

经济日报学术文库

世界经济的 体现生态要素流分析

Analysis of Embodied Ecological Endowment
Flow for the World Economy

陈占明 著



 经济日报 出版社

经济日报学术文库

世界经济的 体现生态要素流分析

Analysis of Embodied Ecological Endowment
Flow for the World Economy

陈占明 著



 经济日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

世界经济的体现生态要素流分析 / 陈占明著. —北京: 经济日报出版社, 2014. 4
ISBN 978 - 7 - 80257 - 620 - 9

I. ①世… II. ①陈… III. ①世界经济—研究 IV.
①F11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 061974 号

世界经济的体现生态要素流分析

作 者	陈占明
责任编辑	范静泊
责任校对	张明明
出版发行	经济日报出版社
地 址	北京市西城区右安门内大街 65 号 (邮政编码: 100054)
电 话	010 - 63567960 (编辑部) 63516959 (发行部)
网 址	www. edpbook. com. cn
E - mail	edpbook@126. com
经 销	全国新华书店
印 刷	北京天正元印务有限公司
开 本	1/16
印 张	17. 5
字 数	314 千字
版 次	2014 年 7 月第一版
印 次	2014 年 7 月第一次印刷
书 号	ISBN 978 - 7 - 80257 - 620 - 9
定 价	49. 00 元

版权所有 盗版必究 印装有误 负责调换

前 言

生态要素是维持生态经济活动的重要元素。近年来,由人类活动造成的资源消耗和环境排放导致生态要素的稀缺性已经成为影响生态经济系统稳定发展的重要限制因素。在这样的背景下,对生态要素的研究引起了广泛关注。为了研究生态要素与生产和消费等生态经济活动之间的相互关系,一些学者尝试分析个别生态要素在不同尺度生态经济系统的体现流动情况。然而,对全球尺度生态经济系统的体现生态要素流动情况的研究却非常有限。本书首次分析了世界经济的能源、温室气体、水资源、太阳能值资源和宇宙烟值资源这五种关键生态要素的体现流动情况,填补了这一领域的研究空白,并为相应生态要素管理政策的制定提供了科学依据及数据基础。

本书首先拓展了体现生态要素理论,参考经济学的边际理论提出了体现生态要素的理论性定义,并对已有的体现生态要素操作性定义进行了总结和讨论,为体现生态要素作为研究对象的推广和作为政策调控媒介的应用提供了坚实的理论支持。在此基础上,本书结合系统生态学思想和经济投入-产出模型,全面阐述了体现生态要素的系统投入产出理论,详细介绍了系统投入产出表的结构和体现生态要素平衡方程的形式,并据此提出了对一般生态经济系统进行系统投入产出模拟的基本步骤:(1)根据研究目的、数据可得性及可操作性确定研究内容及系统边界;(2)收集数据,编制系统投入产出表;(3)建立体现生态要素平衡方程,求解出各生产性单元的体现生态要素强度,构建体现生态要素强度数据库;(4)分析所关注的生态经济活动中的体现生态要素流动情况。

在上述理论方法探索的基础上,本书根据最新的经济与社会统计数据及主流资源环境核算研究编制了2004年全球生态经济系统针对能源(包含原煤、原油、天然气、水机械能及核能等子项目)、温室气体(包含二氧化碳、甲烷、氧化亚氮及氟化气体等子项目)、水资源(包含农业用水、工业用水及其他用水等子项目)、太阳能值资源(包含太阳辐射、地热、潮汐能、原煤、原油、天然气、核电、木材、表层土

壤、磷矿、石灰石及金属矿等子项目)和宇宙焓值资源(包含风能、雨水化学能、雨水势能、径流化学能、径流势能、波浪能、光合作用所用太阳辐射、地热资源、潮汐能、原煤、原油、天然气、核电、木材、表层土壤、磷矿、石灰石及金属矿等子项目)等生态要素的系统投入产出表,从而构建了针对上述生态要素在全球尺度下的体现强度数据库,并在将所有经济产品划分为农产品、矿产资源、加工食品、纺织服饰、轻工业产品、重工业产品、公共设施、建筑、交通运输和其他服务 10 大类的基础上,对相关生态经济活动中的体现生态要素流动情况进行了分析。

