

# 石油矿区可持续经济效率评价体系构建及应用

袁省之, 孙竹\*, 张宝生, 杨鑫磊

中国石油大学(北京)工商管理学院, 北京 102249

\* 通信作者, zhusun1231@163.com

收稿日期: 2017-09-17

国家自然科学基金项目“页岩气开发环境影响量化评估与管理政策研究”(71503264)和国家社科基金重大项目“非常规油气开发利用对国家能源安全和社会经济的影响”(13&ZD159)联合资助

**摘要** 本文基于能值分析的方法, 构建了一套适用于石油矿区的可持续经济效率评价体系, 该体系分为复合生态系统和子系统两个层次, 分别从整体以及资源、环境、社会和经济4个具体方面评价油区生态系统的运行效率, 并以此判断矿区的经济发展趋势、环境承载能力、资源利用效率和可持续发展能力等。该体系共包含13个评价指标, 其中部分指标是针对石油矿区的特点, 依据能值分析原理创新得出。这13个指标相互补充、相互联系, 从资源、环境、社会和经济4个微观方面以及宏观方面对石油矿区复合生态系统进行评价。为检验评价体系的适用性, 本文搜集并整理了华北油田冀中矿区2005年至2014年的生产、消费和自然数据, 并将这些数据代入到石油矿区可持续经济效率评价体系中, 分析得出1) 该油区现阶段不可再生资源利用量相对较高, 资源状况已进入耗竭阶段; 2) 油区对环境保护有所投入, 但治理效率尚需提高; 3) 当地经济处于平稳上升态势, 未来会有更多的发展契机。此外, 本文建立的油区可持续经济效率评价系统可以应用于其他油区的可持续发展能力评价, 对处于各发展阶段的油区, 尤其是进入资源耗竭阶段的老油区更有适用性。

**关键词** 可持续经济效率; 能值分析; 评价体系; 华北油田

近年来, 我国经济快速发展, 社会和谐稳定, 国际影响力日益提高, 全国各行各业均呈现出一片大好的发展局面。作为祖国蓬勃发展的主要动力之一, 我国石油工业为此做出的贡献是不容小觑的。回首建国初期, 我国各领域发展均处在起步阶段, 对化石能源表现出巨大需求。因此, 国家对各大油田的石油产量提出了很高的要求, 在这样的生产压力下, 许多油田忽略了环境问题, 采取了粗犷的资源开采方式。由于长期的破坏性开采, 这些油田的资源可持续开发、环境污染和油城发展等方面的问题逐渐显现出来<sup>[1]</sup>。因此, 我国老油田如何提高资源利用效率, 改善油区生态系统的发展现状, 实现油田经济的可持续发展, 已成为亟待解决的问题<sup>[2-3]</sup>。

当前, 学术研究领域对可持续发展问题的研究范围很广, 在能源领域的研究也在逐年增多, 这些研究均反映出在过去几十年的发展过程中, 我国能源行业不仅为我国带来了经济效益, 同时也带来了环境问题和资源问题<sup>[4]</sup>。然而, 这些研究往往是宏观的, 从微观角度研究油田矿区可持续发展问题的成果却少之又少。在能值分析理论的相关研究方面, 本文分析得出当前大多数文章将该方法应用于煤炭矿区<sup>[5-6]</sup>、资源型城市<sup>[7-8]</sup>、生态旅游城市<sup>[9]</sup>和生态农业城市<sup>[10-11]</sup>的研究中, 相比之下, 针对石油矿区的研究尚为空白。因此, 本文则针对这一研究空白, 力图通过构建一套可持续经济效率评价体系, 对环境、资源、经济和社会等方面的问题进行具体分析, 并据此对油区当前发

引用格式: 袁省之, 孙竹, 张宝生, 杨鑫磊. 石油矿区可持续经济效率评价体系构建及应用. 石油科学通报, 2018, 03: 354-368

YUAN Xingzhi, SUN Zhu, ZHANG Baosheng, YANG Xinlei. Evaluation of sustainable economic efficiency in oilfields. Petroleum Science Bulletin, 2018, 03: 354-368. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2018.03.032

展过程中遇到的问题采取相应的解决办法。相比其他评价方法,能值分析理论更适用于评价一个完整的可持续生态系统<sup>[12]</sup>。因此,本文将能值分析方法应用于构建油区的可持续经济效率评级体系,从而分析出油区现存的环境、资源、经济和社会等各类问题,并据此提出政策建议。

## 1 可持续经济效率的定义

可持续经济理论包含可持续发展理论和可持续经济增长理论<sup>[13]</sup>。从定义上分析,前者是将环境、资源、人力资本和社会效益等各方面进行协同发展,而后者则是坚持在保证经济增长的前提下,力图实现生态系统的可持续发展<sup>[14-15]</sup>。尽管可持续发展理论认为经济发展已不再是未来发展的唯一目标,但经济发展会对就业、文化、医疗、生活环境、社会福利等多方面均产生巨大影响,所以其重要性仍不容忽视。因此,在可持续发展的前提下,本文提出了“可持续经济效率”一词。可持续经济效率,从狭义上讲是生态系统在实现系统自身可持续发展的状况下,对系统内生产经营状况、生产力发展水平或者生产技术先进性的评价。而从广义上讲,是对生态系统中的资源、环境、社会、人力、技术等方面经济效率变化程度的评价。

## 2 能值分析方法及其优势

1987年,美国著名系统生态学家H.T.Odum最先将能值概念引入生态经济学的研究中<sup>[16]</sup>,而在此之前,学术界对生态系统的研究一直采用能量分析方法,能量分析是学术界衡量能量流动、转化与储存的主要方法。Odum对研究方法的改进,实现了从能量理论向能值理论的跨越,无论是从理论研究还是方法研究来看都是一次重大的突破<sup>[17]</sup>。严茂超作为国内最早引入能值算法的学者,对能值理论在我国的应用和发展做出突出贡献<sup>[18]</sup>。

相比发展已相对成熟的能量分析方法,能值分析的优势是十分明显的,其优势主要有以下三点:1)可将不同性质的能量进行比较和数量研究;2)将太阳能、雨水能、潮汐能等自然资源纳入能量投入的计算中,体现生态效益;3)可以同时衡量自然价值和经济价值。

因此,本文选择将能值分析方法引入对油田矿区可持续经济效率的评价中,对油区生态系统中的资源

利用效率、经济发展程度、环境承载能力和社会发展水平等方面进行综合评价和分析。

## 3 主要研究方法

本文主要是通过前往油田生产一线调研,并结合使用数据库、统计年鉴等方法搜集数据。由于本文构建的可持续经济效率评价体系主要是应用于油田矿区生态系统,且本文第五部分的分析主要是针对华北油田冀中油田展开,因此,现场调研主要是在油区基层进行,具体调研地点与对象主要为:

(1)2016年4月,前往中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司计划规划处调研,搜集冀中油区相关生产数据,并了解油区未来发展方向。

(2)2016年6月,前往中国石油天然气股份有限公司华北石化分公司调研。针对冀中油区的整个油品炼化、运输和排污情况与一线技术工人和各部室领导进行访谈,并搜集相关资料。

(3)2016年6月,前往中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司第一采油厂调研,了解和学习原油开采、运输及相关过程的排污情况。

## 4 油区可持续经济效率评价体系的建立

作为资源型行业,石油与煤炭、有色金属等其他资源一样,具有资源型行业典型的发展模式和特点。但通过进一步对比可以看出,石油行业又具有其他资源行业不具备的特征:1)石油生产中包含勘探、开发、开采和炼化等阶段,而炼化过程是其他资源生产中不具有的。在这个过程中会产生大量废弃物,会对环境产生巨大影响;2)一座石油城的石油生产和油区生活往往是紧密相关的,常常是石油工人哪里生产,工人家属就在哪里生活。因此,石油生产会对油区的环境、经济和社会生活产生巨大的影响。一直以来,传统油区为快速实现经济效益而采取的破坏性开采方式使得许多老油田进入资源耗竭阶段,与此同时,由此带来的环境污染也已经成为影响油区居民生存发展的重要障碍。因此,老油田的可持续经济发展和资源型城市转型问题已成为人们关注的焦点<sup>[19-20]</sup>。

### 4.1 评价体系构建依据

在当前形势下,传统油区的未来发展问题已经成为人们关注的焦点。以往的诸多研究已经充分证明,过去粗放的资源开采方式已经对油区生态环境造成了

恶劣的影响。然而,人们对油区现在所面临的严峻形势的认识仅仅停留在宏观层面,而对具体问题的认识程度依旧不足。如此一来,构建一套可以从宏观和微观两个层面评价石油矿区可持续经济效率的体系就十分必要。而油田矿区可持续经济效率评价体系的构建,不仅可以从各个角度对油区现存问题进行分析,还可以根据具体分析结果对油区未来发展方向提出指导性的意见和建议。因此,为实现在同一评价标准下从多个角度、多个方面对石油矿区进行研究,本文选择运用能值分析方法,从资源、环境、社会和经济的微观角度和宏观角度两个层次建立油区可持续经济效率评价体系。

