中批发零售及餐饮业的直接能源消耗量占比增加最多,增加了 12.88%,而服装皮革羽绒及其他制造业的直接能源消耗量占比下降最多,下降了 13.70%。与产业部门直接能源消耗量在每年的占比情况不同的是,28 个产业部门隐含能源消耗量占比最大的年份均为 2015 年,表明该年的间接能源消耗量在隐含能源消耗量中的占比较大,也说明中国自“十三五”以来实施的节能环保政策已取得一定成效。在 2005 - 2017 年,石油加工、炼焦及核燃料加工业的隐含能源消耗量占比增加最多,增加了 9.74%,而燃气生产和供应业的隐含能源消耗量占比下降最多,下降了 6.20%。

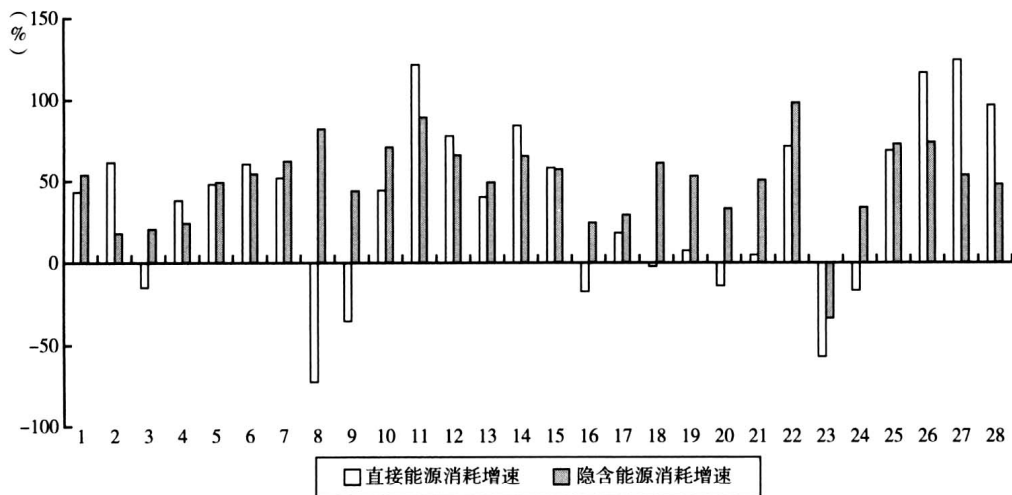


图 1 2005 - 2017 年中国 28 个产业部门直接能源消耗增速和隐含能源消耗增速对比

注:1 ~ 28 指的是 28 个产业部门,具体分类见表 1。

表 2 中国 28 个产业部门直接能源消耗与隐含能源消耗在每年的占比情况 (单位: %)

产业部门	2005 年		2007 年		2010 年		2012 年		2015 年		2017 年	
	直接 能占比	隐含 能占比	直接 能占比	隐含 能占比	直接 能占比	隐含 能占比	直接 能占比	隐含 能占比	直接 能占比	隐含 能占比	直接 能占比	隐含 能占比
1	14.53	12.04	14.17	13.89	14.66	15.99	15.89	17.97	19.88	21.59	20.86	18.53
2	10.89	12.77	13.19	14.83	17.27	16.27	19.67	17.41	21.39	23.62	17.59	15.10
3	17.07	9.63	16.42	16.84	18.42	19.44	16.87	17.45	16.70	24.99	14.51	11.65
4	11.49	11.84	12.86	16.20	16.30	18.77	18.95	17.03	24.50	21.41	15.90	14.75
5	13.57	11.35	14.23	13.80	13.81	18.76	13.81	17.28	24.47	21.83	20.11	16.97
6	12.98	11.92	13.93	14.88	15.00	17.34	15.34	17.34	21.92	20.10	20.82	18.41
7	13.85	11.50	15.42	15.61	14.19	16.27	10.98	17.08	24.52	20.90	21.05	18.64
8	18.82	10.61	20.42	15.07	18.58	17.41	17.12	17.99	19.94	19.67	5.12	19.26
9	16.51	11.62	17.33	14.50	17.99	19.02	16.90	17.71	20.61	20.39	10.67	16.76
10	13.31	10.60	14.73	13.45	16.49	16.25	17.35	18.60	18.89	23.00	19.23	18.10
11	10.28	10.91	12.24	12.96	15.48	15.55	17.71	17.12	21.49	22.82	22.79	20.65
12	11.96	11.25	13.34	13.98	13.87	15.51	15.80	17.39	23.81	23.20	21.22	18.66
13	13.45	11.79	13.83	13.88	15.77	17.09	16.97	17.88	21.09	21.73	18.90	17.62
14	11.41	11.24	12.76	13.37	15.89	15.79	17.75	17.95	21.23	23.09	20.96	18.56
15	13.17	10.97	14.01	14.22	14.81	17.37	16.13	18.57	21.07	21.63	20.82	17.24
16	15.12	12.35	17.10	15.08	20.59	18.31	18.22	18.42	16.48	20.41	12.49	15.43
17	15.03	12.51	16.13	14.88	19.03	17.30	14.17	18.66	17.81	20.43	17.83	16.22
18	11.14	10.54	11.77	14.35	17.53	17.00	21.64	18.95	27.03	22.19	10.89	16.97
19	15.72	11.46	17.07	13.83	19.42	18.29	16.87	17.78	14.04	21.07	16.87	17.57
20	14.85	12.71	16.27	13.64	22.93	17.18	17.50	18.69	15.66	20.82	12.79	16.98
21	15.85	9.97	14.75	12.40	14.43	14.89	15.66	16.24	22.71	31.47	16.61	15.04
22	11.68	9.27	14.55	15.24	16.50	17.11	19.01	19.10	18.29	20.89	19.98	18.38
23	21.02	18.44	23.61	14.91	20.24	16.37	16.79	14.95	9.25	23.10	9.09	12.24
24	13.30	11.32	13.87	15.67	23.39	19.99	20.43	17.16	17.93	20.67	11.08	15.19
25	12.32	9.93	13.43	15.25	16.14	16.90	16.88	18.76	20.47	22.03	20.76	17.14
26	10.54	10.81	12.59	13.67	14.88	16.95	18.01	18.88	21.15	20.94	22.83	18.76
27	10.35	12.14	11.82	17.24	13.60	16.61	16.57	15.61	24.41	19.75	23.24	18.66
28	11.02	12.32	12.80	14.53	14.30	16.34	16.96	17.42	23.21	21.14	21.69	18.25

