



# “熵”概念的拓展及应用

乔生炳

(西南科技大学基础科学系, 四川 621002)

1867年,德国物理学家克劳修斯在法兰克福举行的第41届德国自然科学家和医生代表大会上,提出熵的概念和宇宙的热寂说,引起科学界乃至欧洲社会各阶层人士的极大关注,从此一场旷日持久的争论便展开了。随着研究的深入,熵概念逐渐走出物理学的范围而获得了新的生命力。

## 1. 熵概念的拓展 — 熵与信息的关系

于中子星。可见,奇异星的自转速度可以远高于中子星,奇异星的脉冲周期可以远短于中子星。亚毫秒脉冲星的观测研究对揭开奇异星的神秘面纱可能会起关键性的作用。

从那以后,奇异物质和奇异星的研究势头有增无减。研究内容已相当丰富,奇异星的观测效应除转动性质外,还研究了振动性质、冷却效应、爆发现象等许多方面,而且在星体结构等方面也有很大的进展。研究队伍也明显壮大。国外,美国、德国、意大利、波兰、巴西和印度等许多国家均建立了相当大的队伍。国内,除南京大学外,北京大学、中国科技大学等不少单位也开展了一批有影响的研究工作。美国的Glendenning小组不仅研究了与中子星相对应的奇异星,而且也研究了与白矮星相对应的奇异矮星,给出了从奇异星到奇异矮星整个系列的结构。我们小组(戴子高、韦大明、黄永锋和我等)不仅进一步研究了奇异物质的黏滞性、奇异星的结构和各种观测效应,而且还研究了奇异星与高能天体物理中的各种爆发现象之间的可能关系,比如,用奇异星来解释 $\gamma$ 暴、软 $\gamma$ 重复暴以及硬X射线暴等。一个错误的“发现”竟能引发奇异星物理的迅速发展,原因还在于奇异物质和奇异星是物理学中的一个基本问题。奇异星是从夸克层次考察星体必然会遇到的问题。就像黑洞那样,它的存在与否涉及到广义相对论的基本问题。奇异星的存在与否涉及到微观物理的基本问题。因此,证明奇异星存在,或者否定其存

无序和有序是人们在日常生活中建立起来的两个涉及面很广的对立概念。如何把这两个概念纳入科学的范畴加以研究和应用,却是物理学完成的。

熵的统计意义告诉我们,热力学系统从一个平衡态自发过渡到另一个平衡态,从分子运动来看,总是从无序走向更加无序。就拿如图1所示的气体作真空膨胀为例,在未膨胀前,分子集中在一半的空间

在,均将是学术上的重大成就。因此,那个错误的“发现”虽然对奇异物质和奇异星的研究起了促进的作用,而奇异物质和奇异星研究本身的意义却与那个“发现”的错误与否并无直接关系。

有意思的是,那个作出错误“发现”的原班人马却坚持不懈地继续寻找对应于SN1987A的脉冲星,最近果然又发表了一篇文章,宣称发现了这颗脉冲星,这是一颗周期为2.14毫秒的光学脉冲星(见《新天文》,2000, Vol. 5, Issue 5, 243)。如果这个发现是真实的,尽管它还只是毫秒脉冲星,不是亚毫秒脉冲星,仍然极有价值,因为它是目前所知惟一的一颗年轻(因而温度较高)的毫秒脉冲星。这与以往所知的毫秒脉冲星均为再生(年老,因而温度较低)的十分不同。值得注意的是,Madsen在《物理评论通讯》上又发表了一些文章。1998年,Madsen研究了 $r$ -模不稳定性对年轻中子星和奇异星自转的影响,指出 $r$ -模不稳定性会使年轻中子星自转迅速降低到周期长于5~10毫秒,却不会显著影响年轻奇异星的转速(还是由于奇异物质巨大的体黏滞性),因此年轻中子星的自转周期不太可能小于5~10毫秒。据此,2.14毫秒的那颗SN1987A脉冲星很可能是一颗奇异星。但是,2000年,Madsen又进一步研究了 $r$ -模不稳定性对年轻奇异星的影响,得到了一些更为复杂的结果。看来,要解决这个问题,还需要做细致的、艰苦的工作。

