

# 中国石油天然气工业的清洁能源和环保效益的全面评估

赵宏生

山西工程技术职业学院 (山西太原 030009)

**【摘要】**：将中国石化能源开采产业划分为煤矿开采产业和石油天然气产业，从净能源产量、环境污染和经济利益三个角度出发，建立了中国石化能源开采产业及其相关产业的评估指标，并对2005-2019年度的石化能源开采产业及其相关产业的发展状况进行了评估。研究发现：(1)2013年以后，矿物资源开采行业的技术水准持续提高，2016年以后，其净能产一直在增加；(2)2013年以后，矿物资源开采行业对环境污染控制的成效逐步提高；(3)矿物资源开采行业2005年至2019年期间，资产储量波动呈上升趋势；(4)石油和天然气开发行业在2005-2019年期间，总体上都好于煤矿开发行业。2016年之后，矿物能源采掘业及其子行业的综合评价成绩持续增长，说明我国矿物资源采掘业及其子行业正在健康发展。

**【关键字】**：中国石油资源开发产业的整体节能效益评估；环保减排；节能减排

## Comprehensive assessment of clean energy and environmental benefits of China's oil and gas industry

Zhao Hongsheng

Shanxi Vocational College of Engineering and Technology, Shanxi Taiyuan 030009

**Abstract:** The energy mining industry of Sinopec is divided into coal mining industry and oil and gas industry. From three perspectives of net energy output, environmental pollution, and economic benefits, evaluation indicators for the energy mining industry and related industries of Sinopec are established, and the development status of the petrochemical energy mining industry and related industries in 2005-2019 is evaluated. Research findings: (1) After 2013, the technical level of the mineral resources mining industry has continued to improve, and its net energy output has been increasing since 2016; (2) After 2013, the effectiveness of environmental pollution control in the mineral resource mining industry has gradually improved; (3) During the period from 2005 to 2019, the fluctuation of asset reserves in the mineral resources mining industry showed an upward trend; (4) The oil and gas development industry generally outperformed the coal mine development industry during 2005-2019. After 2016, the comprehensive evaluation results of the mineral energy mining industry and its sub industries have continued to grow, indicating that China's mineral resources mining industry and its sub industries are developing healthily.

**Key words:** Evaluation of China's oil resource development industry; environmental protection and emission reduction; energy conservation and emission reduction

能源对一个产业的发展至关重要。矿物资源不仅是关乎国家的生计，也是国家的重要军事力量，习近平在2021年考察胜利油田时曾指出，“我们一定要把我们的食物都吃好”。在我国的新一轮的发展中，新的能源得到了快速的发展，但是在未来一段时间里，石化资源仍将是主要的能量来源。随着工业化和城市化进程的推进，中国的总的能量消耗将会不断增大。因此，对中国矿物资源开采产业的整体运作进行深入的分析，将对矿物资源的有效开发与使用，从而保证国家的资源安全具有重要的意义。

现有的关于石油资源开发行业的分析大多侧重于其“本质生产率”“能耗”和“碳排放量”，而王克强等人则利用“双重测量”的代价方程来考察中国石油资源开发行业的“全要素生产率”。Fang等利用数据包络分析法对中国的绿色TFP进行了测算，结果显示，2006—2017年我国的GTFP增幅以“尺度”为最大贡献。于立宏与金玉健运用“随机前沿”理论，对我国煤炭企业在我国的“绿色发展”中的“动态”进行了实证分析，并对我国煤炭企业的“动态”进行了实证分析。Kong等将副产

物和间接的能量消耗量纳入到了对煤化油的研究中，结果表明，在进行了直接液化的过程中，煤炭的能量所占据的比例是很大的；通过GDIM模式，揭利等人对我国能源开发行业的碳排放进行了研究。但现有的相关工作大多从一个视角出发，很少从经济效益和环境污染两个层面综合考虑。为了促进可持续发展，稳定推进能源结构的转变，保证国家的能量供应，有必要对石化资源开采产业的整体运作状况进行深入的分析。将中国石油天然气行业划分成石油天然气行业和煤矿行业，从净能源产量、环境污染程度和经济效益三个角度构建了中国石油天然气行业的综合效益评估模型，从而更加完整地评估中国石油天然气行业的整体效益，并对我国今后能源开发的相关决策有一定的指导意义和借鉴意义。

## 一、评估的方式与资料

### (一) 建立一个评价指标系统

根据系统、全面、可操作的原理，从净能源、环境污染、

经济效益等三个角度出发,选择了下列几个典型的指标,构建了一个综合评估模式。

表1 中国化石能源开采业综合效益评价指标体系

系统层	子系统层	指标层	指标解释意义
	净能源生产评价	能源投入回报率	开采效率
		净能源增长率	实际产出能力
		能源利用率	节能情况
		碳减排率	碳排放情况
综合评价	环境污染评价	气体环境污染效应递减率 水污染减排贡献率	气体污染排放情况 水污染排放情况
		经济效益评价	资本存量增长率 主营业务利润率 能源消耗经济性水平

