

基于物质流分析的区域工业生态效率评价 ——以湖南省为例^{*1}

谷平华^{1,2} 刘志成¹

(1. 湖南农业大学商学院, 中国湖南长沙 410128;

2. 湖南省委网信办, 中国湖南长沙 410011)

【摘要】: 基于物质流分析法, 利用生态效率理论, 开展了省域和全国工业生态效率比较研究。分析了工业直接物质输入和生产过程输出情况, 将物质流指标与工业增加值、区域面积相结合, 以湖南省为主在时间序列上作纵向比较, 在空间上与全国水平作横向比较, 分析了工业物质流的结构。结果表明, 在分析年度内湖南省工业物质投入的效率逐步提高, 生态效率指标逐年趋优, 好于同期全国平均水平。但是, 湖南省工业消耗的水泥等资源性物质占比较大, 工业经济增长对生态环境的压力主要作用于本区域, 工业排放的废弃物铅、汞、镉、砷大幅度地高于全国平均水平。

【关键词】: 绿色发展; 工业物质流分析; 工业生态效率; 物质流结构分析; 工业生态化评价

【中图分类号】: F322 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000 - 8462 (2017) 04 - 0141 - 08

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.04.018

1990年, Schaltegger等首次提出了生态效益的概念。1992年, 世界可持续发展工商委员会将其定义为: 提供有价格竞争优势的、满足人类需求并保证生活质量的产品或服务, 同时产品和服务的全生命周期内对生态环境的冲击及自然资源的耗用, 减少到地球能够负荷的程度^[1-2]。工业产业承担着对自然物质资源加工与提取的任务, 是我国生态环境污染的主要源头^[3], 物质加工的效率与水平与生态环境有着直接的关系。在研究生态效益评价方面, 国内外学者都强调了资源、能源的消耗和污染物排放。Taeko Aoe提出生态效益评价包括资源能源消耗、温室气体排放、特定物质消耗等指标^[4]。Höh H利用环境经济核算(EEA)的生产率指标评价了德国的生态效率水平^[5]。陈迪将生态效益指标分为经济价值、环境冲击和环境治理等方面^[6]。王振等借鉴生命周期分析法对北京工业生态效率作了评价^[7]。冯宇在研究上海非中心城区工业生态效率时, 以氮氧化合物、SO₂、危险废弃物等作为生态评价指标^[8]。上述研究对区域工业生态效率评价作了有益探索, 但是对工业输入物质和废弃物排放所造成生态环境压力作用或破坏影响方面, 考虑仍欠细致周全, 而这些物质流恰恰与生态环境有最直接的关系。

物质流分析(Material Flow Analysis, MFA)法通过分析工业经济的输入物质和生产过程输出物质, 分析区域工业的生态

¹ 收稿时间: 2016-09-13; 修回时间: 2017-01-28

基金项目: 湖南省软科学研究计划重点项目(2014ZK2030); 湖南省情与决策咨询研究课题项目(2014BZZ147)

作者简介: 谷平华(1975—), 男, 湖南茶陵人, 博士研究生。主要研究方向为生态经济与管理。E-mail: chinanudt@126.com。

效率和影响生态环境的直接因素。物质流分析的观点认为,人类生产活动对环境的影响,很大程度上取决于进入经济系统的自然资源和物质的数量与质量,以及从经济系统排放到生态环境中的废弃物的数量和质量。进入经济系统的自然资源和物质产生对环境的扰动,资源消耗可能引起生态环境的退化,而排放到生态环境的废弃物数量越多,特别是有毒物质越多,对生态环境的破坏作用越大^[9]。物质流分析从经济消耗的实物出发,通过追踪人类对自然资源和物质的开采、生产、转移、分配、消耗、废弃、循环利用等过程分析,建立相应的指标体系,对特定时间和空间范围内的物质输入和输出作量化分析,从物质采掘到最终处置进行结算,以计算代谢的吞吐量来测度经济活动对环境的影响,分析评价经济发展、资源利用效率,揭示物质的流动特征和转化效率,为衡量经济的物质基础、环境影响和构建可持续发展指标提供参考^[10]。

1990 年代奥地利、日本和德国应用 MFA 分析了本国经济系统的自然资源和物质的流动状况。2001 年,欧洲环境署利用物质流分析方法对欧盟 15 国的物质流输入进行了统计分析。戴铁军等基于物质流分析方法研究了京津冀区域经济物质代谢情况^[11],刘晓萌等基于部分工业投入产出物质对城市的工业生态效率进行了测度与评价^[12]。物质流分析逐步对国家和地区资源利用状况和相关政策制定发挥着引导作用。总体而言,学者主要通过物质流分析指标计算国家或区域不同时期的动态变化以及开展相互之间的比较研究,定量描述经济系统与自然生态系统之间的物质交换,常常将有关指标与 GDP 等经济指标相结合,分析区域内资源利用的效果,探究物质减量化的对策。目前基于物质流研究的欠缺之处在于:①在研究对象上,主要关注于全面的经济系统的物质流分析,专门针对工业经济系统的物质流分析极少。②在研究范围上,对工业经济系统物质流分析主要侧重于国家层面,对区域工业经济系统的物质流分析较少,在进行区域工业物质流分析时缺乏与国家层面的对比分析。本文试图弥补以上研究不足。本文根据物质流分析方法和生态效率理论,建立基于物质流账户的省级和国家层面的生态效率评价指标,以省级层面为主进行不同时期的纵向比较和选定某一年度与全国层面横向比较。

