

# 科学技术活动的指标、模型与推论

谷兴荣

(湖南师范大学商学院,长沙 410081)

**【摘 要】** 科学技术活动的指标、数学模型等问题是一个讨论多年而未解决的问题,本文从科学技术活动的投入产出角度提出了相应的指标系列,并从科学技术投入产出的一因一果关系、多因一果关系、多因多果关系、线性与非线性关系等方面提出了相应的数学模型及定义定理,最后,根据这些定义定理,提出了科学技术发展在正常时期(继承发展时期)和非常时期(转化、革命时期)的有关推论。

**【关键词】** 科技活动;投入产出;指标;数学模型;推论

**【中图分类号】** G644

## The Index, Model and Deduction of Scientific Technology Activity

GU Xingrong

**【Abstract】** The problems such as index and mathematic model of technological activity etc., which have been discussed for many years, remain unsolved so far. This thesis firstly puts forward a series of corresponding standards from the angle of investment and gains of technological activity; and then puts forth corresponding mathematic models, definitions and theorems from the relations of investment and gains, which include one cause with one result, multiple causes with one result, multiple causes with multiple results and linearity with non linearity etc. Lastly, it brings forward some deductions about scientific technology development in normal period (period of inheriting) and un normal period (period of transforming and innovating).

**【Key words】** scientific and technological activity; investment and gains; index; mathematic model; deduction

科学技术的投入产出(因果)关系中的指标有哪些?这些不同指标之间的关系是什么,也即如何将不同指标构成科学技术活动的基本模型?从这些模型中能否推导出一些什么结论来,这是科学计量学研究的基本问题,但又是至今没有解决的问题。笔者对此也有一些个人的想法,现予讨论,以就教于同仁。

### 1 科学技术活动的指标体系

科学技术活动从投入产出的角度概括其指标体系,分为投入指标与产出指标两部分。

#### 1.1 科学技术活动的投入指标

科学技术的投入指标很多,即与科技发展有关的影响因素很多。其直接相关的因素,按其重要性的大小,依次为:

##### (1)科学技术投入的人力因素指标

科学技术投入的人力指标包括人力数量指标和质量指标。

科学技术投入的人力数量指标有:科技活动

人员数、科技研究人员数、科学家人数。

科技投入的人力质量指标有:科技队伍的文化程度、职称结构、平均年龄等。

##### (2)科学技术投入的物力因素指标

科学技术投入的经费指标。科技资源中最主要的莫过于研究经费,“有钱十万通,无钱无一宗”,在科学研究中同样如此。事实证明,科研投资大的,取得的成果就多,反之亦然。

科学技术投入的文献情报指标。有了成果要公布于世才能为读者所知,才能发挥其社会作用。“任何一项科研成果都不可能是一个人努力的结果,都是吸收了前人和今人的研究成果。一个新的科学理论的提出,都是总结概括实践经验的结果”。由于科学发展的继承性,后人的工作只能建立在前人优秀成果的基础上才能稳步发展。牛顿也是由于站在开普勒和伽利略的肩上才取得辉煌成就的。

科学技术研究设备的相关指标。应用技术研究和基础科学研究都离不开实验设备和实验技术人员。

现将有关科学技术投入指标综合于表 1。

表 1 科学研究投入量的增长过程

年代	科学家数 (人)	科研经费 (万元)	图书情报 (本)	科研观察仪器 (尺度·厘米)
1790	42	47.2	80	
1800	47	67.5	100	
1810	60	96.4	150	
1820	62	137.7	300	
1830	74	196.7	700	
1840	82	281	800	
1850	103	401.4	900	
1860	121	573.5	1000	
1870	133	819	1500	
1880	153	1170	2000	
1890	177	1672	2500	
1900	210	2388	3000	
1910	253	3412	4000	$10^{-8} \sim 10^{-6}$
1920	286	4874	5000	$10^{-8} \sim 10^{-7}$
1930	349	6963	7000	$10^{-8} \sim 10^{-7}$
1940	420	9947	10000	$10^{-13} \sim 10^{-12}$
1950	452	14210	30000	$10^{-8} \sim 10^{-7}$
1960	445	20300	50000	$10^{-18}$ 以下
1970	518	40062		
1980	613	101683		
1990	712	527430		
2000	814	1013520	528677	

