

# 基于 DEA 方法的中国油气勘探开发行业技术进步贡献率测算与分析

刘明明, 胡欢, 王建良\*

中国石油大学(北京)经济管理学院, 北京 102249

\* 通信作者, wangjianliang@cup.edu.cn

收稿日期: 2020-03-30

教育部人文社会科学研究青年基金(19YJCZH106)、国家自然科学基金项目(71874201, 71503264, 71673297, 71874202)资助

**摘要** 作为国民经济的主导产业之一, 油气行业对国民经济有着重要的推动作用。在影响油气行业上游发展的诸多因素中, 技术进步带来的作用十分关键。本文针对我国 15 个油气生产省份, 基于技术进步与经济增长理论, 采用 DEA 方法, 从纵向和横向上定量测算了这些省份 2003—2017 年间技术有效值、全要素生产率和技术进步贡献率 3 个指标的变化情况, 以科学解释技术进步对我国油气工业上游发展的具体效果。计算结果表明, 不同省份的技术有效值存在较大差异, 广东、四川和青海省的技术有效值相对较高, 而甘肃、吉林和河南的技术有效值较低, 导致这种差异的重要原因在于油气资源状况与技术水平; 我国油气勘探开发行业全要素生产率总体上呈现出了增长趋势, 2003—2017 年全要素生产率的平均增长率为 9.1%, 同期对油气产出的平均贡献率为 215.4%, 表明综合技术进步确实对油气上游产出产生了显著的正贡献; 对全要素生产率分析发现, 技术进步平均增长率为 6.4%, 技术效率平均增长率为 14.9%, 规模效率平均增长率为 8.8%, 纯技术效率平均增长为 3.5%, 表明规模效率显著提升引起的技术效率提高是全要素生产率增长的主要原因。在未来油气资源勘探难度增大、资源丰度下降、资源劣质化程度加深的背景下, 中国油气行业上游勘探开发将更加依赖科技的持续进步, 需要国家、行业、企业 3 个维度共同作用, 一方面重视规模效率对技术效率的影响, 通过对新技术的推广利用做大技术的规模效应, 进而提高技术效率; 另一方面, 加大对革命性技术的投入, 并加强对科技人员的培养, 以不断涌现的技术成果解决油气勘探开发行业遇到的一系列难题, 促进油气勘探开发行业的可持续发展。

**关键词** 油气工业; DEA; 技术进步; 技术效率; 规模效率; 贡献率

## Calculation and analysis of the contribution rate of technological progress in China's oil & gas exploration and development industry based on the DEA method

LIU Mingming, HU Huan, WANG Jianliang

School of Economics and Management, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

**Abstract** The oil and gas industry plays an important role in the national economy. Among the many factors affecting

引用格式: 刘明明, 胡欢, 王建良. 基于 DEA 方法的中国油气勘探开发行业技术进步贡献率测算与分析. 石油科学通报, 2020, 02: 290-298  
LIU Mingming, HU Huan, WANG Jianliang. Calculation and analysis of the contribution rate of technological progress in China's oil & gas exploration and development industry based on the DEA method. Petroleum Science Bulletin, 2020, 02: 290-298. 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.02.025

the development of the upstream oil and gas industry, the role of technological progress is critical. Based on the theory of technological progress and economic growth, this paper used the data envelopment analysis (DEA) method to quantitatively calculate the changes of three indicators from 2003 to 2017 in 15 oil and gas producing provinces in China. These indicators are technical effective value, total factor productivity and contribution rate of technological progress, to explain the specific effects of technological progress on the development of China's upstream oil and gas industry. The results show that the technical effective values of different provinces vary greatly. Guangdong, Sichuan and Qinghai are relatively high, while Gansu, Jilin and Henan are relatively low, and the important reason for the difference lies in the oil and gas resources and technical level. The total factor productivity of China's oil and gas exploration and development industry shows an overall growth trend, with an average growth rate of 9.1% from 2003 to 2017, and its overall contribution to output during the same period was 215%, indicating that comprehensive technological progress had indeed made a significant positive contribution to the upstream oil and gas output. Furthermore, the analysis of total factor productivity shows that the average growth rate of technological progress, technological efficiency, scale efficiency and pure technical efficiency are 6.4%, 14.9%, 8.8% and 3.5% respectively, which indicates that technical efficiency improvement caused by the significant increase of scale efficiency is the main reason for the growth of total factor productivity. Against the background of increasing difficulty in prospecting for oil and gas resources, decreasing resource abundance, and reducing resource quality, China's oil and gas industry upstream exploration and development will be more dependent on the continuous progress of science and technology. This needs the government, the industry and related enterprises to work together. On the one hand, to pay attention to the impact of scale efficiency on the technical efficiency, and try to enlarge the scale efficiency through promoting the use of technology to finally improve the technical efficiency. On the other hand, the investment in revolutionary technologies should be increased to solve various problems in the oil and gas exploration and development industry with emerging technological achievements, so as to promote the sustainable development of the oil and gas exploration and development industry.