内作杂乱无章的运动。虽然,这种运动是无序的,但分子却不能出现在另一半空间内。这从分子的空间位形分布,是一种有序的表现。然而,当抽去隔板,让气体扩散到另一半空间并重新达到热平衡后,这种有序就消失了。也即,气体分子从扩散前的无序状态过渡到了扩散后的更加无序的状态。由此可见,无序和无序程度的增加是与分子的热力学几率和热力学几率的增加相对应的。从宏观意义上说,就是与熵和熵的增加相对应的。因此,把熵视为无序程度的量度是恰当的。

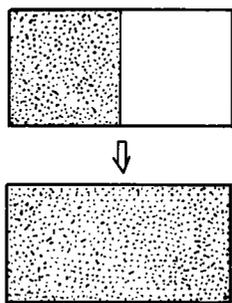


图 1

以上的分析也表明,有序表现为一种差异,如果把差异具体化,就说成是有结构,而结构是可以用来量化的。例如,上述的气体在扩散前,两个半空间是有差异的。具体说就是,扩散前整个容器形成一种结构,一半空间有分子,另一半空间没有分子。把这种情况用信息来量化就是,每个分子肯定在一半空间内而不会在另一半空间内。扩散后,这种差异就消失了;一半空间有分子而另一半空间无分子的结构也消失了;于是原来肯定的信息就表现为,每个分子可能在这一半空间也可能在另一半空间的不肯定状况。我们把这种不肯定状况说成是原有肯定信息的消失。由此可见,熵与信息,一个描述了系统的混乱程度;一个描述了系统的有序程度。熵的减少表明信息量的增加;反之,熵的增加表明了信息量的减少。

在信息论中,把信息定义为“消除不确定度的东西”。信息是人们的各种感知经大脑加工后的一种概念化的产物,它的含意十分广泛。信息既可以是各种直接的、具体的声像;也可以是各种间接的、抽象的符号,但它们都是客观实际的反映。如果把不确定度与熵的概念挂钩,把它叫做信息熵,则信息就可表示成负信息熵,这样就把信息量化了。这一工作是申农完成的。1948年申农在《通信的数学理论》杂志上发表了她的理论。下面,简介其中有关信

息熵的基本概念。

把信息与熵挂钩,有两个对应,一是可能情况数对应于热力学几率;二是不确定度对应于热力学熵。因此,根据玻耳兹曼公式,可能情况数和不确定度有对数关系。信息论中的单位不确定度被定义为这样一个基本问题:某情况的发生与不发生各占 50% 的概率,用  $H(1/2 \cdot 1/2)$  表示,取名“比特”(bit),而一切不确定度均可分解为单位不确定度的迭加。例如,有一不确定情况  $H(1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/4)$  可能情况数为 4,则不确定度为

$$H\left(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}\right) = H\left(\frac{1}{2} \frac{1}{2}\right) + 2 \cdot \frac{1}{2} H\left(\frac{1}{2} \frac{1}{2}\right) = 2 \text{ (bit)} \quad (1)$$

(1)式表明,可能情况数 4 等于不确定度 2 的平方,即  $4 = 2^2$ ,以此类推,若不确定情况数为  $w$ ,不确定度为  $H$ ,则有关系  $w = 2^H$ ,  $H = \log_2 w$  (bit),  $H$  就是信息熵。若要使热力学熵与信息熵互相换算,可对玻耳兹曼公式描述的热力学熵进行换底

$$S = k \ln w = k \ln 2 \log_2 w \quad (2)$$

可令  $k \ln 2 = 1.38 \times 10^{-23} \times 0.693 \cong 1.0 \times 10^{-23} J/k = 1 \text{ (bit)}$  于是有  $S = H$ 。