1 研究方法 with 数据描述

自然环境为工业经济系统提供输入物质,经过加工、贸易、使用、回收、废弃等过程,一部分存储于工业经济系统内,其余部分输出物质返回到自然环境中。根据质量守恒定律,整个过程中输入量恒等于输出量与存储量之和。为了描述工业经济系统物质代谢,简要介绍相关指标,工业直接物质输入 DMI (Direct Material Input), 主要指由外界输入工业经济系统,直接参与工业经济系统的运行,具有确定经济价值的物质流,如煤炭、石油、天然气等化石能源,金属、非金属矿物,粮食、牲畜等生物物质等,包括区域资源开采加上进口产品。总物质需求 TMR (Total Material Requirement), 为进入工业经济系统运行的所有外界环境投入,除了直接进入工业经济系统的工业直接物质投入 DMI 之外,还包括由于开采、生产自然资源及其他经济行为所不可避免产生的、不进入工业经济系统,一经产生就变成废物的没有经济价值的物质流,又叫隐流,主要包括矿业生产中的掘进和剥离量,工业生产过程中碎料损失等。工业生产过程输出 DPO (Domestic Processed Output), 指工业经济系统运行中所产生的各种排放到自然环境中的废弃物,如水体污染物、大气污染物、工业固体废弃物^[11]。

1.1 工业经济系统的 MFA 框架

根据欧盟导则,工业经济系统为开放的系统,通过物质流动与外界环境(含外界经济系统)发生联系,在宏观层面的工业物质流分析中,工业经济系统是一个整体,分析中注重考虑系统边界,进入自然界或其他经济系统的物质流不予考虑。工业经济系统的物质输入为部分生物(用于生物、医药、食品等加工制造业的生物)、化石燃料、金属矿物、工业非金属矿物、工业半成品及制成品等 5 种类型。化石燃料包括煤炭、石油、铀矿等,金属矿物包括生铁、粗钢、镁和十种有色金属矿石(铜、铝、铅、锌、镍、锡、锑、汞、钼、钨),工业相关非金属矿物包括原盐、电石、松香、硅酸盐、磷矿石等^[13]。以欧盟导则中的分析框架为基础^[14],结合区域工业物质代谢实际,区域工业物质流分析框架如图 1。

物质输入工业经济系统物质输出



图1 工业物质流分析基本框架

Fig.1 Basic framework of industrial material flow analysis

区域工业直接物质输入 DMI 为上述 5 种类型指标资源开采量、进口量（对国家层面为国外进口量，对于省级区域为国外进口和区域外流入量）。由于工业直接物质输入 DMI 是基础，由直接物质输入量乘以隐流系数计算出隐流，同一国家或地区的不同时期的隐流系数也不一样。有关研究表明，直接物质投入量随着总物质需求的增大而增大。欧盟的物质总需求的 50% 左右是隐藏流。由于工业直接物质投入 DMI 与总物质需求 TMR 存在一定内在联系，因此用工业直接物质输入 DMI 取代总物质需求 TMR，不仅可以避免隐藏流计算方法不统一，TMR 考虑的物质过于宽泛等不足，而且 DMI 有相对精确的统计数据作支撑，有利于同口径比较。工业生产过程输出 DPO 包括排放到空气中的工业污染物、排放到水中的工业污染物和工业固体废弃物。其中，排放到空气中的污染物包括 SO_2 排放、氮氧化合物、工业烟粉尘排放，由于工业产生的 CO_2 的排放量相比其他类气体不仅量大，而且有毒有害性相对较弱，故不考虑 CO_2 的排放。排放到水中的污染物包括汞、镉、六价铬、铅、砷、挥发酚、氨氮、总氮、总磷、石油类和工业废水中化学需氧量。本研究中不采用添加平衡项的方法来保持物质平衡，因为单纯追求物质平衡意义不大，选择工业直接物质输入 DMI 和工业生产过程输出 DPO 来表征工业经济活动产生的物质扰动对生态环境的影响。

