

文章编号: 1007- 7588(2007) 03- 0037- 08

资源流动研究的理论框架与决策应用

成升魁, 甄霖

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:资源流动是当前我国资源科学研究亟待关注和加强的新领域, 是对资源进行合理的管理, 促进经济、环境和社会协调持续发展的重要方面。本文深入分析了具有代表性的国家资源流动研究进展及对中国开展有关研究的启示。分析表明, 发达国家资源流动研究涉及与国民经济发展紧密相关的资源类型及其横向、纵向流动, 政府部门的资源流动账户是主要数据源, 投入产出和指标体系方法是研究的方法基础, 研究结果已在评估可持续发展态势和科学决策等领域广泛应用。我国处于资源流动研究的起步阶段, 建议从探寻经济发展过程消费的关键资源及追踪其来龙去脉入手, 以政府部门为主导, 与国际相关机构接轨, 实现对资源流动的动态监测与评估。

关键词:资源流动; 资源流动账户; 决策支持

人类活动离不开对物质和资源的利用和消耗, 经济过程和环境通过物质和能源流动联系起来, 这种流动是环境问题的主要根源, 如生态有害物质的效应、物理化学变化(酸雨等)、营养效应(富营养化及采矿引起的地下水危机)、机械损失(挖掘等)、和结构变化(如景观变化)等^[1], 这些变化导致的环境效应可能是短期的或长期的, 直接的或间接的, 区域的或全球的, 可预测的或未知的。如何将社会经济发展过程对资源的使用降低到最低, 以减少资源从自然界开采加工到进入人类社会各个阶段, 最后回到自然界这一整个过程中对环境造成的影响, 提高资源生产力和利用效率, 是决策者和资源研究学者颇为关注的问题。针对这些问题, 一些工业化国家已经从“物质流”或“资源流”的角度结合社会经济实践开展了一系列的研究, 成为指导宏观经济发展的重要科学依据。本文精选了近年国外具有代表性研究的相关文献资料, 对研究的理论方法和社会应用状况进行深入分析, 以期为我国开展有关研究提供有价值的参考。

1 资源流动研究的概念和理论基础

资源流动是指在人类活动作用下, 资源在产业、消费链条或不同区域之间所产生的运动、转移和转化, 包括资源在不同地理空间资源势的作用下发生的空间位移(所谓横向流动), 和资源在原态、加工、

消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能、价值的转化过程(所谓纵向流动)^[2,3]。资源流动过程研究的目的是了解资源从开采到加工制造到最终形成产品和废料的整个过程, 以对资源进行合理的管理从而减少对资源的消耗^[4], 确保经济与环境的协调发展, 即所称的“dematerialization”(单位产出对资源消耗的绝对或相对减少量)。资源流动研究涉及多学科内容如生态学、社会学、经济学等, 体现了资源生态系统动态性、整体性、综合性的特点。区域间资源不平衡分布和经济发展对资源需求程度的不同是资源流动的原动力。在资源流动的驱动力方面, 基于生态经济学理论, 强调供给驱动和需求驱动的资源流动过程, 前者强调资源供给对生产的影响, 及生态过程对自然过程的影响, 后者则注重用户需求对产品生产的影响, 也就是经济驱动作用^[5]。

英国科学家系统分析了与国家经济活动密切相关的资源流动过程, 构建了资源流动研究的概念框架(图 1)^[4]: 资源流动涉及的资源包括原材料或产品。原材料开采后可直接消费或与其它物质或产品相结合生产最终产品。对物质和产品的消费产生废料和废气。资源流动同时包含隐形流动, 即没有被消费或形成产品的资源。资源存储指在经济活动中保留的资源量, 也就是流入、流出某特定经济过程资源量之差。这一概念框架目前已被广泛认可并

收稿日期: 2006- 11- 17; 修订日期: 2007- 03- 22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(编号: 30670374, 30470317)。

作者简介: 成升魁, 男, 陕西合阳人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事资源生态、区域农业发展等领域的研究工作。

E-mail: chengsk@igsnr.ac.cn

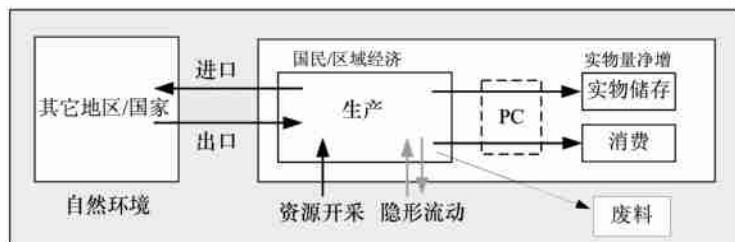


图1 资源流动分析概念框架(来源: Chamber, 2005)

