

中国工业行业视角下的石化业全要素生产率 Malmquist 指数研究

何 刚¹ Dongphil Chun¹ 刘海峰² 张学鹏³ 起发金³ 尹 旭³ 白冬冬³ 陈彬源⁴

1. 韩国国立釜庆大学技术经营专门大学院, 韩国 釜山 48547;
2. 中国石油西南油气田公司规划计划处, 四川 成都 610051;
3. 国家管网集团西南管道昆明输油气分公司, 云南 昆明 650500;
4. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘 要:根据中国工业 35 个子行业在 1998—2019 年的行业数据,基于数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)的效率评价方法,考虑能源与碳排放因素的影响,运用全要素生产率 Malmquist 指数模型,对石化业全要素生产率进行分析。站在中国工业行业视角,考察了劳动力数量、资本存量、CO₂ 排放空间投入水平、能源消费量、产出水平等因素对石化业全要素生产率的影响。通过对石化业全要素生产率的测算分解,从时间跨度、行业角度和全要素生产率构成等进行了分析,发现石化业处于中国工业行业生产率的前沿,对中国工业行业的生产率提升做出了贡献,但年均增长只有 0.8%,说明提升空间很大。而石化业全要素生产率的提升得益于技术进步和纯技术效率的增长。处于效率前沿的石化业子行业是石油加工、炼焦及核燃料加工业,以及石油和天然气开采业。化学纤维制造业、化学原料及化学制品制造业以及橡胶制品和塑料制品业处于无效状态。根据分析结果提出了积极发展现代煤化工技术、新能源及先进能源新技术、石油炼制新技术、化工新材料新技术、节能环保新技术、高端装备与过程智能化新技术等六大核心技术,加大技术创新、数字化结构转型和产业升级,加强管理,大力提高资源的利用率,降低碳排放和能源消耗水平,积极推进节能减排,构建循环经济产业生态链等建议。

关键词:石化业;全要素生产率;中国工业行业

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2022.04.019

Study on total factor productivity Malmquist index of petrochemical industry from the perspective of China's industrial sector

HE Gang¹, Dongphil CHUN¹, LIU Haifeng², ZHANG Xuepeng³, QI Fajin³, YIN Xu³, BAI Dongdong³, CHEN Binyuan⁴

1. Graduate School of Management of Technology Pukyong National University, Busan, 48547, Korea;
2. Planning Department of PetroChina Southwest Oil & gas field company, Chengdu, Sichuan, 610051, China;
3. Kunming Oil and Gas Transmission Branch of Southwest Pipeline of State Pipeline Group, Kunming, Yunnan, 650500, China;

收稿日期:2022-04-30

基金项目:中国石油西南油气田公司科研项目“基于‘网销分离’的终端市场竞争环境与发展策略研究”(20210310-04)

作者简介:何 刚(1976-),男,四川西充人,高级工程师,博士研究生,主要从事腐蚀与防护、创新创业管理及效率方向的研究。E-mail:hgyly_1210721@189.cn

通信作者:Dongphil Chun(1985-),男,韩国首尔人,副教授,博士生导师,主要从事研发和管理绩效以及创新的经济影响分析等研究工作。E-mail:perfor@pknu.ac.kr

4. CPECC Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: Based on the industry data of 35 sub-sectors in the China's industrial sector between 1998 and 2019, the total factor productivity of the petrochemical industry is analyzed based on the efficiency evaluation method of data envelopment analysis (DEA), using the total factor productivity Malmquist index, taking into account energy and carbon emission factors. From the perspective of the China's industrial sector, the influence of the labor force, capital stock, the spatial input level of CO₂ emission, energy consumption, and output level of the industry department on the total factor of energy efficiency is examined. Through the component breakdown of total factor productivity of the petrochemical industry, the analysis was conducted from the time span, industry perspective, components that contributed to total factor productivity etc. It is found that the petrochemical industry is at the productivity frontier of the industry sector category in China and contributes to the productivity improvement of China's industrial sector. However, the average annual growth is only 0.8%, indicating that there is a lot of room for improvement. The improvement in the total factor productivity of the petrochemical industry benefits from technological progress and progress in pure technical efficiency. The petrochemical industry sub-sectors that are at the frontier of efficiency are petroleum processing, coking and nuclear fuel processing, and oil and gas production, in that sequence. Chemical fiber manufacturing, chemical raw materials and chemical products manufacturing, and rubber products and plastic products industries are in an ineffective state. According to the analysis results, six-core technologies are proposed to actively develop modern chemical technology for processing of coal, new and advanced energy technology, new petroleum refining technology, technology for new chemical material, new energy-saving and environmental protection technology, high-end equipment and new intelligent processing technology; to increase technological innovation, digital structure transformation and industrial upgrading, strengthen management, vigorously improve the utilization rate of resources, reduce carbon emissions and energy consumption level, actively promote energy conservation and emission reduction, build a circular economy industrial ecological chain and other recommendations.

