

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2015.05.009

中国分地区经济活动物质流分析与比较研究^{*}

王 红¹, 齐建国^{1,2}

(1. 中国社会科学院 数量经济与技术研究所, 北京 100732; 2. 重庆工商大学 经济学院, 重庆 400067)

摘 要:物质流分析是制定资源高效循环利用政策、克服经济增长与资源环境矛盾的重要工具。利用统计学、主成分分析和超效率 DEA 分析等方法,对 2013 年我国 31 个省市经济活动的物质流进行系统的比较分析,结果表明:我国物质投入存在明显的有规律的省际和区域差异,东部地区和西部地区间的差异尤其明显;主要影响因素有人口密度、人均物质资源蓄积存量、人均 GDP、产业结构、R&D 投入及矿产资源禀赋强度等,社会经济综合成分、二产比重及人口密度二维成分和资源禀赋单成分是解释其大部分差异的三个主成分;天津、北京、上海、江苏、广东和新疆等省市区的相对物质综合利用效率大于 1;根据物质投入强度和物质利用效率,31 个省市可划分为四个类别。

关键词:物质流分析;区域经济;经济活动;直接物质投入;国内一次资源开采量;物质投入强度;物质综合利用效率;资源效率

中图分类号:F062.4;F224.0

文献标志码:A

文章编号:1674-8131(2015)05-0071-13

一、引言

物质资源是人类生产和生活的基础。随着人口增长和人均资源消耗数量的不断增加,可供人类使用的不可再生资源日益减少,人类可持续发展正在受到物质资源供给的硬约束。因此,对物质资源进行精细化管理,节约利用物资资源,是经济社会可持续发展的重要基础。虽然中国经济从过去三十多年的两位数增长降低到“新常态”下 7% 左右的中高速增长,但到 2025 年前后中国的人口将达到 14.2~14.4 亿(秦中春,2013;王光召等,2014),届时经济总量将会在 2014 年的基础上翻一番,资源消耗

的总量仍然将会继续上升。从资源安全和经济安全角度考虑,对我国的物质流进行全面分析和评估,为制定和优化物质资源节约利用政策提供基础数据支持,具有重大的学术意义和现实意义。

物质流分析方法是衡量物质流与经济和环境系统相互作用的一系列成熟的研究方法(OECD, 2015),能够评估人类经济活动所造成的自然资源损耗和环境退化的总体情况,评价或预警经济活动的现有及潜在的资源环境压力(彼得·巴特姆斯, 2010),进而为制定优化的资源政策提供重要基础信息。

自第一部经济系统物质流分析研究方法手册

* 收稿日期:2015-07-09

基金项目:中国社会科学院哲学社会科学创新工程项目“循环经济发展评价理论与方法”

作者简介:王红(1968—),陕西绥德人;博士,中国社会科学院中国循环经济与环境预测评估中心项目研究员,主要从事循环经济与技术经济研究;E-mail: wonscarlett@126.com。

齐建国,男;研究员,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所副所长,重庆工商大学经济学院名誉院长,主要从事技术经济与循环经济研究。

(European Communities, 2001) 出版以来,物质流分析的方法研究和实际应用取得了很大进展。但是,我国关于物质流的研究不仅起步晚,而且系统的研究成果不多。已有的研究主要针对单种物质元素,在国家和区域层面上对物质流进行全面研究的成果较少,利用计量经济学软件进行深度分析的研究更少,尚没有在区域层次上对我国各省市自治区物质流投入进行系统分析和比较的研究成果。为此,本研究利用统计学和计量经济学方法,对 2013 年我国 31 个省、直辖市和自治区(以下简称各省)经济活动的物质投入进行系统的比较分析,从而为评价我国各省物质资源投入和利用效率提供重要信息,对国家和地方制定“十三五”期间资源环境政策具有重要的参考价值。本文研究的主要内容包括:一是对各省资源投入总量、强度及其省际和区域差异性进行比较,并运用多因子分析和主成分分析方法确定其主要影响因素;二是利用超效率 DEA 数据包络分析方法,在考虑劳动力、资本和物质投入的情况下,比较分析各省相对的物质综合利用效率。

二、文献综述

1. 国际研究

随着环境和气候变化问题日益成为全球关注的焦点问题,近 20 年来,物质流分析已经成为发达国家,尤其是欧盟和日本制定资源与环境政策的重要工具,基于物质流分析的资源利用效率研究成为资源环境学界的重要研究领域。如 Hashimoto 等(2008)运用物质流指标分解方法研究了日本经济的物质流及其效率,Pablo Muñoz 和 Hubacek(2008)应用结构分解方法对智利经济的物质流进行了研究,Weinzettel 和 Kovanda(2011)也运用结构分析方法对捷克经济的物质流进行了研究,Steger 和 Bleischwitz(2011)运用面板数据分析方法研究了欧盟经济的物质流,Steinberger 等(2010)则运用多种方法对全球的物质流进行了详尽研究。

这些研究中,有针对单个国家或地区的时间序列数据分析,有针对全球、欧盟或其他地域分组的横截面比较研究,还有一些研究则既有时间序列分析又有横截面分析。后两种对于本研究具有一定的借鉴意义。比如:2004 年 Bringezu 等(2004)研究了 11 个国家总物质消耗(TMR)的动态变化,比较了 26 个国家的直接物质投入(DMI),并对 DMI 进

行了结构分析以确定物质利用与经济增长的关系。2006 年 Weisz 等(2006)对欧盟 15 国 1970—2001 年经济活动的物质投入进行了研究,发现欧盟 15 国的人均直接物质消耗(DMC)差异很大,意大利和英国最小(人均 12 吨),荷兰最大(人均 37 吨),相差 3 倍左右。造成 DMC 国家间差异最主要的因素是以往研究中常被忽略的人均土地面积或人口密度:人口密度高的国家人均资源禀赋相对较少,更能激励资源高效集约利用,且基础设施的共用程度更高,因此人均建筑矿产需求强度相对较低。经济结构也是造成 DMC 国家间差异的重要因素,而收入或经济发展水平的影响相对较弱。对 DMC 的分类研究表明,建筑矿产资源 DMC 的动态变化主要由经济发展水平决定,工业化初期 DMC 增长较快,工业化后期 DMC 增长相对平缓,这可能是由于工业化初中期对基础设施建设需求量大且增长快,资源消耗需求增长快。工业矿产和化石能源资源消耗强度的国家间差异较大,主要是因为各国资源禀赋和产业结构有所差异。