**Keywords** oil and gas industry; DEA; technological progress; technological efficiency; scale efficiency; contribution rate

**doi:** 10.3969/j.issn.2096-1693.2020.02.025

## 0 引言

油气行业是一个典型的技术密集型产业,从上游的油气勘探开发,到中游的运输,再到下游的炼油化工,整个产业链的拓展和延伸都依赖于技术的推动作用,其中,又以上游油气勘探开发领域最为突出。技术进步使得人类对油气的勘探利用从常规领域拓展到非常规领域,从陆地拓展到深水及超深水,从浅层拓展到深层,越来越多的油气资源被我们发现、开发,极大程度地满足了全球经济发展对能源的诉求。在这个过程中,油气资源作为一种不可再生资源,尽管全球每年开采量持续增长,总剩余可采储量不仅没有减少,相反却在不断增加。根据英国石油公司《世界能源统计年鉴 2019》,2018 年全球原油剩余可采储量为 17 297 亿桶,几乎为 1980 年 6839 亿桶的 3 倍,同时,在这期间全球累计产出原油也接近 10 500 亿桶,支撑这一储量增长的重要因素就是技术进步<sup>[1]</sup>。而随着技术的进一步发展,将会有更多的油气资源被开采利用,英国石油公司《技术展望 2018》即指出,2016 年至 2050 年,技术进步将使全球原油技术可采资源量增加超过 50%,天然气技术可采资源量增加超过 25%,此外,也会促使潜在的全周期成本减少约 30%<sup>[2]</sup>。我国油气行业的发展,同样与技术进步密切相关。在国内

油气资源禀赋日益恶化、增储上产压力持续加大的背景下,测算技术进步对提高我国油气勘探开发行业全要素生产率的贡献,将有助于深入理解技术进步对行业发展的重要性及作用模式,从而为制定相关政策促进技术发展、解决行业面临困局提供直接的参考。

## 1 文献综述

技术进步率的概念最早由索洛提出,表示研究期内技术进步的速度,其大小可以用索洛余值来表示。所谓索洛余值,指的是以生产函数为基础,假设该生产模型只包含资本和劳动两种实体性要素,从研究期内总产出的增长率中减去资本和劳动的加权增长之后的剩余部分<sup>[3]</sup>。索洛余值法是人们测算技术进步最常用的方法,但是这种方法也有明显的不足。索洛将资本和劳动两种因素引入到新古典生产函数,建立起技术进步促进经济发展的新古典增长模型,并用经济增长扣除资本和劳动力的贡献份额后的剩余部分来表示技术进步的贡献。实际上,除了资本和劳动力这两个因素以外的促进经济增长的要素不都是技术进步,比如技术创新、规模报酬、人力资本等因素,这些因素被笼统地囊括在余值中没有得到合理的分解。

针对索洛余值法的不足之处,Young 提出了经济

内生演进思想,他认为技术进步与经济增长之间并非简单的线性关系,并在协调经济增长与竞争性均衡方面做了最为突出的尝试<sup>[4]</sup>。Catherine以成本和生产理论为基础,以劳动力、能源和非能源中间材料为变量输入,并使用高科技设备,建立了动态因素需求模型,对美国制造业信息技术设备的生产率进行了评估<sup>[5]</sup>。Roberto等人估算了欧洲常规油气的供应成本曲线,还估算了到2030年为止,包括年度技术进步对生产成本影响的供应成本曲线,结果显示技术学习能提高产量和降低成本<sup>[6]</sup>。Weijermars通过制定现金流分析曲线评估了将页岩气生产效益转变为正净现金流所需的技术进步速度<sup>[7]</sup>。Managi等人将DEA应用于一个独特的微观层面的数据集,以衡量联合生产模型中全要素生产率的各个组成部分,该模型同时考虑了市场产出和环境产出<sup>[8]</sup>。Managi等人还比较了技术创新、技术学习和技术扩散对行业全要素生产率的相对重要性,指出技术学习和技术扩散对全要素生产率的作用要显著大于技术创新<sup>[9]</sup>。冯英凌通过修正柯布-道格拉斯生产函数,建立了理想生产函数模型,测算了大庆油田1971—1975年、1976—1980年、1981—1985年以及1986—1990年4个阶段的技术进步在经济增长中的含量<sup>[10]</sup>。刘琪林应用Malmquist-DEA方法对中国能源产业的生产率、技术进步、技术效率的增长来源、差异与变化趋势进行了实证分析<sup>[11]</sup>。陈继新认为技术进步可以减缓储量成本的增长,降低高成本原油的成本,并估计技术进步可以使世界石油资源增加1.5倍<sup>[12]</sup>。在研究油气工业效率方面,袁省之等人建立了针对油田矿区的可持续经济效率评价体系来全面系统评价油区的资源利用状况、环境承载能力、社会发展水平和经济运行效率<sup>[13]</sup>。孙王敏等人构建了炼油企业能源效率评价指标体系,深入的探讨了我国炼油企业能源利用效率的影响因素<sup>[14]</sup>。