工业经济系统在统计上划分为 44 个部门，根据已有的计算经验，水的输入量为固体物质的 10 倍，如果将水纳入输入物质则会掩盖和冲淡固体物质输入，因此在工业部门中不考虑水的生产和供应业，但是混入食品、饮料、化学溶液等物质中的水计入工业直接物质输入 DMI。同样，废水排放的重量不计入工业生产过程输出 DPO。所有计入工业经济系统直接物质输入 DMI 和工业生产输出 DPO 的物质质量均以 t 为单位。

表1 工业经济部门分类
Tab.1 Classification of industrial sectors

一级部门	二级部门
1.采矿业	煤炭开采和洗选业,天然气和石油开采业,黑色金属矿采选业,其他采矿业 农副食品加工业,食品制造业,酒饮料和精制茶制造业,烟草制造业,纺织业、纺织服装服饰业,皮革皮毛羽绒及其制造和制鞋业,木材加工和木竹等制品业,家具制造业,造纸和纸制品制造业,文教、工美体育和娱乐用品制造业,文教、美工、体育和娱乐用品制造业,石油加工、炼焦和核燃料加工业,化学原料和化学制品制造业,医药制造业,化学纤维制造业,橡胶和塑料制造业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼和压延加工业,有色金属冶炼和压延加工业,金属制品业,通用设备制造业,汽车制造业,铁路、船舶、航天和其他运输设备制造业,电气机械和器材制造业,计算机、通信和其他电子设备制造业,仪器仪表制造业,其他制造业、废弃资源综合利用业
2.制造业	
3.电力、燃气的生产和供应业	电力、热力生产和供应业,燃气生产和供应业

1.2 工业有关 MFA 指标及生态效率指标

区域工业直接物质输入 DMI 为表 1 中的工业主要部门输入物质, 主要包含物质开采量、区域物质进口量、资源综合利用量、工业能源消耗投入物质质量。在国家层面, 区域进口量为国外工业产品或物质进口量。在省级层面, 区域物质进口量为国外进口量与区域外流入的物质质量之和。统计部门可以提供从国外进口的工业生产性物质数据, 区域外流通进入本区域的工业生产性物质很难统计。但是, 统计数据中的工业主要产品产量涵盖了资源性开采物质、半成品及制成品, 模糊了该资源性物质、半成品及制成品是否为本区域加工生产, 是否为资源循环利用物质。

生态效率是生态资源满足人类需要的效率, 是经济、社会、资源环境之间可持续和协调发展的体现^[15]。生态效率理论中心思想是期望以最小的资源消耗和环境破坏获得最大的经济效益。目前对生态效率评价通常有两种方法, 一种是针对部分投入产出物质采取包络分析法等计算生态效率, 另一种是环境影响与经济价值的比值计算法。汪克亮等利用工业用水、煤炭消耗、COD 排放、SO₂ 排放等物质指标以包络分析法评价了全国各省工业生态效率^[16]。这种方法的缺点是指标中选择的物质有限, 容易忽视对生态环境有更大破坏作用的物质, 无法了解工业生产各环节的生态效率水平, 对生态效率改进的政策指导性不强^[3]。刘滨等利用直接物质投入量 DMI 与 GDP 的比值表示资源综合消耗强度^[17]。

本文在相关 MFA 数据的基础上, 引入工业经济有关指标(规模工业增加值、区域面积), 与物质流指标结合, 通过与物质流有关的生态环境影响指标与经济价值指标相比, 反映工业经济发展的生态效益。主要生态效率指标: ①工业物质使用强度, 通过单位工业增加值需要的直接物质投入量来衡量, 测度一年之中区域内直接物质输入使用效率的指标, 等于区域工业经济系统的直接物质输入 DMI 除以规模工业增加值(工业物质使用强度=工业直接物质输入 DMI/规模工业增加值)。区域工业生产力水平和产业结构是影响工业物质使用强度的主要因素。该指标值越低表示工业直接物质使用强度越高, 也就是单位工业经济的产出越高。②工业废物排放强度, 通过单位工业增加值对应排放到环境中的工业废弃物量来衡量, 测度一年之中区域内工业生产过程中的废弃物输出量, 等于区域工业经济系统的工业生产过程输出 DPO 除以规模工业增加值(工业生产排放强度=区域工业生产过程输出 DPO/规模工业增加值)。该指标越低表示工业生产过程中的废弃物越少, 也就是单位工业经济排放的废弃物越少。③工业物质提取密度, 衡量一年之中区域单位面积工业经济系统的物质提取量的指标, 等于区域工业直接物质输入量除以区域面积(工业物质提取密度=区域工业直接物质输入 DMI/区域面积)。该指标值越低表示单位面积提取的工业物质越少, 工业经济发展对生态环境的影响越小。④工业废弃物排放密度, 衡量一年之中区域单位面积工业废弃物排放量的指标, 等于区域工业生产过程输出量除以区域面积(工业废弃物排放密度=工业生产过程输出 DPO/区域面积)。该指标值越低表示单位面积排放的工业废弃物越少, 工业经济发展对生态环境的影响越小。