#### 4.2 评价体系设计思路

为实现对石油矿区的资源利用效率、环境承载能力、经济发展水平以及可持续发展能力等多方面的评价,本文将不同能值指标按照复合生态系统和子系统(包括资源子系统、环境子系统、社会子系统和经济子系统)两个层次对能值指标进行划分和归类,以期实现在各子系统内部效率评价的基础上对复合生态系统的效率进行评价。与一般能值分析中的系统分类不同,由于本文分析的对象是石油矿区生态系统,因此,整个复合生态系统的能值流动全部紧紧围绕石油资源。因此,除一般生态系统中普遍涉及的环境、社会和经

济三个子系统外,本文将资源子系统纳入了讨论范围。具体见图1。

从微观角度看,四个子系统互相影响、互相联系,各子系统内的能量自由流动。例如,环境子系统中的资源类能量流向资源子系统,进一步转换成资金形式流入经济子系统,最后流入社会子系统,并在社会子系统的运行中发挥作用。而在社会子系统中产生的废弃物又流入环境子系统,为消除这些废物对环境的负面影响,会产生负的经济效应,又体现为经济子系统的能量流出,而循环利用后得到的资源又以能量的形式流入资源子系统。因此,四个系统之间是相互交叉、相互联系的。

具体来看,在资源子系统的指标构建过程中,本文选择了3个指标。其中,资源消耗率用于评价油区系统内的资源利用效率,石油资源产出率则反映石油产出效率,而可更新资源能值比则从可更新资源的角度,对系统内的不同类别能源占比进行评价。而环境子系统的评价指标选择主要是环境负荷率和废弃物与可再生资源能值比。前者用于衡量油区生态系统的环境承载力度,后者则具体到分析废弃物排放对油区生态系统造成的环境压力。在社会子系统的指标构建过程中,本文选择了衡量地区居民生活水平的人均能值用量和评价土地在系统发展中起到作用大小的能值功率密度指标。在选择经济子系统的评价指标时,

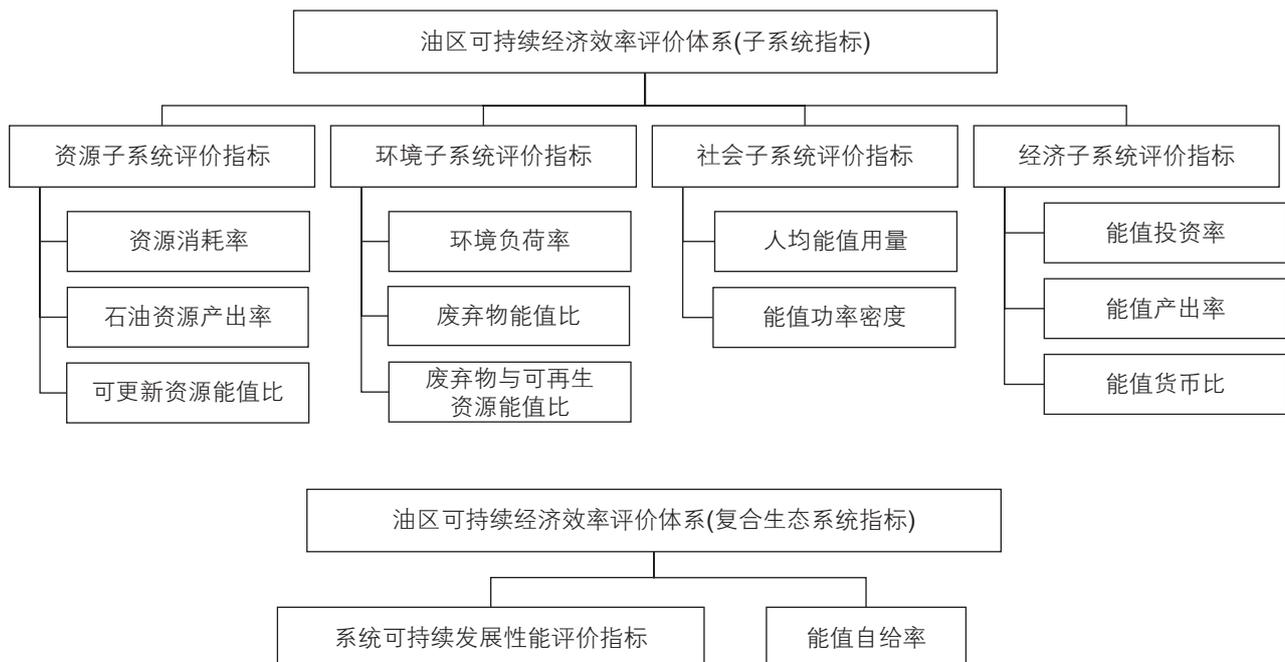


图1 评价体系设计思路

Fig. 1 Evaluation system design ideas figure

本文将能值投资率、能值产出率和能值货币比纳入指标体系的构建中。其中,能值投资率和能值产出率相结合,可以用于评价油区生态系统内的能值产投效率,而能值货币比则用于衡量系统内无偿自然资源的投入效率,从而评价系统的经济发展水平。

从宏观角度看,本文选择系统可持续发展性能评价指标和能值自给率指标作为油区复合生态系统层次的主要评价指标。前者用于评价被研究对象的社会经济效益和可持续发展能力,后者则衡量油区生态系统中资源的自我支持能力。

具体指标如表 1。

## 5 评价体系在华北油田冀中矿区的应用

为检验上述可持续经济效率评价体系的合理性和适用性,本文将该体系应用于具有古潜山特点的华北油田冀中油区。

### 5.1 油区系统地域范围的界定及数据选取依据

华北油田是中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司的简称,自 1975 年起投入勘探开发,主要从事石油天然气勘探和生产、集输及储运、勘探开发工艺研究及规划研究等业务。其注册油气勘探区域主要

集中在冀中地区、内蒙古中部地区和冀南—南华北地区等探区、山西沁水盆地。

本文使用的油区可持续经济效率评价体系是针对一个完整地域面积的生态循环系统进行分析评价,因此选取了华北油田的冀中矿区为研究对象。考虑到该矿区的产油作业区主要集中在采油一厂、采油二厂、采油三厂、采油四厂和采油五厂,从行政区域的划分来看,冀中矿区的作业区主要分布在廊坊、保定、石家庄、沧州和衡水五市,因此将该五市作为一个整体确定为可持续经济效率体系的具体应用范围。表 2 列出了华北油田冀中矿区采油一厂、二厂、三厂、四厂和五厂的采油作业区所在的县市,其具体分布状况如图 2。

### 5.2 油区可持续经济效率评价体系应用

通过对华北油田冀中矿区原始数据进行搜集和整理,根据表 1 中各个指标的计算公式,计算出各指标历年的具体数值(见附表 1),并对这些指标的变化趋势进行研究,从而对该矿区的资源、环境、社会和经济 4 个子系统的发展程度以及油区复合生态系统的整体运行效率进行进一步的分析。

#### 5.2.1 资源子系统评价指标

在资源子系统中,资源消耗率反映的是华北油田冀中矿区自然资源的产投效率问题,该指标从资源子

表 1 评价指标一览表

Table 1 List of evaluation indicators

系统分类	指标选择	计算公式
资源子系统	资源消耗率(RCR)	$RCR=EmU/Y$
	石油资源产出率(PRYR)	$PRYR=PO/EmU$
	可更新资源能值比(RER)	$RER=EmR/EmU$
环境子系统	环境负荷率(ELR)	$ELR=(EmU-EmR)/EmR_1$
	废弃物能值比(WVR)	$WVR=W/EmU$
	废弃物与可再生资源能值比(WER)	$WER=W/EmR$
社会子系统	人均能值用量(EPP)	$EPP=EmU/P$
	能值功率密度(EPD)	$EPD=EmU/S$
经济子系统	能值投资率(EIR)	$EIR=EmF/(EmR+EmN)$
	能值产出率(EYR)	$EYR=EmT/EmF$
	能值货币比(EMR)	$EMR=EmU/GDP$
复合生态系统	系统可持续发展性能评价指标(EISD)	$EISD=(EYR \times EER)/ELR$
	能值自给率(ESR)	$ESR=(EmN+EmR)/EmU$

注: EmU 为一定时间内石油矿区复合生态系统内所消耗能值流量总和,即系统投入的总能值(单位 sej); Y 为系统产出能值,包括石油等的产出(sej); PO 为一定时间内石油矿区产出的石油资源能值量(sej); EmR 为石油矿区复合生态系统内可再生资源能值(sej)总量; EmR<sub>1</sub> 是系统内可更新资源的能值总量(sej); W 表示系统排放的废弃物能值总量(sej); P 为石油矿区复合生态系统内人口数量(人); S 为石油矿区复合生态系统的土地面积(m<sup>2</sup>); EmF 为经济系统反馈投入能值(sej); EmN 为不可更新资源能值投入量(sej); EmT 为系统内年能值总流量; GDP 为一定时间内,石油矿区复合生态系统生产的价值总和(元)。