根据体现能源流分析结果,全球尺度上重工业产品和其他服务分别是生产活动和消费活动最主要的体现能源来源,其中重工业产品提供了中间产品体现能源的 48%,而其他服务的消费则占了总体现能源消费量的 28%。从国家尺度看,全球最大的体现能源消费国依次是美国、中国和日本,它们 2004 年的体现能源消费量分别达到 25.29、12.28 和 6.00 亿吨标准油当量。美国也是全球最大的体现能源进口国和体现能源贸易顺差国,中国则是全球最大的体现能源出口国和体现能源贸易逆差国。本研究还模拟了全球主要能源消费国 2005~2035 年的体现能源消费量,结果表明美国在未来 16 年内仍将是全球第一大体现能源消费国。

根据体现温室气体流分析结果,重工业产品和其他服务同样也是生产活动和消费活动最主要的体现温室气体排放源,其中重工业产品的体现温室气体排放量占有中间产品体现温室气体排放量的 28%,而其他服务的消费则导致了全球体现温室气体排放量的 31%。从国家尺度看,全球最大的体现温室气体排放国依次是美国、中国和日本,它们 2004 年的体现温室气体排放量分别达到 80.25、49.77 和 16.96 亿吨二氧化碳当量。美国是全球最大的体现温室气体进口国和体现温室气体贸易顺差国,而中国则是全球最大的体现温室气体出口国和体现温室气体贸易逆差国。本研究还模拟了全球主要温室气体排放国 2005~2035 年的体现二氧化碳排放量,结果表明中国将于 2012 年以后超越美国成为全球最大的体现二氧化碳排放国。

根据体现水资源流分析结果,公共设施供应了中间产品体现水资源的 46%,而农产品则供应了消费活动体现水资源的 29%。从国家尺度看,印度、美国和中国分别以 6,065、5,485 和 5,161 亿立方米的体现水资源消费量成为全球最大的三个体现水资源消费国。此外,中国是全球最大的体现水资源出口国和体现水资源贸易逆差国,美国是全球最大的体现水资源进口国,而日本则是全球最大的体现水资源贸易顺差国。

根据太阳能值流分析结果,矿产资源和重工业产品是生产活动中太阳能值的主要来源,这两类产品分别提供了中间产品太阳能值的 30% 和 29%;而其他服

务、重工业产品、加工食品、建筑和农产品则分别提供了消费活动太阳能值的 21%、17%、13%、13% 和 13%。

根据宇宙焓值流分析结果,矿产资源和重工业产品分别提供了中间产品宇宙焓值的 33% 和 31%;而其他服务、重工业产品和建筑则分别提供了消费活动宇宙焓值的 22%、20% 和 15%。

目 录

CONTENTS

第一章 绪论	1
1.1 背景 1	
第二章 体现生态要素流的系统投入产出分析理论方法	7
2.1 体现生态要素理论 7	
2.2 系统投入产出理论 10	
2.3 系统投入产出模拟分析基本框架 14	
第三章 世界经济的体现能源流分析	16
3.1 确定研究内容及系统边界 16	
3.2 编制系统投入产出表 16	
3.3 体现能源强度数据库 21	
3.4 体现能源流分析 25	
第四章 世界经济的体现温室气体流分析	42
4.1 确定研究内容及系统边界 42	
4.2 编制系统投入产出表 42	
4.3 体现温室气体强度数据库 47	
4.4 体现温室气体流分析 50	

第五章 世界经济的体现水资源流分析	68
5.1 确定研究内容及系统边界	68
5.2 编制系统投入产出表	68
5.3 体现水资源强度数据库	73
5.4 体现水资源流分析	75
第六章 世界经济的太阳能值流分析	92
6.1 确定研究内容及系统边界	92
6.2 编制系统投入产出表	93
6.3 太阳能值强度数据库	98
6.4 太阳能值流分析	100
第七章 世界经济的宇宙焓值流分析	106
7.1 确定研究内容及系统边界	106
7.2 编制系统投入产出表	107
7.3 宇宙焓值强度数据库	111
7.4 宇宙焓值流分析	113
第八章 结论与展望	119
参考文献	124
附 录	132

第一章

绪论

1.1 背景

生态经济是由生态系统和经济系统相互结合、相互制约而形成的包含物质循环、能量转换和信息传递的复杂结构(Chen, 2006; Odum, 1971)。虽然生态系统与经济系统的直接关联主要发生在农业生产、矿产资源开采和环境排放等过程中,但是由于系统内部各单元的普遍关联性,现实世界中并不存在任何可以脱离于生态系统而不受其制约的封闭经济系统。

