

doi: 10.15936/j.cnki.1008-3758.2015.01.002

# 科学问题的生成及其进化机制

刘敏

(东南大学 人文学院, 江苏 南京 210096)

**摘 要:** 问题本身启动着科学探索的机制,从某种角度讲,一部科学史就是一部科学问题的生成和进化史。科学问题的生成和发展符合自组织演进模式,“问题系统”以超循环方式推动科学进步。其中,问题涌现的起点、选择的标准及问题系统进化的机制是揭示问题超循环发展模式的关键点。科学问题展开和深入的过程不是某个问题的“孤军奋战”,而是这一科学领域中的问题系统在若干因素非线性耦合作用下的“联合作战”,共同推进科学知识的增长和科学研究的进步。

**关键词:** 问题学; 问题系统; 超循环; 生成; 进化

**中图分类号:** N 031

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1008-3758(2015)01-0008-06

## On the Generation of Scientific Problems and Its Evolutionary Mechanisms

LIU Min

(School of Humanities, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** A problem itself could trigger the mechanism of scientific exploration. To some extent, the history of science is the generating and evolutionary history of scientific problems. The generation and development of scientific problems accord with the evolution model of self-organization, and the “problem system” promotes the progress of science with the hypercycle model. The starting point of emergence, the criteria of selection and the mechanisms of evolution are the key points of the development model of problem hypercycle. The process of developing and exploring scientific problems is not a single battle on a single problem but a joint operation under the influence of nonlinear coupling in one scientific field, by which to promote the growth of scientific knowledge and the progress of scientific research.

**Key words:** problem study; problem system; hypercycle; generation; evolution

科学问题对于科学的历程及科学知识的增长都非常重要,而“问题”本身,无论在科学研究的现实语境中还是在科学的历史研究中都占有重要地位。然而20世纪以来,在科学哲学的视域中,“问题”“科学问题”及“科学问题学”并未得到应有的

重视。本文以科学问题的生长形态<sup>①</sup>为主要研究对象,探讨科学知识在问题系统<sup>②</sup>自组织的运动形式下生成和进化的机制。基于问题本身的生成性、涌现性和科学发展的自组织性,笔者主张在系统复杂性的视角下看待问题学<sup>③</sup>。

**收稿日期:** 2014-05-26

**基金项目:** 国家社会科学基金资助项目(14BZX116, 11BZX031)。

**作者简介:** 刘敏(1977-),女,内蒙古巴盟人,东南大学副教授,哲学博士,主要从事系统科学哲学、科学史研究。

① 本文所谓“科学问题的生长形态”,主要是指科学问题的组织模式、选择机制及其增长方式等。

② 问题系统是本文重点提出和探讨的一个概念。笔者认为,科学知识是在问题系统的自然选择及其进化的基础上增进的。

③ “问题学”是一个正在创建中的概念。目前国内外学术界对“科学问题学”的研究尚未形成核心团队或明显学派,其概念体系的构建尚未确立,笔者认为这是一个亟待深入研究的学术方向。

## 一、复杂性视野下的问题学

在科学思想史的背景下,科学问题的孕育、形成、提问方式的变迁、问题的解决,以及后续衍生问题的产生等等是一个永不停止的从问题到问题的循环过程,这是一个非线性的生成过程,而不是线性的构成过程,须用一种非线性的复杂性视角来看待。复杂性视角与简单性视角的根本冲突在于生成论与构成论的冲突。系统科学复杂性视角的生成论对于经典科学的简单性视角下的构成论是一种认识论的革命。不同的视角决定了我们看到的是同一个世界的不同内容。正如库恩所说:“革命之前科学家世界中的鸭子到革命之后就变成了兔子。”<sup>[1]</sup>构成论认为事物发展变化的原因是由其组成要素(如原子等)的排列状态或运动状态决定的,整体等于部分的线性叠加,世界可以用还原论和分析法来研究;生成论认为,事物发展变化是一个产生和消逝不断交替的演化过程,强调自组织、不可逆和非线性,叠加原理失效,超越还原论。经典科学强调规律的简单性,系统科学强调要正确对待复杂系统的复杂性。与构成论不同,生成论视角强调生成性、时间性、过程性、整体不可分割的非线性、不确定性与自组织性;在研究方法上,生成论抛弃了线性叠加和因果决定论,注重研究系统的条件和性状、开放和转化、涌现和突变、演化和分岔等<sup>[2]</sup>。生成论主张一种动态的、自组织的自然观。