注:1~28 指的是 28 个产业部门,具体分类见表 1。

基于上述分析发现,在 2005 - 2017 年中国 28 个产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量均有所增加,但隐含能源消耗量远大于直接能源消耗量,间接能源消耗因素值得进一步关注。同时,中国各产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消

耗量在总量、增速和变化率等方面存在较大差异,由此导致的全要素能源效率是否存在较大的差异化?又呈现怎样的变化趋势?为解决该问题,亟须区分直接能源消耗和隐含能源消耗的差异,深入研究全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率及

其节能潜力。

2. 中国产业部门的全要素直接能源效率与全要素隐含能源效率分析

(1) 基于直接能源消耗视角的分析。中国 28 个产业部门的全要素直接能源效率如表 3 所示。在 2005 - 2017 年全要素直接能源效率大于 1 的产业部门分别有 6 个、4 个、6 个、5 个、6 个和 6 个, 这些产业

部门的全要素直接能源效率较高。同时, 有 11 个产业部门的全要素直接能源效率有所下降, 其中其他制造业下降最多, 下降了 0.6762, 下降幅度达 31.64%。其余 17 个产业部门的全要素直接能源效率均有所提升, 其中建筑业提升最多, 增加了 1.1341, 增加幅度达 155.23%, 这得益于该产业部门在 2005 - 2017 年的大规模扩张, 产生了显著的规模效应。

表 3 2005 - 2017 年中国 28 个产业部门的全要素直接能源效率

产业部门	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年	均值
1	1.3012	0.6683	1.0632	1.2836	1.8345	0.6953	1.1410
2	0.1040	0.0754	0.1361	0.1837	0.2196	0.3210	0.1733
3	0.3690	0.3194	0.3114	0.3942	0.2537	0.3794	0.3379
4	0.3139	0.3346	0.4789	0.4505	0.3542	0.5072	0.4066
5	0.2740	0.3701	0.3782	0.4569	0.3764	0.4892	0.3908
6	0.3429	0.2683	0.2929	0.3782	0.3849	0.3053	0.3288
7	0.1897	0.1591	0.2245	0.2724	0.2407	0.2169	0.2172
8	0.5911	0.3613	0.3867	0.7765	1.1019	0.5822	0.6333
9	0.3446	0.3486	0.3245	0.4283	0.4404	0.5217	0.4014
10	0.2030	0.1508	0.1566	0.2093	0.2741	0.1940	0.1979
11	0.2964	0.2790	0.3902	0.4162	0.5029	0.3705	0.3759
12	0.2180	0.1924	0.2160	0.2088	0.2325	0.1579	0.2043
13	0.1738	0.1548	0.1769	0.1799	0.1670	0.2322	0.1808
14	0.1816	0.2051	0.2088	0.2430	0.2281	0.2458	0.2187
15	0.4301	0.3693	0.3585	0.4130	0.4218	0.3798	0.3954
16	0.3365	0.2666	0.3005	0.3345	0.3916	0.3537	0.3306
17	0.3140	0.2927	0.3563	0.5024	0.6989	0.4608	0.4375
18	0.9677	0.7420	0.6161	0.4747	0.5883	0.8517	0.7068
19	1.0202	1.0720	1.0277	1.1726	1.2417	1.1087	1.1072
20	1.2266	1.0593	1.0012	0.6632	0.8644	1.1393	0.9924
21	2.1374	1.8346	1.3089	0.8069	0.3527	1.4612	1.3169
22	0.1813	0.1699	0.1626	0.1592	0.1304	0.0994	0.1504
23	0.0838	0.0624	0.0969	0.1079	0.1607	0.1418	0.1089
24	0.4532	0.4485	0.3266	0.3329	0.3687	0.5136	0.4073
25	0.7306	0.4273	1.0077	1.3551	1.2424	1.8648	1.1047
26	0.1779	0.1553	0.1542	0.1339	0.1354	0.1336	0.1484
27	1.0023	0.4860	0.8771	1.0688	1.0323	1.0258	0.9154
28	1.1132	1.0001	1.1016	1.1315	1.1917	1.1867	1.1208
均值	0.5385	0.4383	0.4800	0.5192	0.5511	0.5693	0.5161