Fig 1 The conceptual structure of a resource flow analysis (source: Chamber, 2005)

作为资源流动研究的基本理论框架。

2 资源流动研究的内涵

许多国家针对经济发展过程的主要资源的横向流动和纵向流动进行研究,这些研究大都集中于经济系统中的资源流动。Peter等(2004)认为^[6],德国经济发展需求的总资源包含有:投入部分如矿产、能源、水、空气、生物量、收获量、渔业、牧业;产出部分如废料处理、废水、废气排放、化肥、农药、消耗和损失。因此,资源流动分析涵盖所有这些资源的时空流动。而对日本、荷兰、美国、波兰等国研究表明^[7],金属矿和工业矿物、可再生资源、燃料、建筑矿物质、基础设施建设物质、土壤侵蚀等应纳入资源流动分析。1990年代后期,欧洲物质总需求(TMR)由燃料、金属矿和建筑矿物质主导^[8],其中涉及十种主要的资源流动形式。结果表明,随经济增长,欧洲TMR总体上升,表现为两大特点:不可再生资源消耗居多和进口物质比例增加(占37%),环境包袱(environmental rucksacks)在区域间转移,一般从资源输入地转到输出地,将环境包袱转嫁到资源输出国(多为经济欠发达国家)。Krausmann(2004)^[9]对澳大利亚经济发展中物质和能源的流动和消费状况研究得出了类似结论。

对企业生产的资源流动研究反映了工业生产过程的资源利用状况和生态效益,如Chamber等(2005)^[4]研究英国36个工业企业的资源消耗包括直接能源、农产品、加工产品、食品、运输人数、水资源开采和土地资源利用,隐形流动资源如资源开采过程造成的其它消耗(如圆木砍伐的残余物和未利用的矿物质)、产生的废料和废气。计算得出英国西南部生态效益是58%,即消耗每吨资源产生的废料率是42%,研究结果对有针对性地对资源流动具体环节的资源消费管理和减少资源消耗提供建议。Susanne等(2004)^[10]研究计算了瑞典粮食生产中以经济发展为导向的资源流动,探讨人类活动与资源

消费间的关系,为提高资源效率提供依据。

3 资源流动研究方法

国外资源流动研究在区域界定、数据来源和分析方法等方面各具特色。

3.1 研究区域界定

对资源流动研究首先应界定流动的地理界限或“黑匣子”。目前主要从5个空间尺度进行了研究:全球尺度、区域尺度、国家尺度、地区尺度和产业尺度。全球尺度上,全球变化人文因素计划(IHDP)^[11]于1999年发起了以满足人口增长的需求而对资源进行可持续利用的研究计划,揭开了全球尺度资源流动研究的序幕。德国伍珀塔尔气候能源环境研究所(Wuppertal Institute for Climate, Energy and Environment,简称WI)是国际上最先开展资源流动研究的机构之一。WI基于区域尺度,分析了国际贸易和欧洲区域贸易中生产和消费过程的物质流动和产生的生态包袱(ecological rucksacks),研究表明^[6],在过去20年,欧洲对资源的总消耗呈稳定态势,表现为对本地资源的开发减少,但从其它国家进口的资源增加,导致生态包袱向资源输出国的转移和贸易的不平等。同时探讨了欧盟各成员国之间的资源流动,发现欧盟成员国资源生产力比欧洲国家平均水平低5倍,需要在未来提高。

地方尺度研究不仅可以找出当地存在的问题,还有助于地方决策者制定资源消费的方式,因而具有很强的实用性^[12]。英国地区间和产业部门间经济活动引起的资源流动研究及相关信息是国家地区之间及产业间资源流动研究的典型例证^[4]。研究对流入、流出英国西南地区—典型的农村地区—的资源及其消费进行了分析,探明了产品和服务生产中的资源需求和废料产生现状。结果表明,对能源消耗位居第一(其中49%是天然气的消耗,35%是电的消耗),其次是原材料的消耗:制造了 $170 \times 10^8 \text{t}$ 产品,消费了近 $260 \times 10^8 \text{t}$ 产品,消耗了 $3 \times 10^8 \text{t}$ 水,生产了 $6090 \times 10^8 \text{t}$ 食品,消费了 $3040 \times 10^8 \text{t}$ 食品,排放了 $270 \times 10^8 \text{t}$ 的废气,产生了 $203 \times 10^8 \text{t}$ 的废料,平均每吨资源利用产生一半的废料。Brunner等(2005)^[13]应用多学科知识研究瑞典Bunz沟壑地区化学物质在居民户、森林土壤、河流、产业部门间的流动,是资源在地区间和产业部门间流动的范例。