“问题”是科学哲学中的一个重要领域,虽然目前国内外尚未形成问题学的核心研究团队,但这并不能掩盖问题在科学研究中的灵魂地位与重要作用。问题“是整个研究工作围绕旋转的轴,……每个研究工作的核心是问题”<sup>[3]</sup>。波普尔曾说:“正是问题才激励我们去学习,去发展我们的知识,去实验、去观察”<sup>[4]</sup><sup>[318]</sup>。“科学和知识的增长永远都是始于问题,而终于问题——愈是深化的问题,愈能启发新问题的问题”<sup>[4]</sup><sup>[318]</sup>。科学问题的产生本身就有一个生成和不断进入高层次循环的特征,这种循环是由多种因素决定的。科学问题的产生和发展具有生成性、过程性和涌现性。所以,笔者主张研究科学问题的生成模式及演化进路,应该用复杂性的生成论眼光。

在复杂性视野下研究问题学,我们应该建立“问题系统”的概念。问题系统,是指在同一研究领域内,由某一“元问题”所引发的一系列相互关联、

相互作用的问题所形成的问题群。在问题系统的概念体系下,问题的组织形态包括以下要素:元问题、子问题、问题链、问题网、问题群等。问题与其衍生问题之间的关系也不是线性叠加和直线推导的关系,而是一个动态的、非线性自组织的过程。从元问题到衍生问题是形成问题系统的过程,恰恰也是科学进步的过程。正如波普尔所说:“在科学水平上,试探性的一个新猜想或新理论可能会解决一两个问题。但是它总要引发许多新的问题,因为一种新的革命性理论的作用正如一种新的、有效力的感觉器官。如果这个进步是有意义的,那么新问题的深度就根本不同于旧问题。”<sup>[5]</sup>

## 二、科学问题在超循环机制中发展

从元问题到问题系统,是一个自组织地生成和演化的过程。这期间充满了转化、涌现、突变、分岔等变化。科学问题的生成和演化过程符合超循环模式。笔者认为,循环是问题系统存在的形式,也是问题系统发展的形式。

超循环理论(hypercycle theory)是德国化学家曼弗雷德·艾根(Manfred Eigen)于20世纪70年代创立的,是从生命起源和生物大分子进化机制研究中得出的一种具有普适性的自组织理论。所谓超循环,即由循环组成的循环,嵌套着循环的循环。按照艾根的理论,我们可以将超循环模式概括为从低到高的三层嵌套循环:

① 反应循环,相当于一个催化剂,在循环中再生着自身,即自产生的过程。

② 催化循环,在不断地自复制的过程中成就着循环本身。

③ 超循环,由催化循环组成的循环、更高级的循环,即循环的循环。

艾根明确指出,超循环是“在自复制元素中的一个有组织的整体,在这个整体中,导致筛选的竞争通过相互依赖的简单形式被连接在一起”<sup>[6]</sup><sup>[2]</sup>。或者说“超循环是由催化循环组成的循环,是较高等级的循环。”<sup>[7]</sup>。纵观科学史,我们不难发现科学发展中的循环现象比比皆是,如波普尔的证伪主义模式从“问题”出发,终止于“问题”;库恩的科学革命模式从“常规科学”起,到“新常规科学”止,都是循环的形式。“如果在科学发展的某些循环过程中的环节上又存在着循环(即自循环),该循环过程就可以称为‘超循环’。”<sup>[8]</sup>无论是波普尔的

“问题”还是库恩的“常规科学”,内部都不是风平浪静的直线发展,都存在不同程度的循环。

在科学问题生成和拓展的过程中,信息量的积累和提取不可能在一个单一的不可逆过程中完成,而是多个不可逆的循环过程嵌套与耦合而形成的。问题的发展不是直线累积,科学问题的产生渠道和拓展模式显示出超循环特征。

### 1. 问题的反应循环

问题是科学研究的起点。问题产生的土壤包括许多因素,它可能来源于观察,也可能来源于经验与原有理论的矛盾;可能来源于同一理论体系内部的逻辑矛盾,也可能来源于不同学科理论对同一现象解释之间的矛盾等。但矛盾的出现并不意味着问题本身的形成,从矛盾中准确提炼出有效的科学问题还要经历一个从粗糙到精确、从现象到语言的提纯过程,这本身就是问题自身形成过程的一个反应循环。图 1 是问题形成时的一个简单的反应循环图示。

