

38 亿年来,地球在近似封闭状态下进化 ——自组织理论面临的一个难题

The Earth Has Been Evolving in Approximately Closed Condition since
3 800 Million Years ago

陈之荣

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100101)

在《天地生人学术讲座》(在中国科学院自然科学史研究所的支持下,该讲座已历时 10 年,举办了 400 多次讲座)第 393 讲和第 403 讲上,对地球是相对开放系统还是相对封闭系统展开了热烈争论。随着争论的深入,与会者对系统划分标准的不同理解也显露了出来。其实,这种分歧在学术界早已存在。在两次讨论会上笔者都主张,距今 38 亿年以来,地球在近似封闭的状态下进化。笔者在本文中结合讨论会上争论的焦点和学术界在此问题上的分歧,进一步阐述自己的观点,并认为这实质上是自组织理论中面临的一个难题。

一、系统划分的标准

在大中企业工作,也有一部分自己创办了企业。

据“旅英中国工程师协会”对其会员的调查结果:有 89% 的人认为自己已掌握了先进的技术;约有 34% 的人认为自己已掌握了世界领先的专业知识及技术。

6. 法国

据 1998 年年底的不完全统计,自我国 20 世纪 70 年代末恢复派遣留学生以来,来法国留学的人员达 9 861 人,其中已经回国 4 399 人、转第三国 975 人、滞留在法国 4 487 人(其中公派生和自费生各一半,加入法国籍约 400 人)。留法学生中,大部分是 80 年代来法,也有一部分是在国内拿到学位后于 90 年代来法并正在谋求法国长期居留权的。

旅法华人科技专家约有 1 000 人,他们进入了法国的科技界、教育界和工业界,仅在法国国家科研中心工作的就有 90 人。有相当一部分人在科研教学第一线勤奋工作,取得突出成就,得到法国同行的赞许;有的已崭露头角,成为实验室、教研室或课题组负责人,在法国科技界、教育界和企业界有一定的影响和声誉。现在,他们完成了在法国立足和安家的阶段后,很想为国内做一些力所能及的事情,并自发地成立了自己的学术组织。

“全法中国科技工作者协会”成立于 1994 年,现有农业、生物与医学、化学、法律与经济、能源与环

境、信息技术、数学、力学与材料、物理、交通运输 10 个分会。该协会都是具有博士学位水平的科技人员,目前,正式会员有 150 多人,另有 80 多人已提出申请。“中国留法工程师协会”成立于 1996 年,现有 18 个分会,共 160 多名会员,都具有博士或硕士学位。上述两个协会的宗旨大致相同,目的是增进会员之间的相互了解,促进中法科技、经济交流与合作,加强与法国科技团体的交流。

在物理学上,根据系统与环境之间物质和能量的交换情况,将系统分为 3 类:与环境没有物质和能量交换的孤立系统;与环境有能量交换而无物质交换的封闭系统;与环境同时具有物质和能量交换的开放系统。在现实系统中,与环境没有任何物质和能量交换的孤立系统实际上很难找到。它只是一种理论抽象,但在研究中还是有意义的。而只与环境有能量交换的系统,以及与环境同时具有物质和

境、信息技术、数学、力学与材料、物理、交通运输 10 个分会。该协会都是具有博士学位水平的科技人员,目前,正式会员有 150 多人,另有 80 多人已提出申请。“中国留法工程师协会”成立于 1996 年,现有 18 个分会,共 160 多名会员,都具有博士或硕士学位。上述两个协会的宗旨大致相同,目的是增进会员之间的相互了解,促进中法科技、经济交流与合作,加强与法国科技团体的交流。

四五十年代来法的华人科技专家约 50 人,他们为促进中法科技交流,特别是在我国改革开放初期建立中法科技合作关系起到了牵线搭桥的作用。目前,他们中的大多数已退休或即将退休,但仍在继续为中法科技合作出力,如著名力学专家沈士本先生和吴达文夫妇自己出资设立科技奖项,鼓励在法工作的中国科技工作者。80 年代来法的华人专家注意发挥群体的作用,如 1998 年他们组织“支援中西部地区开发考察团”赴兰州,促成了 58 个合作项目,其中包括抗癌药物和生物降解农用地膜的研制、纳米技术开发等。旅法华人专家在中法高技术合作和创建联合实验室方面也成效显著,如,生物学家汤明毅教授担任“促进科学技术研究中法协会”副主席,积极组织和管理中法政府间高技术合作计划(PRA);王肇中博士与中科院合作在北京组建纳米科技中心。