虽然经济系统与生态系统具有不可分割的关系,但过去的大多数主流经济学研究在过分强调经济要素的同时却忽略了生态要素——维持生态经济活动的重要元素——对生态经济系统的稳定发展所起的作用。例如新古典经济学研究就把生态系统视为社会经济系统所处的背景环境,认为只有人力以及人造资本等经济要素才具有稀缺性,而由生态系统提供的自然资源和环境容量等生态要素则是无限的(Daly, 1996)。在社会经济发展的初期,由于经济的总体规模较小,由经济活动造成的资源消耗和环境排放并没有对自然资源和环境造成过大的影响。然而,随着社会经济的快速发展,生态要素的有限性逐渐成为经济发展的重要限制因素,这种限制在资源枯竭和引起气候变化方面表现得尤为突出。

在这样的背景下,人们逐渐意识到各种生态要素对维持生态经济系统的稳定发展起着重要的作用,一些生态经济学家甚至认为生态要素是生态经济系统的一种资源禀赋。但与具有货币价格的经济要素不同,生态要素并不具有市场性的度量标准,因此生态要素对生产和生活的贡献一般是通过其在商品流中的体现来衡量的,也就是说一种商品的生态要素成本可以通过其中体现的生态要素的总量来

度量(生态要素的体现过程类似于生产环节中经济要素成本的投入过程,但经济要素成本一般通过经济要素的市场价格的总量来度量)。生态要素的稀缺性导致生产或者消费活动对生态要素的占用具有排他性,也就是说与已知的一个系统状态相比,额外增加一个单位的产品或者服务,必然导致该系统原有生态经济活动可占用的生态要素减少,这个边际生态要素占用量也就是该产品或服务的体现生态要素,这个概念近似于经济学中的边际成本概念。而在实际应用过程中,上述通过边际概念对体现生态要素进行的理论性定义通常被一种更加直观地说明——“产品或服务在其生产过程中直接和间接消耗的生态要素的总量”(周江波,2008)——所代替。

值得注意的是,与生态要素作为一种物理性的存在不同,体现生态要素是内涵在产品或服务当中的生态要素,也就是说体现生态要素本身并不是一种物理性的实际存在,而是以虚拟的形式包含在产品或服务中的生态要素的量,因此特定的体现生态要素通常也被称为内含生态要素(如内含能、内含水等),此外,部分学者参考“生态足迹”的概念,也将个别生态要素的体现量称为其足迹(如水足迹、污染足迹等)。

从各种体现生态要素研究的发展历史来看,能源危机带来了体现能源的应用,水危机引发了体现水资源的研究,气候变化导致的是体现温室气体排放概念的提出,也就是说当某种生态要素趋于对经济活动或人类生活造成重大影响的时候,人们才意识到问题的严重性并开始对这种生态要素的使用和流动进行研究(周江波,2008)。因此,为了分析经济活动对整个系统的各种生态要素的占用情况,为生态要素的合理分配和相应调控政策提供科学的依据,有必要尝试对不同尺度的生态经济系统进行体现生态要素流分析。

对体现生态要素流的研究需要以生态经济活动的末端生态要素消耗数据为基础。生态要素的末端消耗量反映的是经济系统对外部生态要素的直接占用情况,其分析界面比较简单直观,至今已经积累了很多关于不同生态要素末端消耗的数据,这为体现生态要素流的分析工作提供了重要的基础。在此基础上,对体现生态要素进行分析的主流方法有过程分析方法和网络模拟方法两种。前者尝试尽可能详尽的追溯某一产品的相关关键过程,并在确保进一步追溯不会对结果(指无穷追溯可能趋近的极限)造成可观影响的条件下(通常是指截断误差远小于由数据不确定性导致的误差时)停止追溯,然后计算所有被追溯过程的末端生态要素投入总量作为该产品的生态要素体现量的近似值。过程分析方法在本质上是对有限过程的末端生态要素进行计量,其分析结果其实是对体现生态要素的一个末端化的估算。与过程分析方法相比,网络模拟方法考虑到系统内部不同结构

之间的耦合关联,带有明确的系统观思想,是一种系统研究方法。任何一个产品的体现生态要素都依赖于多个其他对象,而这些对象本身的体现生态要素同样与多个对象相关联,这就导致无法单独计算任何一个对象的体现生态要素,而需要同时知道所有对象的相互联系,使用网络模拟的方法通过关联计算同时确定它们的体现生态要素数据(陈国谦等,2010)。