Arno 等(2007)对 1980—2002 年全球物质利用效率进行了量化分析,发现亚洲和拉丁美洲在全球资源开采中所占的比重增加。Steinberge 等(2010)对 2000 年全球 175 个国家的物质投入(包括国内开采和进出口)进行了详尽研究,这是国际上首例对全球物质利用及其驱动因素的系统分析。他们计算了国内资源开采(Domestic Extraction, DE)、DMC 和四类物质资源的国际消费,分析了国家间的差异性和分配不平等性(基尼系数),测量了人口、GDP、土地面积和气候等因素对物质投入的影响,得到了全球物质资源消耗的收入弹性。不同物质资源类别中,生物质资源分配最均匀,经济弹性最小,与其他资源类别不存在相关关系;而工业用和建筑用矿产资源则存在相关关系,且都与经济活动相关,表明经济增长的减物质化需要对产业结构进行调整。

Huanga(2012)等回顾了社会经济可持续发展研究中物质流分析方法的作用和实际运用。West 和 Schandl(2013)运用 IPAT 框架对拉美和加勒比海国家的自然资源使用进行了分析,发现人口增长和人均收入增加对资源消费增长具有明显的影响,而技术变化对资源消费的影响却较小。

West 等(2014)研究了东欧、高加索和中亚地区

(EECCA) 12 个国家 1992—2002 年的物质消费和资源效率, 发现技术、人口和富裕程度对各国的物质消费均有较为明显的影响。Schaffartzik 等(2014)研究了 1950—2010 年全球六个地区 177 个国家的物质流特点和趋势, 发现在此期间全球人均年物质消费量从 5.0 吨增加到了 10.3 吨; 亚撒哈拉非洲地区最低, 为 4.5 吨/人·年; 亚洲的物质消费份额超出了西方工业国家; 西方工业国家在完成由农业社会向工业化社会的转变之后, 工业用资源主要用于基础设施建设和运行、建筑以及耐用消费品的存量积累, 人均物质消费逐渐趋于平稳, 2010 年为 14.8 吨/人·年, 生物质、化石能源资源和建材资源比重基本相等; 其他地区存在向西方工业国家趋同的趋势, 但趋同速度存在差异。总体上, 地区物质流的差异性与自然资源禀赋、经济发展和与世界经济的融合度等因素相关。Pothen 和 Schymura 利用国际投入产出表(WIOD)中社会经济账户(SEA)数据(Dietzenbacher, 2013), 对物质资源开采占全球 75%、GDP 占全球 88% 的 40 个国家 1995—2008 年的物质生产和消费进行了分析, 发现少数国家的物质资源投入有所下降, 大多数国家大幅增加; 经济增长和结构变化能够解释物质消耗增长的大部分, 而物质利用效率的小幅提升、高物质消耗产业比重的下降具有减少物质消耗的作用。

总体上, 近年来国际上研究了全球、国家或区域经济活动的物质投入、消耗及一系列相关的自然、社会和经济因素, 如人口密度、自然资源禀赋、经济增长、收入(或富裕程度)、技术水平、产业结构、最终需求结构、能源消费、与世界经济的融合度(或进出口)等, 研究对象和发展阶段不同, 影响物质资源消耗的主导因素有所不同, 不同种类的物质资源投入之间也存在一定的差异性。这些成果对于本研究具有一定的借鉴作用和启发意义。

2. 国内研究

2000 年前后中国引入“循环经济”概念并在实践中不断推进, 中国对于物质资源利用的研究也日益活跃, 物质流分析成为学术界关注的一个热点。最新相关研究是董朝阳等(2015)运用物质流分析方法对 2005—2011 年宁波市经济系统物质输入与输出的分析。他们探讨了城市经济发展与环境压

力的关系, 发现在此期间宁波市的物质输入输出平均增长速度分别为 8.8% 和 9.1%, 环境库茨涅茨曲线仍然处于上升阶段。IPAT 模型分析说明, 提高科技水平和经济水平是要缓解资源环境压力的关键。不过, 由于中国对物质流的研究起步相对较晚, 目前在国家层面上的物质流研究成果甚少, 研究对象主要针对个别物质资源种类、单一元素或某一区域, 多数研究集中在某些城市物质流和物质资源消耗方面。对本研究最具参考意义的是宋涛等(2013)运用数据包络分析方法(DEA)对 2000 年和 2010 年中国 31 个案例城市能值特征的研究。该研究以能值理论为基础, 使城市物质资源投入产出(新陈代谢)系统的投入部分包括了可再生和非可再生资源、进口资源和废弃物资源等方面的能值, 产出包括了宏观 GDP 和出口物质(产品)、能量和劳动等方面的能值。分析结果显示, 中西部城市的非可再生资源能值占系统能值总量的比例较高, 而上海、北京、深圳等经济发达城市则以进出口能值为主要构成成分。2010 年上海、北京、广州、深圳、沈阳、西安、杭州和海口 8 个案例城市达到 DEA 有效; 其他 23 个非 DEA 有效的城市中, 绝大多数的非可再生资源投入冗余率、废弃物投入冗余率和出口改善率有待提高。这种研究方法实际上是对物质流分析方法的一种延伸。

综上所述, 近年来, 国内外学术界运用物质流分析方法开展了大量研究。国际研究取得了较大进展, 而国内仍处于初级阶段, 目前尚无学者利用计量经济学方法对国家经济活动的物质流进行分地区的深度比较分析。本研究试图填补这一空白, 为国家制定资源环境政策提供方法论和数据支持。

三、研究方法

1. 物质投入界定与物质流分析框架

本文以欧盟物质流分析框架(European Communities, 2001)提出的国内一次资源开采量(DE)和直接物质投入(DMI)为基本指标, 对 2013 年全国 31 个省市自治区的物质流进行分析和比较研究。DE 度量从本地开采的物质资源进入经济系统的流量, DMI 度量国内一次资源开采量与一次资源进口量之和。核算的主要物质分为非生物质和

生物质两大类(见表 1)^①。

表 1 考虑资源综合利用的物质流核算框架

DMI (直接物质投入)		= 国内一次资源开采量(DE)+一次资源进口量
非生物质开采量	燃料	原煤、石油、天然气
	金属矿产	铁矿
	非金属矿	磷矿石、原盐、石灰石、石膏等水泥基材、砂石(包含固体废弃物综合利用对非金属矿开采量的削减量)
生物质开采量	农产品	粮食、棉花、油料、麻类、甘蔗、甜菜、烟叶、蔬菜及食用菌、水果、蚕茧、茶叶、水果、坚果、中药材、木薯
	林产品	木材、橡胶、松脂、生漆、油桐籽、油茶籽
资源进口量		煤炭、石油、天然气、铁矿