Keywords: Petrochemical industry; Total factor productivity; China's industrial sector

0 前言

石化业主要是以天然气和石油为原料,进行生产加工石油及石油化工产品的工业。石化业按照传统定义划分,包括石油和天然气开采业,化学纤维制造业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学原料及化学制品制造业,橡胶制品和塑料制品业。中国石化业有完整的产业体系,发展上采用的高能耗、高投入、高污染、低产出的粗放型增长模式,尽管近年来随着科技进步和新能源的开发,石化业的能源利用率有所提高,但其能源消费量仍在整个工业中占比较高^[1]。2016年,石化业能源消费量达78 500万吨标准煤,占中国工业行业能源消费量的26.86%,同时石化业也是碳排放的重要行业,在温室气体排放统计中,2016年石化业碳排放CO₂当量约占全国碳排放量的3%^[2-3]。为了判断石化业全要素生产率在中国工业行业中所处位置以及石化业各子行业之间的差异,考虑能源和碳排放因素的影响,基于数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)的效率评价方法,引

入全要素生产率 Malmquist 指数,对石化业进行全要素生产率测算分析。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

DEA 是目前应用最广泛的效率评价方法,可以测量每个决策单元对于生产前沿的效率,与传统效率方法评价相比不用事先设定生产函数,避免设定评价指标的主观权重。投入导向的 DEA 模型是在决策单元(Decision Making Unit, DMU)产出一定的情况下最小化投入。DEA 中引入全要素生产率 Malmquist 指数形成 DEA-Malmquist 模型,通过时间序列来观测初期到期末的效率动态变化,可以衡量不同时期内生产率动态变化的特征和趋势。全要素生产率 Malmquist 指数表示的是 DMU 工业总产值与其他投入要素之比,全要素生产率受技术效率和技术进步两个维度的共同影响^[4],假设规模效率可变,技术效率可分解为两类,分别是规模效率和纯技术效率^[5]。当全要素生产率 Malmquist 指数的某一效率值大

于 1, 表示其对生产率有正向促进作用, 投入产出效率整体水平较高, 处于效率前沿; 反之, 小于 1 则表明该指数对生产率的增长有反向抑制作用^[6-7]。本文用 DEA-Malmquist 指数来动态评价生产率, 以了解 1998—2019 年中国工业行业和石化业全要素生产率的变化趋势, 计算公式见式(1)。

$$M_{i,t+1}(x_i^t, y_i^t, x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) = \left[\frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^t(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)}{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中: x_i^t, x_i^{t+1} 分别为第 i 个行业在 t 和 $t+1$ 时期的投入向量; y_i^t, y_i^{t+1} 分别为第 i 个行业在 t 和 $t+1$ 时期的产出向量, D_i^t, D_i^{t+1} 分别为以 t 和 $t+1$ 时期的技术水平为参照时生产点的距离函数; $M_{i,t+1}$ 为相对于上一期的全要素生产率的变化程度, 若在规模报酬可变的情况下, 全要素生产率可分解为技术效率和技术进步, 技术效率也可分解为两类, 分别是纯技术效率和规模效率^[8-9], 式(1)变化为式(2)。

$$M_{v,c}^{t,t+1} = \frac{D_v^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_v^t(x_i^t, y_i^t)} \times \left[\frac{D_c^t(x_i^t, y_i^t)}{D_c^t(x_i^t, y_i^t)} \div \frac{D_c^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_c^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \right] \times \left[\frac{D_c^t(x_i^t, y_i^t)}{D_c^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_c^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_c^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \right] \quad (2)$$

式中: $D_c^t, D_v^t, D_c^{t+1}, D_v^{t+1}$ 分别为规模报酬不变的情况和规模报酬可变的情况; $M_{v,c}^{t,t+1}$ 为相对于上一期全要素生产率的变化程度, 当 $M_{v,c}^{t,t+1} < 1$ 时, 全要素生产率较上一时期的效率呈下降状态, 反之呈上升状态, 当 $M_{v,c}^{t,t+1} = 1$ 时, 则说明相比上一期全要素生产率变化程度保持不变。

1.2 变量与数据说明

1.2.1 中国工业行业分类

根据 GB/T 4754—2017《国民经济行业分类》对两位数行业的分类标准, 鉴于数据易得和准确性等需要, 本文剔除了其他采矿业、工艺品及其他制造业、废弃资源和废旧材料回收加工工业。中国工业行业分类见表 1。

1.2.2 投入产出变量的选取

根据 1998—2019 年中国工业行业两位数的 35 个子行业的数据, 从资源、经济、环境三方面选取投入产出指标。投入指标是全部从业人员年平均数、固定资产净值、能源消费总量、CO₂ 排放量, 产出指标是行业工业总产值。

1.2.3 数据来源与处理

本文数据来自《中国统计年鉴》《中国化学工业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和 CEADs 中国碳核算数据库。本文的价格均调整为 1998 年不变价, 并借鉴 Korhonen P J 和 Luptacik M 对非期望产出的处理方法, 将 CO₂ 排放作为投入变量来处理^[10]。

表 1 中国工业行业分类表

Tab. 1 China's industrial sector classification

行业编号	行业名称
B	(一)采掘业
B1	煤炭开采和洗选业
B2	石油和天然气开采业 *
B3	黑色金属矿采选业
B4	有色金属矿采选业
B5	非金属矿采选业
C	(二)制造业
C1	农副食品加工业
C2	食品制造业
C3	饮料制造业
C4	烟草制品业
C5	纺织业
C6	纺织服装鞋帽制造业
C7	皮革毛皮羽毛及其制品业
C8	木材加工及木竹藤棕草制品业
C9	家具制造业
C10	造纸及纸制品业
C11	印刷业和记录媒介的复制
C12	文教体育用品制造业
C13	石油加工、炼焦及核燃料加工业 *
C14	化学原料及化学制品制造业 *
C15	医药制造业
C16	化学纤维制造业 *
C17	橡胶制品和塑料制品业 *
C18	非金属矿物制品业
C19	黑色金属冶炼及压延加工业
C20	有色金属冶炼及压延加工业
C21	金属制品业
C22	通用设备制造业
C23	专用设备制造业
C24	交通运输设备制造业
C25	电气机械及器材制造业
C26	通信、计算机及其他电子设备制造业
C27	仪器仪表及文化、办公用机械制造业
D	(三)电力等供应业
D1	电力、热力的生产和供应业
D2	燃气生产和供应业
D3	水的生产和供应业

