

研发人才区域性流动的进化博弈分析

霍静波, 尤建新

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 运用进化博弈理论, 建立了流出地研发人才和流入地研发人才之间的非对称进化博弈模型. 通过系统相位图分析, 研究了在不同条件下进化博弈系统的进化稳定策略, 从而揭示了研发人才空间集聚、更替、消散、凝滞的一般规律. 由稳定性分析可知, 当流出地和流入地初始环境相同时, 研发人才区域性流动是个体的流动成本、流动收益及研发人才集聚外部效应共同作用的结果, 政府可以通过调节流动成本、流动补贴、社会保障福利及控制知识溢出便利性等来选择人才流动的进化路径.

关键词: 研发人才流动; 进化博弈; 知识溢出

中图分类号: G316

文献标志码: A

Evolutionary Game Analysis on Regional Mobility of Research and Development Talents

HUO Jingbo, YOU Jianxin

(College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper builds an asymmetrical evolutionary game model of research and development talents between inflow region and outflow region. Through analyzing the phase diagrams, the evolutionary game system's stability strategies under different conditions are studied. Consequently, the mechanism of the talents' agglomeration, replacement, dissipation and stagnation is found. The results show that the talents' decision on mobility is not only based on cost and income, but also based on intangible benefits from the external effect of talent agglomeration. Therefore, the government can choose the evolutionary path by adjusting talent mobility costs, talent subsidies, social benefits and by controlling the convenience of knowledge spillovers.

Key words: mobility of research and development talent; evolutionary game; knowledge spillover

源动力,也是经济增长的引擎,吸引和留住高质量的研发人才,是企业和政府的共同目标. 国外已有许多关于人才流动的经典理论模型和决策模型,如勒温的场论^[1]、卡兹的组织寿命学说^[2]、托达罗模型^[3]等. 国内也有不少学者从成本收益^[4]、人力资本势差^[5]、流动的直接和间接经济效应^[6]等角度从微观上研究人才流动的内因和机理,或者从宏观上研究如何实现人才区域流动的有效性^[7]. 除此之外,还有学者开始利用博弈理论研究人才流动的问题,如用“囚徒困境”分析科技人才的流失^[8],用进化博弈分析人才流动和组织行为之间的关系^[9],用单群体进化博弈研究区域创新人才的流动^[10]等. 已有的运用博弈理论对人才流动问题的研究,大多集中于不同条件下流出地人才的决策,而对于流入地人才会有什么样的反应和策略并没有考虑,这就只能单方面说明流动产生的动因,却无法解释当前区域人才集聚、更替、消散等现象. 实际上,当大量人才涌入某个区域时,自然会给当地人才的生活和工作环境带来冲击,那么当地人才将根据形势评估自身得失利害,从而做出离开或留在本地的决定. 外地人才是否流入、本地人才“去”还是“留”,不同的决策组合会造成不同的人才流动特殊现象.

进化博弈理论是把博弈理论分析和动态进化过程分析结合起来的一种新理论,最初产生于行为生态学. 它从有限理性的个体出发,以群体行为为研究对象,合理解释了生物行为的进化过程^[11]. 20 世纪 70 年代后期,少数经济学家开始把生态观点引入到经济学领域,用于解释经济规律^[12]; 20 世纪 80 年代,随着对经典博弈理论研究的深入,进化博弈理论被广泛应用到经济学领域,如合作的进化^[13-14]、股票市场^[15-16]等,在理论层面也开始向非对称博弈深入^[17]; 20 世纪 90 年代,进化博弈理论的应用已经渗透到了经济社会领域的各个方面^[18-20]. 国内学者对

研发人才作为重要的智力资源,是技术进步的

收稿日期: 2014-07-24

第一作者: 霍静波(1978—),女,博士生,主要研究方向为管理理论与方法. E-mail: huo_jingbo@sina.com

通讯作者: 尤建新(1961—),男,教授,博士生导师,管理学博士,主要研究方向为管理理论与工业工程. E-mail: yjx2256@vip.sina.com

进化博弈理论在经济学领域中的研究也很普遍^[21-22],非对称进化博弈方法的应用已成为热点^[23-25].研发人才群体也是一种由相互作用、相互依存的有机体构成的经济社会“生态群落”,具有类似于生物群落的行为特征.因此,利用进化博弈的方法分析研发人才区域性流动行为更加接近于现实情况,也更有实际意义.