注: 1 ~ 28 指的是 28 个产业部门, 具体分类见表 1。

具体来看,农业的全要素直接能源效率下降到1以下,由2005年的1.3012下降到2017年的0.6953,而建筑业的全要素直接能源效率增加到了1以上,由2005年的0.7306增加到2017年的1.8648。此外,通信设备、计算机及其他电子设备制造业(1.0202、1.0720、1.0277、1.1726、1.2417和1.1087)和其他服务业(1.1132、1.0001、1.1016、1.1315、1.1917和1.1867)的全要素直接能源效率在每年均大于1,表明这些产业部门具有较高的生产技术和较低的直接能源消耗量。

从中国产业部门全要素直接能源效率的均值来看,全要素直接能源效率均值由2005年的0.5385增加到2017年的0.5693,整体的直接能源利用水平有所提高。全要素直接能源效率的整体均值为0.5161,但在不同的行业之间存在较大的差异化,有9个产业部门的全要素直接能源效率均值大于

整体均值,同时有19个产业部门的全要素直接能源效率均值小于整体均值,表明大多数产业部门在直接能源消耗条件下具有较强的节能空间。

进一步分析中国28个产业部门在直接能源消耗条件下的节能潜力(见表4)。在2005-2017年直接能源消耗的节能潜力在50%以上的产业部门分别有12个、11个、11个、12个、14个和11个,其中石油加工、炼焦及核燃料加工业的节能潜力始终居于第一位。整体来看,中国产业部门直接能源消耗在每年的平均节能潜力呈“M”形变化趋势,分别为38.69%、40.34%、38.58%、40.59%、42.07%和38.06%,整体上节能潜力下降0.63%。从中国产业部门节能潜力的整体变动情况来看,有19个产业部门的节能潜力有所增加,其中其他制造业增长最多,达到34.76%,同时有9个产业部门的节能潜力有所下降,其中燃气生产和供应业下降最多,达到-88.60%。

表4 基于直接能源消耗的中国28个产业部门的节能潜力 (单位:%)

产业部门	2005年	2007年	2010年	2012年	2015年	2017年
1	40.35	20.65	0.00	63.95	0.00	3.07
2	74.69	81.87	84.18	88.73	95.54	95.76
3	82.10	82.92	82.59	77.79	77.53	79.69
4	0.00	16.16	35.98	0.00	11.11	3.38
5	65.78	75.61	64.61	58.51	68.80	69.43
6	24.00	36.96	32.31	0.00	17.38	0.00
7	0.00	23.19	20.92	0.00	60.75	30.42
8	0.00	0.00	0.00	0.00	30.19	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	59.82	67.68	68.54	48.97	71.52	62.75
11	99.19	99.37	99.30	99.24	99.46	99.33
12	86.94	90.05	84.62	82.87	86.63	81.95
13	89.82	92.04	89.93	88.13	84.53	82.63
14	94.73	95.83	96.22	93.81	96.87	96.36
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	21.61	8.32	51.78	72.51	32.62
20	67.98	17.80	0.36	0.00	8.48	41.80
21	0.00	34.42	18.89	34.70	52.75	34.76

续表 4

产业部门	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年
22	97.73	98.46	97.94	97.82	96.19	95.30
23	88.60	91.15	83.04	74.84	14.83	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	2.32	39.95	0.00	33.16
26	76.86	83.86	79.58	75.32	65.72	59.40
27	0.69	0.00	0.00	20.64	9.70	7.74
28	33.96	0.02	30.47	39.45	57.51	56.00

注:1~28 指的是 28 个产业部门,具体分类见表 1。

(2) 基于隐含能源消耗视角的分析。中国 28 个产业部门的全要素隐含能源效率如表 5 所示。在 2005-2017 年全要素隐含能源效率大于 1 的产业部门分别有 3 个、3 个、3 个、4 个、4 个和 5 个,这些产业部门的全要素隐含能源效率较高。同时,有 10 个产业部门的全要素隐含能源效率有所下降,其中其他制造业下降最多,下降 0.7921,下降幅度达 37.06%,这是由于该产业部门承担了

废品废料的再加工,具有更多的隐含能源消耗。而其余 18 个产业部门的全要素隐含能源效率均有所提升,其中建筑业提升最多,增加 1.5665,增加幅度达 477.52%,这是由于在 2005-2017 年建筑业实现了大规模的扩张和资本积累,直接和中间生产技术水平均有所提升,加之新型节能环保材料在该产业部门的大规模应用,导致其隐含能源消耗有所降低。

表 5 2005-2017 年中国 28 个产业部门的全要素隐含能源效率

产业部门	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年	均值
1	2.2273	2.2330	1.8048	1.6686	1.8325	1.6316	1.8996
2	0.1067	0.1170	0.1742	0.1988	0.2250	0.4868	0.2181
3	0.3622	0.3554	0.2972	0.3775	0.2365	0.6032	0.3720
4	0.1776	0.2362	0.3009	0.2795	0.2481	0.4520	0.2824
5	0.2236	0.3664	0.3020	0.3595	0.3233	0.5030	0.3463
6	0.3039	0.3087	0.2830	0.3439	0.3728	0.4115	0.3373
7	0.1414	0.1727	0.2099	0.2004	0.2138	0.2720	0.2017
8	0.1713	0.1561	0.1421	0.3398	0.7349	0.1105	0.2758
9	0.1871	0.2291	0.1773	0.2001	0.1831	0.1707	0.1912
10	0.1766	0.1762	0.1550	0.1842	0.2426	0.2690	0.2006
11	0.3006	0.3343	0.3967	0.4227	0.5081	0.4384	0.4001
12	0.2295	0.2479	0.2314	0.2252	0.2486	0.2550	0.2396
13	0.1787	0.1998	0.1830	0.1876	0.1738	0.3553	0.2130
14	0.1897	0.2690	0.2284	0.2557	0.2352	0.4001	0.2630
15	0.2010	0.2100	0.1638	0.1651	0.1681	0.2050	0.1855
16	0.1787	0.1889	0.1852	0.1735	0.1660	0.1749	0.1779
17	0.1527	0.1889	0.1933	0.2165	0.3646	0.3169	0.2388
18	0.2017	0.1824	0.1560	0.1400	0.1748	0.1526	0.1679