(责任编辑 肖庆山)

能量交换的系统却是客观存在的,将它们区分开来十分重要。因而在没有找到更合适的系统划分标准之前,采用上述标准将系统划分为孤立系统、封闭系统和开放系统是可行的。其实,许多学者(包括一些著名学者)正是这样做的。在以下的讨论中,笔者也采用这种系统划分标准。

二、地球是个近似封闭的系统

1. 两种对立的观点 自从一般系统论、耗散结构理论和协同学等传入中国以来,地球科学界普遍相信,地球是个开放系统。但笔者认为,对于地球系统的某一要素或某一局部来说,在绝大多数情况下,上述判识都是正确的。而对整个地球来说,其正确性还有待证实。在系统科学界,已有人明确提出地球是个封闭系统的观点。例如,耗散结构创始人、诺贝尔奖获得者普利高津等人在“复杂性的进化和自然界的定律”一文中写道:“如果我们忽略落下的流星和宇宙尘埃,地球就足以成为一个封闭系统的例子”;并用一幅图加以说明,图题为:“地球近似地是一个封闭系统”^[2]。在《怎么办?》一文中,我国学者徐京华也写道:“地球基本上是一个封闭系统,对外没有物质的经常的交换,只有能量的交换。”^[3]1990年,笔者认为,以距今38亿年为界,地球在此前为开放系统,在此后为近似的封闭系统^[4]。

2. 人类地球时期 人类地球即现代地球也时常从太空中获得物质,但其规模并不大。有人估计,每年约有1500个质量大于10公斤的陨石击中地球^[5];又有人估计,每年进入地球的物质约有20万吨^[6]。相对而言,这一点物质交换,并不能改变行星地球的封闭性质。自人类诞生以来,地球(主要是其表层)已发生了深刻变化。在这期间,地球与天文环境的能量交换是不可缺少的,第四纪冰期和间冰期的更替,主要就是由这种能量交换的变化引起的。在这期间,物质交换对地球实质上并没有多大影响,因而人类地球实际上是个近似封闭的系统。

值得一提的是,生态学家普遍认为,生物圈(广义)是个封闭系统。因为生物圈通过吸收太阳短波辐射,并以长波形式向生物圈以外排放废热而获得自由能,但其内部的物质流动则是循环的。在《生物圈科学引论》中,刘国城等人写道:“生物圈整体,在物质流动方面基本上是封闭的,它的正常功能可以不依赖于系统之外的物质输入输出,也就是说它的物质流动基本上形成一种循环过程。”又写道:“宇宙粒子流、陨石这些物质经常进入大气圈,甚至到达地表,但其数量与生物圈中物质流动量相比,微乎其微,而且大多数不是生物所需的主要物质……地球与宇宙空间的物质交换,基本上不能改变生物

圈物质循环封闭性的特点。”^[7]

3. 生物地球时期 生物地球就是地球上生物以来的地球,即距今38亿年前至人类地球出现这段期间。与它之前的地球相比,这期间陨星撞击地球的数量已急剧减少。据统计,全球已发现和报道的陨石坑还不到200个^[8]。据计算,直径大于1Km的小行星与地球相撞的概率为0.25Ma一次;直径等于或大于10Km的小行星与地球相撞的概率为30Ma一次(有人认为100Ma一次)^[9]。因而较大陨星撞击地球实际上是极为罕见的现象。它对地球的扰动和破坏,并没有危及地球(包括地球生物界)的持续进化。此外,陨星撞击地球造成的扰动和破坏,主要不是陨星带来的物质数量和种类,而是冲击能的大小。

三、地球在近似封闭状态下进化

开放系统可以发展、进化,这已为大量科学事实所证实。但封闭系统情况怎样?在《熵:一种新的世界观》一书中,杰里米·里夫金等人根据物理学上的系统划分标准,认为地球是个封闭系统;并主张封闭系统必然退化,从而得出地球史是一部退化史的结论。他写道:“我们还必须反复强调,地球上物质材料的熵也是在不断增长,并将最终达到最大值。这是因为地球相对宇宙来说是个封闭的系统。”这是贯串全书的基本观点,类似的论述不少,这里不再赘述^[10]。

