

资源流研究的理论与方法探析

沈 镭¹, 刘晓洁^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要:资源流研究是资源科学在新形势下需要重视的新的学术视角,目前国内外的研究比较零散,迄今为止还没有形成一个系统、科学的理论体系。资源流的内涵体现在复杂性、动态性和时空性 3 个方面。资源流的构成要素包括系统、物质、能量、价值、劳动力等。资源流主要研究资源在进入社会经济系统后的变化规律,阐明资源流动变化过程及其环境和经济效应,揭示资源在社会经济运动中与生态、环境相互作用的机理,为资源高效利用和可持续管理提供科学依据。目前资源流研究所用的方法主要有投入产出分析、物质流分析、工业代谢、生命周期评价等。这些方法来自不同的学科领域,从不同的角度探讨资源流动,具有各自的特点和局限性。未来资源流研究的重点主要有:按部门进行资源流研究、按地域进行资源流研究、战略性资源的流动研究、相关社会价值问题研究以及综合评价方法的研究。

关键词:资源流; 物质流分析; 工业代谢; 环境效应; 经济效应

1 引言

伴随资源科学研究的不断深入,经济学、管理学和生态学特别是生态系统思想在资源科学研究领域得到了渗透,资源系统(或资源生态系统)逐渐成为资源科学研究的对象。开发利用过程中,资源发生了一系列质的变化和位置的变换,包括形态、价值、能量等方面,这个过程既是一个生态过程,也是一个经济过程,同时还是一个社会过程。因此,资源流动研究成为资源科学在新形势下需要重视的新的学术视角^[1,2]。本文拟结合国内外研究成果,对当前资源流研究领域的一些相关理论、研究内容和研究方法进行系统的梳理,并对其研究前景进行简要分析,以期达到抛砖引玉之目的。

2 资源流研究的相关理论

2.1 资源流的定义

“流(flow)”的学术思想最初来源于生态学,用来揭示生态系统各组分间相互作用的方向、强度和速率^[3]。自 20 世纪 20 ~ 40 年代 Lotka (1925) 和 Lindeman (1942) 提出“物质和能量流”以来^[4]，“流”一直成为生态学的中心议题。生态系统中的“能量流”通常用林德曼定律来表述。在国外其它文献中，

还往往使用“substance flow”、“material flow”、“resources flow”等词汇。实际上,这些词汇都包含于资源流中的“资源(resources)”。自然界中任何物质或能量,在不同的状态下,均可以产生不同的“流动”,例如要素流动、物质流动、材料流动等等。因为不管是物质(substance)、材料(material),或是元素(element)、分子(molecular)等都是资源在不同的物理化学形态层面上的体现^[5]。

国际上关于资源流动的应用研究较多,而资源流的理论研究只是一些零散的描述,并没有对资源流进行一个系统、规范的定义。在我国,资源流的提出和研究的历史很短,迄今为止也没有形成一个系统的、科学的理论体系,资源流的定义也没有统一的认识。中国科学院地理科学与资源研究所的成升魁研究员是国内较早研究资源流的专家,他认为:“资源流是指资源在人类活动作用下,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。它既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),也包括资源在原态、加工、消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能、价值的

收稿日期:2006-02-18;修订日期:2006-03-29

作者简介:沈镭(1964~),男,湖北麻城市人,博士,研究员,中国自然资源学会秘书长,主要从事资源经济、环境与管理、资源法律与政策、资源型城市及区域可持续发展研究。

E-mail:shenl@igsnr.ac.cn

转化过程(所谓纵向流动)^[3]。”

众所周知,目前比较公认的广义“资源”不仅仅包括自然资源,还包括社会资源和知识资源。上述的“资源流”概念中的“资源”跳出了自然资源的范畴,但忽略了一些特殊的资源,例如,土地资源和劳动力资源。

因此,我们对资源流进行这样的界定:即资源流是指在人类活动中,资源在不同空间位置、不同产业簇群、不同消费链条单元、不同使用功能之间的运动、转移和转换,既包括资源在空间方向上的流动,也包括资源在价值和功能方向上的转移和改变。

2.2 资源流的内涵

通过对资源流研究发现,资源流的内涵体现在以下 3 个方面^[6]:

2.2.1 复杂性 这里的资源不是简单的、狭义的资源,而是广义的资源,包括自然资源和社会资源。自然资源是指人类可以利用的自然生产的物质和能量。社会资源是指人类通过自然劳动,在开发利用自然资源过程中提供的物质与精神财物,不仅包括人类劳动所创造的经济资源,还包括劳动力资源、科学、技术等非物质形态的资源。