1.3 数据的收集与处理

省域数据以湖南省为例, 为便于时间上的纵向比较, 尽量保证统计指标的一致性, 采用 2012—2014 年度的统计数据(此前数据统计口径与当前略有变化, 不便于比较)。国家层面, 采用 2014 年度数据, 便于省域与国家平均水平横向比较。统计数据中的工业主要产品产量反映了工业主要投入的物质, 包含区域开采的工业资源性物质、区域外流入的部分半成品以及区域加工生产的产品。在统计年鉴能源综合平衡表中反映了工业行业消耗的煤炭、石油等资源性物质。国家和省级层面统计部门的进口商品表有关从国外进口的数据, 主要包括了矿产、煤炭、原油、成品油、化学原料等工业资源性物质及铜材等半成品, 省级层面的区域进口只考虑从国外进口, 无需再考虑从外省流入本区域的原材料或半成品等, 因为主要产品产量表中已经模糊了所采集资源或产品的区域性。剔除所有统计数据中不以重量计的产品及产量, 水和空气流在工业生产物质输入中量很大, 不予加和统计。总体看, 虽然数据不是十分精确, 但采取了统一的标准, 数据具有可比较性。因此, 区域工业直接物质输入 DMI=工业主要产品产量+工业行业能源消耗的煤炭、石油等资源性物质投入量+国外进口工业半成品及资源性物质质量。工业直接物质投入情况见表 2。

表2 工业直接物质投入情况/万 t
Tab.2 Industrial direct material input / 10⁴t

物质投入指标	2012年湖南省	2013年湖南省	2014年湖南省	2014年全国
工业主要产品产量	33 874.33	33 398.95	33 017.48	1 091 069.80
工业生产中煤炭、石油等能源性物质投入量	10 851.72	9 612.76	9 158.86	420 751.60
工业进口物质量	2 134.45	2 134.45	2 513.99	166 624.00
工业直接物质输入量DMI	46 860.50	45 374.86	44 690.33	1 678 445.40

注:数据来源于《湖南省工业统计年鉴》(2013年)、《湖南省统计年鉴》(2013—2015年)、《中国统计年鉴》(2013—2015年)。

在工业生产废弃物排放中,废水和CO₂的排放量比较大,容易冲淡更具破坏作用的其他废弃物所带来的影响,因此不计算废水以及CO₂的重量。工业主要污染物排放情况见表3。

表3 工业主要污染物排放情况
Tab.3 Emissions of industrial pollutants

工业主要污染物排放	2012年湖南省	2013年湖南省	2014年湖南省	2014年全国
废水中主要废弃物				
#化学需氧量(万t)	126.34	124.90	122.90	2 294.59
#氨氮(万t)	16.13	15.77	15.44	238.53
#总氮(万t)	22.05	22.07	22.29	456.14
#总磷(万t)	2.67	2.38	2.71	53.45
#石油类(t)	784.50	585.00	542.70	16 203.60
#挥发酚(t)	19.90	19.50	18.40	1 378.40
#铅(kg)	38 607.30	24 318.60	21 609.30	73 184.70
#汞(kg)	236.90	234.70	151.70	745.90
#镉(kg)	13 516.80	6 746.90	6 536.50	17 251.10
#六价铬(kg)	2 098.90	1 025.00	1 252.50	34 925.30
#总铬(kg)	18 168.90	11 366.90	5 918.90	132 797.40
#砷(kg)	53 524.90	42 572.30	35 794.20	109 729.80
废气中主要污染物				
#SO ₂ (万t)	64.50	64.13	62.37	1 974.42
#氮氧化物(万t)	60.72	58.82	55.28	2 078.00
#烟粉尘(万t)	34.07	35.87	49.62	1 740.75
固体废弃物				
#一般工业固体废物产生量(万t)	8 115.92	7 805.68	6 933.47	325 620.02
区域工业生产过程输出DPO(t)	83 324 126.15	81 296 890.53	72 640 912.00	3 344 260 997.84

注:数据来源于《中国统计年鉴》(2013—2015年)。

根据工业直接物质输入DMI、工业生产过程排放DPO数据,计算工业物质使用强度、工业物质提取密度、工业生产排放强度、工业废弃物排放密度等指标值,见表4。

表4 工业物质输入及生产过程输出有关强度
Tab.4 The intensity of input and output of industrial materials

