

# 城乡人口流动对技术创新扩散的影响及实证分析<sup>\*</sup>

## The Effect of the Members Transferring between Town and Country on Innovation Diffusion and Its Empirical Analysis

廖志高<sup>1,2</sup> 徐玖平<sup>2</sup>  
Liao Zhigao<sup>1,2</sup> Xu Jiuping<sup>2</sup>

(1. 广西工学院管理工程系 柳州市东环路 545006; 2. 四川大学工商管理学院 四川成都 610064)

(1. Dept. of Mana. Engi., Guangxi Univ. of Tech., Donghualu, Liuzhou, Guangxi, 545006, China; 2. School of Business & Administration, Sichuan Univ., Chengdu, Sichuan, 610064, China)

**摘要** 针对人口流动可能会对技术创新扩散速度和市场最大潜力的影响, 提出一种基于城乡之间流动的创新技术扩散动力学速度模型, 并对该模型进行稳定分析。结果发现城乡之间是否存在人员流动、单向或双向流动, 城乡人口数最终会趋向稳定。同时, 该技术创新市场扩散也会达到一终值。利用中国城镇和农村的固定电话用户数的数据进行实证分析, 得出不管存不存在人员流动, 固定电话用户都会达到其市场最大值, 但其扩散速度和市场最大值会因为人员流动而发生变化。

**关键词** 技术创新 技术扩散 扩散模型 人口流动

中图分类号 0193; C931

**Abstract** Aimed at the possible effect of the migration on innovation diffusion, a dynamics rate model based on the population transferring between town and county is formulated. And the members will trend to a few fixed numbers through a stability analysis on the model whether the members migrate or not. At the same time, an empirical analysis is also given with the data of telephone set consumers of China town and China country, the data of the consumers will trend to its maximum number whether the members transfers or not, yet the number will change since the members transferring.

**Key words** technology innovation, innovation diffusion, diffusion model, population flowing

我国历史上计划经济体制下的户籍管理制度将我国人口划为城镇人口和农村人口, 由于户籍制度管理严格, 人员很少流动。同时巨大的工农业“剪刀差”以及生活水平和生活环境不同, 造成人际交往, 消息传播及交流方式, 消费观念和习惯有着很大的差别。因此, 如果不存在人口流动, 那么可以利用 Bass 模型族<sup>[1]</sup> 分别单独讨论他们技术扩散特征, 商家可以有效地制定相应的营销策略和销售计划。然而, 改革开放以来, 经济的发展促使中国从土地和乡村社会过渡到城市社会, 人员开始流动。每年有 1% 的人口离开农村前往城市, 市民和农民之间的比例在大约 60 a 内将颠倒过来, 可变为 70 : 30<sup>[2]</sup>。因此, 不考虑人员流动

而分别讨论他们各自消费体系和信息传播体系是不够的。然而, 在此之前的技术创新扩散模型中还没有将城乡人口流动的影响考虑在内。基于上述原因, 本文试图通过建立数理模型来讨论城乡间存在大量人员流动对技术创新扩散的影响, 并通过对城乡人口和技术创新扩散模型的稳定性分析, 以及利用中国城乡固定电话户数进行的实证分析, 取得较为满意的结果。

### 1 模型构建

#### 1.1 构建模型的思路

城乡之间因各自的主要交流方式、传播媒介和途径以及消费习惯的不同而保持相对的独立性和稳定性, 但存在人口流动。流动的人口由于受周围环境的影响, 从而融入新群体的创新技术消费体系。在城镇或农村内部, 由于有关的外部因素和口头交流, 使得非使用者使用该创新技术而变为使用者, 或者是该创

2004-06-11 收稿, 2004-07-26 修回。

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(70171021)和教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目。

新技术的使用者使用该技术后, 由于各种原因, 而放弃使用该创新技术.

### 1.2 概念模型

根据上述建模思路, 得出城乡各自内部和城乡之间的具体转换关系和关系说明(图 1 和表 1).