本文通过建立流出地研发人才和流入地研发人才之间的非对称进化博弈模型,用复制动态模拟方法全面分析了不同条件下人才流动的进化稳定策略,从博弈论角度揭示了研发人才空间集聚、更替、消散、凝滞的一般规律.

1 进化模型的构建

根据进化博弈理论,研发人才可看作有限理性的博弈方,其基于自身的成本收益做出是否流动的决策,而人才长期不断从一个地区流动到另一个地区的过程,可以看成是由流出方与流入方的成员组成的两个大群体之间随机配对的反复博弈.在反复博弈中,人才动态调整自己的策略,这种情况可用生物进化的复制动态机制模拟.简单起见,假设有A和B两个区域,A地的研发人才称为博弈方I,B地的研发人才称为博弈方II.博弈方I有两种选择策略:流动到B地和不流动.博弈方I做出选择后,博弈方II也有两种可选择策略:留下参与合作竞争或者离开.可见,双方的选择次序是不同的,策略和收益也不完全对称,与市场准入博弈模型相似,因此可用两个群体的非对称复制动态进化博弈来分析.

为简化分析,假设A和B两地初始创新环境和社会环境相同,流动成本均为C,工资收益分别为 S_1 和 S_2 ,B地政府对新到该地区的研发人才的补贴为F,B地研发人才离开到外地发展,其事业成功的概率为P,事业成功的收益为Q.如果A地研发人才选择去往B地工作,B地研发人才采取留守策略,即A和B两地人才倾向于集聚,那么个体从知识溢出中获得的记为G,人才集聚的娱乐效应记为H,需要注意的是,当人才过度集聚时,H为负值.此时,博

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)[S_2 - S_1 - C + F + y(G+H)] & x(1-x)(G+H) \\ y(1-y)(G+H) & (1-2y)[S_2 + C - PQ + x(G+H)] \end{bmatrix}$$

在分析均衡点是否为稳定点时,需要把均衡点代入J,然后根据J的行列式和迹的符号来判断^[26].这里,在均衡点上,J矩阵内各元素的取值范围很大,所以矩阵内四个元素的取值也比较复杂,从而J

博弈方I的收益为 $(S_2 - C + F + G + H)$,博弈方II的收益为 $(S_2 + G + H)$.双方选取其他策略组合时的收益详见表1.

表1 收益表

Tab.1 Payoff table

		博弈方II	
博弈方I	策略	留守	离开
	流动	$S_2 - C + F + G + H, S_2 + G + H$	$S_2 - C + F, -C + PQ$
	不流动	S_1, S_2	$S_1, -C + PQ$

假设在博弈方I位置博弈的研发人才群体中,选择流动到B地的人才比例为 x ,那么不流动的比例为 $(1-x)$;在博弈方II位置博弈的研发人才群体中,选择留守的人才比例为 y ,那么选择离开的比例为 $(1-y)$.根据以上假设,A和B两地研发人才的平均收益分别为

$$\begin{aligned} \bar{U}_A &= x[y(S_2 - C + F + G + H) + (1-y)(S_2 - C + F)] + \\ &\quad (1-x)[yS_1 + (1-y)S_1] \\ \bar{U}_B &= y[x(S_2 + G + H) + (1-x)S_2] + \\ &\quad (1-y)[x(-C + PQ) + (1-x)(-C + PQ)] \end{aligned}$$

从而,A地研发人才流动比例的复制动态方程为

$$\frac{dx}{dt} = x(1-x)[S_2 - S_1 - C + F + y(G+H)] \quad (1)$$

B地研发人才留守比例的复制动态方程为

$$\frac{dy}{dt} = y(1-y)[S_2 + C - PQ + x(G+H)] \quad (2)$$

2 模型分析

由于 x 和 y 分别代表A地研发人才流动到B地的比例和B地研发人才留守的比例,因此 $0 \leq x \leq 1$ 且 $0 \leq y \leq 1$.本文将在平面区域 $K = \{(x, y) | 0 \leq x, y \leq 1\}$ 中讨论系统的稳定性.

观察到式(1)和(2)有四个固定的均衡点,即 $(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)$,一般来说,可以运用雅可比矩阵来分析复制动态微分方程的局部均衡点及其稳定性^[29],式(1)和(2)的雅可比矩阵

的行列式和迹的符号难以确定,故尝试从微分方程(1)和(2)右边表达式的特点出发,作相应的相位图进行分析.