2.2.2 动态性 动态性包括资源的动态性和流动过程的动态性两个方面。首先,从资源科学的角度出发,资源是一个可变的历史范畴,是一个动态的系统过程,它与人类社会、经济、文化、技术等密切相关^[2]。其次,资源流动本身是一个源源不断的动态过程,伴随着生产、消费活动的开展,资源在物质形态上、功能、空间等方面发生转变和移动,也促使有限的资源流向效益好、效率高的区位或部门中去。

2.2.3 时空性 时间和空间是物质运动的基本属性。资源的流动过程中同样也具有时间和空间的属性,具体表现在这样两个方面:第一,资源的种类多,具有不同的形态和性质,因此,在其流动过程表现出各自不同的规律和特性,同样的资源在不同的地域,受外部环境的影响,其流动也表现各异。第二,资源流动包括了资源在不同空间位置、不同产业组群、不同消费链条之间的运动、转移和转化。

2.3 资源流的构成要素

资源流动过程复杂,它包含着许多重要的具有共性的元素,我们将其称之为资源流的构成要素,其中比较突出的是系统、物质、能量、价值、劳动力等。

2.3.1 系统 资源流分析的理论基础在于如图 1 所示的资源 - 环境 - 社会/经济 - 生态复合系统。

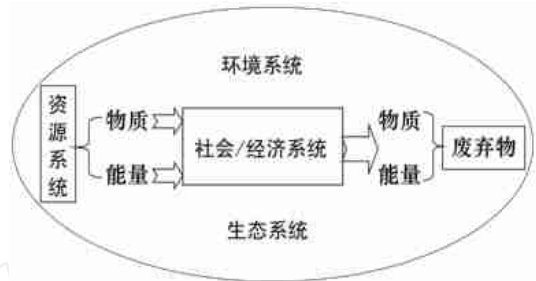


图 1 资源 - 环境 - 社会/经济 - 生态复合系统

Fig. 1 The compound system of resources, environment, socio-economy and ecology

在这个系统中,资源系统和社会经济系统被包含在生态环境系统中,社会经济系统与其周围的环境系统或生态系统是由物质流与能量流相联结。环境或生态系统中,只有那些为人类能够利用的稀缺性物质和能量,才称为“资源”,这些资源进入社会经济系统后,通过一定的循环、流动,一部分保留在社会经济系统中,其余将向环境和生态系统中排放。

2.3.2 物质 资源流动过程中物质必不可少,无论其形态如何变化,总是遵循质量守恒定律,即物质流入量 = 物质流出量 + 物质存量的净变化(图 2)。

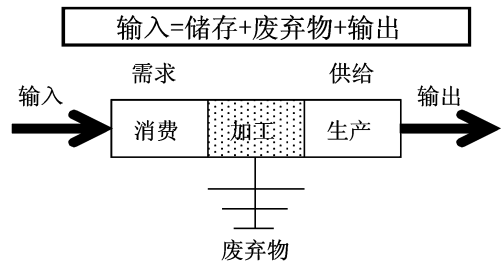


图 2 资源流动过程

Fig. 2 The resources flow process

2.3.3 能量 伴随着资源流过程中的物质流动,能量也在发生流动,其流动规律遵循热力学第一、第二定律。在流动中不断有损耗,不能构成循环(单向性);除部分热损耗是由辐射传输外,其余的能量都是由物质携带的,能流的特点体现在物质流中。但是能量每流过一个能级时,均有一定的损耗。

2.3.4 价值 价值流是资源流动过程的表现,也可以看成是计量形式的体现。在资源流动过程中潜在使用价值与实际使用价值交替转化而形成价值流,在流动进程中价值不断增加。资源流动中价值增加的直接原因是由于人类劳动的投入,其间接原因是由于社会需求、供需区域差异等。伴随着价值的增值,可以通过价值规律来调节资源在不同空间位置、不同产业组群、不同消费链之间的正常运行。

2.3.5 劳动力 劳动力是资源流动过程中的生产者,具有主观能动性。伴随着资源的流动,劳动力也在时间和空间上发生变化,一方面由于就业、退休等导致劳动力数量的变化,另一方面在各产业部门、不同的地域分配情况的变化。劳动力的数量和质量,决定了人类开发利用自然资源的能力。

3 资源流的主要研究领域

资源流主要研究资源在进入社会经济系统后是如何变化的,阐明资源流动变化过程中的规律以及资源与环境、经济、社会相互作用的内在机理。研究资源流动所产生的经济效应和环境效益,为资源高效利用和可持续管理提供科学依据。

3.1 资源流向研究

3.1.1 横向流动 资源“横向流动”表明了资源在不同空间位置产生的位移和运动。对于资源“横向流动”问题的研究,重点在于流动过程可能产生的相关效应。无论是国际之间还是地区之间,都存在各类形式的资源流动。资源流动过程中不仅有资源提取、物质的流动和储存,还会带来一定的环境负担^[3]。因此,资源“横向流动”的深入研究,有助于正确分析区域差异,进而为国家和地区的公平发展和持续发展提供战略决策依据。

