

对 Prigogine 耗散结构学说的一些异议

陶正耀

(上海材料研究所, 上海 200437)

摘 要

Prigogine 于 1977 年因创耗散结构学说, 得诺贝尔奖. 学说以自组织为核心, 并引用 Benard 涡胞结构等, 以证明自发组织的存在. 此外, 还认为 Boltzmann 有序性原理, 与生物进化不相容, 生物进化与热力学有鸿沟. 对此种种, 作者皆有不同看法, 本文即是表达作者的异议及论点.

关键词 耗散结构、自组织、呆子、灵子、活子

1 引 言

比利时学者 Prigogine 于 1969 年创耗散结构学说, 于 1977 年得诺贝尔奖, 参考文献仅举他少数著作^[1-4], 是本文引用的主要依据. 我国物理学会所召开的一次非平衡数理统计会议中, 曾邀他参加, 后又多次在北京作专题讲学, 从而在我国对耗散结构引起广泛的注意和重视. 国内陆续出版了这方面书刊^[5-7], 但尚未有异议者.

对此学说, 作者不敢苟同, 主要针对以下四点:

(1) 一个远离平衡系统, 与外界不断交换能量和物质, 系统可以从原来无序状态, 产生新的有序结构. Prigogine 认为这种结构, 是其中粒子自发组织并协调行动结果.

(2) 为了维持上述结构, 必须不断输入能量, 而新结构不断消耗能量, Prigogine 认为这是一个特点.

(3) 为了说明这种自发组织, Prigogine 又举了若干事例, 表明其存在. 然事例本身, 仍多可疑.

(4) Prigogine 认为生物进化, 与热力学有鸿沟, 又认为 Boltzmann 原理, 不能应用于高分子蛋白质的排列, 不能应用于 Benard 涡胞结构等.

对于以上四点, 自组织是核心. 美国物理学家 Anderson 甚至对耗散结构本身, 亦持有异议^[8]. 关于 Anderson 的看法, 尚未知其详. 在本文里作者只提自己的异议及论点.

2 Boltzmann 原理的内涵

Boltzmann 原理是许多人熟知, 但它的某些内涵, 却并不尽知. Boltzmann 原理可用下列

关系式来表达:

$$S = k \ln W, \quad (1)$$

上式 S 代表熵, k 为常数, W 为热力学概率. (1) 式很重要, 它从微观角度, 把系统的熵与有序度联系起来, 从而形成所谓微观热力学. 要显示 (1) 式的重大意义, 似尚需正确对待关系式中热力学概率的内涵.

作为统计对象的粒子, 必须性质及大小相近, 机会均等, 特别是性质, 因之对粒子本身, 必须有质的区分. 为此, 作者特按粒子性质, 粗分为三类:

第一类叫呆子, 它们没有生命力, 相互间没有任何作用力, 或者作用力很小, 可略而不计. 一般概率统计及计算方法, 实质上都是针对呆子; 第二类叫灵子, 它们亦没有生命力, 但相互间存在吸力、电磁作用力、化学亲和力等一种或几种, 它们实际上是大量存在; 第三类叫活子, 它们有生命力, 有生物功能, 即使在没有外力作用下, 可以“自静或自动”, 有自己“意向”, 例如大分子蛋白质、细胞、细菌、以及蚂蚁等.

为什么要这样区分? 有什么必要? 请见下面一个简单例子.

设有五颗粒子, 三白二黑, 作任意排列, 其排列数将视粒子性质而异. 若它们都是呆子, 可得 10 种排列, 其情况如图 1(a); 若其中两黑子为灵子, 相互间有吸力, 三白子为呆子, 其排列数

将仅 4 种 (图 1(b)); 若它们都是活子, 并假定黑白为二类活子, 而同类活子喜聚在一起, 其排列数将只有 2 种了 (图 1(c)).

由上例说明当粒子数量相等时, 排列数可各不相同, 说明出现某一热力学概率, 视粒子性质而异.

下面再举一个事例, 进一步说明若混淆粒子的性质, 可导致截然不同的结论.

大分子蛋白质是由不同数量及种类的氨基酸, 按一定顺序排列而成, 它们属于活子. Prigogine 说^[1, 3]: “蛋白质键约含 1000 个氨基酸分子, 自然界有氨基酸 20 种, 以此组合排列, 可得 $N \approx 10^{100} \approx 10^{130}$ 种. 假定每变换一次需 $10^{-8}s$, 将共需 $100^{122}s$, 而地球年龄为 $10^{17}s$, 因之蛋白质的合成是不可能的”. 于是 Prigogine 说: “Boltzmann 原理不能应用于蛋白质的

的合成”. 这个结论显然有问题, 因为在他的上述计算中, 误把氨基酸作为呆子.

