

基于能值的哈萨克斯坦可持续发展评价

李海涛¹, 李明阳^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 运用能值方法分析2014—2018年哈萨克斯坦的资源利用和可持续发展状况。结果表明: 哈萨克斯坦的总能值使用量约有89.94%依赖于本土不可更新资源, 且直接出口大量粗加工原材料(如石油、矿产、金属等)。该国能值货币比率较低($9.50 \times 10^{11} \sim 1.22 \times 10^{12}$ sej/\$), 单位货币所购买能值量较小; 能值产出率在16.87~26.11范围内波动, 从基于能值的可持续发展指数来看, 2014年该指数为0.90, 系统发展缺乏可持续性; 2015—2018年, 该指数高于1, 系统发展是可持续的。此外, 哈萨克斯坦环境负荷较高, 主要由于对本土不可更新资源的开采及利用效率较低。对此, 提出了加强可再生资源开发力度、提升资源利用效率、改善对外贸易结构等建议, 以期为促进哈萨克斯坦的可持续发展提供科学依据。

关键词: 能值理论; 可持续发展; 哈萨克斯坦

哈萨克斯坦占地面积约为中亚五国的68.60%, 石油矿产资源储量多, 为工农业生产提供了优越的自然条件。自2010年起, 哈萨克斯坦迎合国际市场需求, 不断提高贸易出口额, GDP开始出现强劲增长态势, 由2010年的 1.48×10^{11} \$增长至2014年的 2.21×10^{11} \$, 虽然自2015年开始出现缓慢下降趋势, 但其整体经济发展状况位居中亚五国首位。此外, 中哈两国的经济贸易往来密切, 了解其资源利用及可持续发展现状, 对两国的友好合作关系具有重要战略意义。

20世纪80年代, 生态学家Odum建立能值(Emergy)理论, 为定量分析区域可持续发展状况提供了理论基础^[1]。能值分析方法能客观反映自然和人类经济活动的内在规律, 给区域可持续发展评估提供了比较尺度^[2]。具代表性的可持续发展评价及能值分析主要有董孝斌等^[3]对内蒙古生态经济系统的能值利用、环境负载及可持续发展状态等进行的系统分析, 并提出提高资源利用效率等政策建议; Li等^[4]基于能值方法对1995—2012年蒙古进行了资源利用结构、经济贸易状况和可持续性研究, 指出蒙古经济易受到世界经济下滑的影响, 在对外贸易中处于不利地位; 除此之外, 还有严茂超等^[5]利用能值方法评估了西藏的可持续发展状况、Ulgiati等^[6]针对意大利的自然及经济系统进行了能值分析、Campbell等^[7]利用能值方法对西弗吉尼亚州的分析、窦睿音等^[8]对榆林市进行的能值分析等。能值分析方法与环境可持续性指数^[9]、系统评估指数^[10]和生态足迹^[11,12]等评估方法不同的是, 该方法打破了生态系统分析及经济社会分析间的屏障, 解决了不同类别能量之间难以比较、计算的问题, 能够衡量自然生态系统、社会系统和经济系统的产品与服务

收稿日期: 2019-11-13; 修订日期: 2020-04-06

基金项目: 中国科学院A类战略性先导科技专项(XDA20010301)

作者简介: 李海涛(1968-), 男, 山东荣成人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为能值理论与环境核算。

E-mail: liht@jgsnrr.ac.cn

的真实价值，并依据分析结果提出政策建议，以实现理论研究 with 决策应用之间的联系。截至目前，没有利用能值分析方法评估2014—2018年哈萨克斯坦可持续发展状况的研究。本文将从以下两方面计算并探究哈萨克斯坦能值利用及可持续发展状况，有针对性地结合研究结果给出建议，以期为促进该国可持续发展提供科学依据。

(1) 利用搜集到的2014—2018年哈萨克斯坦自然地理、社会、经济数据，计算其主要资源流动的能值数据及能值指标；

(2) 根据指标的时间序列结果，揭示哈萨克斯坦的资源利用结构、对外贸易状况及可持续发展状况。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

1.1.1 地理区位 with 自然资源环境特征

哈萨克斯坦 (55°26'~40°56'N, 45°27'~87°18'E) 位于亚洲中部内陆，占地面积 $2.92 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13]，北部与俄罗斯接壤，南临乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦，东部与中国相邻。境内多平原、低地，东部和东南部多山地。哈萨克斯坦有4.8万多个湖泊，多数为咸水湖，河流8.5万多条，主要为内流河，如锡尔河、乌拉尔河、楚河等^[14]。哈萨克斯坦为典型的大陆性气候，1月平均气温-19~-4℃，7月平均气温19~26℃。全年降雨量较少，山区较多为1000~2000 mm^[13]。

哈萨克斯坦石油矿产能源占比较大，其中石油储量 $4.80 \times 10^9 \text{ t}$ ，矿藏90多种。该国推行以石油、天然气发掘为主的经济发展方略，对油气资源的开发力度较大，且大量出口国外，极大地促进了哈萨克斯坦的经济发展。除此之外，风能、太阳能等可再生资源丰富^[15]，可利用性强，能弥补因大量开采矿石资源带来的生态环境压力及解决因国内电力短缺带来的人民生活生活等问题。