限于数据,特别是覆盖 31 省市自治区的数据来源制约,本文物质资源仅包括:原煤、石油、天然气等化石能源资源,铁矿开采量,磷矿石、石灰石、石膏及其他水泥基材、砂石等非金属矿产资源,农产品和林产品等生物质资源;各省资源进口量仅包括煤炭、石油、天然气、铁矿四类。由于石灰石和砂石开采量没有统计数据,因此根据一般生产工艺参数,石灰石开采量按照消耗石灰石的水泥熟料和电石产量进行估算(估算系数为:1 吨水泥熟料消耗 1.352 吨石灰石、1 吨电石消耗 1.9 吨石灰石);砂石开采量则参考了行业协会(商志等,2009)和学术研究数据(朱兵等,2014),以 1 吨水泥 6.243 吨砂石的平均参数估算。

为了体现大宗固体废弃物(如尾矿、煤矸石、粉煤灰、冶炼渣、工业副产石膏等废弃物资源)综合利用对一次资源投入的替代作用,本文将这些废弃物综合利用视为资源的负投入,对非金属矿投入量进行了抵扣,以体现发展循环经济、综合利用废弃物资源对一次物质资源投入的替代和削减作用。

2. 数据来源

本研究选择的样本年份为 2013 年,研究对象是中国 31 个省、直辖市和自治区,台湾、香港和澳门不包括在内。基础数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国环境状况公报》《中国资源综合利用年度报

告》等政府部门统计数据及公报,其次是水泥等相关行业协会的统计数据。2013 年的分地区全社会就业数据尚未公布,暂时基于 2012 年分地区数据按 2013 年全国总数据推算。省际物质资本存量的估计值为靖学青(2013)利用永续盘存法估算的 2010 年数据(为 1990 年价格)。各省煤炭和铁矿进口量没有统计数据,按照当地开采量与消费量之差计算,各省差值相加约等于全国从海外的进口量。

四、结果与分析

1. 统计学分析

根据前文提出的物质流核算框架,计算得到我国 31 个省市自治区 2013 年经济活动的物质投入(见表 2)。根据计算结果,2013 年我国 DE 总计为 233.3 亿吨, DMI 总计为 266.9 亿吨,其中进口物质投入占 12.6%。河北省的 DMI 总量为全国最高,之后依次为山东、江苏、内蒙古、河南、山西、四川,七省 DMI 均在 13 亿吨以上,七省 DMI 总量占全国总量的 42% 左右。

(1) 人均指标的省际和区域差异

2013 年全国人均 DE 和人均 DMI 分别为 17.15 吨/人和 19.62 吨/人。OECD 国家自 2008 年经济危机起其 DE 就开始缓慢下降,并逐步稳定在每年 16.1 吨/人。可见中国的人均直接物质开采已经超出了 OECD 国家近年的平均值(OECD,2015)。

^① 水资源的消费数量与其他物质资源的消费数量不在一个数量级上,如果将水资源与其他物质资源加在一起进行分析,会使其他物质资源的数量变成可以忽略不计的量级,淹没其他资源的重要性。

人均 *DE* 和 *DMI* 最高和最低的 5 个省份分别相同, 只是先后排序有轻微不同。人均 *DE* 最高的五个省份依次为内蒙古、山西、宁夏、陕西和新疆, 人均 *DMI* 最高的五个省份依次为内蒙古、宁夏、山西、陕西和新疆; 人均 *DE* 最低的五个省份为北京、上海、西藏、广东和天津, 人均 *DMI* 最低的五个省份为上海、北京、天津、西藏和广东。不考虑进口的人均 *DE* 省际差异为 0.62, 考虑进口的人均 *DMI* 省际差异减少为 0.54。

四类物质投入人均指标的省际差异程度不同, 其中化石能源和金属矿产的人均物质投入(包括人均 *DE* 和人均 *DMI*) 的省际差异系数较大, 非金属矿产和生物质投入的省际差异系数较小(见表 3)。

全国人均 *DE* 和 *DMI* 的区域差异显著。东北地区平均值最低, 分别为 12.29 吨/人和 16.07 吨/人; 东部地区次低, 为 13.56 吨/人和 17.39 吨/人; 中部地区为 15.66 吨/人和 17.20 吨/人; 西部地区最高, 为 23.32 吨/人和 24.50 吨/人。

表 2 中国 2013 年各省市经济活动的人均物质投入强度

区域	省份	<i>DE</i> 万吨	人均 <i>DE</i> 吨/人	<i>DE</i> / <i>GDP</i> 吨/万元	<i>DMI</i> 万吨	人均 <i>DMI</i> 吨/人	<i>DMI</i> / <i>GDP</i> 吨/万元
	全国	2 333 368.6	17.15	3.69	2 669 332.4	19.617	4.225
东部地区	北京	8 813.1	4.17	0.45	12 201.8	5.770	0.626
	天津	8 866.0	6.02	0.62	18 318.2	12.443	1.275
	河北	153 155.7	20.89	5.41	190 592.2	25.992	6.734
	上海	3 381.0	1.40	0.16	16 895.0	6.995	0.782
	江苏	118 881.7	14.97	2.01	159 457.9	20.084	2.695
	浙江	89 089.2	16.20	2.37	108 039.7	19.651	2.876
	福建	57 068.0	15.12	2.62	65 615.7	17.386	3.015
	山东	143 514.2	14.74	2.62	185 568.8	19.065	3.393
	广东	101 959.8	9.58	1.64	125 112.3	11.754	2.013
	海南	17 693.8	19.76	5.62	19 326.2	21.587	6.142
中部地区	山西	127 183.6	35.04	10.09	133 894.8	36.888	10.625
	安徽	113 761.8	18.87	5.98	119 119.0	19.755	6.257
	江西	68 554.4	15.16	4.78	75 309.2	16.653	5.252
	河南	144 503.1	15.35	4.49	157 334.2	16.714	4.893
	湖北	90 165.3	15.55	3.55	107 915.2	18.609	4.243
	湖南	91 333.5	13.65	3.73	98 580.6	14.734	4.023
东北地区	辽宁	61 371.7	13.98	2.27	80 971.7	18.445	2.990
	吉林	38 360.5	13.94	2.75	46 265.4	16.816	3.317
	黑龙江	41 215.4	10.75	2.87	51 241.4	13.361	3.563
西部地区	内蒙古	154 994.0	62.06	9.21	158 317.8	63.388	9.406
	广西	93 393.4	19.79	6.50	104 323.4	22.107	7.256
	重庆	47 785.8	16.09	3.78	52 780.3	17.771	4.170
	四川	130 148.7	16.05	4.96	132 953.1	16.400	5.063
	贵州	83 360.6	23.80	10.41	84 323.5	24.077	10.531
	云南	84 257.1	17.98	7.19	88 276.1	18.836	7.532
	西藏	2 505.9	8.03	3.10	2 505.9	8.031	3.103
	陕西	124 646.3	33.12	7.77	127 402.0	33.848	7.940
	甘肃	36 110.8	13.98	5.76	41 010.4	15.882	6.543
	青海	8 304.2	14.37	3.95	9 590.7	16.599	4.565
	宁夏	21 719.9	33.20	8.47	24 560.9	37.544	9.575
	新疆	67 270.3	29.71	8.05	71 528.9	31.590	8.556