MFA及生态效益有关指标	2012年湖南省	2013年湖南省	2014年湖南省	2014年全国
工业直接物质输入量DMI(t)	468 605 000	453 748 600	446 903 300	16 784 454 300
工业生产过程输出DPO(t)	83 324 126	81 296 891	72 640 912	3 344 260 998
规模工业增加值(亿元)(现价)	8 567.51	9 788.46	10 488.15	228 176.19
区域面积(/km ²)			211 800.00	9 634 057.00
工业物质使用强度=工业直接物质投入量/规模工业增加值(t/亿元)	54 695.59	46 355.46	42 610.31	73 559.18
工业物质提取密度=工业直接物质投入量/区域面积(t/km ²)	2 212.49	2 142.34	2 110.03	1 742.20
工业生产排放强度=废弃物排放/规模工业增加值(t/亿元)	9 725.60	8 305.38	6 926.00	14 656.49
工业废弃物排放密度=工业废弃物排放量/区域面积(t/km ²)	393.41	383.84	342.97	347.13

2 结果与讨论

湖南省经济、资源和生态环境实现了相对协调发展，在规模工业增加值保持了较快增长的前提下，工业直接物质输入 DMI、工业生产过程输出 DPO 却持续下降，表征工业生态效率的工业物质使用强度、工业物质提取密度、工业生产排放强度、工业生产排放密度等指标值逐年趋好，2014 年湖南省工业物质使用强度、工业生产排放强度、工业生产排放密度指标均优于全国平均水平。从工业生产废弃物排放的结构来分析，湖南省工业生产过程中排放的铅、汞、镉、砷等废弃物明显偏多。值得警醒的是，随着技术进步和产业优化，虽然工业物质使用强度、工业生产排放强度等指标在下降，但资源消耗和排放的绝对量仍在增加，生态环境仍在恶化^[18]。

2.1 物质流指标分析

2012—2014 年，在湖南省规模工业增加值保持了正增长的前提下，工业直接物质输入 DMI 和工业生产过程输出 DPO 却持续下降，DMI 由 2012 年的 46 860.5 万 t 下降到 2014 年的 44 690.33 万 t，表明湖南省工业以较少的物质输入，支撑了较快的经济增长，意味着工业加工制造的效率明显提高（图 2）。

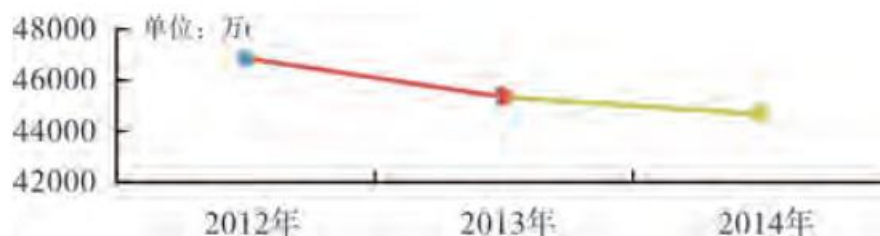


图 2 湖南省工业直接物质输入 DMI

Fig.2 Direct material input in Hunan Province DMI

DPO 由 2012 年的 8 332.4 万 t，下降到 2014 年的 7 264.1 万 t，其中 2013 年 DPO 同比下降 2%，2014 年 DPO 同比下降 9%，表明工业经济保持了较快增长，工业生产排放的废弃物却更少了，意味着高排放的产业得到了一定程度的遏制，产业精深加工的能力更强了，产业结构得到一定改善，资源利用的效率提升（图 3）。

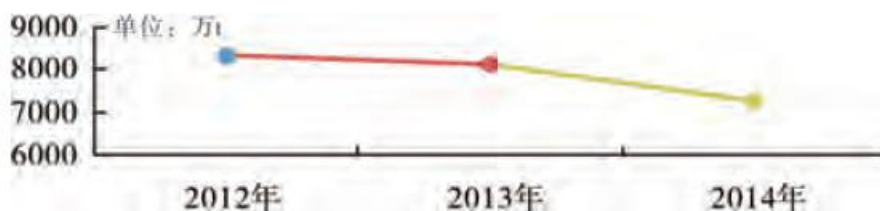


图 3 湖南省工业生产过程输出 DPO

Fig.3 Output of industrial production in Hunan Province DPO

2.2 生态效率分析

湖南省规模工业增加值每 1 亿元消耗输入物质由 2012 年的 54 695.59t 下降到 2014 年的 42 610.31t，表明湖南省规模工业单位增加值所消耗的物质质量出现一定幅度下降，意味着物质投入产出的效率提高了。湖南省工业物质使用强度明显优于全国平均水平，2014 年全国规模工业增加值每 1 亿元消耗输入物质 73 559.18t。表明湖南省与全国相比，实现单位增加值所消耗的输入物质低于全国水平，意味着资源加工的效率总体高于全国平均水平（图 4）。