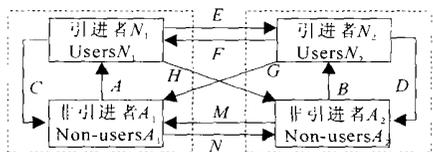


图 1 城镇和农村内部及城乡之间的关系转换

Fig 1 the conversion relation between members in urban and country

表 1 转换关系解释

Table 1 The explanation for conversion relation

转换名称/实现转换途径 Conversion name/Way of Conversion	对转换的解释 Explanation for conversion
A/ 直接信息, 口头交流 A/ External information, oral communication	城镇中未使用者变为使用者 Non-users become users in urban
B/ 直接信息, 口头交流 B/ External information oral communication	农村中未使用者变为使用者 Non-users become users in country
C/ 放弃使用 C/ Give up using	城镇中使用者变为非使用者 Users become Non-users in urban
D/ 放弃使用 D/ Give up using	农村中使用者变为非使用者 Users become Non-users in country
E/ 群体成员在城乡间流动 E/the members shifting between urban and country	城镇中使用者变为农村成员仍使用该技术 Users in urban keep using the innovation after shifting into country
F/ 群体成员在城乡间流动 F/The members shifting between urban and country	农村中使用者变为城镇成员仍使用该技术 Users in country keep using the innovation after shifting into urban
G/ 群体成员在城乡间流动 G/The members shifting between urban and country	农村中使用者变为城镇成员后放弃该技术 Users in country give up using the innovation after shifting into urban
H/ 群体成员在城乡间流动 H/ The members shifting between urban and country	城镇中使用者变为农村成员后放弃该技术 Users in urban give up using the innovation after shifting into country
M/ 群体成员在城乡间流动 M/The members shifting between urban and country	农村中非使用者变为城镇成员后仍未使用该技术 Non-users in country still be non-users after shifting into urban
N/ 群体成员在城乡间流动 N/ The members shifting between urban and country	城镇中非使用者变为农村成员后仍未使用该技术 Non-users in urban still be non-users after shifting into country

### 1.3 数学模型

假设 1 城镇或农村内部人口根据是否使用该

创新技术而分为引进者和非引进者. 其中, 非引进者包括曾引进该技术后又放弃使用该技术的人员.

假设 2 城市或农村人口的内部增长都服从 Logistic 规律.

假设 3 任意一个群体(城镇或农村人口)的该创新技术非引进者进入另外一个群体的瞬间, 仍然为非引进者; 任意一个群体的该创新技术引进者进入另外一个群体的瞬间, 可保持使用该技术, 也可因为某种原因(没必要使用, 没机会使用等)而放弃使用该创新技术.

根据上述建模思路和假设, 由表 1 的转换关系, 建立城乡人口数变量  $Q_1, Q_2$  增长方程. 本文用  $Q_1(t)$  表示  $t$  时城镇人口总数,  $Q_2(t)$  表示时农村人口总数. 因为城乡人口的内部增长都服从 Logistic 规律, 根据统计数学, 出生率和死亡率都是人口总数的线性函数, 不妨设城市人口的自然出生率为

$$\beta_{10} - d_{10}Q_1,$$

其中,  $\beta_{10}, d_{10}$  均为正的常数;  $\beta_{10}$  是城市人口的在无资源限制条件下的自然出生率,  $-d_{10}Q_1$  表示有资源限制城市人口出生减少率.

城市人口的自然死亡率为

$$\beta_{11} + d_{11}Q_1 > 0,$$

其中,  $\beta_{11}, d_{11}$  均为正的常数,  $\beta_{11}$  是城市人口的在无资源限制条件下的自然死亡率,  $d_{11}$  表示有资源限制条件下的死亡增加率. 也就是说人口总数增加时, 出生率将随人口总数的增加而减少, 而死亡率随人口增加而增加. 所以在  $t$  时刻城市人口的内部增加的成员有

$$(\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2.$$

由假设 4 和图 1 转化路径  $F$  和  $M$  可知,  $t$  时刻由农村流入城市的有  $\theta_2 N_2 + \theta_2 A_2 = \theta_2 Q_2$ , 由图 1 转化路径  $E$  和  $N$  可知, 从城市流出到农村的有

$$\theta_1 N_1 + \theta_1 A_1 = \theta_1 Q_1,$$

其中,  $\theta_1$  是城市人口流入农村的概率;  $\theta_2$  是农村人口流入城市的概率. 因此城市人口变量  $Q_1$  的增长方程为

$$Q_1 = (\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_2 - \theta_1 Q_1.$$

同理, 群体 2 成员变量  $Q_2$  的增长方程为

$$Q_2 = (\beta_{20} - \beta_{21})Q_2 - (d_{20} + d_{21})Q_2^2 + \theta_1 Q_1 - \theta_2 Q_2,$$

其中,  $\beta_{20}, d_{20}, \beta_{21}, d_{21}$  均为正的常数;  $\beta_{20}$  是农村人口的在无资源限制条件下的自然出生率;  $-d_{20}Q_2$  表示有资源限制农村人口出生减少率;  $\beta_{21}$  是农村人口的