注: * 为石化业各子行业。

2 实证分析

本文运用 DEAP2.1 软件对 1998—2019 年中国工业行业 35 个子行业全要素生产率 Malmquist 指数进行测算。

2.1 中国工业行业全要素生产率变化趋势

考虑能源和碳排放因素, 1998—2019 年中国工业行业 35 个子行业全要素生产率变化曲线见图 1, 1998—2019 年中国工业总产值、能源消费总量、碳排放量趋势见图 2。

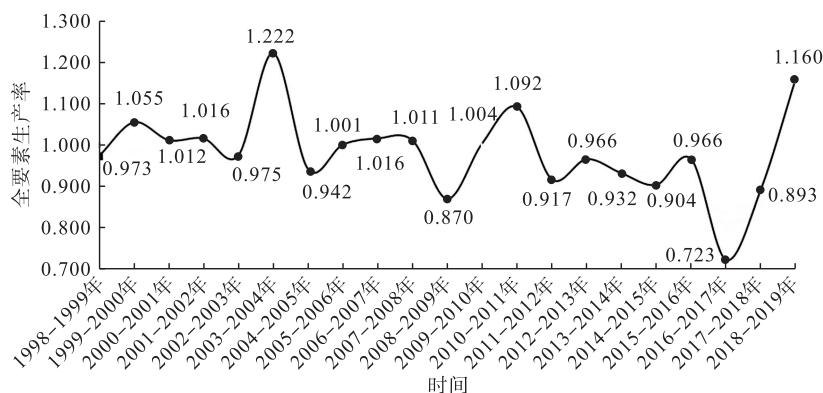


图 1 1998—2019 年中国工业行业全要素生产率变化曲线图

Fig. 1 Total factor productivity change curve for China's industrial sector, 1998—2019

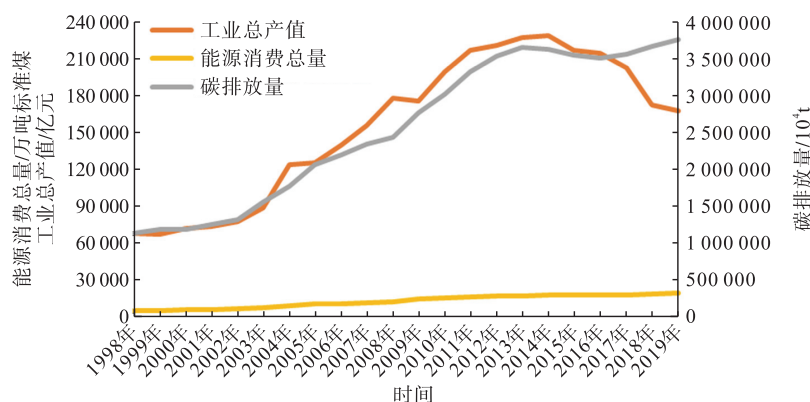


图 2 1998—2019 年中国工业总产值、能源消费总量和碳排放量趋势图

Fig. 2 Trend of total output, energy consumption and carbon emissions of China's industrial sector, 1998—2019

由图 1~2 可知,中国工业行业 35 个子行业在 1998—2019 年全要素生产率曲线呈 W 型变化,并在 0.723~1.222 之间波动,平均值为 0.978。从时间序列来看,1998—2019 年中国工业行业全要素生产率最大的是 2003—2004 年,也是上升最快的年份,其全要素生产率为 1.222,比上年增长了 22.2%,全要素生产率最小的是 2016—2017 年为 0.723,比上年下降 27.7%。1998—2019 年全要素生产率有 11 年的数据处于 1 以下,集中在 2011—2018 年。从图 2 可知,即使 2015—2019 年工业总产值出现下降,碳排放量和能源消费总量也在持续增长,这是因为中国工业制造业增加值占 GDP 比重由

2013 年的 30.67% 持续下降到 2019 年的 27.17%,中国工业增加值占 GDP 比重自 2013 年的 44.1% 下降到 2020 年的 37.82%,工业增加值逐年下滑。这与中国工业行业结构调整、转型升级以及第三产业占比提高等都有较大关系。也表明中国工业行业面临较大的碳排放和能源压力,但说明中国工业行业的全要素生产率提升潜力也较大^[11]。

2.2 中国工业行业子行业全要素生产率变化趋势

为了更好地研究中国工业行业子行业全要素生产率变化趋势,1998—2019 年中国工业行业子行业全要素生产率变化见表 2。

表 2 1998—2019 年中国工业行业子行业全要素生产率变化表

Tab. 2 Table factor productivity change of China's industrial sub-sectors, 1998—2019

行业编号	全要素生产率均值	行业编号	全要素生产率均值	行业编号	全要素生产率均值	行业编号	全要素生产率均值	行业编号	全要素生产率均值
B1	0.964	C3	0.988	C10	0.970	C17	0.945	C24	0.969
B2	1.013	C4	1.058	C11	0.961	C18	0.966	C25	0.980
B3	0.955	C5	0.947	C12	0.960	C19	1.036	C26	0.984
B4	0.932	C6	0.926	C13	1.042	C20	1.000	C27	1.001
B5	0.950	C7	0.945	C14	0.983	C21	0.945	D1	1.041
C1	0.940	C8	0.944	C15	0.950	C22	0.956	D2	1.090
C2	0.952	C9	0.976	C16	0.999	C23	0.949	D3	1.040