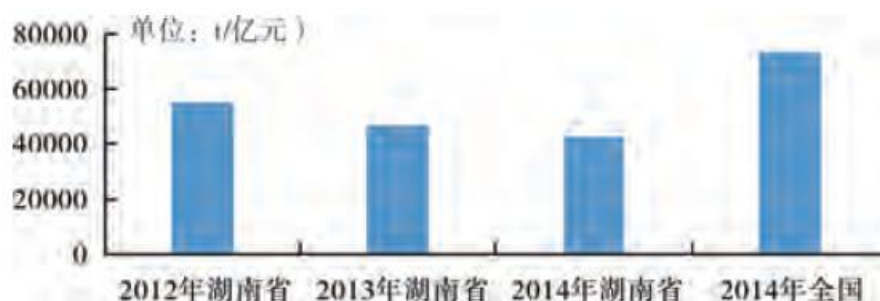


图 4 工业物质使用强度
Fig.4 Intensity of industrial materials

湖南省工业物质提取密度逐年下降，湖南省每 1km² 提取的工业所需的输入物质由 2012 年的 2 212.49t，下降到 2014 年的 2 110.03t，表明湖南省单位面积提取的工业输入物质逐年下降。2014 年全国每 1km² 工业所消耗的输入物质质量 1 742.20t，湖南省每 1km² 消耗的物质质量明显高于全国平均水平，表明湖南省工业行业中物质资源依赖性和消耗性的产业较多，资源加工利用的效率有待提升（图 5）。

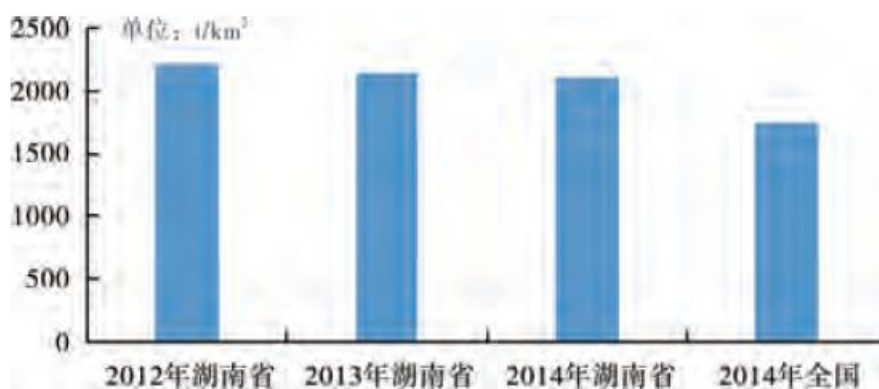


图 5 工业物质提取密度
Fig.5 Extraction density of industrial materials

湖南省工业生产排放强度指标逐年趋好，规模工业每实现 1 亿元增加值由 2012 年对应排放废弃物 9 725.59t，到 2014 年对应排放废弃物 6 926.00t，表明湖南省规模工业单位增加值对生态的扰动影响作用在减弱。2014 年全国规模工业每 1 亿元增加值对应排放废弃物 14 656.49t，湖南省工业单位增加值所排放的废弃物低于全国平均水平，工业单位增加值对环境的扰动影响好于全国水平（图 6）。

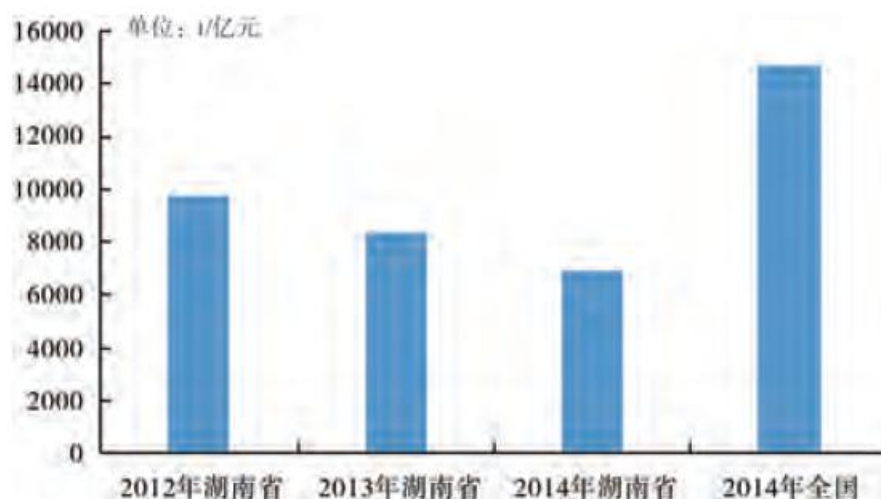


图6 工业生产排放强度

Fig.6 Emission intensity of industrial production

湖南省工业废弃物排放密度指标逐年趋好，2012、2013 年湖南省每 1km^2 排放废弃物 393.41t、383.84t，明显高于 2014 年的 342.97t，表明湖南省单位面积排放的废弃物在逐年下降。2014 年全国每 1km^2 排放废弃物 347.13t，湖南省单位面积工业废弃物排放量略少于全国单位面积废弃物排放量，废弃物排放的形势不容乐观（图 7）。