(2) 单位 GDP 投入强度的省际和区域差异

各省 2013 年万元 GDP 的 DE (DE/GDP) 和 DMI (DMI/GDP) 与人均物质投入强度的省际和区域差异表现一致。 DE/GDP 和 DMI/GDP 最高和最低的 5 个省份基本上相同,但先后排序有稍有不同。 DE/GDP 最高的五个省份依次为西部的贵州、山西、内蒙古、宁夏和新疆, DMI/GDP 最高的五个省份依次为山西、贵州、宁夏、内蒙古和新疆; DE/GDP 最低的五个省份为上海、北京、天津、广东和江苏, DMI/GDP 最低的五个省份为北京、上海、天津、广东和江苏。不考虑进口的万元 $GDPDE$ 省际差异为 0.62,

考虑进口的万元 $GDPDMI$ 省际差异减少为 0.54。

四类物质万元 GDP 投入强度的省际差异程度与人均物质投入强度的省际差异也表现一致。化石能源和金属矿物质的投入强度的省际差异系数较大,非金属矿产和生物质投入的省际差异系数较小(见表 3)。

单位 GDP 的 DE 和 DMI 的区域差异显著,东部地区最低,分别为 2.18 和 2.80 吨/万元;东北地区次低,分别为 2.54 和 3.22 吨/万元;中部地区分别为 4.40 和 4.83 吨/万元;西部地区最高,分别为 6.78 和 7.12 吨/万元。

表 3 中国 2013 年人均和万元 GDP 分类资源投入强度省际极端差异比较

	人均投入/吨/人					万元 GDP 投入/吨/万元				
	全国	统计平均	最小	最大	差异系数	全国	统计平均	最小	最大	差异系数
DE	17.15	18.17	1.40	62.06	0.62	3.69	4.62	0.16	10.41	0.61
化石能源	3.0	4.18	1.27	41.24	2.14	0.64	0.98	0.00	7.65	1.90
金属矿产	1.07	0.95	0.00	7.76	1.69	0.23	0.23	0.00	2.01	1.70
非金属矿产	11.72	11.67	1.15	19.50	0.39	2.52	3.05	0.12	7.59	0.56
生物质	1.36	1.36	0.24	3.46	0.57	0.29	0.35	0.03	1.14	0.70
DMI	19.62	20.60	5.77	63.39	0.54	4.22	5.13	0.63	10.62	0.54
化石能源	4.95	6.13	0.00	42.57	1.44	1.07	1.38	0.00	7.89	1.32
金属矿产	1.58	1.44	0.12	8.92	1.22	0.34	0.33	0.05	2.31	1.29

(3) 人均投入和单位 GDP 投入强度之间的关系

DE 和 DMI 的人均指标 (DE/POP 和 DMI/POP) 和单位 GDP 投入强度指标 (DE/GDP) 和省际及区域差异呈现一致的特点。分析发现,二者间存在显著的对数正相关关系(见图 1),可表示为:

$$\ln(DE/GDP) = 1.2549 \ln(DE/POP) - 2.1569$$

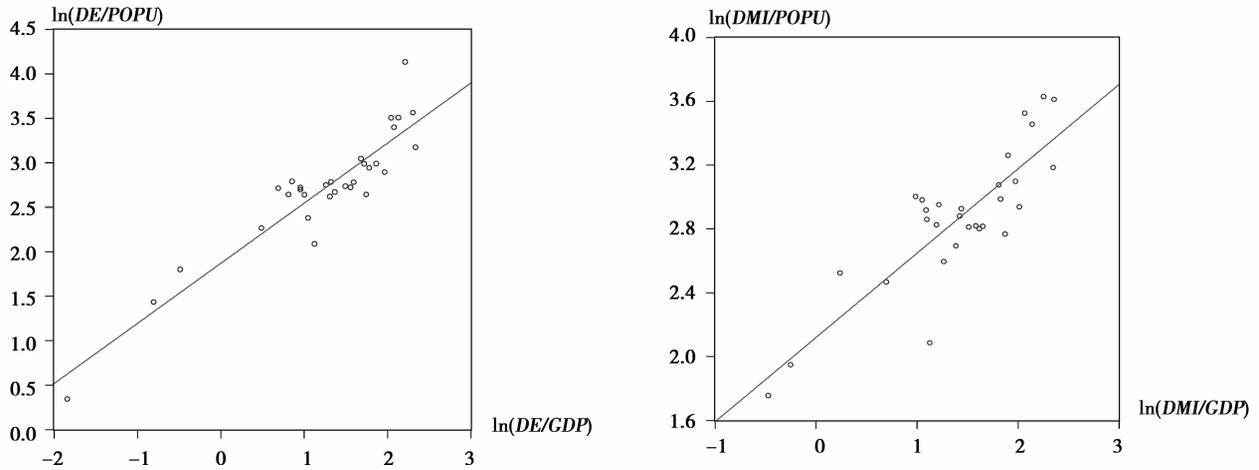
$$\ln(DMI/GDP) = 1.19824 \ln(DMI/POP) - 2.0427$$

在散点图上,内蒙古表现为一个极端值,其人均指标为 62.0 吨,这可能是因为内蒙古的人口密度低,经济又严重依赖于矿产资源开发产业,且 DE 和 DMI 都没有体现出内蒙古向省外的大量一次资源出口。