在无资源限制条件下的自然死亡率;  $d_{21}$  表示有资源限制条件下的死亡增加率。

因而可以得出城乡之间成员流动的人口增长模型:

$$\begin{cases} Q_1 = (\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_2 - \theta_1 Q_1, \\ Q_2 = (\beta_{20} - \beta_{21})Q_2 - (d_{20} + d_{21})Q_2^2 + \theta_1 Q_1 - \theta_2 Q_2, \end{cases} \quad (1)$$

记  $N_i$  表示  $t$  时刻群体  $i$  中该技术创新的使用者数目;  $A_i$  表示  $t$  时刻群体  $i$  中该技术创新的非使用者数目, 对于城市中该技术创新的引入者变量  $N_1$ , 在  $t$  时刻由于群体内部直接信息和口头交流, 从图 1 转换路径  $A$  可知, 由非引进者变为引进者的成员有

$$a_1 A_1 + b_1 N_1 A_1,$$

其中,  $a_1$  是因为媒体等外部影响因素使非使用者使用技术创新 1 的概率;  $b_1$  是使用者和非使用者之间的交流, 使得非使用者转化为使用者的概率. 因为死亡自然减员的有  $(\beta_{11} + d_{11} N_1) N_1$ . 由图 1 转换路径  $C$  可知, 在  $t$  时刻主动或被动放弃的有  $e_1 N_1$ . 由于人员流动, 从城市引进者中流出城市的有  $\theta_1 N_1$  (其中  $\theta_1$  是第 1 类群体转化为另一类群体的概率). 从农村中引进者流入城市的仍然保持使用该技术的有  $k_2 \theta_2 N_2$  (其中  $k_i$  是第  $i$  类群体转化为另一类全体后仍保持使用该技术的概率). 因此, 城市中该技术创新的引入者变量  $N_1$  的增长方程为

$$N_1 = a_1 A_1 + b_1 N_1 A_1 - (\beta_{11} + d_{11} N_1) N_1 - e_1 N_1 - \theta_1 N_1 + k_2 \theta_2 N_2.$$

同理, 可得农村中该技术创新的引入者变量  $N_2$  的增长方程为

$$N_2 = a_2 A_2 + b_2 N_2 A_2 - (\beta_{21} + d_{21} N_2) N_2 - e_2 N_2 - \theta_2 N_2 + k_1 \theta_1.$$

因此, 可以得出如下基于城乡之间成员流动的技术创新扩散速度模型

$$\begin{cases} Q_1 = (\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_2 - \theta_1 Q_1, \\ N_1 = a_1 A_1 + b_1 N_1 A_1 - (\beta_{11} + d_{11} N_1) N_1 - e_1 N_1 - \theta_1 N_1 + k_2 \theta_2 N_2, \\ Q_2 = (\beta_{20} - \beta_{21})Q_2 - (d_{20} + d_{21})Q_2^2 + \theta_1 Q_1 - \theta_2 Q_2, \\ N_2 = a_2 A_2 + b_2 N_2 A_2 - (\beta_{21} + d_{21} N_2) N_2 - e_2 N_2 - \theta_2 N_2 + k_1 \theta_1 N_1, \\ Q_1 = A_1 + N_1, \\ Q_2 = A_2 + N_2. \end{cases} \quad (2)$$

## 2 模型的稳定性分析

由于商家感兴趣的是技术使用者数目的变动情况和市场潜力的大小, 所以只讨论城乡人口变量  $Q_1$ ,  $Q_2$  和技术扩散量变量  $N_1$ ,  $N_2$ . 在介绍相关概念之后, 先讨论城乡之间成员流动的群体增长模型的稳定性. 然后在此基础上, 再讨论技术创新扩散的稳定性分析.

### 2.1 相关概念

设有自治系统

$$\frac{dx}{dt} = f(x), f \in C(G \subseteq R^n, R^n), \quad (3)$$

其中,  $f \in C(G \subseteq R^n, R^n)$  表示  $f(x)$  在  $n$  维实数集中连续.

**定义 1** 若存在  $x^* \in G$ , 使  $f(x^*) = 0$ , 则称  $x^*$  为系统 (3) 的奇点. 从动力学的观点来看, 在奇点  $x^*$  处运动的速度  $f(x^*) = 0$ , 从而质点不运动, 因而奇点也称为该系统的平衡点.