在平面区域K内, $x(1-x)$ 和 $y(1-y)$ 的符号

始终为正, $[S_2 - S_1 - C + F + y(G + H)]$ 和 $[S_2 + C - PQ + x(G + H)]$ 的符号可正可负, 两者的符号最终由 $(S_2 - S_1 - C + F + G + H)$, $(S_2 - S_1 - C + F)$,

$(S_2 + C - PQ + G + H)$, $(S_2 + C - PQ)$ 这四个表达式的符号来确定. 根据上述表达式的符号作系统的相位图并找出稳定点, 见表 2 和图 1.

表 2 系统进化稳定性分析

Tab.2 Evolutionary stability analysis

情况	$(S_2 - S_1 - C + F + G + H)$	$(S_2 - S_1 - C + F)$	$(S_2 + C - PQ + G + H)$	$(S_2 + C - PQ)$	对应相位图	进化稳定策略 (x, y)	鞍点 (x^*, y^*)
1	+	+	+	+	图 1a	(1, 1)	
2	+	+	-	-	图 1b	(1, 0)	
3	-	-	-	-	图 1c	(0, 0)	
4	+	+	+	-	图 1d	(1, 1)	
5	+	+	-	+	图 1e	(1, 0)	
6	-	-	+	-	图 1f	(0, 0)	
7	-	-	-	+	图 1g	(0, 1)	
8	+	-	-	-	图 1h	(0, 0)	
9	-	-	+	+	图 1i	(0, 1)	
10	+	-	+	+	图 1j	(1, 1)	
11	-	+	+	+	图 1k	(0, 1)	
12	-	+	-	-	图 1l	(1, 0)	
13	+	-	+	-	图 1m	(0, 0)(1, 1)	
14	+	-	-	+	图 1n	无	$x^* = \frac{PQ - S_2 - C}{G + H}$
15	-	+	-	+	图 1o	(0, 1)(1, 0)	$y^* = \frac{S_1 + C - S_2 - F}{G + H}$
16	-	+	+	-	图 1p	无	

注: “+”表示大于 0, “-”表示小于 0.

3 博弈结果分析

$(S_2 - S_1 - C + F)$ 可以理解为 A 地研发人才流动到 B 地的有形(经济性)收益差, $(S_2 + C - PQ)$ 可以理解为 B 地研发人才选择留守的有形收益差, $(G + H)$ 可以理解为研发人才集聚带来的无形(非经济性)收益, 或称集聚效应, 从而 $(S_2 - S_1 - C + F + G + H)$ 可以理解为集聚时 A 地研发人才流动的总收益差, $(S_2 + C - PQ + G + H)$ 可以理解为集聚时 B 地研发人才的总收益差. 系统相位图反映了博弈方 I 和博弈方 II 的动态博弈过程, 在进化博弈中, 有限理性的个体具备反思能力, 会根据既得收益不断调整自身策略, 双方最终实现某种动态平衡, 在这个平衡下的策略就是进化稳定策略^[27]. 系统向着进化稳定策略收敛的过程体现了人才流动的规律, 系统收敛到 (1, 1) 表示人才在 B 地集聚, 收敛到 (1, 0) 表示 B 地的人才被 A 地的人才更替, 收敛到 (0, 1) 表示两地人才均不流动, 收敛到 (0, 0) 表示 B 地人才的消散, 不收敛表示人才流动杂乱无章没有呈现趋势. 以下从进化稳定策略出发具体分类讨论:

(1) 系统收敛到 (1, 1), 见相位图 1a, d, j. 图 1a 对应的情况表明, 当流动和留守的有形收益差都大于零时, 而且流动的总收益差和留守的总收益差也

