

文章编号:1672-6758(2004)05-0037-2

# 熵概念的发展及其应用

田成民 胡彩雯

**摘要:**熵是物理化学中的重要概念,完成了热力学第二定律的量化问题。熵在现代科学技术中的应用将越来越广泛。本文论述了熵的概念及其熵的统计解释,探讨了熵在信息科学、社会经济和工程技术中的应用。

**关键词:**熵;应用;统计;负熵

**中图分类号:**064 **文献标识码:**A

## 1 熵的概念

热力学第一定律的实质就是能量守恒定律,而热力学第二定律就有好几种不同的说法。历史上最早引入熵的是德国物理学家克劳修斯,为了表述热力学第二定律,克劳修斯于1865年根据“转变”定义了熵这一物理量。目前,熵概念已被泛化,在现代科学技术中的应用越来越广泛。

对于可逆的循环过程,系统的热温比为

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (1)$$

式中:Q为热量;T为绝对温度。

对应于每一个热力学平衡态,可以引入状态数S,称为熵。熵S是系统状态的函数,对应于某一热力学平衡状态,总存在有相应的熵值。系统从一个状态A到另一状态B,熵S的变化量为

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

S只与系统的状态有关,与系统到达这个状态的途径无关。

在计算某一状态的熵值时,必须是沿某一可逆的变化过程(这一过程不一定是实际发生的过程)对 $\frac{dQ}{T}$ 进行积分。

## 2 熵增加原理

引入熵以后,可以将热力学第二定律以定量的形式表示出来:在孤立系统内任何变化不可能导致熵的总值减少,即 $dS \geq 0$ 。如果变化过程是可逆的,则 $dS = 0$ ;如果变化过程是不可逆过程,则 $dS > 0$ 。熵值有增无减,即熵增加原理。

熵不象能量与温度那样容易直接测量,因此难于理解和掌握。要确定某一状态的熵值,只能依靠式 $S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}$ 计算,积分路线可以根据计算的方便来选择。但计算结果也只是熵变,即存在一个待定的常数 $S_A$ 。因此,应选择某一特定状态的熵值为零。能斯特提出的热力学第三定律说明任何物体的温度达到了绝对温度零度,其熵值就等于零。计算某一状态的熵值,只能将积分路径的始点(初态)选择在绝对零度。由于在绝对零度外,一切物体的熵值为零。因此绝对零度就变得可望而不可及,虽然可以无限地接近,却永远不能达到。现代极

低温技术研究已经进入 $10^{-6}$ K以内的范围。

## 3 熵的统计解释

对于熵的概念如果只停留在宏观热力学的范围内,即“知其然而不知其所以然”,难以掌握其物理意义的内含。玻耳兹曼论证了熵S与微观状态数W的关系,即著名的玻耳兹曼关系式 $S = k \log W$ 。式中:k为玻耳兹曼常数;W为与某一宏观状态所对应的微观状态数或相数。对数符号log确切地应采用ln,此关系式的写法应为: $S = k \ln W$

熵的统计解释,涉及到一个微观状态数,即对于一个系统的某一热力学状态,它所对应的微观状态数决定了其熵的大小。熵的增加表示系统从包含微观状态数目少的宏观状态向包含微观状态数目多的宏观状态过渡,也就是从概率小的、比较有规则、有秩序的状态,向概率大的、更无规则、更无秩序的状态演变。所以,孤立系统最后达到平衡状态,平衡状态有极大的微观状态数,这一状态出现的概率是最高的,系统内部的一切差别都消失了。埃特金斯(Atkins)设计的“棋盘”模型可说明这一点及关系式 $S = k \ln W$ 。<sup>[1]</sup>

## 4 熵在信息科学中的应用

在讨论热力学第二定律时,麦克斯韦提出了一个假想的妖精模型。“在一个装满气体分子的容器内,假设存在一个小精灵,其功能如此敏锐,以至于可以追踪每一个在运动中的分子。设想一个容器被一个有孔的隔板分隔成A、B两部分。而这个能察觉单个分子运动的生灵来开或关这个孔,使得速度大的分子从A→B,而速度小的分子从B→A。这样,他无须做功就会使B的温度上升,A的温度下降,与热力学第二定律相违背。”麦克斯韦妖的行为是根据气体分子运动的信息来操作的。首先,这个妖精必须能够看得见运动的分子,并且能够判断其运动速度。所以必须用光照在分子上,光被分子散射,散射的光子为妖精吸收,这一过程涉及热量从高温热源转移到低温热源,导致系统熵的增加。当妖精接收到有关分子运动的信息后,再通过操作隔板来减少系统的熵。信息的取得会导致系统中熵的增大,而操作隔板减少的熵,从数量上

不能超过由于获取信息引起的熵的增加量。因此,这不违背热力学第二定律。获得信息的过程本身为熵增加过程,而获得信息之后,可以设计某些过程来降低熵。由此确定了熵与信息之间的联系。信息论的创始人 Shannon 于 1949 年正式提出了信息论。