**定义 2** 令  $n = 2$ , 则系统 (3) 为一平面自治系统. 在平面系统奇点  $O(0, 0)$  临近的轨迹中, 当系统 (2) 的所有轨线当  $t \rightarrow \infty$  时都趋向于原点, 且在原点与  $x$  轴或  $y$  轴相切, 统称奇点为结点. 如果  $t \rightarrow +\infty$  时所有轨线都趋向于原点, 则该结点是稳定的, 否则是不稳定的.

### 2.2 城乡人口数稳定性分析

**定理 1** 系统 (1)

$$\begin{cases} Q_1 = (\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_2 - \theta_1 Q_1, \\ Q_2 = (\beta_{20} - \beta_{21})Q_2 - (d_{20} + d_{21})Q_2^2 + \theta_1 Q_1 - \theta_2 Q_2, \end{cases}$$

有且仅有一个正的平衡点, 且该平衡点是全局稳定的结点.

**证明** (I) 如果  $\theta_1 = \theta_2 = 0$ , 则系统 (3) 有 2 个平衡点  $(0, 0)$ ,  $(M_{10}, M_{20})$ . 其中,  $M_{10} = \frac{\beta_{10} - \beta_{11}}{d_{10} + d_{11}}$ ;  $M_{20} = \frac{\beta_{20} - \beta_{21}}{d_{20} + d_{21}}$ . 很容易计算得出  $(0, 0)$  不稳定,  $(M_{10}, M_{20})$  是稳定的结点. 也就是说, 如果城乡之间不存在人员流动, 城乡人口数最终都会达到极大值并保持稳定.

(II) 如果  $\theta_1 = 0, \theta_2 > 0$ , 则系统 (1) 可化为

$$\begin{cases} Q_1 = (\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_2, \\ Q_2 = (\beta_{20} - \beta_{21})Q_2 - (d_{20} + d_{21})Q_2^2 - \theta_2 Q_2. \end{cases} \quad (4)$$

显然, 当  $\beta_{20} - \beta_{21} - \theta_2 > 0, M_{20} = \frac{\beta_{20} - \beta_{21} - \theta_2}{d_{20} + d_{21}}$

是系统(4)中第二个方程的全局稳定点. 假设  $M_{10}$  是  $(\beta_{10} - \beta_{11})Q_1 - (d_{10} + d_{11})Q_1^2 + \theta_2 Q_{20} = 0$  的正解. 则有

$$M_{10} = \frac{\beta_{10} - \beta_{11} + \sqrt{(\beta_{10} - \beta_{11})^2 + 4(d_{10} + d_{11})\theta_2 M_{20}}}{2(d_{10} + d_{11})}$$

于是, 系统(4)有唯一的正平衡点  $(M_{10}, M_{20})$ . 令  $Q_{10} = Q_1 - M_{1c}$ ,  $Q_{20} = Q_{22} - M_{20}$ , 同时令  $\beta_i = \beta_{i0} - \beta_{i1}$ ,  $d_i = d_{i0} + d_{i1}$ , 系统(4)可化为

$$\begin{cases} \dot{Q}_{10} = \beta_1(Q_{10} + M_{10}) - d_1(Q_{10} + M_{10})^2 + \theta_2(Q_{20} + M_{20}), \\ \dot{Q}_{20} = \beta_2(Q_{20} + M_{20}) - d_2(Q_{20} + M_{20})^2 - \theta_2(Q_{20} + M_{20}), \end{cases} \quad (5)$$

则系统(5)的线性近似系统的系数矩阵为

$$\begin{bmatrix} \beta_1 - 2d_1 M_{10} & \theta_2 \\ 0 & \beta_2 - 2d_2 M_{20} - \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{\beta_1^2 + 4d_1 \theta_2 M_{20}} & \theta_2 \\ 0 & -\sqrt{\beta_2^2 + 4d_2 \theta_2 M_{20}} \end{bmatrix},$$

特征值均小于 0, 所以该平衡点是稳定的结点. 因此, 如果城乡之间人口一方只进不出, 一方只出不进, 最终城乡人口数会达到一终值并保持稳定.