### 1. 能源产量净额

现有的可持续发展研究主要集中在资金流量、利润等方面,而没有充分地考虑到整个系统的能耗。以纯能量为基础,对中国石化资源开采行业的能量效率进行了测算。Cottrell 首先提出了一个关于净能量输出的理念,它是一种能够在经过生产、加工和转换之后产生的能量剩余,它是一种能够真实地被应用×到社会和经济中的能量来源,它能够真实地反映出矿物资源的开发的真实的输出状况,已经有很多学者使用了净能量理论来计算能量的开发效率。

#### (1) 能量输入-收益 (EORI)

EORI 是指矿物能量利用的有效程度,它的数值来自资源消耗与技术发展的相互影响。在胡燕等学者提出的“投资”分析法的指导下,以“人才投资”为指标,以“人才投资”为指标,采用“热量”法,测算了中国矿物资源开发产业及其相关产业的“人才投资”指数:

$$EORI = \frac{E_{out}}{E_d + E_{id} + E_l} \quad (1)$$

在这个公式中,  $E_d$  是能量开发所需要的全部能量。

其中,  $E_{id}$  是指与之有关的辅助物料和设备投资等直接能耗的总和;  $E_l$  是指人工输入。

在当前和将来两个阶段,直接投资对当前和将来两个阶段的作用是不同的。一般来讲,早期大量的投入可以提高石油资源的产量,但同时也会减少石油资源的产出。在这一背景下,为了更精确地计量和计量与生产相关的固定资产,文章提出了一种新的固定资产减值准备方法。另外,文章还参考了陈英超等使用的方法论对人力的输入作了估算。

#### (2) 能量净额的发展速度

$E=$  其中,能量输出为  $E_{net}$ , 能量输出为  $E_{out}$ , 能量投入为  $E_{in}$ 。与上述相同,考虑到三个因素,以2004年作为基础,我们使用了热当量法来估算纯能量的成长。

#### (3) 能量的使用效率

能量利用率指的是系统的输出能量与输入能量的比例,能量利用率高,则说明该系统的节约效率较高,使用了一种热等值方法来进行计算:

$$PESR = \frac{E_{out}}{E_d} \quad (2)$$

### 2. 评估对生态系统的影响

相对于经济指数,在我国的节能减排工作中,随着我国的经济发展,对环境的影响越来越大。就石化资源开采产业而言,推动污水处理和废气处理技术的应用和提升,是减少其污染的重要手段。就拿煤炭开采业来说,在采矿的时候,矿山废矸、废水和废气是最重要的环境污染物。煤矸石作为煤炭开采与洗选中产生的一种固废,与液体类污染相比,它所产生的污染在广域和广域上都要低。为此,论文从液体污染物的视角出发,重点分析了目前国内石油开采行业所面临的环境污染状况。

#### (1) 减少二氧化碳排放的比率

工业企业生产的全部碳排分为两类:一是生产企业的直接碳排和二是生产企业的间接碳排。采用了输入输出法,测算了中国矿物资源开发产业及其相关产业的潜在碳排

为了防止对能量处理和转化部门进行二次运算,在对其进行测算时,将矿物能量处理和转化排除掉。

行业中的原油和煤消耗情况。

$i$  个行业的全部碳排因数是由(3)公式得到的,即  $i$  个行业的实际碳排因数与其每一生产所需要的潜在碳排因数的总和。

$$TCI_i = DCI_i \times (I-A)^{-1} \quad (3)$$

运用国家的输入输出数据,计算了中国不同年份的石化能源开采行业的总碳排放值。经测算后,我们可以得出,在矿物资源开采产业的直接碳排放中,各产业所占比重在短时间内变动不大。所以,在剩余的几年里头,各个行业的碳排放量是

根据该年度的直接碳排放量增加比例来递增的，而这个比例是以2004年作为基数来推算的。

(2) 大气对大气的影响逐渐降低的速率

矿物资源开采行业除了产生的二氧化碳之外，还会产生大量的其他有害的废气，从而影响到空气的质量。在综合了全球气候变暖，酸雨以及人类的呼吸效应后，对石油开采和开采过程中所产生的瓦斯污染进行了评价。参照金等人的调查，建立以下的环境污染影响模式：