由表 2 可知,考虑能源和碳排放因素,中国工业行业 35 个子行业对应的全要素生产率差距较大,中国工业行业各子行业全要素生产率均值为 0.978,未达到效率前沿。平均增长最快的是燃气生产和供应业,其全要素生产率为 1.090,即 1998—2019 年平均增长 9%,最差的是纺织服装鞋帽制造业,其全要素生产率为 0.926。另外,烟草制品业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,电力、热力的生产和供应业,水的生产和供应业,黑色金属冶炼及压延加工业,石油和天然气开采业,仪器仪表及文化、办公用机械制造业,平均增长分别为 5.8%、4.2%、4.1%、4%、3.6%、1.3%、0.1%,有色金属冶炼及压延加工业的全要素生产率保持不变,其余行业均处于效率前沿以下。中国工业行业 35 个子行业平均全要素生产率低于效率前沿^[12]。

2.3 石化业与中国工业行业全要素生产率 Malmquist 指数分解及对比

为了探究石化业对中国工业行业全要素生产率的贡献程度,1998—2019 年中国工业与石化业全要素生产率年度均值对比见图 3,1998—2019 年中国工业与石化业全要素生产率 Malmquist 指数分解对比见图 4。

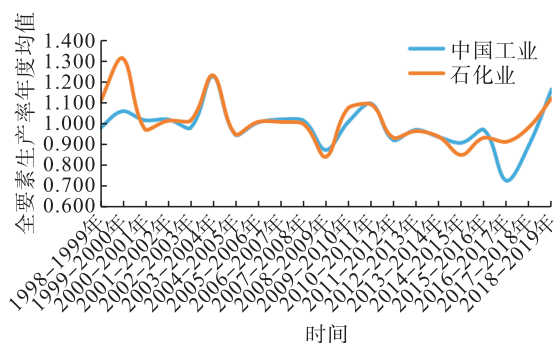


图 3 1998—2019 年中国工业与石化业全要素生产率年度均值对比图

Fig.3 Comparison of annual average values of total factor productivity for China's industrial sector and petrochemical industry, 1998—2019

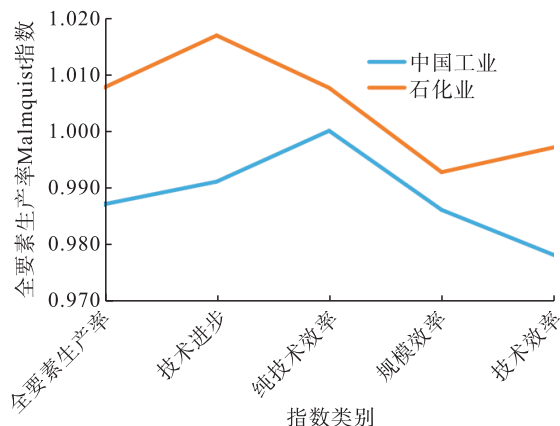


图 4 1998—2019 年中国工业与石化业全要素生产率 Malmquist 指数分解对比图

Fig.4 Comparison of total factor productivity Malmquist index component breakdown for China's industrial sector and petrochemical industry, 1998—2019

由图 3~4 可知,1998—2019 年石化业全要素生产率 Malmquist 指数均值在总体上高于中国工业行业该指数的均值。石化业处于中国工业行业全要素生产率的前沿,对中国工业的生产率做出了贡献。

2.4 按工业门类进行比较分析

根据中国工业行业分类表,对各子行业全要素生产率指数进行分门类对比,以确定石化业在中国工业行业门类中的生产率水平。1998—2019 年工业门类全要素生产率年度均值见表 3。

表 3 1998—2019 年工业门类全要素生产率年度均值表

Tab.3 Table of annual average values of total factor productivity for industry sectors, 1998—2019

时间	工业门类全要素生产率年度均值			
	采掘业	制造业	电力等供应业	石化业
1998—1999 年	0.987	0.977	0.920	1.097
1999—2000 年	1.057	1.066	1.115	1.308
2000—2001 年	0.980	1.019	1.010	0.968
2001—2002 年	0.973	1.026	1.081	1.009
2002—2003 年	1.065	0.964	1.024	1.009
2003—2004 年	1.488	1.193	1.402	1.227
2004—2005 年	0.995	0.938	1.070	0.945
2005—2006 年	0.982	1.008	1.129	1.004
2006—2007 年	1.019	1.017	1.068	1.004
2007—2008 年	1.043	1.010	1.083	0.995
2008—2009 年	0.811	0.885	0.911	0.837
2009—2010 年	1.021	1.003	1.060	1.071
2010—2011 年	1.109	1.092	1.196	1.088
2011—2012 年	0.909	0.923	0.893	0.928
2012—2013 年	0.931	0.982	1.048	0.960
2013—2014 年	0.872	0.954	1.091	0.933
2014—2015 年	0.783	0.929	0.985	0.846
2015—2016 年	0.888	0.986	1.159	0.928
2016—2017 年	0.781	0.760	1.008	0.909
2017—2018 年	0.903	0.909	1.020	0.979
2018—2019 年	1.047	1.201	1.211	1.117