2. DMI/GDP 多因子相关分析和主成分分析

(1) 多因子相关分析

为了深入研究造成万元 GDP 直接物质投入 (DMI/GDP) 省际及区域差异产生的原因,根据前文文献综述的分析和归纳,主要分析人口密度(人/平方公里)、矿产资源禀赋强度(单位 GDP 对应的矿产资源储量,吨/万元)、经济规模和收入水平(人均 GDP,万元/人)、技术水平(研发投入占 GDP 比重,%)、产业结构(二产和三产比重,%)、人均物质资本存量七种因素与 DMI/GDP 之间的相关关系(见表 4)。



$R^2 = 0.848$, t 检验值 12.734, 0.00 水平上相关。

$R^2 = 0.688$, t 检验值 7.998, 0.00 水平上相关。

图 1 人均物质投入和单位 GDP 物质投入强度之间的相关关系

表 4 *DMI/GDP* 与七因素的相关性分析

项目	人口密度	R&D 投入比重	二产比重	三产比重	矿产资源 禀赋强度	人均物质存量	人均 GDP	<i>DMI/GDP</i>
<i>DMI/GDP</i>	-0.525 0	-0.578 3	0.229 9	-0.466 7	0.631 7	-0.446 3	-0.628 7	1.000 0
T 检验值	-3.322 1	-3.817 4	1.272 3	-2.842 1	4.388 2	-2.685 7	-4.353 5	—
可能性	0.002 4	0.000 7	0.213 4	0.008 1	0.000 1	0.011 8	0.000 2	—

由表 4 可知,各省 *DMI/GDP* 与人口密度、人均物质存量、人均 GDP、三产比重和 R&D 投入比重存在显著的负相关关系。人口密度高的地方开展设施建设的建材需求强度低,物质投入强度相应较低。随着我国城镇化的进一步发展,其人口聚集效应对我国各省的资源投入强度应有降低的作用。人均物质存量有减轻物质投入强度的作用,人均物质存量较大的省份,其道路及其他固定资产等基础设施建设进展相对领先,在一定程度上对比重较大的建筑用资源投入的需求强度就会相应减少。人均 GDP 比较客观地反映了各省的社会经济发展水平和发展程度,人均 GDP 高的省发展水平较高,其 *DMI/GDP* 强度相应较低。R&D 投入比重与科技水平相关,科技水平能够减少资源投入强度。第三产业的物质资源消耗强度远远低于第一、二产业,其比重越高的省物质投入强度越低。

各省万元 GDP 的物质投入强度和矿产资源禀赋强度存在显著的正相关关系。这可能是由于,我国矿产资源禀赋强度高的省份更倾向于发展高物

耗的矿产资源开采加工行业等附加值较低的初级产业,资源效率相对较低。

二产比重与 *DMI/GDP* 强度不存在显著相关关系的结论出乎作者的预想,因为在作者对中国物质流投入开展时间序列分析时发现,二产比重是造成我国万元 GDP 物质投入强度变化的格兰杰原因。结合两项研究的结论,可以认为,二产比重对于我国万元 GDP 的 *DMI* 强度的时间变化起了重要的作用,但并不是造成 2013 年 *DMI/GDP* 强度区域差异的影响因素。

(2) 主成分分析

由于分析的影响因子众多,且这些因子之间存在一定的关系,因此进一步采用主成分分析方法进行研究。主成分分析方法是一种降维方法(苏键等,2012),以最少的信息丢失为前提将众多的原有变量综合成较少的几个综合指标(即主成分),而且能够有效地解决变量信息重叠、多重共线性等诸多问题。利用 Eviews 软件分析得的结果见表 5。

表 5 方差分解主成分提取分析表

主成分 序号	特征值	相应特征值 与后一项的差	解释比例	特征值累计	累积解释 比例
1	3.528 028	1.921 578	0.504	3.528 028	0.504
2	1.606 45	0.631 552	0.229 5	5.134 478	0.733 5
3	0.974 898	0.474 091	0.139 3	6.109 377	0.872 8
4	0.500 807	0.199 024	0.071 5	6.610 184	0.944 3
5	0.301 784	0.244 57	0.043 1	6.911 968	0.987 4
6	0.057 214	0.026 395	0.008 2	6.969 181	0.995 6
7	0.030 819	—	0.004 4	7	1

由表 5 可知, 第一个成分的贡献率最高, 为 50.4%; 前三个主成分可解释 87.2% 的差异, 且其特征值大于或接近 1, 因此提取出三个主成分(见表 6)。

表 6 主成分负荷量

变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3
人口密度	0.441 974	0.041 65	-0.065 25
研发投入占 GDP 比重	0.377 656	0.404 761	-0.177 58
二产比重	-0.209 51	0.710 347	-0.077 68
三产比重	0.400 11	-0.470 72	0.178 065
单位 GDP 的矿产 资源储量	-0.147 29	0.157 053	0.931 181
人均物质资本存量	0.439 079	0.221 089	0.224 192
人均 GDP	0.493 525	0.186 322	0.095 429

各因素在第一主成分上均有较高载荷, 说明第一主成分大致反映了这些综合指标的信息, 可称之为社会经济综合成分。二产比重和人口密度在第二主成分上有较高负荷, 因此称之为二产比重和人口密度的二维成分; 矿产资源禀赋在第三主成分具有唯一的高负荷, 因此可称为资源禀赋单成分。

对主成分一、二、三的得分与 DMI/GDP 进行回归分析, 得到:

$$DMI/GDP = -1.001PC1 + 0.018PC2 + 1.309PC3 + 5.128$$

由上式可知, DMI/GDP 与第一成分成负相关,

与第二和第三成分成正相关。主成分回归分析所得的 DMI/GDP 与各因素之间的相关关系与多因素回归所得结果基本一致。

3. 超效率数据包络分析

超效率数据包络分析 (Data Envelopment Analysis Method, DEA) 方法是以相对效率为基础的一种效率评价方法, 用数学规划模型来评价相同类型的多投入、多产出的决策单元是否技术有效 (Charnes, 1978)。在有效决策单元之间, 超效率 DEA 也能进一步进行比较。

在中国区域经济社会发展不平衡的背景下, 众多因素导致不同区域的资源投入强度和资源利用效率有高有低, 使其呈现特有的差异性特征。本节利用 EMS 软件, 采用超效率数据包络分析的共同前沿生产函数框架, 进一步分析 2013 年我国各省考虑多种要素投入的物质投入综合效率的差异性。