其实, 氨基酸的排列, 究有多少, 尚难确知, 但绝没有如 Prigogine 所计算的那么大. 生物分子学的研究表明: RNA 与蛋白质的合成, 密切相关. RNA 至少有三种功能^[9]: 有作为蛋白质合成的“模板”, 有作为氨基酸的“搬运工具”, 有作为合成蛋白质的“装配机”. 由于这些功能, 再加 Eigen 所指出的^[10], 它们可以“自组织”, 可以“自复制”, 这将使氨基酸的排列数大大简化, 并大大减小, 从而比较容易地合成高分子蛋白质.

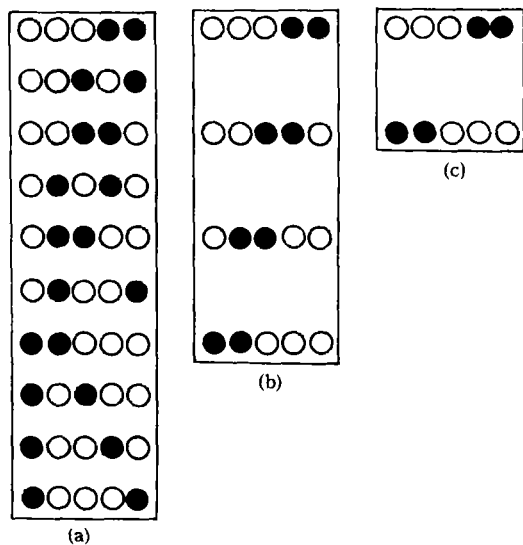


图 1 五颗粒子的排列

(a) 都为呆子; (b) 黑为灵子; 白为呆子; (c) 都为活子

对于呆子, 是 Boltzmann 关系式的理想对象, 因为一般书中的概率计算方法, 都可直接沿用. 自然界中虽多呆子, 但须注意与灵子、活子的区别. 有时粒子间的作用力不大, 可作为呆子对待. 作者在研究两相组织时^[11, 12], 把它们分割成许多大小相同粒子, 名为相子, 然后把它们呆子化, 用一般概率统计方法, 计算其组合概率及熵, 导得显微组织参数与强度的关系.

对于灵子, 它们间有各种作用力, 进行概率统计, 多是相当复杂. 过去已发展了 Bose-Einstein, Fermi-Dirac 等方法, 解决某些特殊的分布概率. 灵子和呆子容易混淆, 如气体在稀薄状态, 分子间作用力不明显, 可以呆子对待, 其 P , V , T 关系, 符合

$$PV = nRT. \quad (2)$$

若气体在稠密状态, 存在 van der Waals 力, 则 P , V , T 关系变为

$$\left[P + a\left(\frac{n}{V}\right)^2\right](V - ab) = nRT. \quad (3)$$

(2) 式适用于呆子, (3) 式适用于灵子.

对于活子, 不受 Newton 力学所制约. 对于它们的概率计算, 还有待开拓.

Prigogine 又说: “生物进化是由简单到复杂, 从幼小到壮大, 可是热力学则指向另一方向, 两者存在鸿沟. 作者对此, 亦不敢苟同. 生物由胚胎至成形. 由幼小至壮大, 是靠不断由外界吸收能量和物质, 乃至还可能“负熵”, 以维持其生命, 然最后都趋于死亡, 无一幸免, 可见两者大方向还是一致. 因此, 我们尚不能说进化论与热力学之间存在鸿沟. 热力学好比是“天网”, 虽然疏, 却还没有漏掉什么. 人体有十万种以上蛋白质, 整个世界则多达 10^{10} 种, 为什么有这么多, 答案恐只有一个: 排列生万物.

3 所谓自组织

我们把粒子分为三类, 已足以说明除活子外, 自组织是不存在于呆子及灵子. 如果说呆子可以自发组织起来, 并协调行动, 显然违反 Newton 定律. Eigen 虽曾提出“自组织”, “自复制”, 但他指的是生物体, 是活子, 如今 Prigogine 扩大至呆子及灵子, 就有问题了.

下面再举三个例, 说明自组织的不存在.