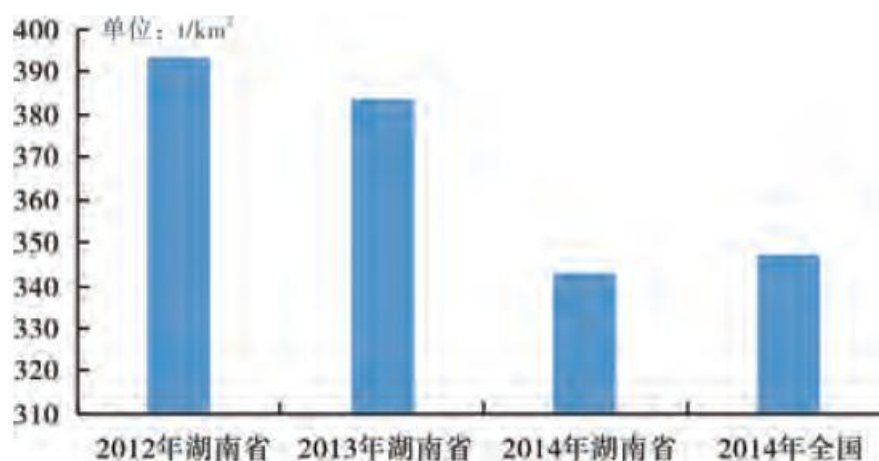


图7 工业废弃物排放密度

Fig.7 Industrial waste emission density

2.3 物质流结构分析

通过分析输入输出的物质流的结构成分，能够更加精准地分析和判断生产环节的生态效率，还可以通过物质流结构来分析产业结构，分析输出物质特别是关键输出物质对生态环境的扰动作用。工业物质投入增加了环境的承载压力，对用量特别大的物质应给予更多关注。从表 2 可知，2014 年，湖南省工业行业能源消耗煤炭、石油等资源性物质在工业直接物质输入中占比达

20.49%, 全国的平均水平只有 2.5%, 表明湖南省高耗能产业占比相对较大。湖南省工业进口物质占工业直接物质输入 DMI 的 5.6%, 全国工业进口物质在工业直接物质输入 DMI 中的占比 9.9%, 湖南工业的外向依赖度低于全国平均水平, 表明经济增长的生态环境压力更多作用于本地区。湖南工业直接输入物质中水泥占 36.3%, 全国工业直接输入物质中水泥、钢材共占 23.9%, 表明水泥、钢材等物质在工业输入物质中占比较大, 给自然环境造成较大的压力, 同时说明湖南资源性产业占比高于全国平均水平, 产业结构有待改善。工业生产过程输出对生态环境具有较大负面影响, 虽然部分物质量不大, 但是进入生态系统循环后, 对人体及其他生物体产生巨大的破坏作用, 加强对此类输出物质的分析十分必要。湖南省铅、汞、镉、砷等废弃物排放量比较多, 这些物质对人类健康和生态环境的破坏作用很大。从表 3 可知, 2012—2014 年湖南省工业对应排放铅、汞、镉、砷虽然总体呈下降趋势, 但是 2014 年湖南省工业行业对应排放铅、汞、镉、砷分别为 21 609.3kg、151.7kg、6 536.5kg、35 794.2kg, 占全国工业行业对应废弃物排放量的 29.5%、20.3%、37.9%、32.6%, 成为全国镉、砷、铅、汞污染比较严重的地区。

3 结论及政策建议

本研究基于物质流分析思想, 以工业经济为研究对象, 研究了 2012—2014 年湖南省及 2014 年全国工业直接物质输入 DMI、工业生产过程输出 DPO 情况。同时, 引入规模工业增加值、区域面积等指标, 运用生态效益理论, 对 2012—2014 年湖南省以及 2014 年全国工业物质使用强度、工业物质使用密度、工业物质排放强度、工业物质排放密度进行了研究。结果表明: ①2012—2014 年湖南省规模工业直接物质输入 DMI、工业生产输出 DPO 逐年下降, 而规模工业增加值保持正增长, 表明物质投入的效率逐年提高。②2012—2014 年湖南省工业物质使用强度、工业物质使用密度、工业物质排放强度、工业物质排放密度生态效率指标逐年趋优, 从 2014 年与全国比较看, 以上指标值优于全国平均水平, 表明湖南省将新型工业化作为第一推动力取得了成效, 工业发展的生态化水平逐年提升。③分析了工业物质流结构。2014 年, 湖南省工业行业能源消耗的煤炭、石油等资源性物质量大, 湖南高耗能产业较多, 工业对外依存度偏低, 水泥等资源性产业占比大, 产业结构有待优化。湖南省工业排放的废弃物中铅、汞、镉、砷在全国工业排放的同类废弃物占比过高, 这些关键性的工业废弃物虽然质量不大, 但对生态环境具有很大的破坏作用。为此提出以下政策建议。

