

· 基金纵横 ·

探究国家自然科学基金“模型”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, 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)

1 引言

“模型”的含义较广,科学模型一般是指为了科学目的对复杂实体的简化或抽象,是经验、现象及实际过程的逻辑化表示。国家自然科学基金“模型”类资助项目是指主要以“模型”、“模拟”和“建模”等研究内容的项目。在2005—2009年5年国家自然科学基金批准资助的项目中,检索主题词中包含有“模型”、“模拟”和“建模”等类项目分别为805、891、1121、1435和1648项;占总资助项目的比例分别为6.59%、6.80%、7.61%、8.27%和8.46%。在这5年资助的冶金与矿业领域面上项目中,仅题目中含“模型”、“模拟”和“建模”的项目就多达42项,占7.3%。而以研究“模型”、“模拟”和“建模”为主要研究内容、但在主题词或题目中并没有出现“模型”、“模拟”和“建模”等检索词的“模型”类基础研究、应用基础研究项目就更多,“模型”类项目是国家自然科学基金“机理”类项目外的另一大类项目,资助项目数逐年增加。

国家自然科学基金主要资助从事认识自然现象,探索自然规律,获取新知识、新原理、新方法的基础理论或应用基础研究。但由于受到主客观条件的限制,实际从事科学研究时一般须采用“模型”研究方法。对于科研人员而言,采用模型也是一种可以简化的思想方法,在有些情况下可以作为直接测试或实验的替代。虽然直接测量更为准确,但有很多情况无法实施,主要考虑到:一是研究原型的时间尺度太长或太短、结构构成复杂、结构尺度太大或太小;二是外界环境对原型的作用时空范围太大或太小,或者作用方式复杂;三是原型响应即性质、规律、现象等过于复杂;四是直接对研究对象进行研究或费用太高、或不能、或不容许、或不必要对原型进

行直接研究。从时间尺度、结构构成或尺度上、外界环境、不利于进行研究。因此,从事国家自然科学基金资助项目研究,是在对研究对象进行深入了解的基础上,抽象、归纳出本质性、普遍性的自然规律。而对这些自然规律的研究,一般是在对原型进行简化的基础上,建立“模型”进行研究的。本文在归纳、深化相关“模型”等概念^[1-3]及探讨过以科学问题为主线申报国家自然科学基金项目^[4]和“机理”类国家自然科学基金项目研究内涵^[5]基础上,就“模型”类项目的研究内涵进行分析,指出申报国家自然科学基金“模型”类项目的特征或容易忽略的研究内容,以便进一步掌握该类研究项目的研究方法,更好地申请、评审和完成国家自然科学基金资助项目。

2 原型与模型

对于任何研究项目或工程问题,其背景是一个或一组对象实体,即原型。国家自然科学基金资助项目最终目的就是试图研究原型的普遍性、本质性的自然规律,因此必须首先了解原型的结构、原型所处的环境及原型具有的特性。原型结构包括原型的组成部分、时空秩序、联系规则,这是研究对象的内因;原型环境包括外界对原型内部结构的一切作用因素,这是研究对象的外因;原型特性包括原型的现象、性质、机理、功能、规律等,这是原型本身固有的性质。国家自然科学基金资助项目直接研究原型结构、原型环境及原型特性一般是有困难的。因此,为了客观、有效地反映原型固有的本质信息,将对象实体即原型进行必要的简化,通过对各种经验材料的比较和分析,去其次要因素,抽取本质因素,形成科学概念和科学符号,表达揭示研究对象的普遍规律和因果关系,用适当的表现形式或规则描绘原型主要特征的模仿品或替代品,即模型。建模就是建立

本文于2010年3月1日收到。

系统模型的过程,又称模型化。国家自然科学基金资助项目模型具有以下主要特征:(1)现实对象即原型的抽象或模仿;(2)由反映原型本质或特征的主要因素组成;(3)集中体现主要因素之间的对应关系。因此,模型将原型放大或缩小并在短时间内重现原型特性,在一定程度、范围上体现了原型的结构、环境特征或功能特性。模型与原型之间的关系体现在:

(1)原型是基础,是原始材料;模型是根据研究需要,以反映原型主要特性、以科学方法为基础,理想化、概念化、抽象化的研究对象。

(2)模型与原型在系统结构、或者外界环境、或者功能特性等方面具有相似性。

(3)模型可以无限逼近原型,模型与原型全等是一种特例。

国家自然科学基金资助项目中模型与原型在一定的时、空尺度范围内具有明显的相似性,如结构相似、作用环境相似、功能特性或演化规律相似等。因此,模拟方法就是以模型与原型之间在结构、作用环境或演化特性方面相似性为基础,揭示原型功能、特性和演化规律,进而在国家自然科学基金资助项目申报内容中,从结构模型、作用环境模型、功能特性模型等方面对原型进行描述。

3 模型分类与建模

从不同的角度分析,可将模型分为不同类型。如果以构造模型的成分分类,可划分为实物模型、符号模型(概念模型、逻辑模型、数学模型);如果以构造模型的功能分类,可划分为解释模型、预测模型、规范模型等;如果以模型语言分类,可划分为标度模型、地图模型、数学模型等。

建模可以从结构、环境或功能特性等方面考虑。模型结构的形式包括:链结构、环结构、树结构、网结构或连续结构、离散结构等。系统常用建模方法包括推理法、模拟法、辨识法、统计分析法、混合法等,常以混合法为主。根据原型的本质和特征,抽取结构、环境或功能特性等相似的方面,设计相似模型,通过模型来研究原型规律性。一般可分为直观模拟、物理模拟、数学模拟、结构模拟、功能模拟等。计算机数值模拟方法是在建立的数学模型基础上,用数值分析的方法,对研究对象的不同参数、不同方案进行数值模拟或实验。功能模拟方法则是以功能和行为的相似为基础,通过类比建立模型来模拟原型的方法。功能模拟法不是着眼于对象内部的具体物

质组成和结构形态,不是着眼于对象的运动形态和能量特征,而是从功能或行为的角度进行类比的研究方法。

建立数学模型即利用各元素、子系统或层次之间相互作用及系统与环境相互作用的数学表达式,以函数、方程等形式表达,用来定量分析系统的演化过程。包括几何图形、代数结构、拓扑结构、序结构、分析表达式等均可作为一定系统的数学模型。数学模型是定量分析的工具,表达输出对输入的响应关系。

在国家自然科学基金资助项目申报具体建模过程中,依据原型与模型在结构、外界作用环境及功能特性等方面的区别、联系与相似性,申报内容一般采用混合或综合方法,从系统结构、或者作用环境、或者功能特性等方面利用符号模型,特别是采用数学模型对原型进行科学、定量(化)地描述。

4 数学模型及其数值模拟

数学建模是构造刻划客观事物原型的数学模型并用以分析、研究和解决实际问题的方法。建立数学模型是对原型研究提供分析、预报、决策、控制等方面定量结果的关键环节。数学模型是抽象模型,一般不直接描述原型的结构,但必定与原型结构有内在联系。数学模型包含的主要要素,首先包括对实际问题凝练成相应的科学问题,对该科学问题进行描述、求解、优化与应用等过程。国家自然科学基金建模类资助项目申报和研究的重点应在:(1)基本假设;(2)建立拐点、极值点、转化或转换点(处)、突变点的判据;(3)模型的状态(控制)方程;(4)定解条件(包括初始条件、边界条件);(5)利用解析方法或数值方法对模型求解;(6)模型的检验、评价、修正与优化;(7)模型应用等方面开展具有创新性的研究工作。建模项目申报中的缺陷,往往就存在于这些方面。

数学模型包括静态或动态模型、分布参数或集中参数模型、连续时间或离散时间模型、随机性或确定性模型、参数或非参数模型、线性或非线性模型等类型。一般意义上说,动态、随机、非线性等数学模型具有明显的复杂性。

数学模型可以是代数方程、微分方程、积分方程或者等效的能量方程等。对于比较简单的数学模型,可采用解析法进行求解,得到参量特别是状态变量与控制变量之间的对应关系;对于复杂的数学模型,须进行数值求解,一般来说,对于同一种数学模