3.1 Benard 涡胞

这是 Prigogine 多次提出的典型事例. Benard 于 1900 年作了有名实验, 他用两块平行板, 中盛液体, 板接两热源, 上下板温度分别为 T_1 及 T_2 , $T_2 > T_1$. 当下板温度逐渐升高, 下面液体分子上升, 上面分子下沉, 产生对流, 这时系统处于远离平衡状态. 当 $\Delta T = T_2 - T_1$ 达到某一阈值, 液体可产生六角形格子花样, 亦称涡胞, 其情况如图 2. Prigogine 认为这是板内液体分子, 自发组织起来所形成的一种新的有序结构, 名之为耗散结构. 这个看法, 不符合事实.

由于两板间垂直方向的温度梯度, 液体分子有些受上升之力, 有些受下沉之力. 再由于液体分子间存在粘力 (Viscosity), 于是系统在继续加热中, 将处于失稳状态. Benard 实验即属于 Hydrodynamic Instability 范畴. Rayleigh 曾作了深入理论分析, 导得失稳条件为^[13]

$$R = \frac{gd^4\alpha}{kv} \frac{dT}{dz}, \quad (4)$$

式中 R 为失稳参量, g 为重力加速度, d 为两板距离, α 为液体膨胀系数, v 为粘度, k

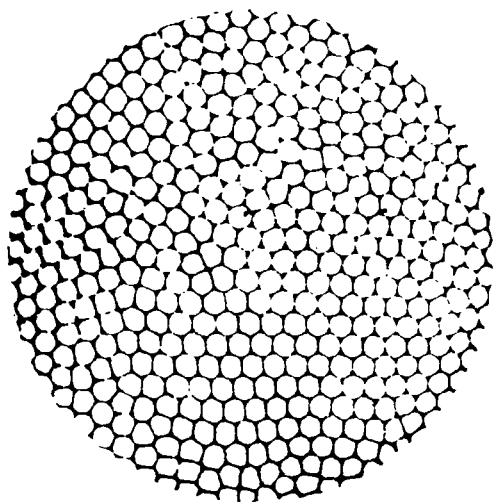


图 2 Benard 涡胞

将油和水在杯中混和,因受重力作用,即行分离.若在月球上,分层概率几乎是零,分层永不实现.

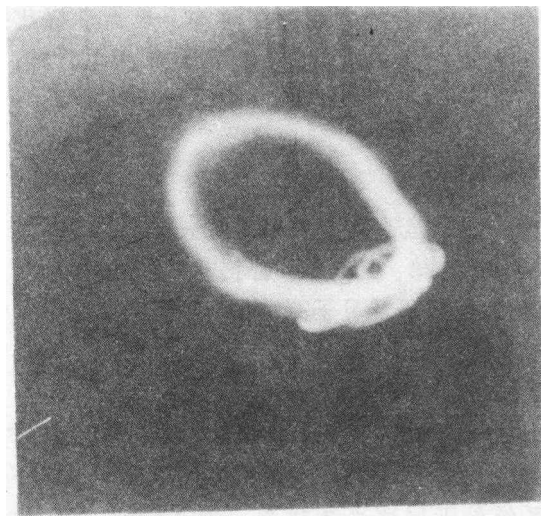


图 3 漩涡环

为常数, dT/dz 为垂直温度梯度. Rayleigh 复通过实验,得知当 R 达到某一阈值 R_0 时,液体分子产生定型花样 (Stationary Pattern). (4) 式包含了许多力学因素,如传热、对流、粘力、液体分子运动速度等等.他又考虑了边界条件、涨落影响,并通过实验,给予不同 R 值,可得不同花样.以上说明 Benard 涡胞的形成,是由液体分子按严格力学条件而产生的.

Prigogine 说:“Benard 实验中液体分子,多达 20^{30} 个,要产生这样涡胞的概率,极其微小,因此 Boltzmann 原理不适用”,此话更有问题.因为系统中粒子受到外界不同力场时,原不能应用 Boltzmann 原理.譬如

3.2 漩涡环

有些吸烟者,可以在他的嘴舌协调动作下,吐出一个香烟环(图 3),流体力学称为漩涡环^[14](Vortexring).这个环能向前运动,然后逐渐消失.

漩涡环是在远离平衡的烟气中,形成的一个新的有序结构.它是嘴舌巧妙的联合行动而产生的,因此不是每个吸烟者都能吐出环来.参加环的气体分子,都属于呆子.显然,它们不是自发组织起来的,是按严格的外力驱使而成的.