总体而言,研究区域有基于行政界限的,也有自然边界的,各有利弊。如行政界限有利于确定具体

的产业部门并收集相关的社会经济数据, 而自然边界有助于对资源或物质的自然流动状况进行研究, 因为这种流动不受人或为界限约束。

3.2 资源流动研究的数据基础

数据是进行资源流动研究的基础和保障。国外有关研究主要基于原始数据、资源流动平衡表数据、转换数据等开展的。

(1) 直接应用原始数据: 绝大多数原始数据来源于相关政府部门的统计或调查资料或相关企业统计数据。如英国资源流动分析数据源于政府相关部门如西南地区中心、区域发展署、西南地区天文与环境署等的统计数据, 和专业局如能源资料来源于贸易与工业局, 以及国际组织如联合国粮农组织 (FAO)。也可依据企业生产和经营的实物量或价值量估算^[4]。如水资源数据由水厂网页和环境公报获得, 详细资料如居民和非居民供水比例、以及水供应过程的渗漏损失等从机构调查得知。或由国际组织获取, 如英国由 FAO(2002)^[1] 获得农产品出口、进口、生产和消费数据和物质总消费量数据包括农业、林业、渔业、矿业和采石业的消费。

(2) 应用资源流动账户或平衡表数据库。有些国家的统计部门建立了资源流动账户或平衡表数据库, 以此追踪经济过程的资源生产和消费趋势。资源流动平衡方法反映了经济发展的物质需求增加状况, 是欧洲统计部门建立资源流动账户的基础^[8], 体现了资源投入到经济活动和最终排放到环境中的相关性。目前资源流动账户或平衡表研究的代表性机构是 WI。WI 以应用为导向, 以资源流动平衡表为基础, 首次提供了区域尺度资源流动、能源消费和土地利用的账户。随后许多发达国家的统计部门都建立了常规的投入-产出表 (IOT), 以货币量或实物量统计产品在产业部门之间和由产业部门到市场的流动, 作为综合考察生态和经济相互关系的基础^[14]。如 WI 以物质流动账户评估物质利用和流动, 通过统计国内物质投入和进口物质投入实物量的数据, 界定区域界限, 建立了物质投入-产出表和数据库, 主要包括三类物质流动: 原材料、产品和其它/残余物, 涉及产品的生产周期如进口-物质投入-物质产出-出口等各环节, 和产品的生命周期即原材料开采-产品加工-产品销售-产品消费-废弃物处

理, 分析经济逐年增长的环境代价和资源利用效率变化, 包括 9 类原材料、49 类产品生产 (涉及 58 个生产链的物质循环和社区的消费) 和 11 类废料, 包括环境包袱如废气、废料和废水排放, 以实物量为统计单位, 于 1990 年首次构建生产的投入-产出表 (IOT) 数据库, 建立了物质能源流动信息系统, 服务于国家环境核算账户及环境负担分析^[15]。同样方法用于日本、荷兰和美国资源流动分析, 考察经济与生态过程的偶合关系。资源流动账户由国家权威机构发布, 如德国统计署定期公布资源流动平衡表和资源流动账户数据库, 用户数量逐年上升。

目前资源流动账户多基于国家尺度。Krausmann (2004) 在对奥地利资源流动研究的基础上提出建立全球尺度资源流动账户的计划^[9]。研究对奥地利 1950 年~2000 年间社会经济系统的物质投入和产出进行了分析, 在此基础上构建了国家和地区社会经济发展物质和能源存储数据库, 并与土地利用、物质存储、流动和陆地生态系统联系, 探讨经济发展的实物增长和价值增长的关系。表明此期间自然资产的增加没有减少对物质和能源的消费, 需要建立全球尺度资源流动账户考察经济发达国家向欠发达国家转嫁的单位 GDP 的物质流动及其生态包袱。

目前建立年度资源流动平衡表或账户的代表性国家有奥地利、德国、日本、荷兰、美国、英国, 这些国家已将物质流动分析纳入国家统计局部门的官方报告。但这些资源流动账户存在不足之处, 例如, 平衡表不包括生产和消费过程物质的隐形流动或生态包袱, 环境成本如废料和废水研究等需进一步进行细化, 也没有区分资源的可持续与不可持续利用。