由于具有针对个体的操作特点,过程分析方法通常用于研究一些特定技术或者过程(Ardente et al., 2008; Chen and Chen, 2010a; Chen et al., 2011a, b; Crawford, 2009; Crawford et al., 2006; Fthenakis and Kim, 2009; Lenzen and Munksgaard, 2002; Malca and Freire, 2006);而网络模拟方法对系统内部不同单元的耦合处理则使得该方法更加适合用来分析宏观生态经济系统的体现生态要素流(Duchin, 1992; Kymn, 1977; Proops, 1977; Round, 1978)。在过去的研究中,不少学者使用网络模拟方法分析了不同尺度生态经济系统的体现能源流(Carter, 1974; Casler and Wilbur, 1984; Casler et al., 1991; Machado et al., 2001; Park and Heo, 2007; Treloar, 1997; Treloar et al., 2001)、体现温室气体流(Davis and Caldeira, 2010; Druckman and Jackson, 2009; Guan et al., 2008; Hertwich and Peters, 2009; Liang et al., 2007; Liu et al., 2010; Peters and Hertwich, 2008; Proops et al., 1993)、体现水资源流(Duarte et al., 2002; Guan and Hubacek, 2007; Lenzen and Foran, 2001; Llop, 2008; Velázquez, 2006; Zhao et al., 2009, 2010)和其他体现生态要素流(Ferng, 2001; Hubacek and Giljum, 2003; Lin, 2009; Okadera et al., 2006)。

但是,上述研究均利用生态经济系统的网络结构将末端生态要素消耗量分配到最终消费活动中,这种分配模式也被称为环境投入产出模拟。使用环境投入产出模拟方法对体现生态要素流进行分析的一个主要问题在于,根据其分配原则只能获得最终消费品的体现生态要素,但无法获得中间产品的体现生态要素量,这导致环境投入产出模拟方法只能用来研究消费活动的生态要素占用情况,分析消费者责任(Chen and Chen, 2010b)。为了克服环境投入产出模拟方法只能分析体现于消费品的生态要素这一缺点,一些学者结合系统生态学思想和经济投入产出模型,提出一种以体现生态要素的流动为出发点,通过生态经济系统的网络结构来建立体现生态要素平衡方程,最终实现对任意商品流(无论是最终消费品还是中间产品)的体现生态要素流进行分析的理论——系统投入产出理论(陈国谦和陈占明, 2010; 周江波, 2008; Chen and Chen, 2010b, c, d, 2011a, b; Chen et al., 2009, 2010a, b; Costanza, 1980; Costanza and Herendeen, 1984; Hannon et al., 1983; Herendeen, 1974, 1978; Zhou et al., 2010)。

本研究在对系统投入产出理论进行总结归纳的基础上,提出了对一般生态经

济系统进行系统投入产出模拟的基本框架,并使用该框架对全球生态经济系统的多种生态要素(能源、水资源、温室气体排放、太阳能值、宇宙焓值)进行了系统计量,建立了相应的体现生态要素强度数据库,并对结果进行了分析,为生态要素管理政策的制定提供了理论基础和数据支持。

本书的研究内容主要包括以下几个方面:

(1) 拓展体现生态要素及系统投入产出理论方法

根据过去的研究总结体现生态要素的基本理论,提出体现生态要素的理论性定义,并对已有的体现生态要素的操作性定义进行了讨论及拓展;全面阐述系统投入产出理论,介绍系统投入产出表的结构和体现生态要素平衡方程的形式;针对一般生态经济系统的特点,提出体现生态要素系统投入产出模拟分析的基本框架。

(2) 分析世界经济的体现能源流

对2004年全球生态经济系统进行研究,建立该系统针对能源(包含原煤、原油、天然气、水机械能及核能等子项目)的多区域耦合系统投入产出表,进行体现能源耗损流计量及分析;构建了包含全球共6,384个生产性单元的体现能源耗损强度数据库;计算出全球尺度57个基本经济部门的体现能源耗损强度指标并讨论了不同产品的体现能源耗损强度与其市场价格之间的关系;分析了体现能源在不同中间生产和最终消费活动中的分配情况;描绘了国际贸易中的体现能源流动情况;计算了112个国家尺度经济体的体现能源消费量并讨论了主要经济体在国际贸易中的体现能源贸易盈亏状况;讨论了中国、美国及欧盟与其主要贸易伙伴之间的体现能源贸易依存关系;模拟了从2005到2035年世界11个主要经济体的体现能源消费量。