1.1.2 社会经济状况

1996年后，哈萨克斯坦宏观经济形势良好，正积极稳步向系统可持续发展迈进。2018年底，哈萨克斯坦总人口数约为184万人，国民经济生产总值由2014年的 2.21×10^{11} \$ 下降至2018年的 1.71×10^{11} \$，较2011—2013年的强劲发展态势有所回落，这与2015年后哈萨克斯坦货币贬值、通货膨胀等现象有关。尽管如此，哈萨克斯坦2014—2018年的经济总量仍占中亚五国的58.98%~64.24%^[13]，是中亚地区最大的经济体。依据其自然资源储量丰富，在经济转型期大力开采石油、天然气等资源来发展本国经济^[16]，但在制造业、农业等产业中存在资金、技术投入量较低，产业发展不均衡的现象。除此之外，哈萨克斯坦对外输出大量低附加值的原材料，外贸结构较为单一。

1.2 研究方法

Odum^[17]将能值 (Emergy) 定义为：产品或劳务形成过程中直接和间接投入的一种有效能量。太阳能值转换率 (Transformity) 将不同性质的能量流动，转化为太阳能值 (单位为 Solar emjoules, sej)，提供了比较各性质能量的定量尺度。计算公式^[17]如下：

$$\text{Emergy flow} = \text{Energy flow} \times \text{Transformity} \quad (1)$$

本文所用能值基线 (Emergy Baseline) 为 Brown 等^[18]2016年提出的 12.0×10^{24} sej/a，

对于其他基准获得的能值转换率,可通过乘以两基线的比率进行转化。

能值分析以能值分析表及能量系统图为基础,展示系统内物质交换、能量转化过程,依据能值指标评价体系,有效衡量自然和人类在生产产品和提供服务方面的效果,为系统结构功能的定量分析研究、资源利用效率评估分析及国家方针政策的拟定等提供具有指导意义的科学依据。

针对哈萨克斯坦的能值分析及可持续发展评价将依据五个步骤进行:

- (1) 收集哈萨克斯坦2014—2018年的自然地理、社会、经济数据;
- (2) 绘制哈萨克斯坦能值系统图;
- (3) 编制哈萨克斯坦的主要资源流动能值分析表和能值指标分析表;
- (4) 依据上述计算结果,评估其资源利用、对外贸易及可持续发展状况;
- (5) 给出应对措施及建议。

1.3 数据来源

本文基于《哈萨克斯坦统计年鉴》(2014—2018年)、哈萨克斯坦政府网(<http://stat.gov.kz/>)、世界银行数据库(<https://data.worldbank.org.cn/>)、联合国粮农组织网站(<http://www.fao.org/faostat/>)、联合国贸易商品统计数据库(<https://comtrade.un.org/>)和国际环境核算数据库(National Environmental Accounting Database, <https://emergy-nead.com/>)、中国国家统计局(<http://www.stats.gov.cn/>)、宏观经济数据库(<https://www.ceicdata.com/>)等提供的数据进行计算分析。

2 结果分析

2.1 能值分析

哈萨克斯坦能值系统图(图1)的边界为国界,图中实线和箭头为沟通各组分的能流路线,虚线表示货币流通路线,综合反映哈萨克斯坦的能量流动情况,并以此编制主要资源能值流动分析表(表1)和能值指标分析表(表2)。系统中的主要资源投入由可更新资源、不可更新资源、进出口商品等构成。为避免重复计算,可更新资源以所占比例最大的水资源能量为准,数值约为 6.97×10^{22} sej。集约使用的不可更新资源中,以煤炭和天然气的使用量最大,约占不可更新资源使用量的50.07%左右。金属资源占进口能值量比例最大,平均每年进口 4.43×10^{22} sej。由于哈萨克斯坦矿产资源丰富,每年向外界出口大量矿产资源 $4.10 \times 10^{22} \sim 7.80 \times 10^{22}$ sej。

总能值使用量由可更新资源能值使用量(Renewable emergy flow, R)、粗放使用的不可更新资源量(Dispersed rural sources, N_0)、集约使用的不可更新资源量(Concentrated nonrenewable use, N_1)和进口能值量(Imported emergy flow, IMP)构成(图2)。哈萨克斯坦平均每年有89.94%的能值使用量来自于对集约和粗放的不可更新资源的消耗,且自2014—2018年有逐年增加的趋势,2018年哈萨克斯坦的不可更新资源能值使用量较2014年增加了10.92%。

哈萨克斯坦主要从国外进口机械和交通运输设备、制成品等附加值较高的产品,而向西欧、中国等地输出大量矿产燃料、金属等资源^[9]。所占输出能值比例高达约84.38%,是资源输出型的发展模式,一定程度上破坏了自然资源承载力与自我恢复能力,加之该国缺乏精加工产品向外输出,影响系统有序稳健发展。