## 2.2 科学技术活动的产出指标

人们对自然界的认识是曲折的、逐步深化和发展的。能不能用定量的方法来表述这个过程,又如

何用定量的方法来表述它,这就是现在要讨论的科学技术发展的产出量。它的主要指标有:

### (1) 认识层次深化的指标

物质在特定的层次里,在特定质的条件下,其量的存在是有限的,其物质单元有特定的质量体积范围。如从宏观到微观、从宏观到宇观的认识,从低速物体的运动和运动规律到高速物体的运动和运动规律的认识,从三维时空论到四维时空论的认识等,我们都可以针对不同事物的不同性质,找出它们的不同自然变量。

### (2) 横向认识的综合强度指标

人们对事物的认识和利用是由简单向复杂发展的。

### (3) 劳动生产率指标

科学技术已成为提高劳动生产率的关键因素。20 世纪初,经济发达的国家劳动生产率的提高主要依靠劳动力和资本的增加即所谓粗放因素,只有 5% ~ 20% 依靠技术进步获得。而现在要提高劳动生产率,有 60% ~ 80% 依靠技术进步即所谓“集约因素”。

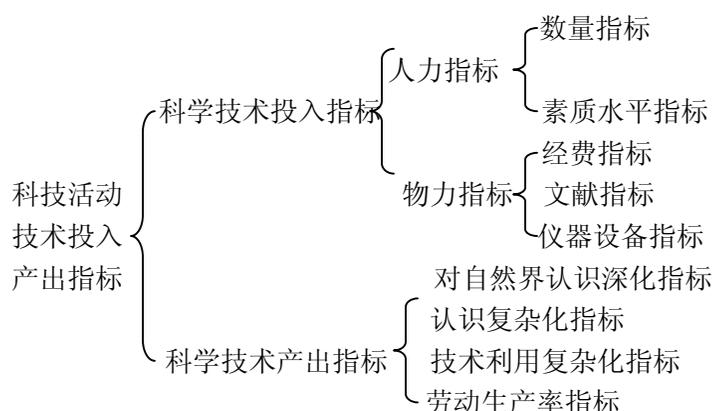
有关科学技术的产出指标综合于表 2。

综合表 1 和表 2 的情况,可见,科学技术的投入产出指标应包括如下几个方面(见表 3)。

表 2 科技发展产出变量综合表

类别	层次	质量 (g)	尺度 (m)	类别	机器设备	要素量	类别	年代	增长 指数
自然界物质层次	宇宙岛	$10^{35} - 10^{45}$	$10^{20} - 10^{23}$	技术产品复杂程度	肥料	$10^1$	劳动生产效率	1948	4.15
	恒星系	$10^{32} - 10^{45}$	$10^6 - 10^{14}$		缝纫机	$10^2$		1950	7.4
	行星	$10^{24} - 10^{20}$	$10^8 - 10^{10}$		电视机	$10^3$		1955	3.83
	地上凝聚体	$10^{15} - 10^{24}$	$10^5 - 10^7$		汽车	$10^4$		1960	1.66
	分子	$10^{22} - 10^{15}$	$10^8 - 10^5$		喷汽发动机	$10^5$		1965	3.5
	原子	$10^{23} - 10^{21}$	$10^8 - 10^7$		火箭	$10^6$		1970	4.15
	原子核	$10^{23} - 10^{21}$	$10^{13} - 10^{12}$		教育	$10^7$		1975	2.24
	基中粒子	$0 - 10^{23}$	$10^{13}$		城市	$10^8$		1980	-0.3

表 3 科学技术活动指标纲目



## 2 科学技术投入产出分析的数学模型

【定义 1】如果只考虑科学技术的投入量和产出量的历史增长平均值,不考虑其内在的波动性变化,那么,便可以把投入产出之间定义为线性回归关系。

【定理 1】科学技术投入产出总模型。科学技术的投入产出函数是描述科学技术研究过程和技术开发过程中投入的相关要素的某种组合同它可能的最大产出量之间的依存关系,其数学表达式如下:

$$Y = f(A, K, L) \quad (1)$$

式中:Y—科技成果数;A、K、L—科研水平层次、科研经费与科研人数等投入要素。

这里的投入要素是指在研究和开发过程中发挥作用,对科技研究成果量作出贡献的生产要素。“可能最大产出量”指这种要素组合应该形成的产出量,而不一定是实际产出量。投入要素对产出量的作用与影响主要是由一定的科研水平层次所决定的,所以从本质上讲投入产出函数反映了科技研究中投入量与产出量之间的关系。