(3) 分析世界经济的体现温室气体流

对2004年全球生态经济系统进行研究,建立针对温室气体(包含二氧化碳、甲烷、氧化亚氮及氟化气体等子项目)的多区域耦合系统投入产出表,进行体现温室气体排放流计量及分析;构建了包含全球共6,384个生产性单元的体现温室气体排放强度数据库;计算出全球尺度57个基本经济部门的体现温室气体排放强度指标并讨论了不同产品的体现温室气体排放强度与其市场价格之间的关系;分析了体现温室气体在不同中间生产和最终消费活动中的分配情况;描绘了国际贸易中的体现温室气体流动情况;计算了112个国家尺度经济体的体现温室气体排放量并讨论了主要经济体在国际贸易中的体现温室气体贸易盈亏状况;讨论了中国、美国及欧盟与其主要贸易伙伴之间的体现温室气体贸易依存关系;模拟了从2005到2035年世界11个主要经济体的体现温室气体排放量。

(4) 分析世界经济的体现水资源流

对 2004 年全球生态经济系统进行研究,建立针对水资源(包含农业用水、工业用水及其他用水等子项目)的多区域耦合系统投入产出表,进行体现水资源投入流计量及分析:构建了包含全球共 5,152 个生产性单元的体现水资源投入强度数据库;计算出全球尺度 46 个基本经济部门的体现水资源投入强度指标并讨论了不同产品的体现水资源投入强度与其市场价格之间的关系;分析了体现水资源在不同中间生产和最终消费活动中的分配情况;首次描绘了国际贸易中的体现水资源流动情况;计算了 112 个国家尺度经济体的体现水资源消费量并讨论了主要经济体在国际贸易中的体现水资源贸易盈亏状况;讨论了中国、美国及欧盟与其主要贸易伙伴之间的体现水资源贸易依存关系。

(5) 分析世界经济的太阳能值流

对 2004 年全球生态经济系统进行研究,建立针对太阳能值(包含太阳辐射、地热资源、潮汐能、原煤、原油、天然气、核电、木材、表层土壤、磷矿、石灰石及金属矿等子项目)的单区域整合系统投入产出表,进行能值投入流计量及分析:构建了包含全球尺度 46 个基本经济部门及生产性单元的太阳能值投入强度数据库;讨论了不同产品的太阳能值投入强度与其市场价格之间的关系;分析了太阳能值在不同中间生产和最终消费活动中的分配情况。

(6) 分析世界经济的宇宙焓值流

对 2004 年全球生态经济系统进行研究,建立针对宇宙焓值(包含风能、雨水化学能、雨水势能、径流化学能、径流势能、波浪能、光合作用所用太阳辐射、地热资源、潮汐能、原煤、原油、天然气、核电、木材、表层土壤、磷矿、石灰石及金属矿等子项目)的单区域整合系统投入产出表,进行能值投入流计量及分析:构建了包含全球尺度 46 个基本经济部门及生产性单元的宇宙焓值投入强度数据库;讨论了不同产品的宇宙焓值投入强度与其市场价格之间的关系;分析了宇宙焓值在不同中间生产和最终消费活动中的分配情况。

作为典型的前沿交叉学科复合研究,本书涉及系统生态学、计量经济学、生态经济学及生态热力学等在内的多个学科领域,主要采用以下研究方法:

(1) 系统投入产出模拟分析方法

系统投入产出模拟分析方法以体现生态要素的投入产出平衡关系为出发点,模拟了系统内部体现于任意产品或服务流的生态要素流,与传统的环境投入产出模拟方法相比,不但可以用来分析最终消费导致的生态要素消耗量,还可以用来分析任意中间生产过程的生态要素占用情况,从而可以实现对体现于贸易的生态要素流的研究。