(3) 转换数据。如存在数据缺口, 缺少研究对象的数据, 可对现有不同时空尺度相关数据进行转换或折算间接获取。如英国资源流动研究中运用了转换因子弥补缺少的数据^[4], 即用已知数据估算未知数据。根据专家小组建议决定是否可用转换因子。如依据 FAO 数据和计算公式, 英国食品净供给量表示为:

$$\text{净供给量}(N) = \text{生产}(P) + \text{进口}(I) + \text{储存变化}(SK) - \text{出口}(E)$$

$$N = P + I + SK - E$$

1) FAO. 2002. *United Kingdom Food Balance Sheet 2001*. Food and Agriculture Organisation, <http://apps.fao.org/faostat/form?collection=FBS&Domain=FBS&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>

由此计算英国燕麦净供给量为520 000t, 由于西南地区谷物生产面积占全国的13% (即转换因子), 其燕麦供给量折算为二者乘积即82 000t。同样, 也可由小尺度推算大尺度数据, 如从事林业职业的人员有5%分布在英国西南地区, 可按此比例由英国木材生产估算西南地区木材生产量。此外, 也可将资源消耗按标准统一量单位, 如能源均转换为千瓦小时, 或吨油或吨CO₂排放。

3.3 分析方法

资源流动分析(resource flow analysis, RFA)是对流入-流出经济活动过程资源数量和价值进行分析的基本方法。其中具体采用的分析方法可归纳为投入-产出法和指标体系法。

(1) 投入-产出分析(input-output analysis, IOA)。投入产出分析是由美国经济学家列昂惕夫于1936年提出的, 反映经济系统各部门、产业、产品之间的投入与产出的数量依存关系。70年代将此方法引入物质能源流动分析^[5]。WI借助此方法定量分析了德国产品生产周期和产品的生命周期等过程中三大类物质流动。利用投入-产出法分析证实了欧洲资源集约型商业和产业及其产品也会影响到气候变化和排放, 因此应在环境政策中考虑资源和气候的综合效应。Manfred (2004)^[16]利用投入-产出分析对悉尼能源消耗进行了分析。Narayanawamy等(2004)^[17]以产品生产链的物质和能源的投入和废气排放资料为基础估算澳大利亚小麦淀粉生产造成的环境负担, 明确了整个生产链中对能源的消费和废料生产是环境负担产生的关键环节。

基于投入产出分析法, 世界资源研究所(World Resource Institute, WRI) 1997年提出物质流分析法(Material flow analysis, MFA)来追踪自然资源从提取、加工、生产、使用、循环到处理过程流动状况(WRI, 2005)^[18]。它以质量守恒定律为基本依据, 从实物的质量出发, 将通过经济系统的物质分为输入、贮存、输出三大部分, 通过研究三者的关系, 揭示物质在特定区域内的流动特征和转化效率。目前, 奥地利、日本、德国、美国、日本、荷兰、意大利、丹麦、芬兰、瑞典、英国等国分别运用物质流分析法对本国经济系统进行分析^[19]。

(2) 构建指标体系。构建指标体系可定量诊断资源流动过程的资源投入和产品产出及其废弃物排放和消涨状况, 从而明确需要干预的特定环节。目前所开发应用的指标分为三类: 实物量指标、价值量

指标、能值指标。

实物量指标: 使用较多的有:

(1) 物质需求总量(TMR): 包括直接物质投入和间接投入或隐形流动, 由Adriaanse等于1997年提出。研究结果证实, 日本人均年资源开采量为45t, 德国、荷兰和美国保持在75t~85t的高水平(McEvoy, 2000)。如以TMR/GDP代表TMR的变化趋势, 德国、日本、荷兰、美国近年对物质利用强度降低, 即资源消耗减少, 德国主要是煤炭和钢铁行业对资源使用降低。美国TMR近年呈下降趋势, 源于耕地土壤侵蚀的减少。而波兰近年增加, 主要源于矿物质开采。但TMR指标过于粗放, 因它只是将所有投入简单相加。

(2) 物质利用强度(MUI): 度量经济过程或产业部门的总物质使用状况, 也可用于估算废料生产和废气排放。如英国针对矿产资源, 以资源生产量的绝对变化值和相对变化值如单位产出的资源量变化衡量矿产资源开发利用程度。同时采用再生资源和非再生资源利用的比例评价资源的利用状况。

