物质流核算与分析：理论方法与实际运用

王　红◎著

MATERIAL FLOW ANALYSIS:
THEORIES AND APPLICATIONS

经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

需要全本请访问 www.ertongbook.com

物质流核算与分析：理论方法与实际运用

王　红◎著

MATERIAL FLOW ANALYSIS:
THEORIES AND APPLICATIONS

经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目（CIP）数据

物质流核算与分析：理论方法与实际运用 / 王红著 . —北京：经济管理出版社，2018. 12
ISBN 978-7-5096-5851-2

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①王… Ⅲ. ①资源管理—研究—中国 Ⅳ. ①F124. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 288095 号

组稿编辑：张永美
责任编辑：魏晨红
责任印制：高 娅
责任校对：陈 颖

出版发行：经济管理出版社
（北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038）
网 址：www. E-mp. com. cn
电 话：（010）51915602
印 刷：三河市延风印装有限公司
经 销：新华书店
开 本：720mm×1000mm/16
印 张：16
字 数：237 千字
版 次：2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷
书 号：ISBN 978-7-5096-5851-2
定 价：55. 00 元

· 版权所有 翻印必究 ·
凡购本社图书，如有印装错误，由本社读者服务部负责调换。
联系地址：北京阜外月坛北小街 2 号
电话：（010）68022974 邮编：100836

前 言

自然资源是人类社会经济活动的基础，也是人类福祉得以实现的基础。人类对自然资源进行开采、加工、运输、使用和处置，从而得到人类赖以生存的产品和服务。在此过程中产生了复杂的经济、环境与社会影响，这些影响通常超越了国家或地区的界限，也超出了当代人的范畴。

广义的自然资源可分为有形的实物性自然资源（如土地、水、生物、矿产等资源）和无形的自然资源（如光热资源等）。联合国环境规划署将其定义为“在一定社会经济技术条件下产生生态或经济价值，提高人类当前或可预见未来生存质量的天然物质和自然能量的总和”。本书的讨论范围是土地和水资源之外的有形的实物性资源，简称“物质资源”。

物质资源具有自然资源所共有的内涵与特点，即资源、经济和环境三重属性。从资源属性来说，物质资源为人类生活和生产过程提供原材料，是经济增长的重要投入要素，提高人类当前和将来福利。大量物质资源（如矿产和化石能源等）是不可再生、可耗竭的；部分物质资源（如生物质资源）是可再生的，但是再生规模是有限的。为了满足生产生活的需要，人们对人类物质资源在时间、空间、利用方式和各种用途间进行合理的分配，以取得最大化的人类福利。从经济属性来说，大部分物质资源是一种经济物品。人类开采利用物质资源时对其品质和数量有一定的要求，投入了资金、人力和时间，在此过程中物质资源作为投入进入经济活动，形成了经济物品，提供了经济服务，拥有了经济物品的普遍特性，即经济物品的商业价值、供给上的稀缺性和经济用途上的多用性。从环境属性来说，物质资源是环境的重要组成要素，也是整个生态系统必不可缺的重要投入之一，对人类生存具有无可

替代的重要性。生态环境为动植物生长提供必要的养分，提供纳污和自净两种极其重要的功能，支撑着人类生态系统的功能正常运行，为人类提供了休闲、精神和景观等方面的生态服务，直接或间接地影响人类的生活和发展。

物质资源消耗的日益增加产生了巨大的经济、社会与环境压力。发达国家持续的高消费水平以及发展中国家快速的工业化和城镇化进程，使得全球范围内对物质资源的需求有了前所未有的增加；与此同时，国际物品交易市场扩大、国际贸易增加、生产流动性增加等变化，正在对经济的物质资源供给和利用产生深刻的影响。对中国而言，虽然中国经济已从过去30多年的两位数增长降低到目前7%左右的中高速增长，但预计2025年前后经济总量将会在2014年的基础上翻一番，而中国的人口也将增加到14.2亿~14.4亿，中国资源消耗的总量将持续增加。在物质资源需求大幅增加的同时，可供人类使用的不可再生资源存量却日益减少，人类可持续发展将受到物质资源供给和环境容纳能力的严峻挑战，经济活动的资源及生态可持续性显得日益重要。