3.1.2 纵向流动 资源“纵向流动”反映了资源在原态、加工、消费、废弃这一系列过程中形态、功能、价值的转移和变化,这不仅关注资源形态的变化过程,更为关注资源系统中的资源利用效率,包括物质循环效率、能量转化效率和经济效率。资源“纵向流动”的深入研究,有助于分析资源要素之间的关系,评价资源系统的运转效率,进而为以该资源为链条涉及到的不同部门的高效发展提供依据^[3]。

3.2 资源流形态研究

资源流的研究可以根据资源的物理与化学形态在不同层面上开展,包括元素流动、分子流动、物质流动和材料流动等^[5],这类研究主要针对实物资源,可以帮助我们从一个新的角度理解资源的流转。

元素流动分析对象是原子。如果某种元素非常稀缺(如金)或者具有毒性(如汞、砷等),都有必要进行元素流分析。Palm 和 Ostlund(1996)研究了斯德哥尔摩市的铅和锌的流动和使用情况^[7]。Graedel 和 Allenby(2003)在其专著中分析了 1998 年铅在全球范围内的资源流状况^[5]。我国也有部分学者进行了相关研究,王利、张卫峰(2005)等利用资源流动理论,结合不同化肥品种的生产特点对硫资源的流动

规律进行了定量研究^[8]。

分子流动分析的第一例是由加州大学 Irvine 分校的 Molina 和 Rowland 合作开展的关于氟里昂的大气循环研究,获得了诺贝尔奖。Graedel 和 Crutzen(1993)对大气层中甲烷分子流进行了分析^[5]。Kowalski 和 Mazanek(1998)利用物质流分析和技术评价研究了波兰的铬酸钠分子的流动状况^[9]。

物质流动分析是在比较复杂的情况下,当某种物质具有多种化学形态和特性时进行的。2000 年欧洲国际锌研究组织对全球锌循环进行了物质流动分析^[5]。Bertram(2002)以二十世纪九十年代欧洲国家的铜为研究对象,探寻铜资源的运动^[10]。

材料流动分析主要是针对特定的材料在一个单位内部或几个单位之间的流动进行分析。Kleijn(2000)运用动态物质流分析法对瑞典 1995 年的 PVC 的流动和存量进行了分析^[11]。徐明、张天柱(2004)以“八五”、“九五”期间中国国民经济系统运行所用的化石燃料为对象,运用物质流方法进行分析,以此考察中国化石燃料的利用状况^[12]。

3.3 资源流理论研究

资源流的理论研究包括资源流的内涵、特征、组成要素;资源流的形成、发展和变化历程及其规律;资源流的不同流动模式;资源流的影响因素、资源流的研究方法的完善和发展等内容。

近年来国外学者相继提出一些观点,丰富和发展了资源流理论:Ulanowicz(1991)提出应该使用“分摊价值”(contributory value)的概念,既考虑生态系统中生产的产品和服务所需的物质和能量的直接投入,又考虑其间接投入^[13]。EUROSTAT(2001)提出经济代谢可以用物质账户中的一组指标来描述,包括总物质需求量、主要成分、直接物质投入以及隐流(Hidden Flows, HF)^[14]。在我国,部分学者作了一些相关研究,可看作资源流理论研究的早期成果。第一,关于资源流动力机制研究方面,主要有:谷树忠(1993)提出了“资源势”的概念。董瑜、谢高地(2001)指出资源场力是推动资源流动的本质力量,资源场力和外力的合力是资源流动的直接力量。苏筠(2002)认为资源的有用性、区域分布不均衡性和人类需求的区域差异性,是自然资源流动的必要的先决条件;科技进步的推动力使资源流动成为可能。刘春成等(2003)通过资源的“靶向性”来分析资源在区域间的流动机理。第二,关于资源流外部环境和影响因素分析方面,主要有:周民良(1994)认为影响

资源流动的因素主要有要素在两个区域的供需差别、两区域要素价格的差别、信息的完备程度与及时性以及交通运输工具的保证程度等张耀辉(1999)认为:区域环境如自然资源、基础设施、固定资产等的优劣程度可以决定该区域对资源流动的吸引力^[15]。

由于资源种类多,流动过程复杂,具有不同的特性,因此其资源流既有共性,又有各自的特征和规律。国内外过去的关于资源流理论研究中,一般是利用经济学和资源科学解释了资源流动的一些现象和特征,不够系统和全面,且大多集中在资源流的表面特征上,缺乏对资源流动内在规律的深层次挖掘^[16]。