而信息论一般是用概率  $p$  作为基本量来描述信息的。有 3 种基本情况,肯定情况  $p = 1$ ,否定情况  $p = 0$ ,不定情况  $0 < p < 1$ 。其中,对平衡态系统的不定情况,各种可能性都是等概率的,若可能情况数为  $w$ ,则  $p = 1/w$ 。但是,对非平衡的一般系统来说,各种不确定情况发生的概率  $p_i$  并不相等,于是定义  $-p_i \log_2 p_i$  为系统的第  $i$  种情况的信息熵,这样根据熵的迭加性, $w$  种情况的总信息熵  $H$  就为

$$H = - \sum_{i=1}^w p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

(3)式就是申农公式,是信息论的基本公式。显然,热力学熵是信息熵的特殊情况,令  $p_i = 1/w = \text{恒量}$ ,则(3)式变为

$$S = \log_2 w \quad (4)$$

## 2. 熵概念的应用

### 2.1 熵与能量的转化

根据热力学第一定律,各种形式的能量在一定条件下都是可以相互转化且保持量的守恒。但是,根据热力学第二定律,在一个封闭系统中,任何能量转化的过程总是伴随着熵的增加。因此,任何能量之间的相互转化并不是对等的,这里有两种情况,一是结构性较强、熵含量较低的能量有条件(如各种催

现代物理知识

化作用)或无条件地自发向结构性较差、熵含量较高的能量转化而实现的熵增;另一种是通过系统其他部分更大的熵增所提供的条件促使刚才的能量沿相反的方向转化,虽然从系统的这一部分看熵减少了,但从系统的总体上看,熵仍然是增加的。

由此看来,不同形式的能量向其他形式的能量转化的情况是不一样的。我们把在一定条件下自发转化方式多样的能量视为品质高的能量;反之则视为品质低的能量。显然,结构性强、熵值低的能量属高品质的能量。如像太阳对地球非平衡辐射的光能,是以光子为结构单元所包含的能量;又如原子能,是以原子核为结构单元所包含的能量;还如化学能,是以分子为结构单元所包含的能量,等等。此外,一切宏观机械能、电磁能也都属于品质高的能量。总之,一切结构性强的或有序运动的能量都属于品质高的能量。相反,结构性差,熵值高的能量属低品质的能量。如一切平衡热力学系统所具有分子热运动动能和分子间的相互作用势能,就属于品质较低的一类能量。然而这种能量却无所不在。总之,一切无序运动的能量都属于品质低的能量。人们把储存在物质微观结构中的高品质能量叫做能源,把高品质能量向低品质能量的转化叫做能量的退化。能量越退化,也即表现这种能量的运动比转化前变得越无序,它们的可用性就越差,转化能力就越低,转化中被充分利用的部分也就会越少,也即它们只有继续退化才是有效的,若要把它们转化成高品质的能量,则有很大一部分将无法利用而变成无效能量。

综上所述,既然能量的退化总是伴随着熵的增加,因此从能量使用上讲,熵是能量不可用程度的量度。对一个系统而言,它所包含的“能”量度了该系统的运动转换的能力,而它所包含的“熵”则量度了该系统的运动不能转换的潜力。能和熵,一个从正面量度了能的数量;另一个从负面量度了能的质量。

## 2.2 熵与时间的方向

时间是有方向性的,总是从过去向将来流动,有人称之为“时间之箭”。早在两千年前孔子就曾面对奔流的江水发出过感叹“逝者如斯夫,不舍昼夜”。唐代诗人李白也曾满怀感慨地吟唱道“黄河之水天上来,奔流到海不复回”。孔子和李白都把亲身感受到的时间单向流逝比喻为江河中不可逆流的水。无数的事实告诉我们,时间总是体现在各种不可逆的过程之中。而任何不可逆过程最终都可用熵的增加

来定量描述,于是熵增与时间的方向就发生了密切的关系。

试想,在一个封闭系统中的真空罩里有一个单摆在摆动。那么,我们在不同的时间去看它,这个单摆的运动规律本身能够告诉我们时间在不断流逝吗?显然是不能的,因为摆动是一个可逆的机械运动,它虽然在动,但却不变。其实,一切机械运动都无法体现出时间的方向性来。这是因为,支配机械运动的牛顿定律为

