

论生产、资源和环境中的信息问题

孙文悦

(社会科学部)

摘 要

把信息定义为负熵是合理的,并且对研究社会有重要作用。生产过程是一个信息投入和局部积累过程,把生产过程中的信息形成与能流物质流分开,就可以进一步看清生产要素的作用和它们之间的关系。资源是社会的负熵之源,资源的品位与其信息量有关;资源枯竭之说是不能证实的,信息理论提供了解决资源问题的思路。环境质量的降低,环境熵的增大,是人类生产——消费活动和社会发展的必然结果,但是只要有一定的信息投入,就可以维持一个适于人类生存的环境。

关键词: 信息; 负熵; 信息投入; 产品信息量; 局部信息积累; 资源品位; 环境质量

1 信息负熵定义的合理性

近几年来,国内学者提出了许多信息定义,见仁见智皆有所据。但笔者认为,还是信息负熵定义更合理一些。信息就是负熵(或者说与负熵等价),表征事物的差异性和有序性。

信息负熵定义是现代科学发展的成果。什么是信息?申农和维纳都把信息看作是解除不确定性的东西,如通讯中某个符号的出现,噪音的瞬时值,火炮的射击目标等,都有不确定性,消除不确定性的东西就是信息。某一事件(状态)的不确定性与其出现的几率有关;事件出现的几率愈小,不确定性就愈大,该事件出现后所消除的不确定性也愈大,所含的信息就愈多。

如何定义信息量呢?早在1928年哈特莱就着手解决这个问题。他的贡献是把信息看成是通讯代码的单语系列,舍弃单语所代表的内容,只考虑构成单语的数量。如果由S个代码中选出N个码构成单语,就构成 S^N 个可能信息,他把信息量H定义为 $H=N\log S$,但是他没有考虑到概率问题。申农的贡献是把信息与概率联系起来,他不只是从“有多少个可能性”出发建立信息论,而是从“这样或那样的事件有多大程度的可能性”出发建立信息论。他认为,某一事件 a_i 出现后所提供的信息量(即消除的不确定性) $I_{.i}$,是 a_i 出现的几率 P_i 的函数,即

$$I_{.i} = \log \frac{1}{P_i} = -\log p_i$$

本文于1987年10月31日收到。

申农把信息论建立在概率论基础上具有重大意义，使信息论找到了强有力的数学工具。

熵是克劳修斯在1865年引进热力学中的一个态函数，其数学形式为 $S - S_0 = \int_{p_0}^p \frac{dQ}{T}$ 。

熵的中文意思是热量除以温度，如果系统的热量相同，温度高则熵值小，温度低则熵值大。熵的外文原意是转变，指的是热可转变为功的程度：系统的熵值小，热转变为功的程度就高；系统的熵值大，热转变为功的程度就低。几年之后，波尔茨曼推广了马克斯威尔的气体分子运动论，给熵以微观的解释，定义熵为系统的热力学几率 Ω 的函数 ($S = K \log \Omega$)，表征系统的平衡程度或均匀程度。

信息论与热力学汇合了。信息与熵不仅都是系统状态（事件）几率的函数，而且在性质上有许多一致性。例如在孤立系统的不可逆过程中，热熵只能增加，信息熵则只能减少；任何系统要增加信息熵，必须以增加热熵（减少有效能）为补偿；信息熵与热熵有一定的换算关系等等，所以申农、维纳、布里洛因、吉那斯等人都明确指出：“信息就是负熵”、“信息与负熵等价”，并且用数学形式把两者之间的关系表示为

$$S = -KI \quad (K \text{ 为波尔茨曼常数})$$

信息负熵定义有助于我们理解信息的本质。既然系统的熵表征系统的平衡、均匀、混乱、无序的程度，那么作为负熵的信息就是表征系统的非平衡、差异、组织、有序的程度。系统的信息量大，表明其有序度高，离平衡态远；系统的信息量小，表明其混乱度高，离平衡态近。正因为信息的本质是差异性、有序性，所以普利高津把“对称破缺”（体系不同部分之间或体系与环境之间在时间和空间上本质差别的表现），看作是信息的先决条件。

