

科学发展动力学模型与学术带头人培养

杜志俊

(辽宁地震局)

钱效魁

王彦宾

(兰州地震研究所)

P315.0

提要 本文将物理学上力学系统的运行与科学发展进程进行对比,提出了科学发展的动力学模型,运用这一模型分析了国家地震局系统的学术带头人队伍现状及进一步发展应解决的问题。

科学发展能力可近似为三种基本力。本文针对地震系统的具体情况,定量给出了三种力的作用方式,相应的动力学模型,并就模型涉及的科学惯性问题、科学能力的有机构成问题,以及系统可控性问题、反馈问题等做了一些讨论,进而指出了如何加速系统,增大产出(科研成果等)、培养创造型人才及学科带头人的可能途径。

关键词 动力学模型 科学惯性 学术带头人 地震, 科研创造力,

物理上力学系统的运行是由边界条件、初始条件等制约的,而科学发展进程同样表现为一个“非常的系统”,其发展在某种程度上相似于力学系统,由自身群体及社会的力量所决定。社会的科学能力是科学自身发展的动力,能力各要素的相互作用是这个“非常系统”的力学能,而各大科研团体的活动是系统的热力学内能。形象的描述科学发展状态,即“理想质点”在社会力场中的运动。这就是我们研究问题的起点。

关于科学能力这一力场可近似为三种基本力:科研群体创造力,图书—情报的推动力,实验技术设备推动力。针对地震系统的具体情况本文定量给出上述三种力的作用方式,及相应的动力学模型,并就模型涉及的科学惯性问题、科学能力的有机构成问题,以及系统可控性问题、反馈问题等做一些讨论,进而指出如何加速系统,增大产出(科研成果等)培养创造性人才及学术带头人的可能途径。

一、动力学模型

研究单位的科研创造力可以表示为:

$$f_1 = K_1 \sum_i Q(i) = K_1 Q \quad (1)$$

其中 $Q(i)$ 为创造力因子: $Q(i) = N / (A - a)$, N 为创造性人才数目, A 为其平均年龄, a 为最佳峰值年龄, K_1 是创造力有效系数,它的科学意义是明确的:表现了一个单位研究创造力转化成科学成果的数目密度。它直接与管理水平有关。

实验技术设备所提供的动力:

实验技术设备的好坏直接影响着科技人才的创造力及科研发展与进程。地震系统的设备装备情况是反映我国现阶段地震科研技术水平的一个窗口。简单明了的结论是:实验技术设备可推动科学的发展,而科学的发展又反作用于技术设备。其定量关系可写成:

$$f_2 = K_2 W$$

(2)

即科学知识量与实验技术装备表现为一正比的关系。式中 K_2 是实验技术装备所能提供动力有效程度的标志。

图书—情报网络所提供的动力：

科学的发展与创造实际上是把综合的知识变成专业化的知识，把凝固的知识变成流动的知识，把历史的知识变成现实的知识。世界某些一流的大学及研究所如英国的剑桥，美国的哈佛等都具有世界一流的图书情报网，故我们有理由认为：

$$f_3 = K_3 \cdot dw/dt$$

(3)

其中 K_3 为图书情报所提供有效动力的系数。这种力与知识积累量的“消化”速度直接成正比，其意义是非常明确的。

除上述三种基本力外，还应考虑科学发展的自身惯性，其性质相似于物理学中的一切运动物体都具有惯性。这种科学发展的自身惯性具体表现为：一个单位科研力量共同体（协作、团结程度）结构，实验技术设备的有机构成（新旧效益发挥、配套、使用水平等）和图书—情报网络（信息传递速度、图书资料利用率）结构及科研组织管理水平等。这些结构在系统中往往表现出一种惯性量度：

$$M = m_1 + m_2 + \dots + m_i$$

(4)

综合以上分析，应用力学原理，则有：

$$M \cdot d^2w/dt^2 = f_1 + f_2 + f_3$$

(5)