油气工业上游存在着前期投入大、勘探和开发周期长及不确定性高的特点。从发展的历史和现状来看,油气工业上游并不满足索洛模型的前提假设,简单的搬用索洛模型分析技术进步对油气行业的贡献是不合理的。在评估技术进步贡献率的诸多模型中,应用广泛的数据包络分析方法(DEA)为解决此问题提供了可能。DEA分析法作为一种典型的非参数方法,与参数方法相比有很多优势,例如使用DEA方法时无需设定估计参数和生产函数模型,能同时处理多个投入、产出指标,各个指标的权重由数据自行产生并且无需统一量纲,避免了在选择数据和建立参数模型过程中人为主观设定,使得计算结果更加客观;此外,也可以

直接比较通过DEA分析方法获得的测量结果,分析决策单元之间资源利用率和配置能力的差异,从而为管理人员提供适当的决策信息。

本文将采用DEA-Malmquist法计算油气行业技术进步贡献率。Malmquist指数法最初由瑞典经济学和统计学家Malmquist提出,1982年被Caves等人用于生产效率变化的计算。1994年,Fare将这一理论与DEA方法相结合,提出了DEA-Malmquist指数模型,将全要素生产率的变化分解成技术效率和技术进步的变化,并将技术效率变化进一步分解为规模效率变化和纯技术效率变化<sup>[15]</sup>。使用Malmquist指数法的优点主要有:一是不需要假设具体的函数形式;二是这种方法可以通过分解全要素生产率来找到引起全要素生产率变动的最主要因素;三是对计算出来的指数进行排序可以分析和比较地区间的技术进步差异。

## 2 中国油气行业技术进步贡献率的测算原理与模型

DEA方法的目的是在数据点的基础上构造一个非参数的包络前沿,根据线性规划、多目标规划等运筹学模型,对同类型企业或部门投入一定数量的资金、劳动力等资源后的产出效益,进行相对有效性评价。具体方法是使决策单元(Decision Making Unit, DMU)的投入或产出保持不变来确定效率前沿面,进而比较每个决策单元与效率前沿面的距离来评价它们之间的相对有效性。

DEA理论的基本思想如图1所示:

假设 $P_i(i=1, 2, \dots, 6)$ 是第 $i$ 个决策单元(DMU),

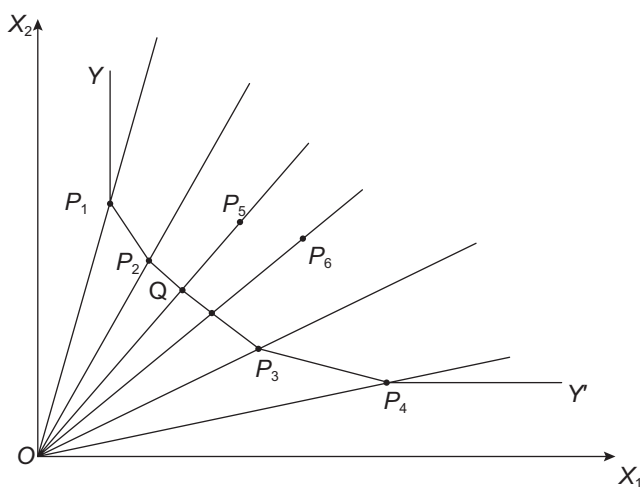


图1 DEA方法图示

Fig. 1 Diagram of DEA method

在本研究中即为主要油气生产省份*i*，分别利用两种生产要素 $X_1$ 和 $X_2$ 来生产产出要素 $Y$ ，产出 $Y'$ 为生产目的。生产点 $P_i$ 表示不同省份投入的两种生产要素 $X$ 的各种组合，用线段连接靠近原点的几个生产点 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 、 $P_4$ ，在连线的两端( $P_1$ 、 $P_4$ )用水平和垂直方向上的射线进行延伸，得到折线 $YY'$ 。该折线囊括了所有观测的数据，对于 $YY'$ 上的各点，生产为相对有效，效率值记为1。射线 $OP_5$ 与折线 $YY'$ 相交于点 $Q$ ，可以看做 $P_5$ 在效率前沿面上的投影，说明同时减少 $X_1$ 和 $X_2$ 的投入， $P_5$ 这个油气生产省份能达到产出 $Y'$ 的生产目的， $OQ/OP_5$ 表示 $P_5$ 油气生产省份的效率，该值小于1，可以知道该省份的生产处于非效率状态。如果样本省份数量足够多， $YY'$ 可以用一条光滑曲线进行模拟，这个非参数分段的面被视为前沿生产面。

根据DEA-Malmquist的原理，时期*t*时的Malmquist生产率指数可以表示为：

$$M^t = \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \quad (1)$$

在时期*t+1*时的Malmquist生产率指数为：

$$M^{t+1} = \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \quad (2)$$

则全要素生产率TFP可以表示为：

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[ \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

