

# 能值概念的提出及其应用历程

何萌亚

(广东科贸职业学院, 广东 广州 510430)

**摘要:** 生态系统还原论和整体论之争由来已久, 而霍华德·奥德姆创造的能值概念, 是为了实现他研究生态系统整体性的愿景所创造出的一种方法。因为生态系统中不同种类的能量有着很大的差异, 不能进行简单的数学运算, 而能值分析法可以把不同等级、不同种类的能量通过能值转换率转换成太阳能当量, 进行计算、分析, 进而衡量系统的可持续性。因此, 它为自然和经济架起了一座桥梁, 并且被广泛应用于自然生态系统和非自然生态系统。文章梳理了能值概念的提出及其应用的历程, 通过文章理清能质、体现能、能值三者之间的关系, 进而更好地理解能值的概念内涵。

**关键词:** 能值; 能质; 体现能; 能值转换率

## 一、能值的概念

能值简单来讲, 指的是生成某产品或服务所需要的直接或间接投入的有效能的总量, 通常用太阳能表示有效能的总量。尤金·奥德姆 (Odum, E.P.) 等在《生态学基础》一书谈道, “能值可以被理解为‘能量储存器’, 因为它是以合计所有生产最终的产品或服务的能量来换算的。为了便于比较, 所有有贡献的能量都被归为一类, 当然还要用相同的量的单位来表示。从另一观点看, 能量的品质能用从太阳开始的热力学长度来计量。对消费者来说, 提升品质的成分是否可用 (例如食物) 取决于资源的品质。”

## 二、1953-1971年: 生态系统能量说的创立

能值理论于 20 世纪 80 年代正式提出, 其并非是靠空建构的。生态系统能量说的创立为能值理论的诞生建立基础, 也就是说, 能值理论是对生态系统能量说的进一步发展, 要梳理能值提出的历程需要先介绍生态系统能量说的创立。

首先, 热力学第一定律的问世, 意味着学者们开始对能量进行定量分析, 同时建立起了能量分析观念, 并将其应用于实践。能量作为一种新的角度出现在生态学家们的眼前, 使他们意识到单纯使用环境系统的经济学价值理论来衡量生态系统的自然价值已经远远不够了。其次, 最大功率原理的提出及发展。在生态系统中, 系统的生长和发育是将有用的能流最大化, 从而尽可能地远离热力学平衡状态。在有机世界进化的生存竞争中, 基本的目标就是可用能量的争夺。最后, 雷蒙德·林德曼 (Raymond Lindeman) 提出的生态学营养动力学。林德曼通过食物链的形式, 把生态系统的能量流动串联起来。但林德曼的研究中对于生态系统中的能量行为应该在何种定律的约束下发挥作用并未进行讨论。

20 世纪 50 年代左右, 以林德曼的生态学营养动力学为基础, 引入最大功率原理, 奥德姆兄弟逐渐提出了生态系统能量说, 解决了上述林德曼忽略的问题。他们认为生态系统中的能量流动遵从最大功率原理的约束下发挥作用, 使生态系统可以进行最优化的生长和发育。后续能值概念的提出则在其基础上进一步解释了系统如何通过产生最大功率的效率下使用能量来生存和组织等级。

1953 年, 尤金·奥德姆出版了《生态学基础》第一版, 此书的第四章是霍华德·奥德姆撰写的, 里面介绍了与生态系统能量有关的原理和概念。1955 年, 霍华德·奥德姆和平克顿 (Pinkerton R.C.) 发表了关于生态系统最大功率原理的文章, 这篇文章探讨