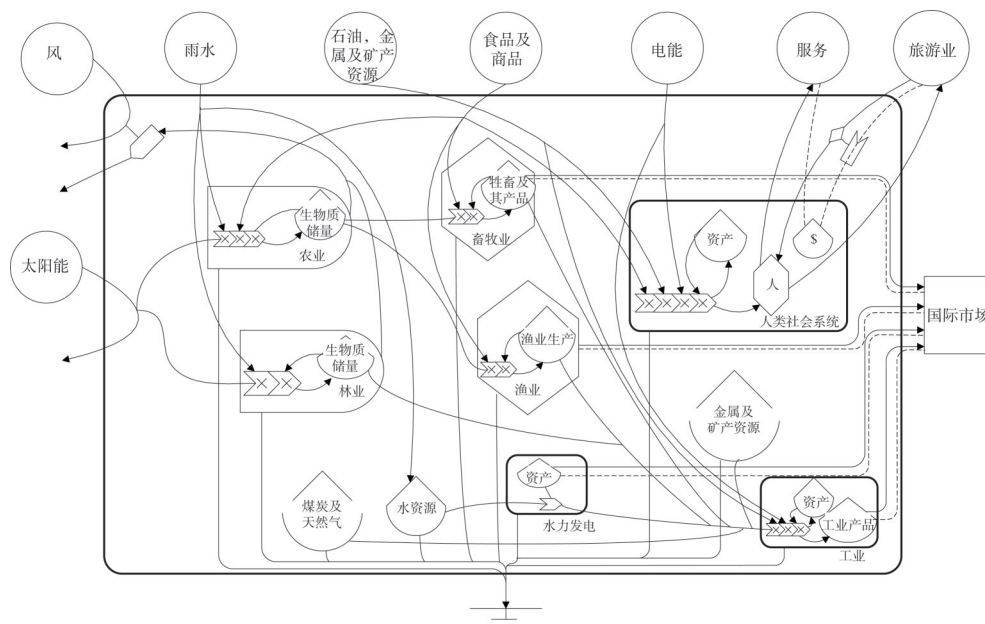


图1 哈萨克斯坦能值系统

Fig. 1 The system diagram of Kazakhstan

2.2 能值指标分析

通过能值使用强度和可持续发展指数等指标, 综合分析哈萨克斯坦的资源利用、环境承载力及系统可持续发展能力。

2.2.1 能值使用强度分析

能值密度(图3)由总能值使用量与领土面积做比计算得到, 表示该系统单位时间内单位面积上的能值流动状况, 指标数值越大, 表示区域工业化水平越高^[20,21], 经济活动越密切。人均能值占有量(图3)为总能值使用量与人口数的比例, 该比值越大, 表示每位公民可利用的能值量越多, 生活水平越高^[3]。哈萨克斯坦的能值密度和人均能值占有量均在波动中上升, 分别从2014年的 5.04×10^{11} sej/m²和 7.91×10^{15} sej/capita增加至2018年的 5.36×10^{11} sej/m²和 7.95×10^{15} sej/capita, 说明哈萨克斯坦资源利用的集约程度有所加强。

能值货币比率是国家或地区单位时间内的总能值使用量与国民生产总值的比例, 可表示单位货币所购买的能值量。能值货币比率越低, 经济发展程度越高, 对本国无需付费的自然资源的消耗量越少^[22]。由于哈萨克斯坦的GDP从2014年的 2.21×10^{11} \$降低至2016年的 1.37×10^{11} \$后, 又逐渐上升至2018年的 1.71×10^{11} \$, 该国能值货币比率从2014年的 9.50×10^{11} sej/\$增至 1.48×10^{12} sej/\$后, 又逐渐下降至2018年的 1.22×10^{12} sej/\$, 变化趋势(图3)与GDP呈现负相关性。2014—2018年, 哈萨克斯坦的能值货币比率总体增加了28.42%, 表明该国经济发展程度有所下降, 单位货币购买力下降, 经济活动所需能值多来自于本国自然资源。

电力使用能值量(图4)表示区域工业发达程度, 也从侧面反映了该区域人民的社会生活状况。哈萨克斯坦的电力使用能值量比一直稳定维持在0.05和0.06, 以2014年为例, 哈萨克斯坦的电力使用能值量高于塔吉克斯坦(0.04)、乌兹别克斯坦(0.04)、吉尔吉斯斯坦(0.03)、土库曼斯坦(0.01), 但略低于中国(0.14)、美国(0.11)^[23]等经济发