封闭系统是否能进化?地球史是一部退化史还是进化史?这是一个重大的理论问题。前已提及,距今38亿年以来,地球是个近似封闭的系统,以下我们将进一步论证,它演化的总趋势是进化而不是退化。

1. 多样性增加 从地球圈层来看,地球在38亿年以来的期间增加了生物圈和人类圈,在陆地生物圈和风化壳之间还形成了土壤圈。多样性增加在生物圈表现尤为突出。海洋是生物的摇篮。海洋生物经历了从单环时期(菌类)、双环时期(植物和菌类),到三环时期(动物、植物和菌类)。陆地生物是由海洋生物演化而来。陆地高等生物从蕨类植物和两栖动物起,依次迭加裸子植物和爬行动物,及被子植物和哺乳动物,等等。现代生物界由几百万甚至几千万种物种构成。生物多样性的增加,不仅表现在物种上,还表现在基因和生态系统上。多样性的增加,一方面使地球变得更为丰富多采,同时还提高了地球系统的稳定性和抗干扰能力。

2. 自由能增加 地球表层的主要能源是太阳辐射。太阳辐射在地球演化史上虽有变化但变化并不很大。然而,在此期间,地球自由能却在明显增加。生物圈的形成和发展,使太阳辐射能转变为生

物化学能的数量越来越多。通过光合作用,现代绿色植物每年大约使 $418 \times 10^6 \text{ kJ}$ 太阳辐射转变为生物化学能(相当于每年生产干物质 $200 \times 10^9 \text{ t}$, 或 $116 \times 10^9 \text{ t}$ 净第一性生产)^[7]。通过食物链,大约有 $20 \times 10^9 \text{ t}$ 绿色植物生产的(干)物质维持着动物的生活,等等。随着生物圈的发展,自由能也在不断积累。几十亿年以来,以有机炭形式贮存的化学能约为 $58 \times 10^{25} \text{ J}$; 以游离氧形式贮存的化学能约为 $1.756 \times 10^{25} \text{ J}$ ^[7]。人类圈的孕育、形成和发展,不仅通过不断扩大的农业生态系统,将越来越多的太阳辐射能转变为人类生活所需的自由能(如粮食和肉类等中的自由能),不仅促使自然生态系统中的生物化学能、水能和风能等转变为人类活动所需的自由能,而且还将亿万年以来埋藏在地下的太阳辐射能(如煤、石油和天然气等)和地球系统本身的核能转变为人类活动的自由能(此类转变也带来了一些问题,这里不再细说),等等。

地球是个庞大的系统。它的进化表现在很多方面,以上提到的仅是其中的两个方面。距今 38 亿年以来,地球之所以能进化,主要是因为它具备以下条件:(1) 地球是一个质量适中、引力占绝对优势的系统;(2) 它在太阳系中处于有利位置;(3) 地球有内外两种强能源,在漫长的岁月里又相对稳定;(4) 地球有丰富的物质构成,等等。只要具备这些条件,地球的发展、进化是不可避免的。当然,地球的进化是非线性的,它包括渐变和突变两种形式。地球系统突变的发生,除了存在引起突变的内外因子,还同地球长期以来在近似封闭状态下演化有关,与其已成为一个内部紧密联系的有机整体、易于放大突变因子的作用有关。

四、自组织理论的难题

用系统科学概念来提炼距今 38 亿年以来地球进化史,使自组织理论处于两难的境地:或者是修改“只有开放才能发展、进化”的论断,以便符合只要条件具备,开放系统和封闭系统都可发展、进化的客观事实;或者是修改系统划分的标准,以便符合“开放才能发展、进化”的观点。本文主张修改(作为自组织理论基本原理的)只有开放才能发展、进化的论断,因为这样既符合客观事实,也可避免由于修改系统划分标准而带来的许多难以克服的问题。

如果采取修改系统划分标准的办法,即把是否与环境进行能量交换作为判断是不是开放系统的标准,即,有能量交换的为开放系统,无能量交换的为孤立系统或封闭系统,那么,与环境既有能量又有物质交换的系统称为什么系统?称之为开放系统还是别的什么系统?有人采用抹去封闭系统和开放