(3) 单位服务的物质投入强度(WIPS): 由WI科学家提出, 包括资源的直接流动和隐形流动, 用于衡量资源生产力和经济活动引发的环境影响, 尤其是服务生产的环境效应。换言之, WIPS衡量企业的物质消耗和产品的生态环境影响。物质投入强度包括各生产环节消耗的所有原材料和资源的总重量, 包括在原产地获取这些物质的投入, 然后减去产品重量, 即为从环境获取或转入环境的物质总量, 也就是生态包袱。由于各产业部门具有生产的投入和产出数据, 因而计算比较容易。WI已为国际多家企业进行了生态包袱的核算^[20]。

价值量指标: 包括:

(1) 联合国开发的国家环境经济账户(SEEA): 即经济活动导致的资源损失和污染的影响, 采用国民环境总值(EDP)、环境增值(EVA)、环境成本(EC)、环境资产金形成(ECF)等所谓的“绿色核算”指标度量。由工业化国家统计部门组成的“伦敦资源环境账户组”负责SEEA的维持和更新^[21]。

(2) 采用资源的市场价值和非市场的机会成本(或维持费用、环境成本)如用于避免、消除和减轻环境影响的成本来计算。实物量和价值量可以结合起来, 估算物质利用和流动的实物量和价值量。

环境库茨瓦兹曲线(EKC)度量物质使用强度和发展的相互关系, 即人均GDP增长带来的人均

环境压力的增加^[8], 结果表明, GDP 增长较物质总投入增加快, 随着对基础设施需求的减弱, 物质利用强度有逐渐减少的趋势。

能值指标: 即任何流动或储存的能量均以太阳能计算, 或生成另外一种形式的能量所需太阳能数量。它以能量生态学、系统生态学为理论基础, 利用能值转换率将生态系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转化为统一标准的能值, 以此对不同系统或亚系统进行定量评估与动态研究, 如 Huang(2003)^[23] 在生态经济系统的物质流分析过程中, 利用能值作为单位进行评价。

上述方法的应用有追踪资源流动过程的如进口-物质投入-物质产出-出口各环节, 也有追踪产品的生命周期进行评价的如原材料开采-产品加工-产品销售-产品消费-废弃物处理^[24], 应根据具体研究目标和数据基础等确定适宜的方法, 以评价流动过程的环境效应。

4 资源流动研究的决策作用

资源流动研究在国家资源环境管理决策中起着举足轻重的作用, 主要体现在以下方面:

4.1 制定资源可持续管理的政策机制

WI 对资源流动研究表明, 欧洲资源可持续管理的政策机制应考虑物质流动(资源开采-生产-废料处理)的综合性与平衡性, 经济发展应限制建设区的扩大和对非再生资源的利用, 提高资源生产力和生物量可持续生产, 农林部门应采取可持续的生产方式, 减少温室气体排放。国际经济合作与发展组织(OECD)要求成员国改进资源生产力信息, 鼓励他们使用并进一步发展物质流动账户方法, 以促进资源可持续管理。欧盟成员国则建立了一套指标体系评估各经济部门之间的物质流动, 应用 TMR 度量生态可持续性, 应用 SEEA 度量经济可持续性, 即从物质流动的投入端向经济生产和环境影响的产出端整个过程, 决定特定资源的开发程度和保护对象, 根据资源存储量决定投资方向。欧洲减轻资源流动的有效方法是减少对初级资源的需求, 资源流动越少, 对环境的影响越小。目前已制定并实施资源保护政策如 Factor 4 和 Factor 10, 并计划根据对这两项政策的执行情况对各国进行排序¹⁾。

波兰将 TMR 作为可持续经济发展的指标, 认为

1) Factor 4: 未来 20~30 年, 单位产出对自然资源的消耗减少到目前的 1/4; Factor 10: 未来 30~40 年, 单位产出对自然资源的消耗减少到目前的 1/10。

市场机制下资源可持续管理必须考虑 TMR 核算, 包括本地和进口资源。德国能源和农业是占环境成本最大的 2 个行业, 环境成本的核心是温室气体排放如 CO₂ 和 NO_x 排放, 减少排放是生态环境发展的主要目标。WI 通过对土地利用和物质流动的综合评估来确定合理的土地利用模式, 从而确保物质和能量的持续供给, 结果用于基于指标体系的官方报告和欧洲层次政策制定, 例如, 官方可在了解废弃物形成和产生的根源的基础上加以控制。