$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (5)$$

(5)式对时间的反演,即把 $t$ 改为 $-t$ ,是对称的,体现不出过去和将来的差别,或者说对 $dt > 0$ 和 $dt < 0$ 方程的解都一样。但是,当这个封闭系统中有一个温差热传导在发生,情况就不一样了。当我们在不同时刻去观察它时,就会发现温差在不断地缩小,这意味着系统的熵在不断地增加。根据不可逆过程熵增原理的物理规律,这种不可逆转的温差的变化就客观地体现了不可逆转的时间流逝。顺便提一下,用单摆作成的钟的指针是不可逆向运动的。这并不是说单摆运动的不可逆,而是钟里的擒纵机构使擒纵轮不可逆向运转的缘故。单摆只不过提供了一个稳定的擒纵周期而已。由于钟的运动仍然是机械运动,钟的不可逆是人为设计的结果。所以,钟的指针只能用模拟的方式表现时间的流逝,而不能体现时间的流逝。前者是表面上的,而后者是实质上的。

根据前面的分析,凡是一个孤立的熵变化系统,就有一个时间流逝的历程。但是,自然界的各部分都有着千丝万缕的联系,绝对孤立的系统是不存在的。因此,就有必要建立一个统一的时间流逝的历程,这个历程应以什么系统的熵变为依据呢?那就是宇宙。物理学认为,宇宙是一个孤立的无与伦比的大系统,它的熵增体现了统一的时间流逝历程,整个宇宙都受这个时间流逝的影响。正是由于这个原故,1867年,克劳修斯提出了宇宙的热寂说,从物理学的角度预见世界末日的到来。这一学说引发了19世纪欧美的消极悲观情绪,影响十分巨大,许多学者对此提出了各种批判,但都缺乏说服力。可是,就在这“山穷水尽疑无路”之际,出现了“柳暗花明又一村”。1929年,美国的天文学家埃德温·哈勃发现,地球周围的各星系正在离地球而去,即整个宇宙都处于膨胀之中。这就好比一个正在膨胀中的气球,随着表面积的增加,上面原有的各个斑点均在增

大它们之间的距离一样。既然宇宙有膨胀就必然有一个开头,1948年俄裔美籍物理学家伽莫夫提出了宇宙的大爆炸学说。该理论指出,大约在150亿年前,我们的宇宙无中生有(指时间、空间和物质),以巨大爆发的形式产生出来,大爆炸宇宙学认为,虽然宇宙不一定是无垠的,但它不是静态的。对一个静态的体系,熵有一个可能达到的极大值,但对于膨胀着的系统,每一瞬间熵可能达到的极大值是与时俱增的。如果膨胀得足够快,系统不但不能每时每刻跟上进程以达到新的平衡,且实际熵值的增长落后于熵极大值的增长,二者差距越拉越大。这是因为宇宙物质间万有引力作用的结果。虽然系统的熵在不断增加,但它距平衡态却越来越远。1965年,美国的两位无线电工程师威耳逊和彭齐亚斯在研究射电望远镜的接收性能时发现了消除不掉的“噪声”,也即发现了从宇宙各个方向射来的所谓宇宙微波背景辐射。这种辐射谱与2.7K的黑体辐射谱十分接近,说明宇宙早期的物质分布是相当均匀的,非均匀性不超过 $10^{-5}$ ,而今天宇宙中物质分布的不均匀性高达 $10-10^3$ (从地球向宇宙各个方向看去)。这样,膨胀着的宇宙模型给我们展现了一幅这样的情景,宇宙时间有一个起点,随着宇宙熵的不断增长,这个时间不断流逝着,但宇宙不会达到熵极大。这样,既为我们确定了一个无终极的全宇宙统一的时间,又彻底批判了热寂说。

### 2.3 熵与生命的过程

熵与信息的基本理论不仅适用于简单的热力学系统,而且也适用于有生命活动的物质系统。因此,任何生命的进程都可用熵的概念和理论进行研究,都遵从熵变化的物理规律。

一切生物系统都不可能是封闭的,它们通过呼吸、进食、排泄以及放出热量、吸收热量和对外作功等活动与外界不断进行着物质和能量的交换。因此,任何生物体都是一个开放的系统,对于开放的物质系统,其熵变由两部分组成,即

$$dS = dS_e + dS_i \quad (6)$$

(6)式中, $dS_e$ 叫“熵流”,它代表系统与外界相互作用中获得的熵,其值可正可负可为零。 $dS_i$ 叫做“熵产生”,它代表系统内部进行的不可逆过程产生的熵,其值恒大于零。对孤立系统, $dS_e = 0, dS = dS_i > 0$ ,即熵增加原理。