对技术开发过程投入产出之间的关系,也可以运用上述公式,只是把符号的含义改换一下,即Y为经济效益;K、L即投入的资本与人力,A为技术生产水平。这样,K、L投入与Y产出决定于一定生产技术水平与条件。

**【定理 2】**运用投入产出线性模型的条件

(1)投入量  $X_1, X_2, \dots, X_n$  是确定性的不是随机的,各个投入数据之间是相互独立的;

(2)随机误差项为 0 均值与方差为常数;

$$E(U_i) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$Var(U_i) = Q_u^2 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(3)随机误差项在不同样本点之间是独立的,不存在序列相关;

$$Cov(U_i, U_j) = 0 \quad i \neq j \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

其中 Cov 表示协方差;

(4)随机误差项与投入量之间不相关,即

$$Cov(X_{ij}, U_i) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, k \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(5)随机误差项服从 0 均值、同方差的正态分布,即:

$$U_i \sim N(0, Q_u^2) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

投入产出数据之间是否符合以上 5 条,前 4 条都可检验。

**【定理 3】**当只考虑一个投入要素和一个产出量的关系时,则它们的投入产出关系是一种一元线性回归模型:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + U_t$$

如果我们以 Y 为科技成果数, X 为科学技术创造力 Q 值,那么利用最小二乘法就可以把  $\beta_0, \beta_1, X, U_t$  三个参数估计出来。

**【定理 4】**当考虑两个以上投入要素量和一个产出量的关系时,如我们以 y 表示成果产出量,  $x_1$  表示科学家人数,  $x_2$  表示科研经费数,等等,则它们的投入产出关系是一种多元线性回归模型:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + U_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

把上式用矩阵表示为:  $Y = XB + N$  展开为:

$$\begin{matrix} y_1 & 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} & 0 & U_1 \\ y_2 & 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} & 1 & U_2 \\ \dots & \dots \\ y_k & 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} & k & U_n \end{matrix} \quad (3)$$

这时,可以用普通最小二乘法估计参数  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n; U_1, U_2, \dots, U_n$ 。由此就揭示了它们之间的投入产出关系。

**【定理 5】**当我们考虑多种投入量和多种产出量之间的关系时,比如用 Y 表示科技成果的水平价值,用 C 表示经济对科学技术的有效需求,用 I 表示科技投资总额,用 L 表示科技队伍能力。它们之间构成一种多维相互关系的系统。

L(科技队伍)由系统外部给定时,它对系统内部其他三者发生影响。剩下的科技成果价值、生产技术水平、经济对科技的需求、科技投资总额之间相互影响,互为因果。经济对科技的需求和科技投资总额取决于当时的生产与科技水平,但反过来又影响科学技术水平。表示这一复杂关系就须建立联立方程组:

$$C_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + U_t \quad (4-1)$$

$$I_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_{t-1} + U_{2t} \quad (4-2)$$

$$Y_t = C_t + I_t + L_t \quad (4-3)$$

式(4-1)表示经济对科技的有效需求由科技生产水平给定;(4-2)表示科技投资总额由现有科技研究水平与之前拥有的科技水平共同决定;(4-3)表示科技水平由经济的科技需求、科技投资、科技队伍能力共同决定。

此现象我们可以联立如下回归方程进行测算:

$$C_t = \beta_{10} + \beta_{11} Y_{t-1} + \beta_{12} L_t + \beta_{1t}$$

$$I_t = \beta_{20} + \beta_{21} Y_{t-1} + \beta_{22} L_t + \beta_{2t}$$

$$Y_t = \beta_{30} + \beta_{31} Y_{t-1} + \beta_{32} L_t + \beta_{3t} \quad (5)$$

接着就是对相关统计数据整理,对  $\beta_0, \beta_1$  等参数进行估计。

当投入量与产出量的数列违背了定理 3 的 5 个条件时,就会出现异方差、序相关、多重共线性等现象,这时,不能用普通最小二乘法和一般最大似然法进行参数估计,而要用广义最小二乘法等方法进行参数估计。