续表 5

产业部门	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年	均值
19	0.2114	0.2229	0.1899	0.2042	0.2631	0.2103	0.2170
20	0.1567	0.1450	0.1354	0.1015	0.1441	0.1141	0.1328
21	2.1374	1.7198	1.2459	0.6214	0.2788	1.3453	1.2248
22	0.1895	0.2008	0.1685	0.1646	0.1352	0.1572	0.1693
23	0.0773	0.0704	0.0878	0.0946	0.1126	0.1453	0.0980
24	0.0642	0.0620	0.0557	0.0518	0.0466	0.0549	0.0559
25	0.3280	0.3805	0.6989	1.2220	1.4800	1.8945	1.0007
26	0.2050	0.2150	0.1818	0.1615	0.1690	0.2459	0.1964
27	0.5484	0.5088	0.7810	1.1380	1.1825	1.3569	0.9193
28	1.1838	1.2565	1.3706	1.3454	1.4266	1.5161	1.3498
均值	0.3861	0.3912	0.3750	0.3944	0.4247	0.5089	0.4134

注:1~28 指的是 28 个产业部门,具体分类见表 1。

具体来看,建筑业和批发零售及餐饮业的全要素隐含能源效率增加到了 1 以上,分别由 2005 年的 0.3280 和 0.5484 增加到 2017 年的 1.8945 和 1.3569。此外,农业(2.2273、2.2330、1.8048、1.6686、1.8325 和 1.6316)和其他服务业(1.1838、1.2565、1.3706、1.3454、1.4266 和 1.5161)的全要素隐含能源效率在每年均大于 1,表明这些产业部门的全要素隐含能源效率一直保持了较高水平,同时这些产业部门属于第一产业和第三产业,由于其产业发展特点,对直接能源消耗和间接能源消耗的依赖度都较低。从中国产业部门全要素隐含能源效率的均值来看,全要素隐含能源效率均值由 2005 年的 0.3861 增加到 2017 年的 0.5089,其整体均值为 0.4134,但在不同的产业部门之间存在较大差异,有 5 个产业部门的全要素隐含能源效率均值大于整体均值,同时有 23 个产业部门的全要素隐含能源效率均值小于整体均值,表明大部分产业部门的全要素隐含能源效率有待提升,具有较强的节能潜力。

此外,通过综合对比中国产业部门全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率均值发现,全要素隐含能源效率均值明显低于全要素直接能源效率均值,表明各产业部门的间接能源消耗量在不断扩大,全要素间接能源效率小于全要素直接能源效率。因此,中国在实施节能政策时,应更多地关注包含中间生产加工、消费、流通等环节的能源消耗因素,提升间接能源消耗条件下的节能环保水平。

进一步分析中国 28 个产业部门在隐含能源消耗条件下的节能潜力(见表 6)。在 2005-2017 年隐含能源消耗条件下的节能潜力在 50% 以上的产业部门分别有 23 个、22 个、21 个、22 个、23 个和 20 个,表明绝大多数的产业部门在隐含能源消耗条件下具有较强的节能潜力。整体来看,中国产业部门隐含能源消耗在每年的平均节能潜力分别为 70.36%、70.86%、63.89%、69.67%、72.75% 和 61.68%,整体上节能潜力下降 8.68%。从节能潜力的增长率来看,有 8 个产业部门的节能潜力有所增加,其中批发零售及餐饮业的增长率最高,达到 59.48%,同时有 20 个产业部门的节能潜力有所下降,其中金属矿采选业的增长率最小,为 -63.44%。

3. 综合对比分析

从中国 28 个产业部门的全要素直接能源效率变化率和全要素隐含能源效率变化率方面分析(见 52 页图 2)。在 2005-2017 年有 9 个产业部门的全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率变动趋势不一致,其中有 5 个产业部门的全要素直接能源效率变化率为负值,有 4 个产业部门的全要素隐含能源效率变化率为负值。此外,其余 19 个产业部门的全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率呈现相同的变化趋势。全要素直接能源效率增加率最大的产业部门是煤炭开采和洗选业,增加 208.65%,而农业的全要素直接能源效率下降率最大,下降 45.67%。全要素隐含能源效率增加率最大的产业部门是建筑业,增加 477.52%,

表 6 基于隐含能源消耗的中国 28 个产业部门的节能潜力 (单位: %)