$$GAR=W1GWP+W2AP+W3REP \quad (5)$$

其中，GWP为大气污染所引起的环境影响；AP代表了大气污染所引起的土壤酸性变化；

REP反映了大气污染所引起的“呼吸”作用；其中，w1, w2, w3是这三个影响的加权数值，其中w1=w2=w3=1/3。

在对石化资源开采行业中，天然气对大气的影响进行了分析，并提出了天然气对大气的影响。

$$Emi = \text{gammi}, nfn \quad (6)$$

其中，i为包含SO2, CO2, NOX, PM2.5, CO, CH4, N2O的污染物物种；n代表所消耗的能量种类，包括煤，焦炭，原油，汽油，煤油，燃料。

用于发电而无废气污染的石油、燃油和燃气。

因此，这篇文章就不提了。其中，伽马i, n代表第i类能量的释放因子；Fn代表每一种能量的消耗率。每一种的影响都按下列方式进行了计算：

6

$$GWP = \sum_{i=1}^6 Emi, CO2 \text{ 等式}$$

i = 1

6

$$AP = \sum_{i=1}^6 Emi \sum_{i=1}^6 S02 \text{ 电子}$$

i = 1

6

$$REP = \sum_{i=1}^6 Emi \sum_{i=1}^6 pM2.$$

i = 1

其中， $\sum_{i=1}^6 Emi, CO2 \text{ equiv}$ 代表各种类型的污染物的GHT潜力系数  $\sum_{i=1}^6 S02 \text{ 等式}$ 代表各种污染物的酸性潜力系数； $\sum_{i=1}^6 Emi, pM2.5 \text{ 电子式}$ 代表各种类型的污染物的呼吸势能因子。GWP是指二氧化碳等污染物在全球变暖过程中的相对贡献率，即任意污染物的排放均可转化为二氧化碳等同物；AP是用SO2等效来表达的，可以用来形容一些材料形成并放出Hp的质子团的性能；REP是指由每一单元的气体释放所导致的一种呼吸作用，它被转化成参考PM2.5所导致的一种呼吸作用的数值。按2004年作为基准，进行了下降速率的推算。

(3) 减少水体污染物的贡献

以减少对矿物资源开发行业的水环境影响程度为衡量指标。过去关于水体的污染分析大多是根据污水的使用情况来进行的，而这个指数并没有体现出污水的污染程度。污水中的

“还原剂”（COD）是指污水中可被氧化的“还原剂”的数量，COD值较高，表明污水中的“还原剂”浓度较高。以COD值作为污水排放总量，以2004年作为基准，对水污染的减少做出了相应的贡献：

i, t=

$$2004 \text{ 年 } COD_i - COD_{i,t}$$

(b) (11)

$$COD_{2004} - COD_t$$

其中，i为i工业在t年对减少水污染的贡献度；COD<sub>t</sub>是指i工业废水的COD排放量；COD<sub>t</sub>是指整个工业水体中的总的化学耗氧总量。

研究发现，各分产业对整个产业的水环境质量有积极的影响。

3. 作为评估经济效果的一个指数

(1) 股票价格的增长速度

所谓的资产，就是公司所拥有的各种资产。

产业的资产存量可以体现出该产业的目前的生产运营规模和技术水平。然而，到现在为止，还没有人对中国石化能源资源开发部门的资金进行过系统的研究。利用可再生资源价值评估方法，研究了中国石油开采行业的资产价值

按下列方式进行运算：

$$K_{i,t} = I_{i,t} - 1 + (1 - \delta_{i,t})K_{i,t-1} \quad (7)$$

其中，K<sub>i,t</sub>为i产业在t年所拥有的资金；I<sub>i,t</sub>指t年i工业中增加的真实新的固定资产； $\delta_{i,t}$ 代表i线企业在t年度的折旧额。

我们将新增加的固定资产投入列为一系列的投入，参照薛俊波与王铮的推算，运用折旧额与折旧率与资金总量的相关，来推算出石化资源类产业的资金总量，从而避免由于选了一个基数而导致的推算的错误。不同年度的固定资产投入变动很大，导致各产业的折旧比率随时间变化比较显著，并在一些年度表现出了不合理性。在借鉴李晓峰等人提出的方法基础上，排除了一些不符合实际情况的因素，选用了最近年份作为替代。并将各细分产业的折旧量作为各细分产业年度折旧量的一个重要指标，将各细分领域的折旧率取其均值。按照公式(12)反复计算，得出了中期年度的资本库数量。按2004年作为基准依次递减，进行了资本增量的测算。

(2) 主要经营收入的毛利

主营业务利润率指的是每单位主营业务收入所产生的利润，它的数值越高，就意味着该行业的主营业务市场竞争力更高，利润水平也更高。

(3) 能耗经济级别

通过对石油开采行业的分析，得出了石油开采行业的单位直接能耗的真实经济效益。

A= 输入输出

## (二) 增强能力的办法与资料来源

为了提高结果的精确度,采用因素和主要成分的方法进行了综合评分。PCA方法采用空间坐标转换的方法,用初始观察值的线性综合来描述PCA方法中的PCA。因素分析法就是把观察到的被试数据分成多个因素的线性综合,通过构建因素的模式来进行研究。上述两种算法的计算结果互相检验和互补,并将两者的均值作为最终的结果。

由于资料有限,本项目主要采用《中国统计年鉴》,《中国环境统计年鉴》,《中国劳动统计年鉴》,2007—2021年度国家统计局发布的《国家投入产出表》等资料,并对其中的一些资料进行整理整理。

