

焦作市工业行业的生态效率

杜艳春, 姜畔, 毛建素*, 徐琳瑜

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要:以工业城市焦作市为例, 选择工业能源消费和污染物(包括废水、固体废物、SO₂、烟尘等)排放作为环境负荷, 定量分析工业分行业的生态效率及分行业特定环境负荷对总环境负荷的贡献率. 结果表明, 能源效率最高的行业是黑色金属矿采选业(FMM), 为 43.19 万元·tce⁻¹, 贡献率为 0.003%; 废水排放相关环境效率最高的是交通运输设备制造业(TRM), 为 3.58 万元·t⁻¹, 贡献率为 0.000 1%; 固废产生相关环境效率最高的是专用设备制造业(SMM), 为 323.22 万元·t⁻¹, 贡献率为 0.005%; SO₂ 排放相关环境效率最高的是专用设备制造业(SMM), 为 19.74 万元·kg⁻¹, 贡献率为 0.000 1%; 烟尘排放相关环境效率最高的是橡胶制品业(RUM), 为 6.75 万元·kg⁻¹, 贡献率为 0.001%. 由此看出, 生态效率高的行业, 贡献率较低, 因而造成工业负荷总量一定时, 对提高工业整体生态效率的带动作用较弱. 提出了简约距离指数法, 估算焦作市各工业行业的 5 种环境负荷生态效率与全国水平的距离指数. 结果表明, 焦作与中国工业行业间的距离指数介于 -1 ~ 63.45 之间, 呈现正值的距离指数的绝对数值远高于呈现负值的距离指数的绝对数值, 意味着焦作优势工业行业的生态效率明显高于全国平均水平.

关键词:生态效率; 环境负荷; 工业行业; 简约距离指数; 焦作

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)05-1529-08

Eco-efficiency of Jiaozuo Industry Sectors

DU Yan-chun, JIANG Pan, MAO Jian-su, XU Lin-yu

(State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Jiaozuo city was taken as a representative industry city and its industry energy consumption and industry emissions such as wastewater, solid waste, SO₂, dust and so on were selected as corresponding environmental loads. The contribution rate to the environmental loads and eco-efficiencies of Jiaozuo industry sectors were analyzed quantitatively. The results show that, the industry sector with the highest energy eco-efficiency is Mining and Processing of Ferrous Metal Ores (FMM), 43.19×10^4 yuan·tce⁻¹, and its contribution rate is 0.003%; the one with the highest wastewater-related eco-efficiency is Manufacture of Transport Equipment (TRM), 3.58×10^4 yuan·t⁻¹, and its contribution rate is 0.000 1%; the one with the highest solid waste-related eco-efficiency is Manufacture of Special Purpose Machinery (SMM), 323.22×10^4 yuan·t⁻¹, and its contribution rate is 0.005%; the one with the highest SO₂ emission-related eco-efficiency is Manufacture of Special Purpose Machinery (SMM), 19.74×10^4 yuan·kg⁻¹, and its contribution rate is 0.000 1%; the one with the highest dust emission-related eco-efficiency is Manufacture of Rubber (RUM), 6.75×10^4 yuan·kg⁻¹, and its contribution rate is 0.001%. It can be seen that the industry sector with high value of eco-efficiency always contributes less to its environmental load, which results that the industry sectors with high eco-efficiencies only play a weak role in leading the overall industry eco-efficiency. A succinct distance index (SDI) was proposed to estimate the differences between Jiaozuo and China average for their eco-efficiency of every industrial sector. The values of SDI range from -1 to 63.45, and the absolute value of SDI with positive value is much greater than that with negative value, which indicates that the values of eco-efficiencies for the advanced industry sectors of Jiaozuo city are much higher than those for China's industry sectors average.

Key words: eco-efficiency; environmental load; industry sector; succinct distance index; Jiaozuo

为缓解资源环境对经济社会发展的瓶颈制约^[1,2], 作为资源消耗和环境污染主要源头的工业, 已经引起广泛关注. 但工业又由多个工业行业构成, 这些工业行业对环境产生的影响大小如何? 与外部环境之间的关系怎样? 以往研究大多针对能源、废水等单一环境负荷, 且存在于国家或省级层面^[3~5], 对于城市工业行业多种环境负荷的研究较为少见. 近年来, 生态效率被用作以环境为导向的决策评估工具, 其数值的大小可为制定未来发展决策提供必要的信息^[6], 并广泛用于提供优势产品(或服务)的

同时, 逐步减少人类对环境的影响和对自然资源的消耗强度^[7]. 目前, 提高生态效率已成为改善人类与环境关系的重要手段^[8,9], 其方法在实践中得到了广泛应用, 研究对象涉及企业^[10,11]、行业^[12,13]、区域^[14~16]等多个层面.