产业部门	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年
1	13.41	34.27	0.00	0.00	0.00	0.00
2	69.89	66.50	63.66	75.77	92.63	94.67
3	84.47	87.86	84.83	85.67	90.37	62.63
4	95.29	95.23	94.97	92.14	93.58	31.85
5	97.03	76.94	97.51	96.71	96.67	64.22
6	47.26	43.95	29.88	1.09	24.79	30.92
7	58.90	64.09	66.97	71.87	80.83	79.15
8	47.73	49.88	64.83	89.04	66.81	89.17
9	91.19	89.81	90.37	86.93	77.63	77.38
10	82.21	81.40	78.84	77.09	89.19	88.34
11	97.56	97.17	97.07	96.58	97.89	67.97
12	80.03	79.63	73.96	69.45	74.12	75.32
13	85.85	85.59	85.10	81.26	76.02	76.67
14	89.24	88.07	85.62	83.22	92.43	93.10
15	93.01	92.30	91.12	87.71	85.81	84.45
16	68.15	65.18	59.50	53.82	44.40	40.29
17	75.23	71.84	59.56	66.77	83.07	75.43
18	84.48	84.03	77.78	73.30	80.09	74.91
19	57.04	43.75	36.33	49.43	64.20	55.50
20	91.94	89.34	89.38	90.97	93.71	88.62
21	0.00	0.00	0.00	94.28	97.02	0.00
22	92.78	94.48	93.41	92.53	88.98	89.23
23	98.17	97.06	96.11	94.57	93.71	89.69
24	94.90	95.42	94.93	92.98	91.17	89.19
25	62.72	76.11	11.52	0.00	0.00	0.00
26	56.46	57.20	54.44	37.98	12.39	20.27
27	0.00	0.00	0.00	41.41	54.76	59.48
28	55.13	76.95	11.19	68.35	94.81	28.48

注: 1~28 指的是 28 个产业部门, 具体分类见表 1。

而其他制造业的全要素隐含能源效率下降率最大, 下降 37.06%, 表明建筑业和其他制造业的间接能源消耗因素大于直接能源消耗, 从间接能源消耗角度促进上述产业部门的节能发展更为有效。整体来看, 在 2005 - 2017 年中国产业部门的

全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率总体呈增加趋势, 其中全要素直接能源效率平均增长 21.25%, 全要素隐含能源效率平均增长 62.21%, 包含了间接能源消耗因素的全要素隐含能源效率提升更为显著。

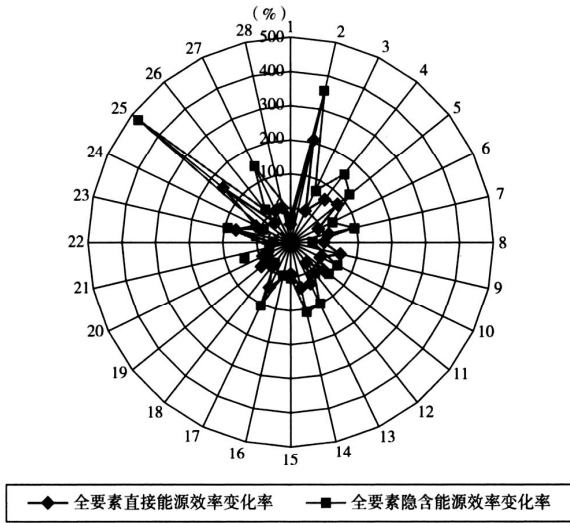


图2 中国28个产业部门的全要素直接能源效率变化率和全要素隐含能源效率变化率

注:1~28指的是28个产业部门,具体分类见表1。

进一步分析中国28个产业部门的平均全要素

直接能源效率和平均全要素隐含能源效率(见图3和图4)。整体来看,在2005-2017年有13个产业部门的平均全要素直接能源效率小于平均全要素隐含能源效率,其中农业的差值最大,达到0.76;同时,有15个产业部门的平均全要素隐含能源效率小于平均全要素直接能源效率,其中通信设备、计算机及其他电子设备制造业的差值最大,达到0.89。此外,农业、其他制造业和其他服务业的平均全要素直接能源效率和平均全要素隐含能源效率均位居前三位,表明这3个产业部门无论从直接生产角度还是从全生命周期来看,其能源利用效率表现都较为出色。具体来看,在产业部门的平均全要素直接能源效率中,有9个产业部门大于0.5,同时有9个产业部门小于0.3;在产业部门的平均全要素隐含能源效率中,仅有5个产业部门大于0.5,而有19个产业部门小于0.3,表明平均全要素隐含能源效率有待进一步提升,在制定节能环保政策时应注重间接能源消耗问题。

从中国28个产业部门在直接能源消耗和隐含能源消耗条件下的平均节能潜力方面分析(见下页图5)。在2005-2017年,有11个产业部门在直接能源消耗条件下的平均节能潜力大于50%,其中石油加工、炼焦及核燃料加工业的平均节能潜力排在第一位,达到99.31%。同时,有22个产业部门在隐含能源消耗条件下的平均节能潜力大于50%,其中燃气生产和供应业的平均节能潜力排在第一位,