3.4 资源流应用研究与案例分析

资源流的应用研究可从三个不同的空间尺度来进行:第一,国家/区域或城市尺度;第二,产业/部门尺度;第三,企业/家庭尺度。

(1)国家/区域或城市尺度研究。20世纪90年代初,奥地利、日本和德国首先运用物质流分析法对各个国家经济系统的自然资源和物质的流动状况进行了分析,揭开了资源流研究在国家尺度上广泛应用的序幕^[16]。从1997年开始,世界资源研究所(World Resource Institute)着手对美国、日本、奥地利、德国、荷兰经济系统的物质流动状况进行了全面的分析。与此同时,运用物质流分析法对本国经济系统进行分析的国家不断增多,如意大利、丹麦、芬兰、瑞典、英国等。2001年,欧洲环境署(European Environment Agency, EEA)运用物质流分析法对欧盟15国的物质流输入进行了统计分析,这是资源流研究第一次应用于区域经济系统。2001年欧盟统计局(EUROSTAT)出版了第一部关于经济系统物质流分析方法的著作,对资源流的深入研究发挥了积极的引导作用Bertram和Graedel研究了1994年英国的铜生命周期中废弃物的流动,对其进行了分类、量化和评价^[17]。Matthew(2005)利用能值法从国家、区域、土地利用子系统这三个层次对肯尼亚土地侵蚀的状况进行了量化分析^[18]。Weisz和Fridolin(2005)跨越一国经济系统,对欧盟15国的资源利用状况进行了分析比较^[19]。此外,Robinson, Stankovic和Morel等人(2003)对城市毗邻地区的综合资源流动进行的模拟研究,提出了一种SUNTool(*Sustainable Urban Neighborhood modelling tool*)概念模型^[14]。

我国学者陈效速(2003)对我国物质输入与输出量进行了全面的分析^[20];李刚(2004)根据Wemick

和Aushel(1995)提出的国家物质流分析框架,对我国1995~2002年中国经济系统进行了国家物质流分析^[21]。徐一剑,张天柱等(2004)采用物质流分析工具,对贵阳市的经济增长方式进行初步分析^[22]。

(2)产业/部门尺度。国外学者Korhonen(2001)通过分析芬兰的地区森林产业的物质能量流动,利用自然循环模型构建该地区的产业生态系统^[23]。Binder(2004)运用物质流分析和代理分析对瑞士的AR地区木材从森林到木材加工到消费的流动过程进行了量化分析^[24]。Nydia和Mario分析了墨西哥的矿业资源流动状况^[25]。

我国学者陈效速、郭玉泉等(2005)将产业部门层次与产品层次物质流分析相结合,对水泥行业进行了物能代谢与环境影响的研究^[26]。刘征、胡山鹰(2005)对我国磷资源产业的整个生命周期进行了定量描述和分析^[27]。

(3)企业/家庭尺度。资源流在企业层面的研究更多的是利用生命周期方法进行评价分析目前,在很多跨国公司中都有专门的团队、小组、部门负责应用LCA,如美国、欧洲、亚洲一些汽车制造企业和电力生产企业。

目前国外的微观研究比较多地开始关注家庭(Household)资源流。家庭是社会终端消费的基本单元,它直接和间接(通过所使用的产品)地消费作为家庭活动投入的能源、原材料和水资源,同时产生各种排放物和废弃物,从而对环境产生各种负面影响。随着经济的发展、人口的增加及家庭规模的减小,家庭消费的生态影响在逐步增加,使其成为实现可持续发展的一个重要影响因素Biesiot和Noorman(1999)运用家庭代谢方法展示了1950~1990年荷兰家庭能源流动的全景^[28]。陶在朴(2003)完成了1997年奥地利家庭的物质流核算,得出了奥地利家庭物质投入与产出表^[28]。Manfred(2004)利用投入-产出分析和详细的家庭消费数据生成了悉尼14个统计分区的综合能源使用明细^[29]。

我国对资源流的应用研究多集中于宏观层面和中观层面,对于微观层面,包括针对企业、家庭消费的资源流研究很少。

目前,国内外实证研究中存在的最大问题是数据的有限。无论是国家/区域资源流分析,还是产业/部门、企业/家庭资源流分析,除了国家尺度外,其他尺度上的资源流研究的难点均在于数据,表现在区域内的资源交换数据匮乏、某些涉及到公司、企

业的生产数据因保密而难以获取、数据统计口径不一致等问题,从而影响到资源流研究的广泛开展。

4 资源流的研究方法

资源流的研究属于综合性研究,整个流动过程及其效应具有高度的综合性,涉及到自然环境、社会经济、科学技术等各方面的因素。对于这样一个复杂的命题,其研究方法值得探讨。目前可供资源流研究的方法主要有:投入产出分析、物质流分析、工业代谢、生命周期评价等,虽然这些方法分别来自于不同的学科领域,但它们具有内在的一致性,即对研究对象(物、能流动和转换的全过程)的整体性思考。正是这种一致性使它们从能够实现从不同的角度来研究探讨资源流。