都大于零时, 两地人才有在 B 地集聚的趋势. 当集聚效应和有形收益都是正的时候, 无论是从经济性还是非经济性考虑, 集聚对双方都比较有利, 那么人才理所当然会聚集在一起; 当集聚效应为负, 但是有形收益差和总收益差是正的时候, 人才依然选择聚集在一起. 如人们在不富裕的时候, 眼前经济利益的吸引力是巨大的, 此时人们普遍会选择在收入高的城市工作, 对于知识溢出将给自身带来的好处和生活的娱乐休闲都不会很重视, 即使流入地拥挤不堪, 对非富裕阶层人群来说, 在娱乐效应为负的情况下, 只要流动后的经济收入能满足物质需求, 也会选择流动, 而对于在流入地身处相同境况的人才来说, 亦是因经济利益选择留守. 纵观世界上高收入高人口密度的城市, 普遍存在按照财富多寡而自然形成的富人区和贫民区, 或者是沉淀出相应的阶层, 但是相对的高收入总能吸引和留住当前经济地位处于较低水平的人们, 哪怕挤在贫民区没有较高的生活质量. 图 1d 对应的情况表明, 当流动的有形收益差和流动的总收益差大于零, 留守的有形收益差小于零, 但是留守的总收益差却大于零时, 也即留守获得的集聚效应能弥补离开的经济损失时, 系统仍沿着人才集聚的方向进化. 像北京、上海这样具有较好创新环境的大城市, 每年有大量人才涌入, 原先已经在这里工作的人才, 面对外地的高薪就业机会, 未必会离开,

