

文章编号: 1000- 582X(2006)01- 0146- 04

技术创新扩散模型的探析*

谈骏渝

(重庆大学 数理学院, 重庆 400030)

摘要: 技术创新的扩散或转移是技术进步的重要阶段或标志. 对 Raz 刘文阁和朱稼兴分别提出或者修正的技术转移的受方状态的模型进行了分析和实证研究, 指出 S形模型仍是描述创新扩散的一种简单、实用、拟合程度较高的一种模型. 进而对朱稼兴所修正的模型进行了改进, 得到了技术扩散中学习方技术发展状态的一个长期模型.

关键词: 技术创新; S形模型; 扩散/转移; 扩散源与学习方/供方与受方

中图分类号: F403.6

文献标识码: A

广义的技术创新指一个过程, 包含了发明、创新、扩散. 发明是指创造新的知识、新的原理、或新的模型等, 是科学研究的结果. 创新则是将发明进一步开拓、发展, 形成新技术、新产品乃至第一次引入商业化应用. 扩散是一项创新从其源泉向用户传播和被应用的过程, 从全社会的观点看, 扩散的意义大于创新本身.

扩散理论认为, 一项创新由于它能够提高系统运行的效率和创造出更高的价值, 或者能节约劳动和节约资本, 或者提高系统的功能而创造新的市场, 便在创新者与其周围的空间里产生“位势差”. 为了消除这种差异, 一种平衡的力量就会促使创新者向外扩散和传播, 或者周围地区为消除差异而进行学习、模仿和借鉴.

1 S形模型——逻辑曲线

技术创新扩散常见的模型是“S”形模型, 其技术扩散或转移过程的数学表达即逻辑方程为:

$$\frac{d\eta(t)}{dt} = \beta\eta(t)(1 - \eta(t)), \quad (1)$$

其中 $\eta(t)$ 是知识或技术水平的测度, 即时刻 t 采用创新技术企业总数的比例; β 是增长(扩散)系数.

解方程(1)可得:

$$\eta(t) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha - \beta \cdot t)}$$

且有 $\eta(0) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha)}$ 及 $\eta(t) \rightarrow 1 (t \rightarrow \infty)$. 又令

$\frac{d^2\eta(t)}{dt^2} = 0$ 可得 $t = \frac{-\alpha}{\beta}$, $\eta(t) = \frac{1}{2}$, 即 $\left[\frac{-\alpha}{\beta}, \frac{1}{2} \right]$ 是曲线的拐点, 其 $t = \frac{-\alpha}{\beta}$ 是加速增长和减速增长的分界时刻.

上述形式的曲线称为 S形曲线或逻辑曲线. 美国学者 Raz Banuch 将逻辑曲线用来解释技术转移中受方的状态. S形曲线较好地刻划了实际中的技术进步和创新扩散及其它一些受极限制约的现象. 其意义是, 在进行一项技术创新的过程中, 在项目研究开发的初期, 研究人员需要具备一定的基础知识, 收集资料和数据, 进行调查询问, 这一系列因素决定了技术进步的步伐必定是缓慢的. 但当投入了必要的关键资源后, 发展就会快速上升, 即此时到达了 S 曲线的中部, R&D 生产率最大, 技术进步的速度会达到最大值, 但同时, 技术进步从此会受到极限的制约, 进步的速率开始下降, 开始出现收益递减. 此时, 想要实现些微进步, 所需费用将急剧增加. 所以, 在技术创新扩散过程中, 从总的来说, 创新源和学习方的技术发展均遵循 S 曲线规律.

为了说明 S形模型及其应用, 可将 S形模型(1)应用于我国内燃机车、电力机车替代蒸汽机车的情形. 据统计, 到 1992 年为止, 全国大约有 18 000 台蒸汽机车^[1]. 假设蒸汽机车将全部被内燃机车和电力机车替代.

* 收稿日期: 2005- 08- 20

作者简介: 谈骏渝(1940-), 男, 江苏镇江人, 重庆大学教授, 主要研究领域为微分方程及应用、数值分析及方法、数理经济与技术经济.