上述公式中， $x^t$ 代表时期*t*的投入量， $y^t$ 代表时期*t*的产出量； $D^t(x^t, y^t)$ 代表时期*t*的输出距离函数； $D^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ 代表以时期*t*技术条件为参照的时期*t+1*的技术效率水平； $M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) > 1$ 表示从时期*t*到时期*t+1*生产率进步，反之则表示生产率有所退步。

进一步将Malmquist生产率指数进行分解得到：

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \left[ \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

在式(4)中，记：

$$effch = \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \quad (5)$$

$$techch = \left[ \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

技术效率 $effch$ 代表时期*t*到时期*t+1*生产前沿面变动引起的技术效率变化，当 $effch > 1$ 时，表示DMU与

生产前沿面的距离更短，可理解为时期*t*到时期*t+1*间DMU的技术效率有所提高，反之则降低；技术进步 $techch$ 代表时期*t+1*相较于时期*t*技术边界的变化情况，当 $techch > 1$ 时，表示生产前沿面向外移动，DMU的技术水平有所提高，反之则代表技术水平发生下降。

如果加入规模报酬不变(CRS)这一限制条件，技术效率变化指数 $effch$ 为两个距离函数的比率，就可求得规模报酬可变(VRS)情况下的距离函数，决策单元的技术效率变动分解为纯技术效率变动( $pech$ )和规模效率变动( $sech$ )的乘积，即：

$$effch = pech \times sech \quad (7)$$

其中

$$pech = \frac{D^t(x^t, y^t | VRS)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1} | VRS)} \quad (8)$$

$$sech = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1} | VRS)}{D^t(x^t, y^t | VRS)} \times \frac{D^t(x^t, y^t | CRS)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1} | CRS)} \quad (9)$$

式中， $pech$ 表示纯技术效率，是在技术、管理等影响下产生的创新效率值； $sech$ 代表规模效率，指企业生产效率受企业规模因素的影响。

综上，全要素生产率指数 $tfpch$ 可表示为：

$$tfpch = effch \times techch = pech \times sech \times techch \quad (10)$$

以上模型的数据运行，均使用计量经济学家Tim Coeli开发的DEAP2.1软件进行。

### 3 中国油气行业技术进步贡献率的测算及分析

#### 3.1 测算指标的选取与数据来源

在DEA方法的应用过程中，需要劳动力和资本两个投入类指标和产出指标以及对应的数据，对相关具体指标的选择以及数据选取说明如下：

##### 3.1.1 劳动力投入量

从理论上讲，劳动力投入量是指综合要素在一定时期内可以提供的与综合要素的服务质量和效率密切相关的所有“服务流量”。目前国内外学术界用来衡量劳动力投入量数据的指标有3种：一是利用劳动者获得的报酬来衡量劳动力投入量；二是用员工总数乘以员工平均劳动时间得到总劳动时间来衡量；三是企业或行业的员工人数。三项指标相比较而言各有优缺点：工人薪酬通常与企业的效益有关，并不具有代表性；总劳动时间也不能反映工人的劳动效率；员工人数虽然可以直观地反映劳动力规模，并且获取数据相对容易，但不能反映工作时间和工人效率。综合考虑数据

的可得性及应用的广泛性,本文采用石油和天然气开采业年底员工人数来代表劳动力投入量,相关数据来源于《中国劳动统计年鉴》。

### 3.1.2 资本投入量

资本投入量是指行业或企业在生产过程中除了劳动投入之外的全部投入,既包括投入的数量,也包括投入的质量。目前学术界对资本投入量的衡量存在多种看法,有学者采用全社会的固定资产投资作为资本投入量,有学者采用固定资产原值加上流动资金作为资金投入量,还有学者采用固定资产原值或者固定资产净值作为资本投入量。本文采用油气勘探开发行业固定资产投资值来代表资本投入量,同时,为了使不同年度固定资产投资具有可比性,将其按2000年不变价格折算,相关数据来源于《中国能源统计年鉴》。

### 3.1.3 产出量

产出量一般都以产量来表示,本文采用以标准煤为单位的石油和天然气产量作为油气工业上游产出量,相关数据来源于《中国能源统计年鉴》。

2003—2017年间所选指标的最大值、最小值、均值和方差如表1所示。

## 3.2 分省份年度相对技术有效值

技术有效值是由于管理和技术等因素影响的生产效率。技术有效值=1,表示在目前的技术水平上,其投入资源的使用是有效率的。通过DEAP2.1软件计算得到了2003—2017年各年度全国15个主要油气生产省份的技术有效值,如表2所示。