即将出台的《欧洲资源战略》(The European Resource Strategy) 目标是消除经济增长带来的环境效应, 其中确定了达到此目标的 3 个关键因素: 生态效率、资源生产力、替代有害过程。建议应用生命周期法, 即资源从“摇篮”流向“坟墓”的整个过程评价环境影响, 以避免生态和环境的影响在资源流动不同环节和国家间的转移。即将成立的欧洲数据中心将为区域和国家间资源流动提供数据保障, 同时, 还将构建一整套指标体系、启动一系列项目、制定有效的政策机制(如气候变化和生物多样性)确保在未来 25 年内达到《战略》目标, 这将成为未来欧洲资源流动研究的指导方针。

4.2 确定可持续发展度量指标体系

联合国环境项目(UNEP)采用 MFA 方法评价发展的可持续性。一些国家根据物质流动分析建立指标体系, 评估可持续发展程度。如瑞士应用物质流分析, 构建了 16 个指标体系, 其中包括物质总需求, 来进行可持续发展度量和决策。作为可持续发展研究的重要方面, 英国 MFA 重点研究工业生产的生态效应, 确定生态恢复和环境保护的优先领域。Haberl 等(2004)^[25] 将资源和能源流动分析(MEFA)作为可持续发展科学的重要工具箱, 因为它融合了社会科学和自然科学的内容。如, 资源流动过程中可再生资源消耗的减少和废弃物的减少表明了资源利用朝可持续方向发展, 进一步的研究将利用 MEFA 确定可持续性阈值, 进行可持续性度量。表 1 总结了欧

表 1 欧洲资源流动可持续管理的演进过程

Table 1 Evolution of resource flow and management in Europe

内容	年代		
	1970	1985	未来
管理手段	规章	非官方协议	市场机制
管理技术	末端治理	过程治理	生态技术
资源消费者态度	欲知	欲看	欲参与
资源使用企业的态度	自卫型	防备型	创新型
环境政策	部门行为	行业行为	资源综合管理
可持续性	低		高

洲资源流动和管理的可持续性演进过程,揭示出在欧洲,对资源的消费和管理逐渐朝生态友好型的、有利益相关者参与的、兼顾各方利益的可持续性方向发展。

资源科学研究的目的是给资源管理决策提供依据和参考,以促进社会经济和生态与环境的协调发展。目前西方国家正在进一步完善资源流动账户和数据库共享机制,尤其是加强地方尺度资源流动账户和数据库构建工作。指标体系也将进一步完善,除经济指标外,建议增加承载力、生态足迹和物质生产量等实物指标度量环境成本^[11]。

5 对中国开展相关研究的启示

在中国,社会经济发展是以资源为核心的资源开发、利用、配置、管理等复杂的自然与经济过程,涉及资源开发、资源利用、相关环境生态问题、资源管理等相对完整的资源动态过程。但人均资源短缺、整体资源组合不佳、资源的不合理开发利用、资源的不合理流动、资源浪费、资源转化效率低、地区资源和部门资源各自为政、相互封锁等问题成为当代中国发展的瓶颈^[26,27]。目前中国的资源消耗强度与发达国家存在很大的差距。在世界59个主要国家中,中国排在第56位,位于资源绩效最差的国家之列。5类资源原材料(一次能源、淡水、水泥、钢材和常用有色金属)的单位GDP消耗是世界平均水平的1.9倍。这说明中国并没有从根本上摆脱资源能源密集型的经济增长方式,与其他国家相比,仍处于十分粗放的发展阶段。当代资源科学研究应不断地围绕自然资源的形成、演化、开发、利用、消费这一主线,从资源数量和质量特征出发,研究资源的时空规律及其与人类社会之间的相互关系,目的是为了更好地了解、利用、保护和管理资源,协调资源与人口、环境、经济发展之间的关系,促使其向有利于人类生存与发展的方向前进^[28]。因此,应从资源流动的整个过程寻找根源,找出资源环境可持续管理的有效途径。国际研究的经验给中国开展相关研究奠定了基础,在研究的启动阶段,建议考虑以下几个方面的内容:

(1) 资源流动研究概念框架建构:探明我国经济发展过程消耗的主要资源类型,各种资源的来龙去脉,资源利用效率和生态效益。

(2) 资源流动研究范围:在资源流动研究的初级阶段,建议选择与经济发展紧密相关的资源,即经济活动直接消耗的资源类型。空间尺度可按经济发展

程度如东、中、西部,或重点流域如黄河流域、长江流域、珠江三角洲、三江源,或重点经济增长点如京津冀都市圈,也可选择相对微观尺度的案例研究,如城乡之间,或物质输出、输入地之间。时间尺度可基于我国经济发展的关键时期进行。