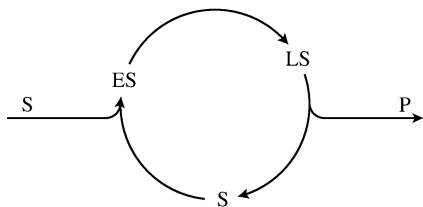


图 1 问题的反应循环:问题自产生过程

(S:问题意识; E:经验; L:逻辑; P:新生成的问题形态)

其中,经验 E 与逻辑 L 二者作为催化剂,与问题意识 S 结合,并不断相互作用,最终促成反应物 P(问题)的生成。这是问题形成过程中的一个简单的反应循环(现实情况可能要复杂得多,但机制如图)。这个反应循环本身相当于一个催化剂,在循环中不断再生着自身,表现为问题意识在经验与逻辑等的检验和催化下经过不断地提纯,以确立真问题,甄别和剔除无效问题、假问题和伪问题的过程。

### 2. 问题的催化循环

有效而表述精确的科学问题一旦确立,会成为下一个循环的起点。图 2 是催化循环过程中的一个简单图示。

科学家们依据问题提出假说,假说多数情况下只是对一个问题解的可能性猜测。假说将要经历观察、实验等经验检验,直至最后蜕掉假定性外壳而演化成理论。理论的确立是对问题的回答(或证实、或证伪)。从问题的确立到对问题的回

答——理论的形成,是循环层次的跃迁,实现了问题自循环基础上更高级别的循环。

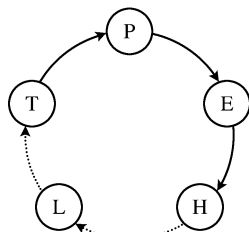


图 2 问题的催化循环:问题检验过程

(P:问题; E:经验; H:假说; L:逻辑; T:理论)

### 3. 问题的超循环

理论作为对问题的解答形成之后,自身并非不再运动,在新的经验事实推动下与本领域不断涌现的新问题互动、互摄等的作用下进一步推动研究的深入。自然界自身处在不停演化的过程中,随着新发现的不断涌现,总会出现一些原有理论解释不了的“反常”现象,这种反常与矛盾的存在会促使科学家提出新的问题,继而提出新的假说、新的理论,从而使问题循环的层次不断跃迁,实现了从问题到问题的多重循环在嵌套中生长(如图 3 所示)。

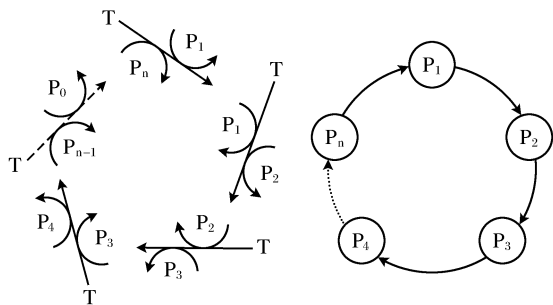


图 3 问题的超循环:问题系统形成

(P<sub>i</sub>:不同状态下的问题; T:理论)

以上简图示意了科学发展过程中问题系统的超循环发展模式。事实上,在问题发展的每个层次几乎都有超循环现象的存在。依上述分析,如果我们把问题生成的过程看做一个反应循环,把从问题的提出到理论形成后问题的解决看做一个催化循环,那么,从问题最初提出到由于反常的出现而提出更高层次的问题,这个过程即为一个超循环。图 4 表示科学问题生成层次的超循环图式。

如图 4 所示,科学问题生成过程中的任何一个节点都不可能孤立存在:问题在形成假说的过程中要接受逻辑和经验的检验,还要以原有理论为基础;假说的提出不但要与逻辑和经验相符,还要具备走向理论的预设性和指导性,等等。

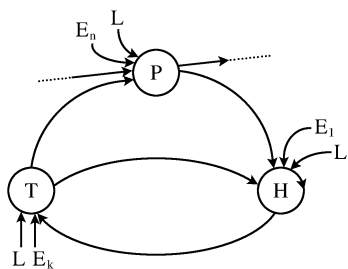


图 4 科学问题生成层次的超循环

(P: 元问题; E: 经验; L: 逻辑; H: 假说; T: 理论)