表1 2014—2018年哈萨克斯坦能值分析表

Table 1 Emergy evaluation of Kazakhstan in 2014-2018

序号	项目	能值转换率 ^a	单位	能值/ sej				
				2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
可更新资源 ^b :								
1	太阳光	1	sej/J	1.76E+22	1.76E+22	1.76E+22	1.76E+22	1.76E+22
2	地热能	4.90E+03	sej/J	1.55E+22	1.55E+22	1.55E+22	1.55E+22	1.55E+22
3	风能	520	sej/J	9.00E+21	9.00E+21	9.00E+21	9.00E+21	9.00E+21
4	水资源	多类别 ^c	sej/J	6.97E+22	6.97E+22	6.97E+22	6.97E+22	6.97E+22
自产的不可更新资源产品:								
5	农业产品	2.54E+05 ^d	sej/J	1.34E+23	1.45E+23	1.60E+23	1.59E+23	1.59E+23
6	畜牧业产品	2.54E+06	sej/J	6.59E+22	6.77E+22	6.97E+22	7.22E+22	6.38E+22
7	渔业产品	1.01E+07	sej/J	6.31E+21	6.45E+21	7.02E+21	7.06E+21	7.27E+21
8	薪材产品	1.87E+04	sej/J	2.72E+19	2.72E+19	2.72E+19	2.72E+19	2.72E+19
9	工业圆木产品	1.87E+04	sej/J	1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19	1.12E+19
10	水资源的提取	4.80E+04	sej/J	5.18E+21	5.18E+21	5.18E+21	5.18E+21	5.18E+21
11	水力发电量	2.54E+05	sej/J	7.48E+21	1.16E+22	1.05E+22	1.01E+22	3.31E+21
12	总电量	2.20E+05	sej/J	8.47E+22	7.25E+22	7.49E+22	8.16E+22	8.47E+22
小计:				3.94E+23	3.24E+23	4.11E+23	4.20E+23	4.06E+23
不可更新资源:								
13	林业	1.87E+04	sej/J	4.37E+19	4.37E+19	4.37E+19	4.37E+19	4.37E+19
14	渔业	1.01E+07	sej/J	4.03E+20	4.03E+21	4.65E+20	5.14E+20	5.58E+20
16	表土层净损失	多类别	sej/J	6.70E+23	6.53E+23	6.54E+23	6.54E+23	6.55E+23
17	煤炭	6.70E+04	sej/J	4.35E+23	4.08E+23	3.92E+23	4.39E+23	4.64E+23
18	天然气	1.40E+05	sej/J	2.28E+23	2.39E+23	2.45E+23	2.78E+23	2.92E+23
20	矿产	多类别	sej/g	9.16E+21	1.54E+22	1.77E+22	1.81E+22	1.77E+22
21	金属	多类别	sej/g	1.22E+22	6.50E+21	8.56E+21	9.28E+21	1.05E+22
小计:				1.36E+24	1.32E+24	1.32E+24	1.40E+24	1.44E+24
进口资源及产品:								
22	燃料	多类别	sej/J	2.20E+21	1.63E+21	2.25E+21	2.34E+21	3.18E+21
23	金属	多类别	sej/g	4.10E+21	3.98E+21	4.69E+21	4.36E+21	5.04E+21
24	矿产	多类别	sej/g	2.86E+21	2.27E+21	3.40E+21	3.49E+21	4.33E+21
25	食品和农业产品	多类别	sej/J	3.38E+21	2.79E+21	3.88E+21	3.68E+21	3.71E+21
26	牲畜, 肉类, 鱼类	多类别	sej/J	7.41E+20	5.07E+20	6.90E+20	7.34E+20	7.32E+20
27	塑料和合成橡胶	多类别	sej/g	2.00E+21	1.51E+21	2.07E+21	2.08E+21	2.18E+21
28	化学品	多类别	sej/J	3.50E+21	2.92E+21	3.92E+21	4.17E+21	4.16E+21
29	制成品	多类别	sej/J	6.50E+21	4.51E+21	5.77E+21	6.01E+21	5.93E+21
30	机器和交通运输设备	多类别	sej/J	1.61E+22	1.12E+22	1.31E+22	1.31E+22	1.50E+22
31	其他精制品	2.07E+12	sej/\$	5.65E+19	3.78E+19	4.75E+20	6.39E+19	3.42E+19
32	电力	2.21E+05	sej/J	9.88E+20	4.99E+20	1.97E+21	2.04E+21	1.96E+21
33	进口服务	2.07E+12	sej/\$	3.92E+22	1.06E+22	2.04E+22	1.28E+22	2.46E+22
小计:				5.63E+22	4.25E+22	2.63E+22	5.49E+22	7.09E+22

续表1

序号	项目	能值转换率 ^a	单位	能值/sej				
				2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
出口资源及产品:								
34	燃料	多类别	sej/J	5.77E+22	3.03E+22	3.30E+22	3.90E+22	5.22E+22
35	金属	多类别	sej/g	6.43E+21	5.85E+21	9.12E+21	1.12E+22	1.02E+22
36	矿产	多类别	sej/g	6.07E+22	3.19E+22	3.54E+22	4.22E+22	5.55E+22
37	食品和农业产品	多类别	sej/J	2.37E+21	1.96E+21	3.03E+21	2.91E+21	3.54E+21
38	牲畜, 鱼类, 肉类	多类别	sej/J	1.39E+20	1.20E+20	1.55E+20	1.60E+20	2.45E+20
39	塑料和合成橡胶	多类别	sej/g	1.20E+20	9.14E+19	1.34E+20	1.32E+20	1.50E+20
40	化学品	多类别	sej/J	2.90E+21	3.17E+21	3.77E+21	3.02E+21	2.96E+21
41	制成品	多类别	sej/J	1.02E+21	1.04E+21	1.75E+21	1.24E+21	1.11E+21
42	机器和交通运输设备	多类别	sej/\$	1.81E+21	5.95E+20	1.02E+21	7.95E+20	7.80E+21
43	电力	2.21E+05	sej/J	2.56E+21	2.32E+21	3.56E+21	3.89E+21	3.54E+21
44	出口服务	国家EMR	sej/\$	7.55E+22	6.01E+21	9.00E+21	8.26E+21	8.87E+21
45	旅游业	国家EMR	sej/\$	1.62E+21	9.40E+20	9.80E+20	1.13E+21	1.27E+21
小计:				2.76E+23	8.43E+22	1.00E+23	1.14E+23	1.40E+23

注: a. 表中能值转换率的数值来源于NEAD数据库^[9]。b. 可更新资源原始数据未找到, 在此借鉴NEAD数据库中的数据。c. 该项目包含较多类别物质的混合, 计算得出的能值为类别总能值量。d. 农业产品、畜牧业产品和总电量的能值转换率由能值基线 12.0E+24 sej/a 和 9.44E+24 sej/a 的比值计算得来。e. 出口服务、旅游业的能值转换率由能值货币比率计算得出。其中, 2014年的出口服务和旅游业为 1.41E+11 sej/\$; 2015年的出口服务和旅游业为 9.73E+11 sej/\$; 2016年的出口服务和旅游业为 1.48E+12 sej/\$; 2017年的出口服务和旅游业为 1.27E+12 sej/\$; 2018年的出口服务和旅游业为 1.22E+12 sej/\$。