(III) 如果  $\theta_1 > 0$ ,  $\theta_2 > 0$ , 令系统(1)的右端等于 0, 则有下列式成立:

$$f_1 = Q_2 = \frac{(-\beta_1 + \theta_1)Q_1 + d_1 Q_1^2}{\theta_2},$$

$$f_2 = Q_1 = \frac{(-\beta_2 + \theta_2)Q_2 + d_2 Q_2^2}{\theta_1}$$

$$f_1'(Q_1) = \frac{(-\beta_1 + \theta_1) + 2d_1 Q_1}{\theta_2},$$

$$f_2'(Q_2) = \frac{(-\beta_2 + \theta_2) + 2d_2 Q_2}{\theta_1},$$

$$f_1''(Q_1) = \frac{2d_1}{\theta_2}, f_2''(Q_2) = \frac{2d_2}{\theta_1}.$$

对于等式  $(-\beta_2 + \theta_2)Q_2 + d_2 Q_2^2 - Q_1 \theta_1 = 0$ , 有

$$h(Q_1) = Q_2 = [(\beta_2 - \theta_2) +$$

$\sqrt{(\beta_2 - \theta_2)^2 + 4d_2 Q_1 \theta_1}] / 2d_2$  成立. 显然,  $h(Q_1) > 0$ ,  $h'(Q_1) > 0$ ,  $h''(Q_1) < 0$ , 所以  $h(Q_1)$  是凸函数. 而

$f_1(0) = 0$ ,  $h(0) = 0$ , 且  $\lim_{Q_1 \rightarrow +\infty} [f_1(Q_1) - h(Q_1)] = +\infty$ , 所以  $f_1$  是凹函数. 因此, 这两条曲线在第一象限有且仅有一个交点, 相应地  $\theta_1 > 0$ ,  $\theta_2 > 0$  时, 系统(1)

有且仅有一个正的平衡点  $M(M_{10}, M_{20})$ . 现证明该平衡点是稳定的结点. 令  $Q_{10} = Q_1 - M_{1c}$ ,  $Q_{20} = Q_{22} - M_{20}$ , 同时, 令  $\beta_i = \beta_{i0} - \beta_{i1} - \theta_i$ ,  $d_i = d_{i0} + d_{i1}$ , 系统

(1)可化为

$$\begin{cases} Q_{10} = \beta_1(Q_{10} + M_{10}) - d_1(Q_{10} + M_{10})^2 + \theta_2(Q_{20} + M_{20}), \\ Q_{20} = \beta_2(Q_{20} + M_{20}) - d_2(Q_{20} + M_{20})^2 + \theta_1(Q_{10} + M_{10}). \end{cases} \quad (6)$$

则系统(6)的线性近似系统的系数矩阵为

$$\begin{bmatrix} \beta_1 - 2d_1 M_{10} & \theta_2 \\ \theta_1 & \beta_2 - 2d_2 M_{20} \end{bmatrix}.$$

现证明  $\text{Tr } A = \beta_1 - 2d_1 M_{10} + \beta_2 - 2d_2 M_{20} < 0$ ,  $\det A = (\beta_1 - 2d_1 M_{10})(\beta_2 - 2d_2 M_{20}) - \theta_1 \theta_2 > 0$ , 且  $(\text{Tr } A)^2 - 4\det A > 0$ .

$M_{10} M_{20} \cdot \text{Tr } A = (\beta_1 - 2d_1 M_{10} + \beta_2 - 2d_2 M_{20}) M_{10} M_{20} = M_{20}(\beta_1 M_{10} - 2d_1 M_{10}^2) + (\beta_2 M_{20} - 2d_2 M_{20}^2) M_{10}$ ,

又因为  $M(M_{10}, M_{20})$  是系统(3)的平衡点, 所以  $M_{10}$ ,  $M_{20}$  分别是

$$\beta_1 Q_1 - d_1 Q_1^2 + \theta_2 Q_2 = 0, \beta_2 Q_2 - d_2 Q_2^2 + \theta_1 Q_1 = 0 \quad (7)$$

的解. 所以,  $M_{10} M_{20} \times \text{Tr } A = -(\theta_1 M_{10}^2 + \theta_2 M_{20}^2)$ , 所以  $\text{Tr } A < 0$ .

由(7)式可知,

$$\theta_1 = -(\beta_2 M_{20} - d_2 M_{20}^2) / M_{10}, \theta_2 = -(\beta_1 M_{10} - d_1 M_{10}^2) / M_{20}. \quad (8)$$

因此,  $\det A = (\beta_1 - 2d_1 M_{10})(\beta_2 - 2d_2 M_{20}) - \theta_1 \theta_2 = (\beta_1 - 2d_1 M_{10})(\beta_2 - 2d_2 M_{20}) - (\beta_1 - d_1 M_{10})(\beta_2 - d_2 M_{20})$ .