我们以发生在 16—17 世纪的经典力学革命的过程为例简要分析科学问题自组织超循环发展模式对科学知识的推进。众所周知,成就牛顿力学理论的“巨人的肩膀”包括开普勒对天体运动问题的思考、伽利略对地上物体运动问题的思考、胡克对引力与距离关系问题的思考、惠更斯对向心力问题的思考与认定等等,以上一系列问题的提出、思考和解决,层层相继,环环相扣,成就了牛顿万有引力公式的发现。万有引力公式出现并不代表着经典力学体系的确定与被承认,后续如果不是哈雷成功预测了彗星、赫舍尔偶然发现天王星及天王星的反常运动问题引起人们的思考并促使年轻的天文学家勒维烈认定和计算出天王星是被它附近的另外一颗行星——海王星所干扰,从而宣布了太阳系的第八颗行星的存在等一系列问题对万有引力公式的验证,牛顿力学也许不一定能得到承认,而牛顿力学若不能获得承认,经典力学体系的建立也将存有悬疑。

以上每个问题的形成本身就是一个不断循环的“提出问题—解决问题”的过程,而这些看似各自独立的循环在自组织的作用机制下形成了一个大的超循环,最终促成一个根本问题的解决,同时成就一个学科的确立。然而经典力学体系的建立并不表明物理学领域问题的终结,它与其后 300 年自然科学发展中的若干新问题形成的小循环又共同相互作用促成一个更大的问题循环的出现,它们从不同的侧面探讨和揭示着物质质量、能量、运动速度,以及时、空性质之间的关系,最终促成了相对论的出现,从此,牛顿的绝对时空观被爱因斯坦的相对时间观所超越,物理学进入新的历史发展时期。

以上案例粗略地分析了从万有引力公式产生

到 300 年后量子力学在问题循环中推进物理学理论与体系发展的状况。以上分析表明,某一学科领域中,从元问题到问题系统,随着问题循环等级的升高,问题超循环的体量不断加大,科学知识的版图也随之扩大。此时,如何保持问题系统的整体性、开放性和生成性——即保持问题的进化能力,则是我们必须研究的。

### 三、问题系统的进化： 由竞争到协同

超循环系统的进化信息诞生于不稳定,完成于稳定。“进化必定始于随机事件”,艾根在研究生物大分子进化时说:“无论‘开端’的确切含义是什么,在‘开端’处一定存在着分子的混沌”,“所以,与‘生命起源’相联系的事物的自组织,必定始于随机事件”<sup>[6]212</sup>。

问题生成的起点往往始于随机事件,在问题系统循环进化的过程中,既有确定性因素,也有不确定性因素。问题系统正是在各种因素的竞争中、在其组成要素——各个子问题间的竞争与协同过程中完成自身进化,推进科学进步的。

在生成论的复杂性视域下,科学问题的选择与进化存在于问题“生成”与“消逝”的循环之中。一个科学问题,怎样才能既被视为是“问题”又被界定在“科学的”视域内,即一个科学问题得以涌现的“起点”、选择的标准和进化的机制是问题学必须正面回答的。

#### 1. 问题涌现的起点

波普尔认为:“一个问题就是一个困难,而理解问题就在于发现困难和发现困难在哪里。”<sup>[9]</sup>从问题提出者的角度讲,问题来源于对困难的意识,即主体对“谜状态”之存在的感知。换句话说,困难的存在是问题产生的必要条件,而对“谜状态”的意识则是问题生成的一般起点。正如波兰尼所说:“一个问题,就是一个智力上的愿望。”<sup>[10]</sup>如果说问题等于目标状态与当前状态的差<sup>①</sup>,即  $P = S_t - S_p$  ( $P$  表示问题,  $S_t$  表示问题思考者所希望达到的“目标状态”,  $S_p$  表示“当前状态”),那么这个差距中的所有内容作为待探索的问题,都是“困难”的内在蕴涵。故,笔者认为问题生成的起点,在于

① 林定夷把问题定义为“目标状态与当前状态的差”,参考林定夷:《科学哲学——以问题为导向的科学方法论导论》,广州:中山大学出版社,2009 年版,第 366 页。



主体对困难状态的觉知程度及其解决困难之愿望的强烈程度。

问题产生的理论基础、实验背景和逻辑考量等是客观的,而问题的提出和确立由于加入了人的因素,所以不可避免地具有了主观的不确定性。自然规律是隐藏在大自然中的法则,人的作用在于揭示和发现规律,却不可能左右规律;但是科学问题却不同,如果没有作为主体的人的主动思考与提纯,问题不会成其为“问题”,更不可能成为“科学的”问题。科学问题的生成须兼备确定的客观性与随机的主观性两方面的条件。然而,正是这种主、客观因素分布概率的不确定性,一定程度上成就了科学问题生成和进化的随机性。