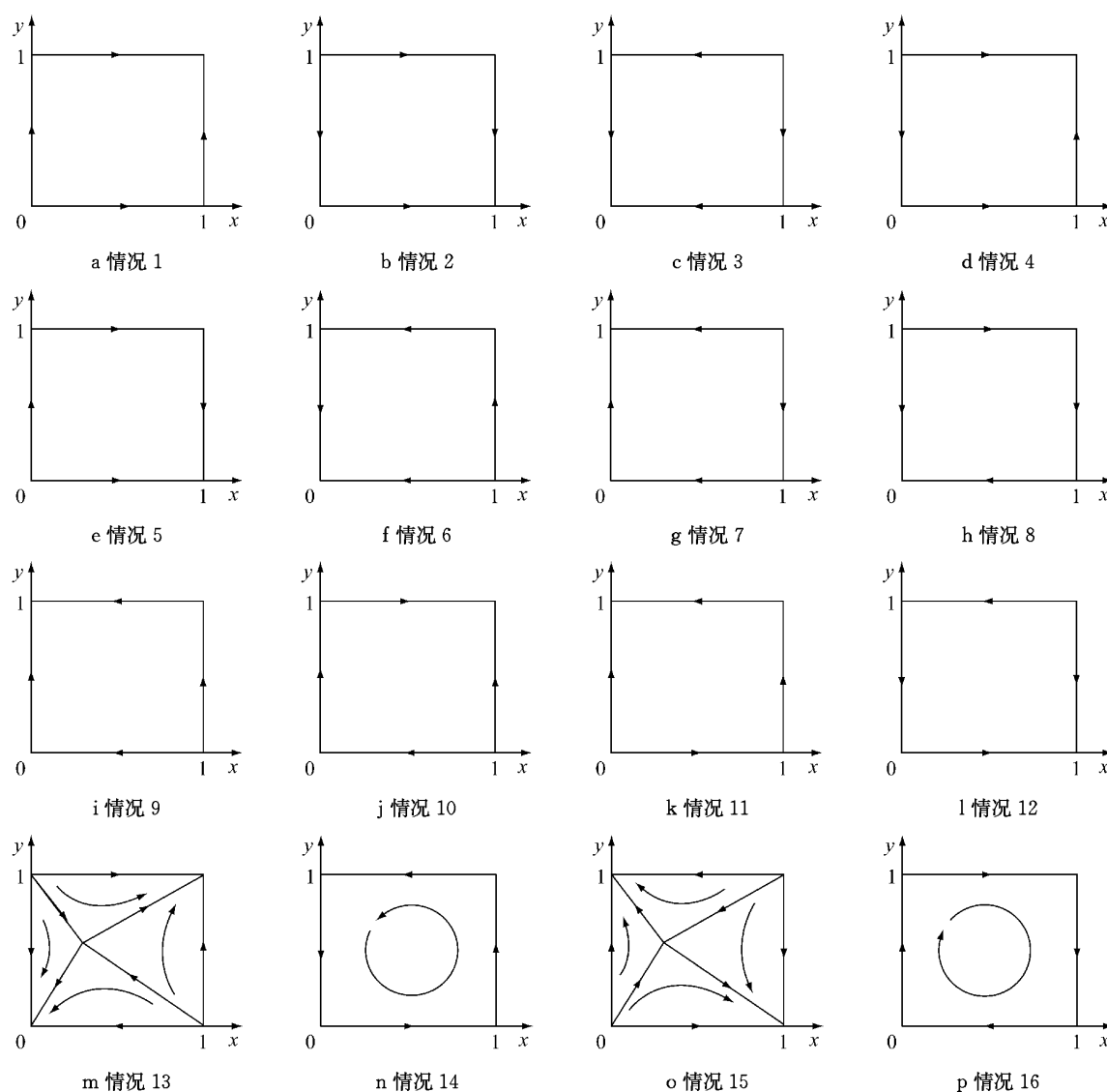


图1 系统相位图

Fig.1 Phase diagram

这是因为研发是个智力密集型的工作,没有了良好的创新环境和合作竞争氛围,创新能力就得不到提高,未来的工作前景不容乐观.图1j对应的情况表明,留守的有形收益差和留守的总收益差大于零,流动的有形收益差小于零,但是流动的总收益差大于零,也即流动获得的集聚效应能弥补其流动的经济损失,这时,博弈方I仍采用流动策略.如对于已是中产的高端技术型人才来说,对新知识的渴求、对实现自身价值的愿望及对舒适生活环境的追求,明显高于其对收入的要求,这与当前研发人才热衷向海外技术移民的现象符合,像美国的硅谷、日本的驻波均吸引着世界上最具创新能力的人才.

(2) 系统收敛到(0,0),见相位图1c,f,h.图1c对应的情况表明,当博弈方I流动和博弈方II留守的有形收益差和总收益差都小于零时,系统收敛到

(不流动,离开),即一个地方的人才资源逐渐消亡.这种进化过程与汽车城市底特律的情况相似.20世纪50年代,由于汽车工业的崛起,底特律集聚了高达200万人口,成为美国最繁荣的城市之一.伴随着人口的大量涌入,种族问题变得尖锐,犯罪率上升,集聚的负效应越来越明显,再加上美国高耗能车市场的不景气,失业率居高不下,外地人才不愿加入,本地中产纷纷逃离,致使底特律于2013年申请破产,整个城市趋于萧条.图1f对应的情况显示,流动的有形收益差和总收益差小于零,留守的有形收益差也小于零,但是留守的总收益差却大于零,这表明对流入地的人才来讲,集聚效应不仅是正的,而且超过如果离开本地要承担的经济损失.此时,对博弈方I来说,流动不会带来更高的经济收入,即使集聚的无形收益是正的,但是流动的总收益仍然是负的,因

此不流动是其最终决策. 对博弈方Ⅱ来说, 离开B地将带来高的经济收益, 而留在B地的无形收益更大, 此时博弈方Ⅱ选择离开. 这表明, 经济性收益对个体来说是至关重要的, 如处于马斯洛需求金字塔下方的群体来说, 经济收益是其决策的首要条件. 图1h对应的情况与图1f的情况类似, 讨论略. 进一步观察表2中系统收敛到(0,0)的条件可以发现, 博弈方Ⅰ和博弈方Ⅱ选择流动和留守的有形收益差均小于零, 而且至少有一方选择流动或留守的总收益差小于零. 这意味着, 当一个地区研发人才的物质报酬不具有竞争力、集聚的正效应不足以弥补其中一方或双方因流动到本地或留在本地而减少的物质报酬时, 那么这个地区无法吸引新的研发人才, 同时也没有能力留住已有的研发人才. 如我国西部的西藏、新疆等经济落后地区, 一方面没有财力引进高技能人才, 人均收入也较低; 另一方面, 创新环境不佳, 知识溢出效应发挥不充分, 人才自身知识得不到丰富, 而先天的自然地理条件也对生活娱乐有诸多限制. 因此, 这类地区一直处于人才匮乏境况, 不仅新的人才不进来, 已有的人才也纷纷流失, 人才资源逐步贫瘠.