表2 2014—2018年哈萨克斯坦能值指标分析表

Table 2 Emergy indicators of Kazakhstan in 2014-2018

指标	计算公式 ^[13]	计算结果				
		2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
总能值使用量 U /sej	$R^a+N_0^b+N_1^c+IMP^d$	1.38E+24	1.36E+24	1.37E+24	1.43E+24	1.46E+24
能值使用强度指标:						
能值密度 ED /(sej/m ²)	$U/Area$	5.04E+11	5.00E+11	5.03E+11	5.25E+11	5.36E+11
人均能值占有量(sej/capita)	$U/Population$	7.91E+15	7.71E+15	7.68E+15	7.87E+15	7.95E+15
国家能值货币比率 EMR /(sej/\$)	U/GDP	9.50E+11	9.73E+11	1.48E+12	1.27E+12	1.22E+12
电力能值使用量比	$Electricity/U$	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06
进出口能值比	IMP/EXP^e	0.59	0.50	0.48	0.48	0.50
能值投入率 EIR	$IMP/(R+N_0+N_1)$	0.04	0.03	0.02	0.04	0.05
基于能值的可持续发展指标 $EmSI$:						
环境负荷率 ELR	$(IMP+N_0+N_1)/R$	18.75	18.57	18.72	19.55	19.99
能值产出率 EYR	U/IMP	16.87	21.10	22.10	26.11	20.64
基于能值的可持续发展指数	EYR/ELR	0.90	1.15	1.18	1.34	1.03

注: a. R , 可更新资源能值使用量; b. N_0 , 粗放使用的资源; c. N_1 , 集约使用的资源; d. IMP , 进口能值量; e. EXP , 出口能值量。

展较迅速的国家。

能值投入率(图4)为系统买入的物质或能量与系统内消耗的自然资源能值量的比值, 进出口能值比(图4)则显示该国家和地区与外部进行物质资源交换的效率^[5]。

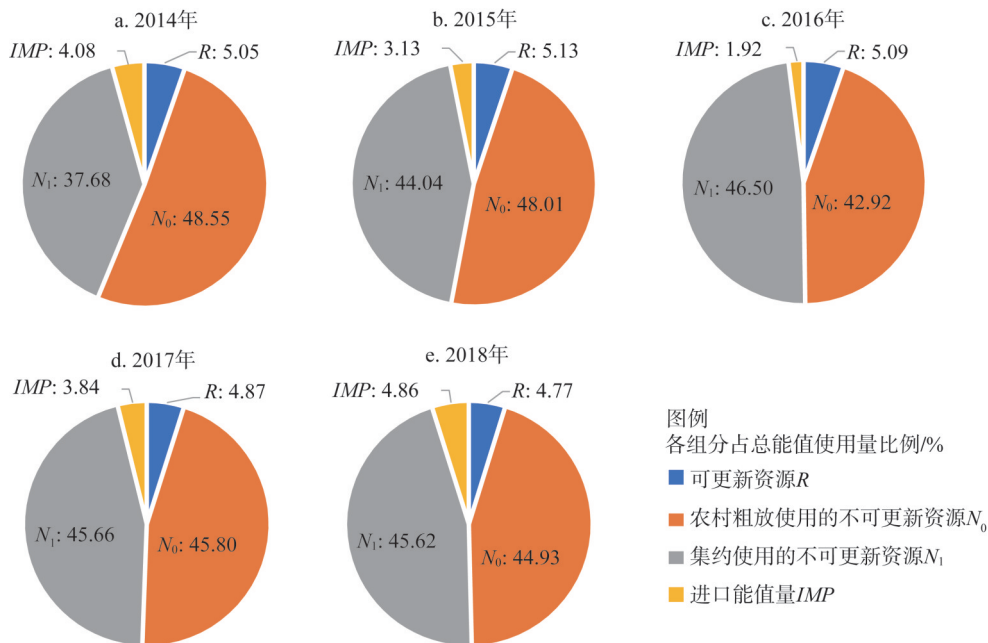


图2 2014—2018年哈萨克斯坦各组分占总能值使用量比例

Fig. 2 Proportion of total energy used of each component of Kazakhstan in 2014-2018

2014—2018年, 哈萨克斯坦的进出口能值比均小于1, 能值投入率仅在0.02~0.05范围内波动, 表明该系统发展大量依靠本土自然资源, 对外界能源及产品的输入依赖程度较低, 且出口能值量较高。一般来说, 经济越发达的国家, 其进出口能值比越大, 因此, 哈萨克斯坦的经济发展状况较发达国家来讲还存在一定差距。

2.2.2 基于能值的可持续发展指数分析

能值产出率和环境负荷率(图5)表示地区经济发展与自然环境间的影响。能值产出率的值越高表示该系统的资源利用效率越高^[24,25], 而环境负荷率的值越高表示经济活动对环境造成的负荷越大。

2014—2018年, 哈萨克斯坦的能值产出率较高, 在16.87~26.11范围内波动, 表示该国进行能值交换的效率较高; 环境负荷率由2014年的18.75增加至2018年的19.99, 增长了6.61%。基于能值的可持续发展指数由能值产出率和环境负荷率的比值计算得到。Brown等^[26]给出了该指标的定量评估范围: 若 $EmSI$ 值介于1和10之间, 表明系统经济开发性较强; $EmSI > 10$ 表明系统经济较不发达, 未对系统内资源进行充分利用; $EmSI < 1$, 表明地区环境负荷率高, 不可更新资源使用量多。除2014年哈萨克斯坦基于能值的可持续发展指数为0.90以外, 2015—2018年, 基于能值的可持续发展指数均大于1, 且在