4.1 投入产出分析(Input-Output Analysis, IOA)

投入产出分析(IOA),也称为部门联系平衡法,是由美国经济学家列昂惕夫于1936年提出的。IOA是反映经济系统各部分(如各部门、行业、产品)之间的投入与产出的数量依存关系,并用于经济分析、政策模拟、计划制定和经济控制等的数量分析方法。IOA的投入是指产品生产所消耗的原材料、燃料、动力、固定资产折旧和劳动力;产出是指产品生产出来后所分配的去向、流向^[30]。

在资源流最初的研究中,为了探讨经济发展、人口和资源利用之间的关系,国内外学者借助IOA对资源流进行量化^[31]。Hannon(1973,1987)将IOA引入生态学并将其应用于北海生态系统^[32]。Manfred(2004)利用IOA对悉尼能源消耗进行了分析^[29]。我国学者杜科雄(2005)通过固体废物投入产出表来分析废物资源化的流动^[30]。黄晓荣(2005)将水资源量纳入国民经济行业价值型投入产出表中构造出价值型—实物型混合型水资源投入产出表对宁夏国民经济行业用水进行了分析^[33]。

4.2 物质流分析(Material Flow Analysis, MFA)

物质流分析法(MFA)来自于投入产出分析,1997年世界资源研究所的学者为了追寻自然资源从提取、加工、生产、使用、循环和处理过程的流动而开发的一种新的方法^[31]。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MFA法对本国经济系统进行分析^[16]。

在我国,应用MFA的研究工作还刚起步。陈效速、乔立佳(2000)首次分析利用MFA分析了1989~1996年间我国经济系统的物质需求总量、物质消耗强度和物质生产力^[34]。刘征、胡山鹰等(2005)以中国磷资源产业为研究对象,运用MFA对其整个生命周期进行定量描述和分析^[27]。陈效速、郭玉泉(2005)利用MFA,对北京地区水泥生产和使用过程的物能代谢及其环境影响进行研究^[26]。

运用MFA进行资源流分析,是按质量对资源进行“合成”,有其不足,主要表现在以下几个方面:(1)运用MFA进行资源流的宏观分析中,经济系统中一些大的资源流经常主宰以质量为基础的物质流指标,从而冲淡了其他资源流对指标的贡献,其最后分析得到的指标值并不能十分准确、清晰地描述经济系统的资源流动状况^[16]。(2)MFA只考虑资源的质量,忽略了资源流可能带来的环境影响,弱化了资源流指标与资源流动带来的环境影响之间的联系。(3)MFA采用质量加和的方法,并不能充分反映经济价值流动^[34]。

4.3 工业代谢分析(Industrial Metabolism, IM)

工业代谢分析方(IM)是基于模拟生物和自然界新陈代谢功能的一种系统分析方法。IM根据质量守恒原理,对物质从最初的开采、工业生产到产品消费系统的使用,直至变成最终的废弃物这一全过程进行跟踪。与以往的系统分析方法的不同之处在于,IM以环境为最终的考察目标,追踪资源流动的全过程,给出系统造成污染的总体评价,并力求找出造成污染的主要原因。我国学者周哲等(2001)对煤的工业能源、化工过程进行IM分析^[35]。

IM的局限性主要表现在这样几方面:第一,工作量大。该方法所需要的大部分数据存在于大量的监测报表、年鉴、行业数据库等数据源中,要将这些数据抽提出来并进行加工,其工作量是相当大的。第二,仅关注代谢过程,忽视其他影响^[36,37]。

4.4 生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)

生命周期评价法(LCA)是一种用于评估产品在其整个生命周期中,即从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置,对环境影响的技術和方法。

国外学者利用LCA进行了一些资源流方面的研究。Reginald, Khoo(2005)利用LCA对对原铝从铝矿开采、精炼、成型的流动过程进行了分析评价^[38]。Beatriz和Maria(2005)利用LCA对木材废弃物的利用进行了分析评价^[39]。Suppen和Carranza

(2005)利用 LCA 展示了墨西哥矿业概况^[40]。

LCA 具有一定的局限性,主要体现在以下三点:第一,LCA 是一种主观与客观相结合的分析方法,其结果因人而异,难以验证。第二,LCA 是一种环境管理工具,只考虑了生态环境、人体健康、资源消耗等方面的环境问题,不涉及技术、经济或社会效果方面。第三,LCA 中的原始数据和评估结果,都存在时间和地域上的限制。

5 发展趋势

结合现有的研究成果和未来研究前沿的展望,今后资源流的研究将有以下趋势:

5.1 按部门进行资源流动研究

尽管过去研究中按照部门对资源的消耗趋势进行了一些分析研究,但是这些结果只是一种描述性的概略分析,需要采用一个更系统的方法按照资源消耗强度、对环境对人类影响程度等因素来对各部门排序。对其中的资源高消耗部门和存在潜在危害的部门资源流进行重点研究^[31]。

5.2 按地域进行资源流研究

资源生产和消费过程中对环境和人类健康的影响首先体现在地区层次之中。对于一些敏感地区生态系统的资源流分析,将会促使决策者在资源消耗对敏感生态系统产生不可逆转的影响发生之前,及时发现。因此,深入挖掘资源流分析结果所蕴含的区域价值,是未来研究应该注重的方向之一^[31]。

5.3 战略性资源的流动研究

提高资源利用率,促进资源循环利用最基本的是了解资源在经济社会中的流动状况,尤其是一些对国民经济、人民生活有重要影响的战略性资源,如煤炭、石油、粮食和水等。这些资源的损耗对实现人类的可持续发展至关重要。研究这类资源的利用状况从一个方面反应了人类活动对资源的消耗程度,可以明晰资源流动与经济社会发展之间的内在联系,比如研究水资源流动,可以建立不同经济活动的物质消耗强度和水资源利用强度之间的关系。

5.4 相关社会价值问题研究

资源流动与社会所有成员(包括家庭和企业等)的关系最为密切,不同社会成员是如何影响资源的流动,比如家庭的消费结构与资源流动的关系,资源流动对就业结构的影响等都是具有重要社会价值的课题。

5.5 综合评价方法研究

目前的研究方法包括投入-产出分析法、物质流分析法、工业代谢分析法等来自于不同的学科领域,

各有自己的特点和局限,我们在文中已做简要评述。随着资源流研究的不断深入,不仅需要着眼于经济系统和自然环境的界面进行分析,同时需要对社会、经济系统内部的各种经济生产、消费活动中的不同资源流进行过程分析。因此,需要探讨一种更综合、更开放的方法,能够将社会目标、经济目标、环境目标结合起来考虑^[36],也需要一些更为细致、周密的方法对系统内部的资源流进行翔实的描述^[37]。

6 结语

综上所述,资源流研究是一项重要而又亟待开展的科学研究课题,它是 21 世纪资源科学发展的重要前沿领域。由于我国现在还没有形成完整的资源流理论体系,而国外已经在某些领域展开了实际性的研究,所以,我国在资源流研究方面,必须及早地跟踪国际前沿动态,并尽可能地在资源流的某些方面实现中国特色的创新,例如资源流概念体系、规律、驱动因素及其动力机制等方面的研究,以及评价方法的完善和研究思路的拓宽。在以后的研究中还要注意发挥学科交叉优势,理论与实际结合,建立具有中国特色的资源流理论体系与研究方法,这对于当前我国建立环境友好、资源节约型社会和解决循环经济中的重大资源需求问题具有十分重要的理论价值和现实意义。

参考文献 (References):

- [1] 成升魁,沈镭,闵庆文.资源科学研究的新视角——自然资源流动过程与效应[J].资源科学,2006,28(2):199~200. [CHENG Sheng-kui, SHEN Lei, MIN Qing-wen. The new researching view of resources science[J]. Resources Science, 2006, 28(2):199~200.]
- [2] 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. Approach to issues of resources science[J]. Resources Science, 1998, 20(2):1~9.]
- [3] 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.]
- [4] Lotka, A.J. Elements of Physical Biology [M]. USA: Williams and Wilkins, Baltimore, 1925.
- [5] T E. Gaedel, B. R. Allenby. Industrial Ecology Second edition [M]. 北京:清华大学出版社,2005. 284~290. [T E. Gaedel, B. R. Allenby. Industrial Ecology Second Edition [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.]
- [6] 雷学东,陈丽华,余新晓,等.区域水资源承载力研究现状与发展趋势[J].水资源与水工程学报,2002,15(3):10~14. [LEI Xue-dong, CHEN Li-hua, YU Xin-xiao, et al. Some present situation and perspective in study on the regional carrying capacity of water