由表 3 可知,从时间序列来看,1998—2019 年全要素生产效率最高的是 2003—2004 年采掘业,为 1.488,即比上年增长 48.8%;处于最低的是 2016—2017 年制造业,为 0.760,比上年降低了 24%。四大门类行业中年均增长最快的是电力等供应业,为 1.071,即 1998—2019 年年均增长 7.1%,石化业次之,年均增长 0.8%,达到了效率前沿。采掘业和制造业拉低了整个中国工业行业生产率。四个工业门类大都是能源消耗大户,具有基础设施完善、资金和人才等投入大、技术工艺持续升级的特征,但存在时间久远产能过剩,投入过高等问题^[13],导致

工业行业的整体效率低于前沿面,也说明中国工业行业有很大的提升空间^[14]。

3 石化业全要素生产率 Malmquist 指数分析

3.1 石化业全要素生产率 Malmquist 指数及分解

为进一步分析能源和碳排放对石化业全要素生产率的影响,将石化业全要素生产率 Malmquist 指数进行分解。石化业全要素生产率 Malmquist 指数分解见表 4。

表 4 1998—2019 年石化业全要素生产率 Malmquist 指数分解表

Tab. 4 Component breakdown of total factor productivity Malmquist index of petrochemical industry, 1998—2019

时间	全要素生产率 Malmquist 指数			
	全要素生产率	技术进步	纯技术效率	规模效率
1998—1999 年	1.097	0.982	1.074	1.040
1999—2000 年	1.308	1.142	1.118	1.025
2000—2001 年	0.968	1.053	0.955	0.967
2001—2002 年	1.009	1.069	0.994	0.957
2002—2003 年	1.009	0.992	1.023	1.007
2003—2004 年	1.227	1.096	1.130	1.010
2004—2005 年	0.945	0.955	1.043	0.954
2005—2006 年	1.004	1.001	1.016	0.988
2006—2007 年	1.004	1.010	0.993	1.003
2007—2008 年	0.995	1.043	1.018	0.937
2008—2009 年	0.837	0.895	0.961	1.009
2009—2010 年	1.071	1.012	1.057	1.003
2010—2011 年	1.088	1.061	1.031	1.001
2011—2012 年	0.928	0.997	0.974	0.961
2012—2013 年	0.960	1.146	0.941	0.910
2013—2014 年	0.933	0.808	1.049	1.114
2014—2015 年	0.846	0.977	0.927	0.948
2015—2016 年	0.928	0.849	0.974	1.135
2016—2017 年	0.909	1.007	0.961	0.931
2017—2018 年	0.979	1.238	0.882	0.893
2018—2019 年	1.117	1.021	1.038	1.056

由表 4 可知,时序演变状况反映了全要素生产率的波动特征,1998—2019 年石化业全要素生产率年际间变化呈 W 型波动,总体呈现上升趋势,年均上升 0.8%,石化业由于产能过剩结构性矛盾凸显,达到资源环境约束的上限,传统发展方式面临严峻挑战,导致石化业生产率上升缓慢^[15-16]。1998—2019 年出现了 3 次较大波峰,其中 1999—2000 年全要素生产率最高,达到 1.308,即比上年增长 30.8%,是上升最快的一年。2003—2004 年和 2018—2019 年全要素生产率分别比上年增长

22.7% 和 11.7%,受 2007—2009 年经济危机的影响全要素生产率出现负增长,导致 2008—2009 年全要素生产率达到最低 0.837,降低了 16.3%。随后全要素生产率有所增长,2011—2018 年出现 7 年的负增长,2019 年又开始出现正增长,这与国家对石化业出台的各项发展规划和体制改革有关。石化业正在推进技术创新水平,结构转型升级、供给侧改革、化解产能过剩矛盾等举措^[17-18]。总体上石化业仍处于中国工业行业的生产率前沿,并稳步缓慢提升。

从全要素生产率的构成来分析影响它的主要和次要因素。1998—2019 年石化业技术进步波动较大,均值为 1.017,年均增长 1.7%,增长较为缓慢,存在后劲不足问题,需要加大石化业的技术研发和创新,发挥“增长效应”,提高增长率^[18]。2017—2018 年是石化业技术进步上升最快的年份达到 1.238,比上年增长了 23.8%。另外纯技术效率年均增长率为 0.8%,而规模效率年均增长率为 -0.7%,说明石化业的生产规模存在不合理之处。技术效率为 1,没有发生变化。石化业全要素生产率的提升得益于技术进步和纯技术效率的正向促进作用,规模效率具有反向抑制作用。所以提升科技创新、产业技术升级和调整产业规模是石化业的首要任务。

3.2 石化业各子行业全要素生产率 Malmquist 指数分解

在考虑能源和碳排放约束下,1998—2019 年石化业各子行业全要素生产率 Malmquist 指数及分解见表 5。

表 5 1998—2019 年石化业各子行业全要素生产率 Malmquist 指数分解表

Tab. 5 Component breakdown of total factor productivity Malmquist index of the petrochemical industry sub-sectors, 1998—2019

石化业子行业	全要素生产率 Malmquist 指数				
	全要素生产率	技术进步	纯技术效率	规模效率	技术效率
石油和天然气开采业	1.013	1.041	0.982	0.992	0.974
石油加工、炼焦及核燃料加工业	1.042	1.035	1.007	1.000	1.007
化学原料及化学制品制造业	0.983	1.002	1.030	0.953	0.982
化学纤维制造业	0.999	1.006	0.990	1.004	0.993
橡胶制品和塑料制品业	0.945	0.971	0.988	0.985	0.973