系统界线的办法,直接把“热力学意义上的封闭系统归入开放系统之中”,进而认为“现实的系统,无论它是物理的、化学的,还是生物的,乃至是社会的,总是处于与它系统的相互作用、相互交换之中,即总是处在开放之中”^[11]。其结论无疑是,现实系统都是开放系统。如果这一结论能够成立,那么,说“开放才能发展、进化”;“开放是耗散结构形成的基本条件”等就失去了规定意义。这样一来,说一个现实系统是开放系统就如同什么也没有说。这里顺便指出,如果将封闭系统归入开放系统,则开放系统论者非但不能否认(按物理学意义划分的)封闭系统也能发展、进化的观点,反而从另一侧面证明了后者的正确性。

现实系统是否需要划分,根据怎样的标准来进行划分才是合理的?我们知道,物质、能量和信息是构成客观世界的三大要素,有人称之为“三宇宙核”。由于物质和能量还是信息载体,在宏观世界中,物质和能量又是相对独立的,因而采用与环境是否有物质和能量交换作为系统划分的标准是合理的;虽原来是属于物理学的系统划分标准,但实际上可实用于所有系统(当然还需进一步发展)。如果仅用与环境是否有能量交换作为系统划分的标准,从客观世界的基本构成角度来看,是片面的。有人为了既满足按能量交换标准来衡量是否属于开放系统,又兼顾按物理学标准来划分开放系统和封闭系统,对开放系统又作了进一步划分。如将开放系统划分为只有能量交换的开放系统和同时具备物质和能量交换的开放系统。按照这样的划分,普利高津等人主张的“地球近似地是一个封闭系统”也就直接变成了“地球近似地是一个只有能量交换的开放系统”^[11]。转了一圈,又回到原处。所不同的,就是多了一些容易混淆的名词。这只能算是一种文字游戏,并无实际意义。

物理学上的封闭系统和开放系统与其环境都有能量交换。但前者没有(或可忽略不计)物质交换,而后者则必须进行物质交换。认识这种区分在实际上有着重要的意义。例如,作为开放系统的城市或生物体的生存和演化必须从其环境输入物质资源,并向其环境排出废物,否则很快就要退化和消(死)亡。而作为(近似)封闭系统的地球,在 30 几亿年的进化史中,并不依靠从地外输入物质资源,也不依靠向地外输出废物。在现代地球系统中,由于人口的迅速增长和经济的快速发展,已使地球资源呈现匮乏态势,也使地球环境污染从局部扩展到全球。解决地球资源和环境问题应着眼于地球自身,而不是与地外的物质交换。即使到将来,随着宇航事业的发展,可用人为的办法从地外输入一些资源和向地外排出一些废物,那也是十分有限的。这

(下转第 12 页)

广度和新颖性,甚至也不取决于它的博士和硕士,而在于它拥有大师和学者这一共同特征;大学的成功像个人的成功一样,主要立足于研究的专门化;大学应该专注于专门教育(technical education)而不应该忙于职业培训(professional instruction),因为后者可以最有效地在律师会所、建筑师办公室、工程工场、政府部门或医院病房去习得;今天大学和学院用职业培训代替训练的倾向是一种致命的倾向;学术发展的目的应该集中在作为一种思维训练的心智发展上,它可以借助哲学,或借助语言,或借助科学做到这一点,但是它不能用任何纯粹职业培训的方式去实现。所谓专门教育,皮尔逊认为是指某种与在职的实际、程式和习惯的培训截然不同的东西;它并不在于学习技艺,而在于通过学习每一种职业基础所必须依托的科学分支而发展心智。皮尔逊指出,对专门教育的真正检验在于是否能够肯定地回答这样的问题:它对于没有职业追求打算的人是否提供了合适的智力训练;如果我们当时且仅在当时就能够作出肯定的回答,那么就可以断定它是学术研究的恰当主题。皮尔逊对用许多事物的表面知识打断教育中的连续性很不满意。他称此种作法是“土表追肥”,而下层土却从未被翻转和培育。从这种立场出发,他指出:

“学术教育(academic education)将愈来愈成长为专门教育;一个人在彻底审查了一个小知识领域的过程中训练了他的心智,看到了它的已解决的和未解决的问题,甚至在某一开拓性的工作中尝试了他自己的能力,他就受到了将受益一生的训练,不管他日后把他的心智转向什么。我能够设想心智训练的巨大普遍性,在这种训练中,整个教学力量应该致力于问题的产生、计划练习和发展富有青春活力的心智,而不考虑他们对准的真正知识。这样的体制十

(上接第21页)

是由地球系统的封闭性质决定的。

人类已进入宇航时代,少数人在其它星球上定居势将成为现实。这就需要人工设计的生物圈Ⅱ。生物圈Ⅱ正是地球生物圈简化的模型。它们与宇宙飞船一样都是封闭系统。在茫茫的宇宙中,地球实际上就是一艘地球号“宇宙飞船”。难道不是吗!?