若生物体从外界获得的熵流 $dS_e < 0$ ,我们称之为负熵流(即信息,由高品质能量流提供)。当负熵

流大于生物内部的熵产生( $|dS_e| > dS_i$ )时,生物系统的熵变 $dS < 0$ ,系统的熵减少,有序程度增加。这意味着生物体从一定的有序结构上升到更高的有序结构,生物体就成长了。若生物体从外界获得的负熵流恰好等于系统内部的熵产生,那么系统的熵变 $dS = 0$ ,系统便维持在一定的有序结构上,生物体就稳定在成熟阶段。若生物从外界获得的负熵流小于内部的熵产生,那么生物体的熵变 $dS > 0$ ,生物系统的熵增加,生物便开始退化、衰老。当生物体的熵达到最大时,整个机体呈现高度混乱状态,生命的有序活动即无法维持,这就是机体的死亡。

如果生物系统出现短期或局部的熵积累过多,出现了局部的混乱状态,这就会造成生物体处于病态之中。从物理的角度看,各种医疗手段的目的都在于使病灶恢复有序状态,也就是清除多余的“积熵”。薛定谔说:“生命赖负熵得以生存。”玻耳兹曼说:“生物为了生存而作的一般斗争,既不是为了物质,也不是为了能量,而是为了熵而斗争。”生命过程也就是生物不断与外界交换物质与能量,摄入有序的能量,排出无序的能量,不断“新陈代谢”,从而获得宝贵的负熵的过程。但必须指出,生物从外界吸收负熵是以更大范围的熵增为代价的,而由生物与和它相互作用的周围环境组成的孤立系统,仍然遵从热力学第二定律,熵总是不可逆转地增加。

### 2.4 熵与生物进化

除了生命进程与熵有关外,生物进化也与熵有关。因为,生物进化是与时间相关的并且是以旧的有序结构中形成新的有序结构为特征的过程。于是,加拿大不列颠哥伦比亚大学动物学教授布鲁克斯和美国堪萨斯大学分类学与生态学教授威利,在早期奥地利物理学家薛定谔的观点和近斯比利时物理化学家普里高津及德国物理学家哈肯的观点启发下,从生物学的角度提出了熵、信息与生物进化的新学说。下面对其进行简介。

a. 基本假设:生物进化是一个熵过程;

b. 基本概念:生物的复杂性(种群谱系)与熵有关,而生物的组织化(个体结构)则与信息有关;

c. 基本论点:生物进化和宇宙进化相似。宇宙自大爆炸之日起开始膨胀,但这个膨胀并不是自由的,因为物质间产生的万有引力将对膨胀起到约束作用,以致宇宙中的实际熵 $S$ 的增加速率落后于最大可能熵 $S_{max}$ 的增加速率。这样,宇宙在熵增加的同时,结构性也在加强,即信息量也在增加。生物进

现代物理知识

化与此类似,也即生物进化的谱系越复杂,说明生物进化的熵值越大。这种谱系复杂化的分支衍生将带来更大的进化突变空间,但由于生物遗传的约束,使生物系统中实际发生的状态数(种类数)比最大可能发生的状态数少,即实际熵比最大可能熵小。当一个进化的生物系列与环境提供的条件(输入有序能量流使系统受到扰动而产生“自组织”的现象——见后面“熵与耗散结构”)不相抵触时,复杂性(熵)将与组织化(信息)同时增加。这样,生物进化的结果是,种类越来越繁多,结构越来越高级,但他们的熵差  $I$  也越来越大(见图 2),若写成公式,就是