型,数值模拟方法是以激励与响应之间特性或规律相似为根本依据,在短时间内进行不同几何参数、不同物理力学参数、不同响应原理等多种方案的比较和优化,降低研究成本。

5 模型的验证

相似模拟实验常以结构相似为基础,数值模型是以激励与响应之间特性或规律相似为根本依据。对于复杂系统,则可利用量纲分析方法来进行研究。根据情况不同,模型一般要使用假说(或假设),进行必要的简化。假说和简化虽方便了研究,但假说越多,简化越多,其结论就越需要实际验证。

模型应当用实际数据进行验证,任何无法重复或严重偏离实际数据的模型都应修改或改进。但只是简单地附和实际数据还不能认为是好的模型,还应该能解释已有现象、预测未来的趋势而且比较经济可行。在满足要求的情况下,简单实用。因此,须利用现场实测、实验室测试、物理模拟或模拟已往事件等分析方法,来验证选用模型的准确性、合理性及适用性。

国家自然科学基金资助项目研究中,现场或实验室测试是模型验证最常用、有效的方法,但须测量与原型、模型内涵相关的参量,反映模型模拟原型的实质。对于不适于直接进行现场或实验室测试研究的模型,可利用物理模型进行模拟研究,通过在模型上的试验所获得的某些物理量之间的规律再回推到原型上,从而获得对原型的规律性认识。

已往事件,是原型演化过程的体现。国家自然科学基金资助项目研究中,可利用事件发生、发展过程所得到信息或残留状态,建立合适的模型,甚至反求参数,利用模型方法进行模拟、仿真,再现事件发生、发展过程。再现事件的演化过程,也是对模型的检验和测试。

国家自然科学基金资助项目研究中,如果模型检验的结果不符合或者部分不符合实际,通常考虑修改、调整、补充模型的基本假设、重新建模。有些模型要经过几次修正、完善、补充,直到检验结果获得满意结果。

6 系统演化过程中的模型方法

从系统科学分析,将所研究的对象、物质、事物、概念、组织、规章等看作系统,可利用系统科学的研究思路进行分析。可将国家自然科学基金资助项目的研究思路归纳成统一思路。系统的结构、状态、特

性、行为、功能等而发生的变化,称为系统的演化。系统演化可以由内部各组分之间的合作、竞争、矛盾等,导致物体规模、组分关联方式的改变,进而引起系统功能或其他性质的改变;也可能由外部环境的改变或关联方式改变引起。系统演化机理实质就是内(系统结构)、外(系统环境)因相互作用并进行演化的科学原理和规律。

系统演化机理是国家自然科学基金资助项目研究中的基础,是源头创新,是发现事物发生内在的规律性。系统演化机理研究包含了孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减、终止等非线性过程。在整个过程中,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6个子过程都是总过程发展演化的一个阶段,每一个阶段一般具有不同的特性,可从一种状态转化为另一种状态。

国家自然科学基金资助项目研究中,利用模型方法研究系统演化过程,可以从系统结构模型、系统环境模型或系统演化特性模型来考虑。如果建立系统结构模型,就必须确定系统结构的时空范围,对系统结构的组成部分、时空秩序、联系规则进行研究,进而抓住系统结构的实质,来确定系统的结构模型。如固体力学中的结构体,组成部分可能是等直杆、曲杆、薄壁件或连续体;组成部分间可以是铰接、固结或混合连接;结构的联系规则体现在构件间不同的排列、组合可组成不同的结构体;可组成杆系结构、薄板结构、薄壳结构、连续体结构或混合结构等。

如果建立系统环境模型,就必须依据研究需要和系统所处的环境状态,对环境进行分类和简化。系统的环境可能是物理、化学、生物或综合作用。如力学中对环境的作用分为静力、动力或流体、温度、磁、电等作用方式,确定系统的环境模型。