信息负熵定义有巨大的解释功能。它为计算机科学、通讯技术、控制论提供了基本概念，扩展了热力学第二定律，深化了遗传理论，有力地推动了科学技术的发展。

有的学者提出，上述定义含义狭窄，只能算科学定义，不能成为哲学定义，在哲学上应把信息定义为“物质间相互反映的一种属性”。笔者认为，这样的定义过于一般化，没有深刻揭示出信息的内涵，既没有显示信息所表征的事物有序、无序状态，也没有反映信息的概率特性，削弱了信息这一概念的认识功能。把负熵上升为信息的哲学定义的确还有许多（特别是在社会和思维领域）尚待解决的问题，但是，第一，这一定义深深地扎根于工程技术中，并已广泛地应用于物理、化学、生物、心理等学科里，取得了重大成就；第二，有序与无序，进化与退化等概念对于考查自然、社会和思维领域中一切事物的状态和演化具有普遍意义；第三，随着人们对各领域信息现象的深入研究，可能会有更好的哲学定义，但无论什么样的定义都不应抛弃具有负熵的含义，离开现代科学技术的成果。本文用负熵定义讨论生产、资源和环境中的一些问题，就是试图进一步扩大这个定义的解释范围。

有些学者鉴于信息不能离开信息系统，信息的有效性因受者的不同而不同，因而主张“受者必须知道如何提取，信息才存在”，“信息实际上是通过它物而映照自身”。但是信息理论表明，可以把信源本身的信息特性与信息的效用区别开来。只要信源所输出的符号具有概率特征，不仅在它输出某一符号 a_i 为受者收到时具有一定的信息量 I_{a_i} ，而且在没有输出符号时也有平均的信息量，申农定义 I_{a_i} 的数学期望为信源的平均信息量，即信源的信息

熵。信息熵在平均意义上表征信源的总体特性，它的存在和量值只与信源有关，与受者无关，同一信息对不同的受者效用不同，如果信道相同，其原因不在信源而在信宿。

从方法论上看，我们可以对比一下经济学关于商品价值的研究。现代西方经济学家因某一商品对不同消费者或处于不同条件下的同一消费者的效用不同，建立了以“效用”为基础的效用价值论、边际效用论，而马克思则与他们不同，他舍弃消费者的特点，把商品看成是价值与使用价值的统一。商品中所凝结的一般人类劳动，所具有的满足人们某种需要的特性，都是商品本身所固有的，与消费者的偏好无关，因此才建立了科学的价值论。我举这个例子决不是用以类比那一种信息定义是马克思主义的，那一种是非马克思主义的，只是想表明我们可以像研究价值理论那样，用分析的方法研究信息的本质。

2 生产活动中的信息积累

生产系统是一个开放系统，它所服从的公式是

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt}$$

其中 dS 为熵增， $d_i S$ 为熵产生， $d_e S$ 为熵流。热力学第二定律规定了 $d_i S \geq 0$ ，但在非孤立系统中， $d_e S \neq 0$ ，并且不存在规定 $d_e S$ 符号的物理定律，即熵流可正可负。当 $d_e S$ 为负值，且其绝对值大于 $d_i S$ 时，就有 $\frac{dS}{dt} < 0$ 。这样的分析表明，我们可以从一个新的角度研究生产：

所谓生产过程就是给劳动对象投入负熵以提高产品有序度（信息量）的过程，是一个信息传递和积累的过程。例如把一组原料（铁矿砂、焦炭、石灰石等）加工成机器，开始于采矿，继之以分离和精选，经过还原分为原素和渣质，然后制成具有预期内部结构和外部形状的部件，最终把部件联合为复杂的子系统和系统。在生产每个阶段，体现在产品中的有序度都增加了，熵减少了，这是一个信息积累的演化过程。农业生产就是作物通过光合作用，吸收人类和自然提供的负熵流，把比较无序的碳、氢、氧、氮和其它微量元素合成为有序度较高的碳水化合物、蛋白质、氨基酸等生物分子化合物，这也是一个熵的局部减少、信息的局部积累过程。