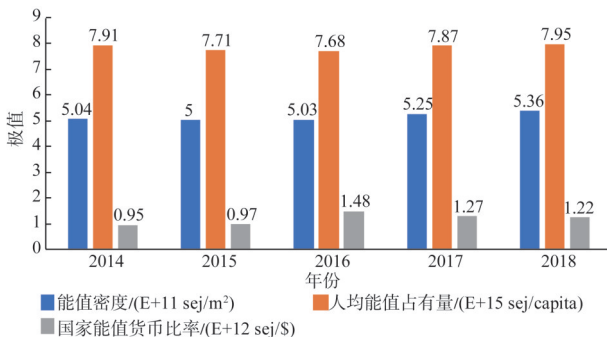


图3 2014—2018年哈萨克斯坦能值密度、人均能值占有量及能值货币比率分析

Fig. 3 Empower density, energy use per capita and energy monetary ratio of Kazakhstan in 2014-2018

2017年取得最大值,为1.34,系统经济发展是可持续的。

3 结论与讨论

3.1 结论与建议

本文在收集哈萨克斯坦自然地理、社会、经济等方面数据的基础上,通过能值分析方法绘制能值系统图、构建能值指标分析体系,综合分析了2014—2018年该国资源利用、进出口贸易及可持续发展状况,为哈萨克斯坦政府及各职能部门提供有针对性的建议,同时为致力于系统可持续发展研究的学者提供可供分析比较的研究素材。主要分析结果如下:

(1) 哈萨克斯坦总能值使用量整体变化不大,2018年其总能值使用量为 1.46×10^{24} sej, 是2014年的1.06倍。占总能值使用量份额最大的是不可更新资源的使用,且集约使用的不可更新资源(石油、矿产及金属资源等)有逐年增长的趋势,从2014年的 5.20×10^{23} sej增长至2018年的 6.66×10^{23} sej。由表1可知,水资源、风能等可更新资源使用量约占总能值使用量的4.98%左右,在国内并未得到充分利用。

(2) 哈萨克斯坦在国际贸易市场中重输出原材料,轻输出精制品。哈萨克斯坦的工业结构较为单一,油气资源开采业占工业产值比例较高,制造业发展较为缓慢,石油矿产等原材料的额外附加能值较低,从宏观来看会拉低该国的能值货币比率,单位货币所能购买的真实价值的能值量变小,在对外贸易中处于较弱势的地位。

(3) 从基于能值的可持续发展指数可以看出,除2014年(0.90)外,2015—2018年哈萨克斯坦基于能值的可持续发展指数高于1,经济发展是可持续的。但该国环境负荷率较高,从18.75增加至19.99,这主要是由于对本土不可更新资源的大量开采导致的,若提高对不可更新资源的利用效率并加大对水资源、风能等可更新资源的利用,该国可持续发展状况能得到进一步提升。

基于上述研究,本文给出的建议如下:

(1) 提升可更新资源使用量,加大对清洁能源等的利用,有效缓解因过度使用自然资源而带来的生态环境退化、环境负荷高等问题,增强国家经济发展活力。

(2) 发挥自身不可更新资源储量优势,提高单位产品附加值,多引进国外高科技技术和先进人才,投放大量精力在高品质产品研发上,实现从粗放经济发展模式向集约型转变,最大限度地提升资源利用效率。

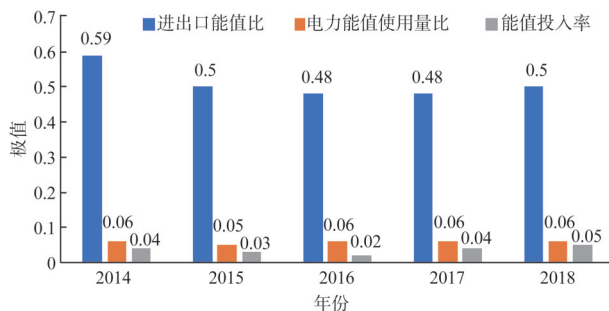


图4 2014—2018年哈萨克斯坦进出口能值比、电力能值使用量比和能值投入率分析

Fig. 4 Imports to exports ratio, electricity fraction and energy investment ratio of Kazakhstan in 2014-2018

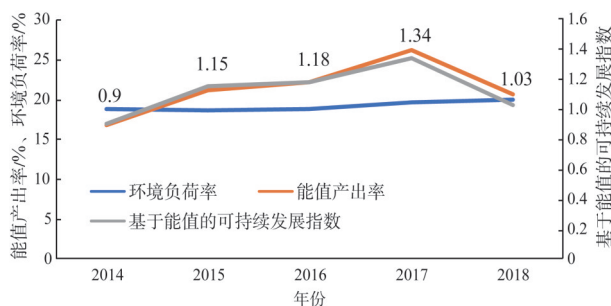


图5 2014—2018年哈萨克斯坦基于能值的可持续发展分析

Fig. 5 Energy indices of sustainability in Kazakhstan in 2014-2018

(3) 改善对外贸易结构, 减少原材料产品直接输出。哈萨克斯坦应考虑改变出口产品结构, 降低原材料输出比例, 在适度引进国外产品的基础上, 多利用国外输入的原材料等能源, 在国内精加工后以制成品的形式出口国外来不断提升市场竞争力, 发展本国经济。

本文主要利用能值分析方法研究2014—2018年哈萨克斯坦的可持续发展状况, 未来研究还可分析影响国家总能值利用的因素, 如国民经济发展状况、人口因素、资源利用效率与结构、政策因素等, 以便能更好地提升哈萨克斯坦可持续发展状况。