河南省焦作市作为一座因煤而兴的资源型城

收稿日期: 2010-07-13; 修订日期: 2010-10-11

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAC28B03)

作者简介: 杜艳春(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为产业生态学、城市生态规划与管理, E-mail: yanchundu_bnu@163.com

* 通讯联系人, E-mail: maojs@bnu.edu.cn

市^[17],2007 年工业占国民经济总产出的比例达到 61.75%,高出全国平均水平 18.75 个百分点;同时,2001~2007 年间,年均增长 28.59%,为同时期全国增长率的 1.76 倍^[18,19].快速的工业发展带动了焦作经济的腾飞.但是,焦作市工业目前仍以资源开采与资源初加工为支撑、轻重工业比例失调且布局不合理、新兴行业与高科技产业所占比重较小^[20]等发展现状,造成了严重的能源消耗与污染物排放,是导致城市大气污染,市域水环境污染和固体废弃物污染及生态破坏的主要原因^[21].因此,以焦作市工业发展为对象,进行工业行业生态效率分析,对于未来进行减污降耗,降低工业发展过程中的环境影响,实现经济社会全面、协调发展,将具有重要意义.

1 研究方法

主要研究了工业行业生态效率和贡献率.同时,为了解焦作与中国在工业行业生态效率方面的优势或差距,采用简约距离指数法,估算焦作市和全国各工业行业之间相关环境负荷生态效率的距离指数.

1.1 生态效率

生态效率 (eco-efficiency) 泛指单位环境负荷下的社会服务量^[22],本研究仍沿用文献[12]中的计算方法,选择工业能源消费和工业废物 (包括废水、固体废物、SO₂、烟尘等) 作为各行业的环境负荷,选择增加值作为各行业的服务量,界定生态效率.计算公式为:

$$e_{ij} = \frac{G_j}{I_{ij}} \tag{1}$$

式中, G 表示工业增加值,单位是万元/a; I 表示环境负荷,单位是 t/a; e 表示生态效率 (以环境负荷计),单位是万元/t.下标 i 表示环境负荷的类型,取 1~5 的整数,分别表示能源消耗量、废水、固体废物、SO₂、烟尘排放量;下标 j 表示工业分行业; G_j 表示第 j 个工业行业的增加值; I_{ij} 表示第 j 个工业行业的第 i 种环境负荷量; e_{ij} 表示第 i 种环境负荷量下,第 j 个工业行业的生态效率.由式(1)可以看出,提高生态效率,意味着获得相同工业增加值下消耗更少的能源或排放更少的环境污染物,抑或消耗同等数量的能源或排放同等数量的环境污染物时,获得更多的工业增加值.

1.2 贡献率

为了解环境负荷的工业行业构成,提出工业行业“贡献率”概念,即对于每一种环境负荷 i 而言,某一工业行业 j 的环境负荷量占工业总负荷量的比

例,如式(2)所示.通过该值能够了解特定环境负荷 i 的工业行业源头,为能源节约和环境质量的改善提供信息.

$$f_{ij} = \frac{I_{ij}}{\sum_{j=1}^n I_{ij}} \tag{2}$$

式中, n 是特定环境负荷下,所研究的工业行业的总数; f_{ij} 是指第 j 个工业行业的第 i 种环境负荷量 (I_{ij}) 对 n 个行业第 i 种环境负荷总量 ($\sum_{j=1}^n I_{ij}$) 的贡献率,且对于每一种环境负荷 i ,满足 $\sum_{j=1}^n f_{ij} = 1$; 其它符号同上.

1.3 距离指数

距离指数是刻画事物现状与发展目标之间相对水平的状态参量^[23],曾被用于生态系统安全状况^[24]或生态系统健康状况^[25]的测量.以往研究中,通常采用差距的绝对值.虽然能够表明差距的大小,即距离指数值愈大,差距愈大,但是绝对值无法看出所对比的 2 种事物之间的高低优劣关系.为此,本研究中去掉绝对值化的过程,重点考察两事物之间的差距和优劣关系,称为简约距离指数法.如式(3)所示:

$$\delta_{ij} = \frac{e_{ij} - e_{ij}^o}{e_{ij}^o} \tag{3}$$

式中: e_{ij} 代表焦作市的工业行业效率现状值; e_{ij}^o 代表中国的行业生态效率现状平均值,作为比较的基准; δ_{ij} 为焦作市现状值与全国平均值的简约距离指数; i, j 含义如前.距离指数为正值,表示焦作现状值优于中国平均值,数值越大,焦作工业行业的优势愈显著;距离指数为负值,表示焦作现状值劣于中国平均值,数值越低于 0,劣势越明显.