产品中所积累的信息有两种不同的性质。一种是可作为热力学的有效能再次利用，如用塑料和作物秸秆作燃料，利用其剩余热值做功，或者是用废铁代替矿砂，以节约提炼矿砂所消耗的能量；一种是体现为结构和样式，如生物大分子的形成，工件的加工与精修。在生物界，当一个DNA复制自己时，向被复制者传输了信息，改变了其结构、样式，增加了它的信息量。在工业生产中，印刷、铸造、冲、铣、锻、扎也是向工件传输信息，增加信息量。

产品中所积累的信息有三个来源：资源、设备和劳动，但是并不是这些投入都凝结在产品之中。资源投入凝结在产品中的有材料，不凝结于产品中的有燃料、电力、副产品、废料；劳动投入凝结于产品中的有产品的设计、零部件的组装，不凝结于产品中的有检测、辅助劳动等；设备投入凝结在产品中的有零件的成型和抛光等，不凝结于产品的有运输、贮

存、环境保护等。这样的分析表明，生产过程不仅是一个物质和能量转化过程，也是一个信息传递过程。

农业生产一方面要依赖自然环境——阳光、空气、水分、土壤等，一方面要靠人类的投入——人力、畜力、动力、机具、肥料、水分等。其中有些凝结于作物组织内，如作物吸收的各种元素和阳光提供的负熵流，形成高度有序的根、茎、叶、花、果、实，体现了局部信息积累；有些则并不凝结在作物的组织中，如人力、畜力、机具、燃料等，它们的作用是改善作物利用日光能合成生物分子的条件。然而从总的效率来看，农业生产（通过作物这个“日光能工厂”）大于任何工业生产，因为作物可以捕捉日光能，农产品所提供的能量比人类所投放的要多。据专家测算，如果把一切投入都换算成能量，我国农业生产平均每投放一卡能量，能产出农产品能2.66卡，食物能1.49卡。对农业投入的大小决定农业发展水平，据农业专家统计，每亩提供转化的氮素量在20公斤以下时，粮油产量与氮素量之间的关系几乎是等比关系。随着农业产品需求的迅速增大，对农业的投入必须相应提高，“有机农业”的模式恐怕是行不通的。近几年来我国农业生产徘徊不前，一个重要原因是取之过多，予之太少。

如果我们把生产过程的信息形成与物质流能流分开，就可以进一步看清生产要素之间的关系。资源的作用在于提供具有一定成份和一定结构（含有一定信息量）的材料，以及驱动设备的能源，劳动和设备的作用是改变材料的微观结构和宏观形式，提高加工对象的有序度。因此，人们可以用一种原料代替另一种原料，但不能用更多的设备和劳动代替原料。又由于设备和劳动在提供可凝聚信息方面有相似的功能，所以两者基本上是可以相互代替的。机器的力量和灵巧（操作的速度和精度）已大大超过人类，它的识别力（对环境的反应）和理解力（解题能力）也在迅速提高，如计算机和人工智能的不断发展。除了创造性思维外，在生产中用机器代替劳动，不存在管理上的困难，问题只在于经济上的比较。我国农业近几年田间作业机械化程度下降，原因之一是工农业产品价格的剪刀差。

3 资源和环境中的信息问题

人类社会是个远离平衡态的有序结构，它的负熵流来自社会生产。生产活动一方面使产品积累了信息，另一方面又把废热、废物排给环境，增加了环境的熵。人类的消费是吸取生产所积累的信息，维持社会的有序性和人的生命与活动，最终也把废热和废物排给环境。进入廿世纪以后，生产力迅速发展，消费水平大幅度提高，人口猛烈增长，使资源和环境成为人类所面临的严重问题。

资源可分为原料和能源两大类。解决原料问题门路还是比较多的：有些原料会奇缺，如汞、锡等，但大部分原料是丰富的，如铁、铝、硅等。只要适当加工，废旧材料可以重新利用。人们所需要的是原料的某种性能，而不是特定原料的本身，可以发现或者合成新材料代替稀少的原料，当需求增加时，贫矿也会变得有开采价值。但是，原料问题的解决要耗费能源，因此能源是更根本的问题。