**【定义 2】**如果科学技术的投入量与产出量的相关数列都不是线性关系,而是非线性曲线关系,则可运用非线性关系分析方法。科学技术投入产出的相关参数出现的非线性回归模式常见的有抛物线函数、双曲线函数、幂函数、指数曲线函数、对数曲线函

数、S 曲线函数、多项式方程等 7 种。

【情况 1】多数非线性回归曲线能转化为线性回归,转换方式有:

倒数变换。用新的变量来替换原模型中变量的倒数,从而使原模型变成线性模型。如双曲线函数:

$$Y = a + b \frac{1}{X} \quad (6)$$

令  $X^* = \frac{1}{X}$ , 则  $Y = a + bX^*$

半对数变换。用于对数函数的线性变换,如对数函数:

$$Y = a + b \ln X \quad (7)$$

令  $X^* = \ln X$ , 则  $Y = a + bX^*$

双对数变换。通过新变量替换原模型中变量的对数,从而使原模型变为线性模型。如幂函数的两边求对数:

$$\ln Y = \ln a + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + \dots + b_k \ln x_k \quad (8)$$

令  $Y^* = \ln Y; X_1^* = \ln x_1; \dots; X_k^* = \ln x_k$

则  $Y^* = b_0 + b_1 X_1^* + b_2 X_2^* + \dots + b_k X_k^*$

多项式变换。这种方法适用于多项式变换,例如,对于二元二次多项式,可令:

$$X_2^* = x_1, X_3^* = x_2, X_4^* = x_1 x_2, X_5^* = x_1^2,$$

$X_6^* = x_2^2$  代入原方程,得:

$$Y = b_0 + b_2 X_2^* + b_3 X_3^* + b_4 X_4^* + b_5 X_5^* + b_6 X_6^* \quad (9)$$

【情况 2】对于不能转换为线性的非线性回归模型,则可采用新的非线性模型估计方法。主要有非线性普通最小二乘法; 高斯—牛顿迭代法; 牛顿—拉夫森迭代法; 非线性最大似然法。

【定义 3】科学技术投入产出关系在科学革命时期的转化形式,它是由科学技术投入产出所包含的参数的种类数所决定的。

【情况 3】在只考虑一种投入量(人数或经费数)和一种产出量(科技成果数)时,投入产出关系的转化形式为折迭突变形。势函数见图 1。

$$V_{(y)} = y^3 + yx \quad (10)$$

式中  $y$  是产出量,  $x$  是投入量,在函数关系上是二维关系。而函数的临界点是方程  $V = 0$ , 即

$$3y^2 + x = 0 \quad (11)$$

的解,平均曲面退化为

$$y^2 = -\frac{1}{3}x + a \quad (12)$$

【情况 4】当考虑科学技术的两个投入变量(科学家人数与科研经费数)与一个产出变量(科技成果数)之间可出现几种革命性转化模型,最简单的是类点型突变模型见图 2。

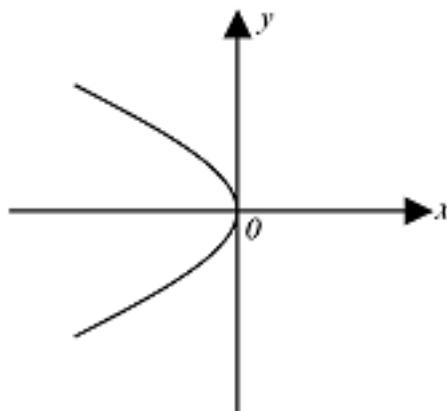


图 1 折迭突变的平衡曲面和分歧点集

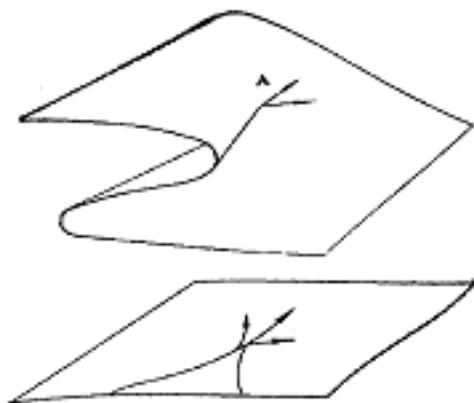


图 2 尖点突变的平衡曲面和分歧点集

投入产出的势函数关系为:

$$V_{(y)} = y^4 + x_1 y^2 + x_2 y \quad (13)$$

式中产出量是  $y$ , 投入量有两个,即  $x_1$  和  $x_2$ 。其相空间是三维的。这个势函数的临界点是方程:

$$V_{(y)} = 4y^3 + 2x_1 y + x_2 = 0 \quad (14)$$

的解。故平衡曲面  $M$  也由方程(14)给出,因为式(14)是一个三次式,由代数学我们知道,它或者有一个实根,或者有三个实根,实根的数目由判别式

$$= 8x_1^3 + 27x_2^2 \quad (15)$$

决定。如果  $> 0$ , 则有 3 个实根,否则只有一个实根。除非  $= 0$ , 根各不相同,而  $= 0$  时,如果  $x_1$  和  $x_2$  均非零,两个根相同。如果  $x_1$  和  $x_2$  均为零,则所有两个根都相同。

【情况 5】当考虑科学技术有三个投入要素(科技人员数、科研经费数、科技情报资料数)和一种产出量(科技成果数)时,投入产出关系在科技革命时期的转化形式为燕尾形,见图 3。突变的势函数为:

$$V_{(y)} = y^5 + x_1 y^3 + x_2 y^2 + x_3 y \quad (16)$$

式中产出量是  $y$ , 投入量有 3 个,即  $x_1, x_2, x_3$ 。故相空间是四维的。这个势函数的临界面,即投入产出四者平衡曲面  $M$  的方程是:

$$V_{(y)} = 5y^4 + 3x_1 y^2 + 2x_2 y + x_3 = 0 \quad (17)$$

它是  $(x_1, x_2, x_3)$  四维空间的曲面,在三维空间中已无法画出,我们称它为超曲面,其奇点集方程为:

$$V_{(y)} = 20y^3 + 6x_1 y + 2x_2 = 0 \quad (18)$$

其  $M$  的子集,由式(9)和(10)可以直接消去  $y$ , 而得

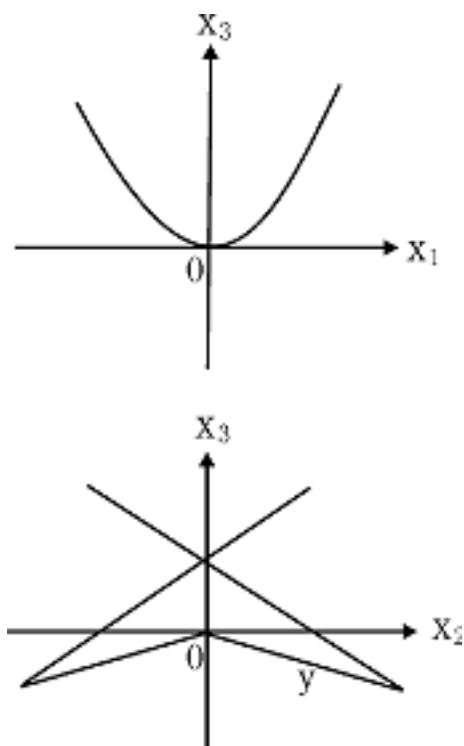


图3 燕尾分歧点集的截线

到分歧点集  $B$  的方程,它是三维投入空间  $C$  中的一个曲面。

【情况6】当考虑科学技术有三个投入变量(科技人数、科研经费数、科技情报量)和两个产出量(科技成果的社会价值、科技成果的经济价值)时,其投入产出在科学技术革命时期的转化形式可以出现椭圆脐型突变和双曲脐型突变两种形式。现在只讨论第一种形式 椭圆脐型突变的图示为图4和图5。

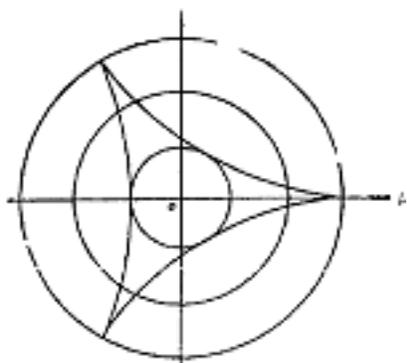


图4 椭圆型脐点分歧点集的截线

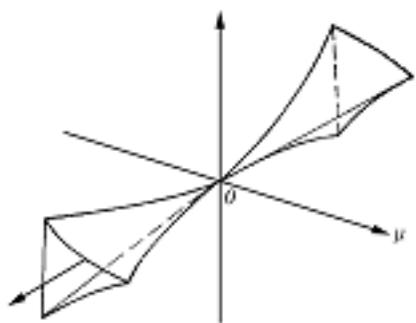


图5 椭圆型脐点的分歧点集

图中“脐点”这个名称是从古典微分拓扑中引用的,对原来曲面上点的性质的含义所引伸,它的势函数是:

$$V(x_1, y_2) = \frac{1}{3}y_1^3 - y_1y_2^2 + x_1(y_1^2 + y_2^2) - x_2y_1 + x_3y_2 \quad (19)$$

其第一项  $y_1^3$  的系数为  $\frac{1}{3}$ ,为的是取导数以后使平衡曲面  $M$  的方程在  $x_2$  项的系数为 1,因为这样使计

算简洁,定性结果当然不受影响(有人也写为  $[y_1^3 - y_1y_2^2 - x_1(y_1^2 + y_2^2) - x_2y_1 - x_3y_2]$ )。状态变量有两个,即  $y_1, y_2$ ;控制变量有三个,即  $x_1, x_2, x_3$ ,其相空间是五维的,但投入空间仍然只是三维的,所以我们还是能把它画出来。

这样依次作下去,可以得到越来越多的突变类型。当达到高维的突变型时,即使不能画出图形,仍然可以作为现象的模型,因为它们的几何特性是完全确定的,当不能用图形来观察状态或行为点的移动时,也可以通过分析来研究。每种突变都是由一个势函数定义的,状态曲面是该函数的一阶导数为零时的图像,势函数的最高次项,确定了解的最多个数,最大最小能量状态的个数,反映了突变的基本属性,其余的项,则可以认为是对该属性的干扰,或规定该属性出现的条件。代入控制参数各种可能的值,将决定势能量函数的各种可能状态,例如,对于尖点型突变,  $y, x$  的值在某些范围内将使势能量有两个最小和一个最大状态,在另一些值上则只有一个最小状态。

### 3 科学技术投入产出模型的基本推论

对科学技术的投入产出模型进行相关分析后,可以从中推出一些新的结论。

#### 3.1 科技发展正常时期投入产出关系的推论

【推理1】从科学技术投入产出总模型

$$Y = a_0 + a_1X_t + U_t$$

可知,科学技术的产出量是由投入量决定的,投入量  $X$  值越大,则产出量  $Y$  值也越大。

【推理2】各种科学技术投入要素的作用程度随客观条件和时期的变化而变化。

$$Y = Ae^{Tt} K L \quad (20)$$

由此导致与投入量  $X$  值相联系的参数  $A$  值是不断变化的。

【推理3】在科学技术投入产出模型

$$Y = a_0 + a_1X_{1i} + a_2X_{2i} + \dots + a_kX_{ki} + U_k$$

列入的投入产出指标越多,所得的结果越准确,误差  $U_k$  越小。

【推理4】科学技术投入产出模型具有一般线性模型的基本性质,如出现了序相差、异方差、多重共线性等异常现象,则一般的参数估计方法失效,便须采用专门的特定方法来处理。

【推理5】当科学技术的投入产出指标呈非线性变化时,必须把它们转换成线性模型进行参数估计,或采用其他的参数估计方法进行。

### 3.2 科技发展非常时期投入产出模型的推论

【推理 6】科学技术投入产出效率在科技发展的非常时期容易发生突变。

如在投入量的作用下,一个科学理论的应用范围会在实践中逐步延伸,一旦被延伸到自己所适范围的边缘时,矛盾就会出现,这时,投入量与产出量之间的正常关系遭到破坏,新的理论和技术成果必然随之产生。科技认识到达一个旧理论所适范围和一个新理论所适范围的交接点之日,也是实行科学技术革命,实行新旧理论、新旧技术交替之时,如果把前后两个理论的两根曲线连结起来,与投入量正好组成一个托姆数学的尖点型突变模型,如图 6 所示。