1.4 数据及来源

本研究中,数据类别主要涉及各工业行业的增加值、能源消费量、废水与废气 (SO₂ 和烟尘) 排放量、固废产生量等.其中,中国的数据来自 2008 年中国统计年鉴^[18].焦作的工业各行业增加值和能源消费量数据来自 2008 年焦作统计年鉴^[19],各行业废水、废气、固废等污染物相关数据来源于焦作市环保局基层监管部门.

根据中国国民经济行业分类标准 GB/T 4754-2002,工业系统由 39 种行业部门构成.焦作数据资料中,石油和天然气开采业、有色金属矿采选业、其他采矿业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、文教体

育用品制造业以及废弃资源和废旧材料回收加工业等6个行业,所涉及的经济与环境负荷类数据均缺失,由此推断焦作可能不存在此类行业.同时,印刷业和记录媒介的复制、黑色金属矿采选业、纺织服装、鞋帽制造业、工艺品及其他制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业、燃气生产和供应业、水的生产和供应业、家具制造业等8个行业,只有增加值和能源消费量数据,因此,仅对该8个行业的能源消费进行相关分析.剩余的25个行业,各方面数据均较完整,进行能源、废水、废气(SO₂和烟尘)、固废等全面的分析.行业名称及代码仍采用文献[12]中的符号,具体如表1所示.

表1 工业行业名称及代码

Table 1 Names and codes of industrial sectors	
工业行业名称	简称
煤炭开采和洗选业	CMW
农副食品加工业	AFP
食品制造业	FOM
非金属矿采选业	NOM
饮料制造业	BEM
纺织业	TXM
皮革毛皮羽毛及其制品业	LFM
造纸及纸制品业	PAM
化学原料及化学制品制造业	CMM
医药制造业	MEM
塑料制品业	PLM
烟草制造业	TOM
金属制品业	MPM
电力、热力的生产和供应业	EHP
木材加工及竹、藤、棕、草制品业	WBP
仪器仪表及文化、办公机械制造业	ICM
橡胶制品业	RUM
化学纤维制造业	CFM
非金属矿物制品业	NMM
黑色金属冶炼及压延加工业	FMS
有色金属冶炼及压延加工业	NFS
通用设备制造业	GMM
专用设备制造业	SMM
交通运输设备制造业	TRM
电气机械及器材制造业	EEM
印刷业和记录媒介的复制	RMP
黑色金属矿采选业	FMM
纺织服装、鞋帽制造业	TWM
工艺品及其他制造业	AOM
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	CEM
燃气生产和供应业	GPS
水的生产和供应业	WPS
家具制造业	FNM

2 结果与讨论

2.1 工业行业的生态效率

2.1.1 能源消费构成及能源效率

根据公式(1)、(2),计算了2007年焦作市33个工业分行业在能源消费方面的生态效率及对总能源消费量的贡献率;同时,为了看出焦作市能源效率水平与中国的对比关系,计算了中国对应工业分行业的能源效率,汇总到图1中.可以看出,能源效率方面,黑色金属矿采选业(FMM)在焦作市最高,远高于全国该行业水平.紧随其后的通信设备、计算机及其他电子设备制造业(CEM)、燃气生产和供应业(GPS)、印刷业和记录媒介的复制(RMP)等也较高,但是上述4个行业的能源消耗贡献率较低,累计仅为0.14%,从而造成工业消耗同等数量能源时,高效率行业对工业整体能源效率提高的带动作用较弱.

能源消耗量最大的行业是煤炭开采和洗选业(CMW),贡献率达到24.68%.其次为电力、热力的生产和供应业(EHP),达到24.10%,但上述2个行业的生态效率排名却在最后,而且仅为全国同行业水平的4.00%和12.15%,差距较大.另外,能源效率较低的非金属矿物制品业(NMM)、有色金属冶炼及压延加工业(NFS)、化学原料及化学制品制造业(CMM)等3个行业的能源消耗贡献率也较大,累计约占到31.46%.其中,仅有非金属矿物制品业(NMM)的能源效率高于全国该行业基准值.由此看出,焦作市高能耗行业的能源效率具有很大的提升空间.