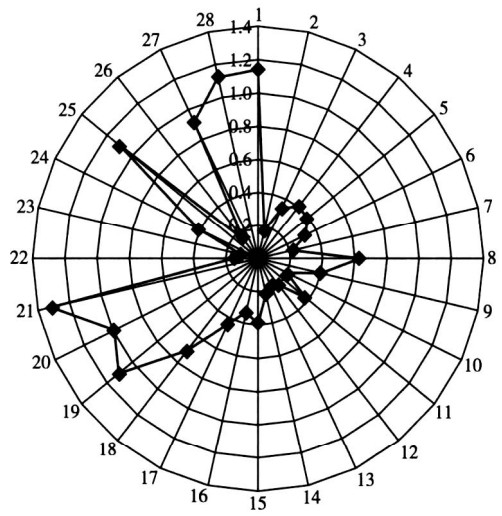


图3 中国28个产业部门的平均全要素直接能源效率
注:1~28指的是28个产业部门,具体分类见表1。

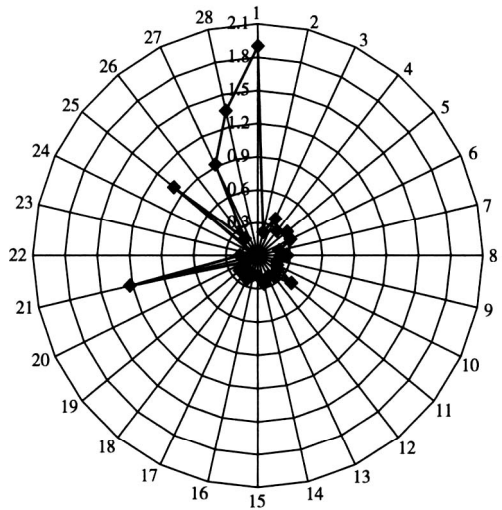


图4 中国28个产业部门的平均全要素隐含能源效率
注:1~28指的是28个产业部门,具体分类见表1。

达到94.88%。综合对比发现,中国产业部门在直接能源消耗条件下的平均节能潜力为39.72%,而在隐含能源消耗条件下的平均节能潜力为68.20%。隐含能源消耗条件下的平均节能潜力更大,表明产业部门的间接能源消耗因素具有较强的节能潜力。同时,有8个产业部门在直接能源消耗条件下的节能潜力更大,其中交通运输、仓储及邮政业最为显著,该部门在直接能源消耗条件下的节能潜力与隐含能源消耗条件下的节能潜力差值达到33.67%。有20个产业部门在隐含能源消耗条件下的节能潜力更大,其中水的生产和供应业最为显著,该部门在隐含能源消耗条件下的节能潜力与直接能源消耗条件下的节能潜力差值达到93.10%。

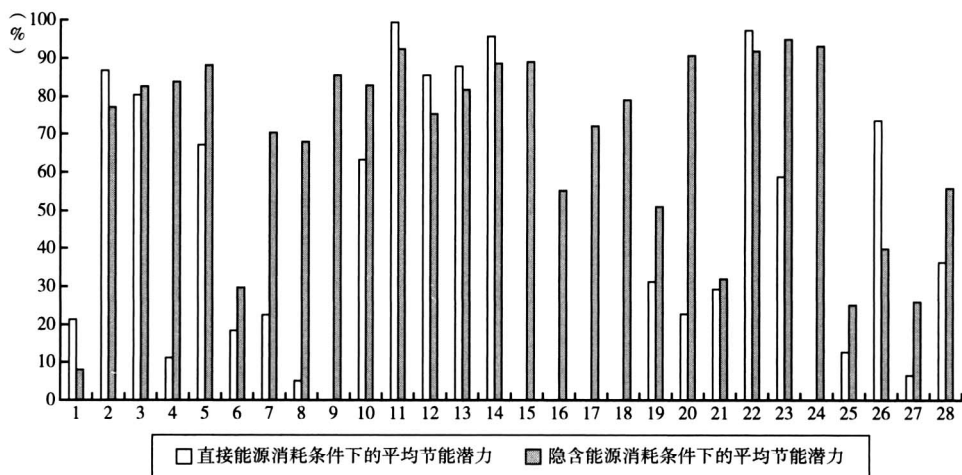


图5 中国28个产业部门在直接能源消耗和隐含能源消耗条件下的平均节能潜力对比

注:1~28指的是28个产业部门,具体分类见表1。

四、结论与政策含义

1. 主要结论

通过区分中国各产业部门的直接能源消耗量和隐含能源消耗量,在全要素能源效率框架下融入直接能源消耗和隐含能源消耗因素,研究了中国28个产业部门的全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率,并进一步分析两者的节能潜力。研究结论表明,第一,在2005-2017年中国整体的直接能源消耗量和隐含能源消耗量均有所增加,但隐含能源消耗量远大于直接能源消耗量;其中有20个产业部门的直接能源消耗量和27个产业部门的隐含能源消耗量呈增加趋势,但直接能源消耗量和隐含能源消耗量在总量、增速和变化率等方面存在较大差异。第二,中国整体的全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率均有所提升,其中全要素直接能源效率平均增长了21.25%,全要素隐含能源效率平均增长了62.21%。第三,中国28个产业部门的全要素直接能源效率和全要素隐含能源效率存在较大的差异化,全要素隐含能源效率均值明显低于全要素直接能源效率均值。第四,中国产业部门隐含能源消耗的节能潜力大于直接能源消耗的节能潜力,但两者均有所下降,其中隐含能源消耗的节能潜力下降了8.68%,直接能源消耗的节能潜力下降了0.63%。

2. 政策含义

基于实证结果和中国能源消耗现状,我们提出如下对策建议。第一,相关职能部门在实施节能环保政策时,应注重产品的再加工和流通等环节的间接能源消耗因素,实证分析表明中国的间接能源消