根据表2的计算结果,在15个主要油气生产省份中,广东、四川和青海3个省份的技术有效值较高,平均在0.5以上,投资效率整体较高,位于或靠近生产前沿面。以四川为例,该省作为中国天然气勘探开发最具潜力的区域,在页岩气开发浪潮中吸引了众多投资者参与,获得了大量资金投入,近年来相继探明涪陵、威远、长宁、威荣等多个整装页岩气田,建成产能超百亿方,页岩气产量实现高速增长。在这个过程中,技术发挥了重要作用,如中石油在威远页岩气藏勘探开发中形成6项关键技术,包括页岩气高产区

带评价与优选特色技术、复杂地表条件下一体化井位部署与优化、长水平段丛式水平井高效钻井完井技术、页岩气录井辅助地质导向技术、页岩气体积压裂技术、排采测试及气藏开发动态分析技术,推动了中石油长宁—威远页岩气国家示范区的建设和发展。最终,页岩气的勘探开发使得四川省油气勘探开发行业处于生产的前沿。

技术有效值平均值较低的省份是甘肃、吉林、河南,其技术有效值平均在0.2以下,这些省份老油田居多。随着稳定生产难度的增加,老油田开发难度不断加大,原油产量加速下降,老油区勘探长期没有重大突破,新增产能无法形成有效接替,新井投产时率低。以甘肃为例,玉门油田曾是中国石油工业的大学城、大试验场、大研究场所,但现在老油田剩余可采储量非常有限,已有生产设施如油水井套管等损坏严重,加上储量接替常年不足、油水关系日益复杂,导致单北、石油沟、白杨河等油田面临报废的危险,鸭儿峡、老君庙等油田也已经进入开采后期,现有勘探开发技术已经对增产挖潜的作用越来越弱。其他省份的技术有效值平均值则在0.2~0.4,呈现波动趋势。

## 3.3 全国油气勘探开发行业技术进步贡献率

技术效率表示在投入一定时获得最多产出或产出一定时使用最少投入的能力,可以进一步分解为纯技术效率和规模效率。技术进步表示投入不变的情况下由生产技术创新、引入新技术等因素造成的产出增多。最终,15个主要油气生产省份2003—2017年的技术进步贡献率的计算结果见表3。

从表3可以看出,2003—2017年间,技术进步(*techch*)的平均增长率为6.4%,这说明在这段时期内,油气上游勘探开采业整体表现为技术进步。2000年以来,以水力压裂和水平井等为代表的技术突破,使得致密油、页岩气等非常规油气资源大规模开发成为现实,直接改变了全球的能源格局;同时,深水油气勘探开发技术也取得重要进展,形成3000 m水深作业能力,在巴西、东非、圭亚那等国家和地区取得多个重大发现,全球油气资源保障能力大幅提升。我国在非

表1 原始数据的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of original data

指标	最大值	最小值	均值	方差
石油和天然气产量/亿t标准煤	4.60	2.80	3.70	0.39
石油和天然气开采业年底员工人数/万人	10.24	6.37	8.48	1.70
固定资产投资值/亿元	2709.750	291.980	1611.944	728.354

表 2 主要油气生产省份 2003—2017 年间技术有效值  
Table 2 Technical effective values of main oil and gas production provinces from 2003—2017

省份	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
天津	0.182	0.263	0.085	0.150	0.248	0.170	0.149	0.150	0.240	0.875	0.635	0.686	0.597	0.622	0.633
河北	1.000	0.190	0.126	0.236	0.205	0.144	0.672	0.144	0.230	0.276	0.309	0.390	0.273	0.398	0.924
辽宁	0.238	0.184	0.083	0.156	0.199	0.177	0.205	0.050	0.110	0.165	0.231	0.330	0.161	0.419	0.311
吉林	0.133	0.334	0.041	0.082	0.099	0.056	0.111	0.065	0.082	0.109	0.201	0.186	0.098	0.083	0.133
黑龙江	0.568	1.000	0.162	0.324	0.351	0.188	0.317	0.176	0.194	0.211	0.368	0.491	0.199	0.380	0.494
山东	0.268	1.000	0.137	0.301	0.490	0.229	0.325	0.117	0.141	0.140	0.268	0.341	0.113	0.370	0.430
江苏	0.161	0.936	0.067	0.140	0.353	0.168	0.186	0.059	0.142	0.096	0.131	0.228	0.065	0.231	0.239
河南	0.128	0.065	0.074	0.182	0.183	0.128	0.140	0.068	0.078	0.133	0.124	0.158	0.196	0.492	0.542
湖北	0.052	0.376	0.032	0.056	0.048	0.034	0.080	0.114	0.073	0.321	0.134	1.000	0.808	0.251	0.303
广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
四川	1.000	0.405	0.387	1.000	1.000	0.683	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.230	0.490	0.566
陕西	0.328	0.333	0.140	0.295	0.339	0.288	0.470	0.202	0.272	0.301	0.434	0.690	0.224	0.568	1.000
甘肃	0.077	0.087	0.065	0.113	0.099	0.045	0.091	0.043	0.049	0.035	0.022	0.027	0.013	0.050	0.168
青海	0.406	1.000	0.418	0.641	0.602	0.724	0.853	0.757	0.718	0.551	0.333	0.448	0.231	0.316	0.516
新疆	0.203	0.293	0.085	0.161	0.253	0.182	0.401	0.203	0.190	0.296	0.399	0.536	0.294	0.290	0.383