本文将资本 K 、劳动力 L 和物质投入 M 作为投入要素, 具体是以年度固定资产投资为 K 指标, 全社会就业人口为 L 指标, DMI 投入总量为 M 指标。GDP 为第一个产出指标; 各省固体废弃物处置和贮存量作为第二个产出指标, 因其为非期望产出变量, 对其进行倒数处理。该方法充分考虑了生产过程中物质、资本、技术和劳动力等要素的综合投入, 切合现实经济活动的过程, 还考虑了作为非期望产出的固体废弃物处置和贮存量, 充分体现了资源综合利用的情况。由于本文考查的是在当前的经济产出下资源投入的综合效率, 因此采用了投入导向下

的 CRS 模型,即在维持现有产出的条件下最小化投入的分析模型。

(1)物质综合利用效率的省际和区域差异

运行 EMS 投入导向型的径向 (radiant) 凸性 (convex) 一般规模报酬 (CRS) 模型,对各省资源相对效率进行分析的结果见表 7。

表 7 CRS 模型分析结果——相对效率和松弛量

区域	决策单元	相对效率得分	松弛量				
			投入			产出	
			固定资产	劳动力	直接物质	GDP	固定废弃物
东部地区	北京	1.25					
	天津	5.09					
	河北	0.51	0	0	34 110.89	0	43.63
	上海	1.50					
	江苏	1.07					
	浙江	0.80	0	0	0	0	4.11
	福建	0.65	0	0	0	0	26.8
	山东	0.79	0	0	32 438.57	0	2.05
	广东	1.55					
中部地区	海南	0.48	0	0	4 010.37	0	0
	山西	0.40	0	0	39 309.41	0	54.52
	安徽	0.38	0	0	0	0	6.35
	江西	0.42	0	0	0	0	17.15
	河南	0.48	0	0	9 540.78	0	3.16
	湖北	0.59	0	0	153.39	0	1.51
东北地区	湖南	0.54	0	0	0	0	6.34
	辽宁	0.74	0	0	12 849.08	0	74.35
	吉林	0.56	0	0	12 345.54	0	56.09
西部地区	黑龙江	0.46	0	0	114.93	0	38.96
	内蒙古	0.67	428.14	0	92 297.97	0	86.37
	广西	0.43	0	0	6 577.15	0	0.37
	重庆	0.59	0	0	854.46	0	0
	四川	0.56	0	95.52	0	0	3.49
	贵州	0.35	0	0	8 218.41	0	0.24
	云南	0.37	0	0	6 193.4	0	1.16
	西藏	0.38	491.09	31.4	0	0	0
	陕西	0.68	0	0	48 865.55	0	0.06
	甘肃	0.44	0	33	0	0	0
新疆	青海	0.46	0	0	519.51	0	3.55
	宁夏	0.59	0	0	8 061.69	0	0
	新疆	1.63					

我国各省的物质利用综合效率差异显著。天津(5.09)、北京(1.25)、上海(1.50)、江苏(1.07)、广东(1.55)、新疆(1.63)等省份的相对效率大于1。天津市的物质利用综合效率是全国平均的5倍,分析发现,其万元GDP的固体废弃物处置和贮存量非

常小,表明其经济发展更多地利用了废弃物,经EMS验算发现,这是造成其综合效率值高出其他省份数倍的原因。新疆是相对效率大于1的唯一非东部省份,同样对其数据进行假定分析,发现其万元GDP的固定资产投资大大小于其他省市,对其效率

排名产生了显著影响。贵州(0.35)、云南(0.37)、安徽和西藏(0.38)、山西(0.40)、江西(0.42)、广西(0.43)、甘肃(0.44)等西部和中部地区省分的物质综合利用效率较低。

中国各省物质综合利用效率的区域分布略有不同,东部平均值最高为 1.37,中部地区最低为 0.48,东北和西部地区分别为 0.58 和 0.59,这与人均 *DMI* 和 *DMI/GDP* 强度的区域差异基本相同。不同区域物质综合利用效率的空间分布状态反映了区

域经济发展水平与物质利用能力的差异。

(2) *DMI* 松弛量的省际和区域差异

根据表 7 中直接物质投入的松弛量,占全国一半以上的 17 个省有松弛量,分布于各个地区。为了便于比较,计算了万元 GDP 的 *DMI* 松弛量,其分布见图 2。内蒙古(5.48)、宁夏(3.14)、山西(3.12)、陕西(3.05)的单位 GDP 的 *DMI* 松弛量较大,均为我国西部地区省份。

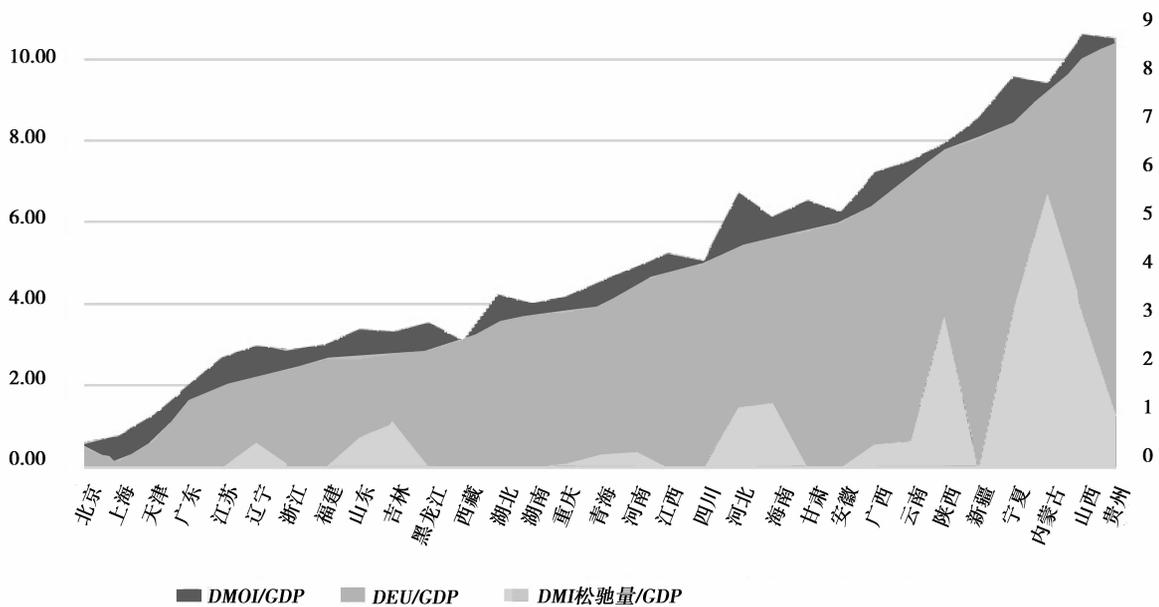


图 2 我国 2013 年物质投入强度及松弛量强度/吨/万元

(3) 对 *DMI/GDP* 与物质综合利用效率的综合分析

对 *DMI/GDP* 与物质综合利用效率进行综合分析,据此对各省的物质投入特征进行分类(见图 3)。图中上面的曲线是各省单位 GDP 物质投入强度 (*DMI/GDP*),下面的曲线是 DEA 分析所得的各省物质综合利用效率。根据图 3,我国 30 个省市自治区可划分为四个物质投入强度和利用效率类别:

第一类是“高物质利用效率、低物质投入强度”的 7 个省市,位于图形最右方,物质综合利用效率超过 0.7、*DMI/GDP* 小于 3 吨/万元,分别为广东、上海、北京、江苏、天津、辽宁和浙江,全部是我国经济发达的东部地区省市。

第四类是“低物质利用效率、高物质投入强度”

的 12 个省市,位于图形最左端,*DMI/GDP* 在 6 吨/万元以上。这 12 个省市除河北和海南以外全部位于经济发展相对滞后的中西部地区。河北省处于这类区域主要是由于其钢铁和水泥产业占经济的比重过大造成的。而海南省资源投入强度高的很大原因是,作为旅游为主导的省份,正处于建设过程中,建筑材料投入规模大,而 GDP 规模较小。新疆是一个特例,物资投入强度和物资利用效率都较高,这是由于其万元 GDP 的固定资产投资大大小于其他省市,使其成为相对效率大于 1 的唯一非东部省份。

第二和第三类地区的物质利用效率系数多在 0.5~1.0 之间;第二类地区的资源消耗强度为 4~6 吨/万元 GDP,共有 7 个省市;第三类地区的资源消耗强度为 3~4 吨/万元 GDP,共有 5 个省市。

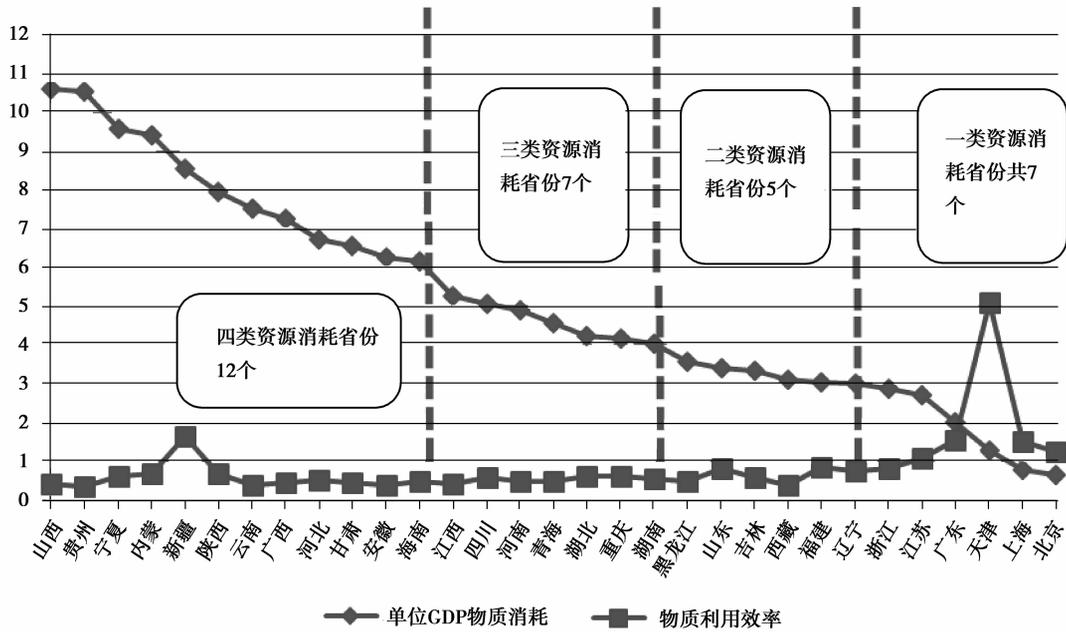


图3 2013年中国各省物质投入综合效率与直接物质投入强度

五、结论与建议

本文利用多种研究方法对2013年我国31个省、直辖市和自治区经济活动的物质投入总量、强度、效率及其差异性、影响因素和分布规律进行了系统的比较分析,研究发现:

第一,2013年,我国DE总计为233.3亿吨,DMI总计为266.9亿吨,其中进口物质投入占12.6%。人均DE和人均DMI分别为17.15吨/人和19.62吨/人,其中人均DE已经超出了OECD国家近年均值。万元GDP的DE和DMI分别为3.69吨/万元和4.22吨/万元。

第二,2013年人均DE和人均DMI的省际差异显著;四类物质投入的省际差异程度有所区别,其中化石能源和金属矿产的人均物质投入的省际差异系数较大,非金属矿产和生物质投入的省际差异系数较小。区域差异显著,东北地区最低,西部地区最高。2013年万元GDP物质投入强度的省际和区域差异特点与此类似,东部地区最低,西部地区最高。DE和DMI的人均指标和单位GDP投入强度指标之间存在显著的对数正相关关系。

第三,各省万元GDP的DE和DMI投入强度与人口密度、人均物质存量、人均GDP、三产比重和

R&D投入比重存在显著的负相关关系,与矿产资源禀赋强度存在显著的正相关关系。主成分分析发现,三个主成分能够解释大部分的差异,分别为社会经济综合成分、二产比重和人口密度二维成分和资源禀赋单成分,基本解释了我国物质投入强度的省际及区域差异。

第四,考虑资本、劳动力和物质投入等投入因子、GDP和废弃物双产出因子的物质综合利用效率,存在显著的省际和区域差异。天津(5.09)、北京(1.25)、上海(1.50)、江苏(1.07)、广东(1.55)、新疆(1.63)等省市区的物质综合利用效率大于1;东部地区均值最高(1.37),中部地区均值最低(0.48),东北和西部地区均值分别为0.58和0.59。

第五,根据物质投入强度和利用效率,我国31省可划分为四个物质投入强度和利用效率类别,分别为“高物质利用效率、低物质投入强度”“高物质利用效率、高物质投入强度”“低物质利用效率、高物质投入强度”和“低物质利用效率、低物质投入强度”,立体呈现了我国物质投入强度和物质利用效率的省际和区域差异。