(3) 系统收敛到(1,0), 见相位图1b,e,l. 图1b对应的情况表明, 流动的有形收益差和总收益差均大于零, 留守的有形收益差和总收益差均小于零, 反复博弈的稳定策略是(流动, 离开), 这种情况可以理解为一个地区人才的“更新换代”, 如经济落后地区的人才源源不断涌入发达地区, 人才流出地渐渐沦为“智力空城”, 发达地区的人才迫于就业竞争压力和生活环境的变化而慢慢撤出, 逐渐被外来人才替代, 形成当前众多的“移民城市”. 当博弈方Ⅱ留守的有形收益差大于零但是总收益差小于零时, 如图1e对应的情况, 说明集聚带来的负效应相当大. 此时, 对博弈方Ⅰ来说, 流动的有形收益差仍能弥补集聚带来的负效应, 使得总收益大于零, 从而选择流动; 而对于博弈方Ⅱ来说, 虽然选择离开会降低经济收益, 但是选择留守带来的负效应超出了经济收益, 使得留守总收益小于零, 故做出离开的决策. 博弈方Ⅱ的决策表明了经济性收益对部分人群来讲并非占主导地位, 如对生活娱乐休闲要求高的人才来说, “北上广”的快节奏和拥挤的城市环境, 已成为其离开当地的重要影响因素, 这和国内一线城市的人才热衷移民现象比较吻合, 与图1j中博弈方Ⅰ的情况相似. 系统收敛到(流动, 离开)还有另一种情况, 对应图1l的条件, 即 $S_2 - S_1 - C + F > 0$, 同时 $S_2 - S_1 - C +$

$F + G + H < 0$, 显然这时有 $G + H < 0$, 与图1e对应的情况相似, 集聚带来的负效应很大. 此时, 博弈方Ⅱ留守的有形收益差和总收益差都小于零, 选择离开是合适的, 对博弈方Ⅰ来说, 虽然流动带来的集聚负效应已经超过流动带来的经济收益的增加, 但是仍然选择流动策略. 这同样表明, 对于收入相对较低的经济落后地区的研发人才来说, 到拥挤的发达地区换取高的报酬是现实的出路.

(4) 系统收敛到(0,1), 见相位图1g,i,k. 比较表2中图1b与图1i、图1e与图1k、图1l与图1g对应的符号可以发现, 图1b,e,l与图1i,k,g只是博弈方Ⅰ和博弈方Ⅱ的位置互换了而已, 因此进化博弈过程相同, 此处不重复分析. 需要注意的是, 从表面上看, 系统收敛到(不流动, 留守)是相当好的稳定状态, 实际上, 这是人才缺乏流动的无活力消极状态, 长此以往, 将严重阻碍经济和社会的发展.

(5) 存在鞍点时系统的稳定性, 见图1m~p. 图1n对应的情况不可能发生, 这是因为, 从 $S_2 + C - PQ > 0$ 和 $S_2 + C - PQ + G + H < 0$ 可以推断出 $G + H < 0$, 从 $S_2 - S_1 - C + F < 0$ 和 $S_2 - S_1 - C + F + G + H > 0$ 可以推断出 $G + H > 0$, 前后矛盾. 同理, 图1p对应的情况也不可能发生. 当流动和留守的有形收益差小于零、集聚效应为正而且总收益差大于零时, 系统往两个方向进化, 参考图1m; 当初始状态位于鞍点 (x^*, y^*) 右上部分区域时, 系统收敛到(1,1); 当初始状态位于鞍点左下部分区域时, 系统收敛到(0,0). 图1o对应的条件正好与图1m完全相反, 进化路径也不同, 当初始状态位于鞍点 (x^*, y^*) 左上部分区域时, 系统收敛到(0,1); 当初始状态位于鞍点右下部分区域时, 系统收敛到(1,0).

通过以上分析可以发现, 图1a~l的进化稳定策略与初始状态无关, 只和 $(S_2 - S_1 - C + F + G + H)$, $(S_2 - S_1 - C + F)$, $(S_2 + C - PQ + G + H)$, $(S_2 + C - PQ)$ 的取值符号相关, 因此可以从现状出发, 通过调整这四项的数值来引导系统进化的方向. 图1m和图1o显示, 初始状态给定后, 鞍点的位置以及上述四项的取值符号决定了系统的进化方向, 而鞍点的位置与 S_1, S_2, C, F, G, H, PQ 的取值直接相关.

4 结语

从宏观上看, 研发人才的不流动或者百分百流动均不利于经济和社会的可持续发展. 从上述分析可知, 进化稳定策略的路径是可选择的, 只要根据进

化稳定策略,创造相应的进化条件,就能使研发人才流动沿合适的路径进化.由第3节具体分析可知,可以通过调节流动成本、流动补贴、社会保障福利、控制知识溢出的便利性等来选择进化路径.