耗量远大于直接能源消耗量,并且全要素隐含能源效率均值较低,因此,应更多关注间接能源消耗问题。第二,在经济高质量发展背景下应逐步淘汰落后产能,落后产能不仅会造成不必要的能源浪费,而且会加剧环境污染,淘汰落后产能不仅符合党的十八大以来对能源消费总量的严格控制目标,也契合中国供给侧结构性改革的需求,从消费端降低对煤炭等传统化石能源的依赖度。第三,扩大新能源使用范畴,适度开发利用诸如太阳能、风能、潮汐能等在内的新能源,从生产端提升新能源供给,在一定程度上替代诸如煤炭、焦炭和石油等传统化石能源,提高清洁能源的利用率。第四,提高能源使用的技术水平,实证分析显示基于直接能源消耗和隐含能源消耗的节能潜力均有所下降,因此应着重提高能源使用的技术条件。生产技术的提高不仅可以提升能源利用效率,同时可以降低污染排放和全流程能源消耗,尤其在经济全球化背景下,技术进步促进产业部门节能发展的边际效应在不断提高,因此,应从技术端提升能源的利用效率。第五,针对不同产业部门的特征和其能源消耗行为制定动态监管体系,综合评估各产业部门的产值和隐含能源消耗量等因素制订翔实的奖惩方案,从管理层面制约对传统化石能源的高度依赖。

注释:

①我们选取了能源消耗较大的煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气8种化石燃料,用来计算产业部门的直接能源消耗量。

参考文献:

- [1] Çay A. ,2018, Energy Consumption and Energy Saving Potential in Clothing Industry[J], Energy, 159, 74 ~ 85.
- [2] Fotis P. , Karkalakos S. , Asteriou D. , 2017, The Relationship between Energy Demand and Real GDP Growth Rate: The Role of Price Asymmetries and Spatial Externalities within 34 Countries across the Globe[J], Energy Economics, 66, 69 ~ 84.
- [3] Honma S. , Hu J. L. , 2008, Total - factor Energy Efficiency of Regions in Japan [J], Energy Policy, 36 (2) , 821 ~ 833.
- [4] Hu J. L. , Wang S. C. , 2006, Total - factor Energy Efficiency of Regions in China [J], Energy Policy, 34 (17) , 3206 ~ 3217.
- [5] Jiang L. , He S. , Tian X. , Zhang B. , Zhou H. , 2020, Energy Use Embodied in International Trade of 39 Countries: Spatial Transfer Patterns and Driving Factors[J], Energy, 195.
- [6] Lau L. J. , Chen X. , Cheng L. K. , Fung K. C. , Sung Y. , Yang C. , Zhu K. F. , Pei J. , Tang Z. , 2007, Non - Competitive Input - Output Model and Its Application: An Examination of the China - US Trade Surplus[J], Social Sciences in China, 5, 91 ~ 103.
- [7] Li H. , Shi J. F. , 2014, Energy Efficiency Analysis on Chinese Industrial Sectors: An Improved Super - SBM Model with Undesirable Outputs [J], Journal of Cleaner Production, 65, 97 ~ 107.
- [8] Mi Z. , Meng J. , Guan D. , Shan Y. , Song M. , Wei Y. M. , Liu Z. , Hubacek K. , 2017, Chinese CO₂ Emission Flows Have Reversed Since the Global Financial Crisis [J], Nature Communications, 8(1), 1712.
- [9] Moreau V. , Vuille F. , 2018, Decoupling Energy Use and Economic Growth: Counter Evidence from Structural Effects and Embodied Energy in Trade [J], Applied Energy, 215, 54 ~ 62.
- [10] Sadorsky P. , 2009, Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies [J], Energy Policy, 37 (10) , 4021 ~ 4028.
- [11] Su B. , Ang B. W. , 2017, Multiplicative Structural Decomposition Analysis of Aggregate Embodied Energy and Emission Intensities [J], Energy Economics, 65, 137 ~ 147.
- [12] Su B. , Ang B. W. , Li Y. , 2017, Input - Output and Structural Decomposition Analysis of Singapore's Carbon Emissions [J], Energy Policy, 105, 484 ~ 492.
- [13] Su B. , Ang B. W. , Li Y. , 2019, Structural Path and Decomposition Analysis of Aggregate Embodied Energy and Emission Intensities [J], Energy Economics, 83, 345 ~ 360.
- [14] Tone K. A. , 2001, Slacks - Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis [J], European Journal of Operational Research, 130 (3) , 498 ~ 509.
- [15] Tone K. A. , 2002, Slacks - Based Measure of Super - Efficiency in Data Envelopment Analysis [J], European Journal of Operational Research, 143 (1) , 32 ~ 41.
- [16] Tran T. H. , Mao Y. , Nathanail P. , Siebers P. , Robinson D. , 2019, Integrating Slacks - Based Measure of Efficiency and Super - Efficiency in Data Envelopment Analysis [J], Omega, 85, 156 ~ 165.
- [17] Wang Q. , Jiang X. , Yang X. , Ge S. , 2019, Comparative Analysis of Drivers of Energy Consumption in China, the USA and India - A Perspective from Stratified Heterogeneity [J], Science of the Total Environment, 698.
- [18] Wang Q. , Li R. , 2016, Drivers for Energy Consumption: A Comparative Analysis of China and India [J], Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 954 ~ 962.
- [19] Wu J. , Xiong B. , An Q. , Sun J. , Wu H. , 2017, Total - Factor Energy Efficiency Evaluation of Chinese Industry by Using Two - Stage DEA Model with Shared Inputs [J], Annals of Operations Research, 255 (1) , 257 ~ 276.
- [20] Yang S. , Shi L. , 2017, Prediction of Long - Term Energy Consumption Trends under the New National Urbanization Plan in China [J], Journal of Cleaner Production, 166, 1144 ~ 1153.
- [21] Zhang B. , Bi J. , Fan Z. , Yuan Z. , Ge J. , 2008, Eco - Efficiency Analysis of Industrial System in China: A Data Envelopment Analysis Approach [J], Ecological Economics, 68 (1 - 2) , 306 ~ 316.
- [22] Zhao X. L. , Yang R. , Ma Q. , 2014, China's Total Factor Energy Efficiency of Provincial Industrial Sectors [J], Energy, 65, 52 ~ 61.
- [23] 陈红敏:《中国出口贸易中隐含能变化的影响因素——基于结构分解分析的研究》[J],《财贸研究》2009年第3期。
- [24] 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年第4期。
- [25] 陈诗一:《中国工业分行业统计数据估算:1980 - 2008》[J],《经济学(季刊)》2011年第3期。
- [26] 黎峰:《增加值视角下的中国国家价值链分工——基于改进的区域投入产出模型》[J],《中国工业经济》2016年第3期。
- [27] 李兰冰:《中国能源绩效的动态演化、地区差距与成因识别——基于一种新型全要素能源生产率变动指标》[J],《管理世界》2015年第11期。
- [28] 李双杰、李春琦:《全要素能源效率测度方法的修正设计与应用》[J],《数量经济技术经济研究》2018年第