- resources[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2002, 15(3): 10~14.]
- [7] Viveka Palm, Cantarina Ostlund. Lead and zinc flows from technosphere to biosphere in a city region[J]. *The Science of the Total Environment*, 1996, (192): 95~109.
- [8] 王利,张卫峰,马文奇,等. 基于化肥生产的硫资源流动规律研究[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(6): 900~908. [WANG Li, ZHANG Wei-feng, MA Wen-qi, et al. Research on the rule of sulfur resources flow based on fertilizer manufacturing[J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(6): 900~908.]
- [9] Zygmunt Kowalski, Czeslaw Mazanek. Sodium chromate-material flow analysis and technology assessment [J]. *Journal of Cleaner Production*, 1998 (6), 135~142.
- [10] Spataro, M. Bertram. The contemporary European copper cycle: 1 year stocks and flows[J]. *Ecological Economics*, 2002, (42): 27~38.
- [11] Rene Kleijn, Ruben Huele, et al. Dynamic substance flow analysis: the delaying mechanism of stocks, with the case of PVC in Sweden [J]. *Ecological Economics*, 2000, (32): 241~254.
- [12] 徐明,张天柱. 中国经济系统中化石燃料的物质流分析[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2004, 44(9): 1166~1170. [XU Ming, ZHANG Tian-zhu. Material flow analysis of fossil fuel usage in the Chinese economy[J]. *J. Tsinghua Univ (Sci &Tech)*, 2004, 44(9): 1166~1170.]
- [13] Murray Patterson. Commensuration and theories of value in ecological economics[J]. *Ecological Economics*, 1998, (25): 105~125.
- [14] EUROSTAT. Economy-wide material flow accounts and derived indicators [M]. A methodological guide. Statistical Office of the European Union, Luxembourg, 2001.
- [15] 李群,赵高正. 资源流动机制与区域经济发展探析[J]. *财贸经济*, 2005, 6: 61~65. [LI Qun, ZHAO Song-zheng. Discussion on resource follows mechanism and regional development [J]. *Finance and Trade Economics*, 2005, (6): 61~65.]
- [16] 夏传勇. 经济系统物质流分析研究综述[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 415~421. [XIA Chuan-yong. Review on studies of economy-wide material flow analysis [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(3): 415~421.]
- [17] M. Bertram, T. E. Graedel, et al. The contemporary European copper cycle: waste management subsystem [J]. *Ecological Economics*, 2002, 42: 43~57.
- [18] Matthew J. Cohen, Mark T. Brown, et al. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis [EB/OL]. [www. Elsevier. com / locate / agee](http://www.elsevier.com/locate/agee), 2006 - 03 - 12.
- [19] Helga Weisz, Christof Amann, et al. The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption [EB/OL]. [www. elsevier. com / locate / econ](http://www.elsevier.com/locate/econ), 2006 - 03 - 12.
- [20] 陈效速,赵婷婷,郭玉泉,等. 中国经济系统的物质输入与输出分析[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(4): 538~547. [CHEN Xiao-qiu, ZHAO Ting-ting, GUO Yu-quan, et al. Material input and output analysis of Chinese economy system[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2003, 39(4): 538~547.]
- [21] 李刚. 基于可持续发展的国家物质流分析[J]. *中国工业经济*, 2004, (11): 11~18. [LI Gang. Material flow analysis of nations based on sustainable development [J]. *China Industrial Economy*, 2004, (11): 11~18.]
- [22] 徐一剑,张天柱,石磊,等. 贵阳市物质流分析[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2004, 44(12): 1687~1691. [XU Yi-jian, ZHANG Tian-zhu, SHI Lei, et al. Material flow analysis in Guiyang [J]. *J. Tsinghua Univ (Sci &Tech)*, 2004, 44(12): 1687~1691.]
- [23] Jouni Korhonen, Margareta Wihersaari, et al. Industrial ecosystem in the Finnish forest industry: using the material and energy flow model of a forest ecosystem in a forest industry system [J]. *Ecological Economics*, 2001, (39): 145~161.
- [24] Claudia R. Binder, Christoph Hofer, et al. Transition towards improved regional wood flows by integrating material flux analysis and agent analysis: The case of Appenzell Ausserrhodens, Switzerland[J]. *Ecological Economics*, 2004, (49): 1~17.
- [25] Nydia Suppen, Mario Carranza, et al. Environment management and life cycle approaches in the Mexican mining industry[EB/OL]. [www. elsevier. com / locate / jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro), 2006 - 03 - 12.
- [26] 陈效速,郭玉泉,崔素平,等. 北京地区水泥行业的物能代谢及其环境影响[J]. *资源科学*, 2005, 27(5): 40~46. [CHEN Xiao-qiu, GUO Yu-quan, CUI Su-ping, et al. Material-energy metabolism and environmental implications of cement industry in Beijing [J]. *Resources Science*, 2005, 27(5): 40~46.]
- [27] 刘征,胡山鹰,陈定江,等. 我国磷资源产业物质流分析[J]. *现代化工*, 2005, 25(6): 1~6. [LIU Zheng, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, et al. Material flow analysis on China's phosphorus resources[J]. *Modern Chemical Industry*, 2005, 25(6): 1~6.]
- [28] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹—可持续发展的重量及面积观念[M]. 北京: 经济科学出版社, 2003. [TAO Zai-pu. Ecological Burdens and Ecological Footprints- Sustainable Viewpoints of Weights and Areas[M]. Beijing: Economic Science Press, 2003.]
- [29] Manfred Lenzen, Christopher Dey, et al. Energy requirements of Sydney households[J]. *Ecological Economics*, 2004, (49): 375~399.
- [30] 杜科雄,白庆中. 投入分析在固体废物管理中的应用[J]. *环境污染治理技术与设备*, 2005, 6(4): 86~90. [DU Ke-xiong, BAI Qing-zhong. The application of input-output analysis in solid waste management [J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2005, 6(4): 86~90.]
- [31] World Resources Institute. Material flows in the United States[EB/OL]. 2005, 9: [www. material. wri. org](http://www.material.wri.org), 2006 - 02 - 19.
- [32] Bruce Hannon. Ecological pricing and economic efficiency [J]. *Ecological Economics*, 2001, (36): 19~30.
- [33] 黄晓荣,汪党献,裴源生. 宁夏国民经济用水投入产出分析[J]. *资源科学*, 2005, 27(3): 135~139. [HUANG Xiao-rong, WANG Dang-xian, PEI Yuan-sheng, et al. Input and output of water consumption for economic development in Ningxia [J]. *Resources Science*, 2005, 27(3): 135~139.]
- [34] 陈效速,乔立佳. 中国经济-环境系统的物质流分析[J]. *自然资源学报*, 2000, 15(1): 17~23. [CHEN Xiao-qiu, QIAO Li-jia. Material flow analysis of economic-environment system in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(1): 17~23.]
- [35] Mathijs Bouman, Reimout Heijungs, et al. Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models[J]. *Ecological Economics*, 2000, (32): 195~216.
- [36] 周哲,李有润,沈静珠,等. 煤工业的代谢分析及其生态优化[J]. *计算机与应用化学*, 2001, 18(3): 193~198. [ZHOU Zhe, LI You-run, SHEN Jing-zhu, et al. Coal-based industrial metabolism and ecological optimization [J]. *Computers and Applied Chemistry*,