由表 5 可知,考虑能源和碳排放因素约束后,1998—2019 年石油加工、炼焦及核燃料加工业全要素生产率为 1.042,其平均增长 4.2%,位居石化业全要素生产率增长首位;其次是平均增长 1.3% 的石油和天然气开采业;化学纤维制造业、化学原料及化学制品制造业、橡胶制品和塑料制品业处于负增长。

从技术进步来看,考虑了能源和碳排放因素约束后,1998—2019 年技术进步均值最高的子行业是石油和天然气开采业,其技术进步为 1.041,即 1998—2019 年平均技术进步增长为 4.1%,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学原料及化学制品制造业和化学纤维制造业分别为 1.035,1.002 和 1.006,最低的是橡胶制品和塑料制品业,其技术进步为 0.971,处于负增长。

从纯技术效率来看,考虑了能源和碳排放因素约束后,石化业各子行业 1998—2019 年纯技术效率均值最高的是化学原料及化学制品制造业为 1.030,其次为石油加工、炼焦及核燃料加工业为 1.007,石油和天然气开采业,化学纤维制造业,橡胶制品和塑料制品业分别 0.982,0.990,0.988,均低于效率前沿,起到反向抑制作用。

从规模效率来看,考虑了能源和碳排放因素约束后,石化业各子行业 1998—2019 年规模效率除石油加工、炼焦及核燃料加工业和化学纤维制造业大于 1 外,其余子行业生产规模都需要做相应调整。

综上,石油和天然气开采业的全要素生产率处于效率前沿,受益于技术进步的促进作用,但受制于规模效率和纯技术效率的双重负作用,说明行业的技术研发和创新,促进了技术进步的增长和生产率的提高,但需注意调整资源配置、加强行业管理、提高技术水平、调整产业结构和规模,扭转技术效率往正向增长;石油加工、炼焦及核燃料加工业处于石化业的效率前沿,但增长率不大,需不断优化。化学原料及化学制品制造业、化学纤维

制造业都受到技术效率的反向抑制作用,抵消了技术进步的正向增长,导致生产率低于技术前沿,化学原料及化学制品制造业需要进行规模调整和结构升级,化学纤维制造业则需要加大管理、资源配置和技术运用;橡胶制品和塑料制品业各指数均低于 1,应重新调整产业结构、资源配置、科技创新,并加强管理,促进全要素生产率的提高^[19-20]。

3.3 石油和天然气开采业分析

为了更深入地了解石化业投入产出的发展趋势,现以处于效率前沿的石油和天然气开采业为例,其历年投入产出走势见图 5,投入产出数据描述性分析见表 6。

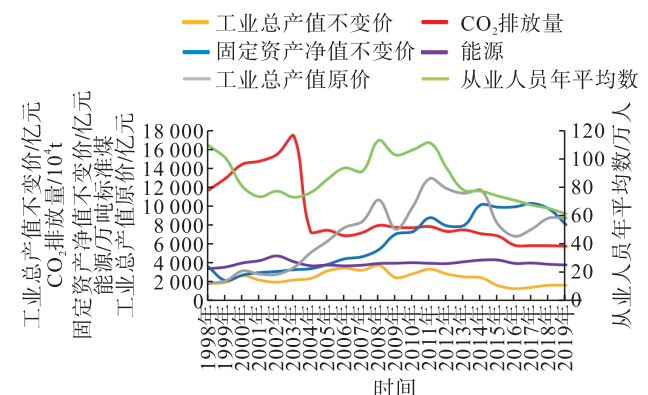


图 5 1998—2019 年石油和天然气开采业的投入产出走势图
Fig. 5 Input-output trend of the oil and gas extraction industry

表 6 1998—2019 年石油和天然气开采业的投入产出数据描述性分析表

Tab. 6 Descriptive analysis of input-output data of oil and gas production, 1998—2019

统计项目	工业总产值 不变价/亿元	CO ₂ 排放量/ 10 ⁴ t	固定资产净值 不变价/亿元	从业人员年 平均数/万人	能源/万吨 标准煤	工业总产值 原价/亿元
最小值	1 251.66	5 730.99	2 100.18	60.90	3 352.96	1 796.32
最大值	3 711.49	17 363.28	10 250.52	112.76	4 705.00	12 888.76
均值	2 365.19	8 999.14	6 169.59	85.16	3 925.69	7 222.74
标准偏差	700.89	3 588.53	2 875.29	16.03	286.05	3 429.99

由图 5、表 6 可知,随着时间推移,石油和天然气开采业的工业总产值在 2011 年达到顶峰后,出现下降随后又缓慢上升的过程,工业总产值原价曲线与工业总产值不变价曲线基本是同步波动的,说明生产装备产能水平总体稳定;CO₂ 排放量自 2003 年达到顶峰后,一直处于下降趋势,取得了较好的减排效果,但 2016 年后一直以几万到几十万吨级的极低速度减排,说明前期的举措成效遇到了瓶颈;能源消耗即使在产值不断推高的过程中都保持一个相对较小的波动范围,说明节能方面进行了不少的投入和技术改进;从业人员在 2011 年达到顶峰,随后快速下降到 2019 年的 60.90 万人,说明技术的发展