表2 华北油田冀中矿区作业区分布表

Table 2 Huabei Jizhong oilfield's working area distribution

厂区名称	作业区所在地
采油一厂	任丘
采油二厂	霸州、雄县、文安、永清、固安
采油三厂	河间、肃宁、献县、任丘、饶阳、武强、高阳、蠡县
采油四厂	廊坊
采油五厂	深州、辛集、晋州

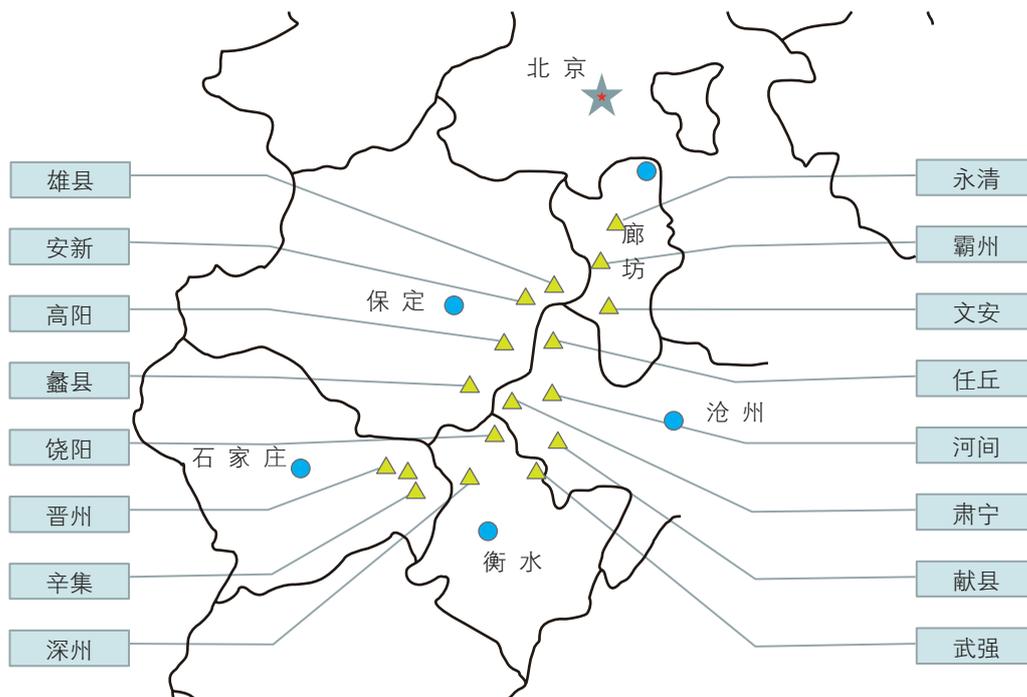


图2 华北油田冀中矿区作业区分布图

Fig. 2 Huabei Jizhong oilfield's working area distribution

系统内部的宏观角度评价冀中矿区的资源利用效率情况。针对石油矿区设置的石油资源产出率则直接体现了冀中矿区的石油生产能力，从该指标可以看出冀中矿区未来的石油生产状况和发展趋势。而可更新资源能值比反映的则是冀中矿区内部可更新资源的使用情况，从而体现该矿区的能源利用结构。具体分析如下。

#### (1) 资源消耗率(RCR)

图3是华北油田冀中矿区2005年至2014年资源消耗率的趋势变化图，该油区在此10年间，资源消耗率由2005年的124.77%迅速下降至2014年的48.84%。资源消耗率反映的是油区内经济活动使用的自然资源和社会反馈资源的效率：2005年前后，油区

资源消耗率较高，直接反映了该地区存在资源开发利用不当，产业结构和生产布局不合理等现象；但是，经过十年来的技术进步、政策改革和产业结构调整，油区的资源利用效率和社会反馈资源效率得到提高，因此资源消耗率有了明显下降。

#### (2) 石油资源产出率(PRYR)

通过观察图4，可以从两个方面分析华北油田冀中矿区的石油生产情况。一方面，从各年的石油资源产出率的具体数值来看，该矿区的石油生产能力急剧下降。回望1979年，华北油田原油产量突破1733万t，创下了华北油田最辉煌的生产巅峰，成为国内油田中名副其实的“油老三”。然而，近些年来，由于开采难度逐年增加，原油质量逐年下降，勘探开发成本的

逐年上升,具有古潜山油田特点的华北油田冀中矿区原油净能源产量<sup>①</sup>持续走低,形势不容乐观。另一方面,从近十年来石油资源产出率的变化趋势来看,该指标变化率达到37.5%,由此可见油区的原油开采量持续下降,且下降趋势十分明显。从这两方面可以看出,华北油田冀中矿区的经济转型问题亟待解决。

### (3)可更新资源能值比(RER)

图5是可更新资源能值比的变化趋势图,2005年,油区复合生态系统的可更新能值比率相对乐观,在64.55%左右。近年来,各地方政府对当地经济发展水平的要求越来越高,而2008年又遭遇了全球性的金融危机。因此,为维持当地经济的平稳发展,走出经济困境,人们忽略了环境成本问题,选择利用经济成本相对较低的不可再生资源,因此不可再生资源利用

量大幅提高。由可更新资源能值比持续下降的变化趋势来看,华北油田冀中矿区的经济结构和资源利用结构明显不合理,现行的经济发展模式是不利于该地区实现可持续发展的。

### 5.2.2 环境子系统评价指标

环境子系统评价指标中,环境负荷率主要是从宏观角度分析华北油田冀中矿区的环境承载能力与环境保护力度。而影响环境的主要因素是废物外排与循环利用问题,因此废弃物能值比和废弃物与可再生资源能值比两个指标则主要分析废物对油区生态系统造成的影响。具体分析如下。

#### (1)环境负荷率(ELR)

由图6分析可得,自2005年起,华北油田冀中矿区生态系统的环境负荷率逐年提高,尽管在2011年至

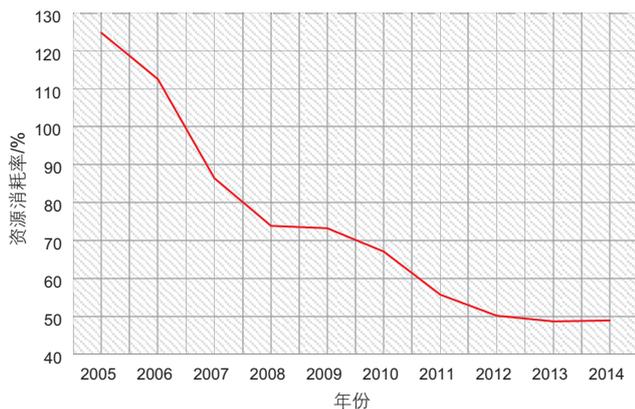


图3 2005—2014年冀中矿区资源消耗率  
Fig. 3 Jizhong oilfield's RCR in 2005-2014

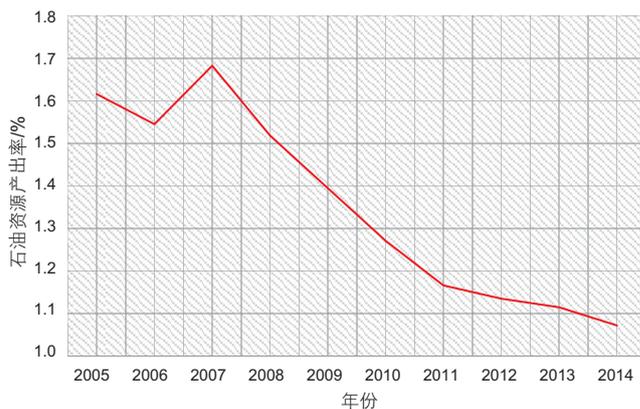


图4 2005—2014年冀中矿区石油资源产出率  
Fig. 4 Jizhong oilfield's PRYR in 2005-2014

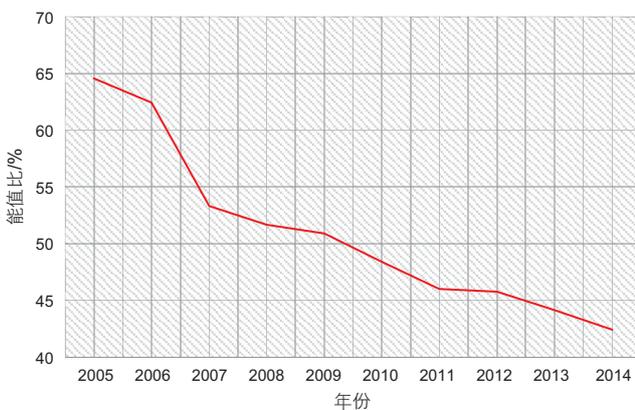


图5 2005—2014年冀中矿区可更新资源能值比  
Fig. 5 Jizhong oilfield's RER in 2005-2014

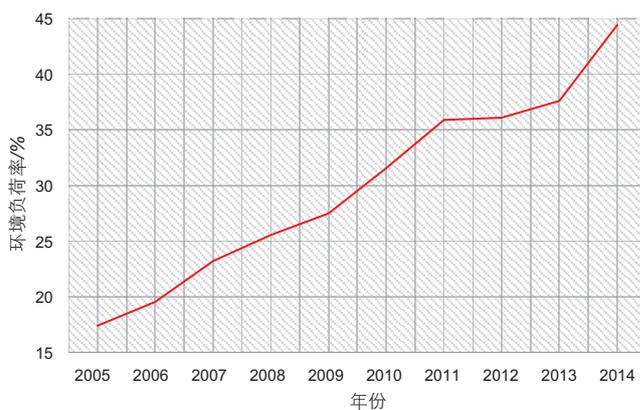


图6 2005—2014年冀中矿区环境负荷率  
Fig. 6 Jizhong oilfield's ELR in 2005-2014

① 净能源是指,在除去开采过程中的能源投入量后,能源开采带来的实际生产量。换句话说,在能源开采过程中会有能源的投入与消费,而人们往往只看到了能源开采后的产量,却忽略了生产中这部分能源成本,尤其是在资源枯竭的老油区,原油开采过程中能源消耗很大,因此,这部分能源投入是应当考虑的。