常规、深水等领域也取得系列技术突破，页岩气产量迅猛提升，深水获得重要发现，但与国外相比，油气勘探开发技术仍存在不少短板，直接限制了深水等油气资源的开发利用。当前，国内增储上产困难重重，迫切需要进一步加大油气勘探开发技术和装备的研发，提升油气资源的利用水平。

从技术效率(*effch*)角度看，我国油气行业上游技术效率较技术进步提升更快，2003—2017 年间，技术效率的平均增长率为 14.9%，说明在这段时期内，油气上游勘探开采整体上效率是不断提升的，这与企业本世纪以来持续推行的提质降本增效等一系列举措有关。个别年份的技术效率低于 1，其主要原因是外部市场环境的变化，以 2008 和 2015 年为例，受国际金融危机和需求疲软的影响，国际油价出现大幅下滑，从而使国内油气生产企业对部分油气田进行了关井限产，导致石油天然气产量滑坡，致使当年的技术效率值小于 1。从技术效率的细分项来看，整个样本期内，纯技术效率的平均值为 1.035，而规模效率的平均值为 1.088。这两个数值均大约 1，表明双方均对技术效率的提升产生了正的贡献，即油气上游管理体制机制的改变所引起的效率提升和规模效应都提高了油气上游生产效率。进一步，规模效率的贡献要大于纯技术效率的贡献，表明上述技术效率的改善主要是由于规模效应引起的。

全要素生产率(*tfpch*)是对技术效率(*effch*)和技术进步(*techch*)的综合体现。2003—2017 年间，我国 15 个主要油气生产省份全要素生产率的均值为 1.091，平均上升 9.1%，表明主要油气生产省份全要素生产率在 2003—2017 年总体呈上升趋势，进一步论证了我国油气工业上游技术进步是存在的。从各年度来看，全要素生产率在 2008 年以前总体保持了上升趋势，在 2008 年之后，则处于一个相对高位的波动当中。进一步，从图 2 可以看出，技术效率与全要素生产率的波动趋势基本一致，表明技术效率对于全要素生产率的贡献相对更多一些。

从全要素生产率对油气生产的贡献率来看，2003—2017 年间整体平均贡献率为 215.4%，说明全要素生产率来衡量的综合技术进步对产出贡献产生了显著作用。但是这种作用在不同的历史时期表现有所差异。在 2008 年以前，全要素生产率多在 1 以下，因此导致全要素生产率对产出的贡献为负值，但负值并不代表技术对油气行业产量增长产生负作用，而是技术的边际作用在递减，对产出的贡献越来越小，技术进步的速度无法抵消油气资源耗尽的速度，这种变化背

表3 主要油气生产省份2003—2017年间平均技术进步贡献率

Table 3 Average contribution rates of technological progress for main oil and gas production provinces from 2003—2017

年份	技术效率 <i>effch</i>	技术进步 <i>techch</i>	纯技术效率 <i>pech</i>	规模效率 <i>sech</i>	全要素生产率 变化值 <i>tfpch</i>	产出 增长率/%	全要素生产率对产出 变化的贡献率/%
2003—2004	1.377	1.862	1.018	1.352	2.564	7.18	2178.3
2004—2005	0.332	0.970	0.821	0.405	0.322	4.49	-1510.0
2005—2006	1.886	0.449	1.244	1.516	0.848	4.92	-308.9
2006—2007	1.184	0.752	1.154	1.026	0.891	4.53	-240.6
2007—2008	0.681	1.466	0.821	0.830	0.999	2.50	-4.0
2008—2009	1.564	0.753	1.225	1.277	1.177	8.31	213.0
2009—2010	0.550	1.998	1.022	0.538	1.099	2.27	436.1
2010—2011	1.229	0.887	1.037	1.185	1.090	2.93	307.2
2011—2012	1.290	0.988	0.756	1.706	1.275	2.31	1190.5
2012—2013	1.068	0.687	0.986	1.083	0.734	3.41	-780.1
2013—2014	1.416	0.810	1.127	1.256	1.146	1.16	1258.6
2014—2015	0.524	1.820	0.815	0.643	0.954	-4.54	101.3
2015—2016	1.633	0.776	1.297	1.260	1.267	7.18	371.9
2016—2017	1.346	0.676	1.162	1.158	0.909	4.49	-202.7
平均值	1.149	1.064	1.035	1.088	1.091	3.65	215.4