## 二、次要利益评估

### (一) 对能量的估算

从图1可以看出:除了少数年度有一些起伏之外,我国矿物资源采掘业及其子产业的EROI总体上都是稳步的增长。EROI的增加表明了能量的开采效率在提升,由于技术的发展,在中国,矿物资源采掘行业的EROI稳步提升,从2005年的4.94,逐渐稳步地增长到了2019年的8.02,平均每年的增速达到了3.52%。石化能源产出既与生产因素有关,又与矿产资源储备有关。当累积产出持续增长时,矿物燃料的EROI将呈现出先升后降的趋势。因此,尽管当前中国对矿物资源的EROI在不断增加,但并不一定是永久的。另外,在中国,油气资源的开采和利用是很难区别的。实际上,中国石油和化工企业的EROI增速很大程度上取决于其对天然气资源的开发和使用。国内的天然气整体上还处于前期的开发阶段,在今后的一年里,它的生产将继续增长。受其发展带来的好处,在“低碳”政策下,以“洁净”的方式,将继续保持石油、天然气产量及EROI的持续上升。

在2005—2019期间,矿物资源开发与相关产业的净能增速在整体上稳步提高。在这些行业中,煤矿行业在经历了2012—2016年的一次跳跃式的发展之后,出现了一个暂时的下滑。从EROI分析可以看出,2012年至2016年,除了2013年有所降低,其他各年度的EROI都有所增加。上述结果显示,2012—2016年期间,虽然煤矿开采行业整体技术进步,但是煤矿的净能量产出有所减少。这很大程度上涉及了煤的生产。由图2可知,煤矿行业的净耗电量增速与煤矿生产基本一致,但在全部能耗消耗中,煤在总体能耗消耗中所占据的比例却在不断降低。在“碳中和”背景下,高排放、高消耗的石化资源——煤的消耗将是第一个达到峰值的;在我国的经济过程中,以石油为主的产业结构将维持较高的消耗比例;而天然气是一种新型的、寿命较短的清洁能源,其发展前景十分广阔。这表明,今后我国的煤生产速度将会逐步放慢,而石油天然气的生产速度和能量的增加速度将会继续加快。

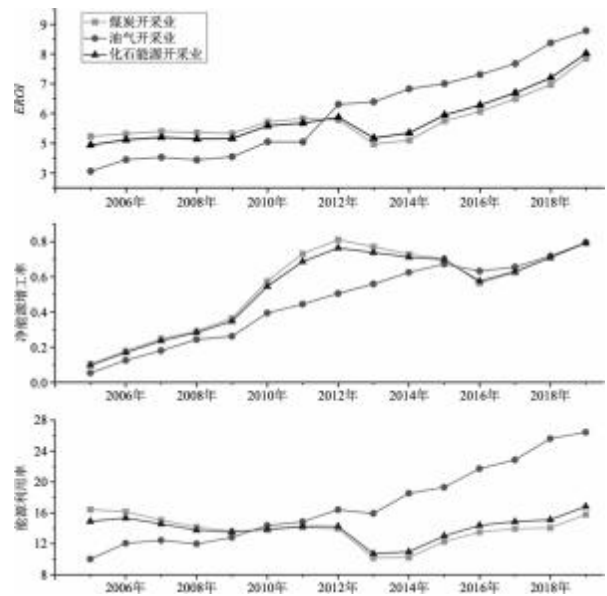


图1 净能源生产评价结果

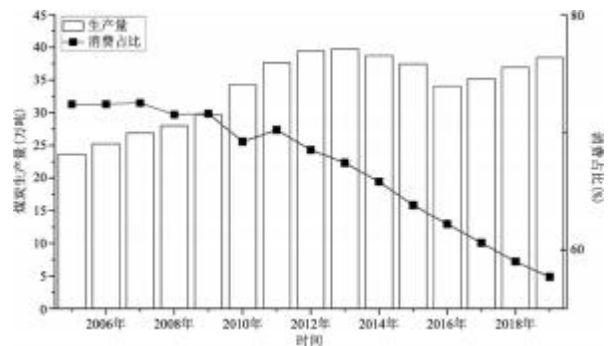


图2 2005—2019年煤炭生产量及煤炭消费占比

除此之外,在2005—2019年期间,石油和天然气的能量利用率逐步提高,从2005年的10.04,稳定地提高到2019年的26.43,这表明该产业的节能效应逐步地提高。

很好。煤矿开采行业能耗水平在2005—2013年间呈递减趋势,2013年以后能耗水平呈上升趋势。总体而言,2013年以后矿物资源开采行业的能量利用率有所提高,且所消费的能量得到了充分的利用。