(3) 建立我国主要资源流动数据库和资源流动帐户:对重要资源,按部门建立资源流动数据库和资源流动帐户。各级政府指定部门对具体资源进行统计,改进多部门重复统计而造成的数据不一致和可靠性差的弊端。如能源应在能源部门按各个行业各种能源利用情况分门别类建立能源流动帐户,粮食生产中的资源流动在农业部及省、市、县直属机构设立专门机构,专人负责构建资源流动帐户。国家级、省级、市级、县级和乡级所有资源统计数据分类标准和计量单位应保持统一口径和连续性。

(4) 加强县域资源流动帐户构建。地方尺度资源流动研究具有很强的实用性,近年,国家将“县域经济”正式纳入经济建设和经济体制改革的范畴,表明中国县域经济大发展时代的到来。顺应经济发展的需求,县域资源流动帐户应首先建立并完善起来。同时向国家统计局和环境机构提供培训,支持各级各部门之间资源流动帐户的构建和应用。

(5) 数据库管理:由于资源流动跨国际、区域和部门等宏观时空尺度,建议以政府统计资料和资源流动帐户为主要数据来源,建立数据库和共享机制,在相关网页公布,定期更新。

(6) 资源消耗和经济发展状况定期通报:基于资源流动分析,定量揭示我国主要资源的时空流动过程及其规律,揭示经济活动对资源消耗现状和趋势,及其对流入地和流出地社会经济和生态环境的影响。将资源流动态势作为资源管理决策的重要依据。针对经济发展对资源消耗的关键环节及其资源利用效率,确定区域间资源调配方案以及资源管理策略。

6 结论

资源流动研究关注资源从开发到最终消费的流动与转化过程、利用效率与可能产生的生态及环境效应。国外发达国家已经对资源流动的理论、方法进行了深入探讨,研究结果应用于社会经济发展和环境保护的政策制定和实施等环节。伴随世界各国经济的快速发展,人力资源、资本资源、技术资源、石油资源等等,在国际之间或地区之间的流动将愈益频繁。中国开展相关研究已迫在眉睫。基于国外研

究经验,中国应首先明确社会经济发展过程消费的主要资源类型,界定资源流动的时空尺度,追踪这些资源的来龙去脉和产生的生态环境效应;同时,构建资源流动账户和数据库,与发达国家建立数据共享体系,为资源流动评估和长期监测奠定基础。

参考文献 (References):