了物理系统和生物系统中最大功率输出的最优效率问题, 是对最大功率理论所涉及的时间尺度问题的研究。1956 年, 霍华德·奥德姆开始在使用电学中的线路图来描述生态系统能量流动状况。这是把物理中的电路图类比到生态系统能量学方法论体系的重要来源。1957 年, 奥德姆兄弟在此基础上对美国佛罗里达州的银泉 (Silver Springs) 生态系统进行了研究, 开创了能量分析的先河。1960 年, 霍华德·奥德姆将热力学力类比为“生态动力”, 为能量线路图确定了“电压”的概念。1966 年, 约翰·菲利普森 (John·Philipson) 明确提出“生态能量学 (Ecological Energetics)”, 概述了生态学中能量学的研究情况。1968 年, 尤金·奥德姆提出基于系统分析的生态能量学作为生态学研究的核心, 强调能量流动方法, 指出利用计算机进行生态系统建模中的优势和潜力, 将其称为“奥德姆图形 (Odum device)”。1969 年, 尤金·奥德姆进一步阐释生态系统的发育策略, 分析不同状态下生态系统对能量的利用模式。1971 年, 尤金·奥德姆出版了《生态学基础》第三版, 里面正式提出了“生态系统能量学 (Ecosystem Energetics)”的概念, 并将其作为生态学的基本原理进行介绍。

1953 年到 1971 年, 霍华德·奥德姆等人通过继承林德曼的生态学营养动力学, 引入最大功率原理, 最终创立了生态系统能量说。该理论以能量为核心, 对能量进行定量分析, 开启了对生态系统的一种新的认识方法。此外, 在生态系统能量说的应用过程中, 霍华德·奥德姆等人发现能量和能量之间是有品质的高低之分的, 比如高度浓缩的能量 (石油) 和许多分散形式的能量 (太阳能) 所蕴含的能量的质量明显不同, 这就促使了能值的诞生。更进一步, 由于地球上的生命的或非生命的物质都直接或间接地来源于太阳能, 因此奥德姆等人认为可以以太阳能为基础来进行生态系统中能量流的换算。

## 三、1971-1996年: 能值的提出历程

### (一) 1971年-1977年: 能质的提出及其应用

能值概念、理论和方法由美国著名生态学家霍华德·奥德姆首先提出。霍华德·奥德姆从 20 世纪 50 年代开始就专注于分析环境中物质和能量的流动。大约 1966, 将某一能量称为另一种能源的能源成本。在如今是用太阳能来表示, 但当时只是开始意识到能量的成本可被某一能量表示出来。

直到 1971, 霍华德·奥德姆首次触及“能质” (这里的能质与物理学中的能质概念不同) 的概念, 提到了“quality”一词, 但

没有直接表述为“energy quality”。这时，他意识到能量不仅可以用量来衡量，还具有质的特征。能量之间的品质也是不同的，有高低之分。霍华德·奥德姆提出阳光是分散能量，可以作为最低品质的量。这也是他首次表示出太阳光可以作为能量单位，根据太阳光这一种能量形式转化为等量的另一种能量形式所需要的用量来表示能量品质。进一步根据一种能量形式所需要的太阳光的数量大小来表示能量品质。

1973年，“能质”首次被定义出来，原文如下：

“能量是以热量、英制单位、千瓦小时和其他可转化的单位来衡量的，但是能量的质量却不能用这些指标来表示。人的劳动能力取决于能量的质量和数量，而这可以通过开发更高等级所需的较低质量等级的能量来衡量。能量的规模从分散的阳光到植物物质，从煤炭到石油，到电力，再到计算机和人类信息处理的高质能量而努力。”从这个表述中可以看出，此时霍华德·奥德姆已经认识到原有的能量单位不能合理的呈现出能量的等级，也不能把能量和人类工作的能力连接起来，并有意识地把太阳光作为地球的基础能量来源。但这时他并没有开始评估、计算能量的质量，只是有了对能量质量的认识，还没有用数字化、公式化呈现出如何评估和计算能量的质量。

直到1975年，霍华德·奥德姆的注意力越来越集中在他的能质理论及其定量的发展上，并发表了一系列文章。他开始定量评估能量质量，并试图创造出一种定量评估能量以及尝试换算各种不同质量的能量之间的比率，这标志着定量评估能质的开始。

1976年，霍华德·奥德姆以“Energy quality and carrying capacity of the earth”为题发表演讲，演讲内容包含了一个“能质因素”表。也就是说，霍华德·奥德姆在演讲中给出了能量质量计算表，并附上了详细的计算原则和公式。同时，他也揭示了他的能量等级原则，能质大小的衡量是由从一种能量到另一种能量的转换中所使用的能量来衡量的。