由式(8)可知,  $\beta_i - d_i M_{i0} < 0$ , 所以  $\det A > 0$ ; 至于  $(\text{Tr } A)^2 - 4\det A > 0$  显然成立, 故平衡点  $M(M_{10}, M_{20})$  是稳定的结点. 因此, 如果城乡之间人口互相流动, 最终城乡人口数也会达到一终值并保持稳定.

### 2.3 技术创新扩散的稳定性分析

因为系统(1)中的平衡点全局稳定, 为了方便讨论, 只讨论当系统(1)位于平衡点处时的系统(2)的稳定性. 也就是说, 只讨论当城乡人口数处于稳定时(不管城乡之间人员流动与否), 该技术创新扩散的稳定性. 假设系统(1)的全局稳定的平衡点为  $(M_{10}, M_{2c})$ . 不妨令  $Q_1 = M_{1c}$ ,  $Q_{20} = M_{2c}$ , 同时, 令  $\beta_1 = a_1 - b_1 M_{10} + \beta_{11} + e_1$ ,  $\beta_2 = a_2 - b_2 M_{20} + \beta_{21} + e_2$ ,  $d_i = b_i + d_{i1}$ , ( $i = 1, 2$ ). 这样, 可以得出定理 2.

**定理 2** 系统

$$\begin{cases} N_1 = a_1 M_{10} - (\beta_1 + \theta_1)N_1 - d_1 N_1^2 + k_2 \theta_2 N_2, \\ N_2 = a_2 M_{20} - (\beta_2 + \theta_2)N_2 - d_2 N_2^2 + k_1 \theta_1 N_1 \end{cases} \quad (9)$$

有且仅有一个正的平衡点, 且该平衡点为全局稳定.

证明 (I) 如果  $\theta_1 = \theta_2 = 0$ , 则系统(9)有唯一的正平衡点  $(C_1, C_2)$ , 其中

$$C_i = \frac{-\beta_i + \sqrt{\beta_i^2 + 4d_i a_i M_{i0}}}{2d_i},$$

显然, 该正平衡点是全局稳定的结点. 也就是说, 如果两群体之间不存在人员流动, 该技术创新最终会占领其市场极大值并保持稳定.

(II) 如果  $\theta_1 = 0, \theta_2 > 0$ , 则系统(9)可化为

$$\begin{cases} N_1' = a_1 M_{10} - \beta_1 N_1 - d_1 N_1^2 + k_2 \theta_2 N_2, \\ N_2' = a_2 M_{20} - (\beta_2 + \theta_2) N_2 - d_2 N_2^2, \end{cases} \quad (10)$$

考虑系统(10)的第2个方程, 可知  $C_2$  是该方程的唯一的局稳定点. 其中

$$C_2 = \frac{-(\beta_2 + \theta_2) + \sqrt{(\beta_2 + \theta_2)^2 + 4d_2 a_2 M_{20}}}{2d_2},$$

假设  $C_1$  是方程  $a_1 M_{10} - \beta_1 N_1 - d_1 N_1^2 + k_2 \theta_2 C_2 = 0$  的正解, 则有

$$C_1 = \frac{-\beta_1 + \sqrt{\beta_1^2 + 4d_1(a_1 M_{10} + k_2 \theta_2 C_2)}}{2d_1},$$

令  $N_{i0} = N_i - C_i, (i = 1, 2)$ , 则有

$$\begin{cases} N_{10}' = a_1 M_{10} - \beta_1(N_{10} + C_1) - d_1(N_{10} + C_1)^2 + k_2 \theta_2(N_{20} + C_2), \\ N_{20}' = a_2 M_{20} - (\beta_2 + \theta_2)(N_{20} + C_2) - d_2(N_{20} + C_2)^2, \end{cases} \quad (11)$$

系统(11)在原点的线性近似系统的系数矩阵  $A$  为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix},$$

其中,  $a_{11} = -[\beta_1 + 2d_1(N_{10} + C_1)]$ ;  $a_{12} = k_2 \theta_2$ ;  $a_{22} = -[(\beta_2 + \theta_2) + 2d_2(N_{20} + C_2)]$ . 显然, 该矩阵的特征值均为负数, 所以该平衡点是全局稳定的. 因此, 如果城乡之间成员一方只进不出, 一方只出不进, 最终该技术创新会占领一定市场并保持稳定.

(III) 如果  $\theta_1 > 0, \theta_2 > 0$ , 证明过程与系统(1)的第三种情况相同. 可以得出存在正平衡点  $(C_1, C_2)$ , 并且是全局稳定的. 因此, 如果城乡之间人口互相流动, 最终该技术创新市场扩散会达到一终值并保持稳定. 系统(9)有且仅有一个正的平衡点, 且该平衡点是全局稳定的. 证毕.