### (二) . 对生态系统的影响

从表3和表4可以看出,2005—2019年,石油勘探行业的碳排放总量变化幅度不大,2015年后,其碳减排率稳定地增加,这表明石油勘探行业2015年后的碳减排成效不错,在今后,其碳排放量有望持续降低。相对于石油和天然气开采行业,煤矿开采行业具有更高的碳排放权,在2013年以前,其碳排放权一直是负的,而且整体上一一直在降低。碳减排率为负值,表示当年的碳减排量比基准要大,表明2005—2013年期间,煤矿开采行业未能对碳排进行有效的管控,导致了碳排放总量的持续增长。这与我们国家能源消耗的构成密切相关。中国是一个以煤为主要的能源大国,其国民经济的发展离不开能源,因此,为了保障国民经济的快速发展,2013年以前中国的煤炭产出率

一直呈逐年上升趋势, 2009—2013 年期间出现了较大的增长, 造成了我国煤矿开采行业的大量二氧化碳排放。2013 年之后, 煤炭的生产出现了下滑, 并且, 由于国家对能源结构进行了调整, 以及对碳减排技术进行了改进, 因此, 在此基础上, 煤矿的碳减排效果逐渐得到改善, 从表 2 所示的变化规律来看, 煤矿的碳排放量将会降低到基准的程度。从整体上来说, 中国的石化资源开发行业和煤矿行业在减少二氧化碳排放方面的发展方向是一致的, 因为煤矿行业的规模是相当大的。2005—2013 年期间, 中国石油开采行业的碳排放总量在整体上呈下滑趋势, 2013 年以后, 其碳排放总量显著上升, 这表明中国石油开采行业近年来对石油开采行业的碳排放总量进行了较好的控制。如图 3 所示, 2005—2019 年度, 煤矿开采业的气流环境污染效果的衰减速率为负, 说明其气流环境污染效果一直没有恢复到基础年度的水平。然而, 从 2013 年达峰以后, 煤矿开采行业瓦斯的环境影响呈现出一种递增趋势, 表明煤矿开采行业瓦斯的环保影响呈现出逐步改善的趋势。在 2005—2019 期间, 石油天然气开发行业对大气的环境影响没有明显的改变, 2013 年以前, 大气对大气的影响在 0 附近上下浮动, 2013 年以后, 大气对大气的影响逐渐增大, 这表明中国石油天然气开发行业大气对大气的影响相对比较好。图 5 给出了石化资源产业中三种不同类型的废气对生态的影响, 三种废气对生态系统的影响在总体上是一致的, 除了少数几个年度, 煤矿采掘工业比石油和天然气采掘工业要多。它的作用是以能量产出为主的。2005—2019 年度, 煤炭的产量超过了石油和天然气的产量, 因此, 在某种意义上, 产量对该产业所需要的能量的输入产生了影响, 从而对该产业的气体污染物的排放总量产生了影响, 从而导致了与石油开发业相比, 煤矿开发业的各种气体环境环境污染效果要更好一些。然而, 因矿物资源开发利用对其生产资源的依赖性较强, 且各类型的矿物资源产生的瓦斯污染特征也不尽相同, 这三种瓦斯污染的生态影响规律也不尽相同。从整体上来说, 2013 年以前矿物资源开采行业的环境影响的衰减速率在整体上呈降低趋势, 但衰减速率一直在 0 以下; 2013 年以后, 受我国石化能源开采产业绿色发展理念的影响, 我国石化能源开采产业大气环境影响的衰减速率出现上升, 预计将回归到基础年份的水准。2007 年, 我国煤矿开采行业对水污染减少的贡献呈现了一个大幅度的下降, 为了消除“非正常”年度对整体发展的影响, 我们将 2007 年的贡献去除。由图 3 可知, 2005—2019 期间, 石油开发业的水污染贡献率变动不大, 除了 2010 之外, 其水污染削减贡献率都超过 0, 这表明石油开发业在大多数年份对整个行业的水污染削减作出了贡献。总体而言, 矿物资源开发产业的水质降解量变化与煤矿资源开发产业的水质降解量变化规律相似, 2016 以后趋于平稳。