注： $tfpch=techch \times effch$ ,  $effch=pech \times sech$ 。

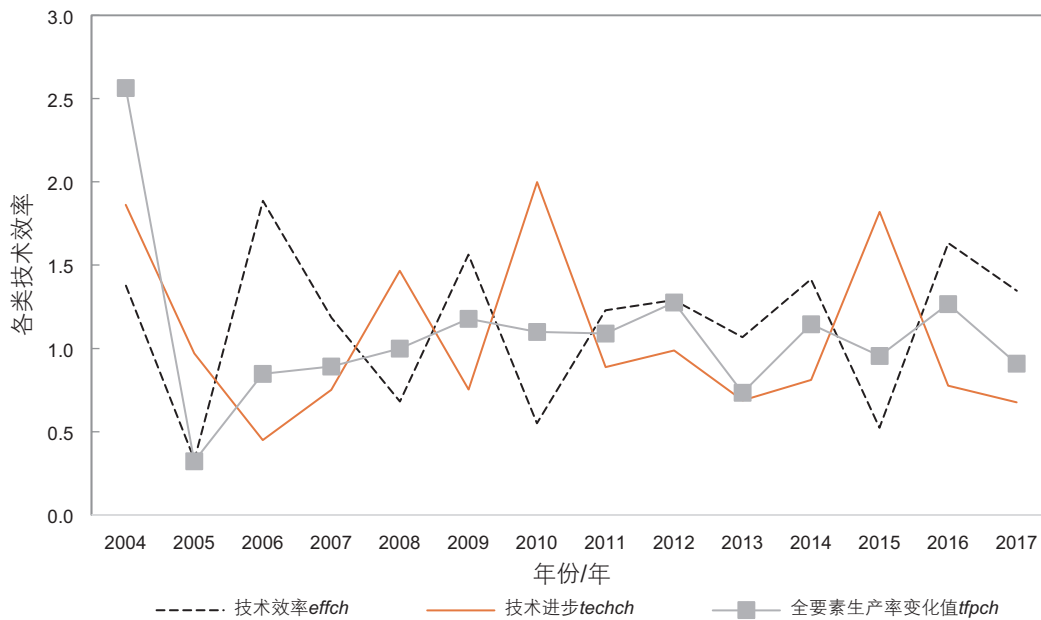


图2 15个油气生产省份各种效率的变化情况

Fig. 2 Changes in efficiency for 15 oil and gas production provinces

后的原因可能是2008年前不断上升的油价使得企业忽视了对技术的关注,进而导致技术边际贡献下降。2009年以后,全要素生产率对产出的贡献显著为正,这说明在这一时期内,油气上游技术发生了显著变化,这一变化来源于多方面原因,其中最重要的原因是我

国内上油气开发及生产在2009年之后按照“东部硬稳定、西部快上产、天然气再翻番、非常规大发展”的发展方针,通过加强重点产能建设,推广应用新工艺,推进老油田精细开发,完善非常规开发技术,实现了原油产量持续稳定,天然气产量快速增长。另一个重

要原因是 2008—2009 年的油价暴跌及之后的市场波动,以及我国持续推进的油气市场体制与市场化改革,倒逼企业要不断提升自身管理运作水平(软技术)以及装备制造及勘探开发技术水平(硬技术)。因此,管理技术水平提升、稳油重气、关注非常规油气等举措使得全要素生产率对产出变动的贡献平均达到 320% 以上。

综上,根据本文的研究,我们认为以全要素生产率衡量的综合技术进步确实对 2003 年以来的产生增长产生了显著影响,这与国内学者张九天等<sup>[16]</sup>测算的 1993—1999 年间油气工业上游的技术进步贡献率显著为正的结果基本一致。但就具体的贡献率而言,本文的测算结果小于张九天等的结果,主要原因是在本文所考察的时间段,中国石油行业已经处于中后期发展,技术进步的边际贡献总体要小于当行业处于早期的阶段,且外部市场的不确定性在这一阶段变化更大,导致这一阶段的计算结果的波动较大。

## 4 结论

油气工业技术进步研究关系到油气工业的开采效率,本文通过研究中国 15 个主要油气生产省份的技术有效值和测算技术进步贡献率,得到以下结论:

首先,不同省份的技术有效值存在较大差异,油气资源状况与技术水平是导致上述差异的重要原因。具体而言,广东、四川和青海省的技术有效值相对较高,平均值保持在 0.5 以上,处于或接近生产前沿面;技术有效值的平均值较低的省份是甘肃、吉林和河南,其平均技术有效值都在 0.2 以下,这些省份油气资源开发已进入中后期,且无新的高品质接替资源;其余省份基本在 0.2~0.4。

其次,以全要素生产率衡量的综合技术进步在考察期内总体上保持了增长,而增长的主要来源为规模

效率提升所引发的技术效率提高。具体而言,2003—2017 年,全要素生产率的平均增长率为 9.1%。进一步,技术进步平均增长率为 6.4%,技术效率平均增长率为 14.9%,这说明技术效率的贡献大于技术进步。与此同时,对技术效率的深入分析发现,规模效率的平均增长为 8.8%,而纯技术效率的平均增长为 3.5%,表明规模效率对技术效率的贡献相对更大。