信息就是进行传递或交流的一种语言、文字或符号。信息既有量的差别也有质的不同。一般情况下,文字或符号的多少反映了信息的量的差别,而其蕴含的意义则反映了信息的质的不同。有关信息内容的问题涉及对价值的评估,这已超出自然科学的范围。只能从信息的量上来描述信息。对信息的描述实质上就是对运动状态及其变化方式的描述。考虑有  $P$  种可能性,其概率是均等的情况,一旦在  $P$  种可能性中选定其一,就取得了信息。 $P$  越大,相应地作出了选择之后的信息量也就越多,这样信息  $H$  就定义为:  $H = K \ln P$ ,  $K$  为常数。由于相互独立的选择可能性(概率)是相乘的,对应的信息量就具有相加性。如果一个信息是一连串  $N$  个相互独立的选择结果,每一个选择都是在 0 或 1 之间作出的,则  $P = 2^N$ , 信息  $H = K \ln P = KN \ln 2$ , 令  $H$  和  $N$  等同,则  $K = \frac{1}{\ln 2}$ 。这样定出的信息单位就是计算科学中普遍使用的比特(bit)。令  $K$  等于玻尔兹曼常数  $K$ , 那么信息量的单位就是用熵的单位来度量。

可见,信息的度量只依赖于两个因素:状态数和状态变化方式。信息熵与热力学中熵的定义相差一正负号,其意义是熵的获得意味着信息的丢失。信息熵是一个系统失去信息的量度,即一个系统有序度越高,它的熵越小,信息量就越大;一个系统内状态越是无序,它给我们的信息就越少。即信息是负熵。

#### 5 熵在社会经济和工程技术中的应用

熵概念应用于社会经济生活中,是促进社会、经济向有序量化方向发展的重要方法之一。将一个孤立系统变成一个开放系统,通过与外界交换物质和能量,从外界引入负熵来抵消系统自身熵的增加,就可以使系统的总熵逐步减少,有可能从无序趋向于有序,使系统内的热变为有用功的可能性增加。开放系统只有在远离平衡态才有可能形成新的稳定的有序结构,而且系统内部各个要素之间存在着非线性相互作用才能使系统变为有序。例如,一个城市不应闭关自守,应成为开放系统。它需要从外界输入食品、燃料、原材料,同时要输出产品和废物,这样才能保持一定的稳定有序状态;否则,就会趋于混乱及

至死亡。应用熵的方法研究城市的演化,可将决定城市发展的系统分成六个变量:工业企业、财政金融业、商业、服务行业、工人、管理人员。熵应是这些变量的函数,而向城市输入的食品、燃料、原材料等可看作是负熵,依经济规律计算其熵值。综合六个变量的结果,便可得出城市演化有两种可能:一种是工业中心不断发生转移,形成许多卫星城市;另一种是工业中心地区不断扩大。各种结果的出现有一定的概率。这些初步的讨论对研究城市的历史演变有着重要的参考价值。

在金属热加工中相变过程是一个重要环节,合金系统中经常要研究的是等压条件下的平衡问题,对这一问题的研究常用另一状态函数——自由能作为判据,自由能  $F = U - TS$ , 其中  $U$  相当于原子间相互作用能。可见计算自由能时仍需知道某一温度下的熵值。熵判据或自由能判据均能帮助在金属热加工中控制转变、控制结构和成分,从而改变物质的性能。同一金属或合金在不同条件下可以发生不同的转变,采用不同的热处理方法获得不同的显微组织和性能以满足不同的使用要求。如用于钢锭、锻压、冷拉伸等的金属材料,就是把钢加热到某一确定的临界温度,保持一定时间后缓慢冷却得到的;而用于刀具、冷模具等的金属材料需要较高的强度、硬度、耐磨性,这是把钢加热到另一较高的临界温度保温后快速冷却,再使其在较低温度下发生转变获得的。

#### 6 结束语

通过对熵的统计解释的研究,才能够真正了解熵的本质。熵不但在信息科学、社会经济、金属热加工中有着重要应用,随着科学技术的不断发展,熵在现代科学技术中的应用将越来越广泛。如:在生命科学、气象、农业、地理、文化、工程测试和信息处理等方面都有很广泛的应用<sup>[1]</sup>。我们正面临着一场以(负)熵为主的革命。在当代社会,经济建设与科学技术正在飞速发展,科技人员和工程师应该加深对熵概念及其应用的掌握。

#### 参考文献

- [1] 恽瑛 夏西平: 大学物理学. 高等教育出版社, 1996, 12
- [2] 中国版协科技出版工作委员会编: 高技术现状与发展趋势. 科学出版社, 1993, 2.
- [3] 张晓春 金永君: 物理与工程. 中国矿业大学出版社. 2001, 9

## Development of Entropy Concept and Its Applications

Tian Chengmin Hu Caiwen

**Abstract:** Entropy is an important concept of physical chemistry, it is quantitative expression of The Second Thermodynamics Rule. The application of entropy in modern science and technology is getting wider and wider. The concept of entropy and the entropy's statistics explanation is discussed and its applications in information science and social economy and technology.

**Key Words:** entropy; application; statistics; negative entropy

**Class Number:** O64 **Document Mark:** A