从上述分析中可以得出, 系统(1)有且仅有一个正的平衡点, 且该平衡点是全局稳定的结点. 也就是说, 当城乡之间人口不管存不存在流动, 单向流动或双向流动, 城乡人口数最终都能达到一终值并保持稳定. 并且系统(9)有且仅有一个正的平衡点, 且该平衡点是全局稳定的. 也就是说, 城乡之间不管是否存

在人口流动, 单向或双向流动, 各群体对该项创新技术的需求量最终都将达到稳定值. 但是, 人口是否流动、是否单向或双向流动都将使创新技术的扩散速度甚至最大需求量都发生变动.

### 3 实例分析

根据 19882001 年共 14 组城市和农村的固定电话用户数据, 利用 BASS 模型和存在城乡人口流动的技术创新扩散模型进行拟合, 通过对比分析, 发现考虑人口流动, 固定电话用户的市场最大潜力存在很大变化.

如果不考虑城乡人口流动, 利用 BASS 模型来对城乡固定电话用户数分别进行拟合和预测. 通过 SPSS 11.0 进行线性回归, 得出以下模型:

$$\begin{cases} N_1 = (0.00118756 + 1.1498 \times 10^{-5} N_1) \cdot (24251.21230 - N_1), \\ N_2 = 1.9578 \times 10^{-5} N_2 \cdot (19556.930266 - N_2), \end{cases} \quad (12)$$

其中, 城镇居民购买固定电话的外部影响系数  $a_1 = 0.00118756$ ; 内部影响系数  $b_1 = 1.1498 \times 10^{-5}$ ; 农村居民购买固定电话的外部影响系数  $a_2 = 0$ ; 内部影响系数  $b_2 = 1.9578 \times 10^{-5}$ ; 城镇固定电话用户的最大潜力  $C_1 = 24251.21$ (万户); 农村固定电话用户的最大潜力  $C_2 = 19556.93$ (万户).

如果考虑城乡人口流动, 利用城乡人口流动技术创新扩散模型得出固定电话技术扩散模型为:

$$\begin{cases} N_1' = 88.8608 + 0.21945 N_1 - 5.9986 \times 10^{-6} N_1^2 + 0.01 N_2, \\ N_2' = 0.4800 + 0.39966 N_2 - 3.0032 \times 10^{-5} N_2^2, \end{cases} \quad (13)$$

其中, 城镇居民购买固定电话的外部影响系数  $a_1 = 0.0007934$ ; 内部影响系数  $b_1 = 5.9986 \times 10^{-6}$ ; 农村居民购买固定电话的外部影响系数  $a_2 = 0.00001$ ; 内部影响系数  $b_2 = 3.0032 \times 10^{-5}$ ; 城镇固定电话用户的最大潜力  $C_1 = 37568.4$ (万户); 农村固定电话用户的最大潜力  $C_2 = 13309.0$ (万户).

由此可见, 如果考虑人口流动, 中国固定电话用户市场最大潜力为 50877.4 万户; 如果不考虑人口流动, 中国固定电话用户市场最大潜力为 43808.14 万户. 也就是说考虑人口流动将比不考虑人口流动的中国固定电话用户的市场最大潜力要多出 7000 万余户. 这是因为中国城市化进程中, 农村人口进入城市、收入提高和人际交往频繁等方面的原因, 使得固定电话的用户增加. 因此, 是否考虑人口流动, 商家制定的

销售策略和计划就会存在很大的差别。

## 4 结束语

通过建立和讨论城乡人口流动的技术创新扩散模型, 以及对我国固定电话用户数进行实证分析, 发现城乡人口流动会对技术创新扩散的速度和市场潜力有着较大的影响, 从而为商家有效预计市场潜力提供较好的途径。但由于本文没有考虑到经济环境、生活水平的提高、通讯话费的降低对固定电话用户数的影响等因素, 该模型与实际情况有一定偏差, 这将在后续研究中加以考虑和改进。

### 参考文献

- 1 Bass F M. A new product growth model for consumer durables. *Management Science*, 1969, 15(5): 215227.
- 2 亨利·拉维耶. 法国人眼中的中国崛起. 参考消息, 2004-04-15.
- 3 Mahajan V, Peterson R A. Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population. *Management Science*, 1978, 24: 15891597.
- 4 Mahajan V, Mller E, Bass F. New product diffusion models in marketing: a review and directions for research. *Journal of Marketing*, 1990, 54(1): 126.
- 5 Duk Bin Jun, Yoon S Park. A choice-based diffusion model for multiple generations of products. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 61: 4558.
- 6 Dausuke Satoh. A discrete bass model and its parameter estimation. *Journal of the Operations Research*, 2001, 44(1): 118.