其中 d^2w/dt^2 为科学发展的加速度，即科学发展状态的变化。

将(1)，(2)，(3)式代入(5)式：

$$M \cdot d^2w/dt^2 = K_1 Q + K_2 W + K_3 \cdot dw/dt$$

将上式改写，并令： $a_1 = -K_3/M$ ， $a_2 = -K_2/M$ ， $a_3 = K_1/M$ 则有：

$$d^2w/dt^2 + a_1 \cdot dw/dt + a_2 w = a_3 Q$$

(6)

上式即我们期望的科学发展的动力学模型。

二、参数识别

众所周知，系统分析最有效的方法就是经过对其“输入”和“输出”信号的确定，进而从信号中提取出系统的特征参数，而这些特征参数表现了系统最一般的特征。

我们的作法是取“重大科技成果数”为系统的输出信号，而取“科学家的创造力因子”为系统的输入信号。

1. 数据处理

“重大科技成果数”等于所调查单位历年科学成果数之和：

$$W(t) = \sum_{i=1}^t W(i)$$

(7)

其中 $W(i)$ 近似为从1983年以来所调查所、局各年科学成果数（部、省级三等奖以

上)。

“科学家的创造力因子”等于历年创造力因子之和:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^t Q(i) \quad (8)$$

2. 各系数的确定

前已定义创造力学系数 $a_3 = K_1 / M$, 实验装备力学系数 $a_2 = -K_2 M$, 图书情报力学系数 $a_1 = -K_3 / M$ 。

纵观整个地震系统的发展, 特别是1976年唐山大震后和我国实行改革开放的政策, 无论从智力投资、技术实设备改造和对外信息交流方面均有了突破性的发展。我们认为就抽样调查的这些单位, 能够大致反映地震系统的科研与监测水平, 具有较全面的代表性。若用模糊数学方法的模糊评估法, 以京外研究所为基系数, 可大致确定当量系数如表1 (具体计算过程从略并略去具体单位名称)

表1 Tab. 1

单位编号	分档标准	系数 Z_1	单位编号	分档标准	系数 Z_1
1	很好	1.2			
2	很好	1.2	6	较好	0.95
3	很好	1.1	7	较好	0.95
4	很好	1.1	8	一般	0.8
5	较好	1.0	9	一般	0.8

然而各个单位之间还存在一些特殊差异, 这主要体现在科研力量结构群体的素质和具体的管理水平上, 暂时忽略这些影响, 待后讨论。不同单位的创造力学系数, 可近似用下式描述:

$$K_i = \frac{\text{总成果数}}{\text{总中·高级人员数}} \quad (9)$$

$$Q(i) = \frac{N}{(A-a)}$$

其中 N 为学术带头人总数, A 为其平均年龄, a 为峰值年龄, 以下是统计计算的各单位创造力因子值: (表2)

根据赵红州^[1]等得到的1900年后的科学动力学模型, 其 a_2 (赵) = 0.32, a_1 (赵) = 0.06, 再针对我们所研究的具体情况, 可按上述系数得到各部门的 a_2 和 a_1 值:

$$\begin{aligned} a_2 &= Z a_2 \text{ (赵)} \\ a_1 &= Z a_1 \text{ (赵)} \end{aligned} \quad (10)$$

对以上三种形式权, 给出 a_2 的具体值如表3。同时为以下讨论方便, 我们可将方程

表2 Tab. 2

单位编号	分 档	K	单位编号	分 档	K
1	很 好	0.090	6	较 好	0.021
2	很 好	0.080	7	较 好	0.016
3	很 好	0.029	8	一 般	0.007
4	很 好	0.025	9	一 般	0.005
5	较 好	0.022			

(据1988年统计资料计算)

