DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2009.01.017

·基金纵横·

浅析国家自然科学基金"机理"类项目的研究内涵

王来贵[1] 朱旺喜[2]

(1 辽宁工程技术大学力学与工程学院，辽宁阜新 123000；
2 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部，北京 100085)

引言

国家自然科学基金在国家创新体系中的战略定位是支持基础研究，坚持自由探索，发挥导向作用。国家自然科学基金主要资助从事基础理论或应用基础理论的研究。基础理论或应用基础理论是以认识自然现象，探索自然规律，获取新知识、新原理、新方法等为基本使命。因此审批的国家自然科学基金项目中，以研究物质运动、发展等演化机理(或机制、原理)类项目占据了一定比例。在2003—2007年5年国家自然科学基金批准资助的项目中，检索含有"机理"主题词的分别占到8.6%(7459项中的641项)、8.7%(9074项中的791项)、9.2%(10191项中的937项)、9.2%(11860项中的1092项)、8.9%(14724项中的1314项)；检索含有"机制"主题词的项目年度分别为569、862、1029、1299和1653项，占年度总项目的7.6%、9.5%、10.1%、10.1%、11.2%；含有"原理"主题词的项目年度分别为55、48、71、76、84项，占年度总项目的0.7%、0.5%、0.7%、0.6%、0.6%。当然以研究"机理"、"机制"和"原理"为主要研究内容、但在标题中没有出现"机理"、"机制"和"原理"等检索词的基础研究、应用基础研究项目就更多，机理类研究的资助率总体上逐年增加。因此，探讨"机理"的内涵对申请、评审和完成国家自然科学基金项目具有重要作用。同时从广义系统科学的角度，统筹考虑系统演化的孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减等过程和控制因素，可了解物质发展的来龙去脉和前因后果，有利于预测、预报、评价、治理等重大问题的进一步研究。

1 演化与演化机理

从系统科学分析[1,2]，系统是由相互联系、相互作用的要素(部分)组成的具有一定结构和功能的有机整体。系统分为实体和虚拟系统。将所研究的对象、物质、事物、概念、组织、规章等看作系统，就可利用系统科学的研究成果进行广义、统一思路进行分析。

国家自然科学基金项目的任务和整个过程是围绕科学问题展开的。科学问题泛指研究中主体与客体、已知与未知的矛盾。根据提出问题的内容、性质和角度的不同，可把科学问题主要归纳为回答"是什么(what)"的陈述型、回答"怎么样(how)"的过程型和回答"为什么(why)"的因果型等三种主要形式[3,4]。但无论哪一类科学问题，本质上要揭示系统发生、发展、变化过程的规律，该过程中系统内在性质发生变化，即演化[5]。

系统结构主体(内因)与环境客体(外因)通过边界相互作用进行演化，演化是一个动态的非线性、非稳定过程。系统演化机理就是内、外因相互作用并进行演化的科学原理和规律。机理与机制的一个内涵是一致的，是指有机体的构造、功能和相互关系及某些自然现象的物理、化学规律[5]。

内因实质是系统的内部结构，是系统的构成要素(或子系统结构)在时间、空间上连续的排列、组合及相互作用的方式，是系统构成要素组织形式的内在联系和秩序质的规定性。系统结构包括系统的组分、结构形式和结合程度或者三要素，即组成部分、时空秩序、联系规则。系统结构中往往有一个或几个子结构支配着整个系统的演化特性，该子结构叫做该系统的主导子结构。系统功能或特性的复杂性来源其构成的复杂性。因此首先研究系统结构构成(或者是事物的内因)是研究系统演化机理的基础。

外因实质是系统的环境，是系统之外的一切事物的总和，包括外界对系统内部结构的一切作用因

本文于2008年10月23日收到.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

素。把握一个系统必须了解它处于什么环境，环境对它有什么影响，它又如何回应这种影响。因此研究系统环境(或者是事物的外因)是研究系统演化机理另一不可少的因素。

系统与环境(内、外因)间相互作用、相互影响，彼此之间通过边界有物质、能量和信息的交换和传递。演化过程实质上就是系统结构与系统环境相互作用、相互联系、相互影响、相互协调、相互干扰、相互约束、相互反馈、相互依存的过程；也就是物质运动的孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减、终止等非线性过程。该过程中，从孕育到潜伏、潜伏到发生、发生到爆发、爆发到持续、持续到衰减、衰减到终止等子过程都是总过程发展演化的一个阶段，一般可从一种状态转化为另一种状态。因此，在演化总过程中，有极值点或拐点；具有稳定过程、也可能有非稳定过程或发生突变；同时系统的组织、结构和功能也在改变和优化。因为系统与环境相互作用永远是非线性、动态、随机和非稳定的，但为了研究的可操作性，在特定的时、空范围内，可将系统及其环境相互作用看成是线性、静态、确定和稳定的。