资源可持续性和生态可持续性是密切相关的，二者意味着物质资源的充分供给和不退化，以及物质资源开采、加工、运输、使用和处置各环节环境影响的充分控制。从资源可持续性来说，如果经济发展的模式是耗竭自然资本基础的，如果人类赖以生存的某些自然资源无法支撑人类的消费需求，那么人类的可持续发展有可能面临风险，甚至可能连满足当代人的需求都是一种奢望。客观地说，通过科技进步和革新，人类能够不断探明和发现新的矿产能源资源、找到新的替代矿产资源，但是当发现寻找新的替代资源的速度小于开发的速度且消耗大量投入时，人们有理由担忧过度消耗会导致资源耗竭和物质短缺。从生态可持续性来说，物质资源作为环境的重要组成部分，其开采利用势必对生态系统产生长远深刻的影响。生态可持续性要求生态环境既要“能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害”，强调生态系统的有限性、地球村的有限性、资源的有限性和环境容量的有限性。提高物质资源利用效率是确保资源与生态可持续性的重要因素。人类必须提高物质资源利用效率，确保可再生和不可再生资源的生态供给与高效使

需要全本请访问 www.ertongbook.com

用，管理于资源利用过程中产生的环境问题，防止自然资源退化和耗竭、维持非商业化的环境服务，最大程度地减轻对生态环境的不利影响。

面对物质资源利用所产生的种种挑战与压力，各国需要开展技术创新和技术变革，采纳循环经济的发展模式，运用全周期资源管理方式开展“3R”即“减量化、再利用、再回收”，提高物质资源的利用效率，促进物质资源的可持续管理。对于我国这样一个人口众多、人均资源占有量不高的国家来说，实现这个目标还存在很多困难。需要对国家地区经济活动的物质基础有一个深刻的了解，掌握物质资源利用的状况和动态变化，了解提高物质资源产出率的路径。物质流核算（MFA）与分析正是完成这一任务的重要方法。

物质流核算是基于资源利用全周期理念和物质平衡原理，使用统一的计算量纲即重量（吨），对特定系统建立物质资源投入产出账户，统计与分析物质资源进出特定经济环境系统的流动情况的一系列方法。物质流分析则是在物质流核算的基础上，评估物质资源的利用及其对环境的影响情况。物质流核算分析能够帮助人们了解经济的物质代谢情况；取得一系列资源利用的综合指标；分析物质流的数据结构和内在特征，了解经济活动的物质利用强度及变化；还可测度经济系统物质吞吐量的环境影响，补充对生态可持续性的评估。物质流核算分析拓展了人类对可持续发展的研究方法，是对人类经济活动的资源及生态可持续性进行评估的一个简洁而有用的方法。物质流核算与分析对国家制定和优化物质资源利用政策具有重大的现实意义。该方法不仅在欧盟成员国被列为国家统计体系的一部分，近十年来在世界其他范围也得到了推广和践行。

本书共有8章。第1章阐述物质资源的定义、属性与分类，分析物质资源消耗的资源压力与环境影响，讨论物质资源开采利用所面临的挑战，由此提出经济活动的资源可持续性与生态可持续性理念。第2章阐述物质流核算分析方法的三大理论基础，即物质资源利用全周期理论、物质平衡理论和社会代谢理论，提出物质流核算分析的定义与内涵，了解欧盟物质流核算分析框架及全球各国的实际运用情况。第3章综合探讨各国学者对全球范围内、各区域及个别国家经济活动的物质流和社会代谢。第4章探讨OECD成员国

和欧盟经济活动的物质流。第5章和第6章重点研究分析中国经济的物质流情况，其中第5章主要探讨了全国经济物质流随时间的变化趋势及特点，第6章主要研究了我国省际和区域物质流的差异及造成差异的影响因子。第7章从物质要素的尺度上，对重点元素的物质流核算分析进行探讨。第8章对全书内容进行了总结，提出了促进我国物质流核算分析研究与运用、提高我国资源利用效率的建议。