- 7 Ping-Teng Chang, Ching-Hsiang Chang. A stage characteristic-preserving product life cycle modeling. *Mathematical and Computer Modeling*, 2003, 37: 12591269.
- 8 Mohle M. The coalescent in population models with time-inhomogeneous environment. *Stochastic Processes and Their Application*, 2002, 97: 199227.
- 9 Paul R, Steffens. A model of multiple-unit ownership as a diffusion process. *Technological forecasting & Social Change*, 2003, 70: 901917.
- 10 Kalish S, Mahajan V, Muller E. Waterfall and sprinkler new-product strategies in competitive global markets. *International J of Research in Marketing*, 1995, 12: 105119.
- 11 Duk B Jun, Seon K Kim. Forecasting telecommunication service subscribers in substitutive and competitive environment. *International Journal of Forecasting*, 2002, 18: 561581.
- 12 Harald Gruber. Competition and innovation; the diffusion of mobile telecommunication in central and eastern Europe. *Information Economics and Policy*, 2001, 13: 1934.
- 13 Wang Wendi P, Fergola. Innovation diffusion model in patch environment. *Applied Mathematics and Computation*, 2003, 134: 5167.
- 14 徐玖平, 胡知能. 经济管理的动态理论——稳定与失衡. 北京: 科学出版社, 2004.
- 15 Lawrence Perko. *Differential Equations and Dynamical Systems*. New York: Springer-Verlag, 1991.
- 16 程云杰, 战艳. 我国人口目标: 本世纪中叶不超 16 亿 [EB/OL]. <http://www.longhoo.net/gb/longhoo/news/civil/node107/userobject1ai11989.html>, 2003-01-09.

(责任编辑: 黎贞崇)

## 我国科技论文继续排名世界第五

中国科学技术信息研究所公布的“2003 年度中国科技论文统计结果”显示, 2003 年, 我国国际科技论文数量以高于全球平均水平的速度继续增长。《科学引文索引》(SCI)、《工程索引》(EI)和《科学技术会议录索引》(ISTP)收录的, 在作者机构中含有“中华人民共和国”的论文共 93352 篇, 比 2002 年增加 15957 篇, 增长率为 20.6%。我国科技论文占世界论文总数 1834994 篇的 5.1%, 所占份额较 2002 年减少了 0.3 个百分点。按照国际论文数量排序, 我国继续保持世界第五位, 位于我国之前的 4 个国家分别是: 美国、日本、英国、德国。

主要反映基础研究状况的《SCI》2003 年收录的中国论文数为 49788 篇, 比 2002 年增加 9030 篇, 增长 22.2%, 所占份额从 2002 年的 4.18% 增长到 4.48%。按论文数排序, 我国继续保持世界第 6 位。论文数排在前 5 位的国家为: 美国、英国、日本、德国、法国。

主要反映应用研究和工程开发研究情况的《EI》2003 年收录中国论文数为 24997 篇, 排在世界第 3 位, 仅落后于美国和日本。

反映一个国家研究工作进展与本学科前沿接近程度的《ISTP》2003 年共收录我国科技人员参加的 1261 个国际会议, 其中 1127 个会议是在我国以外的国家或地区召开的, 我国科学家共发表科技会议论文 18576 篇, 比 2002 年增加 5154 篇, 占全世界总数的 4.5%, 我国科技会议论文的世界排位为第 6 位。

2003 年国内论文数据由《中国科技论文与引文数据库》(CSTPC)统计得出: 我国科技人员在国内外科技期刊上共发表论文 274438 篇, 比 2002 年增加 34321 篇, 增长了 14.3%; 海外作者在我国刊物上发表论文 1194 篇, 比 2002 年增加 297 篇。

截至 2004 年 9 月, 《SCI》收录我国科技期刊 95 种, 其中我国大陆期刊 78 种, 我国台湾省期刊 17 种; 2003 年《EI》收录我国期刊数为 130 种, 其中我国大陆期刊 119 种, 我国台湾省期刊 11 种; 2003 年《CSTPC》收录的中国科技论文统计源期刊为 1576 种。

据《科学时报》