2012年上升速度放缓,但在2013年后又有较大幅度的增长。就冀中油田现阶段的发展模式分析,该油田依旧以油气勘探、开发、生产与炼化等传统业务为主要的经济收益来源,成熟的产业链可以保证华北油田的经济效益和稳定收入,因此,自2005年起,该系统经济发展速度较为平稳,走势良好,但伴随传统资源经济发展而来的环境压力也在逐年升高。

### (2) 废弃物能值比(WVR)

由图7所示,近十年来,矿区能值系统中废弃物能值比在1.7%至3.7%之间变动,2005年至2006年,废弃物能值比有明显上升,由此可以看出废弃物排放量的上升;在2006年至2008年,废弃物排放量逐渐降低,其原因在于全球金融危机导致的国内油气行业经济形势的不景气,且国家在北京奥运会举办前两年对北京、天津和河北等地区工业污染排放标准提出了更高要求,因此废弃物排放有了明显减少。尽管在2009年至2012年间该数值有所上升,但上升幅度较小;自2012年起,废弃物能值比的变化呈明显下降的趋势。根据该结果分析,华北油田冀中矿区作为资源型城市群,其废弃物能值与一般城市相比更高,废弃物的主要来源除一般工业生产产生的废水、废气和废物等,还主要包括石油的炼化和加工造成的废弃物排放。但是,由于近年来国家将对环境保护的重视程度逐年提高,同时出台了相关的政策和法律法规,企业也意识到节能减排的重要性,加大了在环境保护方面的投资力度,因此,矿区生态系统中的废弃物排放量逐年减少,环境保护初见成效。

### (3) 废弃物与可再生资源能值比(WER)

由图8可以看出,废弃物与可再生资源能值比(WER)在2005年至2012年呈现整体波动上升的趋势,其中值得注意的是,在2006年至2008年的三年中,

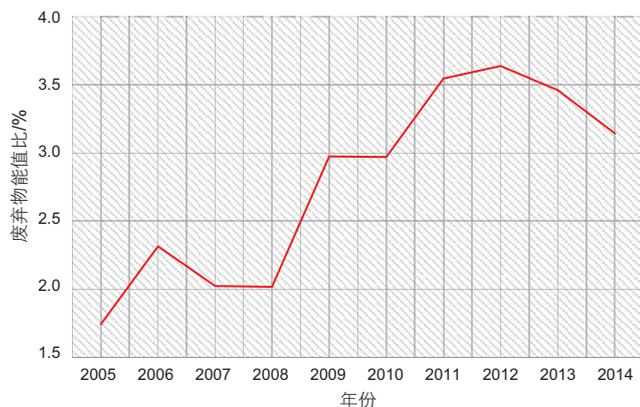


图7 2005—2014年冀中矿区废弃物能值比  
Fig. 7 Jizhong oilfield's WVR in 2005-2014

该指标呈下降趋势。该趋势说明在此期间,华北油田冀中矿区为配合首都北京实现“蓝天下办奥运”的承诺,加大了环境治理力度,污染情况得到缓解。但在2008年后,该地区污染程度迅速上升,主要是由于全球范围内金融危机导致的经济下行压力引起的工业生产大幅度增加,使得废气、废物和废渣排放量均有较大程度的提高。但是,近年来国家加大了对环境保护的重视程度,认识到“资源型老城”和“工业型老城”转型的重要性,华北油田冀中矿区所在城市群作为“资源型老城”,其环境治理问题得到了国家和地方政府的重视,为资源型老城实现可持续发展和产业转型提供政策、资金和技术等方面的支持。近年来,华北油田为响应国家提出的可持续发展战略,实现油区的产业结构调整,推动可再生能源发展,积极开发并利用地热能,逐步实现城市供热的地热化,进一步推动油区的绿色发展。因此,该系统内的环境负荷在逐年降低,油区未来的可持续发展呈现乐观态势。

### 5.2.3 社会子系统评价指标

可持续经济发展就是在提高人类当前阶段的生活水平的同时,保证子孙后代拥有一个适宜生存和发展的生活环境。因此,人均能值用量用于评价当前阶段油区生态系统中油区居民的消费水平和生活质量状况。而能值功率密度则用来分析冀中油区当前的地理、区位情况与未来发展之间的关系。

#### (1) 人均能值用量(EPP)

由图9分析得出,油区复合生态系统内部人均能值用量逐年增加,且在2008至2011年迅速增长,由此可以看出油区内部经济迅速发展,消费水平逐年提高,油区人民的生活质量逐年上升,也反映出自2008年金融危机后,油区经济形势逐渐回暖,发展速度逐步回升。

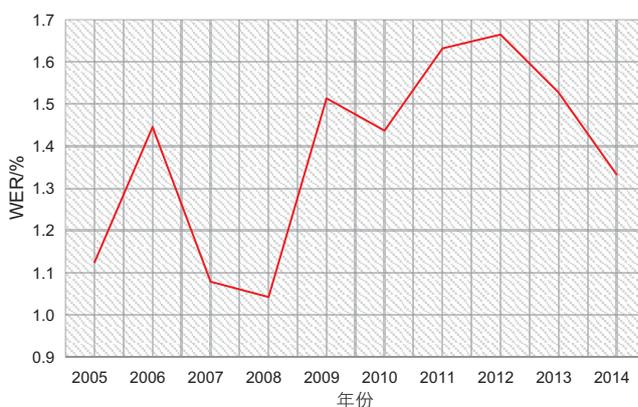


图8 2005—2014年冀中矿区废弃物与可更新资源能值比  
Fig. 8 Jizhong oilfield's WER in 2005-2014

## (2) 能值功率密度 (EPD)

图 10 是能值功率密度的趋势图, 根据该图本文从具体数值和变化趋势两方面分析华北油田冀中矿区的社会发展水平和经济发展能力。就该指标每年的具体数值分析, 华北油田冀中矿区所在的复合生态系统能值利用量较低, 经济水平相对较差, 与周边的北京、天津等地相差甚多; 但是, 就能值功率密度的变化趋势而言, 直接反映出该系统单位面积下的能值利用量在逐年升高, 表明该系统经济活动逐渐频繁, 能值创造能力逐步增强。在国家的“京津冀一体化”战略下, 华北油田冀中矿区将会进入经济快速发展阶段。

### 5.2.4 经济子系统评价指标

经济子系统指标用来评价油区生态系统的经济运行效率和发展水平。具体到华北油田冀中矿区而言, 能值投资率是从能值投入的角度对油区经济发展状况进行分析, 该指标是经济子系统层面的宏观评价指标,

而能值产出率则从经济反馈的角度展开分析, 能值货币比则可以直观反映冀中油区的经济发展状况。

## (1) 能值投资率 (EIR)

由图 11 分析得出, 在 2005 年至 2009 年间, 能值投资率一直低于 1, 由此可以看出, 矿区系统内能值使用效率较低, 经济发展状况并不乐观; 但自 2010 年起, 能值投资率高于 1, 并呈现持续增长态势。到 2014 年, 该指标的增长率达到 133%, 能值投资量的迅速增长意味着油区生态系统外部的能值投入逐渐增多, 对本地资源的依赖程度也逐年降低。(来自外部经济的反馈能值通常是科技、信息和资金等具有较高能值转换率的能量, 能够对当地物质和能量的流动和转化起到控制作用。)由此可以分析得出, 华北油田矿区未来经济发展状况良好。