2.1.2 废水排放行业来源及相关环境效率

为分析焦作市25个工业行业的废水排放构成、生态效率水平及与中国的对比关系,按照公式(1)、(2),计算了2007年焦作市工业分行业废水排放量对所研究的25个行业废水排放总量的贡献率、焦作市及中国的工业分行业废水排放相关环境效率,如图2所示.可以看出,废水排放相关环境效率方面,焦作市交通运输设备制造业(TRM)最高,为3.58万元·t⁻¹,是全国该行业排放水平的11.32倍.紧随其后的黑色金属冶炼及压延加工业(FMS)、金属制品业(MPM)、专用设备制造业(SMM)等行业也较高,远高于全国同行业基准水平,具有较大优势.但是,上述行业的废水排放量在整个工业系统废水排放总量中的比重均较小,贡献率累计加和仅为0.11%,对工业整体废水排放效率提高的带动作用较弱.

废水排放贡献率方面,造纸及纸制品业(PAM)最高,比例为43.16%,接近总排放量的一半,但废

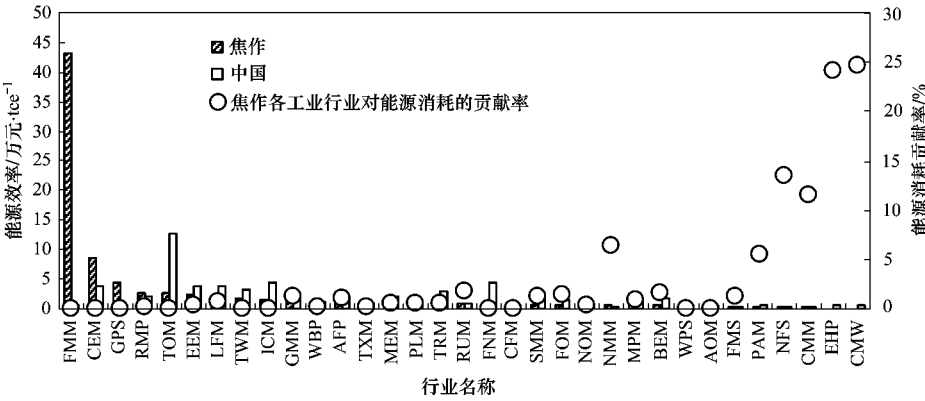


图1 2007年焦作的能源消费的工业行业构成、工业行业能源效率及其与中国对比

Fig. 1 Constitution of energy consumption by industry sectors and a comparison of the industry energy efficiency for Jiaozuo with China average in 2007

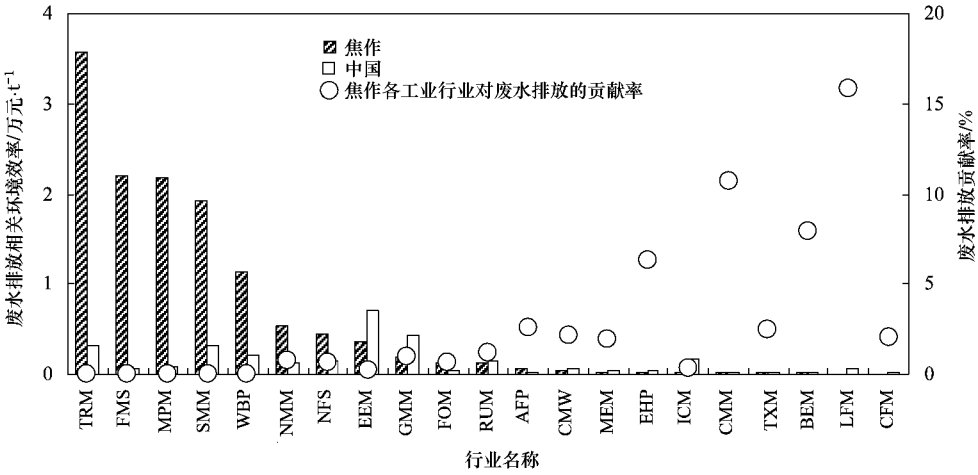


图2 2007年焦作的废水排放的工业行业构成、工业行业废水排放相关环境效率及其与中国对比

Fig. 2 Constitution of industry wastewater by industry sectors and a comparison of the wastewater-related eco-efficiency for Jiaozuo with China average in 2007

水排放效率仅为 $0.003 \text{ 万元} \cdot \text{t}^{-1}$, 低于全国该行业基准值. 另外, 废水排放贡献率高于 5.00% 的还有皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业(LFM)、化学原料及化学制品制造业(CMM)、饮料制造业(BEM)、电力、热力的生产和供应业(EHP)等4个行业, 但它们的排放效率均比 $0.03 \text{ 万元} \cdot \text{t}^{-1}$ 要低, 且低于全国同行业基准水平.