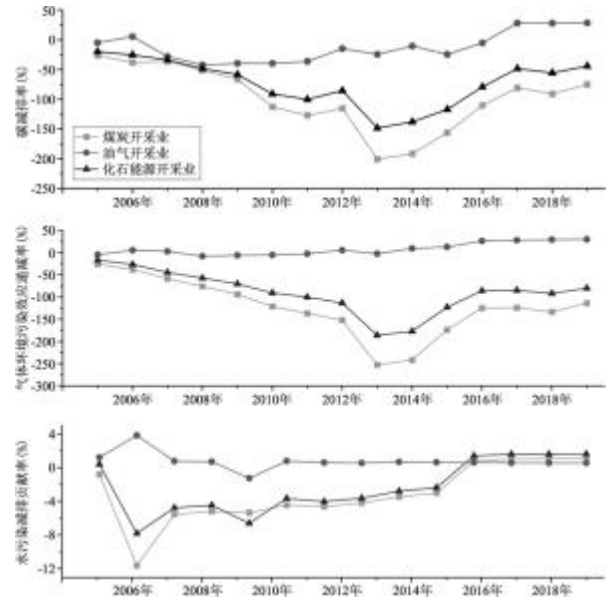


图 3 环境污染评价结果

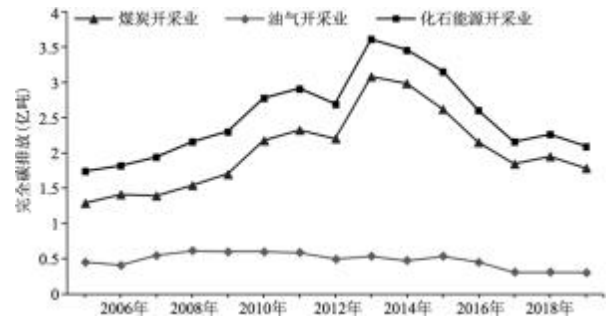


图 4 2005—2019 年化石能源开采行业及其子行业的完全碳排放情况

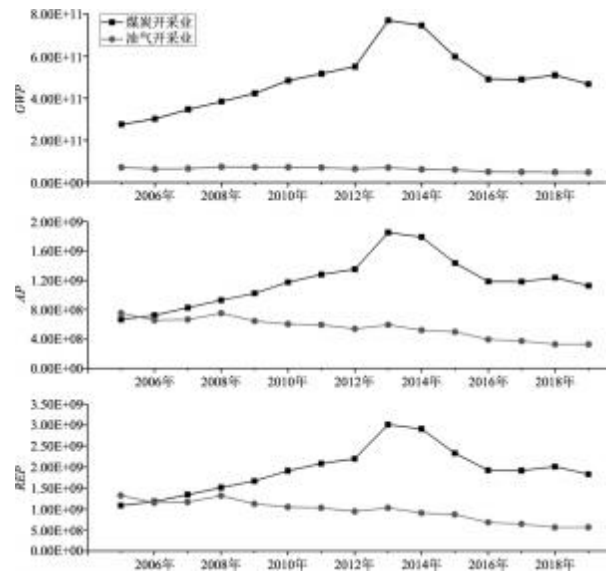


图 5 2005—2019 年化石能源开采子行业的 GWP、AP、REP

### (三) 对经济效果的评估

由图 6 可以看出, 从 2005 至 2014 年, 矿物资源开发产业及其下属产业的资金储备呈现出增加的态势。在 2005—2011

年,经济平稳地发展着,在这两个行业,分别是:煤矿开发行业和石油天然气开发行业,它们的平均增速分别为12.52%和11.21%。1999年,国家发生了一次严重的货币收缩,为了促进经济复苏,国家增加了对各个产业的投资,使得当时的资金总量保持了平稳的上升趋势。2012至2014年,随着经济的恢复,中国的发展速度越来越快,石化能源开采业及其相关产业的资金储备也开始了飞速的成长,其中,煤矿开发业的资金储备平均增速达到23.96%,石油天然气开发业的资金储备平均增速达到23.48%。在此背景下,随着新常态的到来,国家对资源的投入也发生了相应的变化。所以2014年以后,石油和天然气开发行业的资金储备稳步增长,而煤矿开发行业则出现了明显的波动性下滑。

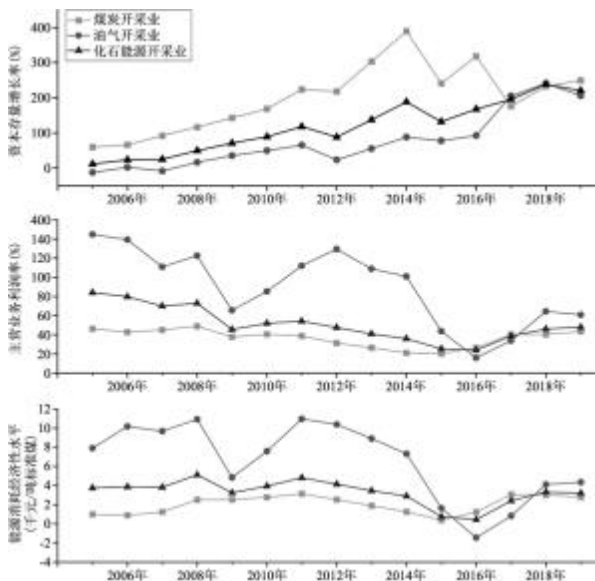


图6 经济效益评价结果

而营业收入的毛利则反映了整个产业的经营情况。而矿物资源的价值则受到了能源的价格波动的显著制约。从表6可以看出,石油和天然气的开采行业的主营业务率具有很大的波动性,在2005—2009年和2014—2016年都出现了明显的下滑。剩下的几年一直在增加;2005年至2016年,煤矿行业的主要收入来源收入整体呈下滑趋势;2005—2016年,石化能源开采业的主营业务率呈现下降趋势,2016年以后,煤矿开采业和石油开采业的主营业务利润率出现上升趋势,这表明该产业的经营情况有所改善。另外,石油和天然气开采行业能耗经济效益的波动很大,2008—2009年大幅降低,2011—2016年继续上升;煤矿行业的能耗经济指标在2005—2011年保持了持续的上升趋势,在2011—2015年出现了一个小幅的下滑之后又进入了上升态势;在2005—2019年,整体矿物能源采矿业的能耗经济效益水平波动较小,2016年以后,其发展趋势较为显著,这表明了整体行业处在一个良好的发展阶段。企业的能耗效益与企业的整体效益密切相关,而能耗效益的高低又会对企业的整体效益产生直接的影响。以石油天然气开采业为例子,2016年,石油天然气开发行业的收益总额为-567.05亿元,导致了当年