从层次性分析，一个系统既是上一层次系统的子系统，又是下一层次系统的总系统。系统在结构形式、联接方式、参数分布及功能性质上的差异，表现在该系统对上一层次总系统为外部功能，对下一层次子系统为内部功能。因此，一个影响因素可以是上一总系统的内因，又是下一子系统的外因，从不同层次视角体现内、外因的互相转换。

2 机理类项目的研究方法、内容

自然科学基金“机理”类项目，是在凝练科学问题[6]的基础上从系统结构、系统环境以及系统的结构与系统环境相互作用分析为思路进行的。一般主要采用两种主要方法：一是实验研究，二是理论研究。实验是理论研究的基础，具有检验与证实的功能；理论是实验现象的升华，是归纳、抽象的结果，具有解释、指导和预见、推广的功能。文献[7]从科学实验是科学理论产生的基础、科学实验是检验科学理论的标准、科学理论是科学实验的指南、科学实验手段变革的重要作用等多个层面系统深入地论证分析了科学实验与科学理论的关系。因此在物质演化过程的每一个阶段，要发挥实验分析和理论研究各自的优势，各有侧重；实验与理论研究内容相互对应、相辅相成。

2.1 实验方法

实验方法有多种多样，根据测量手段、研究目的的不同，包括定性、定量研究或直接实验、模拟实验。模拟实验可分为物理模拟、数学模拟和功能模拟。将理论分析、实验测试与计算机技术相结合，数学模拟已经形成了数值实验方法，利用方案比较、优化和极端、最不利方案对比分析，可大大地缩小实验的范围、节省经费，并减少工作量。

对于证实性实验、探索性实验，主要是通过微观、细观、宏观甚至宇观物质运动过程中释放的信息，利用机械、声、电、磁、光等手段或物理、化学、生物等科学仪器，测试并解译。系统内部结构和外部环境即内、外因相互作用演化过程中，孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减、终止等不同演化阶段所释放的信息是不同的，即使在同一演化阶段可释放多种不同的信息。对于同一物体结构，不同外界条件，物体具有不同的特性，所释放的信息也不同。因此，在演化过程中，必须研究不同条件下、不同演化阶段可能出现的信息，尽量扑捉、采集并记录，为揭示系统演化的机理提供基础。

工程现场是1∶1的试件，现场监测、测试是对自然现象信息的捕捉和采集。从广义上分析，试件、样本、模拟试件、工程现场等都可作为实验研究的对象。因此实验研究首先考虑系统的结构构成，包括组成部分、时空秩序、联系规则。二是研究系统所处的环境或者是事物的外因。三是研究在简单实验环境或条件下系统的演化特性。四是比较复杂实验环境或条件下系统的演化特性。五是将实验数据进行科学分析、总结演化规律或验证理论结果、确定演化参数等。解决新问题、设计新实验、揭示新现象、利用新手段、发现新信息、寻找新规律、得到新结论及验证新理论等都是实验创新性的具体体现。

2.2 理论方法

理论是由概念、公式、模型、定理等知识单元组成、并由逻辑链条有机联系起来的知识体系。基础理论可通过逻辑方法，进行演绎、推理等来构建；应用基础理论研究一般是在实验研究或者现场测试分析基础上归纳自然现象、通过科学抽象升华形成的知识体系。

因此，在实验分析或现场监测的基础上，首先掌握系统演化过程并确立研究模型，将工程问题转化为科学问题[6]。二是对于物质孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减、终止等不同演化阶段，有可能采用不同的描述方法。三是从孕育到潜伏、潜伏到发生、发生到爆发、爆发到持续、持续到衰减、衰减到终止等不同发展阶段，是一个量变到质变的过程，具有不同