2.1.3 固废行业来源及相关环境效率

为了解焦作市25个工业行业的固废产生构成、效率水平及与中国的对比关系, 按照公式(1)、(2), 计算了2007年焦作市工业分行业固废产生量对25个行业固废产生总量的贡献率、焦作市及中国工业分行业固废产生相关环境效率, 如图3所示. 可以看出, 在工业固废产生相关环境效率方面, 焦作市的专

用设备制造业(SMM)最高, 为 $323.22 \text{ 万元} \cdot \text{t}^{-1}$, 是全国该行业的13.72倍. 紧随其后的电气机械及器材制造业(EEM)尽管排名靠前, 但与全国平均水平有一定差距. 交通运输设备制造业(TRM)、塑料制品业(PLM)、食品制造业(FOM)等3个行业的效率也较高, 且优于全国同行业水平. 但是, 这些行业的固废产生量在所有行业固废产生量中所占的比例较低, 累计贡献率仅为 0.13% , 从而造成对整个工业系统固废产生相关环境效率提高的拉动力较小.

贡献率方面, 有色金属冶炼及压延加工业(NFS)与电力、热力的生产和供应业(EHP), 是最高的2个行业, 分别达到 36.51% 和 27.06% . 化学原料及化学制品制造业(CMM)、煤炭开采和洗选业(CMW)等2个行业也占有较大比重. 但上述4个行

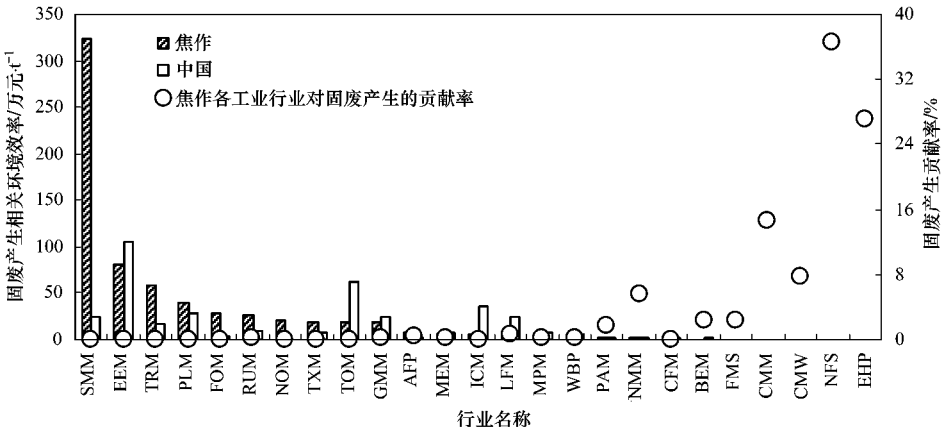


图3 2007年焦作的固废产生的工业行业构成、工业行业固废产生相关环境效率及其与中国对比

Fig. 3 Constitution of industry solid waste by industry sectors and a comparison of the solid waste-related eco-efficiency for Jiaozuo with China average in 2007

业的工业固废产生相关环境效率均低于全国平均水平,提高空间较大.

2.1.4 SO₂ 排放行业来源及相关环境效率

为分析焦作市 25 个工业行业 SO₂ 的排放构成、生态效率水平及与中国水平的对比关系,参照公式(1)、(2),计算了 2007 年焦作市工业分行业 SO₂ 排放量对所研究的 25 个行业 SO₂ 排放总量的贡献率、焦作市及中国的工业分行业 SO₂ 排放相关环境效率,如图 4 所示.可以看出,焦作市专用设备制造业(SMM)的排放效率最高,为 19.74 万元·kg⁻¹,是全国该行业水平的 16.12 倍.紧随其后的电气机械及器材制造业(EEM)、食品制造业(FOM)、交通运输设备制造业(TRM)、塑料制品业(PLM)等也较高,且仅有电气机械及器材制造业(EEM)略低于全国同行业水平.但是,这些排名靠前的行业,累计排放

量在工业 SO₂ 排放总量中所占的比例较小,仅为 0.19%,从而导致排放同等数量的 SO₂ 时,对整个工业 SO₂ 排放环境效率提高的带动力较弱.

SO₂ 排放量最大的行业是电力、热力的生产和供应业(EHP),贡献率达到 58.43%.紧随其后的是有色金属冶炼及压延加工业(NFS),为 20.90%,但这 2 个行业的 SO₂ 排放效率是最低的,而且不及全国水平.其次,化学原料及化学制品制造业(CMM)、非金属矿物制品业(NMM)、造纸及纸制品业(PAM)等 3 个行业,相对于其它行业,贡献率较大,但环境效率排名均较为靠后,效率较低.