本书的理论探讨与现实总结具有一定的理论意义和实践意义。理论上，通过对物质流核算分析方法的理论分析、工具探讨和运用总结，对人们更好地了解管理物质资源、提升经济活动的资源与生态可持续性提供了理论启示。实践上，随着中国经济的不断发展，人民生活水平的不断提升，物质资源开采与消耗对我国乃至全球产生着越来越大的供给与生态压力。本书将为人们更好地管理物质资源提供一定的知识和指导，帮助人们从物质资源利用中获得更高的社会福利。

目 录

1 物质资源的内涵与外延 / 1

1.1 自然资源定义与属性 / 3
1.2 物质资源分类 / 5
1.3 物质资源消耗的资源压力 / 6
1.4 物质资源消耗的环境影响 / 11
1.5 资源与环境挑战 / 14
1.6 资源和生态可持续性 / 17
1.7 小 结 / 25

2 物质流核算分析方法 / 27

2.1 资源利用全生命周期概念 / 30
2.2 物质平衡概念 / 35
2.3 物质代谢理论 / 39
2.4 物质流核算分析方法 / 41
2.5 欧盟物质流核算框架 / 45
2.6 物质流分析指标体系 / 53
2.7 物质流核算方法的不足与优势 / 57
2.8 物质流核算分析方法的运用 / 58
2.9 小 结 / 62

3 全球物质流核算分析 / 65

3.1 全球物质流 / 68

3.2 全球不同区域物质流 / 88
3.3 区域和国家社会代谢 / 93
3.4 物质资源消耗的影响因素 / 100
3.5 个别国家的物质流情况 / 106
3.6 小 结 / 119

4 OECD 和欧盟物质流核算分析 / 123
4.1 文献综述 / 125
4.2 OECD 成员国物质流核算 / 127
4.3 欧盟物质流 / 137
4.4 小 结 / 150

5 中国经济的物质流核算与分析 / 153
5.1 背 景 / 155
5.2 文献综述 / 158
5.3 统计学分析结果 / 164
5.4 影响因素分析 / 174
5.5 小 结 / 176

6 中国区域物质流 / 179
6.1 背 景 / 181
6.2 文献综述 / 181
6.3 统计学分析 / 185
6.4 计量分析 / 189
6.5 小 结 / 195

7 要素物质流分析 / 197
7.1 铁元素物质流分析 / 199
7.2 铝元素物质流分析 / 202

7.3 重金属物质流核算 / 206
7.4 磷元素物质流核算 / 213
7.5 其他元素物质流分析 / 215
7.6 小 结 / 217

8 结论与建议 / 221

参考文献 / 229

1

物质资源的内涵与外延

需要水请访问 www.chinawater.com.cn

1.1 自然资源定义与属性

《辞海》将自然资源定义为“天然存在的自然物（不包括人类加工制造的原材料）并有利用价值的自然物，如土地、矿藏、水利、生物、气候、海洋等资源，是生产的原料来源和布局场所”。联合国环境规划署将其定义为“在一定社会经济技术条件下能够产生生态价值或经济价值，从而提高人类当前或可预见未来生存质量的天然物质和自然能量的总和”。

广义的自然资源包括有形的实物性自然资源（如土地资源、水资源、动植物资源、矿产资源等）和无形的自然资源（如光资源、热资源、提供生态服务的环境资源等）。狭义的自然资源只包括有形的实物性资源，即“在一定社会经济技术条件下能够产生生态价值或经济价值，从而提高人类当前或可预见未来生存质量的天然物质和自然能量的总和”。本书的讨论范围是土地资源和水资源之外的有形的实物性资源，简称为“物质资源”。

有形的实物性资源作为自然资源的一部分，具有共有的内涵，即自然资源的资源、经济和环境三重属性。从资源属性的视角来看，自然资源为人类生活和生产过程提供原材料和服务的物质基础，是经济增长的一种重要的投入要素，能够产生经济价值，提高人类当前和将来福利。大量物质资源（如矿产资源和化石能源等）是不可再生的、可耗竭的；一些物质资源（如生物质资源）是可再生的；还有一些自然资源是可耗竭的、短期内不可再生的（如热带雨林）。为了满足生产生活的需要，人类需要对物质资源在时间、空间、利用方式和各种用途间进行合理的分配，以取得最大化的人类福利。