如果建立系统的演化特性模型,就必须确定系统结构在系统环境作用下所处的演化阶段。演化阶段可以从孕育、潜伏、发生、爆发、持续、衰减、终止整个过程,也可以是整个过程的部分阶段。不同阶段间要有拐点、相变、转化条件或判据。例如要研究岩石试件受压变形破坏过程,至少分4个阶段,即岩石试件密实阶段、线弹性阶段、塑性强化阶段、塑性软化阶段。对于同一岩石试件施加压力过程中,不同阶段具有不同性质。外界施加外力过程中,演化过程主要体现在应力-应变的特性变化上。如岩石试件在密实阶段,一般处于弹性状态,可采用线弹性、非线性弹性应力-应变模型方法研究。在线弹性阶段,加载、卸载均符合线性规律,过程可逆,符合叠加

原理,一般采用广义虎克定律。在塑性强化阶段,岩石试件内部发生微破裂,并随着加载微破裂的数量、程度都在增加,体现在加载、卸载规律不同,过程不可逆,不符合叠加原理,因此可建立塑性应力-应变本构关系,同时要考虑塑性判据、加卸载准则和卸载规律。在塑性软化阶段,岩石试件内部由微破裂积累和增加,形成宏观破裂面,随着变形的增加承载能力下降。加载、卸载规律不同,过程不可逆,不符合叠加原理,因此可建立塑性软化本构关系,同时要考虑塑性软化判据、加卸载准则和卸载规律。在塑性强化阶段和塑性软化阶段,必须考虑实验机与试件的相互作用问题。特别是试件在塑性软化阶段,如果实验机本身的刚度不够大的话,试件就会在瞬间发生失稳破坏。

7 结语

国家自然科学基金资助项目涉及不同学科、不同种类,就“模型”类项目的科学问题、研究方法、研究内容、技术路线等也不尽相同,因此模型的种类和

研究方法可以在更广泛的范围进行探讨。而掌握国家自然科学基金“模型”类资助项目研究的基本内涵,就要明确原型与模型的内在联系,从结构相似、作用环境相似、功能特性或演化规律相似等方面进行建模;从系统结构模型、系统环境模型或系统演化特性模型来考虑系统演化过程。特别在工程问题凝练成相应的科学问题、进而形成对应的“模型”方面多下功夫,并对该科学问题的物理模拟、数学模拟、结构模拟、功能模拟等方面开展具有创新性的研究工作。

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年5月.
- [4] 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.
- [5] 王来贵,朱旺喜. 浅析国家自然科学基金“机理”类项目的研究内涵. 中国科学基金,2009(1):47—49.

ANALYSIS OF THE CONNOTATION FOR “MODEL” PROJECTS SUPPORTED BY NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA

Wang Laigui¹ Zhu Wangxi²

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

· 资料 · 信息 ·

国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜院士荣获 世界自然基金会爱丁堡公爵环保奖章

2010年2月18日,国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜院士在英国伦敦白金汉宫荣获世界自然基金会(World Wildlife Fund, WWF)2009年度爱丁堡公爵环保奖章(The Duke of Edinburgh Conservation Medal)。英国爱丁堡公爵菲利普亲王亲自向陈宜瑜院士颁发证书和金质奖章,WWF主席尤兰德·卡卡巴德瑟女士出席颁奖仪式。

陈宜瑜院士多年来一直致力于资源环境保护、流域综合管理和生态系统管理等领域的研究和实践工作,做出了卓越贡献。他在环境保护事业方面的贡献得到国内外科学界和WWF等国际组织的高度评价。WWF全球总干事詹姆斯·利普先生说:“我们很高兴能将这一荣誉授予陈宜瑜院士,这是对他长期从事自然保护事业,以及他近年来在中国推动

流域综合管理和生态系统管理贡献的充分赞誉。”

陈宜瑜院士在获奖感言中说:“这个荣誉也属于那些在中国为自然保护事业做出贡献的人们。作为一个科学家,保护自然是我的责任。40年过去了,我还将继续为保护自然和环境贡献自己的力量。”

WWF是在全球享有盛誉的独立性非政府环境保护组织之一。爱丁堡公爵环保奖章是WWF最有声望的奖项(1990年之前也被称为WWF金奖),每年只授给一位全球最为德高望重的、致力于自然资源及野生动植物保护的卓越人士。陈宜瑜院士是获此殊荣的第二位中国科学家。

(办公室 供稿)