20世纪70年代后半期，霍华德·奥德姆进行了几项研究。其中一个南佛罗里达的项目是对人类的总体承载力和人类使用引起的环境变化的调查。这些项目的最终目的是通过更好的环境管理，最大限度地发挥此区域的经济和环境活力。正是在这些项目期间，以及这些项目的研究过程中，能质的概念已经逐渐成熟，并成为能值概念的前兆。而对能质的量化也是一个循序渐进的过程。

#### （二）1977年-1983年：体现能的提出

霍华德·奥德姆一开始使用“体现能”一词试图表述能质在其发电成本方面的差异和称为“质量因数”的卡路里（或焦耳）的比率。1977年，霍华德·奥德姆首次提到了“embodied”一词，但并未完整表述“embodied energy”。直到1979年，霍华德·奥德姆正式提出“体现能”这个概念：

“计算环境的总体现能，包括太阳、陆地、风和水中的能量（体现能是指先前在做功转换中用于产生相关或其存储的流的能量）。由于各种类型的能量流具有不同的每卡的体现能，所有都表示为相同类型的等价物用于比较（即煤等价物或太阳能等价物）。热量是千卡。”与1980年开始使用“体现能”这个术语来表示“能质”在产生成本方面的差异。“体现能”指的是制造另一种能量所需

的一种能量的卡路里（或焦耳）。但是，由于其他人也有使用“体现能”这一术语，并把它用于不同的理论体系和计算方法，本质上不是使用这个概念来表示能量质量的，因此，1982年，霍华德·奥德姆将其改为“太阳能体现热量（embodied solar calories）”，质量因素改为转换率。

#### （三）1983年-1996年：能值的提出

1982年，霍华德·奥德姆对体现能的更改完全是为了在当下的情况下做的无奈之举，于是在1983年，霍华德·奥德姆改用David Scienceman提出的“能值（eMergy）”这个术语，它是“体现能”的缩写，以至于在此之后的好几年eMergy中的M都要大写。转换率（Transformation Ratio）这一概念也被更改为“能值转换率（Transformity）”。

直到1988年，霍华德·奥德姆给出能值的确切定义：

“为了把不同种类能源的贡献放在同一基础上，霍华德·奥德姆把所有资源都表示为替换它们所需要的一种能源的当量。定义了一个新名称：eMergy（拼写为‘M’）被定义为转换生成流或存储所需的一种类型的能量。在此情况下，使用了太阳能值。流动或存储的太阳能值是产生该流动或存储所需的太阳能。太阳能值的单位是太阳能焦耳。”

#### （四）1996年-至今：能值在系统中的应用

1996年，霍华德·奥德姆为了详细回顾能值概念写了《Environmental accounting—Emergy and environmental decision making》一书，正式介绍能值理论，这也标志着能值正式形成了一个完整的理论。2000年，在《Modeling for all Scales: An introduction to System Simulation》一书中，详细介绍了生态系统能值综合分析模型、动态模拟软件以及应用程序，是对能值分析法的进一步完善，除此之外，全球能值基准也随着时间不断更新。

迄今为止，能值分析法应用广泛，如能值和生态系统、能值和信息、能值和农业以及农产品、计算能源和载体的能值（如化石燃料、可再生和不可再生电力、生物燃料等）、能值与经济计算、能值和城市、能值与景观开发、能值与生态工程、能值与物质流和循环、能值和热力学、系统建模的能值计算等。

#### 四、结语

总的来说，从能值的概念里可以看出，能值是为了将不同种类能量的贡献放在同一基础上，用一种替代它们所需的等效能量表示所有资源。因为地球上生命的或非生命的物质都直接或者间接来源于太阳，所以，能值的单位是太阳能焦耳。从最初霍华德·奥德姆意识到生态系统可以由能量流动来衡量系统生长和发育的情况，到意识到能量的品质有高低之分以及“能质”概念的提出，紧接着提出“体现能”这一术语，到最后“能值”理论正式提出，经历了三个阶段，而在这三个不同阶段能值得计算方式也不断成熟。

#### 参考文献：

- [1] 尤金·奥德姆著，孙儒泳，钱国桢，林浩然，等译. 生态学基础（第三版）[M]. 北京：人民教育出版社，1981：81-83.
- [2] 霍华德·奥德姆，环境会计：能值与环境决策[M]. 纽约：约翰威利，1996.