3.2 讨论

哈萨克斯坦总能值使用量在 $1.36 \times 10^{24} \sim 1.46 \times 10^{24}$ sej 范围内波动, 其中89.94%来自对不可更新资源的开采利用。同时, 由进出口能值比可知, 哈萨克斯坦进口能值量小于出口能值量, 尽管近年来进口能值量的比例有所提升, 但平均每年仍有7.01%的不可更新资源以原材料的形式出口国外, 说明哈萨克斯坦是消耗型的发展模式, 极大程度上降低了资源利用效率, 增加环境负荷量。

哈萨克斯坦的能值使用强度从资源利用角度来看有所好转, 能值密度及人均能值占有量在2014—2018年波动上升; 而从真实货币购买力角度分析, 表示单位货币购买能值财富量的能值货币比率在2016年后开始下降, 经济发展水平较低。

以2014年为例, 哈萨克斯坦的电力使用能值量(0.06)居中亚五国之首(塔吉克斯坦0.04、乌兹别克斯坦0.04、吉尔吉斯斯坦0.03、土库曼斯坦0.01), 这得益于哈萨克斯坦国政府在《支持可再生能源利用法》的推动, 根据国情及时调整政策内容, 大力发展水电、光伏发电和风电等高品质电能的利用, 有效推动了该国社会经济的发展。

2014年前, 哈萨克斯坦每年的旅游服务输出的能值约占出口能值的0.1%^[23], 2014年后, 旅游业输出占出口能值量的比例增加至0.95%, 且从国民生产总值来看, 2015年旅游服务创收占其1.7%^[27]。此外, 根据CEIC Data网站和中国国家统计局中提供的旅游业收入数据, 以2017年为例, 哈萨克斯坦旅游业收入占GDP比例为1.19%, 自然地理环境与之接近的邻国俄罗斯旅游业收入占GDP比例为10.70%、邻国蒙古旅游业收入占GDP比例为28.07%、中国新疆维吾尔自治区旅游业收入占GDP比例为16.74%, 哈萨克斯坦的旅游业收入占GDP比例较其他相邻国家和地区存在较大差距。因此, 哈萨克斯坦旅游业发展存在一定的开发潜力。

参考文献(References):

- [1] BROWN M T, ULGIATI S. Energy quality, emergy, and transformity: H T ODUM's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, 2004, 178(1-2): 201-213.
- [2] 严茂超. 生态经济学新论: 理论、方法与应用. 北京: 中国致公出版社, 2001. [YAN M C. *New Theory of Ecological Economics: Theory, Methods and Applications*. Beijing: China Zhigong Press, 2001.]
- [3] 董孝斌, 严茂超, 董云, 等. 基于能值的内蒙古生态经济系统分析与可持续发展战略研究. *地理科学进展*, 2007, 26(3): 47-57. [DONG X B, YAN M C, DONG Y, et al. Emergy evaluation of the eco-economic system of Inner Mongolia and study on its sustainable development strategy. *Progress in Geography*, 2007, 26(3): 47-57.]
- [4] LI H T, BROWN M T. Emergy-based environmental accounting toward a sustainable Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(10): 1227-1259.
- [5] 严茂超, ODUM H T. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究. *自然资源学报*, 1998, 13(2): 20-29. [YAN M C, ODUM H T. A study on emergy evaluation and sustainable development of Tibetan eco-economic system. *Journal of Natural Resources*, 1998, 13(2): 20-29.]
- [6] ULGIATI S, ODUM H T, BASTIANONI S. Energy use, environmental loading and sustainability: An energy analysis of