- 2001, 18(3):193~198.]
- [37] 陈定江, 李有润, 沈静珠, 等. 工业生态学的系统分析方法与实践[J]. 化学工程, 2004, 32(4):53~57. [CHEN Ding-jiang, LI You-run, SHEN Jing-zhu, et al. System analysis approaches and practice of industrial ecology [J]. *Chemistry Engineering*, 2004, 32(4):53~57.]
- [38] Reginald B. H. Tan, Hsien H. Khoo. An LCA study of a primary aluminum supply chain [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2005, (13):607~618.
- [39] Beatriz Rivela, Maria Teresa Moreira, et al. Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture [EB/OL]. www.elsevier.com/locate/scitotenv, 2006-02-13.
- [40] Nydia Suppen, Mario Carranza, et al. Environmental management and life cycle approaches in the Mexican mining industry [EB/OL]. www.elsevier.com/locate/jclepro, 2006-03-23.

Discussion on Theories and Methods of Resources Flow

SHEN Lei¹, LIU Xiao-jie^{1,2}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: With the development of resources science, resources system has been evolved into its important and key research objective. The whole process of resources exploiting and using has been being studied by various scholars. Such a resources flow is an emerging concept in resources science. Nowadays, researches on resources flow are more loosely scattered and have not been developed into a systematic and scientific theory system. Authors argue that the connotation of resources flow includes at least three aspects: its complex, dynamic and space-time, which consist of system, substance, energy, value, labor and others. The research purpose of resources flow is to understand how and what resources are used in socioeconomic system and to identify their interior mechanism during the resources flow process so that it can provide more scientific and efficient guidance for resources utilization and sustainable management. The main areas of different kinds of researches on resources flow can be categorized as follows: transactional and industrial researches; element, molecule, substance and material flow researches; theory and application researches. Methods applicable in resources flow mainly include: input-output analysis, material flow analysis, industrial metabolism, life cycle assessment and so on. These methods are derived from different disciplines with different points of view, while each of them has its own advantages and shortcomings. In the future, the following aspects should be paid more attention: first, studies on resources flow of individual sector, especially the resources-intensive consumed sectors and their potentially affecting ones; second, regional flow studies, which will help the decision-makers find some resources flow problems in time; third, studies on strategic resources flow, such as coal, petroleum, iron ores, water and others, which will be more important for sustainable resource development; fourth, some related social issues from resources flow, such as the relationship between household consuming structure and resources flow, the influence of employment structure from resources flow; fifth, comprehensive appraisal methods, which will be more complex and more open, and can also be considered in terms of social, economic and environmental objectives. Moreover, the following researches areas should be thought more over on the advantages of cross-disciplines and their combination of theory and practice. Apparently, for building the friendly environmental and saving resources society in China, the resources flow research will be a significant direction either in theoretical or practical context.

Key words: Resources flow; Material flow analysis; Industrial metabolism; Environmental effect; Economic effect