表 1 内燃机车, 电力机车产量统计

年份	时间	机车替代台数	机车替代累计台数	替代比率
1979	0		2 400	0 133 3
1980	1	170	2 570	0 142 8
1981	2	122	2 692	0 145 9
1982	3	204	2 896	0 160 9
1983	4	265	3 161	0 175 6
1984	5	316	3 477	0 193 2
1985	6	385	3 862	0 214 5
1986	7	455	4 317	0 239 8
1987	8	544	4 861	0 270 0
1988	9	616	5 477	0 304 3
1989	10	627	6 104	0 339 1
1990	11	631	6 735	0 374 2
1991	12	694	7 429	0 412 7
1992	13	794	8 223	0 458 6

借助于 TSP 软件, 用 OLS 方法可求得模型的参数的估计值 $\alpha = -2.0621$; $\beta = 0.1392$ 拟合优度 $R = 0.9926$ 所以, 创新扩散模型为 $\eta(t) = 1/[1 + e^{(2.0621 - 0.1392t)}]$.

在 S 形曲线拐点处, $t = -\frac{\alpha}{\beta} \approx 15$ 此时替代率 $\eta \approx 50/100$ 即从 1980-1994 年, 机车一直以加速趋势替代, 然后以较慢的趋势替代.

根据本模型还可进行预测, 结果表 2

表 2 内燃机车, 电力机车替代蒸汽机车预测情况

年份	时间	替代率	累计替代率
1994	15	50 65	9 117
1996	17	57 55	10 359
1998	19	64 17	11 550
2000	21	70 29	12 652
2002	23	75 76	13 636
2004	25	80 50	14 490
2006	27	84 51	15 210
2008	29	87 81	15 806
2010	31	90 49	16 288

由表 2 可看出, 在 1994 年, 有一半蒸汽机车被替代, 到 2010 年, 将有绝大部分机车被替代. 许多实例说明 S 形模型是描述技术创新扩散的一种较好的模型, 它简单、实用、拟合程度高. 可以根据此模型方便地作出预测, 了解新技术发展的方向与趋势, 以及提供科学的决策依据.

2 创新扩散的长期模型

某项技术创新一旦完成, 由于技术势差的原因和经济利益的驱动, 紧接着就是创新的扩散过程, 或称技术扩散. 在技术的扩散过程中, 扩散源与学习方 (供方与受方) 的技术水平均是一个动态的发展过程, 扩散

源并不因自己的创新向外扩散而放弃此创新技术的进一步发展, 学习方也是通过接受扩散源的创新技术, 通过消化、吸收, 伴以自行研制获得发展速度以不断提高自身技术水平. 在扩散过程中, 或称技术转移过程中, 对扩散源和学习方的技术发展水平的变化作定性描述和定量研究是人们普遍关心的问题, 它具有明显的现实意义.

在 20 世纪 80 年代和 90 年代, Raz 和中国的刘文阁都相继提出了修正的模型^[2-3]. 其基本的相同点是: 技术扩散过程中, 学习方的技术发展速度受两个因素的制约: 一是学习方的吸收能力, 二是供方与受方的技术差距. 即学习方技术发展速度为

$$\frac{dX_F}{dt} = K_t(X_L - X_F), \quad (3)$$

其中 X_L 、 X_F 分别是扩散源与学习方的技术水平; K_t 为学习方吸收能力系数, Raz 视其为常数, 而刘文阁则将其变为随技术差距 ($X_L - X_F$) 而变化的变量^[3].

朱稼兴考虑了技术进步的因素^[3], 将式 (3) 由技术系统转移到了技术——经济系统, 并对模型提出修正. 他认为式 (3) 中 K_t 应表达为

$$K_t = K_l \frac{X_F}{X_L} = K_n(1+m)^t \frac{X_F}{X_L}. \quad (4)$$

K_l 为 t 时刻学习方的资源数量或吸收能力; K_n 为技术扩散开始时学习方的资源数量; m 为技术进步率.