## (2) 能值产出率 (EYR)

图 12 是华北油田冀中油区能值产出率的趋势图,

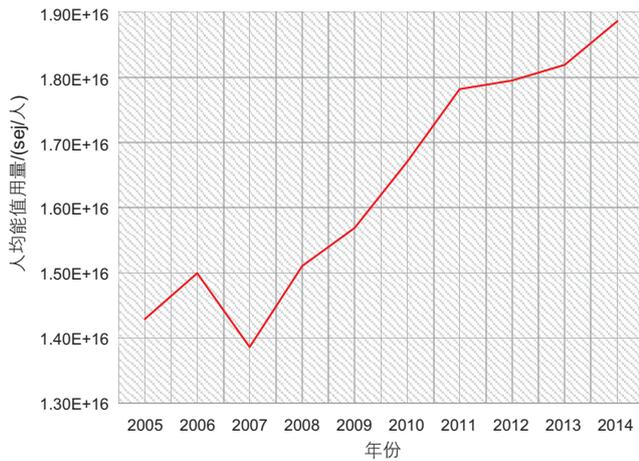


图 9 2005—2014 年冀中矿区人均能值用量

Fig. 9 Jizhong oilfield's EPP in 2005-2014

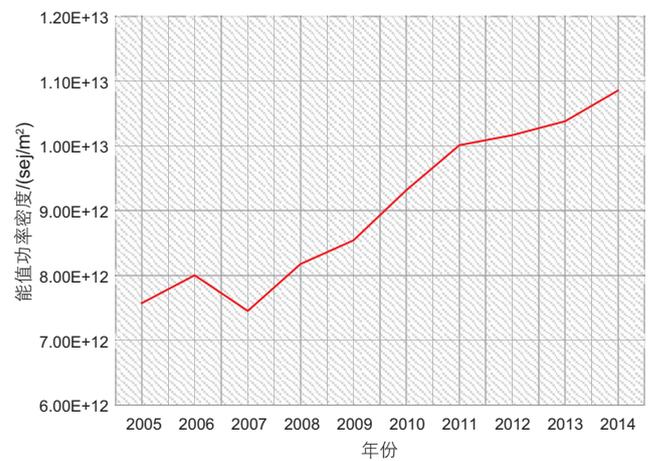


图 10 2005—2014 年冀中矿区能值功率密度

Fig. 10 Jizhong oilfield's EPD in 2005-2014

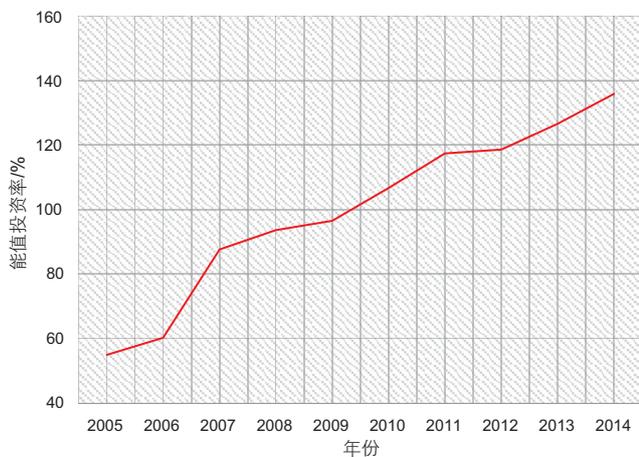


图 11 2005—2014 年冀中矿区能值投资率

Fig. 11 Jizhong oilfield's EIR in 2005-2014

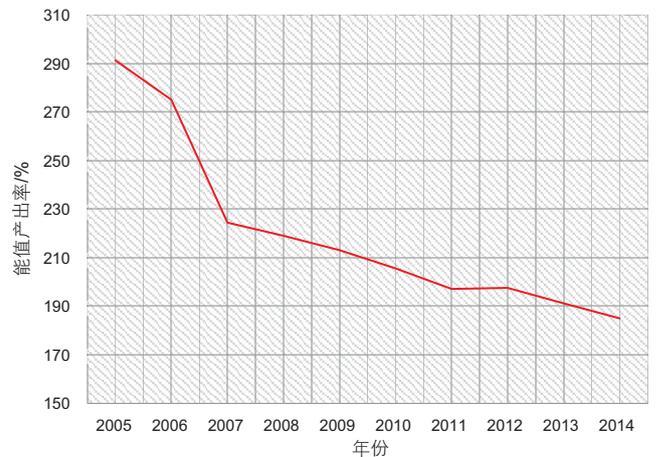


图 12 2005—2014 年冀中矿区能值产出率

Fig. 12 Jizhong oilfield's EYR in 2005-2014

可以由此图看出,冀中油区的能值产出率自2005年以来呈持续下降状态。由于能值产出率反映的是冀中油区内能值的“产投比”,因此,可以分析得出,在2005至2014年间,华北油田冀中矿区的能值产投效率逐年提高,经济发展水平持续上升,油区系统内的运行效率也逐年提高。

### (3) 能值货币比(EMR)

由图13中能值货币比的变化趋势可以看出,华北油田矿区的能值货币比率逐年降低,且变化十分显著。系统中能值货币比越高,意味着单位货币可以购买的自然资源越多,即系统中无偿的自然资源获取量越大,也就意味着经济发展程度越低。由此可以看出,在2005至2012年间,冀中矿区生态系统的经济发达程度逐年升高,经济保持持续增长,但增长速率却在逐渐降低。在2012至2014年间,该指标趋于稳定不变的态势,意味着油区经济发展遇到瓶颈和障碍,而

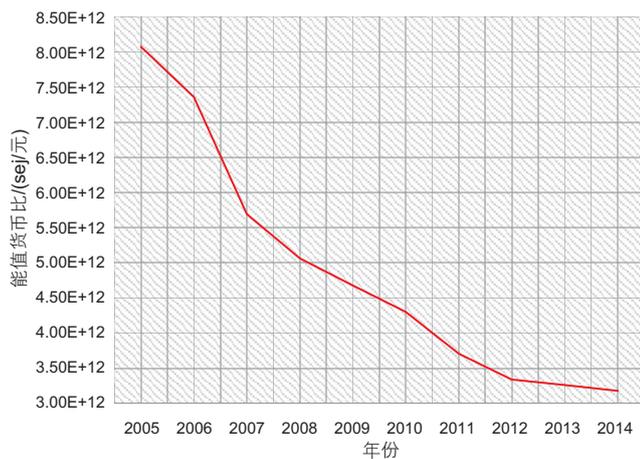


图 13 2005—2014 年冀中矿区能值货币比

Fig. 13 Jizhong oilfield's EMR in 2005-2014

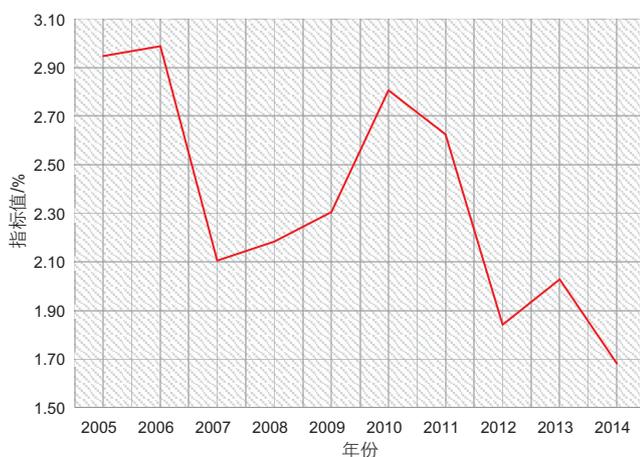


图 14 2005—2014 年冀中矿区可持续发展性能评价指标

Fig. 14 Jizhong oilfield's EISD in 2005-2014

造成经济增速放缓的主要原因在于油区产业结构过于单一,此外,油区的资源禀赋状况又导致很难实现其他产业的发展。

### 5.2.5 复合生态系统评价指标

前文的分析是从微观角度对华北油田冀中矿区的资源、环境、社会和经济四个方面进行研究和评价。而本节讨论的系统可持续发展性能评价指标和能值自给率两个指标,是从宏观角度对该矿区进行研究。具体分析如下。

#### (1) 系统可持续发展性能评价指标(EISD)

由图14可以看出华北油田冀中矿区的系统可持续发展性能评价指标自2005至2014年的整体变化趋势是呈波动下降的,通过分析其指标构成可以看出,华北油田冀中矿区的社会效益逐年提高,系统内的可持续发展能力得到了改善,但变化趋势并不十分明显。

#### (2) 能值自给率(ESR)

由图15可以看出,华北油田冀中矿区的能值自给率在2005至2014年期间均在96%以上,这是资源型城市的普遍特点,由此可以反映出,在这十年间,油区资源系统在不可更新能源方面具有很强的支持能力。2005年,能值自给率几乎接近1,而此后各年呈现缓慢下降的趋势。由此趋势分析得出,矿区自身丰富的矿产资源和可更新资源能够满足当地经济发展的需要,对外界资源的依赖性很小,油田矿区依靠当地的自然资源促进矿区的经济发展。尽管该指标有所下降,但是仍可以看出,油气生产仍然是该油田未来经济发展的支柱,实现油区经济的产业转型难度很大。