参考文献

- [1] 曾国屏. 自组织的自然观. 北京大学出版社, 1996, 88
- [2] I·普利高津等. 复杂性的进化和自然界的定律. 见: 普利高津与耗散结构理论(湛垦华、沈小峰等编). 陕西: 陕西科学技术出版社, 1998, 149~ 211
- [3] 徐京华. 怎么办? 见: 现代科学的哲学争论(孙小礼主编). 北京大学出版社, 1995, 403~ 410
- [4] 陈之荣. 地球系统不可逆过程的熵解释. 自然杂志, 1990, 13(3): 156~ 160

分接近前一代剑桥数学学派的体制。^[10]

参考文献和注释

- [1] 裴斯泰洛齐是瑞士教育家。他认为每个人都有与生俱来的发展机能和受教育的权利, 坚信人性具有无穷的应变能力, 人的道德修养和知识造诣由他自己负责, 而教育则发展人的天生才能, 使他能够独立思考问题。他曾办过两个学校作为教学试验基地, 以证实他在德育、智育和体育三方面的教学法。该教学法旨在培养学生自给、自立、自助和助人的能力。
 - [2] 福禄培尔是德国幼儿园创始人和教育改革家。他从小就养成了细心观察事物的习惯, 对大自然产生了浓厚的兴趣和感情。他坚信每个人都有通过自我教育发挥自己性格特点和才能的权利, 并建立了学前教育的理论体系。
 - [3] 赫尔巴特是德国哲学家和教育家, 现代科学教育学的奠基人之一。他主张教学要有5个正式步骤, 即备课、授课、联想、概括、应用。
 - [4] K. Pearson, *The Ethic of Freethought*, Second Edition, Adam and Charles Black, New York, 1901, 185~ 192
 - [5] K. Pearson, *The Grammar of Science*, Walter Scott, London, 1892, P. viii (该书《科学的规范》由李醒民译, 华夏出版社1999年版)
 - [6] K. Pearson, *The Grammar of Science*, Second Edition, Adam 82 Charles Black, London, 1900, P. xi
 - [7] K. Pearson, *National Life from the Standpoint of Science*, Second Edition, Cambridge University Press, 1901, 35~ 36
 - [8] W. H. Brock, *Science for All, Studies in the History of Victorian Science and Education*, Variorum, 1996, P. xix
 - [9] K. Pearson, *The Academic Aspect of the Science of National Eugenics*, Published by Dulau and Co. Ltd., London, 1911, 13~ 16
 - [10] K. Pearson, *The Scope and Importance to the State of the Science of National Eugenics*, Second Edition, Published by Dulau and Co. Ltd., London, 1909, 3, 5, 6~ 8
- (责任编辑 孙立明)

- [5] J A. 雅各布斯. 地球学教程(吴佳翼、陈养正等译). 地震出版社, 1979, 8
- [6] 李启斌. 人类生存的外空环境. 见: 世界数据中心中国中心与地球系统科学数据. 北京: 科学出版社, 1995, 88~ 90
- [7] 刘国城, 孙天经, 傅兰鹤, 李玉峰. 生物圈科学引论. 东北林业大学出版社, 1994, 84~ 88
- [8] 覃功炯, 欧强, 常旭. 国内外对天体撞击地球的撞击构造研究的新进展, 地学前缘, 2001, 8(2) 345~ 352
- [9] 殷鸿福, 徐道一, 吴瑞棠. 地质演化突变观. 中国地质大学出版社, 1998, 107
- [10] 杰里米·里夫金, 特德·霍华德. 熵: 一种新的世界观. 上海译文出版社, 1987, 239、32
- [11] 周曼殊. 改革、开放与复杂系统. 国防科技大学出版社, 1990, 23

(责任编辑 蔡德诚)