从微观上看,地方政府的目的是留住已有研发人才并吸引新的研发人才,即对于B地政府来说,系统向稳定状态(1,1)进化,这就要求满足图1a,d,j,m的进化条件,对于图1m,还需满足初始状态落于鞍点右上区域.以上四种人才集聚的进化条件,均包含增大集聚正效应或提高有形收益差,因此针对的建议有:提高研发人才的流动成本C,如提高个人单方面终止雇佣合同的违约损失,增添技术保密协议等;加大对新进人才的补贴F,如各种专项人才奖励计划、福利补贴等;增加个体从知识溢出中获得的价值G,如营造合适的创新环境,促进企业间或个体之间的合作与交流等;提高集聚的娱乐效应H,如增加公共设施,改善自然环境,提高衣食住行的便利性,丰富人才的娱乐生活等.

研发人才区域间流动是多方面因素相互作用造成的,这里只讨论了两个区域研发人才之间的博弈,因此得出的结论有一定的局限性.例如,微观上的部分有形利益方面的举措对当地短时间内聚集人才比较有利,却也很有可能引起周围地区对人才的恶性竞争,从而不利于人才的可持续性流动.因此在后续研究中,可适当增加博弈方,使博弈模型的假设条件更接近实际情况,以获得更准确细致的结果.

参考文献:

- [1] Lewin K. Field theory in social science; selected theoretical papers [M]. Westport: Greenwood Press, 1975.
- [2] 谢晋宇. 员工流动管理[M]. 天津: 南开大学出版社, 2001.
XIE Jinyu. Employee turnover management [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001.
- [3] Todaro M. P. A model of labor migration and urban unemployment in less development countries [J]. American Economic Review, 1969, 159: 138.
- [4] 郑文力. 论势差效应与科技人才流动机制[J]. 科学学与科学技术管理, 2005, 26(2): 112.
ZHENG Wenli. Effect of potential energy difference and flow mechanism of sci-tech talents [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2005, 26(2): 112.
- [5] 郭力立, 胡若歆. 人才流动的成本收益函数分析[J]. 科技进步与对策, 2006, 23(9): 158.
GUO Lili, HU Ruoxin. Analysis of cost and profit in talents flow [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2006, 23(9): 158.
- [6] 夏琛桂, 石金涛. 人才区域性流动机理及其效应分析[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(11): 1855.
- XIA Chengui, SHI Jintao. The mechanism of talents regional flow and the analysis of its effect [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(11): 1855.
- [7] 刘军, 周绍伟. 人力资本承载力与有效人才流动[J]. 管理世界, 2004(8): 139.
LIU Jun, ZHOU Shaowei. Human resource capacity and effective flow of talents [J]. Management World, 2004(8): 139.
- [8] 杜聪慧, 崔永伟. 从博弈论看科技人才的流动[J]. 技术与创新管理, 2004, 25(1): 55.
DU Conghui, CUI Yongwei. Analysis on the flow of scientist and technicians [J]. Technology and Innovation, 2004, 25(1): 55.
- [9] 郑玮, 李静. 再论人才流失: 基于博弈模型的探索[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(11): 128.
ZHENG Wei, LI Jing. Re-discussion on the talents outflow: the exploration based on the gaming model [J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2004, 14(11): 128.
- [10] 王锐兰, 顾建强, 刘思峰. 区域创新人才流动的进化博弈分析[J]. 科技进步与对策, 2006, 23(5): 156.
WANG Ruilan, GU Jianqiang, LIU Sifeng. Evolutionary game analysis of regional innovation talent flow [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2006, 23(5): 156.
- [11] Smith J M. The theory of games and the evolution of animal conflict [J]. Journal of Theoretical Biology, 1974, 47: 209.
- [12] Hirschleifer J. Economics from a biological view point [J]. The Journal of Law and Economics, 1977, 20: 1.
- [13] Axelrod R, Hamilton W. The evolution of cooperation [J]. Science, 1981, 211: 1390.
- [14] Axelrod R. The evolution of cooperation [M]. New York: Basic Books, 1984.
- [15] Conlisk J. Costly optimizers versus cheap imitators [J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 1980, 1: 275.
- [16] Cornell B, Roll R. Strategies for pair wise competitions in markets and organizations [J]. Bell Journal, 1981, 12: 201.
- [17] Selten R. A note on evolutionarily stable strategies in asymmetric games conflicts [J]. Journal of Theoretical Biology, 1980, 84: 93.
- [18] Kandori M, Mailath G, Rob R. Learning, mutation, and long-run equilibrium in games [J]. Econometrica, 1993, 61: 127.
- [19] 青木昌彦, 奥野正宽. 经济体制的比较制度分析[M]. 北京: 中国发展出版社, 1999.
Masahiko A, Masahiro O. Comparative institutional analysis to economic system [M]. Beijing: Chinese Development Press, 1999.
- [20] Fudenberg D. The theory of learning in games [M]. Boston: MIT Press, 1998.
- [21] 盛绍瀚, 蒋德鹏. 进化经济学[M]. 上海: 上海三联书店, 2002.
SHENG Shaohan, JIANG Depeng. The evolutionary economics [M]. Shanghai: Shanghai Sanlian Press, 2002.
- [22] 李少斌, 高鸿桢. 企业家形成过程的进化博弈分析[J]. 厦门大学学报: 哲学社会科学版, 2002, 151(3): 26.
LI Shaobin, GAO Hongzhen. Entrepreneur or non-entrepreneur: an evolutionary game analysis [J]. Journal of Xiamen University: Arts & Social Sciences, 2002, 151(3): 26.
- [23] 黄幸婷, 胡汉辉. 政府宏观调控与低碳经济发展的进化博弈分