的能耗经济性为负值,其所消耗的能量并未对我国的经济发展作出贡献。

### 三、对多学科融合成果的分析

图7给出了对矿物资源开发产业和它的下属产业在2005—2019年的总体评估。在2005—2016年期间,矿物资源开发产业及其所属产业的综合评估值出现了较大的变动,但是变动幅度相对较小。2016年后,矿物能源开采业及其子行业的综合评价数据持续上上升,这表明了我国矿物能源开采业及其子行业的整体运行状态是好的。

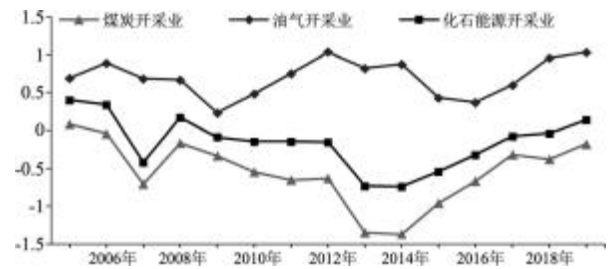


图7 化石能源开采行业及其子行业的综合评价结果

2005—2019年期间,石油和天然气开发情况显著。

制造业的综合评估总是好于煤矿行业。文章认为,这与二氧化碳的排放速率以及二氧化碳的排放速率有关。从分析的结论可以看出,对煤矿开采行业和石油开采行业的影响较大,而对石油开采行业的影响较小。其主要理由是:(1)目前国内主要以煤炭作为主要的能量来源,但国内的“绿色化”采矿技术还没有有效地应用。(2)尽管目前已经证实的原油可开采储量较少,但是由于天然气的开采和使用,中国的油气开采行业的总能量产量仍将保持上升趋势。石油和石油开采是一个消耗能量的生产工艺,而其洁净的特性使其在生产工艺中具有较高的减排率。

### 四、研究结果及对策

在考虑到净能源产量、环境污染以及经济效益这三个因素的基础上,利用两种客观赋权的方式,对中国的石化能源开发产业进行了全面的评估,从而更加直接地体现出了中国石化能源开发产业的整体运作状况,其主要的研究结果是:

(1) 评估系统的能量产出。2005—2019年度,中国石化资源开发企业及其下属产业的EROI与净能值增速总体保持稳步增长。自2013年以来,矿物资源开采和开采产业及其附属产业的能量使用量持续稳定增长。

(2) 对生态系统进行生态系统的综合评估。2005—2019年度,石油、气、天然气行业的碳削减效应和气体污染物削减力度逐步提升,大部分年度中,水污染物削减贡献率大于0,这说明水污染的防治取得了很好的成效。从2005年到2019年,煤矿开采行业上述三项指数都出现了明显的回落,随后又出现

了回升。2013年以后,这三个指数一直在增长,这表明了煤矿开采行业的碳排放和气体污染排放稳步减少,而对水污染的控制持续提高。

(3)对项目的经济效果进行评估。石油和天然气开采行业的资金储备在2005—2011年度表现出相对平稳的发展态势,而在2012—2014年度则呈现出快速发展态势。2014年以前,我国煤矿企业的资金规模稳定增长,2014年以后,由于我国的能源结构调整,其资金规模呈现波动性下滑趋势。总体而言,石油开采行业的资金储备波动有所增加。除此之外,矿物能源开采业及其子行业的主要收入增速以及能耗经济性水平受到了能量来源的物价的制约,在2005—2019年期间出现了很大的波动性,并没有能够在很长一段时期内保持上涨或下跌的态势。

(4)整体而言,矿物资源开发产业及其所属产业在2005至2019年期间的综合评估值变动幅度较小,石油和天然气开发产业的评估值一直高于煤矿开发产业。2016年之后,矿物能源开

采业及其子行业的综合评价价值持续增长,这表明了我国矿物能源开采业及其子行业在良好的发展过程中。

在得到的结论基础上,本论文给出了以下的一些建议:(1)在碳中和的背景之下,我们应该继续推动矿物能源的绿色采矿技术,加强对矿物资源的支持,并对矿物资源开发企业的环境污染进行控制,尽量减少矿物资源开发过程对环境的影响。(2)矿物资源开发行业要结合实际,不断进行技术革新,以提升矿物资源开发的效益;(3)考虑到其洁净的特性,在转换的能量中,应该更好地利用其作为一种转换的工具。当前,国内的原油生产速度有所减缓,而天然气生产则呈现出迅速增长的态势,并且在油气总量中所占的比重越来越大,目前正是发展的有利时期。我们可以将天然气进行有效的使用,从而保证我们能够对能量的供给和能量系统的稳定运转,从而应对将来可能出现的能源安全和国际价格冲击等问题。