## 5.3 实证分析结论

通过计算以上13个能值指标,将华北油田冀中矿

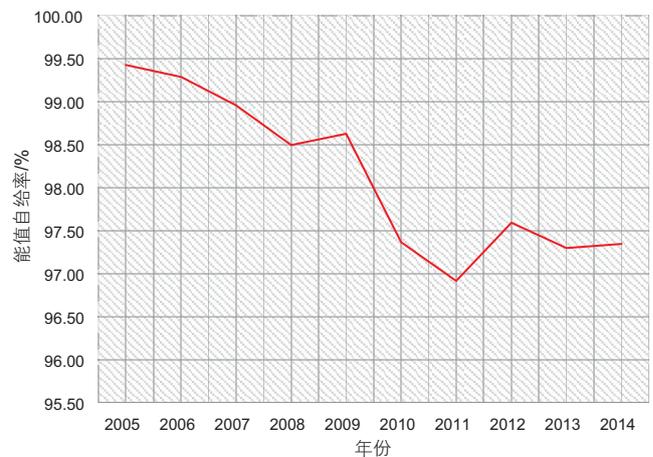


图 15 2005—2014 年冀中矿区能值自给率

Fig. 15 Jizhong oilfield's ESR in 2005-2014

区从资源、环境、经济和社会4个子系统的微观方面,以及复合生态系统的宏观方面进行了细致的分析,并得出了以下结论:

(1)通过分析废弃物能值比和废弃物与可再生能值比,可以看出:近几年来,由于政府部门的严格监管和企业环保意识的不断提高,华北油田冀中油区系统内的废弃物排放量有所减少,但是由于基数太大,下降速度不明显,环境治理效率尚需提高。

(2)可更新能值的利用量降低表明,为了快速提高经济发展速度和社会生活水平,降低生产成本,油区复合生态系统内的各类生产和加工更倾向于选择使用不可再生资源而非清洁环保的可再生资源。

(3)作为具有明显古潜山油田特征的华北油田冀中矿区,近年来石油开采量逐年下降,资源开发形势不容乐观。石油资源产出率的变化趋势直接反映出该油区资源情况已不容乐观,系统外部的资源投入逐年增多,应加快油区所在城市的产业结构调整和经济转型。

(4)由能值功率密度可以看出,该地区内系统能值利用效率偏低,应考虑适当调整经济发展模式,提高能值利用效率。除此之外,土地作为该资源城市群的优势性经济要素,将成为有利于该地区经济发展的关键因素。国家倡导的“京津冀一体化”战略,将进一步推动该地区经济向又好又快的方向发展,不仅如此,经济发展受到地域面积限制的北京也将从中获利,获得更好的发展契机。

(5)从各个指标的变化趋势来看,华北油田冀中矿区所在的资源城市群的经济形势良好,速度虽然较为缓慢,但呈现平稳上升的态势。互惠互利的“京津冀一体化”战略,使得该地区有了更多的经济发展机会,但随之而来的环境压力也逐渐上升,维持系统可持续发展的难度也会逐渐加大。

## 6 结论

本文建立了针对油田矿区的可持续经济效率评价体系,并选择华北油田冀中矿区作为应用对象来检验该体系的适用性。通过前文分析,本文得出以下4点结论:

第一,本文构建的可持续经济效率评价体系是对油区当前的资源利用状况、环境承载能力、社会发展水平和经济运行效率等进行全面系统评价的工具。与此同时,通过对各个指标进行趋势性分析,可以进一步分析判断油区复合生态系统未来的可持续发展能力,

给出资源型城市转型的政策建议,并据此检验评价体系的适用性。

第二,本文将油区可持续经济效率评价体系分为子系统和复合生态系统两个层次。子系统层次包括资源、环境、社会和经济4个微观方面,复合生态系统层次从宏观的角度评价油区整体运行效率和社会发程度。两个层次自上而下相互补充,全面评价油区循环经济效率和可持续发展能力。

在各子系统和复合生态系统的指标选择上遵循互补原则,可以全面地评价被研究系统。例如,在资源子系统中,本文选择资源消耗率作为宏观评价资源子系统运行效率的指标;同时,构建石油资源产出率指标,用该指标反映油区资源的产出效率及变化趋势,判断该油区所面临的资源困境及其转型的必要性;除此之外,本文选择可更新资源能值比用于分析油区生态系统的资源结构。

第三,华北油田是典型的古潜山油田,本文将油区可持续经济效率评价体系应用到该油田的冀中矿区。通过从资源、环境、社会和经济方面对华北油田冀中矿区做出评价,可以看出,本文的计算和分析结果与该油田现实情况相符。通过分析可以看出,该油区现阶段不可再生资源利用量相对较高,油区资源状况已进入耗竭阶段;油区对环境保护有所投入,但治理效率尚需提高;当地经济处于平稳上升态势,结合“京津冀一体化”战略,该地区会有更多的发展契机。

第四,本文建立的油区可持续经济效率评价系统可以应用于其他油区的可持续发展能力评价。该体系可以分析被研究油区的资源利用效率,环境承载能力,经济发展水平和社会发水平,对处于各发展阶段的油区,尤其是进入资源耗竭阶段的老油区更有适用性。

综上所述,本文利用能值分析的方法,建立了一套适用于油区可持续经济效率的评价体系,该体系构建了复合生态系统的评价指标,并进一步细化,对资源、环境、社会和经济四个子系统的评价指标进行了选择和构建。通过两个层次的分析,可以全面评价被研究系统的经济发展状况、社会生活水平和可持续发展能力等。通过具体应用可以看出,华北油田冀中矿区所在城市群作为典型的资源型城市,面临着巨大的转型压力和环境压力。这样的资源型城市应充分利用自身的资源优势,抓住有利于自身发展的政策契机,逐步迈向具有可持续发展特色的城市转型之路。

## 参考文献

- [1] 关睿. 我国资源型城市的可持续发展研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2010:35-92. [GUAN R. Study on sustainable development of resource based cities in China[D]. Qingdao: Qingdao University, 2010:35-92.]
- [2] ZHANG W, WANG D. Discussion on characteristics of urbanization of Chinese resource-based city and the path selection in promoting its development[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2014, 8(1):144-152.
- [3] ZUO G. Challenges to sustainability of resource-exhausted cities: A case study of Lengshuijiang, China[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2015.
- [4] 李新春, 彭红军, 赵晶. 煤炭资源型城市发展对策研究[J]. *软科学*, 2006, 20(3):40-41. [LI X C, PENG H J, ZHAO J, Studying the development strategy for the city of coal resource type[J]. *Soft Science*, 2006, 20(3):40-41.]
- [5] 王广成, 李鹏飞, 王茜, 等. 基于能值分析的煤炭矿区复合生态系统评价[J]. *生态学报*, 2015, 35(13):4367-4376. [WANG G C, LI P F, WANG H, et al. Assessments of integrated ecosystems in mining areas based on emergy analysis[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(13): 4367-4376.]
- [6] 卞丽丽. 循环型煤炭矿区发展机制及能值评估[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011: 27-70. [BIAN L L. Development mechanism and emergy evaluation of circular-type coal mining area[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011: 27-70.]
- [7] 黄永斌, 董锁成, 李泽红. 基于能值分析的资源型城市新陈代谢水平评价——以石嘴山市为例[J]. *资源科学*, 2015, 37(8):1621-1628. [HUANG Y B, DONG S C, LI Z H. Urban metabolism evaluation of resource-based cities using emergy synthesis: a case study in Shizuishan city[J]. *Resources Science*, 2015, 37(8):1621-1628.]
- [8] 李俊莉, 曹明明. 基于能值分析的资源型城市循环经济发展水平评价——以榆林市为例[J]. *干旱区地理(汉文版)*, 2013, 36(3):528-535. [LI J L, CAO M M. Evaluation on development level of circular economy of resource-based city with the emergy theory: a case of Yulin city[J]. *Arid Land Geography*, 2013, 36(3):528-535.]
- [9] 李洪波, 李燕燕. 武夷山自然保护区生态旅游系统能值分析[J]. *生态学报*, 2009, 29(11):5869-5876. [LI H B, LI Y Y. An emergy analysis on the ecotourism system of Wuyishan natural reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11):5869-5876.]
- [10] YONG J. Early warning of agricultural ecological security based on the emergy analysis in Wu'an city[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6):319-323.
- [11] FU X, WU G, SHANG W, et al. Emergy analysis of agricultural eco-economic system in Chaoyang City, Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8):902-906.
- [12] BROWN M T, Herendeen R A. Embodied energy analysis and EMERGY analysis: A comparative view[J]. *Ecological Economics*, 1996, 19(3):219-235.
- [13] 陈艳莹. 可持续经济增长的实现机理研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2004. [CHEN Y Y. Study on the realization mechanism of sustainable economic growth[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004.]
- [14] 苏宁. 可持续经济增长模式理论回顾与发展[J]. *皖西学院学报*, 2001, 17(4):11-15. [SUN N. Review and development of the theory of sustainable economic growth model[J]. *Journal of Wanxi University*, 2001, 17(4):11-15.]
- [15] 王娟. 对构建可持续经济增长模式问题探讨[D]. 保定: 河北大学, 2006. [WANG J. The discussion to construct the sustainable economy growth pattern[D]. Baoding: Hebei University, 2006.]
- [16] ODUM H T. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making[J]. *Child Development*, 1996, 42(4):1187-201.
- [17] 崔风暴, 钟玉锋, 徐鹏. 论能值分析理论研究新进程及展望[J]. *生产力研究*, 2009(24): 248-250. [CUI F B, ZHONG Y F, XU P. New progress and prospect of emergy analysis theory[J]. *Productivity Research*, 2009(24): 248-250.]
- [18] 严茂超, H T ODUM. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究[J]. *自然资源学报*, 1998, 02: 20-29. [YAN M C, ODUM H T. A study of emergy evaluation and sustainable development of Tibetan eco-economic system[J]. *Journal of Nature Resources*, 1998, 02: 20-29.]
- [19] YU C, LI H, JIA X, et al. Improving resource utilization efficiency in China's mineral resource-based cities: A case study of Chengde, Hebei province[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2015, 94(1):1-10.
- [20] 颜丙占. 基于能值理论的资源枯竭型城市产业投融资研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014. [YAN B Z. The research on investment and financing about industries of resource-exhausted cities based on emergy analysis-Taking Tongchuan as an example[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.]