2.1.5 烟尘排放行业来源及相关环境效率

为分析焦作市 25 个工业行业的烟尘排放构成、生态效率水平及与中国的对比关系,参照公式(1)、(2),计算了焦作市工业分行业烟尘排放量对所研

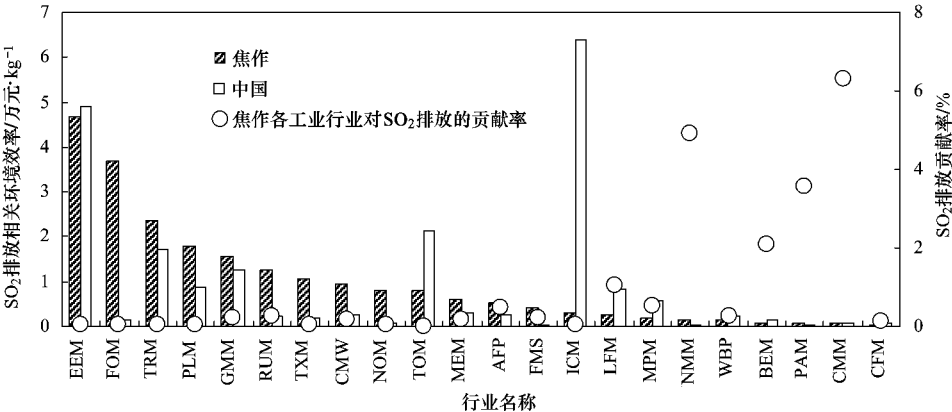


图4 2007年焦作的SO₂排放的工业行业构成、工业行业SO₂排放相关环境效率及其与中国对比

Fig. 4 Constitution of industry SO₂ emission by industry sectors and a comparison of the SO₂ emission-related eco-efficiency for Jiaozuo with China average in 2007

究的 25 个行业烟尘排放总量的贡献率、焦作市及中国的工业分行业烟尘排放相关环境效率,汇总到图 5 中.可以看出,焦作市烟尘排放相关环境效率最大的行业是橡胶制品业(RUM),为 $6.75 \text{ 万元} \cdot \text{kg}^{-1}$,远高于全国同行业水平.紧随其后的电气机械及器材制造业(EEM)、食品制造业(FOM)、烟草制品业(TOM)等 3 个行业的烟尘排放效率也较高.但是,这些行业的烟尘排放量较低,累计贡献率仅为 0.37%,造成同等排放总量情况下,对工业系统烟尘排放相关环境效率整体提升的带动作用较弱.

烟尘排放构成方面,电力、热力的生产和供应业(EHP)和化学原料及化学制品制造业(CMM)贡献率较高,分别为 44.72% 和 17.55%.但这 2 个行业效率排名均较靠后,且效率值低于全国同行业水平.饮料制造业(BEM)、造纸及纸制品业(PAM)、非金属矿物制品业(NMM)等 3 个行业的贡献率也较高,整体排名也较为靠后,但与全国同行业水平相比,造纸及纸制品业(PAM)略有优势,非金属矿物制品业(NMM)和饮料制造业(BEM)较为领先,分别接近全国同行业水平的 9 倍和 2 倍.

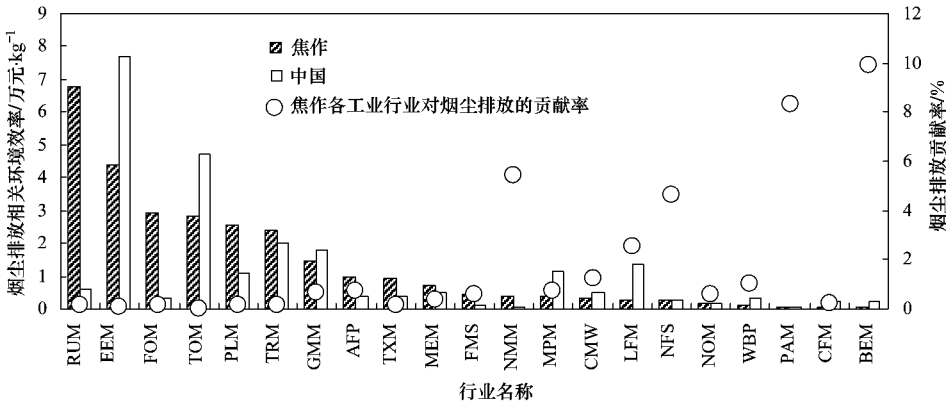


图 5 2007 年焦作的烟尘排放的工业行业构成、工业行业烟尘排放相关环境效率及其与中国对比

Fig.5 Constitution of industry dust emission by industry sectors and a comparison of the dust emission-related eco-efficiency for Jiaozuo with China average in 2007