将式 (4) 代入式 (3) 得学习方发展速度为

$$\frac{dX_F}{dt} = K_n(1+m)^t \frac{X_F}{X_L}(X_L - X_F). \quad (5)$$

若取 $(1+mt)$ 作为 $(1+m)^t$ 的近似, 即得公式^[3]:

$$\frac{dX_F}{dt} = K_n(1+mt) \frac{X_F}{X_L}(X_L - X_F). \quad (6)$$

上述模型有 2 点局限: 1) 在以上各式中, X_L 均被视为时间 t 的线性函数, 即 $X_L = K_L \cdot t$ 其中 K_L : 扩散源的发展速度均被视为常数. 2) 在式 (4) 中, 学习方 t 时刻的技术资源数量被假定符合指数增长规律, 即 $K_t = k_n(1+m)^t$, 但这通常只适合在技术扩散的初始阶段. 由于技术创新过程是一个复杂的体系, 其发展体现了非线性的特性^[4-5]. 学习方的技术资源不可能无限增长, 而是一定被某一极限约束. 在扩散的开始阶段, 由于技术水平较低, 利用技术资源的能力较弱, 技术资源增长较慢, 随着技术进步率的提高, 资源增长速度大大提高, 但到后来, 资源增长潜力 (当时技术资源水准与极限资源之间的差异) 减小, 速度不得不慢下来. 因此, 在扩散的整个过程中, 其扩散源的技术发展速度和学习方技术资源的的增长速度均可认为符合 S 曲线的规律.

设学习方技术资源随时间的变化为

$$K_t = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+mt)]}, \quad (7)$$

其中 c 为学习方资源增长的物理极限; K_n 为技术扩散开始时刻 t_0 时学习方的资源数量; m 为技术进步率; α 由 $K_t(t_0) = K_n$ 确定.

则学习方吸收能力为

$$K_t = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+mt)]} \frac{X_F}{X_L}. \quad (8)$$

又设扩散源技术水平随时间变化为

$$X_L = \frac{A}{1 + \exp(-\beta - K_L t)}. \quad (9)$$

A 为扩散源的技术水平极限; β 可由初始条件定, K_L 为与扩散源初始发展或终极发展速度有关的常数.

将式(8)和式(9)代入式(3)便可得到

$$\frac{dX_F}{dt} = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+mt)]} \left[X_F - \frac{X_F^2}{A(1 + \exp(-\beta - K_L t))} \right]. \quad (10)$$

式(10)是一个长期模型, 它适合于技术创新扩散的整个过程.

令 $Y = \frac{1}{X_F}$, 由式(10)有

$$\frac{dY}{dt} + \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+mt)]} Y = \frac{\alpha \cdot c}{A} \frac{1 + \exp(-\beta - K_L t)}{\alpha + \exp[-K_n(1+mt)]}. \quad (11)$$

式(10)和式(11)描述了在技术扩散过程中受方技术水平的发展状况. 在实际应用中, 若作一些较合理的假设, 便可得到便于应用的简化模型.

1) 设受方吸收能力可表达为:

$$K_t = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+m)]} \frac{X_F}{X_L},$$

它未能精确地描述学习方技术资源变化, 但通过技术进步率 m 的应用仍可反映出资源变化的趋势和速度^[3].

由式(11), 有

$$\frac{dY}{dt} + BY = \frac{c}{A} \frac{1 + \exp(-\beta - K_L t)}{1 + \exp[-\mu - K_n(1+m)]}, \quad (12)$$

式(12)中 $\mu = \ln \alpha$ 及

$$B = \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp[-K_n(1+m)]} = \frac{c}{1 + \exp[-\mu - K_n(1+m)]},$$

于是

$$Y = \frac{A}{B} + C \exp(-Bt) + \frac{1}{B - K_L} \exp(-\beta - K_L t),$$

或

$$X_F = \left[\frac{A}{B} + C \exp(-Bt) + \frac{1}{B - K_L} \exp(-\beta - K_L t) \right]^{-1}. \quad (13)$$

2) 在扩散的某一段时间内, 扩散源的发展是线性增长的或其发展速度是衡定的, 仍用 K_L 表示, 即 $X_L = K_L t$ 则由式(12), 有

$$\frac{dY}{dt} + BY = \frac{B}{K_L t},$$

因而

$$Y = \frac{B}{K_L} e^{Bt} \left(C + \int \frac{e^{-Bt}}{t} dt \right),$$

其中 $\int \frac{e^{-Bt}}{t} dt = \ln t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Bt)^n}{n \times n!}$. 显然, 其中的级数是收敛的. 于是可得

$$X_F = \frac{K_L e^{Bt}}{B \left(C + \ln t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(Bt)^n}{n \times n!} \right)}, \quad (14)$$

当 $B = K_n(1+m)$ 时, 式(14)即是文献[3]中的公式.