- 析[J]. 电子科技大学学报:社科版,2012,14(4):54.
- HUANG Xingting, HU Hanhui. Evolutionary game analysis between government macro-control and low-carbon economic development [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China: Social Sciences Edition,2012,14(4):54.
- [24] 崔祥民,魏臻. 绿色消费与绿色创业进化博弈研究[J]. 科技进步与对策,2014,31(4):16.
- CUI Xiangmin, WEI Zhen. Evolutionary game research on green consumption and green entrepreneurship [J]. Science & Technology Progress and Policy,2014,31(4):16.
- [25] 刘臣,单伟,于晶. 组织内部知识共享的类型及进化博弈模型[J]. 科研管理,2014,35(2):145.
- LIU Chen, SHAN Wei, YU Jing. Type and evolutionary game model of knowledge sharing within organizations [J]. Science Research Management,2014,35(2):145.
- [26] Friedman D. Evolutionary games in economics [J]. Econometrica,1991,59:637.
- [27] Hodgson G. Economics and evolution: bringing life back to economics [M]. Cambridge, Eng.: Polity Press,1993.

~~~~~

(上接第 1030 页)

- [7] Friedrich M, Hofsäğ I, Wecke S. Timetable-based transit assignment using branch and bound techniques [J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2001, 1752(1): 100.
- [8] Xu W, He S, Song R, *et al.* Finding the K shortest paths in a schedule-based transit network[J]. Computers & Operations Research, 2012, 39(8): 1812.
- [9] Zhou F, Xu R. Model of passenger flow assignment for urban rail transit based on entry and exit time constraints [J]. Transportation Research Record; Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2284(1): 57.
- [10] Hägerstrand T. What about people in regional science? [J]. Papers in Regional Science, 1970, 24(1): 7.
- [11] Yu H, Shaw S L. Revisiting Hägerstrand's time-geographic framework for individual activities in the age of instant access [M]//Societies and cities in the age of instant access. Berlin: Springer, 2007:103-118.
- [12] Miller H J. Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems [J]. International Journal of Geographical Information System, 1991, 5(3): 287.
- [13] Kwan M P, Hong X D. Network-based constraints-oriented choice set formation using GIS[J]. Geographical Systems, 1998, 5: 139.
- [14] Neutens T, Van De Weghe N, Witlox F, *et al.* A three-dimensional network-based space-time prism[J]. Journal of Geographical Systems, 2008, 10(1): 89.
- [15] 胡继华,程智锋,钟广鹏,等.一种公交等时线的计算方法及其应用[J].交通运输系统工程与信息,2013,13(3): 99.
- HU Jihua, CHENG Zhifeng, ZHONG Guangpeng, *et al.* A calculation method and its application of bus isochrones[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(3): 99.
- [16] Li W. Passenger trip planning in urban rail transit based on time geography[C]//2014 22nd International Conference on Geoinformatics. [S.l.]: IEEE, 2014: 1-6.