- [1] Scasny M, Kovanda J, Hak T. Material flow accounts, balances and derived indicators for the Czech Republic during the 1990s: results and recommendations for methodological improvements[J]. *Ecological Economics*, 2003, 45: 41~ 57.
- [2] 成升魁, 闵庆文, 闫丽珍. 从静态的断面分析到动态的过程评价[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 407~ 414. [CHENG Sheng kui, MIN Qing wen, YAN Li zhen. From static assessment to dynamic processing: resources flow and its contents and methods[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3):407~ 414.
- [3] Wuppertal Institute for Climate, Energy and Environment (WI), Annual Report (M). WI, German. 2005.
- [4] Chambers N, Child R, Jenkin N, Lewis K, Vergoulas G, Whiteley M. Stepping Forward: A resource flow and ecological footprint analysis of the South West of England Resource flow report[M]. Best Foot Forward Ltd, United Kingdom. 2005.
- [5] Suh S. Theory of materials and energy flow analysis in ecology and economics[J]. *Ecological Modelling*, 2005, 189: 251~ 269.
- [6] Peter B. Green Accounting and Material Flow: Alternatives or Complements? [M]. WI papers No.106. 2000.
- [7] Shutz H, Welfens MJ. Sustainable Development by Dematerialization in Production and Consumption-Strategy for the New Environmental Policy in Poland[M]. WI papers No. 103. 2000.
- [8] Stefan B. 2002 Towards Sustainable Resource Management in the European Union[M]. WI papers No.121.
- [9] Krausmann F, Haberla H, Erba KH, Wackernagel M. Resource flows and land use in Austria 1950 ~ 2000: using the MEFA framework to monitor society nature interaction for sustainability[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 215~ 230.
- [10] Susanne K, Faist M, Baccini P. Economically extended-MFA: A material flow approach for a better understanding of food production chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2004, 12: 877~ 889.
- [11] IHDP. Industrial transformation draft science plan - 2nd draft, International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, Amsterdam [M]. 1999. In: McEvoy, D. Resource flow audit for sustainability: Literature review [M]. Report prepared by Centre for Urban and Regional Ecology, University of Manchester, USA. 2005.
- [12] McEvoy D. Resource Flow Audit for Sustainability: Literature Review [M]. Report prepared by Centre for Urban and Regional Ecology, University of Manchester, USA. 2005.
- [13] Brunner PH, Rechberger H. Practical Handbook of Material Flow Analysis, Lewis Publishers, Boca Raton: Book reviews[J]. *Waste Management*, 2005, 25: 111~ 113.
- [14] Stahmer C, Kuhn M, Braun N. Physical Input-Output Tables for Germany [M]. Eurostat workingpapers, Eurostat, Luxembourg. 1998.
- [15] Tjahjardi D B, Schafer W, Rademacher H. Material and energy flow accounting in Germany Data base for applying the national accounting matrix including environmental accounts concept [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 1999, 10: 73~ 97.
- [16] Manfred LD. Energy requirements of Sydney households [J]. *Ecological Economics*, 2004, (): 375~ 399.
- [17] Narayanaswamy V. et al. Resource flow and product chain analysis as practical tools to promote cleaner production initiatives[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2003, 11 (4): 375~ 387.
- [18] World Resources Institute. Material flows in the United States. 2005, 9. [http://www. material. wri. org](http://www.material.wri.org).
- [19] Chuan Y. Review on studies of economy wide material flow analysis [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3): 415~ 421.
- [20] Hinterberger F, Luks F, Steven M. Okologische wirtschaftspolitik Zwischen Okodiktatur und Umweltkatastrophe [M]. Berlin, Bale, Boston. 1996. In: Orbach T, Liedtke C. Eco Management accounting in Germany: concepts and practical implications[M]. WI papers No.88. 1998.
- [21] United Nations. Integrated Environmental and Economic Accounting [M], Handbook of National Accounting. Studies in Methods, Series F, No. 61. New York. 1993.
- [22] Huang SL, Hsu WL. Material flow analysis and energy evaluation of Taipei's urban construction[J]. *Landscapes and Urban Planning*, 2003, 63: 61~ 74.
- [23] Reginald BH, Khoo HT. An LCA study of a primary aluminum supply chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2005, 13: 607~ 618.
- [24] Haberl H, Kowalski MF, Krausmann F, Weisz F, Winiwarter V. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 199~ 213.
- [25] 成升魁. 资源科学几个问题探讨[J]. *资源科学*, 1998, 20(2): 1~ 9. [CHENG Sheng kui. 1998, Approach to issues of resources science[J]. *Resources Science*, 20(2): 1~ 9.]
- [26] 成升魁. 资源综合研究问题探讨[J]. *资源科学*, 2000, 22(1): 1~ 4. [CHENG Sheng kui. Exploration on issues concerning comprehensive research of resources[J]. *Resources Science*, 2000, 22(1): 1~ 4.]
- [27] 封志明. 资源科学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2004. [FENG Zhi ming. Resources Science[M]. Beijing: Science Press, 2004.]

Resource Flow: Theoretical Framework and Application for Decision Making

CHENG Sheng-kui, ZHEN Lin

(*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*)

Abstract: A resource flow analysis aims to quantify the flow of resources, in terms of mass, within a defined geographical area or industry sector over a set period of time. The outcomes of a resource flow analysis provide an opportunity for a better understanding of how and where to target activities to manage material consumption and minimization. It is essential for dematerialization between resources use and economic development, particularly for developing countries like China, where economic development is coupled with an intensive consumption of natural resources, affecting coordinated development between socio economy, environment and institutions.

The paper exams the progresses in resource flow analysis made by developed countries, including theoretical background, methodology applied, major results and their socio economic implications. Relevant experiences for China to conduct this sort of research are summarized and recommendations made. It is concluded that proper understanding of the concept, identification of major resources related closely to socio economic development and involved in the flow process are fundamental basis for resource flow analysis, spatial-temporal scales should be taken into consideration, vertical and horizontal flows of resources over time and its ecological and environmental effects will have to be emphasized. Most importantly, resource flow accounting system and database should be established for a long term research and monitoring. Those aspects have already been successfully tackled in developed countries, particularly in European countries and the results been used for decision making of dematerialization between economic and ecological development. At the initial stage of resource flow analysis, China will have to identify key resources consumed in economic process, and establish or assign governmental agencies or institutions to take responsibilities for data collection and manipulation and the standards for data management should be unified and consistent. The output of this work is the establishment of resource flow accounting system in corresponding agencies which will serve as a powerful basis for dynamic monitoring and assessment of resource flow, its ecological and environmental effects and counter measures.

Key words: Resource flow analysis; Resource flow accounting; Decision support; Indicator system; Western country; China