## 参考文献

- [1] 王克强, 武英涛, 刘红梅. 中国能源开采业全要素生产率的测度框架与实证研究 [J]. 经济研究, 2013, 48(6): 127-140.
- [2] Fang CD, Cheng JH, Zhu YG, et al. Green Total Factor Productivity of Extractive Industries in China: An Explanation from Technology Heterogeneity[J]. Resources Policy, 2021, 70: 1019-1033.
- [3] 于立宏, 金玉健. 中国采矿业绿色发展的动力特征与政策启示—基于企业异质性视角 [J]. 资源科学, 2022, 44(3): 554-569.
- [4] Kong Z, Dong X, Xu B, et al. EROI Analysis for Direct Coal Liquefaction Without and with CCS: The Case of the Shenhua DCL Project in China[J]. Energies, 2015, 8(2): 786-807.
- [5] 揭俐, 王忠, 余瑞祥. 中国能源开采业碳排放脱钩效应情景模拟 [J]. 中国人口资源与环境, 2020, 30(7): 47-56.
- [6] 金语, 张国庆. 返乡创业生态系统评价指标体系构建与实证研究 [J]. 资源开发与市场, 2021, 37(1): 6-12.
- [7] Cottrell WF. Energy and Society: The Relationship Between Energy, Social Change, and Economic Development[M]. New York: McGraw-Hill, Book Company, 1955: 134-136.
- [8] Cleveland CJ, Costanza R, Charles AS, et al. Energy and the United States Economy - a Biophysical Perspective[J]. Science, 1984, 225(4665): 890-897.
- [9] Grandell L, Hall C, Hk M. Energy Return on Investment for Norwegian Oil and Gas from 1991 to 2008[J]. Sustainability, 2011, 3(11): 2050-2070.
- [10] 陈英超, 冯连勇, 王建良. 基于能值的能源投入回报方法及其应用—以大庆油田为例 [J]. 资源科学, 2016, 38(12): 2270-2282.
- [11] Sgouridis S, Carbajalesdale M, Csala D, et al. Comparative Net Energy Analysis of Renewable Electricity and Carbon Capture and Storage[J]. Nature Energy, 2019, 4: 456-465.
- [12] 胡燕, 冯连勇, 田冬. 能源生产评价新方法—能源投入回报值 [J]. 中国能源, 2011, 33(1): 22-26.
- [13] 陈英超, 冯连勇, 王建良. 基于能值的能源投入回报方法及其应用—以大庆油田为例 [J]. 资源科学, 2016, 38(12): 2270-2282.
- [14] 王大川, 周密林. 浅谈能源开采行业现状及环保型矿产资源的开发利用 [J]. 中国金属通报, 2021, (1): 245-246.
- [15] 李兴莲. 对基于可持续发展视角的煤炭经济发展分析 [J]. 财经界, 2020, (20): 18-19.
- [16] Ye QI. Accounting Embodied Carbon in Import and Export in China[J]. China Population Resources and Environment, 2008, 18(3): 8-13.
- [17] 苗艳青. 空气污染对人体健康的影响: 基于健康生产函数方法的研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, (5): 205-209.

- [18] 吴国平, 胡伟, 滕恩江, 等. 室外空气污染对成人呼吸系统健康影响的分析 [J]. 中国环境监测, 2001, (S1): 33-38.
- [19] Jing YY, Bai H, Wang JJ. Multi-objective Optimization Design and Operation Strategy Analysis of BCHP System Based on Life Cycle Assessment[J]. Energy, 2012, 37(1): 405-416.
- [20] Larsson N. Green Building Challenge' 98: International Strategic Considerations[J]. Building Research & Information, 1998, 26(2): 118-121.
- [21] Staffell L, Ingram A. Life Cycle Assessment of an Alkaline Fuel Cell CHP System[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2010, 35(6): 2491-2505.
- [22] 薛俊波, 王铮. 中国 17 部门资本存量的核算研究 [J]. 统计研究, 2007, (7): 49-54.
- [23] 李晓峰, 马诗雨, 吕廷杰. 中国分行业固定资产存量核算研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36(22): 48-52.
- [24] Dale M, Krumdieck S, Bodger P. Net Energy Yield from Production of Conventional Oil[J]. Energy Policy, 2011, 39(11): 7095-7102.
- [25] 孔朝阳. 我国油气供给的能源投入回报研究 [D]. 北京: 中国石油大学, 2017: 1-156.
- [26] 崔天航, 冯连勇. 基于 EROI 和 DEA 的中国油气开采效率评价研究 [J]. 中国矿业, 2021, 30(8): 41-49.