2.2 生态效率距离指数

为了解焦作市工业行业效率水平在全国的状况,按照公式(3),计算了焦作市工业分行业的能源、废水、固体废物、SO₂、烟尘等 5 种环境负荷的生态效率与全国同行业水平的距离,汇总在图 6 中.可以看出,对于所选 5 种生态效率,焦作市与中国的距离指数,在不同工业行业间的分布具有不均衡性.其中能源、废水、固体废物、SO₂、烟尘等呈现负值的距离指数个数分别有 25、16、14、11、14 个,总数达到 80 个;呈现正值的距离指数个数分别有 8、9、11、14、11 个,总数为 53 个,明显少于呈现负值的距离指数的个数.也就是,焦作市 5 种生态效率水平优于全国水平的行业数目要远少于劣于全国水平的行业数目.从距离大小来看,呈现正值的距离指数的绝对数值远高于呈现负值的距离指数的绝对数值,表明焦作部分行业在全国同行业中的优势明显,如非金属矿采选业(NOM)固废产生相关环境效率方面的距离指数为 63.45;家具制造业(FMM)能源效率方面的距离指数是 60.09;黑色金属冶炼及压延加工

业(FMS)废水排放相关效率方面的距离指数是 37.42.相反,距离指数呈现负值的行业,焦作与中国的差距较小,基本在 -1 之内.

2.3 不确定性分析

本研究主要分析了 2007 年焦作市工业分行业能源消费及 4 种污染物排放相关的效率现状,涉及行业众多.尽管数据主要来自于统计年鉴与焦作市环保局基层监管部门,但仍存在一些不确定性.如在对 33 个工业分行业的能源效率进行分析时,由于 2008 年焦作市统计年鉴中没有工业行业能源消费的标准煤数据,所用数据为根据 2008 年焦作市统计年鉴中提供的各类能源消费种类数据,结合 2008 年中国能源统计年鉴给出的折标煤系数获得.与实际数据相比,可能会带来一定的误差.固体废物方面,调研中发现,一些单位或企业,为了减少排放量,存在变相堆存并将其视为综合利用的现象.因此,固体废弃物排放量有时并不能表征其带来的环境影响.同时,由于缺少焦作市工业行业固体废弃物综合利用量数据,焦作和全国均直接采用了固废产生相关

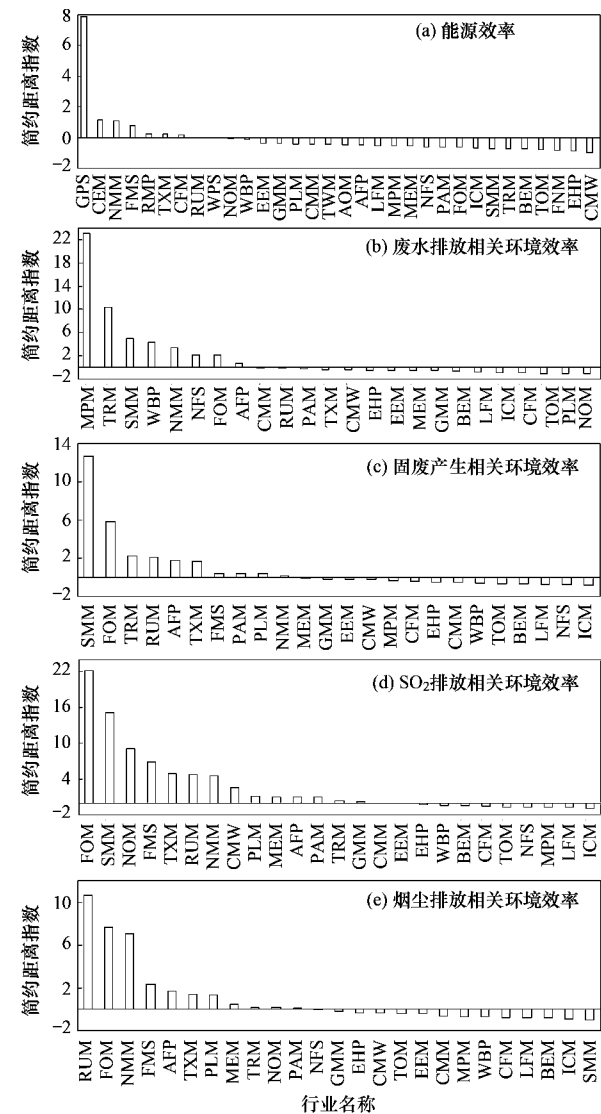


图 6 2007 年焦作与中国工业行业各类环境
负荷相关生态效率距离指数

Fig. 6 SDI of various eco-efficiencies related to the selected environmental loads for industry sectors between Jiaozuo and China average