和智能化程度在不断加强,减少了用人投入;固定资产的投入具有 3 年一增高的特性。

综上所述,自 2003 年起石油和天然气开采业不管是碳减排、节能措施,还是技术创新改进上取得的效果都非常显著,但碳减排已经达到瓶颈,随着国家碳排放和能源上的强制性要求,电气化进程的加快,全球能源将出现根本性调整,预计石油和天然气在全球能源体系中的占比将由 2018 年的 85% 降到 65% 直到 20%。石油和天然气开采业应加快进入战略转型,需要进行产业转型升级、规模重构、技术创新、数字智能化等多重举措,瞄准定位,持续改进^[21-22]。

4 结论

考虑了能源和碳排放因素,采用 DEA 全要素生产率 Malmquist 指数分析方法,站在中国工业行业视角,考察了各行业自 1998—2019 年的全要素生产率。从时间跨度、行业角度和全要素生产率构成对石化业进行了分析。

根据测度发现,中国工业行业 35 个子行业中平均全要素生产率低于效率前沿,全要素生产率最高的是燃气生产和供应业,最差的是纺织服装鞋帽制造业,石化业处于全要素生产率前沿,对中国工业行业的全要素生产率提升做出贡献。中国工业行业下石化业的全要素生产率水平虽然处于效率前沿,但年均增长率只有 0.8%,说明还有很大的提升空间。石化业全要素生产率的提升得益于技术进步和纯技术效率的增长。处于效率前沿的石化业子行业依次是石油加工、炼焦及核燃料加工业以及石油和天然气开采业。化学纤维制造业、化学原料及化学制品制造业,以及橡胶制品和塑料制品业处于无效状态。石油和天然气开采业技术进步最高,年均增长 4.1%,化学原料及化学制品制造业的纯技术效率最高,年均增长 3%,化学纤维制造业的规模效率最高,年均增长 0.4%。处于石化业效率前沿的石油和天然气开采业在碳减排、节能、降本增效上措施得力,取得不菲成绩,但已步入瓶颈阶段,需尽早进入战略转型期,其他非全要素生产率效率前沿的石化业子行业面临的问题将更严峻。

石化业虽处于中国工业行业全要素生产率前沿,但是发展缓慢。根据中国在巴黎气候大会上的承诺,到 2030 年中国单位 GDP 的 CO_2 排放量比 2005 年下降 66.6%,非化石能源比例提高 20%,2030 年实现碳达峰的目标,国务院和行业学会分别下文,要求中国石化业在“十四五”期间实现从石化大国向石化强国的战略跨越,石化业将进入大转型、大重构、重大集团战略转型时期。倒逼石化业打破长期以来“大而不强”的历史格局。2020 年,全球氢需求量比 2000 年增长了 50%,达到了 $9\,000 \times 10^4 \text{ t}$ 。在碳减排和能源转型双重压力下,氢能因其清洁、高能高质,并能完美适用于旧能源基础设施将成为首选,而化石能源和炼化生产能提供氢气供给,这将促进石化业的转型。通过积极发展现代煤化工技术、新能源及先进能源新技术、石油炼制新技术、化工新材料新技术、节能环保新技术、高端装备与过程智能化新技术等六大核心技术,加大技术创新、数字智能化转型、产业结构转型升级,加强管理,提高资源的利用率,降低碳排放和能源消耗水平,构建循环经济产业生态链。积极推进组织变革,以促进全要素生产率大幅度提升,实现石化业既定战略目标,打造绿色低碳石化业。

参考文献:

- [1] 李司宇,张 琬. 关于国际石油公司能源转型和碳资产管理思考[J]. 天然气与石油, 2021, 39(5): 115-119.
LI Siyu, ZHANG Wan. Thoughts on energy transition and carbon asset management of international oil companies [J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39 (5): 115-119.
- [2] 杨丹丹,李 烈,刘有超,等. 油气企业数字化转型的现状与对策浅析[J]. 天然气与石油, 2021, 39(2): 118-123.
YANG Dandan, LI Lie, LIU Youchao, et al. Analysis on the status quo and countermeasures of oil and gas enterprises' digital transformation [J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39 (2): 118-123.
- [3] 程浩力,刘中民,蔡峰峰,等. AR 技术在油气田地面工程设计中的应用及前景[J]. 天然气与石油, 2021, 39(3): 118-124.
CHENG Haoli, LIU Zhongmin, CAI Fengfeng, et al. Application and the prospect of AR technology in surface engineering design of oil and gas fields [J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39 (3): 118-124.
- [4] 董 超,王军平,杨卓宁. 海外油气地面工程 FEED + EPC 招标模式及适用性分析[J]. 天然气与石油, 2022, 40(1): 121-124.
DONG Chao, WANG Junping, YANG Zhuoning. "FEED + EPC" tender mode for overseas oil & gas surface facility project and its applicability analysis [J]. Natural Gas and Oil, 2022, 40 (1): 121-124.
- [5] ZHANG Jinxiao, LI Hui, XIA Bo, et al. Impact of environment regulation on the efficiency of regional construction industry: V-A3-stage data envelopment analysis (DEA) [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 7 (189): 770-780.
- [6] CHANG Y T, ZHANG N. Environmental efficiency of transportation sectors in China and Korea [J]. Maritime Economics & Logistics, 2017, 19 (1): 68-93.
- [7] 刘贤明,王铁军,贾雪松,等. 油藏型储气库高效除黑油技术研究与实践[J]. 天然气与石油, 2021, 39(3): 10-17.
LIU Xianming, WANG Tiejun, JIA Xuesong, et al. Research and practice of efficient black oil removal technology in reservoir gas storage [J]. Natural Gas and Oil, 2021, 39 (3): 10-17.
- [8] 郭炳南,曹国勇. 中国各省份碳排放效率与减排潜力测度研究,基于 Undesirable-SBM 超效率模型的实证分析[J]. 生态经济, 2017, 33(8): 23-34.
GUO Bingnan, CAO Guoyong. Measurement of carbon emission efficiency and emission potential in various provinces of China, based on the empirical analysis of the V-SBM super-efficiency model [J]. Ecological Economy, 2017, 33 (8): 23-34.