最后,从全要素生产率对产出的贡献来看,2003—2017 年的平均贡献率为 215.4%,表明综合技术进步确实对油气上游产出产生了显著的正贡献,这是对过去十余年政府及企业不遗余力引导和加大对科技投入的最佳论证。

展望未来,随着现有油气勘探开发的不断深入,未来勘探的主要目标为地质条件复杂且隐蔽的油气藏,勘探难度越来越大。同时,随着油气资源劣质化加剧,新探明的低渗透率和超低渗透率石油储量的比重将继续增加,提高开发效率的难度同样在加剧。在此背景下,中国油气行业上游勘探开发将更加依赖科技的持续进步。为了充分发挥技术进步对油气勘探开发行业发展的推动作用,国家层面上要做好引导和扶持,进一步完善技术研发的软环境,重视产学研合作,继续设立相关国家重大专项突破前沿技术,并制定相关财税金融政策扶持企业推进科技进步;行业层面要做好新技术的推广利用,实现技术的规模效应,并在应用过程中不断提高技术效率;企业则要勇于担任技术创新和技术进步的主体,健全技术研发体系,保障企业研发投入力度,并提高先进技术的吸收和利用能力。此外,我国油气勘探开发行业必须重视人才在技术研发和推广利用中的决定作用,加强科技人员的培养,激发科研人员对新技术研发和推广的热情,以不断涌现的技术成果解决油气勘探开发行业遇到的一系列难题,促进油气勘探开发行业的可持续发展。

## 参考文献

- [1] BP. BP Statistical Review of World Energy[R]. 2019.
- [2] BP. BP Technology Outlook 2018[R]. 2018.
- [3] ROBERT M. Solow. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 312–320.
- [4] YOUNG A. Growth without scale effects[J]. *Journal of Political Economy*, 1998, 106(1): 41–63.
- [5] MORRISON C J. Assessing the productivity of information technology equipment in US manufacturing industries[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1997, 79(3): 471–481.
- [6] ROBERTO F. A, RONALD D. R. Technological progress and the availability of European oil and gas resources[J]. *Applied Energy*, 2012, 96: 387–392.
- [7] WEIJERMARS R. Shale gas technology innovation rate impact on economic Base Case – Scenario model benchmarks[J]. *Applied*



- Energy, 2015, 135: 398–407.
- [8] MANAGI S, OPALUCH J J, JIN D, et al. Technological change and depletion in offshore oil and gas[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2004, 47(2): 388–409.
- [9] MANAGI S, OPALUCH J J, JIN D, et al. Environmental regulations and technological change in the offshore oil and gas industry[J]. Land economics, 2005, 81(2): 303–319.
- [10] 冯英俊. 石油生产企业技术进步作用的测算方法[J]. 石油化工技术经济, 1995, (04): 61–66+74. [FENG Y J. Measurement method of technological progress in petroleum production enterprises [J]. Techno-economics In Petrochemicals, 1995, (04): 61–66, 74.]
- [11] 刘琪林, 李富有. 基于 Malmquist-DEA 的中国能源产业技术进步与技术效率研究[J]. 中国科技论坛, 2013(10): 67–73. [LIU Q L, LI F Y. The technical progress and technical efficiency of energy industry in China based on Malmquist-DEA[J]. Forum on Science and Technology in China, 2013(10): 67–73.]
- [12] 陈继新. 技术进步对油气勘探的影响[J]. 国外油气勘探, 1993(01): 122–125. [CHEN J X. The impact of technological advances on oil and gas exploration[J]. Equipment for geophysical prospecting, 1993(01): 122–125.]
- [13] 袁省之, 孙竹, 张宝生, 等. 石油矿区可持续经济效率评价体系构建及应用[J]. 石油科学通报, 2018, 3(03): 354–368. [YUAN S Z, SUN Z, ZHANG B S, et al. Evaluation of sustainable economic efficiency in oilfields[J]. Petroleum Science Bulletin, 2018, 03: 354–368.]
- [14] 孙王敏, 刘建英, 姜洪殿, 等. 我国炼油企业能源效率评价方法研究[J]. 石油科学通报, 2018, 3(01): 113–124. [SUN W M, LIU J Y, JIANG H D, et al. Research on energy efficiency evaluation of oil refining enterprises in China[J]. Petroleum Science Bulletin, 2018, 01: 113–124.]
- [15] MALMQUIST S. Index Numbers and indifference Curves[J]. Trabajos de Estadística, 1953, (4): 209–242.
- [16] 张九天, 魏一鸣, 马晓微. 技术进步对我国油气工业上游发展贡献的测度分析[J]. 中国能源, 2003(11): 27–31. [ZHANG J T, WEI Y M, MA X W. Measurement and analysis of the contribution of technological progress to the development of China's oil and gas upstream industry[J]. Energy of China, 2003(11): 27–31.]

(编辑 付娟娟)