第一, 加强对工业物质流的监测分析和预测预警。重点加强对工业输入物质和生产过程输出物质的监测分析, 引导工业企业提高资源深加工能力, 合理开发利用自然资源, 防止过度开采, 给生态环境造成承载压力。加强工业排放物质的结构分析和预测预警, 对排放高毒性重金属的企业及时要求予以关停整改、改造升级, 防止高毒性物质污染水源和土壤, 破坏生态系统。

第二, 提高工业输入物质的深加工能力。引导企业加大投入, 提高科技创新能力, 提高物质资源的循环利用能力。延伸产业链条, 发展高技术、深加工产业, 提高工业生态效率。引导企业树立环保意识, 将节能减排作为企业的自觉行动。推进“互联网+”行动, 促进智能制造发展, 以信息流带动资源的高效配置。仿照生态学原理, 加快工业企业共生网络的发展, 加强副产品在工业共生网络中的应用, 减少废弃物的排放。

第三, 加强政策支持。通过政策引导调动企业对节能减排技术的应用积极性, 推动节能环保产业发展, 促进企业对环境进行保护性开发。加快落后产能的淘汰, 促进节能减排。加强工业污染治理的监督指导, 支持“三废”处理技术和设备的研发。

第四, 推进制造强省行动。改变依靠大量资源投入和环境污染的粗放式发展方式, 大力推进新型工业化, 推进集约高效型生产方式。加快制造强省专项行动, 推进高端制造、绿色制造、智能制造和服务型制造发展, 改善产业结构, 以高端制造业带动工业跨越式发展。

参考文献:

[1] K Fuse, Y Horikoshi, et al. Application of Eco-efficiency Factor to Mobile Phone and Scanner [C]. The 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2003: 356 - 359.

-
- [2] Jacqueline Cramer and Herman Van Lochem The Practical Use of the "Eco- Efficiency" Concept in Industry: The Case of Akzo Nobel [J]. Sustainable Product Design, 2001(3): 171 - 180.
- [3] 潘兴侠, 何宜庆. 工业生态效率评价及其影响因素研究——基于中国中东部省域面板数据 [J]. 华东经济管理, 2014(3): 33 - 38.
- [4] Taeko AOB Eco- efficiency and Ecodesign in Electrical and Electronic products [J]. Cleaner Production, 2007, 15(15): 1406- 1414.
- [5] Hartmut Hoh, Karl Schoer, Steffen Seibel. Eco-efficiency Indicators in German Environmental-economic Accounting [J. Statistical Journal of the United Nations ECE, 2002, 19: 41 - 52.
- [6] 陈迪. 中国制造业生态效益评价区域差异比较分析 [J]. 中国科技论坛, 2008(1): 37 - 41.
- [7] 王震, 石磊, 刘晶茹, 等. 区域工业生态效率的测算方法及应用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 121 - 126.
- [8] 冯宇, 林逢春, 李青. 基于 DEA 的上海市非中心城区工业生态效率研究 [J]. 环境科学与管理, 2013(1): 141 - 146.
- [9] 黄和平, 毕军, 张炳, 等. 物质流分析研究述评 [J]. 生态学报, 2007, 27(1): 368 - 379.
- [10] P. H. Brunner and H. Rechberger. Practical Handbook of Material Flow Analysis [J]. Waste Management, 2005(25): 111 -113.
- [11] 戴铁军, 赵迪. 基于物质流分析的京津冀区域物质代谢研究 [J]. 工业技术经济, 2016(4): 124 - 133.
- [12] 刘晓萌, 孟祥瑞, 汪克亮. 城市工业生态效率测度与评价: 安徽的实证 [J]. 华东经济管理, 2016(8): 29 - 34.
- [13] 吴晓姝, 宣艳妮, 岳强. 基于物质流的钢铁工业资源效率分析 [J]. 冶金能源, 2015(6): 11 - 18.
- [14] European Commission. Economy- wide Material Flow Accounting: A Compilation Guide [M]. Luxembourg: European Communities, 2007.
- [15] 刘天舒, 李艳梅. 基于生态效率的区域循环经济发展水平比较 [J]. 商业经济研究, 2016(8): 129 - 132.
- [16] 汪克亮, 张晨阳, 孟祥瑞. 环境压力视角下中国地区工业生态效率的异质性 [J]. 科技管理研究, 2016(10): 242 - 248.
- [17] 刘滨, 王苏亮, 吴宗鑫. 试论以物质流分析方法为基础建立我国循环经济指标体系 [J]. 中国人口·资源与环境, 2005(4): 32 - 36.
- [18] 吴开亚, 刘晓薇, 朱勤, 等. 安徽省经济增长与环境压力的脱钩关系研究——基于物质流分析 [J]. 地域研究与开发, 2012(8): 29 - 33.