- [9] 姜 晔, 田 涛. 碳排放约束下石油石化产业全要素能源效率研究[J]. 当代石油石化, 2011, 19(11): 21-28.
JIANG Ye, TIAN Tao. The total factor energy efficiency of petroleum and petrochemical industry under carbon emission constraint [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2011, 19 (11): 21-28.
- [10] KORHONEN P J, LUPTACIK M. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 154 (2): 437-446.
- [11] 黄万书, 刘 通, 袁 剑, 等. 智能决策系统与排液采气技术一体化研究[J]. 天然气与石油, 2020, 38(5): 43-48.
HUANG Wanshu, LIU Tong, YUAN Jian, et al. Study on integrated technology for intelligent decision-making system and drainage & gas recovery [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38 (5): 43-48.
- [12] 楚彦方, 刘秀敏. 高钢级管线钢在输气管道中的应用[J]. 石油规划设计, 2005, 16(4): 13-16.
CHU Yanfang, LIU Xiumin. Application of high-grade pipeline steel in gas transmission pipeline [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2005, 16 (4): 13-16.
- [13] 林名楨, 代晓东, 李洪言, 等. “双碳”背景下石油化工城市的发展路径——以山东省东营市为例[J]. 天然气与石油, 2022, 40(1): 115-120.
LIN Mingzhen, DAI Xiaodong, LI Hongyan, et al. The development path of petrochemical cities under the background of “peak carbon dioxide emissions” and “carbon neutrality”—taking Dongying city, Shandong province as an example [J]. Natural Gas and Oil, 2022, 40 (1): 115-120.
- [14] 龚 关, 胡关亮, 陈 磊. 国有与非国有制造业全要素生产率差异分析——基于资源配置效率与平均生产率[J]. 产业经济研究, 2015(1): 93-100.
GONG Guan, HU Guanliang, CHEN Lei. The analysis of total factor productivity difference between China's state-owned and non-state-owned manufacturing enterprises [J]. Industrial Economics Research, 2015 (1): 93-100.
- [15] 李洪言, 赵 朔, 刘 飞, 等. 2040 年世界能源供需展望——基于《BP 世界能源展望(2019 年版)》[J]. 天然气与石油, 2019, 36(6): 1-8.
LI Hongyan, ZHAO Shuo, LIU Fei, et al. Analysis on world energy supply & demand outlook in 2040—Based on BP World Energy Prospect (2019 Edition) [J]. Natural Gas and Oil, 2019, 37 (6): 1-8.
- [16] BORKOWSKA A, PULKOWSKA J, DROZDZ W, et al. The internal carbon emissions reduction efficiency of the South African banking sector: A data envelopment analysis [J]. International Business & Economics Research Journal, 2013, 13 (6): 69-84.
- [17] 赵德银, 文军红, 崔 伟, 等. 塔河油田高含硫混烃分馏脱硫工艺探讨[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(1): 30-35.
ZHAO Deyin, WEN Junhong, CUI Wei, et al. Discussion on fractionation desulfurization process of high hydrogen sulfide mixed hydrocarbon in Tahe oilfield [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2018, 47 (1): 30-35.
- [18] 王 震, 孔盈皓, 王文怡, 等. 美国 LNG 出口潜力、竞争力与溢出效应研究[J]. 天然气与石油, 2022, 40(1): 1-7.
WANG Zhen, KONG Yinghao, WANG Wenyi, et al. Study on U. S. LNG export potential, competitiveness and spillover effect [J]. Natural Gas and Oil, 2022, 40 (1): 1-7.
- [19] 舒 艳. 无人机油气管线巡线数据管理系统研究[J]. 天然气与石油, 2019, 29(6): 111-116.
SHU Yan. Study on data management system of oil & gas pipeline UAV patrol [J]. Natural Gas and Oil, 2019, 29 (6): 111-116.
- [20] 李延喜, 盖宇坤, 薛 光. 管理者能力与企业投资效率——基于中国 A 股上市公司的实证研究[J]. 东北大学学报(社会科学版), 2018, 20(2): 131-139.
LI Yanxi, GAI Yukun, XUE Guang. Managerial ability and enterprises' investment efficiency: Based on an empirical study of A-share listed companies in China [J]. Journal of Northeastern University (Social Science), 2018, 20 (2): 131-139.
- [21] 曾 妍. 中国成为推动全球能源转型关键力量[J]. 天然气与石油, 2018, 36(4): 111.
ZENG Yan. China becoming a key force promoting global energy transformation [J]. Natural Gas and Oil, 2018, 36 (4): 111.
- [22] 徐国泉, 栾 昊. 江苏碳排放效率空间差异性及其影响因素分析——基于改进的三阶段 SBM-DEA 模型分析研究[J]. 生态经济, 2018, 34(7): 33-38.
XU Guoquan, LUAN Hao. Spatial difference and influencing factors of carbon dioxide emission efficiency in Jiangsu: Based on improved three stage SBM-DEA model [J]. Ecological Economy, 2018, 34 (7): 33-38.