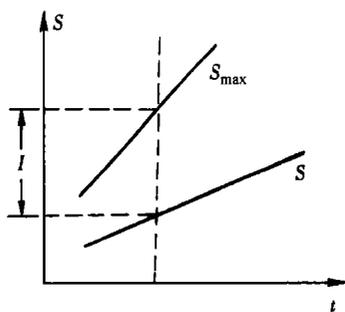


图 2

$$I = S_{\max} - S$$

布鲁克斯和威利的上述理论与达尔文的生物进化论是一致的,尤其是新达尔文主义改变了达尔文原来提出的生物进化的渐变论而主张生物进化的突变论,这就更一致了。该理论不仅解释了达尔文进化论中的遗传内因和环境外因所起的作用,而且在更高和更深层次上统一了生物进化的动力机制。

### 2.5 熵与耗散结构

热力学理论不仅可用于热力学系统的平衡态过程,原则上也可用于非平衡态过程。其方法是,把非平衡系统分解成无数宏观足够小,微观足够大的局部平衡子系统,对每个这样的子系统可用平衡态热力学理论进行研究,它们以开放了系统的条件与周围其他平衡子系统进行物质和能量的交换。这种数学形式的非平衡态热力学理论对许多非可逆过程的研究是成功的。尤其是它描述了不可逆过程熵增的细节,肯定了在非平衡过程中不论从热力学系统的局部或整体来看,熵总是增加的,也即系统总是从无序走向更大的无序。

但是,在自然界里却存在着许多自发的有序现象,如生物进化和结晶过程等,它们与非平衡态热力学理论是矛盾的。因此,如何把这类现象纳入非平衡态热力学理论的框架,就成为物理学家面临的一

个重大任务。1967年普里高津提出了所谓的“耗散结构”理论。该理论的一个基本观点是,一般的非平衡态热力学理论属于线性理论,它们是用热力学系统在各局部区域的能量、熵随时间变化的线性微分方程描述的。这些方程只适用于偏离平衡态不远的情况,但是,当热力学系统远离平衡态时,局部区域之间将出现非线性的相互作用,引起反常的涨落。这种涨落通过外界能量和负熵的输入而得到加强,引起了所谓的正反馈放大,使系统从原来的无序状态转变为时间、空间或功能上的有序状态。这种有序状态只要不断与外界交换物质和能量,就不会因外界的微小扰动而消失。正是由于这种状态靠外界的能量和负熵的输入来维持,故称为“耗散结构”;而称这种自发有序结构的形成为“自组织现象”。耗散结构理论认为,远离平衡态的系统已不能用单纯的热力学理论进行研究,因为当系统进一步远离平衡态时,将出现多级分支的所谓“混沌状态”,它是一种新的随机状态。这种无序状态与热力学平衡态的区别在于其无序的时间和空间尺度是宏观量级的,而热力学平衡态的无序尺度是分子的量级。如果用  $\lambda$  表示外界对系统偏离平衡态的控制参数,则上述的有关热力学系统从接近平衡态到远离平衡再到混沌态的示意就如图 3 所示。其中,在非线性(区(c)或(c'))为两种可能出现的耗散结构,而混沌区则可能出现多种可能结构的随机状态。

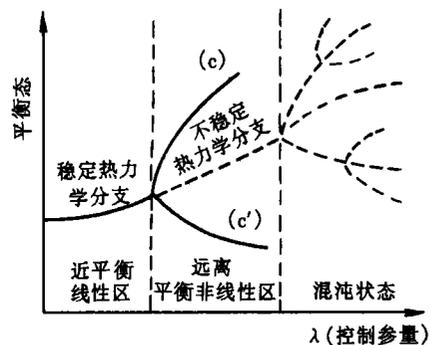


图 3

简单的自组织现象,有“贝纳德对流花样”。1900年,德国的贝纳德发现从下面加热的盘中由温度梯度加大使热传导从线性(即单位时间热流量与温度梯度成正比)转入非线性后出现的六角形对流格子的有序化现象,这种类似蜂房的对流格子就叫做贝纳德花样。