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的判据，各分阶段间具有连续性或转化条件，特别是质变的拐点，需要有明确的判据。四是对于一维或简单问题，尽量采用解析分析，寻找变量之间的对应关系和控制变量，进而得到系统控制变量的控制作用和演化规律。五是对于三维或耦合等复杂问题，一般采用解耦方法，并采用数值分析或数值实验。六是通过大量的科学计算（或数值实验）和方案比较，优化研究方案，寻找控制变量或敏感参数。七是通过与实验结果和现场测试结果的分析比较，修正、优化模型，得到结论。

3　演化机理与防治机理的联系

系统演化机理，或者类似的发生机理、形成机理等，包括孕育到潜伏、潜伏到发生、发生到爆发、爆发到持续、持续到衰减、衰减到终止等6个不同演化阶段。每一个阶段具有不同的特性。这些特性形成、产生过程的原理和规律，是研究演化机理的根本；同时在每一演化阶段，均有一组连续、缓慢变化，主宰着系统演化过程，决定着系统演化方向和结果的控制变量。研究的最终结果，就是找到控制变量并掌握控制原理。

而防治机理，则是调控、阻止原系统继续演化而采取措施的科学原理，或者类似阻止、制动机理等，是在研究每一个阶段演化机理的基础上进行的。在演化过程中，系统的结构不断变化，外界环境也在调整中，从孕育到潜伏、或潜伏到发生、或发生到爆发、或爆发到持续、或持续到衰减、或衰减到终止等不同阶段具有不同的防治机理。因此要研究防治机理，就必须确定系统所处的演化进程，其研究方法、内容、科学目标，需要解决的关键科学技术问题等都与形成机理有本质的联系。在同一演化阶段，人为地调整、调节系统的控制变量，就可起到调控系统功能的作用，这种原理就是防治机理，也是形成机理与防治机理之间的内在联系。

控制变量实质上包括两大方面，一是系统内部结构信息，即组成部分、时空秩序、联系规则；另一是系统环境信息，包括外界对系统内部结构的全部作用因素。在演化过程中，系统结构与系统环境相互作用，才能体现系统的功能。不同的系统结构，具有不同的功能特性；不同环境作用于同一系统结构，功能特性也不同，控制变量是与系统结构、系统环境相对应的。因此防治基础或防治机理就是人为调整系统的控制变量的原理，控制变量如系统的组分、结构形式、参数及环境如外力、湿度等因素。在不同的系统层次，如燃烧时的温度、岩体中的含水量等既是内因，又是外因，可称为耦合控制变量。

4　结束语

国家自然科学基金中"机理"类项目是基础研究、应用基础研究的重要组成部分。因此从广义的角度分析，以系统为对象，搞清系统演化、机理及演化机理、控制变量及防治机理等概念、内涵对选题、申请、评审、完成国家自然科学基金项目都有帮助。同时在科学研究的思路、探索自然科学研究方法等方面具有重要作用。

参　考　文　献

[1] 魏宏森，曾国屏著. 系统论——系统科学哲学. 北京：清华大学出版社，1995年5月.

[2] 许国志主编. 系统科学. 上海：上海科技教育出版社，2000年9月.

[3] 黄顺基主编，陈基荣、曾国屏副主编. 自然辩证法概论. 北京：高等教育出版社，2005，5.

[4] 董中保，石阔. "科学问题"概念及其本质特征和属性. 辽宁工程技术大学学报（社会科学版），2000，2(1)：10—14.

[5] 李行键主编. 现代汉语规范词典. 北京：外语教学与研究出版社，语文出版社，2004年1月.

[6] 王来贵，朱旺喜. 申报国家自然科学基金项目要以科学问题为主线. 中国科学基金，2007(1)：39—42.

[7] 邢润川，孔宪毅. 从诺贝尔自然科学奖百年走势看科学实验与科学理论的关系. 山西大学学报（哲学社会科学版），2002，25(2)：18—24.

ANALYSIS OF THE CONNOTATION FOR "MECHANISM" PROJECT OF NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION

Wang Laigui[1]　Zhu Wangxi[2]

(1 *The institute of mechanics and engineering of Liaoning Technical University*, *Fuxin*, *Liaoning province* 123000;
2 *National Natural Science Foundation of China*, *Beijing* 100085)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net