2 模型讨论与结论

1) 在创新技术的扩散中, 有时需要分析技术转移过程中供主与受方技术差距的变化, 其变化率可表示为差距的导函数, 由式(9)和式(10), 有

$$\begin{aligned} \frac{dG(t)}{dt} &= \frac{d(X_L(t) - X_F(t))}{dt} = \\ \frac{dX_L}{dt} - \frac{dX_F}{dt} &= \frac{K_L \exp(-\beta - K_L t)}{(1 + \exp(-\beta - K_L t))^2} - \\ &= \frac{\alpha \cdot c}{\alpha + \exp(-K_n(1+m))} \frac{X_F}{X_L} (X_L - X_F). \end{aligned} \quad (15)$$

由前面的分析, 式(15)较之文献[3]的公式更能合理地反映技术差距的变化. 通过计算与分析, 可以知道或分析技术扩散过程中技术供方与受方差中的变化情况^[3]. 事实上, 由式(9)和(13)及式(14), 即可得到技术差距的表达式, 从而可求得技术差距的变化率.

2) 如果将技术进步率 m 的计算公式代入技术转移模型

$$m = \alpha \frac{\Delta q}{q} + \beta \frac{\Delta p}{p},$$

其中 q 是劳动生产率; p 是资金产率; α 和 β 是劳动和资金的弹性系数且 $\alpha + \beta = 1$ 有

$$\frac{dX_F}{dt} = K_n \left[1 + \left(\alpha \frac{\Delta q}{q} + \beta \frac{\Delta p}{p} \right) t \right] \frac{X_F}{X_L} (X_L - X_F), \quad (16)$$

式 (16) 中, 当 K_n 和 X_L 一定时, 受方可以通过调整劳动生产率或资金产值率来控制技术发产速度. 在这里, 笔者认为, 文献 [3] 中的公式

$$\frac{dX_F}{dt} = K_i \left(\alpha \frac{\Delta q}{q} + \beta \frac{\Delta p}{p} \right) \frac{X_F}{X_L} (X_L - X_F)$$

明显有误, 应如式 (16) 所示.

3) 笔者基于逻辑曲线或 S 曲线, 在假设学习方技术资源与扩散源技术水平均呈 “S” 形曲线的规律, 在文献 [3] 讨论的基础上给出了创新扩散或技术转移的长期模型 (10). 在适当的假设下, 得到了便于实际应用的 S 型学习方技术增长模型 (13) 和 (14). 可供了解和分析技术转移和发展的变化, 以及技术差距的变化等.

4) 为了得到更能符合实际的情形, 在应用中, 可对模型中的参数作适当调整和修正, 即使参数具有一定的 “弹性”. 譬如, 在给定了最初的数据后, 其所得到的变化规律由于各种因素的影响, 可能在一段时期以

后会有改变, 可以修正某些参数或确定终极发展水平. 这样, 可以更好地反应技术转移长期的发展变化情况.

参考文献:

- [1] 王玉林, 袁继贤. 高新技术扩散的对数增长曲线模型及实证研究 [J]. 科研管理, 1996, 17(4): 19-23
- [2] RAZITA CAROFA. Technology Transfer in the United States Industrial Research at Engineering Research Centers the Technological Needs of U S Industry [J]. Technological Forecasting and Social Change, 1991, 39: 397-410
- [3] 朱稼兴, 傅鸣. 技术转移的模型探析 [J]. 北京航空航天大学学报, 1997, (2): 229-235
- [4] 韩箐. 技术创新扩散的综合分析 [J]. 科研管理, 1995, 16(1): 34-39
- [5] 郑亚莉, 陶海青. 技术创新的非线性成长 [J]. 数量经济技术经济研究, 2001, (5): 9-12
- [6] 傅家骥. 技术创新学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999

Probing and Analysis of Diffusion Model for Technology Creating Something New

TAN Junyu

(College of Mathematics and Physics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract Technology Creating something new is spring of technology progress and diffusion of transfer of technology is a key stage or symbol of technology progress. Raz Bauch, Liu Wenge and Zhu Jiaxing respectively had given or modified receiver state model of technology transfer. This paper firstly explains that S-type model is a model of simple applicable and higher quasi-degree for technology transfer as well. Next, a long-time model of receiver state of technology development in technology diffusion is obtained and Zhu's model is revised.

Key words transfer of technology; S-type model; diffusion/transfer; diffusion spring and studier/supplier and receiver

(编辑 张小强)