(2) 体现能源系统计量方法

本研究以体现能源理论为基础,结合系统投入产出模拟分析框架,使用体现能源系统计量方法对 2004 年全球生态经济系统的体现能源流进行了分析。

(3) 体现温室气体系统计量方法

本研究以体现温室气体理论为基础,结合系统投入产出模拟分析框架,使用体现温室气体系统计量方法对 2004 年全球生态经济系统的体现温室气体流进行了分析。

(4) 体现水资源系统计量方法

本研究以体现水资源理论为基础,结合系统投入产出模拟分析框架,使用体现水资源系统计量方法对 2004 年全球生态经济系统的体现水资源流进行了分析。

(5) 太阳能值系统计量方法

本研究以太阳能值理论为基础,结合系统投入产出模拟分析框架,使用太阳能值系统计量方法对 2004 年全球生态经济系统的太阳能值流进行了分析。

(6) 宇宙焓值系统计量方法

本研究以宇宙焓值理论为基础,结合系统投入产出模拟分析框架,使用宇宙焓值系统计量方法对 2004 年全球生态经济系统的宇宙焓值流进行了分析。

第二章

体现生态要素流的系统投入产出分析理论方法

2.1 体现生态要素理论

体现生态要素(Embodied Ecological Endowment)的概念最早可以追溯到关于体现能(Embodied Energy)的一系列研究(Costanza,1980;Costanza and Herendeen,1984;Hannon et al.,1983;Herendeen,1974,1978;Odum,1971,1983,1996)。生态要素的稀缺性很大程度上来源于生产及消费活动对生态要素的占用的排他性。在已知的一个系统中,可占用(如资源的消耗或者对污染的接纳)的生态要素的总量是一定的。若以该系统的某一状态为基准,并在此基准下增加一个单位的产品或者服务,则在不考虑该新增产品或服务在系统中再循环的情况下,原有系统所有生态经济活动的可占用生态要素将会减少,该减少量可以称为该产品或服务的边际生态要素占用量。本研究将任意产品或者服务的体现生态要素定义为该产品或服务的边际生态要素占用量,也就是“新增产品或服务导致系统原有生态经济活动可占用生态要素的改变量”。

上述定义以假想的系统状态为基准,对体现生态要素进行了理论性的描述。此外,在体现能源研究的基础上,周江波在其博士论文中(周江波,2008)首次明确提出体现生态要素的操作性定义并建立了相应的体现生态要素理论体系。根据该定义,体现生态要素是指“产品或服务在其生产过程中直接和间接消耗的生态要素的总量”(周江波,2008)。但是,该定义中并没有对生态要素的“消耗”这一概念进行明确的解释,这导致了后来一些研究者在对体现生态要素进行分析的过程中产生了分歧,而这种分歧在一定程度上阻碍了体现生态要素作为研究对象的推广和作为政策调控媒介的应用。

首先,使用“消耗”这一术语对不同类型的生态要素进行描述可能使人产生生态要素是一种生产原料或环境资源的不恰当理解。但事实上,生态要素既可以是煤炭、石油、淡水等生产活动所必需的原材料,也可以是废气、废水、温室气体等环境排放,对后者而言,本研究认为体现生态要素定义中的“消耗”可以被理解为对生态系统吸纳环境排放能力的“消耗”。

其次,对于某一种特定的生态要素,如何界定“消耗”行为的发生也存在不同的理解。以化石能源为例,周江波(2008)、Chen 和 Chen(2010b,c)与 Chen 等(2010a)都将化石能源作为一种环境资源向经济系统的投入过程——也就是化石能源的开采——看成其消耗过程;而 Chen 和 Chen(2011b)、Chen 和 Zhang(2010)、Zhang 和 Chen(2010)与 Zhou 等(2010)则将化石能源作为一种化学能的耗损过程——也就是化石能源的燃烧——视为其消耗过程。前者认为化石能源作为一种矿产资源在被开采的同时就已经从生态系统中被直接消耗掉了,这些直接消耗会通过经济部门间的网络关联进行分配而成为非开采部门的间接消耗,这种理解强调了化石能源开采部门在化石能源供应过程中的重要作用;而后者则认为化石能源的消耗与其可用化学能的损耗等价,开采部门虽然为其他部门的经济活动提供了化石能源,但是在化石能源的耗损过程中所起的作用却与其他经济部门完全相同。

考虑到现有体现生态要素定义在应用过程中遇到的上述问题,本研究针对生态要素与经济活动的关系,将生态要素分为经济系统的输入型生态要素(如本研究中的能源、水资源、太阳能值资源、宇宙焓值资源)和输出型生态要素(如本研究中的温室气体),并针对上述分类提出以下细化的体现生态要素操作性定义:

对输入型生态要素,在任意产品或服务生产过程中直接和间接投入的该生态要素的总量称为其体现投入量;