从经济属性的观点来看，大部分物质资源是经济物品。人类利用自然资源时对其品质和数量有一定的要求，投入了资金、人力和时间，对自然资源

进行开采、加工、供给、消费和再生循环利用活动；在此过程中，大部分自然资源作为要素投入进入经济系统，一经开采或收获，就形成了经济物品，可提供经济服务，产生了资本存量，拥有了经济物品的商业价值（当然，自然资源提供的环境、休闲和其他服务在市场上通常不能完全产生商业价值）；同时还具备了供给上的稀缺性和经济用途的多样性。供给上的稀缺性指资源的供给相对需求在数量上的不足，是人们在获得所需要的资源方面所存在的局限性。资源稀缺性可以进一步划分为绝对稀缺和相对稀缺。绝对稀缺是指资源的总需求超过总供给，相对稀缺是指资源的总供给能够满足总需求，但分布不均衡会造成局部的稀缺；通常所说的稀缺性是相对稀缺。经济用途上的多用性，则远远超出自然资源为满足人类需求（如食物、住房、水和药品）提供原材料的这一重要用途。自然资源是生产过程中的重要投入要素，通过生产过程，自然资源变成了支撑人类生活的产品和服务。能源资源为生产、建筑和人类交通运输提供了动力；非金属矿和金属矿产资源经过生产和加工，成为建筑、道路和信息网络建设的重要基础；森林资源提供了木材、纸浆、纸张等产品。

从环境属性的视角来看，自然资源是环境的重要组成要素，也是整个生态必不可缺的重要投入之一，对人类生存具有无可替代的重要性。生态环境为动植物生长提供必要的养分，具备纳污和自净这两大极其重要的功能，包括接纳、稀释和净化人类活动所排泄出来的污染物和废弃物，改善和维持局部气候，支持植被发育，保持生物多样性等。自然资源作为生态系统的重要组成部分，支撑了人类生态系统的正常运行，为人类提供了休闲、精神和景观等方面的生态服务，直接或间接地影响人类的生活和发展。

总体而言，物质资源具有多种特点：一是多用性，即大部分资源都具有多种功能和用途。二是有限性，即物质资源不是人力就能够生产出来的，一旦遭到破坏或耗竭就不能轻易地恢复或被替代。三是整体性，自然资源是整个生态系统的一个内在组成部分，自然资源的破坏或耗竭会导致整个生态系统的破坏，降低生态服务质量。四是区域性即分布的不平衡，自然资源存在数量或质量上的显著地域差异，并有其特殊分布规律。五是社会性，人类通

过生产活动把自然资源加工成有价值的物质财富，从而使物质资源具有广泛的社会属性。

1.2 物质资源分类

本书将土地资源和水资源以外的有形的实物性的自然资源定义为物质资源。主要分为两大类，第一类是非生物质资源（主要包括金属类矿产资源和非金属类矿产资源，后者还可分为建筑用矿产和工业用矿产），第二类是生物质资源（主要包括人类赖以生存的动植物资源）。

按其增殖性能，物质资源分为不可再生资源和可再生资源。不可再生物质资源指经人类开发利用后，在相当长的时期内不可能再生的物质资源。40多亿年地球的变迁和造地运动形成了人类可集中开采的地下金属与非金属的矿藏资源，古生物的沉积与化学变化形成了煤、石油、天然气等化石燃料，这些资源是经过亿万年形成的，属于不可再生资源。可再生物质资源是经开采、消耗、加工、燃烧、废弃等程序后，能在可预见的周期内重复形成、能够自我更新和复原并可被持续利用的物质资源，如生物质资源等。从数量变化的角度又可分为耗竭性自然资源（如矿产资源）和再生性资源。耗竭性和不可再生资源是有限的，通过科技进步和革新，人类得以不断探明和发现新的矿产能源资源、找到新的替代矿产资源，但是当发现寻找新的替代资源的速度慢于开发的速度且消耗大量投入的前提下，人们亦有理由担忧过度消耗会导致资源耗竭和物质短缺。可再生资源通常被认为可无限再生，或在一定范围内可以再生，但由于人们要求自然系统提供越来越多的资源和接受越来越多的废弃物及污染物，可再生资源的再生能力发生衰退甚至崩溃也是有可能的。例如，生物质资源的再生需要依赖的土地资源、气候资源和水文资源