表3 Tab. 3

权	a 2	Zra 2 (赵)
很 好		0.352~0.382
较 好		0.30~0.32
一 般		0.256

(6) 再次改写成如下标准形式:

$$d^2w/dt^2 + 2\zeta\omega_n dw/dt + \omega_n^2 W = F(t) \quad (11)$$

其中 $2\zeta\omega_n = a_1$, $\omega_n^2 = a_2$, $F(t) = K_1 Q(t) = a_3 Q(t)$

三、系统的稳定性和可控性

1. 可控性

为讨论系统的能控性, 需将(11)式写成标准形: $\dot{X} = AX + bu$

为此我们还需做下列替换:

$$X_1 = W, \quad X_2 = dw/dt, \quad X_3 = Q$$

则有:

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = X_2 \\ \dot{X}_2 = -\omega_n^2 X_1 - 2\zeta\omega_n X_2 + K_1 X_3 \end{cases}$$

$$\text{即: } \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_1 \end{bmatrix} Q(t) \quad (12)$$

我们的问题是能否适当选择 $Q(t)$ 的值,使得系统在时刻 t_1 的状态取任意的值 $[X_1(t_1), X_2(t_1)]$ 。我们由系统论知,系统完全能控的条件为:

$$r[b, Ab, \dots, A^{n-1}b] = n$$

对上述矩阵,能控性矩阵为:

$$[b, Ab] = \begin{bmatrix} 0 & K_1 \\ K_1 & -2\zeta\omega_n K_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

代入以上三种档值的 K_1 值,可证(13)式的矩阵是满秩的,所以系统是能控的。

系统的能控性说明,一个单位科技发展状态是可以通过它的适当 $Q(t)$ 来控制。这也反映了一个学术单位的学术带头人及创造性人才对该单位科研的推动力作用,也反映了惯性(具体的科研管理水平)对系统的推动作用。以下我们将要再讨论实现的充要条件。

2. 系统的反馈效应

分析(11)式可知, ω_n 是系统的固有频率,又是系统的阻尼比,对(11)式做拉氏变换后:

$$W(s) = \frac{F(s)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} + \frac{s + 2\zeta\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} W(0) + \frac{\dot{W}(0)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (14)$$

其中: $F(s)$ 是 $F(t)$ 的拉氏变换函数; $W(0)$ 是初始知识积累量; $\dot{W}(0)$ 为知识发展初速度。

上式后两项为系统对应于初始条件的自由响应,由于其中含有因子 $e^{-\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}t}$,自由响应是衰减项,起关键作用的将是强迫响应行为,以下着重讨论之:

$$\text{令: } \frac{W(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = G(s) \quad (15)$$

$G(s)$ 为系统的传递函数,按二极管模式有:

$$F(s) \rightarrow \boxed{G(s)} \rightarrow W(s) \quad (16)$$

为对上述系统进行控制,引入反馈 \otimes

$$\begin{array}{c} F(s) \rightarrow \boxed{G(s)} \rightarrow W(s) \\ \uparrow \quad \quad \quad \uparrow \\ \quad \quad \quad \otimes \end{array} \quad (17)$$

对上图即:

$$[F(s) + \otimes W(s)] G(s) = W(s) \quad (18)$$

整理后;

$$\frac{W(s)}{F(s)} = - \frac{G(s)}{1 - \otimes G(s)} = G'(s) \quad (19)$$

$G'(s)$ 为引入反馈后系统的传递函数

$$G'(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 - \otimes} \quad (20)$$

特征根 $s_{1,2}$ 为:

$$\begin{aligned} s_{1,2} &= \left(-2\zeta\omega_n \pm \sqrt{4\zeta^2\omega_n^2 - 4(\omega_n^2 - \otimes)} \right) / 2 \\ &= -\zeta\omega_n \pm \sqrt{\zeta^2\omega_n^2 - (\omega_n^2 - \otimes)} \end{aligned} \quad (21)$$