环境效率表征固废方面的效率水平。

3 结论

(1)焦作市生态效率较低的行业,其能源消耗贡献率和污染物排放贡献率较高。生态效率较高的行业,其能源消耗贡献率和污染物排放贡献率较低。从而导致消耗同等数量能源或排放同等数量污染物时,效率较高的行业对整体生态效率提高的带动作用较弱。

(2)无论是能源消费,还是废水、固废、SO₂、烟尘等工业废物的排放或产生,在焦作市行业中均存

在明显的集中性,环境负荷结构性分布突出。

(3)焦作市工业行业生态效率与中国间的距离指数介于 -1 ~ 63.45 之间。分布上,呈现负值的距离指数个数明显多于呈现正值的距离指数个数。但距离大小方面,呈现正值的距离指数的绝对数值远高于呈现负值的距离指数的绝对数值。由此看出,焦作优势工业行业的生态效率明显高于全国水平。

参考文献:

[1] 张利库,白露.资源-环境-经济协调关系仿真研究[J].经济理论与经济管理,2007,5:19-27.

[2] 韩保江.六大瓶颈制约经济增长[J].人民论坛,2006,12/B:16-17.

[3] 刘玮,童光荣.环境视角下我国工业行业能源效率特征及影响因素[J].中国地质大学学报(社会科学版),2010,10(3):33-37.

[4] 刘畅,孔宪丽,高铁梅.中国工业行业能源消耗强度变动及影响因素的实证分析[J].资源科学,2008,30(9):1290-1299.

[5] 王洪波,王鑫,薛南冬,等.东北三省工业废水排放中典型污染物的行业分布特征[J].农业环境科学学报,2006,25(6):1685-1690.

[6] Verfaillie H A, Bidwell R. Eco-efficiency measuring: A guide to reporting company performance [R]. Geneva: World Business Council for Sustainable Development, 2000.

[7] Deutz P, Gibbs D. Eco-industrial development and economic development: Industrial ecology or place promotion? [J]. Business Strategy and the Environment, 2004, 13 (5): 347-362.

[8] Shonnard D R, Kicherer A, Saling P. Industrial applications using BASF eco-efficiency analysis: Perspectives on green engineering principles [J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37 (23): 5340-5348.

[9] Mao J S, Yang Z F, Lu Z W, et al. The relationship between industrial development and environmental impacts in China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 43 (6): 744-751.

[10] Côté R, Booth A, Louis B. Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14 (2-7): 542-550.

[11] 戴铁军,陆钟武.钢铁企业生态效率分析[J].东北大学学报(自然科学版),2005,26(12):1168-1173.

[12] 毛建素,曾润,杜艳春,等.中国工业行业的生态效率[J].环境科学,2010,31(11):2788-2794.

[13] Beér J M. High efficiency electric power generation: The environmental role [J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2007, 33 (2): 107-134.

[14] Mickwitz P, Melanen M, Rosenstrom U, et al. Regional eco-efficiency indicators-a participatory approach [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14 (18): 1603-1611.

[15] 张炳,黄和平,毕军.基于物质流分析和数据包络分析的区域生态效率评价——以江苏省为例[J].生态学报,2009,29(5):2473-2480.

[16] 王微,林剑艺,崔胜辉.基于生态效率的城市可持续性评价及

应用研究[J]. 环境科学,2010,**31**(4):1108-1113.

[17] 邵长龙,毕普云. 资源型城市工业结构专门化程度研究——以河南省焦作市为例[J]. 资源与产业,2009,**11**(3):1-3.

[18] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2009.

[19] 焦作市统计局. 2008 焦作统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2009.

[20] 孙本超. 焦作经济发展探析[J]. 焦作大学学报,2008,**1**(1):56-60.

[21] 康利敏. 焦作市经济转型研究[J]. 市场研究,2009,**8**:44-47.

[22] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Eco-efficiency[M]. Paris: OECD Publishing, 1998. 7-11.

[23] 宋豫秦. 淮河流域可持续发展战略初论[M]. 北京:化学工业出版社,2003. 84-88.

[24] 范兴建,朱杰,付永胜,等. 距离指数-层次分析法在沱江流域水安全系统评价中的应用[J]. 农业系统科学与综合研究,2009,**25**(2):129-132.

[25] 胡延兰,杨志峰,何孟常,等. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J]. 环境科学学报,2005,**25**(2):269-274.