等是有限的，因此生物质资源的产量有严格的限制。因此，本书所定义的物质资源基本上都是有限的。

按其利用状态，物质资源可分为一次资源和二次资源。一次资源指以天然形式存在，未经过加工利用的自然资源，如原煤、铁矿石、原木等。二次资源也称再生资源，指在社会的生产、流通、消费、生活过程中产生的不再具有原使用价值并以各种形态存在，但在现有技术经济条件下，可通过资源综合利用的技术工艺，对其进行回收和加工，使其重新获得使用价值的各种废弃物的总称。包括工业废弃物（如废渣、粉尘、矿山尾矿、废旧金属等）、农业废弃物（如农作物秸秆、家畜粪便等）以及生活废弃物（如废橡胶、废纸、废塑料、电子废物等）。

1.3 物质资源消耗的资源压力[①]

虽然物质资源的可再生性有所不同，但其基本上都是有限资源，这是因为，地球上各种不可再生资源能够以符合成本的方式开采的数量非常有限。第一个重要限制是技术经济可行性。理论上，只要知道资源蕴含总量、开采技术、成本和可能的需求，就可以计算出世界上某种具体资源耗尽的时间，但由于多种因素通常不确定，准确预测十分困难。当某种资源的价格上涨或一种新技术出现时，以符合成本的方式提炼的资源量才会增加，较难探测、较低品位、较高成本的矿产资源开采才能具有经济可行性。第二个重要限制是可替代性。尽管一些矿产资源可以找到某些可再生资源替代，但有一些资

① Behrensa A., Giljuma S., Kovandab J., Nizac N. The Material Basis of the Global Economy Worldwide Patterns of Natural Resource Extraction and Their Implications for Sustainable Resource Use Policies [J]. Ecological Economics, 2007 (64): 444-453.

源，如很多金属资源却难以找到可再生资源替代，必须保持相对较慢的消耗速度并加强回收利用。截至目前，以可再生资源替代不可再生资源反响最大的一个例子是使用玉米、大豆、甘蔗和棕榈油等农产品生产酒精和生物柴油，以替代汽油和柴油。但是，多数生物燃料的能值较低，生产过程中还需要使用大量不可再生资源，大规模生产和使用生物燃料实际上是不可持续的一种路径①。

物质资源的有限性与人类生存需求的无限性是必然的矛盾。联合国环境署（UNEP）国际可持续资源管理委员会2010年的一份报告②分析了资源生产和消耗及资源类型对资源供给的影响，主要涉及不可再生一次资源、金属和化石能源矿产资源的耗竭，农林渔业资源退化及土利及水资源利用的资源竞争等。

许多人对资源枯竭和无法持续使用的担心并非不合理，即使对容易探测和开采成本相对较低的资源也可能存在这种担心。例如，磷酸盐是一种非常重要的矿产资源，但得到的关注较少。磷酸盐最重要的用途之一是生产磷肥，其常规使用对维持正常的粮食生产非常重要。磷酸盐仅在北非（摩洛哥）、美国和中国拥有较大储量，据估计已知储量将在21世纪末用尽。对于一些重要的不可再生资源如石油、铁矿、铝土矿、锌和稀土，资源枯竭是一个重大问题。尽管这些资源的枯竭并非迫在眉睫，但人们必须承认其资源有限的现状并进行社会变革③。

工业化时代以前，人类一般仅考虑物质资源的资源属性及其供给，也就是如何在适当的时候提供数量稳定、品质符合要求的自然资源。自18世纪工业革命以来，科学技术的发展增强了人类开发利用自然资源的能力，资源开采和利用活动形式日益复杂、强度日益加大，对物质资源的需要和消耗急剧

---

①③ ［美］弗雷德·马格多夫．全球资源耗竭：是人口问题吗？［J］．张番红，刘生琰译．国外理论动态，2014（2）.

② UNEP. Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials［R］. A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management. Hertwich E., van der Voet E., Suh S., Tukker A., Huijbregts M., Kazmierczyk P., Lenzen M., McNeely J., Moriguchi Y., UNEP, Paris. 2010.

需要全本请访问 www.ertongbook.com