复杂的自组织现象就是生物进化现象,也即生物体通过吸收外界的有序能量,在遗传内因和环境

外因的共同影响下出现的使自身组织、结构扩展的突变进化现象。

1976年德国物理学家哈肯提出了“协同学”理论,对自组织现象作出了新的解释,即自组织现象不是系统远离平衡态的结果,而是大量小系统在一定条件下相互协同的结果。这也是一种有序化现象。开放系统中的子系统既有自发的无规则独立运动(如热运动),又有子系统之间因一定关联而形成的协同运动。在达到临界点以前,子系统间的关联束缚不了子系统的独立运动,无规则的独立运动占主导地位。而随着外界提供的物质、能量流(控制参量)增大,子系统间的关联也增强。控制参量达到临界值时,协同运动相对于独立运动占优势,系统就进入有序状态。哈肯发现,不仅开放系统可能从无序走向有序,封闭系统在一定条件下也可从无序走向有序。协同学用序参量来描述有序程度;用序参量方程来描述有序度的转化。

耗散结构论是非线性的非平衡态热力学理论,虽然该理论还不很成熟,但已经在生物、物理、化学、气象、工程和哲学等领域得到了广泛的应用。例如,对细胞的自组织功能和酶的催化作用的成功解释。协同学则更进了一步,已经能够对诸如流体力学中的湍流等作出定量解释。

## 2.6 熵与社会问题

人类社会的存在有赖于它所处的自然环境。这是因为,构成社会每一个基本成员的人本身是一个耗散结构的系统。他们需要不断从周围环境中摄取能量和物质,同时也向周围环境排出能量和物质。如果这一过程能够与大自然形成一个稳定的循环链,即大自然能够向人类提供所需的物质,同时又能够分解处理人类排出的物质,则人类的生存环境将会处于某种稳定的状态之中。这个循环链的形成,有赖于自然界清除由人类活动造成积熵的能力,而我们地球的一切这种能力均来自太阳的光照。地球从太阳光中获取高品质的有序能量,从中得到负熵并用以清除生态环境和其他自然过程中的积熵。因此,人类如何规范自己的行为,把自己的一切活动都纳入这一生态循环链中来考虑,这对个人来说就是一个世界观的问题;对社会来说就是一个生存观的问题。这两种观点是相辅相成的,下面作两点分析。

a. 从人类的主观角度来讲,高消费似乎是人类天然的欲望,而每个人的高消费必然促成社会的高生产;低效率的高生产必然带来高污染,由此产生高

积熵。之所以突出这一点,是因为人类目前所处的发展阶段还是相当落后的,这首先表现在能源的使用上。例如,一切热动力机械都属于能源的低效率使用设备,因为不管什么热机,都是先把高品质的化学能或核能转化为低品质的热能,然后再以大量无效能量的损失为代价转换成机械能,最后才转化成电能和其他形式的能量。例如,目前最先进的热电厂仅能利用热能的40%,核电厂则是30%。由于这种转换模式是人类目前利用能源的主要方式,所以说是十分落后的。因此,这就要求人类,一方面根据自己的发展水平学会合理的消费,另一方面提高自己的科技水平,不断用合理的高科技手段来组织和实施各项生产过程,其核心是高产出、低积熵。作到这一点的关键是能源的有效利用。在这个问题上,人类已做了大量工作,但还不能形成主流。例如,人们正在不断改进化学能电源(各种电池)的储能密度和输出功率,力争淘汰目前的热动力车辆而改用电动车辆,把石油和煤碳这类非再生能源作成化工原料进行深加工,以提高这些有限自然资源的利用价值。此外,水力、风力资源的因地、就地使用也可以减轻对目前热动力能源的使用压力,等等。

b. 从客观角度来讲,大自然的生态平衡是脆弱的,调节能力是有限的。人类不应当按自己不合理的要求去改造大自然,而是应当按大自然的规律去维护它的各项功能。这首先是让阳光得到高效率的转化。太阳光对海洋的照射是形成以大气环流为动力的地球水循环的主要原因;太阳光对陆地的照射是形成以光合作用为高效率能量转化的主要方式。虽然,对前者人类无法控制,但对后者人类却能够通过保护地球的植被而使其有效地进行。这就要求人类爱护森林,杜绝沙漠化。没有植被的地面对阳光除了反射一部分、剩下的就直接转化成低品质的热能而造成积熵。此外别无其他途径,这显然是很可怕的。植物的光合作用除了能产生氧气,吸收二氧化碳从而清洁地球外,它还是推动地球各条生态链运转的能量和负熵输入人的惟一方式。



现代物理知识