漩涡环形成后,具有一定能量,使之向前运动,及至能量耗尽,环即消失.它与 Benard 涡胞相同,都是动的结构,耗散能量,理所当然,并无特殊之处.

3.3 龙卷风

龙卷风是我们所熟知的一种可怕的灾害性气象现象,它是发生在有限地区伴随有强烈的旋风.龙卷风有多种形态,图 4 为一种宏观形态,图 5 为一种精细结构^[15].

龙卷风直径平均约 250m,移动距离一般为几百米至几公里,个别可达几十公里.在整个运行中,有时还会由一种形态变为另一形态,都是在远离平衡状态中产生出来的一种新结构.这种新结构的产生,必须要有极大驱动力,使亿万个呆子,按外力作用而排列,按外力方向而运动.如认为新结构是呆子自发组织起来的,简直是神话.总之,我们把系统中粒子

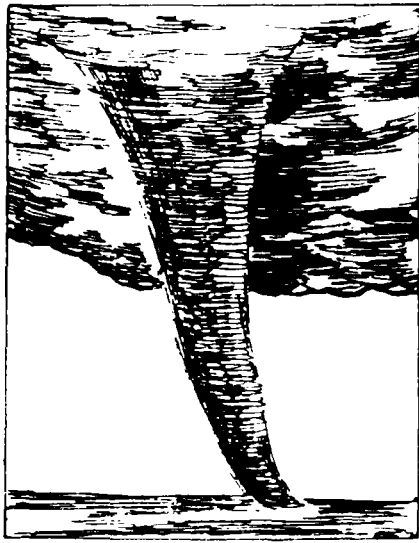


图4 龙卷风的宏观状态

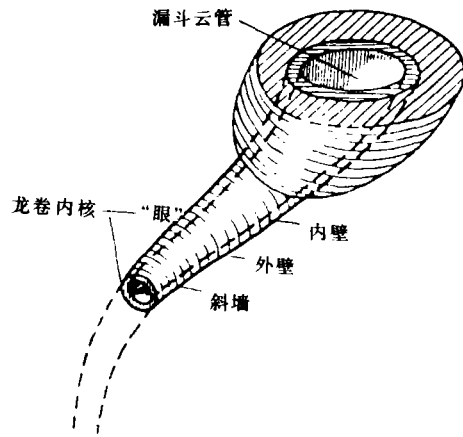


图5 龙卷风的一种精细结构

区分为三类,有其必要。只有活子,可具有自发组织的可能,灵子和呆子皆不可能。Benard 涡胞、漩涡环、龙卷风等,都不是其中粒子自发组织起来,都是按严格的外力作用而形成的。它们要耗散能量,是理所当然,并无特殊之处。

致谢 清华大学陈南平和上海交通大学徐祖耀教授对本文提了不少宝贵意见,深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Nicolis, G., Prigogine, I., *Self-organization in Non-equilibrium Systems*, Wiley-Interscience, N. Y., 1977, 2, 7, 23.
- [2] Grandsoff, G., Prigogine, I., *Thermodynamics Theory of Structure Stability and Fluctuations*, Wiley, London, 1971, 182, 200.
- [3] Prigogine, I., Stengers, I., *Order Out of Chaos*, Yi Wen Press, Shanghai, 1984, 185—187.
- [4] 普利戈金,从存在到演化,上海科学技术出版社,上海,1986, 185—187.
- [5] 湛恩华等,普利戈金与耗散结构理论,陕西科技出版社,西安,1982.
- [6] 沈小峰等,耗散结构理论,上海人民出版社,1987.
- [7] 宋毅等,耗散结构论,中国展望出版社,北京,1986.
- [8] 曾忠胜,百科知识,1989, 120(7): 59.
- [9] 陈琼华,生物化学,第二版,卫生出版社,北京,1987, 321.
- [10] Bendall, D. S., *Evolution from Molecules to Men*, Cambridge University Press, 1983, 105.
- [11] 陶正耀,中国机械工程学报,1980, 16(3): 37.
- [12] Tao Zhengyao, *Materials Science & Engineering*, 1982, 140(56): 73.
- [13] Chardraschar, S., *Hydrodynamics and Hydromagnetic Stability*, 1961, Dover Edition, 1981, Dover Publication Inc, N. Y., 9—75.
- [14] Tatume, T., *Turbulence and Chaotic Phenomena*, North-Holland, Amsterdam, 1988, 223.
- [15] 许以平等,龙卷风,气象出版社,北京,1988, 15, 42.