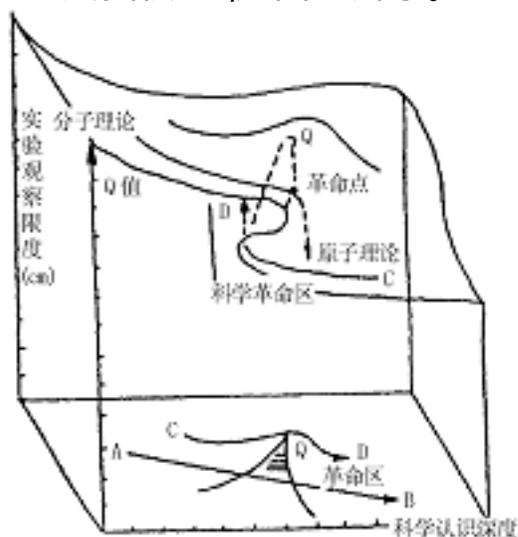


图 6 科技革命的突变模型

图中曲面上的每一个点表示在一定的发展条件下科学技术的发展水平,整个曲面向质量体积减小、内部复杂性增加的方向倾斜,说明随着科技力量的增长,人们对客观世界的认识越来越深入。立体图上的底面曲线图与立体图上的侧面曲线图是对同一个事物的不同表现形式。

【推理 7】科学技术投入产出效率在科技发展的非常时期容易发生突变。

在以前讨论的从对分子层次运动规律的揭示到对原子层次运动规律的揭示,它们有不同的理论,这种从一个理论突变出现另一个理论,大都在科学发展的非常时期出现。

【推理 8】出现滞后现象,即折叠区的存在。

突变不是发生在稳定态,而是发生在原理论的讨论范围延伸到另一物质领域一定程度时才开始出现跳跃,这段间隔就是滞后。用新事实否定某理论所占领域的适用性后,有人还坚持这种观点,但过了折叠区,这种现象就消失了。库恩揭示的范式理论中讨论过类似现象,此现象就发生在这一时期。一切存在都有一定的稳定性,且稳定性越强,滞后也越大,滞后现象是普遍存在的。如突变的原因消失之后,突变的结果仍会持续,要想做一次逆向的突变就

需要比有突变更强烈的动因。“矫枉必须过正,不过正就不能矫枉”,可以说也是针对滞后现象而言的。

【推理 9】处在重叠区的学科的论文占科学整体中的比值增大。

论文中提出问题与解决问题的比值前者增大。即问题多,不清楚,则议论多。这是笔者直接对不同时期的论文进行分析得出的结论。

【推理 10】双模态,即有些突变现象在同一原因的作用下,可以有两种可能的行为,认识在此时期,新旧理论同时存在。

科学史上 20 世纪的科学革命时期就是如此。

【推理 11】不发达,成果少,即在某些状态下,投入指数不减少,但科学技术成果增长指数下降,带头学科成果比下降,智力常数激增。

【推理 12】提供了评判科学革命的原则。

根据突变模型进行推导,在严格控制条件的情况下,如果在科学革命中经历的中间过渡态是不稳定的,那么它就是一个飞跃过程;如果中间过渡态绕过了质变点,如图 6 中的 CD 线,是稳定的,那么它就是一个渐变过程。这条原则的根据是稳定性理论,它是突变理论的基础。渐变过程主要是指一些被称之为“变异”的科学理论的发展过程,它在科学理论的替变中是少量的,却又是客观存在的。渐变过程在图上的表示是其发展曲线绕过 Q 点,呈弧形曲线。从达尔文的生物进化论到现代分子遗传学之间就是这样的发展过程,在这当中就没有经历一个势不两立的爆发式理论革命。

#### 参考文献

- 1 谷兴荣. 科学技术研究业经济学原理探讨. 北京:中国财政经济出版社, 2004
- 2 谷兴荣. 科学技术发展的计量研究. 长沙:湖南科技出版社, 1990
- 3 刘素英, 惊良浚. 科技管理的定量方法. 北京:现代管理学院, 1985
- 4 李子奈. 计量经济学. 北京:高等教育出版社, 2000
- 5 谷兴荣. 科学技术纵向分类法与管理创新. 科技与经济, 2004(3)
- 6 梅姝娥等. “二次创业”阶段我国高新区发展水平评价指标体系研究. 科技与经济, 2004(4)
- 7 李冬琴, 黄晓春. 智力资本:概念、结构与计量述评. 科学学研究, 2003 增刊

#### 作者简介

谷兴荣,男,湖南师范大学商学院教授,主要研究科学计量学与科技管理。