信息理论与资源问题有密切关系。首先，资源的质量与它的熵相关，熵越低（或信息熵

高),资源的品位也就越高。因为在既定的技术水平上,高品位资源提纯比低品位消耗的有效能少。其次,由于技术改进,可以减少开采资源所需的有效能,这就是说采炼技术中的信息积累等价于高品位矿石中的负熵。对于矿石质量的降低,人们可以用增加技术、设备的信息量来补偿。再次,技术和设备虽不能直接代替资源,但是可以间接有条件地代替资源,因为它们是信息的局部积累,可以增加资源的有效性,减少对资源的需求,延长资源的寿命,如热机效率的提高,电子产品的微型化,采炼技术的进步,都是这方面的例子。目前中国的能源总消费量跟日本差不多,但总产值还不到日本的四分之一。我们到2000年的奋斗目标是翻一番的能源(由6.4亿吨标准煤增加到11~12亿吨标准煤)支持翻两番的工农业总产值,除了改革体制和改善经营管理之外,必须改善使用能源的技术和设备,否则是达不到的。最后,在未来的半个世纪内,人类必须基本上实现能源转变,把现有的技术体系转变为以新能源为基础的技术体系。太阳能是巨大的再生能源,会得到比较广泛的应用,但它是散射的,难以满足大型装置的要求。未来的集中能源主要是核能。只要有足够的技术设备,妥善解决核能的安全使用、核辐射的防护、核废料的处理等问题,增殖反应堆就可以提供足够的能源,这也就是说以技术和设备形态体现的信息积累,能够帮助我们摆脱能源困境。

社会以自然为环境,它取之于环境的物质和能量最终都全部归还于环境,这是热力学第一定律的表现。但是由于热力学第二定律的作用,社会的生产和消费活动,使得环境熵值提高了(信息熵减少了),消耗了环境的资源。

虽然环境的熵增加是不可逆转的,并且随着国民生产总值的增大而增大,已成为社会发展中的重大问题。但是,对环境问题过于悲观是没有根据的。环境熵增加主要表现为废物和废热。废热所含的有效能不多,对人体没有什么危害。至于二氧化碳长期积累所引起的温室效应对气象和生态的影响,还有待进一步研究。废物都需要处理,但有害废物(如农药、重金属、放射物残余以及某些化学物品)的比重并不很大,其中有些可以在来源上加以消除

寻找无害的代用品,有些可以安全地密封起来,有些可以经化学、生物方法处理,变有害为有用。防止环境恶化的技术手段是改善环保设施和提供能量,即需要一定的信息投入。据环境专家根据发达国家的资料分析,只要用国民生产总值的1%~2%处理环境问题,人类就可以维持一个适于生存的地球。

参 考 文 献

- 1 周炯莹·信息理论基础,人民邮电出版社,1983
- 2 A·范恩斯坦著,信息理论基础,科学出版社,1964
- 3 诺伯特·维纳,维纳著作选,上海译文出版社,1978
- 4 陈昌曙、远德玉,自然科学发展简史,辽宁科技出版社,1984
- 5 尼科里斯,普利高津,探索复杂性,四川教育出版社,1986
- 6 严济慈,热力学第一和第二定律,人民教育出版社,1979
- 7 艾伦·科特雷尔,环境经济学,商务印书馆,1981
- 8 梁小民,西方经济学导论,北京大学出版社,1984
- 9 里夫金,霍华德,熵:一种新的世界观,上海译文出版社,1987

ON THE INFORMATION PREBLEMS IN PRODUCTION, RESOURCES AND ENVIRONMENT

Sun Wenyue

(Department of Social Science)

Abstract

It is reasonable to define the information as negentropy, which is of great importance for studying societies. Production process is one of information inputs and accumulation of local information. It is easy to understand the effects of productive elements and their relationships by separating the information contribution in a production process from the materials and energy flow. Resources are the source of social negentropy and their tenors are relavent to the amount of information. The hypothesis of resources exhaustion can not be confirmed. Information theory provides some clues for solving the problems of resources. A decrease in environment quality and an increase in environment entropy is the inevitable results of productive and consuptive activities by human beings and social development. Therefore, so long as there are information inputs, an environment suitable for human existence can be maintained.

Key words: information; negentropy; information inputs;
information contents of products; accumulation of local
information; resource tenor; environment quality