当 s_1, s_2 中至少有一正根时, 系统是不稳定的, 当 s_1, s_2 无正根或复根的实部小于零时, 系统最终要趋于饱和。而:

$$\zeta^2\omega_n^2 - (\omega_n^2 - \otimes) \geq \zeta\omega_n \quad (22)$$

时系统有发散解。故:

$$\otimes \geq \omega_n^2 \quad (23)$$

引入的反馈环节的意义, 就是将科学劳动的知识输出反馈到创造力因子的环节, 具体到一个单位也就是每个单位得的科研成果论著对本单位科研力量的促进力。具体到我们初步分档标准, 反馈量具体表现为:

$$\otimes = Zra_1 \text{ (赵)}$$

$$\otimes \text{很好} = (1.1 - 1.2) \times 0.06 = 0.066 - 0.072$$

$$\otimes \text{较好} = (0.95 - 1) \times 0.06 = 0.057 - 0.06$$

$$\otimes \text{一般} = 0.8 \times 0.06 = 0.048$$

可见, 科研成果产出多的单位, 反馈量也大, 从而促进产出的更进一步加大, 表现为一种“恶化”反馈, 这也说明了成果与智力的不可分割性。其突出表现为, “很好”环境更吸引人才。另外需注意的是再教育问题, 否则会形成知识的老化。反馈量中它的存在, 可改变科研力量的有机构成成份, 从而提高创造力因子, 增大输出效率, 这一方面的突出表现为“很好”环境的浓厚学术空气。这几方面的反馈环节是值得深思的重大问题。也是创造性人才、学术带头人为什么“偏”分布的根本原因。这是需要我们科研管理部门急待解决的特殊问题。

3. 惯性作用及科学“亮点”

在以上论述中, 我们曾一度假设所有单位的M值均是相同或差异不大, 但只要我们稍认真分析一下, 就会发现其中存在的问题, 因为不同单位科研管理水平的差异, 图书情报及设备利用率的差异, 以及科研力量构成素质差异(不同单位研究员、工程师等高、中职人员水平上的差异)不可避免的造成系统惯性的不同。“惯性大的物体加速度也大”这是物理学上熟知的定理, 在这里也是非常适用的。现代科学在不断的要求我们要尽可能的加大系统的惯性, 因而发挥一切可以发挥的效力, 提高科研人员素质, 引入竞争机制, 增大系统惯性是地震系统乃至整个科研发展的重大策略。

最后在“系统”的控制中，还要注意特殊事件的“优越”控制，这主要指科学进程中的非常时期，即“亮点”。在这一特殊时期，系统的因子数量级会发生大幅度的突变，及智力常数的突变（如牛顿、爱因斯坦等杰出人才的出现），这一时期是科学发展的最伟大时期，也是最“亮”的时期。它告诫我们领导决策部门要抓住这罕见的“黄金”时期，“伯乐能识千里马”就是一个最好的典故。这也正是我们所期望的。

参 考 文 献

赵红洲等，科学发展的动力学模型，科学学研究，Vol4，No. 3

THE DYNAMIC MODEL OF DEVELOPMENT IN SCIENCE AND THE TRAINING OF SCIENTIFIC LEADERS

Du Zhijun

(Seismological Bureau of Liaoning Province)

Qian Xiaokui and Wang Yanbin

(Lanzhou Seismological Institute)

[Abstract] By comparing the programed system of mechanics with the progress of scientific development, this paper gives a dynamic model of scientific development and uses this model in analysing the present situation of scientific leaders of State Seismological Bureau and in dealing with problems that seismic science will meet in the future.

The energy of scientific development may be considered approximately into three basic forces. According to the concrete situation in some unite of S. S. B, this paper also presents quatitatively the functions and the proper models of these forces. Some questions, such as the scientific inertia, the scientific energy and its ingredients, the problems which concern with controlling system are also discussed. At last, how to accelerate the system, increase production and higher quality seismologists and scientific leaders are emphasized in this paper.

[Key words] Dynamic model; Scientific inertia; Scientific leaders