附表1 华北油田冀中矿区2005—2014年能值评估表

单位: sej<sup>1</sup>

编号	项目	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
可更新资源 <sup>2</sup>											
1	太阳辐射能	3.39E+20	3.42E+20	3.42E+20	3.47E+20	3.54E+20	3.55E+20	3.49E+20	3.44E+20	3.41E+20	3.38E+20
2	雨水化学能	3.19E+21	3.12E+21	3.04E+21	3.19E+21	3.15E+21	3.22E+21	3.12E+21	3.22E+21	3.27E+21	2.52E+21
3	风能	3.64E+20	3.62E+20	3.65E+20	3.66E+20	3.65E+20	3.66E+20	3.66E+20	3.65E+20	3.66E+20	3.64E+20
4	地球旋转能	5.00E+21	5.05E+21	5.05E+21	5.02E+21	5.04E+21	5.00E+21	5.02E+21	5.04E+21	5.04E+21	5.05E+21
5	雨水势能	4.81E+20	4.99E+20	4.58E+20	5.53E+20	4.95E+20	5.52E+20	5.11E+20	5.16E+20	5.23E+20	4.03E+20
6	河水化学能	8.83E+20	8.76E+20	7.28E+20	8.33E+20	7.66E+20	6.57E+20	6.65E+20	6.86E+20	7.31E+20	7.10E+20
7	河水势能	2.56E+19	2.54E+19	2.25E+19	2.38E+19	2.31E+19	2.21E+19	2.25E+19	2.26E+19	2.29E+19	2.29E+19
小计		1.03E+22	1.03E+22	1.00E+22	1.03E+22	1.02E+22	1.02E+22	1.01E+22	1.02E+22	1.03E+22	9.40E+21
本地可更新资源 <sup>3</sup>											
8	蔬菜	4.01E+21	4.04E+21	3.79E+21	3.94E+21	3.90E+21	4.01E+21	4.01E+21	3.68E+21	4.03E+21	4.34E+21
9	水果	1.56E+22	1.62E+22	1.65E+22	1.71E+22	1.86E+22	1.86E+22	1.90E+22	2.11E+22	2.11E+22	2.22E+22
10	禽蛋	6.56E+22	6.54E+22	5.57E+22	5.80E+22	6.03E+22	6.30E+22	6.44E+22	6.47E+22	6.33E+22	6.35E+22
11	猪肉	9.96E+22	1.03E+23	6.60E+22	7.23E+22	7.72E+22	8.25E+22	8.44E+22	8.67E+22	8.40E+22	8.64E+22
12	油料	3.41E+22	3.36E+22	3.18E+22	3.34E+22	3.27E+22	3.25E+22	3.19E+22	3.22E+22	3.34E+22	3.28E+22
13	花生	1.46E+21	1.45E+21	1.38E+21	1.44E+21	1.41E+21	1.41E+21	1.38E+21	1.37E+21	1.37E+21	1.34E+21
14	禽肉	8.78E+21	9.12E+21	6.50E+21	6.87E+21	7.36E+21	8.16E+21	9.62E+21	8.94E+21	9.03E+21	9.19E+21
15	牛肉	3.20E+22	3.28E+22	1.86E+22	1.92E+22	1.98E+22	2.06E+22	2.09E+22	2.09E+22	1.98E+22	1.89E+22
16	棉花	8.98E+21	9.15E+21	9.25E+21	1.03E+22	9.31E+21	8.82E+21	9.55E+21	8.71E+21	8.14E+21	7.39E+21
17	水产品	4.54E+21	4.87E+21	4.07E+21	4.34E+21	4.49E+21	4.58E+21	4.68E+21	4.74E+21	4.70E+21	4.82E+21
18	羊肉	7.64E+21	7.80E+21	5.06E+21	5.32E+21	5.54E+21	5.89E+21	6.04E+21	6.05E+21	6.01E+21	6.19E+21
19	芝麻	2.38E+19	2.29E+19	1.94E+19	1.88E+19	1.77E+19	1.67E+19	1.63E+19	1.50E+19	1.43E+19	1.33E+19
20	玉米	6.56E+21	6.85E+21	7.04E+21	7.63E+21	7.94E+21	8.48E+21	8.90E+21	8.57E+21	8.45E+21	7.73E+21
21	小麦	7.06E+21	7.15E+21	7.41E+21	7.53E+21	7.71E+21	7.66E+21	8.05E+21	8.21E+21	8.16E+21	8.29E+21
22	奶类	1.10E+22	1.24E+22	1.51E+22	1.68E+22	1.74E+22	1.88E+22	1.98E+22	2.02E+22	2.00E+22	2.09E+22
23	薯类	1.05E+19	1.11E+19	8.15E+18	8.70E+18	8.88E+18	9.06E+18	7.97E+18	7.97E+18	7.79E+18	6.89E+18
24	豆类	8.97E+21	9.21E+21	6.79E+21	7.27E+21	6.30E+21	5.82E+21	4.61E+21	4.12E+21	4.12E+21	3.88E+21
25	麻类	1.22E+16	2.44E+16	3.25E+16	2.84E+16	8.12E+15	1.35E+15	1.22E+16	6.76E+15	6.76E+15	5.41E+15
26	稻谷	1.82E+19	1.82E+19	9.09E+18							
小计		3.16E+23	3.23E+23	2.55E+23	2.72E+23	2.80E+23	2.91E+23	2.97E+23	3.00E+23	2.96E+23	2.98E+23
不可更新资源 <sup>4</sup>											
27	电力 <sup>5</sup>	4.65E+22	5.64E+22	7.08E+22	8.22E+22	8.86E+22	1.01E+23	1.15E+23	1.16E+23	1.21E+23	1.29E+23
28	焦炭	8.24E+21	8.72E+21	1.07E+22	1.19E+22	1.41E+22	1.39E+22	1.68E+22	2.26E+22	3.04E+22	3.71E+22
29	煤炭	3.97E+21	5.78E+21	6.80E+21	7.66E+21	8.73E+21	1.01E+22	1.23E+22	7.59E+21	7.95E+21	1.13E+22
30	氮肥 <sup>6</sup>	3.99E+17	4.03E+17	4.02E+17	4.00E+17	3.95E+17	3.96E+17	3.97E+17	3.98E+17	3.79E+17	3.78E+17
31	汽油	3.31E+21	5.31E+21	5.37E+21	7.18E+21	8.66E+21	9.64E+21	1.12E+22	1.19E+22	1.33E+22	1.30E+22
32	柴油	3.04E+21	4.87E+21	5.48E+21	8.29E+21	1.06E+22	1.14E+22	1.27E+22	8.14E+21	8.33E+21	8.86E+21
33	复合肥	1.05E+14	1.07E+14	1.11E+14	1.14E+14	1.17E+14	1.25E+14	1.29E+14	1.33E+14	1.28E+14	1.34E+14
34	磷肥	4.66E+17	4.69E+17	4.69E+17	4.55E+17	4.64E+17	4.64E+17	4.66E+17	4.60E+17	4.38E+17	4.34E+17
35	钾肥	1.88E+16	1.91E+16	1.99E+16	2.06E+16	2.09E+16	2.12E+16	2.16E+16	2.17E+16	2.22E+16	2.26E+16