- Italy. *Ecological Modelling*, 1994, 73(3-4): 215-268.
- [7] CAMPBELL D E, MEISCH M, DEMOSS T, et al. Keeping the books for environmental systems: An emergy analysis of West Virginia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2004, 94(1-3): 217-230.
- [8] 窦睿音, 刘学敏, 张昱. 基于能值分析的陕西省榆林市绿色GDP动态研究. *自然资源学报*, 2016, 31(6): 994-1003. [DOU R Y, LIU X M, ZHANG Y. Study on the green GDP of Chinese resource based cities: A case study of Yulin city in Shaanxi province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(6): 994-1003.]
- [9] 杜斌, 张坤民, 彭丽颖. 国家环境可持续能力的评价研究: 环境可持续性指数. *中国人口·资源与环境*, 2005, 16(1): 19-24. [DU B, ZHANG K M, PENG L Y. Analysis of new edition of environmental sustainability index. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 16(1): 19-24.]
- [10] XU S T, XIONG L Y, AI G H. Study on evaluating index system of ecological environment in mining areas. *Challenges in Environmental Science and Computer Engineering*, 2010, 1: 134-137.
- [11] BASTIANONI S, NICCOLUCCI V, PULSELLI R M, et al. Indicator and indicandum: "Sustainable way" vs "prevailing conditions" in the ecological footprint. *Ecological Indicators*, 2012, 16: 47-50.
- [12] 贺成龙. 三峡工程的能值足迹与生态承载力. *自然资源学报*, 2017, 32(2): 329-341. [HE C L. Emergy footprint and ecological capacity of the Three Gorges Project. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(2): 329-341.]
- [13] Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan Committee on Statistics. *Kazakhstan Statistical Yearbook in 2014-2018*. Astana, 2019.
- [14] 吴森, 张小云, 罗格平, 等. 哈萨克斯坦水资源利用. *干旱区地理*, 2010, 33(2): 196-202. [WU M, ZHANG X Y, LUO G P, et al. Situation of water resources utilization in Kazakhstan. *Arid Land Geography*, 2010, 33(2): 196-202.]
- [15] 徐洪峰, 王晶. 哈萨克斯坦可再生能源发展现状及中哈可再生能源合作. *俄罗斯东欧中亚研究*, 2019, (4): 141-154, 158. [XU H F, WANG J. The development status of Kazakhstan's renewable energy and China-Kazakhstan renewable energy cooperation. *Russian, East European & Central Asian Studies*, 2019, (4): 141-154, 158.]
- [16] HUAN Y Z, LI H T, LIANG T. A new method for the quantitative assessment of Sustainable Development Goals (SDGs) and a case study on Central Asia. *Sustainability*, 2019, 11(13): 3504.
- [17] ODUM H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: John Wiley and Sons, 1996: 1-370.
- [18] BROWN M T, ULGIATI S. Assessing the global environmental sources driving the geobiosphere: A revised emergy baseline. *Ecological Modelling*, 2016, 339: 126-132.
- [19] 石硕. "一带一路"背景下的中国与哈萨克斯坦能源合作分析. 北京: 北京外国语大学, 2017. [SHI S. Energy cooperation between China and Kazakhstan under the background of the "the Belt and Road". Beijing: Beijing Foreign Language University, 2017.]
- [20] 吴玉琴, 杨春林. 基于能值分析的2006年广东省社会代谢研究. *地理科学进展*, 2009, 28(4): 546-552. [WU Y Q, YANG C L. Emergy-based socioeconomic metabolism of Guangdong province in 2006. *Progress in Geography*, 2009, 28(4): 546-552.]
- [21] 郝翠, 李洪远, 莫训强, 等. 基于三元相图法的天津生态经济系统能值分析. *自然资源学报*, 2010, 25(7): 1132-1141. [HAO C, LI H Y, MO X Q, et al. Emergetic ternary diagram based on eco-economic analysis of Tianjin city. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(7): 1132-1141.]
- [22] 李海涛, 廖迎春, 严茂超, 等. 新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估. *地理学报*, 2003, 58(5): 765-772. [LI H T, LIAO Y C, YAN M C, et al. Emergy evaluation and assessment of sustainability on the eco-economic system of Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 765-772.]
- [23] 国际环境核算数据库(NEAD). 哈萨克斯坦环境核算数据. <http://www.cep.ees.ufl.edu/need/>, 2019-10-01. [The National Environmental Accounting Database. NEAD data by Kazakhstan. <http://www.cep.ees.ufl.edu/need/>, 2019-10-01.]
- [24] 王明全, 王金达, 刘景双. 不同资源环境梯度下吉林西部生态经济系统能值分析. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 507-515. [WANG M Q, WAN J D, LIU J S. Emergy analysis of the eco-economic systems of West Jilin province according to the resource and environment gradient. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 507-515.]
- [25] ZHU L P, LI H T, CHEN J Q, et al. Emergy-based sustainability assessment of Inner Mongolia. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(5): 843-858.

- [26] BROWN M T, ULGIATI S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 1997, 9(1-2): 51-69.
- [27] 苏红霞, 张洁. 共生理论视角下中哈旅游合作路径研究. *新西部*, 2019, (17): 71-72, 43. [SU H X, ZHANG J. Study on the tourism cooperation path between China and Kazakhstan from the perspective of symbiosis theory. *New West*, 2019, (17): 71-72, 43.]

Evaluation of Kazakhstan's sustainability based on emergy theory

LI Hai-tao¹, LI Ming-yang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Kazakhstan, an important country along the Belt and Road, is rich in non-renewable resources such as petroleum and minerals. Its economic development ranks first among the five Central Asian countries (Tajikistan, Uzbekistan, Kyrgyzstan, Turkmenistan and Kazakhstan) and has friendly trade relations with China. Therefore, understanding the economic development status and sustainable development of Kazakhstan is of great significance to bilateral friendly cooperation. We applied emergy theory to analyze the resource utilization structure, foreign trade status and sustainable development of this country in 2014-2018. The results showed that about 89.94% of Kazakhstan's total emergy used depended on the consumption of local non-renewable resources, and there was a large amount of raw materials (such as petroleum, minerals, metals, etc.) for export, which undoubtedly has a greater impact on the ecological environment and increasing environmental burden of Kazakhstan. And the export of low value-added products placed Kazakhstan in a disadvantaged position in the foreign trade market. The emergy money ratio showed that Kazakhstan's unit currency has low purchasing power (9.50×10^{11} - 1.22×10^{12} sej/\$), and the amount of emergy purchased per unit currency is small, the country's economic development is still at a lower level than that of developed countries. The emergy yield ratio fluctuated within a range of 16.87-26.11. From the perspective of emergy-based sustainability index, the emergy yield ratio was 0.90 in 2014, the system development of Kazakhstan lacked sustainability. From 2015 to 2018, the index was higher than 1, and the system development was sustainable. In addition, Kazakhstan has a high environmental loading ratio, which is mainly due to the exploitation of local non-renewable resources, and the utilization efficiency is low. In view of the above, this paper puts forward suggestions such as strengthening the development of renewable resources, improving resource utilization efficiency, and improving the structure of foreign trade to enhance the competitiveness in the world market, in order to promote the orderly and healthy development of Kazakhstan.

Keywords: emergy; sustainability; Kazakhstan