对输入型生态要素,在任意产品或服务生产过程中直接和间接耗损的该生态要素的总量称为其体现耗损量;

对输出型生态要素,在任意产品或服务生产过程中直接和间接向生态环境排放的该生态要素的总量称为其体现排放量;

对于输入型生态要素来说,由于存在生态要素“投入而未被耗损”的可能——例如一瓶矿泉水饮料中的水作为一种生态要素虽然在产品的生产过程中已经被投入,但是在该饮料被消费之前水资源中所蕴含的生态功能(如补充生物体所需的水分)还没有被耗损——导致其在产品或服务中的体现投入量与体现耗损量之间可能存在差别,下文以一个简化模型中的体现原煤流为例说明体现投入量和体现耗损量的这种差别。

假设存在如下生态经济系统:系统中的生产部门分别是以原煤为产品的煤炭开采部门 A、以精洗煤为产品的煤炭加工部门 B 和以粮食为产品的农业部门 C;每年 A 从生态系统中开采出 4 吨原煤并将其中 1 吨作为燃料在其作业过程中燃烧掉,然后将剩余的 3 吨原煤作为产品平均供应给部门 B、部门 C 和消费者 D(各获得 1 吨);部门 B 燃烧掉 $1/3$ 吨原煤,生产出 $2/3$ 吨精洗煤并将其作为产品平均供应给部门 C 和消费者 D(各获得 $1/3$ 吨);部门 C 燃烧掉其获得的 1 吨原煤和 $1/3$ 吨精洗煤,生产出 1 单位粮食并完全供应给消费者 D,最后消费者 D 消费掉其所获得的所有产品——1 吨原煤、 $1/3$ 吨精洗煤和 1 单位粮食。下图 2-1 中的(a)和(b)分别描绘了上述假想生态经济系统中的体现原煤投入流和体现原煤损耗流。

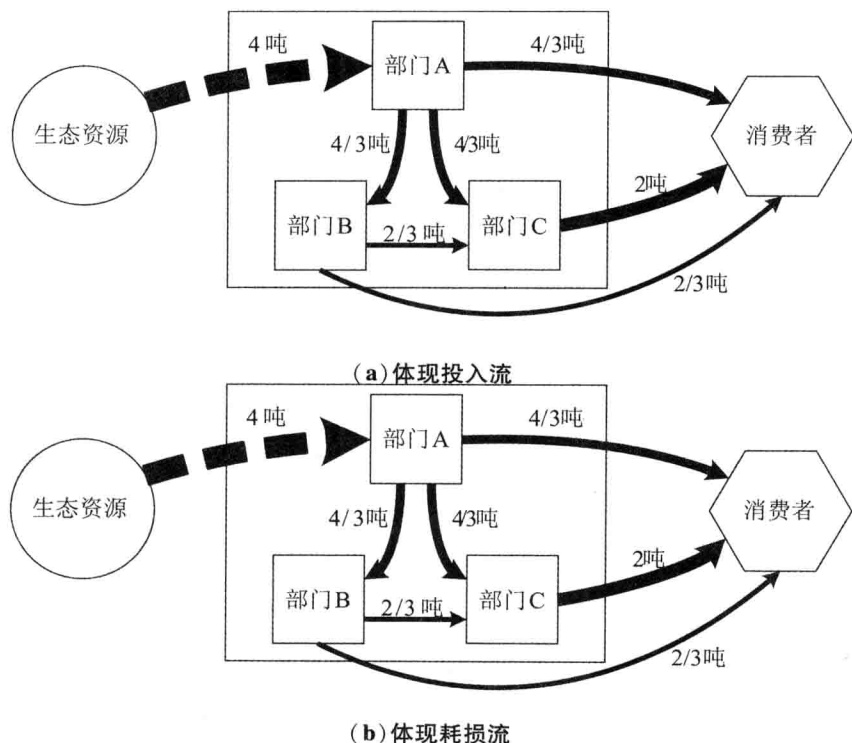


图 2-1 假想系统体现原煤流

从图中可见,对于能源开采部门 A 和能源加工部门 B 来说,其相同产品的体现原煤投入量分别等于其体现原煤耗损量的 4 倍和 2 倍;对于农业部门 A 来说,其产品的体现原煤投入量和体现原煤损耗量是相同的;对于消费者而言,体现于所有最终消费品的总原煤投入量和总原煤耗损量也是相同的。也就是说,对于以