9 期.

[29] 潘安:《全球价值链视角下的中美贸易隐含碳研究》[J],《统计研究》2018 年第 1 期.

[30] 庞军、石媛昌、闫玉楠、黄少艺:《我国出口贸易隐含能及其影响因素的分解分析》[J],《经济问题探索》2012 年第 3 期.

[31] 彭水军、刘安平:《中国对外贸易的环境影响效应:基于环境投入—产出模型的经验研究》[J],《世界经济》2010 年第 5 期.

[32] 齐晔、李惠民、徐明:《中国进出口贸易中的隐含能估算》[J],《中国人口·资源与环境》2008 年第 3 期.

[33] 钱争鸣、刘晓晨:《我国绿色经济效率的区域差异及收敛性研究》[J],《厦门大学学报(哲学社会科学版)》2014 年第 1 期.

[34] 邵帅、张可、豆建民:《经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验》[J],《管理世界》2019 年第 1 期.

[35] 史丹:《中国能源效率的地区差异与节能潜力分析》[J],《中国工业经济》2006 年第 10 期.

[36] 史丹、马翠萍:《我国能源需求的驱动因素与节能减排政策效果分析》[J],《当代财经》2014 年第 10 期.

[37] 孙传旺、林伯强:《中国工业能源要素配置效率与节能潜力研究》[J],《数量经济技术经济研究》2014 年第

5 期.

[38] 王兆峰、杜瑶瑶:《基于 SBM - DEA 模型湖南省碳排放效率时空差异及影响因素分析》[J],《地理科学》2019 年第 5 期.

[39] 吴安波:《中国制造业区域专业化程度的测度、特征及变动趋势》[J],《数量经济技术经济研究》2009 年第 5 期.

[40] 徐丽萍、王立、李金林:《基于隐含能的行业完全能源效率评价模型研究》[J],《中国环境科学》2012 年第 1 期.

[41] 岳立、杨帆:《新常态下中国能源供给侧改革的路径探析——基于产能、结构和消费模式的视角》[J],《经济问题》2016 年第 10 期.

[42] 章辉、蒋瑛:《基于方法改进后的中国对外贸易隐含能测算》[J],《中国人口·资源与环境》2016 年第 10 期.

[43] 张宁、张维洁:《中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗?》[J],《经济研究》2019 年第 1 期.

[44] 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 年第 10 期.

[45] 张友国:《中国贸易增长的能源环境代价》[J],《数量经济技术经济研究》2009 年第 1 期.

Measurement of Total - factor Embodied Energy Efficiency of China's Industry Sectors

Gao Peng Yue Shujing

Abstract: Research Objectives: To measure the total - factor energy efficiency and energy - saving potential of direct energy input and embodied energy input, and make a comparative analysis. Research Methods: By constructing a non - competitive input - output model and a super - efficient SBM model, dynamically analyze the total - factor direct energy efficiency and total - factor embodied energy efficiency, and the energy - saving potential of China's industries. Research Findings: The direct energy consumption and embodied energy consumption of China's industries have increased significantly; the total - factor embodied energy efficiency has increased obviously; the total - factor direct energy efficiency of the industry sectors has changed slowly and its average value is high; the energy - saving potential is high under the condition of embodied energy input. Research Innovations: Integrates input - output analysis and data envelopment analysis to expand the application scope of the two methods; based on the direct energy consumption and embodied energy consumption perspective; constructs the total - factor direct energy efficiency and the total - factor embodied energy efficiency indicators. Research Value: To promote energy - saving development in the industry sectors, and provide policy reference for improving energy efficiency.

Key words: input - output model; super efficiency; Slack - based Measure Model; energy efficiency; industry sectors