续表

编号	项目	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
36	燃料油	3.41E+20	6.07E+20	3.40E+20	2.27E+20	2.65E+20	2.46E+20	2.66E+20	2.18E+20	5.24E+20	3.19E+20
37	农膜	2.25E+15	2.30E+15	2.31E+15	2.39E+15	2.45E+15	2.44E+15	2.48E+15	2.59E+15	2.54E+15	2.87E+15
38	煤气	1.63E+14	2.21E+14	3.36E+14	3.96E+14	3.65E+14	3.90E+14	4.89E+15	6.60E+15	8.35E+15	1.03E+16
39	农药	7.70E+19	1.89E+20	7.82E+19	8.15E+19	8.18E+19	7.92E+19	7.70E+19	7.84E+19	8.06E+19	8.11E+19
40	原煤	8.46E+22	8.97E+22	1.01E+23	1.05E+23	1.09E+23	1.25E+23	1.38E+23	1.49E+23	1.53E+23	1.63E+23
41	原油	2.48E+22	2.33E+22	2.41E+22	2.93E+22	2.96E+22	3.01E+22	3.11E+22	3.29E+22	2.91E+22	3.08E+22
42	天然气	1.45E+21	1.93E+21	1.85E+21	3.06E+21	2.10E+21	2.83E+21	3.07E+21	3.65E+21	4.04E+21	4.40E+21
43	液化石油气	5.82E+19	1.68E+20	1.45E+20	5.82E+20	5.78E+20	6.41E+20	3.15E+20	3.60E+20	3.75E+20	4.01E+20
44	液化天然气	5.80E+12	1.78E+13	2.04E+13	2.71E+13	3.96E+13	4.30E+13	3.91E+13	4.70E+13	4.16E+13	7.57E+13
小计		1.76E+23	1.97E+23	2.27E+23	2.56E+23	2.72E+23	3.05E+23	3.40E+23	3.52E+23	3.68E+23	3.98E+23
货币流 <sup>7</sup>											
45	GDP	9.08E+23	1.05E+24	1.27E+24	1.56E+24	1.77E+24	2.10E+24	2.62E+24	2.95E+24	3.09E+24	3.31E+24
46	出口额	1.65E+22	1.80E+22	2.39E+22	3.23E+22	2.64E+22	3.80E+22	4.31E+22	4.85E+22	4.69E+22	4.76E+22
47	进口额	2.91E+21	3.83E+21	5.21E+21	8.22E+21	7.84E+21	1.64E+22	2.06E+22	1.63E+22	1.87E+22	1.92E+22
48	利用外资	1.81E+21	2.00E+21	2.34E+21	2.68E+21	2.76E+21	2.56E+21	3.03E+21	4.25E+21	4.81E+21	5.45E+21
49	人口	1.84E+24	1.85E+24	1.87E+24	1.88E+24	1.89E+24	1.94E+24	1.95E+24	1.97E+24	1.98E+24	2.00E+24
小计		2.77E+24	2.93E+24	3.16E+24	3.49E+24	3.70E+24	4.09E+24	4.63E+24	4.98E+24	5.14E+24	5.38E+24
废物流 <sup>8</sup>											
50	废水	3.11E+21	3.27E+21	3.10E+21	2.89E+21	2.87E+21	3.16E+21	3.66E+21	3.85E+21	3.45E+21	3.11E+21
51	废气	2.50E+21	4.30E+21	2.20E+21	2.74E+21	5.70E+21	5.70E+21	7.16E+21	7.38E+21	7.05E+21	6.48E+21
52	废物	8.20E+19	1.52E+20	6.72E+19	5.67E+19	6.05E+19	7.50E+19	8.76E+19	6.96E+19	8.70E+19	7.95E+19
小计		5.69E+21	7.73E+21	5.37E+21	5.69E+21	8.63E+21	8.94E+21	1.09E+22	1.13E+22	1.06E+22	9.66E+21

1 sej为太阳能值的单位。

2 可更新资源的数据是依照Odum(1996)整理的能量计算公式和能值转换率计算得出,在此要感谢中国石油大学(北京)信息学院地球物理专业周延鑫博士的支持和帮助。

3 本表中本地可更新资源的每一个数值都是通过查询河北省保定市、石家庄市、衡水市、沧州市和廊坊市五市统计年鉴中的基础数据并加总后,乘以各类产品相应的能值折算系数能值转换率,得出最终数值。如2005年该五市的蔬菜量分别为12,701,456、5,981,419、4,222,323、8,309,075、4,191,823吨,能量折算系数为2500000J/Kg,能值转换率为45300sej/J。因此,表中蔬菜2005年能值量的计算过程是:(12,701,456+5,981,419+4,222,323+8,309,075+4,191,823)\*1000\*2500000\*45300=4.01E+21sej。表中本地可更新资源中2005-2014年每个产品的每个数值均按此方法计算得出。

4 在整理五个市不可更新资源中的原煤、煤炭、焦炭、天然气、原油、柴油、汽油、燃料油、煤气、液化石油气、液化天然气和电力的原始数据时,该五市的统计年鉴中并没有直接体现能源消耗的值,而是分为规模以上工业企业耗能、规模以下工业企业耗能和和其他行业耗能,因此,该类数据的计算过程增加了能源消耗的基础数据汇总过程。基础数据汇总后的计算过程与本地可更新资源的计算过程相同。除以上12项外,其余不可更新资源的计算过程与本地可更新资源的计算过程相同。

5 本表中电力的来源主要是通过火力发电,因此,在能值计算过程中选择使用的是火力发电方式下的能量折算系数和能值转换率。

6 本表中的氮肥、磷肥、钾肥以及复合肥的能值量均按照折纯法计算,计算过程中选择了折纯法下的能量折算系数和能值转换率。

7 本表中货币流的计算过程与本地可更新资源相同。

8 本表中废物流的计算过程与本地可更新资源相同。

附表 2 2005—2014 年各指标计算结果汇总表

具体指标	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
资源子系统										
资源消耗率/%	124.77	112.57	86.44	73.87	73.20	67.05	55.64	50.17	48.62	48.84
石油资源产出率/%	1.62	1.55	1.68	1.52	1.39	1.27	1.17	1.13	1.11	1.07
可更新资源能值比率/%	64.55	62.43	53.29	51.64	50.89	48.37	46.00	45.74	44.14	42.40
环境子系统										
环境负荷率/%	17.42	19.55	23.23	25.55	27.49	31.58	35.91	36.10	37.62	44.42
废弃物与可更新能值比/%	1.74	2.32	2.02	2.02	2.97	2.97	3.55	3.64	3.46	3.14
社会子系统										
人均能值用量/(sej/人)	1.43E+16	1.50E+16	1.39E+16	1.51E+16	1.57E+16	1.67E+16	1.78E+16	1.80E+16	1.82E+16	1.89E+16
能值功率密度/(sej/m <sup>2</sup> )	7.57E+12	8.00E+12	7.45E+12	8.17E+12	8.54E+12	9.32E+12	1.00E+13	1.02E+13	1.04E+13	1.09E+13
经济子系统										
能值投资率/%	54.92	60.19	87.64	93.63	96.51	106.73	117.38	118.61	126.56	135.86
能值产出率/%	291.29	275.11	224.38	219.03	213.02	205.53	197.13	197.48	191.13	185.01
能值货币比率/(sej/元)	8.07E+12	7.36E+12	5.69E+12	5.06E+12	4.68E+12	4.30E+12	3.70E+12	3.34E+12	3.26E+12	3.18E+12
复合生态系统										
可持续发展性能指标/%	2.95	2.99	2.11	2.18	2.31	2.81	2.63	1.84	2.03	1.68
能值自给率/%	99.42	99.28	98.95	98.49	98.63	97.36	96.92	97.59	97.30	97.35

## Evaluation of sustainable economic efficiency in oilfields

YUAN Xingzhi, SUN Zhu, ZHANG Baosheng, YANG Xinlei

*School of Business Administration, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China*

**Abstract** Based on the emergy analysis method, this paper constructs a set of systems for evaluation of the sustainable economic efficiency of oilfields. The evaluation system is divided into two levels; a complex ecosystem and a subsystem. The complex ecosystem evaluates the oilfields' ecosystems from a macro perspective. And the subsystem evaluates the sustainable economic efficiency of oilfields' ecosystems in terms of resources, environment, society and economy. Based on the evaluation system results, we can judge the economic development trend, the environmental carrying capacity, the resource utilization efficiency and the sustainable development capacity of oil fields. The evaluation system contains 13 evaluation indicators. Some evaluation indicators are suggested on the basis of the characteristics of the oilfields and the principles of emergy analysis. These indicators are complementary and interrelated. They comprehensively evaluate the complex ecosystem of oil fields from four microcosmic aspects of resources, environment, society and economy. In order to test the applicability of the evaluation system, we collected and compiled the production, consumption and environmental data of the Jizhong block in the Huabei oilfield from 2005 to 2014. And fed these data into the evaluation system for oilfields' sustainable economic efficiency. The results show: 1) The current non-renewable resources utilization in the oilfield is relatively high, which reflects that the oilfield has entered the depletion period. 2) The oilfield has invested in environmental protection, but the protection efficiency needs to be improved. 3) The local economy is in a steady upward trend. And there will be more development opportunities in the future. In addition, the evaluation system can be applied to the entire Huabei oilfield and also for other oilfields. It is applicable to oilfields at all stages of development, and especially old oilfields that have entered the depletion period.

**Keywords** sustained economy efficiency; emergy analysis; evaluation system; Huabei oilfield

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2018.03.032

(编辑 付娟娟)