## 2. 问题在选择和分岔中进化

一个具有明确语句逻辑的问题一旦生成,其解决方案将涉及到选择与进化,类似于生物界的“自然选择”。像超循环理论揭示的自组织机制中生命通过选择而生存,以及生命建立后代谢、突变与进化一样,科学问题在科学的生态和土壤中也要经历“适者生存”的自然选择过程,经历涌现、突变、分岔等一系列自组织机制才能完成自身进化。

制约问题系统进化的因素,包括自然界演变的客观性,科学自身的逻辑一致性与简单性,问题与经验事实、假说及理论相互检验的融洽性等,所有因素相互作用的耦合之网随时对问题的存亡进行着筛选,这种筛选通常充满了偶然性。如在狭义相对论的研究中,“洛伦兹变换”的出现就充满偶然性,并对时空关系问题的解决起到了“自然选择”的作用。19 世纪末经典时空观受到质疑,洛伦兹试图用修补的方法挽救岌岌可危的旧理论,但他努力的结果却不由自主地超出了旧理论的框架。这就是后来被爱因斯坦发展为反对绝对时空观、支持狭义相对论的著名的“洛伦兹变换”。对此爱因斯坦曾形象地比喻说,好像一个医生在抢救一个临死的病人,虽然没有把人救活,但在抢救的过程中却发明了一些救人的方法。

选择和分岔的结局是形成问题系统暂时而相对的稳定。

图 5 是基于波普尔关于科学研究中猜想与反驳的理论模型  $P_1- TT- EE- P_2$ ,表达了某个科学问题生成后,其解决方案的选择性与分岔性。

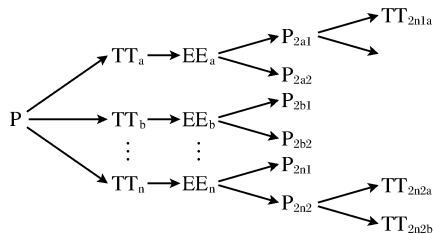


图 5 问题选择与进化生长片断图示<sup>①</sup>

其中,针对同一个问题  $P$  提出的不同试探性理论(tentative theory)  $TT_a$ 、 $TT_b$ 、 $TT_n$  等之间形成竞争关系。如 18 世纪生物学发展中为解决胚胎发育形成机制而产生的“渐成说”与“预成说”的竞争、19 世纪关于探究地壳变化成因的“灾变论”与“渐变论”的竞争等。能经得起  $EE$ (elimination of error,即错误排除)环节检验的生成新问题,进入下一轮问题循环。一个循环竞争的完成,表明一个竞争中的问题系统步入暂时的稳定,即进入一种协同状态。如以上事例中“渐成论”与“渐变论”的胜出。又如 20 世纪初波动力学与矩阵力学在一番激烈竞争之后,被证明是量子力学的等价形式,从而通过竞争达到协同。

## 3. 问题进化机制的特征

问题系统中的每个问题既能自我复制,又能对下一问题的产生提供催化作用,问题系统通过组织内各个子问题间的相互作用形成自组织机制,从而使系统向更高的有序状态进化。一个经受了检验的问题链的形成,对于整个问题系统的进一步进化与稳定起到了动力学作用。

沿着旧理论与新经验的矛盾出现的问题链,是促使问题得以选择和进化的“拟种”。艾根在对生物大分子自组织进化之选择的研究中引入“拟种”概念,拟种(quasi-species)是指,“通过选择而出现的、有确定概率分布的物种的有组织的组合”<sup>[6]29</sup>。即以一定的概率分布组织起来的一些关系密切的分子种的组合。在问题学视域下,一个相对稳定的问题链就是一个引发问题系统进化的“拟种”。作为“拟种”的问题链,是一个自复制单元,既是突变体,又是催化剂;在拟种的催化下,完成对问题的选择,生成无穷嵌套的问题循环生长系统,从而实现学科的进化。

进化信息诞生于不稳定,完成于稳定。科学问题的自然选择通过自稳定积累信息,通过超循

① 原图引自 2009 年林定夷出版的《用以描述问题的扩张伴随知识的增长》一书的第 347 页。本文借此图表示问题在选择与分岔中推进问题系统的进化与生长。

环完成进化。超循环的关键是自选择和自组织。从科学问题的超循环发展模式,我们可以得到以下关于科学问题生成进化机制的启示:

### (1) 自选择性

在科学问题生成发展的过程中,具有进化优势的突变体(拟种)作为偶然涨落<sup>①</sup>而出现,并通过自复制实现自我选择。这种自复制机制相当于“正反馈”放大作用。问题在经验、假说、理论的作用下,同时接受着科学自身逻辑性、简单性的约束,通过自复制,问题信息在本领域内将相似的突变体越“生”越多,从而汇聚和积累进化信息。这是一个选择的过程。

### (2) 自组织性

经选择生成的具有突变体性质的问题系统通过自组织进行功能整合。新出现的问题并不是立刻被认定为有效的、“科学的”问题。它们经历过竞争和协同的过程,逐渐实现功能的耦合,并在此过程中逐渐建立起负反馈机制,最终生成总体稳定的新问题系统。当然,这个新问题系统内部的子系统与子问题之间必然具备催化联系和功能耦合,才能使新的问题系统具有整体性及整体催化功能,从而作为更大循环功能整合的单元进入更高层次的问题系统的进化过程。

### (3) 自稳定性

内部子问题之间高度关联的问题系统在经历了多重反馈、自组织和自选择后,循环逐步趋于相对稳定。循环的稳定,意味着经历了反常和危机之后的科学逐渐进入新的常规科学时期。在新的稳定序中,问题系统的整体功能不断完善,信息不断积累,并层层转换传送,形成具有规模效应的多层嵌套的“长程相干”关联,最终使问题系统整体得以稳定生长,实现科学问题系统向高度有序的宏观组织进化。这是问题进化的过程,也是科学知识增长的过程。

## 四、结 语

本文借助超循环模式从哲学意义上描绘和刻画了科学问题的生长形态,揭示了问题系统的生成与进化在科学史上的动力学意义。科学问题超循环的进化机制不是线性叠加,而是一种非线性

生长。在系统复杂性视角下探究科学问题的进化模式让我们认识到,问题的进化影响科学历程,推动科学进步。劳丹曾说,“科学的本质实际上就是一种解题活动”<sup>[11]</sup>,但笔者认为,科学进步的本质并不是源于问题的解决,而是源于问题的不断展开和深入。如本文所析,科学问题展开和深入的过程不是某个问题在“孤军奋战”,而是这一科学领域的问题系统在若干因素非线性耦合的作用下“联合作战”,最终共同推进科学知识的增长和科学研究的进步。而揭示问题系统进化机制的影响因素及其与知识进化的关联,正是动态地研究科学问题学的意义所在。正如波普尔所说:“应当把科学设想为从问题到问题的不断进步——从问题到愈来愈深刻的问题。无论是科学理论,还是解释性理论,这些理论都只是尝试着去解决一个科学问题。也就是去解决一个与发现一种解释有关或有联系的问题。”<sup>[4]317</sup>也许正是在这个意义上,我们可以说,一部科学史就是一部科学问题的生成与进化史。

### 参考文献:

- [1] 库恩. 科学革命的结构[M]. 金吾伦,胡新和,译. 北京:北京大学出版社,2003:101.
- [2] 刘敏. 生成的逻辑:系统科学“整体论”思想研究[M]. 北京:中国社会科学出版社,2012:162.
- [3] Leedy P D, Ormrod J E. Practical Research: Planning and Design[M]. 8th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005:49.
- [4] 卡尔·波普尔. 猜想与反驳[M]. 傅季重,纪树立,周昌忠,等译. 上海:上海译文出版社,1986.
- [5] 卡尔·波普尔. 走向进化的认识论[M]. 李本正,范景中,译. 杭州:中国美术学院出版社,2001:165.
- [6] 艾根. 超循环论[M]. 曾国屏,沈小峰,译. 上海:上海译文出版社,1990.
- [7] 李曙华. 从混沌到有序[M]. 桂林:广西师范大学出版社,2002:174.
- [8] 沈小峰,吴彤,曾国屏. 自组织的哲学[M]. 北京:中共中央党校出版社,1993:338.
- [9] 卡尔·波普尔. 客观知识——一个进化论的研究[M]. 舒炜光,译. 上海:上海译文出版社,1987:192.
- [10] Polanyi M. Problem Solving[J]. British Journal for the Philosophy of Science, 1957(8):89-103.
- [11] 劳丹 L. 进步及其问题[M]. 刘新民,译. 北京:华夏出版社,1990:11.

(责任编辑:李新根)

① “涨落”在系统科学中表示指标对中心值的偏离。在问题系统中,导致涨落的因素是在开放的远离平衡态下发生的,对原有旧问题系统的稳定性形成挑战,但对新问题系统往往起的是建设作用,因为它推进了问题系统的进化。