目前我国经济活动的资源消耗已经对资源与环境产生了巨大的压力。需要进一步调整产业结构,增加科技投入,提高经济社会发展水平;积极发

展循环经济,促进资源的集约和节约利用,提高资源利用效率;促进区域协调发展,进一步促进我国中西部地区的发展,大幅度提高我国资源大省的资源利用效率;从而减轻我国各区域共同面临的经济发展与资源环境压力之间的矛盾,为我国的可持续发展作出贡献。

参考文献:

- 彼得·巴特姆斯.2010.数量生态经济学[M].齐建国,张友国,王红,译.社会科学文献出版社:24-127.
- 董朝阳,童亿勤,伍磊,陈丹青.2015.基于物质流分析的宁波市经济—环境系统研究[J].宁波大学学报(理工版),2(1):86-91.
- 靖学青.2013.中国省际物质资本存量估计:1952—2010[J].广东社会科学(2):46-55.
- 秦中春.2013.中国未来人口变化的三大转折点预测——基于年龄移算人口预测模型的分析[J].区域经济评论(5):5-14.
- 商志,张国民.2009.中国砂石行业改革开放三十年巨大变迁[EB/OL].中国砂石协会,http://www.ccement.com/news/content/1236076.html.
- 宋涛,蔡建明,倪攀,杨振山,温婷.2013.基于能值和DEA的中国城市新陈代谢效率分析[J].资源科学,35(11):2166-2173.
- 苏键,陈军.2012.主成分分析法及其应用[J].轻工科技(9):12-13.
- 王光召,安和平.2014.低生育背景下中国人口惯性与人口增长峰值预测[J].宁夏大学学报(人文社会科学版)(3):166-170.
- 朱兵,江迪,陈定江,等.2014.基于物质流分析的中国水泥及水泥基材料行业资源消耗研究[J].清华大学学报(自然科学版),54(7):839-845.
- BEHRENS A, GILJUM S, KOVANDA J, NIZAC S. 2007. The Material Basis of the Global Economy Worldwide Patterns of Natural Resource Extraction and Their Implications for Sustainable Resource Use Policies[J]. *Ecological Economics*, 58:444-453.
- BRINGEZU J, SCHQTZ H, STEGER S, et al. 2004. International Comparison of Resource Use and Its Relation to Economic Growth-The Development of Total Material Requirement, Direct Material Inputs and Hidden Flows and The Structure of TMR[J]. *Ecological Economics*, 51:97-124.
- CHARNES A, COOPER W, RHODES E. 1978. Measuring the Efficiency of Decision-Making Units[J]. *European Journal of Operational Research*(2):429-444.
- DIETZENBACHER E, LOS B, STEHRER R, et al. 2013. The

- Construction of World Input-Output Tables in the WIOD Project[J]. *Economic Systems Research*, 25(1):71-98.
- European Communities. 2001. Economy-Wide Material Flow Accounts and Derived Indicators, A Methodological Guide [R]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- HASHIMOTO S, MATSUI S, MATSUNO Y, NANSAI K, MURAKAMI S, MORIGUCHI Y. 2008. What Factors Have Changed Japanese Resource Productivity? [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5-6):657-668.
- HUANGA C-L, VAUSEA J, MAC H-W, YUA C-P. 2012. Using Material/Substance Flow Analysis to Support Sustainable Development Assessment: A Literature Review and Outlook [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 68:104-116.
- OECD. 2015. The Material Basis of the Global Economy, in Material Resources, Productivity and the Environment (OECD Green Growth Studies) [M]. Chapter 4. OECD Publishing, Paris.
- PABLO MUÑOZ J P, HUBACEK K. 2008. Material implication of Chile's economic growth: Combining material flow accounting (MFA) and structural decomposition analysis (SDA) [J]. *Ecological Economics*, 94:136-144.
- SCHAFFARTZIK A, MAYER A, GINGRICH S, EISENMENGER N, LOY C, KRAUSMANN F. 2014. The Global Metabolic Transition: Regional Patterns and Trends of Global Material Flows, 1950-2010 [J]. *Global Environmental Change*, 26:87-97.
- STEGER S, BLEISCHWITZ R. 2011. Drivers for The Use of Materials across Countries [J]. *Journal of Clean Production*, 19(8):816-826.
- STEINBERGER J K., KRAUSMANN F, EISENMENGER N. 2010. Global Patterns of Materials Use: A Socioeconomic and Geophysical Analysis [J]. *Ecological Economics*, 69:1148-1158.
- WEINZETTEL J, KOVANDA J. 2011. Structural decomposition analysis of raw material consumption. The case of the Czech Republic [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6):893-907.
- WEISZ H, KRAUSMANN F, AMANN C, et al. 2006. The Physical Economy of the European Union: Cross-Country Comparison and Determinants of Material Consumption [J]. *Ecological Economics*, 58:676-698.
- WEST J, SCHANDL H. 2013. Material Use and Material Efficiency In Latin America And The Caribbean [J]. *Ecological Economics*, 94:19-27.
- WEST J, SCHANDL H, KRAUSMANN F, et al. 2014. Patterns Of Change in Material Use and Material Efficiency in the

Material Flows Analysis and Comparative Research on China's Regional Economic Activities

WANG Hong¹, QI Jian-guo^{1,2}

(1. *Institute of Quantitative & Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;*
2. *School of Economics, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China*)

Abstract: Material Flows Analysis (MFA) is an important tool for efficient resource management policies to relieve the increasing pressure of economic growth on resources and environment. Employing both statistical and econometrics methods such as PCA and super-DEA, this paper tries to compare and analyze the material flows of economic activities in 2013 across China's 31 provinces, metropolitans and autonomous regions. The result shows that significant and patterned differences exist in material inputs across the regions, especially between Eastern and Western areas. The major influencing factors include population density, per capita material stock, per capita GDP, industrial structure, percentage of R&D investment and mineral resource density, etc. These factors may be classified into three principal components, respectively socio-economic component, two-dimension principle component of the secondary industry ratio and population density and single component of resource endowment. Resource efficiencies in Tianjian, Beijing, Shanghai, Jiangsu and Xinjiang are larger than 1. The 31 provinces, metropolitans and autonomous regions can be divided into four region classifications according to material input intensity and material efficiency.

Key words: Material Flow Analysis (MFA); regional economy; economic activities; direct material input; domestic resources production at a time; material input intensity; material efficiency; resource efficiency

CLC number: F062.4; F224.0

Document code: A

Article ID: 1674-8131(2015)05-0071-13

(编辑:夏 冬)